

SUSZENIE NASION GORCZYCY W ZŁOŻU FONTANNOwym

Stanisław Peroń, Mariusz Surma, Zbigniew Zdrojewski

Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Doświadczenie przeprowadzono w laboratoryjnej suszarce fontannowej przy zmiennej temperaturze czynnika suszącego w zakresie 50-90°C. Prędkość przepływu czynnika suszącego na wlocie wynosiła ok. 4 m s⁻¹, a początkowa grubość warstwy surowca 0,12 m. Wzrost temperatury czynnika suszącego od 50 do 90°C spowodował w warunkach doświadczenia zwiększenie średniej szybkości suszenia oraz wzrost wartości średniego objętościowego strumienia odparowania o ok. 55%

Słowa kluczowe: nasiona gorczycy, suszenie, suszarka fontanna

Wstęp i cel pracy

Gorczyca biała stanowi cenny surowiec do produkcji m.in. przypraw kulinarnych, konserwantów, a także farmaceutyków. Według GUS w 2005 roku skupiono w kraju ok. 2,3 tys. ton nasion gorczycy, w roku 2006 – ok. 3,3 tys. ton. Szacuje się, że zapotrzebowanie na ten surowiec będzie rosło. Ze względu na wilgotność zbieranych nasion wynoszącą ok. 25%, wymagają one suszenia. Do suszenia nasion gorczycy stosuje się najczęściej suszarki komorowo-daszkowe porcjowe lub o działaniu ciągłym. Zdaniem autorów niniejszej publikacji alternatywnym sposobem suszenia może być suszenie nasion gorczycy w złożu fontannowym.

Jak wykazały doświadczenia dotyczące suszenia w suszarkach fontannowych niektórych surowców ziarnistych [Pallai 1995], mają one takie zalety, jak:

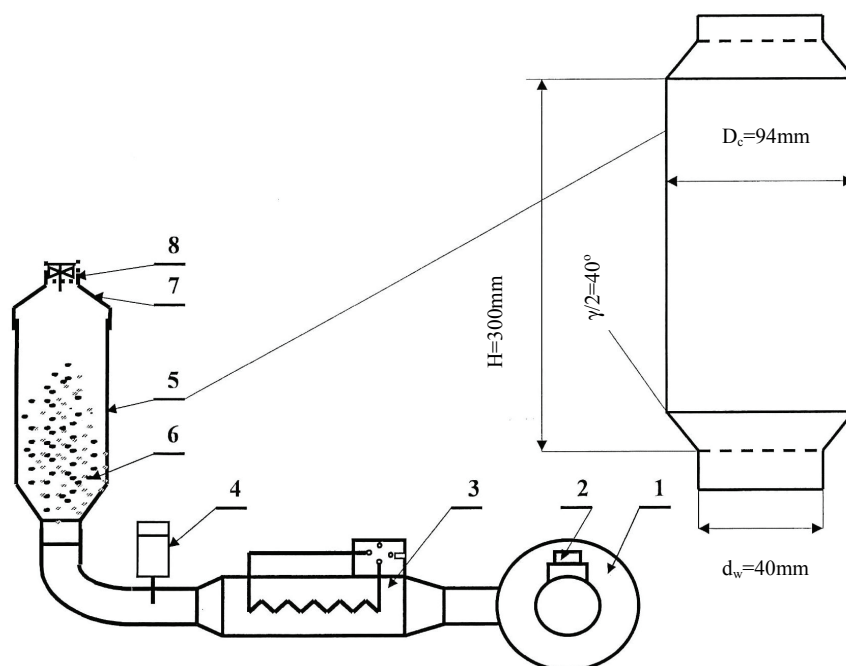
- szybkie wyrównanie zawartości wody w obrębie całego złoża,
- wysokie współczynniki wnikania ciepła i masy pomiędzy czynnikiem suszącym i surowcem,
- duża powierzchnia kontaktu czynnika suszącego i cząstek materiału.

Stosunkowo duża prędkość przepływu czynnika suszącego na wlocie do komory – niezbędna do fontannowania złoża, może być rekompensowana wyższą wydajnością suszarek fontannowych, przy znacznie niższych kosztach inwestycyjno-eksploatacyjnych [Glaser 1991] oraz bardziej wyrównaną wilgotnością końcową suszu.

Celem pracy była ocena dynamiki procesu wysychania nasion gorczycy białej przy zmiennej temperaturze czynnika suszącego.

Warunki i metodyka badań

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



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – wentylator, 2 – zasuwę regulacyjną, 3 – nagrzewnica z regulatorem temperatury, 4 – termopara, 5 – komora suszenia, 6 – fontannujące złożę, 7 – króciec pomiarowy, 8 – anemometr

Fig. 1. Scheme of the experimental stand: 1 – fan, 2 – control damper, 3 – heater with a temperature controller, 4 – thermocouple, 5 – drying chamber, 6 – fountain bed, 7 – measuring pipe, 8 – anemometer

Wentylator promieniowy (1) zasysał powietrze z otoczenia, a następnie tłoczył je przez nagrzewnicę elektryczną (3) do stożkowo-cylindrycznej komory suszenia (5) wypełnionej surowcem (6). Komorę suszenia o pojemności $0,00213 \text{ m}^3$ wykonano ze szkła organicznego. Po stronie ssącej wentylatora znajdowała się zasuwę (2) regulująca przepływ czynnika suszącego przez złożę surowca. Utrzymanie zadanej temperatury (z dokładnością $\pm 1^\circ\text{C}$) umożliwiał regulator połączony z nagrzewnicą (3). Na wlocie do komory suszenia umieszczano czujnik termopary (4) pozwalającej kontrolować temperaturę suszenia. Ukształtowanie dolnej części komory suszenia pozwalało na wprowadzenie nasion gorczycy w stan fontannowania przy odpowiedniej prędkości powietrza na wlocie. Anemometr skrzydełkowy (8) umieszczonym wewnątrz króćca pomiarowego mierzono prędkość przepływu

Suszenie nasion gorczycy...

czynnika suszącego na wylocie z suszarki, a następnie z natężenia przepływu gazu obliczono jego prędkość w części cylindrycznej suszarki. Surowiec stanowiła gorczyca biała odmiany „Borowska”. Gęstość usypową nasion gorczycy mierzono za pomocą wagi hektolitrowej o pojemności cylindra pomiarowego 1 l zgodnie z normą PN-73R-24007.1973. Czas napełniania cylindra nasionami wynosił 12 sek.

Gęstość właściwą surowca określano certyfikowanym zestawem do wyznaczania gęstości cieczy i ciał stałych typu 051/6/1390/41 – produkcji ZMP „Radwag” w Radomiu, według Normy DIM EN ISO 9001 : 2000.

Porowatość złoża w spoczynku obliczano z zależności:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_u}{\rho} \quad (1)$$

gdzie:

ρ_u – gęstość usypowa nasion [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

Przeciętna średnica nasion (jako średnią liniową) obliczano w oparciu o analizę sitową. Sita o numerach 2,50; 2,00; 1,60; 1,25; 1,00; 800 dobrano zgodnie z normą PN-67/M-94000.

Suszenie prowadzono w temperaturze 50, 70 i 90°C przy wysokości warstwy $H_0=0,12$ m oraz prędkości czynnika suszącego na wlocie 3,3-4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Masa początkowa próbki wynosiła 0,480 kg. Surowiec suszono od zawartości wody 0,326 $\text{kg H}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. do ok. 0,1 $\text{kg H}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Pomiarów ubytków masy suszonego surowca dokonywano co 10 minut waząc komorę suszarki wraz z zawartością na wadze elektronicznej z dokładnością $\pm 0,2$ g. Szybkość suszenia obliczano w oparciu o mierzone co 10 minut ubytki wody w suszonym surowcu. Średni objętościowy strumień odparowania q_v obliczano odnosząc ubytki masy próbki surowca do 1m^3 objętości komory suszenia i do czasu 1 godziny. Czas trwania procesu mierzono zegarem z sekundnikiem. Każdy cykl pomiarów powtarzano trzykrotnie.

Wyniki badań

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane suszonych nasion.

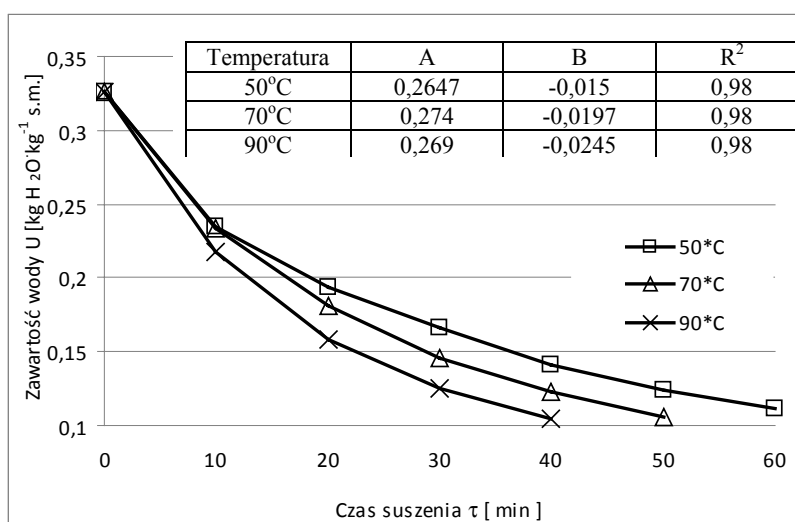
Tabela 1. Charakterystyka nasion gorczycy.

Table 1. Characteristic of mustard's seeds.

Gorczyca biała	Odmiana: Borowska
Gęstość usypowa gorczycy mokrej	639 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Gęstość właściwa	916 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Porowatość warstwy ε	0,30
Średnia średnica ziaren d	1,821 $\cdot 10^{-3}$ m
Wilgotność początkowa nasion	25%

Źródło: obliczenia własne autora

Wpływ różnych temperatur czynnika suszącego na dynamikę wysychania fontannującego ziarna gorczycy pokazano na rysunku 2. Jak wynika z przebiegu punktów pomiarowych (zgodnie z oczekiwaniem) czas suszenia nasion gorczycy uległ skróceniu w miarę wzrostu temperatury. Podwyższenie temperatury z 50 do 90°C spowodowało skrócenie czasu suszenia nasion z 60 do 40 minut – przy zachowaniu stałości pozostałych parametrów procesu. Przebieg punktów sugeruje występowanie prawie od samego początku procesu – okresu o malejącej szybkości suszenia (tzw. II okresu) – co jest raczej regułą przy początkowej niskiej zawartości wody w szeregu rolniczych materiałów ziarnistych (ziarno zbóż, rzepak, kukurydza itp.).



Rys. 2. Spadek zawartości wody u w funkcji czasu τ , przy różnych temperaturach czynnika suszącego. Wysokość warstwy ziarna $H_0=0,12$ m, prędkość czynnika suszącego na wlocie $v=4$ m s⁻¹

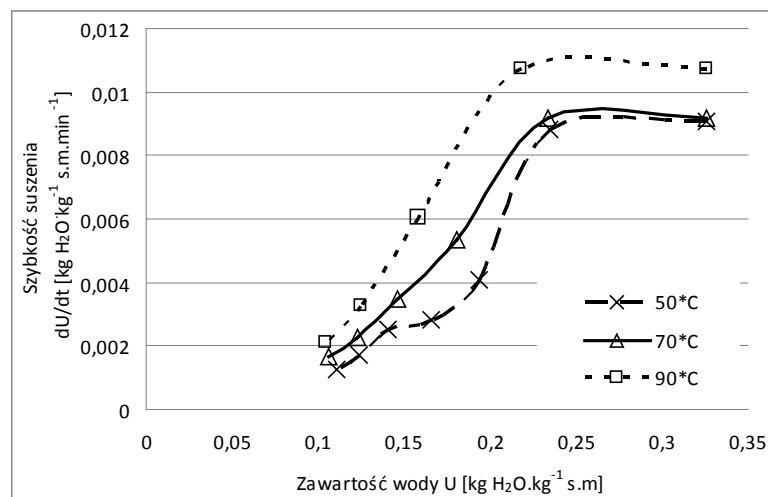
Fig. 2. Drop of water fraction u versus time τ at the different temperature of drying medium. High of bed $H_0=0,12$ m, flow velocity in inlet $v=4$ m s⁻¹

Pomijając pierwsze 10 minut procesu – rozkład punktów na każdej z krzywych suszenia można opisać równaniem wykładniczym w postaci:

$$U = Ae^{B\tau} \quad (2)$$

Wartość współczynników A i B oraz współczynników determinacji R^2 dla poszczególnych temperatur suszenia przedstawiono na rys. 2.

Wpływ temperatury czynnika suszącego na dynamikę ubytków wody – potwierdzają wykresy szybkości suszenia przedstawione na rys. 3. Każda z krzywych szybkości suszenia wynika z pomiarów ubytków wody.



Rys. 3. Szybkość suszenia du/dt w funkcji zawartości wody U dla różnych temperatur czynnika suszącego. $H_o=0,12$ m, $v=4$ m s⁻¹

Fig. 3. Drying rate du/dt versus water content for different temperature of drying medium. $H_o=0,12$ m, $v=4$ m s⁻¹

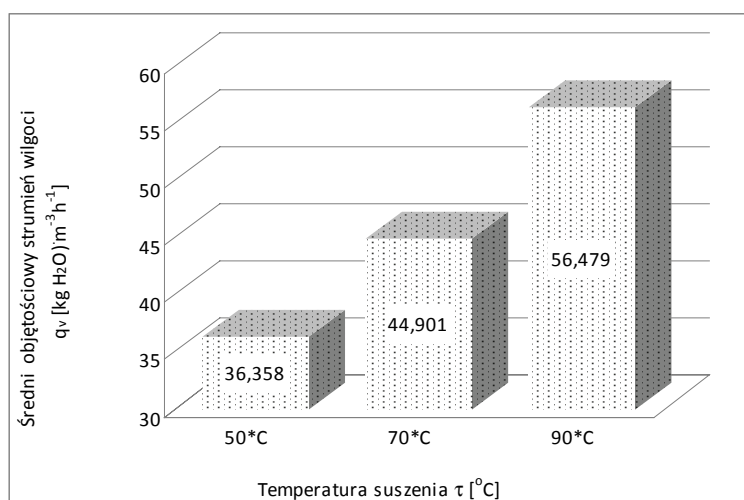
Jak wynika z przebiegu krzywych szybkości suszenia – przy temperaturze czynnika suszącego 50°C, wielkość du/dt dla zakresu zawartości wody w granicach $U=0,33-0,23$ kg H₂O.kg⁻¹ s.m. (pierwsze 10 minut suszenia) – wynosiła ona ok. 0,009 kg H₂O.kg⁻¹ s.m.min⁻¹. Podwyższając temperaturę czynnika do 90°C uzyskano na początku procesu (dla podobnego zakresu zawartości wody) szybkość suszenia na poziomie 0,011 kg H₂O.kg⁻¹ s.m.min⁻¹. Po upływie 10 minut procesu (zakres $U=0,23-0,1$ kg H₂O.kg⁻¹ s.m.) szybkość suszenia szybko spadała, aby pod koniec suszenia osiągnąć wartość 0,001-0,002 kg H₂O.kg⁻¹ s.m.min⁻¹. Średnia szybkość suszenia dla temperatury czynnika suszącego 50°C wyniosła $3,58 \cdot 10^{-3}$ kg H₂O.kg⁻¹ s.m.min⁻¹, natomiast w przypadku temperatury 90°C była ponad 50 % wyższa – przybierając wartość $5,34 \cdot 10^{-3}$ kg H₂O.kg⁻¹ s.m.min⁻¹. Dla pośredniej temperatury suszenia – 70°C średnia szybkości suszenia kształtowała się na poziomie $4,4 \cdot 10^{-3}$ kg H₂O.kg⁻¹ s.m.min⁻¹.

Jednym z ważniejszych wskaźników dotyczących ekonomiki procesu suszenia jest wielkość masy odparowanej wody z jednostki objętości komory suszenia lub z jednostki powierzchni suszącej (np. w przypadku suszarek kontaktowych).

Na rys. 5 przedstawiono wielkość średniego objętościowego strumienia wilgoci q_v w zależności od temperatury czynnika suszącego.

Jak wynika z histogramu w miarę wzrostu temperatury suszenia (przy stałej grubości warstwy surowca oraz stałej prędkości czynnika suszącego) – rosła istotnie wartość strumienia wody q_v odparowanej z jednostki objętości komory suszenia – w jednostce czasu. Dla temperatury czynnika suszącego $t=50^\circ\text{C}$ wielkość q_v wynosiła ok. 36 kg H₂O.m⁻³.h⁻¹. Podwyższenie temperatury czynnika do 90°C skutkowało wzrostem q_v do ok. 57 kg H₂O.m⁻³.h⁻¹ – czyli o ok. 50%. Dla temperatury czynnika 70°C – średni strumień wilgoci w stosunku do osiągniętego przy temperaturze 50°C – był wyższy o ok. 20% i wyniósł ok. 45 kg H₂O.m⁻³.h⁻¹.

Dla porównania – w przypadku suszenia ziarna kukurydzy w suszarce komorowo-daszkowej S-610 od wilgotności ok. 30% do ok. 13% przy temperaturze na wlocie 74÷90°C wielkość objętościowego strumienia wilgoci kształtowała się na poziomie 9,2÷13,9 kg H₂O m⁻³ h⁻¹ [Hajłasz 2005]. W dostępnej literaturze brak danych odnośnie wielkości q_v występujących przy suszeniu nasion gorczycy w powszechnie stosowanych suszarkach do suszenia ziarna zbóż i nasion.



Rys. 4. Wpływ temperatury czynnika suszącego na wartość objętościowego strumienia wilgoci q_v .
 $H_o=0,12$ m, $v=4$ m s⁻¹

Fig. 4. The influence of drying medium on the value of average volumetric stream of moisture.
 $H_o=0,12$ m, $v=4$ m s⁻¹

Wnioski

1. Wzrost temperatury czynnika suszącego od 50° do 90°C przy zachowaniu stałości pozostałych parametrów skutkowało zwiększeniem średniej szybkości suszenia oraz średniego strumienia wilgoci o ok. 55%.
2. Pomijając pierwsze 10 minut procesu, punkty pomiarowe tworzące poszczególne krzywe suszenia nasion gorczycy można skorelować równaniami wykładniczymi – charakterystycznymi dla II okresu suszenia przy wysokich współczynnikach determinacji.

Bibliografia

- Pallai E., Szentmarjay T., Mujumdar A. 1995. Spouted bed drying. Handbook of Industrial Drying. vol 1. s. 453-488.
- Glaser R. 1991. O możliwości suszenia krajanek warzywnych w warstwie pulsofluidalnej. VII Sympozjum Suszarnictwa. tom 1. s. 147-153.

DRYING OF MUSTARD SEEDS IN FOUNTAIN BED

Abstract. The experiment was carried out in a laboratory fountain drier at drying medium temperature variable within range 50-90°C. Drying medium flow velocity at inlet was approximately 4m s^{-1} , and initial material layer thickness - 0.12m. In experimental conditions, increase of drying medium temperature from 50 to 90°C caused growth in average drying rate and rise of the value of average volumetric evaporation stream by approximately 55%.

Key words: mustard's seeds, drying, spouted bed

Adres do korespondencji:

Stanisław Peron; e-mail: stanislaw.peron@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław