

## WPŁYW METODY SUSZENIA NA ZDOLNOŚĆ DO REHYDRACJI SUSZONEJ PIETRUSZKI

Bogdan Stępień, Marta Paślawska, Bartosz Jaźwiec  
*Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** Analizowano wpływ wybranych metod suszenia na wartości wskaźników opisujących przebieg ponownego uwadniania suszonej pietruszki. Surowiec suszono konwekcyjnie (SK), sublimacyjnie (SS) oraz mikrofalowo w warunkach obniżonego ciśnienia (SMP). Obliczono wartości następujących wskaźników: zdolność do wchłaniania wody (WAC), zdolność do utrzymania suchej substancji (DHC) oraz zdolności do rehydracji (RA). Stwierdzono istotny wpływ metody suszenia na przebieg analizowanych wskaźników. Wykazano przydatność wskaźnika RA do oceny stopnia destrukcyjnych zmian w strukturze komórkowej suszonej pietruszki. Metoda sublimacyjna powoduje najmniejsze uszkodzenia struktury, natomiast metoda mikrofalowa w warunkach obniżonego ciśnienia największe.

**Słowa kluczowe:** suszenie, rehydracja, pietruszka, zdolność do rehydracji

### Wprowadzenie i cel badań

Surowce rolnicze są utrwalane w celu przedłużenia ich trwałości, co jednocześnie znaczne ułatwia transport i przechowywanie produktu. Trwałość żywności zależy głównie od aktywności drobnoustrojów i stopnia zaawansowania procesów biochemicznych. Procesy utrwalania surowców rolniczych muszą być przeprowadzane w takich warunkach, aby, w możliwie szerokim zakresie, uwzględnić często sprzeczne wymagania. Powinny prowadzić do eliminacji zepsucia mikrobiologicznego i chociaż częściowo hamować rozwój bakterii i innych drobnoustrojów mogących zagrażać zdrowiu konsumenta. Jednocześnie warunki prowadzenia procesu powinny mieć na względzie zachowanie najistotniejszych walorów żywności. Z tego wynika konieczność rozwijania wiedzy o różnych technikach suszarniczych [Cohen i Yang 1995].

Suszone produkty rolnicze są najczęściej spożywane po ponownym uwodnieniu. Rehydracja jest złożonym procesem, w trakcie którego woda jest wchłaniana przez odwodnioną tkankę roślinną i jednocześnie część rozpuszczalnych składników suchej substancji przedostaje się do roztworu. Przebieg ponownego uwadniania suszy warzywnych jest przedmiotem zainteresowania wielu badaczy [Giri i Suresh Prasad 2007; Krokida i Marinos-Kouris 2003; Witrowa-Rajchert 2003]. Dostrzeganych jest jednak wiele problemów dotyczących ujednoczenia metodyki badawczej oraz definiowania i nazewnictwa badanych wskaźników. Najczęściej analizowane są przyrosty masy wody i masy próbki w trakcie rehydracji oraz zmiany zawartości suchej substancji [Witrowa-Rajchert 1999; Stępień 2010]. Uzyskane informacje są przydatne do przewidywania zmian jakości suszonych surowców rolniczych, np. w obrębie cech mechanicznych i reologicznych. Ponowne uwadnianie suszy

można również rozpatrywać w aspekcie destrukcyjnych zmian pojawiających się w tkance roślinnej w trakcie suszenia.

Lewicki [1998] dokonał syntezy najistotniejszych parametrów opisujących przebieg ponownego uwadniania suszy. Wskazał na zalety i możliwości wykorzystania poszczególnych wskaźników. Zaproponował obliczenie dwóch nowych parametrów, które nazwał zdolnością do wchłaniania wody (WAC) i zdolnością do utrzymania suchej substancji (DHC), a ich iloczyn określił jako zdolność do rehydracji (RA), o bardzo prostej interpretacji fizycznej. Im mniejsza wartość indeksu, tym więcej destrukcyjnych zmian w strukturze komórkowej odwadnianego materiału.

Celem pracy była analiza możliwości wykorzystania wskaźnika: zdolność do rehydracji (RA) do oceny stopnia zmian struktury komórkowej suszy warzywnych oraz określenie wpływu metody suszenia na przebieg ponownego uwadniania suszonej pietruszki.

## Metodyka badań

Badano korzenie pietruszki odmiany *Eagle F1*. Próbkę przygotowano w formie walców o średnicy 20 mm i wysokości 5 mm. Do tego celu użyto krajalnicy firmy ZELMER TYP 493 oraz wycinarkę własnej konstrukcji. Do odwodnienia pietruszki wykorzystano trzy techniki suszarnicze: suszenie konwekcyjne SK (temperatura czynnika suszącego 50°C, prędkość przepływu powietrza 1,5 m·s<sup>-1</sup>, pojedyncza warstwa materiału), sublimacyjne SS (szybkość zamrażania 1°C·min<sup>-1</sup>, ciśnienie w komorze suszenia 100 Pa, temperatura płyty grzejnej 20°C, kontaktowy sposób dostarczania ciepła) i mikrofalowe w warunkach obniżonego ciśnienia SMP (amplitudowe sterowanie magnetronów, moc magnetronów 480 W, ciśnienie w komorze suszenia w zakresie 4-10 kPa).

Rehydrację wykonano w wodzie destylowanej o temperaturze 20±2°C. Przebieg procesu badano przez 5 godzin wykonując pomiary masy próbki po upływie odpowiednio 0,5: 1: 2: 3: 4 i 5 godzin. Szczegóły przeprowadzenia suszenia oraz rehydracji wraz ze schematami stanowisk badawczych zamieszczono we wcześniejszych publikacjach [Stępień 2010 i 2008].

Za Lewickim [1998] zdolność do wchłaniania wody (WAC) zdefiniowano w sposób następujący:

$$WAC = \frac{\text{masa wody absorbowanej podczas rehydracji}}{\text{masa wody usuwanej podczas suszenia}}$$

Zdolność do utrzymania suchej substancji (DHC) obliczano następująco:

$$DHC = \frac{\text{sucha masa przed rehydracją}}{\text{sucha masa po rehydracji}}$$

Zdolność do rehydracji (RA) jest iloczynem zdolności do wchłaniania wody i zdolności do utrzymania suchej substancji:

$$RA = WAC \cdot DHC$$

Przebieg zmian wartości analizowanych wskaźników opisano formułami matematycznymi, a ocenę istotności różnic pomiędzy krzywymi wykonano w oparciu o rozłączność obszarów ufności. Ze względu na przejrzystość wykresów, obszary ufności pominięto na zamieszczonych wykresach.

## Analiza wyników

Przebieg zmian wartości analizowanych wskaźników w trakcie ponownego uwadniania wysuszonego korzenia pietruszki opisano równaniami kinetycznymi. Postać równań oraz ich parametry przedstawiono w tabeli 1.

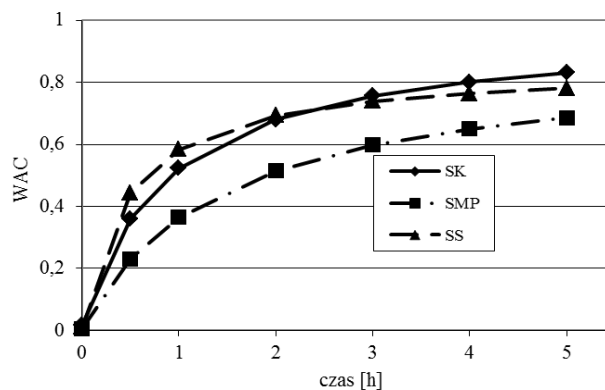
Tabela 1. Parametry funkcji  
Table 1. Curves parameters

Wyszczególnienie	Parametry funkcji			
	a	b	c	
$WAC = a + b \cdot \left[ 1 - \frac{1}{(1 + b \cdot c \cdot \tau)} \right]$	SK	0,0183	0,959	1,158
	SS	0,0110	0,842	2,517
	SMP	0,0066	0,877	0,785
$DHC = a + \frac{b}{1 + b \cdot c \cdot \tau}$	SK	0,4526	0,548	2,532
	SS	0,5268	0,466	2,228
	SMP	0,3430	0,647	0,912
$RA = a + b \cdot \left[ 1 - \frac{1}{(1 + b \cdot c \cdot \tau)} \right]$	SK	0,0137	0,447	7,23
	SS	0,0066	0,484	15,20
	SMP	0,0011	0,386	5,96

Źródło: obliczenia własne autorów

Gdyby proces suszenia nie powodował degradacji struktury komórkowej odwadnianego materiału i nie powodował zmian w strukturze związków chemicznych, należałoby się spodziewać, że w trakcie ponownego uwadniania susz wchłonie taką samą ilość wody jaka została usunięta podczas suszenia. Jednakże oddziaływanie procesu suszenia na materiał jest bardzo złożone, co powoduje, że susze nie są w stanie wchłonąć tyle wody ile było w surowcu. Na rysunku 1 przedstawiono krzywe przebiegu zdolności do wchłaniania wody przez suszoną pietruszkę podczas rehydracji.

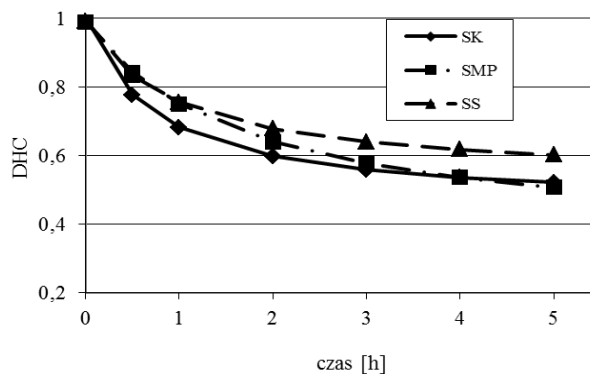
Woda najintensywniej wnika do wnętrza materiału suszonego metodą sublimacyjną, szczególnie podczas pierwszych dwóch godzin rehydracji. Spostrzeżenie to ma swoje potwierdzenie w badaniach prezentowanych w literaturze, gdzie analiza wymiany masy pomiędzy uwadnianymi cząstkami a roztworem prowadzi do wniosku, że wymiana ta jest dla suszy sublimacyjnych najintensywniejsza [Mastrocola i in. 1998, Stępień 2008]. Susze sublimacyjne charakteryzują się jednocześnie stosunkowo niską zdolnością do utrzymania wchłoniętej wody wewnątrz struktury, co jest spowodowane licznymi pęknięciami ścian komórkowych, pojawiających się w trakcie ponownego uwadniania. Pęknięcia te są wyraźnie widoczne za zdjęciach mikroskopowych struktury komórkowej [Stępień 2010]. Najmniej intensywne wchłanianie wody obserwowano dla suszu uzyskanego metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia. Jest to pewne zaskoczenie, ponieważ badania rehydracji pietruszki suszonej pod obniżonym ciśnieniem wskazują na dobre właściwości rehydracyjne suszy uzyskanych taką techniką [Kaleta i in. 2006].



Źródło: obliczenia własne autorów

Rys. 1. Zdolności do wchłaniania wody przez suszoną pietruszkę  
 Fig. 1. Water absorption capacity of dried parsley

Zdolność do utrzymania suchej substancji może być odnoszona do często analizowanego wskaźnika opisującego przebieg ponownego uwadniania – ubytku masy suchej substancji [Witrowa-Rajchert 1999, Stępień 2008]. Krzywe przebiegu zdolności do utrzymania suchej substancji podczas rehydracji korzenia pietruszki, dla różnych metod suszenia, przedstawiono na rysunku 2.



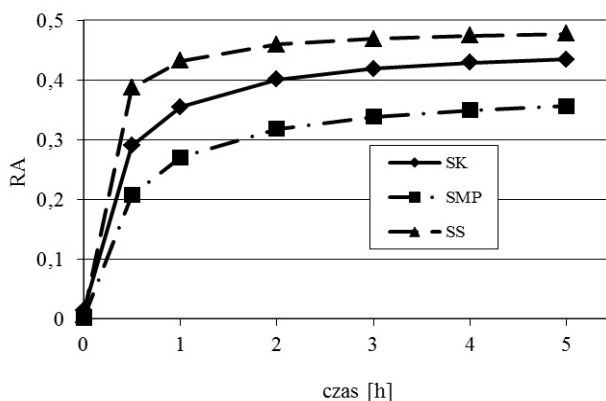
Źródło: obliczenia własne autorów

Rys. 2. Zdolność do utrzymania suchej substancji w trakcie rehydracji suszonej pietruszki  
 Fig. 2. Dry matter holding capacity of dried parsley during rehydration

W trakcie ponownego uwadniania suszu z pietruszki, najmniej rozpuszczalnych składników suchej substancji dyfunduje do roztworu dla suszu uzyskanego metodą sublimacyjną, a znacznie więcej dla materiału suszonego konwekcyjnie. Różnice są istotne przez cały okres trwania procesu. W pierwszej godzinie ponownego uwadniania susz uzyskany metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia charakteryzuje się ubytkami zbliżony-

mi do ubytków suszy sublimacyjnych. W trakcie dalszej części uwadniania zdolność do utrzymania suchej substancji maleje, by pod koniec procesu osiągnąć poziom zbliżony do poziomu ubytków obserwowanych dla suszu konwekcyjnego.

Zdolność do rehydracji suszu z pietruszki dla materiału, uzyskanego różnymi technikami suszenia, przedstawiono na rysunku 3. Opierając się na interpretacji zaproponowanej przez Lewickiego [1998] można stwierdzić, że już rehydracja trwająca 30 minut pozwala wykazać różnice w stopniu destrukcji struktury komórkowej wywołanej suszeniem. Największych zmian struktury należy się spodziewać dla suszy otrzymanych metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia, a najmniejszych dla suszy sublimacyjnych. O ile suszenie sublimacyjne jest uważane za metodę najbardziej zachowawczą, co potwierdzają niniejsze badania, to stopień zmian struktury wywołany suszeniem mikrofalowy w warunkach obniżonego ciśnienia jest zaskakujący. Powodem może być duży zakres zmian ciśnienia w komorze suszenia, co mogło powodować wystąpienie dużych naprężeń wewnętrznych w suszonym materiale i w rezultacie pęknięć ścian komórkowych.



Źródło: obliczenia własne autorów

Rys. 3. Zdolność do ponownego uwadniania suszonej pietruszki  
 Fig. 3. Rehydration ability of dried parsley

## Wnioski

1. Metoda suszenia istotnie wpływa na zdolność do rehydracji suszonej pietruszki. Zdolność do rehydracji jest przydatnym wskaźnikiem do oceny stopnia destrukcji struktury komórkowej suszonych surowców rolniczych.
2. Susze uzyskane metodą sublimacyjną charakteryzują się najwyższą zdolnością do utrzymania suchej substancji w trakcie ponownego uwadniania i już po pierwszej godzinie rehydracji mogą wchłonąć ok. 75% masy wody jaką posiadał surowiec.
3. Największe destrukcyjne zmiany struktury wewnętrznej powstały w wyniku suszenia mikrofalowego w warunkach obniżonego ciśnienia, mniejsze podczas suszenia konwekcyjnego, a najmniejsze przy suszeniu sublimacyjnym.

## Bibliografia

- Cohen S.J., Yang T.C.S.** 1995. Progress in food dehydration. *Trends in Food Science & Technology* 6. s. 20-25.
- Giri S.K., Prasad S.** 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering* 78. s. 512-521.
- Kaleta A., Górnicki K., Kościkiewicz A.** 2006. Wpływ parametrów suszenia pod obniżonym ciśnieniem na właściwości rehydracyjne suszu z korzenia pietruszki i cechy organoleptyczne rehydrowanego suszu. *Inżynieria Rolnicza* Nr 3(78). s. 79-87.
- Krokida M.K., Marinos-Kouris D.** 2003. Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering* 57. s. 1-7.
- Lewicki P.P.** 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering* 36. s. 81-87.
- Mastrocola D., Dalla Rosa M., Massini R.** 1998. Freeze-dried strawberries rehydrated in sugar solution: mass transfers and characteristics of final products. *Food Research International*, Vol. 30, No. 5. s. 359-364.
- Stępień B.** 2008. Rehydration of Carrot dried using various methods. *Acta Agrophysica* 11(1). s. 239-251.
- Stępień B.** 2010. Modyfikacja cech mechanicznych i reologicznych wybranych warzyw pod wpływem różnych metod suszenia. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Monografie LXXIX. ISBN 978-83-60574-75-1.
- Witrowa-Rajchert D.** 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja "Rozwój SGGW". Warszawa. ISBN 83-87660-95-7.
- Witrowa-Rajchert D.** 2003. Badanie zmian objętości suszonej tkanki roślinnej podczas rehydracji. *Acta Agrophysica* 2(4). s. 867-878.

## THE IMPACT OF DRYING METHOD ON DRIED PARSLEY REHYDRATION ABILITY

**Abstract.** The research involved analysis of the impact of selected drying methods on the values of indexes describing the progress of dried parsley rehydration. Raw material was dried using convection (SK), sublimation (SS) and microwave methods in reduced pressure conditions (SMP). The researchers computed values of the following indexes: water absorption capacity (WAC), dry substance holding capacity (DHC) and rehydration ability (RA). They observed significant impact of drying method on characteristics of the analysed indexes. The research proved the RA index usability in assessing the degree of destructive changes in cellular structure of dried parsley. The sublimation method causes least structure damage, while the microwave method generates largest damage in reduced pressure conditions.

**Key words:** drying, rehydration, parsley, rehydration ability

### Adres do korespondencji:

Bogdan Stępień; e-mail: bogdan.stepien@up.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chęłmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław