

NAPEŁNIANIE SILOSU ZBOŻOWEGO OBROTOWĄ RYNNĄ ZASYPOWĄ CZĘŚĆ II – WERYFIKACJA MODELU

Streszczenie

Poddano ocenie podobieństwo zaproponowanego matematycznego modelu do modelowanego procesu. Weryfikacji dokonano porównując wyniki rozwiązania zagadnienia odwrotnego i wyniki symulacji z wynikami eksperymentu naturalnego. Uzyskane wyniki wskazują, że zaproponowany model dobrze opisuje proces napełniania silosu i może być wykorzystany przy optymalizacji parametrów konstrukcyjnych rynny zasypowej.

Słowa kluczowe: silos, napełnianie, rynna zasypowa, model, symulacja procesu, weryfikacja

Oznaczenia

- c_0 - współczynnik lotności, m^{-1}
- φ - naturalny kąt usypu, rad
- μ - współczynnik tarcia ślizgowego ziarno-materiał rynny
- ω - prędkość kątowna, rad/s
- q - obciążenia powierzchni przekroju poprzecznego silosu masą ziarna, kg/m^2

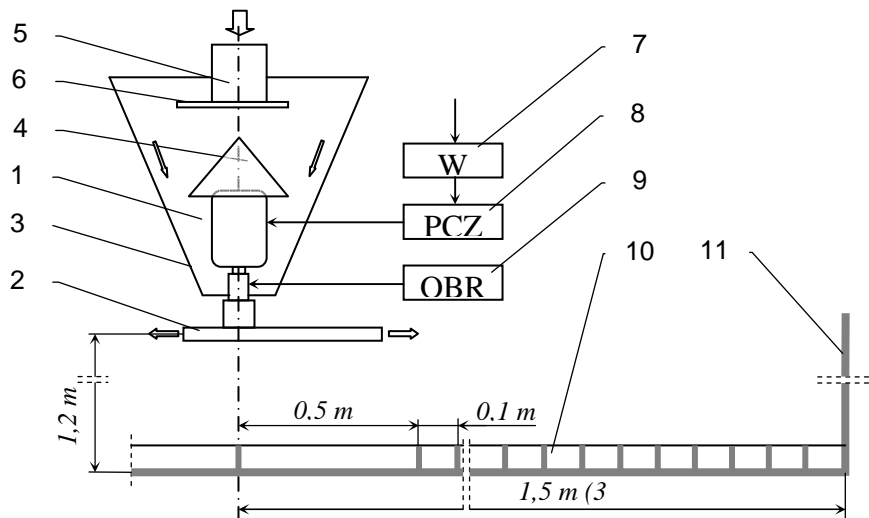
Wprowadzenie

W pierwszej części opracowania przedstawiono matematyczny i operacyjny model procesu. Ocena przydatności zaproponowanego rozwiązania oraz dalszego ewentualnego wykorzystania wyników, uzyskanych w wyniku symulacji procesu wymaga weryfikacji przyjętych założeń i oceny podobieństwa modelu do modelowanego procesu. Weryfikacji takiej można dokonać jedynie na podstawie wyników eksperymentu naturalnego.

Eksperyment naturalny

Ze względu na skalę, koszt i czas badań z wykorzystaniem rzeczywistego silosu, wykonano jedynie ograniczony eksperyment w warunkach

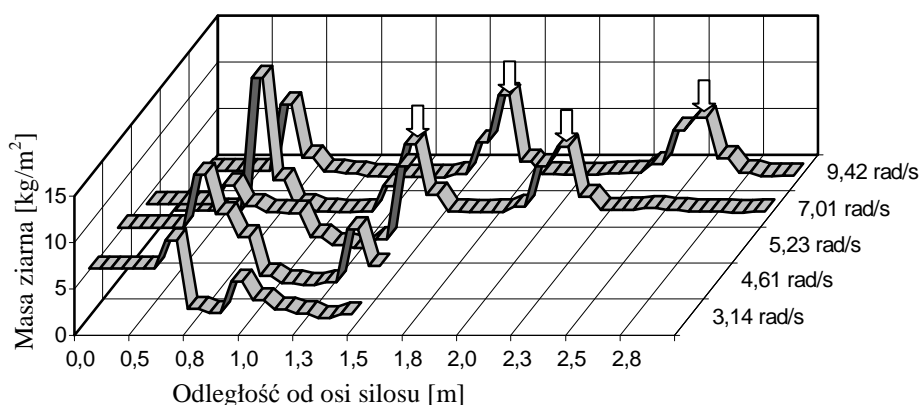
laboratoryjnych, na zaprojektowanym i wykonanym w tym celu stanowisku badawczym (rys.1).



Rys.1. Stanowisko badawcze: 1-silnik elektryczny, 2-rynna rozrzucająca, 3-kosz zasypowy, 4-osłona silnika, 5-zasyp, 6-regulator wydajności zasypu, 7-watomierz, 8-przeźniennik częstotliwości, 9-obrotomierz, 10-pojemnik pomiarowy, 11-płaszcz silosu

Fig. 1. Experimental stand: 1 – electric motor, 2 – rotary distributing chute, 3 – charging hopper, 4 – motor shield, 5 – charge, 6 – charge intensity controller, 7 – wattmeter, 8 – frequency converter, 9 – revolution counter, 10 – measuring container, 11 – silo wall

Urządzenie zasypowe każdorazowo zasilano ziarnem pszenicy odmiany Elena o łącznej masie 50 kg. Doświadczenie przeprowadzono przy prędkościach kątowych rynny 314 rad/s, 4,61 rad/s i 5,24 rad/s dla silosu o średnicy 3 m, oraz przy prędkościach 7.02,i 9.42 rad/s dla silosu o średnicy 6 m. Zasypywany materiał zbierano do ustawionego promieniowo pojemnika o szerokości 0,1 m, podzielonego na odcinki o długości: pierwszy 0,5 m i następne po 0,1 m, licząc od osi symetrii silosu. Ziarno, które znalazło się w poszczególnych jego odcinkach ważono z dokładnością $\pm 1,0 \cdot 10^{-5}$ kg. Uzyskane wyniki, przeliczone na jednostkę powierzchni silosu, przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Obciążenie powierzchni silosu masą ziarna
 Fig. 2. Loading of silo surface with the mass of grain

Weryfikacja modelu

Weryfikację modelu przeprowadzono w dwu etapach, wyodrębniając:

- ocenę podobieństwa wykorzystywanych wartości parametrów modelu,
- ocenę podobieństwa wyników eksperymentu symulacyjnego do wyników eksperymentu naturalnego.

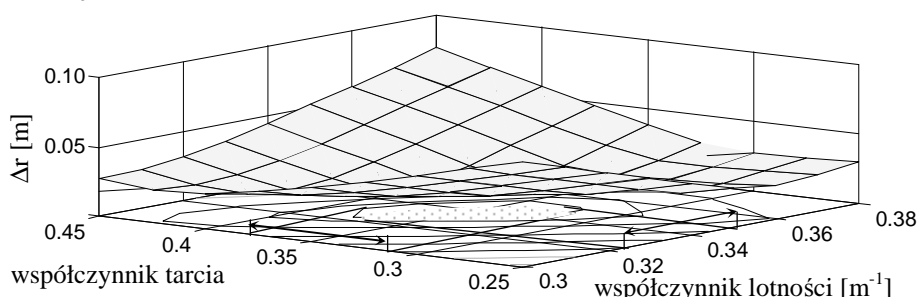
Ocena podobieństwa wartości parametrów modelu

Dla potrzeb modelu cechy ziarna charakteryzowane są przez współczynnik tarcia ślizgowego μ (faza przemieszczania) i współczynnik oporów aerodynamicznych c (faza lotu). Zamiast wartości bezwzględnej współczynnika c , w obliczeniach posłużono się współczynnikiem lotności c_0 , którego wartość oznacza zdolność ziarna do stawiania oporu strumieniowi powietrza [Grochowicz 1994]. Wartości tych parametrów zaczerpnięto z literatury. Weryfikując przyjęte założenia wykonano serię eksperymentów symulacyjnych przy zmiennej wartości współczynnika tarcia w przedziale od 0,2 do 0,8 i zmiennej wartości współczynnika oporów aerodynamicznych w przedziale od 0,1 do 0,6 m^{-1} . Poszukiwano wartości optymalnych, przy których różnica między odległością rzutu w eksperymencie naturalnym i symulacyjnym byłaby minimalna:

$$\min \Delta r = \sqrt{(r_{1eks} - r_{1sym})^2 + (r_{2eks} - r_{2sym})^2} \quad (1)$$

Ze względu na wyraźnie zaznaczone odległości rzutu dla obu końców rynny (rys.2), do oceny wykorzystano wyniki eksperymentu naturalnego uzyskane przy prędkościach kątowych 7,02 rad/s i 9,42 rad/s i średnicy silosu 6 m. Wyniki obliczeń (rys.3.) wskazują, że minimalne różnice

wystąpią przy współczynniku tarcia $0,32 \leq \mu \leq 0,38$ i współczynniku lotności $0,32 \leq c_0 \leq 0,35 \text{ m}^{-1}$.



Rys.3. Optymalizacja wartości współczynnika tarcia i współczynnika lotności
Fig. 3. Optimization of friction coefficient and flying index values

Uzyskane wartości współczynnika tarcia mieszczą się w granicach danych eksperymentalnych ($0,36 \div 0,65$ [Grochowicz 1997], $0,25 \div 0,45$ [Molenda i in. 1996]), natomiast wartości współczynnika lotności są około 3 razy większe od eksperymentalnych ($0,076 \div 0,121$ [Grochowicz 1997]). Hipotetyczną przyczyną różnic, w tym przypadku może być:

- inny (znacznie niższy) zakres prędkości ruchu niż w danych z literatury;
- opory nie dotyczą pojedynczego ziarniaka, lecz pewnej masy razem poruszających się nasion, a w czasie ruchu dochodzi do zderzeń pomiędzy poruszającymi się ziarniakami;
- obracająca się rynna zasypowa wymusza ruch powietrza, zakłócający zjawisko swobodnego upadku.

Ocena podobieństwa wyników symulacji

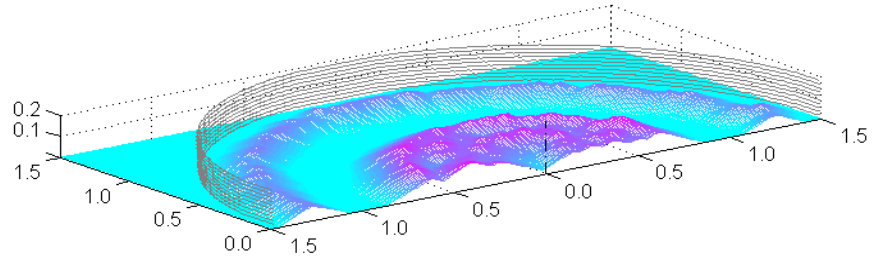
Symulację procesu napełniania wykonano przy prędkościach kątowych 3,14 rad/s, 4,61 rad/s i 5,24 rad/s i średnicy silosu 3 m. Chwilowe wartości naturalnego kąta usypu, współczynnika tarcia ślizgowego i współczynnika lotności generowano z rozkładu normalnego (tab. 1).

Tabela 1. Wybrane wielkości fizyczne, charakteryzujące materiał
Table 1. Selected physical parameters of the material

Wielkość	Symbol	Jednostka	Wartość średnia	Odchylenie przeciętne
Naturalny kąt usypu	φ	radian	0.390	0.040
Współczynnik tarcia	μ	-	0.350	0.030
Współczynnik lotności	c_0	m^{-1}	0.345	0.015

Na podstawie kształtów swobodnych powierzchni usypu, obliczano miejscowe obciążenia masą ziarna, przypadające na jednostkę powierzchni przekroju poprzecznego silosu. Losowy charakter niektórych parametrów

powoduje, że kształt ten nie jest osiowosymetryczny (rys. 4).



Rys.4. Kształt powierzchni usypu przy prędkości kątowej 4,61/s.
Fig. 4. Shape of heaped surface at angular velocity 4.61/s

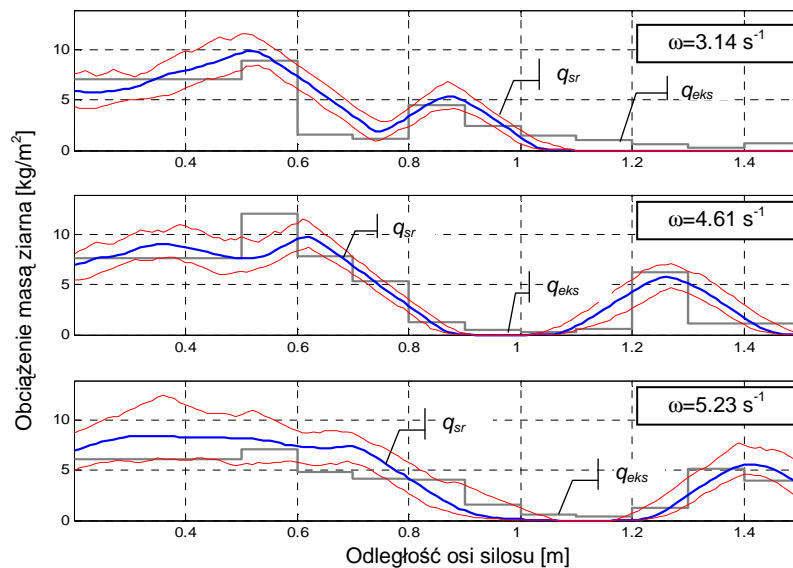
Z tych też względów dla celów porównawczych brano pod uwagę wartości średnie obciążenia q_{sr} , wyznaczone z zależności:

$$q_{sr}(r) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N q\left(r, \frac{2 \cdot \pi \cdot i}{N}\right) \quad (2)$$

oraz wartości minimalne i maksymalne, gdzie:

$$q_{\min}(r) = \min_{1 \leq i \leq N} \left[q\left(r, \frac{2 \cdot \pi \cdot i}{N}\right) \right]; \quad q_{\max}(r) = \max_{1 \leq i \leq N} \left[q\left(r, \frac{2 \cdot \pi \cdot i}{N}\right) \right] \quad (3)$$

Wyniki symulacji porównano z wynikami eksperymentu naturalnego (rys.5).



Rys. 5. Porównanie obciążenia silosu ziarnem: q_{sr} – symulacja procesu; q_{eks} – eksperyment naturalny
Fig. 5. Comparison of silo load with grain: q_{sr} – simulated process, q_{eks} – natural experiment

Wnioski

Uzyskane na podstawie rozwiązania zagadnienia odwrotnego wartości współczynnika tarcia oraz porównanie wyników symulacji z wynikami eksperymentu naturalnego wskazuje, że zaproponowany model dobrze opisuje proces napełniania silosu i może być wykorzystany przy optymalizacji parametrów konstrukcyjnych rynny zasypowej.

Bibliografia

Bowszys J. 2002. Analiza przebiegu suszenia i przechowywania nasion w silosach oraz wpływu tych procesów na jakość nasion. Projekt badawczy KBN Nr 5P06F00917

Grochowicz J. 1994. Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. AR Lublin

Molenda M., Horabik J., Ross I.J. 1996. Wear-in effects on smooth-wall bin. Trans. of the ASAE, 39(1): 225-231

FILLING THE GRAIN SILO BY MEANS A ROTARY CHUTE Part 2. Model verification

Summary

The study dealt with an assessment of similarity between proposed mathematical model and the process being modeled. Verification consisted in a comparison of reciprocal problem solution results and simulation results with the results of natural experiment. Obtained data showed that the process of filling the silo was satisfactorily described by the model proposed. Thus, the model may be applied to optimizing construction parameters of the loading chute.

Key words: grain silo, filling, loading chute, model, process simulation, verification

Recenzent – Zbigniew Siarkowski