

Dr inż. Andrzej ANDERS
 Dr inż. Zdzisław KALINIEWICZ
 Dr inż. Piotr MARKOWSKI
 Katedra Maszyn Roboczych i Procesów Separacji
 Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

ZASTOSOWANIE SKANERA 3D DO POMIARÓW CECH GEOMETRYCZNYCH PRODUKTÓW SPOŻYWCZYCH NA PRZYKŁADZIE PIECZYWA TYPU „KAJZERKA” I „MINIKAJZERKA”®

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów cech geometrycznych i fizycznych pieczywa typu „kajzerka” i „minikajzerka”. Pomiarów geometrycznych wykonano laserowym skanerem 3D. Uzyskane modele cyfrowe z dużą dokładnością odwzorowują kształt i powierzchnię bułek. Obliczone średnie pole powierzchni bułek na podstawie modelu oraz obliczone na podstawie wzorów zaproponowanych przez Grochowicza nie różniło się znacząco przy założonym poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Istotne różnice obliczonej średniej objętości bułek można zauważyć, gdy objętość bułek była obliczana na podstawie modelu oraz na podstawie wzoru zaproponowanego przez Niewczasa i współautorów. Różnica ta wynosiła około 5%. Obliczono również współczynniki kształtu zaproponowane przez Grochowicza K_m i K_w , Mohseina S_n i Doneva α .

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

WSTĘP

Projektowanie urządzeń wykorzystywanych w transporcie, separacji, suszeniu i przetwórstwie wymaga znajomości cech geometrycznych i właściwości fizycznych produktów spożywczych [2, 9]. Model cyfrowy produktu spożywczego może być wykorzystany do wykonania wstępnych i szczegółowych obliczeń oraz symulacji komputerowej procesu produkcyjnego [4, 11, 16, 21]. Informacje o kształcie, wymiarach, masie i gęstości produktów w większości przypadków są uzyskiwane przez stosowanie tradycyjnych metod pomiarowych tj. mierzenie, ważenie i fotografowanie [1, 6, 7, 17, 18, 20]. W przypadku produktów o stosunkowo regularnych kształtach można stosować aproksymację ich kształtu do znanych figur geometrycznych (kula, torus, sześcian, prostopadłościan) [5, 10, 13]. Zastosowanie skanera 3D pozwala na uzyskanie modeli pozwalających na dokładny pomiar pola powierzchni i objętości badanego obiektu [19]. Posiadając gotowy model można obliczyć współczynniki charakteryzujące właściwości geometryczne badanego produktu. Zaletą stosowania skanera 3D jest możliwość pomiaru produktów o delikatnej strukturze zewnętrznej i wewnętrznej oraz wrażliwych na uszkodzenia mechaniczne.

Celem artykułu jest prezentacja wyników pomiarów cech geometrycznych i fizycznych pieczywa typu „kajzerka” i „minikajzerka”, przy zastosowaniu skanera laserowego 3D.

METODYKA BADAŃ

Do badań wybrano pieczywo typu „kajzerka” i „minikajzerka” zakupione w lokalnej piekarni. Próby do pomiarów liczyły po 20 sztuk. Bułki te posiadają gładką powierzchnię, a ich kształt jest owalny bez dużej liczby nierówności.

Bułki skanowano za pomocą skanera 3D firmy „Nextengine” stosując gęstość skanowania wynoszącą 10 000 punktów na cm^2 . Skanowany obiekt znajdował się na obrotowym stoliku. Wykonano 12 skanów bocznych oraz po jednym skanie górnej i dolnej części bułki. W gotowych modelach bułek za pomocą oprogramowania „Scanstudio HD PRO” firmy „Nextengine” [14] zmierzono pole powierzchni, objętość, długość, szerokość, grubość i wymiary potrzebne do obliczenia współczynników kształtu (rys. 1). Dokładność pomiarów wymiarów liniowych przy zastosowaniu skanera wynosiła 0,254 mm.

Każda z badanych bułek została zważona na wadze elektronicznej PS 1000/C/2 z dokładnością 0,001 g. Dla poszczególnych bułek na podstawie wzoru (1) obliczono pole powierzchni bułki [8]:

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

Do oszacowania objętości pojedynczych bułek przyjęto formułę (2) [15]:

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

Na podstawie zebranych danych obliczono współczynniki kształtu bułek opierając się na wzorach:

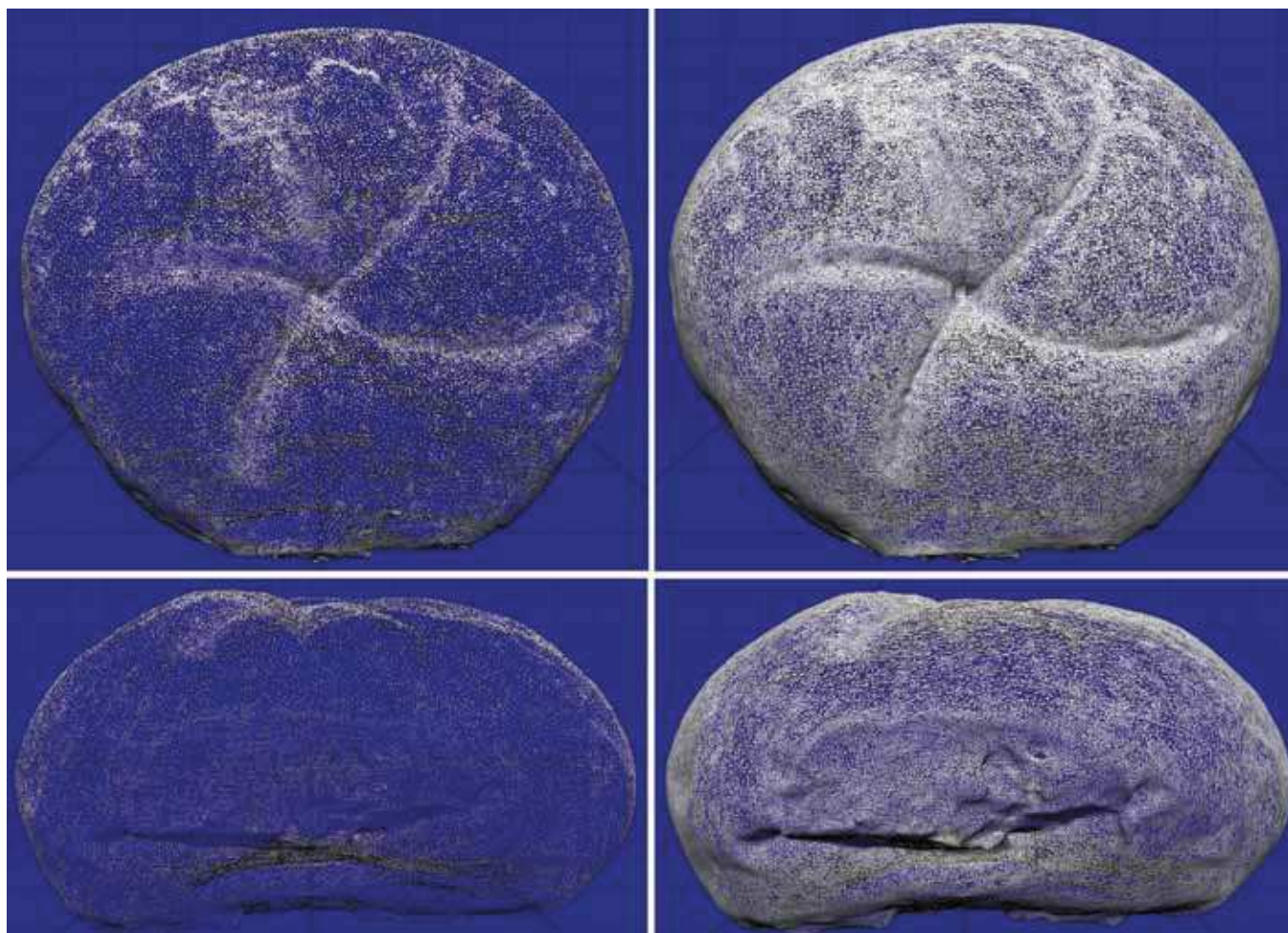
– Grochowicza [8],

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

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

– Mohseina [12],

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



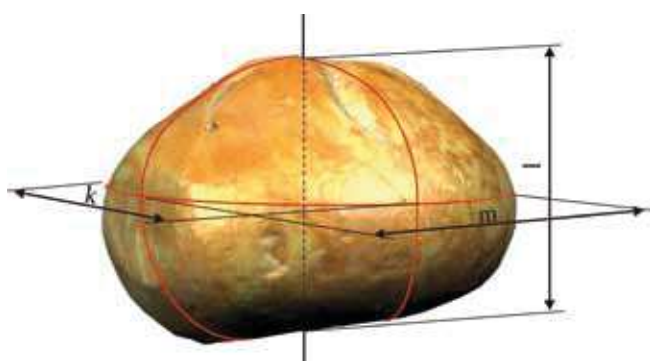
Rys. 1. Gotowy model bułki kajzerki po wykonaniu skanowania skanerem 3D: a) chmura punktów, b) siatka trójkątów.

Źródło: Badania własne

– Doneva w modyfikacji Wróbla [3, 20],

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

gdzie: a – grubość bułki (mm),
 b – szerokość bułki (mm),
 c – długość bułki (mm),
 l – wymiar zawarty w osi obrotu bułki (mm),
 k i m – pozostałe dwa wymiary bułki (mm), przy czym $k < m$ (rys. 2).



Rys. 2. Oznaczenia wymiarów naniesione na uzyskany model 3D bułki wg Donev’a.

Źródło: Badania własne

Obliczenia podstawowych statystyk opisowych na podstawie otrzymanych wyników wykonano w programie Statistica 8. Do obliczeń statystycznych przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Przeprowadzone badania pozwalają opisać podstawowe właściwości fizyczne oraz geometryczne pieczywa typu „kajzerka” i „minikajzerka”. Na podstawie uzyskanych modeli bułek wykonano pomiary (tab. 1). Średnia grubość „kajzerki” była o około 12 mm większa od średniej grubości „minikajzerki”. Różnice wymiarów średniej długości oraz średniej szerokości bułki „kajzerki” oraz „minikajzerki” wynosiły około 5,5% oraz 7%.

Na podstawie otrzymanych w wyniku skanowania modeli bułek wyznaczono ich pole powierzchni oraz objętość. Wyniki pomiarów zostały przedstawione w tabeli 2 i 3. Sporządzono wykresy ramka-wąsy średniego pola powierzchni oraz objętości bułki „kajzerki” i „minikajzerki”. Wykresy przedstawiają wyniki pomiarów pola powierzchni oraz objętości modelu cyfrowego oraz obliczenia na podstawie formuł 1 i 2 (rys. 3, 4, 5 i 6).

Tabela 1. Wyniki pomiarów bułki

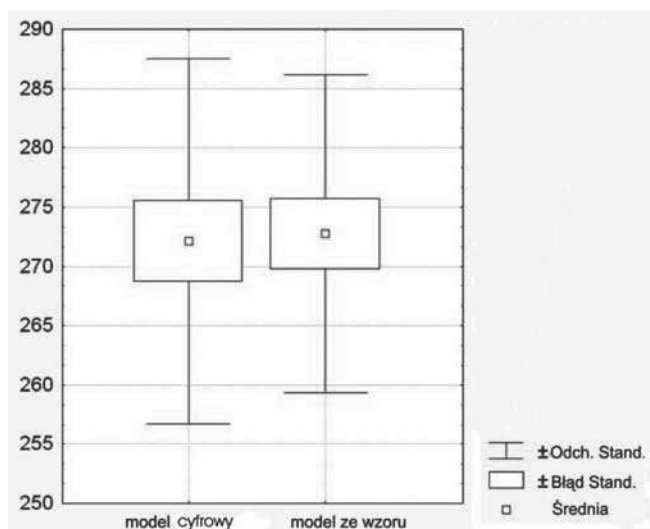
Statystyka	Wymiary bułki					
	„kajzerka”			„minikajzerka”		
	długość (mm)	szerokość (mm)	grubość (mm)	długość (mm)	szerokość (mm)	grubość (mm)
Średnia	108,16	102,16	57,82	81,64	75,87	45,26
Błąd standardowy	0,81	0,67	1,05	0,76	1,16	0,70
Odchylenie standardowe	3,64	3,00	4,73	3,40	5,20	3,17
Zakres	14,14	12,00	21,44	14,16	21,82	9,87
Minimum	100,52	100,52	46,61	73,80	62,97	39,84
Maksimum	114,66	114,66	68,48	87,96	84,79	49,71

Źródło: Badania własne

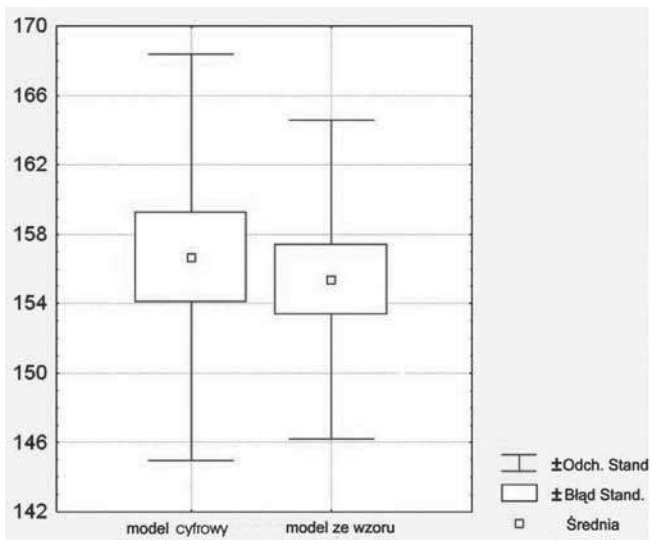
Tabela 2. Wyniki pomiarów pola powierzchni bułki „kajzerka” i „minikajzerka” z modelu oraz obliczonych ze wzoru 1

Statystyka	Pole powierzchni bułki (cm ²)			
	„kajzerka”		„minikajzerka”	
	Model	Na podstawie wzoru (1)	Model	Na podstawie wzoru (1)
Średnia	272,14	272,74	156,66	155,38
Błąd standardowy	3,44	2,99	2,61	2,05
Odchylenie standardowe	15,40	13,41	11,68	9,19
Zakres	57,05	45,49	43,14	40,24
Minimum	241,18	248,05	137,72	134,77
Maksimum	298,23	293,54	180,86	175,01

Źródło: Badania własne

**Rys. 3.** Wykres ramka wąsy średniego pola powierzchni bułki „kajzerka”.

Źródło: Badania własne

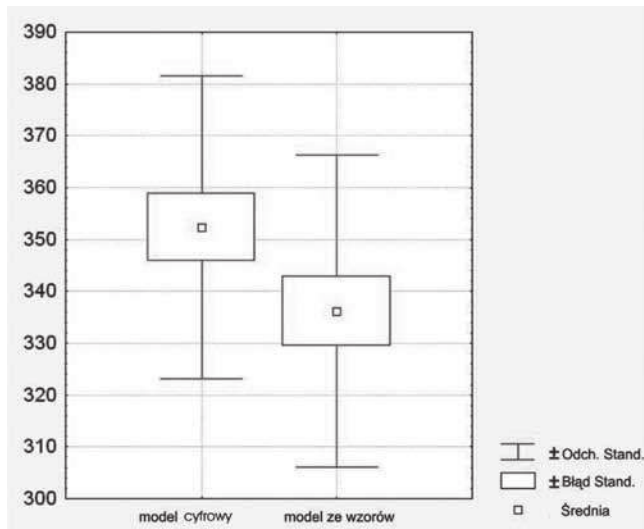
**Rys. 4.** Wykres ramka wąsy średniego pola powierzchni bułki „minikajzerka”.

Źródło: Badania własne

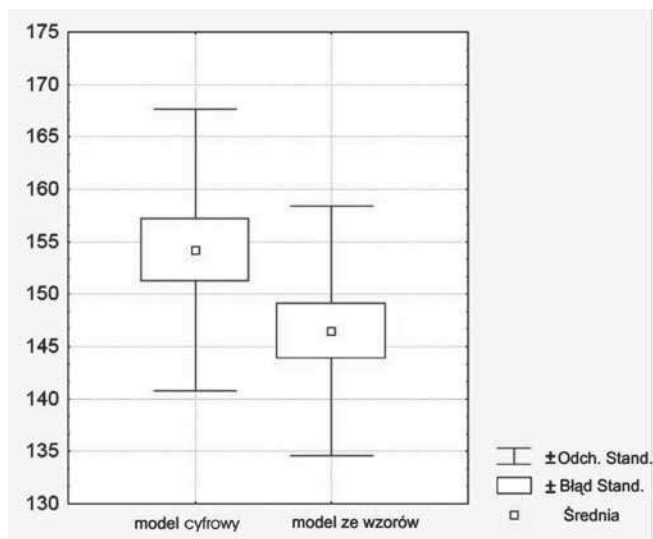
Tabela 3. Wyniki pomiarów objętości bułki „kajzerka” i „minikajzerka” z modelu oraz obliczonych ze wzoru 2

Statystyka	Objętość bułki (cm ³)			
	„kajzerka”		„minikajzerka”	
	Model	Na podstawie wzoru (2)	Model	Na podstawie wzoru (2)
Średnia	352,34	336,16	154,19	146,46
Błąd standardowy	6,53	6,72	3,00	2,66
Odchylenie standardowe	29,23	30,09	13,42	11,90
Zakres	121,85	137,90	50,32	43,88
Minimum	287,05	266,46	136,90	127,83
Maksimum	408,90	404,37	187,23	171,72

Źródło: Badania własne

**Rys. 5.** Wykres ramka wąsy dla średniej objętości bułki „kajzerka”.

Źródło: Badania własne



Rys. 6. Wykres ramka wąsy dla średniej objętości bułki „minikajzerka”.

Źródło: Badania własne

Tabela 4. Wyniki pomiarów masy oraz obliczenia gęstości bułki „kajzerka” i „minikajzerka”

Statystyka	Masa bułki (g)		Gęstość bułki (kg/m ³)	
	„kajzerka”	„minikajzerka”	„kajzerka”	„minikajzerka”
Średnia	56,468	29,305	161,38	191,23
Błąd standardowy	0,207	0,295	3,25	3,66
Odchylenie standardowe	0,929	1,319	14,54	16,39
Zakres	3,05	4,514	59,46	69,21
Minimum	54,719	26,688	140,57	148,32
Maksimum	57,769	31,202	200,03	217,52

Źródło: Badania własne

Tabela 5. Współczynniki kształtu bułek

Statystyka	Bułka „kajzerka”				Bułka „minikajzerka”			
	Współczynnik kształtu Aspect ratio							
	Grochowicza		Mohseina <i>S_n</i>	Doneva w modyfikacji Wróbla <i>α</i>	Grochowicza		Mohseina <i>S_n</i>	Doneva w modyfikacji Wróbla <i>α</i>
	<i>K_m</i>	<i>K_w</i>			<i>K_m</i>	<i>K_w</i>		
Średnia	0,950	0,535	0,797	0,549	0,930	0,556	0,801	0,576
Błąd standardowy	0,007	0,011	0,006	0,011	0,013	0,011	0,006	0,013
Odchylenie standardowe	0,031	0,049	0,027	0,049	0,060	0,053	0,030	0,060
Zakres	0,096	0,190	0,112	0,198	0,245	0,202	0,092	0,224
Minimum	0,897	0,442	0,735	0,446	0,749	0,471	0,754	0,484
Maksimum	0,993	0,632	0,847	0,644	0,994	0,673	0,846	0,708

Źródło: Badania własne

Wyznaczona średnia masa bułki „kajzerka” wynosiła 56,468±0,929 g, a średnia masa bułki „minikajzerka” wynosiła 29,305±1,319 g. Na podstawie wyników pomiarów masy i objętości obliczono średnią gęstość badanych bułek dla modeli. Średnia obliczona gęstość bułki „kajzerki” na podstawie modelu wynosiła 161,38±14,54 kg×m⁻³ a bułki „minikajzerka” wynosiła 191,23±16,39 kg×m⁻³ (tab. 4).

Na podstawie wzorów 3, 4, 5 i 6 obliczono średnie współczynniki kształtu bułek (tab. 5).

WNIOSKI

1. Wyznaczone średnie pole powierzchni modeli bułek uzyskanych w wyniku skanowania oraz obliczone na podstawie wzorów zaproponowanych przez Grochowicza nie różniło się istotnie przy założonym poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Wystąpiły różnice obliczonej średniej objętości bułek, gdy objętość bułki była obliczana na podstawie modelu uzyskanego po skanowaniu oraz na podstawie wzoru zaproponowanego przez Niewczasę i współautorów. Różnica ta wynosiła około 5 %.
2. Na podstawie wykonanych pomiarów modeli 3D uzyskanych w trakcie skanowania stwierdzono, że różnica pomiędzy polem powierzchni bułki „kajzerki”, a polem powierzchni bułki „minikajzerki” wynosi około 42%. Wyznaczona średnia objętość bułki „kajzerki” była o około 55% większa od średniej objętości bułki „minikajzerka”.
3. Średni współczynnik kształtu Grochowicza *K_m* obliczony dla bułki „kajzerki” wynosił 0,950±0,031, a dla bułki „minikajzerki” wynosił 0,930±0,060. Średni współczynnik kształtu *K_w* dla bułki „kajzerki” wynosił 0,535±0,049 a dla bułki minikajzerki wynosił 0,556±0,053.
4. Zaproponowaną metodę pomiaru geometrii bułek można zastosować na linii technologicznej do ich wypieku w celu wyrzykowej kontroli cech geometrycznych.

LITERATURA

- [1] **ANDERS A. 2008.** *Właściwości geometryczne części morfologicznych nasion lnu poddanych usuwaniu okrywy owocowo-nasiennej.* Acta Agrophysica, 12(161), 7-17.
- [2] **DOBZAŃSKI 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.
- [3] **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.
- [4] **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.
- [5] **FRĄCZEK J., WRÓBEL M. 2006.** *Metodyczne aspekty oceny kształtu nasion.* Inżynieria Rolnicza 12 (87), 155-163.
- [6] **FRĄCZEK J., WRÓBEL M. 2009.** *Zastosowanie grafiki komputerowej w rekonstrukcji 3D nasion.* Inżynieria Rolnicza 6, 87-94.
- [7] **FRĄCZEK J., SLIPEK Z. 2006.** *Modele roślinne struktur ziarnistych.* Inżynieria Rolnicza 12, 145-154.
- [8] **GROCHOWICZ J. 1994.** *Maszyny do czyszczenia sortowania nasion.* Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie. ISBN 83-901612-9-X.
- [9] **LEWICKI P. 2005.** *Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego.* WNT, Warszawa.
- [10] **MIESZKALSKI L. 2002.** *Metoda modelowania nieregularnych kształtów za pomocą funkcji wielomianowych.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego 1, 13-16.
- [11] **MIESZKALSKI L., ANDERS A., SOŁODUCHA H. K. 2008.** *Modelowanie brył owoców na przykładzie owoców mandarynki.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 2, 20-25.
- [12] **MOHSEIN N.N. 1986.** *Physical properties of plant and animal materials.* Gordon and Breach Science Public, New York.
- [13] **NAWARA P., KRZYSZTOFIK B. 2007.** *Pomiar metodą wideo-komputerową parametrów geometrycznych bulw ziemniaka.* Acta Agrophysica 9(2), 443-448.
- [14] **NextEngine User Manual, 2010.** <http://www.nextengine.com>.
- [15] **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”, Nr 2, Rok II, 27-29.
- [16] **RAHMI U., FERRUH E. 2009.** *Potential use of 3-dimensional scanners for food process modeling.* Journal of Food Engineering 93, 337-343.
- [17] **SADOWSKA U., ŻABIŃSKI A. 2009.** *Niektóre właściwości fizyczne ziarniaków jęczmienia nagoziarnistego uprawianego w mieszance z soczewicą jadalną.* Inżynieria Rolnicza 6 (115), 229-236.
- [18] **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.
- [19] **WILLIS A., SPEICHER J., COOPER D. B. 2007.** *Rapid prototyping 3D objects from scanned measurement data.* Image and Vision Computing 25, 1174-1184.
- [20] **WRÓBEL M. 2006.** *Pomiar liczby punktów styku oraz pola powierzchni kontaktu między nasionami.* Praca doktorska zrealizowana na Wydziale Agrotechnologii i Inżynierii Rolniczej AR Kraków. Maszynopis.
- [21] **ZHANG J., DATTA A.K. 2006.** *Mathematical modeling of bread baking process.* Journal of Food Engineering 75, 78-89.

**APPLICATION OF A 3D SCANNER
TO MEASUREMENT OF FOOD PRODUCTS
GEOMETRIC FEATURES ON THE BASIS
OF TWO BREAD TYPES: “KAJZERKA”
AND “MINIKAJZERKA”**

SUMMARY

This paper presents measurements of geometric and physical characteristics of two bread types called „kajzerka” and „minikajzerka”. Geometric measurements were made using a 3D laser scanner. The obtained digital models reproduce both the shape and surface of the studied bread rolls with a high level of accuracy. The calculated average surface area of the bread rolls based on their digital models, and calculated using the formula proposed by Grochowicz did not differ significantly at the level of significance $\alpha = 0.05$. Statistically significant differences in the calculated average volume of bread rolls could be noticed when the volume was calculated on the basis of a digital model and the formula proposed by Niewczas et. al. This difference was approximately 5%. Aspect ratios proposed by Grochowicz's K_m and K_w , Mohsein's S_n and Donev's α were calculated.