

Jarosław Frączek, Marek Wróbel
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Akademia Rolnicza w Krakowie

OZNACZANIE POROWATOŚCI ZŁÓŻ NASION PRZY WYKORZYSTANIU ELEMENTÓW KOMPUTEROWEJ ANALIZY OBRAZU

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę oznaczania porowatości złoża roślinnych materiałów ziarnistych. Metoda oparta jest na założeniu, że w materiałach ziarnistych o nieuporządkowanym charakterze ułożenia ziaren, porowatość powierzchniowa i objętościowa są sobie równe. Pomiary wykonane zostały przy użyciu elementów komputerowej analizy obrazu. Przedstawiono badania wstępne oraz weryfikację metody potwierdzającą jej przydatność do oznaczania lokalnej porowatości złóż. Dzięki tej metodzie możliwe jest określenie charakteru przebiegu zmian porowatości w całej analizowanej próbce złoża.

Słowa kluczowe: roślinne materiały ziarniste, porowatość, modelowanie, nasiona

Wstęp

Roślinny materiał ziarnisty to grupa najliczniej reprezentowana wśród wszystkich materiałów przetwarzanych w rolnictwie, przemyśle spożywczym i transporcie. Podstawową fazę materiału ziarnistego stanowią ziarna pozostające we wzajemnym kontakcie, zazwyczaj punktowym. Przestrzenie pomiędzy elementami składowymi złoża, nazywane porami, wypełnione są gazem lub cieczą. Procentowy udział objętości porów do ogólnej objętości materiału nazywany jest porowatością. Zależność pomiędzy porowatością a gęstością rzeczywistą oznaczaną wg PN-74/Z-04002 oraz gęstością usypową oznaczaną wg PN-ISO 7971-2, określa zależność:

$$p = \frac{\rho_w - \rho_u}{\rho_w} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

p – porowatość [%],
 ρ_w – gęstość rzeczywista [kg/m^3],
 ρ_u – gęstość usypowa [kg/m^3].

Powyższy sposób umożliwia określenie tylko średniej porowatości złoża, co w wielu przypadkach jest niewystarczające. Podczas badań dotyczących przebiegu procesów przechowywania i transportu, a zwłaszcza podczas symulowania zachowania się materiałów ziarnistych, potrzebna jest informacja dotycząca przebiegu zmian porowatości w złożu, a co za tym idzie istnieje konieczność opracowania sposobu określania porowatości lokalnej.

Cel

Celem prezentowanej pracy było opracowanie metody pozwalającej na określenie lokalnej porowatości złoża roślinnych materiałów ziarnistych. Założono, że metoda opierać się będzie na analizie obrazów przekrojów niewielkich fragmentów tego złoża.

Metoda

W badaniach przeprowadzonych przez Debbas’a i Rumpfa [1966] autorzy wykazali, że w złożach o nieuporządkowanym układzie ziaren istnieje równość pomiędzy porowatością objętościową złoża a powierzchnią przekrojów tego złoża:

$$p = p_s \quad (2)$$

gdzie:

p – porowatość objętościowa [%],
 p_s – porowatość powierzchniowa [%].

Opracowana metoda bazuje na powyższej zależności, a do pomiaru porowatości powierzchniowej przekrojów próbki wykorzystano elementy komputerowej analizy obrazu, która znajduje coraz szersze zastosowanie w badaniach [Wojnar i in. 2002]. Proces pomiaru przebiega w następujących etapach:

- **Przygotowanie próbki.** Złoże, którego porowatość jest określana, zalewane jest żywicą. Takie utrwalenie pozwala, na wykonanie przekrojów próbki bez naruszenia sposobu ułożenia nasion w złożu.

- **Cięcie próbki wraz z akwizycją obrazów przekrojów.** Cięcie przeprowadzane jest w taki sposób, aby możliwa była akwizycja obrazów przekrojów bezpośrednio po ich wykonaniu. Akwizycja obrazów przekrojów powinna być wykonana aparatem cyfrowym o rozdzielczości matrycy powyżej 4 mln pikseli pracującym w trybie makro. Stanowisko musi zapewnić stałe warunki wykonania obrazów (dotyczy to zarówno oświetlenia, głębi ostrości jak i powiększenia) dla wszystkich przekrojów próbki.
- **Komputerowa analiza uzyskanych obrazów.** Przed pomiarem porowatości powierzchniowej przekrojów próbki wszystkie zarejestrowane obrazy poddaje się filtracji usuwającej szumy a w dalszej kolejności binaryzacji.
- **Oznaczenie porowatości objętościowej złożeń.** Porowatość objętościowa wyznaczana jest na podstawie komputerowego pomiaru porowatości powierzchniowej przy zastosowaniu zależności (2).

Badania i analiza wyników

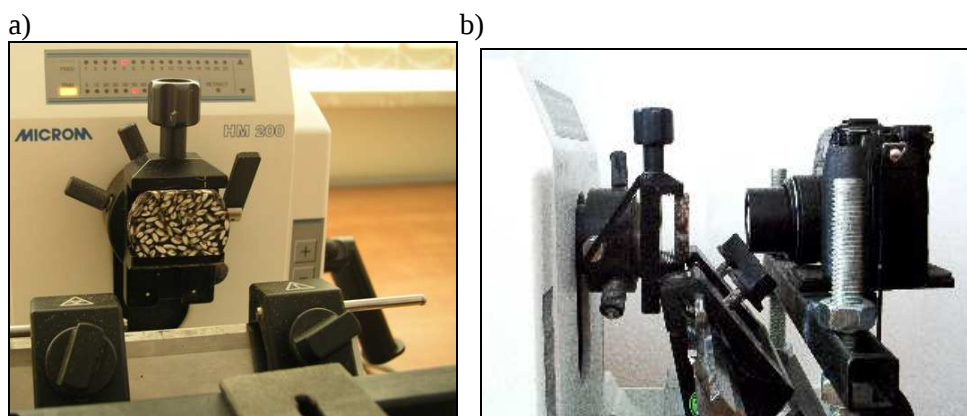
Próbki do badań stanowiły cylindryczne fragmenty złożeń o wysokości 40mm i średnicy podstawy 45mm (rys. 1) zalane żywicą Technovit 7100. Badane złożeń stanowiły nasiona żyta odmiany Dańkowskie Żółte, pszenicy ozimej Roma oraz gorczyca Nakielska. Zastosowano procedurę utrwalania próbek zaproponowaną przez Hebde [2003] z późniejszymi modyfikacjami, [Frączek, Wróbel 2003], uwzględniającymi skrócenie czasu infiltracji oraz barwienie żywicy kolorem kontrastującym z kolorem nasion. Zabieg ten pozwolił uniknąć w fazie obróbki obrazów konieczności stosowania nadmiernej liczby filtrów. W celu weryfikacji prezentowanej metody, przed zalaniem próbek żywicą zmierzono porowatość badanych złożeń poprzez dokonanie pomiaru zgodnie z wymienionymi już normami.

Do cięcia próbki wykorzystano Mikrotom saneczkowy HM 200 (rys. 2a), pozwalający na uzyskanie przekrojów charakteryzujących się wysoką gładkością powierzchni, co w dalszym etapie ułatwiało proces ich analizy.

Obraz każdego przekroju rejestrowany był bezpośrednio po odcięciu plastra próbki. Do tego celu użyto aparatu cyfrowego, CAMEDIA C-5050 firmy Olympus, który został zamocowany na suporcie Mikrotomu (rys. 2b). Takie umiejscowienie aparatu pozwalało na wykonanie wszystkich obrazów przekrojów próbki w jednakowych warunkach oświetleniowych i przy niezmiennym powiększeniu.



Rys. 1. Przykładowa próbka fragmentu złoża – żyto Dańkowskie Złote
Fig. 1. An example of bed sample – Dańkowskie Złote rye



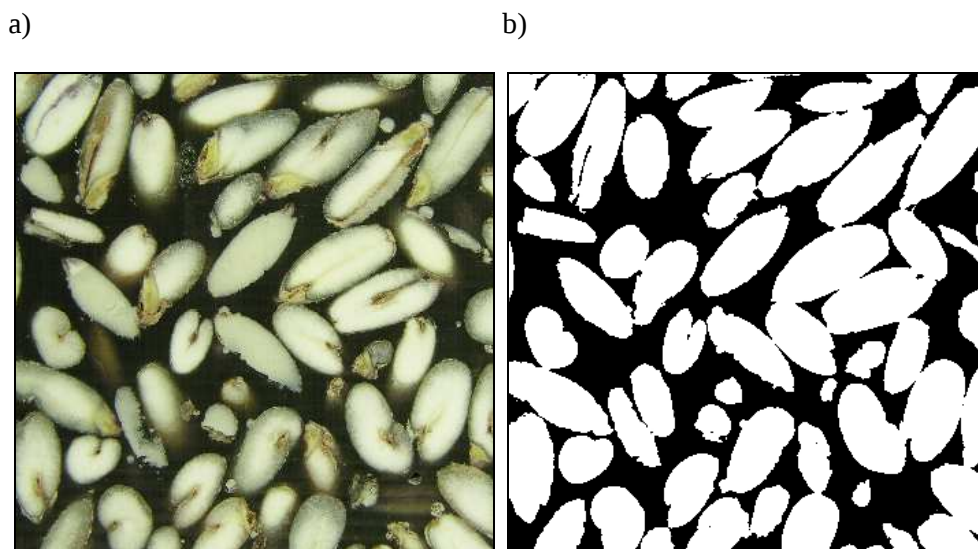
Rys. 2. Stanowisko badawcze: a – mikrotom; b – sposób zamocowania aparatu
Fig. 2. Test stand: a – microtome; b – mounting of the appliance

Obrazy przekrojów próbki (rys. 3a), archiwizowane były w postaci plików zapisywanych w formacie JPEG.

Kolejnym etapem było przeprowadzenie komputerowej analizy otrzymanych przekrojów za pomocą programu MultiScan v.14 firmy CSS. Polegała ona na zastosowaniu filtracji usuwającej szumy z obrazu i następującej po niej binaryzacji

wg poziomu, w wyniku której otrzymano obrazy czarno – białe. Ostatnim etapem analizy był pomiar procentowego udziału obszaru czarnego na przekroju.

Wszystkie przekroje danej próbki binaryzowane były wg tego samego poziomu. Dzięki barwieniu żywicy czarnym tuszem uzyskano wysoki kontrast między tłem (czarne) a nasionami (jasne). Umożliwiło to stosunkowo łatwe dobranie progu binaryzacji, który wynosił odpowiednio: dla żyta – 134, dla pszenicy – 150 oraz dla gorczycy – 124. Po binaryzacji obszary przekroju zajmowane przez nasiona przyjęły kolor biały natomiast pozostałe obszary – będące powierzchnią przekrojów porów – kolor czarny (rys. 3b). Tak więc procentowy udział powierzchni czarnej w stosunku do powierzchni całego jest odpowiednikiem porowatości powierzchniowej.



Rys. 3. Przykładowy obraz przekroju modelu próbki: a – przed binaryzacją; b – po binaryzacji

Fig. 3. Example of sample section image: a – prior to binarization; b – after binarization

Analizie poddano 8 obrazów przekrojów badanych próbek a wyniki pomiarów porowatości wyrażone w procentach zestawiono w tabeli 1. Porowatość powierzchniowa na poszczególnych przekrojach zmienia się następująco: żyto – od 48,1% do 52,45%, pszenica – od 47,1% do 52,18% oraz gorczyca – od 36,5% do 39,8%.

Tabela. 1. Wyniki pomiarów
Table 1. Measurement results

Próbka	Porowatość powierzchniowa na kolejnych przekrojach [%]								Porowatość średnia [%]	Wariancja	Porowatość wg norm [%]
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Żyto	50,49	51,09	52,45	51,37	48,1	48,74	48,18	49,18	49,95	2,64	50,86
Pszenica	47,75	49,13	47,88	46,98	46,48	50,39	46,95	46,79	47,79	1,81	49,83
Gorczyca	39,14	38,58	37,41	36,5	36,9	38,76	36,63	39,8	37,96	1,59	38,71

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 1 pozwala na potwierdzenie przyjętej hipotezy o równości porowatości objętościowej i powierzchniowej. W celu zweryfikowania zaproponowanej metody, średnie wartości porowatości powierzchniowej badanych ziół (tab. 1) porównano z wartościami porowatości objętościowej oznaczonej wg wyszczególnionych wcześniej Polskich Norm. Porównanie to wykazało iż maksymalna różnica pomiędzy wynikami wynosi 2,04% (dla pszenicy) a minimalna 0,74% (dla gorczycy), tak więc błąd względny szacowania porowatości zaproponowaną metodą mieści się w granicach od 4,09% do 1,92% . Należy więc uznać, że proponowana metoda w sposób wystarczająco dokładny pozwala na określenie porowatości objętościowej. W złożach idealnie niejednorodnych, procentowy udział powierzchni zajmowanej przez pory na przekrojach tych ziół, niezależnie od miejsca wykonania przekroju, jest wielkością stałą a co za tym idzie porowatość całego zioła nie ulega zmianie w całej jego objętości. W przypadku analizowanych ziół zauważono wprowadzenie zmiany wartości porowatości powierzchniowej, ale są one na tyle niewielkie, że można je uznać za nieistotne. Potwierdziła to analiza wariancji przeprowadzona przy poziomie istotności 0,05. Należy więc stwierdzić, że mamy do czynienia ze złożem o nieuporządkowanym układzie ziaren.

Dzięki opracowanej metodzie istnieje możliwość pomiaru przebiegu zmian porowatości w dowolnym fragmencie badanego zioła, czego nie możemy uzyskać za pomocą metody klasycznej.

Podsumowanie

Prezentowana metoda pozwala na określanie lokalnej porowatości objętościowej zioła na podstawie pomiaru porowatości powierzchniowej przekrojów tego zioła. Przy jej wykorzystaniu możliwa jest obserwacja przebiegu zmian porowatości w złożu dzięki analizie dowolnie wybranego przekroju zioła.

Metoda ta może znaleźć zastosowanie m.in. w badaniach przebiegu zmian porowatości w silosach. Jej mankamentem – powodującym zwiększenie pracochłonności – jest konieczność usztywnienia złoża i wykonania jego przekroju. Niezbędne są więc dalsze poszukiwania mające na celu uproszczenie metody. Podjęte zostaną próby wykorzystania obrazów powierzchni ziół do określania ich porowatości (bez konieczności wykonywania przekrojów).

Bibliografia

Debbas S., Rumpf H. 1966. On the randomness of beds packed with spheres or irregular shaped particles. Chem. Eng. Sci 21.

Frączek J., Wróbel M. 2003. Metoda określenia powierzchni styku pomiędzy nasionami. Acta Agrophysica, 97, 519-529.

Hebda T. 2003. Ocena twardości i sprężystości ziarnistych materiałów roślinnych. Rozprawa doktorska. Kraków.

Polska Norma PN-74/Z-04002. Badania fizycznych właściwości pyłów. Oznaczanie gęstości pozornych. Oznaczanie bezwzględnej gęstości pyłu.

Polska Norma PN-ISO 7971-2. Ziarno zbóż. Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym, zwanej „masą hektolitra”.

Wojnar L. i in. 2002. Praktyka analizy obrazu. Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków.

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

ASSAYING POROSITY OF SEED BEDS USING COMPUTER-AIDED ANALYSIS OF IMAGE

Summary

The present paper presents the method of assaying porosity of seed beds of grainy plant material. The method is based on the assumption that the volume and superficial porosities are equal in the grainy material of non-uniform grain arrangement. The measurements were made with the aid of computer-aided image analysis. Preliminary tests and verification of the method have been presented, which confirm its suitability for assaying local porosity of beds. Thanks to that method, it has been possible to determine the character of porosity changes in the entire sample of corn.

Key words: grainy plant material, porosity, modelling, seeds