

## Anita KAMIŃSKA, Włodzimierz CIESIELCZYK

e-mail: akaminska@chemia.pk.edu.pl

Katedra Reaktorów i Kinetyki Ruchu Masy, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, Kraków

## Kinetyka suszenia mikrofalowego wybranych warzyw i owoców

## Wstęp

Proces suszenia odgrywa istotną rolę w przemyśle spożywczym i w rolnictwie decydując zwykle o jakości otrzymywanych produktów [1, 2]. Odpowiednia realizacja procesu suszenia może kształtować w pewnym stopniu właściwości produktu. Jest to szczególnie ważne w przypadku przetwarzania produktów spożywczych w tym warzyw i owoców [3].

Warzywa i owoce w czasie suszenia ulegają często nieodwracalnym zmianom takim jak: skurcz, deformacja kształtu, sklekanie czy przypiekanie, które decydują o jakości gotowego produktu [4].

Suszenie warzyw i owoców ma na celu otrzymanie suszu o konsystencji stałej spełniającego wymagania jakościowe konsumentów [3, 5–7]. Rosnące zapotrzebowanie na produkty o ściśle określonych i zdefiniowanych właściwościach przesunęło istotę planowania produkcji z projektowania procesu na projektowanie produktu. Szybkość procesu suszenia warzyw i owoców zależy ściśle od zastosowanej metody suszenia. Suszenie mikrofalowe umożliwia eliminację kurczenia się produktu, zapewniając sterylność procesu, znaczną jego intensyfikację i ścisłą kontrolę parametrów procesowych.

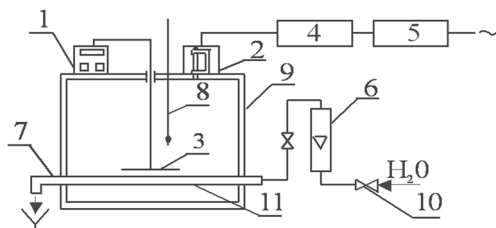
W Instytucie Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Krakowskiej prowadzone są kompleksowe prace dotyczące suszenia rozdrobnionej biomasy. W ramach projektu realizowany jest także temat obejmujący określenie kinetyki suszenia mikrofalowego wybranych warzyw i owoców. Analiza wyników wstępnego etapu badań testowych [6] jest przedmiotem niniejszego opracowania.

## Badania eksperymentalne

Doświadczenie mające na celu wyznaczenie krzywych kinetycznych (suszenia i temperaturowych) dla analizowanych materiałów przeprowadzono z wykorzystaniem suszarki mikrofalowej.

Stanowisko do badania suszenia mikrofalowego przedstawiono na rys. 1. Komora suszarki mikrofalowej – 9 wyposażona jest w generator mikrofal o mocy maksymalnej 500 W. Wewnątrz komory suszenia zainstalowano szalkę ze szkła żaroodpornego – 3 na której umieszczano próbkę analizowanego materiału. Szalka sprzężona jest z wagą elektroniczną – 1, co umożliwiło ciągły pomiar zmiany masy. Temperaturę w komorze (w pobliżu materiału suszonego – na styku z próbką) mierzono termometrem alkoholowym – 8. Ilość ciepła [J/s] pobraną podczas suszenia można określić wykorzystując zamontowaną wewnątrz komory suszarki węzownicę – 11. Węzownicą przepuszczono wodę z określonym natężeniem przepływu – 6. Pomiar temperatury wody na wlocie i wylocie węzownicy – 7 pozwalał na określenie różnicy temperatur. Jednocześnie pobraną ilość energii elektrycznej określono przez odczyt wskazań watomierza – 4.

Badaniami objęto owoce: jabłko (szara reneta, gala, golden), gruszka, banan (*Costa Rica*), śliwka, truskawka oraz warzywa: marchew, pie-



Rys. 1. Instalacja do badania kinetyki suszenia mikrofalowego 1 – waga elektroniczna, 2 – magnetron, 3 – szalka wagi, 4 – watomierz, 5 – zasilacz, 6 – rotametr, 7 – termopara, 8 – termometr, 9 – komora suszarki, 10 – zawór, 11 – węzownica

truszką, seler, por, burak, ziemniak (*satina*, importowany z Maroka), ogórek, kalafior.

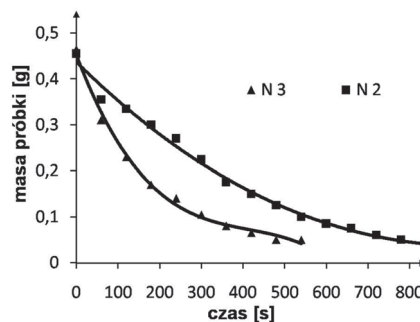
Produkty do badań wybrano ze względu na różnorodność właściwości fizykochemicznych, strukturalno-mechanicznych, sorpcyjnych oraz rozpowszechnienie.

W analizowanym etapie pracy surowiec do badań krojono na plastry o grubości około 1 mm wykorzystując krajalnicę mechaniczną.

Dane do sporządzenia krzywych kinetycznych otrzymywano odczytując co 1 minutę zmianę masy analizowanej próbki badanego materiału i wskazania termometru – 8.

Oprzeżądowanie suszarki mikrofalowej umożliwiło emitowanie promieniowania z różną mocą: 200 W (nastawa N1), 300 W (nastawa N2), 400 W (nastawa N3) oraz 500 W (nastawa N4). W celu wyboru odpowiednich parametrów procesowych (mocy emitora) zapewniających odpowiednią jakość produktu w odniesieniu do poszczególnych materiałów przeprowadzono badania wstępne [6].

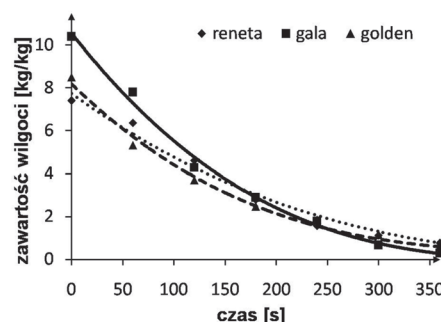
Na rys. 2 zaprezentowano przykładowe wyniki takiego eksperymentu dla jabłek (reneta). Okazało się, że nastawa mocy N3 jest nieodpowiednia. W tym przypadku produkt znacznie się skurczył i w wielu miejscach zmienił barwę [6]. Do dalszej analizy przyjęto więc nastawę mocy N2.



Rys. 2. Zmiana masy próbki jabłek (szara reneta) w zależności od nastawy mocy promieniowania mikrofalowego

## Wyniki badań

W oparciu o analizę krzywych kinetycznych: suszenia i temperaturowych [6] stwierdzono, że w przypadku wszystkich analizowanych produktów suszenie przebiega w okresie zmniejszającej się szybkości suszenia. Na rys. 3 przedstawiono przykładowo krzywe suszenia dla trzech odmian jabłek przy nastawie mocy N2.

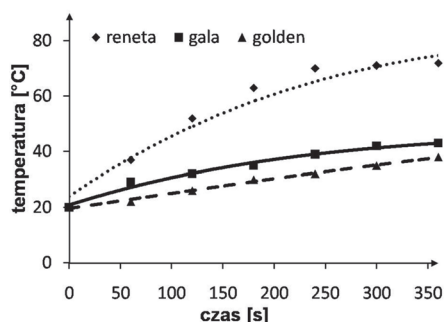


Rys. 3. Porównanie krzywych suszenia mikrofalowego dla trzech odmian jabłek

Badane odmiany różnią się początkową zawartością wilgoci, smakiem, kolorem oraz strukturą budowy. W zależności od gatunku czas

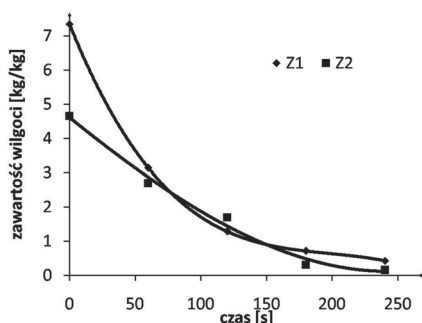
suszenia jest różny – najwolniej przebiegał proces suszenia odmiany szara reneta.

Rys. 4 prezentuje porównanie temperatury procesu suszenia różnych odmian jabłek. Najwyższym przyrostem temperatury charakteryzuje się proces suszenia szarej renety.

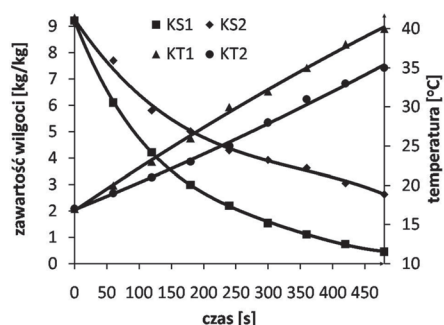


Rys. 4. Porównanie krzywych temperaturowych dla trzech rodzajów jabłka

Typową, przykładową charakterystykę przebiegu suszenia mikrofalowego testowanych warzyw przedstawiono na rys. 5 i 6. Analiza przebiegu suszenia mikrofalowego (nastawa N3) różnych gatunków ziemniaka (Rys. 5) upoważnia do stwierdzenia, że w tym przypadku ważny jest „wiek” i miejsce pochodzenia materiału.



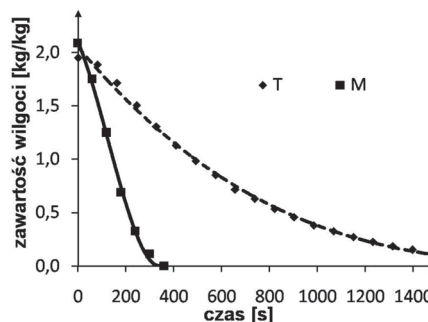
Rys. 5. Krzywe suszenia ziemniaka starego (Z1) i młodego (Maroko) (Z2)



Rys. 6. Porównanie krzywych suszenia i krzywych temperaturowych dla pora przy różnych nastawach mocy emitera

Suszenie pora przedstawiono (Rys. 6) przy nastawach N2 i N3. W obydwu przypadkach otrzymuje się susz o właściwościach chipsów.

W badaniach wstępnych do określenia zawartości wilgoci w badanych materiałach używano termowagi firmy RADWAG model WPS 30S [6]. Oprogramowanie urządzenia pozwala także na otrzymanie krzywych suszenia. Termowaga może być potraktowana jako suszarka konwekcyjna. Proces można prowadzić w określonej, stałej temperaturze. Na rys. 7 przedstawiono porównanie krzywych suszenia bananów w suszarce mikrofalowej (M) – nastawa N2, średnia temperatura 40°C z wykorzystaniem termowagi (T) – temperatura suszenia 40°C. Jak można było przewidzieć intensywność suszenia mikrofalowego jest znacznie większa niż konwekcyjnego [1, 6, 9]. Należy tu podkreślić, że w trakcie realizacji tematu [6] prowadzi się badania suszenia warzyw i owoców w klasycznej suszarce konwekcyjnej – komorowej. Wyniki tych badań będą przedmiotem innych publikacji.



Rys. 7. Porównanie krzywych suszenia banana w suszarce mikrofalowej (M) i z wykorzystaniem termowagi (T)

Warzywa i owoce są heterogeniczne zarówno pod względem struktury jak i składu chemicznego. Wynika to z różnic odmianowych, warunków klimatycznych, zastosowanej agrotechniki, żyzności gleby, nawadniania i wielu innych czynników [7]. Stopień uszkodzenia mikrostruktury tkanki na skutek suszenia decyduje o właściwościach fizycznych suszu oraz jego jakości po rehydratacji [8]. Dlatego też w przypadku każdego surowca należy dobrać indywidualne parametry procesowe, decydujące o jakości produktu.

Jakość produktu dla przeciętnego konsumenta wiąże się głównie z wyglądem zewnętrznym, barwą, smakiem, zapachem oraz czasem przydatności do przechowywania i dalszego wykorzystania [1, 5, 8].

Stosowanie suszarek mikrofalowych pozwala na całkowite wysuszenie produktu w krótkim czasie przy kontroli temperatury procesu. Ciepło wydziela się w całej objętości suszonego materiału, co pozwala uniknąć dużych gradientów temperatur, a przez to uniknąć deformacji suszu. Możliwość kontrolowania temperatury procesu jest bardzo ważna, gdyż owoce i warzywa zalicza się do materiałów termolabilnych. W przypadku suszenia mikrofalowego w początkowym etapie temperatura szybko rośnie, a następnie w miarę zmniejszania się zawartości wilgoci w materiale suszonym stabilizuje się [6].

Uzyskane wyniki badań testowych zachęcają do kontynuacji testów, szczególnie jeśli chodzi o wpływ grubości plastra badanego materiału na przebieg procesu. Badania są realizowane, a wnioski zostaną zaprezentowane w kolejnej publikacji.

## Podsumowanie

- Zastosowanie promieniowania mikrofalowego do suszenia warzyw i owoców pozwala na znaczną intensyfikację procesu przy zachowaniu wysokich walorów jakościowych produktu. Istotnym problemem jest dobór indywidualnych parametrów prowadzenia procesu dla każdego surowca, co wymaga badań testowych.
- Badania suszenia mikrofalowego warzyw i owoców są kontynuowane przy szerokiej zmianie początkowych parametrów realizacji procesu dla poszczególnych produktów w powiązaniu z właściwościami fizykochemicznymi, strukturalno-mechanicznymi i sorpcyjnymi testowanych materiałów.

## LITERATURA

- [1] T. Kudra, C. Strumillo (Eds): Thermal Processing of Biomaterials, Gordon and Breach Science Publishers, New York 1998.
- [2] C. Strumillo: Drying Technology **24**, nr 9, 1059 (2006).
- [3] P. P. Lewicki: Inż. Chem. Proc. **22**, 75 (2001).
- [4] S. J. Kowalski: Inż. Chem. Proc. **25**, 1953 (2004).
- [5] S. Stenström: Product engineering by the paper dryer, Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Drying Symposium (IDS 2004), São Paulo, Brazil, A, 89 (2004).
- [6] A. Kamińska: Suszenie mikrofalowe warzyw i owoców, Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Krakowskiej, Praca dyplomowa – magisterska, Kraków 2008.
- [7] E. Pijanowski, M. Dłużewski, A. Dłużewska, A. Jarczyk: Ogólna technologia żywności WNT, Warszawa 2004.
- [8] P. P. Lewicki, G. Pawlak: Inż. Chem. i Proc. **25**, 1267 (2004).
- [9] A. S. Mujumdar (Ed.): Handbook of industrial drying, Second edition, Marcel Dekker, New York 1995.