

*Marian Szarycz, Klaudiusz Jałoszyński, Anna Pełka,
Magdalena Ostrowska, Bożena Świerk
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza we Wrocławiu*

WPŁYW PARAMETRÓW MIKROFALOWO-PRÓŻNIOWEGO SUSZENIA TRUSKAWEK NA PRZEBIEG PROCESU I SKURCZ SUSZARNICZY

Streszczenie

W pracy przedstawiono przebieg krzywych suszenia truskawek świeżych. Suszenie prowadzono w warunkach mikrofalowo-próżniowych. Zakres stosowanych ciśnień zawierał się pomiędzy 4-10 kPa. W przebiegu suszenia wyróżniono dwa okresy, które opisano równaniami empirycznymi. Określono również wartość skurczu suszarniczego.

Słowa kluczowe: suszenie, mikrofałe, próżnia, skurcz suszarniczy, truskawki

Wstęp

Świeże owoce mają największą wartość odżywczą jednak ich sezonowość sprawia, że nie są dostępne przez cały rok. Zachodzi więc potrzeba przetwarzania i konserwacji owoców. Jedną z metod konserwacji jest suszenie. Susz otrzymany metodami tradycyjnymi charakteryzuje się niską jakością, ponieważ witaminy ulegają degradacji. Metodą pozwalającą na zachowanie w dużym stopniu witamin w produkcie jest suszenie sublimacyjne [Lisowa i in. 1999]. Nową metodą wymagającą jeszcze wielu badań jest suszenie mikrofalowo-próżniowe, które pozwala na uzyskanie suszu o dobrej jakości. Metoda ta pozwala na otrzymanie suszy o podobnej jakości jak susze liofilizowane, o zachowanej naturalnej barwie i porowatej strukturze. Przez zastosowanie mikrofal, dzięki intensywnemu uwalnianiu energii w produkcie uzyskuje się efekt „nadmuchiwanie” spowodowany nagłym odparowaniem (wrzenie wody). Powoduje to intensyfikację procesu usuwania wody, a obniżone ciśnienie powoduje, że woda wrze w niższej niż w warunkach atmosferycznych temperaturze [Oszmiański 2002] Susz uzyskany tą metodą charakteryzuje się wyższą jakością niż susz uzyskiwany innymi metodami, ze względu na krótki czas suszenia, ograniczony kontakt z tlenem i niską temperaturą materiału podczas suszenia [Szarycz i in. 2003].

Artykuł finansowany w ramach projektu pt. „System stypendialny dla doktorantów Akademii Rolniczej we Wrocławiu”. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z europejskiego Funduszu Społecznego oraz budżetu państwa w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego. Środki Europejskiego Funduszu Społecznego stanowią 75% wartości projektu, natomiast środki z budżetu państwa 25%.

Proces usuwania wody z żywności o budowie tkankowej powoduje zmiany cech fizycznych takie jak skurcz, zmiany gęstości i wzrost twardości [Lenart 1997]. Na skurcz tkanki podczas suszenia wpływa struktura i skład surowca a także zastosowane metody suszenia. Skurcz wywołany suszeniem mikrofalowo-próżniowym można uznać za znacznie ograniczony w stosunku do skurczu wywołanego suszeniem konwekcyjnym. Jednakże jest znaczący w porównaniu z efektem suszenia sublimacyjnego, podczas którego skurcz nie występuje bądź jest pomijalnie mały [Szarycz i in. 2003].

Cel pracy

Celem pracy było opisanie kinetyki suszenia truskawek, oraz określenie skurczu suszarniczego.

Materiał i metodyka badań

Badania suszenia zostały przeprowadzone na stanowisku wykonanym w Instytucie Inżynierii Rolniczej [Szarycz i in. 2003]. Do badań użyto truskawek odmiany Senga-Sengana, która jest jedną z najpopularniejszych odmian przemysłowo-przetwórczych w Polsce. Truskawki te mają intensywnie czerwony miąższ, są bardzo smaczne i aromatyczne.

