

Dr inż. Iwona SITKIEWICZ
Dr hab. inż. Monika JANOWICZ
Mgr inż. Justyna KADZIŃSKA
Mgr inż. Agata KRUPIŃSKA

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

WPŁYW METODY SUSZENIA NA PRZEBIEG REHYDRACJI SUSZY Z KORZENI PIETRUSZKI I PASTERNAKU®

The effect of drying methods on the rehydration of parsley and parsnip roots®

Słowa kluczowe: rehydracja, susz korzeni pietruszki i pasternaku, zmiany masy i objętości podczas rehydracji, współczynnik dyfuzji wody.

Korzenie pietruszki i pasternaku wysuszone metodą konwekcyjną, konwekcyjno-mikrofalową i konwekcyjno-próżniową poddano rehydracji w wodzie. Stwierdzono wpływ metody suszenia na przebieg procesu rehydracji. Susz z korzeni pietruszki charakteryzował się lepszymi właściwościami rekonstrycyjnymi w porównaniu do suszu z korzeni pasternaku, a suszenie konwekcyjno-próżniowe okazało się najlepszą z badanych metod suszenia.

Key words: rehydration, dried parsley and parsnip roots, mass and volume change during rehydration, water diffusion.

The roots of parsley and parsnip dried by convection, microwave- convection and vacuum-convection were then rehydrated in water. The effect of drying methods on the rehydration process was studied. Dried of parsley roots were characterized by better reconstitutive properties than dried parsnip roots. Convection-vacuum was the best method for drying parsley and parsnip roots.

WSTĘP

W krajach rozwiniętych, w związku ze zmianą trybu życia społeczeństwa, coraz bardziej poszukiwana i ceniona staje się tzw. żywność wygodna, a wśród niej suszone warzywa. Jednym z najważniejszych dostawców suszy warzywnych w skali unijnej jest Polska.

Proces rehydracji jest odwrotnością suszenia i często jest etapem bezpośrednio poprzedzającym konsumpcję suszy owocowych i warzywnych. W czasie uwadniania surowiec nie jest w stanie wchłonąć takiej ilości wody, jaką usunięto w procesie jego suszenia. W wyniku uszkodzeń struktury tkanki surowca w trakcie suszenia, zmniejsza się zdolność wchłaniania wody, a uwadniany produkt traci część suchej substancji i nie jest w stanie powrócić do objętości początkowej [16].

Przebieg procesu rehydracji suszy owocowych i warzywnych był przedmiotem wielu doniesień naukowych na przestrzeni ostatnich lat. Rehydrację suszy badali między innymi: na przykładzie truskawek Ciurzyńska i wsp. [2], Piotrowki i Godlewska [11] oraz Paślawska i Pełka [10], na przykładzie jabłek Chojińska i wsp. [1], Zura-Bravo i wsp. [18] oraz Kaleta i wsp. [6], na przykładzie dyni Seremet i wsp. [12], na przykładzie warzyw korzeniowych, głównie korzeni pietruszki, Sitkiewicz i wsp. [13], Stępień i wsp. [14] oraz Kaleta i wsp. [5].

Przebieg procesów usuwania oraz absorbowania wody zależy od wielu czynników – właściwości materiału (skład,

struktura, wielkość cząstek i ich kształt), jego wstępnego przygotowania (obróbka wstępna: blanszowanie, odwadnianie osmotyczne, nietermiczne metody permeabilizacji tkanki roślinnej – HHP, sonikacja, PEF, itd.), parametrów oraz metody odwadniania i ponownego uwadniania.

Technologia i parametry procesu suszenia istotnie wpływają na stopień i szybkość procesu ponownego uwodnienia materiału. Odwadnianie sprawia, że następuje obniżenie zdolności wchłaniania i utrzymywania wody w materiale roślinnym. Im większy stopień zmian powstałych w czasie suszenia, tym mniejsza ilość wody, jaką surowiec może wchłonąć w czasie rehydracji. Spośród stosowanych metod suszenia, suszenie konwekcyjne wywołuje największe zmiany w suszu w porównaniu do surowca wyjściowego. Stąd też susze konwekcyjne, w porównaniu do suszy otrzymanych przy zastosowaniu innych metod suszenia, takich jak suszenia sublimacyjne, mikrofalowe, próżniowe lub metod kombinowanych, podczas rehydracji wchłaniają najmniejsze ilości wody [2, 4, 15]. Im wyższa temperatura suszenia konwekcyjnego tym niższy stopień rehydracji suszy [12].

Wraz z obniżeniem ciśnienia procesu suszenia następuje zwiększenie zdolności pochłaniania wody przez susz. Wykazano, że truskawki odwodnione próżniowo osiągnęły po rehydracji tym wyższe zawartości wody i przyrosty masy im niższe było ciśnienie w suszarce [2]. Również Kaleta i wsp. [4] podczas rehydracji suszu korzenia pietruszki wykazali, że wzrost masy uzyskanego w temperaturze 40°C i ciśnieniu niższym od atmosferycznego o 0,02MPa zwiększa się

Adres do korespondencji – Corresponding author: Iwona Sitkiewicz, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa, e-mail: Iwona_sitkiewicz@sggw.pl

w trakcie rehydracji aż prawie 4-krotnie, zaś masa suszu uzyskanego w temperaturze 30°C oraz ciśnieniu niższym o 0,01 MPa zwiększa się ponad 3-krotnie.

Powtarzalność oraz zapewnienie wymaganej jakości produktów jest ważne dla przemysłu spożywczego ze względu na konieczność zaspokojenia rosnących wymagań konsumentów, co do cech organoleptycznych i funkcjonalnych otrzymanej żywności, jak również ze względów ekonomicznych i środowiskowych. Aby otrzymać produkty o założonych właściwościach konieczne jest poznanie i wyjaśnienie kinetyki przebiegu procesów dyfuzyjnych zachodzących w czasie obniżania zawartości wody w materiale (suszenie), jak i jego ponownego uwadniania (rehydracja).

Pietruszka i pasternak są warzywami należącymi do rodziny selerowatych. Susze z korzeni tych warzyw wchodzi w skład mieszanek warzywnych stosowanych jako dodatek do koncentratów zup i sosów. Świeże korzenie tych warzyw są podobne ale mają różny smak. Popularność pasternaku w Polsce obecnie rośnie, chociaż obydwie korzenie były uprawiane od dawna, a korzeń pasternaku, jako warzywa mniej wymagającego w uprawie i tańszego, często zastępował korzeń pietruszki w składzie suszonych mieszanek warzywnych. Istotną kwestią jest więc zdolność suszy z korzeni obu warzyw do rehydracji.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących wpływu metody suszenia korzeni pietruszki i pasternaku na przebieg procesu ich rehydracji.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem do badań były średniej wielkości korzenie pietruszki odmiany Berlińska zakupione w lokalnym supermarkecie oraz pasternaku odmiany White pochodzące z gospodarstwa rolnego w okolicach Sochaczewa. Warzywa pokrojono w kostki o boku 10 mm i poddano suszeniu trzema metodami:

- konwekcyjnie (SK) w temperaturze 60°C przy prędkości przepływu powietrza 1,5 m/s,
- konwekcyjnie-mikrofalowo (SKM) w temperaturze 60°C przy mocy mikrofal 100 W,

- konwekcyjnie-próżniowo (SKP) w temperaturze 60°C przy ciśnieniu równym 4 kPa.

Warzywa suszono do uzyskania stałej masy suszu. Właściwości otrzymanych suszy użytych do badania procesu rehydracji przedstawiono w tabeli 1.

Badając właściwości rehydracyjne do zlewki odważano na wadze technicznej około 15 g suszy z dokładnością do 0,001 g. Susz zalewano 300 cm³ wody destylowanej o temperaturze pokojowej (ok. 20°C). Susze uwodnione po upływie 15 min, 30 min, 1, 2, 3, 4, i 5 godzinach oddzielano na sicie od wody, osuszano przy pomocy bibuły, ważono i wyznaczano w nich zawartość wody. Pomiary, dla każdego czasu rehydracji, wykonano w dwóch powtórzeniach.

Oznaczono zawartość suchej substancji zgodnie z PN-90/A75101 przed suszeniem, po suszeniu i po każdym etapie rehydracji.

Przyrost masy próbki w czasie rehydracji (d_m , g) obliczono z równania:

$$dm = m_\tau - m_o \quad [1]$$

gdzie: m_τ – masa materiału rehydratowanego po czasie τ [g];

m_o – masa suszu poddanego rehydracji.

Szybkość przyrostu masy suszu w trakcie rehydracji (dd_m , g/s) obliczono z równania:

$$ddm = \frac{dm_\tau - dm_o}{\tau} \quad [2]$$

gdzie: dm_τ – przyrost masy materiału rehydratowanego po czasie τ [g];

dm_o – przyrost masy materiału [g].

Przyrost masy wody w czasie rehydracji (Δu , g/g_{s.s.}) obliczono z równania:

$$\Delta u = \frac{m_\tau \cdot (1 - s.s._\tau) - m_o \cdot (1 - s.s._o)}{m_o \cdot s.s._o} \quad [3]$$

gdzie: $s.s._\tau$ – zawartość suchej substancji w materiale rehydratowanym po czasie τ [ułamek];

$s.s._o$ – zawartość suchej substancji w suszu [ułamek].

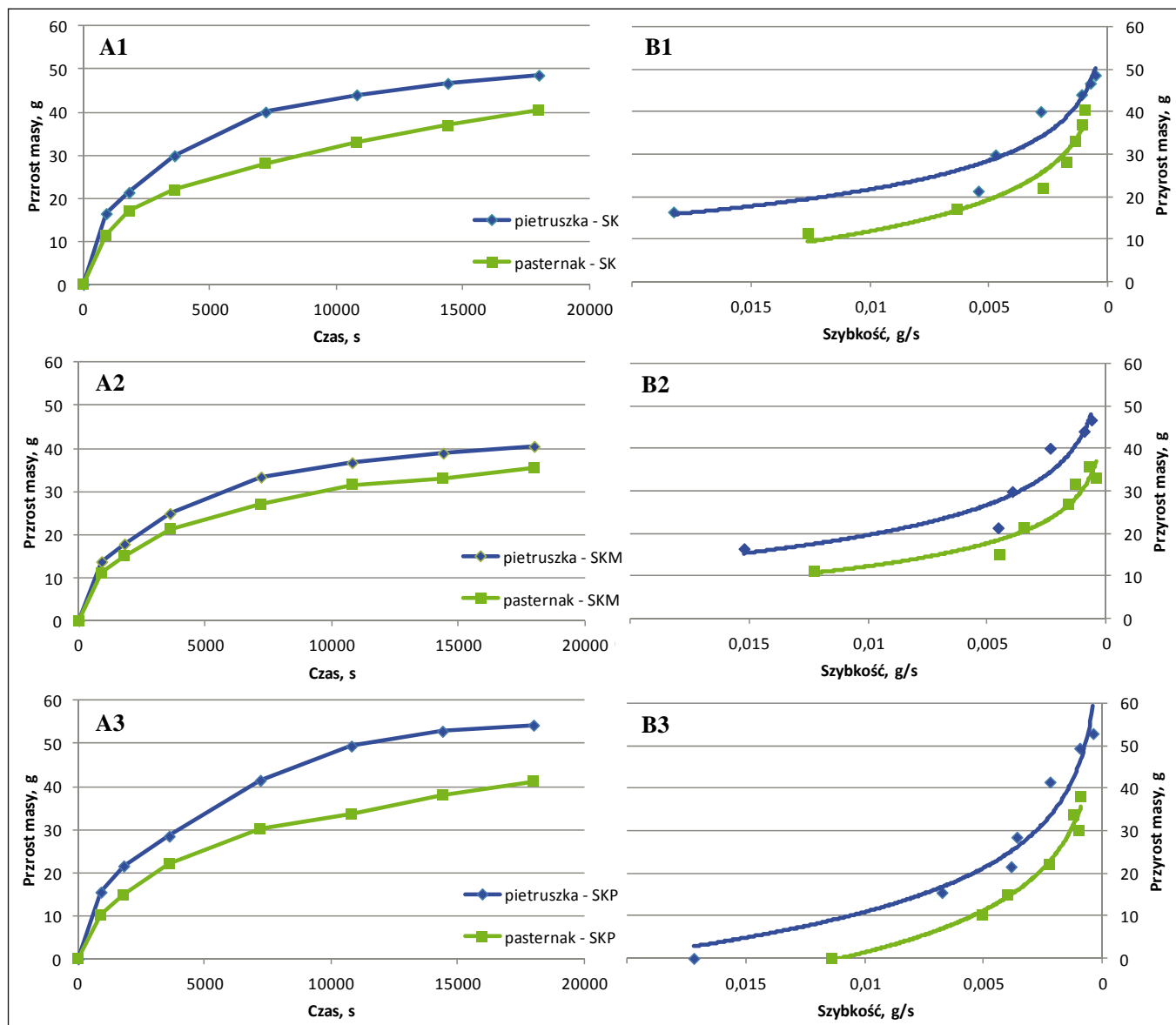
Tabela 1. Charakterystyka badanych suszy z korzeni pietruszki i pasternaku

Table 1. Characteristics of dried parsley and parsnip roots

Surowiec Material	Metoda suszenia Drying method	Masa 1 kostki Weight 1 cubes [g]	Objętość 1 kostki Volume 1 cubes [cm ³]	Gęstość Density [g/cm ³]	Wilgotność Moisture [%]
Pietruszka Parsley	Konwekcyjna Convection (SK)	0,15±0,05	0,27±0,04	0,555±0,055	4,55±0,10
	Konwekcyjno-mikrofalowa Microwave-convection (SKM)	0,14±0,07	0,29±0,03	0,483±0,043	9,40±0,84
	Konwekcyjno-próżniowa Vaccum-convection (SKP)	0,15±0,05	0,25±0,08	0,600±0,075	3,66±0,23
Pasternak Parsnip	Konwekcyjna Convection (SK)	0,19±0,03	0,36±0,04	0,528±0,021	0,15±0,05
	Konwekcyjno-mikrofalowa Microwave-convection (SKM)	0,18±0,04	0,35±0,05	0,514±0,005	11,11±0,23
	Konwekcyjno-próżniowa Vaccum-convection (SKP)	0,22±0,03	0,39±0,07	0,564±0,005	5,25±0,39

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



Rys. 1. Przyrost masy (A) i szybkość przyrostu masy (B) podczas rehydracji suszy z korzeni pietruszki i pasternaku. Metoda suszenia: 1 - konwekcyjna (SK), 2 - konwekcyjno-mikrofalowa (SKM), 3 - konwekcyjno-próżniowa (SKP)

Fig. 1. Mass increase (A) and rate of mass increase (B) during rehydration of dried parsley and parsnip roots. Drying methods: 1 – convective (SK), 2 – microwave – convective (SKM), 3. vacuum – convective (SKP)

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Ilość wody, która wnika do tkanki roślinnej w procesie rehydracji opisano za pomocą równania kinetycznego Pelega [17].

$$\frac{u_r}{u_o} = 1 + \frac{\tau}{(k_1 + k_2 \cdot \tau)} \quad [4]$$

Na podstawie założeń drugiego prawa Ficka, przy przyjęciu warunków początkowych i brzegowych pierwszego rodzaju oraz po uwzględnieniu w równaniu kształtu materiału wyjściowego oraz odpowiednim uproszczeniu zależności, wyznaczono efektywny współczynnik dyfuzji wody D_f z równania wykładniczego (5):

$$MR = \frac{512}{\pi^6} \exp^{-k\tau} \quad [5]$$

gdzie: $MR = \frac{u_r - u_r}{u_o - u_r}$;

u_o, u_r, u_r – zawartości wody w materiale [gH₂O/g_{s.s.}] odpowiednio: początkowa; po dowolnym czasie rehydracji τ ; równowagowa w badanych warunkach rehydracji wyznaczona z równania kinetycznego (4);

$$k = \frac{3\pi^2 D_f}{L^2} ;$$

D_f – efektywny współczynnik dyfuzji wody, m²/s;

L – wymiar charakterystyczny, m.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono na rysunku 1. Zmiany masy w czasie rehydracji badanych suszy z korzeni pietruszki i pasternaku uzyskanych w wyniku suszenia przy pomocy zastosowanych metod suszenia – przedstawiono na rysunkach A1, A2 i A3. Po zróżniczkowaniu tych funkcji po czasie uzyskano funkcje szybkości zmian przyrostów masy w czasie rehydracji (rys. B1, B2 i B3).

Wszystkie badane susze wykazały największy przyrost masy w początkowym okresie rehydracji, natomiast po upływie dwóch godzin uległ on stopniowemu spowolnieniu, co było spowodowane zbliżaniem uwodnionych próbek do stanu równowagi (rys. A1, A2 i A3).

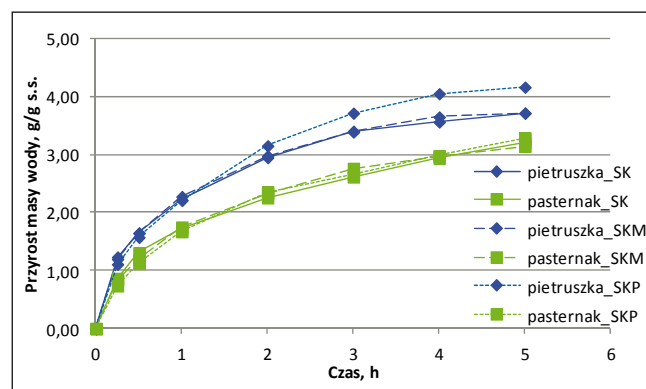
Dla wszystkich zastosowanych metod suszenia, susze z korzenia pietruszki charakteryzowały się większym przyrostem masy próbki w stosunku do suszy z korzenia pasternaku. W przypadku suszenia konwekcyjno-próżniowego przyrost masy suszu z korzenia pietruszki po pięciu godzinach rehydracji wyniósł około 54,3 g, w czasie suszenia konwekcyjnego przyrost był mniejszy i wyniósł około 48,6 g, natomiast w przypadku suszenia konwekcyjno-mikrofalowego przyrost masy suszu podczas rehydracji wyniósł około 40,5 g.

Podobnie jak dla korzeni pietruszki, susz z korzenia pasternaku suszony konwekcyjnie-próżniowo charakteryzował się największym przyrostem masy po pięciogodzinnej rehydracji i wynosił około 41,2 g. Pasternak suszony konwekcyjnie również zwiększył swoją masę w czasie rehydracji o około 40,4 g. Dla suszu z korzenia pasternaku otrzymanego metodą konwekcyjno-mikrofalową przyrost masy w trakcie rehydracji był najmniejszy i wynosił około 35,6 g.

Największą szybkość przyrostu masy w czasie rehydracji uzyskano dla metody konwekcyjnej, zaś najmniejszą dla metody konwekcyjno-mikrofalowej (rys. B1, B2 i B3). Jedyne susz z korzeni pasternaku otrzymany metodą konwekcyjno-próżniową po uwodnieniu osiągnął masę większą niż charakteryzował się surowiec przed suszeniem (tab. 2).

Kostki pietruszki wysuszone metodą konwekcyjną, konwekcyjno-mikrofalową oraz konwekcyjno-próżniową po uwodnieniu osiągnęły kolejno około 85,9, 85,9 i 98,7% masy kostek przed poddaniem temu zabiegowi, natomiast pasternak około 90,1, 88,9 i ponad 104,9%.

Na rysunku 2 przedstawiono, obliczony z równania (3) przyrost masy wody wchłanianej przez materiał.



Rys. 2. Wpływ metody suszenia na wartości względnego przyrostu masy podczas rehydracji suszy.

Fig. 2. Effect of drying methods on relative mass increase during rehydration.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Największe przyrosty masy wody stwierdzono dla suszy z korzeni pietruszki. Dla uwadnianych suszy z korzeni pietruszki największym przyrostem masy wody, wynoszącym około 4,2 gH₂O/g_{s.s.} po 5 godzinach, charakteryzował się susz konwekcyjno-próżniowy. W przypadku pozostałych metod suszenia przyrosty masy wody po 5 godzinach rehydracji kształtowały się na poziomie 3,7 gH₂O/g_{s.s.} (rys. 2). Wpływ metody suszenia na rehydrację suszy z korzeni pietruszki odmiany *Eagle F1* badali także Stępień i wsp. [14]. Zaobserwowali mniej intensywne wchłanianie wody w przypadku suszy otrzymanych metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia w porównaniu do suszy otrzymanych metodą suszenia konwekcyjnego. Natomiast Kaleta i wsp. [4] badając rehydrację suszy z korzeni pietruszki odmiany *Berlińska* wykazali dobre właściwości rehydracyjne suszy uzyskanych pod obniżonym ciśnieniem – względny przyrost masy suszy wynosił 3,28-3,96 w zależności od temperatury suszenia oraz ciśnienia.

W przypadku suszy otrzymanych z korzeni pasternaku największe przyrosty masy wody uzyskano dla suszu konwekcyjno-próżniowego, dla którego wzrost masy wody po 5 godzinach rehydracji wyniósł około 3,3 gH₂O/g_{s.s.} Susze otrzymane metodą konwekcyjną i konwekcyjno-mikrofalową wykazały przyrost masy wody około 3,2 oraz 3,1 gH₂O/g_{s.s.}

Tabela 2. Przyrost masy i objętości 1 kostki w czasie rehydracji

Table. 2. Mass and volume increase of 1 cubes during rehydration

Surowiec Material	Masa 1 kostki przed suszeniem/ Weight 1 cube befor drying [g]	Objętość 1 kostki przed suszeniem/ Volume 1 cube befor drying [cm ³]	Metoda suszenia /Drying method		
			Masa 1 kostki po 5 godzinach rehydracji/ Weight 1 cube after 5 h rehydration [g]		
			Konwekcyjna/ Convection (SK)	Konwekcyjno-mikrofalowa/ Microwave-convection (SKM)	Konwekcyjno-próżniowa/ Vaccum-concection (SKP)
Pietruszka Parsley	0,78±0,03	0,88±0,02	0,67±0,05	0,67±0,04	0,77±0,04
Pasternak Parsnip	0,81±0,05	0,89±0,03	0,73±0,01	0,72±0,02	0,85±0,02

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Ilość wody, która wnika do tkanki roślinnej w procesie rehydracji opisano za pomocą równania kinetycznego Pelega (4). Obliczone wartości parametrów, wartości równowagowe względnego przyrostu masy ($u_{t \rightarrow \infty} = u_o + \frac{1}{k_2}$, czyli takie, jakie osiągnąłby wysuszony materiał, gdyby proces ponownego uwodnienia trwał nieskończenie długo) oraz wartości współczynników determinacji przedstawiono w tabeli 3.

Analizując wartości równowagowe przyrostu masy wody można stwierdzić, że potencjalne największe możliwości wchłaniania wody posiadał susz konwekcyjno-próżniowy (SKP) z korzeni pietruszki, zaś najmniejsze susz konwekcyjny (SK) z korzeni pasternaku. Dla tych suszy wartość równowagowa przyrostu masy wody wynosiła odpowiednio 5, 10 i 3,73 gH₂O/g_{s.s.}. Zarówno korzenie pietruszki jak i pasternaku suszone konwekcyjnie-próżniowo miały największą szansę na osiągnięcie stanu równowagi. Otrzymane wartości równowagowe przyrostu masy wody dla suszy konwekcyjno-próżniowych (SKP), zarówno pietruszki jak i pasternaku, potwierdzają wyniki uzyskane przez Marabi i Saguy [9], ponieważ ta metoda suszenia prowadzi do uzyskania suszy o większej porowatości w porównaniu do suszy konwekcyjnych (SK) i konwekcyjno-mikrofalowych (SKM).

Generalnie susz z korzeni pietruszki odznaczał się większą zdolnością do chłonięcia wody niż susz z korzeni pasternaku. Podobne wyniki uzyskali Sitkiewicz i wsp. [13] analizując rehydrację suszy konwekcyjnych z korzeni pietruszki i pasternaku w postaci płatków. Susz z korzeni pietruszki w wyniku rehydracji osiągał wyższe wartości względnego przyrostu masy niż susz z korzeni pasternaku, jak również obliczona na podstawie równania kinetycznego równowagowa wartość względnego przyrostu masy była o 13% wyższa w przypadku rehydracji suszu z pietruszki.

Podczas ponownego uwodnienia suszu następuje zwiększenie jego objętości. Na rysunku 3 przedstawiono względne przyrosty objętości suszy z korzeni pietruszki i pasternaku (względem objętości materiału surowego – przed suszeniem) w czasie rehydracji.

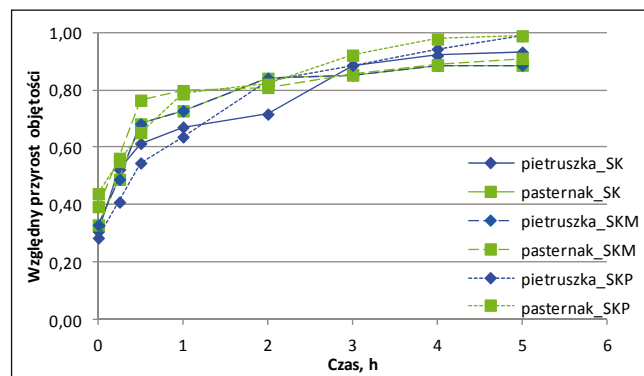
Tabela 3. Przyrost masy wody w czasie rehydracji

Table 3. Water mass increase during rehydration

Surowiec/ Material	Metoda suszenia/ Drying method	Parametry równania kinetycznego [4] Parameters of kinetic equation [4]			
		k ₁	k ₂	r ₂	Wartość równowagowa/ equilibrium relative weight gain [gH ₂ O/g _{s.s.}]
Pietruszka/ Parsley	Konwekcyjna/Convection (SK)	0,185	0,235	0,997	4,26
	Konwekcyjno-mikrofalowa/Microwave-convection (SKM)	0,184	0,232	0,998	4,31
	Konwekcyjno-próżniowa/Vacuum-convection (SKP)	0,220	0,196	0,995	5,10
Pasternak/ Parsnip	Konwekcyjna/Convection (SK)	0,284	0,268	0,987	3,73
	Konwekcyjno-mikrofalowa/Microwave-convection (SKM)	0,284	0,266	0,996	3,76
	Konwekcyjno-próżniowa/Vacuum-convection (SKP)	0,328	0,250	0,992	4,00

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



Rys. 3. Wpływ metody suszenia na wartości względnego przyrostu masy podczas rehydracji suszy.

Fig. 3. Effect of drying methods on relative mass increase during rehydration.

Źródło: Opracowanie własne

Source: The own study

Spośród trzech zastosowanych w pracy metod suszenia, największy przyrost objętości suszu zaobserwowano w trakcie uwadniania suszy otrzymanych metodą konwekcyjno-próżniową (SKP), gdzie zarówno susz z korzeni pietruszki, jak i pasternaku osiągnęły około 98% swej objętości początkowej. Przyrost objętości suszu konwekcyjnego (SK) z korzeni pietruszki wynosił 93% a z korzeni pasternaku 94% objętości materiału surowego. Najmniejszym przyrostem objętości charakteryzował się susz konwekcyjno-mikrofalowy i wyniósł on odpowiednio 89% dla pietruszki i 91% dla pasternaku. Generalnie żaden z badanych suszy nie osiągał po rehydracji objętości surowca przed suszeniem (rys. 3), chociaż pasternak w większym stopniu wrócił do swej objętości początkowej.

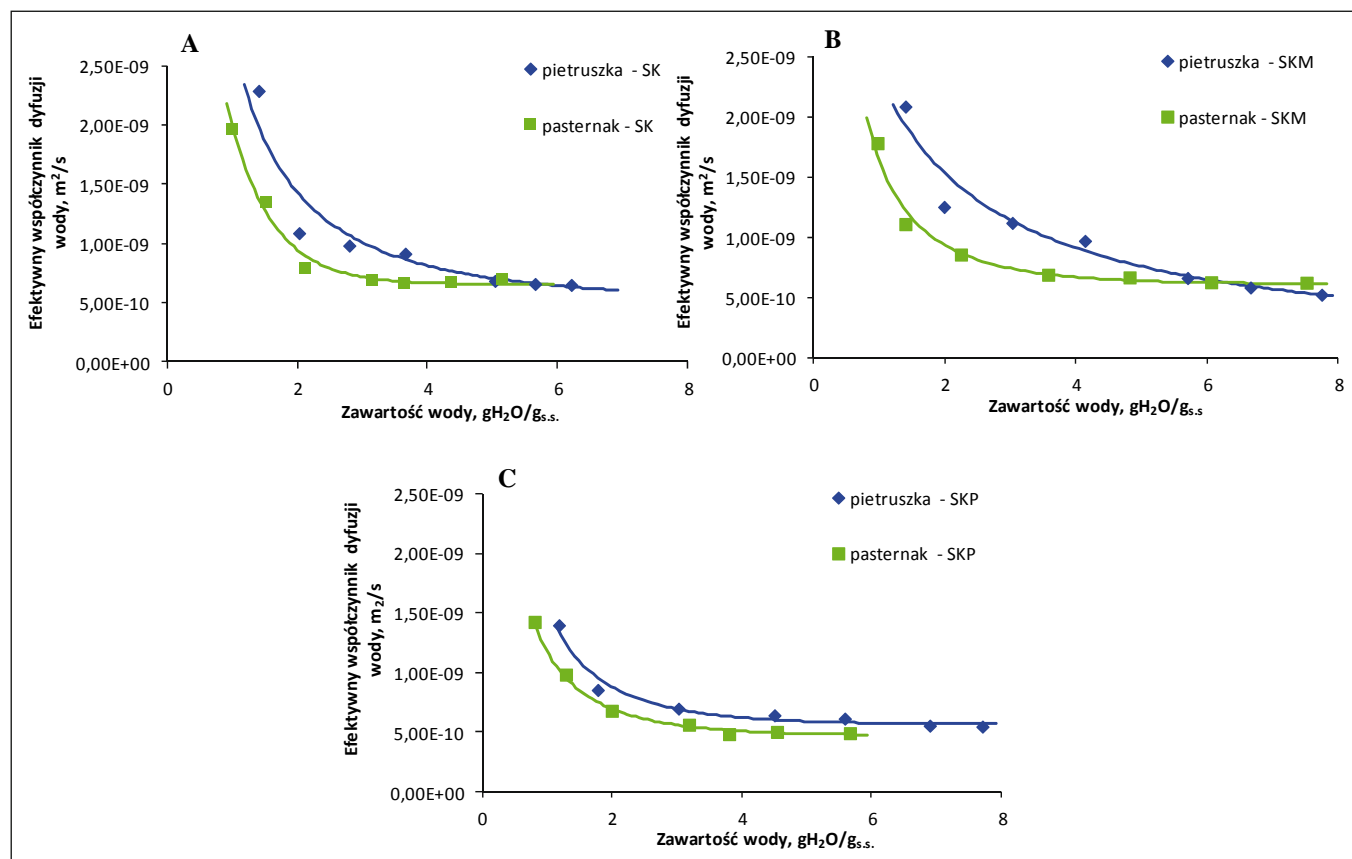
Witrowa-Rajchert [16] dla suszu konwekcyjnego z korzeni pietruszki uzyskała względny przyrost objętości 0,87, podczas gdy dla suszu z korzeni marchwi wyniósł on tylko 0,73. Górnicki i wsp. [3] podczas rehydracji suszy z korzeni pietruszki uzyskali znacznie niższe wartości względnych

przyrostów objętości. W zależności od stopnia rozdrobnienia surowca oraz temperatury suszenia konwekcyjnego, zawarte były w przedziale od 0,3 do 0,4. Sitkiewicz i wsp. [13] badając rehydrację suszy z korzeni pietruszki i pasternaku w postaci płatków wykazali, że susz z pasternaku charakteryzował się mniejszymi przyrostami objętości od suszu z pietruszki.

Jednym ze wskaźników określających zmiany zachodzące w tkance roślinnej wynikające z zastosowanej metody suszenia może być przebieg procesu ponownego uwadniania suszu. Biorąc pod uwagę matematyczny opis przebiegu rehydracji można przypuszczać, że miarą ruchu masy w procesie może być szybkość uwadniania tkanki roślinnej wysuszonej różnymi metodami wyrażona przez efektywny współczynnik dyfuzji wody D_f . Jednocześnie interpretacja doświadczalnych wyników przebiegu rehydracji stwarza podstawę do wnioskowania o wpływie warunków przeprowadzonego suszenia na stopień degradacji wewnętrznej struktury tkanki roślinnej, której zdolność do ponownego uwodnienia zależy od destrukcji matrycy ciała stałego wywołanej naprężeniami w wyniku przemieszczania się zarówno masy jak i ciepła. Dlatego wydaje się konieczne wyznaczenie efektywnych współczynników dyfuzji wody dla badanych suszy pietruszki oraz pasternaku suszonych konwekcyjnie, konwekcyjnie-mikrofalowo i konwekcyjnie-próżniowo.

Podczas rehydracji korzenia pietruszki i pasternaku woda wnika do tkanek badanych warzyw w pierwszej kolejności wypełniając pory na powierzchni korzenia pietruszki. Tendencja ta potwierdzona została niezależnie od metody jaką przygotowano susz. Analiza wartości efektywnego współczynnika dyfuzji wody w całym zakresie zmian zawartości wody w czasie rehydracji suszy z korzenia pietruszki i pasternaku wykazała, że przy tych samych zawartościach wody osiągniętych przez uwadniany susz, wyższe współczynniki dyfuzji wody osiągnięte są przez korzeń pietruszki (rys. 4 A, B, C).

W przypadku suszy z korzenia pietruszki uzyskanych metodą konwekcyjną (rys. 4A) i konwekcyjno-mikrofalową (rys. 4B) obserwuje się dużo bardziej intensywną zmienność D_f niż w przypadku korzenia pasternaku. Jednocześnie z przebiegu zmian dyfuzyjności tkanki warzyw w czasie rehydracji wynika, że dla korzenia pasternaku (niezależnie od metody suszenia) istnieje asymptotyczna wartość współczynnika dyfuzji wody jaka zostaje osiągnięta przy zawartości wody na poziomie około 3 gH₂O/g_{s.s.} (wilgotność około 75%) i wynosi około 6,9·10⁻¹⁰ m²/s dla suszu konwekcyjnego (rys. 4A) i konwekcyjno-mikrofalowego (SKM) (rys. 4B), oraz około 5·10⁻¹⁰ m²/s dla suszu z korzenia pasternaku otrzymanego metodą konwekcyjno-próżniową (SKP) (rys. 4C). Z analizy zmian wynika również, że w przypadku



Rys. 4. Zmiany efektywnych współczynników dyfuzji wody podczas rehydracji suszy z korzenia pietruszki i pasternaku. Metoda suszenia: A - konwekcyjna (SK), B - konwekcyjno-mikrofalowa (SKM), C - konwekcyjno-próżniowa (SKP)

Fig. 4. Changes in effective water diffusion coefficients during rehydration are dried from the roots of parsley and parsnip. Drying method: A - convection (SK), B - convection - microwave (SKM), C - convection - vacuum (SKP)

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

suszu z korzenia pietruszki tylko dla suszu konwekcyjno-próżniowego (SKP) przebieg zmian dyfuzyjności tkanki w czasie rehydracji jest w swoim charakterze zbliżony do przebiegu uwadniania korzenia pasternaku. Jednocześnie niezależnie od rodzaju warzywa i metody suszenia najintensywniejsze obniżenie wartości efektywnego współczynnika dyfuzji wody zachodzi w początkowym etapie procesu rehydracji do osiągnięcia przez badany susz zawartości wody na poziomie około $2 \text{ gH}_2\text{O/g}_{\text{s.s.}}$ (wilgotności około 67%) (rys. 4), co zostało osiągnięte w czasie pierwszej godziny trwania rehydracji (rys. 2). W czasie 1h uwadniania korzenia pietruszki efektywny współczynnik dyfuzji wody maleje o odpowiednio 52% dla suszy uzyskanych metodą konwekcyjnego suszenia (SK) (rys. 4A) oraz 43% dla suszy uzyskanych z wykorzystaniem mikrofal (SKM) lub podciśnienia (SKP). Analizując zmienność współczynnika dyfuzji wody w pierwszej godzinie uwadniania suszu z korzenia pasternaku zaobserwowano około 31% zmniejszenie dyfuzyjności w przypadku rehydracji tkanek suszy konwekcyjnego (SK) i konwekcyjno-próżniowego (SKP) i 39% przypadku suszu konwekcyjno-mikrofalowego (SKM) (rys. 4 A, B, C). Badania przeprowadzone przez Witrową-Rajchert [14] nad przebiegiem rehydracji warzyw i owoców w tym również pietruszki, podobnie jak badania Stępnia i wsp. [13] potwierdzają tezę, że zmienność warunków ponownego uwadniania jak i efektywnych współczynników dyfuzji wody może być wskaźnikiem zdolności matrycy tkanki roślinnej suszonej różnymi metodami, do jej penetracji przez wodę. Podobne wyniki potwierdzające powyższe wnioski uzyskano podczas badań nad dyfuzyjnością tkanki mango, nie tylko suszonej ale również wstępnie odwadnianej osmotycznie [8] oraz jabłek odmiany *Granny Smith* suszonych konwekcyjnie [15].

PODSUMOWANIE

Stwierdzono, że w czasie rehydracji suszy z korzeni pietruszki i pasternaku można wyróżnić dwie fazy. I faza charakteryzuje się szybkim wchłanianiem wody i trwa do około dwóch godzin, natomiast w II fazie absorpcja wody ulega stopniowemu spowolnieniu.

Korzenie pietruszki odznaczały się lepszymi właściwościami rekonstytucyjnymi w porównaniu do korzeni pasternaku, gdyż przyrosty masy materiału oraz przyrosty masy wody były znacznie większe.

Największy przyrost masy próbki zaobserwowano w czasie rehydracji suszu otrzymanego metodą konwekcyjno-próżniową, zaś najmniejszy w metodzie konwekcyjno-mikrofalowej.

Względny, odniesiony do objętości surowca przed suszeniem, przyrost objętości po pięciu godzinach rehydracji był podobny dla wszystkich zastosowanych metod, jednak tylko susze konwekcyjno-próżniowe z korzeni pietruszki i pasternaku osiągały po rehydracji objętość zbliżoną do objętości surowca.

Analizując badane metody suszenia, należy stwierdzić, iż proces konwekcyjno-próżniowy okazał się najbardziej korzystną metodą uzyskiwania korzeni suszonej pietruszki i pasternaku.

Wykazano na podstawie przeprowadzonych badań, że suszony korzeń pietruszki posiada większą dyfuzyjność.

Potwierdzono to badając zmiany efektywnego współczynnika dyfuzji w zależności od osiąganych w czasie rehydracji zawartości wody. Stwierdzono również, że susze w pierwszym etapie rehydracji charakteryzują się największą utratą zdolności do pochłaniania wody o czym świadczą wartości efektywnych współczynników dyfuzji wody malejące od 30 do ponad 50%.

LITERATURA

- [1] **CHOIŃSKA A., K. GÓRNICKI, R. WINICZENKO, A. KALETA. 2014.** „Wpływ warunków rehydracji na zmianę objętości cząstek krajanki suszu z jabłek”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 24 (1): 47–50.
- [2] **CIURZYŃSKA A., D. PIOTROWSKI, M. JANOWICZ, I. SITKIEWICZ, A. LENART. 2011.** „Wpływ temperatury i ciśnienia w komorze suszarki próżniowej na właściwości rehydracyjne suszonych truskawek”. *Acta Agrophysica* 17 (2): 289–300.
- [3] **GÓRNICKI K., KALETA A., WIERZBICKA A., PACAK-ŻUK S. 2009.** „Badanie przebiegu zmian objętości plasterków korzenia pietruszki podczas suszenia i nawilżania”. *Acta Agrophysica* 13 (1): 103–112.
- [4] **KALETA A., K. GÓRNICKI, A. KOŚCIKIEWICZ. 2006.** „Wpływ parametrów suszenia pod obniżonym ciśnieniem na kinetykę rehydracji suszu z korzenia pietruszki”. *Inżynieria Rolnicza* 3: 69–77.
- [5] **KALETA A., K. GÓRNICKI, A. WIERZBICKA, S. PACAK-ŻUK. 2008.** „Badanie przebiegu procesu rehydracji suszonych plasterków korzenia pietruszki”. *Acta Agrophysica* 12 (3): 689–698.
- [6] **KALETA A., R. WINICZENKO, K. GÓRNICKI, A. CHOIŃSKA. 2014.** „Empirical modelling of dry matter of solid changes during the rehydration of dried apples pretreated by different methods before drying”. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)* 63: 81–88.
- [7] **LEWICKI P. P., J. WICZKOWSKA. 2006.** „Rehydration of Apple Dried by Different Methods”. *International Journal of Food Properties* 9 (2): 217–226.
- [8] **MALDONADO S., E. ARNAU, M.A. BERTUZZI. 2010.** „Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes”. *Journal of Food Engineering* 96: 333–341.
- [9] **MARABI A., S. SAGUY. 2004.** „Effect of porosity on rehydration of dry food particulates”. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 1105–1110.
- [10] **PASŁAWSKA M., A. PEŁKA. 2006.** „Właściwości rekonstytucyjne i barwa suszu truskawkowego”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 1 (46, Supl.): 93–99.
- [11] **PIOTROWSKI D., A. GODLEWSKA. 2011.** „Wpływ metody suszenia próżniowego na proces rehydracji wysuszonych truskawek”. *Zeszyty Problematyczne Postępów Nauk Rolniczych* 569: 251–263.
- [12] **SEREMET (CECLU) L., E. BOTEZ, O. OANAVIORELA NISTOR, D. G. GEORGETA ANDRONOIU, G. GABRIEL-DANUT MOCANU. 2016.**

- „Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices“. *Food Chemistry* 195: 104–109.
- [13] **SITKIEWICZ I., M. JANOWICZ, J. ŻOŁNIERCZUK. 2016.** „Rehydracja suszy z korzeni pietruszki i pasternaku“ *Acta Agrophysica* 24 (2): 319–328.
- [14] **STĘPIEŃ B., M. PASŁAWSKA, B. JAŻWIEC. 2011.** „Wpływ metody suszenia na zdolność do rehydracji suszonej pietruszki“ *Inżynieria Rolnicza* 4 (129): 251–256.
- [15] **SZARYCZ M., KAMIŃSKI E., JAŁOSZYSKI K., SZPONARSKA A. 2003:** „Analiza mikrofalowego suszenia pietruszki w warunkach obniżonego ciśnienia. Część II. Skurecz suszarniczy i rehydracja suszu”. *Technica Agraria* 2 (2): 29–36.
- [16] **WITROWA-RAJCHERT D. 1999.** Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.
- [17] **WITROWA-RAJCHERT 2003:** „Badanie zmian objętości suszonej tkanki roślinnej podczas rehydracji”. *Acta Agrophysica* 2(4): 867–878.
- [18] **ZURA-BRAVO L., K. AN-HEN, A. VEGALGALVEZ, P. GARCIA-SEGOVIA, R. LEMUS-MONDACA. 2013.** „Effect of rehydration temperature on functional properties, antioxidant capacity and structural characteristics of apple (*Granny Smith*) slices in relation to mass transfer kinetics”. *Journal of Food Process Engineering* 36: 559–571.