

## Jan LIMANOWSKI

e-mail: jan.limanowski@uwm.edu.pl

Katedra Inżynierii i Aparatury Procesowej, Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

## Mieszanie materiałów ziarnistych w poziomym mieszalniku łopatkowym

Mieszanie materiałów ziarnistych w mieszalnikach łopatkowych ma powszechne zastosowanie w przemyśle rolno-spożywczym do wytwarzania mieszanek paszowych bądź półproduktów poddawanych dalszej obróbce technologicznej. Ziarna składników mieszaniny często różnią się cechami geometrycznymi i właściwościami powierzchni, mającymi wpływ na przebieg procesu mieszania. Dobór konstrukcji mieszadła i jego parametry techniczne mają również istotny wpływ na jakość uzyskanej mieszaniny, gdy celem procesu jest ujednorodnienie mieszaniny.

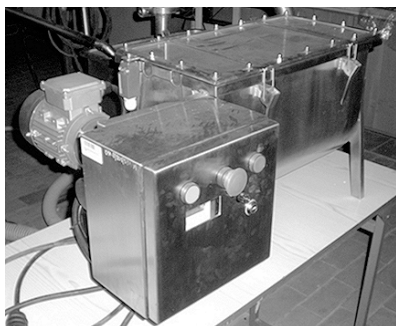
W praktyce produkcyjnej spotyka się poziome mieszalniki łopatkowe różnorodnej konstrukcji. Przede wszystkim różnią się one parametrami geometrycznymi, ale również liczbą łopatek i ich prędkością obrotową.

Celem pracy było określenie wpływu prędkości obrotowej mieszadła na wartość stopnia zmieszania dwóch rodzajów fasoli: czerwonej i karłowatej stanowiących składniki paszy dla zwierząt.

## Badania doświadczalne

**Materiały.** W badaniach wykorzystano fasolę czerwoną o wymiarach powierzchniowych 5,5 x 17 mm i białą fasolę karłowatą o wymiarach 7 x 5 mm. Masa całkowita materiału w mieszalniku wynosiła 6 kg, a ich proporcja masowa 1:1.

**Aparatura.** Stanowisko pomiarowe stanowił poziomy mieszalnik rynnowy z dnem wygiętym półkuliście o średnicy 245 mm, długości 500 mm i wysokości rynny 320 mm (Rys. 1).

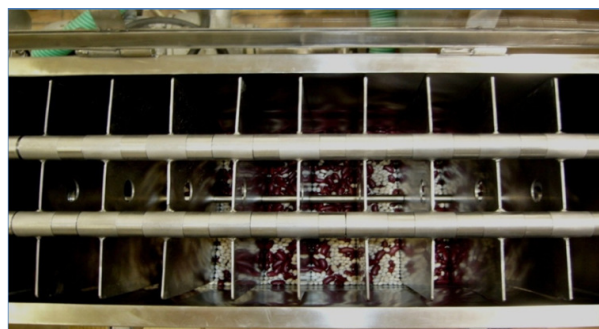


Rys. 1. Mieszalnik laboratoryjny.

Na wale zamontowano trzy łopatki mieszające o wymiarach 81 x 57 mm każda. Łopátka równoległa do osi wału umieszczona była w środku mieszalnika, a łopatki nachylone pod kątem 45° umieszczono w odległości 2 mm krawędzi łopatki od bocznej ścianki mieszalnika, w taki sposób, aby zgarniały materiał do środka mieszalnika (Rys. 2).



Rys. 2. Wnętrze aparatu przed rozpoczęciem mieszania



Rys. 3. „Grzebień” dzielący zmieszane złożo na próbki.

**Metodyka.** Komponenty wsypywano do mieszalnika przed zamontowaniem wału. W tym celu wkładano płaską przegrodę dzielącą jego wnętrze na dwie równe części i wsypywano złożo do wysokości położenia wału. Następnie wysuwano przegrodę i montowano wał z mieszadłem. Pomiary wykonano przy 5 prędkościach obrotowych mieszadła: 0,375; 0,500; 0,592; 0,667; 0,833 s<sup>-1</sup> (22,5; 30; 35,5; 40; 50 obr./min.), regulując ją za pomocą falownika. Czas mieszania wynosił 2 min. Po zatrzymaniu napędu demontowano wał i fotografowano powierzchnię mieszaniny.

Następnie wkładano do wnętrza mieszalnika tzw. grzebień, dzielący zmieszane złożo na 10 równych części (Rys. 3). Każdą próbkę odsysano za pomocą odkurzacza, rozdzielano na sicie, a składniki ważono. W każdym przypadku wykonywano 5 powtórzeń pomiaru. Po obliczeniu średnich odchyłeń standardowych składu mieszaniny rzeczywistej  $\sigma$  i mieszaniny teoretycznej  $\sigma_0$  wyznaczano stopień zmieszania  $M$  na podstawie definicji Rose'a:

$$M = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_0} \quad (1)$$

Ocenę jakości uzyskanej mieszaniny wykonywano na podstawie skali Rose'a, a jakość powierzchni mieszaniny oceniano na podstawie wartości wybranych cech teksturalnych jej obrazu opracowanych przez Haralicka [1973; 1979] dla:

– korelacji

$$\sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} \frac{(i-\mu)(j-\mu)}{\sigma^2} p(i; j) \quad (2)$$

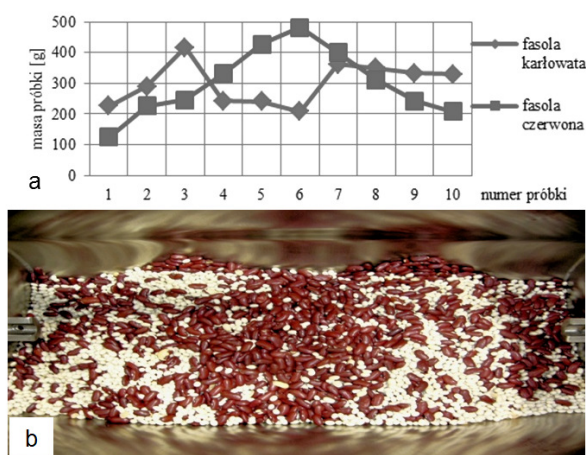
– bezwładności

$$\sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} (i-1)^2 p(i; j) \quad (3)$$

w oparciu o macierz koekurencji  $N_x \times N_y$  powstałą w wyniku binaryzacji i segmentacji obrazu mieszaniny na pola jednostkowe i przypisaniu im wartości 0 lub 1 zależnej od dominującej barwy pola [Malina i Smiatacz, 2005]. gdzie:  $p(i; j)$  – stała normalizacyjna.

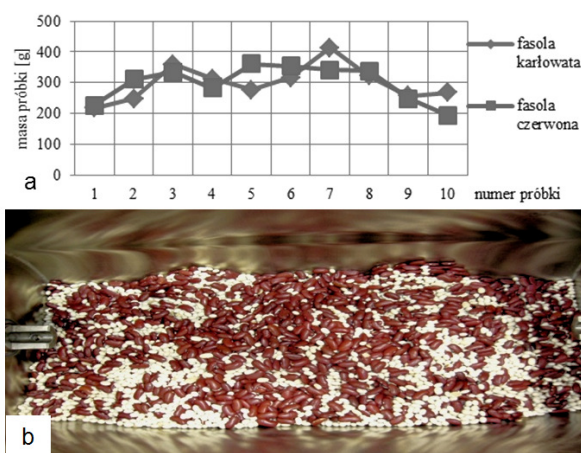
## Wyniki i dyskusja

Na podstawie analizy rozkładu masy komponentów zawartych w zważonych próbkach stwierdzono wyraźną zależność między prędkością mieszadła a ilością składników w poszczególnych próbkach. Przy najmniejszej prędkości 0,375 s<sup>-1</sup> (22,5 obr./min) fasola czerwona gromadziła się w środkowej części mieszalnika (Rys. 4).



Rys. 4a,b. Zmiany masy w próbkach i obraz powierzchni mieszniny uzyskane przy prędkości mieszadła 22,5 obr./min.

Wraz ze wzrostem prędkości rozkład stawał się bardziej równomierny (Rys. 5). Obliczenia stopnia zmieszania komponentów w całkowitej masie mieszaniny wykazały jego wzrost postępujący za rosnącą prędkością mieszadła (Rys. 6).

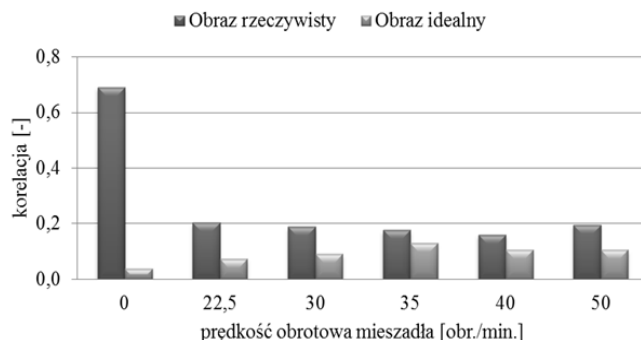


Rys. 5. Zmiany masy w próbkach (a) i obraz powierzchni mieszniny uzyskane przy prędkości mieszadła 50 obr./min

Analiza rozkładu barwnych ziaren na powierzchni mieszaniny z wykorzystaniem cech tekstury obrazu opisanych równan. (2) i (3) wykazała, iż różnica korelacji między obrazem mieszaniny teoretycznie idealnej a obrazem rzeczywistym malała wraz ze wzrostem prędkości mieszania do około  $0,583 \text{ s}^{-1}$  (35 obr./min). Dalszy wzrost prędkości nie powodował zmiany korelacji lub można było nawet zauważyć nieznaczną segregację składników.

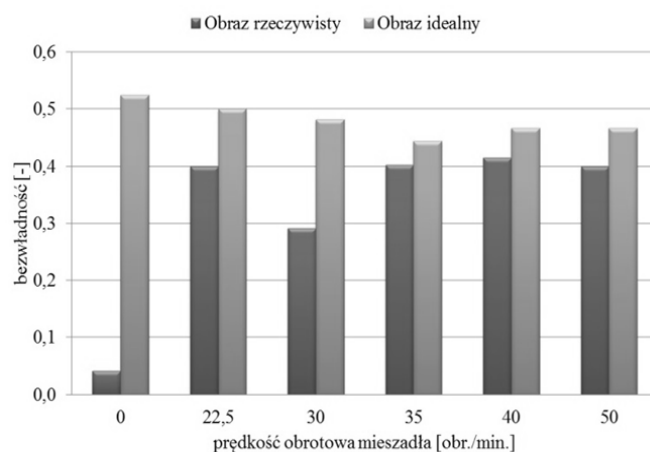


Rys. 6. Zmiany stopnia zmieszania w zależności od prędkości obrotowej mieszadła.



Rys. 7. Zmiany wartości cechy tekstury obrazu korelacja w zależności od prędkości obrotowej mieszadła

W przypadku bezwładności sytuacja była podobna, chociaż przy prędkości  $0,5 \text{ s}^{-1}$  (30 obr./min) wystąpił nieznaczny wzrost różnicy między obrazem mieszaniny teoretycznie idealnej a obrazem rzeczywistym. Oznacza to, że na podstawie obrazu powierzchni mieszaniny można wnioskować o jej zmieszaniu w masie.



Rys. 8. Zmiany wartości cechy tekstury obrazu „bezwładność” w zależności od prędkości obrotowej mieszadła

## Wnioski

Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej mieszadła postępował wzrost stopnia zmieszania mieszaniny. Największe zmiany miały miejsce w przedziale prędkości  $0,375\text{--}0,500 \text{ s}^{-1}$  (22,5÷30 obr./min). Najlepszy efekt uzyskano przy prędkości  $0,833 \text{ s}^{-1}$  (50 obr./min), gdy wartość stopnia zmieszania wynosiła około 0,9.

Według skali *Rose'a* uzyskany efekt mieszania można określić jako *niezadowalający* przy prędkości mieszadła  $0,375 \text{ s}^{-1}$  (22,5 obr./min), *dość dobry* przy prędkości w granicach  $0,500\text{--}0,667 \text{ s}^{-1}$  (30÷40 obr./min) i jako *dobry* przy prędkości  $0,833 \text{ s}^{-1}$  (50 obr./min).

Wyniki analizy obrazu powierzchni mieszaniny w dużym stopniu potwierdziły wyniki oceny stopnia zmieszania komponentów uzyskane metodą próbkowania.

## LITERATURA

- Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I., (1973). Textural features for image classification. *IEEE Trans.Syst.Cybernetics.* 3, 610-621. DOI: 10.1109/TSMC.1973.4309314
- Haralick R.M., (1979). Statistical and structural approaches to texture. *Proc. IEEE*, 5, 786-804. DOI: 10.1109/proc.1979.11328
- Malina W., Smiatacz M., (2005). *Metody cyfrowego przetwarzania obrazów*. EXIT, Warszawa (ISBN: 83-87674-93-1).