

Stefan Jan KOWALSKI, Dominik MIERZWA

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

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

Ocena jakościowa suszenia hybrydowego materiałów biologicznych

Wstęp

Pojęcie „materiały biologiczne” odnosi się w tej pracy głównie do warzyw i owoców. Produkty te charakteryzują się niezwykle delikatną strukturą komórkową oraz znaczną zawartością wilgoci (wody), wynoszącą nawet do 80 % ich całkowitej masy [1]. Obecność tak dużej ilości wody w komórkach powoduje, iż stanowią one doskonałe środowisko do rozwoju bakterii odpowiedzialnych za procesy gnilne. Z tego powodu warzywa i owoce poddaje się procesowi suszenia, którego głównym zadaniem jest obniżenie zawartości wody w tych produktach, a tym samym przedłużenie okresu ich przydatności do spożycia, dalszej obróbki czy dłuższego magazynowania.

Najpowszechniej stosowaną techniką suszenia dla tego rodzaju materiałów jest metoda konwekcyjna, w której czynnik suszący stanowi najczęściej podgrzane powietrze. Technika ta ma jednak pewne wady. Jest to bardzo często proces czaso- oraz energochłonny, prowadzący do znacznego obniżenia jakości otrzymanych produktów. Do najczęściej występujących negatywnych efektów suszenia konwekcyjnego zaliczyć można: zmianę barwy wywołaną degradacją pigmentów [2], utratę substancji odżywczych (np. witamin) [3], odkształcenia oraz utwardzanie powierzchni materiału [4], a nawet destrukcję struktury wewnętrznej materiału [5].

Ponieważ jakość produktów ma w przypadku warzyw i owoców kluczowe znaczenie, poszukuje się innych, mniej szkodliwych metod suszenia. Interesującym rozwiązaniem są tu hybrydowe techniki suszenia będące połączeniem tradycyjnego suszenia konwekcyjnego z promieniowaniem mikrofalowym i podczerwonym [6], czy też próżnią (np. suszenie mikrofalowo-próżniowe) [7]. Odpowiednio dobrane i połączone w jeden proces różne techniki suszenia pozwalają nie tylko na poprawienie jakości otrzymywanych produktów, ale również na skrócenie czasu suszenia i zmniejszenie zużycia energii, co jest pożądane z punktu widzenia ekonomiki procesu.

Metodologia badań

Jako materiał badawczy wykorzystano owoce papryki czerwonej (*Capsicum annum L., od. Anuum*). Ze świeżego owocu wycinano próbki mające zbliżoną masę ($m \approx 65$ g), a następnie poddawano je procesowi suszenia w laboratoryjnej suszarce hybrydowej. W trakcie badań przetestowano 6 programów suszenia, w tym 2 programy proste tj. suszenie konwekcyjne ($T = 55^\circ\text{C}$, prędkość przepływu $v = 1,2$ m/s) i mikrofalowe o mocy $P = 100$ W oraz 4 programy hybrydowe będące połączeniem metody konwekcyjnej i mikrofalowej (parametry jw.) oraz promieniowania IR o mocy $P = 250$ W. Programy hybrydowe różniły się między sobą okresem aplikacji oraz czasem trwania wzmocnienia mikrofalowego czy promieniowania IR. W trakcie trwania całego procesu rejestrowano wartości podstawowych parametrów próbki takich jak masa i temperatura oraz czynnika suszącego (temperatura, wilgotność, prędkość). Na podstawie tych danych wykreślono krzywe suszenia ($X = f(t)$) oraz określono szybkość suszenia (k).

Jakość otrzymanych produktów analizowana była zarówno na podstawie oceny wizualnej, jak również w oparciu o dane kolorymetryczne (barwy) próbki, zmierzone przed i po procesie, z wykorzystaniem kolorymetru CR400 firmy Konica Minolta. Barwa wyrażona została za pomocą współrzędnych L^* , a^* , b^* trójwymiarowej przestrzeni barw CIE $L^*a^*b^*$. Na podstawie otrzymanych w ten sposób wyników wyznaczony został względny współczynnik zmiany barwy ΔE opisany wzorem (1).

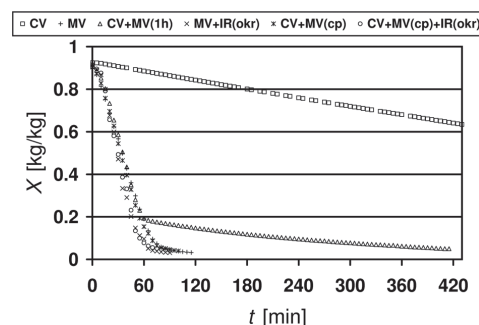
$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

Ostatnim, jednak nie mniej ważnym czynnikiem, branym pod uwagę przy ocenie programów suszenia było całkowite zużycie energii elektrycznej mierzone za pomocą analizatora parametrów sieci model MPR53S, firmy Entes. Znajomość tego parametru pozwoliła na szacunkową ocenę ekonomiki poszczególnych programów suszenia.

Wyniki badań

Kinetyka suszenia

W pierwszym etapie badań przeprowadzone zostały próby suszenia konwekcyjnego. Zgodnie z wcześniejszymi przypuszczeniami był to niezwykle powolny i długotrwały proces, trwający około 40 godzin. Wilgotność końcowa (X_k) materiału wynosiła średnio 0,03 kg/kg (masa wody/masa mokrego materiału), natomiast maksymalna wartość szybkości suszenia (k) osiągnęła poziom 0,07 g/min. Następnie przeprowadzono suszenie mikrofalowe badanego materiału, aby porównać kinetykę obu technik suszenia. Jak się spodziewano czas suszenia uległ w tym przypadku znacznemu skróceniu (proces trwał około 115 minut – Rys. 1), a maksymalna szybkość suszenia znacznie wzrosła i osiągnęła wartość 0,9 g/min. Na podstawie otrzymanych w ten sposób wyników opracowane zostały programy hybrydowe. Krzywe suszenia otrzymane w tych programach zaprezentowano na rys. 1.

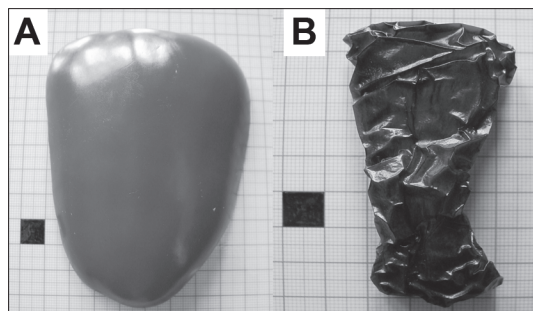


Rys. 1. Krzywe suszenia otrzymane w poszczególnych programach: CV – suszenie konwekcyjne, MV – suszenie mikrofalowe, IR – suszenie z promieniowaniem podczerwonym (cp – cały proces, okr – okresowo, 1h – 1 godzina)

Analiza krzywych suszenia przedstawionych na rys. 1 pozwala stwierdzić, że aplikacja dodatkowych źródeł energii (MV czy IR) w znacznym stopniu wpływa na kinetykę suszenia konwekcyjnego. W każdym z przeprowadzonych programów hybrydowych, czas suszenia uległ znaczącemu skróceniu (nawet do 60 minut – Rys. 1 -MV+IR), a szybkość suszenia osiągała wartości rzędu 1,6–1,9 g/min. Wartość średnia wilgotności końcowej materiału oscylowała na poziomie 0,03–0,04 kg/kg, czyli była podobna do tych otrzymanych dla prostego suszenia konwekcyjnego czy mikrofalowego. Należy jednak zauważyć, że dodatkowe źródła energii efektywnie wpływają na kinetykę procesu tylko wtedy, kiedy są zastosowane w odpowiednim okresie suszenia, a także z odpowiednią mocą. Zbyt krótkie działanie mikrofal czy podczerwieni może nie przynieść pożądanego efektu przyspieszenia procesu, co można zaobserwować na rys. 1 (krzywa CV+MV(1 h)).

Jakość produktów

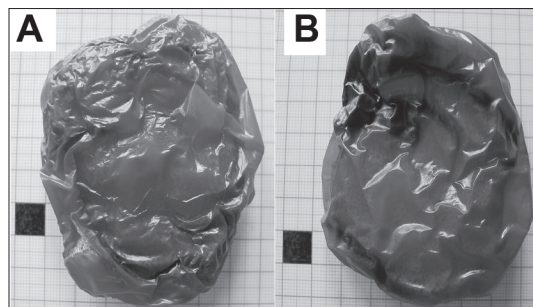
Na rys. 2 przedstawione zostały fotografie próbki świeżej oraz wysuszonej konwekcyjnie. Jak widać długi czas suszenia w stosunkowo wysokiej temperaturze spowodował znaczne obniżenie jakości otrzymanego produktu. Barwa próbki zmieniła się z koloru jasnoczerwonego na ciemnoczerwony, a nawet bordowy. Ponadto zaobserwować można



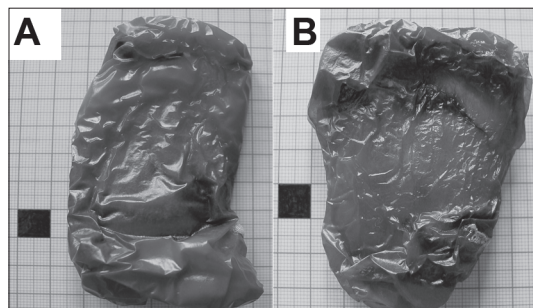
Rys. 2. Wygląd próbek: A) świeżej; B) po suszeniu konwekcyjnym

również inne negatywne skutki suszenia takie jak skurcz, znaczne odkształcenia, czy utwardzenie się powierzchni materiału.

W programach hybrydowych jakość otrzymanych produktów była znacznie lepsza. Zmiana barwy nie była już tak widoczna, a deformacje i skurcz wystąpiły w możliwym do zaakceptowania zakresie (Rys. 2 i 3). Ciemne przebarwienia występujące na próbkach są wynikiem działania niejednorodnego pola mikrofalowego.



Rys. 3. Wygląd próbek po suszeniu: A) program MV; B) program CV+MV(cp)



Rys. 4. Wygląd próbek po suszeniu: A) program MV+IR; B) program CV+MV+IR

Otrzymane dane kolorymetryczne (Tab. 1) potwierdzają wcześniejsze obserwacje. Względny współczynnik zmiany barwy ΔE osiągnął najwyższą wartość w przypadku suszenia konwekcyjnego ($\Delta E = 24,96$), natomiast w programach hybrydowych był już znacznie niższy i w najlepszym przypadku (MV+IR) osiągnął nawet wartość $\Delta E = 4,99$.

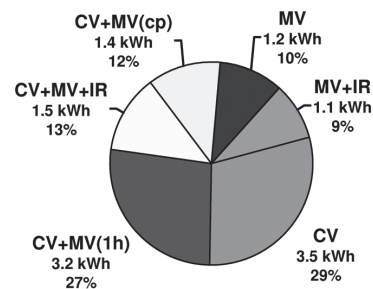
Tab. 1. Wyniki pomiarów kolorymetrycznych

Program	Próbka świeża			Próbka suszona			ΔE [-]
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
CV	31,75	33,08	14,12	22,47	12,12	5,29	24,56
MV	31,41	32,18	12,96	36,42	36,76	14,50	6,95
CV+MV(cp)	30,59	32,99	12,60	40,52	31,41	12,49	10,06
CV+MV(1h)	30,71	31,27	13,27	39,63	42,25	23,53	17,48
MV+IR(okr)	35,75	35,78	16,47	36,11	40,57	17,18	4,99
CV+MV+IR	29,38	32,39	12,87	40,29	35,78	14,93	11,61

Na podstawie tych obserwacji stwierdzić można, że odpowiednio połączone techniki suszenia pozwalają na znaczną poprawę jakości otrzymywanych produktów. Szczególną uwagę należy jednak zwrócić na moc oraz okres zastosowanego wzmocnienia (MV lub IR).

Zużycie energii

Całkowite zużycie energii (E_c) zmierzone w poszczególnych programach zaprezentowane zostało w postaci wykresu na rys. 5.



Rys. 5. Wykres zużycia energii w poszczególnych programach suszenia.

Zgodnie z wcześniejszymi przypuszczeniami najbardziej energochłonnym procesem okazał się proces suszenia konwekcyjnego, w trakcie którego zużyte zostało 3,5 kWh, co stanowi około 29% całkowitej energii użytej we wszystkich programach.

We wszystkich programach hybrydowych zużycie energii spadło w stosunku do suszenia konwekcyjnego i wynosiło średnio około 1,2 kWh na proces, co stanowi 11–12% całkowitej energii użytej we wszystkich procesach. Z punktu widzenia ekonomicznego jest to bardzo pozytywny efekt, ponieważ jednocześnie zmniejszono zużycie kosztownej energii oraz skrócono czas procesu. Konieczne są jednak dalsze badania mające na celu oszacowanie wydajności energetycznej procesu i jego optymalizację.

Wnioski

W tab. 2 porównane zostały najważniejsze parametry uzyskane i oceniane w poszczególnych procesach.

Tab. 2. Porównanie najważniejszych parametrów procesu

Program	t [min]	X_k [kg/kg]	k [g/min]	ΔE [-]	E_c [kWh]
MV+IR(okr)	90	0,03	1,8	4,99	1,1
MV	115	0,03	0,9	6,95	1,2
CV+MV(cp)	100	0,04	1,2	10,06	1,4
CV+MV+IR	90	0,04	1,9	11,61	1,5
CV+MV(1h)	420	0,05	1,2	17,41	3,2
CV	2400	0,03	0,07	24,56	3,5

Programy w tab. 2 zostały ułożone w kolejności od najlepszego do najgorszego. Dobroć programu oceniana była na podstawie danych kolorymetrycznych (ΔE – indeks jakościowy) oraz zużycia energii elektrycznej w programie (E_c – indeks ekonomiczny). Jak widać najlepszym programem okazał się program suszenia mikrofalowego wspomaganego promieniowaniem IR (MV+IR), w którym jakość produktu (barwa) była dobrze zachowana, a zużycie energii najmniejsze. Najgorszym programem okazał się powolny i długotrwały program suszenia konwekcyjnego, w którym doszło do znacznego pogorszenia jakości produktu oraz znacznego zużycia energii elektrycznej.

Podsumowując można stwierdzić połączenie w jeden proces kilku technik suszenia (suszenie hybrydowe) pozwala na otrzymanie produktów dobrej jakości przy jednoczesnej redukcji czasu suszenia i obniżeniu zużycia energii elektrycznej.

LITERATURA

- [1] P. H. S. Santos, M.A. Silva: *Drying Techn.* **26**, nr 12 (2008).
- [2] M. K. Korkida et al.: *Drying Techn.* **16**, nr 3-5 (1998).
- [3] P. H. M. Marfil et al.: *Food Sci. and Techn.* **41** (2008).
- [4] A. Vega-Gálvez et al.: *J. of Food Eng.* **85** (2008).
- [5] P. P. Lewicki, G. Pawlak: *Drying Techn.* **21**, nr 4 (2003).
- [6] S. J. Kowalski, D. Mierzwa: *Drying Techn.* **27**, nr 12 (2009).
- [7] A. Kieca, G. Musielak: *Inż. Ap. Chem.* **49**, nr 3, 49 (2010).

Praca została wykonana w ramach badań statutowych DS 32-127/10 finansowanych przez Politechnikę Poznańską.