

Prof. dr hab. inż. Leszek MIESZKALSKI
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Wydział Inżynierii Produkcji
SGGW w Warszawie

METODA MATEMATYCZNEGO MODELOWANIA KSZTAŁTU BULW ZIEMNIAKA (*SOLANUM TUBEROSUM L.*)[®]

Method of mathematical modeling of the shape of potato tubers
(*Solanum tuberosum L.*)[®]

Słowa kluczowe: bulwy ziemniaka, odmiana Irga, kształt, powierzchnia zewnętrzna, równania parametryczne, model matematyczny.

W artykule przedstawiono metodę matematycznego modelowania kształtu powierzchni zewnętrznych bulw ziemniaków odmiany Irga. Do modelowania kształtu, ze zbioru bulw wybrano trzy bulwy ziemniaków różniące się wymiarami i kształtem (ziemniak I o kształcie zdeformowanym, ziemniak II podłużnie-owalny, ziemniak III podłużny). Kształt powierzchni bulw ziemniaków odwzorowano wykorzystując równania parametryczne. Proponowany matematyczny model 3D kształtu bulw ziemniaków można wykorzystać w projektowaniu sortowników.

Key words: potato tubers, variety Irga, the shape, the outer surface, parametric equations, mathematical model.

The article presents a method of mathematical modeling of the shape of the external surface of tubers of potato varieties Irga. For modeling a shape selected from the bed tubers of potato tubers of three differing size and shape (potato I deformed shape, potato II longitudinally-oval and of the potato III oblong). The shape of the surface of potato tubers been mapped using parametric equations. The proposed mathematical model the 3D shape of potato tubers can be utilized in designing of sorters, packaging machines and devices for peeling potatoes.

WSTĘP

Ziemniaki (*Solanum tuberosum L.*) wg Rocznika Statystycznego Rolnictwa [20] były uprawiane w Polsce na obszarze 588 tys. ha w 2005 roku, 267 tys. ha w 2014 roku. W tym samym czasie zbiory wynosiły odpowiednio 10369,3 tys. t i 7424,1 tys. t, a plony z 1 ha w dt wynosiły 176 i 278. Spożycie ziemniaków w przeliczeniu na jednego mieszkańca w 2014 wynosiło 106 kg. W produkcji światowej ziemniaka Polska zajmuje 8 miejsce, a 4 w Unii Europejskiej. W produkcji żywności ziemniak spełnia ważną rolę. Gancarz i Konstankiewicz [9] oraz Świetlikowska [23], a także Achenbach [1] uważają, że cechy morfologiczne takie jak kolor, kształt, wielkość są podstawowymi cechami mającymi wpływ na wybór surowca do przetwórstwa na żywność. Bulwy ziemniaka zawierają składniki mające duże znaczenie w żywieniu człowieka (skrobia, cukry ogółem i cukry redukujące, białko, błonnik pokarmowy, witaminy, składniki mineralne). Cechuje je niska zawartość związków szkodliwych (glikoalkaloidy, azotany, pozostałości pestycydów), są niskokaloryczne, lekkostrawne i nie są tuczące. Podstawowym składnikiem bulw ziemniaka jest skrobia, dlatego spożywanie bulw ziemniaka jest możliwe po obróbce termicznej, w wyniku której skrobia ulega skleikowaniu i jest całkowicie i szybko trawiona [12, 16, 27].

Gancarz i Konstankiewicz do wyznaczania wielkości i kształtu bulw ziemniaka zastosowali komputerową analizę

obrazu, która polegała na obliczaniu powierzchni przekroju i wyznaczeniu współczynnika wydłużenia [9]. Konstankiewicz i inni na podstawie składanych obrazów mikroskopowych wycinków tkanki miękkiej bulwy ziemniaka uzyskanych w optycznym mikroskopie konfokalnym opracowali metodę ilościowego wyznaczania parametrów struktury, takich jak: powierzchnia, obwód, średnice Fereta, wydłużenie, zwartość [13]. Krzysztofik i Skonieczny [15] stwierdzili, że kształt bulw ziemniaka istotnie wpływa na ich stosunek objętości rzeczywistej do pomiarowej. Bulwy kształtne charakteryzowały się wyższą wartością objętości rzeczywistej do pomiarowej niż bulwy zdeformowane. Rios-Cabrera i inni [19] opracowali metodę wykrywania na podstawie analizy obrazu i sztucznych sieci neuronowych, w czasie rzeczywistym, ziemniaków zniekształconych parchem, pęknięciem. Du i Sun [6] zauważyli, że do oceny jakości żywności w ostatnich latach rozwijają się techniki komputerowe. Duże znaczenie wśród nich mają sztuczne sieci neuronowe, statystyka, logika rozmyta, algorytmy genetyczne i drzewa decyzyjne. Kształt ziemniaków jest ważnym wskaźnikiem wykrywalności deformacji ziemniaków. Do opisu kształtu bulw ziemniaków Hu Donggang proponuje metodę polegającą na wpisywaniu i dopasowywaniu elipsy w przekroju bulwy ziemniaka metodą najmniejszych kwadratów [11]. W proponowanej przez Bubeníčková i inni [4] metodzie matematycznego opisu kształtu bulw ziemniaków modelem była sferoida, elipsoida obrotowa i elipsoida, a kształt konturów pojedynczych

Adres do korespondencji – Corresponding author: Leszek Mieszkański, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji, ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa, e-mail: mieszko@poczta.fm

ziemniaków był opisywany za pomocą współrzędnych biegunowych z wykorzystaniem metod Fouriera. Na podstawie przeprowadzonych badań Sobol i inni [21] stwierdzili, że występuje statystycznie istotny wpływ odmian na wartość współczynnika kształtu bulw ziemniaka, oraz że najlepsze dopasowanie do rzeczywistego kształtu bulw uzyskano dla modelu elipsoidy. Tabatabaefar [25] stwierdził, że najważniejsze cechy fizyczne ziemniaka to jego wymiary, masa, objętość, średnia geometryczna kulistość, powierzchnia, współczynnik kształtu, ponadto jest zdania, że kształt irańskich ziemniaków jest elipsoidalny. Berberoglu i inni opracowali [3] modele matematyczne służące do przewidywania masy bulw ziemniaka na podstawie wymiarów bulwy ziemniaka, powierzchni i objętości określonej z dopasowanej elipsoidy lub sferoidy. Stwierdzono, że istnieje liniowa zależność pomiędzy masą i szacowaną wielkością, kształtem ziemniaka, a elipsoida okazała się najbardziej odpowiednim modelem. Każda naturalna bryła i powierzchnia jest różna i wymaga szczególnego równania opisującego kształt. Krzywe i powierzchnie typu NURBS mogą być stosowane do opisu i analiz struktur plastycznych, sprężystych. Mogą być stosowane do numerycznej symulacji metodą brzegowego, metodą elementów skończonych [2, 5]. Nowym podejściem do uzyskania objętościowej dyskretyzacji są T-splajny w reprezentacji powierzchni [10]. Powierzchnie z wykorzystaniem B-splajnów znajdują zastosowanie przy opisie danych pochodzących z zeskanowanych obiektów za pomocą czujników. Są one zwykle stosowane do reprezentowania obiektów, kontroli, eksperytyzacji technologii, metrologii i zadań inżynierii odwrotnej [26]. Według Mebatsiona i innych [17] modelowanie geometrii surowców roślinnych w większych skalach oraz mikrostruktury jest istotnym aspektem badań w zakresie kontroli metabolizmu i jakości surowców roślinnych. Koszela i Hartlieb [14] do oceny jakości ziemniaka opracowali system wizyjny, którego podstawą były cyfrowe fotografie ziemniaków, stanowiące źródło oceny w utworzonym programie komputerowym. Proponowany program komputerowy po wczytaniu zdjęcia, ustawieniu widoku, ustawieniu wzorca w celu wykonania oceny, dokonuje pomiaru poziomej i pionowej średnicy, określa współczynnik kształtu, barwę skórki, następnie przeprowadza ocenę.

Model do symulacji procesu wzrostu słodkiego ziemniaka w zależności od promieniowania słonecznego i fotosyntezy opracowali Somasundaram i Santhosh Mithra [22]. Przewidywanie ilości bulw na podstawie symulacji oraz przewidywane plony były w dobrej zgodności z odpowiednimi wartościami obserwowanymi. Štátná i Duřková [24] opracowali program symulacyjny służący do zarządzania uprawą ziemniaka. Duber-Skwarska [8] opracowała model matematyczny na podstawie którego jest możliwa analiza wpływu głębokości roboczej zespołu kształtującego zagon, rozstawu kół ciągnika oraz kąta nachylenia skrzydeł obsypnika na głębokość przykrycia bulw ziemniaka warstwą gleby.

W modelowaniu matematycznym kształtu są potrzebne nowe wzory geometryczne do definiowania krzywych i powierzchni. Wykrywanie wad zewnętrznych na bulwach ziemniaków jest najważniejszym problemem w automatycznych stacjach sortowania ziemniaków. W automatyzowaniu sortowania mają zastosowanie metody matematyczne, ze szczególnym zwróceniem uwagi na kwestie związane z projektowaniem i wykorzystaniem algorytmów do rozwiązania równań [18].

Kształt bulw ziemniaków jest zróżnicowany. Dubas i Gładysiak [7] wyróżniają następujące typy kształtów ziemniaków: poprzecznie-owalny, okrągły, okrągło-owalny, owalny, podłużno-owany, podłużny, nieregularny. Kształty bulw zdeformowanych są uznawane za wadliwe, mają kształty określone jako: bliźniaki, dzieciuchy, paciorkowate.

Celem artykułu jest prezentacja metody matematycznego modelowania wybranych bulw ziemniaków o nieregularnych kształtach.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiałem do badań były bulwy ziemniaka odmiany Irga należącej do odmian średnio wczesnych, wszechstronnie użytkowych. Ziemniaki pochodziły z plantacji producenta indywidualnego ze wsi Rybne ze zbiorów w 2016 roku. Do modelowania wybrano ze złoza ziemniaków trzy bulwy ziemniaków o kształcie zbliżonym do: ziemniak I (zdeformowany), ziemniak II (podłużnie-owalny), ziemniak III (podłużny). Wybór kształtu bulw ziemniaków był podyktowany podjęciem próby opracowania metody matematycznego opisu kształtu dla bulw o kształcie znacznie odbiegającym od regularnego. Wymiary długości, szerokości oraz grubości bulw ziemniaka zmierzono za pomocą suwmiarki z dokładnością do 0,1 mm.

Tabela 1. Podstawowe wymiary bulw ziemniaków wybranych do modelowania

Table 1. Basic dimensions of potato tubers of selected for modeling

Numer bulwy ziemniaka	Typ kształtu	Wymiary (mm)		
		długości	szerokości	grubości
I	zdeformowany	85,2	60,1	43,8
II	Podłużnie-owalny	57,4	48,7	37,5
III	Podłużny	78,3	60,6	42,1

Źródło: Opracowanie własne

Source: The own study

Wybrane bulwy ziemniaków sfotografowano, każdą w trzech ujęciach. Wykorzystano do tego celu aparat fotograficzny Panasonic LUMIX DMC-TZ3. Odległość od fotografowanych bulw ziemniaków do obiektywu aparatu wynosiła 400 mm. Fotografie zapisywano w formacie JPEG o wymiarach 2560x1712 pikseli.

Kształt powierzchni bulw ziemniaków opisano równaniami parametrycznymi. W skład tych równań wchodziły równania parametryczne kuli, funkcje zniekształcające oraz parametry skalujące.

MODELE MATEMATYCZNE Kształtu BULW ZIEMNIAKÓW

Bryłą początkową do matematycznego modelowania kształtu bulw ziemniaka jest kula, której równania parametryczne w zapisie macierzowym mają następującą postać:

$$X_{i,j} = \sin(\xi_i) \cdot \cos(\psi_j) \quad (1)$$

$$Y_{i,j} = \sin(\xi_i) \cdot \sin(\psi_j) \quad (2)$$

$$Z_{i,j} = \cos(\xi_i) \quad (3)$$

gdzie

$$\xi_i = i \cdot \frac{\pi}{N} \quad (4)$$

$$\psi_j = j \cdot \frac{n \cdot \pi}{N} \quad (5)$$

$$i = j = 0 \dots N \quad (6)$$

N – rozmiar macierzy (liczba wierszy i kolumn).

Macierzowe równania opisujące kształt bulwy ziemniaka I są zapisane niżej:

$$XI = X \cdot AI(N) \cdot axI \quad (7)$$

$$YI = Y \cdot AI(N) \cdot ayI \quad (8)$$

$$ZI_{i,j} = azI \cos(\xi_i) \quad (9)$$

Dla: $axI = 3,5$; $ayI = 2,5$; $azI = 2$.

Gdzie:

$$AI(N) = \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots N \\ \text{for } j \in 0 \dots N \\ \left| \begin{array}{l} B_{i,j} \leftarrow \sin(\psi_j - 0.6)^2 + \sin(\xi_i)^2 \text{ if } i = j \\ B_{i,j} \leftarrow 0 \text{ otherwise} \end{array} \right. \end{cases} \quad (10)$$

Macierzowe równania opisujące kształt bulwy ziemniaka II są zapisane niżej:

$$XII = \sin(\xi_i) \cdot \cos(\psi_j) \cdot axII \quad (11)$$

$$YII = Y \cdot AII(N) \cdot AII(N) \cdot ayII \quad (12)$$

$$ZII_{i,j} = azII \cdot \cos(\xi_i) \quad (13)$$

Dla: $axII = 2,5$; $ayII = 10$; $azII = 1,8$.

Gdzie:

$$AII(N) = \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots N \\ \text{for } j \in 0 \dots N \\ \left| \begin{array}{l} B_{i,j} \leftarrow \frac{1}{0.1 \cdot i + 1} \text{ if } i = j \\ B_{i,j} \leftarrow 0 \text{ otherwise} \end{array} \right. \end{cases} \quad (14)$$

Macierzowe równania opisujące kształt bulwy ziemniaka III są zapisane niżej:

$$XIII = \sin(\xi_i) \cdot \cos(\psi_j) \cdot axIII \quad (15)$$

$$YIII = Y \cdot AIII(N) \cdot ayIII \quad (16)$$

$$ZIII_{i,j} = azIII \cdot \cos(\xi_i) \quad (17)$$

Dla: $axIII = 3$; $ayIII = 2$; $azIII = 2$.

Gdzie:

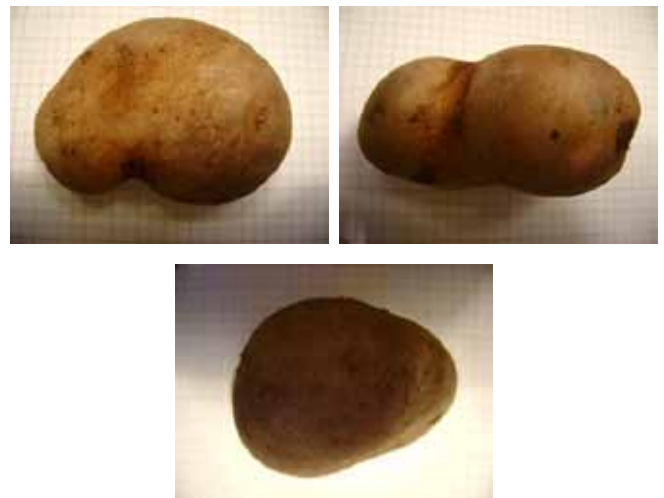
$$AIII(N) = \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots N \\ \text{for } j \in 0 \dots N \\ \left| \begin{array}{l} B_{i,j} \leftarrow \cos(\psi_j)^2 + 2 \text{ if } i = j \\ B_{i,j} \leftarrow 0 \text{ otherwise} \end{array} \right. \end{cases} \quad (18)$$

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyjściową bryłą będącą modelem wstępnym bulwy ziemniaka jest kula, która pozwala przez wprowadzenie parametrów skalujących dla współrzędnych X , Y , Z uzyskać elipsoidę, będącą kolejnym przybliżeniem kształtu bulwy ziemniaka. Z zamieszczonych fotografii (rys. 1, 3, 5) wynika, że ani kula, ani elipsoida nie opisują kształtu bulw ziemniaków w sposób zadowalający. Należy więc poszukiwać metod pozwalających dokładniej opisać kształt bulw ziemniaka. Jednym ze sposobów jest wprowadzenie do parametrycznych równań kuli takich funkcji, które umożliwiłyby zmianę kuli lub elipsoidy w bryłę o kształcie podobnym do modelowanych obiektów, którymi są wybrane bulwy ziemniaków. Wykonane fotografie stanowiły podstawę do poszukiwania takich funkcji. W artykule zaproponowano trzy różne funkcje zmieniające kulę w bryłę o nieregularnym kształcie. Proponowana metoda nie ogranicza poszukiwań sposobu opisu wybranych kształtów, może ona mieć także szersze zastosowanie w poszukiwaniu innych nieregularnych kształtów. Autor zachęca młodych adeptów nauki do takich poszukiwań.

W wyniku analizy komputerowej otrzymano modele 3D widoków bulw ziemniaków (rys. 2, 4, 6).

Fotografie trzech widoków bulwy ziemniaka I odmiany Irga zamieszczono na rysunku 1.

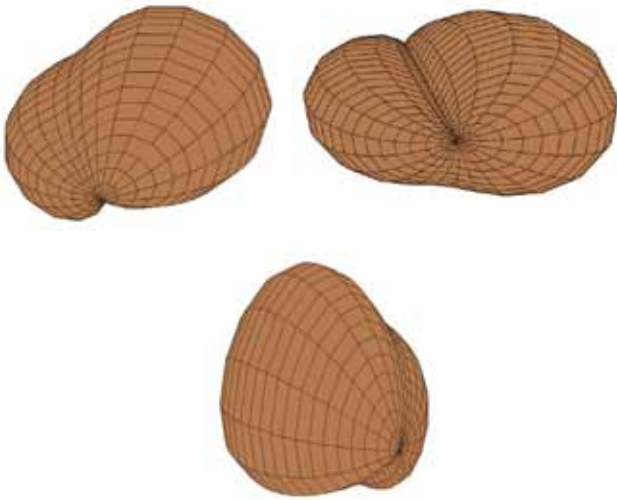


Rys. 1. Fotografie trzech widoków bulwy ziemniaka I.
Fig. 1. Photographs the three views of the potato tuber I.

Źródło: Opracowanie własne

Source: The own study

Na rysunku 2 zamieszczono modele 3D trzech widoków bulwy ziemniaka I odmiany Irga.



Rys. 2. Modele 3D bulwy ziemniaka I.
Fig. 2. 3D model potato tubers I.

Źródło: Opracowanie własne
Source: The own study

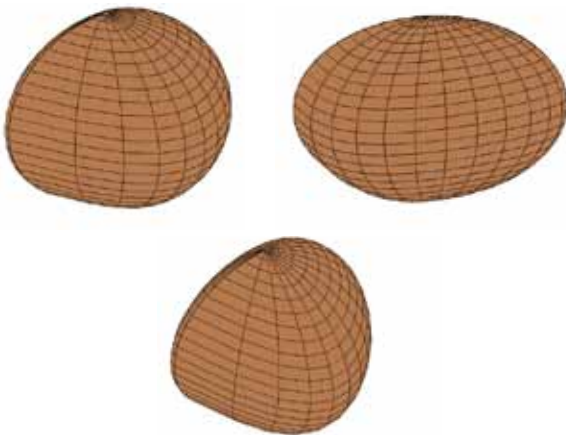
Fotografie trzech widoków bulwy ziemniaka II odmiany Irga zamieszczono na rysunku 3.



Rys. 3. Fotografie trzech widoków bulwy ziemniaka II.
Fig. 3. Photographs the three views of the potato tuber II.

Źródło: Opracowanie własne
Source: The own study

Modele 3D trzech widoków bulwy ziemniaka II odmiany Irga zamieszczono na rysunku 4.



Rys. 4. Modele 3D bulwy ziemniaka II.
Fig. 4. 3D model potato tubers II.

Źródło: Opracowanie własne
Source: The own study

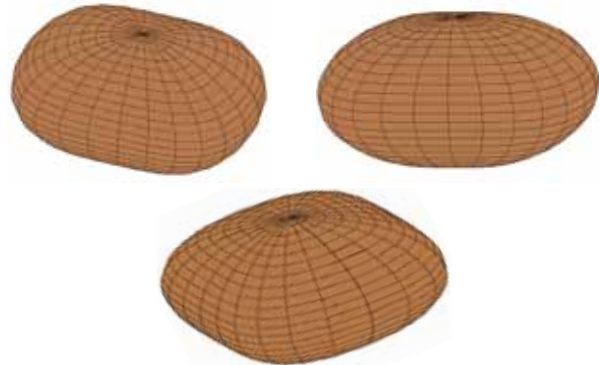
Fotografie trzech widoków bulwy ziemniaka III odmiany Irga zamieszczono na rysunku 5.



Rys. 5. Fotografie trzech widoków bulwy ziemniaka III.
Fig. 5. Photographs the three views of the potato tuber III.

Źródło: Opracowanie własne
Source: The own study

Na rysunku 6 zamieszczono modele 3D trzech widoków bulwy ziemniaka III odmiany Irga.



Rys. 6. Modele 3D bulwy ziemniaka III.
Fig. 6. 3D model potato tubers III.

Źródło: Opracowanie własne
Source: The own study

Z wykresów 3D wynika, że jest możliwe zastosowanie tej metody do określania kształtu bulw ziemniaków odbiegających kształtem od brył regularnych. Tak jak w przypadku wyznaczenia trzech wybranych kształtów bulw ziemniaków w podobny sposób można wyznaczać inne kształty bulw ziemniaków, również innych odmian, przez poszukiwanie innych postaci funkcji zniekształcających. Na podstawie otrzymanych wykresów 3D można stwierdzić, że powierzchnię zewnętrzną brył ziemniaków o nieregularnych kształtach daje się opisać przez zastosowanie funkcji zniekształcającej w równaniach parametrycznych kuli lub elipsoidy. Parametry skalujące zastosowane w równaniach umożliwiają dostosowanie wykresów 3D do rzeczywistych wymiarów bulw ziemniaków.

WNIOSKI

1. Równania parametryczne, w proponowanym modelu, mogą być stosowane do modelowania kształtów powierzchni zewnętrznej bulw ziemniaków o nieregularnych kształtach.

2. Opracowany model 3D powierzchni zewnętrznej odwzorowujący kształt nieregularnych bulw ziemniaków może służyć do reprezentowania rzeczywistych obiektów wszędzie tam, gdzie nie jest wymagana bardzo wysoka dokładność odwzorowania kształtu.
3. Odwzorowane równaniami parametrycznymi powierzchnie zewnętrzne modeli 3D bulw ziemniaków mogą być dopasowane do podstawowych wymiarów rzeczywistych bulw ziemniaków za pomocą parametrów skalujących.
4. Proponowana metoda modelowania powierzchni bulw ziemniaków może być stosowana przez projektantów do konstruowania przenośników, separatorów i pakowarek oraz urządzeń do obierania ziemniaków.

LITERATURA

- [1] **ACHENBACH J.** 2001. "The power of light". *National Geographic* 10: 2 – 29.
- [2] **AKHRAS H.A., T. ELGUEDJ, A. GRAVOUIL, M. ROCHETTE.** 2016. "Isogeometric analysis-suitable tri-variate NURBS models from standard B-Rep models". *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 307: 256–274.
- [3] **BERBEROGLU E., E. ALTUNTAS, E. DULGER.** 2014. "Development of Adequate Mathematical Models to Predict the Mass of Potato Varieties From Their Some Physical Attributes". *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University JAFAG* 31 (3): 1-9.
- [4] **BUBENÍČKOVÁ A., J. SIMEONOVOVÁ, V. KUMBÁR, M. JŮZL, Š. NEDOMOVÁ.** 2011. "Mathematical descriptive characteristics of potato tubers' shape". *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* LIX, 8, 6: 63 – 68.
- [5] **COOMBS W.M., O. A. PETIT, Y. G. MOTLAGH.** 2016. "NURBS plasticity: Yield surface representation and implicit stress integration for isotropic inelasticity". *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 304 (2016): 342–358.
- [6] **DU C.-J., D.-W. SUN.** 2006. "Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review". *Journal of Food Engineering* 72: 39–55.
- [7] **DUBAS A., S. GLADYSIAK.** 1994. *Szczegółowa uprawa roślin rolniczych.* Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu.
- [8] **DUBER-SKWARSKA O.** 2010. "Mathematical modeling of bed geometry in the cultivation of seed potatoes". *Technical Sciences* 13: 1 – 9.
- [9] **GANCARZ M., K. KONSTANKIEWICZ.** 2007. „Zastosowanie komputerowej analizy obrazu do szybkiego określania wielkości i kształtu bulw ziemniaka”. *Acta Argophysica* 10(1): 47 – 57.
- [10] **HARMEL M., R. A. SAUER, D. BOMMES.** 2017. "Volumetric mesh generation from T-spline surface representations". *Computer-Aided Design* 82: 13–28.
- [11] **HU DONGGANG.** 2012. "Potato shape detection based on stable direct least square method of ellipses fitting and it's application prospect in Land Science". *International Journal of Digital Content Technology and its Applications(JDCTA)* 6, 20: 161 – 171. doi:10.4156/jdcta.vol6.issue20.18
- [12] **KITA A., G. LISIŃSKA.** 2007. „Ocena składu chemicznego i jakości organoleptycznej mrożonych produktów ziemniaczanych pochodzących z sieci handlowej”. *Żywn. Nauka Technol. Jakość* 3(52): 15-27.
- [13] **KONSTANKIEWICZ K., M. GANCARZ, A. KRÓL, K. PAWLAK.** 2002. „Wyznaczanie parametrów struktury tkanki mięksiszowej bulwy ziemniaka odmian „Danusia” i „Kuba””. *Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria* 1(2) 2002: 23 - 32.
- [14] **KOSZELA K., W. HARTLIEB.** 2012. „Porównanie metody instrumentalnej i komputerowej analizy obrazu w ocenie jakościowej wybranych produktów rolniczych”. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 57(1): 91 – 95.
- [15] **KRZYSZTOFIK B., P. SKONIECZNY.** 2009. „Wpływ kształtu bulw ziemniaka na wydajność frytki surowej”. *Inżynieria Rolnicza* 5(114)/2009, 131 – 138.
- [16] **LISIŃSKA G.** 2006. „Wartość technologiczna i jakość konsumpcyjna polskich odmian ziemniaka”. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 511: 81-94.
- [17] **MEBATSION H.K., P. VERBOVEN, Q.T. HO, B.E. VERLINDEN, B.M. NICOLAI.** 2008. "Modelling fruit (micro)structures, why and how?". *Trends in Food Science & Technology* 19: 59 – 66.
- [18] **RAZMJOOYN., B. S. MOUSAVI, F. SOLEYMANI.** 2012. "A real-time mathematical computer method for potato inspection using machine vision". *Computers and Mathematics with Applications* 63: 268–279.
- [19] **RIOS-CABRERA R., I. LOPEZ-JUAREZ, H. SHENG-JEN.** 2008. "ANN analysis in a vision approach for potato inspection". *Journal of Applied Research and Technology* 6, 2: 106 – 119.
- [20] *Rocznik Statystyczny Rolnictwa.* 2015. Główny Urząd Statystyczny. ISSN 2080-8798.
- [21] **SOBOL Z., D. BARAN, N. MARKS.** 2005. „Relacje pomiędzy objętością a kształtem bulw wybranych odmian ziemniaka”. *Inżynieria Rolnicza* 7/2005: 289 – 295.
- [22] **SOMASUNDARAM K., V.S. SANTHOSH MITHRA.** 2008. "Madhuram: A Simulation Model for Sweet Potato Growth". *World Journal of Agricultural Sciences* 4 (2): 241 - 254.
- [23] **ŚWIETLIKOWSKA K.** 2008, (red). *Surowce spożywcze pochodzenia roślinnego.* Wydawnictwo SGGW. ISBN 978-83-7244-929-0.
- [24] **ŠTASTNÁ M., J. DUFKOVÁ.** 2008. "Potato Simulation Model and its Evaluation in Selected Central European Country". *Agriculturae Conspectus Scientificus* 73, 4: 227-234.
- [25] **TABATABAEFFAR A.** 2002. "Size and shape of potato tubers". *Int. Agrophysics* 16: 301–305.
- [26] **YANA R.-J., J. WU, J. Y. LEE, A. M. KHAN, CH.-S. HAN, E. KAYACAN, I.-M. CHEN.** 2016. "A novel method for 3D reconstruction: Division and merging of overlapping B-spline surfaces". *Computer-Aided Design* 81: 14–23.
- [27] **ZARZECKA K., M. GUGAŁA, M. ZARZECKA.** 2013. „Ziemniak jako dobre źródło składników odżywczych”. *Postępy Fitoterapii* 3/2013: 191 – 194.