

CHARAKTERYSTYKA SUSZENIA WYCIERKI ZIEMNIACZANEJ W ZŁOŻU FONTANNOwym

Marta Paślawska, Bogdan Stępień, Mariusz Surma, Klaudiusz Jałoszyński
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Wioletta Drożdż

Katedra Technologii Rolnej i Przechowywania, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W pracy opisano kinetykę odwadniania wycierki ziemniaczanej w złożu fontannowym, poddając suszeniu materiał mokry oraz mieszaninę materiału mokrego i suchego. Stwierdzono, że odwadnianie wycierki w złożu fontannowym przebiegało dynamicznie, a zastosowanie porcji suszu jako inerty pozwoliło wyeliminować zjawisko aglomeracji cząstek mokrego materiału w pierwszym etapie suszenia.

Słowa kluczowe: suszenie fontannowe, wycierka ziemniaczana

Wykaz oznaczeń

u	– bieżąca zawartość wody [$\text{kgH}_2\text{O}\cdot\text{kg s.m}^{-1}$],
u_o	– początkowa zawartość wody [$\text{kgH}_2\text{O}\cdot\text{kg s.m}^{-1}$],
u_r	– równowagowa zawartość wody [$\text{kgH}_2\text{O}\cdot\text{kg s.m}^{-1}$],
u_k	– krytyczna zawartość wody [$\text{kgH}_2\text{O}\cdot\text{kg s.m}^{-1}$],
U_{red}	– zredukowana zawartość wody [-],
a_m	– współczynnik dyfuzji wody [$\text{cm}^2\text{min}^{-1}$],
τ	– czas suszenia [min]
Ψ	– współczynnik kształtu [-],
F_{om}	– liczba masowa Fouriera [-].

Wstęp

Wycierka ziemniaczana stanowi odpad po produkcji skrobi ziemniaczanej i jest często deponowanym na składowiskach odpadów, niewykorzystanym źródłem biomasy „nieleśnej”. Mokra pulpa ziemniaczana stanowi mieszaninę skórki i miazgi komórkowej i ze względu na wysoką wilgotność (87%) oraz bogaty skład chemiczny - zawiera skrobię (4,8%), błonnik roślinny (4,9%) oraz białko (0,5%) - jest nietrwała, podatna na zakażenia liczną mikroflorą. [Mayer i Hillebrandt 1997]. Odwadniając wycierkę ziemniaczaną po procesie produkcji można zapobiec rozwojowi mikroorganizmów oraz uzyskać efekt zatrzymania przemian chemicznych, biochemicznych i fizycznych. Wycierka ziemniaczana znajduje zastosowanie w rolnictwie podczas skarmiania loch i tuczników, jednak nie cieszy

się dużym zainteresowaniem hodowców zwierząt, ze względu na niską wartość pokarmową [Obidziński 2009]. Poszukuje się nowych sposobów wykorzystania wycierki ziemniaczanej, na przykład jako dodatku do pieczywa pszennego [Kaack i in. 2006], kiełbas niskokalorycznych [Kaack i Pedersen 2005] oraz jako paliwa autonomicznego lub komponentu paliw formowanych z odpadów [Poskrobko i in. 2009].

Z uwagi na to, że wszystkie potencjalne zastosowania pulpy ziemniaczanej, wymagają jej odwodnienia, opracowanie energooszczędnej i krótkotrwałej metody odwadniania wycierki ziemniaczanej mogłoby przyczynić się do poszerzenia spektrum zastosowań tego produktu. Suszenie w złożu fontannowym, jako technika suszarnicza, opierającą się na zasadzie usuwania wody z materiału w formie cząstek, w trakcie unoszenia go przez strumień powietrza [Adamiec i Strumiłło 1992] wydaje się stanowić odpowiednią metodę suszenia wycierki ziemniaczanej.

Cel badań

Doświadczenia przeprowadzono w celu zbadania przebiegu suszenia granulowanej wycierki ziemniaczanej w złożu fontannowym.

Materiały i metody

Materiał do badań stanowiła wycierka ziemniaczana o zawartości 13% suchej masy, pochodząca z P. P. Z. S.A. w Niechlowie.

Wycierkę poddano granulacji, uzyskując cząstki o średnicy $3,65 \cdot 10^{-4}$ m i wysokości $7,14 \cdot 10^{-4}$ m, a następnie suszono w złożu fontannowym w instalacji znajdującej się w Instytucie Inżynierii Rolniczej, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, opisanej przez Paślawską [2006]. Zastosowano komorę suszarniczą o średnicy 10 cm i wysokości 35 cm, temperaturę powietrza suszącego 110°C (TM-924C, dokładność pomiaru $\pm 1^{\circ}\text{C}$), prędkość powietrza zapewniającą stabilne fontannowanie złoża - $10\text{--}15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (anemometr skrzydełkowy YK-80AP, dokładność pomiaru $\pm 0,1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) oraz zmienną wielkość wsadu: 150 g mokrej wycierki ziemniaczanej, 150 g mokrej wycierki ziemniaczanej i 70 g suszu, 250 g mokrej wycierki ziemniaczanej, 250 g mokrej wycierki ziemniaczanej i 70 g suszu.

Wyznaczono kinetykę suszenia wycierki ziemniaczanej analizując wagowo (WLC 3/6/A2, dokładność pomiaru $\pm 0,5$ g) ubytek masy złoża w równych odstępach czasowych (1 minuta). Zawartość wody w materiale ustalano na podstawie metody termogravimetrycznej [PN-90/A-75101/03] (waga AS/160/C/2, dokładność pomiaru $\pm 0,0001$ g) oraz aktywności wody A_w (miernik KMAW). Doświadczenia wykonywano w trzech powtórzeniach, a uśrednione wyniki poddano analizie w programie Excel.

Wyniki

Suszenie w złożu fontannowym granulowanej wycierki ziemniaczanej przebiegało przy wysokiej intensywności oddawania wody. Czas procesu wynosił 45-50 minut. W trakcie prowadzenia doświadczeń przy komorze wypełnionej materiałem jednorodnym (150 g lub

250 g wycierki mokrej) występowały trudności praktyczne w początkowych minutach procesu, polegające na zlepianiu się granulek w duże cząstki, co z kolei wywołało zakłócenia w hydrodynamice złoża. Zjawisko to było przyczyną podjęcia prób usprawnienia procesu poprzez połączenie materiału mokrego i suchego w kolejnych wariantach doświadczenia. Zaobserwowano następnie, że przy złożu mieszanym, zawierającym materiał wilgotny

i suchy, wysuszona wycierka ziemniaczana spełniała funkcję inerty. Rehydracja granulek suchej wycierki przebiegała znacznie wolniej niż suszenie mokrej wycierki, a usuwana z materiału mokrego woda unoszona była przez strumień przepływającego powietrza. Wprowadzenie inerty wywołało rozluźnienie złoża, pozwoliło wyeliminować zlepianie się granulek mokrych, a w konsekwencji wywołało poprawę hydrodynamiki złoża oraz skrócenie czasu procesu.

Podczas suszenia wycierki, niezależnie od stosowanej wielkości wsadu, nie zanotowano istotnego skurczu suszarniczego (średnica cząstek zmniejszyła się średnio o 1,37%, a wysokość o 0,42%) i dlatego parametr ten został pominięty w dalszych obliczeniach.

Suszenie wycierki ziemniaczanej zachodziło w dwóch etapach. Pierwszy etap przebiegał do osiągnięcia krytycznej zawartości wody w materiale u_k , zgodnie z funkcją liniową: $y = -a \cdot x + b$. Wartości współczynników a i b dobrano na podstawie analizy statystycznej z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów i zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie współczynników funkcji opisującej pierwszy etap suszenia wycierki ziemniaczanej w zależności od masy i rodzaju materiału suszonego w złożu fontannowym

Table 1. The list of coefficients of the function which describes the first stage of potato pulp drying, depending on the mass and type of dried material in the spouted bed

Opis złoża	Przebieg suszenia zgodnie z funkcją $u = -a \cdot \tau + b$, gdzie:	
	a	b
150g mokrej wycierki	0,3975	6,14
150g mokrej wycierki i 70g suszu	0,3650	6,14
250g mokrej wycierki	0,3550	6,14
250g mokrej wycierki i 70g suszu	0,3420	6,13

Źródło: obliczenia własne autorów

Stwierdzono, że zaproponowany model empiryczny przebiegu pierwszego etapu suszenia granulowanej wycierki ziemniaczanej pozwala na uzyskanie opisu, bardziej zbliżonego do wartości pomiarowych niż oparty na konwekcyjnej wymianie ciepła i masy model teoretyczny [Pabis 1982].

Do analizy kinetyki drugiego etapu suszenia wykorzystano opis matematyczny sformułowany przez Lewisa [Pabis 1982]:

$$U_{red} = \frac{u - u_r}{u_o - u_r} = \psi \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \cdot e^{(-n^2 F_{om})} \quad (1)$$

Następnie, ze względu na nieregularne powierzchnie boczne cząstek oraz dla uproszczenia obliczeń, przyjęto rozwiązanie tego równania dla materiału o kształcie prostopadłościanu:

$$U_{red} = \frac{512}{\pi^6} \cdot e^{\left(-\frac{\pi^2}{4} a_m \cdot \tau \cdot b\right)}, \quad (2)$$

gdzie:

b – parametr geometryczny, wyznaczony z zależności:

$$b = \frac{1}{s^2} + \frac{1}{w^2} + \frac{1}{l^2} \quad (3)$$

gdzie:

s – szerokość prostopadłościanu [m],

w – głębokość prostopadłościanu [m],

l – wysokość prostopadłościanu [m].

Wykorzystując formuły (1), (2) oraz (3) uzyskano opis przebiegu zmian zawartości wody w zależności od czasu w postaci:

$$u = \frac{512}{\pi^6} \cdot e^{\left(-\frac{\pi^2}{4} a_m \cdot \tau \cdot \left(\frac{1}{s^2} + \frac{1}{w^2} + \frac{1}{l^2}\right)\right)} \cdot (u_0 - u_r) + u_r \quad (4)$$

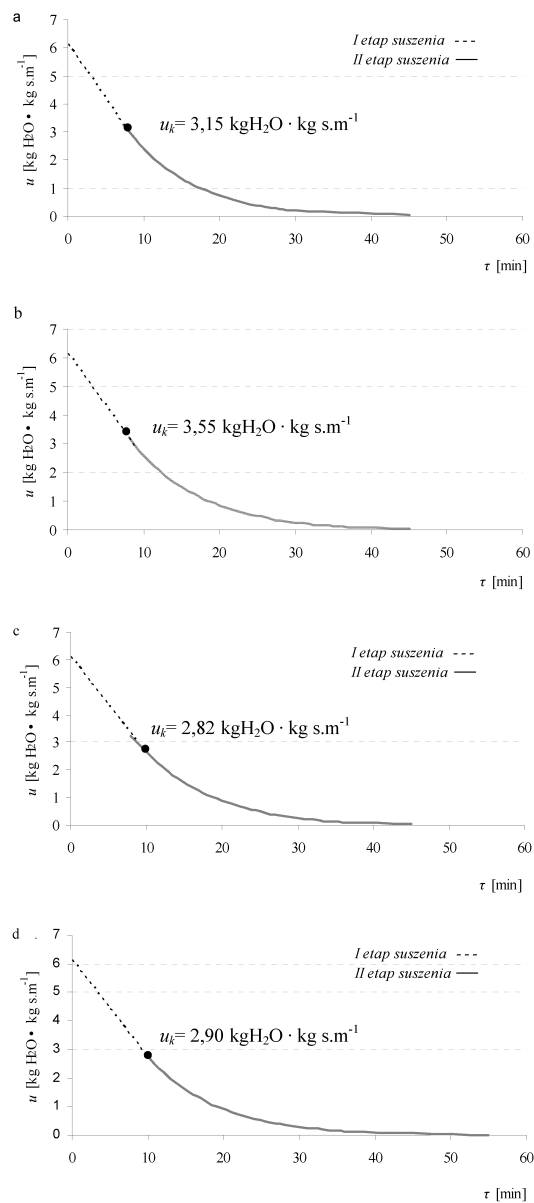
Współczynnik dyfuzji wody (a_m) obliczono po przekształceniu wyznaczonej doświadczalnie bieżącej zawartości wody (u) do zredukowanej zawartości wody (U_{red}) i przyjęciu zastępczych wymiarów cząstki $s=3,65\text{mm}$, $w=3,65\text{mm}$, $l=7,14\text{mm}$. Z uwagi na to, że współczynnik ten dla wszystkich przeprowadzonych procesów wahał się w bardzo niewielkim stopniu, do opisu drugiego etapu suszenia przyjęto średnią wartość współczynnika dyfuzji wody $a_m = 7,235 \cdot 10^{-4} \text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$. Przyjmując założenia o stałości wymiarów cząstek oraz stałym współczynnikiem dyfuzji, stwierdzono, że przebieg drugiego etapu procesu suszenia najdokładniej opisuje funkcja w postaci: $y = a \cdot e^{(-b \cdot \tau)}$.

Kinetykę suszenia wycierki ziemniaczanej przedstawiono na wykresach jako zmianę zawartości wody w materiale u [$\text{kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg s.m}^{-1}$] w czasie suszenia τ [min] (rys. 1).

Wartość krytycznej zawartości wody u_k dla poszczególnych wariantów doświadczenia, odczytano z wykresów w punkcie przecięcia się funkcji opisujących pierwszy i drugi etap suszenia.

Stwierdzono, że kinetyka fontannowego suszenia złoża utworzonego przez mokrą wycierkę ziemniaczaną oraz złoża utworzonego poprzez zmieszanie materiału mokrego i suszu jest zbliżona dla wszystkich założonych obciążeń komory. Różnice w poszczególnych wariantach doświadczenia wynikają z innych wartości wilgotności krytycznej (u_k), rozpoczynającej drugi etap suszenia.

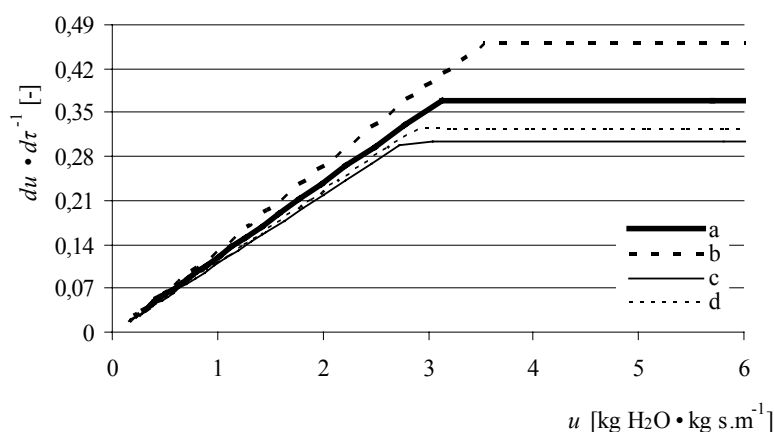
Charakterystyka suszenia wycierki...



Rys. 1. Kinytyka suszenia fontannowego wycierki ziemniaczanej w zależności od wielkości złoża: a – 150 g mokrego materiału; b – 150 g mokrego materiału i 70 g suszu; c – 250 g mokrego materiału; d – 250 g mokrego materiału i 70 g suszu

Fig. 1. Kinetics of drying of potato pulp in the spouted bed depending on the size of the spouted bed: 150 g of wet material; b) 150 g of wet material and 70 g of dried material; c) 250 g of wet material; d) 250 g of wet material and 70 g of dried material

W celu przedstawienia różnic w przebiegu doświadczeń prowadzonych przy zróżnicowanym wypełnieniu komory materiałem mokrym i suchym, porównano szybkość suszenia w poszczególnych wariantach doświadczenia (rys. 2).



Rys. 2. Szybkość ubytku wody z materiału mokrego w funkcji zawartości wody, w zależności od wielkości złoża: a – 150 g mokrego materiału; b – 150 g mokrego materiału i 70 g suszu; c – 250g mokrego materiału; d – 250 g mokrego materiału i 70 g suszu

Fig. 2. The rate of water loss in wet material in the water content function depending on the size of the spouted bed: a) 150 g of wet material; b) 150 g of wet material and 70 g of dried material; c) 250 g of wet material; d) 250 g of wet material and 70 g of dried material

Złoże utworzone przez mokrą wycierkę charakteryzowało się niższą dynamiką odwadniania granulek, niż złożo, w którym połączono materiał mokry i suchy. Najmniejszą dynamikę procesu zanotowano w przypadku próby zawierającej 250g wilgotnej wycierki, największą w przypadku próby zawierającej 150g mokrej wycierki i 70g suszu. Dodatek suszu spowodował poprawę szybkości procesu o 24% w przypadku złoża o mniejszej masie i 7% w przypadku złoża o większej masie.

Podsumowanie

1. Zastosowanie metody suszenia w złożu fontannowym do odwadniania granulowanej wycierki ziemniaczanej jest uzasadnione z uwagi na możliwość przeprowadzenia procesu w krótkim czasie.
2. Kinetykę suszenia wycierki ziemniaczanej opisano funkcjami: $u = -a \cdot \tau + b$ w pierwszym etapie i $u = a \cdot e^{(-b \cdot \tau)}$ w drugim etapie procesu.
3. Wykorzystanie suszu w funkcji inerty pozwoliło uzyskać poprawę szybkości suszenia o 24% w przypadku, gdy złożo składało się ze 150 g wycierki mokrej i 70g suszu i o 7% w przypadku, gdy złożo składało się z 250 g wycierki mokrej i 70 g suszu.

Bibliografia

- Adamiec J., Strumillo 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. s. 1584-1593.
- Kaack K., Pedersen L.** 2005. Application of by-products from industrial processing of potato flour and yellow peas as ingredients in low-fat high-fibre sausages. *Eur Food Res Technol.* Nr 221. s. 313-319.
- Kaack K., Pedersen L., Laerke H.- N.** 2006. New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread, *Eur Food Res Technol.* Nr 224, s. 199-207.
- Mayer F., Hillebrandt J.-O.** 1997. Potato pulp: microbiological characterization, physical modification, and application of this agricultural waste product. *Appl Microbiol Biotechnol.* Nr 48, s. 435-440.
- Obidziński S.** 2009. Badania procesu zagęszczania wycierki ziemniaczanej. *Acta Agrophysica.* Nr 14(2). s. 383-329.
- Pabis S.** 1982. Teoria konwekcyjnego suszenia produktów rolniczych. PWRiL. Warszawa.
- Pasławska M., Peroń S., Nejman M.** 2006. Wykorzystanie metody suszenia w złożu fontannowym do utrwalania drożdży unieruchomionych w matrycy alginianu. *Inżynieria Rolnicza.* Nr 12(87). s. 409-416
- Poskrobko S., Łach J., Król D.** 2009. Badanie podstawowych właściwości paliwowych wybranych odpadów przemysłowych i paliw formowanych z odpadów. *Energetyka i ekologia.* Nr 9. s. 633-640.
- PN-90/A-75101/03 PN-90/A-75101.03. Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową.

CHARACTERISTIC OF DRYING PROCESS OF POTATO PULP IN THE SPOUTED BED

Abstract. The study presents dehydration kinetics of potato pulp in the spouted bed by drying both wet material and a mixture of wet and dry material. It was determined that pulp dehydration in the spouted bed was dynamic, and applying the dried material as an inert allowed for elimination of the phenomenon of material particles agglomeration in the first stage of drying.

Key words: fountain drying, potato pulp

Adres do korespondencji:

Marta Paławska; e-mail: marta.paslawska@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chelmońskiego 37/41
51-630 Wrocław