

REHYDRACJA SUSZY Z KORZENI PIETRUSZKI I PASTERNAKU

Iwona Sitkiewicz, Monika Janowicz, Joanna Żołnierczuk

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
e-mail: iwona_sitkiewicz@sggw.pl

Streszczenie. W pracy porównano przebieg procesu rehydracji suszy konwekcyjnych z korzeni pietruszki i pasternaku. Rehydrację badanych suszy prowadzono w wodzie o temperaturze pokojowej w czasie od 15 minut do 5 godzin, wyznaczając względny przyrost masy, względny przyrost objętości oraz barwę badanych suszy przed rehydracją oraz materiału po każdym etapie rehydracji. Dane doświadczalne aproksymowano za pomocą równania kinetycznego. Obliczono szybkość względnego przyrostu masy oraz szybkość względnego przyrostu objętości badanych suszy podczas rehydracji. Analiza przebiegu procesu rehydracji wykazała, że większe względne przyrosty masy i objętości występują podczas rehydracji suszy z korzeni pietruszki. Obydwa badane susze podczas pięciogodzinnej rehydracji osiągnęły około 96,5% równowagowej zawartości wody. Dla obydwu badanych suszy stwierdzono, że szybkość względnego przyrostu objętości była wyższa od szybkości względnego przyrostu masy. Porównując barwę badanych suszy będących materiałem do rehydracji, stwierdzono nieznaczne różnice barwy pomiędzy nimi.

Słowa kluczowe: rehydracja, korzenie pietruszki i pasternaku, przyrost masy, przyrost objętości, zmiany barwy

WSTĘP

Rehydracja suszy jest procesem mającym na celu przywrócenie suszonym produktom pierwotnych właściwości surowców, z których zostały otrzymane. Teoretycznie rehydracja jest procesem odwrotnym do suszenia i po jej zakończeniu materiał powinien charakteryzować się takimi samymi właściwościami jak surowiec. Na proces rehydracji składają się dwa zjawiska – wnikanie strumienia wody do wnętrza tkanki (ssanie kapilarne oraz dyfuzja) oraz wypływ niskocząsteczkowych rozpuszczalnych składników suchej substancji do otaczającego roztworu. Strumień wnikającej wody jest znacznie większy niż wypływ rozpuszczalnych składników suchej substancji, stąd efekt pęcznienia, czyli zwiększania objętości

materiału oraz przyrost masy (Lewicki 1998). Nie jest możliwe, aby susz poddany rehydracji wchłonął taką samą ilość wody, jaka została usunięta w czasie suszenia oraz powrócił do początkowej objętości. Przyczyna leży w uszkodzeniach tkanki roślinnej spowodowanych suszeniem oraz w obniżeniu zdolności wiązania wody.

Im większy stopień wysuszenia surowca, tym dłuższy czas jest potrzebny do jego uwodnienia, aby produkt mógł powrócić do zadanej objętości (Lewicki i in. 1994), przy czym największe tempo przyrostu masy stwierdzono na początku procesu rehydracji (przez 2-2,5 h). Na przebieg procesu ponownego uwadniania wpływają cechy surowca (skład chemiczny oraz stopień zniszczenia struktury, stopień rozdrobnienia, kształt, porowatość), zastosowana obróbka wstępna, metoda oraz warunki suszenia, a także parametry samego procesu rehydracji (Witrowa-Rajchert 1999).

MATERIAŁ I METODYKA

Materiałem do badań były susze konwekcyjne, w postaci płatków (o wymiarach przed suszeniem 10×10×2 mm) z korzeni pietruszki i pasternaku, zakupione bezpośrednio od producenta.

Badając właściwości rehydracyjne, do zlewki odważano na wadze technicznej 20 g suszu z dokładnością do 0,001 g. Susz zalewano 500 cm³ wody destylowanej o temperaturze pokojowej (ok. 20°C). Susze uwodnione po upływie 15 min, 30 min, 1, 2, 3, 4, i 5 godzin oddzielano na sicie od wody, osuszano przy pomocy bibuły, ważono i wyznaczano w nich zawartość wody. Pomiar, dla każdego czasu rehydracji, wykonano w dwóch powtórzeniach.

