

Dr hab. inż. Andrzej ANDERS<sup>1</sup>, Ph.D, Eng  
 Dr inż. Ewelina KOLANKOWSKA<sup>1</sup>, Dr. Eng.  
 Dr hab. inż. Piotr MARKOWSKI<sup>1</sup>, Ph.D, Eng  
 Dr hab. inż. Zdzisław KALINIEWICZ<sup>1</sup>, Ph.D, Eng  
 Prof. dr hab. inż. Dariusz CHOSZCZ<sup>1</sup>, Professor Dr. Eng.  
 Dr inż. Krzysztof JADWISIENIĄCZAK<sup>1</sup>, Dr. Eng.  
 Dr inż. Mirosław SZUBARTOWSKI<sup>2</sup>, Dr. Eng.

<sup>1</sup>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  
<sup>2</sup>Elektrownie Wiatrowe/Glińsk, Polska  
 Wind Farms/ Glińsk, Poland

## MODELING THE SHAPE OF MATERIALS AND FOOD PRODUCTS ON THE EXAMPLE OF PEANUT FRUIT (*ARACHIS HYPOGAEA* L.)<sup>®</sup>

Modelowanie kształtu surowców i produktów spożywczych na przykładzie owoców orzechy podziemnej (*Arachis Hypogaea* L.)<sup>®</sup>

*The article presents two methods for acquiring information about the geometric parameters of peanut fruit. The first method involved direct measurements with the use of a caliper and geometric models (1D method). In the second method, peanuts were scanned to produce a 3D numerical model (3D method). The aim of the study was to compare the accuracy of both methods in determining the surface area and volume of peanut fruit. The comparison of two methods for determining the geometric parameters of peanuts revealed that the 3D method produced more reliable results. In the 1D method, the surface area of peanuts can be determined with the use of a sphere (M1), a model composed of a semi-spheroid and a cylinder (M6), or a model composed of a semi-ellipsoid and an elliptic cylinder (M7). A spheroid (M4) and an ellipsoid (M5) can be applied to determine the volume of peanuts in the 1D method. The relative error was below 5% when the above models were applied to measure the surface area and volume of peanuts.*

**Key words:** modeling, peanut, measure, surface area, volume.

*W artykule omówiono dwie metody pozyskiwania informacji o geometrycznych parametrach owoców orzechy podziemnej. Pierwsza to metoda pomiaru bezpośredniego, wykonana za pomocą suwmiarki i modeli geometrycznych (metoda 1D). Druga 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 orzechy podziemnej. Z przeprowadzonych badań na owocach orzechy podziemnej wynika, że spośród zastosowanych dwóch metod wyznaczenia parametrów geometrycznych owoców najlepsze efekty uzyskano przy metodzie 3D. Do wyznaczenia pola powierzchni owoców orzechy podziemnej metodą 1D można zastosować kulę (M1), model składający się z połowy elipsoidy obrotowej i walca (M6), model składający się z połowy elipsoidy i walca eliptycznego (M7). Wyznaczając objętość owoców orzechy podziemnej metodą 1D można wykorzystać elipsoidę obrotową (M4) i elipsoidę (M5). Wykorzystując wymienione modele do wyznaczenia pola powierzchni i objętości owoców popelnia się błąd względny pomiaru mniejszy od 5%.*

**Słowa kluczowe:** modelowanie, orzecha podziemna, pomiar, pole powierzchni, objętość.

### Symbols

$A$  – total surface area (mm<sup>2</sup>),  
 $d_w$  – arithmetic mean diameter (mm),  
 $d_z$  – equivalent diameter (mm),  
 $L$  – length (mm),  
 $N$  – sample size,  
 $T$  – thickness (mm),  
 $V$  – volume (mm<sup>3</sup>),  
 $W$  – width (mm),  
 1D – measurements involving the direct method,  
 3D – measurements involving the 3D numerical model.

## INTRODUCTION

Surface area and volume are used to plan dressing, coating, peeling, cleaning and packaging operations in food products and materials [8, 10, 12, 21, 22]. Basic geometric parameters are determined with measuring devices that enable direct linear measurements, including rulers and analog and digital calipers [6, 11, 14]. These devices are cheap and widely available, and they support rapid and direct measurements of the studied object's linear dimensions. In most cases, the analyzed samples do not require special treatment or preparation before the measurements. However, the obtained results have numerous limitations, and they apply only to selected points on the sample. Mathematical formulas from the literature can also be used to perform additional calculations [4, 5, 7, 9].

Measurements where the shape of a sample is rendered based on a cloud of points are a relatively new method. The points on the surface of a sample are registered with 3D scanners, and the results are used to develop a 3D model [16, 19]. Non-contact 3D scanners determine the distribution of points in the space of the analyzed object [16, 19]. A 3D numerical model supports metrological analyses, and the model's accuracy is determined by the scanner's resolution [17]. The generation of 3D numerical models is a laborious process, but the results can be stored in a computer. The numerical model represents the shape of the analyzed sample on the day of scanning, and it can be reproduced without the loss of data. This method can be applied to measure both small-sized and large-sized raw materials that are brittle and susceptible to damage [1, 2]. This article presents two methods for acquiring information about the physical parameters of food materials. The first method involves direct measurements with the use of a caliper (1D method). In the second method, the examined object is scanned to produce a 3D numerical model (3D method).

**The aim of the study was to compare the accuracy of both methods in determining the basic geometric parameters of plant materials on the example of peanut fruit. The relative error in the surface area and volume of peanuts determined with the presented methods was compared.**

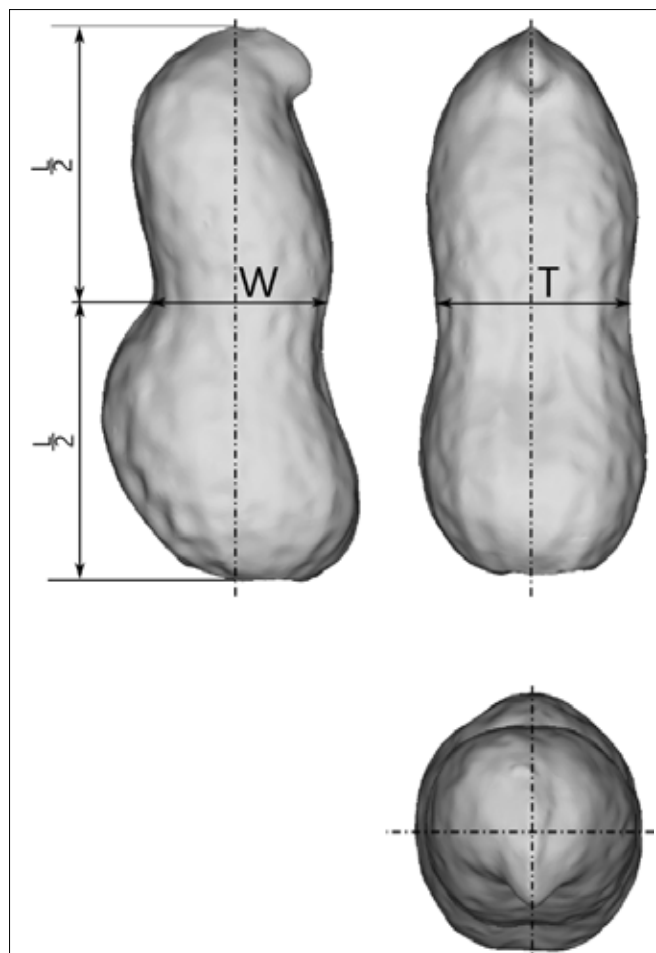
## MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted on peanut fruit (*Arachis hypogaea* L.) purchased in a grocery store of the PSS Społem retail chain in Olsztyn. Thirty peanuts without visible signs

### Wykaz oznaczeń

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

of damage were selected randomly for analysis. The peanuts were stored at a stable temperature of 20±1°C and relative humidity of around 65%. The linear dimensions of peanuts were measured with a caliper with a resolution of 0.05 mm. The measurements of peanut length are presented in Figure 1. Peanut width and thickness were measured at half-length.



**Fig. 1. A numerical model of peanut.**

**Rys. 1. Model numeryczny orzechy podziemnej.**

**Source:** Own study

**Źródło:** Opracowanie własne

The surface area and volume of peanuts were determined with the use of 7 geometric models composed of selected geometric shapes (Fig. 2).

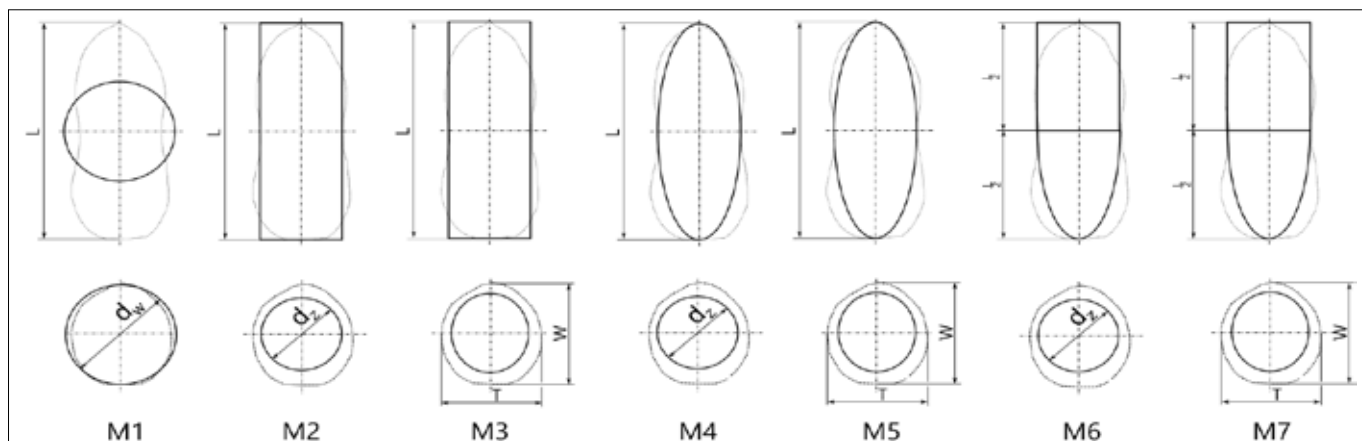


Fig. 2. Geometric models of peanuts: M1 – sphere, M2 – cylinder, M3 – elliptic cylinder, M4 – spheroid, M5 – ellipsoid, M6 – half of spheroid and half of cylinder, M7 – half of ellipsoid and half of elliptic cylinder,  $d_w$  – arithmetic mean diameter,  $d_z$  – mean diameter,  $L$  – length,  $W$  – width,  $T$  – thickness.

Rys. 2. Modele geometryczne owoców orzechy podziemnej: M1 – kula, M2 – walec, M3 – walec eliptyczny, M4 – elipsoida obrotowa, M5 – elipsoida, M6 – połowa elipsoidy obrotowej i walec, M7 – połowa elipsoidy i walec eliptyczny;  $d_w$  – arytmetyczna średnica zastępcza,  $d_z$  – średnica zastępcza,  $L$  – długość,  $W$  – szerokość,  $T$  – grubość.

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

Every geometric model was described with the following mathematical formulas: – where:

– sphere (M1):

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

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

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

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

– cylinder (M2):

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

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

– ellipsoid (M5):

$$A_{M5} = 2 \cdot \pi \cdot \left[ \left(\frac{L}{2}\right)^2 + \frac{\frac{T}{2} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2}{\sqrt{\left(\frac{W}{2}\right)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2}} \right] \quad (10)$$

– elliptic cylinder (M3):

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

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

$$\cdot F(\Theta, m) + \frac{T}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{W}{2}\right)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \cdot E(\Theta, m)$$

– spheroid (M4), when:  $\frac{L}{2} > \frac{d_z}{2}$

then:

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

$$= \frac{4 \cdot \pi \cdot d_z^2 + \pi \cdot L \cdot d_z \cdot e \cdot \arcsin(e)}{8}$$

– where:

$$m = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2 \cdot \left(\left(\frac{T}{2}\right)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2\right)}{\left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot \left(\left(\frac{W}{2}\right)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2\right)} = \frac{L^2 \cdot T^2 - L^4}{T^2 \cdot W^2 - L^2 \cdot T^2} \quad (11)$$

$$\Theta = \arcsin \left( \sqrt{\frac{\sqrt{W^2 - L^2}}{|W|}} \right) \quad (12)$$

and  $F(Q, m)$  and  $E(Q, m)$  are incomplete elliptic integrals of the first and second kind [3].

$$V_{M5} = \frac{\pi \cdot T \cdot W \cdot L}{6} \quad (13)$$

– model composed of a cylinder and a semi-sphere (M6):

$$A_{M6} = \frac{\pi \cdot (W+T) \cdot (e \cdot (W+T+4 \cdot L) + 2 \cdot L \cdot \arcsin(e) + (W+T) \cdot e)}{16 \cdot e} \quad (14)$$

$$V_{M6} = \frac{5 \cdot \pi \cdot (W+T)^2 \cdot L}{96} \quad (15)$$

– model composed of an elliptic cylinder and a semi-ellipsoid (M7):

$$A_{M7} = \frac{A_{M3}}{2} + \frac{A_{M5}}{2} - \pi \cdot W \cdot T \quad (16)$$

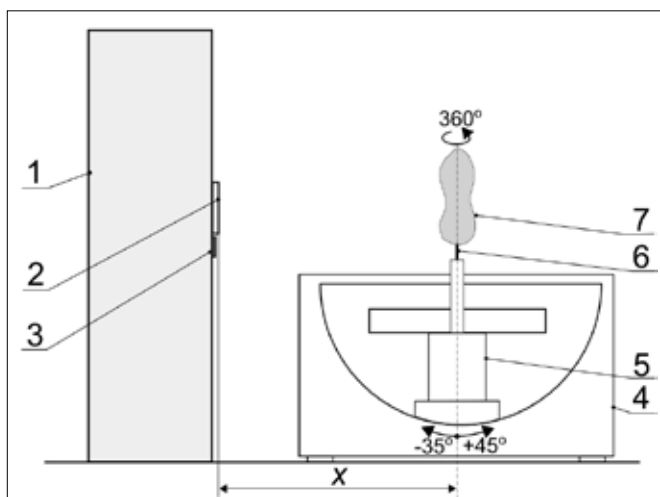
$$V_{M7} = \frac{5 \cdot \pi \cdot T \cdot W \cdot L}{24} \quad (17)$$

In models M1, M2, M4 and M6, equivalent diameters were calculated with the following formulas:

$$d_w = \frac{L + W + T}{3} \quad (18)$$

$$d_z = \frac{W + T}{2} \quad (19)$$

Three-dimensional numerical models of peanuts were generated with the use of a NextEngine 3D laser scanner [15]. Peanuts were mounted on a rotary table with a grip (Fig. 3). Scanning resolution was 248 points per mm<sup>2</sup>. The average scanning time to produce a complete numerical model was around 30 minutes.



**Fig. 3. Test stand for acquiring 3D scans of peanuts: 1 – 3D scanner, 2 – camera, 3 – laser diodes, 4 – rotary table with a controlled inclination angle, 5 – motor, 6 – needle, 7 – sample, x – distance between the sample and the 3D scanner.**

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

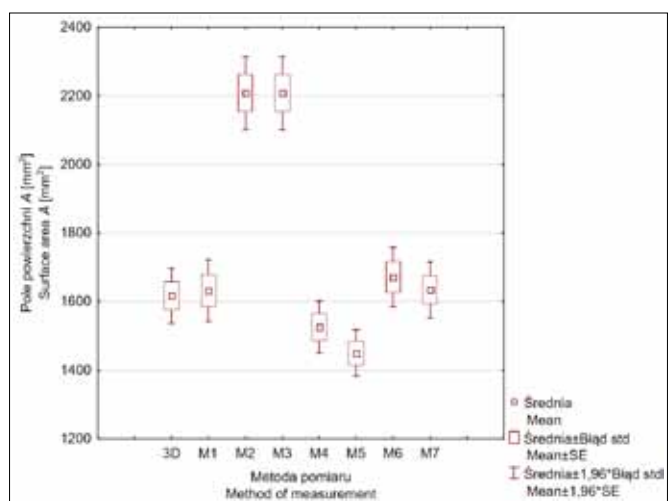
Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

The acquired series of 3D scans were combined in the ScanStudio HD Pro program (<http://www.nextengine.com>) to generate 3D numerical models. The MeshLab program was used to measure surface area and volume in the generated models [13]. The significance of differences between the average values of total surface area and volume measured with the 1D method and the 3D method was compared by one-way ANOVA for multiple independent samples. Data were processed statistically in Statistica v. 13 PL, and the results were regarded as significant at  $\alpha = 0.05$  [18, 20].

## RESULTS AND DISCUSSION

The surface area and volume of peanuts were measured based on the acquired 3D numerical models. The total surface area of peanut samples determined with the 1D method and the 3D method is presented in Figure 4.



**Fig. 4. Surface area of peanut fruit, determined by the 1D and 3D method.**

**Rys. 4. Pole powierzchni owoców orzechy podziemnej wyznaczone metodą 1D i 3D.**

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

The results revealed that the analyzed parameters had a normal distribution. The significance of differences between the parameters measured with the compared methods is presented in Table 1.

It was assumed that measurements of surface area in the 3D method were free of errors and that the calculated values could be used as a reference for the measurements performed with the 1D method. The relative error between the measurements conducted with the 1D method and the 3D method was referred to as the “error of the method”. The relative error in surface area measurements conducted with the 1D method and geometric models M1, M6 and M7 was determined at 0.79%, 3.29% and 1.11%, respectively (Fig. 5). Relative error was higher than 5% in the remaining geometric models in the 1D method. In the 1D method, the actual surface area of peanuts was rendered as a continuous plane without indentations.

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

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

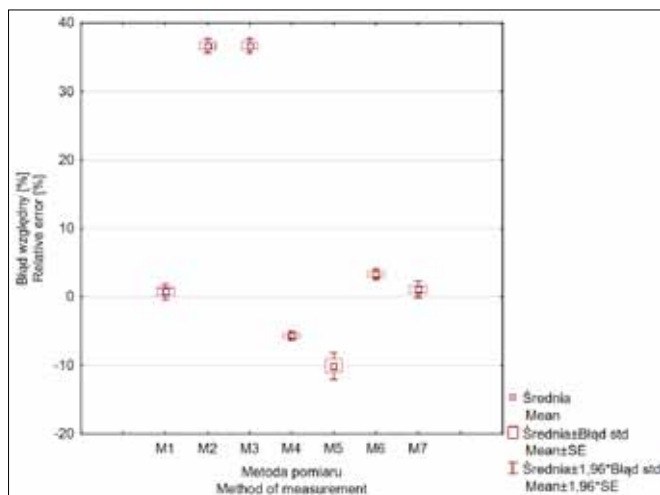
Pole powierzchni A (ANOVA test) / Area A (ANOVA test) F(7, N=232)=43.26; p=0.000 Prawdopodobieństwa porównań wielokrotnych / Probability of multiple comparisons				
Metoda pomiaru Measurement method	Liczebność próby Number of observations N	Współczynnik zmienności Coefficient of variation	Odchylenie standardowe Standard deviation	Średnia Mean (mm <sup>2</sup> )
3D	30	13.98	226.09	1617.13 <sup>ab</sup>
M1	30	15.28	249.49	1632.52 <sup>ab</sup>
M2	30	13.52	298.74	2208.18 <sup>d</sup>
M3	30	13.53	298.87	2208.36 <sup>d</sup>
M4	30	13.98	213.26	1525.32 <sup>ac</sup>
M5	30	13.12	190.28	1450.07 <sup>c</sup>
M6	30	14.49	242.25	1671.30 <sup>b</sup>
M7	30	13.94	227.93	1634.22 <sup>ab</sup>

Wartości w kolumnach z takimi samymi literami nie różnią się istotnie; a, b, c, d (P ≤ 0,05)

Values in columns marked with identical letters do not differ significantly; a, b, c, d (P ≤ 0.05)

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne



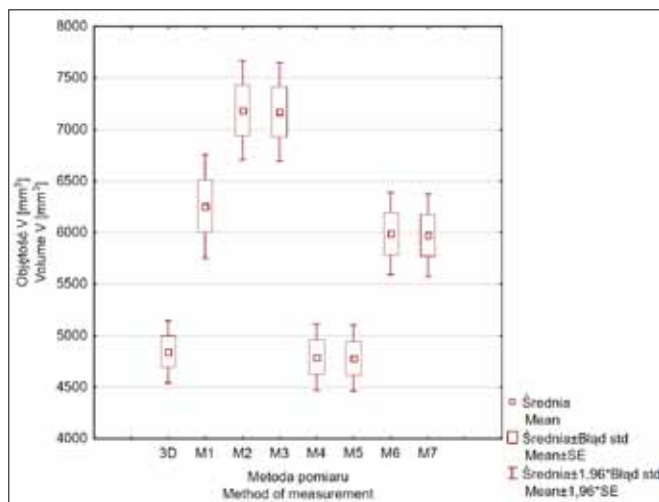
**Fig. 5. Relative error in determining the surface area of peanuts by the 1D method with the use of geometric models and the 3D method.**

**Rys. 5. Błąd względny wyznaczania pola powierzchni owoców orzechy podziemnej metodą 1D z wykorzystaniem modeli geometrycznych i metodą 3D.**

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

The volume of peanuts calculated with the tested methods is presented in Figure 6.



**Fig. 6. Volume of peanut fruit, determined by the 1D and 3D method.**

**Rys. 6. Objętość owoców orzechy podziemnej wyznaczona metodą 1D i 3D.**

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

The significance of differences between the average values of peanut volume was determined by ANOVA. The results of detailed comparative analyses are presented in Table 2.

**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 (ANOVA test) / Volume V (ANOVA test) F(7, N=232)=23.128; p=0.000 Prawdopodobieństwa porównań wielokrotnych / Probability of multiple comparisons				
Metoda pomiaru Measurement method	Liczebność próby Number of observations N	Współczynnik zmienności Coefficient of variation	Odchylenie standardowe Standard deviation	Średnia Mean (mm <sup>3</sup> )
3D	30	17.41	843.60	4843.62a
M1	30	22.47	1405.78	6255.49b
M2	30	18.71	1345.09	7187.51c
M3	30	18.65	1337.42	7170.24c
M4	30	18.71	896.73	4791.67a
M5	30	18.65	891.61	4780.16a
M6	30	18.71	1120.91	5989.59b
M7	30	18.65	1114.51	5975.20b

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

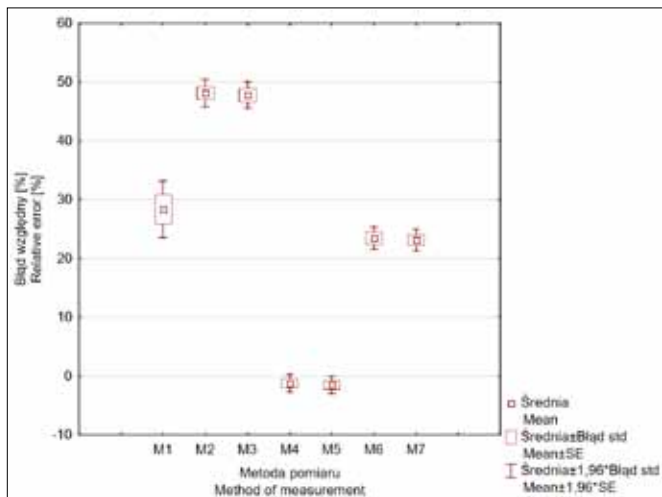
Values in columns marked with identical letters do not differ significantly; a, b, c (P ≤ 0.05)

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne



It was assumed that volume measurements in the 3D method were free of errors and that the calculated values could be used as a reference for the measurements performed with the 1D method. The error in volume measurements conducted with the 1D model and geometric models M4 and M5 ranged from 1.22% to 1.45% (Fig. 7).



**Fig. 7. Relative error in determining the volume of peanuts by the 1D method with the use of geometric models and the 3D method.**

**Rys. 7. Błąd względny wyznaczania objętości owoców orzechy podziemnej metodą 1D z wykorzystaniem modeli geometrycznych oraz metodą 3D.**

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

## CONCLUSIONS

The comparison of two methods for determining the geometric parameters of peanuts revealed that the 3D method produced more reliable results. The geometric parameters (linear dimensions, surface area, volume) of entire samples and selected fragments of the examined samples can be

determined based on 3D numerical models. The surface area of peanuts was more accurately rendered with the use of 3D numerical models than the direct method involving geometric models (1D method). In the 1D method, the surface area of peanuts can be determined with the use of geometric models M1 (sphere), M6 (semi-spheroid and a cylinder) and M7 (semi-ellipsoid and an elliptic cylinder). Geometric models M4 (spheroid) and M5 (ellipsoid) can be applied to determine the volume of peanuts in the 1D method. The relative error was below 5% when the above models were applied to measure the surface area and volume of peanuts. Reverse engineering of 3D numerical models (3D method) is a laborious process which requires adequate lighting, and the relevant conditions can be met only under laboratory conditions.

## WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań na owocach orzechy podziemnej, wynika, że spośród zastosowanych dwóch 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 orzechy podziemnej metodą 1D można zastosować modele geometryczne M1 (kula), M6 (połowa elipsoidy obrotowej i walec) i M7 (połowa elipsoidy i walec eliptyczny). Wyznaczając objętość owoców orzechy podziemnej metodą 1D można wykorzystać modele M4 (elipsoida obrotowa) i M5 (elipsoida). Wykorzystując wymienione modele do wyznaczania pola powierzchni i objętości owoców popełnia się błąd względny pomiaru mniejszy od 5%. Budowanie za pomocą inżynierii odwrotnej przestrzennego modelu numerycznego (metoda 3D) jest procesem długim, wymagającym zachowania określonych warunków oświetleniowych, które na chwilę obecną są łatwe do spełnienia tylko w warunkach laboratoryjnych.

## 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.

## 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] **FRĄCZEK J., Z. ŚLIPEK. 2006.** „Modele roślinnych struktur ziarnistych”. *Inżynieria Rolnicza* 12:145–154.
- [6] **GHARIBZAHEDI S. M. T., S. M. MOUSAVI, M. HAMED, F. KHODAIYAN. 2012.** „Comparative analysis of new Persian walnut cultivars: nut/kernel geometrical, gravimetric, frictional and mechanical attributes and kernel chemical composition”. *Scientia Horticulturae* 135: 202–209.
- [7] **GONI S. M., E. PURLIS, V. O. SALVADORI. 2007.** „Three-dimensional reconstruction of irregular foodstuffs”. *Journal of Food Engineering* 82 (4): 536–547.
- [8] **HORABIK J., M. MOLEND. 2003.** „Makro- i mikroskopowe modele materiałów sypkich”. *Acta Agrophysica* 93: 17–31.
- [9] **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.
- [10] **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.
- [11] **KONOPKA S., P. MARKOWSKI. 2016.** „Metodyczne aspekty oceny rzetelności wyników badań na przykładzie pomiarów cech geometrycznych nasion fasoli”. *Acta Agrophysica* 23 (3): 421–432.
- [12] **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.
- [13] **MeshLab Visual Computing Lab – ISTI – CNR, 2013.** <http://meshlab.sourceforge.net>.
- [14] **MIESZKALSKI L. 2016.** „Matematyczne modelowanie kształtu podstawowych części morfologicznych cebuli cukrowej (*Allium cepa* L.)”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1: 40–46.
- [15] **NextEngine User Manual, 2010.** <http://www.nextengine.com>.
- [16] **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.
- [17] **POLO M. E., A. M. FELICISIMO. 2012.** „Analysis of uncertainty and repeatability of a low-cost 3D laser scanner”. *Sensors* 12: 9046–9054.
- [18] **RABIEJ M. 2012.** „Statystyka z programem Statistica.” Gliwice: Wydawnictwo Helion. ISBN: 978-83-246-4110-9.
- [19] **RAHMI U., E. FERRUH. 2009.** „Potential use of 3-dimensional scanners for food process modeling”. *Journal of Food Engineering* 93: 337–343.
- [20] **RAWA T. 2012.** *Metodyka wykonywania inżynierskich i magisterskich prac dyplomowych.* Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, ISBN: 978-83-7299-752-4.
- [5] **FRACZEK J., Z. SLIPEK. 2006.** „Modele roślinnych struktur ziarnistych”. *Inżynieria Rolnicza* 12:145–154.
- [6] **GHARIBZAHEDI S. M. T., S. M. MOUSAVI, M. HAMED, F. KHODAIYAN. 2012.** „Comparative analysis of new Persian walnut cultivars: nut/kernel geometrical, gravimetric, frictional and mechanical attributes and kernel chemical composition”. *Scientia Horticulturae* 135: 202–209.
- [7] **GONI S. M., E. PURLIS, V. O. SALVADORI. 2007.** „Three-dimensional reconstruction of irregular foodstuffs”. *Journal of Food Engineering* 82 (4): 536–547.
- [8] **HORABIK J., M. MOLEND. 2003.** „Makro- i mikroskopowe modele materiałow sypkich”. *Acta Agrophysica* 93: 17–31.
- [9] **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.
- [10] **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.
- [11] **KONOPKA S., P. MARKOWSKI. 2016.** „Metodyczne aspekty oceny rzetelności wyników badań na przykładzie pomiarów cech geometrycznych nasion fasoli”. *Acta Agrophysica* 23 (3): 421–432.
- [12] **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.
- [13] **MeshLab Visual Computing Lab - ISTI - CNR, 2013.** <http://meshlab.sourceforge.net>.
- [14] **MIESZKALSKI L. 2016.** „Matematyczne modelowanie kształtu podstawowych części morfologicznych cebuli cukrowej (*Allium cepa* L.)”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1: 40–46.
- [15] **NextEngine User Manual, 2010.** <http://www.nextengine.com>.
- [16] **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.
- [17] **POLO M. E., A. M. FELICISIMO. 2012.** „Analysis of uncertainty and repeatability of a low-cost 3D laser scanner”. *Sensors* 12: 9046–9054.
- [18] **RABIEJ M. 2012.** „Statystyka z programem Statistica.” Gliwice: Wydawnictwo Helion. ISBN: 978-83-246-4110-9.
- [19] **RAHMI U., E. FERRUH. 2009.** „Potential use of 3-dimensional scanners for food process modeling”. *Journal of Food Engineering* 93: 337–343.
- [20] **RAWA T. 2012.** *Metodyka wykonywania inżynierskich i magisterskich prac dyplomowych.* Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, ISBN: 978-83-7299-752-4.

- [21] **TYLEK P. 2012.** „Wielkość i kształt jako cechy rozdzielcze nasion dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.)”. *Acta Agrophysica*: 19 (3), 673–687.
- [22] **VERBOVEN P., J. DE BAERDEMAEKER, B.M. NICOLAI. 2004.** “Using computational fluid dynamics to optimize thermal processes”. Richardson, P. (Ed.), *Improving the Thermal Processing of Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL: 82–102.

- [21] **TYLEK P. 2012.** „Wielkość i kształt jako cechy rozdzielcze nasion dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.)”. *Acta Agrophysica*: 19 (3), 673–687.
- [22] **VERBOVEN P., J. DE BAERDEMAEKER, B.M. NICOLAI. 2004.** „Using computational fluid dynamics to optimize thermal processes”. Richardson, P. (Ed.), *Improving the Thermal Processing of Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL: 82–102.