

ZASTOSOWANIE GRAFIKI KOMPUTEROWEJ W REKONSTRUKCJI 3D NASION

Jarosław Frączek, Marek Wróbel

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy zaprezentowano opracowaną przez autorów metodę generowania trójwymiarowych modeli nasion roślin uprawnych. Metoda opiera się na wykonaniu serii przekrojów próbki, którą tworzy nasienie zatopione w żywicy Technovit 7100, z jednoczesną akwizycją obrazów tych przekrojów. Kolejny etap to komputerowa analiza obrazów przekrojów polegająca na filtracji specjalnie dobranym zestawem filtrów. Obróbka ta ma na celu uzyskanie obrazów binarnych pozbawionych szumów i zanieczyszczeń. Etapem końcowym jest tworzenie, z obrazów przekrojów trójwymiarowego modelu nasienia. Generowanie modelu wykonano przy pomocy specjalistycznej aplikacji (KSRUN firmy Carl Zeiss). Modele zachowują charakterystyczne cechy geometryczne nasion i mogą być wykorzystane w symulacji zachowania się złożeń roślinnych materiałów ziarnistych jako elementy składowe struktury.

Słowa kluczowe: roślinne materiały ziarniste, rekonstrukcja 3D, nasiona, komputerowa analiza obrazu

Wstęp

Mechanizacja rolnictwa, przemysł przetwórczy oraz przechowalnicy to dziedziny, w których wymagania stawiane maszynom, aparatom oraz urządzeniom służącym do obróbki i przetwarzania roślinnych materiałów ziarnistych są coraz wyższe. Dla prawidłowego projektowania maszyn i urządzeń, konieczna jest wiedza na temat właściwości fizycznych przetwarzanych materiałów oraz poznanie wzajemnych relacji zachodzących pomiędzy materiałem a systemem technicznym. Wiedza ta pozwoli zapewnić przede wszystkim wysoką jakość produktu oraz bezpieczny przebieg zachodzących procesów.

Aby poznać właściwości oraz zachowanie się tego typu materiałów, tworzy się modele, w których poszczególne ziarna reprezentowane są najczęściej przez kule, elipsoidy, sferoidy lub sferocyndry [Kęska i Feder 1097, Donev 2004, Mieszkalski 2001, www.smartimtech.com]. Niestety, kształty tych brył zbyt daleko odbiegają od kształtów rzeczywistych. Spotyka się co prawda nasiona, których kształt jest zbliżony do w/w brył, jednak większość nasion uprawnych ma swój niepowtarzalny kształt, a zastąpienie go wspomnianymi bryłami wprowadza zbyt duże uproszczenia do tworzonego z nich modelu. Co za tym idzie wyniki symulacji opartej na tych modelach, odbiegają od wyników badań przeprowadzonych na rzeczywistych złożeń.

Uzyskanie dokładniejszych, niż dotychczas, wyników badań możliwe będzie jeśli model roślinnego materiału ziarnistego zbudowany zostanie z modeli nasion, zachowujących ich charakterystyczne, gatunkowe cechy kształtu. Pozwoli to na uwzględnienie w modelach złóż roślinnych materiałów ziarnistych wpływu kształtu nasion na zachowanie się całego modelowanego złoża.

Cel pracy

Celem prezentowanych badań było opracowanie – przy wykorzystaniu elementów komputerowej analizy obrazu - metody tworzenia trójwymiarowych modeli pojedynczych nasion, niezależnie od złożoności ich kształtu.

Metoda

Metoda opiera się o dość znaną zasadę rekonstrukcji 3D modelu z serii przekrojów obiektu modelowanego. W zależności od autora metody, obrazy przekrojów są pozyskiwane w odmienny sposób (przekroje w skali makro i mikro, USG, tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny). W zależności od dokładności przekrojów, metody te mogą być wykorzystane do generowania modeli 3D uwzględniających mniej lub więcej szczegółów wewnętrznych modelowanych obiektów.

