

METODA POMIARU LICZBY PUNKTÓW STYKU POMIĘDZY NASIONAMI

Jarosław Frączek, Marek Wróbel

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie: W pracy przedstawiono badania, mające na celu opracowanie nowej metody określania liczby punktów styku LS w złożach roślinnych materiałów ziarnistych o niskiej wilgotności, w których nie można stosować metody Bernala-Masona. Metoda opiera się na założeniu, że obserwacja sekwencji obrazów przekrojów złoża nasion, które wcześniej zostało usztywnione, pozwala na wykrycie i policzenie miejsc w których nasiona stykają się ze sobą. Ustalono procedurę przebiegu pomiaru obejmującą: tworzenie próbki w cylindrycznym pojemniku o wymiarach $\varnothing=45$ mm i $h=40$ mm (dla nasion drobnych) oraz $\varnothing=75$ mm i $h=70$ mm (nasiona duże) i zalewanie żywicą usztywniającą Technovit 7100 oraz, cięcie próbki na Mikrotomie z zachowaniem optymalnej odległość $a=0,005$ mm, akwizycję obrazu przekrojów wykonywaną bezpośrednio po odcięciu każdej kolejnej warstwy złoża aparatem cyfrowym zainstalowanym na mikrotomie, określenie LS dla 100 nasion znajdujących się w centrum próbki. Dzięki opracowanej metodzie możliwy jest pomiar liczby punktów styku w złożach nasion o wilgotności poniżej 18%.

Słowa kluczowe: roślinne materiały ziarniste, liczba punktów styku, geometria nasion, analiza obrazu

Wstęp

Tworzone modele materiałów ziarnistych bazują na różnych parametrach. Jednak do podstawowych należy zaliczyć współczynnik wypełnienia φ , oraz liczbę punktów styku LS .

W zasadzie, jedyną metodą pozwalającą na pomiar LS jest metoda zaproponowana przez Bernala i Masona [1960] polegająca na zalewaniu złoża farbą znacząca miejsca styku granul. Stosowano ją pierwotnie do określania liczby styków i prawie-styków w złożach zbudowanych z jednakowej wielkości kulek łożyskowych [Bernal, Mason 1960; Scott 1960] lub też elipsoid [Donev i in. 2004].

Frączek i Wróbel [2006] przeprowadzili badania mające na celu adaptację wspomnianej metody do określania liczby punktów styku w złożach roślinnych materiałów ziarnistych. Autorzy stwierdzili, że podstawową wadą zmodyfikowanej przez nich metody Bernala-Masona jest trudność w rozgraniczeniu między stykiem punktowym i prawie-stykiem. W konsekwencji metoda ta może znaleźć zastosowanie jedynie do pomiaru LS w złożach obciążonych, o wilgotności nasion powyżej 18%, w których styk nasion ma charakter powierzchniowy. Do pomiaru LS w złożach nasion o niższej wilgotności niezbędne jest opracowanie nowej metody.

Cel

Celem prezentowanej pracy było opracowanie nowej metody pomiaru liczby punktów styku w złożach roślinnych materiałów ziarnistych utworzonych z nasion o wilgotności poniżej 18%.

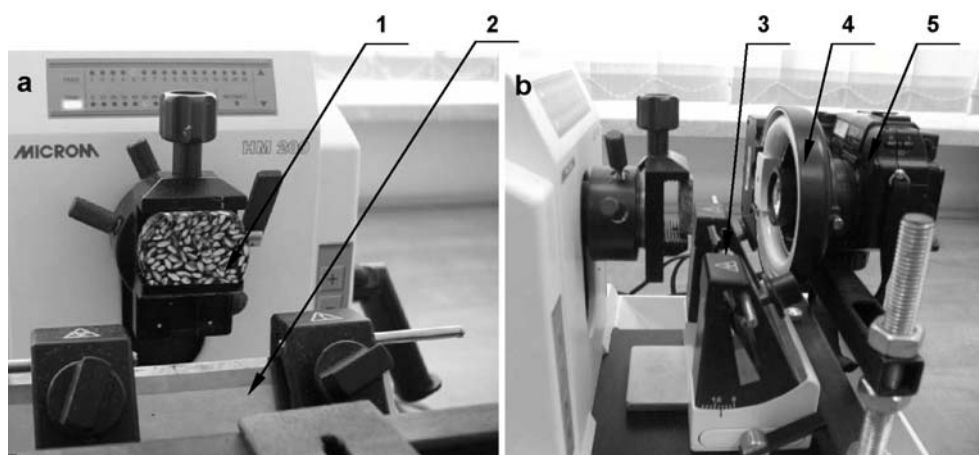
Metoda pomiaru LS

Podstawowym warunkiem, który musiał być spełniony w opracowywanej metodzie było umożliwienie rozgraniczenia między różnymi rodzajami styku (punktowy, powierzchniowy, prawie-styk). Założono, że możliwość taką daje obserwacja sekwencji obrazów przekrojów złoża nasion, które wcześniej zostało usztywnione. Pozwala to na wykrycie i policzenie miejsc, w których nasiona stykają się ze sobą.

Wykonanie tego typu pomiarów związane było z szeregiem trudności niezbędnych do pokonania. Dotyczyły one m. in.: sposobu wykonania próbki, procesu cięcia próbki z zachowaniem stabilności struktury złoża, wykonania obrazów próbki i ich analizy. Aby pokonać powyższe trudności i znaleźć optymalne parametry przebiegu całego procesu pomiaru przeprowadzono szereg badań, na podstawie których ustalano:

- kształt i wymiary zbiornika formującego próbkę – decydują one o wiarygodności pomiaru *LS*. Warunki panujące w próbce muszą odpowiadać tym, jakie panują w nieskończonej dużej ilości. Przyjęto zbiornik cylindryczny o wymiarach zaproponowanych przez Frączka i Wróbla [2006]. Dla nasion drobnych (soczewica, wyka, gorczyca, zboża), średnica cylindra wynosi $\phi=45$ mm a jego wysokość $h=40$ mm, natomiast dla nasion dużych (fasole), $\phi=75$ mm i $h=70$ mm.
- sposób usztywnienia złoża – decyduje on o poprawności procesu cięcia złoża i musi zapewnić takie ustalenie nasion tworzących złożo aby podczas cięcia nie ulegały one wyrwaniu bądź przemieszczaniu. Utrwalenie złoża uzyskano dzięki zalaniu go żywicą Technovit 7100. Zastosowano procedurę utrwalania próbek zaproponowaną przez Hebdę [2003] z późniejszymi modyfikacjami [Frączek i Wróbel 2003] uwzględniającymi skrócenie czasu infiltracji oraz barwienie żywicy kolorem kontrastującym z kolorem nasion. Zabieg ten pozwolił na uniknięcie stosowania dużej liczby filtrów cyfrowych w fazie obróbki obrazów.
- cięcie – po utwardzeniu i wyjęciu z pojemnika, przeprowadzono cięcie próbki (rys. 1a). Wykorzystano do tej operacji Mikrotom saneczkowy HM 200 firmy Ergostar, pozwalający na uzyskanie przekrojów próbki charakteryzujących się wysoką gładkością powierzchni. Początkowa, testowa odległość pomiędzy przekrojami wynosiła 0,01 mm.
- warunki akwizycji obrazów – wpływają one na przebieg analizy cyfrowej, a w efekcie na sam pomiar *LS*. Obrazy muszą być wykonane przy niezmiennym oświetleniu, powiększeniu oraz rozdzielczości. Obraz każdego przekroju rejestrowany był bezpośrednio po odcięciu przez nóż mikrotomu plastra próbki. Do akwizycji obrazów użyto aparatu cyfrowego Olympus CAMEDIA C-5050, który został zamocowany na suporcie Mikrotomu. Powierzchnia próbki oświetlana była oświetlaczem kołowym zamocowanym na obudowie obiektywu aparatu. Uzyskano dzięki temu równomierny rozkład światła padającego na powierzchnie przekroju próbki. Obiektyw aparatu ustawiono w odległości 3 cm od powierzchni próbki, co pozwoliło na maksymalne wykorzystanie

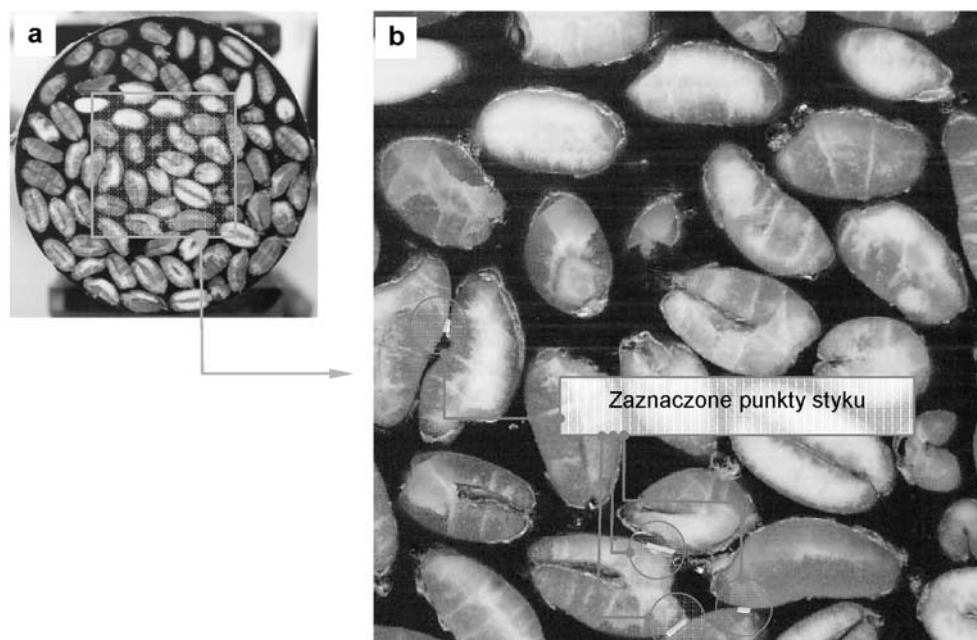
powierzchni matrycy aparatu i jednocześnie wymusiło ustawienie pracy aparatu w trybie makro. Takie umiejscowienie aparatu pozwalało na wykonanie wszystkich obrazów przekrojów próbki w jednakowych warunkach oświetleniowych i przy niezmiennym powiększeniu. Obrazy przekrojów próbki zapisywano w postaci plików graficznych w formacie JPEG o rozdzielczości 2560x1920 pikseli.



Rys. 1. Stanowisko badawcze: a – mikrotom, b – sposób zamocowania aparatu: 1 – próbka, 2 – nóż, 3 – suport, 4 – oświetlacz kołowy, 5 – aparat cyfrowy
Fig. 1. Test bench: a – microtome, b – way of fastening the camera: 1 – sample, 2 – knife, 3 – carriage, 4 – circular illuminator, 5 – digital camera

- cyfrowa analiza obrazów przekrojów – pomiarów dokonywano na przyjętej liczbie stu nasion znajdujących się w centrum analizowanego złoza. Ze wszystkich obrazów przekrojów wycięto jednakowej wielkości podobrazy (rys. 2a). Ze względu na dużą liczbę obrazów oraz konieczność zachowania jednakowych rozmiarów i stałego położenia ramki kadrującej proces ten wymagał zautomatyzowania. Wykorzystano w tym celu aplikację XnView, w której dla całej serii przetwarzanych obrazów określano wielkość ramki kadrującej oraz jej precyzyjne położenie.

Pomimo prób zastosowania elementów komputerowej analizy do wykrywania i zaznaczania punktów styku, uzyskiwane wyniki nie były zadowalające. W tym przypadku oko ludzkie okazało się najdokładniejszym narzędziem analizy uzyskanych przekrojów. Została więc ona przeprowadzona na podobrazach bez stosowania jakichkolwiek przekształceń, w sposób dwuetapowy. W pierwszym etapie, na każdym obrazie wykrywano i oznaczano punkty, w których nasiona pozostawały we wzajemnym kontakcie (rys. 2b). Drugi etap to zliczanie liczby punktów styku przypadających na każde z analizowanych nasion. Analizie poddano tylko te nasiona, które w całości znajdowały się na podobrazach (numerowane od 1 do 100). Każdy przekrój wybranego nasiona posiada ten sam numer. Określana była liczba punktów styku przynależnych do danego nasiona.



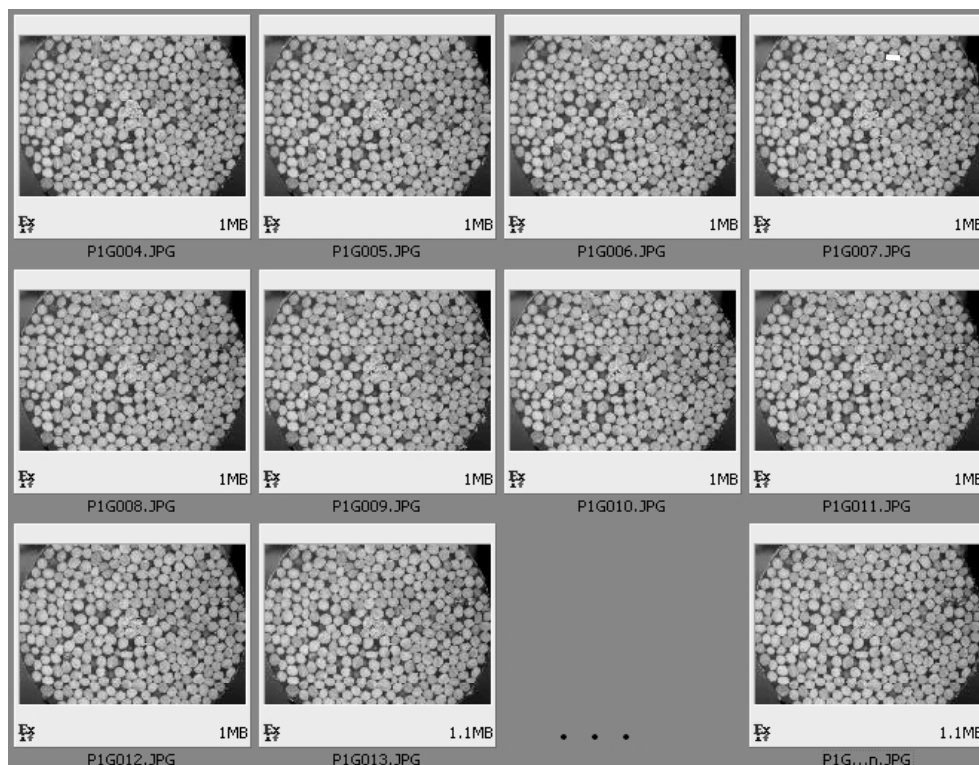
Rys. 2. Przebieg procesu pomiaru LS (pszenica Roma): a – obraz przekroju próbki, b – podobraz z zaznaczonymi punktami styku

Fig. 2. Process of measurement LS (wheat Roma): a – sample cross-section image, b – subimage with marked contact points

Optimalizacja grubości cięcia

Pomiar liczby punktów styku *LS* opierał się na analizie obrazów przekrojów próbki. Odległość pomiędzy kolejnymi przekrojami decyduje o liczbie obrazów, które zostaną poddane analizie. Przy małej odległości wzrasta dokładność pomiaru z jednoczesnym wydłużeniem się czasu jego wykonania. Natomiast zwiększanie odległości międzyprzekrojowej wywołuje skutki odwrotne. Dlatego też przeprowadzone zostały badania mające na celu znalezienie optymalnej odległości pomiędzy przekrojami. Optymalnej, czyli takiej, przy której wykryta liczba punktów styku jest równa liczbie punktów styku wykrytych przy minimalnej, możliwej do uzyskania odległości międzyprzekrojowej. Optymalizację przeprowadzono na złożach zbudowanych z nasion drobnych (gorczyca), gdyż nasycenie punktów styku w przestrzeni takiego złoża jest większe niż w przypadku złoża zbudowanego z nasion dużych.

Analizie poddano testową serię obrazów próbki wykonanych przy minimalnej odległości pomiędzy przekrojami $a_{min}=0,01\text{ mm}$ [rys. 3]. Pierwszy pomiar, przy a_{min} , był pomiarem bazowym i umożliwił wykrycie maksymalnej rzeczywistej liczby punktów styku pomiędzy nasionami (100%). Następnym etapem był szereg pomiarów liczby punktów styku

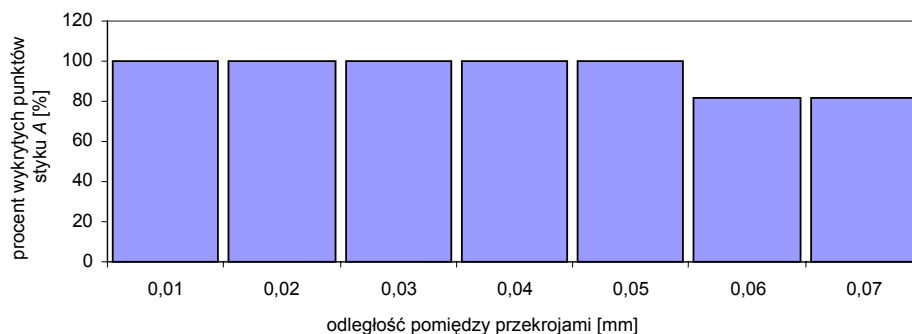


Rys. 3. Przykładowy fragment serii obrazów przekrojów próbki (gorczyca Nakielska)
 Fig. 3. Exemplary fragment of a series of sample cross-section images (Nakielska charlock)

w tej samej próbce przeprowadzane przy stopniowo wzrastającej odległości a . Efekt stopniowego wzrostu odległości a pomiędzy przekrojami uzyskano poprzez pomiar liczby punktów styku na co drugim obrazie przekroju – a_2 , następnie na co trzecim a_3 itd aż do a_n . W momencie, gdy wzrost odległości do wartości a_n spowodował spadek liczby wykrytych punktów styku w porównaniu do liczby wykrytej przy odległości a_{min} , pomiar przerwano. Spadek ten określono jako stosunek wyznaczonej liczby punktów styku LS_P do wzorcowej liczby punktów styku LS_W (przy $a=0,01\text{ mm}$).

$$A = \frac{LS_P}{LS_W} * 100[\%]$$

Wyniki pomiaru przedstawia wykres na rysunku 4, na którym przedstawiono wartość A w zależności od odległości między przekrojami. Można zaobserwować, iż wyraźne zmniejszenie liczby A następuje dopiero powyżej $a=0,05\text{mm}$. Z tych względów za optymalną odległość pomiędzy przekrojami należy uznać wartość $a_{n-1}=0,05\text{mm}$.



Rys. 4. Procent wykrytych punktów styku A w zależności od odległości między przekrojami (gorczyca Nakielska)

Fig. 4. Percent of detected contact points A depending on distance between cross-sections (Nakielska charlock)

Podsumowanie

Przedstawiona metoda pozwala na określenie liczby punktów styku nasion LS w złożach o wilgotności do 18%, w których pomiar przy pomocy metody Bernala-Masona jest niemożliwy. W wyniku przeprowadzonych badań określono sposób usztywniania złoża, warunki akwizycji obrazów przekrojów oraz sposób pomiaru LS . Dodatkowo określono optymalną odległość pomiędzy kolejnym przekrojami pozwalającą na wykrycie maksymalnej liczby punktów styku ($LS_P=LS_W$), przy wykonaniu minimalnej liczby przekrojów.

Ostatecznie procedura pomiaru jest następująca:

1. Utworzenie próbki poprzez zalanie nasion znajdujących się w cylindrycznym pojemniku o wymiarach $\phi=45$ mm i $h=40$ mm (dla nasion drobnych), lub $\phi=75$ mm i $h=70$ mm (nasiona duże) żywicą usztywniającą Technovit 7100,
2. Cięcie próbki (przeprowadzone na Mikrotomie) z zachowaniem ustalonej, optymalnej odległości międzyprzekrojowej $a=0,005$ mm,
3. Akwizycja obrazu - bezpośrednio po odcięciu każdej kolejnej warstwy złoża, wykonywana jest rejestracja obrazów uzyskanych przekrojów (aparatem cyfrowym o odpowiedniej rozdzielczości),
4. Określenie LS dla 100 nasion znajdujących się w centrum analizowanego złoża.

Bibliografia

- Bernal J.D., Mason J. 1960. Co-ordination of Randomly Packed Spheres. Nature vol. 188. 910-911.
- Donev A., Cisse I., Sachs D., Variano E.A., Stillinger F.H., Connelly R., Torquato S., Chaikin P.M. 2004. Improving the density of Jammed Disordered Packings using Ellipsoids. Science vol.303. s. 990-993.

- Frączek J., Wróbel M.** 2003. Metoda określania powierzchni styku pomiędzy nasionami. Acta Agrophysica, 97. s. 519-529.
- Frączek J., Wróbel M.** 2006. Próba zastosowania metody Bernala–Masona do określania liczby punktów styku w złożach roślinnych materiałów ziarnistych. Inżynieria Rolnicza, 13 (88), 109-117.
- Hebda T.** 2003. Ocena twardości i sprężystości ziarnistych materiałów roślinnych. Praca doktorska. Akademia Rolnicza w Krakowie.
- Scott G.D.** 1960. Packing of equal spheres. Nature vol. 188. s 908-909.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 2 P06R 076 27, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

A METHOD OF MEASUREMENT OF NUMBER OF CONTACT POINTS BETWEEN SEEDS

Summary. The paper presents tests, performed in order to develop a new method of determining numbers of contact points *LS* in plant deposits of granular materials with low humidity, for which Bernal-Mason's method cannot be used. The method is based on an assumption that observation of cross-section image sequence for seed deposit, which was previously stiffened, allows to detect and calculate points, where seeds are in contact with each other. A procedure of the measurement process was set out, including the following: generation of sample in cylindrical container with dimensions of $\phi=45\text{mm}$ and $h=40\text{mm}$ (for fine seeds) and $\phi=75\text{mm}$ and $h=70\text{mm}$ (large seeds), and filling with stiffening resin Technovit 7100 and, cutting the sample on Microtome keeping the optimum distance $a=0,005\text{mm}$, acquisition of the cross-section image performed after cutting off of each subsequent layer of deposit using digital camera installed on microtome, determining *LS* for 100 seeds located in the center of the sample. The developed method makes it possible to calculate the number of contact points in the seed deposits with a humidity of less than 18%.

Key words: plant granular materials, number of contact points, seed geometry, image analysis

Adres do korespondencji:

Jarosław Frączek; e-mail: fraczek@ar.krakow.pl;
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków