

Leszek MIESZKALSKI, Professor Dr. Eng.

Karol TUCKI, Dr. Eng.

Ivan KURIC, Professor Dr. Eng.

Institute of Mechanical Engineering, Faculty of Production Engineering: IIM

Warsaw University of Life Sciences – SGGW Warsaw, Poland

Instytut Inżynierii Mechanicznej, Katedra Inżynierii Produkcji, SGGW w Warszawie, Polska

Institute of Automation and Production Systems, Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina, Žilina, Slovak Republic

THE METHOD OF MATHEMATICAL SHAPE MODELLING FOR THE USE OF THE DESIGN OF BIODEGRADABLE VESSELS®

Metoda matematycznego modelowania kształtu na użytek projektowania naczyń biodegradowalnych®

A method of mathematical modelling of shape was proposed for the design of biodegradable vessels (plates, cups, platters). In order to describe the shape of the contour lines of the vessels, a third-degree polynomial was used, known as the Bézier curve. The model also used parametric cylinder equations. The rotational surfaces of the vessel components (external and internal surfaces of the vessel sidewalls, external and internal surfaces of the bottom of the vessel and the surface connecting the sidewalls) were described using equations. The individual components of the vessel surface were scaled. The 3D models of the vessels were created after putting together their mathematically described rotational surfaces.

Key words: vessels, shape, 3D models, mathematical modelling.

Zaproponowano metodę matematycznego modelowania kształtu na użytek projektowania naczyń biodegradowalnych (talerzy, kubków, półmisek). Do opisu kształtu linii konturowych naczyń zastosowano wielomian trzeciego stopnia, znany pod nazwą krzywej Béziera. W modelu zastosowano również parametryczne równania cylindra. Opisano za pomocą równań obrotowe powierzchnie składowych elementów naczynia (powierzchnie zewnętrzną i wewnętrzną ścianek bocznych naczynia, powierzchnie zewnętrzną i wewnętrzną dna naczynia oraz powierzchnię łączącą ścianki boczne). Dokonano skalowania poszczególnych składowych powierzchni naczynia. Modele 3D brył naczyń powstały po złożeniu opisanych matematycznie powierzchni obrotowych.

Słowa kluczowe: naczynia, kształt, modele 3D, modelowanie matematyczne.

INTRODUCTION

Ceramic dishes have been known since the earliest times. Tableware was used in the Cretan, Greek, Etruscan and Roman civilizations, so the history of tableware begins with these civilizations. Pottery, faience, stoneware, porcelain, glass and other products were made. It was their shape that constituted the practical and artistic value of these dishes, apart from ornaments and decorations. Clay bowls, platters, plates, cups with handles were made. Over the years of the Middle Ages, the shapes of the dishes produced varied, as did the raw materials for their production. In the glass industry, the basic ingredient for kitchen utensils was tin-lead. Porcelain appeared in Europe at the beginning of the 18th century, and it had been known to the Chinese as early as the third century BC. The Phoenicians produced transparent glass containers. Mass production of ceramics in Europe began to develop in the 19th century. Models, templates and

various moulds were widely used. The glass industry has been known in Polish lands since the 15th and 16th centuries, and flourished in 1960–1980. In recent years, the production of glassware has mainly been directed to the creation of attractive designs and shapes. The use of modern design methods and production technologies was an important factor that affected the development of manufacturers of dishes [1, 7, 61]. The needs and expectations of customers are an actuating factor for the company's operations [8, 12]. According to Zabrocki and Cordice's research in the field of gastronomy services [63], English consumers pay particular attention to the form of dishes. According to Gheribi [11], gastronomy services are among important forms of the service activity. The patterns on manufactured dishes are protected by industrial patents [1, 58, 59]. Contemporary development of tourism [35] forces entrepreneurs to produce vessels of high quality. Over 150,000 items from the wide range of stoneware vessels manufactured in only one factory in Poland [7, 38, 61] are characterized by

Corresponding author – Adres do korespondencji: Leszek Mieszkalski, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Faculty of Production Engineering: IIM, Institute of Mechanical Engineering, Nowourynowska Street 164, 02-787 Warsaw, Poland, e-mail: mieszko@poczta.fm

a large variety of shapes, patterns and decorations. These goals are achievable because modern computer techniques are used to support design decisions. The plate bowl, protected by the invention law, is equipped with a cast ornament in the form of flowers with leaves, which is distributed over the entire surface [58, 59]. The dynamic development of computer programs to support numerical calculations, e.g. Matlab, Mathcad, Maple, Mathematica, enables mathematical modelling of the surface of objects, including dishes used in gastronomy. Computer aided design, particularly process simulation and animation, is the basic tool of a modern designer. Geometric models forming 2D and 3D lines are visualized using methods classified as computer graphics. Searching for new shapes of the lines in the modelled vessels', particularly solids representing vessel shapes, have a great cognitive value, especially for numerical testing of many working processes, e.g. packaging, storage [6, 56, 60]. The shapes of the dishes are dictated by the current fashion and aesthetic tastes of customers. The shapes used in the vessels are usually irregular, which is why they cannot be represented by regular geometric forms, such as: sphere, ellipsoid, cylinder, cube, etc., [4]. In the initial phase of vessel design, especially when developing many concepts, solids presented in a discrete form are of great importance. The connected points of the modelled discrete surface form a grid which is a set of connected oblique triangles. Surface models represent the coordinates of points, segments and curves in 2D and 3D systems, with which the shapes of modelled objects are defined, along with the attributes assigned to them. According to Prusakowski et al. [48], when modelling 3D objects that are complex in shape, it is preferable to use curvilinear representation, due to the use of a small number of parameters. Vessel shapes can be represented by Bézier curves and surfaces [27, 28] during mathematical modelling. Bézier curves and surfaces are used in computer aided design (CAD), such as: CorelDRAW, Adobe Illustrator, Solid Edge, Solid Works, Catia and others [19, 24, 37,49]. The creator of polynomial curves was Pierre Bézier, a French engineer and mathematician [16, 49, 50]. The implementation of the 3D object design using CAD systems in digital space is applicable to static and dynamic analyses, from the simplest of transformations to complex animations [10, 22]. Mieszkalski [36] proposed the use of Bézier curves to model the shape of biological objects, characterized by a variety of unique shapes. A method of transforming Bézier curves into B-spline curves for surface measurements used in numerically controlled machine tools was proposed by Kawalec and Magdziak [26]. Another method that enables the visualization of the line of solid penetration in a projection on a selected plane was proposed by Dworecki et al. [9]. Replik and Koc [53] recognize the need to develop a module for off-line programming of industrial robots based on spatial B-spline curves. The use of spline functions in parametric notation as well as the proper selection of boundary conditions and approximation functions [31, 32, 33, 34] increase the accuracy of mapping objects with large distortions. The set of parametric curves is used to model the objects that vary in shape [64]. Biegelbauer and Vincze [3] developed a method for detecting laser-scanned 3D objects by adjusting the formula of a special curve. The proposed method can be used in the automation of the detection of object shapes occurring in the real environment and can be helpful in detecting product damage on production lines, and

even in detecting deformation [55]. This method is used to describe volumetric models during the gripping operation of robot manipulators with grips [25]. The adjustment occurs when the coordinates of the points are known from the 3D model and belong to the parts involved in the work process. Ramamoorthi and Arvo [52] proposed an innovative approach to creating models from images of real objects using data from various acquisition techniques. In modelling vessels, Călin-Șerban Bărbat [5] presents interesting surface shapes in his work.