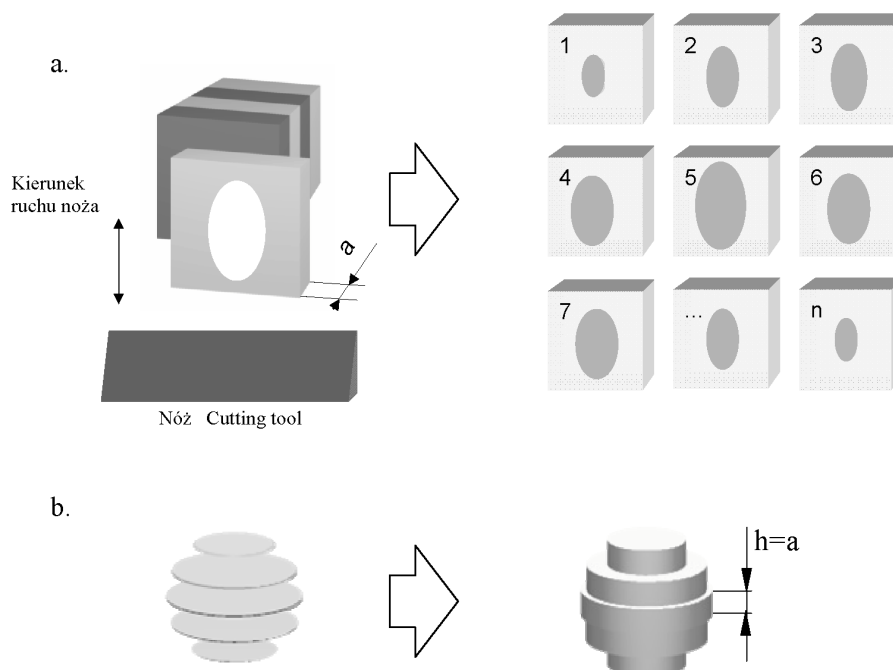
Prezentowana metoda generuje trójwymiarowe modele nasion z cyfrowych obrazów kolejnych, jednakowo oddalonych od siebie przekrojów nasienia. Model nie uwzględnia budowy wewnętrznej nasion. Metoda składa się z czterech podstawowych faz.

Faza przygotowania próbki

Nasienie, którego model będzie tworzony, po pomiarze wysokości, szerokości, długości oraz objętości, umieszczane jest w specjalnej formie a następnie zalewane żywicą. Takie jego utrwalenie umożliwia, w dalszym etapie, stabilne zamocowanie próbki w uchwycie mikrotomu.

Faza wykonania przekrojów oraz rejestracji ich obrazów

Do wykonania przekrojów stosowane jest urządzenie zapewniające uzyskanie stałej odległości a pomiędzy przekrojami przy jednoczesnym zachowaniu wzajemnej równoległości płaszczyzn przekrojów. Po każdym ścięciu kolejnej warstwy próbki następuje rejestracja obrazu zglądu. Obrazy wykonywane są aparatem cyfrowym mogącym pracować w trybie Macro, co pozwala na uzyskanie obrazów kolejnych przekrojów w dużym powiększeniu (rys. 1a). Aparat należy umieścić w taki sposób, aby możliwa była akwizycja obrazów bez konieczności wyjmowania próbki z uchwytu urządzenia tnącego. Odległość a pomiędzy przekrojami ustalona została wg procedury opracowanej przez autorów na potrzeby wcześniejszych badań [Frączek i Wróbel 2004].



Rys. 1. Schemat metody: a. wykonanie serii przekrojów próbki, b. tworzenie modelu 3D
 Fig. 1. Steps of method: a. making series of sections of sample; b. creating 3D-model

Faza obróbki obrazów przekrojów

Obrazy zarejestrowane aparatem cyfrowym poddawane są obróbce zestawem filtrów. Filtracja eliminuje z obrazów zakłócenia i zanieczyszczenia, mogące powodować błędy w generowanym modelu. Ostatnim etapem obróbki obrazów jest ich zapis w postaci binarnej.

Faza generowania modelu

Aplikacja KSRUN firmy Carl Zeiss, generująca model, zestawia binarne obrazy przekrojów w stos, rozpoznaje powierzchnie przekroju ziarna i nadaje jej trzeci wymiar (rys.1b). Kolejny etap to połączenie wszystkich powierzchni, przekształconych w trójwymiarowe plastry, w jednolitą bryłę. Aplikacja ta dokonuje także pomiaru charakterystycznych wielkości modelu.

Badania wstępne

Przeprowadzenie badań wstępnych miało na celu opracowanie dokładnej procedury wykonania próbki oraz dobór odpowiedniego zestawu filtrów i kolejności ich zastosowania podczas obróbki obrazów.

Cięcie próbki wykonano na Mikrotomie saneczkowym HM 200. Dla uniknięcia kruszenia się nasion podczas przecinania, w badaniach wykorzystano procedurę przygotowania próbki opracowaną przy współpracy z firmą Carl Zeiss i zastosowaną przez Hebde [Hebda 2003] w badaniach grubości okrywy nasiennej. Nasionie umieszczane było w formie a następnie zalewane mieszaniną roztworu infiltracyjnego Technovit 7100 i ksylolu (50:50). Wstępne badania porównawcze (nasiona nasączone i nienasączone) wykazały, że wystarczający czas infiltracji to jedna godzina. Po upływie tego czasu do formy z roztworem infiltracyjnym dodawano utwardzacza, co pozwalało na otrzymywanie jednolitej próbki z zatopionym wewnątrz nasieniem. Przekroje, uzyskane w wyniku cięcia tak przygotowanej próbki, charakteryzowały się wysoką gładkością powierzchni. Aby w fazie obróbki obrazów uniknąć konieczności stosowania nadmiernej liczby filtrów, barwa żywicy i barwa przecinanego nasienia powinny ze sobą kontrastować. Uzyskano to poprzez barwienie przezroczystej żywicy kolorem kontrastującym z kolorem nasienia.

Bezpośrednio po wykonaniu przekroju rejestrowano jego obraz. Aparat cyfrowy, CAMEDIA C-5050 firmy Olympus, został zamocowany na suporcie Mikrotomu (rys. 2).

Takie umiejscowienie aparatu daje stałą, niezmienną podczas ciecicia, odległość obiektywu od powierzchni każdego przekroju. Uzyskujemy dzięki temu zdjęcia wykonane w jednakowych warunkach. Zdjęcia o wymiarach 2560x1920 pixeli, archiwizowane były w formacie JPEG.



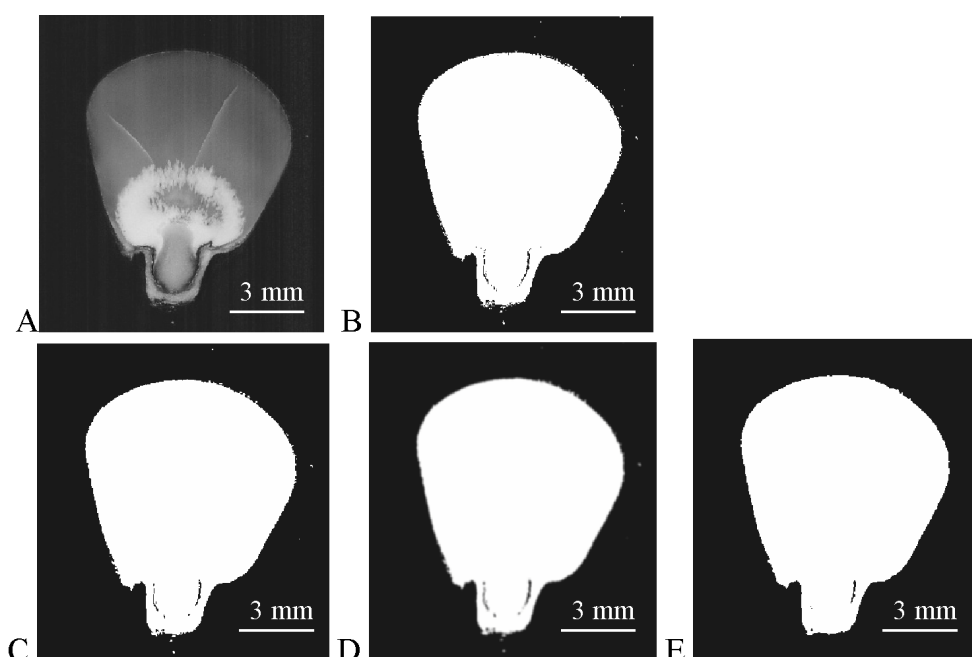
Rys. 2. Stanowisko badawcze

Fig. 2. Test stand

Seria obrazów przekrojów nasienia poddana została następnie obróbce zestawem odpowiednio dobranych filtrów, tak, aby z kolorowego obrazu wyjściowego (rys. 3A), uzyskać obraz binarny (rys. 3B). Filtrację przeprowadzono w programie Multiscan v.14.

Optymalnym zestawem filtrów, dla uzyskanych podczas badań wstępnych obrazów, okazał się zestaw następujący (wg kolejności stosowania):

- binaryzacja z górnym progiem (rys. 3B), próg odcięcia 90,
- usunięcie szumów (rys. 3C), poziom 201,
- rozmycie Gaussa (rys. 3D), $R = 5$ pixeli,
- binaryzacja z górnym progiem (rys. 3E), próg odcięcia 140.



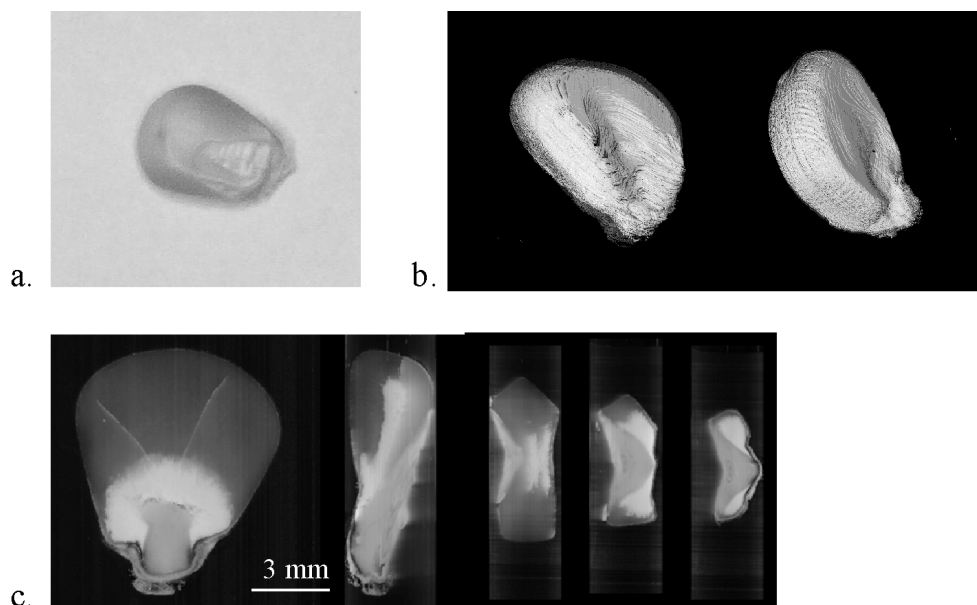
Rys. 3. Obrazy przekroju nasienia kukurydzy: A – wyjściowy, B – zbinaryzowany, C – po zastosowaniu filtru usuwającego szumy, D – po rozmyciu, E – po ponownej binaryzacji

Fig. 3. Images of cross-sections of maize seed: A. initial image, B. binary image, C. image created by applying a filter removing noise, D. image after blur, E. image created after renewed binary conversion

Zestaw zastosowanych filtrów zależy od jakości uzyskanych obrazów. Są one dobierane tak, aby na uzyskanym dzięki nim obrazie binarnym powierzchnia przekroju nasienia pokrywała się z powierzchnią przekroju na obrazie wyjściowym oraz aby zostały usunięte z obrazu wszelkie elementy zbędne, nienależące do nasienia.

Generowanie modeli przeprowadzono w programie KSRUN firmy Carl Zeiss według opisanej wcześniej procedury. Rysunek 4a przedstawia zdjęcie nasienia kukurydzy, natomiast rysunek 4b przedstawia jego model 3D. Charakterystyczne cechy geometryczne

nasienia (wymiary główne, promienie krzywizn) zostały przeniesione na utworzony model. Dodatkową zaletą tego sposobu modelowania jest możliwość uzyskania, za pomocą programu KSRUN, obrazu dowolnego przekroju modelowanego nasienia w dowolnie wybranej płaszczyźnie (rys. 4c).



Rys. 4. Nasienie kukurydzy: a – obraz rzeczywisty, b – wygenerowany model, c – przekroje nasienia

Fig. 4. Maize seed: a – real image b – generated image, c – cross-sections of seed

W celu weryfikacji metody pod kątem dokładności odwzorowania, przeprowadzono analizę geometrii uzyskanego modelu w porównaniu do geometrii obiektu rzeczywistego. Wyniki analizy zawarto w tabeli 1. Porównując wymiary główne modelu do wymiarów rzeczywistych nasienia stwierdzono, że uzyskane wartości są nieznacznie większe (max o 2,65% – długość nasienia). Zwiększenie tych wartości nastąpiło najprawdopodobniej podczas cyfrowej obróbki obrazów przekrojów przygotowującej je do etapu modelowania. Ze względu na fakt, iż zwiększenie to nastąpiło przy wszystkich trzech wymiarach, uzyskany model zachowuje proporcje obiektu rzeczywistego, co potwierdzają oznaczone współczynniki kształtu K_w i K_m [wg Grochowicza 1971] modelu i nasienia, pomiędzy którymi różnica wynosi niespełna 1%. Należy więc stwierdzić, że zaproponowana metoda charakteryzuje się wysoką dokładnością odwzorowania cech obiektu rzeczywistego w tworzonym modelu.

Tabela 1. Geometria uzyskanego modelu oraz modelowanego nasienia
 Table 1. Geometry of obtained models and modelled seed

Cecha geometryczna	Obiekt		Różnica w [%]
	Nasienie	Model	
Grubość a [mm]	3,59	3,66	1,83
Szerokość b [mm]	8,39	8,55	1,87
Długość c [mm]	10,27	10,54	2,65
Wsp. kształtu K_w	0,35	0,347	0,79
Wsp. kształtu K_m	0,817	0,811	0,76

Źródło: opracowanie własne autorów

Podsumowanie

Przedstawiona metoda umożliwi generowanie trójwymiarowych modeli nasion roślin uprawnych. Otrzymane w ten sposób modele zachowują, charakterystyczne cechy geometryczne nasion, niezależnie od stopnia skomplikowania kształtu modelowanego nasienia. W zależności od potrzeb można regulować stopień dokładności tworzonego modelu, poprzez zmianę odległości pomiędzy kolejnymi przekrojami a . Zmniejszenie tej odległości zwiększa dokładność uzyskiwanych modeli, ale jednocześnie wydłuża się czas jego tworzenia [Frączek, Wróbel 2004].

Dzięki tej metodzie możliwe będzie zbudowanie swoistej bazy zawierającej modele nasion. Modele te będą mogły być wykorzystane jako podstawowe elementy struktury, podczas modelowania zachowania się złożeń roślinnych materiałów ziarnistych. Wyniki tak przeprowadzonych symulacji uwzględniać będą wpływ cech geometrycznych nasion na zachowanie się całego złoża roślinnego materiału ziarnistego.

Podsumowując możemy stwierdzić, że:

- metoda pozwala generować trójwymiarowe modele nasion, zachowujące ich charakterystyczne cechy geometryczne.
- uzyskany model 3D możemy wirtualnie przecinać w dowolnie wybranej płaszczyźnie.

Bibliografia

- Donev A.** et al. 2004. Improving the density of jammed disordered packings using ellipsoids. Science vol. 303. s. 990-993.
- Frączek J., Wróbel M.** 2003. Metoda określenia powierzchni styku pomiędzy nasionami. Acta Agrophysica 97. s. 519-529.
- Grochowicz J.** 1971. Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. PWRiL Warszawa.
- Hebda T.** 2003. Ocena twardości i sprężystości ziarnistych materiałów roślinnych. Rozprawa doktorska. Kraków. Maszynopis.
- Kęska W., Feder S.** 1997. Trójwymiarowa rekonstrukcja kształtu elementów roślinnych z dwuwymiarowych obrazów rastrowych. Pr. Przem. Inst. Masz. Roln. s. 15-17.
- Mieszkalski L.** 2001. Metoda tworzenia modelu bryły ziarna zbóż. Problemy Inżynierii Rolniczej. s. 29-36.
- “Sferocylindry” [online] Dostępny w internecie: <http://smartimtech.com/modeling/polyhedrons.htm>

USING COMPUTER GRAPHICS FOR 3D RECONSTRUCTION OF SEEDS

Abstract. The paper presents the method developed by authors, which is used to generate three-dimensional models of cultivated plants seeds. The method involves making a series of a sample cross-sections with simultaneous acquisition of images of these cross-sections. The sample consists of seeds plunged in Technovit 7100 resin. The next stage includes computer analysis of cross-section images involving filtration of specially selected set of filters. The purpose of this process is to obtain the binary images, which are free of noise and interference. The final stage involves development of three-dimensional seed image based on the cross-section images. The model was generated using specialist computer application (KSRUN from Carl Zeiss). The models maintain characteristic geometrical features of seeds and may be used as the structure components in simulation of behaviour of deposits containing grainy plant materials.

Key words: grainy plant materials, 3D reconstruction, seeds, computer image analysis

Adres do korespondencji:

Marek Wróbel; e-mail: mwrobel@ar.krakow.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków