

## BADANIE PRZEBIEGU ZMIAN OBJĘTOŚCI PLASTERKÓW KORZENIA PIETRUSZKI PODCZAS SUSZENIA I NAWILŻANIA

*Krzysztof Górnicki, Agnieszka Kaleta, Aneta Wierzbicka, Sylwia Pacak-Żuk*

Wydział Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa  
e-mail: krzysztof\_gornicki@sggw.pl

**Streszczenie.** Badano przebieg zmian objętości plasterków korzenia pietruszki podczas suszenia i nawilżania. Grubość plasterków wynosiła 3, 6 i 9 mm, temperatura suszenia 50, 60 i 70°C, temperatura rehydracji zaś 20°C. Suszenie przeprowadzane w suszarce laboratoryjnej trwało do uzyskania stałej masy suszu. Proces rehydracji w wodzie destylowanej trwał 6 godzin. Oznaczenie objętości suszonych i rehydratowanych plasterków wykonano metodą wyporu w eterze naftowym. Badania wykazały wpływ grubości plasterków i temperatury suszenia na przebieg zmian objętości suszu podczas nawilżania. Temperatura suszenia wpływa również na zmiany objętości plasterków podczas suszenia, natomiast wpływ grubości plasterków jest nieznaczny. Żadna z rehydratowanych próbek nie osiągnęła stanu surowca przed suszeniem. Dla tej samej zawartości wody objętość próbki suszonej była zawsze wyższa od objętości próbki nawilżanej.

**Słowa kluczowe:** grubość plasterków, temperatura, suszenie, rehydracja, pietruszka

### WSTĘP

Suszenie jest najprostszym sposobem konserwowania produktów żywnościowych. Polega ono na usunięciu wody z surowca, co powoduje zahamowanie wzrostu i rozwoju mikroorganizmów oraz hamuje reakcje enzymatyczne, dzięki czemu okres przechowywania, przy zachowaniu odpowiednich warunków, może być znacznie przedłużony. Jednocześnie jednak proces suszenia powoduje wiele niekorzystnych zmian w strukturze komórkowej suszonego produktu, takich jak skurcz, zmiana tekstury, pogorszenie wartości odżywczej i cech sensorycznych (Lewicki 1998).

Jedną z najbardziej niekorzystnych zmian fizycznych zachodzących podczas suszenia żywności jest zmniejszenie jej objętości. Utrata wody i ogrzewanie powoduje bowiem powstawanie naprężeń w strukturze komórkowej produktu żywnościowego co prowadzi do tzw. skurczu czyli zmiany kształtu produktu i zmniejsze-

nia jego wymiarów (Mayor i Sereno 2004). Jeśli zjawisko skurczu nie przebiega równomiernie podczas całego procesu suszenia, może ono prowadzić dodatkowo do powstawania w materiale pęknięć i szczelin (Akiyama i Hoyakawa 2000). Wielkość skurczu zależy od początkowej struktury materiału oraz budowy morfologicznej i składu chemicznego jego tkanki (Kerdpi boon i in. 2007, Lewicki i in. 1994, Nowak i in. 1998, Yan i in. 2008). Na skurcz wpływają również warunki prowadzenia procesu suszenia, takie jak sposób suszenia (Koç i in. 2008, Panyawong i Devahastin 2007). Badania wpływu temperatury suszenia (Del Valle i in. 1998, Hatamipour i Mowla 2002, Kerdpi boon i in. 2007, Mc Minn i Magee 1997a, Wang i Brennan 1995), prędkości suszącego powietrza (Hatamipour i Mowla 2002, Kerdpi boon i in. 2007, Khraisheh i in. 1997, Ochoa i in. 2007, Ratti 1994) czy względnej wilgotności suszącego powietrza (Lang i Sokhansanj 1993, Ochoa i in. 2007, Ratti 1994) na wielkość skurczu produktów żywnościowych nie dały jednoznacznej odpowiedzi na pytanie o charakter tego wpływu.

Skurcz określa się jako względną zmianę (w odniesieniu do stanu surowca przed suszeniem) objętości, powierzchni lub wymiaru liniowego materiału w funkcji, najczęściej, względnej zmiany zawartości wody. Przegląd proponowanych w literaturze zależności można znaleźć m.in. w pracy Hatamipour i Mowli (2002), Kalety i Górnickiego (2002) i Mayora i Sereno (2004).

Zjawisko skurczu wpływa również negatywnie na proces rehydratacji suszonego produktu, zmniejszając zdolność tkanek wysuszonego materiału do chłonięcia wody (Jayaramann i in. 1990, Krokida i Marinos-Kouris 2003, Mayor i Sereno 2004). Tymczasem wiele suszonych produktów jest spożywanych lub przemysłowo przetwarzanych po ich wcześniejszym uwodnieniu. Dlatego też jest ważne, aby otrzymać susz w takich warunkach, które w jak największym stopniu umożliwią późniejszy powrót rehydratowanego materiału do właściwości, jakimi charakteryzował się surowiec.

Podczas rehydratacji występują jednocześnie trzy następujące procesy: chłonięcie wody przez tkanki wysuszonego materiału, w wyniku czego zwiększa on swoją masę i objętość, co jest zmianą pozytywną oraz wypłukiwanie substancji rozpuszczonych w wodzie (cukrów, kwasów, minerałów, witamin) z rehydratowanego materiału, co jest zmianą niekorzystną (Lewicki 1998, Mc Minn i Magee 1997b).

W literaturze przedmiotu jest niewiele prac, które rozpatrują proces suszenia produktów spożywczych a następnie rehydratacji otrzymanego suszu (Kerdpi boon i in. 2007, Maskan 2001, Singh i in. 2008). Poza tym wyników badań uzyskanych dla jednego produktu nie można przenieść na inny. Powodem są różnice w strukturze i właściwościach, które są charakterystyczne dla każdego produktu i które decydują o charakterze przebiegu procesu suszenia i rehydratacji.

Celem pracy jest analiza wpływu rozdrobnienia cząstek i temperatury ich konwekcyjnego suszenia na przebieg zmian objętości plasterków korzenia pietruszki podczas suszenia i nawilżania. W literaturze jest brak obszerniejszych badań na ten temat.

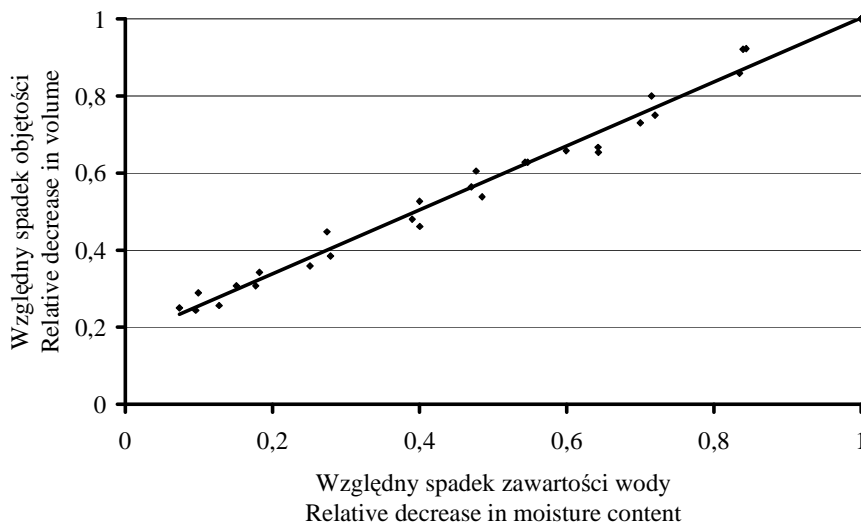
#### MATERIAŁ I METODY

Bo badań wykorzystano oczyszczone korzenie pietruszki odmiany Berlińska. Korzeń pietruszki był krojony w plastry o grubości 3, 6 i 9 mm. Temperatura powietrza suszącego w suszarce wynosiła 50, 60 i 70°C, temperatura rehydratacji zaś 20°C. Suszenie przeprowadzono w suszarce laboratoryjnej i trwało ono do uzyskania stałej masy suszu. Ubytki masy rejestrowano z dokładnością 0,01 g przy użyciu programu komputerowego. Pomiary wykonano w trzech powtórzeniach. Proces rehydratacji przeprowadzono w wodzie destylowanej przez 6 h. Po 0,5 h, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 5 h i 6 h rehydratowaną próbkę oddzielano od wody, osuszano bibułą i ważono z dokładnością 0,01 g. Pomiary wykonano w trzech powtórzeniach. Oznaczenie objętości suszonych i rehydratowanych plasterków wykonano metodą wyporu w eterze naftowym. Maksymalny błąd względny wyznaczania objętości wynosił 5%. Wykonywano dziesięć oznaczeń objętości podczas jednego procesu suszenia, zaś podczas rehydratacji oznaczano objętość po 0,5 h, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 5 h i 6 h trwania nawilżania. Pomiary wykonano w trzech powtórzeniach. Zawartość suchej substancji oznaczono metodą suszarkową.

Za pomocą programu Statistica sporządzono wykresy względnego spadku objętości plasterków pietruszki (w stosunku do objętości materiału przed suszeniem) podczas suszenia oraz przyrostu objętości i względnego przyrostu objętości suszu z korzenia pietruszki (w stosunku do objętości materiału przed suszeniem) podczas rehydratacji oraz wykonano aproksymację danych eksperymentalnych równaniami liniowymi.

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy wykres przebiegu zmian względnego spadku objętości plasterków pietruszki o grubości 6 mm podczas suszenia w temperaturze 70°C. Z wykresu tego wynika, że postać liniowa, którą aproksymowano uzyskane wyniki trzech powtórzeń względnego spadku objętości w funkcji względnego spadku zawartości wody (w stosunku do zawartości wody w materiale przed suszeniem) daje dobre wyniki, gdyż współczynnik determinacji wynosi 0,990. Równanie aproksymowało pozostałe wyniki badań również z dobrą dokładnością, współczynnik determinacji przyjmował bowiem wartości od 0,962 do 0,990.

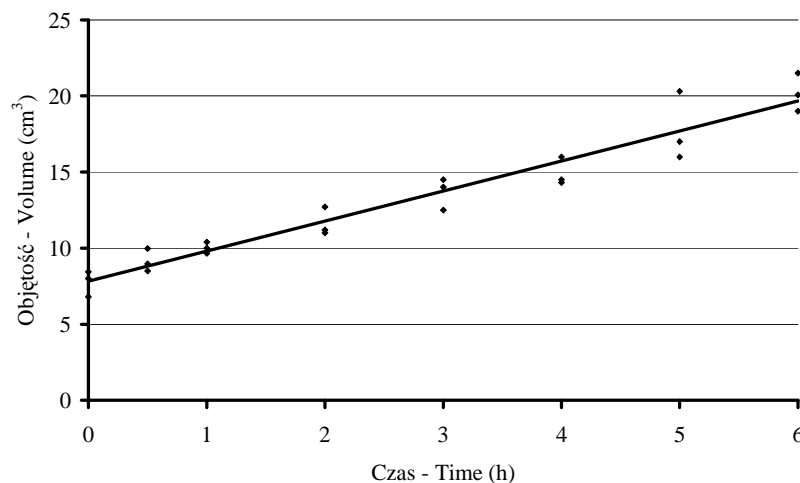


**Rys. 1.** Względny spadek objętości materiału podczas suszenia (plasterki pietruszki o grubości 6 mm, suszone w temperaturze 70°C)

**Fig. 1.** Relative decrease in volume of parsley root slices (slices 6 mm thick dried at 70°C) during drying

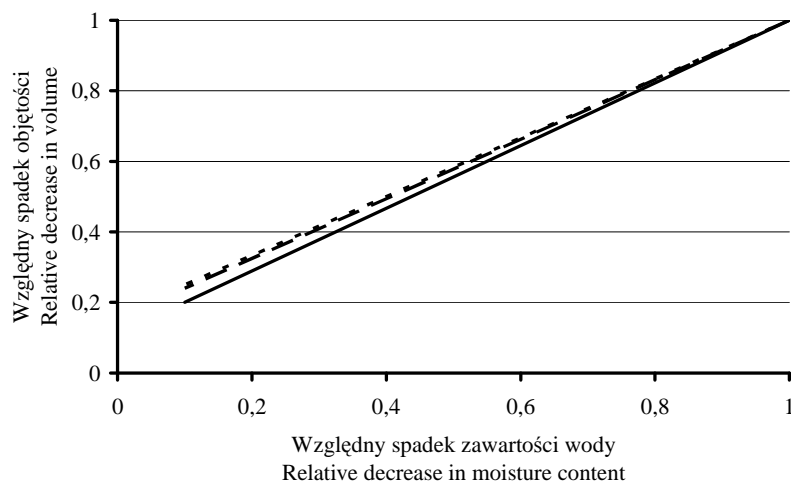
Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy wykres przyrostu objętości materiału suszonego (plasterki pietruszki o grubości 9 mm suszone w temperaturze 50°C) podczas rehydratacji. Z wykresu tego wynika, że postać liniowa, którą aproksymowano uzyskane wyniki trzech powtórzeń przyrostu objętości w czasie daje dobre wyniki, gdyż współczynnik determinacji wynosi 0,924. Zaproponowane równanie aproksymowało pozostałe wyniki pomiarów również z dobrą dokładnością, gdyż współczynnik determinacji przyjmował wartości od 0,899 do 0,958. Aproksymacja danych doświadczalnych względnego przyrostu objętości suszu korzenia pietruszki podczas rehydratacji w funkcji względnego przyrostu zawartości wody (względem zawartości wody w materiale przed suszeniem) równaniem liniowym również dała dobre wyniki bowiem współczynnik determinacji przyjmował wartości od 0,876 do 0,946.

Wpływ temperatury suszenia plasterków pietruszki o grubości 6 mm na względny spadek ich objętości podczas suszenia ilustruje rysunek 3. Zauważalny jest większy skurcz plasterków suszonych w temperaturze 50°C, natomiast można przyjąć, że skurcz w temperaturze 60 i 70°C jest taki sam. Badania wykazały również, że wpływ grubości plasterków na skurcz jest nieznaczny.



**Rys. 2.** Przyrost objętości materiału suszonego (plasterki pietruszki o grubości 9 mm, suszone w temperaturze 50°C) podczas rehydracji

**Fig. 2.** Increase in volume of dried parsley root (slices 9 mm thick dried at 50°C) during rehydration

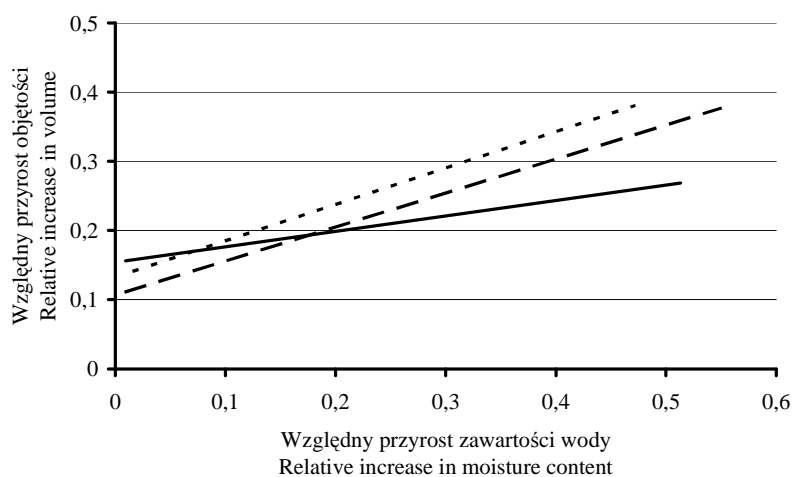


**Rys. 3.** Zależność względnego spadku objętości plasterków pietruszki o grubości 6 mm podczas suszenia od temperatury suszenia: (—) 50°C, (---) 60°C, (-·-) 70°C

**Fig. 3.** Dependence of relative decrease in volume of 6 mm thick parsley root slices during drying on drying temperature: (—) 50°C, (---) 60°C, (-·-) 70°C

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ temperatury suszenia plasterków o grubości 3 mm na względny przyrost objętości suszu z korzenia pietruszki podczas

