

## Badanie procesu suszenia konwekcyjnego pietruszki korzeniowej

### Streszczenie:

Badano wpływ temperatury czynnika suszącego 50, 60 i 70 °C i kształtu cząstek pietruszki korzeniowej na kinetykę procesu suszenia w warunkach konwekcji naturalnej. Doświadczalne krzywe suszenia i szybkości suszenia kinetyki suszenia pietruszki w cienkiej warstwie podzielono na dwa etapy, z których końcowy opisano modelem. Określono zakres zmian szybkości suszenia i średnią wartość szybkości suszenia w funkcji zawartości wody.

**Słowa kluczowe:** suszenie, konwekcja naturalna, pietruszka korzeniowa

### Oznaczenia

- $A_0$  - stała [-],
- $K_0$  - współczynnik [-],
- $t$  - czas [s],
- $u_i$  - chwilowa zawartość wody materiału [kg wody/kg suchej substancji].

### Wprowadzenie

Suszenie produktów rolniczych pozwala na długotrwałe ich przechowywanie oraz łatwość przygotowania do spożycia przy jednoczesnym zachowaniu właściwości produktu surowego. Susz z warzyw powinien charakteryzować się wysoką jakością, tzn. minimalnie zmienioną strukturą, właściwym składem substancji chemicznych i odżywczych, dobrymi właściwościami smakowymi, odpowiednim kolorem oraz właściwościami technologicznymi istotnymi do dalszego przetwórstwa. Uzyskanie tej jakości jest determinowane optymalnymi warunkami suszenia (rozkładem temperatury, ruchem wilgoci), przy których można uzyskać możliwie wysoką wydajność suszarek przy minimalnych nakładach energetycznych. Istotne znaczenie ma też sposób przygotowania surowca do tego procesu.

Na przestrzeni wielu lat prowadzone były badania procesu suszenia różnych materiałów. Jednak nadal doskonalili się tę metodę utrwalania owoców np. kiwi [Maskan 2001] i warzyw, np. ziemniaka [Diamante, Munro 1991], buraków ćwikłowych [Markowski, Jaros, Kaleta 1994], wzbogacając wiedzę teoretyczną o nowe modele matematyczne kinetyki procesu suszenia m.in. bakłażana [Ertekin, Yaldiz 2004], papryki czerwonej [Akpınar, Bicer, Yildiz 2003].

### Cel pracy

Celem pracy były badania wpływu temperatury i rozdrobnienia na kinetykę konwekcyjnego suszenia pietruszki korzeniowej. Badania posłużyły do przeanalizowania charakteru krzywych suszenia i szybkości suszenia pietruszki korzeniowej oraz podjęcie próby opisanie modelem Hendersona i

Pabisa drugiego okresu suszenia. Ponadto umożliwiły określenie wartości szybkości suszenia cząstek pietruszki korzeniowej o różnym kształcie w różnych temperaturach powietrza suszącego.

## **Metodyka**

Materiałem do badań była pietruszka korzeniowa odmiany Berlińska rozdrobiona w cząstki o kształcie sześcianu  $5 \times 5$  mm, plastra o grubości 1 mm, wiórka grubego o szerokości 2 mm, wiórka drobnego o szerokości 1 mm. Średnia zawartość wody materiału wynosiła 4,88 kg/kg s.s..

Badania suszenia cząstek pietruszki w warunkach konwekcji naturalnej prowadzono w temperaturze 50, 60 i 70°C w laboratoryjnej wagosuszarce WS30, w której materiał jest ogrzewany ciepłem z promienników umieszczonych bezpośrednio nad materiałem suszonym.

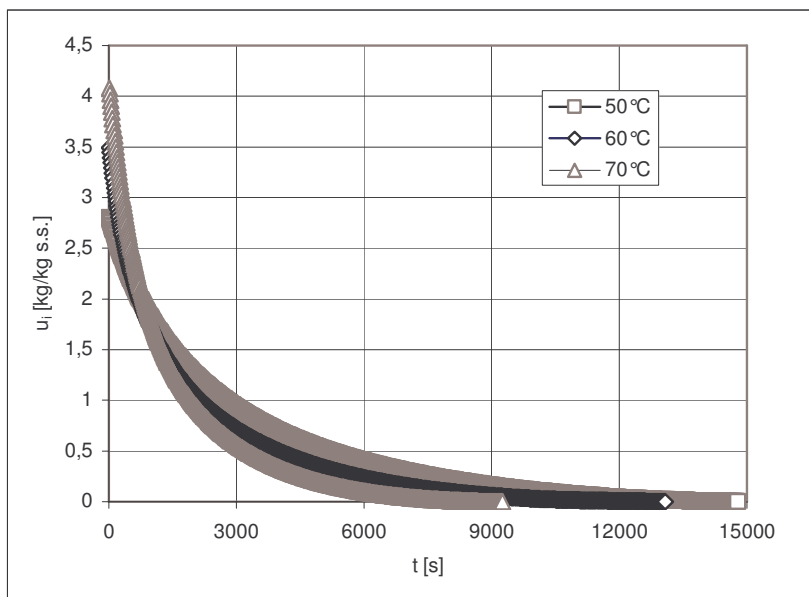
Do matematycznego opisu krzywych suszenia wykorzystano estymację nieliniową stosując program STATISTICA 5.0.

## **Wyniki badań i ich analiza**

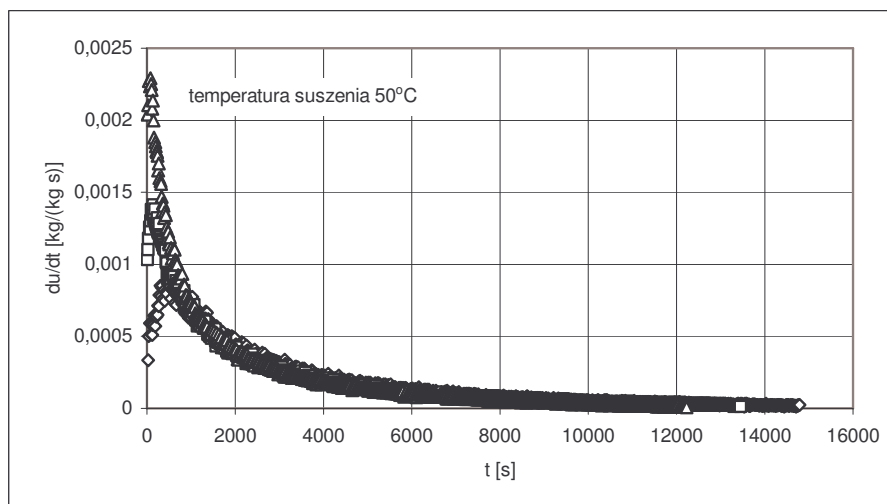
W wyniku badań otrzymano wartości ubywającej zawartości wody podczas prowadzenia procesu suszenia w odstępach 15 sekundowych. Przykładowe wyniki doświadczeń suszenia cząstek w kształcie sześcianu w temperaturze 50, 60 i 70°C przedstawia rys. 1, zaś szybkość suszenia w funkcji czasu i zawartości wody ilustruje rys. 2 i rys. 3.

Na podstawie przebiegów krzywych suszenia i szybkości suszenia wyodrębniono dwa okresy suszenia. Zaobserwowano na początku suszenia wzrost szybkości (jest to widoczne w przypadku cząstek sześciaków na rys. 2 i rys. 3 i plastrów), a następnie jej spadek. Cząstki drobniejsze (wióry grube i drobne) od początku wysychały ze zmniejszającą się szybkością. Toteż stwierdzono, że pietruszka korzeniowa schnie w dwóch okresach suszenia, bez względu na kształt i rozmiary cząstek, określając ich odcinki czasowe.

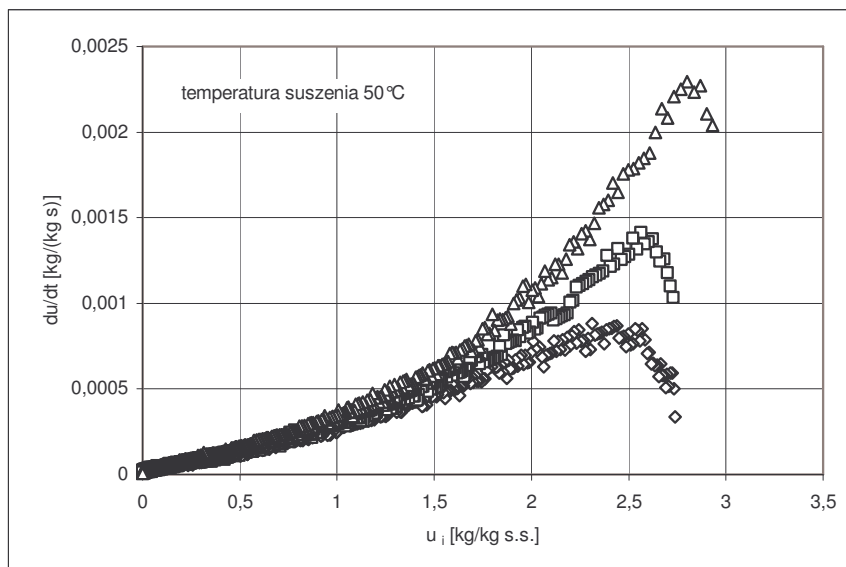
Na rys. 4 przedstawiono zależność szybkości suszenia cząstek pietruszki korzeniowej o badanych kształtach od temperatury suszenia. Rozważano tu maksymalne wartości szybkości, gdy zawartość wody w pietruszce osiągała ok. 3 - 4,5 kg/kg s.s., jeszcze w pierwszym etapie suszenia.



Rys. 1. Wpływ temperatury suszenia na zawartość wody pietruszki korzeniowej rozdrobnionej w sześciiany  
 Fig. 1. Influence of drying temperature on the water content in root parsley

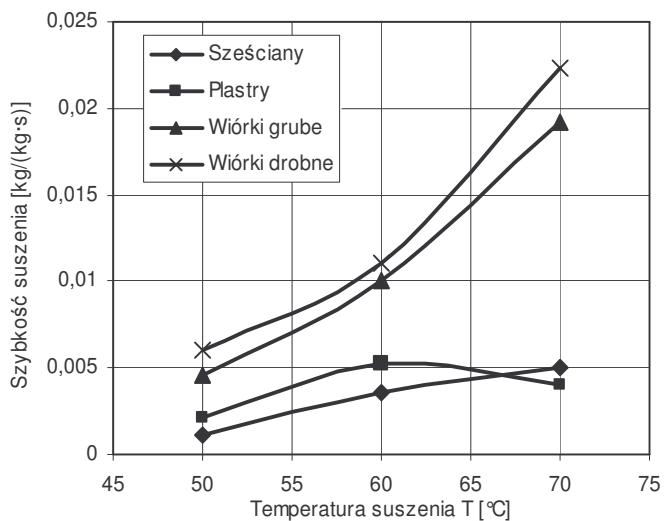


Rys. 2. Krzywa doświadczalna szybkości suszenia pietruszki korzeniowej rozdrobnionej w sześciiany suszonej w temperaturze 50°C w funkcji czasu suszenia  
 Fig. 2. Experimental curve of drying rate for root parsley cut into cubes at the temperature of 50°C as a function of drying time



Rys. 3. Krzywa doświadczalna szybkości suszenia pietruszki korzeniowej rozdrobnionej w sześciany suszonej w temperaturze 50°C w funkcji zawartości wody

Fig. 3. Experimental curve of drying rate for root parsley cut into cubes at the temperature of 50°C as a function of water content



Rys. 4. Wpływ temperatury suszenia na szybkość suszenia pietruszki korzeniowej

Fig. 4. Influence of the drying temperature on the drying rate of root parsley

Wzrost temperatury na ogół wpływał na zwiększenie szybkości suszenia (rys. 4). Dla pietruszki rozdrobnionej w sześciany przy wzroście temperatury z 50 do 70°C szybkość suszenia wzrosła o 0,004 kg/(kg·s). W przypadku rozdrobnienia w wiórki grube wzrost ten wyniósł 0,0015 kg/(kg·s), a w przypadku rozdrobnienia w wiórki drobne 0,016 kg/(kg·s). Inaczej zachowywały się plastry pietruszki. W zakresie temperatur 50-60°C wartość szybkości suszenia zwiększyła się o 0,003 kg/(kg·s), zaś w 60-70°C zmalała o 0,0011 kg/(kg·s).

Końcową część krzywej suszenia produktów rolniczych, w której proces suszenia odbywa się w drugim okresie, można opisać modelem funkcji wykładniczej Hendersona i Pabisa (wzór nr 2).

$$u_i = A_0 \exp(-K_0 t) \quad (2)$$

Stałe i współczynniki do modeli procesu suszenia pietruszki korzeniowej (tab. 1.) zostały określone na podstawie badań doświadczalnych za pomocą estymacji nieliniowej metodą Rosenbrocka i quasi – Newtona.

Tab. 1. Stałe i współczynniki do modelu Hendersona i Pabisa procesu suszenia pietruszki korzeniowej

Tab. 1. Constants and coefficients for Henderson and Pabis model of drying the root parsley.

			Model $u_i = A_0 \exp(-K_0 t)$			
Rozdrobienie	Temperatura [°C]	Przedział czasu [s]	$A_0$	$-K_0$	$R^2$	Udział wariacji wyjaśnionej
<b>Sześcian</b>	50	510-14790	2,44150	0,000313	99,89	99,78
	60	510-13185	2,60348	0,000423	99,83	99,67
	70	405- 9255	3,31115	0,000603	99,86	99,71
<b>Plaster</b>	50	405-13500	3,38259	0,000389	99,74	99,49
	60	210- 9390	3,41205	0,000656	99,52	99,04
	70	405-10170	3,71329	0,000654	99,69	99,38
<b>Wiór gruby</b>	50	300- 8025	3,28560	0,000687	99,80	99,60
	60	150- 5850	3,36385	0,001007	99,70	99,40
	70	150- 3840	3,03008	0,001431	99,76	99,53
<b>Wiór drobny</b>	50	180- 8565	4,60963	0,000758	99,68	99,36
	60	150- 6345	4,38682	0,001053	99,65	99,29
	70	105- 4125	3,04891	0,001474	99,60	99,20

Miarą charakteryzującą kinetykę procesu suszenia jest zmieniający się współczynnik  $K_0$  (wzór nr 1), którego wartość rośnie wraz ze wzrostem

temperatury i ze zmniejszaniem się wielkości cząstki. Wartości wahają się od 0,0004-0,0006 dla cząstek w kształcie sześciangu do 0,0008-0,0015 dla cząstek w kształcie wiórka drobnego. Mniejsza wartość  $K_0$  odnosi się do temperatury suszenia 50°C a większa do temperatury 70°C.

Wraz ze wzrostem temperatury pietruszka rozdrobniona w cząstki w kształcie sześciangów szybciej osiągała wilgotność równowagową (rys. 1.). W przypadku rozdrobnienia w plastry zgodności takiej nie zaobserwowano. Temperatura suszenia 60°C okazała się bardziej optymalna niż 70°C, ze względu na krótszy czas suszenia, jak i braku niekorzystnych zmian barwy suszu.

Odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku różnych kształtów cząstek. Najszybciej wilgotność równowagową osiągnęły mniejsze cząstki, tj. wiórki drobne i wiórki grube, zaś najwolniej sześciangy (tab. 1.). Pietruszka rozdrobniona w plastry uzyskała najkrótszy czas suszenia w temperaturze 60°C w przeciwieństwie do wszystkich pozostałych rozdrobnień pietruszki.

## **Wnioski**

Korzeń pietruszki wysycha w dwóch okresach suszenia.

Do opisu drugiego okresu kinetyki suszenia pietruszki korzeniowej można zastosować model Hendersona i Pabisa.

W temperaturze suszenia 70°C korzeń pietruszki zmienia niekorzystnie barwę niezależnie od rodzaju rozdrobnienia. Ze względów jakościowych proponuje się niższą temperaturę suszenia pietruszki korzeniowej.

## **Bibliografia**

Akpınar E. K., Bicer Y., Yildiz C. 2003.: Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering* 59, str. 99-104.

Diamante L. M., Munro P. A. 1991.: Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. *International Journal of Food Science and Technology* 26, str.99-109.

Ertekin C., Yaldiz O. 2004.: Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering* 63, str. 349-359.

Markowski M., Jaros M., Kaleta A. 1994.: Analiza procesu konwekcyjnego suszenia buraków ćwikłowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 417, str. 77-92.

Maskan M. 2001.: Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering* 48, str. 177-182.

## **Testing the convective-drying process of parsley root**

### **Summary:**

An influence of the drying-medium temperature 50, 60, 70°C and the shape of the parsley-root particles on the kinetics of the drying process under the conditions of natural convection was investigated. Experimental curves of drying and drying rate kinetics of parsley in a thin layer were divided into two stages, where the final one was determined using a model. The scope of changes in drying and the average drying rate were determined as a function of water content.

**Keywords:** drying, natural convection, root parsley