Przygotowanie surowca do badań polegało na zebraniu z plantacji, płukaniu, oddzieleniu szypułek i osuszeniu truskawek na bibule filtracyjnej. Następnie segregowano je, wybierając do badań owoce o średniej, charakterystycznej dla odmiany wielkości. Odważano próbkę o masie około 60g. na wadze laboratoryjnej (Radwag WPE 300 o dokładności 0,01g). Próbkę umieszczano w zbiorniku suszącym. W badaniach stosowano moc mikrofal 480 W, co stanowi 40% mocy magnetronów. Masę próbki i moc magnetronów ustalono na podstawie badań wstępnych. Badania suszenia przeprowadzono w trzech seriach przy zmiennym ciśnieniu:

- seria I $p_A=6$, $p_B=4$ kPa (temperatura wrzenia wody od 29°C do 36°C),
- seria II $p_A=8$, $p_B=6$ kPa (temperatura wrzenia wody od 36°C do 41°C),
- seria III $p_A=10$, $p_B=8$ kPa (temperatura wrzenia wody od 41°C do 46°C),

gdzie

- p_A – to ciśnienie tzw. górne przy którym następuje włączenie pompy podciśnieniowej
 p_B – to ciśnienie tzw. dolne przy którym następuje wyłączenie pompy podciśnieniowej)

Zbiornik suszący podłączano do instalacji podciśnieniowej i włączano magnetrony. Kolejne doświadczenia przerywano po 3, 6, 9, 12, 15 i 18 minutach, a w próbkach po ich wyjęciu ze zbiornika oznaczano zawartość wody zgodnie z polską normą PN-90/A-75101. Pozwoliło to na uzyskanie kolejnych punktów krzywej suszenia. Doświadczenia wykonano w trzech powtórzeniach stosując przy tym każdorazowo materiał świeży.

Określono również wartość skurczu suszarniczego. Próbkę o masie około 60g truskawek wkładano do cylindra miarowego o pojemności 250ml napełnionego wodą, odczytywano objętość, po czym po ich wyjęciu i osuszeniu powierzchniowym na bibule filtracyjnej wkładano do suszarki. Po wysuszeniu truskawki ważono i wkładano do tego samego cylindra miarowego wypełnionego toluenem i odczytywano objętość. Skurcz podczas suszenia obliczano z zależności [Witrowa-Rajchert 1999]:

$$S=[1-(V_k/V_o)]\cdot 100\% \quad (1)$$

Wartość skurczu określano kolejno po 3, 6, 9, 12, 15 i 18 minutach suszenia. Pozwoliło to na uzyskanie kolejnych punktów wykresu, co pozwoliło na opisanie skurczu równaniami matematycznymi.

Wyniki i dyskusja

Kinetyka suszenia

W przebiegu kinetyki mikrofalowo-próżniowego suszenia truskawek wyróżniono dwa okresy suszenia:

I okres stałej szybkości suszenia opisano równaniem liniowym:

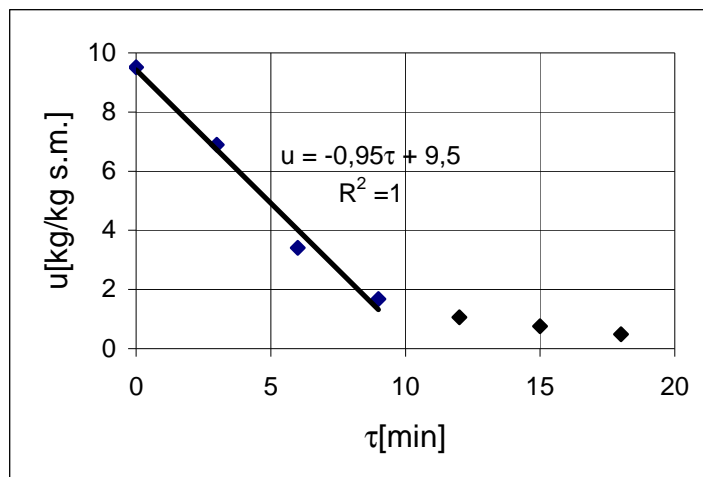
$$u = at + b \quad (2)$$

oraz II okres zmiennej szybkości suszenia opisano równaniem wykładniczym:

$$u = Ae^{Bt} \quad (3)$$

Wyróżniono również punkt krytyczny u_k dzielący przebieg procesu na dwa okresy.

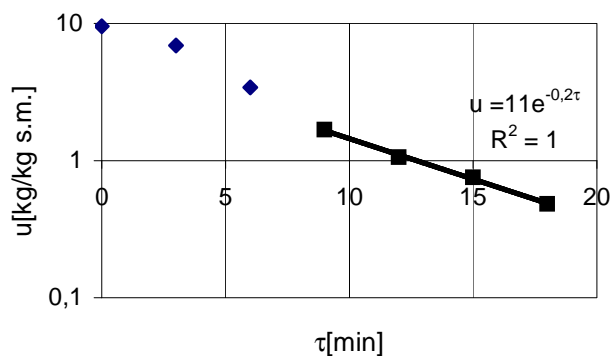
Rysunek 1 przedstawia przykładową krzywą suszenia owoców truskawek z przebiegiem I okresu suszenia i opisującym go równaniem liniowym.



Rys. 1. Kinetyka suszenia truskawek przy nagrzewaniu mikrofalowym i obniżonym ciśnieniu ($p_A=6$, $p_B=4kPa$). I okres suszenia

Fig. 1. The drying kinetics of strawberries by microwave heating and reduced pressure ($p_A=6$, $p_B=4kPa$). First drying period

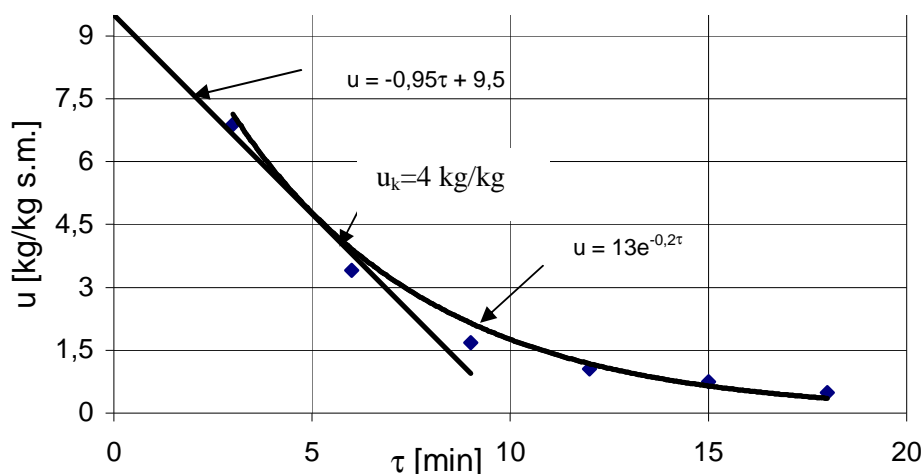
Rysunek 2 przedstawia przykładową krzywą suszenia owoców truskawek, w skali półlogarytmicznej, z przebiegiem II okresu suszenia i opisującym go równaniem wykładniczym.



Rys. 2. Kinetyka suszenia truskawek przy nagrzewaniu mikrofalowym i obniżonym ciśnieniu ($p_A=6$, $p_B=4kPa$). II okres suszenia

Fig. 2. The drying kinetics of strawberries by microwave heating and reduced pressure ($p_A=6$, $p_B=4kPa$). Second drying period

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy przebieg kinetyki suszenia truskawek z przebiegiem I i II okresu oraz z zaznaczonym punktem krytycznym u_k



Rys. 3. Kinetyka suszenia truskawek przy nagrzewaniu mikrofalowym i obniżonym ciśnieniu ($p_A=6kPa$, $p_B=4kPa$). I i II okres suszenia

Fig. 3. The drying kinetics of strawberries by microwave heating and reduced pressure ($p_A=6$, $p_B=4kPa$). First and second drying period

Dla pozostałych zakresów ciśnień w podobny sposób opisano przebiegi suszenia. Wartości współczynników stałych równań 1 i 2 przedstawiono w tabeli 1.

