

Tomasz STACHOŃ*
Politechnika Wrocławska

ZAŁOŻENIA ANALIZY FALKOWEJ DO OPISU ZJAWISKA PRZEPLYWU MATERIAŁU SYPKIEGO PRZEZ SILOS

Streszczenie. Referat przedstawia zastosowanie analizy falkowej do modelowego opisu zagadnień związanych z przepływem materiału sypkiego przez silos. W celu ilustracji problemu zamieszczono przykładowe wykresy drgań ściany silosu podczas przepływu materiału. W dalszej części referatu sformułowano założenia modelu oraz opisano elementarny model ściany silosu.

ASSUMPTIONS OF WAVELET ANALYSIS FOR DESCRIPTION OF LOOSE MATERIAL FLOW THROUGH A SILO

Summary. The publication presents application of wavelet analysis in modelling description of loose material flow through a silo. The graphs are presented to show a dynamic character of material flow through a silo. The model assumptions are formulated and the elementary model of a silo wall is described.

1. Wprowadzenie

Obserwując charakter obciążenia podczas przepływu materiału sypkiego w silosie, jak i przemieszczenia ściany podczas rejestracji jej przemieszczeń i przyspieszeń, zaobserwowano, że procesy te nie mają regularnego przebiegu harmonicznego. Bliższa analiza zapisów z rejestratora pozwala zaobserwować następujące zjawiska:

1. Dużą zmienność w samym charakterze wykresu przemieszczeń w zależności od czasu.
2. Nakładanie się w niektórych przypadkach dwóch lub więcej funkcji opisujących te przemieszczenia.
3. Okresowość przebiegu tych zjawisk, które z reguły pojawiają się i zanikają.

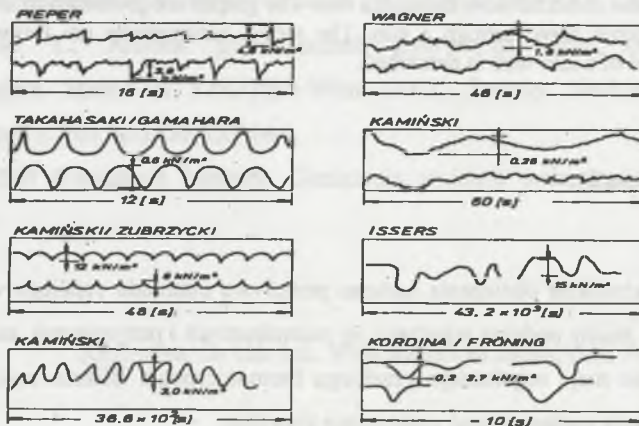
* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Andrzej Ubysz

4. Interferencję sygnału (fali) dominującego i fal o mniejszym znaczeniu z punktu widzenia konstrukcyjnego dla ściany silosu.

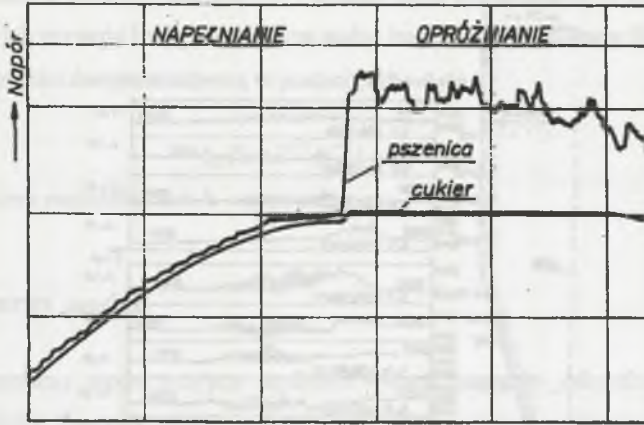
Jak dotąd, mimo podejmowania prób opisu drgań ściany silosu podczas przepływu materiału sypkiego [1, 2], brak jest modelu obliczeniowego, pozwalającego opisać drgania takiej ściany. Zaproponowane w tym referacie narzędzie nie stanowi także uniwersalnego modelu, ale pozwala, zdaniem autora, znacznie wzbogacić możliwość opisu istniejących wyników zarejestrowanych na obiektach rzeczywistych i modelach laboratoryjnych.

2. Przykłady drgań ściany silosu podczas przepływu materiału

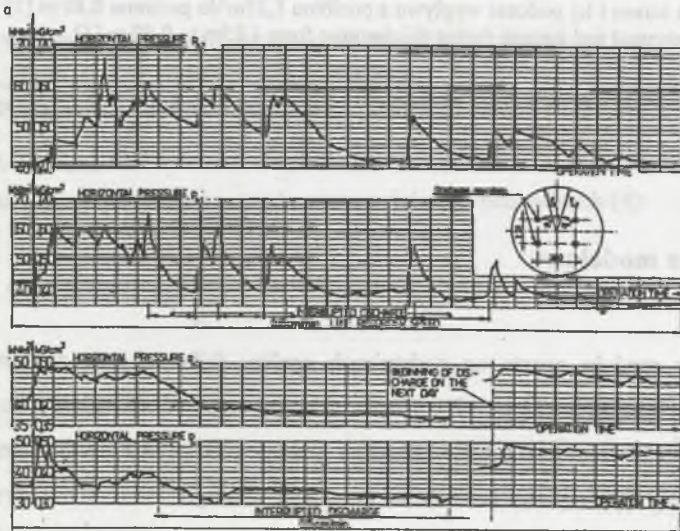
Wybrano kilka przykładów, w których pokazano przebieg zmian przemieszczeń w czasie podczas przepływu materiału sypkiego przez silos. Przedstawione rysunki ukazują dużą różnorodność wyników uzyskanych przez autorów badań. Wszystkie wykresy otrzymano w wyniku ciągłej rejestracji naporu. Ich zróżnicowanie pod względem okresowości zjawiska naporu wynika z różnych sposobów realizacji badań (różne modele, charakter przepływu i sposób rejestracji).



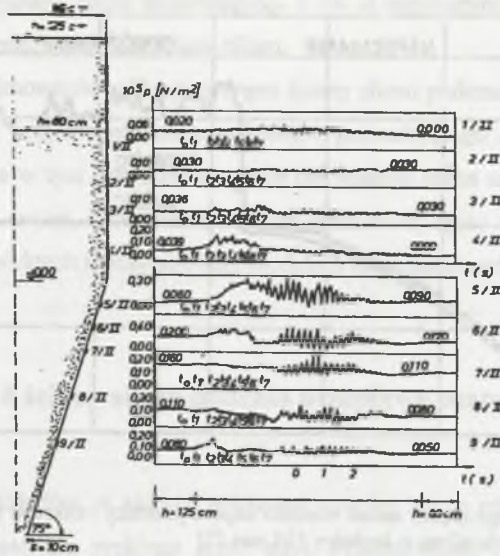
Rys.1. Schematy wybranych typów pulsacji naporu zarejestrowanego w trakcie opróżniania silosów[3]
 Fig.1. Selected types of pressure fluctuations recorded during discharging of a silo [3]



Rys.2. Fragmenty ciągłego zapisu zmian wartości naporu pszenicy i cukru w trakcie napełniania i opróżniania modelu silosu o średnicy 515 mm [3]
 Fig.2. Fragments of a continuous recording of wheat and sugar pressures during filling and discharging of a 515 mm diameter model of a silo [3]



Rys.3. Wykresy parcia poziomego na poziomie 0,33 h. [4]
 Fig.3. Horizontal pressure traces at level 0,33 h. [4]



Rys.4. Napór na ścianę i lej podczas wypływu z poziomu 1,25m do poziomu 0,80 m [1]
 Fig.4. Pressure on wall and hopper during discharging from 1,25m to 0,80 m [1]

Przykłady te przedstawiono w celu ilustracji problemu jako zadania o praktycznym znaczeniu przy eksploatacji silosów.

3. Założenia modelowe

Propozycję modelu oparto na podstawach analizy falkowej [5], z której to analizy wybrano następujące elementy:

- Przemieszczenia ściany mają charakter losowy, jednak na tym poziomie budowania modelu przyjęto quasi - harmoniczny charakter funkcji.
- Funkcje mogą interferować, przy czym zakłada się, że zawsze istnieje funkcja bazowa opisująca tzw. falę główną, oraz mogą istnieć funkcje drugorzędne (falki) opisujące możliwe fluktuacje (1):

$$F_{j+1}(t) = F_j(t) + f_j(t) \quad (1)$$

- Falki można skalować parametrem i przekształcać przez translację, co pozwala opisać proces ich rozwoju i wygaszania oraz nadać im charakter okresowy. Funkcję skalującą przyjęto jako dwuparametrową w postaci (2):

$$\phi_{jk}(t) = 2^{j/2} \phi(2^j t - k) \quad (2)$$

Gdzie: j – poziom rozdzielczości, k – translacja.

4. Elementarny model

Jako elementarny model przyjęto myślowo wycięte pasmo o jednostkowej szerokości, które stanowiłoby fizyczny model ściany silosu osiowo symetrycznego. Bazową funkcją przemieszczeń jest rozwiązanie równania ruchu o masie „ m ” tłumieniu „ c ” i sztywności „ k ” (3):

$$m \frac{\partial^2 w_1}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 w_1}{\partial z^4} = p_1(z, t) \quad (3)$$

Gdzie: p_1 – obciążenie statyczne i dynamiczne wywołane przepływem materiału przez silos, $w = w(z, t)$.

Z bazową funkcją przemieszczeń mogą interferować drgania od tzw. suchego tarcia, które w założeniu są proporcjonalne do przemieszczenia lub jego pochodnych (4):

$$m \frac{\partial^2 w_2}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 w_2}{\partial z^4} = p_2(w_2, z, t) \quad (4)$$

W klasycznym rozwiązaniu równania różniczkowego przewiduje się funkcję „ w_1 ” i „ w_2 ” w postaci harmonicznej, jednak o istotnie różnych parametrach opisujących amplitudy, częstość drgań własnych i czas trwania. Funkcja „ w_1 ” ma częściej prostszy charakter, który można opisać funkcjami liniowymi.

Przekształcenie w analizie falkowej polega na nałożeniu na funkcję bazową (w_1) funkcji falkowej (w_2) (5):

$$w_p = w_1 \oplus w_2 \quad (5)$$

Gdzie: w_p - funkcja bazowa po przekształceniu; w_1 - funkcja bazowa przed przekształceniem; w_2 - funkcja falkowa.

Do przekształcenia wykorzystuje się funkcję skalującą $\phi(t)$ (6) której parametry można ustalić na podstawie badań doświadczalnych:

$$\phi(t) = \sum_k w_{2k}(z, t) \phi(2t - k) \quad (6)$$

Gdzie: parametr skalowania $a = 2$; k – translacje nałożonego rozwiązania na rozwiązanie podstawowe w_1 .

5. Podsumowanie

Zaproponowany sposób modelowania przemieszczeń ścian silosu podczas przepływu materiału sypkiego jest z jednej strony oryginalną propozycją opisu zjawiska, z drugiej przykładem praktycznego zastosowania jednej z nowszych teorii mechaniki teoretycznej. Teoria ta pozwala opisać w sposób zwięzły charakterystyczne zjawiska towarzyszące oddziaływaniom dynamicznym na główne elementy konstrukcyjne silosu. Innym ważnym aspektem jest możliwość opisu rzeczywistych badań doświadczalnych zarówno w postaci rozwiązań zamkniętych, jak i numerycznych.

LITERATURA

1. Borcz A.: Silosy w przemyśle materiałów wiążących. Wydawnictwo Pol. Wrocławskiej, 1987.
2. Niedostatkiewicz M., Tejchman J.: Efekty rezonansowe w materiałach sypkich w procesie opróżniania silosów. XI Konferencja „Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i ciecze”, Świeradów Zdrój, październik 2000, s. 151 – 159.
3. Kamiński M.: Badania naporu bezkohezyjnych materiałów sypkich w silosach. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej nr 50. Monografie nr 20, Wrocław 1986.
4. Hamdy Hessien Abd – el – rahim: Experimental and theoretical analysis of dynamic effects in cement storage silos, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 1991.
5. Głabisz W.: Pakietowa analiza falkowa w zagadnieniach mechaniki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2004.

Recenzent: Dr hab. inż. Sławomir Kosiński, prof. Pol. Częstochowskiej