

Dr hab. inż. Andrzej ANDERS, Ph.D, Eng
 Dr hab. inż. Zdzisław KALINIEWICZ, Ph.D, Eng
 Dr hab. inż. Piotr MARKOWSKI, Ph.D, Eng
 Dr inż. Ewelina KOLANKOWSKA, Dr. Eng.
 Prof. dr hab. inż. Dariusz CHOSZCZ, Professor Dr. Eng.
 Dr inż. Krzysztof JADWISIENICZAK, Dr. Eng.
 Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań, Wydział Nauk Technicznych
 Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Polska
 Department of Heavy Duty Machines and Research Methodology
 Faculty of Technical Sciences, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland

ANALIZA PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH OWOCÓW TRUSKAWKI ODMIANY „MARMOLADA” NA POTRZEBY PROJEKTOWANIA URZĄDZEŃ DO ICH PRZETWARZANIA®

Geometrical parameters analysis of "Marmolada" strawberries for the purposes of equipment designing for their processing®

Słowa kluczowe: modelowanie, owoc truskawki, pomiar, pole powierzchni, objętość.

W artykule omówiono trzy metody pozyskiwania informacji o geometrycznych parametrach owoców truskawki. Pierwsza to metoda pomiaru bezpośredniego, wykonana za pomocą suwmiarki i modeli geometrycznych (metoda 1D). Druga to metoda wykorzystująca fotografię cyfrową i oprogramowanie typu CAD do tworzenia brył obrotowych na podstawie obrysu kształtu truskawki. Trzecia to metoda pomiaru przestrzennego modelu numerycznego otrzymanego za pomocą skanowania 3D (metoda 3D). Celem pracy była ocena wyżej wymienionych metod pomiarowych w zakresie dokładności wyznaczania pola powierzchni i objętości owoców truskawki. Z przeprowadzonych badań na owocach wynika, że spośród zastosowanych trzech metod wyznaczenia parametrów geometrycznych owoców najlepsze efekty uzyskano przy metodzie 3D. Do wyznaczenia pola powierzchni owoców truskawki metodą 1D można zastosować kulę (M1) i model bryły obrotowej (M_{BO}). Wyznaczając objętość owoców truskawki metodą 1D można wykorzystać kulę (M1) i elipsoidę obrotową (M4). Wykorzystując wymienione modele do wyznaczenia pola powierzchni i objętości owoców popętnia się błąd względny pomiaru mniejszy od 7%.

Key words: modeling, strawberry fruit, measure, surface area, volume.

This article describes a three methods for acquiring information about the geometric parameters of strawberry fruit. The direct method involved measurements with the use of a caliper and geometric models (1D method). The second is a method that uses digital photography and CAD software to create revolving solids based on the contour of the strawberry shape. The third indirect method was based on digital models constructed by 3D scanning (3D method). The aim of this study was to evaluate the accuracy of the above measurement methods in determining the surface area and volume of strawberry fruit. The analysis of the three methods for determining the geometric parameters of strawberries revealed that the 3D method delivered more accurate results. In the 1D method, the surface area of strawberry fruit can be determined with the use of a sphere (M1) and a revolving solid model (M_{BO}). The volume of strawberry fruit can be determined with the use of a sphere (M1) and a spheroid (M4). When geometric models M1, M4 and M_{BO} were applied to measure the surface area and volume of strawberries, the mean relative error was less than 7% respectively.

WYKAZ OZNACZEŃ

A – pole powierzchni całkowitej (mm ²),	T – grubość (mm),
d_w – arytmetyczna średnica zastępcza (mm),	V – objętość (mm ³),
d_z – średnica zastępcza (mm),	W – szerokość (mm),
L – długość (mm),	1D – pomiar metodą bezpośrednią,
N – liczebność próby,	3D – pomiar metodą opartą o przestrzenny model numeryczny.

Corresponding author – Adres do korespondencji: Andrzej Anders, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Faculty of Technical Sciences, Department of Heavy Duty Machines and Research Methodology, ul. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn, Poland, e-mail: andrzej.anders@uwm.edu.pl

WSTĘP

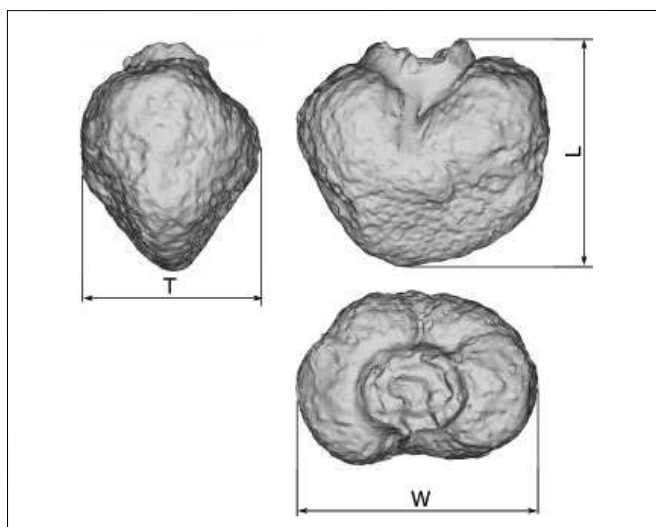
Pole powierzchni oraz objętość surowców rolniczych i spożywczych to parametry, które są wykorzystywane w planowaniu procesów zbioru, czyszczenia, zaprawiania, powlekania, obierania i pakowania [8, 10, 19, 20, 21]. Do pomiaru podstawowych parametrów geometrycznych są wykorzystywane przede wszystkim przyrządy miernicze pozwalające na bezpośredni pomiar liniowy. Do takich przyrządów zalicza się liniały, suwmiarki analogowe i suwmiarki elektroniczne [9, 12]. Wszystkie te metody pozwalają bezpośrednio i szybko określić wymiar liniowy badanego obiektu i są tanie. Pomiar obiektu i zapisanie wyniku odbywa się z reguły bez potrzeby specjalnego przygotowywania badanych próbek. Uzyskane wyniki pomiarów wyżej wymienionymi przyrządami pozwalają na określenie pola powierzchni i objętości badanych surowców za pomocą formuł matematycznych opisujących określone bryły geometryczne [4, 6, 7].

Metoda pomiaru oparta na rejestracji kształtu próbek w postaci chmury punktów polega na rejestracji położenia punktów tworzących model próbki za pomocą skanera 3D [14, 17]. Na bazie uzyskanego przestrzennego modelu numerycznego można wykonać dokładne pomiary metrologiczne [15]. Wykonanie modelu numerycznego tą metodą jest czasochłonne, ale pozwala na zapisanie uzyskanych wyników w pamięci komputera. Metodę tę można stosować do pomiarów surowców małych oraz dużych, kruchych i wrażliwych na uszkodzenia [1, 2]. W artykule omówiono trzy metody pozyskiwania informacji o fizycznych parametrach surowców. Pierwsza to metoda pomiaru bezpośredniego, wykonana za pomocą suwmiarki oraz podstawienie uzyskanych wyników do formuł matematycznych [3]. Druga to metoda oparta na wykorzystaniu fotografii cyfrowej badanej próbki do wykonania obrysu surowca i utworzeniu w programie typu CAD bryły obrotowej. Trzecia to metoda pomiaru przestrzennego modelu numerycznego otrzymanego za pomocą skanowania 3D.

Celem artykułu jest ocena wyżej wymienionych metod pomiarowych w zakresie dokładności wyznaczania pola powierzchni i objętości owoców truskawki. Ocena dotyczy względnych porównań dokładności wyznaczania wyżej wymienionych parametrów geometrycznych.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły owoce truskawki (*Fragaria*) zakupione w sieci sklepów spożywczych PSS Spółem w Olsztynie. Do badań wybrano losowo 30 owoców bez widocznych uszkodzeń. Zebrane owoce przechowywano w chłodni, w której panowała stała temperatura $5 \pm 1^\circ\text{C}$. Do liniowych pomiarów owoców stosowano suwmiarkę elektroniczną o dokładności 0,01 mm. Długość, szerokość i grubość owoców truskawki wyznaczono zgodnie z rysunkiem 1.

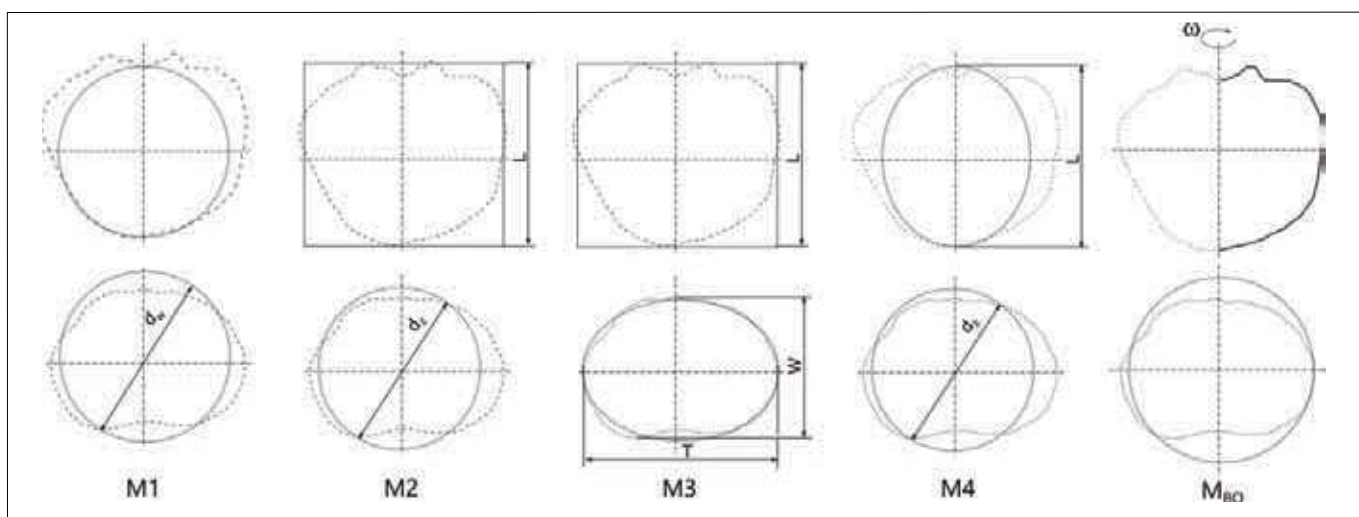


Rys. 1. Model numeryczny truskawki.

Fig. 1. Numerical model of strawberry.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



Rys. 2. Modele geometryczne owoców truskawki: M1 – kula, M2 – walec, M3 – walec eliptyczny, M4 – elipsoida obrotowa, M_{BO} – bryła obrotowa; d_w – arytmetyczna średnica zastępcza, d_z – średnica zastępcza, L – długość, W – szerokość, T – grubość.

Fig. 2. Geometric models of strawberry fruits: M1 – sphere, M2 – cylinder, M3 – elliptic cylinder, M4 – spheroid, M_{BO} – revolving solid, d_w – arithmetic mean diameter, d_z – mean diameter, L – length, W – width, T – thickness.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Do obliczeń pola powierzchni i objętości zastosowano 5 modeli geometrycznych składających się z wybranych brył geometrycznych (rys. 2).

Dla każdego modelu geometrycznego wyznaczono formuły matematyczne:

- model kuli (M1):

$$A_{M1} = \pi \cdot d_w^2 \quad (1)$$

$$V_{M1} = \frac{\pi \cdot d_w^3}{6} \quad (2)$$

- model walca (M2):

$$A_{M2} = \pi \cdot d_z \cdot L + 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_z}{2}\right)^2 \quad (3)$$

$$V_{M2} = \frac{\pi \cdot d_z^2 \cdot L}{4} \quad (4)$$

- model walca eliptycznego (M3):

$$A_{M3} \approx \pi \cdot L \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot (W + T) - \sqrt{\frac{W \cdot T}{4}}\right) + 2 \cdot \pi \cdot \frac{W \cdot T}{4} \quad (5)$$

$$V_{M3} = \frac{\pi \cdot W \cdot T \cdot L}{4} \quad (6)$$

- model elipsoidy obrotowej (M4) gdy: $\frac{L}{2} > \frac{d_z}{2}$

to:

$$A_{M4} = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_z}{2}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{\frac{L}{2}}{\frac{d_z}{2} \cdot e} \cdot \arcsin(e)\right) = \frac{4 \cdot \pi \cdot d_z^2 + \pi \cdot L \cdot d_z \cdot e \cdot \arcsin(e)}{8} \quad (7)$$

gdzie:

$$e = \sqrt{1 - \frac{d_z^2}{L^2}} \quad (8)$$

$$V_{M4} = \frac{\pi \cdot d_z^2 \cdot L}{6} \quad (9)$$

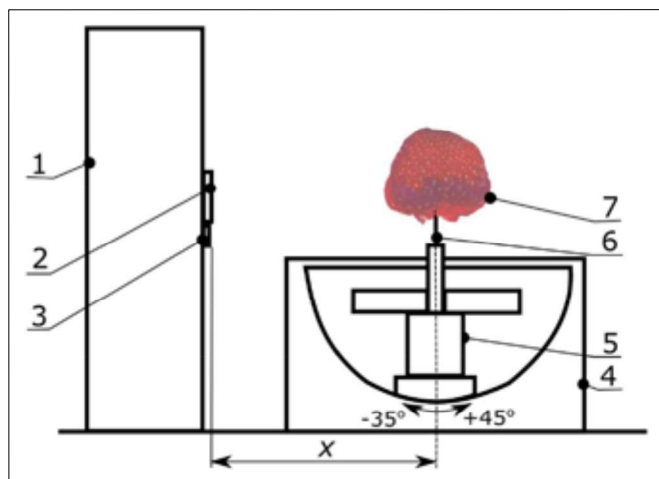
Występujące w modelach M1, M2 i M4 średnice zastępcze wyznaczano ze wzorów:

$$d_w = \frac{L + W + T}{3} \quad (10)$$

$$d_z = \frac{W + T}{2} \quad (11)$$

Model truskawki w postaci bryły obrotowej (M_{BO}) wykonano na podstawie fotografii owoców wczytanych do programu FreeCad [5]. Fotografie wykonano aparatem cyfrowym Casio EX-F1 z rozdzielczością 2816x2112 piksele. Aparat był zamocowany na statywie i znajdował się 40 cm nad fotografowanym owocem truskawki. Obrys krawędzi truskawki wykonano w module programu tworzenie części (*Part Design*) z wykorzystaniem krzywej złożonej. Pole

powierzchni i objętość otrzymanej bryły obrotowej wyznaczono w programie FreeCad za pomocą makrodefinicji *FC-Info*. Budowę przestrzennych modeli numerycznych owoców wykonano za pomocą laserowego skanera 3D firmy Nextengine [13]. Owoce mocowano do stolika obrotowego z uchwytem (rys. 3). Gęstość skanowania owoców wynosiła 7 punktów na mm². Średni czas wykonania wszystkich skanów, z których składał się przestrzenny model numeryczny, wyniósł około 30 minut.



Rys. 3. Skanowanie 3D owoców truskawki: 1 – skaner 3D, 2 – kamera, 3 – diody laserowe, 4 – stolik obrotowy z regulowanym pochyleniem, 5 – silnik, 6 – igła, 7 – próbka, x – odległość próbki od skanera.

Fig. 3. 3D scanning of strawberry fruits: 1 – 3D scanner, 2 – camera, 3 – laser diodes, 4 – rotary table with adjustable tilt, 5 – motor, 6 – needle, 7 – sample, x – distance between the sample and the scanner.

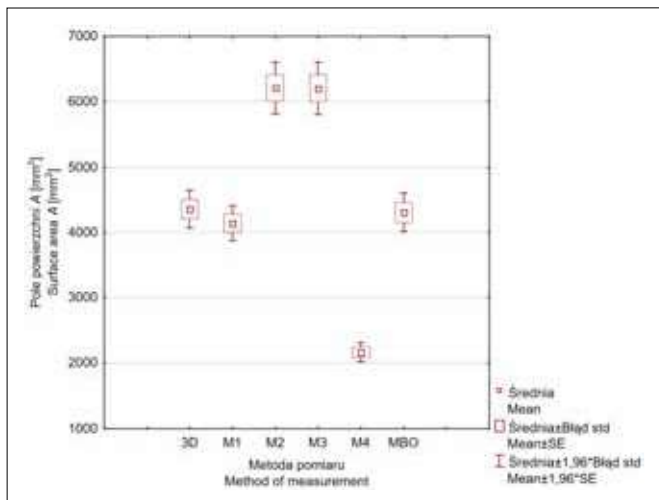
Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Serię uzyskanych skanów 3D tworzących przestrzenne modele numeryczne składano w programie komputerowym ScanStudio HD PRO [13]. Do wykonania pomiarów pola powierzchni i objętości na gotowych modelach (3D) wykorzystano program MeshLab [11]. Porównano istotności różnic między średnimi wartościami pola powierzchni całkowitej i objętości. Do obliczeń stosowano nieparametryczny test ANOVA rang Kruskala-Wallisa. Obliczenia przeprowadzono przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$, posługując się programem statystycznym STATISTICA v.13 PL [16, 18].

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Skanowanie 3D owoców pozwoliło uzyskać przestrzenne modele numeryczne, na podstawie których można było określić pole powierzchni i objętość badanych owoców truskawki. Wartości pola powierzchni całkowitej owoców truskawki dla zastosowanych modeli przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Pole powierzchni owoców truskawki.

Fig. 4. Surface area of strawberry fruit.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Ocenę istotności różnic między parametrami owoców uzyskanymi za pomocą przyjętych metod badawczych przedstawiono w tabeli 1.

Zakładając, że uzyskane wyniki pomiarów pola powierzchni owoców truskawki metodą 3D nie są obciążone błędem, mogą one zatem stanowić bazę odniesienia dla wyników uzyskanych za pomocą pozostałych modeli. Błąd względny między wartościami uzyskanymi z zastosowanych modeli a uzyskanymi metodą 3D określono „błędem metody”. Jak widać z rysunku 5 średni błąd względny pomiaru pola powierzchni wykorzystując modele geometryczne M1 i M_{BO} wynosił odpowiednio 4,70% i 0,80%. Pozostałe modele geometryczne dawały błąd większy od 5%. Przy zastosowaniu modeli geometrycznych rzeczywista powierzchnia owoców jest traktowana jako ciągła płaszczyzna bez zagłębień.

Tabela 1. Wyniki obliczeń weryfikacji istotności różnic między średnimi wartościami pola powierzchni

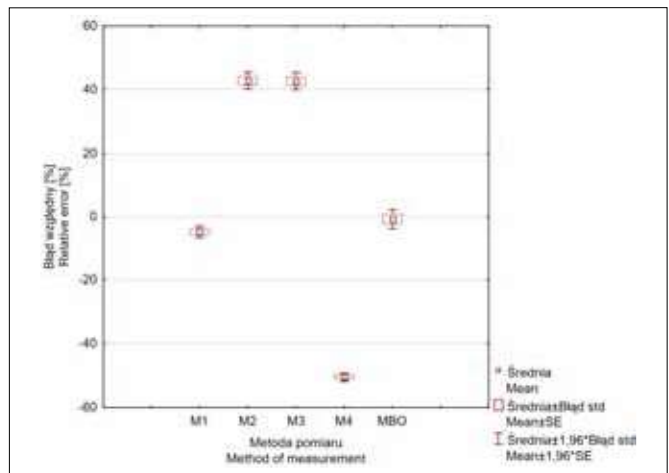
Table 1. Results of the calculations to verify the significance of differences between the mean values of the area

Pole powierzchni A (Kruskala-Wallis test) / Area A (Kruskal-Wallis test) H(5, N=180)=128,48; p=0,000				
Prawdopodobieństwa porównań wielokrotnych / Probability of multiple comparisons				
Metoda pomiaru Measurement method	Liczebność próby Number of observations N	Suma rang Rank-sum	Średnia ranga Mean rank	Średnia Mean (mm ²)
3D	30	2519,00	83,96	4356,42 ^b
M1	30	2246,00	74,86	4143,88 ^b
M2	30	4332,00	144,40	6207,26 ^c
M3	30	4294,00	143,13	6201,57 ^c
M4	30	476,00	15,86	2160,42 ^a
M _{BO}	30	2423,00	80,76	4309,46 ^b

Wartości w kolumnach z takimi samymi literami nie różnią się istotnie; a, b, c ($P \leq 0,05$)
Values in columns marked with identical letters do not differ significantly; a, b, c ($P \leq 0.05$)

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

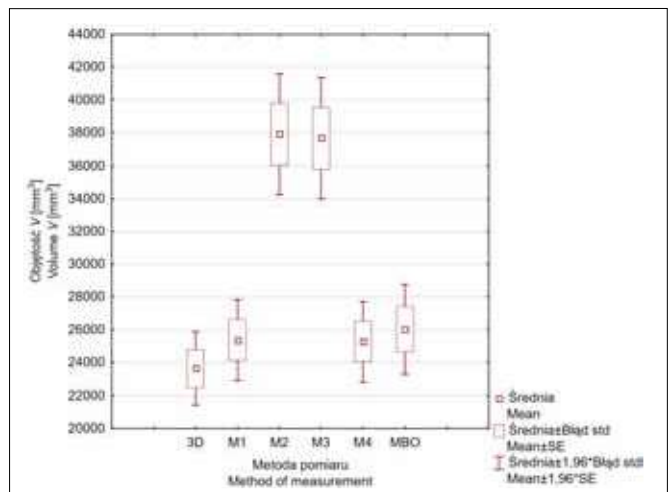


Rys. 5. Błąd względny wyznaczania pola powierzchni owoców truskawki.

Fig. 5. Relative error in determining the surface area of strawberries.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



Rys. 6. Objętość owoców truskawki.

Fig. 6. Volume of strawberries.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Table 2. Results of the calculations to verify the significance of differences between mean values of volume

Tabela 2. Wyniki obliczeń weryfikacji istotności różnic między średnimi wartościami objętości

Objętość V (Kruskala-Wallis test) / Volume V (Kruskal-Wallis test) H(5, N=180)=61,50; p=0,000				
Prawdopodobieństwa porównań wielokrotnych / Probability of multiple comparisons				
Metoda pomiaru Measurement method	Liczebność próby Number of observations N	Suma rang Rank-sum	Średnia ranga Mean rank	Średnia Mean (mm ²)
3D	30	1790,00	59,66	23640,89a
M1	30	2171,00	72,36	25376,70a
M2	30	4026,00	134,20	37911,39b
M3	30	3958,00	131,93	37682,93b
M4	30	2121,00	70,70	25274,26a
M _{BO}	30	2224,00	74,13	26015,57a

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

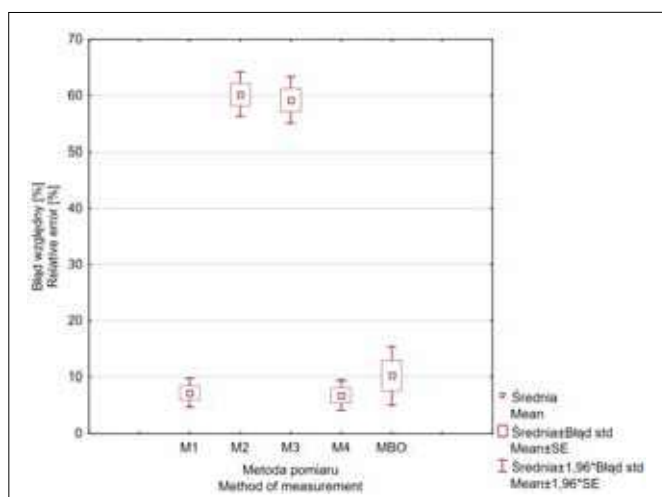
Values in columns marked with identical letters do not differ significantly: a, b ($P \leq 0.05$)

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Do określenia istotności między średnimi wartościami objętości wykorzystywano test ANOVA rang Kruskala-Wallisa. Wyniki szczegółowych analiz porównań przedstawiono w tabeli 2.

Zakładając, że pomiary objętości owoców truskawki metodą 3D nie są obciążone błędem, to mogą one stanowić bazę odniesienia dla wyników uzyskanych za pomocą modeli geometrycznych. Jak widać z rysunku 7 błąd metody pomiaru objętości owoców wykorzystując modele geometryczne M1, M4 i M_{BO} wynosił od 6,80% do 10,25%.



Rys. 7. Błąd względny wyznaczania objętości owoców truskawki.

Fig. 7. Relative error in determining the volume of strawberry.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań na owocach truskawki, wynika, że spośród zastosowanych trzech metod wyznaczenia parametrów geometrycznych owoców najlepsze efekty uzyskano przy metodzie 3D. Na podstawie przestrzennych modeli numerycznych można wyznaczyć parametry geometryczne (wymiary, powierzchnię, objętość) całych próbek jak i ich wybranych fragmentów. Pomiar pola powierzchni owoców z wykorzystaniem przestrzennych modeli numerycznych jest dokładniejszy niż pomiar pola powierzchni metodą bezpośrednią z wykorzystaniem modeli geometrycznych (metoda 1D). Do wyznaczenia pola powierzchni owoców truskawki metodą 1D można zastosować modele geometryczne M1 (kula) i M_{BO} (bryła obrotowa). Wyznaczając objętość owoców truskawki metodą 1D można wykorzystać modele M1 (kula) i M4 (elipsoida obrotowa). Wykorzystując wymienione modele do wyznaczania pola powierzchni i objętości owoców popełnia się błąd względny pomiaru mniejszy od 7%. Budowanie za pomocą inżynierii odwrotnej przestrzennego modelu numerycznego (metoda 3D) jest procesem wymagającym zachowania określonych warunków oświetleniowych, które na chwilę obecną nie są łatwe do spełnienia w warunkach polowych.

CONCLUSIONS

The analysis of the three methods for determining the geometric parameters of strawberries revealed that the 3D method delivered more accurate results. The geometric parameters (linear dimensions, surface area, volume) of entire samples and their selected fragments can be determined based on digital 3D models. The surface area of strawberries was more accurately measured using digital 3D models (3D method) than the direct method involving geometric models (1D method). In the 1D method, the surface area of strawberry fruit can be determined with the use of a sphere (M1) and a revolving solid (M_{BO}). The volume of strawberry fruit can be determined with the use of a sphere (M1) and a spheroid

(M4). When geometric models M_1 , M_4 and M_{BO} were applied to measure the surface area and volume of strawberries, the mean relative error was less than 7% respectively. Building

a numerical model (3D method) using reverse engineering is a process that requires maintaining good lighting conditions, which at present are not easy to apply in the field.

REFERENCES

- [1] **ANDERS A., P. MARKOWSKI, Z. KALINIEWICZ. 2014.** „Wykorzystanie skanera 3D do badania właściwości geometrycznych nasion konopi siewnych (*Cannabis Sativa* L.)”. *Acta Agrophysica* 21 (4): 391–402.
- [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] **BRONSZTEJN I. N., K. A. SIEMIENDIAJEW. 2004.** *Matematyka. Poradnik Encyklopedyczny*. Warszawa: PWN, ISBN: 83-01-14261-8.
- [4] **DONEVA., I. CISSE, D. SACHS, E.A. VARIANO, F.H. STILLINGER, R. CONNELLY, S. TORQUATO, P. M. CHAIKIN. 2004.** “Improving the density of Jammed Disordered Packings using ellipsoids”. *Science* 303 (5660): 990–993.
- [5] **FreeCAD 0.20.1. 2022.** <https://www.freecadweb.org>.
- [6] **GONI S. M., E. PURLIS, V. O. SALVADORI. 2007.** “Three-dimensional reconstruction of irregular foodstuffs”. *Journal of Food Engineering* 82 (4): 536–547.
- [7] **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.
- [8] **KELKAR S., S. STELLA, C. BOUSHEY, M. OKOS. 2011.** “Developing novel 3D measurement techniques and prediction method for food density determination”. *Procedia Food Science* 1: 483–491.
- [9] **KONOPKA S., P. MARKOWSKI. 2016.** „Metodyczne aspekty oceny rzetelności wyników badań na przykładzie pomiarów cech geometrycznych nasion fasoli”. *Acta Agrophysica* 23 (3): 421–432.
- [10] **MARKOWSKI M., I. BIAŁOBRZEWSKI, A. MODRZEWSKA. 2010.** “Kinetics of spouted-bed drying of barley: Diffusivities for sphere and ellipsoid”. *Journal of Food Engineering* 96: 380–387.
- [11] **MeshLab Visual Computing Lab – ISTI – CNR. 2013.** <http://meshlab.sourceforge.net>.
- [12] **MIESZKALSKI L. 2016.** „Matematyczne modelowanie kształtu podstawowych części morfologicznych cebuli cukrowej (*Allium cepa* L.)”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1: 40–46.
- [13] **NextEngine User Manual. 2010.** <http://www.nextengine.com>.
- [14] **NGUYEN T. T., D. C. SLAUGHTER, N. MAX, J. N. MALOOF, N. SINHA. 2015.** “Structured light-based 3D reconstruction system for plants”. *Sensors* 15: 18587–18612.

REFERENCES

- [1] **ANDERS A., P. MARKOWSKI, Z. KALINIEWICZ. 2014.** „Wykorzystanie skanera 3D do badania właściwości geometrycznych nasion konopi siewnych (*Cannabis Sativa* L.)”. *Acta Agrophysica* 21 (4): 391–402.
- [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] **BRONSZTEJN I. N., K. A. SIEMIENDIAJEW. 2004.** *Matematyka. Poradnik Encyklopedyczny*. Warszawa: PWN, ISBN: 83-01-14261-8.
- [4] **DONEV A., I. CISSE, D. SACHS, E.A. VARIANO, F.H. STILLINGER, R. CONNELLY, S. TORQUATO, P. M. CHAIKIN. 2004.** “Improving the density of Jammed Disordered Packings using ellipsoids”. *Science* 303 (5660): 990–993.
- [5] **FreeCAD 0.20.1. 2022.** <https://www.freecadweb.org>.
- [6] **GONI S. M., E. PURLIS, V. O. SALVADORI. 2007.** “Three-dimensional reconstruction of irregular foodstuffs”. *Journal of Food Engineering* 82 (4): 536–547.
- [7] **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.
- [8] **KELKAR S., S. STELLA, C. BOUSHEY, M. OKOS. 2011.** “Developing novel 3D measurement techniques and prediction method for food density determination”. *Procedia Food Science* 1: 483–491.
- [9] **KONOPKA S., P. MARKOWSKI. 2016.** „Metodyczne aspekty oceny rzetelności wyników badań na przykładzie pomiarów cech geometrycznych nasion fasoli”. *Acta Agrophysica* 23 (3): 421–432.
- [10] **MARKOWSKI M., I. BIAŁOBRZEWSKI, A. MODRZEWSKA. 2010.** “Kinetics of spouted-bed drying of barley: Diffusivities for sphere and ellipsoid”. *Journal of Food Engineering* 96: 380–387.
- [11] **MeshLab Visual Computing Lab - ISTI – CNR. 2013.** <http://meshlab.sourceforge.net>.
- [12] **MIESZKALSKI L. 2016.** „Matematyczne modelowanie kształtu podstawowych części morfologicznych cebuli cukrowej (*Allium cepa* L.)”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1: 40–46.
- [13] **NextEngine User Manual. 2010.** <http://www.nextengine.com>.
- [14] **NGUYEN T. T., D. C. SLAUGHTER, N. MAX, J. N. MALOOF, N. SINHA. 2015.** “Structured light-based 3D reconstruction system for plants”. *Sensors* 15: 18587–18612.

- [15] **POLO M. E., A. M. FELICISIMO. 2012.** “Analysis of uncertainty and repeatability of a low-cost 3D laser scanner”. *Sensors* 12: 9046–9054.
- [16] **RABIEJ M. 2012.** „Statystyka z programem Statistica.” Gliwice: Wydawnictwo Helion, ISBN: 978-83-246-4110-9.
- [17] **RAHMI U., E. FERRUH. 2009.** “Potential use of 3-dimensional scanners for food process modeling”. *Journal of Food Engineering* 93: 337–343.
- [18] **RAWA T. 2012.** *Metodyka wykonywania inżynierskich i magisterskich prac dyplomowych.* Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, ISBN: 978-83-7299-752-4.
- [19] **SHIGEHICO HAYASHI, KENTA SHIGEMATSU, SATOSHI YAMAMOTO, KEN KOBAYASHI, YASUSHI KOHNO, JUNZO KAMATA, MITSUTAKA KURITA. 2010.** Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test”. *Biosystems Engineering* 105: 160–171.
- [20] **YA XIONGA, CHENG PENG, LARS GRIMSTADA, PAL JOHAN FROMA, VOLKAN ISLERB. 2019.** “Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper”. *Computers and Electronics in Agriculture* 157: 392–402.
- [21] **YUANYUE GE, YA XIONG, PAL J. FROM. 2020.** “Symmetry-based 3D shape completion for fruit localisation for harvesting robots”. *Biosystems Engineering* 197: 188–202.

- [15] **POLO M. E., A. M. FELICISIMO. 2012.** “Analysis of uncertainty and repeatability of a low-cost 3D laser scanner”. *Sensors* 12: 9046–9054.
- [16] **RABIEJ M. 2012.** „Statystyka z programem Statistica”. Gliwice: Wydawnictwo Helion, ISBN: 978-83-246-4110-9.
- [17] **RAHMI U., E. FERRUH. 2009.** “Potential use of 3-dimensional scanners for food process modeling”. *Journal of Food Engineering* 93: 337–343.
- [18] **RAWA T. 2012.** *Metodyka wykonywania inżynierskich i magisterskich prac dyplomowych.* Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, ISBN: 978-83-7299-752-4.
- [19] **SHIGEHICO HAYASHI, KENTA SHIGEMATSU, SATOSHI YAMAMOTO, KEN KOBAYASHI, YASUSHI KOHNO, JUNZO KAMATA, MITSUTAKA KURITA. 2010.** Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test”. *Biosystems Engineering* 105: 160–171.
- [20] **YA XIONGA, CHENG PENG, LARS GRIMSTADA, PAL JOHAN FROMA, VOLKAN ISLERB. 2019.** “Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper”. *Computers and Electronics in Agriculture* 157: 392–402.
- [21] **YUANYUE GE, YA XIONG, PAL J. FROM. 2020.** “Symmetry-based 3D shape completion for fruit localisation for harvesting robots”. *Biosystems Engineering* 197: 188–202.