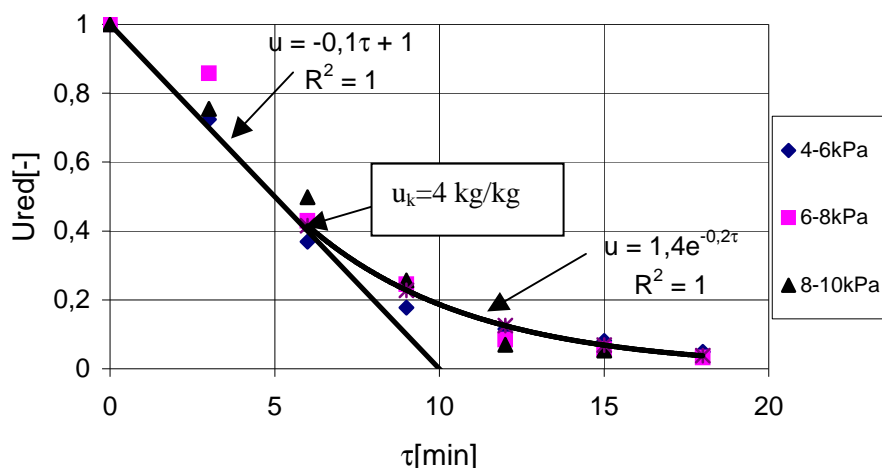
Tabela 1. Współczynniki równań 1 i 2 opisujących kinetykę suszenia truskawek dla poszczególnych ciśnień

Table 1. The coefficients to equations 1 and 2, concerning kinetics of drying of strawberries by different pressure

| Zakres ciśnień | u_0 [kg/kg] | I okres | | u_k [kg/kg] | II okres | |
|----------------|------------------|---------|------|------------------|----------|------|
| | | a | b | | A | B |
| 6-4 [kPa] | 9,51 | -0,95 | 9,5 | 4 | 13 | -0,2 |
| 8-6 [kPa] | 8,69 | -0,95 | 8,7 | 4 | 11 | -0,2 |
| 10-8 [kPa] | 8,85 | -0,95 | 8,85 | 4 | 11,3 | -0,2 |

Z przedstawionej tabeli wynika, że zmienność współczynników stałych jest niewielka.

Dlatego na rysunku 4 przedstawiono krzywą uśrednioną przebiegu zmian zredukowanej zawartości wody podczas suszenia dla trzech zakresów ciśnień.



Rys. 4. Przebieg zmian zredukowanej zawartości wody w truskawkach suszonych metodą mikrofalowo-podciśnieniową dla wszystkich zakresów ciśnień z krzywą uśrednioną

Fig. 4. The run of drying of strawberries in microwave-vacuum conditions for all ranges of pressure and the mean curve

Ostatecznie przebieg mikrofalowego suszenia truskawek przy obniżonym ciśnieniu opisują równania:

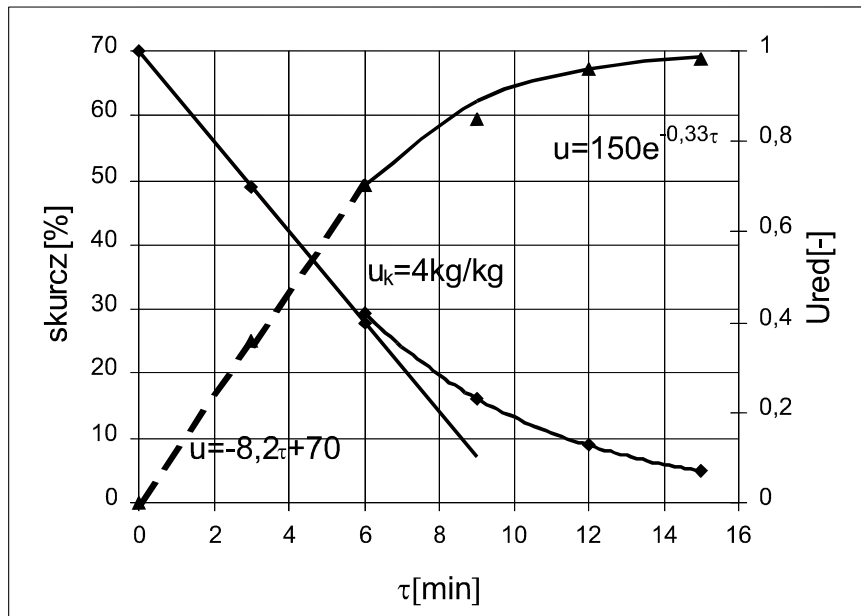
$$\text{dla } u \geq u_k : u = -0,1\tau + 1 \quad (4)$$

$$\text{dla } u \leq u_k : u = 1,4e^{-0,2\tau} \quad (5)$$

Skurcz suszarniczy

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyznaczenie przebiegu powstawania skurczu suszarniczego. Na rysunku 5 przedstawiono przebieg powstawania skurczu suszarniczego na tle uśrednionej krzywej suszenia. Z przedstawionego przebiegu wynika, że w początkowej fazie suszenia, do osiągnięcia przez materiał krytycznej zawartości wody narastanie skurczu objętościowego odbywało się według równania liniowego

$$u = -8,2\tau + 70 \quad (6)$$



Rys. 5. Skurcz suszarniczy na tle uśrednionej krzywej suszenia

Fig. 5. The shrinkage of material during drying with reference to an average drying-curve

Dalsze suszenie powodowało, że szybkość narastania skurczu suszarniczego malała aż do osiągnięcia w piętnastej minucie maksymalnego skurczu objętościowego równego około 68%. Równanie opisujące skurcz suszarniczy w tym okresie ma postać:

$$u=150e^{-0,33\tau} \quad (7)$$

Przeliczając tę wartość na skurcz liniowy (zmiana średnicy zastępczej pojedynczego owocu) otrzymuje się wartość 31%, co należy uznać za wartość niewielką w stosunku do skurczu suszarniczego powstającego podczas suszenia konwekcyjnego.

Wnioski

1. W kinetyce suszenia mikrofalowo-próżniowego truskawek wyróżniono okresy stałej i zmiennej szybkości suszenia. Okres stałej szybkości suszenia opisano równaniami liniowymi, natomiast okres zmiennej szybkości suszenia równaniami wykładniczymi.

2. Nie stwierdzono istotnego wpływu zakresów ciśnień na przebieg kinetyki, stąd przebieg procesu dla stosowanych zakresach ciśnień można opisać równaniami uśrednionymi dla $u \geq u_k$: $u = -0,1\tau + 1$, dla $u \leq u_k$: $u = 1,4e^{-0,2\tau}$
3. W początkowej fazie suszenia powstawanie skurczu suszarniczego opisuje równanie liniowe: $u = -8,2\tau + 70$, a w fazie końcowej równanie wykładnicze: $u = 150e^{-0,33\tau}$. Maksymalny skurcz objętościowy wyniósł 68%, a liniowy 31%.

Bibliografia

Lenart A. Dąbrowska R. 1997. Osmotic dehydration of apples with polysaccharide coatings. Polish Journal Food Nutrition and Science, (6/47), 4, 103-112.

Lisowa H., Lis T., Kozak P., Piwowarski E. 1999. Wpływ temperatury na cechy jakościowe suszów, czas procesu liofilizacji i zużycie energii. Inżynieria Rolnicza 5, 21.

Oszmiański J. 2002. Technologia i analiza produktów owoców i warzyw. Wybrane zagadnienia. Skrypt Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 474, 128.

Szarycz M., Kamiński E., Jałoszyński K., Szponarska A. 2003. Analiza mikrofalowego suszenia pietruszki w warunkach obniżonego ciśnienia. Część I. Kinetyka suszenia pietruszki nieblanszowanej i blanszowanej. Acta Sci.Pol., Technika Agraria 2(2), 17-27.

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

Witrowa-Rajchert D. 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej podczas suszenia. Rozprawa habilitacyjna, 29.

**THE INFLUENCE OF MICROWAVE-VACUUM DRYING
PARAMETERS ON SHRINKAGE OF STRAWBERRIES DURING
DRYING AND ON RUNNING OF PROCESS**

Summary

The drying kinetics of fresh strawberries were presented. The drying process was carried out in microwave-vacuum conditions. The range of the pressures applied was between 4-10 kPa. During dehydration two periods of process were singled out and described with empirical equations. The shrinkage during drying was defined.

Key words: drying, microwaves, vacuum, shrinkage, strawberries