

Paweł RATUSZNY

e-mail: ratuszny@uni.opole.pl

Katedra Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Opole, Opole

Zmiana gęstości złóż ziarnistych pod działaniem nacisku zagęszczającego

Wstęp

Prasowanie materiałów sypkich ma zastosowanie w takich procesach jak brykietowanie, granulowanie, tabletkowanie. Ostatnio nastąpił zdecydowany wzrost zainteresowania tymi technologiami z powodu zwiększonego zapotrzebowania na paliwo ekologiczne – pelety czyli sprasowany materiał pochodzenia roślinnego. Z prasowaniem substancji mamy również do czynienia w przypadku magazynowania słomy, zarówno na cele produkcji rolnej – wyściółka, jak i opałowe.

We wszystkich wspomnianych wyżej procesach mamy do czynienia z aglomeracją przynajmniej wysokiego zgniotu [Hejft 1991]. Surowiec poddawany takiej aglomeracji musi być odpowiedniej wilgotności i wcześniej rozdrobniony. Zjawiska zagęszczania mogą zachodzić nawet w pozornie statycznych warunkach przechowywania ziaren, w silosach [Dyląg i in., 2009].

Zagęszczenie złoża ziarnistego może mieć jeszcze inne zastosowanie, np. w celu zmniejszenia objętości i lepszego upakowania ziaren [Gajda i Ratuszny, 2011].

Zmniejszenie wolnych przestrzeni międzyziarnowych zmniejsza swobodę ruchu ziaren, co z kolei ogranicza proces segregacji wtórnej mieszanin [Stręk, 1981].

Istotna jest tu również redukcja tlenu w zbiorniku, która może korzystnie wpływać na warunki składowania zboża, w systemie przechowywania hermetycznego. Zmniejszenie ilości tlenu powoduje przestawienie się ziarna i składników masy zbożowej na oddychanie anaerobowe. W warunkach takich ustają procesy życiowe drobnoustrojów będących w przeważającej większości tlenowcami oraz wykluczony rozwój owadów i roztoczy. O ile wilgotność ziarna przechowywanego w takich warunkach jest niższa od krytycznej, nie pogarszają się jego własności technologiczne i odżywcze [Bulsiewicz i in., 1975].

W przypadku materiałów ziarnistych, w których znajdują się całe ziarna, użycie procesów wysokonaciskowych nie znajduje zastosowania, szczególnie w przypadku, kiedy mieszanka ma stanowić np. materiał siewny.

Dla tego rodzaju złóż ziarnistych należy zatem określić przedział stosowalności prasowania, aby zapewnić lepsze upakowanie złoża – zmniejszenie przestrzeni międzyziarnowych, ale bez uszkodzenia ziaren.

Badania doświadczalne

Prowadzone badania miały na celu wyznaczenie wartości liczbowych redukcji złoża i zmiany gęstości w zakresie niskich nacisków. W literaturze można znaleźć wiele wykresów i tabel prezentujących związek nacisku prasującego na objętość próbki, jednakże wyznaczone są głównie dla materiałów rozdrobnionych lub na potrzeby procesu granulowania czy brykietowania. Wykonane w niniejszej pracy pomiary przeprowadzono na potrzeby większego projektu badawczego dotyczącego procesów mieszania i segregacji niejednorodnych układów ziarnistych w czasie transportu.

Podane niżej wyniki będą wykorzystywane do celów projektowych przy konstruowaniu urządzeń pakujących. Należy tu wyraźnie zaznaczyć, że sprasowany materiał nie stanowi brykiety i znajduje się w opakowaniu, np. foliowym, a prasowanie ma ograniczyć segregację i zmniejszyć objętość transportowanej masy materiału.

Materiały

Badano ziarna zbóż, ich mieszaninę oraz substancję modelową – agalit, który jest materiałem twardym, o stosunkowo dużej gęstości. Bada-

no agalit o średnicy ziaren równej średniej średnicy ziaren gorczycy. Przed wykonaniem pomiarów ziarna przygotowano, oczyszczono, usunięto ziarna uszkodzone. Właściwości materiałów zestawiono w tab. 1:

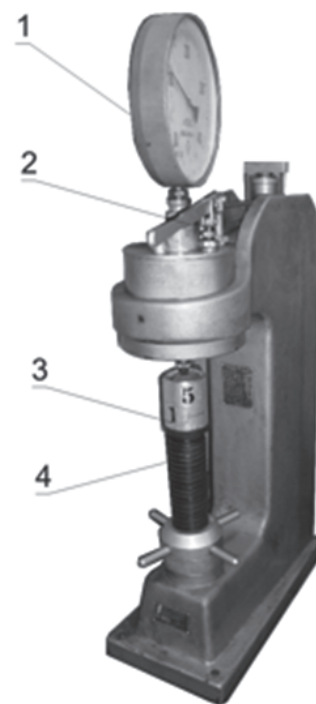
Tab. 1 Właściwości materiałów użytych do badań

Lp.	Materiał	Średnia średnica ziaren, mm	Gęstość nasypowa
1	Kukurydza	6,5	754
2	Soja	5,5	742
3	Pszenica	3,9*	759
4	Gorczyca	2,5	731
5	Agalit	2,5	1400
6	Układ: soja-gorczyca (1:1)	stos. średnic: 2,2	814

*) średnica zastępcza obliczona wg pracy [Stręk, 1981]

Stanowisko badawcze

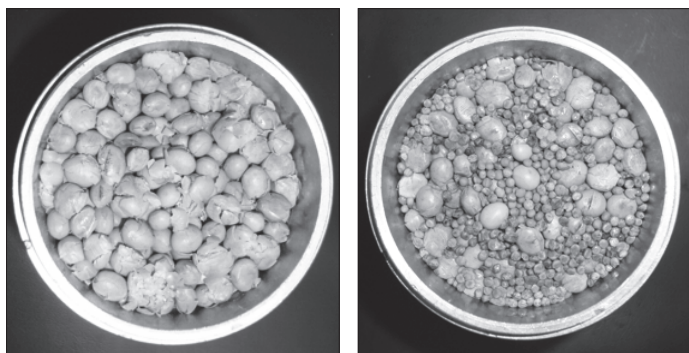
Do badań wykorzystano prasę z zamontowanym dynamometrem, która standardowo używana jest do pomiaru twardości metodą *Brinella*. Nacisk wytwarzany jest przez siłownik hydrauliczny z pompą oleju o napędzie ręcznym. Zamiast końcówki pomiarowej zamontowano tłok, a na stoliku pomiarowym, umieszczono cylinder wypełniony materiałem ziarnistym. Stolik pomiar w początkowej fazie pomiaru można dosunąć podnośnikiem śrubowym z gwintem trapezowym. Widok stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1. Wymiary cylindra: średnica wewnętrzna: 65 mm, wysokość 70 mm.



Rys. 1 Widok stanowiska pomiarowego: 1 – dynamometr, 2 – pompa oleju prasy, 3 – cylinder z materiałem ziarnistym, 4 – śruba do podnoszenia stołu pomiarowego [źródło własne]

Metodyka badań

Cylinder napełniano materiałem ziarnistym z niewielkiej wysokości, analogicznie jak przy pomiarze gęstości nasypowej i umieszczano w prasie. Zwiększając stopniowo nacisk mierzono przemieszczenie tłoka. Pomiar wykonywano suwmiarką, o dokładności pomiaru 0,05 mm, którą przykładano pomiędzy tłokiem, a nieruchomym korpusem prasy.



Rys. 2. Ziarna soi uszkodzone podczas ściskania [źródło własne]

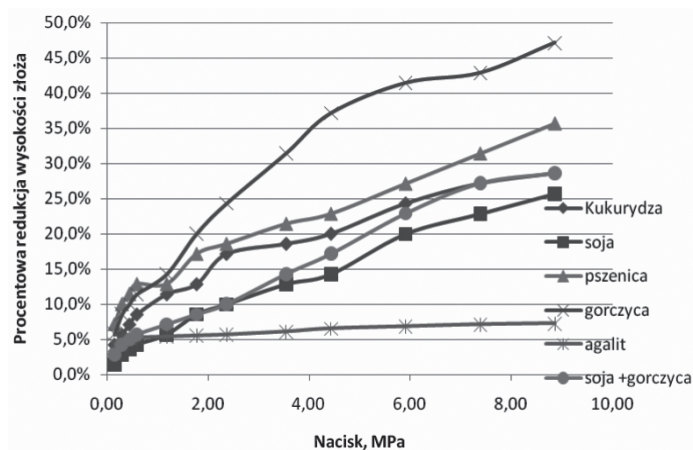
Rys. 3. Zdeformowane podczas ściskania ziarna gorczycy wypełniają dokładnie przestrzenie pomiędzy ziarnami soi [źródło własne]

Sprawdzano również, kiedy (przy jakim nacisku na złoże) pojawiają się uszkodzenia ziaren (Rys. 2). Pękające ziarna wydają charakterystyczny dźwięk. Dla dokładnego wyznaczenia wartości nacisku, przy którym następuje pęknięcie ziaren, przyjęto pięć punktów pomiarowych powyżej oraz pięć punktów pomiarowych poniżej wartości nacisku, dla którego usłyszano charakterystyczny odgłos. Dla każdego z tych punktów wykonano oddzielny pomiar i obserwowano, czy już pojawiły się pęknięte ziarna.

Nacisk był jednowymiarowy, wzdłuż osi cylindra. Zakres wartości nacisku: 0–8,86 MPa. Jest to przedział obejmujący prasy niskiego i wysokiego zgniotu, ale znacznie poniżej brykietowania czy granulowania, dla materiałów rolniczych [Hejft, 1991].

Wyniki badań i ich omówienie

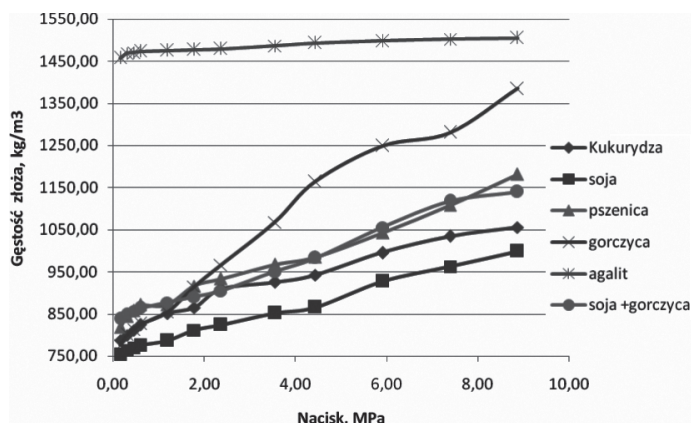
Wyniki badań przedstawiono na wykresach redukcji wysokości złoża oraz zmiany gęstości nasypowej w zależności od działającego nacisku (Rys. 4, 5).



Rys. 4. Procentowa redukcja wysokości złoża ziarnistego w zależności od nacisku

Wraz ze wzrostem nacisku zmniejsza się wysokość złoża, a co za tym idzie rośnie gęstość złoża, jednakże wzrost ten nie jest liniowy. Największe zmiany występują na początku działania tłoka. Przy naciskach 0,6 MPa uzyskano redukcję wysokości złoża od 5 do 10%. Podobnie jest z gęstością. Warto zwrócić tu uwagę, że największa redukcja wystąpiła dla ziaren pszenicy. Przy dalszym wzroście nacisku wysokość złoża ulega zmniejszeniu, jednak zmiana ta nie jest już tak silna – na wykresie widać wyraźną zmianę kąta nachylenia w okolicy 6 MPa.

Podczas pomiarów obserwowano również, kiedy pojawiają się pierwsze pęknięcia ziaren. Dla poszczególnych zbóż były to różne wartości, zawierały się jednak w przedziale 0,6 do 0,8 MPa. Dla agalitu pierwsze pęknięcia ziaren zaobserwowano przy nacisku 3,5 MPa.



Rys. 5. Zmiana gęstości złoża ziarnistego w zależności od nacisku

Można zatem wyciągnąć wniosek, że na początku procesu prasowania złoża ziarnistego następuje lepsze ułożenie ziaren względem siebie i redukcja przestrzeni międzyziarnowych. Potwierdzeniem tego jest szczególnie duża redukcja wysokości złoża pszenicy. Ziarna pszenicy są podłużne i w pierwszej fazie ściskania nie tylko przesuwają się względem siebie, ale również obracają się, układając się dłuższym wymiarem w poziomie.

Dalsze zwiększenie nacisku powyżej 0,6 MPa powoduje już uszkodzenie ziaren i zmniejszenie objętości złoża głównie przez to, że ziarna pęknięte mogą wypełnić przestrzenie między całymi ziarnami, podobnie jak w układzie soja – gorczyca małe ziarna gorczycy wypełniają pustki między dużymi ziarnami soi – stąd taka duża gęstość nasypowa na początku (Rys. 2, 3). Wnioski te potwierdza zachowanie agalitu, materiału twardego. Na początku również widać wyraźne zmniejszenie złoża, które potem, ze wzrostem nacisku zmienia się niewiele. Agalit w tym zakresie nacisku nie ulega zniszczeniu, a zmiana objętości próbki wynika ze zredukowania objętości przestrzeni międzyziarnowych na skutek lepszego upakowania złoża.

W przypadku ziaren gorczycy nie obserwowano pęknięcia ziaren, a ich deformację. Złoże już przy tych niewielkich naciskach (od 1 MPa) tworzyło brykiet, który można było w całości wyciągnąć z cylindra pomiarowego. Dla układu ziarnistego soja – gorczyca ziarna soi uległy pęknięciom, a zdeformowane ziarna gorczycy wypełniły szczelnie przestrzenie między znacznie większymi ziarnami soi.

Wnioski

Zmiana wysokości złoża w zależności od nacisku nie ma przebiegu liniowego.

W początkowej fazie prasowania ziarna przemieszczają się względem siebie i obracają. Obserwuje się wtedy największą redukcję objętości złoża.

Największą zmianę gęstości zaobserwowano dla gorczycy (190%), najmniejszą dla agalitu (9%), przy nacisku 8,6 MPa. Ziarna gorczycy zostały mocno zdeformowane, a w agalicie zaobserwowano niewiele ziaren pękniętych.

Stosując metodę zagęszczania złoża do ograniczenia segregacji wtórnej można stosować naciski do 0,6 MPa i redukcję objętości złoża do 5%. Powyżej tych wartości ziarna zbóż zostaną uszkodzone.

LITERATURA

- Bulsiewicz T. (red.), Matzke W., Smarzyński E., Świątek H., 1975. *Magazynowanie ziarna zbóż, nasion strączkowych i oleistych*. WNT, Warszawa
- Dyląg M., Kamieński J., Szatko W., 2009. Modelowanie samoprzemieszczania ziaren podczas magazynowania. *Inż. Ap. Chem.* **49**, nr 1, 94-95
- Gajda S., Ratuszny P., 2011. Zmiana jakości niejednorodnych układów ziarnistych w czasie transportu. *Przem. Chem.* **90**, nr 9, 1639-1641
- Hejft R., 1991. *Ciśnieniowa aglomeracja pasz i podstawy konstrukcji urządzeń granulująco-brykietujących*. Rozpr. Nauk. Pol. Białostockiej, nr 11
- Stręk F., 1981: *Mieszanie i mieszalniki*. WNT, Warszawa