

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15-18 października 2024

Modelowanie elementarnego procesu zderzenia ziarna zbożowego ze sztywną powierzchnią na kierunku normalnym

Jacek Marcinkiewicz¹, Jarosław Selech¹

¹Zakład Maszyn Roboczych, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska
email: jacek.marcinkiewicz@put.poznan.pl, jaroslaw.selech@put.poznan.pl

STRESZCZENIE: W ramach podjętych działań opisano proces modelowania sił kontaktowych w układzie ziarno pszenicy-powierzchnia zespołu roboczego dla zjawiska zderzenia w kierunku prostopadłym. Dokonano przeglądu zjawisk determinujących zachowania obiektu badań w warunkach nagłej zmiany parametrów kinematycznych (zderzenia). Zidentyfikowano ograniczenia istniejących modeli i zaproponowano nową formę opisu relacji pomiędzy siłą działającą na ziarno, a odkształceniem. Ustalono formę graficzną tej relacji, w postaci histerezy o kształcie, nachyleniu i polu zależnym od prędkości uderzenia. W wyniku przeprowadzonych prac badawczych określono parametry opracowanych modeli. Modele te przygotowano w formie funkcji umożliwiającą ich implementację w oprogramowaniu do symulacji metodą elementów dyskretnych (DEM). Takie zastosowanie modeli pozwala na lepsze i dokładniejsze przewidywanie w analizach komputerowych ruchu ziarna zbożowego. Aspekt ma istotne znaczenie w procesie projektowania i udoskonalania maszyn do wysiewu ziarna, co w konsekwencji umożliwia uzyskiwanie wysokich plonów.

SŁOWA KLUCZOWE: DEM, zderzenie, ziarno, model

1. Wstęp

Siew, będący jednym z najważniejszych etapów uprawy, ma decydujący wpływ na jakość i ilość uzyskiwanych plonów. Wysiew nasion przy użyciu siewników, ma na celu równomierne rozmieszczenie ich w glebie. Wpływa na nią wiele czynników, takich jak konstrukcja maszyny, geometria przewodów nasiennych, a także właściwości samych nasion [3].

Złożoność procesu wysiewu sprawia, że jego dogłębne poznanie, a tym samym optymalizacja konstrukcji siewników, jest trudna zarówno w warunkach polowych, jak i w laboratorium. Szczególnym wyzwaniem jest analiza ruchu pojedynczego ziarniaka w mechanizmie siewnika, gdzie podlega ono wielokrotnym odbiciom, co prowadzi do jego uszkodzeń. W obliczu licznych trudności, w badaniach i projektowaniu siewników coraz częściej sięga się po nowoczesne narzędzia, takie jak symulacje komputerowe (MES), wykorzystywane do analiz wytrzymałościowych, oraz metoda elementów dyskretnych (DEM) do modelowania zachowania materiałów sypkich.

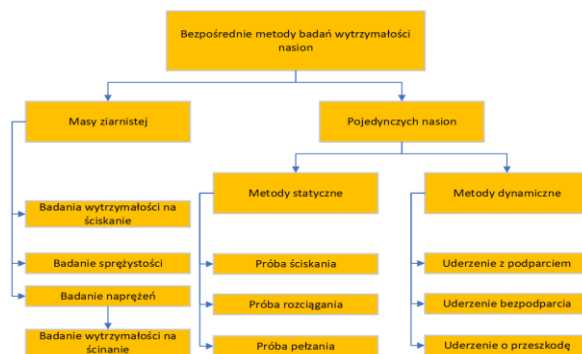
DEM z powodzeniem znajduje zastosowanie do odwzorowywania relacji zachodzących w trakcie ruchu pomiędzy ziarnami, gdzie dyskretny charakter sprawia, że relacje konstytutywne są złożone i wymagają licznych parametrów do wiernego odwzorowania zachowania materiału.

2. Identyfikacja właściwości mechanicznych nasion

Właściwości mechaniczne materiałów roślinnych to ich reakcje na obciążenia zewnętrzne, łączące zachowania sprężyste, plastyczne i lepkie [4, 5]. Aby precyzyjnie zidentyfikować te właściwości, konieczne są szczegółowe

testy laboratoryjne, umożliwiające określenie stałych materiałowych. Złożona budowa ziaren zbóż, wynikająca z nieregularnych kształtów, zmiennej zawartości wody i wielowarstwowej struktury anatomicznej, utrudnia jednoznaczne określenie ich wytrzymałości [5]. Z tego względu badania najczęściej dotyczą nasion o bardziej symetrycznych kształtach, zbliżonych do sferycznych.

W badaniach wyróżnia się dwa podejścia – jedno polega na analizie mas ziarnistych, a drugie na badaniu pojedynczych nasion. Oba te podejścia dają niezależne wyniki i powinny być traktowane jako odrębne metody oceny wytrzymałości ziarna. Wybór metody badawczej zależy od zamierzonego celu, którym może być identyfikacja właściwości ziaren, obliczeń inżynierskich lub badań symulacyjnych [4]. Zebrane dane stanowią podstawę do identyfikacji i parametryzacji modeli konstytutywnych, zarówno empirycznych, jak i teoretycznych, opisujących mechaniczne zachowanie rozważanych materiałów.



Rys. 1. Główne metody badań wytrzymałości nasion [2, 4]

3. Zjawisko kontaktu dla ziarna zbożowego

Zderzenie ziaren to złożone zjawisko, w którym dochodzi do krótkotrwałego kontaktu między nimi. W wyniku takiego zderzenia następuje szybkie rozproszenie energii, co powoduje silne oddziaływania oraz gwałtowne zmiany prędkości ziaren. Kontakt ten trwa przez określony, lecz bardzo krótki czas, a w jego wyniku dochodzi do lokalnych odkształceń ziaren, które mogą być sprężyste, plastyczne lub mieszane. Dodatkowo energia rozprasza się poprzez tarcie oraz drgania w strukturze ziarna [4].

Oddziaływanie udarowe czyli proces uderzenia można podzielić na dwa zasadnicze etapy: przed i po nastąpieniu pierwszego kontaktu. W takim przypadku, gdy kontakt występuje pomiędzy dwoma ciałami tj. gdy dwa ciała stykają się, po każdej stronie punktu styku działają równe, lecz przeciwne siły ściskające przeciwstawiające się ruchowi względnemu podczas kontaktu [7]. Jest to faza obciążania (ściskania) i trwa ona do momentu, aż prędkość względna obu ciał osiągnie wartość zerową, zgodnie z poniższą zależnością [7]:

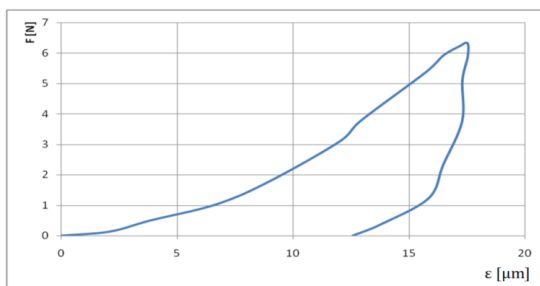
$$V_w(m + m') = mV + m'V' \quad (1)$$

gdzie: m , m' - masy zderzających się ciał, V, V' - prędkości zderzających się ciał, V_w - prędkość wypadkowa układu ciał na koniec pierwszej fazy kontaktu

Identyfikacja właściwości dynamicznych ziarna pszenicznego

Badania nad modelowaniem sił kontaktowych między ziarnem pszenicy a powierzchnią roboczą podzielono na dwa etapy [1]. Najpierw skupiono się na określeniu właściwości fizycznych samego ziarna pszenicy, przeprowadzając pomiary kluczowych parametrów. Wyniki tych pomiarów dostarczyły informacji potrzebnych do wyselekcjonowania grup ziaren, które miały zapewnić spójne i powtarzalne rezultaty w dalszych badaniach. W drugiej kolejności przystąpiono do analizy sił działających podczas zderzenia pojedynczego ziarna z płaską powierzchnią. Wyniki tych pomiarów dostarczyły warunków brzegowych niezbędnych do dalszych badań.

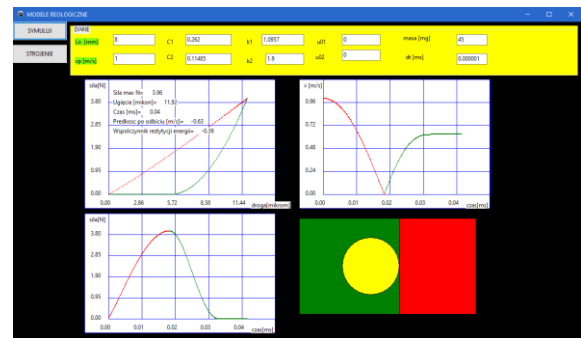
Ze względu na mikroskalę analizowanych zjawisk opracowano specjalistyczne stanowisko badawcze umożliwiające jednoczesną rejestrację przebiegu siły kontaktowej i odkształceń występujących w dynamicznie ściśniętej próbce. Uzyskane dane zostały wykorzystane do dobrania i parametryzacji modelu reologicznego dla ziaren pszenicy poddanych szybkozmiennemu obciążeniu.



Rys. 2. Przykładowa zależność siłowo-odkształceniowa dla ziarna pszenicy [6]

Opracowano także dedykowane oprogramowanie, którego zadaniem było dopasowanie krzywej o określonej formie do danych pomiarowych. Przy opracowaniu modelu wykorzystano zarówno wyniki badań eksperymentalnych, jak i wnioski z literatury dotyczące podstawowych modeli reologicznych. W efekcie podjętych działań stwierdzono, iż najlepszym dopasowaniem do danych empirycznych charakteryzuje się zależność potęgowa.

W celu potwierdzenia poprawności zaproponowanego modelu kontaktu zrealizowano szereg kalkulacji odwzorowujących zjawisko zderzenia ziarna z powierzchnią sztywną, uwzględniając 4 warianty obciążeniowe tj., zderzenie z siłą 5, 10, 15 oraz 20 N, które zbadano w aspekcie wszystkich badanych poziomów wilgotności (7, 10, 13 oraz 16%). Podjęte prace pozwoliły na wykreślenie pętli histerezy oraz porównanie ich z przebiegami uzyskanymi w wyniku badań empirycznych.



Rys. 3. Wyniki symulacji zderzenia [6]

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono problematykę identyfikacji oraz modelowania sił kontaktowych dla ziarna zbożowego dotyczącą zmian jego właściwości mechanicznych w aspekcie zjawisk o przebiegu dynamicznym. W ramach realizacji celu wykonano następujące zadania: zidentyfikowano zjawiska związane ze zderzeniem ziarna z powierzchnią roboczą, ustalono relacje siła-odkształcenie dla zderzenia ziarna z płaską powierzchnią, znaleziono funkcję matematyczną najlepiej opisującą zależności siłowo-odkształceniowe, wytypowano matematyczny model sił podczas zderzenia, zweryfikowano model przez symulacje DEM,

5. Literatura

- [1] Alizadeh, E., Bertrand, F., Chaouki, J., Development of a granular normal contact force model based on a non-Newtonian liquid filled dashpot, *Powder Technology*, 237, s. 202-212, 2013.
- [2] Frączek, J., Kaczorowski, J., Ślipek, Z., Horabik, J., Molenda, M., *Standaryzacja metod pomiaru właściwości fizyczno-mechanicznych roślinnych materiałów ziarnistych*, Lublin, 2003.
- [3] Grochowicz, J., *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin, 1994.
- [4] Horabik, J., Wiącek, J., Parafiniuk, P., Bańda, M., Kobyłka, R., Stasiak, M., Molenda, M., *Calibration of discrete-element-method model parameters of bulk wheat for storage*, *Biosystems Engineering*, 200, s. 298-314, 2020, ISSN 1537-5110.
- [5] Laskowski, J., Janiak, G., *Metodyka określenia cech wytrzymałościowych ziarna dla potrzeb procesów przetwórczych*, *Biuletyn Naukowy Przemysłu Paszowego*, 1, s. 45-58, 1996.
- [6] Marcinkiewicz J., *Modelowanie sił kontaktowych w układzie ziarno roślinne-powierzchnia zespołu roboczego w aspekcie zjawisk o przebiegu dynamicznym*, *Rozprawa Doktorska*, Poznań 2023.
- [7] Marinack, Jr, M.C., Musgrave, R.E., Higgs III, C.F., *Experimental investigations on the coefficient of restitution of single particles*, *Tribology Transactions*, 56(4), s. 572-580, 2013.