

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

MODELOWANIE NUMERYCZNE SUROWCÓW ROLNICZYCH Z WYKORZYSTANIEM INŻYNIERII ODWROTNEJ NA PRZYKŁADZIE OWOCÓW OGÓRKA SIEWNEGO®

Numerical modeling of agricultural products with the use of reverse engineering – the example of cucumber fruits®

Słowa kluczowe: inżynieria odwrotna, skaner 3D, modelowanie, owoc, ogórek siewny.

Celem pracy przedstawionej w artykule było zbudowanie za pomocą skanera 3D modeli numerycznych owoców ogórka siewnego odmiany Śremski oraz wykorzystanie tych modeli do analizy wybranych cech geometrycznych. Do budowy modeli oraz wykonania pomiarów zastosowano programy komputerowe ScanStudio HD PRO firmy NextEngine, MeshLab oraz Solid Edge v. 20. Dokładność pomiarów wynosiła $d = 0.01$ mm. Zmierzono pole powierzchni, objętość, pole powierzchni wybranych przekrojów, podstawowe wymiary owoców oraz współczynniki kształtu. Badanie wyników pomiarów przeprowadzono za pomocą testu t , przyjmując poziom istotności $\alpha = 0.05$. Różnica między polem powierzchni określonym za pomocą skanera 3D a polem powierzchni obliczonym na podstawie formuły zaproponowanej przez McCabe i in. w 1986 jest istotna, natomiast różnica między objętością owocu ogórka określoną z modelu 3D a objętością ogórka określoną na podstawie formuły przedstawionej przez Gaston'a i in. w 2002 jest nieistotna. Model numeryczny opisujący szczegółowo geometrię owoców wraz z określoną masą i gęstością pozwala na efektywne wykorzystanie go w pracach badawczych i projektowych.

Key words: reverse engineering, 3D scanner, fruit, cucumber. *Numerical models of cucumbers cv. Śremski were developed with the use of a 3D scanner, and the results were used to analyze selected geometric parameters of cucumber fruits. NextEngine ScanStudio HD PRO, MeshLab and Solid Edge v. 20 programs were used to develop the models and perform measurements. Geometric parameters were measured within an accuracy of $d = 0.01$ mm. The surface area, volume, selected cross-sectional areas, basic dimensions and aspect ratios of cucumbers were determined. The results were analyzed by a t -test at a significance level of $\alpha = 0.05$. The difference between the surface area determined in the 3D scanner and the surface area calculated based on the formula proposed by McCabe et al. (1986) was statistically significant, whereas the difference between cucumber volume determined from the 3D model and the volume calculated based on the formula proposed by Gaston et al. (2002) was not statistically significant. Numerical models that describe the geometric properties, mass and density of fruit can be effectively used in research and design.*

WSTĘP

Wprowadzenie na rynek nowych produktów i technologii przy jednoczesnej poprawie ich jakości coraz częściej wymaga zastosowania nowoczesnych technik pomiarowych oraz oprogramowania pozwalającego na wykonanie zaawansowanych symulacji komputerowych wybranych procesów technologicznych. Modelowanie surowców rolno-spożywczych powinno być powiązane z projektowanym procesem technologicznym oraz możliwie realistycznie odwzorowywać ich kształt [7]. Punktem wyjścia do takiego projektowania może być model 3D surowca z dokładnie określonymi właściwo-

ściami geometrycznymi i fizycznymi. Tradycyjne podejście do badań modelowych opiera się na założeniu jednorodności i izotropowości oraz na przypisywaniu surowcom rolno-spożywczym regularnych kształtów (np. cylinder, kula, stożek, itp.). Wykorzystując programy komputerowe przeznaczone do wspomagania projektowania (CAD – *Computer Aided Design*) i programy przeznaczone do modelowania przepływu (CFD – *Computational Fluid Dynamics*) można pokusić się o próbę wykonania symulacji komputerowej złożonych procesów występujących w trakcie przetwarzania surowców rolno-spożywczych [20, 32]. Zasadniczym problemem badań i projektowania urządzeń dla przetwórstwa rolno-spożywczego

jest otrzymanie modelu surowca, którego kształt posiadałyby wszystkie indywidualne cechy i nieprawidłowości a jednocześnie model taki nadawałby się do symulacji komputerowej. Modelowanie numeryczne mające na celu uzyskanie dokładnego kształtu produktu oparte na tradycyjnych metodach jest zadaniem żmudnym i trudnym szczególnie dla produktów o nieregularnych kształtach [13]. W przypadku mierzenia owoców i nasion wielu autorów ogranicza się do wykonania pomiarów wykorzystując narzędzia analizy obrazu lub stosując przyrządy miernicze typu suwmiarka lub mikrometr [11, 16, 30]. Dla przykładu można tu podać prace, w których mierzono w tradycyjny sposób cechy geometryczne nasion soi (*Glycine max* L. Merr.) [8], słonecznika zwyczajnego (*Helianthus annuus* L.) [15], rzepaku (*Brassica napus* L.) [4, 31], gorczycy (*Sinapis alba*) [16] i lnu (*Linum usitatissimum* L.) [6].

Surowce rolno-spożywcze były tematem kilku prac, w których zastosowano tradycyjne i nowoczesne techniki pomiaru dające dokładne odwzorowanie kształtu powierzchni badanego surowca. Wspomnieć tutaj należy o badaniach Erdogdu i in. [10], który zastosował system widzenia maszynowego, opracowany przez Luzuriaga i in. [19], do określenia geometrii przekroju poprzecznego krewetek w celu dalszego modelowania matematycznego ich obróbki termicznej. Cromcombe i in. [5] zastosowali skanowanie laserowe powierzchni kawałków mięsa w celu uzyskania modelu numerycznego, które następnie posłużyły do symulacji komputerowej oceny czasu ich chłodzenia. Jancsok i in. [17] użyli wizyjnego systemu modelowania komputerowego do budowy modeli numerycznych owoców gruszy odmiany Konferencja. Borsa i in. [3], zastosowali połączenie techniki skanowania za pomocą tomografii komputerowej ze sprawdzeniem ilości pochłoniętej dawki promieniowania przez składniki badanej żywności. Sabliov i in. [27] opracowali metodę analizy obrazu do pomiaru objętości i powierzchni osiowo symetrycznych produktów rolniczych. Zapotoczny [33] zbudował stanowisko do pomiarów wielkości geometrycznej owoców ogórków z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu. Rejestrował on zmiany kształtu i wielkości owoców ogórków szklarniowych podczas ich przechowywania. Scheerlinck i in. [28] użyli 3-wymiarowego modelu truskawki, otrzymanego dzięki zastosowaniu komputerowego systemu wizyjnego do opracowania termicznego systemu odkażania powierzchni owoców. Du i Sun [9] opracowali technikę analizy obrazu, która pozwalała określić pole powierzchni i objętość szynki i stawów wołowych. Kim i in. [18] opracowali metodologię tworzenia trójwymiarowych geometrycznych modeli produktów spożywczych o skomplikowanym kształcie wykorzystując technikę tomografii komputerowej. Goni i in. [14] zastosowali do modelowania geometrii metodologię stosowaną w obrazowaniu za pomocą rezonansu magnetycznego. Siripon i in. [29] używali skanera 3D (Model Atos, GOM, Niemcy) do skanowania połówek kurczaka do dalszego wykorzystania ich w badaniach symulacyjnych gotowania. Mieszalski [22, 23] modelował komputerowo kształt korzenia marchwi, owoce jabłka odmiany Jonagored i jajko kurze. Do opisu kształtu obiektów biologicznych zastosował krzywe Béziera. Tak utworzone modele matematyczne posłużyły do generowania brył 3D, podobnych pod względem kształtu i podstawowych wymiarów do obiektów rzeczywistych. Balcerzak i in. [2] bryłowo modelowali geometrię ziarniaków kukurydzy i owsa

w środowisku 3ds Max. W celu pozyskania danych o geometrii oryginalnych ziarniaków wykorzystali fotografie przekrojów nasiona, które wykorzystali do generowania siatek oraz do pobierania współrzędnych węzłów tych siatek.

Przedstawione powyżej badania pokazują, że dokładne modelowanie produktów o nieregularnych kształtach za pomocą analizy obrazu wymaga posiadania wiedzy o różnych metodach obrazowania. Prostszy sposobem budowy modeli numerycznych, ale w tej chwili jeszcze nie rozpowszechnionym, jest zastosowanie skanera 3D dzięki któremu uzyskuje się modele o dokładnym odwzorowaniu kształtu badanych surowców. Modele takie mogą być wykorzystane do analizy kształtu całych jak i wybranych fragmentów produktu [1, 24, 26].

Celem artykułu jest prezentacja uzyskanych wyników badań dotyczących zbudowania za pomocą skanera 3D modeli numerycznych owoców ogórka siewnego odmiany Śremski oraz wykorzystanie tych modeli do analizy wybranych cech geometrycznych.

MATERIAŁ I METODY

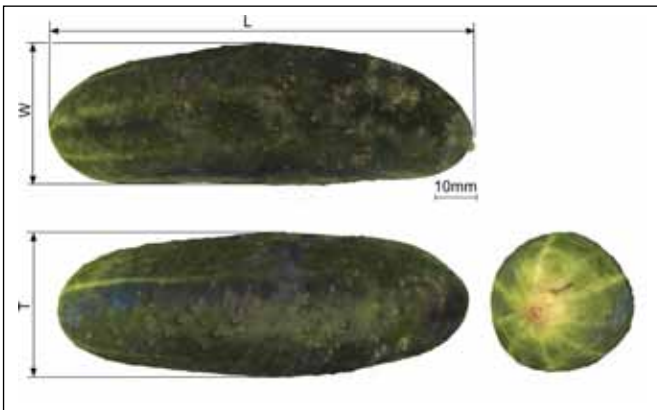
Materiał badawczy stanowiły owoce ogórka siewnego odmiany Śremski, które były przechowywane w pomieszczeniu o stałej temperaturze $18 \pm 1^\circ\text{C}$ oraz wilgotności powietrza 60%. Materiał został zakupiony w Zakładzie produkcyjno – doświadczalnym Pozorty w Olsztynie, do badań wybrano losowo 50 owoców ogórków gruntowych, które były niepołamane i bez widocznych uszkodzeń. Zakupy ogórków wykonano w drugiej połowie sierpnia 2014 roku pięciokrotnie, kupując za każdym razem po 10 sztuk owoców. Następnie wykonano skanowanie skanerem 3D firmy Nextengine z gęstością skanowania 15 punktów na mm^2 . Skanowanie wybranych owoców trwało 18 dni. Ogórki były mocowane do obrotowego stołka, który w czasie wykonywania skanów był sterowany przez program komputerowy do obsługi skanera. Łączenie skanów w celu uzyskania gotowych modeli numerycznych ogórków wykonano za pomocą programu komputerowego ScanStudio HD PRO firmy NextEngine [25]. Modele posłużyły do określenia pola powierzchni, objętości, długości, szerokości i grubości ogórka (rys. 1) w programie MeshLab [21]. Dokładność pomiarów wynosiła $d = 0.01$ mm. Modele numeryczne (rys. 2) wykorzystano również do mierzenia pola powierzchni wybranych przekrojów owocu (rys. 3). Mierzenie wykonano w programie Solid Edge v. 20. Dodatkowo obliczono przybliżone pole powierzchni oraz objętość owoców ogórka korzystając z zależności geometrycznych (1) [20] oraz (2) [12]:

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

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot L \cdot W \cdot T \quad (2)$$

gdzie: A – pole powierzchni (cm^2),
 D_g – średnica zastępcza (mm),
 L – długość owocu (mm),
 W – szerokość owocu (mm),
 T – grubość owocu (mm),
 V – objętość owocu (cm^3).

Średnicę zastępczą D_g , współczynnik kulistości f oraz w współczynnik kształtu R_a obliczono na podstawie wzorów [24]:



Rys. 1. Model ogórka gruntowego z nałożoną teksturą uzyskany po skanowaniu 3D: L – długość, W – szerokość, T – grubość.

Fig. 1. A textured 3D model of a field-grown cucumber: L – length, W – width, T – thickness.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

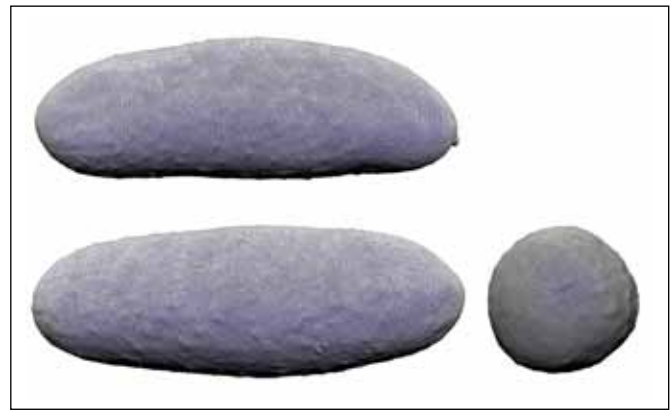
$$D_g = (L \cdot W \cdot T)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

$$\phi = \frac{(L \cdot W \cdot T)^{\frac{1}{3}}}{L} \quad (4)$$

$$R_a = \frac{W}{L} \quad (5)$$

Długość, szerokość i grubość owocu ogórka określono z modelu numerycznego. Każdy z ogórków zważono na wadze elektronicznej RADWAG WAA 100/C/2 z dokładnością 0.001 g.

Obliczenia statystyczne wykonano przy wykorzystaniu programu Statistica 10 przyjmując poziom istotności $\alpha = 0.05$.



Rys. 2. Model 3D ogórka gruntowego wyświetlony w postaci siatki trójkątów.

Fig. 2. A 3D model of a field-grown cucumber in the form of a triangle mesh.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Owoc ogórka siewnego (*Cucumis sativus* L.) odmiany Śremski to jagoda mniej lub bardziej wydłużona, różnej wielkości, o skórce gładkiej lub pokrytej brodawkami, wypełniona nasionami. Kolor owoców jest zróżnicowany od ciemnozielonego do żółtego. Owoce w fazie dojrzałości użytkowej są cylindryczne, bez szyjki, o nasadzie łagodnie zaokrąglonej, z małą komorą nasienną. Masa najmniejszego z badanych owoców ogórka wynosiła 43.05 g a największego 123.70 g. Na podstawie wyników uzyskanych po skanowaniu skanerem 3D wynika, że wielkość pola powierzchni zewnętrznej badanych owoców ogórków mieściła się w przedziale od 74.84 cm² do 145.38 cm², ze średnią 111.25 cm². Z kolei objętość owoców ogórka określona przy użyciu skanera 3D mieściła się w przedziale od 46.65 cm³ do 127.38 cm³, ze średnią 77.26 cm³(tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarów cech geometrycznych owoców ogórka gruntowego

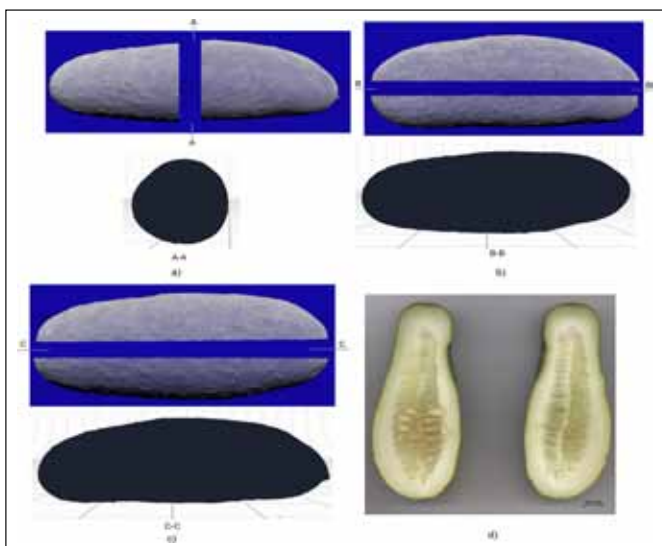
Table 1. Geometric parameters of field-grown cucumbers

Zmienna Variable	Średnia Mean	Rozstęp Range	Odchylenie standardowe Standard deviation
L (mm)	113.14	39.10	9.94
W (mm)	37.23	13.04	3.28
T (mm)	35.47	14.82	3.31
A (mm ²)	88.71	55.37	13.27
A ^{3D} (mm ²)	111.25	70.54	16.12
A _{A-A}	8.68	7.70	1.83
A _{B-B}	32.17	21.31	4.95
A _{C-C}	32.03	22.01	5.23
V (mm ³)	79.21	74.66	17.95
V ^{3D} (mm ³)	77.26	80.73	18.89

^{3D}- skanowanie 3D

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

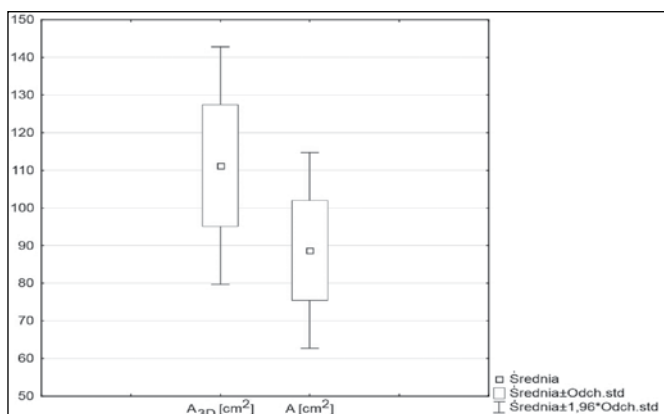


Rys. 3. Przekroje ogórka gruntowego: a), b) i c) model 3D, d) owoc rzeczywisty.

Fig. 3. Cross-sections of cucumbers: a), b) and c) 3D model, d) real cucumber.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

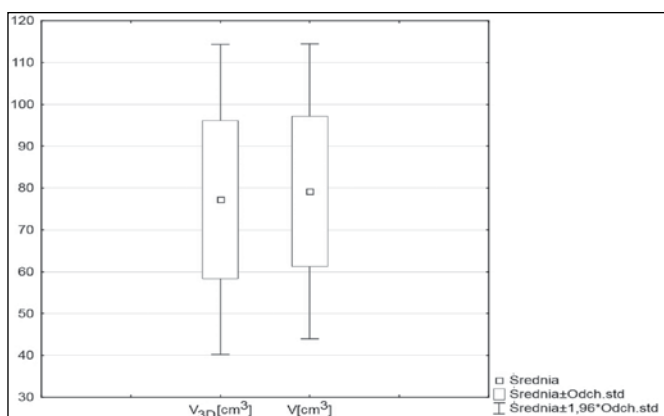


Rys. 4. Parametry rozkładu normalnego pola powierzchni ogórka.

Fig. 4. Normal distribution of cucumber surface area.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



Rys. 5. Parametry rozkładu normalnego objętości ogórka.

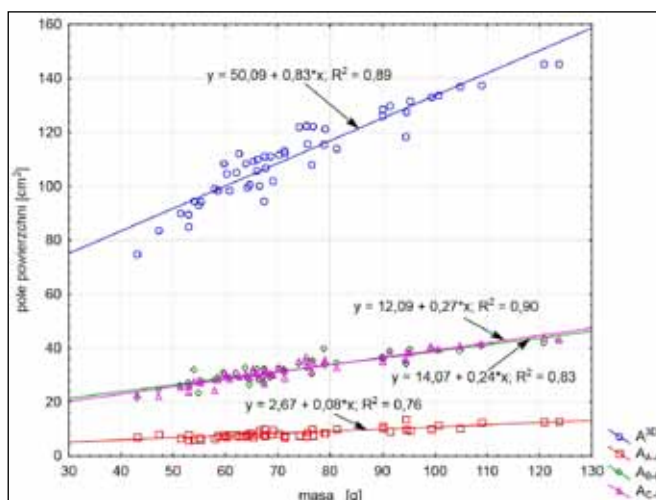
Fig. 5. Normal distribution of cucumber volume.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Wyniki pomiarów pola powierzchni oraz objętości ogórków uzyskane z modelu 3D oraz określone na podstawie formuły 1 i 2 porównano za pomocą testów istotności, przyjmując $\alpha = 0.05$. Pomiarów pola powierzchni oraz objętości ogórków badano testem t . Średnie oraz odchylenia standardowe przedstawiono na wykresach 4 i 5.

Najmniejsza wartość powierzchni zewnętrznej badanych ogórków wyznaczona przy użyciu skanera 3D stanowiła 52% odnotowanej przy największej powierzchni ogórka. W stosunku do średniego pola powierzchni zewnętrznej owoców ogórka średnie pola powierzchni w trzech jego przekrojach $A-A$, $B-B$ i $C-C$ stanowią odpowiednio 12%, 42% i 42%. Zależności opisanych wyżej pól powierzchni od masy owoców ogórków przedstawiono na rysunku 6. Są to zależności prostoliniowe o współczynniku determinacji R^2 od 0.76 dla pola powierzchni przekroju $A-A$ do 0.90 dla pola powierzchni przekroju $C-C$.



Rys. 6. Pole powierzchni całkowitej oraz pola powierzchni trzech przekrojów w funkcji ich masy.

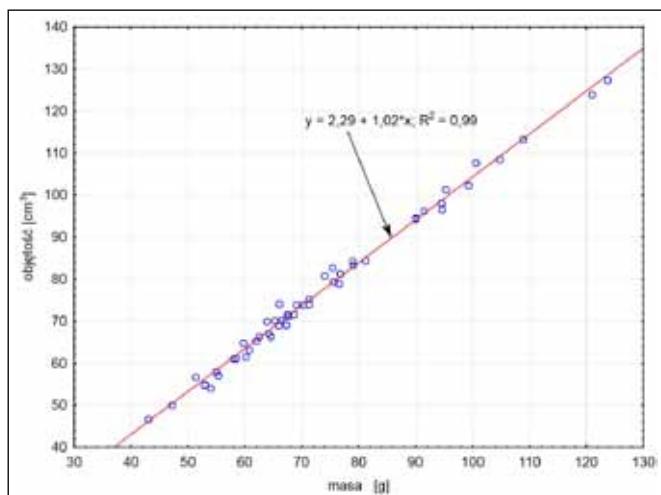
Fig. 6. Total surface area and three cross-sectional areas as a function of cucumber mass.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Na rysunku 7 przedstawiono zależność objętości owoców ogórków od ich masy. Jak widać jest to również zależność prostoliniowa ze współczynnikami determinacji $R^2 = 0.99$. Przyjmując największą objętość owocu ogórka określoną skanerem 3D za 100% to objętość najmniejszego badanego ogórka stanowiła 37%. Wyniki badań uzyskane przez autorów pracy różnią się od opisanych w pracy Zapotoczego [33] ponieważ dotyczyły one ogórków szklarniowych. Na podstawie wyników pomiarów 27 sztuk owoców ogórka szklarniowego za pomocą analizy obrazu fotografii uzyskał średnią długość ogórka równą 163.17 mm, szerokość 32.00 mm a średnie pole powierzchni rzutu wynosiło 51.20 cm². Ponadto policzył on dla uzyskanych rzutów owoców ogórka dwuwymiarowe współczynniki kulistości, średnicę zastępczą oraz współczynniki regularności. Nie obliczał przestrzennych współczynników kształtu oraz średnicy zastępczej dla badanych ogórków.

Przyjmując za 100% średnią średnicę zastępczą to średnia długość owocu ogórka była o 113% większa, szerokość i grubość owocu była od 30% do 33% mniejsza. Średnie wartości współczynnika kształtu R_s oraz współczynnika kulistości f dla owoców ogórka siewnego świadczą o wydłużonym kształcie badanych owoców (tab. 2).



Rys. 7. Objętość ogórków w funkcji ich masy.

Fig. 7. Cucumber volume as a function of cucumber mass.

Źródło: Opracowanie własne
Source: Own study

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów współczynników geometrycznych i fizycznych owoców ogórka gruntowego

Table 2. Geometric and physical parameters of field-grown cucumbers

Zmienna Variable	Średnia Mean	Rozstęp Range	Odchylenie standardowe Standard deviation
D_g – średnica zastępcza (mm)	52.99	16.46	3.93
R_a – współczynnik kształtu (%)	33.10	14.00	3.58
ϕ – współczynnik kulistości (%)	47.00	13.70	3.28
Masa (g)	73.46	80.65	18.46
Gęstość (kg/m ³)	949.87	107.08	20.99

Źródło: Opracowanie własne
Source: Own study

WNIOSKI

Modele 3D owoców ogórka siewnego uzyskane za pomocą skanera pozwalają na analizę właściwości geometrycznych. Modele numeryczne owoców mogą zostać zarchiwizowane i w dowolnym momencie wykorzystane i nie podlegają one wpływowi czynników zewnętrznych.

Wyniki testu *t* dla poziomu istotności $\alpha = 0.05$ pozwalają stwierdzić, że różnica między polem powierzchni określonym za pomocą skanera 3D a polem powierzchni obliczonym na podstawie formuły zaproponowanej przez McCabe i in. w 1986 jest istotna natomiast różnica między objętością ogórka określoną z modelu 3D a objętością ogórka określoną na podstawie formuły przedstawionej przez Gaston'a i in. w 2002 r. jest nieistotna.

Przypisanie do modelu numerycznego owoców ogórków właściwości fizycznych takich jak masa i gęstość pozwala na wykorzystanie tego modelu w dalszych pracach badawczych i projektowych.

LITERATURA

- [1] ANDERS A., P. MARKOWSKI, Z. KALINIEWICZ. 2015. „Numerical modelling of agricultural products on the example of bean and yellow lupine seeds”. *International Agrophysics* 29 (4): 397–403.
- [2] BALCERZAK K., J. WERES, K. GÓRNA, P. IDZIA-SZEK. 2015. „Modeling of agri-food products on the basis of solid geometry with examples in autodesk 3ds Max and finite element mesh generation”. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 60 (2): 5–8.
- [3] BORSA J., R. CHU, J. SUN, N. LINTON, C. HUNTER. 2002. „Use of CT scans and treatment planning software for validation of the dose component of food irradiation protocols”. *Radiation Physics and Chemistry* 63: 271–275.
- [4] CAHSIR S., T. MARAKOGLU, H. OGUT, O. OZTURK. 2005. „Physical properties of rapeseed (*Brassica napus oleifera* L.)”. *J. Food Eng.* 69: 61–66.
- [5] CROCOMBE J.P., S. J. LOVATT, R. D. CLARKE. 1999. Evaluation of chilling time shape factors through the use of three-dimensional surface modeling. In: *Proceedings of 20th International Congress of Refrigeration, IIR/IIF, Sydney (Paper 353)*.
- [6] COSKUNER Y., E. KARABABA. 2007. „Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.)”. *J. Food Eng.* 78: 1067–1073.
- [7] 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.
- [8] DESHPANDE S.D., S. BAL, T. P. OJHA. 1993. „Physical properties of soybean”. *J. Agric. Eng. Res.* 56: 89–98.
- [9] DU C. J., D. W. SUN. 2006. „Estimating the surface area and volume of ellipsoidal ham using computer vision”. *Journal of Food Engineering* 73: 260–268.
- [10] ERDOGDU F., M.O. BALABAN, K.V. CHAU. 1998. „Modeling of heat conduction in elliptical cross-section: II. Adaptation to thermal processing of shrimp”. *Journal of Food Engineering* 38: 241–258.
- [11] FRĄCZEK J., M. WRÓBEL. 2006. „Methodic aspects of seed shape assessment”. *Inżynieria Rolnicza* 12 (87): 155–163 (in Polish).
- [12] GASTÓN ANALÍA L., M. R. ABALONE, A. S. GINER. 2002. „Wheat drying kinetics. Diffusivities for sphere and ellipsoid by finite elements”. *Journal of Food Engineering*, 52(4): 313–322.
- [13] GONI S. M., E. PURLIS, V. O. SALVADORI. 2007. „Three-dimensional reconstruction of irregular foodstuffs”. *Journal of Food Engineering* 82: 536–547.
- [14] GONI S.M., E. PURLIS, V. O. SALVADORI. 2008. „Geometry modeling of food materials from magnetic resonance imaging”. *Journal of Food Engineering* 88: 561–567.
- [15] GUPTA R.K., S. K. DAS. 1997. „Physical properties of Sunflower seeds”. *J. Agric. Eng. Res.* 66: 1–8.

- [16] **JADWISIEŃCZAK K., Z. KALINIEWICZ. 2011.** „Analysis of the mustard seeds cleaning process. Part 1. Physical properties of seeds”. *Inżynieria Rolnicza* 9 (134): 57–64 (in Polish).
- [17] **JANCSOK P.T., L. CLIJMANS, B. M. NICOLAI, J. DE BAERDEMAEKER. 2001.** „Investigation of the effect of shape on the acoustic response of ‘conference’ pears by finite element modeling”. *Postharvest Biology and Technology* 23: 1–12.
- [18] **KIM J., R. G. MOREIRA, Y. HUANG, M. E. CASTELL-PEREZ. 2007.** „3-D dose distributions for optimum radiation treatment planning of complex foods”. *Journal of Food Engineering* 79: 312–321.
- [19] **LUZURIAGA D.A., M. O. BALABAN, S. YERLAN. 1997.** „Analysis of visual quality attributes of white shrimp by machine vision”. *Journal of Food Science* 62: 113–118.
- [20] **McCABE W.L., J. C. SMITH, P. HARRIOT. 1986.** *Unit Operations of Chemical Engineering*. McGraw-Hill, New York.
- [21] **MESHLAB VISUAL COMPUTING LAB – ISTI – CNR, 2013.** <http://meshlab.sourceforge.net>.
- [22] **MIESZKALSKI L. 2013.** Computer-aiding of mathematical modeling of the carrot (*Daucus carota* L.) root shape. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture* 61: 17–23.
- [23] **MIESZKALSKI L. 2014.** Bezier curves in modeling the shapes of biological objects. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Agriculture* 64: 117–128.
- [24] **MOHSENIN N.N. 1986.** *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Public, New York.
- [25] **NEXTENGINE USER MANUAL. 2010.** <http://www.nextengine.com>.
- [26] **RAHMI U., E. FERRUH. 2009.** „Potential use of 3-dimensional scanners for food process modeling”. *Journal of Food Engineering*: 93: 337–343.
- [27] **SABLIOV C.M., D. BOLDER, K. M. KEENER, B. E. FARKAS. 2002.** „Image processing method to determine surface area and volume of axi-symmetric agricultural products”. *International Journal of Food Properties* 5: 641–653.
- [28] **SCHEERLINCK N., D. MARQUENIE, P. T. JANCSOK, 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.
- [29] **SIRIPON K., A. TANSAKUL, G. S. MITTAL. 2007.** „Heat transfer modeling of chicken cooking in hot water”. *Food Research International* 40: 923–930.
- [30] **SZWEDZIAK K., J. RUT. 2008.** „Assessment of pollutants of the grain corn with the help of computer analysis of the image”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1: 14–15 (in Polish).
- [31] **TAŃSKA M., D. ROTKIEWICZ, W. KOZIROK, I. KONOPKA. 2005.** „Measurement of the geometrical features and surface color of rapeseeds using digital image analysis”. *Food Research International* 38: 741–750.
- [32] **VERBOVEN P., J. DE BAERDEMAEKER, B. M. NICOLAI. 2004.** Using computational fluid dynamics to optimize thermal processes. In: Richardson, P. (Ed.), *Improving the Thermal Processing of Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL: 82–102.
- [33] **ZAPOTOCZNY P. 2002.** „Measuring geometrical parameters of cucumbers fruits using computer image analysis”. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 4: 57–64 (in Polish).