

## WPŁYW STOPNIA ROZDROBNIENIA WYBRANYCH WARZYW NA PROCES KONWEKCYJNEGO SUSZENIA I PODATNOŚĆ UZYSKANEGO SUSZU NA ROZDRABNIANIE

Dariusz Dziki<sup>✉</sup>, Waleed Hameed Hassoon, Beata Biernacka,  
Paweł Kozak, Jerzy Wójcik

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

**Streszczenie.** Celem pracy było przeanalizowanie wpływu stopnia rozdrobnienia warzyw na przebieg konwekcyjnego suszenia oraz na proces rozdrabniania suszu. Materiał badawczy stanowiły bulwy ziemniaka i korzeń marchwi. Próby przed pomiarami pocięto w plastry o średnicy 2,5 cm i grubości 3,0 mm oraz w paski o kształcie prostokątów (0,30 × 0,35 × 2,5 cm). Proces suszenia prowadzono w pojedynczej warstwie, stosując temperaturę powietrza 60°C i prędkość przepływu 0,5 m·s<sup>-1</sup>. Do redukcji wymiarów suszu wykorzystano rozdrabniacz nożowy. Stwierdzono, że w przypadku marchwi i ziemniaka zwiększenie powierzchni prób przed suszeniem średnio o 50% powodowało kilkukrotne skrócenie czasu tego procesu. Susz ziemniaczany i marchwiowy charakteryzowały się podobną podatnością na rozdrabnianie, aczkolwiek nieco niższe nakłady energii na ten proces uzyskano dla surowca w postaci pasków. Wskaźnik rozdrabniania Sokołowskiego zawierał się od 81 kJ·kg<sup>-1</sup>mm<sup>0,5</sup> (paski marchwi) do 90 kJ·kg<sup>-1</sup>mm<sup>0,5</sup> (plastry ziemniaka). Przeprowadzone badania wykazały, że stopień rozdrobnienia warzyw istotnie wpływa zarówno na proces suszenia, jak i na energochłonność rozdrabniania suszu.

**Słowa kluczowe:** marchew, ziemniak, suszenie, rozdrabnianie, energochłonność

### WSTĘP

Suszenie i rozdrabnianie to dwa podstawowe procesy w przetwórstwie żywności, których wynik końcowy determinowany jest zarówno właściwościami surowca, jak i stosowanymi metodami przetwarzania. Zaproponowano szereg metod i zabiegów wstępnych stosowanych zarówno przed suszeniem [Witrowa-Rajchert i in. 2014], jak i rozdrab-

---

<sup>✉</sup>dariusz.dziki@up.lublin.pl

nianiem żywności [Dziki 2008, De Brier i in. 2015]. Jedną z podstawowych operacji, w szczególności stosowanych przed procesem suszenia warzyw i owoców, jest rozdrabnianie. Proces ten powoduje między innymi zwiększenie powierzchni właściwej suszonego materiału, dzięki czemu poprawiają się warunki wymiany ciepła i masy, a w konsekwencji suszenie przebiega znacznie szybciej [Rudy i in. 2015]. Zabieg tego rodzaju nie jest pozbawiony wad. Rozdrobniony materiał wymaga większej powierzchni do suszenia, a ponadto dostęp tlenu do uszkodzonego mechanicznie surowca powoduje szereg reakcji biochemicznych, które mogą obniżyć jakość końcową produktu [Famurewa i in. 2011]. Jednak w przypadku niektórych warzyw i owoców jest to zabieg niezbędny, bez którego wysuszenie do bezpiecznego dla przechowywania poziomu wilgotności byłoby niemożliwe, bądź nakłady energii na ten proces kształtowałyby się na bardzo wysokim poziomie.

Wysuszony materiał, w zależności od przeznaczenia, musi się charakteryzować odpowiednią wielkością cząstek. Dlatego też często susz poddaje się rozdrabnianiu [Fujita i Takakura 2011]. Rozdrobniony susz warzywny to cenny surowiec o właściwościach prozdrowotnych, który może znaleźć zastosowanie do wzbogacania żywności [Różyło i in. 2014].

W dotychczas opublikowanej literaturze niewiele opracowań odnosi się do analizy procesu rozdrabniania suszonych warzyw. Stąd też w niniejszej pracy podjęto tę tematykę. Celem pracy było określenie wpływu stopnia rozdrobnienia marchwi i ziemniaka na przebieg konwekcyjnego suszenia i podatność na rozdrabnianie otrzymanego suszu.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiał badawczy stanowiły bulwy ziemniaka odmiany Irys i korzenie marchwi odmiany Bejro. Warzywa pochodziły z poletek doświadczalnych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie ze zbiorów z 2015 roku. Surowiec przed pomiarami umyto pod bieżącą wodą, obrano ze skórki i krojono w plastry (wycinając walce o średnicy 25 mm i grubości ok. 3 mm za pomocą krajalnicy i noża rurowego) oraz rozdrabniano do postaci pasków (o grubości ok. 3 mm, szerokości ok. 3,5 mm i długości ok. 2,5 cm), korzystając z ręcznej szatkownicy. Przed dalszymi etapami badań określono początkową zawartość wody w materiale metodą suszarkową (w temp. 105°C) oraz aktywność wody ( $a_w$ ), wykorzystując urządzenie firmy Novasina, typu Lab Master w temp. 22 ± 1°C, poprzez napełnienie pojemniczków do pomiaru  $a_w$  i umieszczeniu ich w celkach aparatu. Po zamknięciu wieczka odczekiwano kilka minut – do ustabilizowania się mierzonej wartości.

Próbki o masie 100 g suszono w pojedynczej warstwie w temperaturze 60°C i przy przepływie powietrza przez warstwę materiału wynoszącym 0,5 m/s, wykorzystując suszarnię firmy Promis Tech PROMIS – μLAB („PROMIS” Firma Projektowo-Produkcyjna, Wrocław, Polska). Przy założeniu średniej gęstości ziemniaka i marchwi przed suszeniem na poziomie 1080 kg·m<sup>-3</sup> [Rahman 2009] pole powierzchni 100 g plastrów marchwi i ziemniaka na początku suszenia (uwzględniając początkowe kształty i wymiary próbek podane wcześniej), wyniosło dla każdego z tych surowców około 8 dm<sup>2</sup>, a pole powierzchni 100 g pasków tych surowców po około 12 dm<sup>2</sup>. Opis metody wyznaczania pola powierzchni próbek przedstawiono w opracowaniu Nguyen i in. [2002]. Podczas pomiarów co 5 min rejestrowano zmiany masy próby suszonego materiału. Suszenie pro-

wadzano do zawartości wody w próbach wynoszącej ok. 14%. Wilgotność ta stanowi pewien kompromis między czasem suszenia a energochłonnością rozdrabniania [Chakkaravarthi i in. 1993]. Kinetykę odwadniania przedstawiono w funkcji czasu jako spadek zredukowanej zawartości wody ( $U_r$ ):

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

gdzie:

$u_\tau$  – zawartość wody po czasie  $\tau$ ,

$u_0$  – początkowa zawartość wody,

$u_r$  – równowagowa zawartość wody.

Podczas wyznaczania wartości  $U_r$  dokonano uproszczenia polegającego na pominięciu wartości  $u_r$ . Takie uproszczenie jest często stosowane [Fijałkowska 2015] i nie ma dużego wpływu na wyniki badań dotyczące kinetyki suszenia [Figiel 2013]. Do opisu kinetyki procesu suszenia wykorzystano model Hendersona i Pabisa [Henderson i Pabis 1961]:

$$U_r = a \cdot \exp^{-kt} \quad (2)$$

Równanie (2) jest powszechnie stosowane do opisu kinetyki procesu suszenia surowców w pojedynczej warstwie [Chaughule i Thorat 2011, Śledź i in. 2013].