Obliczono względną masę Δm suszy w trakcie rehydracji, a jej zmiany w czasie τ opisano przy pomocy równania kinetycznego (Witrowa-Rajchert 1999):

$$\Delta m = \frac{m_\tau}{m_0} = a + b \cdot \left[1 - \frac{1}{(1 + b \cdot c \cdot \tau)} \right] \quad (1)$$

gdzie: m – masa próbki po rehydracji (g), m_0 – masa początkowa próbki suchej (g), a , b , c – parametry funkcji modelu kinetycznego.

Na podstawie uzyskanych wartości obliczono wartości równowagowe względnego przyrostu masy:

$$\left(\frac{m_\tau}{m_0} \right)_r = a + b \quad (2)$$

Szybkość rehydracji obliczono, jako pochodną modelu kinetycznego (1) przyrostu masy Δm , za pomocą programu TableCurve 2D v3.

Objętość badanych suszy zarówno przed, jak i w trakcie rehydracji wyznaczono zgodnie z metodyką podaną przez Mazza (1983).

Względny przyrost objętości badanych suszy w trakcie rehydracji opisano równaniem analogicznym do równania (1) i obliczono szybkość względnego przyrostu objętości, jako pochodną tego modelu.

Barwę badanych suszy przed rehydracją oraz materiału po każdym etapie rehydracji mierzono kolorymetrem CR-300 firmy Minolta. Barwę określano w systemie CIE $L^* a^* b^*$, dokonując pięciokrotnych odczytów. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono:

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3)$$

gdzie: C – wskaźnik wysycenia barwy, a^* – współczynnik barwy czerwonej, b^* – współczynnik barwy żółtej;

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (4)$$

gdzie: h – ton barwy

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

gdzie: ΔE – bezwzględna różnica barwy (w odniesieniu do barwy suszy przed rehydracją), L^* – parametr jasności barwy, a^* , b^* – parametry chromatyczności, ΔL , Δa , Δb – wskaźniki różnicy barw poszczególnych próbek, w odniesieniu do materiału suszonego.

W celu oceny dokładności pomiarów oraz sprawdzenia, czy otrzymane podczas badań wyniki różnią się od siebie statystycznie istotnie, przeprowadzono analizę statystyczną. Wnioskowanie przeprowadzono na podstawie analizy wariancji (ANOVA) wykonanej w programie Statistica 12.0., która oceniła wpływ czynnika klasyfikującego na wyniki przeprowadzonych eksperymentów. Jeżeli w wyniku analizy wariancji stwierdzono istotności różnic między otrzymanymi wynikami badań, prowadzono ich szczegółową analizę na podstawie testu NIR wybranego z grupy testów specjalnych karty post-hoc programu Statistica 12.0. W wyniku przeprowadzonego wnioskowania udzielono odpowiedzi, które otrzymane w wyniki badań w ramach przeprowadzonych eksperymentów różnią się między sobą istotnie statystycznie. Wszystkie testy przeprowadzono przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

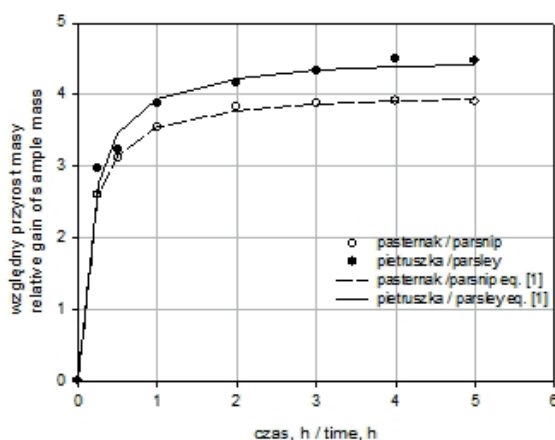
WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono zawartość i aktywność wody oraz gęstość badanych suszy z korzeni pasternaku i pietruszki. Badane susze charakteryzowały się podobnymi wartościami zarówno zawartości, jak i aktywności wody oraz gęstości tkanki.

Tabela 1. Charakterystyka badanych suszy z korzeni pasternaku i pietruszki
Table 1. Characteristics of dried parsley and parsnip roots

Material Material	Zawartość suchej substancji Dry matter content (%)	Aktywność wody Water activity (-)	Gęstość / Density (g·cm ⁻³)
Pasternak / Parsnip	95,361±0,035	0,277±0,004	0,972±0,098
Pietruszka / Parsley	95,094±0,050	0,273±0,003	0,998±0,051

Kinetykę względnego przyrostu masy badanych suszy podczas rehydracji przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Względny przyrost masy badanych suszy podczas rehydracji

Fig. 1. Relative gain of sample mass during rehydration

Aproksymacja równaniem kinetycznym (1) względnego przyrostu masy w trakcie rehydracji badanych suszy z korzeni pasternaku i pietruszki dała zadowalający wynik, o czym świadczą wysokie wartości współczynnika determinacji R^2 (tabela 2).

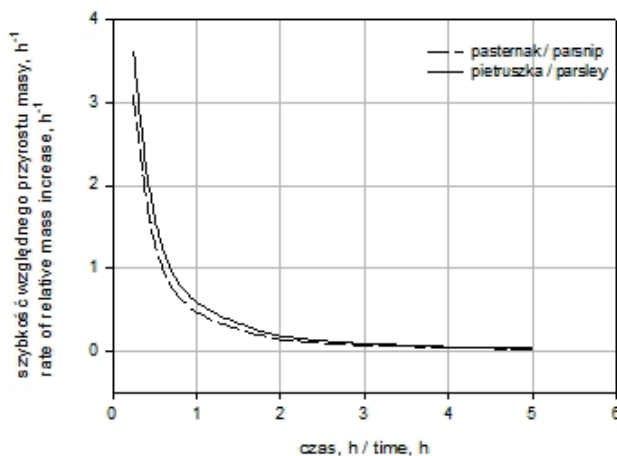
Tabela 2. Wartości współczynników w równaniu kinetycznym (1) opisującym zmiany względnej masy badanych suszy w czasie rehydracji wraz z wartościami współczynnika determinacji R^2 oraz równowagowy względny przyrost masy

Table 2. Values of coefficients in the kinetic equation (1) which describes changes in the relative weight of the dried materials during rehydration, with the values of the coefficient of determination R^2 and the equilibrium relative weight gain

Material Material	Parametry równania kinetycznego (1) Parameters of kinetic equation (1)				
	a	b	c	R^2	$\left(\frac{m_r}{m_0}\right)_r$
Pasternak / Parsnip	0,9964	3,0887	1,4253	0,9989	4,085
Pietruszka / Parsley	1,0221	3,6004	1,0814	0,9928	4,622

Analizując kinetykę względnego przyrostu masy podczas pięciogodzinnej rehydracji badanych suszy z korzeni pasternaku i pietruszki, stwierdzono, że największe zmiany względnego przyrostu masy obu badanych suszy występują w czasie pierwszej godziny rehydracji. Większe względne przyrosty masy ustalono podczas rehydracji suszu z korzeni pietruszki. Obliczona wartość równowagowa względnego przyrostu masy badanych suszy również była wyższa w przypadku rehydracji suszu z korzenia pietruszki i wyniosła 4,622, podczas gdy dla suszu z korzenia pasternaku wyniosła 4,085. Kaleta i in. (2007) poddając rehydracji susz próżniowy z pietruszki w postaci plastrów o grubości 3 mm, uzyskali równowagowy względny przyrost masy, w zależności od temperatury suszenia i ciśnienia w suszarce, od 3,78 do 4,380, natomiast w badaniach Witrowej-Rajchert (1999) dla suszu z korzeni pietruszki w postaci sześciennych kostek o długości boku 10 mm wartość ta wyniosła 5,34.

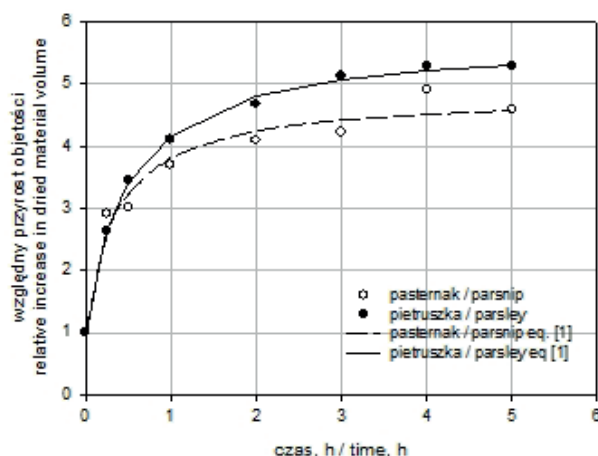
Porównując wartości względnego przyrostu masy po 5. godzinach rehydracji (rys. 1) z obliczonymi wartościami równowagowymi (tab. 2), można stwierdzić, że zarówno susz z korzeni pasternaku jak i pietruszki nie osiągały stanu równowagi. Obydwa badane susze osiągały po pięciogodzinnej rehydracji około 96,5% równowagowej zawartości wody.



Rys. 2. Szybkość względnego przyrostu masy badanych suszy podczas rehydracji
Fig. 2. Rate of relative mass increase during rehydration

Szybkość rehydracji, czyli szybkość względnego przyrostu, dla każdego z badanych suszy osiągała najwyższe wartości na początku procesu i malała do wartości $0,026 \text{ h}^{-1}$ dla pasternaku i $0,033 \text{ h}^{-1}$ dla pietruszki po upływie 5 godzin.

Na rysunku 3 przedstawiono względne zmiany objętości płatków suszy w czasie rehydracji.



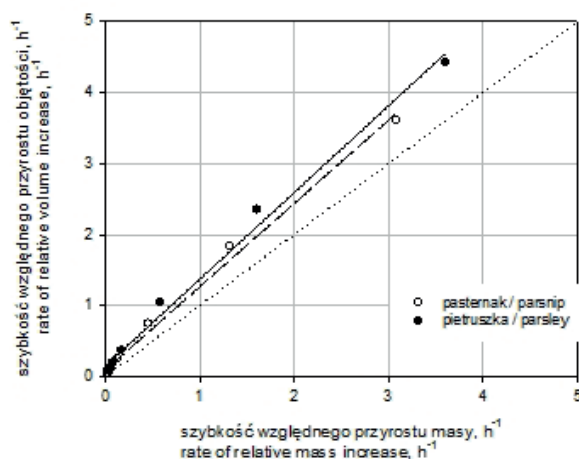
Rys. 3. Względna objętość badanych suszy podczas rehydracji
Fig. 3. Relative increase in dried material volume during rehydration

Największe zmiany objętości kostek podczas rehydracji występowały w czasie 1. godziny rehydracji. Po upływie 15 minut od początku procesu rehydracji względna zmiana objętości płatków suszu z korzenia pasternaku była o 10% większa od względnej zmiany objętości płatków suszu z korzenia pietruszki. Od 30. minuty zaobserwowano wyższe wartości względnej zmiany objętości rehydrowanych płatków suszu z korzenia pietruszki w porównaniu do suszu z korzenia pasternaku. Podczas pierwszej godziny objętość płatków suszu poddanego rehydracji wzrosła 3,7 – krotnie w przypadku pasternaku i nieco ponad 4-krotnie w przypadku pietruszki. Pomiędzy pierwszą a piątą godziną rehydracji zmiany względnej objętości płatków rehydrowanych suszy były mniejsze niż na początku procesu i w rezultacie po pięciogodzinnej rehydracji względna objętość badanego suszu z korzenia pietruszki była większa od względnej objętości suszu z korzeni pasternaku.

Przeprowadzona analiza statystyczna zmian masy oraz objętości potwierdziła istotny wpływ rodzaju warzyw z rodziny selerowatych na przebieg względnych przyrostów masy i objętości w całym badanym zakresie czasu.

W czasie uwadniania suszy następuje przyrost ich objętości oraz zwiększenie masy. Od porowatości tkanek zależy, czy przyrost objętości jest równy ilości wchłoniętej wody. W tkankach o wysokiej porowatości woda wypełnia pory, nie powodując przy tym przyrostu objętości. Z kolei w tkankach charakteryzujących się niską porowatością woda wnika do matrycy ciała stałego i powoduje pęcznienie oraz wzrost jego objętości (Witrowa-Rajchert 1999). Na podstawie pochodnej równania kinetycznego (1) obliczono szybkość względnego przyrostu objętości. Na rys. 4 przedstawiono zależność między szybkością względnego przyrostu masy

a szybkością względnego przyrostu objętości badanych suszy. Dla obydwu badanych suszy stwierdzono, że szybkość względnego przyrostu objętości była wyższa od szybkości względnego przyrostu masy. Oznacza to, że woda penetruje materiał przez części stałe, powodując pęcznienie zawartych w nim biopolimerów i szybszy wzrost objętości niż masy. W pracy badano rehydrację suszy z korzeni pietruszki rozdrobnionych przed suszeniem konwekcyjnym do postaci płatków o wymiarach $10 \times 10 \times 2$ mm. Dla tego materiału w początkowym okresie rehydracji szybkość względnego przyrostu masy wynosiła $3,6 \text{ h}^{-1}$, zaś szybkość względnego przyrostu objętości $4,4 \text{ h}^{-1}$. Witrowa-Rajchert (2003) badając rehydrację suszu z korzeni pietruszki o mniejszym stopniu rozdrobnienia przed suszeniem konwekcyjnym (kostka $10 \times 10 \times 10$ mm), uzyskała, w początkowym okresie rehydracji, o połowę niższe wartości szybkości względnego przyrostu masy. Badania Kalety i in. (2005) oraz Górnickiego (2011) wykazały, że stopień rozdrobnienia oraz blanszowanie surowca przed suszeniem wpływają na kinetykę rehydracji suszu z korzeni pietruszki.



Rys 4. Zależność pomiędzy szybkością względnymi przyrostów masy i objętości
Fig. 4. Relationship between the rates of relative increase of weight and volume

Parametry barwy badanych suszy przedstawiono w tabeli 3. Porównując barwę badanych suszy będących materiałem do rehydracji, stwierdzono nieznaczne różnice barwy pomiędzy nimi. Susz z korzeni pasternaku charakteryzował się wyższą wartością współczynnika jasności ($L^* = 66,79 \pm 4,08$) niż susz z korzeni pietruszki ($L^* = 79,11 \pm 0,12$). Analizując wartości parametrów barwy a^* i b^* oraz ton barwy h^* , stwierdzamy, że barwa suszu z korzeni pietruszki leży w obszarze pomiędzy czerwoną a żółtą, natomiast barwa suszu z korzeni pasternaku w obszarze pomiędzy

żółtą a zieloną. Nasylenie barwy C* suszu z korzeni pietruszki jest większe niż w przypadku suszu z korzeni pasternaku, co pozwala na stwierdzenie, że barwa suszu z korzeni pasternaku jest nieznacznie ciemniejsza niż suszu z korzeni pietruszki.

Tabela 3. Parametry barwy badanych w pracy suszy z korzeni pasternaku i pietruszki

Table 3. Colour parameters of dried parsley and parsnip roots

Czas / Time (min)	Parametry barwy/Color parameters					
	L*	a*	b*	C*	h*(°)	E
Suszu z korzeni pietruszki/ Dried parsley roots						
0	66,79±4,08 ^a	1,85±0,87 ^c	19,65±0,95 ^e	19,734	84,635	–
15	75,74±1,17 ^b	0,14±0,75 ^d	17,76±3,24 ^f	17,758	89,540	9,302
30	75,46±0,74 ^b	-0,05±0,41 ^d	18,50±2,68 ^f	18,503	90,139	8,945
60	76,22±2,16 ^b	-1,20±0,34 ^d	15,38±0,97 ^f	15,421	94,444	10,785
120	74,17±2,19 ^b	-0,76±0,15 ^d	15,55±1,71 ^f	15,571	92,788	8,828
180	72,23±0,54 ^b	-0,16±0,84 ^d	15,63±1,83 ^f	15,631	90,568	7,050
240	70,48±2,05 ^b	-0,56±0,31 ^d	14,05±1,72 ^f	14,056	92,293	7,126
300	72,52±2,03 ^b	-0,23±0,41 ^d	14,32±2,19 ^f	14,322	90,930	8,095
Suszu z korzeni pasternaku / Dried parsnip roots						
0	79,11±0,12 ^A	0,69±0,10 ^{Bd}	14,27±0,14 ^{Cf}	14,29	92,77	–
15	81,01±2,42 ^A	0,01±0,38 ^B	15,3±0,35 ^{Cf}	15,30	89,97	2,28
30	80,09±0,91 ^A	0,25±0,15 ^{Bd}	13,7±1,33 ^{Cf}	13,79	91,02	1,18
60	82,94±0,69 ^A	0,49±0,57 ^{Bd}	14,2±0,66 ^{Cf}	14,26	91,96	3,84
120	80,03±0,42 ^A	0,65±0,29 ^{Bd}	12,9±0,79 ^C	13,01	92,86	1,58
180	80,37±1,45 ^A	0,58±0,24 ^{Bd}	12,9±1,03 ^C	12,95	92,55	1,84
240	81,18±1,16 ^A	0,83±0,11 ^{Bd}	10,4±0,44 ^C	10,46	94,54	4,37
300	80,45±1,61 ^A	1,01±0,27 ^{Bd}	11,7±1,31 ^C	11,77	94,91	2,90

* a, b, c, d, e, f – pietruszka / parsley; A, B, C – pasternak / parsnip – oznaczenie homogeniczności grup w zakresie badanej składowej barwy z rozróżnieniem rodzaju warzyw z rodziny selerowatych / homogeneity of groups within analysed colour component for studied vegetables from the family Apiaceae

W trakcie trwania rehydracji wzrastała wartość współczynnika jasności obydwu badanych suszy, przy czym większe rozjaśnienie stwierdzono w przypadku suszu z korzeni pietruszki ($\Delta L = 5,75$) w porównaniu do suszu z korzeni pasternaku ($\Delta L = 1,31$). Parametry chromatyczności a^* i b^* podczas rehydracji badanych suszy również ulegały zmianie – parametr a^* przesunął się w kierunku barwy zielonej, a wartość parametru b^* ulegała obniżeniu, co oznacza, że malał udział barwy żółtej

w ogólnym odbiorze barwy obu rehydrowanych suszy. Po zakończeniu rehydracji kolor zarówno suszu z korzeni pietruszki, jak i pasternaku można określić jako żółtawo-zielony, przy czym barwa suszu z korzeni pasternaku pozostała dalej nieznacznie ciemniejsza od barwy suszu z korzeni pietruszki. Stwierdzono ponadto, że ogólna zmiana barwy (ΔE) suszu z korzeni pietruszki w trakcie procesu rehydracji była przeszło dwukrotnie większa niż ogólna zmiana barwy suszu z korzeni pasternaku. Wartość tego wskaźnika dla rehydrowanego suszu z korzeni pietruszki ΔE wyniosła około 8, podczas gdy w przypadku pasternaku ΔE wyniosło około 3.

Analiza statystyczna zmian barwy w czasie rehydracji wykazała istotne różnice w jasności (L^*) pomiędzy badanymi rodzajami warzyw z rodziny selerowatych w całym badanym zakresie zmienności czasu rehydracji, co potwierdzono również dla składowej barwy b^* . Jednocześnie nie odnotowano w czasie uwadniania istotnych różnic w zakresie zmienności składowej barwy a^* dla badanych suszy z korzeni pasternaku i pietruszki. Wykazano jedynie istotne różnice w wartości wszystkich określonych parametrów barwy (L^*, a^*, b^*) dla rehydrowanego suszu z pietruszki (niezależnie od czasu procesu) w porównaniu z materiałem wyjściowym (tab. 3).

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że susz z korzeni pietruszki charakteryzuje się lepszymi właściwościami rekonstrykcyjnymi w porównaniu do suszu z korzeni pasternaku ze względu na większe przyrosty masy wody oraz objętości w trakcie procesu. Dla obydwu badanych suszy stwierdzono większą szybkość względnego przyrostu objętości niż względnego przyrostu masy. Barwa suszu z korzeni pasternaku zarówno przed rehydracją, jak i po jej zakończeniu była nieznacznie ciemniejsza niż barwa suszu z korzeni pietruszki.

PIŚMIENNICTWO

- Górnicki K., 2011. Modelowanie procesu rehydracji wybranych warzyw i owoców. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Kaleta A., Górnicki K., Siwińska U., 2005. Wpływ metod obróbki wstępnej stosowanych w procesie konwekcyjnego suszenia na kinetykę rehydracji suszu z korzenia pietruszki. *Acta Scientiarum Polonorum, Technica Agraria*, 4(1), 19-28.
- Kaleta A., Górnicki K., Kościkiewicz A., 2007. Wpływ parametrów suszenia pod obniżonym ciśnieniem na szybkość osiągnięcia stanu równowagi przez rehydratowany susz z korzenia pietruszki. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 17(2), 19-22.
- Lewicki P., 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. *J. Food Eng.*, 36, 81-87.
- Lewicki P.P., Witrowa-Rajchert D., Łazuka W. 1994. Zmiany właściwości rehydracyjnych ziemniaków w procesie suszenia konwekcyjnego. VIII Sympozjum Suszarnictwa Warszawa, 149-162.

- Mazza G., 1983. Dehydration of carrots. Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. *J. Food Technol.*, 18, 113-123.
- Witrowa-Rajchert D., 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.
- Witrowa-Rajchert D., 2003. Badanie zmian objętości suszonej tkanki roślinnej podczas rehydracji. *Acta Agroph.*, 2(4), 867-878.

REHYDRATION OF DRIED ROOTS OF PARSLEY AND PARSNIP

Iwona Sitkiewicz, Monika Janowicz, Joanna Żołnierczuk

Department of Food engineering and Process Management
Faculty of Food Sciences, Warsaw University of Life Sciences, WULS-SGGW
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
e-mail: iwona_sitkiewicz@sggw.pl

Abstract. The aim of the study was to compare the process of rehydration of convection dried roots of parsley and parsnip. Dried samples were rehydrated in water at room temperature over a period of 15 minutes to 5 hours, determining the relative increase in weight and volume and in the colour of the dried materials before and during the rehydration. The experimental data were approximated using the kinetic equation. The relative rates of increase of the weight and volume of the samples were calculated. The analysis of the rehydration process showed that higher relative rates of increase of weight and volume occurred during the rehydration of the dried parsley roots. Both materials tested during the 5-hour rehydration reached approximately 96.5% of equilibrium water content. It was also found out that the rate of relative volume increase was higher than the rate of relative increase in weight for both vegetables. Comparing the colour of the tested material, there was a negligible colour difference between them.

Keywords: rehydration, parsley and parsnip roots, mass gain, increase in volume, color change