

ANALIZA SUSZENIA MIKROFALOWO-PRÓŻNIOWEGO KALAFIORA

Klaudiusz Jałoszyński, Marian Szarycz, Mariusz Surma, Marta Paślawska
Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W pracy przedstawiono przebieg krzywych suszenia kalafiora świeżego. Suszenie przeprowadzono w warunkach mikrofalowo-próżniowych. Zakres stosowanych ciśnień zawierał się pomiędzy 2-8 kPa. Moc mikrofal została ustalona na poziomie 480 W. Kinetykę suszenia dla poszczególnych zakresów ciśnień opisano równaniami empirycznymi wykorzystując program TC 3D oraz określono stopień skurczu suszarniczego.

Słowa kluczowe: suszenie mikrofalowo-próżniowe, kalafior, skurcz suszarniczy

Wstęp

W przemyśle suszarniczym najbardziej rozpowszechnione jest suszenie metodą konwekcji wymuszonej. Istotną wadą tej metody jest energochłonność i stosunkowo mała efektywność suszenia. Suszenie w warunkach obniżonego ciśnienia z jednoczesnym nagrzewaniem mikrofalowym jest jednym z najnowocześniejszych i najefektywniejszych sposobów utrwalania materiałów pochodzenia biologicznego [Lin i in. 1998]. Metoda ta pozwala na uzyskanie suszu o jakości zbliżonej do jakości suszu liofilizowanego. Produkt końcowy zachowuje naturalną barwę, porowatą strukturę i stopień zachowania witamin kształtuje się na poziomie 60%. Przez zastosowanie nagrzewania mikrofalowego, dzięki intensywnemu uwalnianiu energii w materiale uzyskuje się efekt „nadmuchiwanie” spowodowany gwałtownym odparowaniem wody. Obniżone ciśnienie powoduje, że woda wrze w temperaturach niższych niż w warunkach atmosferycznych [Oszmiański 2002]. W przypadku zastosowania odpowiednio niskiego ciśnienia w czasie trwania procesu możemy zabezpieczyć materiał biologiczny przed przegrzaniem, przy jednoczesnym zwiększeniu intensywności odparowania wody. W konsekwencji szybkość suszenia jest znacznie większa niż przy zastosowaniu konwencjonalnych metod suszenia (np. suszenie konwekcyjne). Dodatkowo istotnym czynnikiem wpływającym na kinetykę suszenia jest zastosowana odpowiednia moc mikrofal [Andres i in.2004].

Cel badań

Celem pracy było opisanie kinetyki suszenia kalafiora oraz określenie skurczu suszarniczego.

Materiał i metodyka

Badania zostały przeprowadzone na stanowisku wykonanym w Instytucie Inżynierii Rolniczej [Szarycz i in. 2003]. Do badań użyto kalafiora odmiany Faraday. Kalafior zaliczany jest do cenniejszych warzyw z uwagi na swój skład chemiczny, a także walory smakowe i dietetyczne. Zawiera m. in.: sód, potas, magnez, wapń, mangan, żelazo, miedź, cynk, fosfor, chlor, jod, karoteny, witaminy: K, B₁, B₂, B₆, C.

Materiał został oczyszczony, wyselekcjonowany i rozdrobniony (różyczki o jednakowej wielkości). Odważono próbkę o masie około 60 g na wadze laboratoryjnej (Radwag WPE 300 o dokładności 0,001 g). Próbkę umieszczono w zbiorniku suszącym. Zbiornik podłączano do instalacji podciśnieniowej i uruchomiono nagrzewanie mikrofalowe. Doświadczenia trwały kolejno 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 i 30 minut. Do każdego kolejnego doświadczenia używano materiału świeżego W wyjętych ze zbiornika suszarniczego próbkach oznaczano zawartość wody zgodnie z PN-90/A-75101 uzyskując kolejne punkty krzywej suszenia. Każdy pomiar wykonywano w co najmniej trzech powtórzeniach. W badaniach stosowano moc mikrofal 480 W, co stanowiło 40% mocy maksymalnej magnetronów. Badania suszenia przeprowadzono w trzech seriach przy zmiennych ciśnieniach:

- seria I $p_A = 4$ kPa, $p_B = 2$ kPa (temperatura wrzenia wody od 25°C do 29°C),
- seria II $p_A = 6$ kPa, $p_B = 4$ kPa (temperatura wrzenia wody od 29°C do 36°C),
- seria III $p_A = 8$ kPa, $p_B = 6$ kPa (temperatura wrzenia wody od 36°C do 41°C),

gdzie:

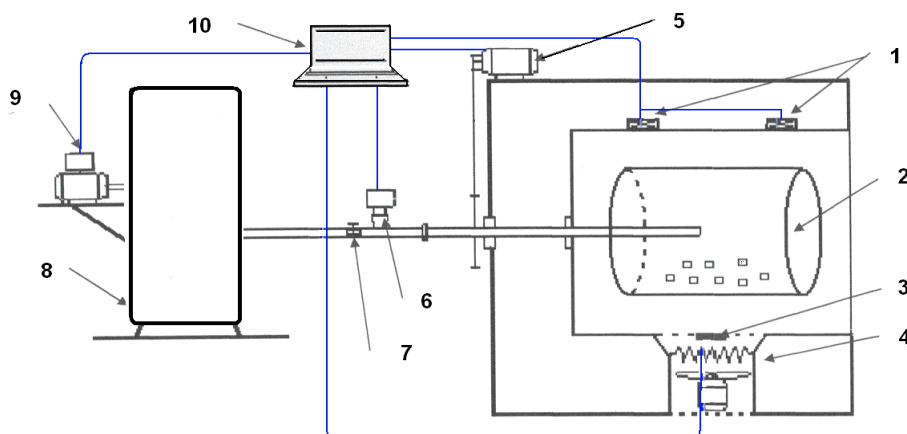
p_A = ciśnienie „górne”,

p_B = ciśnienie „dolne” ustawiane w urządzeniu suszącym.

W celu określenia przebiegu powstawania skurczu suszarniczego wykonano dodatkową serię doświadczeń. Na wadze WPE 300 odważano świeżą próbkę o masie 60 g wkładano ją do cylindra miarowego napełnionego wodą, odczytywano objętość, po czym materiał osuszano powierzchniowo na bibule filtracyjnej i umieszczano w komorze suszarniczej. Po wysuszeniu kalafior ważono i wkładano do tego samego cylindra miarowego wypełnionego toluenem i odczytywano objętość. Skurcz podczas suszenia obliczano z równania 1 [Witrowa-Rajchert 1999]. Wartość skurczu określano kolejno po 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 i 30 minutach suszenia. Każdy pomiar wykonywano w trzech powtórzeniach.

$$S = \left(1 - \frac{V_k}{V_0}\right) \cdot 100\% \quad (1)$$

Na rys. 1 przedstawiono stanowisko badawcze.



Rys. 1. Schemat stanowiska do suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego: 1 – magnetrony, 2 – komora suszenia, 3 – czujnik temperatury, 4 – grzałki, 5 – silnik elektryczny i przekładnia, 6 – miernik podciśnienia, 7 – zawór zamykający, 8 – zbiornik wyrównawczy, 9 – pompa próżniowa, 10 – komputer

Fig. 1. Schematic representation of microwave-vacuum drying stand: 1 – magnetrons, 2 – drying chamber, 3 – temperature sensor, 4 – heaters, 5 – electric motor and gear, 6 – under pressure meter, 7 – cut – off valve, 8 – equalizing tank, 9 – vacuum pump, 10 – computer

Wyniki badań

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

I okres stałej szybkości suszenia opisany równaniem liniowym:

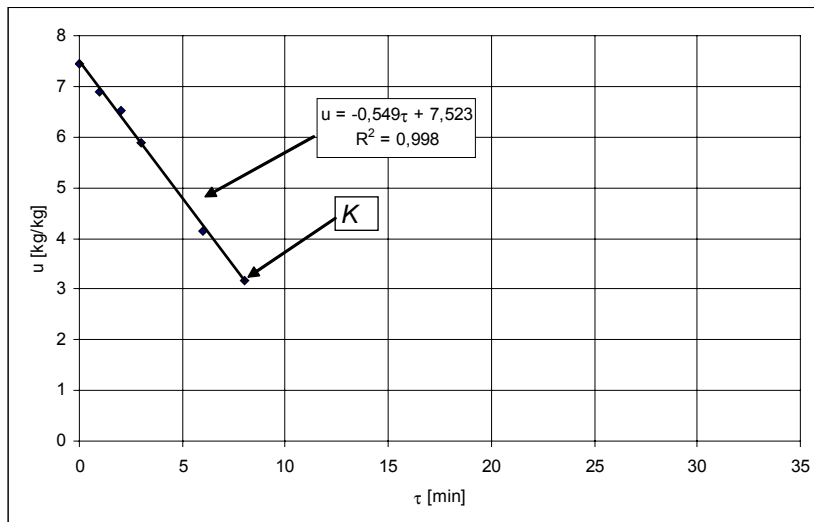
$$u = A\tau + B \quad (2)$$

Okres ten kończy się w punkcie K , po przekroczeniu którego rozpoczyna się II okres zmiennej szybkości suszenia opisany równaniem wykładniczym:

$$u = ae^{b\tau} \quad (3)$$

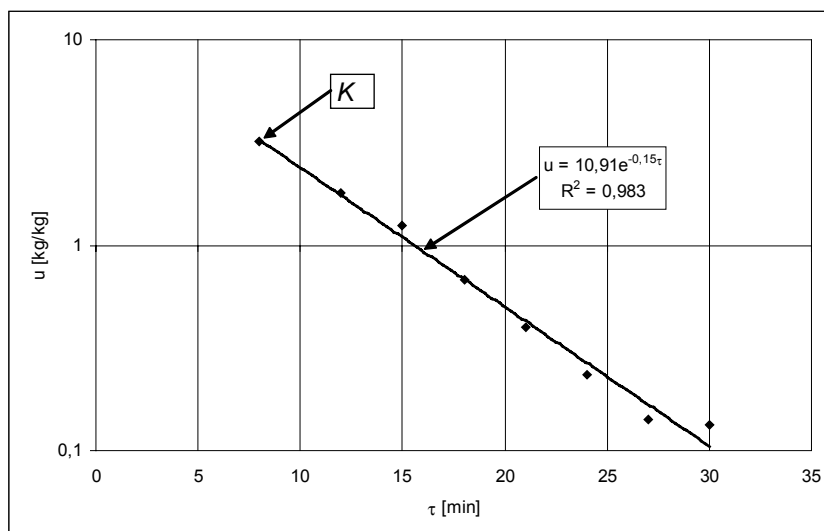
Punkt K wskazuje czas występuje krytyczna zawartość wody w suszonym produkcie. Na rysunku 2 przedstawiono przykładową krzywą suszenia kalafiora z przebiegiem I okresu suszenia i opisującym go równaniem dla mocy mikrofal 480 W.

Rysunek 3 przedstawia przykładową krzywą suszenia kalafiora w skali półlogarytmicznej z przebiegiem II okresu suszenia i opisującym go równaniem wykładniczym.



Rys. 2. Kinetyka suszenia kalafiora przy nagrzewaniu mikrofalowym i obniżonym ciśnieniu ($p_A=6, p_B=4$ kPa i 480W). I okres suszenia

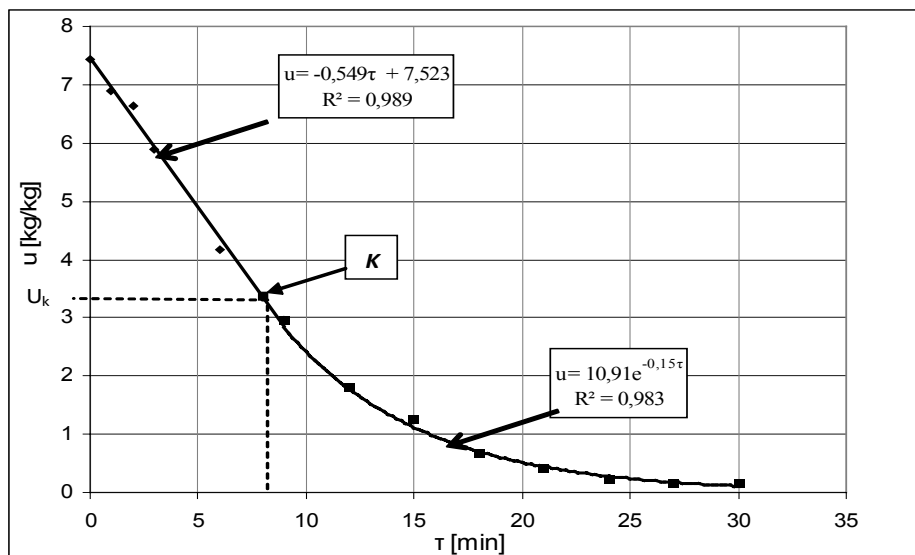
Fig. 2. The drying kinetics of cauliflower with microwave heating and reduced pressure ($p_A=6, p_B=4$ kPa and 480W). First drying period



Rys. 3. Kinetyka suszenia kalafiora przy nagrzewaniu mikrofalowym i obniżonym ciśnieniu ($p_A=6, p_B=4$ kPa i 480W). II okres suszenia

Fig. 3. The drying kinetics of cauliflower with microwave heating and reduced pressure ($p_A=6, p_B=4$ kPa and 480W). Second drying period

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy przebieg kinetyki suszenia kalafiora z przebiegiem I i II okresu oraz z zaznaczonym punktem *K*.



Rys. 4. Kinetyka suszenia kalafiora przy nagrzewaniu mikrofalowym i obniżonym ciśnieniu ($p_A=6$, $p_B=4$ kPa i 480W). I i II okres suszenia

Fig. 4. The drying kinetics of cauliflower with microwave heating and reduced pressure ($p_A=6$, $p_B=4$ kPa and 480W). First and second drying period

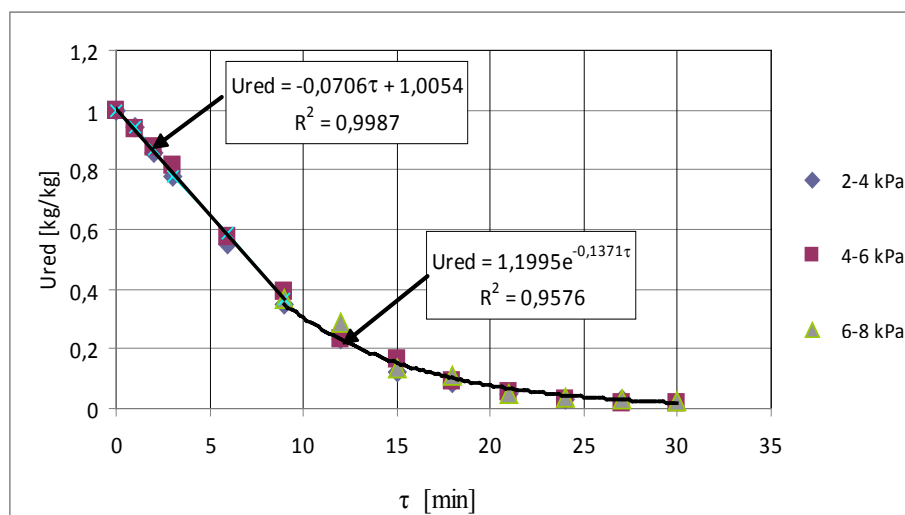
Dla pozostałych zakresów ciśnień w analogiczny sposób opisano przebiegi suszenia. Wartość współczynników stałych równań 2 i 3 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości współczynników równań 2 i 3 opisujących kinetykę suszenia kalafiora dla poszczególnych zakresów ciśnień.

Table 1. The coefficients of equations 2 and 3, concerning drying kinetics of cauliflower for particular pressure ranges

Zakresy ciśnień		$u = A\tau + B$		u_k	$u = ae^{b\tau}$	
p_A [kPa]	p_B [kPa]	A	B	[kg/kg]	a	b
4	2	-0,547	7,567	3,2	10,09	-0,14
6	4	-0,549	7,523	3,2	10,91	-0,15
8	6	-0,524	7,433	3,2	9,667	-0,14

Z przedstawionej tabeli wynika, że zmienność współczynników poszczególnych stałych w równaniach jest niewielka. Dlatego na rysunku 5 przedstawiono krzywą uśrednioną przebiegu zmian zredukowanej zawartości wody podczas suszenia dla trzech zakresów ciśnień.

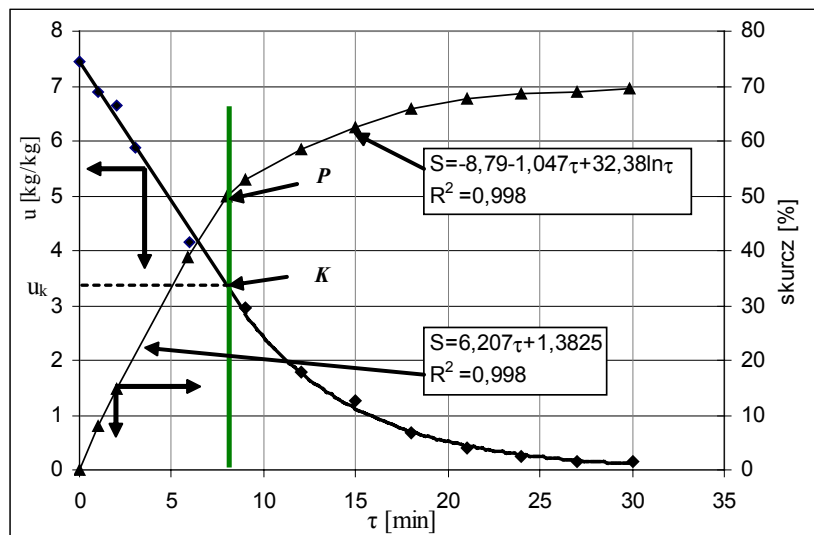


Rys. 5. Przebieg zmian zredukowanej zawartości wody w kalafiorze suszonym metodą mikrofalowo-próżniową dla wszystkich zakresów ciśnień z krzywą uśrednioną

Fig. 5. The course of changes of reduced water content in a cauliflower dried in microwave-vacuum conditions for all pressure ranges and the mean curve

Skurcz suszarniczy

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyznaczenie przebiegu powstawania skurczu suszarniczego w funkcji czasu. Na rysunku 6 przedstawiono przebieg powstawania skurczu suszarniczego na tle uśrednionej krzywej suszenia. Dla kalafiora suszonego metodą mikrofalowo-próżniową można wyróżnić dwa okresy narastania skurczu. Okres stałej szybkości narastania skurczu suszarniczego kończył się w punkcie *P*. Po przekroczeniu punktu *P* rozpoczyna się okres zmiennej szybkości narastania skurczu suszarniczego. Z przedstawionego przebiegu rys. 6 wynika, że w początkowej fazie suszenia do osiągnięcia przez materiał krytycznej zawartości wody (punkt *K*) narastanie skurczu objętościowego odbywa się liniowo aż do punktu *P*. Dalszy proces suszenia powodował, że szybkość narastania skurczu suszarniczego malała aż do osiągnięcia w 30 minucie maksymalnego skurczu objętościowego równego 69%. W przypadku suszenia kalafiora metodą mikrofalowo-próżniową oba charakterystyczne punkty występują w ósmej minucie suszenia.



Rys. 6. Skurcz suszarniczy na tle uśrednionej krzywej suszenia
 Fig. 6. Drying shrinkage of material with reference to a mean drying curve

Wnioski

1. W przebiegu kinetyki suszenia kalafiora wyróżniono dwa okresy suszenia. Pierwszy okres – stałej szybkości suszenia – opisany jest równaniem liniowym. Natomiast drugi – zmiennej szybkości suszenia – opisuje równanie wykładnicze.
2. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała brak istotnego wpływu zastosowanych zakresów ciśnień na kinetykę suszenia, stąd przebieg procesu dla stosowanych zakresów ciśnień można opisać równaniami uśrednionymi.
3. Przebieg narastania skurczu suszarniczego można podzielić na dwie fazy o stałej szybkości opisane równaniem liniowym i zmiennej szybkości opisane równaniem logarytmicznym.
4. Wraz z końcem pierwszego okresu suszenia kończy się faza liniowego narastania skurczu suszarniczego i ma to miejsce w 8 minucie trwania procesu.
5. Końcowy skurcz suszarniczy w przypadku suszenia kalafiora kształtował się na poziomie 70%.

Bibliografia

- Andres A., Bilbao K., Fito P.** 2004. Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air-microwave dehydration. *Journal of Food Engineering* 63. s. 71-78.
- Lin T. M., Durance T. D., Scaman C. N.** 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Res. Inter.* 31 (2). s. 111-117.
- Oszmiański J.** 2002. *Technologia i analiza produktów z owoców i warzyw. Wybrane zagadnienia.* Skrypt Akademii Rolniczej we Wrocławiu.
- Szarycz M., Kamiński E., Jałoszyński K., Szponarska A.** 2003 Analiza mikrofalowego suszenia pietruszki w warunkach obniżonego ciśnienia. Część I Kinetyka suszenia pietruszki blanszowanej i nieblanszowanej. *Acta Sci. Pol. Technika Agraria* 2(2). s.17-27.
- Witrowa-Rajchert D.** 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej podczas suszenia. Rozprawa habilitacyjna 29. ISBN 83-87660-95-7.

ANALYSIS OF MICROWAVE - VACCUM DRYING OF CAULIFLOWER

Abstract. The study presents course of the curves of fresh cauliflower drying process. Drying process was conducted in microwave- vacuum conditions. The range of applied pressures was between 2-8 kPa. Microwaves power was determined on the level of 480 W. Drying kinetics for particular ranges of pressures was described by empirical quotations using TC 3D application programme and degree of drying shrinkage was determined.

Key words: microwave-vacuum drying, cauliflower, drying shrinkage

Adres do korespondencji:

Klaudiusz Jałoszyński; e-mail: kladiusz.jaloszynski@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław