

Kozak Paweł, Serwatka Zbigniew  
Zakład Inżynierii Suszarnictwa i Przechowalnictwa  
Akademia Rolnicza w Lublinie

## JEDNOSTKOWE NAKŁADY ENERGETYCZNE W PROCESIE SUBLIMACYJNEGO SUSZENIA SELERA

### Streszczenie

Badano wpływ obciążenia płyt grzejnych liofilizatora oraz stopnia rozdrobnienia materiału na energochłonność procesu sublimacyjnego suszenia selera. Suszenie prowadzono w warunkach stałej temperatury płyt grzejnych (323K) i ciśnienia (63Pa) po wstępnym zamrożeniu materiału do temperatury 248K. Analiza zapotrzebowania energetycznego poszczególnych podzespołów suszarki sublimacyjnej wykazała istotny wpływ ( $\alpha=0,05$ ) badanych zmiennych niezależnych jedynie na ilość energii dostarczanej do płyt grzejnych. Stwierdzono, iż jednostkowy nakład energetyczny osiąga minimum przy obciążeniu płyt  $3,5 \text{ kg/m}^2$  i jest odwrotnie proporcjonalny do stopnia rozdrobnienia badanego materiału.

**Słowa kluczowe:** seler korzeniowy; suszenie sublimacyjne; jednostkowe nakłady energetyczne

### Wstęp

Kształtujące się obecnie potrzeby żywieniowe człowieka stymulują projektowanie nowych grup produktów spożywczych, do których zaliczyć można żywność określaną jako naturalna, nisko przetworzona, bez dodatków chemicznych, wygodna, funkcjonalna. Wytwarzanie żywności zaliczanej do ww. grup oparte jest na dostępności trwałych, spełniających określone standardy komponentów, które mogą stanowić produkt finalny, półprodukt lub mogą być stosowane jako dodatki do żywności polepszające jej cechy żywieniowe, organoleptyczne i zdrowotne. Kryteria jakości obejmują zarówno bezpieczeństwo mikrobiologiczne jak również parametry fizyczne i fizykochemiczne komponentów żywności, niezmiennie w możliwie długim czasie ich przydatności do spożycia. Zapewnienie trwałości oraz nadanie określonych cech przetwarzanym produktom jest wypadkową zastosowanej metody utrwalania oraz doboru zabiegów dopełniających etap przygotowania półproduktu. Jedną z metod utrwalania materiałów biologicznych, zachowującą w znacznym stopniu pierwotne cechy surowca, jest suszenie sublimacyjne. Zastosowanie tej metody, opartej jedynie na odwodnieniu materiału [Genin 1995], spełnia większość wymagań stawianych komponentom żywności tj. trwałość, wysoka retencja witamin, aromatu i stabilność barwy, bezpieczeństwo mikrobiologiczne, zachowanie naturalnej struktury i kształtu, wysoka zdolność do rehydracji. Dodatkowe zalety – charakterystyczne dla uzyskanego na drodze sublimacji lodu – suszu, to możliwość jego przechowywania w hermetycznych opakowaniach w temperaturze pokojowej oraz dostępność i łatwość dozowania w procesie technologicznym [Kozak 1999]. Ograniczeniem szerokiego zastosowania tej metody utrwalania produktów żywnościowych w przemyśle spożywczym są wysokie koszty związane ze znacznymi nakładami inwestycyjnymi oraz energetycznymi na proces suszenia [Lis 2001]. Zmniejszenie kosztów produkcji możliwe jest dzięki wypracowaniu optymalnych warunków prowadzenia procesu wynikających z indywidualnych własności danego materiału [Ratti 2001]. Otrzymanie wartościowego suszu determinowane jest warunkami operacyjnymi procesu, takimi jak temperatura i ciśnienie w komorze suszenia liofilizatora, jak również grubość warstwy oraz stopień rozdrobnienia suszonego materiału.

## Cel i zakres badań

Celem badań było określenie wpływu obciążenia powierzchni roboczej suszarki oraz stopnia rozdrobnienia selera korzeniowego na jednostkowe nakłady energetyczne i wydajność liofilizatora.

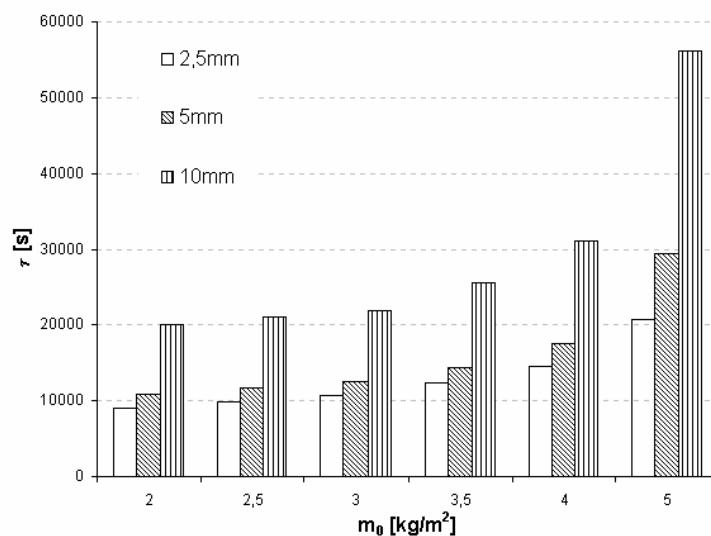
Badany surowiec stanowił korzeń spichrzowy selera odmiany *Odrzański*. Materiał myto, osuszano bibułą i krojono w kostkę o boku 2,5; 5,0; 10,0 mm po czym układano w formie warstwy, której grubość wynikała z przyjętego obciążenia powierzchni płyty: 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0 kg/m<sup>2</sup>.

Proces suszenia prowadzono w suszarce sublimacyjnej typu ALPHA 1-4 o kontaktowym sposobie dostarczania ciepła. Materiał zamrażano do temperatury 248K z szybkością 0,5K/min i umieszczano w komorze suszenia. Wartość temperatury płyt grzejnych i ciśnienia podczas suszenia ustalono na stałym poziomie: T=323K, p=63Pa. Suszenie prowadzono do uzyskania wilgotności suszu ok. 3%.

Dodatkowe wyposażenie suszarki stanowiła odpowiednio oprogramowana aparatura do monitorowania i rejestrowania masy próbki w czasie suszenia (waga tensometryczna typu WPT-5), rozkładu temperatury w warstwie suszonego materiału (wielokanałowy termometr termoparowy typu TT-100) oraz ilości energii dostarczanej do poszczególnych podzespołów suszarki sublimacyjnej (multimetr cyfrowy M-4660-M).

## Wyniki i dyskusja

Czas trwania sublimacyjnego suszenia wyznaczono na podstawie analizy krzywych suszenia i przedstawiono na rys.1.



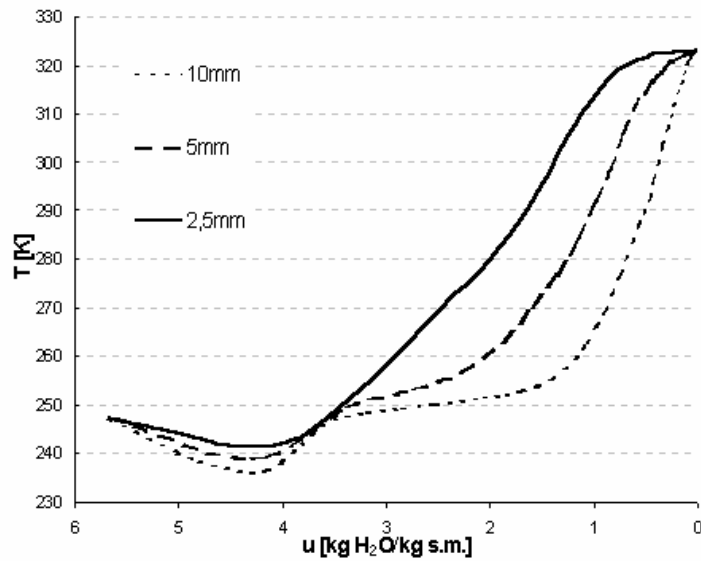
Rys. 1. Czas suszenia w zależności od jednostkowego obciążenia i stopnia rozdrobnienia materiału ( $m_0$ [kg/m<sup>2</sup>] – jednostkowe obciążenie;  $\tau$ [s] – czas suszenia)

Fig. 1. Drying time dependent on the unit weight and the degree of material break-up ( $m_0$ [kg/m<sup>2</sup>] – unit weight;  $\tau$ [s] – drying time)

Wilgotność uzyskanego liofilizatu wynosiła średnio 2,6% (wartość średnia z 54 obserwacji przy odchyleniu std.=0,12)

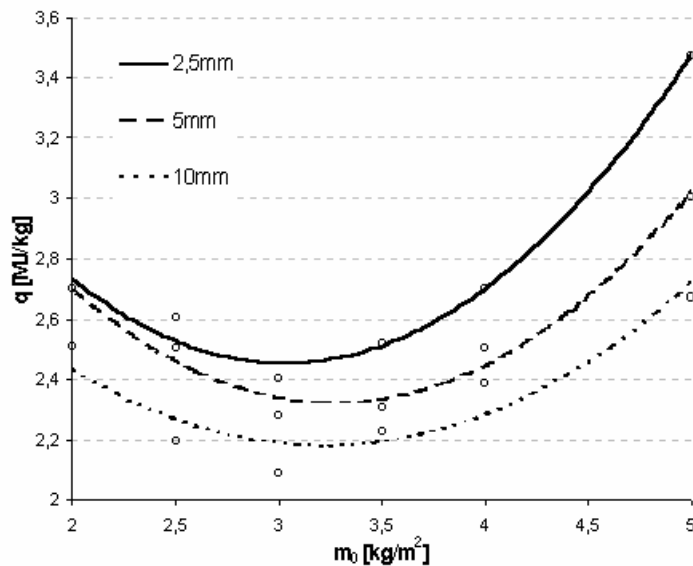
Czynnikiem istotnie wpływającym na energochłonność procesu jest grubość warstwy suszonego materiału, będąca funkcją obciążenia powierzchni roboczej suszarki oraz porowatości złoża. Rozdrobnienie materiału powoduje rozwinięcie pola powierzchni rzeczywistego kontaktu suszonego materiału z płytą grzejną, co przyczynia się do polepszenia

warunków wymiany ciepła. Jednak wzrost stopnia rozdrobnienia pogarsza proces wymiany masy, co objawia się szybszym wzrostem temperatury suszonej próbki (rys.2).



Rys. 2. Temperatura powierzchni materiału w funkcji zawartości wody przy obciążeniu płyt  $m_0=3,0\text{kg/m}^2$  ( $u$ [kg H<sub>2</sub>O/kg s.m.] – zawartość wody w materiale;  $T$ [K] – temperatura)

Fig. 2. The temperature of the surface of the material as a function of the water content at the load of the panels  $m_0=3,0\text{kg/m}^2$  ( $u$ [kg H<sub>2</sub>O/kg of dried mass] – the content of water in the material;  $T$ [K] – temperature)



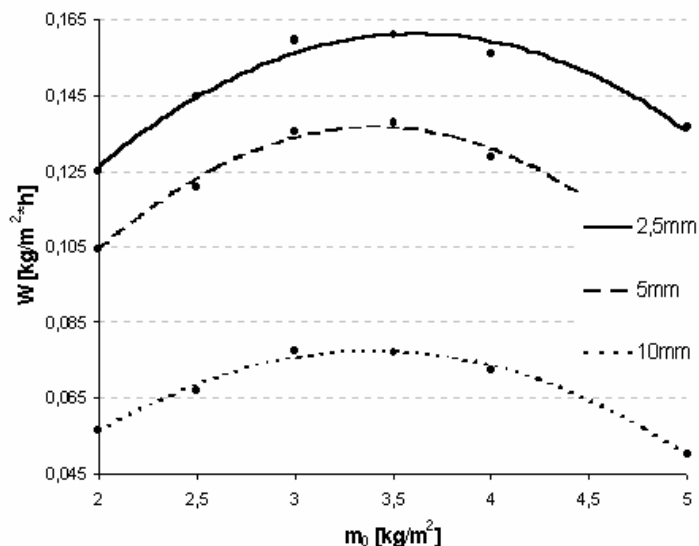
Rys. 3. Jednostkowy nakład energii w zależności od obciążenia płyt i stopnia rozdrobnienia materiału ( $m_0$ [kg/m<sup>2</sup>] – jednostkowe obciążenie;  $q$  [MJ/kg] – jednostkowy nakład energii)

Fig. 3. The consumption of energy per unit depends on the load of the panels and the degree of material break-up ( $m_0$ [kg/m<sup>2</sup>] – the load of the panels;  $q$  [MJ/kg] – the consumption of energy per unit)

Analiza ilości energii dostarczonej do poszczególnych podzespołów suszarki sublimacyjnej wykazała istotny wpływ ( $\alpha=0,05$ ) badanych zmiennych niezależnych jedynie na ilość energii wydatkowanej na utrzymanie zadanej temperatury płyt grzejnych.

Jednostkowy nakład energii doprowadzonej do płyt grzejnych suszarki sublimacyjnej w funkcji obciążenia płyt przedstawiono na rys. 3.

Wydajność suszarki sublimacyjnej w zależności od obciążenia płyt i stopnia rozdrobnienia materiału przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wydajność liofilizatora w zależności od obciążenia płyt i stopnia rozdrobnienia materiału ( $m_0$ [kg/m<sup>2</sup>] – jednostkowe obciążenie;  $W$ [kg/m<sup>2</sup>·h] – wydajność liofilizatora)

Fig. 4. Efficiency of a lyophilizer dependent on the load of the panels and the degree of material break-up ( $m_0$ [kg/m<sup>2</sup>] – unit weight;  $W$ [kg/m<sup>2</sup>·h] – efficiency of a lyophilizer)

Zależność jednostkowego nakładu energii oraz wydajność liofilizatora w funkcji obciążenia powierzchni roboczej płyt opisują równania regresji (1) i (2) o postaci wielomianu drugiego stopnia:

$$q = am_0^2 + bm_0 + c \quad (1)$$

$$W = am_0^2 + bm_0 + c \quad (2)$$

gdzie:

$q$  – jednostkowy nakład energii [MJ/kg],

$W$  – wydajność liofilizatora [kg/ m<sup>2</sup>·h<sup>-1</sup>],

$a, b, c$  – współczynniki regresji

**Tab. 1.** Współczynniki regresji dla równań (1), (2)

**Tab. 1.** The rate of regression for equations (1), (2)

		$a$	$b$	$c$	$R^2$
$q$	kostka 2,5mm	0,2633	-1,5969	4,8742	0,9876
	kostka 5,0mm	0,235	-1,5397	4,8422	0,9745
	kostka 10mm	0,17	-1,0967	3,9475	0,8508
$W$	kostka 2,5mm	-0,0134	0,0973	-0,0148	0,9732
	kostka 5,0mm	-0,0163	0,0973	-0,0536	0,9907
	kostka 10mm	-0,0108	0,0735	-0,0479	0,9888

## Wnioski

- Wzrost stopnia rozdrobnienia selera korzeniowego zwiększa energochłonność procesu sublimacyjnego suszenia
- Jednostkowy nakład energetyczny na proces sublimacyjnego suszenia osiąga minimum przy obciążeniu płyt w przedziale od 3,0 do 3,5 kg/m<sup>2</sup>
- Wydajność liofilizatora osiąga wartość maksymalną przy obciążeniu płyt 3,5 kg/m<sup>2</sup> i największym z badanych stopni rozdrobnienia materiału

## Bibliografia

- Genin E. 1995. A method for on-line determination of residual water content and sublimation end-point during freeze-drying, *Chemical Engineering and Processing*.
- Kozak P. 1999. Wpływ temperatury płyt grzejnych liofilizatora na cechy jakościowe suszu z selera, *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Inżynieria Chemiczna i Procesowa*, z. 25, s. 63-68
- Lis T. 2001. Wpływ sposobu suszenia czosnku na jednostkowe zużycie energii i wskaźniki jakości suszu, *Inżynieria Rolnicza*, nr 2/22; s. 25-29.
- Ratti C. 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods:a review, *Jurnal of Food Engineering*.

## CONSUMPTION OF ENERGY PER UNIT IN THE PROCESS OF FREEZE-DRYING OF ROOT CELERY

### Summary

The subject of the study was the influence exerted by the load of heating panels and the degree of material break-up on the consumption of energy per unit in the process of freeze drying of celery. The drying process was conducted at a constant temperature of the heating panels (323K) and pressure (63Pa) after the preliminary freezing of the material to the temperature of 248K. Analysis of the consumption of energy by the particular sub-components of the freeze dryer showed that the independent variables studied exert considerable influence ( $\alpha = 0.05$ ) on the amount of energy supplied to the heating panels. It was found that the consumption of energy per unit achieves minimal value when the load of the heating panels is 3.0 kg/m<sup>2</sup> and that the consumption is inversely proportional to the increase of the material disintegration.

**Key words:** root celery, freeze-drying, unit energy use