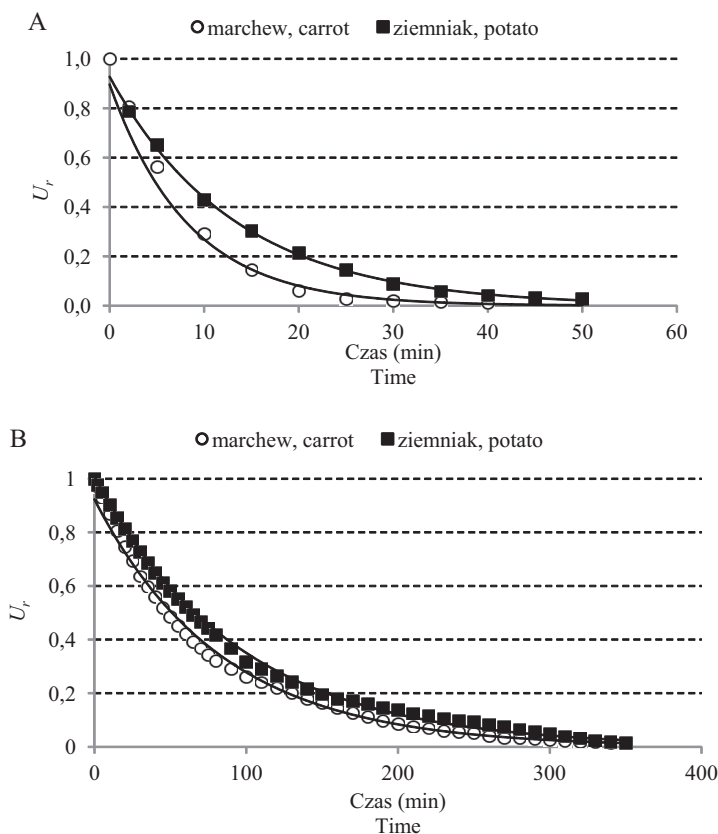
Uzyskany susz o wilgotności 14% ( $\pm 0,2\%$ ) poddano rozdrabnianiu, wykorzystując laboratoryjny młyn nożowy GM-200 firmy Retsch. Proces prowadzono przez 30 s, przy prędkości obrotowej noży równej 7000 obr./min. Urządzenie współpracowało z układem rejestracji mocy prądu podczas rozdrabniania, w którego skład wchodził miernik METX M 3860M oraz komputer wraz z oprogramowaniem do obliczania poboru mocy prądu. Po rozdrobnieniu analizowano skład granulometryczny cząstek, wykorzystując przesiewacz laboratoryjny firmy Retsch AS 200 wraz z odpowiednim zestawem sit. Następnie obliczono średni wymiar cząstek. Wyznaczono również energochłonność jednostkową rozdrabniania (iloraz energii rozdrabniania do masy suszu poddanego rozdrabnianiu), wskaźnik efektywności rozdrabniania (jako iloraz energii rozdrabniania do powierzchni rozdrobnionych cząstek) oraz wskaźnik rozdrabniania Sokołowskiego. Sposób wyznaczania wymienionych parametrów przedstawiony został przez Dzikiego [2008].

## Metody statystyczne

Proces suszenia i rozdrabniania przeprowadzono trzech powtórzeniach. Analiza statystyczna uzyskanych wyników badań objęła wyznaczanie wartości średnich i odchyłek standardowych. Przeprowadzono również jednoczynnikową analizę wariancji, a istotność różnic między średnimi określono przy użyciu testu Tukey'a. W celu oceny stopnia dopasowania wybranego modelu opisującego kinetykę suszenia wyznaczono średni błąd kwadratowy RMSE oraz wartości zredukowanego testu  $\chi^2$  [Śledź i in., 2013]. Wszystkie analizy statystyczne wykonano przyjmując poziom istotności  $\alpha = 0,05$ . Do obliczeń wykorzystano program STATISTICA 6.0 firmy Stat Soft.

## WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Początkowa zawartość wody w korzeniu marchwi wyniosła  $8,35 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{s.s.}}$ , natomiast w ziemniaku  $4,13 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{s.s.}}$ , aktywność zaś wody równa była odpowiednio 0,952 i 0,927. Krzywe suszenia marchwi i ziemniaka przedstawiono na rysunku 1. Zarówno w przypadku walców, jak i plasterków badanych próbek szybciej wysuszaniu ulegały próbki ziemniaka. Wyniki analizy regresji wykazały, że model Hendersona i Pabisa dobrze opisuje przebieg procesu. Wartości współczynników determinacji we wszystkich przypadkach przekroczyły wartość 0,997, a błąd kwadratowy zawierał się w przedziale od 0,043 (paski marchwi) do 0,078 (paski ziemniaka) (tab. 1). Większy stopień rozdrobnienia próbek przed suszeniem miał bardzo istotny wpływ na czas trwania procesu, przyczyniając się do jego skrócenia. Czas suszenia próbek pociętych do postaci pasków był aż około siedmiokrotnie krótszy niż próbek pociętych w walce o podobnej grubości. Prawidłowości takie stwierdzono zarówno dla próbek marchwi, jak i ziemniaka.



Rys. 1. Zmiany zredukowanej zawartości wody marchwi i ziemniaka w procesie konwekcyjnego suszenia, A – paski surowca, B – plastry surowca

Fig. 1. The changes of reduced water content of carrot and potato during convective drying, A – strips of material, B – slices of material

Tabela 1. Wyniki analizy regresji opisujące kinetykę procesu suszenia próbek marchwi i ziemniaka

Table 1. The results of regression analysis describing the drying kinetics of carrot and potato

Próba Sample	<i>a</i>	<i>k</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	RSME	$\chi^2$
MPA*	1,017 <sup>b</sup> ± 0,004	0,126 <sup>d</sup> ± 0,0004	0,998	0,042825	0,00428
MPL	0,996 <sup>b</sup> ± 0,002	0,011 <sup>a</sup> ± 0,0005	0,997	0,055995	0,00467
ZPA	0,967 <sup>b</sup> ± 0,003	0,079 <sup>c</sup> ± 0,0004	0,998	0,077803	0,00173
ZPL	0,974 <sup>a</sup> ± 0,004	0,013 <sup>b</sup> ± 0,0003	0,997	0,069123	0,00242

\* MPA – paski marchwi, MPL – plastry marchwi, ZPA – paski ziemniaka, ZPL – plastry ziemniaka.

MPA – carrot strips, MPL – carrot slices, ZPA – potato strips, ZPL – potato slices; a, b – homogeneous groups.

Analizując proces rozdrabniania otrzymanych suszy, stwierdzono, że sposób przygotowania warzyw do suszenia istotnie wpłynął na skład granulometryczny cząstek (tab. 2). Zarówno susz ziemniaka, jak i marchwi pocięty przed suszeniem w paski ulegał w większym stopniu rozdrobnieniu niż próbki w kształcie plastrów. Średni wymiar cząstek suszu marchwi i ziemniaka rozdrobnionych do postaci pasków wyniósł odpowiednio 0,405 ± 0,07 mm i 0,340 ± 0,08 mm, natomiast w przypadku tych samych surowców pociętych w plastry wyniósł odpowiednio 0,457 ± 0,08 i 0,514 ± 0,07 mm. Największe zmiany w składzie granulometrycznym rozdrobnionych suszy otrzymano we frakcji cząstek >0,8 mm i 0,2–0,4 mm. Największym udziałem frakcji >0,8 mm charakteryzował się rozdrobniony susz ziemniaka i marchwi, który przed procesem suszenia został pocięty do postaci plastrów. W przypadku zaś klasy wymiarowej 0,2–0,4 mm największy udział stanowiły cząstki otrzymane z surowców rozdrobnionych do postaci pasków (tab. 2).

Energochłonność jednostkowa rozdrabniania badanych suszy zawierała się w przedziale od 80,2 kJ·kg<sup>-1</sup> (paski marchwi) do 103,6 kJ·kg<sup>-1</sup> (plastry ziemniaka), przy czym paski suszu, zarówno z marchwi, jak i z ziemniaka wymagały nieco mniejszych nakładów energii na rozdrabnianie niż plastry, co wynika z większych wymiarów tych drugich. Susz zarówno marchwiowy, jak i ziemniaczany (o tej samej wielkości) charakteryzował się podobną energochłonnością jednostkową rozdrabniania (rys. 3). W dotychczasowej literaturze bardzo niewiele prac dotyczy charakterystyki procesu rozdrabniania suszy warzywnych. Należy zauważyć, że na proces rozdrabniania istotny wpływ ma zawartość wody w materiale. Chakkaravarthi i in. [1993] badali wpływ wilgotności suszonej marchwi na energochłonność rozdrabniania i stwierdzili, nieliniową zależność między wilgotnością suszu marchwiowego a energochłonnością jednostką rozdrabniania. Dlatego też w niniejszej pracy wilgotność suszy przed rozdrabnianiem była na zbliżonym poziomie (14% ± 0,2%).

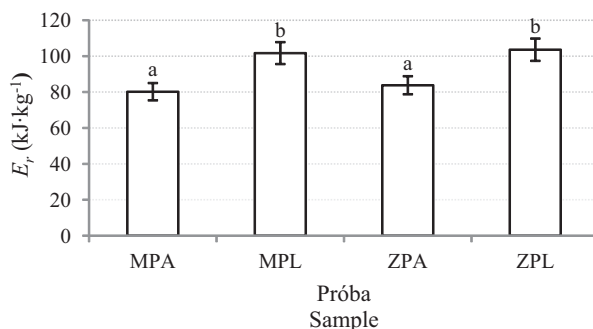
Analizując wskaźnik podatności suszu na rozdrabnianie (rys. 3), który odnosi energię rozdrabniania do powierzchni cząstek po rozdrobnieniu, stwierdzono większe zróżnicowanie tego parametru niż w przypadku energochłonności jednostkowej rozdrabniania, aczkolwiek tendencje były podobne. Najmniejsze wartości tego wskaźnika uzyskano, poddając redukcji wymiarów cząstek paski suszu ziemniaka i marchwi – odpowiednio 7,0 i 6,2 kJ·m<sup>-2</sup>. Z kolei susz otrzymany z plastrów tych surowców charakteryzował się większymi wartościami tego parametru (10,1 kJ·m<sup>-2</sup> w przypadku marchwi i 11,5 kJ·m<sup>-2</sup> w odniesieniu do ziemniaka).

Tabela 2. Skład granulometryczny i średni wymiar cząstek ( $d_{sr}$ ) rozdrobnionych suszy z marchwi i ziemniakaTable 2. Particle size distribution and average particle size ( $d_{sr}$ ) of ground carrot and potato dried samples

Próba Sample	Klasa wymiarowa [mm] Range of class [mm]						$d_{sr}$ , mm
	>0,8	0,8–0,6	0,4–0,6	0,2–0,4	0,1–0,2	<0,1	
MPA*	5,2 ±0,11	17,9 ±0,21	23,0 ±0,36	35,2 ±0,35	8,3 ±0,18	10,6 ±0,15	0,405 ±0,07
MPL	14,9 ±0,16	15,8 ±0,31	26,6 ±0,38	18,6 ±0,25	11,1 ±0,34	13,0 ±0,22	0,457 ±0,06
ZPA	1,6 ±0,08	10,0 ±0,18	26,9 ±0,21	30,6 ±0,42	13,5 ±0,19	17,5 ±0,28	0,340 ±0,08
ZPL	21,2 ±0,35	14,1 ±0,26	33,0 ±0,18	14,5 ±0,31	7,3 ±0,21	9,9 ±0,17	0,514 ±0,07

\* MPA – paski marchwi, MPL – plastry marchwi, ZPA – paski ziemniaka, ZPL – plastry ziemniaka.

\* MPA – carrot strips, MPL – carrot slices, ZPA – potato strips, ZPL – potato slices.

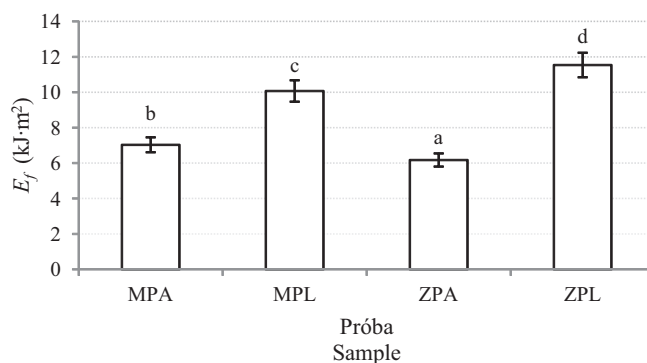


Rys. 2. Energochłonność jednostkowa rozdrabniania suszy marchwi i ziemniaka. MPA – paski marchwi, MPL – plastry marchwi, ZPA – paski ziemniaka, ZPL – plastry ziemniaka; a, b – grupy jednorodne

Fig. 2. Specific grinding energy of dried carrot and potato, MPA – carrot strips, MPA – carrot strips, MPL – carrot slices, ZPA – potato strips, ZPL – potato slices; a, b – homogeneous groups

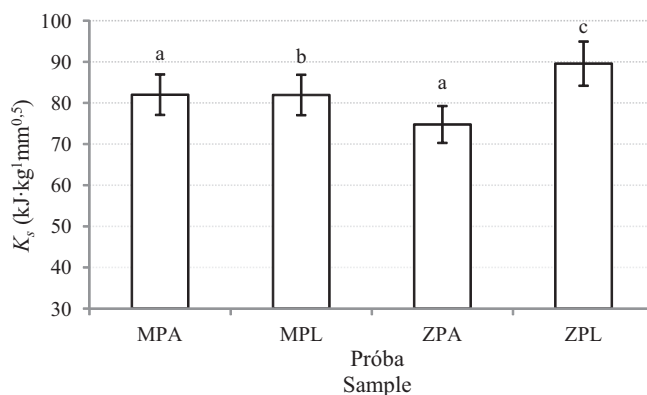
Wyniki wskaźnika rozdrabniania Sokołowskiego dla analizowanych suszy przedstawiono na rysunku 4. Parametr ten dodatkowo uwzględnia stopień rozdrobnienia materiału. Stwierdzono, że susz marchwi bez względu na stopień rozdrobnienia charakteryzował się podobnymi wartościami tego wskaźnika, które kształtowały się średnio na poziomie  $82,0 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0,5}$ . Najmniejsze wartości tego parametru uzyskano, poddając rozdrabnianiu paski suszonego ziemniaka ( $74,8 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0,5}$ ), a największe plastry tego surowca:  $89,5 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0,5}$ .

Dotychczas wartości wskaźników podatności na rozdrabnianie oraz wskaźnika rozdrabniania Sokołowskiego były wyznaczane głównie dla ziarna zbóż [Dziki i Laskowski 2010]. Uzyskane wartości tych wskaźników dla suszy warzywnych są zbliżone do wartości dla ziarna zbóż o podobnym poziomie wilgotności, aczkolwiek należy zauważyć, że wskaźniki te nie tylko zależą od właściwości surowca poddawanego redukcji wymiarów cząstek, ale również od warunków prowadzenia procesu rozdrabniania [Dziki i in. 2014].



Rys. 3. Wskaźnik podatności suszu na rozdrabnianie; MPA – paski marchwi, MPL – plastry marchwi, ZPA – paski ziemniaka, ZPL – plastry ziemniaka; a, b, c, d – grupy jednorodne

Fig. 2. Grinding ability index of dried carrot and potato; MPA – carrot strips, MPL – carrot slices, ZPA – potato strips, ZPL – potato slices; a, b – homogeneous groups



Rys. 4. Wskaźnik rozdrabniania Sokołowskiego;  $M_{pa}$  – paski marchwi,  $M_{pl}$  – plastry marchwi,  $Z_{pa}$  – paski ziemniaka,  $Z_{pl}$  – plastry ziemniaka; a, b, c – grupy jednorodne

Fig. 2. Sokołowski's grinding index; MPA – carrot strips, MPL – carrot slices, ZPA – potato strips, ZPL – potato slices; a, b, c – homogeneous groups

Z otrzymanych wskaźników charakteryzujących proces rozdrabniania wynika, że zarówno susz marchwiowy, jak i ziemniaczany o zbliżonej wielkości początkowej cząstek przed rozdrobnieniem ulegały w podobnym stopniu redukcji wymiarów przy zbliżonym zapotrzebowaniu energii na ten proces.

## WNIOSKI

1. Zwiększenie powierzchni właściwej warzyw przed suszeniem średnio o 50%, przy tej samej masie suszonych próbek powodowało około siedmiokrotne skrócenie procesu, przy czym próbki marchwi suszyły się nieco szybciej niż próbki ziemniaka.

2. Sposób przygotowania warzyw do suszenia istotnie wpłynął na skład granulometryczny cząstek suszu poddanego rozdrobieniu. Zarówno susz ziemniaka, jak i marchwi pocięty przed suszeniem w paski ulegał podczas rozdrabniania w większym stopniu redukcji wymiarów niż próbki w kształcie plastrów.

3. Wskaźnik podatności suszu na rozdrabnianie zawierał się od  $6,2 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  (suszone paski marchwi) do  $11,5 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  w odniesieniu do odwodnionych plastrów ziemniaka.

4. Przeprowadzone badania wykazały, że stopień rozdrobnienia warzyw istotnie wpływa zarówno na proces suszenia, jak i redukcję wymiarów suszu rozdrabniaczem nożowym.

## LITERATURA

- Chakkaravarthi A., Math R.G., Walde S.G., Rao D.G., 1993. Grinding characteristics of carrots (*daucus carota* L.). J. Food Eng. 20(4), 381–389.
- Chaughule V.A., Thorat B.N., 2011. Microwave vacuum drying of shredded carrots and its nutritional evaluation. Int. J. Food Eng. 7(4), 1556–3758.
- De Brier N., Hemdane S., Dornez E., Gomand S.V., Delcour J.A., Courtin C.M., 2015. Structure, chemical composition and enzymatic activities of pearlins and bran obtained from pearled wheat (*triticum aestivum* L.) by roller milling. J. Cereal Sci. 62(3), 66–72.
- Dziki D., 2008. The crushing of wheat kernels and its consequence on the grinding process. Powder Technol. 185(2), 181–186.
- Dziki D., Cacak-Pietrzak G., Miś A., Jończyk K., Gawlik-Dziki U., 2014. Influence of wheat kernel physical properties on the pulverizing process. J. Food Sci. Technol. 51(10), 2648–2655.
- Dziki D., Laskowski J., 2010. Study to analyze the influence of sprouting of the wheat grain on the grinding process. J. Food Eng. 96(4), 562–567.
- Famurewa A.V., Emuekele P.O., Jaiyeoba K.F., 2011. Effect of drying and size reduction on the chemical and volatile oil contents of ginger (*zingiber officinale*). J. Med. Plants Res. 5(14), 2941–2944.
- Figiel A., Kinytyka odwadniania osmotycznego plastrów dyni w zagęszczonym soku z owoców pigwowca. 2013. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 572, 13–21.
- Fijałkowska A., Nowacka M., Witrowa-Rajchert D., 2015. Wpływ obróbki wstępnej ultradźwiękami na przebieg suszenia i zawartość betalain w buraku ćwikłowym. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln. 581, 11–20.
- Fujita K., Takakura N., 2011. Development of new crushing mill for manufacturing powdered green tea from dried tea leaves. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C, 77(784), 4730–4742.
- Henderson S.M., Pabis S., 1961. Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. J. Agric. Eng. Res. 6(4), 169–174.
- Nguyen A.-Qu., Husemann K., Oettel W. 2002. Comminution behaviour of an unconfined particle bed. Minerals Eng. 15(1–2), 65–74.
- Rahman M. S. (ed.), 2009. Food properties handbook, second edition. CRC Press, Taylor and Francis Group, ISBN: 978-0-8493-5005-4.
- Różyło R., Gawlik-Dziki, U., Dziki D., Jakubczyk A., Karaś M., Różyło K., 2014. Wheat bread with pumpkin (*cucurbita maxima* L.) pulp as a functional food product. Food Technol. Biotechnol. 52(4), 430–438.



- Rudy S., Dziki D., Krzykowski A., Gawlik-Dziki U., Polak R., Różyło R., & Kulig R., 2015. Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*vaccinium macrocarpon ait.*). *LWT – Food Sci. Technol.* 63(1), 497–503.
- Śledź M., Nowacka M., Wiktor A., Witrowa-Rajchert D., 2013. Selected chemical and physico-chemical properties of microwave-convective dried herbs. *Food and Bioproducts Processing* 9(1), 421–428.
- Witrowa-Rajchert D., Wiktor A., Śledź M., Nowacka M., 2014. Selected emerging technologies to enhance the drying process: A review. *Drying Technol.* 32(11), 1386–1396.

## THE EFFECT OF SIZE REDUCTION OF SELECTED VEGETABLES ON THE CONVECTION DRYING PROCESS AND SUSCEPTIBILITY THE DRIED PRODUCT TO FRAGMENTATION

**Summary.** Drying and grinding are two basic processes in food processing, where the final result is determined by either the properties of the raw material and processing parameters. The aim of the study was to analyze the influence of vegetables size reduction on the kinetics of convection drying and grinding process of dried materials. The potato tubers and carrot roots were used for investigations. Before measurements the moisture content of raw materials was evaluated and the samples were cut into slices (2.5 cm diameter and 3.0 mm thick) and strips with the shape of parallelepipeds ( $0.30 \times 0.35 \times 2.5$  cm). The drying was carried out in a single layer, using an air temperature of 60°C and flow rate  $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . The Henderson and Pabis model was used for describing the drying kinetics. The dried samples were comminuted by using the laboratory knife mill. The sieving test was used to determine the size distribution of the pulverized material and the average particle size was calculated. Besides, the grinding energy indices were determined. The experiment was performed in triplicate. The obtained data was further subjected to a statistical analysis and the consequent evaluations were analyzed for a variance analysis. It was found that both in the case of carrots and potatoes increasing the area of samples before drying (approximately about 50%) decreased several times the drying period. The drying time of potatoes was shorter than drying period of carrot. Dried potatoes and carrots were characterized by similar susceptibility to fragmentation, although a slightly lower grinding energy requirements were obtained for the raw material in the form of strips. The average particle size of ground material changed from 0.340 to 0.404 mm in the case of potato and carrots strips, respectively and from 0.475 mm to 0.514 mm in the case of potato and carrot slices, respectively. Sokolowski's grinding index ranged from  $81 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\text{mm}^{0.5}$  (carrot strips) to  $90 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\text{mm}^{0.5}$  (potato slices). The study showed that the size reduction of vegetables before drying had especially significant effect on the drying process and to a much lesser extent influenced on the grinding process of dried material.

**Key words:** carrot, tomato, drying, grinding, energy requirements