

ZASTOSOWANIE SKANERA 3D DO MONITOROWANIA KSZTAŁTU PRODUKTÓW SPOŻYWCZYCH NA PRZYKŁADZIE PIECZYWA

Andrzej Anders, Zdzisław Kaliniewicz, Piotr Markowski

Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Zastosowanie laserowego skanera 3D pozwala na bezdotkowy pomiar i odwzorowanie powierzchni a następnie obliczenie współczynników charakteryzujących właściwości geometryczne. Dodatkową korzyścią z zastosowania bezdotkowego pomiaru geometrii za pomocą skanera 3D jest możliwość pomiaru produktów o delikatnej strukturze zewnętrznej i wrażliwych na uszkodzenia mechaniczne. Celem pracy było określenie podstawowych cech geometrycznych pieczywa typu „bułka ziarnista”, wykonanie pomiarów pola powierzchni, objętości oraz określenie podstawowych jego właściwości fizycznych – masy i gęstości. Średnie pole powierzchni obliczone na podstawie modelu cyfrowego w przypadku gdy skanowany model bułki posiadał na swojej powierzchni otwory oraz gdy otwory w modelu zostały wypełnione nie różniły się istotnie. Istotne różnice wystąpiły gdy pole powierzchni i objętość bułek była obliczana ze wzorów. Obliczono również współczynniki kształtu dla badanej serii bułek.

Słowa kluczowe: skanowanie 3D, model matematyczny, właściwości geometryczne, pieczywo, współczynnik kształtu

Wykaz oznaczeń:

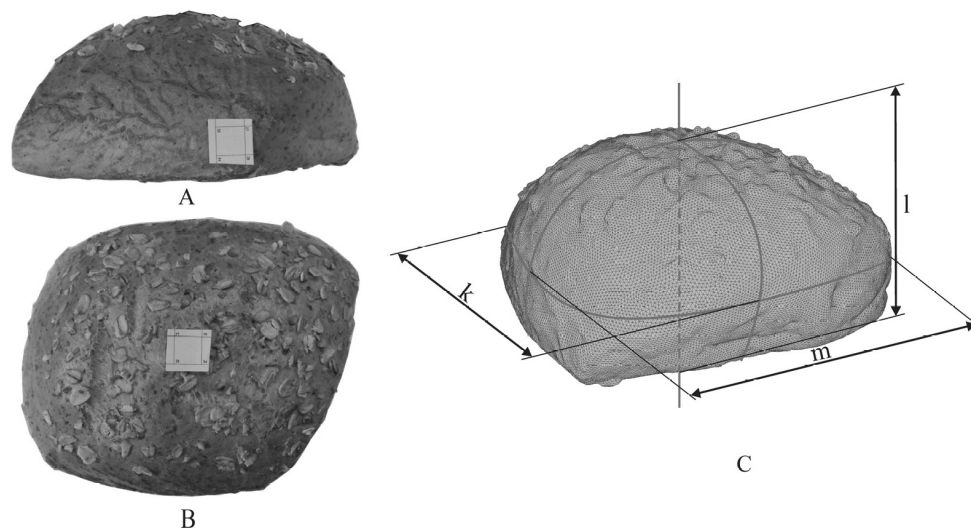
- a – grubość bułki [mm],
- b – szerokość bułki [mm],
- c – długość bułki [mm],
- l – wymiar zawarty w osi obrotu bułki [mm],
- k i m – wymiary bułki [mm], przy czym $k < m$ (rys.1).

Wstęp i cel pracy

Informacja na temat cech geometrycznych i fizycznych produktów spożywczych jest niezbędna w procesie projektowania urządzeń wykorzystywanych w transporcie, separacji, suszeniu i przetwórstwie [Dobrzański jr 2007; Lewicki 2005]. Określenie dokładnego modelu cyfrowego produktu spożywczego jest niezbędne do efektywnego projektowania i produkcji maszyn oraz urządzeń przeznaczonych dla przemysłu spożywczego. Dokładny model matematyczny może być wykorzystany do wykonania zaawansowanych obliczeń oraz symulacji komputerowej pozwalającej przewidzieć wybrane czynniki technologiczne wpływające na jakość końcowego produktu [Zhang i Datta 2006; Mieszkalski i in. 2008; Rahmi i Ferruh 2009; Fadhel Ben Aissa i in. 2010]. Tradycyjne metody pomiarowe (fotografowanie, mierzenie suwmiarką lub śrubą mikrometryczną) pozwalają na uzyskanie informacji o kształcie i wymiarach produktów spożywczych i są nadal wykorzystywane w procesie projektowania maszyn i urządzeń [Sakai i in. 1996; Frączek i Ślipek 2006; Frączek i Wróbel 2009; Sadowska i Żabiński 2009]. W przypadku produktów spożywczych o stosunkowo regularnych kształtach można pokusić się o aproksymację ich kształtu do znanych figur geometrycznych (kula, torus, sześciąt, prostopadłościąt) [Frączek i Wróbel 2006]. Najwięcej problemów stwarza wierne odwzorowanie kształtu produktu, określenie jego pola powierzchni oraz objętości, gdy kształt badanego obiektu jest nieregularny i skomplikowany [Mieszkalski 2002; Nawara i Krzysztofik 2007]. Jedną z metod umożliwiających pomiar takich produktów jest zastosowanie skanera 3D do skanowania powierzchni. Uzyskane za pomocą tego urządzenia modele pozwalają na dokładny pomiar pola powierzchni i objętości badanego obiektu [Willis i in. 2007]. Dodatkową korzyścią z zastosowania bezdotykowego pomiaru geometrii jest możliwość pomiaru produktów o delikatnej strukturze zewnętrznej i wrażliwych na uszkodzenia mechaniczne. Pomiar wykonany skanerem 3D nie wpływa na zmianę struktury badanego produktu i może być przeznaczony do dalszej konsumpcji. W pracy została zaprezentowana możliwość zastosowania skanera 3D do monitorowania kształtu pieczywa na przykładzie bułki ziarnistej.

Metodyka badań

Do badań wybrano pieczywo o nazwie „bułka ziarnista” zakupione w lokalnej piekarni. Próba do pomiarów liczyła 32 sztuki. Na podstawie oceny wizualnej stwierdzono, że powierzchnia bułek jest nierówna, z licznymi wgłębieniami. Na ich górnej powierzchni znajdują się płatki owsiane a na dolnej nasiona słonecznika, natomiast kształt bułki w widoku z góry zbliżony jest do wielokąta (rys. 1). Skanowanie wykonano za pomocą skanera 3D firmy Nextengine stosując gęstość skanowania wynoszącą 1550 punktów na cm^2 . Skanowane bułki znajdowały się na obrotowym stoliku. Wykonano 12 skanów bocznych oraz po jednym skanie górnej i dolnej części bułki. Uzyskane dane były poddawane dalszej obróbce za pomocą oprogramowania ScanStudio HD PRO firmy NextEngine [<http://www.nextengine.com>]. Wybrane podczas skanowania bułek parametry skanera pozwalały na uzyskanie modelu, którego błąd pomiaru wymiarów liniowych wynosił $\pm 0,254$ mm.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Bułka „ziarnista”: A – widok z boku, B – widok z góry, C – oznaczenia wymiarów bułki wg Donev’a

Fig. 1. A grain bread roll "ziarnista": A – side view, B – top view, C – dimensional symbols of bread rolls according to Donev

W gotowych modelach bułek zmierzono ich pole powierzchni, objętość oraz długość, szerokość i grubość. Każda z badanych bułek została również zważona na wadze elektronicznej PS 1000/C/2 z dokładnością 0,001 g. Dla poszczególnych bułek na podstawie wzoru (1) przedstawionego przez Grochowicza [1994] obliczono pole powierzchni bułki:

$$Fz = \pi \cdot c \cdot \frac{a+b}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (1)$$

Do oszacowania objętości pojedynczych bułek przyjęto formułę (2) [Niewczas i in. 1999]:

$$V = \frac{\pi \cdot (a \cdot b \cdot c)}{6} \quad [\text{mm}^3] \quad (2)$$

Na podstawie zebranych danych obliczono współczynniki kształtu bułek wykorzystując zależności podane przez następujących autorów:

– Grochowicza [1994],

$$Km = \frac{b}{c}; \quad (3)$$

$$Kw = \frac{a}{c} \quad (4)$$

– Mohseina (1986),

$$S_n = \sqrt[3]{\frac{a \cdot b}{c^2}} \quad (5)$$

– Doneva (2004) zmodyfikowany przez Wróbla (2006),

$$\alpha = \frac{2 \cdot l}{k + m} \quad (6)$$

Obliczenia podstawowych statystyk na podstawie otrzymanych wyników wykonano w programie Statistica 8. Przyjęto do wnioskowania statystycznego poziom istotności $p = 0,05$.

Wyniki badań i ich analiza

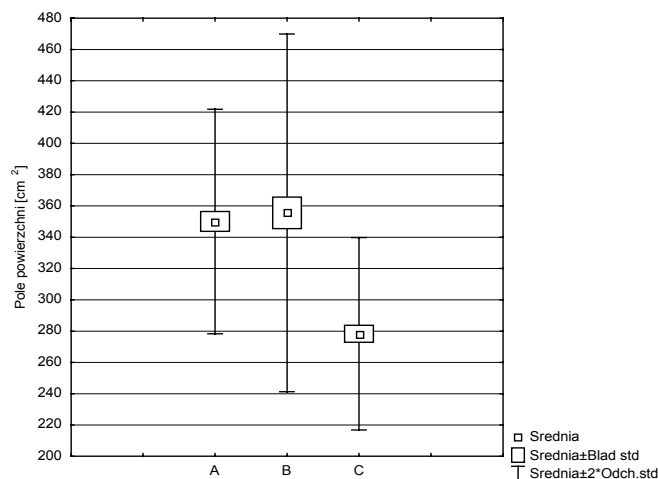
Podstawowe właściwości fizyczne oraz cechy geometryczne pieczywa typu „bułka ziarnista” obliczono na podstawie przeprowadzonych pomiarów badanej serii bułek. Średnia długość „bułki ziarnistej” wynosiła $113,76 \pm 8,37$ mm, szerokość $99,75 \pm 7,27$ mm a średnia grubość $56,50 \pm 4,23$ mm. Mając podstawowe wymiary bułek obliczono ich pole powierzchni i objętość korzystając ze wzorów 1 i 2 (tab. 1). Sporządzono wykresy typu ramka-wąsy dla średniego pola powierzchni bułki (rys. 2).

Tabela 1. Wyniki pomiarów pola powierzchni bułki „ziarnista” po użyciu funkcji łączenia skanowanych powierzchni, po użyciu funkcji wypełniania otworów w modelu oraz obliczonych ze wzoru 1

Table 1. The results of measurements of the surface area of a grain bread roll "ziarnista" after using the fusing function for scanned surfaces, after using the filled holes function in the model and calculated from the formula 1

Parametr statystyczny	Pole powierzchni [cm ²]		
	Model po zastosowaniu funkcji łączenia	Model po zastosowaniu funkcji wypełniania otworów	Obliczenia na podstawie wzoru (1)
Średnia	350,09	355,59	278,33
Błąd standardowy	6,34	10,10	5,43
Odchylenie standardowe	35,88	57,15	30,73
Zakres	141,56	277,19	126,25
Minimum	301,05	296,56	218,67
Maksimum	442,62	559,02	344,93

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Wykres ramka wąsy dla średniego pola powierzchni bułki „ziarnista”: A – model z otworami, B – model po uzupełnieniu otworów, C – obliczone ze wzoru 1

Fig. 2. Box & Whisker plot of the average surface area of the grain bread roll "ziarnista": A - model with holes, B – model with filled holes, C – calculated from formula 1

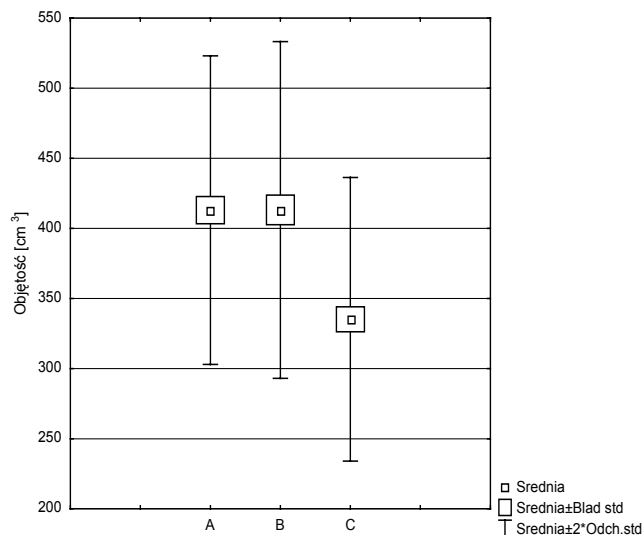
Wyniki obliczeń średniej objętości bułek na podstawie uzyskanych modeli przedstawia tabela 2. Wykres ramka-wąsy przedstawia obliczoną średnią objętość bułki „ziarnista” (rys. 3).

Tabela 2. Wyniki pomiarów objętości bułki
Table 2. The bread roll volume results of measurements

Parametr statystyczny	Objętość bułki [cm ³]		
	Model po zastosowaniu funkcji łączenia	Model po zastosowaniu funkcji wypełniania otworów	Obliczenia na podstawie wzoru (2)
Średnia	413,04	413,19	335,16
Błąd standardowy	9,72	10,61	8,94
Odchylenie standardowe	55,02	60,02	50,58
Rozstęp	253,76	337,11	199,97
Minimum	272,61	221,91	239,43
Maksimum	526,37	559,02	439,41

Źródło: opracowanie własne

Średnia masa bułki „ziarnista” wynosiła $105,063 \pm 10,334$ g, minimalna masa bułki wynosiła 84,857 g a maksymalna masa bułki wynosiła 128,156 g. Znając masę badanych bułek oraz ich objętość obliczono średnią ich gęstość. Korzystając z modelu cyfrowego z wypełnionymi otworami średnia gęstość bułki wynosiła $257,80 \pm 33,05$ kg·m⁻³, minimalna gęstość bułki wynosiła 210,18 kg·m⁻³ a maksymalna gęstość bułki wynosiła 382,39 kg·m⁻³.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Wykres ramka wąsy dla średniej objętości bułki „ziarnista”: A – model z otworami, B – model po uzupełnieniu otworów, C – obliczona ze wzoru 2

Fig. 3. Box & Whisker plot of the average volume of the grain bread roll "ziarnista": A – model with holes, B – model with filled holes, C – calculated from formula 2

Na podstawie wzorów 3, 4, 5 i 6 obliczono średnie współczynniki kształtu bułek. Ponieważ kształt bułek przypomina wielościan według literatury [Frączek i Wróbel 2006] proponuje się przyjąć jako najodpowiedniejsze do opisu geometrii badanych bułek współczynniki zaproponowane przez Grochowicza. Średnie wartości tych współczynników oraz współczynników kształtu proponowanych przez innych autorów przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Współczynniki kształtu bułki „ziarnista”

Table 3. Shape ratios of the bread roll ‘ziarnista’

Parametr statystyczny	Współczynnik kształtu			
	Grochowicza		Mohseina	Donev’a w modyfikacji Wróbla
	K_m	K_w	S_n	α
Średnia	0,882	0,502	0,761	0,533
Błąd standardowy	0,011	0,009	0,007	0,008
Odchylenie standardowe	0,067	0,053	0,040	0,050
Rozstęp	0,284	0,215	0,165	0,189
Minimum	0,702	0,402	0,670	0,436
Maksimum	0,986	0,617	0,844	0,626

Źródło: opracowanie własne

Wnioski

1. Średnie pole powierzchni oraz objętość obliczona na podstawie modelu cyfrowego w przypadku gdy skanowany typ bułki posiadał na swojej powierzchni otwory i gdy otwory w modelu zostały wypełnione nie różniły się istotnie. Istotne różnice wystąpiły gdy pole powierzchni bułek było obliczane ze wzoru zaproponowanego przez Grochowicza a objętość bułki była obliczana na podstawie wzoru zaproponowanego przez Niewczasa i współautorów.
2. Obliczona ze wzoru zaproponowanego przez Niewczasa i współautorów średnia objętość bułki była o około 19% mniejsza od objętości bułki obliczonej na podstawie gotowego modelu cyfrowego z uzupełnionymi otworami.
3. Kształt badanych bułek przypomina wielościan więc najodpowiedniejsze do jego opisu są współczynniki kształtu Grochowicza. Wynosiły one $K_m = 0,882 \pm 0,067$ oraz $K_w = 0,502 \pm 0,053$. Współczynniki kształtu Grochowicza, Mohseina, Donev'a oraz wzory do obliczeń pola powierzchni Grochowicza i objętości Niewczasa i współautorów mogą posłużyć do wstępnej oceny kształtu produktów spożywczych. Dokładne obliczenia wyżej wymienionych parametrów można uzyskać wykonując pomiary skanerem 3D.

Bibliografia

- Dobrzański B. Jr.** (2007): Właściwości geometryczne i mechaniczne nasion podczas deformacji i powstawania uszkodzeń. Właściwości geometryczne, mechaniczne i strukturalne surowców i produktów spożywczych, Wydawnictwo Naukowe FRNA, 41-65.
- Donev A., Cisse I., Sachs D., Variano E.A., Stillinger F.H., Connelly R., Torquato S., Chaikin P.M.**, (2004): Improving the density of Jammed Disordered Packings using Ellipsoids. Science vol. 303, 990-993.
- Fadhel Ben Aissa M., Monteau J.Y., Perronnet A., Roelens G., Le Bail A.** (2010): Volume change of bread and bread crumb during cooling, chilling and freezing, and the impact of baking. Journal of Cereal Science, 51, 115-119.
- Frączek J., Wróbel M.** (2006): Metodyczne aspekty oceny kształtu nasion. Inżynieria Rolnicza, 12(87), 155-163.
- Frączek J., Wróbel M.** (2009): Zastosowanie grafiki komputerowej w rekonstrukcji 3D nasion. Inżynieria Rolnicza, 6(115), 87-94.
- Frączek J., Slipek Z.** (2006): Modele roślinne struktur ziarnistych. Inżynieria Rolnicza 12(87), 145-154.
- Grochowicz J.** (1994): Maszyny do czyszczenia sortowania nasion. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, ISBN 83-901612-9-X.
- Lewicki P.** (2006): Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. WNT, Warszawa. ISBN 83-20432278.
- Mieszkalski L.** (2002): Metoda modelowania nieregularnych kształtów za pomocą funkcji wielomianowych. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 1, 13-16.
- Mieszkalski L., Anders A., Sołoducha H. K.**, (2008): Modelowanie brył owoców na przykładzie owoców mandarynki. Postępy techniki przetwórstwa spożywczego, 2, 20-25.
- Mohsenin N.N.** (1986): Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Public, New York. ISBN 0-677-21370-0.

- Nawara P., Krzysztofik B.** (2007): Pomiar metodą wideo-komputerową parametrów geometrycznych bulw ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 9(2), 443-448.
- Niewczas J., Woźniak W., Grundas S.** (1999): Charakterystyka obrazów rentgenowskich ziarniaków pszenicy o różnej wilgotności. *Biuletyn Zakładu Fizycznych Podstaw Oceny i Ulepszania Materiałów Roślinnych Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie. Dodatek do „Przeglądu Zbożowo-Młynarskiego”*, 2, 27-29.
- Rahmi U., Ferruh E.** (2009): Potential use of 3-dimensional scanners for food process modeling. *Journal of Food Engineering*, 93, 337-343.
- Sadowska U., Żabiński A.** (2009): Niektóre właściwości fizyczne ziarniaków jęczmienia nagoziarnistego uprawianego w mieszance z soczewicą jadalną. *Inżynieria Rolnicza*, 6(115), 229-236.
- Sakai N., Yonekawa S., Matsuzaki A.** (1996): Two-dimensional image analysis of shape of rice and its application to separating varieties. *Journal of Food Engineering*, 27, 397-407.
- Willis A., Speicher J., Cooper D. B.** (2007): Rapid prototyping 3D objects from scanned measurement data. *Image and Vision Computing* 25, 1174-1184.
- Wróbel M.** (2006): Pomiar liczby punktów styku oraz pola powierzchni kontaktu między nasionami. Praca doktorska zrealizowana na Wydziale Agrotechnologii i Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu w Krakowie. Maszynopis.
- Zhang J., Datta A.K.** (2006): Mathematical modeling of bread baking process. *Journal of Food Engineering* 75, 78-89.
- NextEngine User Manual, 2010. <http://www.nextengine.com>.

APPLICATION OF 3D SCANNER FOR MONITORING THE FOOD SHAPE ON THE EXAMPLE OF A BREAD ROLL

Abstract. 3D laser scanner application allows non-contact measurement and mapping of surfaces and calculation of the factors characterizing geometric features. An additional benefit of using non-contact measurement of geometry using the 3D scanner is the ability to measure the products of fine texture and sensitive to external mechanical damage. The aim of this paper was to determine the basic geometric features of grain bread rolls, the measurements of surface area and volume and determine its basic physical properties - mass and density. The average surface area calculated on the basis of a digital model in case when the scanned model of a bread roll had holes in its surface, and in case when the holes were filled in the model, did not differ significantly. Significant differences occurred when the surface area and volume of bread rolls was calculated from the formulas. The aspect ratios for the series of bread rolls were estimated.

Key words: 3D scanning, mathematical model, geometric features, bread roll, aspect ratio

Adres do korespondencji:

Andrzej Anders; e-mail: anders@uwm.edu.pl
Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. M. Oczapowskiego 11
10-736 Olsztyn