

## WPŁYW METODY SUSZENIA NA REHYDRACJĘ SELERA

Bogdan Stępień

*Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** Wykonano badania rehydracji suszu z selera odwodnionego sublimacyjnie, mikrofalowo-próżniowo i konwekcyjnie. Zastosowano blanszowanie jako obróbkę wstępną a wyniki odniesiono do rezultatów uzyskanych dla selera nie poddanego obróbce wstępnej. Obliczono wartości względnego przyrostu masy próbki, względnego przyrostu masy wody oraz ubytki masy suchej substancji. Seler suszony sublimacyjnie charakteryzuje się największą kinetyką przyrostu masy próbki i przyrostu masy wody oraz najniższymi ubytkami masy suchej substancji. Blanszowanie intensyfikuje kinetykę badanych procesów mając szczególnie duże znaczenie dla produktu uzyskanego metodą sublimacyjną.

**Słowa kluczowe:** seler, suszenie, blanszowanie, rehydracja

### Wprowadzenie

Usuwanie wody z produktów żywnościowych powoduje obniżenie wartości odżywczych i pogorszenie cech sensorycznych. Ponadto suszenie przyczynia się do powstawania skurczu, zmian powierzchni i tekstury, powstawania obszarów krystalicznych w amorficznych polimerach i niekorzystnych zmian właściwości mechanicznych. Inne wady suszonej żywności to: zmiany barwy i zapachu, wolna i niecałkowita rehydracja oraz utrata soczystości.

Teoretycznie, rehydracja jest procesem odwrotnym do suszenia. W rzeczywistości susz w czasie uwadniania nie jest w stanie wchłonąć takiej ilości wody, jaką utracił podczas odwadniania. Wyniki eksperymentów związanych z rehydracją produktów rolniczych są opisywane przy użyciu różnych parametrów. Często te same wielkości nazywane są w różny sposób. Lewicki [1998] dokonuje przeglądu stosowanych parametrów i proponuje dwa nowe, zdolność do zachowania suchej substancji (DHC) oraz zdolność do absorpcji wody (WAC), jako te, które pozwalają w sposób prosty i jednoznaczny ocenić stopień uszkodzenia tkanek materiału biologicznego w oparciu o przebieg procesu rehydracji. W wyniku uszkodzeń struktury tkanki surowca w trakcie suszenia oraz zmniejszenia zdolności wiązania wody, uwadniany produkt traci część suchej substancji i nie jest w stanie powrócić do objętości początkowej [Witrowa-Rajchert 1999]. Większość suszonych produktów jest przeznaczona do dalszego przetwarzania lub do spożycia, ale po wcześniejszym uwodnieniu. Dlatego tak istotne są badania obejmujące charakterystykę produktu po rehydracji.

Seler korzeniowy jest rośliną dwuletnią, należąca do grupy warzyw smakowych. Najczęściej jest wykorzystywany do wyrobu mrożonych mieszanek warzywnych, zup, soków i na susz. Korzeń selera nie zawiera wiele witamin, ale dużą ilość soli mineralnych.

Zarówno liście, jak i korzeń zawierają olejki eteryczne, które nadają potrawom charakterystyczny smak, a ponadto wpływają korzystnie na trawienie i czynności nerek.

Suszenie sublimacyjne oraz mikrofalowe pod obniżonym ciśnieniem należą do grupy nowoczesnych metod suszenia, z którymi wiązane są duże nadzieje na uzyskiwanie suszu o wysokiej jakości. Dla obu metod, dobrze rozpoznano podstawy teoretyczne [Kramkowski 1998; Szarycz 2001], co stwarza możliwości precyzyjnego przewidywania przebiegu odwadniania.

Mastrocola i in. [1997] prowadzili rehydrację truskawek suszonych sublimacyjnie w roztworze cukru. Stwierdzili, że zmieniając stężenie roztworu i czas trwania odwadniania zmieniają się istotnie cechy produktu, np. aktywność wody. Taki sposób modyfikacji jakości produktu może decydować o jego zastosowaniu, np. do mrożonych deserów lodowych.

Giri ze współpracownikami [2007] porównali właściwości rehydracyjne pieczarek suszonych mikrofalowo-podciśnieniowo i konwekcyjnie. Zdecydowanie lepsze własności rekonstytucyjne mają pieczarki suszone mikrofalowo pod obniżonym ciśnieniem w stosunku do pieczarek suszonych konwekcyjnie. Pieczarki suszone mikrofalowo-podciśnieniowo szybciej uwadniają się i wchłaniają więcej wody niezależnie od mocy mikrofal i ciśnienia w komorze suszenia.

Wpływ temperatury płynu użytego do rehydracji brokuł na zdolność sorpcji wody badali Femenia i in. [2000]. Stwierdzili istotny spadek zdolności sorpcyjnych w trakcie rehydracji wraz ze wzrostem temperatury wody destylowanej. W temperaturze 20÷40°C brokuły najintensywniej chłoną wodę.

Celem pracy jest opisanie wpływu metody suszenia oraz blanszowania jako obróbki wstępnej na podstawowe parametry charakteryzujące proces ponownego uwadniania korzenia selera.

## Metodyka badań

Badaniom wpływu metody suszenia na rehydrację poddano popularne warzywo, seler korzeniowy. Próbkę przygotowano w formie walców o wysokości wynoszącej 5 mm i średnicy równej 20 mm. Suszono surowiec nie poddany obróbce wstępnej oraz blanszowany. Blanszowanie wykonano w wodzie o temperaturze 95°C ± 2°C przez 3 minuty. W trakcie blanszowania wystąpiły straty suchej masy wynoszące około 15,2%. Suszenie konwekcyjne wykonano na suszarce laboratoryjnej przy temperaturze czynnika suszącego wynoszącej 50°C i prędkości przepływu powietrza równej 1,5 m·s<sup>-1</sup>. Instalacja posiadała sześć indywidualnie sterowanych stanowisk z grzałkami o mocy maksymalnej 2 kW. Do suszenia sublimacyjnego wykorzystano suszarkę typu OE-950. Próbkę zamrażano w temperaturze -20°C z szybkością 1°C·min<sup>-1</sup>. Zastosowano następujące parametry suszenia: temperatura płyty grzejnej 20°C, ciśnienie w komorze suszenia 100 Pa, kontaktowy sposób dostarczania ciepła. Suszenie mikrofalowe realizowano w suszarce mikrofalowo-próżniowej z amplitudowym sterowaniem magnetronów. Moc magnetronów przyjęto na poziomie 40% ich mocy maksymalnej, czyli 480 W. Ciśnienie w komorze suszenia utrzymywano w zakresie 4÷10 kPa.

Rehydrację wykonano odważając po 3 plastry selera i, po umieszczeniu w zlewce, zalewając je stałą ilością wody destylowanej o temperaturze 20°C. Oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach. Kinetykę uwadniania badano przez 5 godzin pobierając próbki po 0,5; 1; 2; 3; 4 i 5 godzinach. Sito użyto do wstępnego oddzielenia wody od próbek, następnie materiał osuszano bibułką i ważono.

## Analiza wyników

Gdyby proces suszenia nie powodował destrukcyjnych zmian w strukturze tkanki selera to po uwodnieniu materiał powinien osiągnąć masę taką, jaką posiadał przed suszeniem. Przyrost masy próbki w trakcie rehydracji odniesiony do masy początkowej suszu pozwala obliczyć wartość względnego przyrostu masy. Do opisu, za Witrową-Rajchert [1999], zaproponowano równanie postaci:

$$m_{\tau} \cdot m_0^{-1} = a + b \cdot [1 - 1 \cdot (1 + b \cdot c \cdot \tau)^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

- $m_{\tau}$  – masa próbki po czasie  $\tau$  rehydracji,
- $m_0$  – masa początkowa próbki.

Suszenie powoduje zmniejszenie zdolności wchłaniania i utrzymywania wody w tkance roślinnej. Im większe zmiany wystąpią w tkance, tym mniej wody będzie mogła wchłoniąć w trakcie rehydracji. Obliczono wartości względnego przyrostu masy wody jako iloraz masy wody wchłanianej przez seler w trakcie uwadniania do masy wody w surowcu. Do opisu wykorzystano równanie (1).

Podczas rehydracji następuje ubytek rozpuszczalnych składników suchej substancji materiału uwadnianego, który zależy głównie od składu chemicznego i struktury tkanek. Obliczono zmiany względnej zawartości suchej substancji w czasie rehydracji jako iloraz masy suchej próbki po określonym czasie uwadniania do masy suchej próbki przed rehydracją. Do opisu, za Witrową-Rajchert [1999], zaproponowano równanie postaci:

$$m_{s\tau} \cdot m_{s0}^{-1} = a + [b \cdot (1 + b \cdot c \cdot \tau)^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

- $m_{s\tau}$  – masa sucha próbki po czasie  $\tau$  rehydracji,
- $m_{s0}$  – masa sucha próbki przed rehydracją.

Na podstawie równań obliczono wartości równowagowe poszczególnych parametrów, błędy standardowe estymacji i współczynniki determinacji (tab. 1).

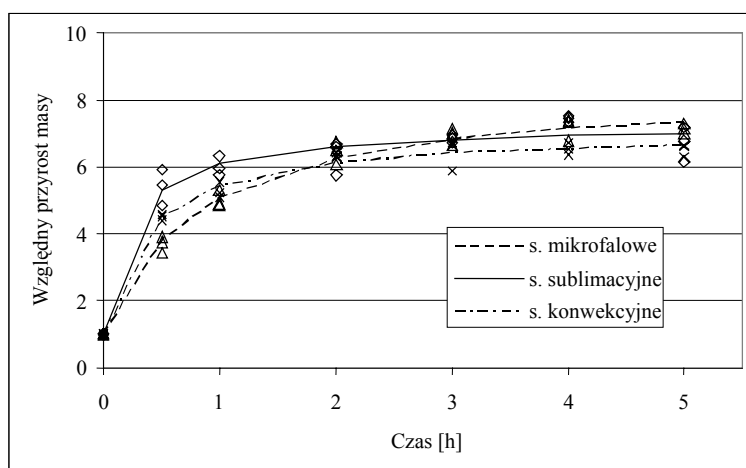
Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono zmiany wartości względnego przyrostu masy próbek w trakcie rehydracji. Analiza kinetyki zmian względnego przyrostu masy i wartości równowagowych pozwala stwierdzić, iż po pięciu godzinach rehydracji suszu uzyskanego z surowca nie poddanego obróbce wstępnej, seler suszony sublimacyjnie i konwekcyjnie uzyskuje względną masę zbliżoną do masy równowagowej. Seler suszony metodą mikrofalowo-próżniową jest w stanie zwiększyć swoją masę prawie 9-krotnie w stosunku do masy suszu, ale wymaga to znacznie dłuższej rehydracji. Dla wszystkich metod suszenia, blanszowanie selera spowodowało istotny wzrost masy próbki w stosunku do materiału nie poddanego obróbce wstępnej. Seler suszony sublimacyjnie już po dwóch godzinach rehydracji osiąga masę zbliżoną do masy równowagowej.

Tabela 1. Względne przyrosty masy próbki, masy wody i zawartość suchej substancji w trakcie rehydracji  
 Table 1. Relative gains in the sample mass, water mass, and dry matter content during rehydration

		przyrost masy próbki			przyrost masy wody			ubytek masy suchej substancji		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
suszenie konwekcyjne	brak obróbki wstępnej	7,05	0,23	0,987	0,68	0,02	0,989	0,45	0,01	0,994
	blanszowanie	8,83	0,34	0,980	0,78	0,03	0,981	0,49	0,02	0,992
suszenie mikrofalowe	brak obróbki wstępnej	8,39	0,26	0,988	0,78	0,02	0,990	0,39	0,02	0,988
	blanszowanie	10,07	0,30	0,988	0,85	0,03	0,988	0,49	0,02	0,985
suszenie sublimacyjne	brak obróbki wstępnej	7,26	0,42	0,963	0,65	0,04	0,966	0,51	0,02	0,978
	blanszowanie	8,55	0,71	0,938	0,73	0,07	0,941	0,58	0,02	0,973

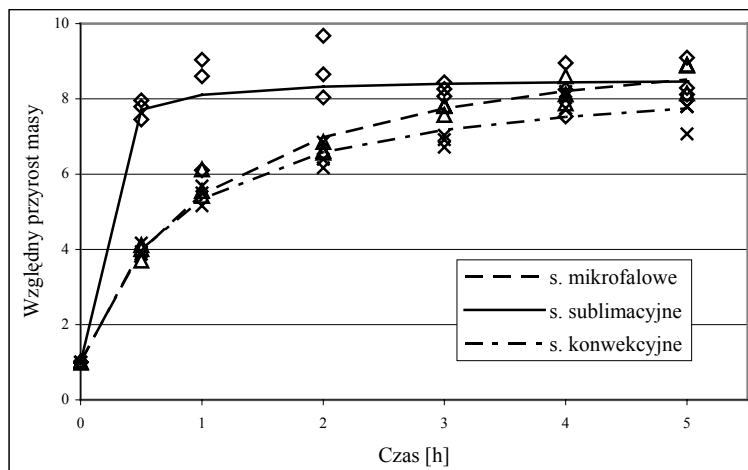
Źródło: obliczenia własne autora

I – wartość równowagowa  
 II – błąd standardowy estymacji  
 III – współczynnik determinacji  $r^2$



Rys. 1. Względny przyrost masy próbki w trakcie rehydracji selera nie poddanego obróbce wstępnej przed suszeniem

Fig. 1. Relative gain in water mass in a sample subjected to rehydration for celery without pretreatment before drying

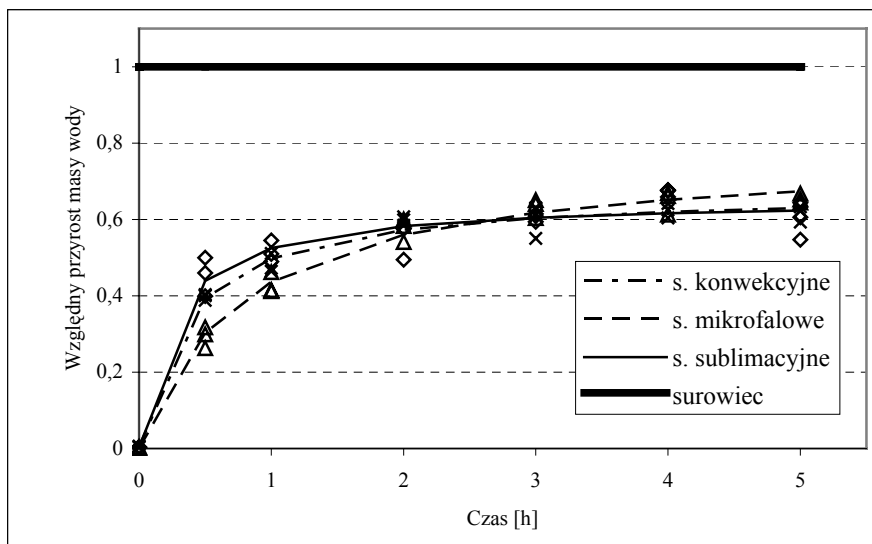


Rys. 2. Względny przyrost masy próbki w trakcie rehydracji selera blanszowanego przed suszeniem

Fig. 2. Relative gain in the sample mass during rehydration of celery blanched before drying

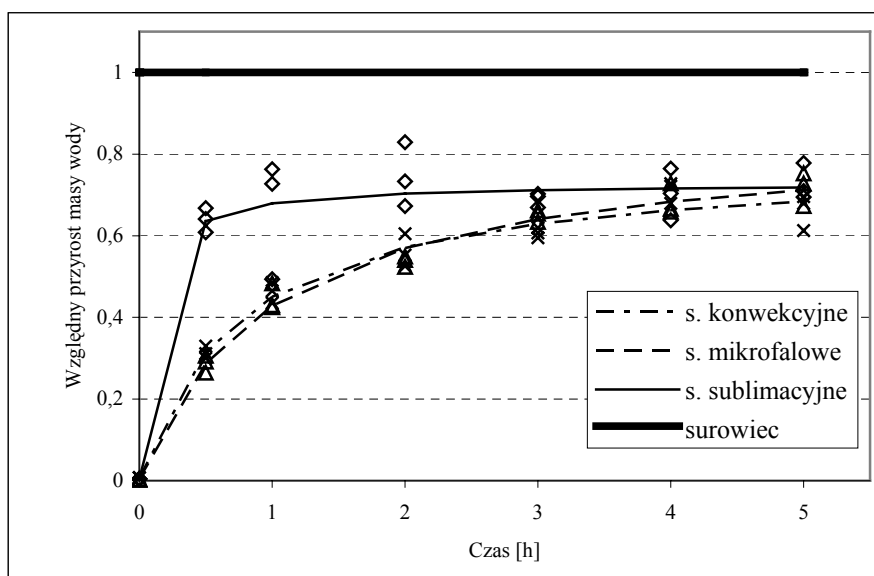
Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono zmiany ilości wody wchłanianej przez seler w trakcie uwadniania w odniesieniu do masy wody w surowcu. W żadnym przypadku, po pięciu godzinach rehydracji, materiał nie wchłonął takiej ilości wody jaką posiadał surowiec. W oparciu o analizę wartości równowagowych można stwierdzić, że potencjalnie największe możliwości wchłaniania wody posiada seler suszony mikrofalowo-próżniowo. Blanszowanie selera poprawia możliwości wchłaniania wody przez produkt dla wszystkich badanych metod suszenia. Seler blanszowany i następnie suszony sublimacyjnie charakteryzuje się najwyższą kinetyką wchłaniania wody i już po około dwóch godzinach osiąga wartość równowagową.

Ubytki składników suchej substancji, w trakcie rehydracji selera, są najintensywniejsze w pierwszej fazie procesu (rysunki 5 i 6). Najniższe straty suchej substancji uzyskano dla selera suszonego sublimacyjnie zarówno w przypadku materiału blanszowanego jak i nie poddanego obróbce wstępnej. Blanszowanie selera przed suszeniem ogranicza ubytki suchej substancji w trakcie ponownego uwadniania, szczególnie dla materiału suszonego mikrofalowo pod obniżonym ciśnieniem i suszonego sublimacyjnie.



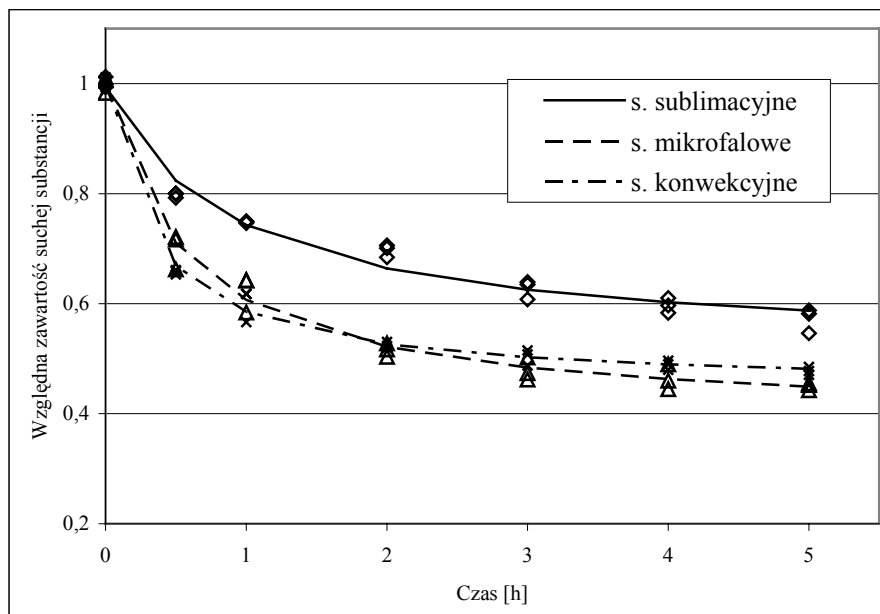
Rys. 3. Względny przyrost masy wody w rehydrowanej próbce dla selera nie poddanego obróbce wstępnej przed suszeniem

Fig. 3. Relative content of dry substance during rehydration for celery without pretreatment before drying



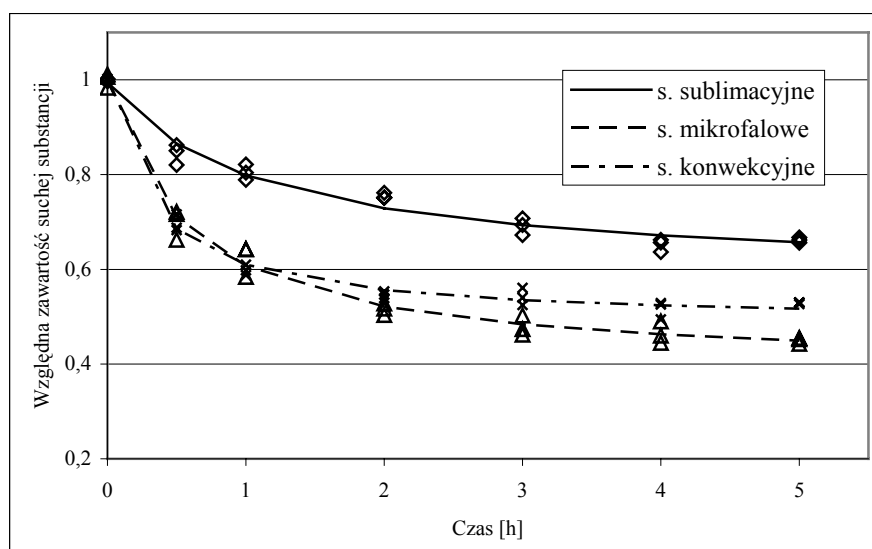
Rys. 4. Względny przyrost masy wody w rehydrowanej próbce dla selera blanszowanego przed suszeniem

Fig. 4. Relative content of dry substance during rehydration of celery blanched before drying



Rys. 5. Względna zawartość suchej substancji w trakcie rehydracji selera nie poddanego obróbce wstępnej przed suszeniem

Fig. 5. Relative content of dry substance during rehydration for celery without pretreatment before drying



Rys. 6. Względna zawartość suchej substancji w trakcie rehydracji selera blanszowanego przed suszeniem

Fig. 6. Relative content of dry substance during rehydration of celery blanched before drying

## Wnioski

1. W oparciu o analizę kinetyki zmian względnej masy próbki oraz wartości równowagowe stwierdzono, że po 5-godzinnej rehydracji jedynie seler suszony sublimacyjnie osiąga względną masę zbliżoną do masy równowagowej. Blanszowanie selera przed suszeniem zwiększa możliwości przyrostu masy próbki oraz przyspiesza kinetykę procesu szczególnie dla produktu uzyskanego metodą sublimacyjną.
2. Pięciogodzinna rehydracja korzenia selera pozwala na wchłonięcie około 70% masy wody w stosunku do ilości wody w surowcu. Blanszowanie zwiększa kinetykę wchłaniania wody przez susz uzyskany metodą sublimacyjną i po około dwóch godzinach rehydracji pozwala osiągnąć wartość równowagową.
3. Suszenie sublimacyjne istotnie zmniejsza straty suchej substancji w trakcie rehydracji selera w stosunku do pozostałych dwóch metod. Blanszowanie istotnie obniża straty suchej substancji, szczególnie dla produktu uzyskanego poprzez suszenie mikrofalowo-próżniowe i suszenie sublimacyjne.

## Bibliografia

- Giri S.K., Suresh Prasad** 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering* 78. s. 512-521.
- Femenia A., Bastard M.J., Sanjuan N., Rossello C., Mulet A.** 2000. Effect of rehydration temperature on the cell wall components of broccoli plant tissues. *Journal of Food Engineering* 46. s. 157-163.
- Kramkowski R.** 1998. Analiza suszenia sublimacyjnego wybranych surowców spożywczych. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu Nr 333, Rozprawy CLIII*
- Lewicki P.P.** 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering* 36. s. 81-87.
- Mastrocola D., Dall Rosa M., Massini R.** 1997. Freeze-dried strawberries rehydrated in sugar solutions: mass transfers and characteristics of final products. *Food Research International*, Vol. 30, No. 5. s. 359-364.
- Szarycz M.** 2001. Matematyczne modelowanie mikrofalowo-konwekcyjnego suszenia surowców rolniczych na przykładzie jabłek. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu Nr 420, Rozprawy CLXXXIII*.
- Witrowa-Rajchert D.** 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja "Rozwój SGGW". Warszawa.

*Praca wykonana w ramach projektu badawczego finansowanego przez KBN, nr rejestracyjny 2 P06T 048 30*



## THE EFFECT OF DRYING METHOD ON CELERY REHYDRATION

**Summary.** There was a research carried out on the rehydration of dried celery, dehydrated in sublimation, microwave-vacuum and convection processes. Blanching was used as pretreatment, and the results were referred to the results obtained for celery without pretreatment. The researchers calculated values of relative gain in the sample mass, relative gain in water mass, and dry matter mass decrements. Celery dried in a sublimation process is characterised by highest kinetics of the sample mass increment and water mass increment, and lowest dry matter mass decrements. Blanching intensifies kinetics of studied processes, which is of particular importance for product obtained using the sublimation method.

**Key words:** celery, dehydration/drying, blanching, rehydration

**Adres do korespondencji:**

Bogdan Stępień; e-mail: [stepien@imr.ar.wroc.pl](mailto:stepien@imr.ar.wroc.pl)  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chełmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław