

Jan STAWCZYK, Michał KREMPSKI-SMEJDA, Marcin PIĄTKOWSKI

e-mail: jan.stawczyk@p.lodz.pl

Zakład Procesów Ciepłych i Dyfuzyjnych, Katedra Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Suszenie niskotemperaturowe w złożu fluidalnym w układzie zamkniętym

Wprowadzenie

Wzrastające techniczne możliwości sprzętu pomiarowego, konieczność optymalizacji procesu pod względem zużycia energii, oraz ochrony środowiska i przede wszystkim jakości wysuszonego produktu spowodowały konieczność przeprowadzenia badań nad nowymi technikami usuwania wilgoci z materiałów termolabilnych.

Powszechnie uważa się, że liofilizacja jest metodą pozwalającą zachować dobrą jakość suszonych produktów biologicznych. Koszt tego procesu ze względu na głębokie zamrażanie i stosowanie niskich ciśnień jest jednak znacznie wyższy niż w przypadku suszenia konwekcyjnego. W ramach prowadzonych badań nad nowymi technikami odwadniania, zastosowano metody łączące zalety zarówno liofilizacji (wysoka jakość produktu) jak i konwekcyjnych technik suszenia (niskie koszty procesu). Jednym z takich rozwiązań jest niskotemperaturowe suszenie pod ciśnieniem atmosferycznym z wykorzystaniem pompy ciepła [Boss *et al.*, 2004].

Alternatywą do tradycyjnego suszenia niskotemperaturowego pod ciśnieniem atmosferycznym jest metoda polegająca na umieszczeniu cząstek suszonego materiału w złożu fluidalnym [Di Matteo *et al.*, 2003]. Jest ona przedmiotem badań przedstawionych w niniejszej pracy.

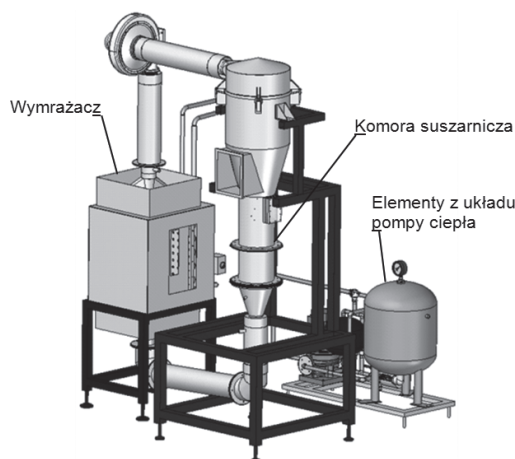
Do kontrolowania przebiegu suszenia zastosowano programowalny sterownik autonomiczny. System umożliwia akwizycję wszystkich istotnych parametrów procesowych (m.in. temperatury, natężeń przepływów i wilgotności czynnika suszącego, zmian masy oraz wilgotności suszonego materiału). Na podstawie wartości ww. parametrów algorytmy zastosowane do sterowania kontrolują przebieg procesu umożliwiając wytwarzanie materiałów o pożądanych właściwościach końcowych przy jednoczesnym skróceniu czasu suszenia.

W niniejszej pracy przedstawiono wstępne wyniki eksperymentów przeprowadzonych w zmodyfikowanej instalacji.

Badania doświadczalne

Instalacja suszarnicza

Przeprowadzenie badań w złożu fluidalnym wymagało modernizacji istniejącej instalacji. Polegały one m.in. na wymianie elementów komory suszarniczej i modułu chłodniczego (Rys. 1) oraz udoskonaleniu programu sterującego.



Rys. 1. Schemat instalacji suszarniczej

Po przeprowadzonych modernizacjach instalacja pozwala na prowadzenie eksperymentów suszarniczych w złożu stałym oraz fluidalnym.

Proces przebiega w obiegu zamkniętym powietrza pod ciśnieniem atmosferycznym. W celu usprawnienia automatycznego systemu ważenia materiału zastosowano zmodyfikowany układ wag tensometrycznych z pneumatycznymi elementami wykonawczymi (Rys. 2).

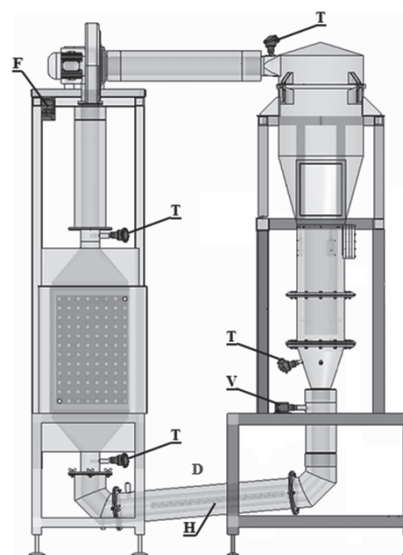


Rys. 2. Schemat systemu automatycznego ważenia materiału

Zainstalowane czujniki fotoelektryczne monitorują w sposób ciągły poziom materiału w złożu fluidalnym koszyka i wysyłają informacje do systemu sterowania o konieczności ewentualnej zmiany natężenia przepływu czynnika suszącego.

System akwizycji danych i sterowania

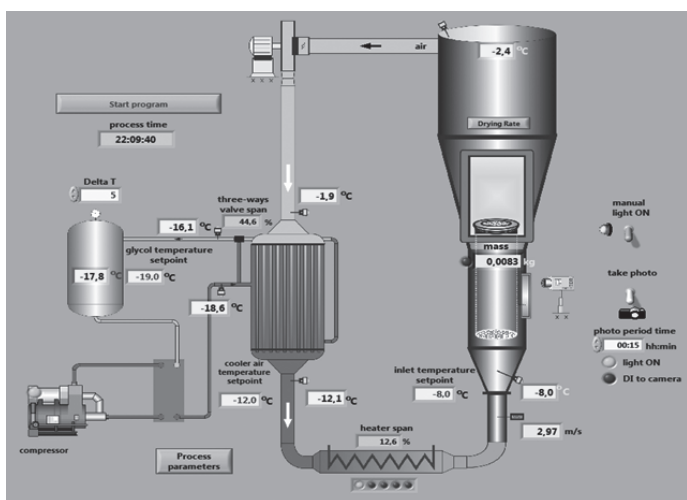
Do sterowania i optymalizacji procesu suszenia zaprojektowany i zbudowany został nowy system oparty na platformie sterownika autonomicznego CompactRIO 9074 firmy National Instruments z modułami wejścia /wyjścia (Rys. 3).



Rys. 3. Schemat suszarki wraz z systemem sterowania, T – temperatura, F – falownik, V – prędkość przepływu powietrza, H – grzałki

Opracowane oprogramowanie pozwala na zdalne monitorowanie parametrów procesowych (temperatury, prędkości przepływu i wilgotności powietrza, masy i zawartości wilgoci suszonego materiału) oraz korekty wartości zadanych parametrów.

Mierzone wartości parametrów procesowych i zastosowany algorytm sterowania umożliwiają minimalizację czasu suszenia oraz osiągnięcie żądanych parametrów produktu finalnego. Opracowany program użytkownika SCADA do komunikacji ze sterownikiem napisany został w języku LabVIEW. Interfejs użytkownika pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Interfejs użytkownika programu Freeze SCADA

Dane pomiarowe z wag tensometrycznych pozwalają na przedstawienie *on-line* zmian masy materiału w czasie oraz szybkości suszenia w funkcji zawartości wilgoci.

Materialy

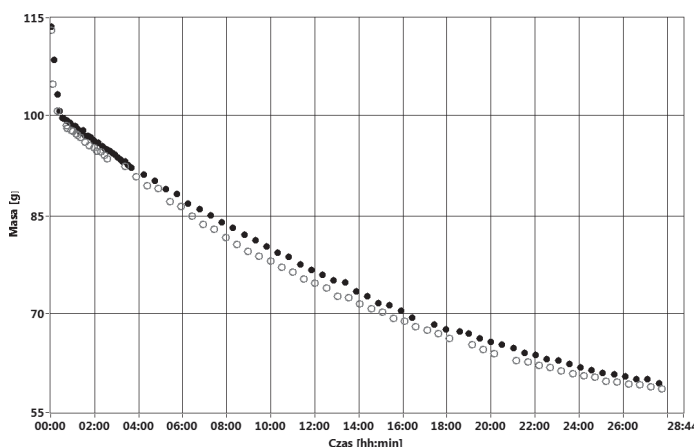
Wstępne badania eksperymentalne przeprowadzono dla dwóch rodzajów materiałów: spożywczego – nawijonej kaszy jęczmiennej (peczak) oraz pochodzenia biologicznego – granulek chitozanowych.

Zakres badań

Proces suszenia obu materiałów przeprowadzono w złożu stałym oraz fluidalnym. Dla złoża stałego prędkość przepływu powietrza wynosiła 0,5 m/s, a fluidalnego 3,0 m/s, przy temperaturze w komorze suszenia -8°C. Masa początkowa kaszy wynosiła 0,1135 kg, a zawartość wilgoci 1,51 kg H₂O/kg suchego materiału. Masa początkowa granulek chitozanowych wynosiła 0,025 kg przy zawartości wilgoci 34 kg H₂O/kg suchego materiału.

Wyniki badań

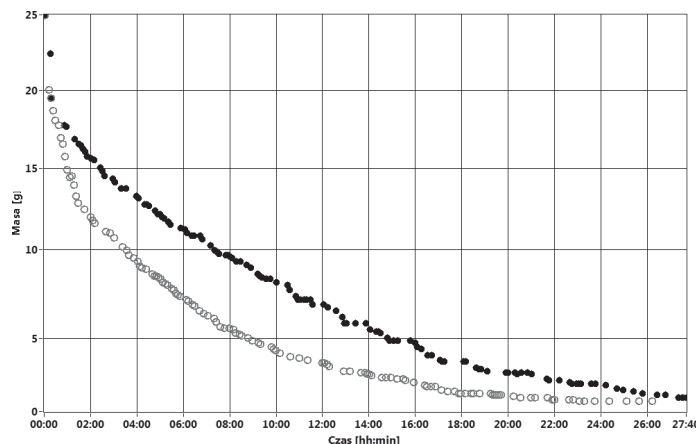
Kinetyka suszenia badanych materiałów uzyskana została za pomocą opisanego powyżej systemu sterowania i akwizycji danych. Zmianę masy suszonych materiałów w złożu stałym oraz fluidalnym przedstawiono na rys. 5 i 6, a zależności szybkości masowej suszenia w funkcji zawartości wilgoci na rys. 7 i 8. Na wykresach punkty wypełnione obrazują procesy w złożu fluidalnym, a puste w złożu stałym.



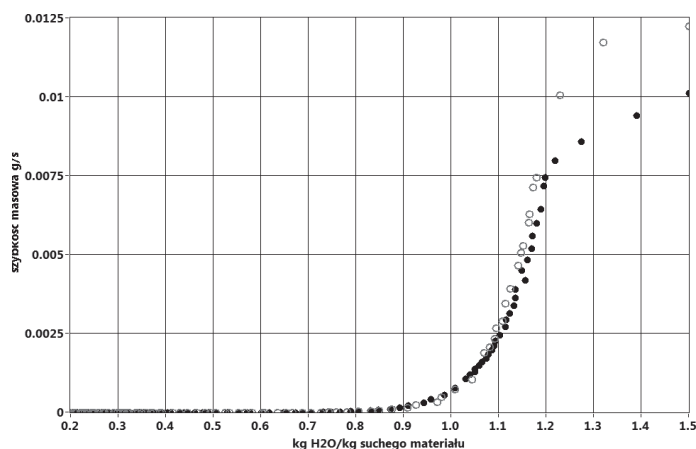
Rys. 5. Zmiana masy kaszy pečzak w czasie procesu

Wnioski

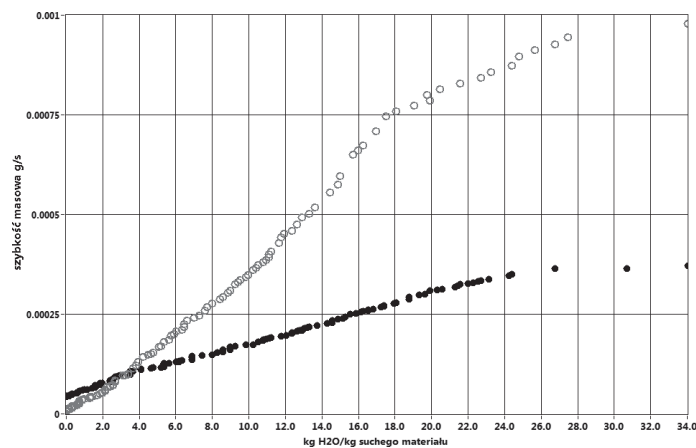
Zbudowany system może być stosowany do procesów suszenia z obiegiem czynnika suszącego w układzie zamkniętym w złożu stałym i fluidalnym.



Rys. 6. Zmiana masy granulek chitozanowych w czasie procesu



Rys. 7. Szybkość masowa suszenia kaszy pečzak w funkcji zawartości wilgoci



Rys. 8. Szybkość masowa suszenia granulek chitozanowych w funkcji zawartości wilgoci

Precyzyjna kontrola parametrów czynnika suszącego (temperatury, wilgotności, natężenia przepływu) pozwala suszyć termolabilne produkty, np. zioła używane w przemyśle farmaceutycznym i kosmetycznym.

LITERATURA

- Boss, E.A., Filho, M.F., Vasco de Toledo E.C., 2004. Freeze drying process: real time model and optimization. *Chem. Eng. Proc.*, **43**, 1475–1485. DOI: 10.1016/j.cep.2004.01.005
- Di Matteo P., Donsi G., Ferrari G., 2003. The role of heat and mass transfer phenomena in atmospheric freeze-drying of foods in a fluidised bed. *J. Food Eng.*, **59**, 267-275. DOI: 10.1016/S0260-8774(02)00467-3

Praca niniejsza została wykonana w ramach projektu badawczego nr N N209 107539 pod tytułem: „Niskotemperaturowe suszenie produktów biologicznych w złożu fluidalnym” finansowanego przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w 2011 roku.