

Jan Barwicki

Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa w Warszawie

## **BADANIA EKSPERYMENTALNE PROCESU MIESZANIA MATERIAŁÓW ROLNYCH**

### **Streszczenie**

Przedstawiono badania eksperymentalne z zakresu procesu mieszania rolniczych produktów sypkich i ciekłych. Badania dotyczyły: teorii procesu mieszania, trajektorii ruchu cząsteczek biorących udział w procesie mieszania, sił oddziałujących na elementy konstrukcyjne mieszadeł, rodzajów przepływów masy mieszanych składników, sposobu oceny stopnia wymieszania składników oraz zapotrzebowania na energię podczas mieszania.

**Słowa kluczowe:** mieszanie, konstrukcja mieszadeł, teoria mieszania, produkty rolnicze, metoda oceny jakości mieszania, czas mieszania, energochłonność, postęp

### **Wstęp**

Badania eksperymentalne z zakresu procesów mieszania produktów rolniczych są bardzo istotne z punktu widzenia produkcji w warunkach przemysłowych, jak również bezpośrednio w gospodarstwach rolnych. Wykonanie analizy dotychczas przeprowadzonych badań przez różne ośrodki naukowe [Kejin, Jiong 2005] pomoże w dokładnym poznaniu procesu, jak również umożliwi wprowadzenie nowych rozwiązań do praktycznego wykorzystania w rolnictwie krajowym. Dotyczy to zarówno nowych metod badania stopnia wymieszania składników [Haywood 1990], jak również energochłonności pracy mieszalników. Obydwa te aspekty są bardzo istotne z punktu widzenia jakości produktu [Povey 1989] oraz również energochłonności procesów mieszania materiałów rolnych [Bujalski i in. 1987].

Celem opracowania była analiza wykonanych badań eksperymentalnych procesu mieszania produktów rolnych, w tym określenie wzajemnego oddziaływania i wyznaczenie trajektorii przepływów mieszanych cząsteczek.

### **Przeprowadzone eksperymenty i metody badawcze**

Jedną z metod oceny stopnia wymieszania składników jest metoda bezinwazyjna, niewymagająca pobierania próbek z mieszalnika do późniejszej kontroli zawartości wyróżnika. Do badań eksperymentalnych wykorzystano plastikowe cząsteczki o wielkościach i własnościach fizyko-mechanicznych

zblizonych do pasz granulowanych [Barwicki 2009], które mieszano z wodą. Oceny stopnia wymieszania składników dokonywano za pomocą czujnika piezoelektrycznego zamocowanego do zewnętrznej powierzchni mieszalnika. Sygnał elektryczny z przetwornika był odpowiednio wzmacniany, a następnie rejestrowany w podłączonym do stanowiska badawczego komputerze. Do weryfikacji tej metody pobierano próbki ze spustu zbiornika po określonym czasie mieszania i stosowano analizę ilościową zawartości cząsteczek w poszczególnych próbkach.

W badaniach eksperymentalnych procesów mieszania bardzo przydatne są liczba Reynoldsa i liczba Sherwooda.

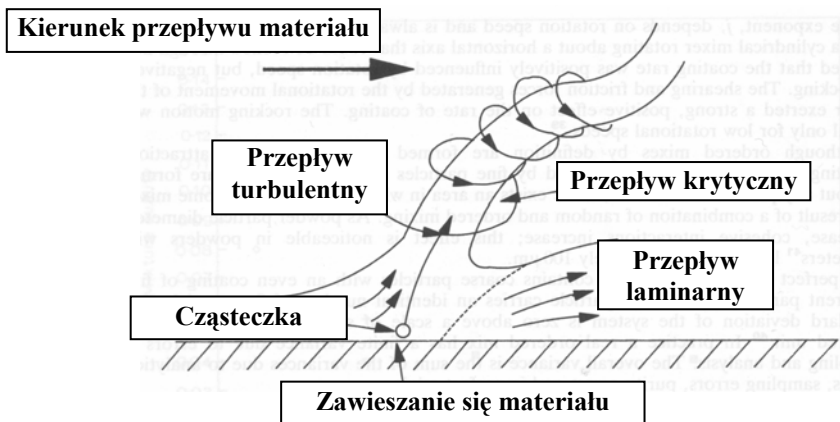
*Liczba Reynoldsa* jest jedną z bezwymiarowych liczb podobieństwa stosowanych w mechanice płynów. Pozwala oszacować występujący podczas ruchu mieszanego produktu stosunek czynnych sił bezwładności do biernych sił bezwładności związanych z tarciem wewnętrznym określanym za pomocą jego lepkości dynamicznej. *Liczba Sherwooda* wyraża stosunek przepływu masy produktu do bezpośredniej jej dyfuzji na poziomie molekularnym.

W praktyce wielkość liczby Reynoldsa pozwala określić rodzaj ruchu materiału: laminarny lub turbulentny. Dla każdego rodzaju przepływu występuje krytyczna liczba Reynoldsa, poniżej której przepływ turbulentny nie jest obserwowany. Krytyczna liczba Reynoldsa wyznaczana jest na drodze empirycznej i stanowi kryterium stateczności przepływów. Badając procesy mieszania różnych produktów rolnych znalezienie korelacji pomiędzy wartościami liczby Reynoldsa i liczby Sherwooda dla konkretnych przypadków jest przydatne w praktyce.

[Nienow i in. 1985] badał różnice występujące podczas procesu mieszania materiałów sypkich typu granulaty oraz ciekłych jak gnojowica. Po przeprowadzeniu szeregu eksperymentów stwierdził, że występują następujące podstawowe różnice podczas mieszania tych materiałów:

- podczas mieszania materiałów sypkich nie występuje dyfuzja molekularna co ma miejsce podczas mieszania cieczy co wiąże się z zapewnieniem dodatkowej energii dla uzyskania odpowiedniego stopnia wymieszania składników,
- pojedyncze cząsteczki sypkie nie posiadają stałych własności i różnią się charakterystyką fizyko-mechaniczną co jest związane z możliwością ich segregacji w zakresie rozmiaru, gęstości czy sprężystości,
- wyniki jakości wymieszania produktów sypkich charakteryzują się gorszymi parametrami aniżeli mieszaniny płynne,
- cząsteczki sypkie o wielkości poniżej 10  $\mu\text{m}$  ułatwiają ich segregację w trakcie mieszania tych produktów,
- cząsteczki o budowie włóknistej stanowią dobre komponenty do uzyskania prawidłowej mieszaniny składników.

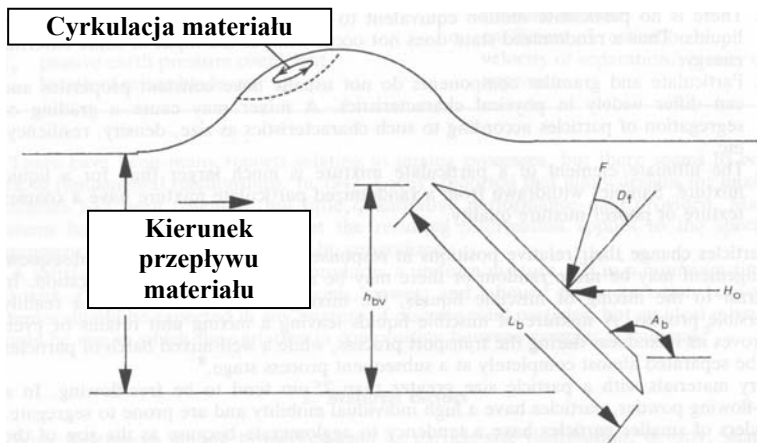
Rysunek 1 przedstawia schematycznie wszystkie możliwe fazy przemieszczania się cząsteczki sypkiej, która znalazła się w pobliżu ścianki mieszalnika.



Rys 1. Zachowanie się sypkich cząsteczek materiału przy ścianie zbiornika mieszalnika [Nienow 1985]

Fig. 1. Behaviour of loose material particulates at the wall of mixing container (Nienow, 1985)

Na rysunku 2 przedstawiono analizę rozkładu sił na mieszadle łopatkowym w trakcie przemieszczania się materiału granulowanego.



Rys. 2. Rozkład sił występujących w procesie mieszania materiału granulowanego mieszadłem łopatkowym [Lindley 1991]:  $H_{vi}$  - pionowa ilość granulatu, m,  $h_{bv}$  - pionowa wysokość łopaty mieszadła, m,  $L_b$  - długość łopaty mieszadła, m,  $H_o$  - siła pozioma, N,  $F$  - siła ukośna, N,  $A_b$  - kąt pochylenia łopaty mieszadła, rad,  $D_f$  - kąt tarcia pomiędzy granulem a powierzchnią łopaty mieszadła, rad

Fig. 2. Distribution of forces occurring in the process of mixing granulated material with a paddle mixer (Lindley, 1991):  $H_{vi}$  – vertical amount of granulate, m,  $H_{bv}$  – vertical height of mixer paddle, m,  $L_b$  – length of mixer paddle, m,  $H_o$  – horizontal force, N,  $F$  – oblique force, N,  $A_b$  – inclination angle of the mixer paddle, rad,  $D_f$  – angle of friction between granulate and mixer paddle surface, rad

Korzystając z rysunku 3 można wyprowadzić zależność pozwalającą na obliczenie wartości siły poziomej mieszadła łopatkowego, która ma następującą postać:

$$H_o = \frac{L_b (W_s h_{bv}^2 K_p \sin (A_b + D_f))}{2 \sin A_b \cos D_f},$$

gdzie:

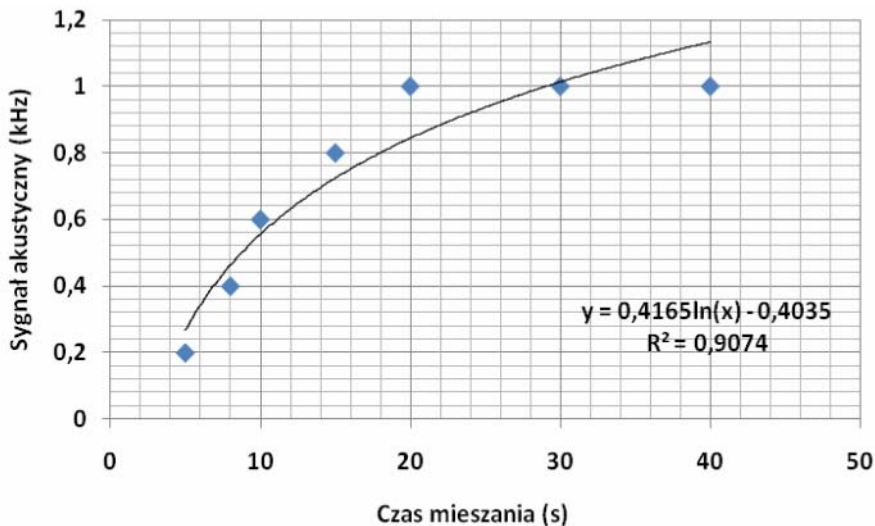
$W_s$  - ciężar właściwy mieszanego materiału, N,

$K_p$  - bezwymiarowy współczynnik oporu materiału.

Pozostałe składniki równania opisano pod rysunkiem 2.

### Wyniki badań

Analiza ilościowa zawartości mieszanych cząstek w próbkach pobieranych w określonym czasie z otworu spustowego mieszadła oraz jednoczesny odczyt sygnału elektrycznego z przetwornika piezoelektrycznego potwierdziły zasadność stosowania zaproponowanej metody do oceny procesu mieszania imitacji granulatów paszowych z wodą. Na rysunku 3 przedstawiono charakterystykę sygnału rejestrowanego przez czujnik piezoelektryczny w zależności od czasu mieszania.



Rys. 3. Badanie czasu mieszania imitacji granulatów paszowych z wodą przy wykorzystaniu bez inwazyjnej metody oceny stopnia wymieszania (Opracowanie własne 2009)

Fig. 3. Investigation of the mixing time for imitation of feed granulates with water, using on-invasive method of mixing degree evaluation (own elaboration, 2009)

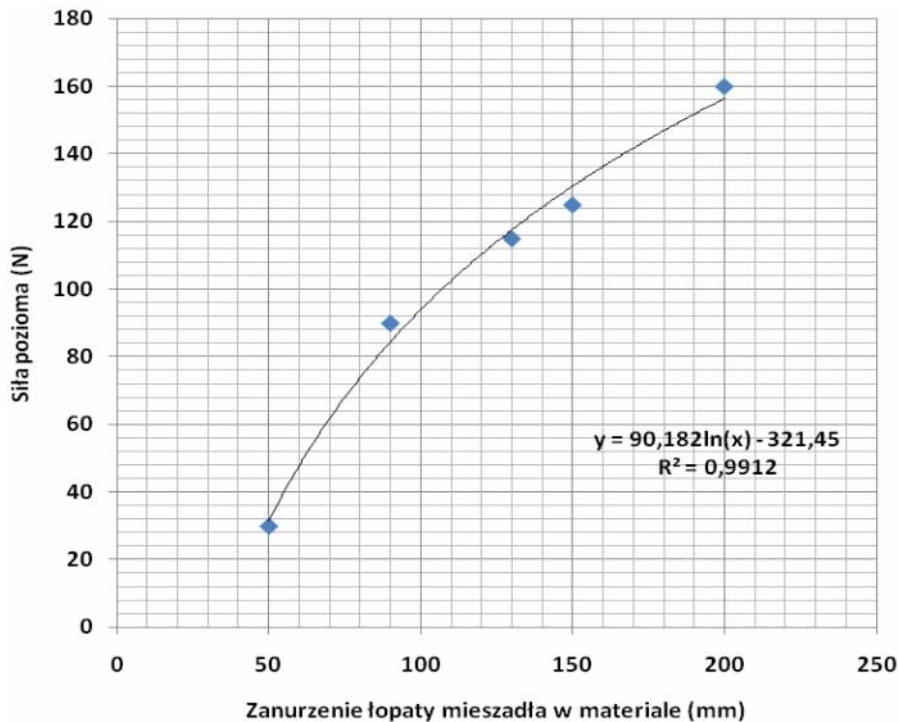
Przedstawiona na wykresie krzywa pokazuje czas dochodzenia mieszanki do tzw. punktu zmieszania składników. Na wykresie przedstawionym jako krzywa logarymiczna jest to moment, w którym wartości sygnału procesu mieszania stabilizują się na poziomie 1 kHz. Z punktu widzenia energochłonności procesu dalsze przeprowadzanie mieszania składników jest w tym przypadku niewskazane. W warunkach produkcji na dużą skalę ta informacja ma duże znaczenie dla zarządzającego procesem produkcji.

Wykres czasu mieszania imitacji granulatów paszowych ma postać krzywej logarymicznej:

$$y = 0,4165 \ln(x) - 0,4035.$$

Wskaźnik determinacji wynosił  $R^2 = 0,9074$  i był bliski wyników badań przedstawionych na wykresie.

Wyniki badań sił działających na łopatę mieszadła w trakcie mieszania cząsteczek polietylenu przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Wpływ wielkości zanurzenia łopaty mieszadła w cząsteczkach polietylenu na siłę przemieszczania materiału (Źródło: Opracowanie własne 2009)

Fig. 4. Investigation of the mixing time for imitation of feed granulates with water, using non-invasive method of mixing degree evaluation (own elaboration, 2009)

Wykres siły na łopacie mieszadła podczas przemieszczania cząsteczek polietylenu ma postać krzywej logarytmicznej:

$$y = 90,182 \ln(x) - 321,45.$$

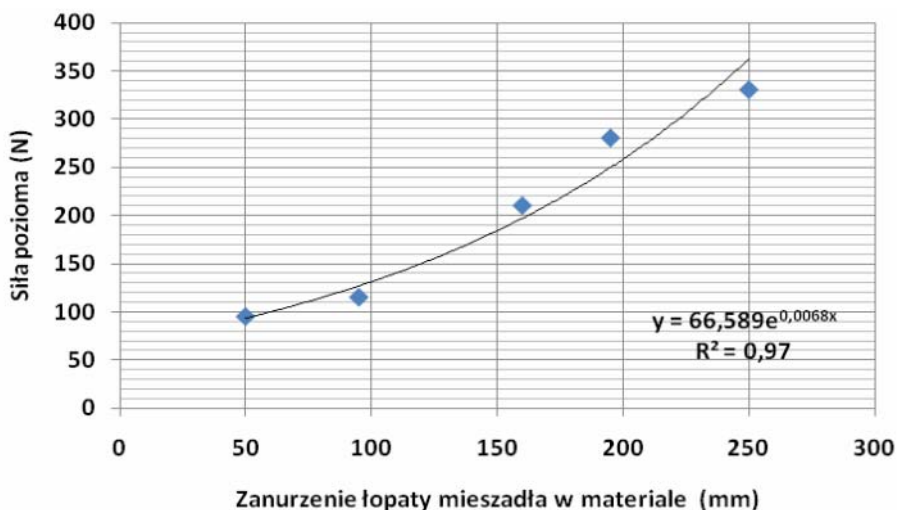
Wskaźnik determinacji wynosił  $R^2 = 0,9912$ , czyli był bardzo zbliżony do wyników badań przedstawionych na wykresie.

Wyniki badań sił działających na łopatę mieszadła w trakcie mieszania imitacji granulatów paszowych przedstawiono na rysunku 5.

Wykres siły na łopacie mieszadła podczas przemieszczania cząsteczek stanowiących imitację granulatów paszowych ma następującą postać krzywej wykładniczej:

$$y = 66,589 e^{0,0068x}.$$

Wskaźnik determinacji wynosił  $R^2 = 0,97$  i był w znacznym stopniu powiązany z punktami leżącymi na krzywej obrazującej wyniki badań prezentowanych na rysunku 5.



Rys. 5. Wpływ wielkości zanurzenia łopaty mieszadła w imitacji granulatów paszowych na siłę przemieszczania materiału (Źródło: Opracowanie własne 2009)

Fig. 5. The effect of mixing paddle immerion depth into imitated feed granulates on the force of material displacing (own elaboration, 2009)

## Dyskusja wyników badań i wnioski

Przedstawione na wykresie wyniki badań potwierdzają, że zastosowanie bezinwazyjnej metody oceny procesu mieszania jest możliwe. Widoczny jest również moment, w którym mieszanina osiąga tzw. punkt zmieszania, czyli

czas, po którym dalsze mieszanie jest niewskazane z uwagi na energochłonność procesu mieszania. Jest to szczególnie bardzo istotne w przypadku prowadzenia produkcji mieszanek paszowych na dużą skalę.

Poznanie wielkości siły poziomej mieszadła łopatego umożliwi optymalizację konstrukcji tego elementu mieszalnika. Ponadto znajomość wpływu naporu różnych materiałów sypkich na elementy robocze mieszadła jest bardzo przydatne zarówno przy opracowywaniu nowych konstrukcji mieszadeł jak również w trakcie eksploatacji już istniejących. Równania opisujące siły występujące w zespołach mieszających pozwolą na optymalizację ich konstrukcji.

### **Wnioski**

Przebieg krzywej logarytmicznej na wykresie 3 pokazuje, że istnieje możliwość wykorzystywania bezinwazyjnej metody do oceny stopnia wymieszania materiałów rolnych. Wykres mieszania imitacji granulatów paszowych (rys. 5) ma postać krzywej wykładniczej i obrazuje wpływ zanurzenia łopaty mieszadła w materiale na wielkość siły poziomej potrzebnej dla jego przemieszczenia. Wzory opisujące siły występujące na elementach mieszających pozwolą na optymalizację konstrukcji mieszadeł pracujących w rolnictwie.

### **Bibliografia**

- Barwicki J. 2009: Bezinwazyjna metoda oceny procesu mieszania produktów rolniczych. Konferencja naukowo-techniczna WIRZ nt. Nowe techniki i technologie w rolnictwie zrównoważonym. Kielce
- Bujalski W., Nienow A.W., Chatrin S., Cooke M. 1987. The dependency on scale of power number of Rushton disc turbines. *Chemical Engineering Science*
- Cumby T.R., Slater K.H. 1990. A model of the vertical distribution of solids during slurry mixing. *Journal of Agricultural Research*, Nr 45, s. 187-207
- Haywood B.C. 1990. The use of acoustic monitoring in industry. *Symposium Letherhead*
- Kejin W., Jiong H. 2005. Use of a moisture sensor for monitoring the effect of mixing procedure on uniformity of concrete mixtures. *Journal of Advanced Concrete Technology*, Nr 3
- Lindley J.A. 1991. Mixing processes for agricultural and food materials: 3 Powders and particulates. *Journal of Agricultural Research*, Nr 49, s. 1-19
- Nienow A.W. 1985. The dispersion of solids in liquids. New York, Gordon Breach Science Publishers, s. 273-307
- Povey M.J. 1989. Ultrasonics in food engineering - Part II - Applications. *Journal of Food Engineering*, Nr 9
- Rielly C.D. 2004. Fluid mixing in food industry, Department of Chemical Engineering, University of Cambridge, University Edition