

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

**WPLYW ZAKRESU CIŚNIEŃ
PODCZAS SUSZENIA MIKROFALOWEGO
POD OBNIŻONYM CIŚNIENIEM SELERA KORZENIOWEGO
NA KINETYKĘ PROCESU
I PRACĘ CIĘCIA REHYDROWANEGO MATERIAŁU**

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań niektórych właściwości selera korzeniowego odmiany Makar. Badania dotyczyły przebiegu kinetyki suszenia mikrofalowego pod obniżonym ciśnieniem oraz pracy cięcia materiału świeżego oraz zrehydrowanego. Kinetykę suszenia opisano równaniami empirycznymi wyznaczając krytyczne zawartości wody w materiale, przy których zmieniał się charakter zjawisk. Wyznaczono również wartości pracy cięcia materiału świeżego oraz zrehydrowanego suszu. Praca cięcia zrehydrowanego suszu była od 1,5-2 razy wyższa od pracy cięcia surowca wyjściowego.

Słowa kluczowe: suszenie mikrofalowo-podciśnieniowe, rehydracja, praca cięcia, seler

Wstęp

W przetwarzaniu żywności ważnym problemem jest uzyskanie produktu o jak najwyższej jakości, nie odbiegającego znacznie od właściwości wyjściowych surowca. Jednym ze sposobów przetwarzania żywności jest proces suszenia stosowany często w przemyśle spożywczym. Suszenie ma na celu zmniejszenie zawartości wody w materiale oraz spowolnienie reakcji chemicznych zachodzącym podczas przechowywania. Tradycyjne metody suszenia powodują szereg niekorzystnych zmian w strukturze komórkowej, które wpływają na utratę walorów sensorycznych oraz cennych witamin.

Jedną z metod suszenia, w której upatruje się możliwość poprawy jakości suszu, jest suszenie mikrofalowe prowadzone w warunkach obniżonego ciśnienia [Szarycz i in. 2003]. Zastosowanie powyższej metody pozwala na otrzymanie suszu o wysokiej jakości, przewyższającej często jakość suszu uzyskiwanego na

drodze sublimacyjnej. Zastosowanie ciśnień niższych od atmosferycznego powoduje wrzenie wody przy obniżonej temperaturze, co może mieć znaczący wpływ na zmniejszoną utratę właściwości biochemicznych oraz na zawartość witamin. Ważną cechą zrehydrowanego suszu jest wartość jego pracy cięcia, świadcząca o zmianach struktury wewnętrznej materiału w porównaniu z surowcem wyjściowym.

Cel

Celem pracy było zbadanie przebiegu kinetyki suszenia selera odmiany Makar suszonego mikrofalowo pod obniżonym ciśnieniem oraz wyznaczenie pracy cięcia zrehydrowanego suszu i porównanie jej z pracą cięcia surowca.

Materiał i metodyka

Do badań użyty był seler korzeniowy odmiany Makar, krojony w walce o wysokości 10 mm i średnicy 10 mm. Próbkę wycinano z tkanki mięksiszowej (perenchymy) środkowej części korzenia. Czynność tę wykonywano wykrojnikiem, co zapewniało dokładność utrzymania wymiarów do 0,2 mm. Po przygotowaniu surowca, odważano próbki o masie około 60 gramów na wadze firmy RADWAG typu WPE 600 o dokładności 0,01 g, i poddawano suszeniu mikrofalowemu pod obniżonym ciśnieniem w instalacji przedstawionej na rysunku 1.

Zasadniczą częścią stanowiska jest zbiornik suszarniczy 1 połączony z instalacją podciśnienia. W celu równomiernego nagrzewania próbek zastosowano układ zapewniający możliwość obrotu tego zbiornika w czasie suszenia. Zbiornik umieszczono we wnęce mikrofalowej, poprzez którą przepływało powietrze nagrzewane do temperatury wrzenia wody przy zastosowanym ciśnieniu. Pole elektromagnetyczne we wnęce wytwarzały dwa magnetrony 7 o łącznej mocy maksymalnej 1200 W. Moc magnetronów była sterowana amplitudowo. W osi zbiornika wykonano kanał, przez który przedostawała się para wodna do zbiornika wyrównawczego. Łącznik 9 umożliwiał obrót zbiornika suszącego. Moc magnetronów ustawiono na poziomie 40% mocy maksymalnej, czyli 480 W. Regulator ustawiono na ciśnienie włączania i wyłączenia pompy próżniowej. W kolejnych doświadczeniach zastosowano ciśnienia w przedziałach:

$p_A=6$ kPa, $p_B=4$ kPa,

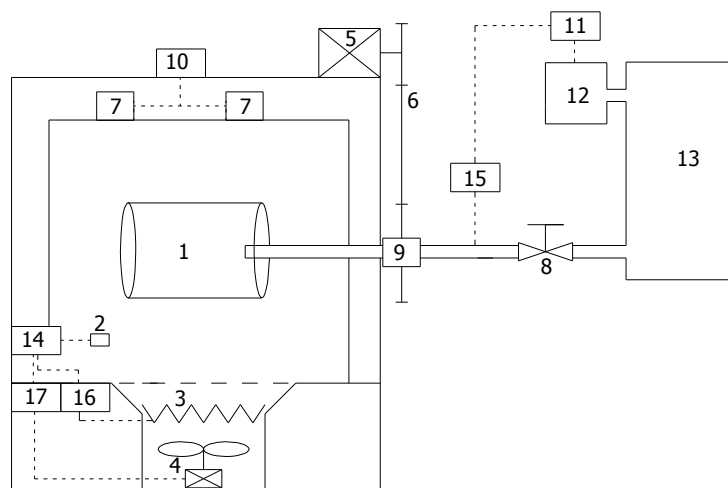
$p_A=8$ kPa, $p_B=6$ kPa,

$p_A=10$ kPa, $p_B=8$ kPa,

gdzie:

p_A – ciśnienie przy który włączano pompę próżniową;

p_B – ciśnienie przy który wyłączano pompę próżniową.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – komora suszenia, 2 – czujnik temperatury, 3 – grzałki, 4 – wentylator, 5 – silnik elektryczny, 6 – przekładnia, 7 – magnetrony, 8 – zawór zamykający, 9 – łącznik, 10 – układ sterowania mocą mikrofal, 11 – układ sterujący pracą pompy próżniowej, 12 – pompa próżniowa, 13 – zbiornik wyrównawczy, 14 – układ sterowania temperaturą, 15 – miernik podciśnienia, 16 – układ sterowania mocą grzałek, 17 – układ sterowania wentylatora [Szarycz i in. 2003]

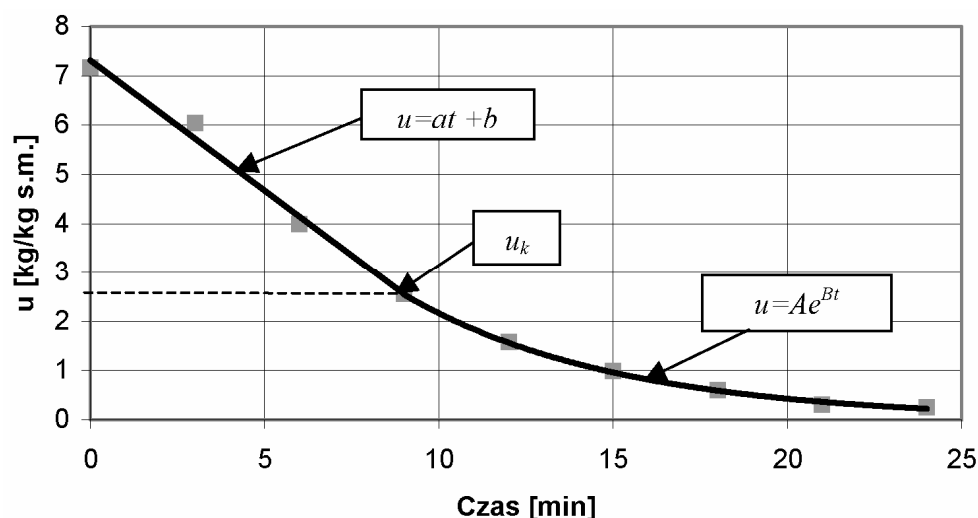
Fig. 1. A scheme of experimental plant: 1 – drying chamber, 2 – temperature sensor, 3 – heaters, 4 – fan, 5 – electric motor, 6 – gear, 7 – magnetron, 8 – cut off valve, 9 – connector, 10 – control system of microwave power, 11 – control system of vacuum pump, 12 – vacuum pump, 13 – equalising tank, 14 – temperature control system, 15 – negative pressure meter, 16 – control system of heaters power, 17 – fan control system [Szarycz i in. 2003]

Testy wytrzymałościowe przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej INSTRON 5566, w której zamontowano głowicę mierzącą wartości siły do 1kN, poruszającą się z prędkością 10 mm/min. Pomiar wartości siły wykonywano z dokładnością 0,01N, a pomiar odkształcenia z dokładnością 0,01 mm. Wartość pracy cięcia całego walca obliczano metodą trapezów.

Próby cięcia przeprowadzono w dziesięciu powtórzeniach dla każdego badanego przypadku (materiał świeży, poddany rehydracji bezpośrednio po suszeniu mikrofalowym pod obniżonym ciśnieniem). Obliczenia wykonano według standardowych procedur [Kramkowski i in. 2001].

Wyniki i dyskusja

Na rysunku 2 przedstawiono przebieg suszenia mikrofalowego pod obniżonym ciśnieniem walców selera korzeniowego przy zastosowanych ciśnieniach $p_A=6$ kPa, $p_B=4$ kPa.



Rys. 2. Przykładowy przebieg suszenia mikrofalowego pod obniżonym ciśnieniem cząstek selera korzeniowego. $p_A=6$ kPa, $p_B=4$ kPa

Fig. 2. A representative course of microwave drying under reduced pressure of root celery rods at $p_A = 6$ kPa and $p_B = 4$ kPa

W przebiegu procesu suszenia wyróżniono okres stałej szybkości suszenia, który opisano równaniem liniowym:

$$u = at + b \quad (1)$$

Okres ten kończył się, gdy zawartość wody w suszonym materiale osiągała wartość odpowiednią dla punktu krytycznego u_k . Po osiągnięciu wartości punktu u_k rozpoczynał się okres malejącej szybkości suszenia, który opisano równaniem wykładniczym:

$$u = Ae^{Bt} \quad (2)$$

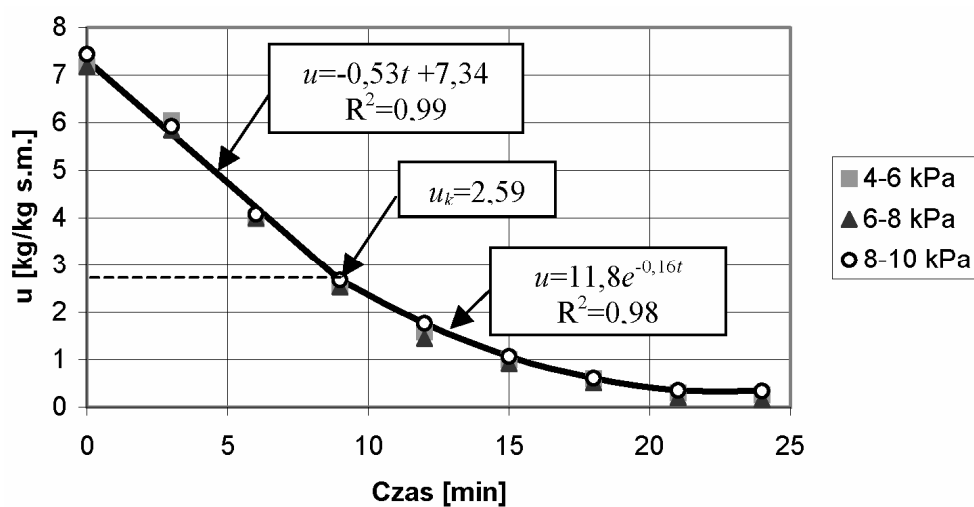
W tabeli 1 przedstawiono współczynniki równań okresów stałej i zmiennej szybkości suszenia przy wszystkich zastosowanych zakresach ciśnień wraz z wartościami uśrednionymi oraz współczynnikami dopasowania. Zawartość wody, przy której następowała zmiana charakteru suszenia, wynosiła odpowiednio od 2,54 kg H_2O/kg s.m dla przedziału ciśnień 8-6 kPa do 2,69 kg H_2O/kg s.m dla przedziału 10-8 kPa. Średnia wartość punktu u_k wyniosła 2,59 kg H_2O/kg s.m.

Tabela 1. Współczynniki równań 1 i 2 opisujących kinetykę suszenia selera dla poszczególnych ciśnień

Table 1. Coefficients of equations 1 and 2 describing the kinetics of celery drying for respective pressures

Zakresy ciśnień Pressure range		Okres I $u = at + b$		R^2	u_k	Okres II $u = Ae^{Bt}$		R^2
p_A , kPa	p_B , kPa	a	b			A	B	
6	4	-0,53	7,32	0,99	2,56	10,94	-0,16	0,99
8	6	-0,52	7,25	0,99	2,54	14,93	-0,19	0,98
10	8	-0,54	7,45	0,99	2,69	9,98	-0,15	0,97
Wartości średnie Mean values		-0,53	7,34	0,99	2,59	11,8	-0,16	0,98

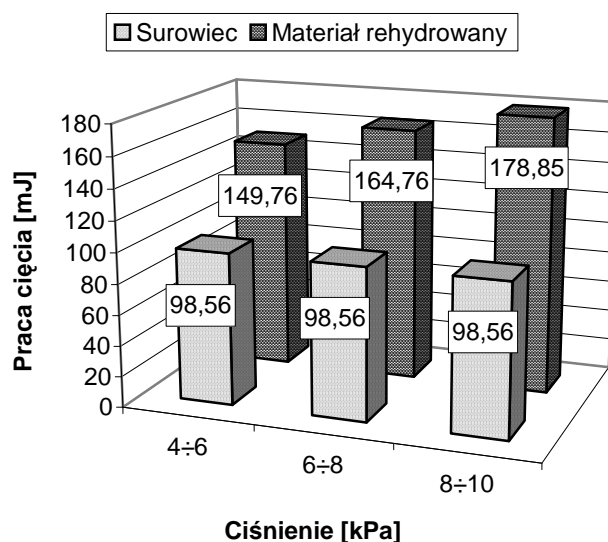
Na rysunku 3 przedstawiono przebieg suszenia mikrofalowego pod obniżonym ciśnieniem przy wszystkich zastosowanych w kolejnych doświadczeniach przedziałach ciśnień oraz naniesiono krzywą uśrednioną.



Rys. 3. Przebiegi suszenia selera w warunkach mikrofalowo – podciśnieniowych dla wszystkich zakresów ciśnień oraz krzywa wartości uśrednionych poszczególnych współczynników równań liniowych i wykładniczych

Fig. 3. Time courses of the microwave drying under reduced pressure of celery for all pressure ranges, and the curve of mean values of individual coefficients of linear and exponential equations

Zestawienie średnich wartości pracy cięcia zrehydrowanych cząstek uzyskanych poprzez suszenie mikrofalowo-podciśnieniowe przy zastosowanych przedziałach ciśnień przedstawiono na rysunku 4. Z zaprezentowanego przebiegu wynika, że wraz ze wzrostem przedziałów ciśnienia nastąpił wzrost wartości pracy cięcia suszu zrehydrowanego bezpośrednio po suszeniu. Przy zakresie 6-8 oraz 8-10 kPa, wartości pracy cięcia dla suszu zrehydrowanego bezpośrednio po suszeniu są o 67% i 81% wyższe od wartości pracy potrzebnej do przecięcia materiału świeżego i wynoszą odpowiednio 164,76 mJ oraz 178,85 mJ. Natomiast dla przedziału 4-6 kPa wzrost pracy cięcia dla materiału zrehydrowanego bezpośrednio po suszeniu jest o 52% większa w stosunku do surowca i wynosi 149,76 mJ.



Rys. 4. Średnie wartości pracy cięcia selera świeżego oraz zrehydrowanego bezpośrednio po suszeniu mikrofalowym pod obniżonym ciśnieniem

Fig. 4. Mean values of the cutting work as a function of pressure range for fresh celery rods and rods rehydrated directly after microwave drying under reduced pressure

Wnioski

1. W kinetyce suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego cząstek selera korzeniowego wyróżniono okresy stałej i zmiennej szybkości suszenia. Okres stałej szybkości suszenia opisano równaniem liniowym:

$$u = -0,53t + 7,34$$

natomiast okres zmiennej szybkości suszenia opisano równaniem wykładniczym:

$$u = 11,8e^{-0,16t}$$

2. Zastosowane zakresy ciśnień nie wpłynęły na przebieg kinetyki suszenia.
3. Wraz z podwyższeniem wartości ciśnienia następuje wzrost pracy cięcia rehydrowanego suszu w stosunku do pracy cięcia surowca. Wzrost pracy cięcia może być spowodowany podwyższeniem temperatury podczas procesu suszenia i większym usztywnieniem struktury wewnętrznej materiału poddawanego późniejszej rehydracji.

Bibliografia

Kramkowski R., Banasik K., Gawlik P. 2001. The influence of the temperature of freeze-drying process on the mechanical properties of dried mushrooms. EJPAU, vol.4, issue 2.

Kramkowski R., Szarycz M., Stępień B., Fidos M. 2003. Investigation of rehydration of microwave dried carrot under reduced pressure. Acta Agrophysica, 2(2), 331-338.

Szarycz M., Kamiński E., Jałoszyński K., Szponarska A. 2003. Analiza mikrofalowego suszenia pietruszki w warunkach obniżonego ciśnienia. Cz. I. Kinetyka suszenia pietruszki nieblanszowanej i blanszowanej. Tech. Agr., 2(2), 17-21.

Szarycz M. 2001. Mathematical modeling of microwave-convection drying of agricultural raw materials on the example of apples (in Polish), Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej Wrocław, nr 420.

**THE INFLUENCE OF MICROWAVE VACUUM DRYING
OF ROOT CELERY ON THE SELECTED PROPERTIES
AND CUTTING WORK**

Summary

The paper presents the results of investigation on some properties of root celery of the Makar variety. The studies were concerned with the kinetics of a microwave drying under reduced pressure process and the work on cutting the fresh and dried material. The kinetics of drying were described with empirical equations and the critical water contents at which the process character changed were measured. The work on cutting fresh and rehydrated material was also determined, being 1.5–2 times larger than that on the initial raw material.

Key words: microwave drying under reduced pressure, work on cutting, celery