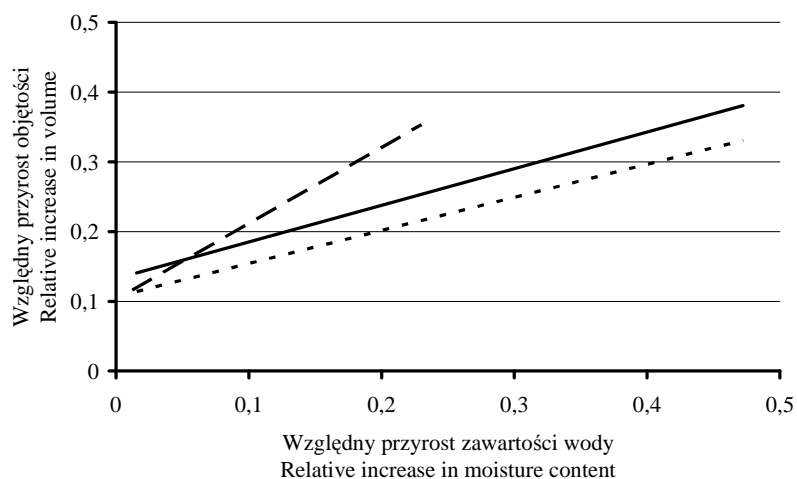
rehydratacji. Analogiczne zależności uzyskano dla plasterków o grubości 9 mm. Można zauważyć, że w początkowym okresie nawilżania najmniejszy względny przyrost objętości występuje dla plasterków suszonych w temperaturze 70°C, natomiast przyrost ten dla plasterków suszonych w temperaturze 50 i 60°C jest porównywalny. W dalszym etapie trwania procesu największy względny przyrost objętości wykazują plasterki suszone w temperaturze 60°C, najmniejszy zaś plasterki suszone w temperaturze 50°C. Przebieg względnego przyrostu objętości podczas rehydratacji plasterków o grubości 6 mm jest inny. W początkowym okresie nawilżania przyrost ten jest najszybszy dla temperatury 70°C, zaś w dalszym etapie procesu najszybszy dla temperatury 50°C, a najwolniejszy dla 60°C.



**Rys. 4.** Zależność względnego przyrostu objętości suszu z korzenia pietruszki podczas rehydratacji od temperatury suszenia plasterków o grubości 3 mm: (—) 50°C, (- - -) 60°C, (- · -) 70°C

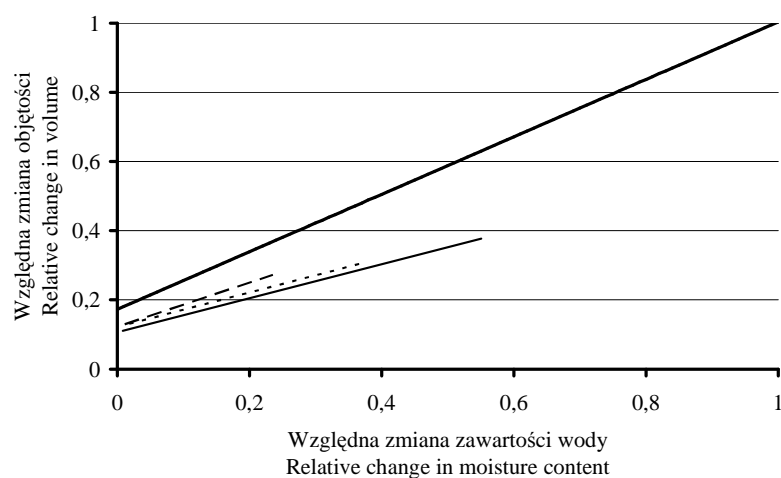
**Fig. 4.** Dependence of relative increase in volume of dried parsley root slices during rehydration on drying temperature of 3 mm thick slices: (—) 50°C, (- - -) 60°C, (- · -) 70°C

Wpływ grubości plasterków suszonych w temperaturze 60°C na względny przyrost objętości suszu z korzenia pietruszki podczas rehydratacji ilustruje rysunek 5, suszonych zaś w temperaturze 70°C rysunek 6. Analizując przebieg tych zmian można zauważyć, że dla plasterków o grubości 9 mm przyrost ten przebiega najszybciej, dla plasterków zaś o grubości 3 i 6 mm można uznać, że jest porównywalny. Analogicznie omawiane zmiany przebiegają dla plasterków suszonych w temperaturze 50°C. Na rysunku 6 przedstawiono również przebieg skurczu plasterków pietruszki podczas suszenia w temperaturze 70°C. Widać, że dla tej samej zawartości wody objętość próbki suszonej była zawsze wyższa od objętości próbki nawilżonej. Jednocześnie z przeprowadzonych badań wynika, że żadna z rehydratowanych próbek nie osiągnęła stanu surowca przed suszeniem.



**Rys. 5.** Zależność względnego przyrostu objętości suszu z korzenia pietruszki podczas rehydratacji od grubości plasterków suszonych w temperaturze 60°C: (—) 3 mm, (---) 6 mm, (- - -) 9 mm

**Fig. 5.** Dependence of relative increase in volume of dried parsley root slices during rehydration on thickness of slices dried at 60°C: (—) 3 mm, (---) 6 mm, (- - -) 9 mm



**Rys. 6.** Względna zmiana objętości plasterków pietruszki (suszonych w temperaturze 70°C) podczas suszenia i rehydratacji: (—) rehydratacja plasterków o grubości 3 mm, (---) rehydratacja plasterków o grubości 6 mm, (- - -) rehydratacja plasterków o grubości 9 mm, (—) suszenie

**Fig. 6.** Relative change in volume of parsley root slices (dried at 70°C) during drying and rehydration: (—) rehydration of slices 3 mm thick, (---) rehydration of slices 6 mm thick, (- - -) rehydration of slices 9 mm thick, (—) drying

Uzyskane wyniki sugerują, że podczas suszenia nastąpiły w tkance pietruszki nieodwracalne zmiany, które zmniejszyły zdolność wchłaniania i utrzymywania wody.

#### WNIOSKI

1. Aproksymacja danych doświadczalnych względnego spadku objętości plasterków pietruszki podczas suszenia i względnego przyrostu objętości suszu z korzenia pietruszki podczas rehydratacji zaproponowanymi równaniami liniowymi daje dobre wyniki gdyż współczynnik determinacji przyjmował wartości od 0,962 do 0,990 i od 0,876 do 0,946.

2. Temperatura suszenia wpływa na względny spadek objętości plasterków pietruszki podczas suszenia, najniższe wartości, a więc największy skurcz, występuje dla plasterków suszonych w temperaturze 50°C.

3. Wpływ grubości plasterków pietruszki na względny spadek ich objętości podczas suszenia jest nieznaczny.

4. Temperatura suszenia wpływa na względny przyrost objętości suszu z korzenia pietruszki podczas rehydratacji. Dla plasterków o grubości 3 i 9 mm największy przyrost występuje, gdy były one suszone w temperaturze 60°C, a najmniejszy dla suszonych w temperaturze 50°C. Dla plasterków o grubości 6 mm największy względny przyrost objętości występuje, gdy susz otrzymano w temperaturze 50°C, a najmniejszy, gdy otrzymano go w temperaturze 60°C.

5. Grubość plasterków pietruszki wpływa na względny przyrost ich objętości podczas rehydratacji. Przyrost ten przebiega najszybciej dla plasterków o grubości 9 mm, dla plasterków zaś o grubości 3 i 6 mm jest porównywalny.

6. Żadna z rehydratowanych próbek nie osiągnęła stanu surowca przed suszeniem.

#### PIŚMIENNICTWO

- Akiyama T., Hoyakawa K., 2000. Heat and moisture transfer and hydrophysical changes in elastoplastic hollow cylinder – food during drying. *J. Food Sci.*, 65(2), 315-323.
- Del Valle J.M., Cuadros T.R.M., Aguilera J.M., 1998. Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces. *Food Res. Int.*, 31(3), 191-204.
- Hatamipour M.S., Mowla D., 2002. Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. *J. Food Engng.*, 55, 247-252.
- Jayaraman K.S., Das Gupta D.K., Babu Rao N., 1990. Effect of pretreatment with salt sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. *Int. Food Sci. Technol.*, 25, 47-60.
- Kaleta A., Górnicki K., 2002. Niektóre zagadnienia dotyczące modelowania procesu konwekcyjnego suszenia warzyw i owoców. *Post. Nauk Rol.*, XLIX/LIV, 4/298, 141-154.
- Kerdpiboon S., Devahastin S., Kerr W.L., 2007. Comparative fractal characterization of physical changes of different food products during drying. *J. Food Engng.*, 83 570-580.



- Khraisheh M.A.M., Cooper T.J.R., Magee T.R.A., 1997. Shrinkage characteristics of potatoes dehydrated under combined microwave and convective air conditions. *Drying Technol.*, 15(3/4), 1003-1022.
- Koç B., Eren I., Ertekin F.K., 2008. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying methods. *J. Food Engng.*, 85, 340-349.
- Krokida M.K., Marinos-Kouris D., 2003. Rehydration kinetics of dehydrated products. *J. Food Engng.*, 57(1), 1-7.
- Lang W., Sokhansanj S., 1993. Bulk volume shrinkage during drying of wheat and canola. *J. Food Proc. Engng.*, 16, 305-314.
- Lewicki P.P., 1998. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties. A review. *Int. J. Food Properties*, 1(1), 1-22.
- Lewicki P.P., Witrowa D., Pomarańska-Łazuka W., 1994. Changes of physical properties of drying food materials. [W:] *Developments in food engineering*. T. Yano, R. Matsuno, K. Nakamura (red.), Blackie Academic & Professional, London, 137-139.
- Maskan M., 2001. Drying shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *J. Food Engng.*, 48, 177-182.
- Mayor L., Sereno A.M., 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *J. Food Engng.*, 61, 373-386.
- Mc Minn W.A.M., Magee T.R.A., 1997a. Physical characteristic of dehydrated potatoes – Part I. *J. Food Engng.*, 33, 37-49.
- Mc Minn W.A.M., Magee T.R.A., 1997b. Quality and physical structure of dehydrated starch based system. *Drying Technol.*, 15(6-7), 49-55.
- Nowak D., Witrowa-Rajchert D., Lewicki P.P., 1998. Skurcz objętościowy i zmiana gęstości marchwi i ziemniaka podczas suszenia konwekcyjnego. *Z. Probl. Post. Nauk Rol.*, z. 454, 461-468.
- Ochoa M.R., Kessler A.G., Pirone B.N., Márquez C.A., De Michelis A., 2007. Analysis of shrinkage phenomenon of whole sweet cherry fruits (*Prunus avium*) during convective dehydration with very simple models. *J. Food Engng.*, 79, 657-661.
- Panyawong S., Devahastin S., 2007. Determination of deformation of a food product undergoing different drying methods and conditions via evolution of a shape factor. *J. Food Engng.*, 78, 151-161.
- Ratti C., 1994. Shrinkage during drying of foodstuffs. *J. Food Engng.*, 23(1), 91-105
- Singh G.D., Sharma R., Bawa A.S., Saxena D.C., 2008. Drying and rehydration characteristics of water chestnut (*Tropa natans*) as a function of drying air temperature. *J. Food Engng.*, 87, 213-221.
- Wang N., Brennan J.G., 1995. Changes in structure, density and porosity of potatoes during dehydration. *J. Food Engng.*, 24(1), 61-76.
- Yan Z., Sousa-Gallagher M.J., Oliveira F.A.R., 2008. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *J. Food Engng.*, 84, 430-440.

## CHANGES OF THE VOLUME OF PARSLEY ROOT SLICES DURING DRYING AND REHYDRATION

*Krzysztof Górnicki, Agnieszka Kaleta, Aneta Wierzbicka, Sylwia Pacak-Żuk*

Faculty of Production Engineering, Warsaw University of Life Sciences

ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa

e-mail: krzysztof\_gornicki@sggw.pl

**Abstract.** Changes in the volume of parsley root slices during drying and rehydration were investigated. Samples were cut into slices 3, 6, and 9 mm thick. Temperature of drying air equalled 50, 60, and 70°C. Drying was conducted in laboratory dryer and constant mass was achieved. Rehydration was tested within the range of 0-6 hours in water at 20°C. The volume changes of parsley root slices during drying and rehydration were measured by buoyancy method using petroleum benzine. The investigations showed that slice thickness and drying temperature influence the course of changes in the volume of dried parsley root slices during rehydration. Drying temperature influences the course of changes in the volume of parsley root slices during drying, too, but the influence of slice thickness was slight. None of the rehydrated samples reached the state of the product before drying. For the same moisture content the volume of a dried sample was always higher than the volume of a rehydrated sample.

**Key words:** slice thickness, temperature, drying, rehydration, parsley