

Marta Paślawska, Stanisław Peroń, Mariusz Nejman
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

WYKORZYSTANIE METODY SUSZENIA W ZŁOŻU FONTANNOWYM DO UTRWALANIA DROŻDŻY UNIERUCHOMIONYCH W MARTYCY ALGINIANU

Streszczenie

Sporządzono charakterystykę suszenia w złożu fontannowym kulek utworzonych z mieszaniny alginianu wapnia, zawiesiny drożdży *Saccharomyces cerevisiae* oraz opcjonalnie laktozy, jako osmoprotektora komórek. Opisano kinetykę wysychania kulek, przebieg ich skurczu suszarniczego, zmiany objętości właściwej oraz zmiany współczynnika dyfuzji wody. Stwierdzono, że odwadnianie materiału z zastosowaniem wybranej metody przebiegało dynamicznie, a uzyskany susz charakteryzował się jednorodnością.

Słowa kluczowe: suszenie fontannowe, drożdże, alginian wapnia

Wykaz oznaczeń

u	– bieżąca zawartość wody w kulkach	[kgH ₂ O/kg s.m.]
u_o	– początkowa zawartość wody	[kgH ₂ O/kg s.m.]
u_r	– równowagowa zawartość wody	[kgH ₂ O/kg s.m.]
U_{red}	– zredukowana zawartość wody	[-]
a_m	– współczynnik dyfuzji wody	[mm ² /min]
τ	– czas suszenia	[min]
R	– promień kulki	[mm]
Ψ	– współczynnik kształtu	[-]
F_{om}	– liczba masowa Fouriera	[-]

Wstęp

Do odwadniania termolabilnych materiałów biologicznych stosuje się różne techniki, począwszy od separacji w wyniku filtracji i wirowania zawiesin, aż po

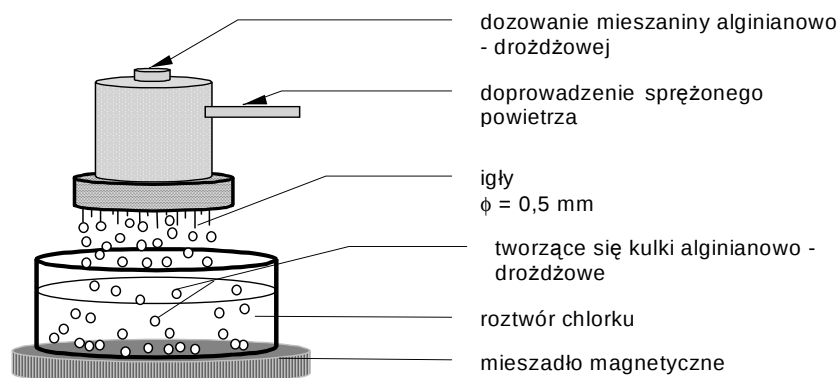
skomplikowane metody suszenia w stanie ciekłym i stałym, w których ruch wilgoci wywołowany jest gradientem temperatury lub ciśnienia. Suszenie w złożu fontannowym jako rodzaj suszenia fluidyzacyjnego, znajduje zastosowanie do odwadniania materiałów stałych, takich jak ziarno zbóż i inne produkty rolnicze [Adamiec, Strumiłło 1992], co uniemożliwia wykorzystanie tej metody do utrwalania drobnoustrojów hodowanych na pożywkach płynnych. Zamknięcie komórek w matrycy polimeru, zwane pułapkowaniem w żelu, stwarza możliwość wysuszenia drobnoustrojów w złożu fontannowym. Możliwość monitorowania przebiegu suszenia w złożu fontannowym, niska temperatura powietrza suszącego, krótki czas suszenia oraz względy ekonomiczne przemawiają za zastosowaniem tej metody do suszenia drożdży.

Cel pracy

Doświadczenia przeprowadzono w celu zbadania przebiegu suszenia kulek alginianowo-drożdżowych w suszarce fontannowej.

Materiały i metody

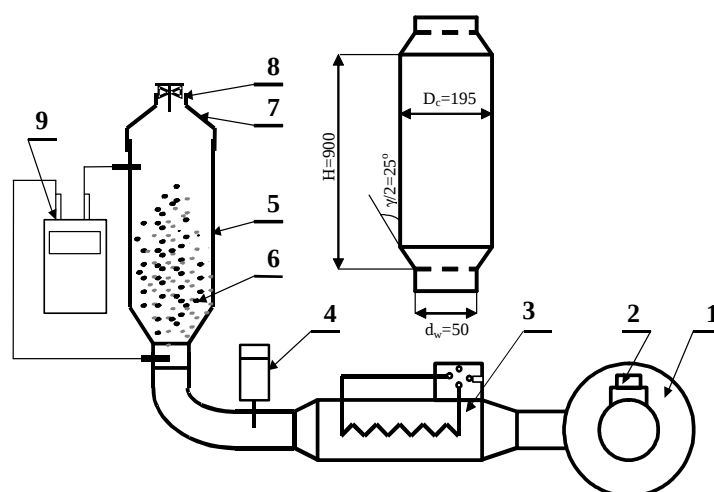
W badaniach wykorzystano drożdże browarnicze *Saccharomyces cerevisiae* S.ca./14, zakupione w Kolekcji Kultur Instytutu Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego w Warszawie. Mieszaninę żelu alginianowego o stężeniu 3% (z dodatkiem 2% laktozy lub bez dodatku) oraz standaryzowanego inokulum (stężenie drożdży w mieszaninie: $10\text{g}_{\text{D100}}/\text{dm}^3$) wkraplało przy użyciu strzykawki wieloigłowej do 0,2 M roztworu chlorku wapnia w temperaturze pokojowej, przy mieszaniu chlorku mieszadłem magnetycznym (rys. 1).



Rys. 1. Unieruchamianie drożdży w alginianie wapnia

Fig. 1. Immobilization of yeasts in calcium alginate

Suszenie kulek (wstępnie odsączonych na bibule) prowadzono w instalacji przedstawionej poniżej [Peroń i in. 2005], stosując temperaturę czynnika suszącego 40°C.



Rys. 2. Schemat stanowiska do suszenia fontannowego: 1 – wentylator, 2 – zasuw regulacyjna, 3 – nagrzewnica z regulatorem temperatury, 4 – termopara, 5 – komora suszenia, 6 – fontannujące złożo, 7 – króciec pomiarowy, 8 – anemometr, 9 – miernik różnicy ciśnień DMU-D 10

Fig. 2. Scheme of spouted bed dryer: 1 – fan, 2 – damper, 3 – heater with temperature controller, 4 – thermoelement, 5 – drying chamber, 6 – spouted bed, 7 – measuring pipe, 8 – anemometer, 9 – manometer DMU-D 10

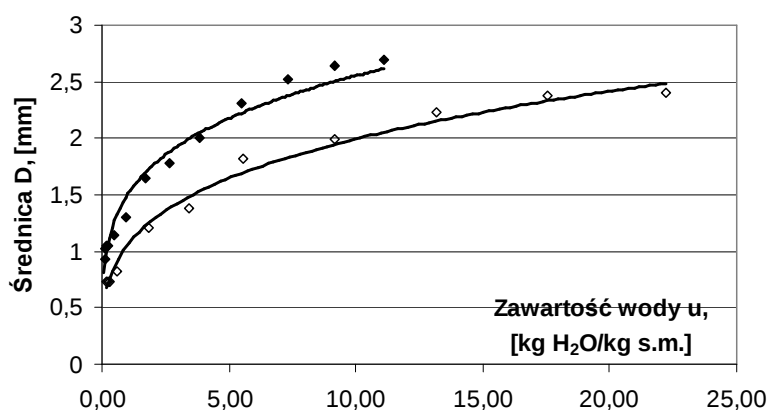
Wyznaczono kinetykę suszenia biomateriału, analizując wagowo ubytek masy złoża w równych odstępach czasowych (10 minut) oraz zawartość wody w kulkach, przy zastosowaniu metody termogravimetrycznej (dosuszanie do suchej masy). Mierzono wysokość złoża podczas suszenia fontannowego i wyznaczono bezwymiarową objętość względem początkowej.

Analizie poddano wyniki uśrednione, pochodzące z trzech powtórzeń.

Wyniki

Suszenie w złożu fontannowym kulek alginianowo-drożdżowych przebiegało przy wysokiej intensywności oddawania wody. Czas procesu wynosił 110 minut, a uzyskany materiał charakteryzował się jednorodnością pod względem wymiarów.

Podczas suszenia kulek zanotowano znaczny skurcz suszarniczy, którego przebieg powstawania przedstawiono na rysunku 3, jako zmianę średnicy kulki w funkcji zawartości wody. Kulki zawierające laktozę charakteryzowały się nieznacznie większą średnicą przed procesem suszenia, co wynikało prawdopodobnie z obniżonej zdolności żelowania alginianu w obecności laktozy. Skurcz suszarniczy wystąpił zarówno w przypadku zastosowania laktozy jako dodatku, jak i w próbach bez laktozy. Nie zanotowano wyraźnej zależności pomiędzy obecnością laktozy jako osmoprotektora a skurczem suszarniczym biomateriału. Obniżona początkowa zawartość wody w próbach z dodatkowym cukrem, wynikała z konieczności zachowania proporcji pomiędzy stężeniem alginianu a stężeniem znajdującej się w kulkach biomasy.



Rys. 3. Zmiana średnicy kulek alginianowo-drożdżowych podczas suszenia:
 □ próby bez laktozy, ■ próby z laktozą

Fig. 3. Changes in diameter of alginate-yeasts beads during drying: □ samples without lactose, ■ samples with lactose

Zależność pomiędzy zawartością wody a promieniem kulek wyrażono równaniem [1]:

$$R = a + b \cdot u^{0,5} \quad (1)$$

gdzie:

dla prób z laktozą: $a = 0.768719219$, $b = 0.618460970$

dla prób bez laktozy: $a = 0.523370864$, $b = 0.471092918$

Do opisu zmienności współczynnika dyfuzji wody dla prób suszonych z dodatkiem laktozy jak i bez dodatku, zastosowano zależność [2]:

$$a_m = a + b/\ln(u) + c/(\ln(u))^2 \quad (2)$$

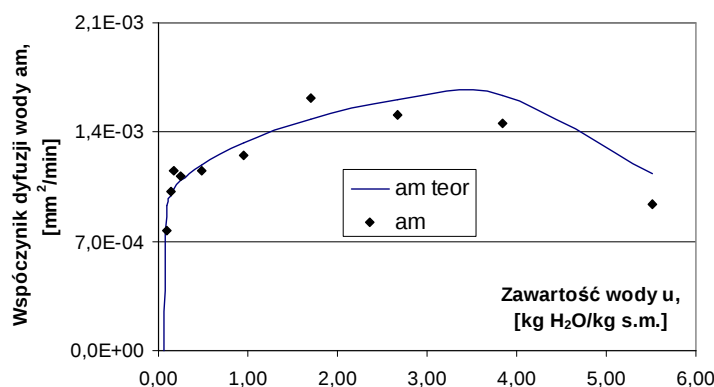
gdzie:

$$a = 0,0005384$$

$$b = -0,00262713$$

$$c = -0,0015594$$

Obrazem równania [2] jest krzywa zależności $a_m = f(u)$ pokazana na rysunku 4 aproksymująca wyniki obliczeń a_m przy współczynniku determinacji $R^2 = 0,96$.



Rys. 4. Zmiana współczynnika dyfuzji wody w trakcie suszenia kulek alginiano-wo-drożdżowych w złożu fontannowym

Fig. 4. Changes of water diffusion factor during drying of alginate-yeasts beads in spouted bed drier

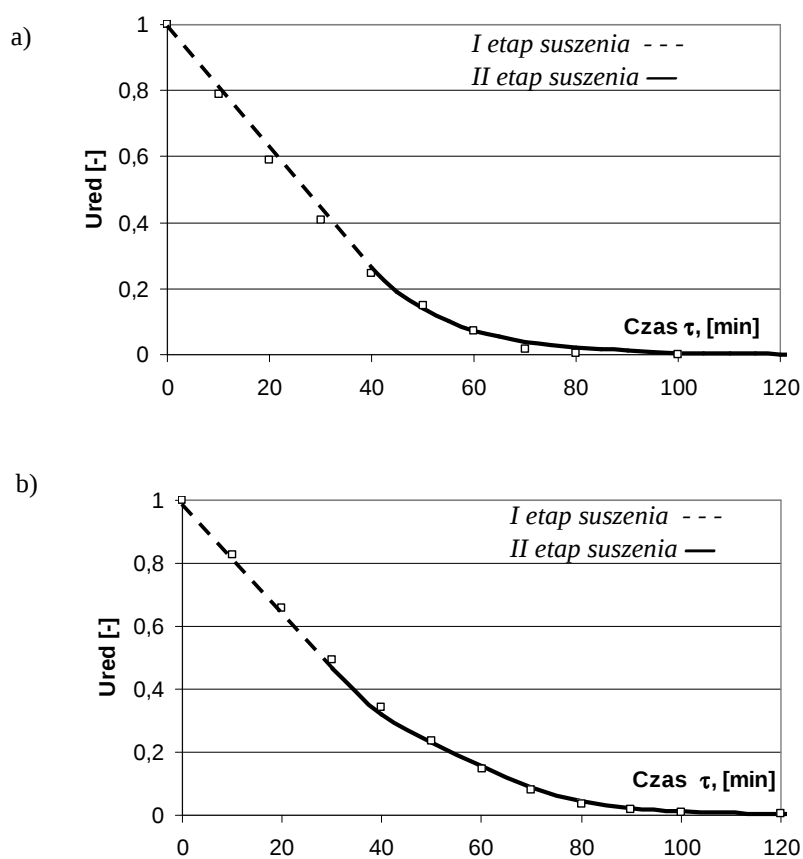
Suszenie kulek alginianowo-drożdżowych zachodziło dwuetapowo. Przebieg pierwszego etapu suszenia określono za pomocą prostej $y = -0,0189x + 1$ w przypadku prób bez laktozy oraz $y = -0,0213x + 1$ w przypadku prób suszonych z laktozą (Rys. 5a, 5b), dobierając współczynniki równania narzędziami programu Excel. Dla drugiego etapu suszenia po przyjęciu odpowiednich założeń, warunków brzegowych i początkowych zastosowano opis matematyczny sformułowany przez Lewisa [Pabis 1965]:

$$U_{red} = \frac{u_{(\tau)} - u_r}{u_o - u_r} = \psi \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-n^2 F_{om}) \quad (3)$$

Następnie przyjęto rozwiązanie tego równania dla materiału o kształcie kuli:

$$U_{red} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\tau \frac{\pi^2}{R^2} a_m\right) \quad (4)$$

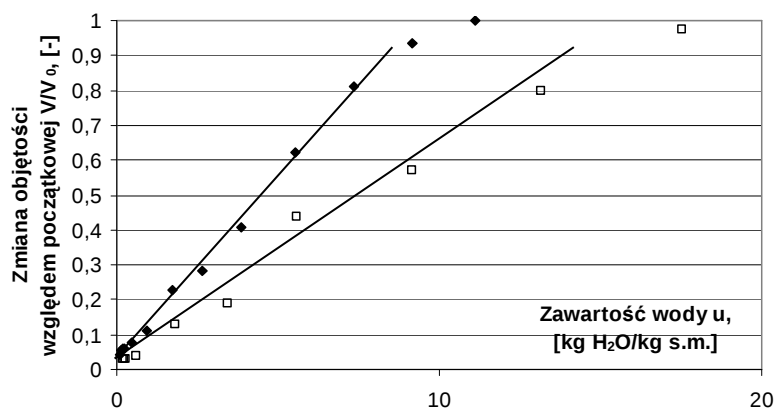
Po wykorzystaniu opisanych wcześniej zależności $R=f(u)$ [1] i $a_m=f(u)$ [2] do równania [4], uzyskano opis przebiegu drugiego etapu suszenia (rys. 5a i 5b).



Rys. 5. Kinetyka suszenia fontannowego kulek alginianowo-drożdżowych (a) próby bez laktozy (b) próby z laktozą

Fig. 5. Kinetics of spouted bed drying of alginate-yeasts beads (a) samples without lactose (b) samples with lactose

Zmiana rozmiarów cząsteczek i ich ciężaru właściwego wynikająca ze skurczu suszarniczego spowodowała znaczną zmianę wysokości warstwy fontannującej. Na rysunku 6 przedstawiona została zmiana względnej objętości suszonego materiału w zależności od zawartości wody w materiale.



Rys. 6. Zmiana względnej objętości złoża w funkcji zawartości wody w kulkach alginianowo-drożdżowych suszonych fontannowo: □ próby bez laktozy, ■ próby z laktozą

Fig. 6. Changes of specific volume as a function of water content in alginate-yeast beads during spouted bed drying: □ samples without lactose, ■ samples with lactose

Podsumowanie

1. Zastosowanie metody suszenia w złożu fontannowym do odwadniania kulek alginianowo-drożdżowych jest uzasadnione z uwagi na możliwość przeprowadzenia procesu w krótkim czasie oraz uzyskania materiału jednorodnego pod względem zawartości wody oraz objętości.
2. Z uwagi na to, że znaczny skurcz suszarniczy kulek, występujący pod koniec procesu suszenia, utrudnia utrzymanie złoża w stanie fontannowania, celowym wydaje się łączenie podsuszonych do pewnej zawartości wody porcji materiału, a następnie dosuszanie.
3. Sformułowanie równań opisujących przebieg suszenia kulek alginianowo-drożdżowych w wymiarze bezwzględny (U_{red}), a następnie przekształcenie ich do postaci $u=f(\tau)$, umożliwi obliczenie czasu potrzebnego do osiągnięcia założonej wilgotności materiału.

Bibliografia

Adamiec J., Strumiłło C. 1992. The contact – sorption method in drying of bio – product, Proc. VIII Inter. Drying Symposium, 2 -5 August, Montreal, Canada, in Drying'92 (A.S. Mujumdar, ed.) Elsevier Science Publications, London, pp. 1584–1593.

Pabis S. 1965. Suszenie płodów rolnych. PWRiL, Warszawa.

Peroń S., Kozłowski R., Zdrojewski Z. 2005. Wpływ grubości otoczki gęstwy drożdżowej na kulach inerty na proces jej suszenia w suszarce fontannowej. Inżynieria Rolnicza, 4/64, 77-84.

**Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2003-2004 jako projekt badawczy nr 3 PO6 T 063 25*

IMPLEMENTATION OF SPOUTED BED DRIER TO DEHYDRATION OF YEASTS IMMOBILIZED IN ALGINATE MATRIX

The characteristic of spouted bed drying of alginate-yeast beads with and without lactose was made. Kinetics of dehydration, shrinkage, changes of specific volume and water diffusion factor was described. It was found that spouted bed drying of alginate-yeast beads let to carry on intensive dehydration process and allow obtaining a homogeneous material.

Key words: spouted bed drying, yeast, alginate