ZESZYTY PROBLEMOWE POSTĘPÓW NAUK ROLNICZYCH 1995 z. 424

BADANIA MODELOWE ZBIORNIKÓW NA MATERIAŁY SYPKIE

Józef Horabik, Marek Molenda

Instytut Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk, Lublin

Synopsis: W pracy porównano rozkłady obciążenia ściany i dna modelowych zbiorników o identycznym kształcie i różnej wielkości napełnionych ziarnem pszenicy. Stwierdzono, że zmiany współczynnika tarcia ziarna o ścianę spowodowane osadzaniem się kutyny na ścianie zbiornika pezewyższają znacznie błędy skali.

Słowa kluczowe: ośrodek sypki, rozkład naporu, silos

Wstęp

Szczegółowy pomiar rozkładu naporu w dużych silosach jest na ogół trudny do przeprowadzenia, dlatego też eksperymentalna weryfikacja obliczeń zbiorników na materiały sypkie oparta jest często na badaniach modelowych. Według powszechnie stosowanego w obliczeniach konstrukcyjnych równania Janssena [1895] napór ośrodka na ściany identycznego kształtu zbiorników o różnej wielkości liczony dla geometrycznie odpowiadających sobie punktów jest wprost proporcjonalny do rozmiaru zbiornika:

$$\sigma_n(z)=\frac{\rho g D}{4\mu}\left(1-\exp\left(-\frac{4k\mu z}{D}\right)\right) \qquad (1)$$

gdzie: D - średnica zbiornika, m,
g - przyspieszenie ziemskie, m/s^2,
k - stała Janssena (stosunek naporu poziomego do pionowego),
z - wysokość słupa ziarna w zbiorniku, m,
μ - współczynnik tarcia ziarna o ścianę,
ρ - gęstość, kg/m^3,
σ_n - napór poziomy, Pa.

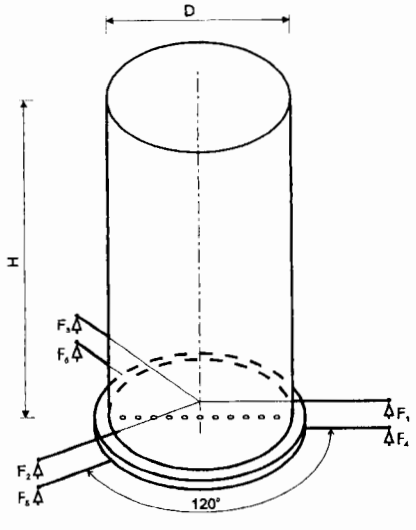
Pracę wykonano w ramach projektu badawczego nr 5 5513 9203 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1992-1995

Porównanie eksperymentalnych wartości naporu wyznaczanego na zbiornikach o różnej wielkości jest często zakłócane przez błędy skali. Rozkłady naporu otrzymywane na modelach przewyższają na ogół wartości naporu mierzonego na obiektach o naturalnej skali wielkości [Nielsen, Askegaard, 1977]. Najczęściej wymieniane przyczyny rozbieżności to: przewymiarowana sztywność ścian modeli oraz brak skalowania wymiaru ziarna [Munch-Andersen, 1987].

Celem badań przedstawionych w tej pracy jest porównanie eksperymentalnych wartości obciążeń w identycznego kształtu zbiornikach o różnej wielkości.

Stanowisko pomiarowe oraz metoda badań

Pomiary przeprowadzono na trzech identycznego kształtu modelowych zbiornikach o średnicy 0,4, 0,6 oraz 2,4 m wykonanych z gładkiej blachy ocynkowanej oraz na dwóch zbiornikach wykonanych z blachy falistej o średnicy 0,6 oraz 1,2 m. Ściana i płaskie dno zbiorników zawieszone zostały oddzielnie, każde na trzech głowicach pomiarowych, co umożliwiało rozdzielenie pionowego obciążenia ściany od obciążenia dna (rys. 1). Pomiary przeprowadzono na ziarnie pszenicy klasy soft red winter wheat o wilgotności w zakresie 10-13%, a w przypadku zbiornika o średnicy 1,2 m również na ziarnie kukurydzy o wilgotności 13%. Badano centryczne oraz niecentryczne opróżnianie. Prędkość przepływu ziarna względem ściany zbiornika mieściła się w zakresie 2,8-3,1m/h. Pomiary przeprowadzono na Wydz. Inż. Rolniczej Uniwersytetu Kentucky w Lexington w USA.



Rys. 1. Schemat modelowego zbiornika: F_1 , F_2, F_3 - głowice podpierające ścianę, F_4, F_5, F_6 - głowice podpierające dno

Fig.1. Scheme of model bin: F_1 ,F_2 ,F_3 - heads supporting the wall, F_4 ,F_5 ,F_6 - heads supporting the bottom

Stosunek pionowego obciążenia ściany do ciężaru ziarna w zbiorniku (WTR, Wall Total Load Ratio, [Horabik i inni, 1995]) oraz bezwymiarowy wypadkowy moment siły (M/mgD) wyliczono ze wskazań trzech głowic podpierających ścianę (F_1, F_2, F_3):

$$WTR = (F_1 + F_2 + F_3) / mg \tag{2}$$

$$|M / mgD| = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{mgD} \tag{3}$$

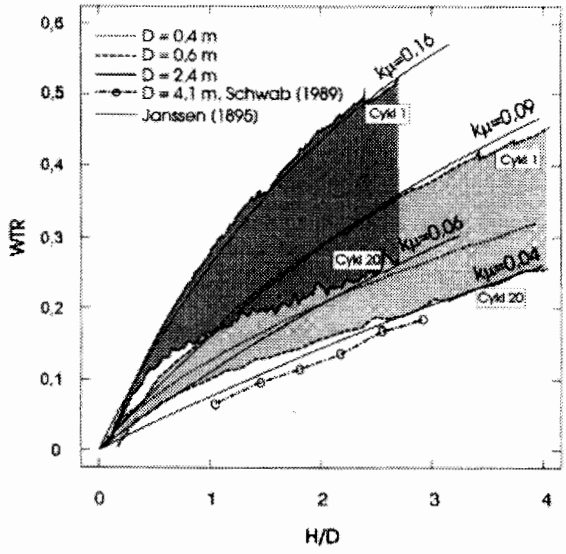
gdzie: $M_x = R(F_1 \sin\alpha_1 + F_2 \sin\alpha_2 + F_3 \sin\alpha_3)$,
$M_y = -R(F_1 \cos\alpha_1 + F_2 \cos\alpha_2 + F_3 \cos\alpha_3)$,
α_1, α_2, α_3 - współrzędne kątowe głowic,
m - masa ziarna w zbiorniku, kg,
R - odległość głowic od osi symetrii zbiornika, m.

Wyniki badań

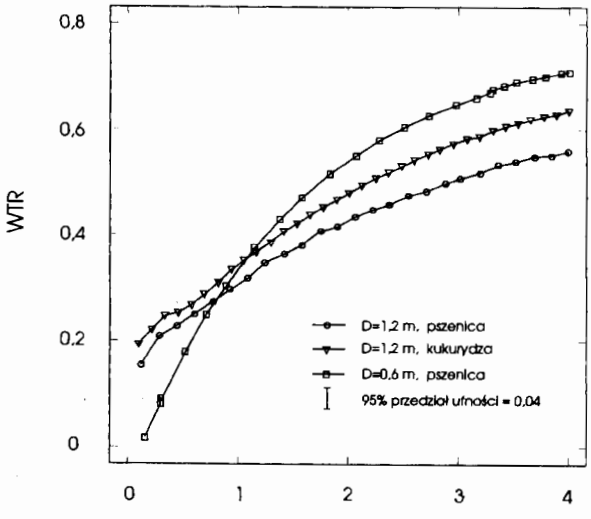
Stwierdzono blisko dwukrotny spadek wartości WTR w trakcie pierwszych dwudziestu cykli pomiarowych (rys. 2), co wskazuje na silną zależność współczynnika tarcia o ścianę od warstwy kutyny, jaka osadza się na gładkiej ścianie podczas przepływu ziarna. Różnice w przebiegach WTR - H/D ustawały po uformowaniu się równowagowej warstwy substancji organicznej na ścianie. Średnia wartość WTR w stanie równowagi warunków ciernych wynosiła 0,2±0,05. Rysunek 2 przedstawia również porównanie eksperymentalnych przebiegów WTR - H/D z teoretycznymi, wyliczonymi w oparciu o scałkowane równanie Janssena (1) dla skrajnych wartości iloczynu $k\mu$:

$$WTR(H/D) = \frac{4}{\pi D^2 H \rho g}\int_0^H \pi D \mu \sigma_n(z)dz = 1 - \frac{1}{4k\mu\frac{H}{D}}\left(1 - \exp\left(-4k\mu\frac{H}{D}\right)\right) \tag{4}$$

Spadek wartości iloczynu $k\mu$ z 0,16 dla pierwszego cyklu pomiarowego do 0,06 dla dwudziestego spowodowany jest redukcją współczynnika tarcia z 0,45 do 0,16 [Molenda i inni, 1994]. Dominujący wpływ powierzchniowej warstwy kutyny zanika w przypadku ściany wykonanej z blachy falistej ograniczającej istotnie obszar bezpośredniego przemieszczania się ziarna względem ściany. Eksperymentalne przebiegi WTR - H/D dla zbiornika wykonanego z blachy falistej (rys. 3) były niezależne od stopnia pokrycia ściany kutyną, a różnice wartości wynikają jedynie z błędów skali.



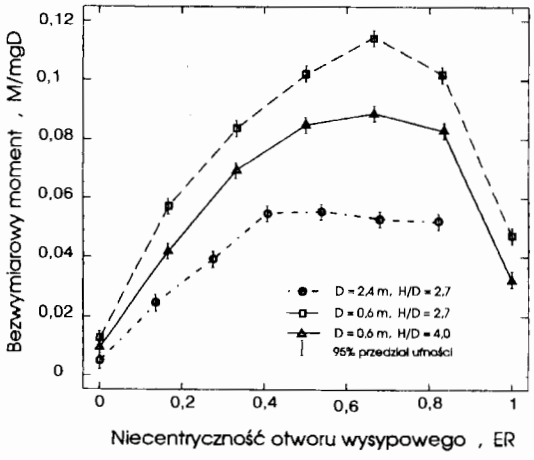
Rys. 2. WTR w funkcji H/D podczas napełniania zbiornika wykonanego z gładkiej blachy
Fig. 2. WTR in function H/D during filling the bin made of smooth metal sheet



Rys. 3. WTR w funkcji H/D podczas napełniania zbiornika wykonanego z blachy falistej
Fig. 3. WTR in function H/D during filling the bin made of corrugated metal sheet

We wszystkich eksperymentach niecentrycznego opróżniania obserwowano zbliżony kształt zależności momentu siły wywieranego na ścianę zbiornika od niecentryczności otworu wysypowego ER (rys. 4). Niezależnie od rozmiaru zbiornika, rodzaju ściany i stopnia pokrycia kutyną maksimum momentu występowało przy niecentryczności otworu wysypowego w zakresie 0,4 - 0,6.

Wyniki badań wskazują, że współczynnik tarcia ziarna o ścianę jest parametrem decydującym najsilniej o rozkładzie obciążenia w zbiorniku. Chcąc wyodrębnić wpływ błędów skali należy w pierwszej kolejności zapewnić identyczne warunki tarcia w porównywalnych obiektach, co jest niezwykle trudne w przypadku ośrodków sypkich pochodzenia biologicznego. Również zmiana rozmiaru ziarna wraz ze zmianą rozmiaru zbiornika nie jest dobrą metodą badania problemu skali ze względu na trudności doboru nasion o różnej wielkości, zbliżonym kształcie i zbliżonych właściwościach ciernych.



Rys. 4. Bezwymiarowy moment siły wywierany na gładką ścianę zbiornika podczas niecentrycznego opróżniania

Fig.4. Dimensionless force momentum against smooth wall of the bin during noncentric unloading

Wnioski

1. Kutyna osadzająca się na gładkiej ścianie zbiornika podczas przepływu ziarna utrudnia śledzenie błędów skali ze względu na systematyczne zmniejszanie się wartości współczynnika tarcia o ścianę. W początkowym stadium użytkowania silosu wpływ kutyny na mierzony rozkład obciążenia przewyższa błędy skali. Przebiegi zależności WTR - H/D dla porównywanych zbiorników o gładkiej ścianie zarejestrowane po uformowaniu się równowagowej warstwy kutyny były zbliżone.

2. Zastosowanie blachy falistej jako ściany zbiornika pozwala ograniczyć dominujący wpływ kutyny na rozkład naporu.

3. Kształt zależności wypadkowego momentu siły od niecentryczności otworu wysypowego był podobny dla wszystkich badanych zbiorników niezależnie od jego skali oraz współczynnika tarcia o ścianę.

Bibliografia

Horabik, J.i inni. 1995. Wall and bottom loads in grain bins of different diameters. bulk solids handling, vol. 15, nr 2, s. 215-218.

Janssen, H. A. 1895. Versuche űber Getreidedruck in Silozellen. Zeitschrft, Deutscher Ingenieure, vol. 39, s. 1045-1049.

Molenda, M., J. Horabik, I. J. Ross. 1994. Wear-in effects on loads and flow in a smooth wall bin. ASAE Paper No. 94-4515, ASAE, St. Joseph, MI.

Munch-Andersen, J. 1987. The boundary layer in rough silos. Trans. Institution of Engineering, Australia, vol. ME 12, No. 3.

Nielsen, J., V. Askegaard. 1977. Scale errors in model tests on granular media with special reference to silo models. Powder Technol., vol. 16, s. 123-130.

Schwab, C.V. 1989. Grain pressure phenomenon in a circular flat bottom bin. Ph.D. Diss. U. of Kentucky, Lexington, KY.

J. Horabik, M. Molenda

MODEL STUDIES OF BULK MATERIALS BIN

Summary

Wall and bottom loads distribution in model grain bins of identical shape and different size, filled with wheat grain, was investigated. It was found that at the beginning of container use, changes of the coefficient of friction against the wall, caused by the deposition of cutin, made it difficult to observe scale errors. To specify the effect of the object«s scale, first one has to provide identical friction conditions in the bins being compared.