

Stefan J. KOWALSKI, Joanna M. ŁECHTAŃSKA, Dominik MIERZWA

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

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

## Aspekt jakościowy suszenia hybrydowego owoców wiśni

### Wstęp

Wiśnie (*Prunus cerasus*) są bogatym źródłem składników odżywczych, mineralnych oraz antocyanów, dzięki którym wykazują silne właściwości przeciwutleniające i przeciwzapalne [Tarhan, i in., 2006; Kaya i Aydin, 2007]. Kolor wiśni zależy głównie od stężenia i rozkładu antocyanów zawartych w skórce i jest on jednym z ważniejszych wskaźników dojrzałości i jakości materiału [Goncalves B., i in., 2007]. Czołowymi producentami wiśni na świecie są Rosja, Polska, Turcja i Niemcy, a zbiory tego owocu wynoszą około 1,1 mln t (FAO 2005) [Tarhan i in., 2006]. Wiśnia jest stosowana jako surowiec do produkcji napojów, soków, galaretek, cukierków, dżemów i wielu innych [Aghbashlo i in., 2008]. Owoce te należą do produktów bardzo nietrwałych o krótkim okresie zbiorów. Z tego względu poszukuje się różnych sposobów wydłużenia okresu ich użytkowania, na przykład przez zastosowanie procesu suszenia.

Celem suszenia owoców jest zmniejszenie zawartości wilgoci, a tym samym obniżenie aktywności wody w stopniu, który pozwala na bezpieczne przechowywanie przez dłuższy okres czasu. [Aghbashlo i in., 2008]. Innymi zaletami suszenia produktów jest obniżenie masy i objętości materiału wysuszonego, co powoduje zminimalizowanie kosztów magazynowania i transportu.

Znanych jest wiele metod suszenia materiałów biologicznych, takich jak owoce i warzywa. Najczęściej stosowane jest suszenie na wolnym powietrzu z wykorzystaniem promieniowania słonecznego, które jest procesem niewątpliwie tanim z punktu widzenia energetycznego. Jednakże powolność tego procesu, ekspozycja na zanieczyszczenia środowiska, niestabilne warunki pogodowe (zachmurzenia, deszcze), owady i wiele innych czynników wpływa bardzo niekorzystnie na ten proces. Tych negatywnych zjawisk można uniknąć stosując przemysłowe metody suszenia [Doymaz i Smail, 2011]. Konstrukcja suszarki do materiałów biologicznych, takich jak warzywa i owoce, charakteryzujących się wysoką wilgotnością stanowi bardzo złożony problem [Koyuncu i in., 2007; Kowalski i Pawłowski, 2010] szczególnie ze względu na wymagania dotyczące jakości otrzymanego produktu [Mabellini i in., 2010].

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań suszenia wiśni z wykorzystaniem metody hybrydowej, będącej kombinacją suszenia konwekcyjnego, mikrofalowego i promieniowania podczerwonego.

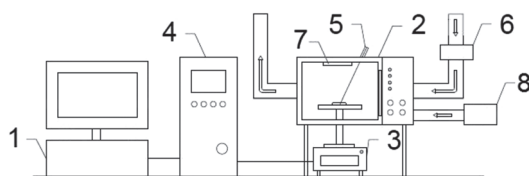
### Badania doświadczalne

#### Materiał

Jako materiał badawczy zastosowano świeże wiśnie (*Prunus cerasus*) zakupione na lokalnym rynku, a następnie przechowywane w temperaturze 278 K przez 24 h. wiśnie wydrążone w drylownicy oraz przecięte na pół za pomocą noża ceramicznego zważono, a następnie umieszczono na szalce wykonanej z teflonu w komorze suszarki.

#### Aparatura

Proces suszenia został przeprowadzony w laboratoryjnej suszarce hybrydowej. Schemat tej suszarki przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat suszarki hybrydowej. 1 – komputer; 2 – komora suszarki o wymiarach: 0,33×0,33×0,21 m (g×s×w); 3 – waga; 4 – programator; 5 – pirometr; 6 – system grzania; 7 – generator promieniowania podczerwonego; 8 – magnetron

#### Techniki suszenia

Suszarka ma możliwość zastosowania technik suszenia konwekcyjnego – CV ( $T_a = 293\div 373$  K,  $v_a = 0,2\div 2,3$  m/s), mikrofalowego – MW ( $P_{MW} = 0\div 1000$  W) oraz promieniowania podczerwonego – IR ( $P_{IR} = 250; 350$  W), zarówno jako procesy niezależne jak i wspomagające się nawzajem. Zastosowane trzy metody suszenia hybrydowego, które zasadniczo różnią się sposobem dostarczenia energii. W suszeniu konwekcyjnym energia doprowadzana jest za pomocą systemu grzania – 6 powietrza przepływającego wokół próbki. Podczas suszenia MW ciepło wytwarzane jest wewnątrz materiału, dzięki promieniowaniu elektromagnetycznemu o częstotliwości 2,45 GHz (częstotliwość rezonansowa wody) generowanemu przez magnetron – 8. Suszenie IR jest realizowane z wykorzystaniem termicznego promieniowania radiacyjnego, które może być absorbowane, odbite oraz przechodzić przez materiał. W zastosowanej aparaturze promiennik IR – 7 znajduje się 0,15 m powyżej teflonowej szalki, tak aby promieniowanie IR było skierowane bezpośrednio na powierzchnię próbki.

Zastosowano 5 różnych procesów suszenia hybrydowego, a jako metodę odniesienia przeprowadzono suszenie konwekcyjne. Warianty procesów suszenia zostały przedstawione w tab. 1.

Tab. 1 Warianty suszenia hybrydowego

Symbol	Opis suszenia
1. CV	Suszenie konwekcyjne materiału (wartości stałe dla wszystkich wariantów: $T_a = 343$ K, $v_a = 1,7$ m/s)
2. CV+MW	Suszenie konwekcyjne wspomagane mikrofalami przez cały proces (Moc stała dla wszystkich wariantów: $P_{MW} = 100$ W)
3. I-CV, II-CV+MW	Suszenie konwekcyjne w pierwszym okresie suszenia. W drugim okresie suszenie konwekcyjne wspomagane mikrofalami
4. I-CV+MW, II-CV	Suszenie konwekcyjne wspomagane mikrofalami w pierwszym okresie. Suszenia konwekcyjne w drugim okresie.
5. I-CV+IR, II-CV+(MW 3×900 s), III-CV+MV	Suszenie konwekcyjne i wspomagane IR aż do osiągnięcia temperatury materiału 348 K (Moc stała dla wszystkich wariantów: $P_{IR} = 250$ W). Następnie suszenie konwekcyjne z trzykrotnym wspomaganie mikrofalami przez 900 s. Ostatni etap: suszenie konwekcyjne wspomagane mikrofalami aż do osiągnięcia wilgotności równowagowej.
6. I-CV+MW+IR, II-CV+(MW 3×900 s), III-CV+MV	Suszenie konwekcyjne wspomagane mikrofalami i promieniowaniem podczerwonym, aż powierzchnia materiału osiągnęła temperaturę 348 K. Następnie suszenie konwekcyjne z trzykrotnym wspomaganie mikrofalami przez 900 s. Ostatni etap: suszenie konwekcyjne wspomagane mikrofalami aż do osiągnięcia wilgotności równowagowej.

#### Zawartość wilgoci

Za zakończenie procesu suszenia uznano osiągnięcie wilgotności równowagowej wyznaczanej z dokładnością 0,01% za pomocą wago-suszarki, model XM120 firmy Precisa, Szwajcaria. Masę suchą wyznaczono przez 24-godzinne suszenie w temperaturze 348 K w suszarce konwekcyjnej model SML42/250/M wyprodukowanej przez Zelmed, Polska. Aktualną zawartość wilgoci w próbce (MC) określano na podstawie równania:

$$MC(t) = \frac{M_t(t) - M_d}{M_d} \quad (1)$$

gdzie:

$M_t$  – oznacza masę mierzoną w danym czasie  $t$ ,  
 $M_d$  – oznacza masę suchą.

### Ocena jakości

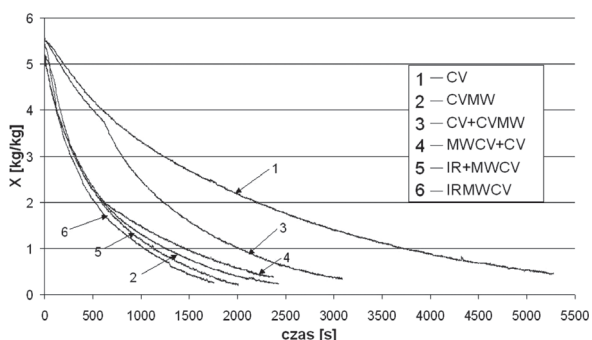
Próbki poddawane były ocenie jakościowej przez pomiar aktywności wody oraz pomiar zmiany barwy materiału, a także przez ocenę wizualną. Analizę kolorymetryczną przeprowadzano przed i po procesie suszenia aby ocenić zmianę koloru materiału. Każdy pomiar przeprowadzono 25 razy w różnych miejscach materiału świeżego, a następnie procedurę powtórzono dla materiału suchego. Do przeprowadzenia tego pomiaru wykorzystano kolorometr model CR-400 Konica Minolta Sensing, INC., Japonia. Do opisu barwy wykorzystano przestrzeń CIELab, w której kolor określany jest za pomocą trzech składowych, gdzie:  $L$  – oznacza poziom jasności,  $a$  – reprezentuje zmianę od koloru czerwonego do zielonego oraz  $b$  – oznacza zmianę koloru od żółtego do niebieskiego. Całkowitą zmianę koloru  $\Delta E$  wyznaczono z następującego wzoru:

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

Ocenę jakościową dokonywano również na podstawie pomiaru aktywności wody ( $a_w$ ), która jest kluczowym parametrem informującym o trwałości produktów suszonych. Pomiar wykonywano dla materiału świeżego i suszonego. Próbkę umieszczano w komorze miernika Testo model 650/0628.0024, Niemcy pozwalającego na oznaczenie aktywności wody z dokładnością do 0,001  $a_w$ .

### Wyniki badań i ich ocena

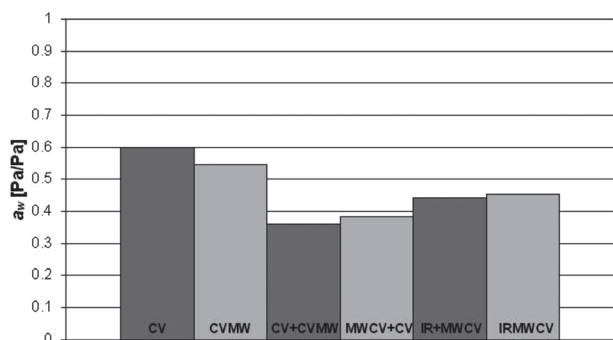
Na rys. 2 przedstawione zostały krzywe kinetyczne różnych metod suszenia. Widać, że suszenie konwekcyjne charakteryzuje się najdłuższym czasem suszenia. Najkrótszy czas obserwuje się dla próbek suszonych wraz ze wspomaganie promieniowania podczerwonego.



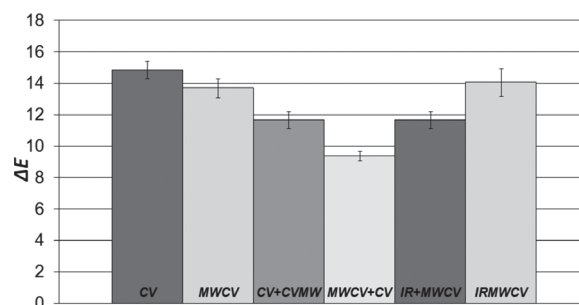
Rys. 2. Zestawienie krzywych suszenia różnymi wariantami suszenia hybrydowego

Opis jakości materiału został przedstawiony za pomocą parametru aktywności wody odpowiadającego za trwałość materiału oraz parametrem  $\Delta E$  wyrażającego za zmianę koloru w materiale wysuszonym w stosunku do materiału świeżego. Na rys. 3 został przedstawiony wykres porównujący aktywność wody dla różnych procesów suszenia hybrydowego.

Pomimo najdłuższego czasu suszenia metodą konwekcyjną, wartość aktywności wody jest największa, równa granicznej wartości charakteryzującej trwałość materiału ( $a_w = 0,6$ ). Każda zastosowana metoda



Rys. 3. Porównanie aktywności wody w materiale wysuszonym różnymi wariantami suszenia hybrydowego



Rys. 4. Porównanie parametru zmiany koloru materiału suszonego metodą hybrydową

hybrydowego suszenia wyróżnia się niższą wartością tego parametru. Najlepsze wyniki osiągnięto dla trzeciej metody tj. suszenia konwekcyjnego w pierwszym okresie suszenia i suszenia konwekcyjnego wspomaganego mikrofalami w drugim okresie (CV+CVMW).

Kolejnym wyznacznikiem jakości materiału jest parametr zmiany koloru pomiędzy materiałem świeżym a suszonym. Wykres zmiany koloru przedstawiono na rys. 4. Na wykresie zaznaczono także błąd wyznaczony poprzez odchylenie standardowe. Największą zmianę koloru uzyskano dla suszenia konwekcyjnego, najmniejszą zaś dla czwartego procesu, tj. suszenia konwekcyjnego wspomaganego mikrofalami w pierwszym okresie i suszenia konwekcyjnego w drugim okresie (MWCV+CV).

### Wnioski

Suszenie hybrydowe z zastosowaniem różnych metod suszenia, jak pokazują uzyskane wyniki, ma pozytywny wpływ na jakość materiału suszonego. Materiał wyróżnia się mniejszą zmianą koloru w stosunku do próbki świeżej, a także mniejszą wartością parametru aktywności wody odpowiadającej za trwałość produktu.

Z punktu widzenia jakości materiału najlepszymi wydają się techniki suszenia konwekcyjnego wraz ze wspomaganie mikrofalowym zastosowanym w pierwszym bądź drugim okresie suszenia.

Aplikacja wspomaganie promieniowania podczerwonego ma zdecydowanie gorsze efekty, wynikające z miejscowego przegrzewania materiału. Jednakże zarówno ze względu na zmianę koloru jak i aktywność wody metody te są lepsze od zastosowanej techniki jedynie suszenia konwekcyjnego.

Zastosowanie technik hybrydowych znacząco obniża również czas suszenia. Najkrótsze czasy suszenia wyróżniają połączenie technik suszenia konwekcyjnego wraz ze wspomaganie mikrofalowym i promieniowania podczerwonego.

### LITERATURA

- Aghbashlo M., Kianmehr M.H., Hassan-Beygi S.R., 2008. Drying and rehydration characteristics of sour cherry (*Prunus cerasus* L.). *J. Food Proc. Pres.*, **34**, 351-365. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2008.00310.x
- Doymaz I., Smail O., 2011. Drying characteristics of sweet cherry. *Food Bio-prod. Proc.*, **89**, 31-38. DOI: 10.1016/j.fbp.2010.03.006
- Goncalves B., Silva A.P., Moutinho-Pereira J., Bacelar E., Rosa E., Meyer A.S., 2007. Effect of ripeness and postharvest storage on the evolution of colour and anthocyanins in cherries (*Prunus avium* L.). *Food Chem.*, **103**, 976-984. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.08.039
- Kaya A., Aydin O., 2007. Experimental investigation of drying kinetics of cherry laurel. *J. Food Process Eng.*, **31**, 398-412. DOI: 10.1111/j.1745-4530.2007.00159.x
- Kowalski J.S., Pawłowski A., 2010. Aspekt energetyczny suszenia materiałów w stałych i okresowo zmiennych warunkach. *Inż. Ap. Chem.*, **49**, nr 2, 71-72
- Koyuncu T., Tosun I., Pinar Y., 2007. Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.). *J. Food Eng.*, **78**, 735-739. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.09.035
- Maellini A., Vuilloud M., V., Marquez C.A., De Michelis A., 2010. Kinetic drying experimental data and mathematical model for sweet cherries (*Prunus avium* L.). *J. Food Process Eng.*, **33**, 1115-1128. DOI: 10.1111/j.1745-4530.2008.00329.x
- Tarhan S., Ergunes G., Taser F.O., 2006. Selection of chemical and thermal pre-treatment combination to reduce the dehydration time of sour cherry (*Prunus cerasus* L.). *J. Food Process Eng.*, **29**, 651-663. DOI: 10.1111/j.1745-4530.2006.00088.x