

*Adam Figiel, Marian Szarycz, Bożena Świerk*  
*Instytut Inżynierii Rolniczej*  
*Akademia Rolnicza we Wrocławiu*

## **SUSZENIE JABŁEK METODĄ MIKROFALOWĄ W WARUNKACH OBNIŻONEGO CIŚNIENIA**

### **Streszczenie**

Jabłka trzech odmian poddano suszeniu metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia. Wycięte z tkanki badanych jabłek sześciennie próbki o boku 10 mm poddano blanszowaniu w wodzie o temperaturze 70°C przez 2 minuty. Proces suszenia przebiegał przy ciśnieniu 2 – 4 kPa i zastosowaniu mocy mikrofal 480W. Próbki jabłek odmiany Rubin zostały dodatkowo wysuszone przy zastosowaniu mocy 240 i 720W. Stwierdzono, że proces suszenia można podzielić na trzy okresy i opisać przy użyciu funkcji potęgowej, liniowej i wykładniczej. W pierwszym okresie suszenia najmniejszą szybkość suszenia zaobserwowano w przypadku odmiany Rubin a największą w przypadku odmiany Ligol. Jednak całkowity czas suszenia nie zależał od odmiany badanych jabłek. Zastosowanie mocy mikrofal 720W spowodowało skrócenie czasu suszenia i wyeliminowanie trzeciego okresu suszenia.

**Słowa kluczowe:** jabłka, kinetyka suszenia, mikrofałe, obniżone ciśnienie

### **Wykaz symboli**

<i>M</i>	– wilgotność [%]
<i>S</i>	– szybkość suszenia [%·min <sup>-1</sup> ]
<i>t</i>	– czas [s]
<i>a, b, c</i>	– parametry funkcji

### **Wprowadzenie**

W suszarnictwie najbardziej rozpowszechnione jest suszenie metodą konwekcji wymuszonej. Wadą tej metody jest duża energochłonność i mała efektywność suszenia. Suszenie metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia jest jednym z najnowocześniejszych i najefektywniejszych sposobów utrwalania materiałów biologicznych [Lin i in. 1998]. Zastosowanie w suszeniu mikrofal powoduje nagrzewanie materiału od wewnątrz. Następuje wówczas szybki wzrost

*Adam Figiel, Marian Szarycz, Bożena Świerk*

temperatury surowca do wartości zależnej od panującego w komorze ciśnienia [Drouzas i Schubert 1996]. Bezpośredni pomiar temperatury w trakcie suszenia jest niezwykle skomplikowany. Wyznaczenie rzeczywistej temperatury panującej wewnątrz suszonego materiału jest możliwe na drodze obliczeń teoretycznych [Szarycz 2001]. Zastosowanie odpowiednio niskiego ciśnienia zabezpiecza materiał biologiczny przed przegrzaniem przy jednoczesnym zwiększeniu intensywności odparowania wody z całej objętości tego materiału. W rezultacie szybkość suszenia jest znacznie większa niż przy zastosowaniu tradycyjnych metod suszenia. Dodatkowym istotnym czynnikiem wpływającym na kinetykę suszenia jest moc mikrofal [Andres i in. 2004].

### **Cel badań**

Celem pracy było wyznaczenie kinetyki suszenia jabłek wybranych odmian metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia.

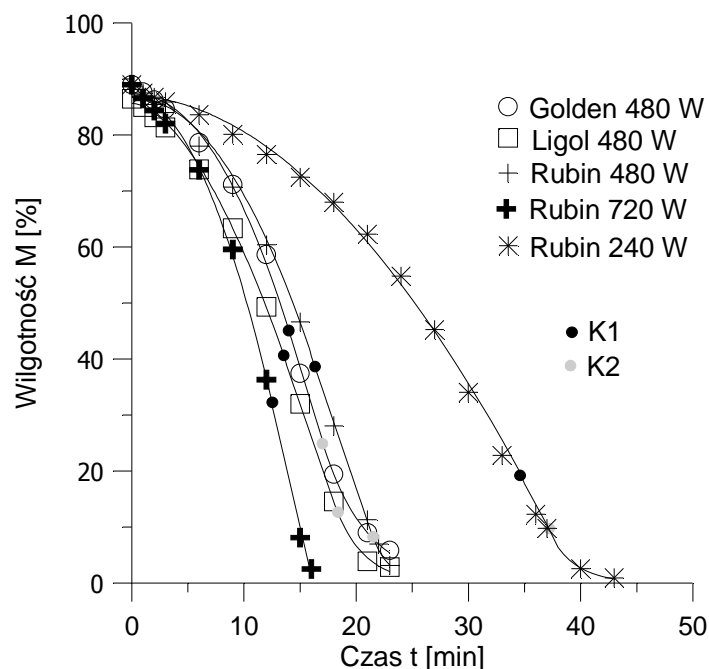
### **Metodyka badań**

Badano trzy odmiany jabłek: Ligol, Golden oraz Rubin. Z owoców wycięto próbki sześciennie o boku 10 mm, które tuż przed suszeniem w suszarce mikrofalowo-próżniowej VM-200 Plazmatronika blanszowano w wodnym roztworze kwasu cytrynowego o temperaturze 70°C przez 2 minuty. Wprawdzie technologia suszenia metodami tradycyjnymi nie wymaga blanszowania jabłek ale zaproponowana obróbka wstępna powodowała usunięcie z powierzchni próbek soku komórkowego i tym samym zapobiegała wzajemnemu sklejanemu się tych próbek jak również przywieraniu ich do powierzchni obracającego się z prędkością 6 obr/min szklanego bębna stanowiącego komorę suszenia. Wstępne badania wykazały, że w obszarze sklejonych powierzchni dochodziło do lokalnego nadmiernego wzrostu temperatury objawiającego się w postaci pociemnienia barwy. Proces suszenia przebiegał przy ciśnieniu 4–6 kPa. Zastosowana moc mikrofal wynosiła 480W. Dodatkowo przeprowadzono suszenie jabłek odmiany Rubin przy zastosowaniu mocy 240 i 720W. Kinetykę suszenia jabłek wyznaczono na podstawie ubytków masy 60–cio gramowych porcji surowca o znanej wilgotności początkowej.

### **Analiza wyników badań**

W wyniku wymywania substancji rozpuszczalnych wilgotność próbek wzrosła z 85,2 do 86,5% w przypadku odmiany Ligol, z 85,6 do 89% w przypadku odmiany Golden oraz z 87 do 89% w przypadku odmiany Rubin. Na podstawie estymacji

nieliniowej zastosowanej do wyznaczonych w trakcie suszenia punktów pomiarowych stwierdzono, że funkcje logistyczne o możliwie prostej postaci nie odzwierciedlały w pełni kinetyki suszenia, gdyż ujemna wartość asymptotyczna sugerowała możliwość osiągnięcia ujemnych wilgotności. Bardzo dobrym dopasowaniem do punktów eksperymentalnych charakteryzowała się asymetryczna funkcja sigmoidalna. Jednak zbyt skomplikowana postać tej funkcji utrudnia interpretację zjawisk zachodzących w trakcie suszenia. Dlatego zdecydowano się aby w procesie suszenia jabłek metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia wyodrębnić trzy okresy oddzielone punktami K1 oraz K2 (rys. 1).



Rys. 1. Krzywe suszarnicze jabłek wybranych odmian  
 Fig. 1. Drying curves for apples of selected varieties

Spadek wilgotności w pierwszym okresie suszenia między punktem początkowym i punktem K1 opisano przy użyciu funkcji potęgowej, w drugim okresie między punktami K1 i K2 przy użyciu funkcji liniowej a w trzecim okresie między punktem K2 i punktem końcowym przy użyciu funkcji wykładniczej (tab. 1).

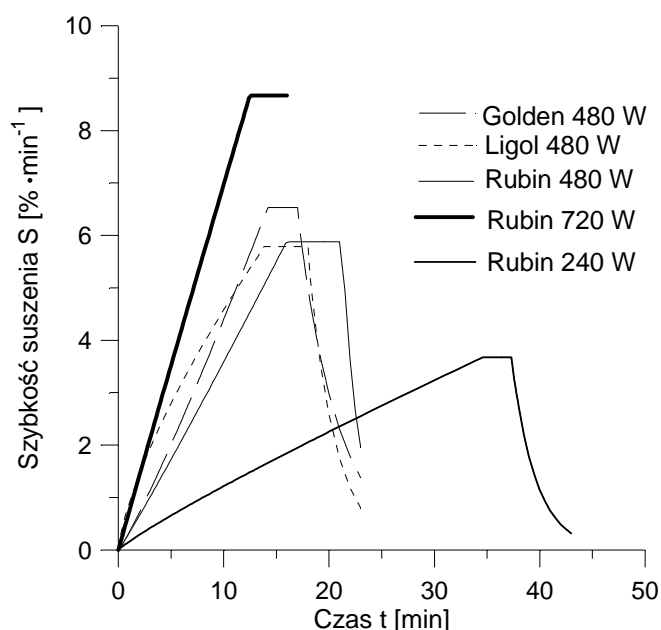
Tabela 1. Parametry funkcji opisujących spadek wilgotności  $M$  miąższu jabłek wybranych odmian w trzech okresach suszenia przy zastosowaniu mocy mikrofal 480W i dodatkowo 240 oraz 720W w przypadku odmiany Rubin ( $t$  – czas suszenia,  $R^2=0,99$ )

Table 1. Parameters of functions describing the decrease of apple flash moisture content  $M$  for selected varieties in three drying periods at microwave power 480W and in addition at 240 and 720W for Rubin variety ( $t$  – time of drying,  $R^2=0,99$ )

Okres	Funkcja	Parametr	Golden 480W	Ligol 480W	Rubin 480W	Rubin 240W	Rubin 720W
I	$M = a + b \cdot t^c$	$a$	87,33	85,66	87,15	86,98	86,85
		$b$	-0,1535	-0,5179	-0,292	-0,0826	-0,3616
		$c$	2,129	1,713	1,83	1,891	1,987
II	$M = a + b \cdot t$	$a$	136,5	118,8	134,59	146,2	140
		$b$	-6,535	-5,79	-5,885	-3,671	-8,67
III	$M = a \cdot e^{-\frac{t}{b}}$	$a$	1979	16276	$4,56 \cdot 10^6$	$80,8 \cdot 10^6$	-
		$b$	3,892	2,562	1,623	2,323	-

Wartości bezwzględne pochodnych funkcji opisujących krzywe suszenia jabłek pozwoliły wyznaczyć szybkość suszenia w przedstawionych wyżej okresach (rys. 2). Wzrost szybkości suszenia w pierwszym okresie spowodowany był wzrostem temperatury wewnętrznej materiału do poziomu wynikającego z obniżonego ciśnienia panującego wewnątrz bębna suszarki. W tym okresie najmniejszą wartością szybkości suszenia przy zastosowaniu mocy 480W charakteryzowały się jabłka odmiany Rubin a największą jabłka odmiany Ligol. Stała szybkość suszenia w drugim okresie mogła być związana z ustabilizowaniem rozkładu temperatury oraz ciśnienia pary wodnej wewnątrz materiału [Szarycz 2001]. Spadek szybkości suszenia w trzecim okresie wynikał ze znacznie już zredukowanej zawartości wody. Zmniejszenie zawartości wody powoduje obniżenie ciepła właściwego oraz przewodności cieplnej materiału, którego temperatura wzrasta w obszarze działania mikrofal [Drouzas i in. 1996]. Wyjaśnienie różnic odmianowych w szybkości suszenia w poszczególnych okresach wymaga dodatkowych badań m.in. zmierzających do wyznaczenia współczynnika strat dielektrycznych. Całkowity czas suszenia potrzebny od uzyskania suszu o wilgotności około 3% wynosił 23 minuty i nie zależał już od odmiany jabłek. Natomiast w przypadku jabłek odmiany Rubin przy zastosowaniu mocy mikrofal 720 W znaczne szybkości suszenia w okresie pierwszym i drugim doprowadziły do uzyskania suszu o wilgotności 3% po 16 minutach przy eliminacji trzeciego okresu suszenia. Zastosowanie mocy 240 W wyraźnie obniżyło szybkość suszenia i tym samym doprowadziło do wydłużenia czasu suszenia aż do 43 minut. Maksymalne wartości szybkości suszenia

występujące w drugim okresie przy zastosowaniu mocy 240, 480 i 720W były równe wartościom bezwzględnym współczynników kierunkowych  $a$  prostych opisujących liniowy przebieg suszenia i wynosiły odpowiednio: 3,7; 5,9 i 8,7%·min<sup>-1</sup>.



Rys. 2. Szybkość suszenia jabłek wybranych odmian

Fig. 2. Drying rate for apples of selected varieties

## Wnioski

1. Suszenie jabłek odmiany Rubin, Golden i Ligol metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia można podzielić na trzy okresy: z rosnącą, stałą i malejącą szybkością suszenia.
2. W pierwszym okresie suszenia, przy zastosowaniu mocy 480 W, najmniejszą szybkością suszenia charakteryzowały się jabłka odmiany Rubin a największą jabłka odmiany Ligol, przy czym całkowity czas suszenia, obejmujący wszystkie trzy okresy, był podobny i nie zależał od odmiany jabłek.
3. W przypadku jabłek odmiany Rubin zwiększenie mocy mikrofal z 480 do 720 W spowodowało zwiększenie szybkości suszenia i wyeliminowanie trzeciego okresu suszenia a zmniejszenie mocy mikrofal z 480 do 240 W przyczyniło się do znacznego zmniejszenia prędkości suszenia we wszystkich trzech okresach i tym samym wydłużenia czasu suszenia.

*Adam Figiel, Marian Szarycz, Bożena Świerk*

## **Bibliografia**

Andres A., Bilbao K., Fito P. 2004. Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air – microwave dehydration. *J. of Food Eng.* 63, s. 71-78.

Drouzas A. E., Schubert H. 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. *J. of Food Eng.* 28, s. 203-209.

Lin T. M., Durance T. D., Scaman C. H. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Res. Inter.* 31 (2), s. 111-117.

Szarycz M. 2001. Matematyczne modelowanie mikrofalowo-konwekcyjnego suszenia surowców rolniczych na przykładzie jabłek. *Zesz. Nauk. AR we Wroc., Rozprawy CLXXXIII.* 420.

## **VACUUM – MICROWAVE DRYING OF APPLES IN THE LOW PREASSURE CONDITIONS**

### **Summary**

Apples of three different varieties: Rubin, Golden and Ligol were subjected to vacuum microwave dehydration. The 10 mm cubic samples were cut off from the tissue of studied apples and blanched in the water of temperature 70°C for 2 minutes. The drying process was carried out under the pressure 4 – 6 kPa and at a microwave power 480W. The samples of Rubin variety were extra dehydrated at a microwave power 240 and 720W. It was found that the drying process can be divided into three periods described by power, linear and exponential functions. At the first drying period the lowest drying rate was observed for Rubin variety, while Ligol variety exhibited the highest drying rate. However the total time of drying was the same for all varieties studied. The third period was not noticed and drying time was shorter when the microwave power 720W was applied.

**Key words:** apples, drying kinetics, microwaves, vacuum