

Dr hab. inż. Andrzej ANDERS
 Dr hab. inż. Piotr MARKOWSKI
 Dr hab. inż. Zdzisław KALINIEWICZ
 Prof. dr hab. inż. Dariusz CHOSZCZ
 Dr inż. Ewelina KOLANKOWSKA
 Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań
 Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

WYZNACZANIE PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH SUROWCÓW ROLNICZYCH NA PRZYKŁADZIE KOLB KUKURYDZY®

Determination of geometric parameters of agricultural raw materials
 – the example of maize cob®

Słowa kluczowe: skaner 3D, modelowanie, pomiar, kolba kukurydzy.

Celem pracy przedstawionej w artykule było uzyskanie wyników badań dotyczących stosowanych metod pomiarowych w zakresie dokładności wyznaczania podstawowych parametrów geometrycznych surowców roślinnych na przykładzie kolb kukurydzy. Spośród przedstawionych metod wyznaczenia parametrów geometrycznych kolb kukurydzy najlepsze efekty uzyskano przy metodzie 3D. Z przestrzennych modeli numerycznych można było wyznaczyć wymiary, powierzchnię, objętość całych próbek jak i ich wybranych fragmentów. Do wyznaczenia trzech podstawowych parametrów (długości, szerokości, grubości) brył obiektów można również stosować proste przyrządy pomiarowe (liniał, suwmiarka itp.). Dokładność wyznaczenia tych parametrów jest zbliżona do wyznaczonych metodą 3D. Względne różnice wyznaczania tych parametrów nie przekraczają 5%. Zaletą metod bezpośredniego pomiaru parametrów liniowych jest duża dokładność i szybkość pomiaru, wadą ograniczony zakres stosowania.

Key words: 3D scanner, modeling, measure, maize cob.

The purpose of the work presented in the article was the results of research on the measurement methods used in the scope of accuracy in determining the basic geometric parameters of plant raw materials on the corn cobs example. The presented methods for determining the geometrical parameters of corn cobs, the best effects were obtained with the 3D method. From the spatial numerical models it was possible to determine the dimensions, area, volume of whole samples and their selected fragments. To determine three basic parameters (length, width, thickness) of objects, it is possible also use simple measuring instruments (ruler, caliper, etc.). The accuracy of determining these parameters is similar to that determined by the 3D method. Relative differences in determining these parameters do not exceed 5%. The advantage of direct measurement methods of linear parameters is high accuracy and speed of measurement, the disadvantage is the limited scope of application.

Wykaz oznaczeń

- A – pole powierzchni całkowitej (mm^2),
- D_g – średnica zastępcza (mm),
- L – długość (mm),
- m – masa (g),
- N – liczebność próby,
- T – grubość (mm),
- V – objętość (mm^3),
- W – szerokość (mm),
- 1D – pomiar metodą bezpośrednią,
- 3D – pomiar metodą opartą o przestrzenny model numeryczny,
- Wyp – pomiar objętości metodą wypornościową.

WSTĘP

Pomiar i opis kształtu surowców biologicznych jest jedną z najczęściej wykonywanych czynności przed przystąpieniem do prac badawczych oraz prac projektowych [4, 5, 8, 15, 24, 27]. Surowce biologiczne ze względu na swoją budowę szybko ulegają uszkodzeniom i deformacjom w wyniku działania czynników zewnętrznych. Ważną rolę odgrywa wilgotność surowca, która ma znaczący wpływ na jego kształt i trwałość. Czynniki te wpływają na wybór metody pomiaru właściwości geometrycznych. Przez wiele dziesięcioleci badacze dysponowali prostymi przyrządami, które pozwalały na wykonanie podstawowych pomiarów surowca [3, 10, 16, 19, 26]. Zebrane wyniki w postaci liczb stanowiły efekt pomiarów, a próbki na których wykonano badanie ulegały zniszczeniu lub uszkodzeniu. Pojawienie się pod koniec drugiej połowy XX wieku pierwszych skanerów 3D pozwalało

przyпускzać, że nowa technika pomiarowa pozwoli szybko zrewolucjonizować pomiary surowców biologicznych i zastąpić tam, gdzie to jest możliwe, dotychczas stosowane techniki i metody pomiarowe. O ile w naukach technicznych i przemyśle metody skanowania 3D upowszechniły się i są dość często wykorzystywane, o tyle w naukach rolniczych ten sposób mierzenia surowców biologicznych nie jest jeszcze szeroko stosowany. Technika skanowania 3D opiera się na dość prostych zasadach pomiarów triangulacyjnych, a nowoczesne urządzenia do skanowania 3D pracują szybko. Co prawda skanowanie 3D z wykorzystaniem promienia lasera, czy też światła strukturalnego, nie pozwala zajrzeć do wnętrza badanej próbki, to jednak dane zebrane o jej kształcie i powierzchni dostarczają dodatkowych informacji, które mogą być wykorzystane w pomiarach oraz coraz częściej stosowanej symulacji komputerowej zjawisk fizycznych i procesów produkcyjnych [1, 2, 9, 11, 22, 25].

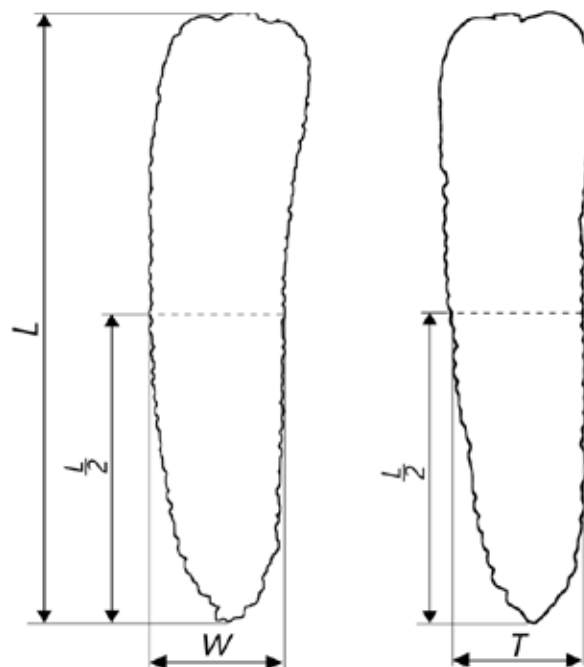
Celem artykułu jest prezentacja uzyskanych wyników badań dotyczących stosowanych metod pomiarowych w zakresie dokładności wyznaczania podstawowych parametrów geometrycznych surowców roślinnych na przykładzie kolb kukurydzy.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły kolby kukurydzy zwyczajnej odmiany Pioneer P8000 Maxim, zbierane w latach 2015/2017 z plantacji rolniczych z okolic Olsztyna. Kolby przeznaczone do badań uzyskano w wyniku ręcznego zbioru w okresie dojrzałości przetwórczej (dojrzałość późno-mleczna). Zebrane kolby przechowywano bez liści okrywowych w pomieszczeniu o stałej temperaturze $20 \pm 1^\circ\text{C}$ oraz wilgotności powietrza około 65%. Tak przechowywane kolby uległy wysuszeniu do wilgotności około 11%. Wilgotność kolb określono metodą wagowo-suszarkową susząc rozdzielony materiał w temperaturze 130°C [20].

Do pomiarów wybrano 47 kolb kukurydzy. Do liniowych pomiarów kolb stosowano przymiar liniowy o dokładności 1 mm i suwmiarkę elektroniczną o dokładności 0,01 mm. Długość kolb kukurydzy wyznaczono zgodnie z rysunkiem 1. Szerokość i grubość kolb mierzono w połowie ich długości. Przy wyznaczaniu objętości kolb kukurydzy użyto szklanej menzurki pojemności 1000 cm^3 o dokładności 10 cm^3 . Czas zanurzenia obiektów w trakcie pomiaru w wodzie destylowanej nie przekraczał 3 sekund. Budowę przestrzennych modeli numerycznych kolb wykonano za pomocą laserowego skanera 3D (rys. 2) firmy Nextengine [17].

Oczyszczone z liści kolby przed skanowaniem mocowano do stolika obrotowego z uchwytem. Skanując kolby stosowano tryb normalny, a odległość próbek od skanera wynosiła $x = 43 \text{ cm}$. Dla każdej kolby wykonano 9 skanów bocznych oraz dodatkowy skan tej części kolby którą jest ona przytwierdzona do łodygi całej rośliny. Gęstość skanowania kolb kukurydzy wynosiła 7 punktów na mm^2 . Średni czas wykonania wszystkich skanów, z których składał się przestrzenny model numeryczny, wynosił około 30 minut. Serię uzyskanych skanów 3D tworzących kolbę składano w programie komputerowym ScanStudio HD PRO firmy NextEngine [17]. Ponadto do wykonania pomiarów na gotowych modelach wykorzystano program MeshLab [14] oraz program FreeCAD [6].



Rys. 1. Podstawowe parametry kolb kukurydzy: L – długość, W – szerokość, T – grubość.

Fig. 1. Basic parameters of corn cobs: L – length, W – width, T – thickness.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



Rys. 2. Stanowisko komputerowe do budowania modeli numerycznych: 1 – komputer, 2 – monitor, 3 – skaner 3D, 4 – stolik obrotowy, 5 – próbka.

Fig. 2. Computer workstation for building numerical models: 1 – computer, 2 – monitor, 3 – 3D scanner, 4 – rotary table, 5 – sample.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Masę badanych próbek wyznaczono z użyciem wagi elektronicznej RADWAG PS 1000/C/2 z dokładnością $0,001 \text{ g}$. Pole powierzchni całkowitej kolb obliczono podstawiając wyniki uzyskane metodą 1D do wzoru (1) [13, 18]:

$$A = \pi \cdot D_g^2 \quad (1)$$

Średnicę zastępczą D_g , wykorzystywaną do wyznaczenia pola powierzchni według wyżej przedstawionego wzoru obliczono na podstawie wzoru (2) [16]:

$$D_g = (L \cdot W \cdot T)^{1/3} \quad (2)$$

Do oszacowania objętości kolb, wykorzystano formułę matematyczną (3) [7].

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot L \cdot W \cdot T \quad (3)$$

Obliczenia statystyczne przeprowadzono przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$, posługując się programem statystycznym STATISTICA v.12 PL [12, 21, 23].

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

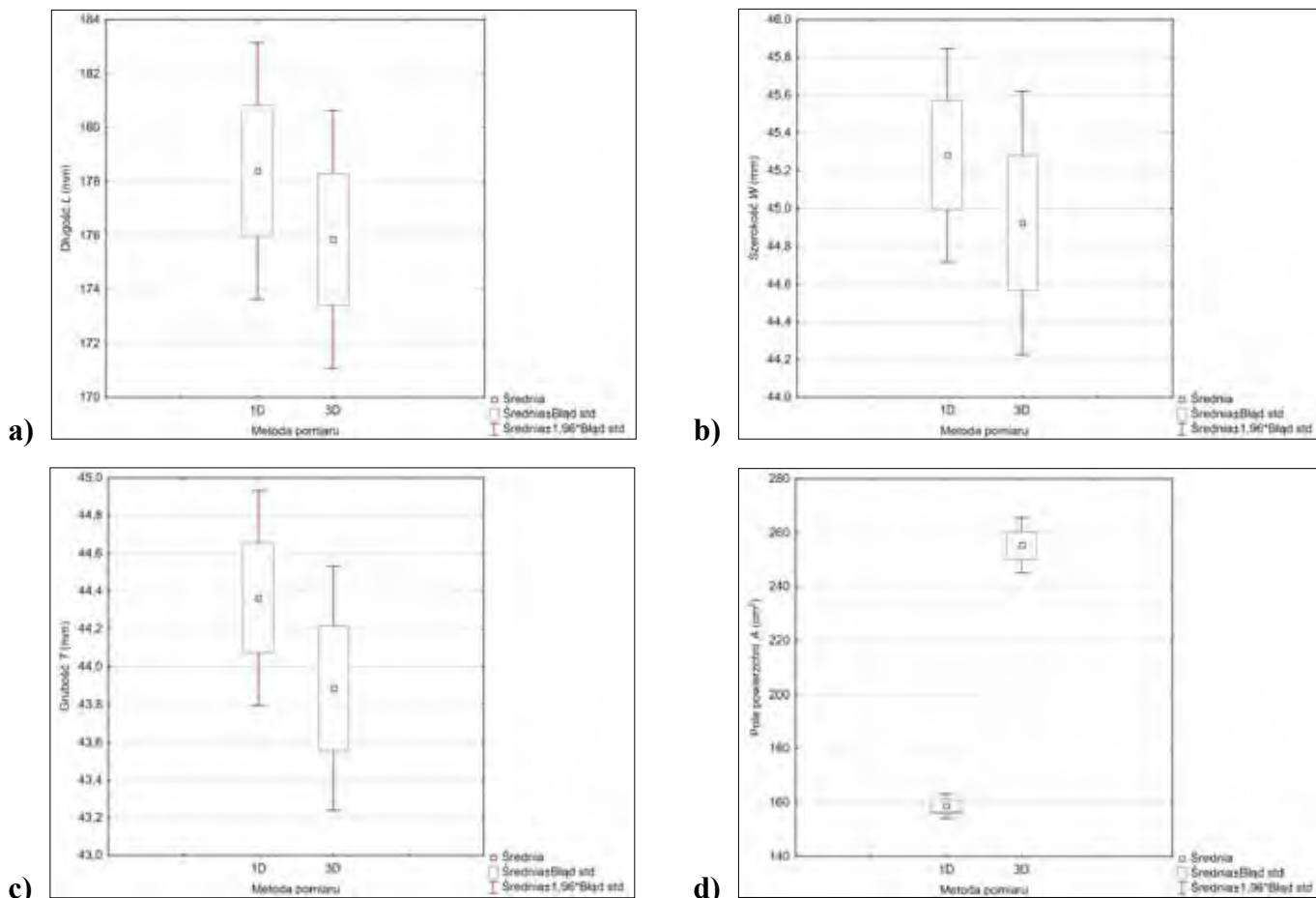
Kolby kukurydzy zwyczajnej mają kształt wydłużony, z licznymi wypukłościami i wgłębieniami o stosunkowo regularnym kształcie. Wypustki i wgłębienia są wynikiem ścisłego osadzenia ziaren na rdzeniu kolby. Wartości długości, szerokości, grubości i pola powierzchni całkowitej kolb dla wybranych metod pomiaru przedstawiono na rys. 3.

W przypadku długości, szerokości, grubości i całkowitego pola powierzchni kolby nie stwierdzono zgodności rozkładu tego parametru z rozkładem normalnym. Wartości prawdopodobieństwa (p) oceny zgodności rozkładów wymienionego parametru z rozkładem normalnym, dla pomiarów summiarką były mniejsze od 0,05. Niespełnienie podstawowego warunku parametrycznych testów statystycznych wymusiło konieczność zastosowania do określenia istotności różnic między średnimi wartościami tych parametrów, nieparametrycznego testu U Manna–Whitneya. Ocenę istotności różnic między

parametrami kolb uzyskanymi za pomocą przyjętych metod badawczych przedstawiono w tabeli 1.

Zakładając, że uzyskane wymiary kolb metodą 1D nie są obarczone błędem, to mogą one stanowić bazę odniesienia dla wyników uzyskanych za pomocą metod pomiaru 3D. Błąd względny między wartościami uzyskanymi metodą pomiaru bezpośredniego 1D a uzyskanymi metodą 3D określono „błędem metody”. Jak widać z rysunku 3 błąd metody pomiaru długości stosując metodę pomiaru 3D wynosił 1,72%. Błąd pomiaru szerokości metodą 3D wynosił 2,15%. Wyznaczając grubość kolby metodą 3D średni błąd wynosił 2,02%. Pole całkowitej powierzchni kolby wyznaczone różnymi metodami wykazuje stosunkowo duże różnice (rys. 3d). Wartość pola powierzchni wyznaczona metodą 3D w stosunku do metody 1D jest odpowiednio większa o około 35,6%.

Rozkład objętości kolb kukurydzy uzyskany z zastosowaniem metod (1D, 3D) i dodatkowo metodą wypornościową (Wyp) przedstawiono na rysunku 4. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że w przypadku pomiarów objętości kolb uzyskano zgodność rozkładu mierzonego parametru z rozkładem normalnym. Świadczy o tym wartość prawdopodobieństwa (p) testu stosowanego do tej analizy, która jest statystycznie nieistotna ($p > 0,05$). Wyniki takie odnotowano dla wszystkich przyrządów pomiarowych. W kolejnych analizach



Rys. 3. Wartości parametrów geometrycznych kolb kukurydzy wyznaczonych metodą 1D i 3D: a) długość, b) szerokość, c) grubość, d) pole powierzchni.

Fig. 3. Values of geometrical parameters of corn cobs determined by the 1D and 3D methods: a) length, b) width, c) thickness, d) area.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

związanych z określeniem istotności między średnimi wartościami badanego parametru wykorzystywano parametryczną analizę wariancji ANOVA. Wyniki szczegółowych analiz porównań wyników przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Wyniki obliczeń weryfikacji istotności różnic między średnimi wartościami poszczególnych wymiarów kolb kukurydzy

Table 1. The results of calculations verifying the significance of differences between the average values of individual corn cobs dimensions

| Prawdopodobieństwa porównań wielokrotnych | | | |
|--|-----------|-----------|---------------------|
| Metoda pomiaru | N ważnych | Suma Rang | Średnia |
| Długość L (U Manna-Whitneya test) Zpopraw.=0,839486; p=0,401197 | | | |
| 1D | 47 | 2344,00 | 178,40 ^a |
| 3D | 47 | 2121,00 | 175,85 ^a |
| Szerokość W (U Manna-Whitneya test) Zpopraw.= 0,967979; p=0,333055 | | | |
| 1D | 47 | 2361,00 | 45,28 ^a |
| 3D | 47 | 2104,00 | 44,92 ^a |
| Grubość T (U Manna-Whitneya test) Zpopraw.= 1,107858; p=0,267924 | | | |
| 1D | 47 | 2379,50 | 44,36 ^a |
| 3D | 47 | 2085,50 | 43,88 ^a |
| Pole powierzchni A (U Manna-Whitneya test) Zpopraw.= -8,23494; p=0,000000 | | | |
| 3D | 47 | 1143,00 | 255,34 ^a |
| A _{0g} | 47 | 3322,00 | 158,67 ^b |

Wartości w kolumnach z takimi samymi literami nie różnią się istotnie; a, b ($p \leq 0,05$)

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Tabela 2. Wyniki obliczeń weryfikacji istotności różnic między średnimi wartościami poszczególnych wymiarów kolb kukurydzy

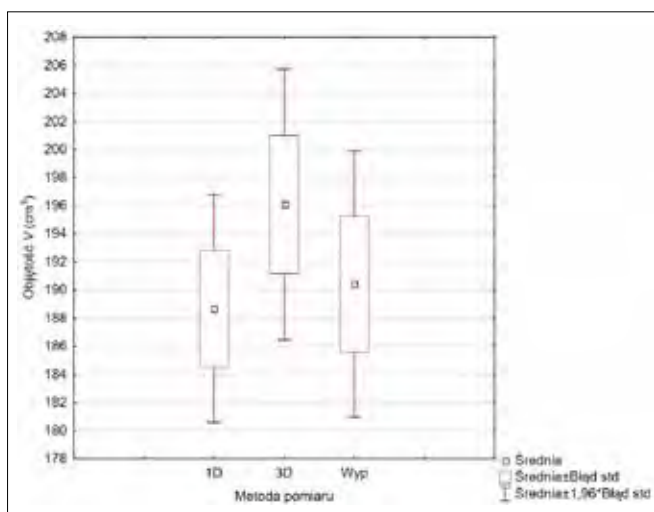
Table 2. The results of calculations verifying the significance of differences between the average values of individual corn cobs dimensions

| Prawdopodobieństwa porównań wielokrotnych | | | |
|---|-----------|------------------|---------------------|
| Metoda pomiaru | N ważnych | Błąd Standardowy | Średnia |
| Objętość V (ANOVA test) F(2, N=138)=0,70176; p=0,49747 | | | |
| 3D | 47 | 4,63 | 196,10 ^a |
| A _{0g} | 47 | 4,63 | 188,66 ^a |
| Wyp | 47 | 4,63 | 190,42 ^a |

Wartości w kolumnach z takimi samymi literami nie różnią się istotnie; a ($p \leq 0,05$)

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



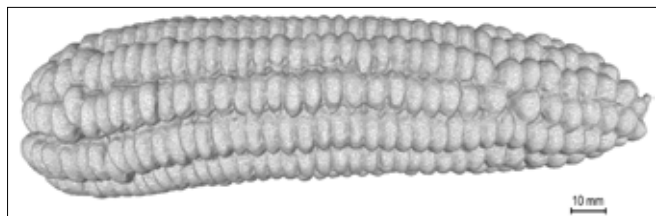
Rys. 4. Objętości kolb kukurydzy wyznaczone metodą 1D, 3D i metodą wypornościową (Wyp).

Fig. 4. Corn cob volumes determined by the 1D, 3D method and the displacement method (Wyp).

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Metodę wypornościową przyjęto jako metodę dokładną i do niej odnoszono wyniki uzyskane pozostałymi metodami. Metodami oznaczonymi jako 1D i 3D uzyskano wyniki zbliżone do uzyskanych w metodzie wypornościowej. Zakładając, że pomiary objętości kolby metodą wypornościową nie są obciążone błędem, to mogą one stanowić bazę odniesienia dla wyników uzyskanych za pomocą metod pomiaru 1D i 3D. Jak widać z rysunku 4 błąd metody pomiaru objętości kolby metodą 1D wynosił 6,75% a metodą 3D 4,44%. Przestrzenny model numeryczny kolby przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Widok modelu numerycznego kolby.

Fig. 5. View of the corn cob numerical model.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Spośród przedstawionych metod wyznaczenia parametrów geometrycznych kolb kukurydzy najlepsze efekty uzyskano przy metodzie 3D. Z przestrzennych modeli numerycznych można wyznaczyć pełen kompleks parametrów geometrycznych (wymiary, powierzchnię, objętość) całych próbek jak i ich wybranych fragmentów. Kształt próbki zapisany w postaci chmury punktów w pamięci komputera pozwala na wykonanie pomiarów objętości bez konieczności stosowania metod, w których próbka jest zanurzana w cieczy.

2. Do wyznaczenia trzech podstawowych parametrów (długości, szerokości, grubości) brył obiektów można stosować proste przyrządy pomiarowe (liniał, suwmiarka itp.). Dokładność wyznaczenia tych parametrów jest zbliżona do wyznaczonych metodą 3D. Względne różnice wyznaczenia tych parametrów nie przekraczają 5%. Zaletą metod bezpośredniego pomiaru parametrów liniowych jest duża dokładność i szybkość pomiaru, wadą ograniczony zakres stosowania.
3. Pomiar pola powierzchni kół z wykorzystaniem przestrzennych modeli numerycznych (metoda 3D) jest dokładniejszy niż pomiar pola powierzchni określany formułami matematycznymi, do których wprowadza się wyniki pomiarów uzyskane metodą bezpośrednią (1D).

LITERATURA

- [1] **ANDERS A., Z. KALINIEWICZ, P. MARKOWSKI. 2012.** „Zastosowanie skanera 3D do pomiarów cech geometrycznych produktów spożywczych na przykładzie pieczywa typu „kajzerka” i „minikajzerka”.” *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2: 22–26.
- [2] **ANDERS A., Z. KALINIEWICZ, P. MARKOWSKI. 2015.** „Numerical modelling of agricultural products on the example of bean and yellow lupine seeds.” *International Agrophysics* 29 (4): 397–403.
- [3] **COSKUNER Y., E. KARABABA. 2007.** „Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.)” *Journal of Food Engineering* 78 (3): 1067–1073.
- [4] **DATTA A. K., A. HALDER. 2008.** „Status of food process modeling and where do we go from here (synthesis of the outcome from brainstorming).” *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 7: 117–120.
- [5] **DINTWA E., M. V. ZEEBROECK, H. RAMON, E. TIJSKENS. 2008.** „Finite element analysis of the dynamic collisions of apple fruit.” *Postharvest Biology and Technology* 49 (2): 260–276.
- [6] **FreeCAD.** An open-source parametric 3D CAD modeler, 2017. <https://www.freecadweb.org>
- [7] **GASTÓN A. L., R. M. ABALONE, S. A. GINER. 2002.** „Wheat drying kinetics. Diffusivities for sphere and ellipsoid by finite elements.” *Journal of Food Engineering* 52 (4): 313–322.
- [8] **GROCHOWICZ J. 1994.** *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion.* Lublin: Wydawnictwo Akademii Rolniczej. ISBN 83–901612–9–X.
- [9] **HORABIK J., M. MOLENDĄ. 2003.** „Makro- i mikroskopowe modele materiałów sypkich.” *Acta Agrophysica* 93: 17–31.
- [10] **JADWISIENIAK K., Z. KALINIEWICZ. 2011.** „Analiza procesu czyszczenia nasion gorczycy. Cz. 1. Cechy fizyczne nasion.” *Inżynieria Rolnicza* 9 (134): 57–64.
- [11] **KALINIEWICZ Z., P. TYLEK, P. MARKOWSKI, A. ANDERS, T. RAWA, M. ZADROŻNY. 2012.** „Determination of shape factors and volume coefficients of seeds from selected coniferous trees.” *Technical Sciences* 15 (2): 217–228.
- [12] **KONOPKA S., P. MARKOWSKI. 2016.** „Metodyczne aspekty oceny rzetelności wyników badań na przykładzie pomiarów cech geometrycznych nasion fasoli.” *Acta Agrophysica* 23 (3): 421–432.

LITERATURA

- [1] **ANDERS A., Z. KALINIEWICZ, P. MARKOWSKI. 2012.** „Zastosowanie skanera 3D do pomiarów cech geometrycznych produktów spożywczych na przykładzie pieczywa typu „kajzerka” i „minikajzerka”.” *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2: 22–26.
- [2] **ANDERS A., Z. KALINIEWICZ, P. MARKOWSKI. 2015.** „Numerical modelling of agricultural products on the example of bean and yellow lupine seeds.” *International Agrophysics* 29 (4): 397–403.
- [3] **COSKUNER Y., E. KARABABA. 2007.** „Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.)” *Journal of Food Engineering* 78 (3): 1067–1073.
- [4] **DATTA A. K., A. HALDER. 2008.** „Status of food process modeling and where do we go from here (synthesis of the outcome from brainstorming).” *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 7: 117–120.
- [5] **DINTWA E., M. V. ZEEBROECK, H. RAMON, E. TIJSKENS. 2008.** „Finite element analysis of the dynamic collisions of apple fruit.” *Postharvest Biology and Technology* 49 (2): 260–276.
- [6] **FreeCAD.** An open-source parametric 3D CAD modeler, 2017. <https://www.freecadweb.org>
- [7] **GASTÓN A. L., R. M. ABALONE, S. A. GINER. 2002.** „Wheat drying kinetics. Diffusivities for sphere and ellipsoid by finite elements.” *Journal of Food Engineering* 52 (4): 313–322.
- [8] **GROCHOWICZ J. 1994.** *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion.* Lublin: Wydawnictwo Akademii Rolniczej. ISBN 83–901612–9–X.
- [9] **HORABIK J., M. MOLENDĄ. 2003.** „Makro- i mikroskopowe modele materiałów sypkich.” *Acta Agrophysica* 93: 17–31.
- [10] **JADWISIENIAK K., Z. KALINIEWICZ. 2011.** „Analiza procesu czyszczenia nasion gorczycy. Cz. 1. Cechy fizyczne nasion.” *Inżynieria Rolnicza* 9 (134): 57–64.
- [11] **KALINIEWICZ Z., P. TYLEK, P. MARKOWSKI, A. ANDERS, T. RAWA, M. ZADROŻNY. 2012.** „Determination of shape factors and volume coefficients of seeds from selected coniferous trees.” *Technical Sciences* 15 (2): 217–228.
- [12] **KONOPKA S., P. MARKOWSKI. 2016.** „Metodyczne aspekty oceny rzetelności wyników badań na przykładzie pomiarów cech geometrycznych nasion fasoli.” *Acta Agrophysica* 23 (3): 421–432.

- [13] **McCABE W.L., J.C. SMITH, P. HARRIOT. 1986.** Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill, New York.
- [14] MeshLab Visual Computing Lab – ISTI – CNR, 2013. <http://meshlab.sourceforge.net>.
- [15] **MIESZKALSKI L. 2016.** „Matematyczne modelowanie kształtu podstawowych części morfologicznych cebuli cukrowej (*Allium cepa* L.).” Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego 1: 40–46.
- [16] **MOHSENIN N.N. 1986.** “Physical properties of plant and animal materials.” Gordon and Breach Science Public, New York.
- [17] NextEngine User Manual, 2010. <http://www.nextengine.com>.
- [18] **OLAJIDE J.O., B.I.O. ADE-OMOWAYE. 1999.** „Some physical properties of locust bean seed.” Journal of Agricultural Engineering Research 74 (2): 213–215.
- [19] **PEREZ E.E., G.H. CRAPISTE, A. A. CARELLI. 2007.** “Some physical and morphological properties of wild sunflower seeds.” Biosystems Engineering 96: 41–45.
- [20] **PN-ISO 6540. 1994.** Kukurydza – Oznaczenie wilgotności rozdrobnionego i całego ziarna. Warszawa: Wyd. Polski Komitet Normalizacyjny.
- [21] **RABIEJ M. 2012.** Statystyka z programem Statistica. Gliwice: Wydawnictwo Helion, ISBN: 978–83–246–4110–9.
- [22] **RAHMI U., E. FERRUH. 2009.** „Potential use of 3–dimensional scanners for food process modeling.” Journal of Food Engineering 93: 337–343.
- [23] **RAWA T. 2012.** Metodyka wykonywania inżynierskich i magisterskich prac dyplomowych. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, ISBN: 978-83-7299-752-4.
- [24] **SCHEERLINCK N., D. MARQUENIE, P.T. JANCOSOK, P. VERBOVEN, C.G. MOLES, J.R. BANGA, B.M. NICOLAI. 2004.** “A model–based approach to develop periodic thermal treatments for surface decontamination of strawberries.” Postharvest Biology and Technology 34: 39–52.
- [25] **SOBIESKI W. 2009.** “Switch function and sphericity coefficient in the Gidaspow drag model for modeling solid–fluid systems.” Drying Technology 27 (2): 267–280.
- [26] **TUNDE-AKINTUNDE T.Y., B. O. AKINTUNDE. 2004.** „Some physical properties of Sesame seed.” Biosystems Engineering 88 (1): 127–129.
- [27] **WRÓBEL M. 2011.** “Metoda rekonstrukcji 3D nasion w aplikacji typu CAD.” Inżynieria Rolnicza 6 (131): 281–288.

- [13] **McCABE W.L., J.C. SMITH, P. HARRIOT. 1986.** Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill, New York.
- [14] MeshLab Visual Computing Lab – ISTI – CNR, 2013. <http://meshlab.sourceforge.net>.
- [15] **MIESZKALSKI L. 2016.** „Matematyczne modelowanie kształtu podstawowych części morfologicznych cebuli cukrowej (*Allium cepa* L.).” Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego 1: 40–46.
- [16] **MOHSENIN N.N. 1986.** “Physical properties of plant and animal materials.” Gordon and Breach Science Public, New York.
- [17] NextEngine User Manual, 2010. <http://www.nextengine.com>.
- [18] **OLAJIDE J.O., B.I.O. ADE-OMOWAYE. 1999.** „Some physical properties of locust bean seed.” Journal of Agricultural Engineering Research 74 (2): 213–215.
- [19] **PEREZ E.E., G.H. CRAPISTE, A. A. CARELLI. 2007.** “Some physical and morphological properties of wild sunflower seeds.” Biosystems Engineering 96: 41–45.
- [20] **PN-ISO 6540. 1994.** Kukurydza – Oznaczenie wilgotności rozdrobnionego i całego ziarna. Warszawa: Wyd. Polski Komitet Normalizacyjny.
- [21] **RABIEJ M. 2012.** Statystyka z programem Statistica. Gliwice: Wydawnictwo Helion, ISBN: 978–83–246–4110–9.
- [22] **RAHMI U., E. FERRUH. 2009.** „Potential use of 3–dimensional scanners for food process modeling.” Journal of Food Engineering 93: 337–343.
- [23] **RAWA T. 2012.** Metodyka wykonywania inżynierskich i magisterskich prac dyplomowych. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, ISBN: 978-83-7299-752-4.
- [24] **SCHEERLINCK N., D. MARQUENIE, P.T. JANCOSOK, P. VERBOVEN, C.G. MOLES, J.R. BANGA, B.M. NICOLAI. 2004.** “A model–based approach to develop periodic thermal treatments for surface decontamination of strawberries.” Postharvest Biology and Technology 34: 39–52.
- [25] **SOBIESKI W. 2009.** “Switch function and sphericity coefficient in the Gidaspow drag model for modeling solid–fluid systems.” Drying Technology 27 (2): 267–280.
- [26] **TUNDE-AKINTUNDE T.Y., B. O. AKINTUNDE. 2004.** „Some physical properties of Sesame seed.” Biosystems Engineering 88 (1): 127–129.
- [27] **WROBEL M. 2011.** “Metoda rekonstrukcji 3D nasion w aplikacji typu CAD.” Inżynieria Rolnicza 6 (131): 281–288.