

ZALEŻNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA DYFUZJI WODY W KOSTKACH MARCHWI OD TEMPERATURY POWIETRZA SUSZĄCEGO

Marian Szarycz, Krzysztof Lech, Klaudiusz Jałoszyński

Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Celem badań było wyznaczenie kinetyki suszenia konwekcyjnego marchwi, oraz określenie wpływu temperatury na wartość współczynnika dyfuzji wody. Badania konwekcyjnego suszenia marchwi wykazały istnienie stałej szybkości suszenia, który opisano funkcją liniową natomiast zmienną szybkość suszenia opisano funkcją wykładniczą. Opisano ilościowo wpływ temperatury powietrza na współczynnik dyfuzji wody w kostkach z marchwi.

Słowa kluczowe: suszenie konwekcyjne, współczynnik dyfuzji wody, marchew

Wstęp

Suszenie konwekcyjne jest jedną z najpowszechniej wykorzystywanych metod suszarniczych. Podstawowym parametrem, który decyduje o szybkości suszenia i jakości suszu jest temperatura. Wzrost temperatury powoduje skrócenie czasu suszenia i najczęściej pogorszenie jakości suszu [Gawalek 2005]. Wartość temperatury ma także istotny wpływ na współczynnik dyfuzji wody, który odpowiada za transport wody wewnątrz materiału [Corzo i in. 2008; Fernando i in. 2011].

Cel badań

Celem badań było wyznaczenie kinetyki suszenia konwekcyjnego marchwi, oraz określenie wpływu temperatury na wartość współczynnika dyfuzji wody.

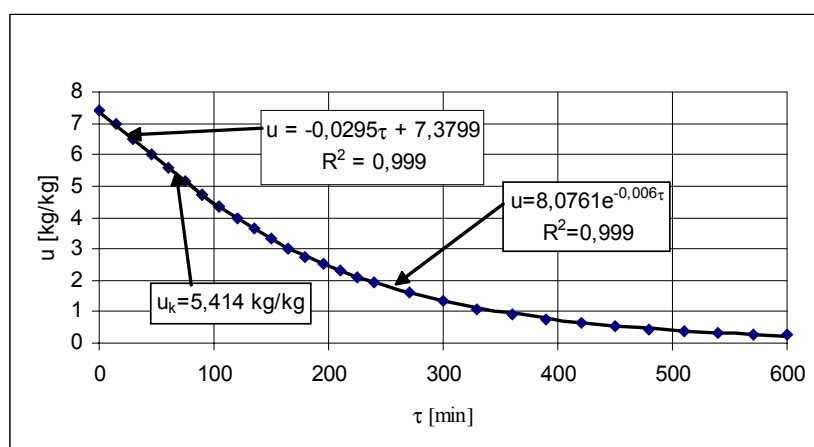
Metodyka badań

Do badań użyto korzeni marchwi odmiany Nerack, z których wykrawano cząstki w kształcie sześciangu o krawędzi $a=10$ mm. Badania suszenia kostek marchwi prowadzono w suszarce do suszenia konwekcyjnego, którą przedstawiano w wielu publikacjach [np. Jałoszyński i in. 2006]. Suszony materiał był owiewany powietrzem o temperaturach 30, 40, 50, 60, 70 i 80°C i prędkości przepływu równej $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Każdorazowo masa próbki wynosiła ok. 60g, a kostki tworzyły pojedynczą warstwę. W początkowym etapie susze-

nia materiał ważono, co 15 minut, a po upływie 2 godzin, co 30 minut. Następnie wysuszony materiał został umieszczony w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 105°C na 48 godzin w celu określenia suchej masy. Do wyznaczenia kinetyki wykorzystano program TableCurve 2D.

Wyniki i dyskusja

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy przebieg suszenia marchwi metodą konwekcyjną dla temperatury suszenia 50°C i przepływu powietrza 0,3 m·s⁻¹.



Rys. 1. Kinetyka suszenia marchewki w temperaturze 50°C, $u=f(\tau)$, $v=0,3$ m·s⁻¹
 Fig. 1. The drying kinetics of carrot in the temperature of 50°C, $u=f(\tau)$, $v=0,3$ m·s⁻¹

Dla pozostałych temperatur powietrza wyznaczono także kinetykę suszenia korzystając z tej samej metody wyznaczania krzywych. Okres stałej szybkości suszenia jest opisany równaniem prostej:

$$u = a \cdot \tau + b \quad (1)$$

aż do punktu krytycznego u_k , natomiast okres zmiennej szybkości suszenia od punktu krytycznego do końca procesu suszenia opisany jest równaniem wykładniczym:

$$u = A \cdot e^{-B \cdot \tau} \quad (2)$$

Wartości stałych z równań opisujących kinetykę suszenia dla poszczególnych temperatur, oraz punkty krytyczne i wartości współczynnika korelacji krzywych przedstawia tabela 1.

Zależność współczynnika dyfuzji...

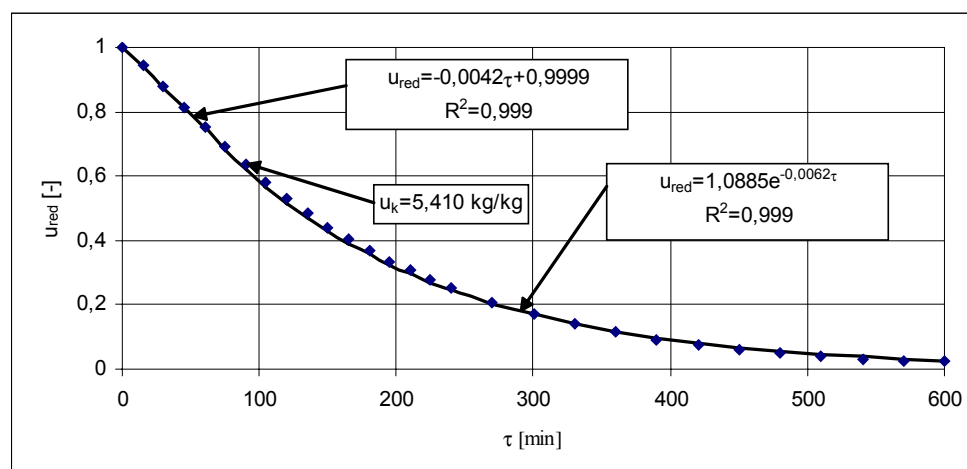
Tabela 1. Współczynniki stałe równań opisujących kinetykę suszenia $u=f(t)$ marchwi dla poszczególnych temperatur

Table 1. Constant coefficients of equations describing the drying kinetics $u=f(t)$ of a carrot for particular temperatures

Temperatura [°C]	$u=a\tau+b$		R^2 [-]	$u=Ae^{-B\tau}$		R^2 [-]	u_k [kg·kg ⁻¹]
	a	b		A	B		
30	-0,0205	7,45	0,998	7,82	0,0037	0,999	5,29
40	-0,0294	7,26	0,998	7,43	0,0051	0,999	5,11
50	-0,0295	7,38	0,999	8,08	0,006	0,999	5,41
60	-0,0447	7,76	0,996	8,06	0,0077	0,999	5,12
70	-0,0492	7,73	0,999	8,48	0,0095	0,999	5,30
80	-0,0556	7,59	0,999	7,9	0,0098	0,999	5,09

W celu porównania kinetyki suszenia kostek marchwi w różnych temperaturach przebieg suszenia marchwi przedstawiono w postaci zredukowanej zawartości wody. Zawartość równowagowa wody dla poszczególnych temperatur suszenia zostały przyjęte z literatury [Pabis 1965].

Przebieg suszenia marchwi metodą konwekcyjną w skali zredukowanej zawartości wody dla temperatury suszenia 50°C i przepływu powietrza 0,3 m·s⁻¹ przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Kinetyka suszenia marchewki w temperaturze 50°C, $U_{red}=f(\tau)$

Fig. 2. The kinetics of drying carrot in the temperature of 50°C, $U_{red}=f(\tau)$

Okres zmiennej szybkości suszenia kostek marchwi metodą konwekcyjną opisuje następujące równanie [Pabis1965]:

$$U_{red} = \frac{u_{\tau} - u_r}{u_0 - u_r} = \Psi \cdot e^{-K \cdot \tau} \quad (3)$$

gdzie:

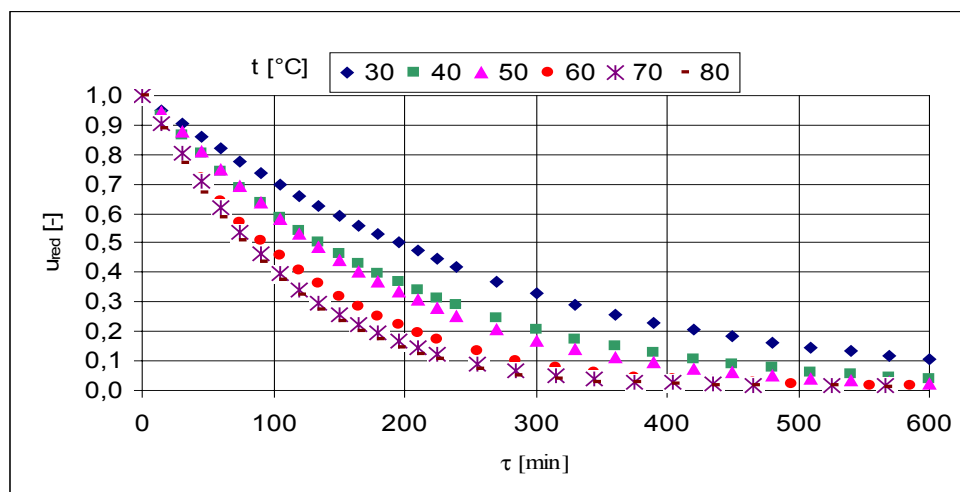
$$K = \frac{3 \cdot a_m \cdot \pi^2}{4 \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2}, \quad (4)$$

- u_r – równowagowa zawartość wody [g H₂O·(g s.s.)⁻¹],
- u_0 – początkowa zawartość wody [g H₂O·(g s.s.)⁻¹],
- u_{τ} – chwilowa zawartość wody g [H₂O·(g s.s.)⁻¹],
- a – długość krawędzi sześcianu [m],
- τ – czas [min],
- a_m – współczynnik dyfuzji wody [m²·s⁻¹],
- Ψ – współczynnik kształtu.

Opisanie równaniem przebiegu suszenia marchwi dla temperatury 50°C w okresie zmiennej szybkości suszenia i wyznaczeniem stałej K pozwoliło na obliczenie współczynnika dyfuzji, który wyniósł:

$$a_{m \ t=50^{\circ}\text{C}} = 3,493 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \quad (5)$$

Rysunek 3 przedstawia przebieg suszenia marchwi w skali zredukowanej zawartości wody dla wszystkich wartości temperatur stosowanych w badaniach.



Rys. 3. Kinetyka suszenia marchwi dla temp. 30-80°C, $U_{red}=f(\tau)$

Fig. 3. The kinetics of drying carrot for the temperature of 30-80°C, $U_{red}=f(\tau)$

Zależność współczynnika dyfuzji...

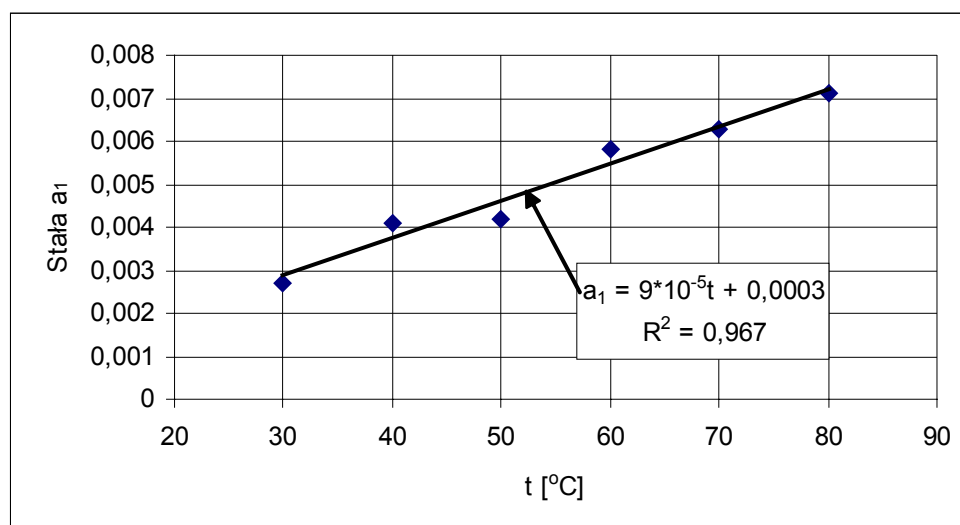
W tabeli 2 przedstawiono współczynniki stałe równań opisujących przebieg suszenia kostek z marchwi.

Tabela 2. Współczynniki stałe równań opisujących kinetykę suszenia w skali zredukowanej zawartości wody $u_{red}=f(t)$ marchwi dla poszczególnych temperatur

Table 2. Constant coefficients of equations describing the kinetics of drying carrot in the scale of reduced water content $u_{red}=f(t)$ for particular temperatures

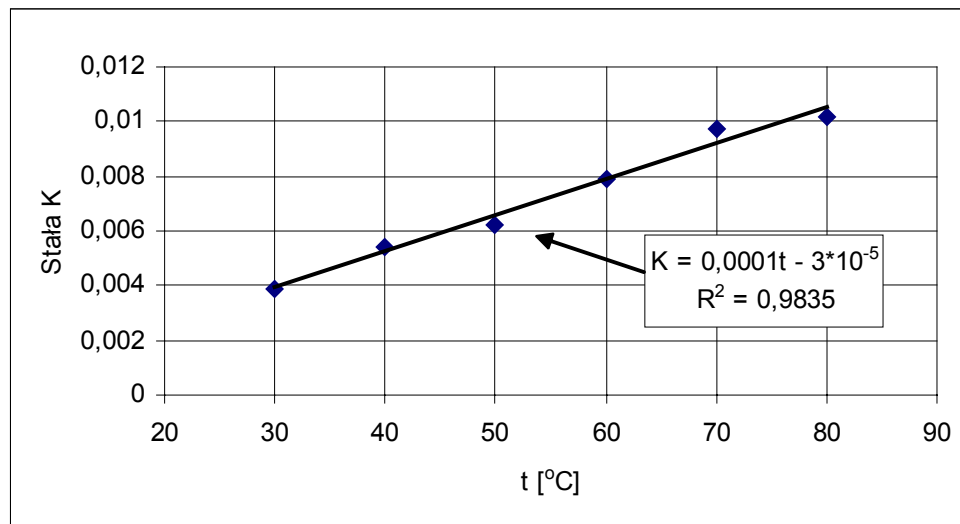
Temp. [°C]	$U_{red}=a_1\tau+b_1$		R^2 [-]	$U_{red}=\psi e^{-K\tau}$		R^2 [-]	u_k [kg·kg ⁻¹]
	a	b		ψ	K		
30	-0,0027	0,986	0,998	1,06	0,0039	0,999	5,29
40	-0,0041	0,995	0,998	1,03	0,0054	0,999	5,11
50	-0,0042	0,999	0,999	1,09	0,0062	0,999	5,41
60	-0,0058	0,993	0,995	1,04	0,0079	0,999	5,12
70	-0,0063	0,997	0,999	1,11	0,0097	0,999	5,30
80	-0,0071	0,998	0,999	1,07	0,0102	0,999	5,09
Średnia	-	0,995	-	1,07	-	-	5,22

Na rysunku 4 i 5 opisano zależność współczynników stałych równań (a_1 i K) od temperatury czynnika suszącego sześciany z marchwi.



Rys. 4. Zależność stałej a_1 od temperatury. $a_1=f(t)$

Fig. 4. The relation of constant a_1 to temperature $a_1=f(t)$

Rys. 5. Zależność stałej K od temperatury. $K=f(t)$ Fig. 5. The relation of constant K to temperature $K=f(t)$

Równania opisujące zależność stałych a_1 i K w funkcji temperatury umożliwiły opisanie przebiegu konwekcyjnego suszenia kostek marchwi w funkcji czasu (τ) i temperatury (t) dwoma równaniami dla stałej i zmiennej szybkości suszenia:

Okres stałej szybkości suszenia:

$$U_{\text{red}} = -(9 \cdot 10^{-5} \cdot t + 0,0003) \cdot \tau + 0,995 \quad (6)$$

Okres zmiennej szybkości suszenia:

$$U_{\text{red}} = 1,07 \cdot e^{-(0,0001 \cdot t - 0,00003) \cdot \tau} \quad (7)$$

Na podstawie przebiegu suszenia wyznaczono wartości współczynnika dyfuzji wody i przedstawiono je w tabeli 3.

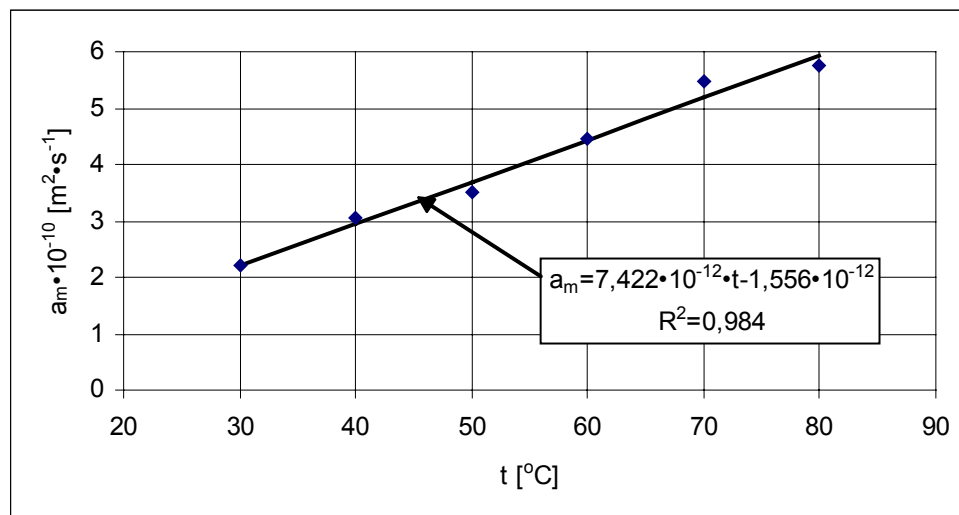
Tabela 3. Współczynniki dyfuzji wody dla poszczególnych temperatur

Table 3. Water diffusion coefficients for particular temperatures

Lp	t [°C]	$a_m \cdot 10^{10}$ [m ² /s]
1	30	2,198
2	40	3,043
3	50	3,493
4	60	4,451
5	70	5,466
6	80	5,747

Zależność współczynnika dyfuzji...

Zależność współczynnika dyfuzji wody dla kostek marchwi suszonych konwekcyjnie od temperatury przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Wpływ temperatury powietrza na współczynnik dyfuzji wody w kostkach marchwi $a_m=f(t)$
Fig. 6. The impact of air temperature on the water diffusion coefficient in carrot dices $a_m=f(t)$

Współczynnik dyfuzji wody w funkcji temperatury opisuje równanie liniowe:

$$a_m = 7,422 \cdot 10^{-12} \cdot t - 1,556 \cdot 10^{-12} \quad (8)$$

z czego wynika, że wzrost temperatury suszenia powoduje proporcjonalny wzrost współczynnika dyfuzji wody dla kostek marchwi suszonych konwekcyjnie.

Wnioski

1. Podczas konwekcyjnego suszenia marchwi wyróżnia się dwa okresy suszenia, stałej i zmiennej szybkości ubytku masy. Pierwszy okres jest opisany równaniem liniowym, a drugi równaniem wykładniczym.
2. Wartość współczynnika dyfuzji wody w okresie malejącej szybkości konwekcyjnego suszenia kostek marchwi w zależności od temperatury powietrza opisuje równanie liniowe.

Bibliografia

Corzo O., Bracho N., Alvarez C. 2008, Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying. Journal of Food Engineering, Vol. 87(4). s. 479-484.

- Fernando W.J.N., Low H.C., Ahmad A.L.** 2011. Dependence of the effective diffusion coefficient of moisture with thickness and temperature in convective drying of sliced materials. A study on slices of banana, cassava and pumpkin. *Journal of Food Engineering*, Vol. 102(4). s. 310-316.
- Gawalek J.** 2005. Wpływ warunków konwekcyjnego i sublimacyjnego suszenia korzeni marchwi na jakość suszu. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11(71). Kraków. s. 119-127.
- Jałoszyński K., Szarycz M., Jarosz B.** 2006. Wpływ suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-podciśnieniowego na zachowanie związków aromatycznych w pietruszce naciowej, *Inżynieria Rolnicza*. Nr 12. s. 209-215.
- Pabis S.** 1965. *Suszenie płodów rolnych*. PWRiL Warszawa.

RELATION OF DIFFUSION COEFFICIENT OF WATER IN CARROT DICES TO THE TEMPERATURE OF DRYING AIR

Abstract. The purpose of the research was to determine the kinetics of carrot convection drying as well as temperature impact on the value of the water diffusion coefficient of. The research on carrot convective drying proved the existence of constant drying speed which was described by means of a linear function, while the variable drying speed was described by means of an exponential function. The influence of air temperature on the water diffusion coefficient in carrot dices was described quantitatively.

Key words: convective drying, water diffusion coefficient, carrot

Adres do korespondencji:

Marian Szarycz; e-mail: marian.szarycz@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław