

BADANIE KINETYKI SUSZENIA KALAFIORA W SUSZARCE FONTANNOWEJ

Mariusz Surma, Stanisław Peroń, Klaudiusz Jałoszyński, Marta Paślawska
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Celem pracy było zbadanie możliwości zastosowania suszarki fontannowej do suszenia kalafiora w warunkach stałego złoża z cyklicznym przemieszaniem przy temperaturze czynnika suszącego wynoszącej 60, 80, 90°C. Prędkość przepływu czynnika suszącego na wlocie wynosiła ok. 1 m s^{-1} (przemieszanie złoża $v=4 \text{ m s}^{-1}$). Do badań użyto kalafiora odmiany „Idol” o wilgotności ok. 90%. Wyniki przedstawiono w postaci wykresów oraz równań korelacyjnych.

Słowa kluczowe: suszenie, kalafior, suszarka fontannowa

Wstęp i cel pracy

Kalafior (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) można zaliczyć do najpowszechniej stosowanych warzyw w przemyśle spożywczym. Kalafior jest zaliczany do cennych warzyw ze względu na swój skład chemiczny, walory dietetyczne (100g surowego kalafiora to około 30 kalorii) i smakowe. Kalafior zawiera między innymi następujące składniki odżywcze: sód, potas, magnez, wapń, mangan, żelazo, miedź, cynk, fosfor, fluor, chlor, jod, karoteny, witaminę K, witaminę B1, witaminę B2, witaminę B6, witaminę C oraz kwas nikotynowy i pantotenowy [Dobrakowska-Kopecka i in. 1989].

Kalafior to bogactwo składników, które wspomagają układ immunologiczny człowieka, chronią przed reumatyzmem. Zawiera sulforan - jest to składnik pobudzający enzymy walczące z rakiem. Inne składniki kalafiora mają zbawienny wpływ na wątrobę, pobudzają ją do działania.

Do suszenia warzyw są stosowane głównie suszarki tunelowe, taśmowe lub komorowe. Są to urządzenia (zwłaszcza suszarki taśmowe) charakteryzujące się dużymi gabarytami, złożoną konstrukcją oraz wysokimi kosztami eksploatacyjnymi. Ze względu na nieruchomą warstwę krajanki spoczywającą na taśmie lub sicie, często jej wysychanie jest nierównomierne i występują zlepy i przypalenia.

Doświadczenia na skalę laboratoryjną niektórych badaczy zajmujących się suszeniem krajanki owocowo-warzywnych [Glaser 1991, Peroń i in. 2004] sugerują, że korzystniejsze wskaźniki techniczno-ekonomiczne można uzyskać susząc je w warstwie sfluidyzowanej. Suszenie materiału w komorze w złożu nieruchomym powoduje nie uszkodzenie się materiału. Wysuszony kalafior wykorzystywany jest jako dodatek do zup lub różnego rodzaju wywarów. Największe spożycie suszy jest w okresie zimowym i przedwiosennym.

Celem pracy było określenie możliwości zastosowania suszarki fontannowej do suszenia kalafiora, a ponadto zbadanie dynamiki wysychania kalafiora w laboratoryjnej suszarce

fontannowej (w warunkach stałego złoża z cyklicznym jego mieszaniem) w zależności od temperatury suszenia i określenia objętościowego strumienia odparowanej wilgoci.

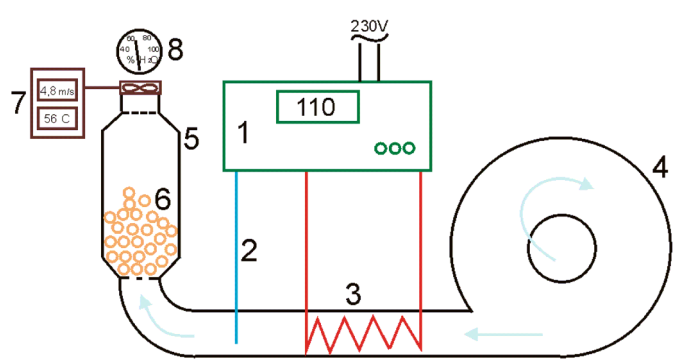
Za zastosowaniem suszarki fontannowej do suszenia kalafiora przemawia fakt uzyskania większego objętościowego strumienia wilgoci uzyskanego z jednostki objętości komory w porównaniu np. z suszarkami tunelowymi do owoców i warzyw.

Metodyka i wyniki badań

Do badań użyto kalafiora odmiany „Idol”. Wilgotność początkowa wynosiła ok. 90%. W zależności od rodzaju suszonego surowca proces suszenia powinien być przeprowadzany do odpowiedniej wilgotności końcowej (w przypadku rodziny kapustowatych od 8 do 12%) [Jarczyk, Leszczyńska. 1975]. Końcowa wilgotność wysuszonego materiału wynosiła ok. 8% co pozwala na jego przechowywanie. Kalafior został podzielony na małe różyczki o masie do 2g. Z tak przygotowanego materiału badawczego wykonano badania suszenia przy temperaturze czynnika suszącego 60°C, 80°C i 90°C. Próbkę materiału przed suszeniem ważono na elektronicznej wadze WPE 600 z dokładnością 0,01g. Po zważeniu próbkę umieszczono w komorze suszarniczej (rys. 1). Suszenie przeprowadzono przy masie materiału w komorze wynoszącej $\pm 300\text{g}$ i stałej prędkości czynnika suszącego ok. $v=1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Prędkość czynnika w trakcie przemieszczania zwiększano do ok. $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, co pozwalało na krótki czas fontannowania materiału. Przemieszczenie i pomiar masy odparowanej wody wykonywano co 5 minut ważąc komorę suszenia wraz z materiałem. Czas mierzone zegarem z sekundnikiem. Badanie wykonano w trzech powtórzeniach.

Wyiki badań

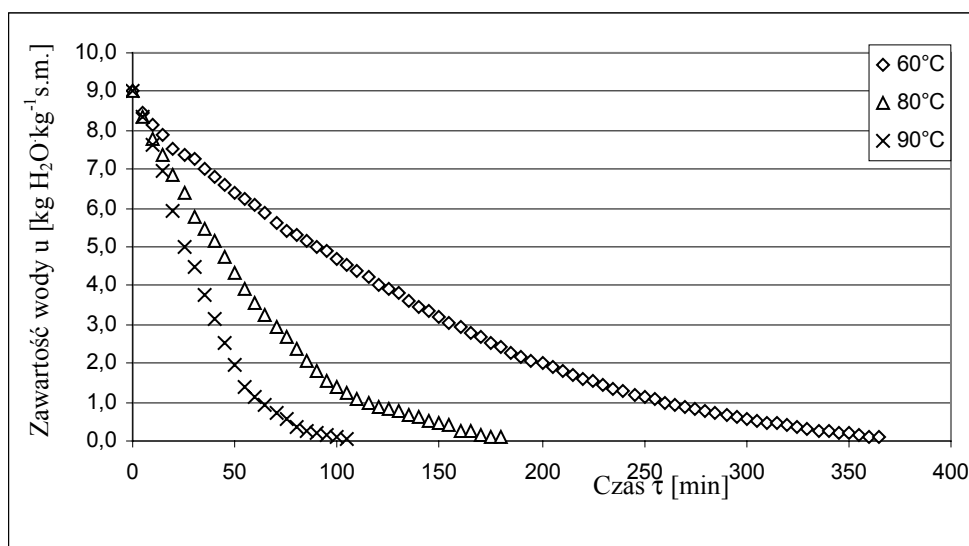
Suszenie prowadzono w laboratoryjnej suszarce fontannowej przedstawionej na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – nagrzewnica z regulatorem temperatury, 2 – termopara, 3 – nagrzewnica, 4 – wentylator, 5 – komora suszenia, 6 – złożo, 7 – anemometr, 8 – miernik wilgotności

Fig. 1. Diagram of the measurement stand: 1 – heater with temperature regulator, 2 – thermocouple, 3 – heater, 4 – fan, 5 – drying chamber, 6 – bed, 7 – anemometer, 8 – moisture index

Wpływ temperatury czynnika suszącego na spadek zawartości wody w kalafiorze suszonym w warunkach konwekcji naturalnej od zawartości wody ok. $9 \text{ kg H}_2\text{O.kg}^{-1}\text{sm}$ do ok. $0,09 \text{ kg H}_2\text{O.kg}^{-1}\text{sm}$ przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Spadek zawartości wody u w kalafiorze w czasie τ przy różnych temperaturach czynnika suszącego

Fig. 2. Water content decrease in a cauliflower in time τ at different drying medium temperatures

Jak wynika z przebiegu krzywych w miarę wzrostu temperatury czynnika suszącego, czas suszenia ulegał skróceniu. Np. dla temperatury 60°C wynosił 365 minut. Podwyższenie temperatury do 90°C spowodowało ok. 3,5-krotne skrócenie czasu suszenia (ok. 105 minut). Czas suszenia przy pośredniej temperaturze suszenia 80°C wyniósł ok. 180 minut.

Na rysunku 3 przedstawiono zależność zredukowanej zawartości wody w czasie dla trzech temperatur czynnika suszącego wynoszących odpowiednio 60, 80 i 90°C .

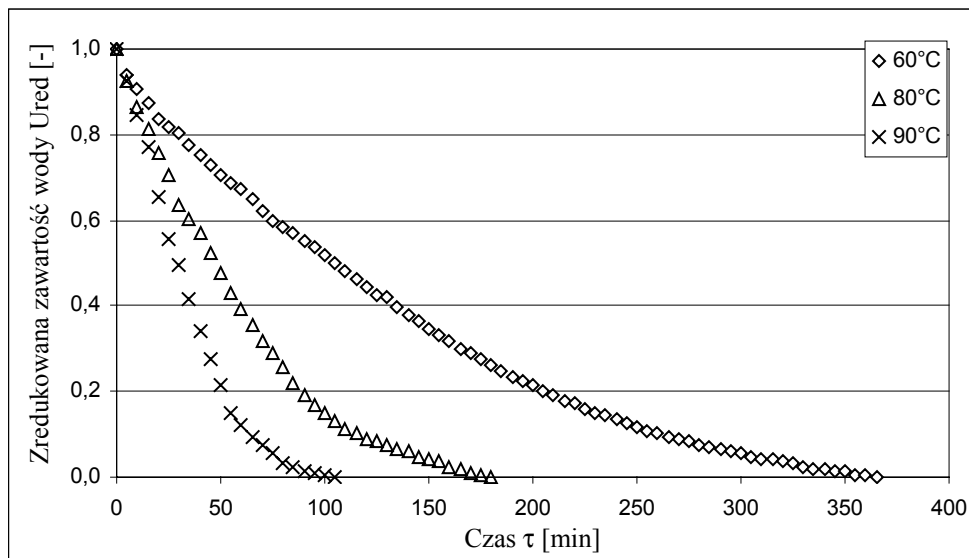
Pierwsze 20 minut procesu suszenia sugeruje występowanie I okresu suszenia, który można opisać równaniem prostej:

$$u_{(\tau)I} = A_I \tau + B_{II} \quad (1)$$

W ciągu następnych minut trwania procesu (II okres suszenia) zawartość wody maleje zgodnie z funkcją wykładniczą, osiąga założony poziom wilgotności 8%. Punkty pomiarowe dla temperatur od 60 do 90°C , można opisać równaniem wykładniczym postaci:

$$u_{(\tau)II} = A_{II} e^{B_{II} \tau} \quad (2)$$

znany w teorii konwekcyjnego suszenia słusznym dla II okresu [Pabis 1982].



Rys. 3. Spadek zawartości wody Ured w czasie τ dla różnych temperatur czynnika suszącego
 Fig. 3. Ured water content decrease in time τ at different drying medium temperatures

W tabeli 1 zamieszczono stałe oraz współczynniki determinacji R^2 dotyczące równań opisujących I i II okres suszenia kalafiora.

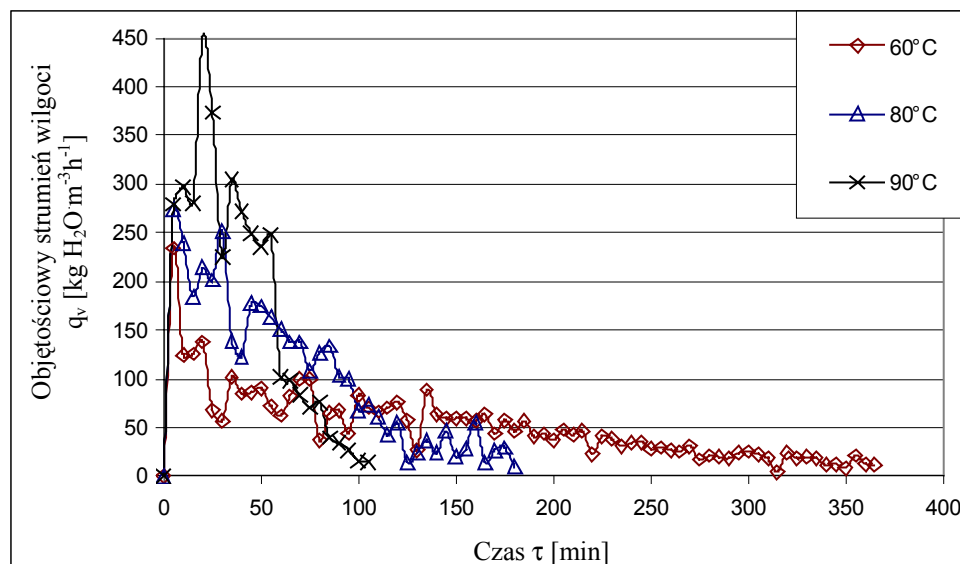
Tabela 1. Współczynniki równań i determinacji dla I i II okresu suszenia w zależności od temperatury czynnika suszącego

Table 1. Equations and determination coefficients for the first (I) and the second (II) period of a drying process depending on the drying medium temperature

Temper. suszenia	Współczynniki równa. I		Współczynnik determinacji, R^2	Współczynniki równa. II		Współczynnik determinacji, R^2
	A_I	B_I		A_{II}	B_{II}	
$t= 60\text{ }^\circ\text{C}$	-0,0396	1,0287	0,98	12,947	-0,0107	0,96
$t= 80\text{ }^\circ\text{C}$	-0,0596	1,0518	0,99	12,742	-0,0234	0,97
$t= 90\text{ }^\circ\text{C}$	-0,0846	1,0939	0,99	15,272	-0,0467	0,98

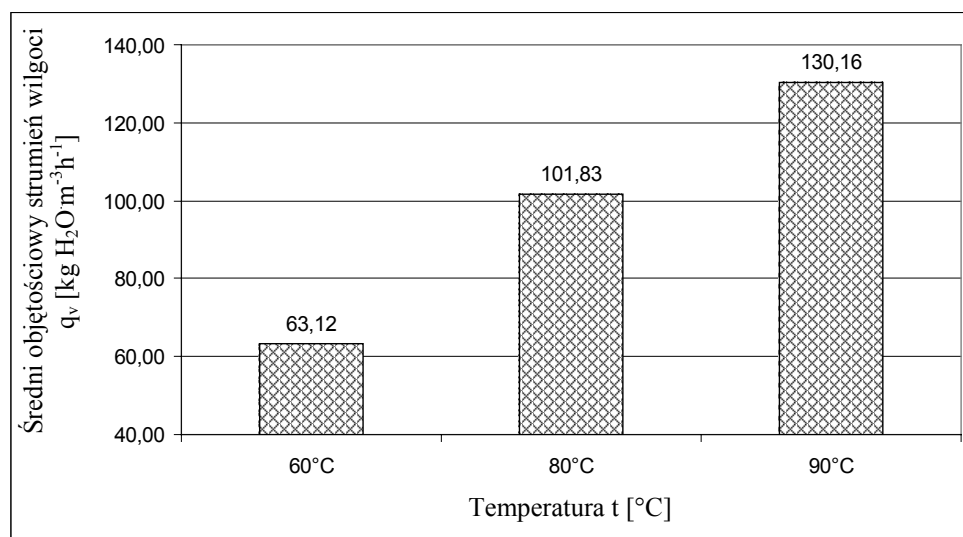
Źródło: obliczenia własne

Jak wynika z rysunku 4 w miarę wzrostu temperatury czynnika suszącego z 60 do 90°C zwiększa się objętościowy strumień wilgoci. Można zauważyć, że w czasie pierwszych 50 minut trwania procesu suszenia następuje odparowanie około 80% wody.



Rys. 4. Zależność objętościowego strumienia wilgoci q_v w czasie suszenia τ przy różnych temperaturach czynnika suszącego

Fig. 4. Dependency of q_v volumetric moisture stream during drying τ at different drying medium temperatures



Rys. 5. Wpływ temperatury czynnika suszącego na wielkość objętościowego strumienia wilgoci

Fig. 5. Influence of the drying medium temperature on the volumetric size of the moisture stream

Jak wynika z histogramu (rys. 5) w miarę zwiększania temperatury czynnika suszącego z 60 do 90°C można zaobserwować wzrost średniego objętościowego strumienia wilgoci odbieranego od suszonego materiału z jednostki objętości komory suszenia w jednostce czasu. Przy najmniejszej temperaturze czynnika suszącego 60°C wynosi on ok. 63 kg H₂O m⁻³h⁻¹. Zwiększenie temperatury do 90°C spowodowało wzrost średniego objętościowego strumienia wilgoci do ok. 130 kg H₂O m⁻³h⁻¹ czyli dwukrotnie. Dodatni wpływ temperatury czynnika suszącego na proces suszenia można tłumaczyć wzrostem współczynnika dyfuzji wody w suszonym materiale, który silnie zależy od temperatury procesu.

Wnioski

Z przeprowadzonych badań suszenia kalafiora w nieruchomym złożu materiału z okresowym mieszaniem strumieniem powietrza wynika, że:

1. W przebiegu kinetyki suszenia kalafiora wyróżniono dwa okresy suszenia:
 - Fazę I (I okres suszenia - o stałej szybkości suszenia)
 - Fazę II (II okres suszenia – o zmiennej szybkości suszenia)
2. Wzrost temperatury czynnika suszącego z 60 do 90°C przy zachowaniu niezmienności pozostałych parametrów spowodował w warunkach doświadczenia około trzy i pół krotne skrócenie czasu suszenia i dwukrotne zwiększenie średniej szybkości suszenia.
3. Proces suszenia w złożu nieruchomym z cyklicznym jego mieszaniem charakteryzował się wysoką wartością średniego objętościowego strumienia wilgoci z jednostki objętości komory suszenia – wahając się w zależności od zastosowanej temperatury czynnika suszącego od ok. 63 (przy 60°C) do ok. 130 kg H₂O m⁻³h⁻¹ (przy 90°C).

Bibliografia

- Dobrakowska-Kopecka Z., Doruchowski R.W., Gapiński M.** Warzywnictwo. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. ISBN 8309012047.
- Glaser R.** 1991. O możliwości suszenia krajanek warzywnych w warstwie pulsofluidalnej. Materiały VII Sympozjum Suszarnictwa. Łódź T. 1. s. 147-153.
- Jarczyk A. Leszczyńska U.** 1975. Higroskopijność i skład chemiczny niektórych suszów owocowych i warzywnych. Przemysł Spożywczy. Nr 11-12.
- Pabis S.** 1982. Teoria konwekcyjnego suszenia produktów rolniczych. PWRiL. Warszawa. ISBN 83-01-13945-5.
- Peroń S. Pęksa A., Kozłowski R.** 2004. Ocena wybranych wskaźników pracy suszarki taśmowej podczas suszenia kostki ziemniaczanej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 500. s. 493-500.

RESEARCH ON KINETICS OF CAULIFLOWER DRYING PROCESS IN A FOUNTAIN DRIER

Abstract. The purpose of the study was to investigate possibilities of a fountain drier application for a cauliflower drying process in the condition of a solid bed with cyclic movement at the temperature of a drying medium of 60, 80 and 90 °C. Drying medium flow velocity at the inlet was about 1 m s^{-1} (bed movement $v=4\text{ m s}^{-1}$). The "Idol" cultivar of cauliflower of 90 % moisture content was used for experiment. The results were presented in the form of schemes and correlation equations.

Key words: drying, cauliflower, fountain drier

Adres do korespondencji:

Mariusz Surma; e-mail: mariusz.surma@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chelmońskiego 37/41
51-630 Wrocław