

Marian Szarycz, Marcin Fidos, Klaudiusz Jałoszyński  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

## ANALIZA MIKROFALOWEGO SUSZENIA SELERA KORZENIOWEGO W WARUNKACH OBNIŻONEGO CIŚNIENIA. KINETYKA SUSZENIA I SKURCZ SUSZARNICZY

### Streszczenie

W artykule przedstawiono przebieg suszenia i skurcz suszarniczy selera korzeniowego suszonego w warunkach obniżonego ciśnienia z nagrzewaniem mikrofalowym. Materiał świeży i blanszowany przygotowano w formie walców. Przebieg suszenia opisano równaniami przy użyciu programu TABLECURVE 2D.

**Słowa kluczowe:** suszenie, podciśnienie, mikrofałe, seler korzeniowy, skurcz suszarniczy

### Wykaz oznaczeń

- $u$  – zawartość wody [kg/kg];
- $U_{red}$  – zredukowana zawartość wody [-]
- $p_A$  – ciśnienie górne - włączenie pompy [kPa];
- $p_B$  – ciśnienie dolne - wyłączenie pompy [kPa];
- $t$  – temperatura [°C];
- $\tau$  – czas [min];
- $s_k$  – skurcz [%]

### Wstęp

Sposób utrwalania żywności przez suszenie prowadzi do znacznych zmian strukturalnych. Zmiany te w określonych warunkach mogą być pozytywne, lecz najczęściej prowadzą do znacznego obniżenia wartości odżywczych. Poza degradacją chemiczną i biochemiczną, dochodzi do wzrost sił napięcia powierzchniowego

i w efekcie zapadanie i kurczenie się struktury materiału [King 1980]. Proces ten określa się skurczem suszarniczym, który zaczyna się praktycznie wraz z rozpoczęciem procesu suszenia. W tradycyjnych metodach suszenia takich jak suszenie konwekcyjne mamy do czynienia ze skurczem suszarniczym na poziomie 90% [Szarycz i in. 2003b] i niemal całkowitą degradacją witamin. Przeprowadzone w ostatnich latach badania suszu uzyskanego na drodze mikrofalowo-podciśnieniowej wykazują, że objętościowy skurcz suszarniczy kształtuje się dla większości surowców rolniczych na poziomie 65% a stopień zachowania witamin na poziomie 60%. Skurcz suszarniczy wywołany suszeniem mikrofalowo – podciśnieniowym można, więc uznać za znacznie ograniczony w stosunku do skurczu wywołanego suszeniem konwekcyjnym. Istnieją również metody (np. suszenie sublimacyjne), w których skurcz suszarniczy kształtuje się na poziomie poniżej 10% [Kramkowski i in. 2001] jednakże w czasie takiego suszenia następuje 60% degradacja nietrwałych związków zawartych w surowcu.

### **Cel badań**

Celem badań było opisanie kinetyki procesu suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego selera korzeniowego, oraz skurczu suszarniczego powstającego w trakcie procesu równaniami empirycznymi.

### **Metodyka badań**

Do badań użyto selera korzeniowego odmiany Makar. Materiał w kształcie walców o średnicy 10mm i wysokości 10 mm uzyskiwano przy użyciu wykrojnika, co zapewniało dokładność utrzymania wymiarów 0,2 mm. Tak przygotowany materiał został podzielony na dwie grupy: na materiał, który był suszony w stanie świeżym i na materiał, który został poddany wstępnej obróbce blanszowania w wodzie o temperaturze 95°C przez 4 minuty.

Schemat stanowiska badawczego oraz schemat ideowy przebiegu procesu przedstawiono w szeregu publikacjach [np. Szarycz i in. 2002c]. Badania suszenia przeprowadzono przy zakresie cisnień:

$$p_A=4 \text{ kPa}, p_B=2 \text{ kPa};$$

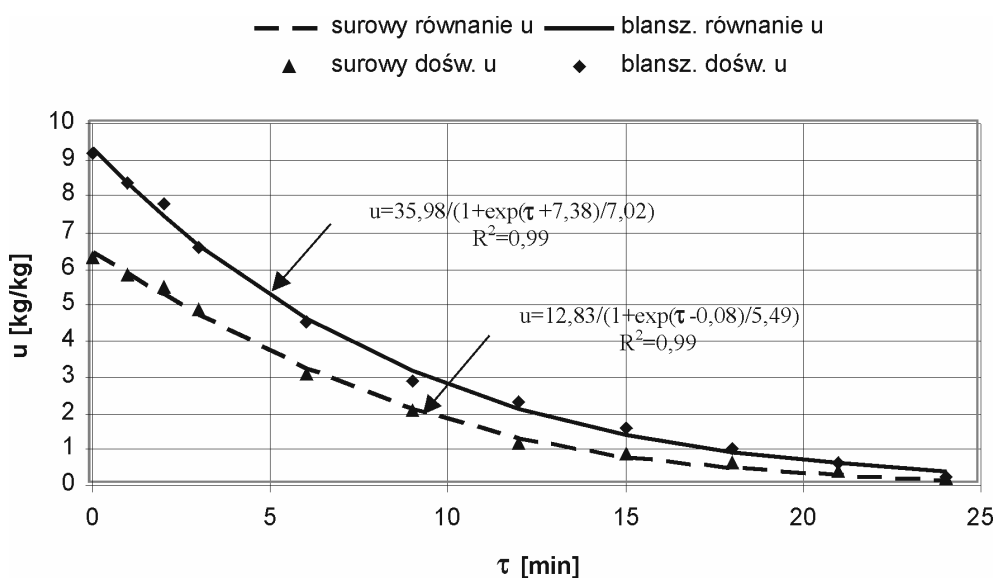
gdzie:

- $p_A$  – ciśnienie „górne”, włączanie pompy próżniowej;
- $p_B$  – ciśnienie „dolne”, wyłączenie pompy próżniowej.

Moc mikrofal ustalono na poziomie 40% mocy maksymalnej (1200 W), co daje 480W. Próbkę materiału o masie ok. 60g ważono na wadze laboratoryjnej, określano objętość w cylindrze miarowym wypełnionym wodą a następnie umieszczano w zbiorniku suszącym. Zbiornik podłączano do instalacji podciśnieniowej i włączano magnetrony. Kolejne doświadczenia przerywano po 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 i 24 minutach. W wyjętych ze zbiornika próbkach określano objętość materiału w tym samym cylindrze miarowym wypełnionym toluenem. Pozwoliło to na określenie objętościowego skurczu suszarniczego uzyskując kolejne punkty krzywej. Oznaczano również zawartość wody metodą suszarkową, uzyskując kolejne punkty krzywej suszenia. Badania wykonywano w co najmniej trzech powtórzeniach. W doświadczeniach każdorazowo używano materiału wyjściowego.

### Wyniki badań i dyskusja

Kinetykę suszenia selera korzeniowego świeżego i blanszowanego przedstawiono w formie wykresów  $u = f(\tau)$  i  $U_{red} = f(\tau)$ . Przebieg procesu opisano równaniami empirycznymi przy wykorzystaniu programu TABLECURVE 2D i przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Porównanie przebiegu suszenia selera surowego i blanszowanego  $u=f(\tau)$   
 Fig. 1. The comparison of the drying kinetics for the raw and blanched celery  $u=f(\tau)$

Kinetykę suszenia materiału świeżego opisuje równanie:

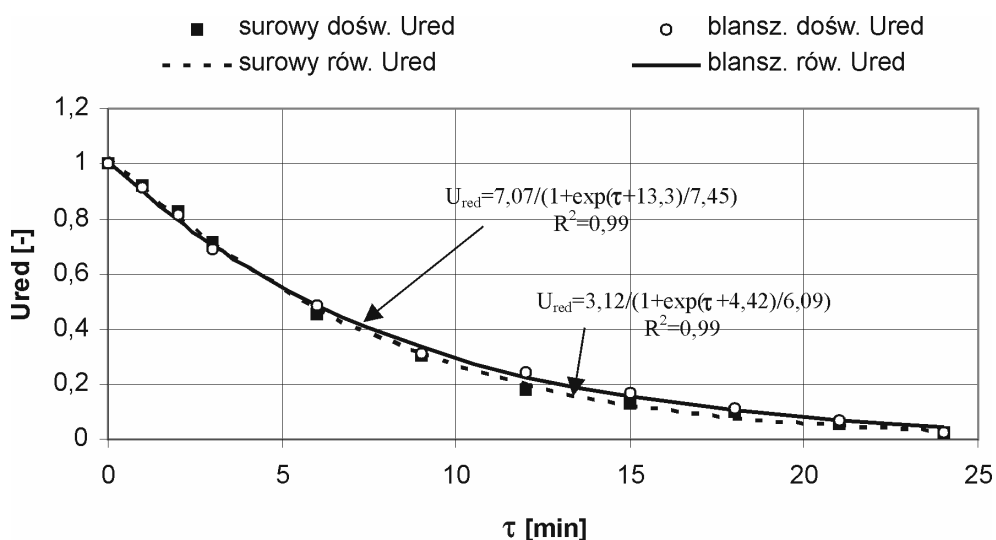
$$u=12,83/(1+\exp(\tau-0,08)/5,49) \quad (1)$$

a materiału blanszowanego równanie:

$$u=35,98/(1+\exp(\tau+7,38)/7,02) \quad (2)$$

Materiał poddany blanszowaniu charakteryzował się wyższą początkową zawartością wody niż materiał świeży. Mogło to być spowodowane wypełnieniem wodą przestrzeni powietrznych występujących w materiale.

Przebieg procesu w skali zredukowanej zawartości wody opisano równaniami empirycznymi i przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Porównanie przebiegu suszenia selera surowego i blanszowanego  $U_{red}=f(\tau)$

Fig. 2. The comparison of the drying kinetics for the raw and blanched celery  $U_{red}=f(\tau)$

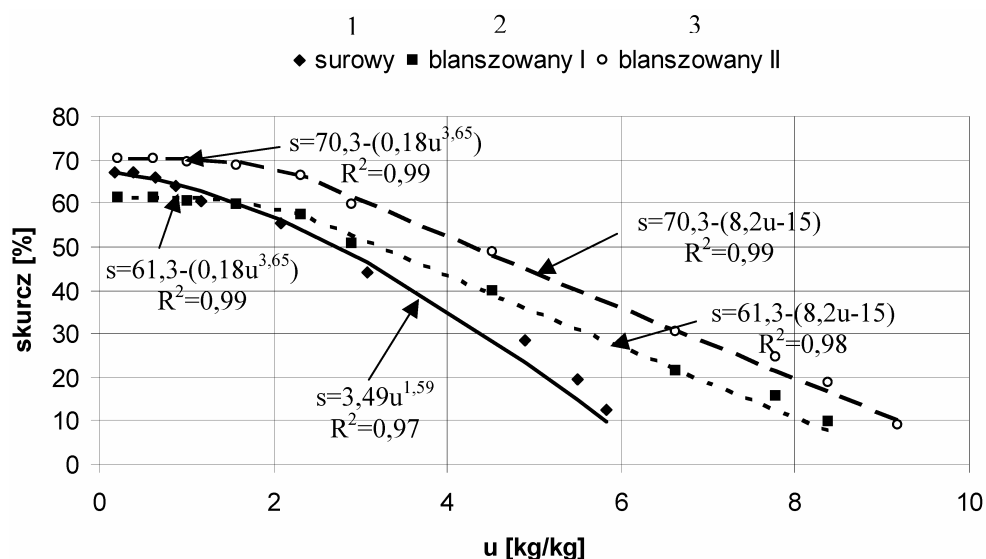
Kinetykę suszenia materiału świeżego opisuje równanie:

$$U_{red}=3,12/(1+\exp(\tau+4,42)/6,09) \quad (3)$$

a materiału blanszowanego równanie:

$$U_{red}=7,07/(1+\exp(\tau+13,3)/7,45) \quad (4)$$

Na rysunku 3 przedstawiono przebieg skurczu suszarniczego selera korzeniowego surowego, blanszowanego oraz blanszowanego z uwzględnieniem skurczu spowodowanego wstępną obróbką blanszowania.



Rys. 3. Porównanie przebiegu skurczu selera surowego i blanszowanego: 1 – seler świeży; 2 – seler blanszowany; 3 – seler blanszowany z uwzględnieniem skurczu podczas blanszowania

Fig. 3. The comparison of the shrinkage kinetics for the raw and blanched celery: 1 – raw celery; 2 – blanched celery; 3 – blanched celery and shrinkage during blanching

Obróbka blanszowania, która poprzedzała proces suszenia powodowała ok. 9% skurcz w stosunku do selera surowego. Przebieg skurczu selera surowego opisano równaniem:

$$s = 3,49u^{1,59} \quad (5)$$

Przebiegi skurczu suszarniczego dla selera blanszowanego i selera blanszowanego z uwzględnieniem skurczu spowodowanego blanszowaniem opisano przy pomocy dwóch równań:

– seler blanszowany:

$$\text{Faza początkowa} - s = 61,3 - (8,2u - 15) \quad (6)$$

$$\text{Faza końcowa} - s = 61,3 - (0,18u^{3,65}) \quad (7)$$

- seler blanszowany z uwzględnieniem skurczu w trakcie blanszowania:
  - Faza początkowa –  $s=70,3-(8,2u-15)$  (8)
  - Faza końcowa –  $s=70,3-(0,18u^{3,65})$  (9)

## Wnioski

1. Wstępne blanszowanie spowodowało wzrost początkowej zawartości wody w cząstkach selera w porównaniu do zawartości wody w materiale świeżym.
2. Maksymalny objętościowy skurcz suszarniczy cząstek selera świeżego wyniósł 68%, a selera blanszowanego 62%. Zakładając równomierność zmian liniowych cząstek, liniowy skurcz cząstek świeżych wyniósł 31%, a blanszowanych 23%. Obróbka blanszowania spowodowała 9% skurcz próbek w stosunku do próbek surowych.
3. Do opisu kinetyki suszenia wytypowano rodzinę krzywych o ogólnej postaci wytypowano rodzinę o ogólnej postaci:
  - $y = a/(1+\exp(-(x-b)/c))$Szczegółowe równania opisujące przebieg kinetyki suszenia mają postać:
  - materiał świeży:  $u = 12,83/(1+\exp(\tau-0,08)/5,49)$   
 $U_{red} = 3,12/(1+\exp(\tau+4,42)/6,09)$
  - materiał blanszowany:  $u = 35,98/(1+\exp(\tau+7,38)/7,02)$   
 $U_{red} = 7,06/(1+\exp(\tau+13,4)/7,45)$
4. Skurcz suszarniczy selera surowego opisano równaniem postaci:  
 $s=3,49u^{1,59}$   
Skurcz suszarniczy selera blanszowanego opisano równaniami:
  - seler blanszowany:
    - Faza początkowa –  $s=61,3-(8,2u-15)$
    - Faza końcowa –  $s=61,3-(0,18u^{3,65})$
  - a uwzględniając skurcz powstający w trakcie blanszowania:
    - Faza początkowa –  $s=70,3-(8,2u-15)$
    - Faza końcowa –  $s=70,3-(0,18u^{3,65})$

## Bibliografia

- King C.J. 1980. Nowe techniki odwadniania, Materiały z sympozjum IUFoST, pod red. Spicera A., WNT, Warszawa, 476-478.
- Kramkowski R., Paślawska M., Peroń S. 2001. Ocena wpływu suszenia sublimacyjnego na cechy wytrzymałościowe selera korzeniowego, Inż. Rol., 12, 161-167.
- Kramkowski R., Szarycz M., Stepień B., Fidos M. 2003. Investigation into the rehydration of microwave dried carrot under reduced pressure, Acta Agr., vol. 2(2), s. 331-338.

Szarycz M., Kamiński E., Jałoszyński K., Szponarska A. 2003b. Analiza mikrofalowego suszenia pietruszki w warunkach obniżonego ciśnienia. Część II. Skurcz suszarniczy i rehydracja suszu, Technica Agraria 2(2), s. 29-36.

Szarycz M., Kramkowski R., Kamiński E., Jałoszyński K. 2002c. Kinetics of carrot drying in the conditions of reduced pressure with microwave heating. Acta Agrophisica, Properties of Water in Foods. Lublin, 2002, s. 147-154.

### **ANALYSIS OF MICROWAVE DRYING OF ROOT CELERY IN CONDITIONS OF DECREASED PRESSURE**

The paper presents the progress of drying and drying shrinkage of root celery, dried in conditions of decreased pressure with microwave heating. Cylindrical samples of fresh and blanched material were prepared. The drying progress was described by equations, using the TABLECURVE 2D application.

**Key words:** drying, reduced pressure, microwaves, root celery, shrinkage, during drying