

Stefan Jan KOWALSKI, Justyna SZADZIŃSKA

e-mail: stefan.j.kowalski@put.poznan.pl

Zakład Inżynierii Procesowej, Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

## Suszenie marchwi w warunkach okresowo zmiennych – jakość produktu

### Wstęp

Suszenie zwiększa bezpieczeństwo żywności i przedłuża jej trwałość do dalszego spożywania lub magazynowania. Suszenie konwekcyjne jest jednym z najczęściej wykorzystywanych procesów przetwórczych w przemyśle. Posiada szereg zalet, które decydują o jego szerokim wykorzystaniu, mianowicie, jest metodą stosunkowo tanią, o dobrze poznanych podstawach teoretycznych [Pabis, 1982].

Uznawane jest jednak za metodę destrukcyjną, pogarszającą jakość produktu, w szczególności w odniesieniu do produktów biologicznych. Produkty lub półprodukty pochodzenia rolniczego należą do biomateriałów szczególnie wrażliwych na działanie termiczne. W procesie suszenia długotrwała ekspozycja na podwyższoną temperaturę, może negatywnie wpłynąć na jakość: kolor, smak, zapach, czy też zawartość składników odżywczych. W związku z tym, bardzo ważne w praktyce przemysłowej jest znalezienie pewnej optymalnej temperatury bądź też racjonalnego dozowania ciepła [Brennan, 2006].

Jednym ze sposobów minimalizowania negatywnych efektów suszenia konwekcyjnego jest prowadzenie tego procesu w warunkach okresowo zmiennej temperatury czynnika suszącego, tj. spowalnianie procesu, gdy zachodzi niebezpieczeństwo destrukcji materiału i jego przyspieszanie, gdy takiego niebezpieczeństwa nie ma [Głowacka i Malczewski, 1986; Chua i in., 2003].

Celem pracy jest analiza efektywności suszenia konwekcyjnego w warunkach zmiennych i jego wpływu na jakość korzenia marchwi z punktu widzenia poprawy wartości odżywczej oraz barwy suszonego produktu. Przedstawiono wpływ zmian częstotliwości i amplitudy temperatury powietrza na wybrane cechy jakościowe, a efekty suszenia w zmiennych warunkach porównano z efektami suszenia w stałych warunkach.

### Opis badań

#### Materiały

Materiałem doświadczalnym były plastry marchwi: 35×5 mm (*Daucus carota* L.) odmiany Karotka, o początkowej zawartości wilgoci 88–90%. Badany materiał suszono do końcowej zawartości wilgoci 10–12%.

#### Aparatura

Testy suszenia konwekcyjnego przeprowadzono z wykorzystaniem laboratoryjnej suszarki komorowej 42/250/M (Zalmed, Polska), zmodernizowanej do suszenia zarówno w warunkach zmiennej temperatury jak i wilgotności powietrza. Cykliczne zmiany temperatury w czasie realizowano przez dostarczanie chłodnego powietrza, wykorzystując do tego celu chłodzić EVS060BED (ECO Refrigerazione, Włochy) i sterownik 512-AC-RC (Moeller Easy, Niemcy). Pomiaru temperatury oraz względnej wilgotności czynnika suszącego dokonywano za pomocą czujnika DO9861T (Delta OHM, Włochy). Temperaturę suszonego materiału rejestrowano poprzez termometr CENTER 309 (Center Technology Corp., Taiwan), natomiast pomiaru zmiany masy w czasie dokonywano za pomocą wagi WPS 2100/C (Radwag, Polska).

#### Testy suszenia

Suszenie w stałych warunkach przeprowadzono w temperaturze 70°C. Na podstawie otrzymanej krzywej suszenia określono sposób zmian temperatury w komorze suszarki dla warunków zmiennych. Początek tych zmian przyjęto na koniec okresu stałej szybkości suszenia, tj. około 120 minuty procesu, ponieważ wtedy zaobserwowano spadek szybkości suszenia, a także 50% ubytek masy próbek marchwi. Zatem okresowe zmiany temperatury powietrza prowadzane były w okresie malejącej prędkości suszenia.

Pierwsze 3 testy suszenia przeprowadzono ze zmienną częstotliwością, a kolejne 3 ze zmienną amplitudą temperatury powietrza. Łącznie

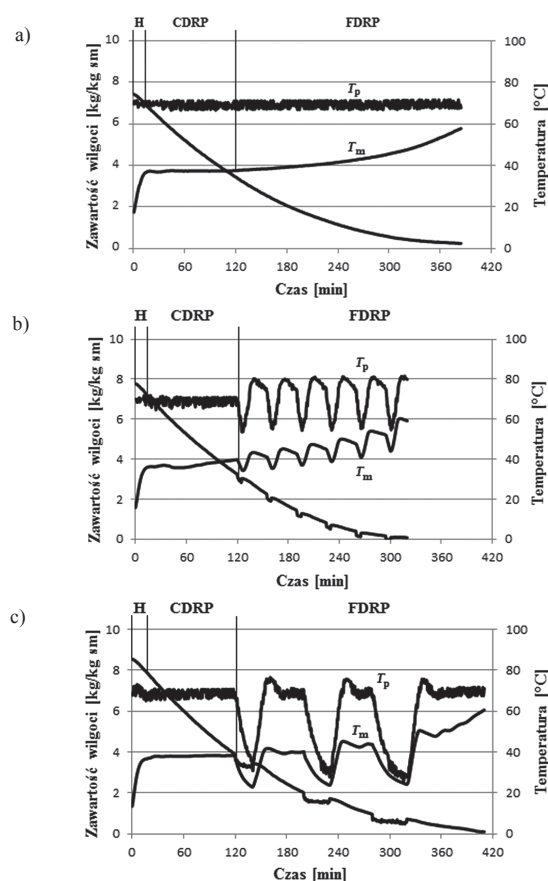
zapropozowano 6 kombinacji czasowych zmian temperatury medium suszącego.

Jakość suszonego biomateriału określono na podstawie całkowitej zmiany barwy ( $\Delta E$ ), aktywności wody ( $a_w$ ) i zawartości  $\beta$ -karotenu. Do badań jakościowych wykorzystano kolorymetr CR-400 (Konica Minolta, Japonia), miernik aktywności wody model 650/0628.0024 (Testo, Niemcy) oraz spektrofotometr UV-2401PC (Shimadzu, Niemcy). Ubytek  $\beta$ -karotenu w korzeniu marchwi oznaczono metodą opisaną w literaturze [Ranganna, 1986].

### Wyniki badań

Oceny efektywności suszenia w warunkach zmiennych dokonano w oparciu o kinetykę (krzywe suszenia) i wskaźniki jakości marchwi. Rys. 1a przedstawia krzywą suszenia uzyskaną w stałej temperaturze powietrza ( $T_p$ ) oraz krzywą temperatury suszonego materiału ( $T_m$ ) oraz charakterystyczne etapy: okres podgrzewania materiału (H), okres stałej szybkości suszenia (CDRP) i okres malejącej szybkości suszenia (FDRP).

Całkowity czas suszenia w warunkach stałych wyniósł 385 min. Ponadto, uzyskano materiał charakteryzujący się największym spadkiem jakości. Na rys. 1b przedstawiono krzywą suszenia oraz krzywe temperaturowe dla marchwi suszonej ze zmienną częstotliwością temperatury powietrza (5 min chłodzenia i 20 min grzania). Celem tych badań było sprawdzenie jak zmiany te wpłyną na czas suszenia i jakość suszu w stosunku do uzyskanego w stałych warunkach. Okresowo zmienna temperatura powietrza powoduje chwilowe obniżenie szybkości suszenia, co



Rys. 1. Krzywe suszenia oraz profile temperatury:

a) stałe warunki, b) zmienna częstotliwość, c) zmienna amplituda

determinuje charakter krzywych, które przybierają trend *schodkowy*. Jednakże w trakcie chłodzenia zawartość wilgoci w próbkach znacząco spada, co skraca całkowity czas suszenia do 320 min oraz zabezpiecza biomateriał przed nadmiernym przegrzewaniem i utratą jakości.

Kinetyka procesu w warunkach zmiennej amplitudy temperatury powietrza została przedstawiona na rys. 1c, gdzie zastosowano kombinację trzech cykli chłodzenia o różnej długości, tj. 20, 30 i 40 min. W tym przypadku zaobserwowano, że dłuższe okresy chłodzenia znacząco redukują szybkość suszenia, a całkowity czas procesu wydłuża się, maksymalnie do 410 min.

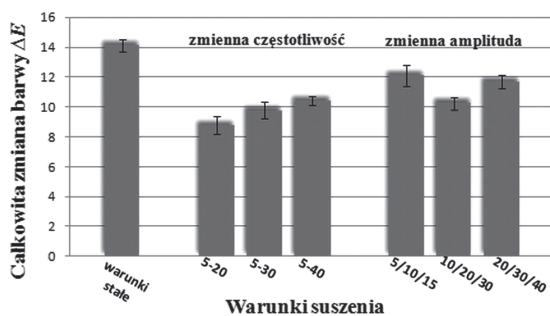
### Ocena jakości

Oceny jakości suszonej marchwi dokonano na podstawie całkowitej zmiany barwy ( $\Delta E$ ), aktywności wody ( $a_w$ ) i zawartości  $\beta$ -karotenu.

**Analiza kolorymetryczna** polegała na ocenie różnicy koloru między próbką świeżą a wysuszoną. Zmianę barwy przedstawiono w systemie CIELab, gdzie  $L$  – oznacza jasność,  $a$  – kolor czerwony bądź zielony, natomiast  $b$  – reprezentuje barwę żółtą lub niebieską.  $\Delta E$  obliczono korzystając ze wzoru:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (1)$$

Degradacja barwników karotenoidowych podczas przetwarzania produktów żywnościowych prowadzi do powstawania form mniej aktywnych biologicznie i objawia się zmianami sensorycznymi, m.in. rozjaśnieniem [Sikorski, 2007]. Efekt jaśniejszej barwy zaobserwowano w przypadku wszystkich próbek marchwi po procesie suszenia. Na rys. 2 można zauważyć, że dla marchwi suszonej w okresowo zmiennej temperaturze powietrza uzyskano niższe wartości ( $\Delta E$ ), w porównaniu z próbką suszoną w stałej temperaturze. Zmiana koloru próbek suszonych w warunkach niestacjonarnych waha się w zakresie 8,77÷12,11. Zatem redukcja czasu ogrzewania biomateriału poprzez okresowe obniżanie temperatury powietrza, wpłynęła na poprawę koloru marchwi.



Rys. 2. Całkowita zmiana barwy ( $\Delta E$ ) w poszczególnych testach suszarniczych

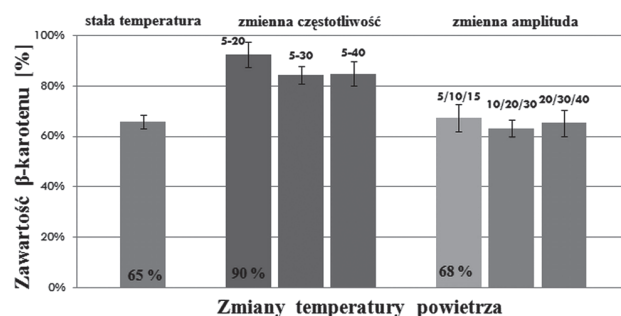
**Aktywność wody** w produktach żywnościowych wpływa na wiele czynników, które decydują o ich trwałości, m.in. o rozwoju mikroflory. Zasadniczo materiał bezpieczny mikrobiologicznie charakteryzuje się aktywnością wody mniejszą niż 0,6. Redukcja aktywności wody poprzez suszenie minimalizuje spadek jakości żywności oraz działalność drobnoustrojów [Dilbaghi i Sharma, 2007]. Małą próbkę korzenia marchwi, uprzednio roztartą w młynku, umieszczano w komorze miernika i czekano do momentu osiągnięcia równowagi. Aktywność wody w materiale wysuszonym mierzono po 3 godzinach od momentu zakończenia procesu suszenia. W tab. 1 zestawiono wartości ( $a_w$ ) przed i po procesie suszenia marchwi.

Tab. 1. Aktywność wody przed i po procesie suszenia marchwi

Warunki suszenia		Aktywność wody $a_w$	
		przed suszeniem	po suszeniu
Stać temperatura powietrza 70°C		0,98±0,01	0,52±0,03
Zmienna częstotliwość temperatury powietrza, [min]	5 grz.-20 chł.	0,97±0,01	0,40±0,02
	5 grz.-30 chł.	0,97±0,01	0,45±0,01
	5 grz.-40 chł.	0,98±0,01	0,46±0,03
Zmienna amplituda temperatury powietrza, [min]	5/10/15 chł.	0,97±0,01	0,49±0,01
	10/20/30 chł.	0,98±0,01	0,49±0,02
	20/30/40 chł.	0,97±0,01	0,49±0,03

Dla rozpatrywanych zmian temperatury powietrza uzyskano aktywność wody mniejszą niż 0,6, co świadczy o zahamowaniu wielu szkodliwych reakcji biochemicznych powodujących, m.in. gnicie i rozwój pleśni.

**Zawartość  $\beta$ -karotenu.** Wobec zainteresowania zdrową żywnością, oprócz właściwości sensorycznych, takich jak zapach i barwa bardzo ważnym aspektem staje się zawartość substancji odżywczych. Suszenie konwekcyjne powoduje znacząco utratę naturalnych barwników i witamin, jednakże modyfikacja metody suszenia może przyczynić się do zachowania tych cennych składników. Zawartość  $\beta$ -karotenu w suszu marchwi (Rys. 3) przedstawiono w procentach, w odniesieniu do zawartości początkowej w surowcu.



Rys. 3. Zawartość  $\beta$ -karotenu w suszu marchwi w różnych warunkach suszenia

W przypadku zastosowania zmiennej częstotliwości temperatury powietrza uzyskano najwyższą zawartość barwnika w próbkach, tj. 84÷90%. Z kolei duże straty  $\beta$ -karotenu (ok. 40%) zaobserwowano dla marchwi suszonej w stałej temperaturze oraz dla zmiennej amplitudy temperatury powietrza. Jak widać, wartości te są porównywalne i wynikają przede wszystkim z długotrwałej obróbki termicznej. Degradacja  $\beta$ -karotenu jest efektem przegrzewania się materiału, dlatego też dla regularnych zmian temperatury czynnika suszącego, gdzie czas suszenia był najkrótszy, udało się zachować znacznie więcej tego barwnika.

### Wnioski

Na podstawie wyników badań stwierdzono, iż najkorzystniejszymi warunkami suszenia korzenia marchwi są cykliczne zmiany temperatury powietrza o dużej częstotliwości. Taka metoda suszenia umożliwia skrócenie całkowitego czasu suszenia o około 1 godzinę, co wpływa na poprawę sprawności energetycznej procesu, jak również pozwala zachować kolor i  $\beta$ -karoten, nawet do 90%.

Suszenie konwekcyjne materiałów szczególnie wrażliwych na obróbkę termiczną w warunkach zmiennej temperatury powietrza minimalizuje jego negatywne efekty i pozytywnie wpływa zarówno na kinetykę procesu (czas suszenia) oraz jakość suszonych produktów. Z przeprowadzonych badań wynika jednoznacznie, że właściwe i racjonalnie stosowanie okresowego suszenia konwekcyjnego znacząco zwiększa jego efektywność, szczególnie z punktu widzenia jakości produktu.

### LITERATURA

- Brennan J.G., 2006. *Food processing handbook*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- Chua K.J., Mujumdar A.S., Chou S.K., 2003. Intermittent drying of bioproducts – an overview. *Bioresource Technology* **90**, nr 3, 285-295, DOI: 10.1016/S0960-8524(03)00133-0.
- Dilbaghi N., Sharma S., 2007. *Food and Industrial Microbiology: Food spoilage, food infections and intoxications caused by microorganisms and methods for their detection*. Guru Jambheshwar University of Science and Technology Hisar-Haryana (India)
- Głowacka M., Malczewski J., 1986. *Oscillating temperature drying* [w:] Arun S Mujumdar (ed.). *Drying of Solids. Recent International Developments*, Wiley Eastern Limited New Delhi, 77-83
- Pabis S., 1986. *Teoria konwekcyjnego suszenia produktów rolniczych*, PWRiL, Warszawa
- Ranganna S., 1986. *Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*. New Delhi, Tata McGraw-Hill
- Sikorski Z.E., 2007. *Chemia żywności*, Tom I. Składniki żywności. WNT, Warszawa