As a result of diverse human activities, problems emerge that are related to environmental protection [13, 17, 65]. It is common practice nowadays to use plastics that biodegrade over a very long time in the production of packaging and disposable dishes. Most of the plastics used for packaging is made of synthetic polymers, mainly derivatives of crude oil processing. In the food industry, plastics such as polystyrene (PS), polypropylene (PP), polyethylene (PE), polyester (PET) are used to a large extent. Biological (natural) plastics may be competitive to classic petroleum-based plastics [30, 39, 66, 67]. Biodegradable materials are subject to decomposition into components naturally occurring in nature – therefore they do not remain in the environment for many years, and their decomposition occurs similarly to that of organic matter.

Mitrus et al. [39, 40] conducted research whose results helped to determine the effect of extrusion process parameters on selected physical properties of modified potato starch. In agricultural and food processing, the extrusion technique is used, similar to the thermoplastic extrusion technique used in the plastics industry [40, 45]. On the basis of their research, Kucharek and Janas [29] obtained polysaccharide gel and edible foil intended for use in the food packaging industry. Basiak and Lenart believe that edible starch coatings based on both proteins and polysaccharides can be used to produce packaging that extend the durability of some food products [2, 46]. The main process in the transformation of thermoplastic starch is the pressure-thermal process [42]. Mościcki et al. [41, 44, 51] claim that an increase in elasticity and strength of thermoplastic starch can be achieved by using plasticizers in the form of glycerine, propylene glycol, glucose, sorbitol and additives such as emulsifiers, cellulose or pectin. Biomaterials can also be used in 3D printing methods [23, 43].

There have been unsuccessful attempts to produce plates and disposable packaging from waste materials from fruit and vegetable processing, as well as beet pulp, banana and orange peels, and potato peels. Wheat bran proved to be a good material for making disposable dishes. Dishes made from bran behave like traditional dishes do not affect flavours or smells and can be used for cold and warm dishes and drinks. Dishes made from bran will be biodegradable after just about 3 months [<http://www.ekonsument.pl/news-show-377.php>]. They also have additional advantages: they are functional, aesthetic, they can have different sizes and shapes. Dishes from bran can be used in restaurants, in small gastronomy, as well as in cafes and tea shops. Most importantly – they are edible; they can be food for both humans and animals. If they get into the soil, then the soil microorganisms will have eventually made compost from them. Biodegradable materials can be used for the production of e.g. plates, knives, cups for cold and warm drinks, trays, moulds and all other kinds of

packaging. The material for the production of biodegradable moulds as well as dishes and packaging is specified in Patent No. 195130 [62]. According to this patent, wheat bran trays are produced and available on the Polish market (Fig. 1) without any additives harmful to health, which are single-use packaging, biodegradable and useful for composting.



Fig. 1. Examples of currently produced wheat bran dishes, according to the idea of J. Wysocki [21].

Rys. 1. Przykładowe naczynia z otrąb pszennych obecnie produkowane według pomysłu J. Wysockiego [21].

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

In order to produce a suitable shape of a biodegradable vessel made of wheat bran, a mould is needed in which the applied mass is compressed [21]. An example of such a mould is shown in Figure 2.



Fig. 2. The mould for a divided tray [21].

Rys. 2. Forma dzielonej tacki [21].

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

Research is being carried out in many scientific centres (e.g. Szczecin, Warsaw) on edible protective coatings applied directly to the surface of chopped vegetables and fruits.

From a strategic point of view, in the effective implementation of biodegradable materials, the great challenge is to inspire graphic and industrial designers to create projects that guarantee the achievement of intended goals, and, above all, to develop the desire to search for original concepts for the creation of new products.

Shape description techniques are mainly implemented on the basis of 2D contour models or simplified 3D models, e.g. sphere, ellipsoid [18], which leads to the loss of shape data. The shape model developed analytically or with the help of 3D scanners contains much more information, which can lead to better and more precise design decisions.

Polynomial curve notation was used to describe the cross-sectional contours of biodegradable vessels. The described shapes of 3D biodegradable objects in digital space using computer graphics tools and differential geometry are then used for static and dynamic analyses in CAD systems, from the simplest transformations to complex animations.

According to Jakubicki [20], the emergence of new tools in the field of computer design causes a change of the entire work system in the production engineering of furniture and utensils for catering, hotels or restaurants. The introduction of virtual space into the design, in which you can model any objects, triggers a large potential of design possibilities, especially in connection with the Internet. Designers have at their disposal systems of computer-aided design and CAD calculations that enable the design of complex objects in 3D systems [14, 15, 54]. Stolarewicz [57] believes that, despite the advantages of CAD systems, they are still labour-intensive, because they require a lot of data input in order to gain insight into the final effect. Computational algorithms and mathematical modelling in the process of creating new products constitute the basis of the design process. Mathematical models enable generation of various forms by introducing parameterization of the structure. Computational algorithms enable simulation and analysis of the impact of various factors on the shape of the object mould. In the modern design procedure, it is before building the prototype that a simulation and numerical research is carried out in the scope of correctness of construction, functionality, strength and parameterization of the structure [47, 54, 57]. The development of computer-aided calculation methods sets a modern trend in the modular system for the production of products and utensils used in catering, restaurant and hotel establishments.

THE AIM OF THE PAPER

The aim of the paper is to develop a method of mathematical modelling of the shape of selected biodegradable vessels, e.g. soup and dinner plates, low and tall cups and a platter.

List of important symbols: N – number of meridians and parallels on a discrete spatial surface describing the shape of the vessel, i – number of rows in the matrix, j – number of columns in the matrix, J – angles of range variables [rad], r – radius of the vessel [mm], b – vessel height [mm], hd – vessel wall thickness [mm], $a, b, c, d, aw, bw, cw, dw, m, p, f$ – shape control parameters.

THE DESCRIPTION OF THE METHOD

The method of mathematical modelling of shape for the purpose of designing biodegradable dishes (plates, cups, platters) consists in obtaining the component surfaces of the vessel by turning the curves of given shapes. The contour lines of the vessels are described using a third-degree polynomial (Bézier curve). The model also uses parametric cylinder equations. The equations describe the rotational surfaces of the vessel components, such as: the outer and inner surfaces of the side walls of the vessel, the outer and inner surfaces of the bottom of the vessel, and the surface connecting the side walls. The individual components of the vessel were scaled. The 3D models of the vessels were created after putting together their mathematically described rotational surfaces.

MATHEMATICAL MODEL OF THE VESSEL SHAPE

The number of meridians and parallels on the surface of the modelled vessel as well as the parameters for determining range variables are given in vector 1.

$$\begin{bmatrix} N \\ i \\ j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50 \\ 0 \dots N \\ 0 \dots N \end{bmatrix} \quad (1)$$

The angles for range variables that occur in the mathematical model describing the shape of the vessel's body are given below:

$$\varphi_i = \frac{i \cdot 2 \cdot \pi}{N} \quad (2)$$

$$\vartheta_j = \frac{j}{N} \quad (3)$$

The equation of the curve, which upon rotation describes the outer surface of the vessel, has the following form:

$$E_j = (1 - \vartheta_j)^2 \cdot a + \vartheta_j (1 - \vartheta_j)^2 \cdot b + (\vartheta_j)^2 \cdot (1 - \vartheta_j) \cdot c + (\vartheta_j)^2 \cdot d \quad (4)$$

The equations for the rotation of curve 4 have the form of:

$$Xa_{ij} = \frac{E_j \cdot \cos \varphi_i}{N} \quad (5)$$

$$Ya_{ij} = \frac{E_j \cdot \sin \varphi_i}{N} \quad (6)$$

Obtaining the given dimensions for the outer surface of the vessel model requires scaling of equations 5, 6. Matrix equations of coordinates describing (for a given shape) the basic dimensions of the model of the outer surface of the vessel have the following form:

$$Xz = \frac{2 \cdot r}{\max(Xa) - \min(Xa)} \cdot Xa \quad (7)$$

$$Yz = \frac{2 \cdot r}{\max(Ya) - \min(Ya)} \cdot Ya \quad (8)$$

$$Zz_{ij} = \frac{h \cdot j}{N} \quad (9)$$

The equation of the curve, which upon rotation describes the outer surface of the bottom of the vessel, has the following form:

$$E1_j = (1 - \vartheta_j)^2 + m \cdot \vartheta_j (1 - \vartheta_j)^2 + p \cdot (1 - \vartheta_j)^2 \cdot (\vartheta_j) + (\vartheta_j)^2 \cdot f \quad (10)$$

The equations for the rotation of curve 10 have the form of:

$$X1a_{ij} = \frac{E1_j \cdot \cos \varphi_i}{N} \quad (11)$$

$$Y1a_{ij} = \frac{E1_j \cdot \sin \varphi_i}{N} \quad (12)$$

In order to obtain the given dimensions of the vessel bottom compliant with the dimensions of the outer surface of the vessel model requires scaling of equations 11, 12. Matrix equations of coordinates describing the basic dimensions of the model of the outer surface of the bottom of the vessel have the following form:

$$X1 = \frac{2 \cdot \max(X_{N0})}{\max(X1a) - \min(X1a)} \cdot X1a \quad (13)$$

$$Y1 = \frac{2 \cdot \max(Y_{N0})}{\max(Y1a) - \min(Y1a)} \cdot Y1a \quad (14)$$

$$Z1_{ij} = 0 \quad (15)$$

The equation of the curve, which upon rotation describes the inner surface of the vessel, has the following form:

$$Ew_j = (1 - \vartheta_j)^2 \cdot aw + \vartheta_j (1 - \vartheta_j)^2 \cdot bw + (\vartheta_j)^2 \cdot (1 - \vartheta_j) \cdot cw + (\vartheta_j)^2 \cdot dw \quad (16)$$

The equations for the rotation of curve 16 have the form of:

$$X2a_{ij} = \frac{Ew_j \cdot \cos \varphi_i}{N} \quad (17)$$

$$Y2a_{ij} = \frac{Ew_j \cdot \sin \varphi_i}{N} \quad (18)$$

After scaling of equations 17, 18, matrix equations of coordinates describing (for a given shape) the basic dimensions of the model of the inner surface of the vessel have the following form:

$$Xw = \frac{2 \cdot r}{\max(X2a) - \min(X2a)} \cdot X2a \quad (19)$$

$$Yw = \frac{2 \cdot r}{\max(Y2a) - \min(Y2a)} \cdot Y2a \quad (20)$$

$$Zw_{ij} = \frac{h \cdot j}{N} + hd \quad (21)$$

The inner surface of the bottom of the vessel is described by the following equations:

$$X3 = \frac{2 \cdot \max(X2_{N0})}{\max(X1a) - \min(X1a)} \cdot X1a \quad (22)$$

$$Y3 = \frac{2 \cdot \max(X2_{N0})}{\max(Y1a) - \min(Y1a)} \cdot Y1a \quad (23)$$

$$Z3_{ij} = hd \quad (24)$$

The lateral surface connecting the outer and inner surfaces of the vessel is described by the equation of the cylinder:

$$X4a_{ij} = \cos \vartheta_j \quad (25)$$

$$Y4a_{ij} = \sin \vartheta_j \quad (26)$$

Where:

$$g_{4j} = \frac{j \cdot 2 \cdot \pi}{N} \quad (27)$$

After scaling of equations 25, 26, matrix equations of coordinates describing (for a given shape) the basic dimensions of the model of the lateral surface connecting the outer and inner surfaces have the following form:

$$X4 = \frac{2 \cdot r}{\max(X4a) - \min(X4a)} \cdot X4a \quad (28)$$

$$Y4 = \frac{2 \cdot r}{\max(Y4a) - \min(Y4a)} \cdot Y4a \quad (29)$$

$$Z4_{ij} = \frac{hd \cdot \cos \varphi_i}{2} + h + \frac{hd}{2} \quad (30)$$

After submitting the obtained matrices of coordinates of individual vessel elements and inputting the assumed dimensions and shape control parameters, a 3D model of the vessel shape is obtained.

EXAMPLE SHAPES OF SELECTED VESSELS GENERATED ON THE BASIS OF THE MATHEMATICAL VESSEL MODEL

The assumed basic dimensions and shape control parameters that occur in the mathematical model of the vessel shape required to generate a soup plate are written in matrix 31:

$$\begin{bmatrix} r & h & hd & a & b & c & d \\ f & m & p & aw & bw & cw & dw \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 120 & 50 & 3 & 25 & 150 & 72 & 57.5 \\ 5^{10} & 3 & 3 & 15 & 135 & 72 & 57.5 \end{bmatrix} \quad (31)$$

Figure 3 presents a mesh 3D model of a soup plate generated using a mathematical model of the shape of the vessel and the data contained in matrix 31.

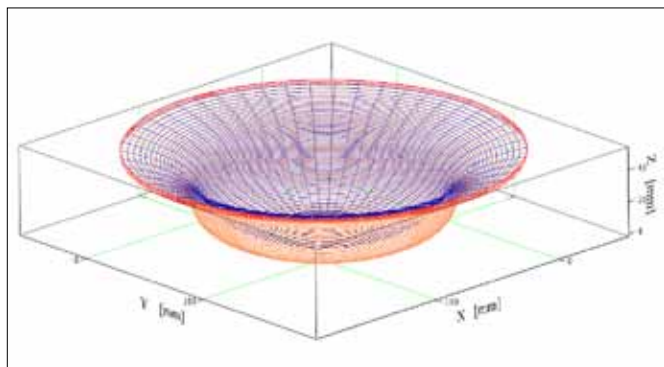


Fig. 3. A mesh 3D model of the shape of a soup plate: X , Y – radius length [mm], Z – height [mm].

Rys. 3. Siatkowy model 3D kształtu talerza głębokiego: X , Y – wymiar promienia [mm], Z – wysokość [mm].

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

The assumed basic dimensions and shape control parameters appearing in the mathematical model of the shape of the dish required to generate the shape of a dinner plate are written in matrix 32:

$$\begin{bmatrix} r & h & hd & a & b & c & d \\ f & m & p & aw & bw & cw & dw \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 130 & 15 & 3 & 15 & 150 & 72 & 47.5 \\ 5^{10} & 3 & 3 & 15 & 135 & 72 & 57.5 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Figure 4 presents a mesh 3D model of a dinner plate generated using a mathematical model of the shape of the dish and the data contained in matrix 32.

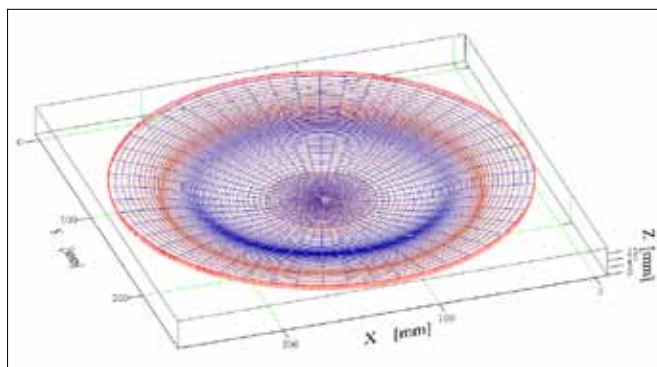


Fig. 4. A mesh 3D model of the shape of a dinner plate: X , Y – radius length [mm], Z – height [mm].

Rys. 4. Siatkowy model 3D kształtu talerza płaskiego: X , Y – wymiar promienia [mm], Z – wysokość [mm].

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

The assumed basic dimensions and shape control parameters appearing in the mathematical model of the shape of the dish required to generate a low cup are written in matrix 33:

$$\begin{bmatrix} r & h & hd & a & b & c & d \\ f & m & p & aw & bw & cw & dw \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 55 & 65 & 3 & 15 & 150 & 72 & 47.5 \\ 5^{10} & 3 & 3 & 15 & 135 & 72 & 47.5 \end{bmatrix} \quad (33)$$

The assumed basic dimensions and shape control parameters appearing in the mathematical model of the shape of the dish required to generate a tall cup are written in matrix 34:

$$\begin{bmatrix} r & h & hd & a & b & c & d \\ f & m & p & aw & bw & cw & dw \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 45 & 100 & 3 & 30 & 165 & 120 & 50 \\ 5^{10} & 3 & 3 & 30 & 165 & 120 & 53 \end{bmatrix} \quad (34)$$

Figure 5 presents a mesh 3D model of a low cup generated using a mathematical model of the shape of the dish and the data contained in matrix 33.

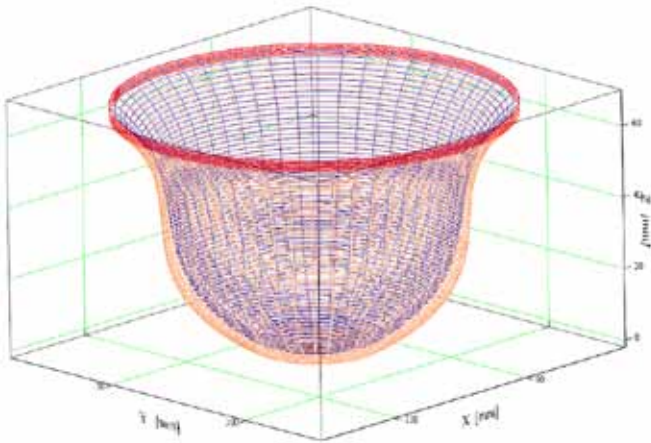


Fig. 5. A mesh 3D model of the shape of a low cup: X , Y – radius length [mm], Z – height [mm].

Rys. 5. Siatkowy model 3D kształtu kubka niskiego: X , Y – wymiar promienia [mm], Z – wysokość [mm].

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

Figure 6 presents a mesh 3D model of a tall cup generated using a mathematical model of the shape of the dish and the data contained in matrix 34.

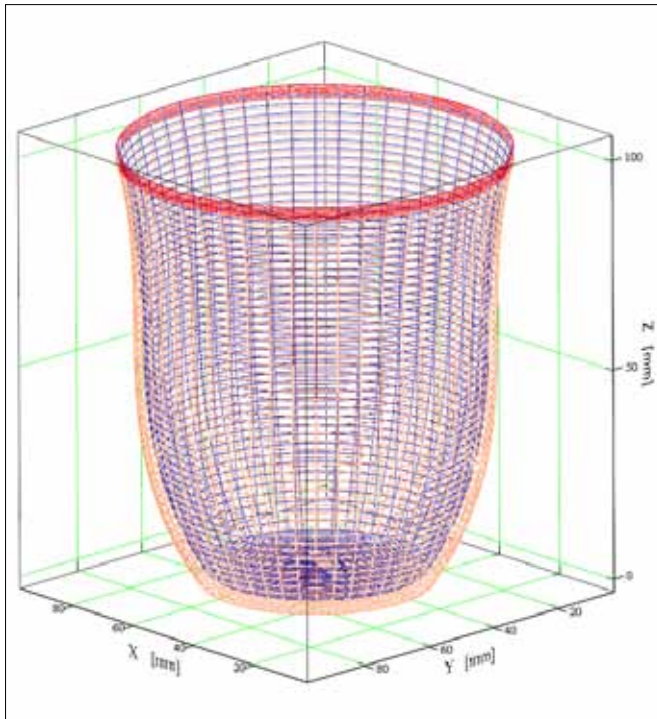


Fig. 6. A mesh 3D model of the shape of a tall cup: X , Y – radius length [mm], Z – height [mm].

Rys. 6. Siatkowy model 3D kształtu kubka wysokiego: X , Y – wymiar promienia [mm], Z – wysokość [mm].

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

The assumed basic dimensions and shape control parameters appearing in the mathematical model of the shape of the dish required to generate a platter are written in matrix 35:

$$\begin{bmatrix} r & h & hd & a & b & c & d \\ f & m & p & aw & bw & cw & dw \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 150 & 80 & 5 & 30 & 141 & 105 & 45 \\ 5^{10} & 3 & 3 & 30 & 141 & 105 & 48 \end{bmatrix} \quad (35)$$

Figure 7 presents a mesh 3D model of a platter generated using a mathematical model of the shape of the dish and the data contained in matrix 35.

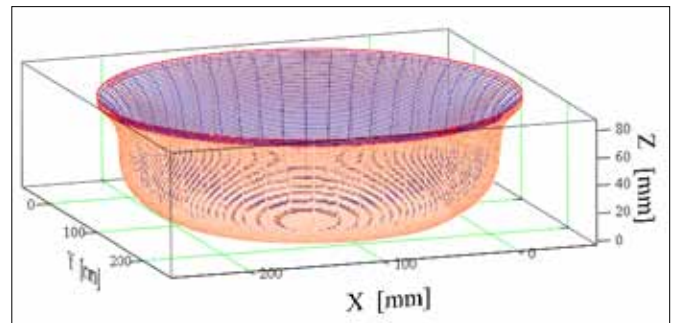


Fig. 7. A mesh 3D model of the shape of a platter: X , Y – radius length [mm], Z – height [mm].

Rys. 7. Siatkowy model 3D kształtu półmiska: X , Y – wymiar promienia [mm], Z – wysokość [mm].

Source: Own study

Źródło: Opracowanie własne

Changing the value of parameters contained in matrices 28, 29, 30 results in a change in the basic dimensions (radius, height, thickness) and the shape of the modelled vessel.

SUMMARY

The dish designer receives a tool to support the process of creating new shapes that will be used in new projects. In the proposed mathematical model, the contour line is obtained by changing the value of four parameters; the line creates a rotational surface as a result of rotation. Changing the value of the next three parameters results in a change in the basic dimensions of the vessel. The matrix notation of the coordinates of the vertices of the mesh arranged on the modeled surface provides a discrete image of the 3D model of the designed vessel and can be used e.g. for designing moulds.

PODSUMOWANIE

Projektant naczyń dostaje narzędzie wspomagające proces tworzenia nowych kształtów, które znajdą zastosowania w nowych projektach. W proponowanym modelu matematycznym przez zmianę wartości czterech parametrów otrzymuje się kształt linii konturu, która w wyniku obrotu tworzy powierzchnię obrotową. Zmiana wartości kolejnych trzech parametrów skutkuje zmianą podstawowych wymiarów naczynia. Macierzowy zapis współrzędnych wierzchołków siatki ułożonej na modelowanej powierzchni daje dyskretny obraz modelu 3D projektowanego naczynia i może być wykorzystany np. do projektowania form.

REFERENCES

- [1] **BANY-KOZŁOWSKA J., D. AMBORSKA. 2011.** Zestaw naczyń stołowych z podgrzewaczem. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Numer zgłoszenia: 15965. Opis Ochronny Wzoru Przemysłowego. WUP 01/2011. Uprawniony z rejestracji wzoru przemysłowego: Zakłady Ceramiczne „BOLESŁAWIEC” w Bolesławcu S. z o o, (PL).
- [2] **BASIAK E., A. LENART. 2013.** „Powłoki skrobiowe stosowane w opakownictwie żywności”. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość. 1 (86): 21–31.
- [3] **BIEGELBAUER G., M. VINCZE. 2007.** Efficient 3D Object Detection by Fitting Superquadrics to Range Image Data for Robot’s Object Manipulation. IEEE International Conference on Robotics and Automation Roma, Italy: 1086–1091.
- [4] **BOAC J. M., M.E. CASADA, R.G. MAGHIRANG, J.P. HARNER III. 2010.** “Material and interaction properties of selected grains and oilseeds for modeling discrete particles”. Transactions of the ASABE. 53(4): 1201–1216.
- [5] **CĂLIN-ȘERBANBĂRBAT. 2005.** “Examples of Bézier-Surfaces of Revolution”. Journal for Geometry and Graphics, Volume 9, No. 1: 1–9.
- [6] **CĂSĂNDROIU T., C. MIEILA. 2010.** “Theoretical development of a mathematical model to evaluate gravimetric flow rate of seeds through orifices”. U.P.B. Sci. Bull., Serials D, 72(4): 269–280.
- [7] **DEMS K., E. RADASZEWSKA. 2008.** „Optymalne projektowanie konstrukcji kompozytowej obciążonej termicznie z wykorzystaniem algorytmu gradientowego”. Modelowanie Inżynierskie. Gliwice: 7–14. ISSN 1896-771-X-35.
- [8] **DLUBAKOWSKA-PUZIO E., M. KARPUK, K. PUZIO. 2010.** „Koncepcja wykorzystania modeli ekonometrycznych w kształtowaniu postaw pro konsumenckich w obiektach hotelowych o charakterze sanatoryjnym w Kołobrzegu”. Scientific Journals, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, European Policies, Finance and Marketing, NO 3 (52): 92–101.
- [9] **DWORECKI Z., A. FISZER, M. ŁOBODA, W. JAKUBOWSKI. 2012.** „Dynamiczna wizualizacja wspomagająca rozwiązywanie wybranych zagadnień przestrzennych”. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, Vol. 57(2): 65–68.
- [10] **FOLEY J. D., A. VAN DAN, S. K. FEINER, J. F. HUGHES, R. L. PHILLIPS. 1995.** Wprowadzenie do grafiki komputerowej. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. ISBN 83-204-2662-6.
- [11] **GHERIBI E. 2013.** „Uwarunkowania rozwoju przedsiębiorstw gastronomicznych w Polsce”. Marketing i Rynek 4/2013: 29–35.
- [12] **GEFFROY E. 1996.** Clienting. Warszawa: Agencja Wydawnicza Placet: 42.

REFERENCES

- [1] **BANY-KOZŁOWSKA J., D. AMBORSKA. 2011.** Zestaw naczyń stołowych z podgrzewaczem. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Numer zgłoszenia: 15965. Opis Ochronny Wzoru Przemysłowego. WUP 01/2011. Uprawniony z rejestracji wzoru przemysłowego: Zakłady Ceramiczne „BOLESŁAWIEC” w Bolesławcu S. z o o, (PL).
- [2] **BASIAK E., A. LENART. 2013.** „Powłoki skrobiowe stosowane w opakownictwie żywności”. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość. 1 (86): 21–31.
- [3] **BIEGELBAUER G., M. VINCZE. 2007.** Efficient 3D Object Detection by Fitting Superquadrics to Range Image Data for Robot’s Object Manipulation. IEEE International Conference on Robotics and Automation Roma, Italy: 1086–1091.
- [4] **BOAC J. M., M.E. CASADA, R.G. MAGHIRANG, J.P. HARNER III. 2010.** “Material and interaction properties of selected grains and oilseeds for modeling discrete particles”. Transactions of the ASABE. 53(4): 1201–1216.
- [5] **CĂLIN-SERBANBARBAT. 2005.** “Examples of Bezier-Surfaces of Revolution”. Journal for Geometry and Graphics, Volume 9, No. 1: 1–9.
- [6] **CĂSĂNDROIU T., C. MIEILA. 2010.** “Theoretical development of a mathematical model to evaluate gravimetric flow rate of seeds through orifices”. U.P.B. Sci. Bull., Serials D, 72(4): 269–280.
- [7] **DEMS K., E. RADASZEWSKA. 2008.** „Optymalne projektowanie konstrukcji kompozytowej obciążonej termicznie z wykorzystaniem algorytmu gradientowego”. Modelowanie Inżynierskie. Gliwice: 7–14. ISSN 1896-771-X-35.
- [8] **DLUBAKOWSKA-PUZIO E., M. KARPUK, K. PUZIO. 2010.** „Koncepcja wykorzystania modeli ekonometrycznych w kształtowaniu postaw pro konsumenckich w obiektach hotelowych o charakterze sanatoryjnym w Kołobrzegu”. Scientific Journals, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, European Policies, Finance and Marketing, NO 3 (52): 92–101.
- [9] **DWORECKI Z., A. FISZER, M. ŁOBODA, W. JAKUBOWSKI. 2012.** „Dynamiczna wizualizacja wspomagająca rozwiązywanie wybranych zagadnień przestrzennych”. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, Vol. 57(2): 65–68.
- [10] **FOLEY J. D., A. VAN DAN, S. K. FEINER, J. F. HUGHES, R. L. PHILLIPS. 1995.** Wprowadzenie do grafiki komputerowej. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. ISBN 83-204-2662-6.
- [11] **GHERIBI E. 2013.** „Uwarunkowania rozwoju przedsiębiorstw gastronomicznych w Polsce”. Marketing i Rynek 4/2013: 29–35.
- [12] **GEFFROY E. 1996.** Clienting. Warszawa: Agencja Wydawnicza Placet: 42.

- [13] **GRABOWSKA M., A. PIASECKA-GLUSZAK. 2011.** „Opakowania w logistyce przedsiębiorstwa i ich wpływ na środowisko przyrodnicze”. Trendy i wyzwania zrównoważonego rozwoju. Uniwersytet Szczeciński, Katedra Polityki Społeczno-Gospodarczej i Europejskich Studiów Regionalnych.
- [14] **GUSTAFFSON S.I. 1995.** Furniture Design by use of the Finite Element Method, HolzalsRoh – und Werkstoff.
- [15] **GUSTAFFSON S.I. 1997.** “Optimizing ash wood chairs”. Wood Science and Technology.
- [16] **HEBISZ T. 2002.** Krzywe Beziera. Multimedia i grafika komputerowa. Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych. <http://pro-car.org/sieci-komp/inne-materialy/graf-Bezier.pdf>
- [17] **HEIMOWSKA A. 2015.** Opakowania zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 377: 159–173. DOI: 10.15611/pn.2015.377.11
- [18] **HO Q. ET AL. 2011.** “A Three-Dimensional Multi-scale Model for Gas Exchange in Fruit”. Plant Physiology: 1158–1168.
- [19] **JACKOWSKI B. 2013.** Typografowie, programiści i matematycy, czyli przypadek estetycznie zadowolającej interpolacji. http://www.cobrpp.com.pl/actapolographica/uploads/pdf/AP2013_01_Jackowski.pdf
- [20] **JAKUBICKI B. 2011.** Projektowanie obiektów projekcyjnych, jako elementów wnętrza. (Studium obiektów multimedialnych, budujących wirtualno-materialne hybrydy). Praca habilitacyjna. Akademia Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie, Wydział Architektury Wnętrz. Wrocław.
- [21] **JAKUCEWICZ S. 2015.** Innowacyjne kompostowalne opakowania do kontaktu z żywnością Biotrem Novum. Packaging Spectru. Technologie, maszyny i urządzenia. Nr 2 (24).
- [22] **JANUSZKIEWICZ K. 2012.** „O przestrzeni cyfrowej i nie tylko”. Archivolta 2: 48-55.
- [23] **JARZEBSKI M., T. ŚLIWA, R. KUZIOŁA, T. BIAŁOPIOTROWICZ. 2015.** „Biomateriały w druku 3D. BioOrg 2015”. I Wielkopolskie Seminarium Chemii Bioorganicznej, Organicznej i Biomateriałów. Poznań: 53–56.
- [24] **JUHÁSZ I. 2000.** “Computing volume of solids bounded by Bézier surfaces”. Mathematical Notes, Miskolc, Vol. 1., No. 2: 127–133.
- [25] **KATSOULAS D., A. JAKLIČ. 2002.** “Fast Recovery of Piled Deformable Objects Using Superquadrics”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 174–181.
- [26] **KAWALEC A., M. MAGDZIAK. 2011.** „An influence of the number of measurement points on the accuracy of measurements of free-form surfaces on CNC machine tool”. Advances In Manufacturing Science And Technology, Vol. 35, No. 2: 17–27.
- [27] **KICIAK P. 2002.** Blossoming. XXVIII Szkoła Matematyki Poglądowej “Pomysły”. Grzegorzewice.
- [13] **GRABOWSKA M., A. PIASECKA-GLUSZAK. 2011.** „Opakowania w logistyce przedsiębiorstwa i ich wpływ na środowisko przyrodnicze”. Trendy i wyzwania zrównoważonego rozwoju. Uniwersytet Szczeciński, Katedra Polityki Społeczno-Gospodarczej i Europejskich Studiów Regionalnych.
- [14] **GUSTAFFSON S.I. 1995.** Furniture Design by use of the Finite Element Method, HolzalsRoh – und Werkstoff.
- [15] **GUSTAFFSON S.I. 1997.** “Optimizing ash wood chairs”. Wood Science and Technology.
- [16] **HEBISZ T. 2002.** Krzywe Beziera. Multimedia i grafika komputerowa. Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych. <http://pro-car.org/sieci-komp/inne-materialy/graf-Bezier.pdf>
- [17] **HEIMOWSKA A. 2015.** Opakowania zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 377: 159–173. DOI: 10.15611/pn.2015.377.11
- [18] **HO Q. ET AL. 2011.** „A Three-Dimensional Multi-scale Model for Gas Exchange in Fruit”. Plant Physiology: 1158–1168.
- [19] **JACKOWSKI B. 2013.** Typografowie, programiści i matematycy, czyli przypadek estetycznie zadowolającej interpolacji. http://www.cobrpp.com.pl/actapolographica/uploads/pdf/AP2013_01_Jackowski.pdf
- [20] **JAKUBICKI B. 2011.** Projektowanie obiektów projekcyjnych, jako elementów wnętrza. (Studium obiektów multimedialnych, budujących wirtualno-materialne hybrydy). Praca habilitacyjna. Akademia Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie, Wydział Architektury Wnętrz. Wrocław.
- [21] **JAKUCEWICZ S. 2015.** Innowacyjne kompostowalne opakowania do kontaktu z żywnością Biotrem Novum. Packaging Spectru. Technologie, maszyny i urządzenia. Nr 2 (24).
- [22] **JANUSZKIEWICZ K. 2012.** „O przestrzeni cyfrowej i nie tylko”. Archivolta 2: 48-55.
- [23] **JARZEBSKI M., T. ŚLIWA, R. KUZIOŁA, T. BIAŁOPIOTROWICZ. 2015.** „Biomateriały w druku 3D. BioOrg 2015”. I Wielkopolskie Seminarium Chemii Bioorganicznej, Organicznej i Biomateriałów. Poznań: 53–56.
- [24] **JUHÁSZ I. 2000.** “Computing volume of solids bounded by Bézier surfaces”. Mathematical Notes, Miskolc, Vol. 1., No. 2: 127–133.
- [25] **KATSOULAS D., A. JAKLIČ. 2002.** “Fast Recovery of Piled Deformable Objects Using Superquadrics”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 174–181.
- [26] **KAWALEC A., M. MAGDZIAK. 2011.** „An influence of the number of measurement points on the accuracy of measurements of free-form surfaces on CNC machine tool”. Advances In Manufacturing Science And Technology, Vol. 35, No. 2: 17–27.
- [27] **KICIAK P. 2002.** Blossoming. XXVIII Szkoła Matematyki Poglądowej “Pomysły”. Grzegorzewice.

- [28] **KICIAK P. 2005.** Podstawy modelowania krzywych i powierzchni. Warszawa: WNT: ISBN 83-204-2464-X.
- [29] **KUCHAREK M., P. JANAS. 2015.** „Analiza wytrzymałościowa folii jadalnych na bazie ksantanu”. POLIMERY 60, nr 4: 279–283.
- [30] **KRZAN A. 2013.** Biotworzywa szansą przyszłości, dokument projektu PLASTICE.
- [31] **LEND A G. 2006.** „Metody tworzenia i modyfikacji funkcji sklepanych na potrzeby opisu kształtu obiektów obserwowanych punktowo”. Geodezja, tom 12, z. 2/1: 277–291.
- [32] **LEND A G. 2008.** “The Application of Least-Squares Method for Approximating the Surfaces of Engineering Structures”. Geometrics And Environmental Engineering, Volume 2, Number 1: 49–58.
- [33] **LEND A G. 2010.** “An Algorithm for Uniform Scanning of Coating Buildings Modeled with Spline Functions”. Geometrics And Environmental Engineering, Volume 4, Number 1: 45–56.
- [34] **LEND A G., G. MIREK. 2013.** “Parametrization of Spline Functions to Describe the Shape of Shell Structures”. Geometrics And Environmental Engineering, Volume 7, Number 1: 65–73.
- [35] **LIPIANIN-ZONTEK E., Z. ZONTEK. 2010.** „Zarządzanie relacjami z klientami ze szczególnym uwzględnieniem branży turystycznej”. Scientific Journals, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, European Policies, Finance and Marketing, NO 3 (52): 102–112.
- [36] **LISIŃSKA-KUŚNIERZ M., M. UCHEREK. 2003.** Współczesne opakowania. Kraków: Wydawnictwo Naukowe Polskiego Towarzystwa Technologii Żywności.
- [37] **MIESZKALSKI L. 2014.** Bezier curves in modeling the shapes of biological objects. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture (Agricultural and Forest Engineering), no 64: 117–128.
- [38] **MILEWSKA E. 2007.** Zastosowanie integracji danych systemowych w procesie planowania i sterowania produkcją na przykładzie fabryki naczyń kamionkowych. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*. Konferencja: Systemy Wspomagania w Zarządzaniu Środowiskiem. Słowacja, Terchova.
- [39] **MITRUS M. 2004.** Wpływ obróbki baro-termicznej na zmiany właściwości fizycznych biodegradowalnych biopolimerów skrobiowych. Rozprawa doktorska. Akademia Rolnicza w Lublinie.
- [40] **MITRUS M., A. WÓJTOWICZ, L. MOŚCICKI. 2016.** „Modyfikacja skrobi ziemniaczanej metodą ekstruzji”. *Acta Agrophysica*, 16(1): 101–109.
- [41] **MOŚCICKI L., L.P.B.M. JANSSEN, M. MITRUS. 2006.** „Przetwórstwo skrobi termoplastycznej na cele opakowaniowe”. *Inżynieria Rolnicza* 6: 65–72.
- [28] **KICIAK P. 2005.** Podstawy modelowania krzywych i powierzchni. Warszawa: WNT: ISBN 83-204-2464-X.
- [29] **KUCHAREK M., P. JANAS. 2015.** „Analiza wytrzymałościowa folii jadalnych na bazie ksantanu”. POLIMERY 60, nr 4: 279–283.
- [30] **KRZAN A. 2013.** Biotworzywa szansą przyszłości, dokument projektu PLASTICE.
- [31] **LEND A G. 2006.** „Metody tworzenia i modyfikacji funkcji sklepanych na potrzeby opisu kształtu obiektów obserwowanych punktowo”. Geodezja, tom 12, z. 2/1: 277–291.
- [32] **LEND A G. 2008.** “The Application of Least-Squares Method for Approximating the Surfaces of Engineering Structures”. Geometrics And Environmental Engineering, Volume 2, Number 1: 49–58.
- [33] **LEND A G. 2010.** “An Algorithm for Uniform Scanning of Coating Buildings Modeled with Spline Functions”. Geometrics And Environmental Engineering, Volume 4, Number 1: 45–56.
- [34] **LEND A G., G. MIREK. 2013.** “Parametrization of Spline Functions to Describe the Shape of Shell Structures”. Geometrics And Environmental Engineering, Volume 7, Number 1: 65–73.
- [35] **LIPIANIN-ZONTEK E., Z. ZONTEK. 2010.** „Zarządzanie relacjami z klientami ze szczególnym uwzględnieniem branży turystycznej”. Scientific Journals, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, European Policies, Finance and Marketing, NO 3 (52): 102–112.
- [36] **LISIŃSKA-KUŚNIERZ M., M. UCHEREK. 2003.** Współczesne opakowania. Kraków: Wydawnictwo Naukowe Polskiego Towarzystwa Technologii Żywności.
- [37] **MIESZKALSKI L. 2014.** Bezier curves in modeling the shapes of biological objects. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture (Agricultural and Forest Engineering), no 64: 117–128.
- [38] **MILEWSKA E. 2007.** Zastosowanie integracji danych systemowych w procesie planowania i sterowania produkcją na przykładzie fabryki naczyń kamionkowych. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*. Konferencja: Systemy Wspomagania w Zarządzaniu Środowiskiem. Słowacja, Terchova.
- [39] **MITRUS M. 2004.** Wpływ obróbki baro-termicznej na zmiany właściwości fizycznych biodegradowalnych biopolimerów skrobiowych. Rozprawa doktorska. Akademia Rolnicza w Lublinie.
- [40] **MITRUS M., A. WÓJTOWICZ, L. MOSCICKI. 2016.** „Modyfikacja skrobi ziemniaczanej metodą ekstruzji”. *Acta Agrophysica*, 16(1): 101–109.
- [41] **MOSCICKI L., L.P.B.M. JANSSEN, M. MITRUS. 2006.** „Przetwórstwo skrobi termoplastycznej na cele opakowaniowe”. *Inżynieria Rolnicza* 6: 65–72.

- [42] **MOŚCICKI L., L.P.B.M. JANSSEN, M. MITRUS, T. ONISZCZUK, A. REJAK, S. JUŚKO. 2007.** „Procesy ciśnieniowo-termiczne w przetworstwie skrobi termoplastycznej”. *Acta Agrophysica* 9(2): 431–442.
- [43] **MURPHY S. V., A. ATALA. 2014.** “3D bioprinting of tissues and organs”. *Nature Biotechnology*, 32: 773–785.
- [44] **NASHED G., R. P.G. RUTGERS, P.A. SOPADE. 2003.** “The plasticisation effect of glycerol and water on the gelatinisation of wheat starch”. *Starch* 55: 131–137.
- [45] **ONISZCZUK T., L. MOSCICKI. 2011.** “Production of biodegradable packaging materials by extrusion-cooking”. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN* 11: 252–260.
- [46] **PAJĄK P., T. FORTUNA, I. PRZETACZEK-ROŻNOWSKA. 2013.** „Opakowania jadalne na bazie białek i polisacharydów – charakterystyka i zastosowanie”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 2 (87): 5–18.
- [47] **PREKRAT S, S. PERVAN, J. SMARDZEWSKI. 2011.** “Optimization of furniture testing”. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology*, No 73: 60–65.
- [48] **PRUSAKOWSKI J., R. WINIARCZYK, K. SKA-BEK. 2002.** Komputerowa reprezentacja oraz prezentacja i graficzna edycja krzywoliniowych obiektów 3d. Politechnika Śląska w Gliwicach, Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN.
- [49] **PRZYBYLSKI W., M. DEJA. 2007.** Komputerowo wspomagane wytwarzanie maszyn. Podstawy i zastosowanie. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. ISBN 978-83-204-3296-1.
- [50] **RABUT C. 2002.** „On Pierre Bézier’s life and motivations. Mini-review”. *Computer-Aided Design* 34: 493–510, www.elsevier.com/locate/cad
- [51] **REJAK A., L. MOŚCICKI. 2006.** “Biodegradable foil extruded from thermoplastic starch”. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, 6: 123–130.
- [52] **RAMAMOORTHY R., J. ARVO.** Creating Generative Models from Range Images <http://cseweb.ucsd.edu/~ravir/papers/invgen/paper.pdf>
- [53] **RECLIK D., G.G. KOST. 2008.** „Dynamiczne planowanie trajektorii robotów manipulacyjnych”. *Przegląd Mechaniczny*, LXVII, Zeszyt 1: 23–29.
- [54] **SMARDZEWSKI J. 1998.** “Numerical analysis of furniture constructions”. *Wood Science and Technology*.
- [55] **SOLINA F., R. BAJCSY. 1990.** “Recovery of parametric models from range images: The case for superquadrics with global deformations”. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 12(2):131–147.
- [42] **MOSCICKI L., L.P.B.M. JANSSEN, M. MITRUS, T. ONISZCZUK, A. REJAK, S. JUSKO. 2007.** „Procesy ciśnieniowo-termiczne w przetworstwie skrobi termoplastycznej”. *Acta Agrophysica* 9(2): 431–442.
- [43] **MURPHY S. V., A. ATALA. 2014.** “3D bioprinting of tissues and organs”. *Nature Biotechnology*, 32: 773–785.
- [44] **NASHED G., R. P.G. RUTGERS, P.A. SOPADE. 2003.** “The plasticisation effect of glycerol and water on the gelatinisation of wheat starch”. *Starch* 55: 131–137.
- [45] **ONISZCZUK T., L. MOSCICKI. 2011.** “Production of biodegradable packaging materials by extrusion-cooking”. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN* 11: 252–260.
- [46] **PAJĄK P., T. FORTUNA, I. PRZETACZEK-ROZNOWSKA. 2013.** „Opakowania jadalne na bazie białek i polisacharydów – charakterystyka i zastosowanie”. *Zywnosc. Nauka. Technologia. Jakosc* 2 (87): 5–18.
- [47] **PREKRAT S, S. PERVAN, J. SMARDZEWSKI. 2011.** “Optimization of furniture testing”. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology*, No 73: 60–65.
- [48] **PRUSAKOWSKI J., R. WINIARCZYK, K. SKA-BEK. 2002.** Komputerowa reprezentacja oraz prezentacja i graficzna edycja krzywoliniowych obiektów 3d. Politechnika Śląska w Gliwicach, Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN.
- [49] **PRZYBYLSKI W., M. DEJA. 2007.** Komputerowo wspomagane wytwarzanie maszyn. Podstawy i zastosowanie. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. ISBN 978-83-204-3296-1.
- [50] **RABUT C. 2002.** „On Pierre Bezier’s life and motivations. Mini-review”. *Computer-Aided Design* 34: 493–510, www.elsevier.com/locate/cad
- [51] **REJAK A., L. MOSCICKI. 2006.** “Biodegradable foil extruded from thermoplastic starch”. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, 6: 123–130.
- [52] **RAMAMOORTHY R., J. ARVO.** Creating Generative Models from Range Images <http://cseweb.ucsd.edu/~ravir/papers/invgen/paper.pdf>
- [53] **RECLIK D., G.G. KOST. 2008.** „Dynamiczne planowanie trajektorii robotów manipulacyjnych”. *Przegląd Mechaniczny*, LXVII, Zeszyt 1: 23–29.
- [54] **SMARDZEWSKI J. 1998.** “Numerical analysis of furniture constructions”. *Wood Science and Technology*.
- [55] **SOLINA F., R. BAJCSY. 1990.** “Recovery of parametric models from range images: The case for superquadrics with global deformations”. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 12(2):131–147.

- [56] **SOLTANI M., R. ALIMARDANI, M. OMI D.** 2010. „A New mathematical modeling of banana fruit and comparison with actual values of dimensional properties”. *Modern Applied Science* 4(8): 104–113.
- [57] **STOLAREWICZ M.** 2011. „Komputer jako elektroniczny partner projektowania”. *Architecturae et Artibus* 3: 30–36.
- [58] **WĄSIKOWSKI E., D. WĄSIKOWSKI.** 2012. *Patera*. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Numer zgłoszenia: 18106. Opis Ochronny Wzoru Przemysłowego. WUP 04/2012. Uprawniony z rejestracji wzoru przemysłowego: VITRONEX S. z o o, (PL).
- [59] **WĄSIKOWSKI E., D. WĄSIKOWSKI.** 2012. *Patera*. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Numer zgłoszenia: 18107. Opis Ochronny Wzoru Przemysłowego. WUP 04/2012. Uprawniony z rejestracji wzoru przemysłowego: VITRONEX S. z o o, (PL).
- [60] **WEI-LONG D., Z. YU-PING, Z. QIAN-YUAN, Z. DE-FENG, QI.** 2011. “Realistic simulation of rice plant”. *Rice Science* 18(3): 224–230.
- [61] **WYBIERALSKI W.** 2012. *Elementy wzornictwa w projektowaniu technicznym*. Politechnika Warszawska. ISBN 83-89703-96-3.
- [62] **WYSOCKI J.** 2001. *Materiał do wytwarzania biodegradowalnych kształtek, zwłaszcza naczyń i opakowań oraz sposób wytwarzania biodegradowalnych kształtek, zwłaszcza naczyń i opakowań*. Patent nr 1951130.
- [63] **ZABROCKI R., A. CORDICE.** 2010. „Analiza porównawcza zachowań konsumentów polskich i angielskich na rynku usług żywieniowych”. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, nr 65: 31–39.
- [64] **ZHOUL., C. KAMBHAMETTU.** 2000. “Extending Superquadrics with Exponent Functions: Modeling and Reconstruction”. *Graphical Models*. doi:10.1006/gmod.2000.0529, available online at <http://www.ide-alibrary.com>
- [65] **ŻAKOWSKA H.** 2008. *Systemy recyklingu odpadów opakowaniowych w aspekcie wymagań ochrony środowiska*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu.
- [66] **ŻAKOWSKA H.** 2010. *Odpowiedzialność producenta za zgodność opakowań i systemów pakowania oraz nowe trendy w projektowaniu opakowań zgodne z wymaganiami ochrony środowiska*. Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Opakowań. Rawa Mazowiecka: Centrum Badań i Rozwoju Opakowań.
- [67] **ŻUCHOWSKI J., J. MALINOWSKA.** 2010. *Rola opakowań w realizacji celów zrównoważonego rozwoju. Wybrane zagadnienia logistyczne w zapewnieniu jakości towarów*. Radom: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB.
- [56] **SOLTANI M., R. ALIMARDANI, M. OMI D.** 2010. „A New mathematical modeling of banana fruit and comparison with actual values of dimensional properties”. *Modern Applied Science* 4(8): 104–113.
- [57] **STOLAREWICZ M.** 2011. „Komputer jako elektroniczny partner projektowania”. *Architecturae et Artibus* 3: 30–36.
- [58] **WASIKOWSKI E., D. WASIKOWSKI.** 2012. *Patera*. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Numer zgłoszenia: 18106. Opis Ochronny Wzoru Przemysłowego. WUP 04/2012. Uprawniony z rejestracji wzoru przemysłowego: VITRONEX S. z o o, (PL).
- [59] **WASIKOWSKI E., D. WASIKOWSKI.** 2012. *Patera*. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Numer zgłoszenia: 18107. Opis Ochronny Wzoru Przemysłowego. WUP 04/2012. Uprawniony z rejestracji wzoru przemysłowego: VITRONEX S. z o o, (PL).
- [60] **WEI-LONG D., Z. YU-PING, Z. QIAN-YUAN, Z. DE-FENG, QI.** 2011. “Realistic simulation of rice plant”. *Rice Science* 18(3): 224–230.
- [61] **WYBIERALSKI W.** 2012. *Elementy wzornictwa w projektowaniu technicznym*. Politechnika Warszawska. ISBN 83-89703-96-3.
- [62] **WYSOCKI J.** 2001. *Materiał do wytwarzania biodegradowalnych kształtek, zwłaszcza naczyń i opakowań oraz sposób wytwarzania biodegradowalnych kształtek, zwłaszcza naczyń i opakowań*. Patent nr 1951130.
- [63] **ZABROCKI R., A. CORDICE.** 2010. „Analiza porównawcza zachowań konsumentów polskich i angielskich na rynku usług żywieniowych”. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, nr 65: 31–39.
- [64] **ZHOUL., C. KAMBHAMETTU.** 2000. “Extending Superquadrics with Exponent Functions: Modeling and Reconstruction”. *Graphical Models*. doi:10.1006/gmod.2000.0529, available online at <http://www.ide-alibrary.com>
- [65] **ZAKOWSKA H.** 2008. *Systemy recyklingu odpadów opakowaniowych w aspekcie wymagań ochrony środowiska*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu.
- [66] **ZAKOWSKA H.** 2010. *Odpowiedzialność producenta za zgodność opakowań i systemów pakowania oraz nowe trendy w projektowaniu opakowań zgodne z wymaganiami ochrony środowiska*. Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Opakowań. Rawa Mazowiecka: Centrum Badań i Rozwoju Opakowań.
- [67] **ZUCHOWSKI J., J. MALINOWSKA.** 2010. *Rola opakowań w realizacji celów zrównoważonego rozwoju. Wybrane zagadnienia logistyczne w zapewnieniu jakości towarów*. Radom: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB.