

Robert Kozłowski, Stanisław Peroń, Zbigniew Zdrojewski, Marcin Krajewski  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

## WSTĘPNE BADANIA SUSZENIA GĘSTWY DROŹDZOWEJ ZAABSORBOWANEJ NA NOŚNIKU POROWATYM W SUSZARCE FONTANNOWEJ

### Streszczenie

Doświadczenie przeprowadzono w laboratoryjnej suszarce fontannowej. Suszenie prowadzono przy zmiennej temperaturze czynnika suszącego w zakresie od 60°C do 80°C. Prędkość przepływu czynnika suszącego wynosiła 0,32m/s, a początkowa grubość warstwy 0,09m. Wzrost temperatury czynnika suszącego od 60 do 80°C, spowodował w warunkach doświadczenia zwiększenie średniej szybkości suszenia o ok. 25% oraz wzrost wartości średniego objętościowego strumienia odparowania o ok. 30%.

**Słowa kluczowe:** gęstwa drożdżowa, nośnik porowaty, suszarka fontanna

### Wykaz oznaczeń

$H_0$	– początkowa grubość warstwy [m]
$\tau$	– czas suszenia [min]
$v$	– prędkość przepływu czynnika suszącego [m/s]
$q_v$	– średni objętościowy strumień odparowania [kgH <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> h]
$u$	– zawartość wody [kg H <sub>2</sub> O/kg s.m.]
$du/d\tau$	– szybkość suszenia [kg H <sub>2</sub> O/kg s.m. min.]
$A, B$	– współczynniki w równaniu (1) [1/min]

### Wstęp i cel badań

Gęstwa drożdżowa powstająca (jako produkt uboczny) m.in. w przemyśle browarniczym stanowi osad o wilgotności ok. 80% - zawierający żywe drożdże. Jest on bogatym źródłem białka, tłuszczu i witamin. Białko drożdży charakteryzuje się korzystnym składem aminokwasowym zbliżonym do składu białka jaja kurzego uznanego przez FAO/WHO jako wzorzec. Według przybliżonych szacunków w skali kraju powstaje ok. 4,6 tys. ton osadu drożdży browarniczych.

*Robert Kozłowski, Stanisław Peron, Zbigniew Zdrojewski, Marcin Krajewski*

Ponieważ gęstwa drożdżowa jest surowcem nietrwałym, w przypadku konieczności jej dłuższego przechowywania wymaga konserwacji. Jednym ze sposobów jej konserwacji jest suszenie. Analiza literatury [Mitura i in. 1994; Pijanowski i in. 1990; Surton i in. 1981; Tutowa i in. 1983] oraz własne obserwacje pozwalają przypuszczać, że w przypadku surowca o konsystencji szlamu korzystne wyniki można uzyskać susząc go na materiale porowatym. Metoda polega na wymieszaniu produktu suszonego z nośnikiem – sorbentem.

Jednym z wariantów postępowania może być np. wymieszanie sorbentu ze szlammem, zgranulowanie powstałej mieszaniny, i w końcu jej konwekcyjne wysuszenie. Jako nośnik porowaty stosuje się np. mąkę pszenną, otręby pszenne, śrutę rzepakową, maltodekstrynę itp.

Celem pracy było zbadanie przebiegu procesu suszenia w złożu fontannowym browarniczej gęstwy drożdżowej, zaabsorbowanej na nośniku porowatym, jakim były otręby pszenne. Badania zmierzały w kierunku:

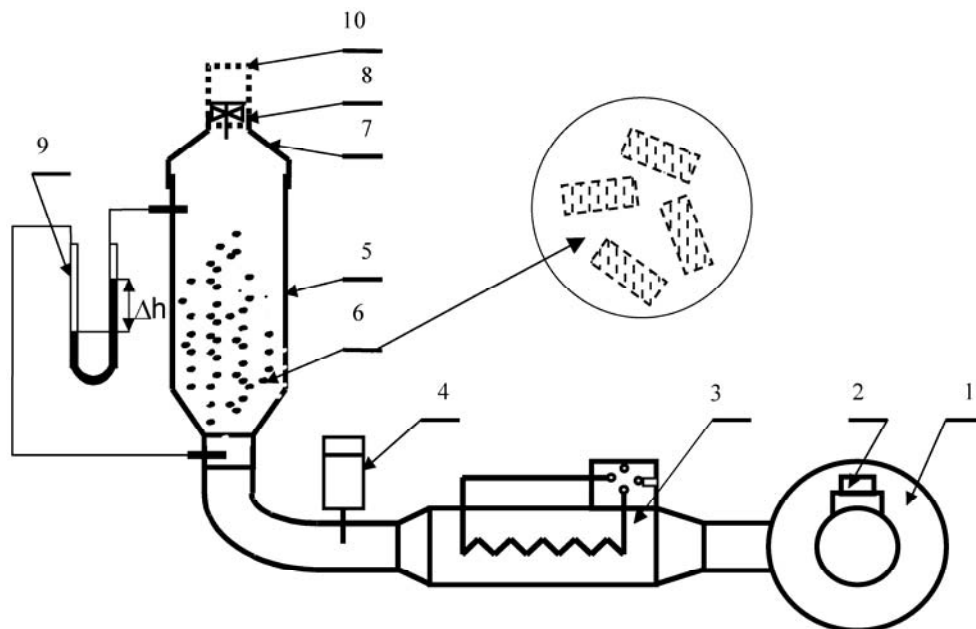
- oceny przebiegu procesu suszenia gęstwy drożdżowej zaabsorbowanej na nośniku – otrębach pszennych – w warunkach złoża fontannowego, w zależności od temperatury czynnika suszącego.
- sformułowania opisu matematycznego kinetyki procesu suszenia fontannowego gęstwy drożdżowej zaabsorbowanej na otrębach.

## **Metodyka badań**

Na rys. 1. przedstawiono schemat laboratoryjnej suszarki fontannowej, w której prowadzono badania.

Wentylator promieniowy (1) zasysał powietrze z otoczenia, a następnie tłoczył je poprzez nagrzewnicę elektryczną (3) do stożkowo-cylindrycznej komory suszenia (5), wypełnionej suszonym surowcem (6). Komorę suszenia wykonano częściowo ze szkła organicznego, na jej ściankach naniesiona była podziałka; a wymiary komory suszenia były następujące - średnica komory 19cm, wysokość komory 90cm, pojemność komory ok. 20 l, kąt rozwarcia stożka w dolnej części komory – 50 stopni) Po stronie ssącej wentylatora znajdowała się zasuwka (2) regulująca przepływ czynnika suszącego (powietrza) przez złożę suszonego materiału. Utrzymanie zadanej temperatury suszenia umożliwiał regulator temperatury połączony z nagrzewnicą (3). Na wlocie do komory suszarniczej umieszczony był czujnik termoparowy (4), pozwalający kontrolować temperaturę procesu suszenia. Odpowiednie ukształtowanie dolnej, stożkowej części komory suszarniczej pozwalało na wprowadzenie suszonego materiału w stan fontannowania, przy

odpowiedniej prędkości przepływu czynnika suszącego. Anemometr skrzydełkowy (8), umieszczony wewnątrz króćca pomiarowego, pozwalał na pomiar i odczyt prędkości przepływu czynnika suszącego przez komorę suszarki. Przygotowanie materiału do badań polegało na wymieszaniu gęstwy drożdżowej z otrębami pszennymi w stosunku wagowym 1,12: 1, tj. na 96 g gęstwy drożdżowej przypadało 78 g otrębów. Następnie surowiec ujednolicono na maszynie do mięsa, nadając mu kształt makaroników o średnicy 4–5 mm i długości 6–11 mm. Po przygotowaniu odpowiedniej ilości surowca, pobierano z niej próbę, którą po zważeniu umieszczano w komorze suszarki i suszono.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – wentylator, 2 – zasuwka, 3 – nagrzewnica z regulatorem temperatury, 4 – termopara, 5 – komora suszenia, 6 – fontannująca mieszanina gęstwy drożdżowej i otręb pszennych, 7 – króciec pomiarowy, 8 – anemometr, 9 – manometr cieczowy, 10 – filtr workowy

Fig. 1. Scheme of measuring stand: 1 – fan, 2 – control damper, 3 – heater with a temperature controller, 4 – thermoelement, 5 – drying chamber, 6 – fountain bed, 7 – measuring pipe, 8 – anemometer, 9 – liquid-column gauge, 10 – sack filter

Suszenie prowadzono w temperaturze 60°C, 70°C oraz 80°C, przy wysokości warstwy 9 cm. Prędkość powietrza w przeliczeniu na pusty przekrój części walcowej suszarki wynosiła 0,32 m/s. Prędkość powietrza na poziomie sita podtrzymującego złożę wynosiła 4,8 m/s, co umożliwiało fontannowanie złoża. Pomiarów ubytków masy próbki dokonywano co 5 min, każdorazowo zdejmując ze stanowiska i ważąc komorę suszarki z zawartością, na wadze elektronicznej WPE – 10 z dokładnością 1g.

Wilgotność początkową i końcową materiału określono metodą suszarkową. Szybkość suszenia obliczano w oparciu o mierzone co 5 min ubytki wody w suszonym surowcu. Średni objętościowy strumień odparowania  $q_v$  obliczano odnosząc ubytki masy próbki surowca do  $1\text{m}^3$  objętości komory suszenia i do czasu 1 godz. Czas trwania procesu suszenia mierzono zegarkiem z sekundnikiem. Każdy cykl pomiarów powtarzano trzykrotnie.

### Ocena błędów pomiarów

W tabeli 1 podano bezwzględne i względne błędy systematyczne mierzonych i obliczanych na podstawie pomiarów wielkości. W przypadku pomiarów bezpośrednich błąd bezwzględny wyznaczano z klasy miernika lub na podstawie wartości najmniejszej działki skali przyrządu. Błędy pomiarów złożonych wyznaczano metodą różniczki zupełnej.

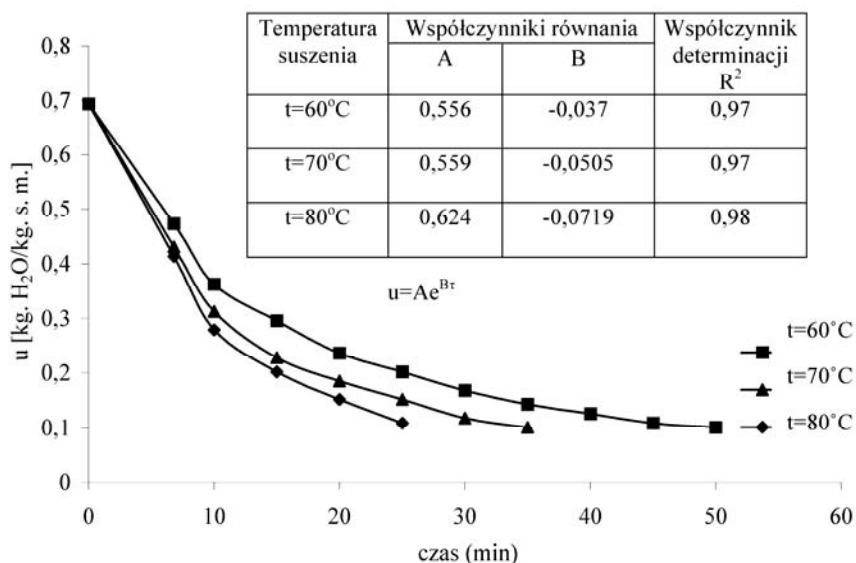
Tabela 1. Błędy systematyczne mierzonych wielkości

Table 1. Systematic errors of the measured value

Mierzona wielkość	Błąd bezwzględny $\Delta$	Błąd względny $\delta$ [%]	Uwagi
Temperatura powietrza na wlocie do komory suszenia	$\pm 0,5^\circ\text{C}$	1,9–3,6	Wahanie błędu względnego dla zakresu temperatur 60–80°C.
Prędkość przepływu powietrza przez komorę suszenia	0,1 m/s	1,6–3,0	Wahanie błędu względnego dla prędkości oscylującej wokół wartości $v=0,32$ m/s.
Zawartość wody w materiale na podstawie pomiarów spadków masy w komorze suszenia	$\pm 0,1$ g	0,27–1,5	Wahanie błędu względnego dla różnych $u$
Początkowa zawartość wody w materiale	0,001kg/kg	0,30	Przeprowadzono trzy niezależne pomiary
Początkowa wysokość warstwy surowca w komorze suszenia	$\pm 0,1$ cm	1,4	Przeprowadzono trzy niezależne pomiary

## Wyniki badań

Wpływ różnych temperatur czynnika suszącego na dynamikę wysychania fontannującego złoża otrębów, nasyconych gęstwą drożdżową i zgranulowanych, pokazano na rys. 2. Każdy z punktów na krzywej suszenia stanowi średnia z 3 pomiarów.



Rys. 2. Spadek zawartości wody  $u$  w surowcu w czasie  $\tau$  przy różnych temperaturach czynnika suszącego. Wysokość złoża  $H_o=0,09m$ , prędkość czynnika suszącego  $v=0,32m/s$

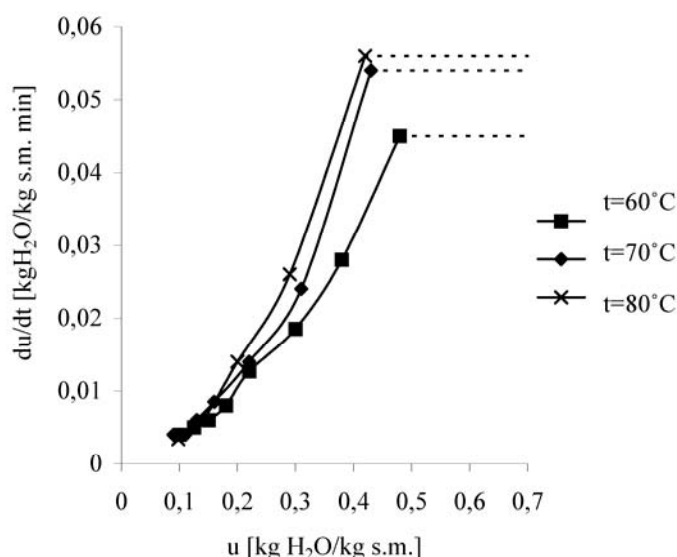
Fig. 2. Drop of water fraction versus time, at the different temperature of drying medium,  $H_o=0,09m.$ ,  $v=0,32m/s$

Jak wynika z przebiegu krzywych suszenia, temperatura czynnika suszącego wpływała istotnie na dynamikę procesu. Podwyższając temperaturę czynnika suszącego z 60°C do 80°C (przy podobnych pozostałych parametrach procesu) uzyskano skrócenie czasu suszenia od ok. 50 do 25 min. Pomijając pierwsze 5 minut procesu pozostałe punkty na każdej z krzywych można opisać równaniem wykładniczym w postaci

$$u = Ae^{Bt} \quad (1)$$

wynikającym z teorii konwekcyjnego suszenia, przy współczynniku determinacji  $R^2 = 0,97 \div 0,98$ . Wartości współczynników A i B dla poszczególnych temperatur suszenia przedstawia tabela zamieszczona na rys. 2.

Na rys. 3. przedstawiono szybkość suszenia  $du/dt$  w funkcji zawartości wody  $u$ , w zależności od temperatury czynnika suszącego. Jak wynika z przebiegu krzywych szybkości suszenia, w początkowym okresie (pierwsze 5 min procesu), szybkość suszenia przy temperaturze czynnika suszącego  $60^{\circ}\text{C}$  wynosiła ok.  $0,045 \text{ kg H}_2\text{O/kg s.s. min}$ . Podwyższając temperaturę czynnika do  $80^{\circ}\text{C}$ , w analogicznym okresie czasu, uzyskano szybkość suszenia na poziomie  $0,056 \text{ kg H}_2\text{O/kg s. s. min}$ . W pozostałym okresie czasu różnice te były mniejsze. Średnio biorąc podwyższenie temperatury czynnika od  $60$  do  $80^{\circ}\text{C}$ , spowodowało ok.  $25\%$  wzrost szybkości suszenia. Wzrost intensywności procesu, z podwyższeniem temperatury czynnika suszącego, można tłumaczyć wzrostem współczynnika dyfuzji wody w suszonych granulach, zależnego silnie od temperatury procesu.

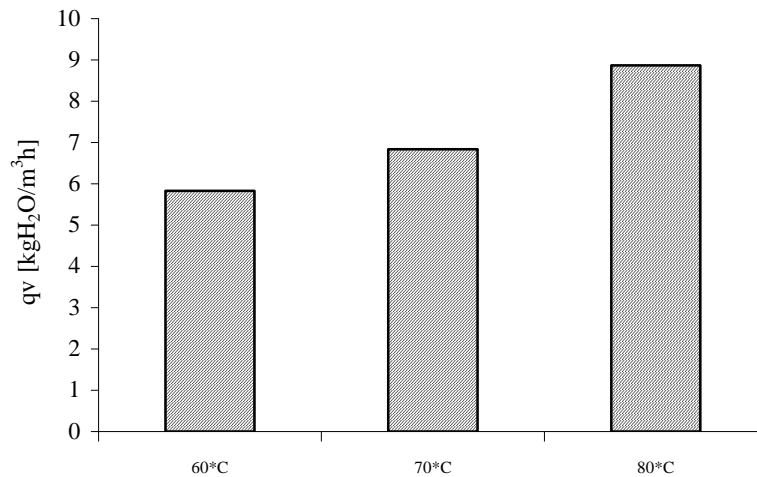


Rys. 3. Szybkość suszenia  $du/dt$  w funkcji zawartości wody  $u$  dla różnych temperatur susze czynnika suszącego. Wysokość warstwy złoża  $H_o=0,09 \text{ m}$ , prędkość powietrza  $v=0,32 \text{ m/s}$ .

Fig. 3. Drying rate versus water content for different temperature of drying medium,  $H_o=0,09\text{m}$ ,  $v=0,32\text{m/s}$

Na rysunku 4 przedstawiono wielkość średniego objętościowego strumienia wilgoci  $q_v$ , w zależności od temperatury czynnika suszącego. Jak wynika z histogramu w miarę wzrostu temperatury czynnika suszącego (przy stałej grubości warstwy surowca oraz stałej prędkości czynnika suszącego) – zgodnie z oczekiwaniem rosła wartość strumienia wody odparowanej z jednostki objętości komory suszenia

w jednostce czasu. Na przykład przy temperaturze 60°C wartość  $q_v$  wynosiła ok. 6 kgH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>h. Podwyższając temperaturę do 80°C uzyskano zwiększenie strumienia wilgoci do ok. 9 kgH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>h.



Rys. 4. Wpływ temperatury czynnika suszącego na wartość objętościowego strumienia wilgoci. Zależność średniego objętościowego strumienia wilgoci  $q_v$  od temperatury czynnika suszącego. Grubość warstwy suszonej  $H_o=0,09$  m, prędkość czynnika suszącego  $v=0,32$  m/s.

Fig. 4. The influence of drying medium temperature on the value of average volumetric stream of moisture,  $H_o=0,09$  m,  $v=0,32$  m/s

## Wnioski

1. Pomijając pierwsze 5 minut procesu suszenia I okres, pozostałe punkty na każdej z krzywych suszenia można opisać równaniem wykładniczym postaci:  $u = Ae^{Bt}$  przy współczynnikach determinacji 0,97–0,98.
2. Podwyższając temperaturę czynnika suszącego z 60°C do 80°C (przy podobnych o pozostałych parametrach procesu) uzyskano skrócenie czasu suszenia o ok. 50%, wzrost szybkości suszenia o ok. 25% oraz wzrost średniego objętościowego strumienia wilgoci o ok. 30%.

*Robert Kozłowski, Stanisław Peron, Zbigniew Zdrojewski, Marcin Krajewski*

### **Bibliografia**

Mitura E., Kamiński W. 1994. Suszenie serwatki na nośniku porowatym, Materiały VII Sympozjum Suszarnictwa, t. I, 21-26.

Pijanowski E., Dłużewski M., Dłużewska A. 1990. Ogólna technologia żywności, WNT Warszawa.

Surton S., Bilański W., Mewzies D. 1981. Agric. Eng. 23 (2), 101-103.

Tutowa E., Kuc P. 1991. Suszenie produktów biosyntezy, WNT Warszawa.

### **PRELIMINARY STUDY OF THE DRYING OF YEAST SLURRY ABSORBED ON POROUS CARRIER IN SPOUTED DRYER**

#### **Summary**

The trials were carried out in laboratory spouted dryer. Measurements were taken at constant air flow velocity ( $v=0,32\text{m/s}$ ) and three temperatures (60, 70, 80°C). Increasing of the temperature of drying medium, from 60 to 80°C, caused in the experiment conditions growth of the average drying rate of ca 25%, and growth of average volumetric moisture flux value of ca 30%.

**Key words:** yeast slurry, porous carrier, spouted bed dryer