

Jerzy Montusiewicz¹⁾

ZASTOSOWANIE DWUWYMIAROWEJ GRAFIKI WEKTOROWEJ I FRAKTALNEJ W PROJEKTOWANIU

Streszczenie. W pracy przedstawiono uporządkowaną wiedzę dotyczącą grafiki wektorowej i fraktalnej, których obiekty można umieścić na płaszczyźnie. Szczegółowe poznanie właściwości obiektów grafiki wektorowej i fraktalnej pozwala na ich różnorodne praktyczne wykorzystanie zarówno w środowisku wirtualnym, w projektowaniu inżynierskim, w reklamie, a także w opisie rzeczywistych obiektów technicznych. Zaprezentowano wiele praktycznych przykładów zastosowania opisanych typów grafiki bogato ilustrując je odpowiednimi rysunkami.

Słowa kluczowe: grafika wektorowa, grafika fraktalna, grafika 2D statyczna, wektorowa grafika animowana 2D.

WSTĘP

Grafika komputerowa to termin, który jest w powszechnym użyciu w dzisiejszych czasach. Już od końca lat 50-tych informatycy i inżynierowie podejmowali próby zastosowania grafiki komputerowej w procesie projektowania i wytwarzania części maszyn, wojskowi zaś starali się udoskonalić metody wizualizacji pola walki w wirtualnym świecie. Szybki rozwój technologii informatycznych, języków i metod programowania, sprzętu komputerowego, urządzeń peryferyjnych (skanery 2D oraz 3D, plotery, drukarki 2D i 3D, ploto-drukarki, myszy bezprzewodowe i myszy 3D) spowodowało, że w niezwykle krótkim czasie grafika komputerowa stała się wszechobecna w życiu większości ludzi.

Prezentowana praca dotyczy usystematyzowania wiedzy o właściwościach dwuwymiarowej grafiki wektorowej i fraktalnej, głównie w aspekcie zastosowania ich w projektowaniu technicznym i marketingowym oraz w innych zagadnieniach inżynierskich.

KLASYFIKACJA GRAFIKI KOMPUTEROWEJ

Grafika komputerowa w dzisiejszym rozumieniu jest pojęciem dość szerokim, które ewaluowało przez ostatnie 20 lat bardzo szybko. Podział grafiki komputerowej można przeprowadzić ze względu na kilka kryteriów, przede wszystkim ze względu na:

¹⁾ Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska, e-mail: j.montusiewicz@pollub.pl

- sposób zapisywania obrazu w komputerze,
- liczbę wymiarów obiektu,
- funkcje jakie spełnia obiekt graficzny,
- charakter obiektu [2, 7].

Pierwsze kryterium – sposób zapisywania obrazu w pamięci komputera pozwala na wyodrębnienie: grafiki wektorowej, grafiki fraktalnej oraz grafiki bitmapowej. Drugie kryterium umożliwia wyodrębnienie grafiki dwuwymiarowej oraz trójwymiarowej. Można jeszcze wyodrębnić obiekty o rozmiarze 2,5D – dodanie głębokości do obiektów sprawia wrażenie, że są one trójwymiarowe, co nie jest jednak prawdą. W przypadku trzeciego kryterium szczegółowe rozważania powinny być prowadzone osobno w obrębie poszczególnych rodzajów grafiki (wektorowej, fraktalnej oraz bitmapowej). Należy jednak w tym miejscu zaszykalizować, że wszystkie te rodzaje grafiki mogą ze sobą współdziałać tworząc wspólnie fotorealistyczne wizualizacje komputerowe. Czwarte kryterium umożliwia wydzielenie graficznych obiektów statycznych (nieruchomych) oraz animowanych.

CHARAKTERYSTYKA GRAFIKI WEKTOROWEJ

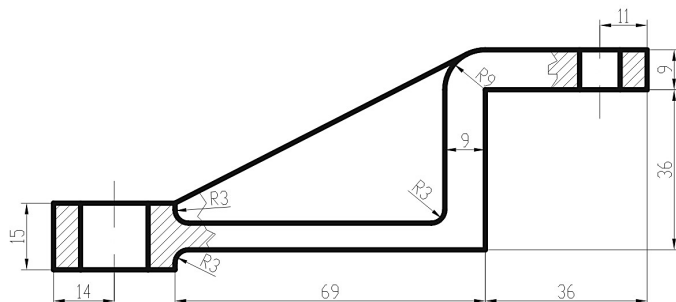
W grafice wektorowej poszczególne obiekty podstawowe zwane *prymitywami* są zapisywane przy użyciu równań matematycznych [4, 16, 17]. Bardziej skomplikowane obiekty tworzone są przez łączenie obiektów podstawowych. Ten typ grafiki doskonale nadaje się do tworzenia projektów i dokumentacji technicznych. Pliki przechowujące zawartość rysunków są niewielkich rozmiarów. Obiekty grafiki wektorowej mogą być dowolnie skalowane. Oznacza to, że przy powiększaniu obiektów na monitorze można obserwować nowe ich szczegóły, ponieważ obraz na ekranie powstaje zawsze na nowo przez każdorazowe przeliczenie równań matematycznych obiektów składowych rysunku, które będą wyświetlane. Grafika wektorowa jest również nazywana grafiką obiektową, ponieważ w procesie tworzenia rysunku na jednym arkuszu elektronicznym każdy dorysowany fragment jest samodzielnym obiektem, który można przetwarzać niezależnie od innych elementów.

Dwuwymiarowa grafika statyczna

Grafika wektorowa 2D służy zazwyczaj do komputerowego zapisu konstrukcji projektowanych układów technicznych (rys. 1). Obiekty występujące na wirtualnym arkuszu rysunkowym można podzielić na obiekty geometryczne (np. okręgi, polilinie, multilinie, pierścienie, łuki), obiekty typu kreskowanie, wymiary, bloki (bloki z atrybutami), obiekty tekstowe [10]. Do tworzenia tych obiektów w programach znajdują się specjalistyczne narzędzia, ale oprócz tego istnieją odpowiednie pole-

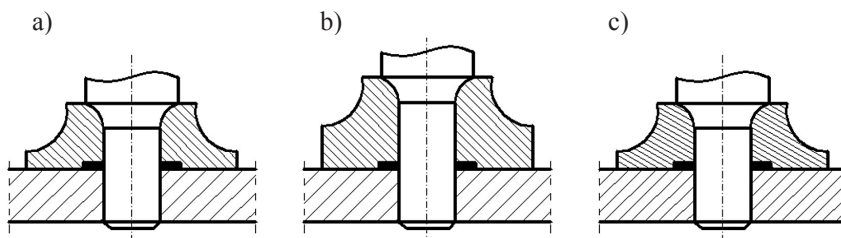
cenia do modyfikacji obiektów, wspomaganie rysowania precyzyjnego, zarządzania elektronicznymi arkuszami i drukowania.

Tworzenie dokumentacji technicznej łatwiej wykonywać na predefiniowanych elektronicznych arkuszach, które obejmuje między innymi: style wymiarowania, parametry dotyczące opisów (np. typ i rozmiar czcionki), warstwy rysunku i ich parametry, używane jednostki, typy linii, czy zdefiniowane tabliczki rysunkowe. Zdefiniowane warstwy służą do rysowania obiektów tego samego typu (np.: linie konturowe, niewidoczne, wymiarowe, kreskowanie, opisy).



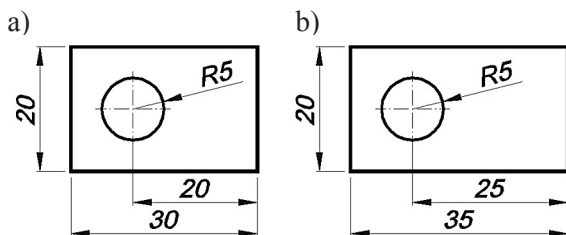
Rys. 1. Przykład grafiki wektorowej – rysunek techniczny 2D, widok obiektu z widocznymi wyrwaniami, program AutoCAD [12]

W zależności z jakim typem obiektów mamy do czynienia jego właściwości są różne. Na przykład kreskowanie to obiekt, w którym utworzone elementy desena są ze sobą zgrupowane, a ponadto są zespolone z konturem. Dzięki temu można edytować kształt obiektu, a kreskowanie dopasuje się do niego automatycznie lub szybko zmienić parametry kreskowania (kolor, gęstość wzoru, jego kąt czy typ) (rys. 2).



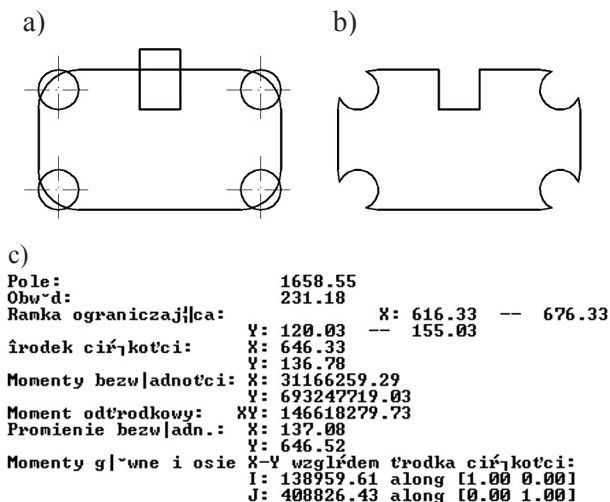
Rys. 2. Przykład edycji obiektu z kreskowaniem: a) rysunek pierwotny; b) obiekt i kreskowanie po zmianie kształtu; c) kreskowanie po zmianie kąta położenia desena oraz skali gęstości linii, program AutoCAD

Wymiarowanie, które również jest obiektem zintegrowanym, dzięki sprzężeniu z obiektem geometrycznym automatycznie koryguje pomiar długości oraz kąta i nową wartość wpisuje w wymiar (rys. 3).



Rys. 3. Przykład edycji obiektu z wymiarem: a) rysunek pierwotny; b) obiekt i wymiar po rozciągnięciu, program AutoCAD

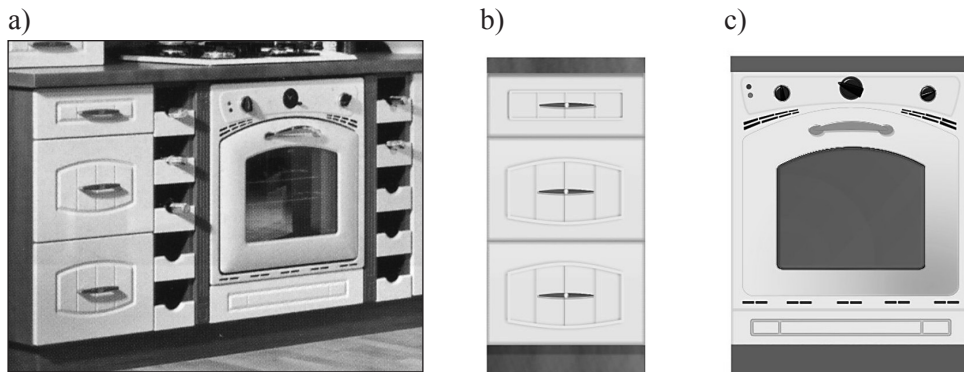
Obiekty podstawowe zamienione na obiekty typu region (region to odpowiednik dwuwymiarowej bryły) pozwalają aby kształtować końcowy wygląd projektowanego detalu wykorzystując operacje logiczne Boole'a (suma, iloczyn, różnica) (rys. 4).



Rys. 4. Przykład rysowania obiektu z użyciem regionów: a) obiekty podstawowe zamienione na regiony; b) obiekt końcowy po wykonaniu operacji odejmowania regionów; c) parametry utworzonego regionu wyświetlone dzięki użyciu polecenia *Paramfiz*, program AutoCAD

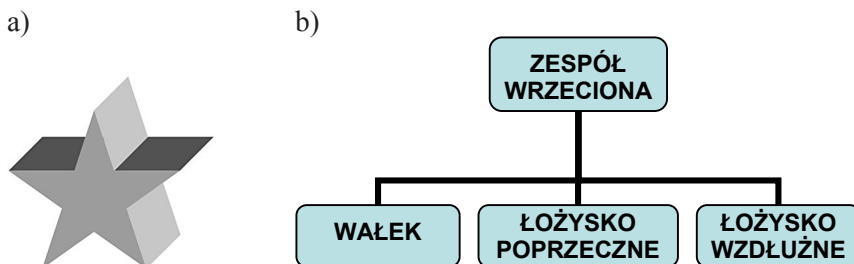
Grafika wektorowa jest stosowana również w wielu innych programach, takich jak: CorelDraw (program komercyjny), czy Inkscape (program bezpłatny), które umożliwiają projektowanie obiektów tylko w na płaszczyźnie (rys. 5).

Obiekty grafiki wektorowej dostępne są również w programach składowych pakietów biurowych, np. Microsoft Office, OpenOffice. W edytorach tekstów, programach do prezentacji multimedialnych, narzędzia do rysowania zgromadzone są pod wspólną nazwą autokształty lub kształty. Także specjalistyczne narzędzia do tworzenia obiektów graficzno-tekstowych, takich jak: wykresy czy SmartArt (schematy



Rys. 5. Projekty wykonane w grafice wektorowej 2D: a) zdjęcie rzeczywistych szafek; b) projekt w programie CorelDraw; c) projekt w programie Inkscape, przygotowała A. Skulimowska

organizacyjne, diagramy różnego rodzaju), generują obiekty wektorowe. Obiekty te możemy więc skalować, przekształcać dzięki istniejącym uchwytom, a ich wnętrza ograniczone konturami wypełniać kolorami, czy zdjęciami. Z takich obiektów w niektórych przypadkach można również tworzyć obiekty typu 2,5D (rys. 6).



Rys. 6. Obiekty wektorowe: a) autokształt z efektem 2,5D; b) schemat organizacyjny

Warto w tym miejscu dodać, że również litery i tworzone z nich teksty są obiektami grafiki wektorowej. Dlatego tak szybko i łatwo można dokonywać zmiany ich rozmiaru i typu bez utraty ich jakości wyświetlania (rys. 7).



Rys. 7. Litery jako obiekt wektorowy: a) Calibri, pogrubiony, pochylony, rozmiar 24; b) Times New Roman, rozmiar 48; c) Arial Black, kontur, rozmiar 36

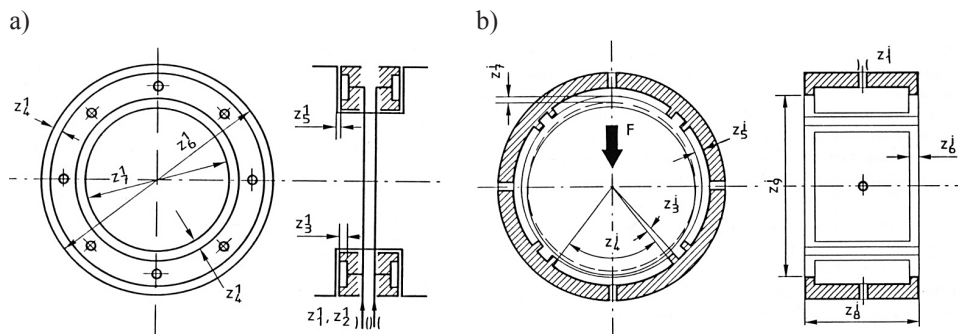
W programach tych są dostępne także obiekty, które tworzą ozdobne litery znane często pod nazwą WordArt. Litera taka składa się z konturu i wnętrza. Kontur jest oddzielnym obiektem i dlatego możemy dokonać szybkiej zmiany typu linii, koloru i jej grubości. Wnętrze można wypełniać kolorami, a także obiektami bitmapowymi, a cały obiekt zmienić na inny predefiniowany kształt lub przekształcić przy użyciu uchwytów (rys. 8).



Rys. 8. Obiekt typu WordArt: a) obiekt wypełniony bitmapą; b) obiekt po zmianie stylu z widocznymi uchwytami

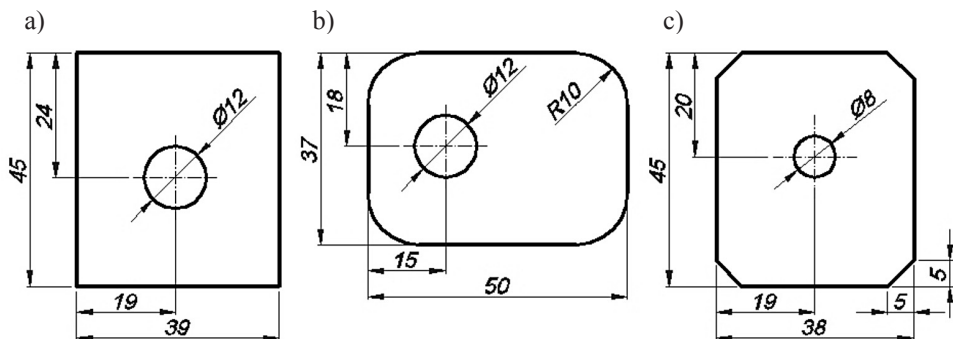
Proces utworzenia dwuwymiarowych projektów może być również zautomatyzowany przez sprzężenie procesu rysowania z procesem obliczeniowym realizowanym dzięki gotowanym podprogramom do kreślenia, które są wywoływane z wcześniej wyliczonymi wartościami zmiennych decyzyjnych. Takie możliwości programowe istniały już w połowie lat 80-tych gdy powstał pakiet GKS (Graphical Kernel System firmy International Business Machines Corporation), który posiadał zdefiniowane procedury kreślenia *prymitywów* jako podprogramy zaimplementowane w języku C oraz FORTRAN. Przykład realizacji takiego kreślenia można znaleźć u Montusiewicza i innych [13], którzy przeprowadzając polioptymalizację zespołu wrzecionowego łożyskowanego na łożyskach hydrostatycznych (jedno wzdłużne i dwa poprzeczne) uzyskiwali automatycznie, po fazie obliczeniowej zwymiarowany (podane zostały oznaczenia zmiennych decyzyjnych) rysunek konstrukcyjny odzwierciedlający uzyskane proporcje między poszczególnymi elementami projektowanego obiektu. Na rysunku 9a przedstawiono szkic łożyska wzdłużnego – powstał dzięki wyznaczeniu w procesie optymalizacji siedmiu zmiennych konstrukcyjnymi (od z_1^1 do z_7^1), zaś na rysunku 9b zaprezentowano łożysko poprzeczne opisane dziewięcioma zmiennymi konstrukcyjnymi (od z_1^j do z_9^j , indeks j wynika z faktu, że występowały dwa łożyska poprzeczne, zatem $j = \{1, 2\}$).

W przypadku wielu programów do komputerowego zapisu konstrukcji istnieje również możliwość wykorzystania ich wewnętrznych środowisk do programowania. Na przykład program AutoCAD firmy Autodesk ma możliwość programowania w takich językach, jak: AutoLISP, Visual Basic, czy DCL (Dialog Control Language) [3]. Użytkownik pisząc podprogramy, skrypty, polecenia wykorzystujące kalkulator geometryczny może znacząco przyspieszyć proces tworzenia dokumentacji



Rys. 9. Przykłady rysunków wygenerowanych w procesie polioptymalizacji łożysk hydrostatycznych: a) wzdłużnego; b) poprzecznego

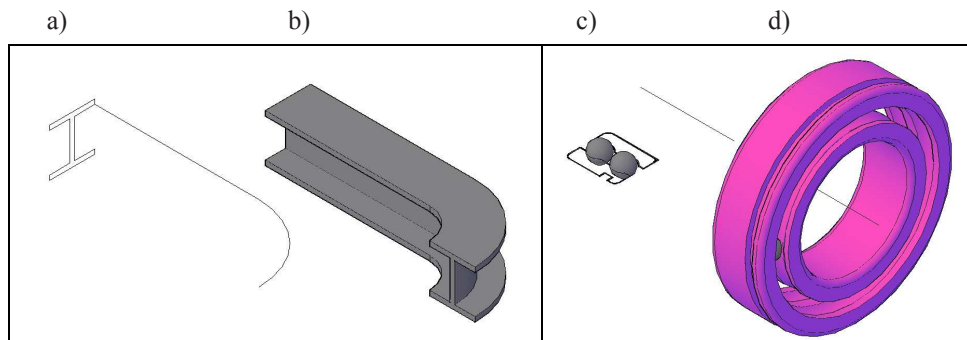
technicznej. Na rysunku 10 pokazano tworzenie komputerowego zapisu płyty przy zastosowaniu procedur przygotowanych w języku AutoLISP. Zdefiniowanie parametrów opisujących ten rysunek: długość i szerokość płyty, zaokrąglenia i fazowania, położenie i rozmiar otworu pozwalają na szybkie utworzenie rodziny obiektów wywołując podprogram z odpowiednimi wartościami zmiennych.



Rys. 10. Płyta: a) wersja początkowa; b) zmiana proporcji płyty, zaokrąglenie naroży $R=10$, zmiana położenia otworu; c) zmiana proporcji płyty, fazowanie naroży $F=5$, zmiana położenia i średnicy otworu

W klasycznym podejściu aby z obiektu przedstawionego na rysunku 10a uzyskać obiekty zaprezentowane na rysunku 10b i c należałoby użyć następujących poleceń: rozciągnij, przesun, skaluj, zaokrągla, fazuj.

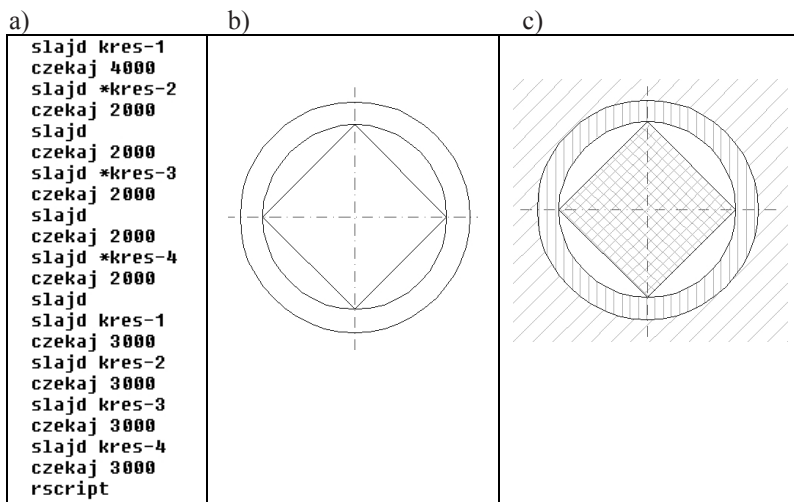
Dwuwymiarowe obiekty wektorowe są również powszechnie wykorzystywane w procesie projektowania modeli trójwymiarowych. Po wykonaniu rysunków profili wykorzystując polecenia służące do jego obracania, wyciągania prostoliniowego lub przeciągania wzdłuż zdefiniowanej ścieżki uzyskujemy modele 3D (rys. 11).



Rys. 11. Projektowanie obiektów 3D: a) profil dwuteownika i ścieżka do przeciągnięcia; b) wygenerowana belka; c) profile pierścieni łożyska kulkowego dwurzędowego; d) wygenerowane pierścienie, program AutoCAD

Dwuwymiarowa grafika animowana

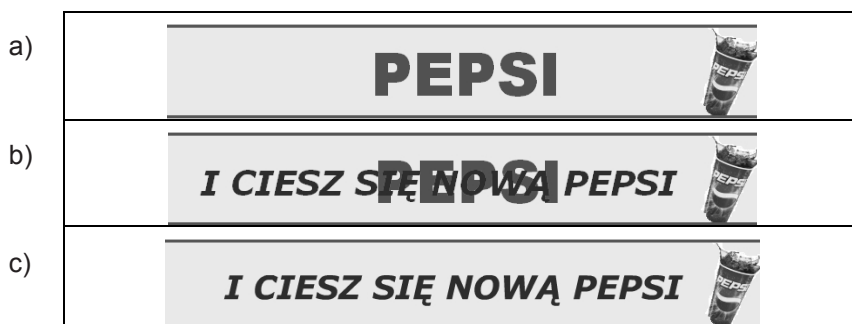
Grafika wektorowa może zostać użyta do utworzenia obrazów animowanych. Program AutoCAD pozwala na wykonanie pokazu kolejnych stanów tworzonego projektu przez wykorzystanie zdefiniowanych slajdów. Tak przygotowane obiekty mogą zostać wyświetlane przez napisanie odpowiedniego skryptu, dzięki czemu nastąpi załadowanie do pamięci komputera odpowiedniego rysunku, następnie będzie on wyświetlony przez zadany czas (podany w μs), po czym nastąpi wyświetlenie kolejnego rysunku (rys. 12).



Rys. 12. Animacja w programie AutoCAD: a) zawartość skryptu opisującego proces animacji – *kres.scr*; b) slajd *kres-2*; c) slajd *kres-3*

Taki pokaz umożliwi sprawne pokazanie kolejnych faz tworzonego projektu, gdy jego rozmiar jest duży i przedstawienie na monitorze kolejnych jego postaci byłoby związane z długim czasem oczekiwania na jego wygenerowanie albo z powodu na konieczność wykonywania innych czynności (np. wygaszanie lub włączanie warstw), które rozpraszałyby uwagę osób oglądających pokaz. W tym miejscu należy wyjaśnić, że utworzone slajdy nie są już obiektami wektorowymi, ale bitmapowymi, więc nie mogą być przekształcane standardowymi narzędziami programu AutoCAD.

Dwuwymiarowa grafika wektorowa służy również do projektowania animowanych bannerów reklamowych umieszczanych zazwyczaj na stronach internetowych lub w prezentacjach multimedialnych. Opracowana do tego celu technologia *flash* (format *.swf*) pozwala na umieszczenie znacznie większej ilości obiektów graficznych w jednym pliku (przy tej samej jego objętości) niż przy zastosowaniu tradycyjnego formatu *.gif*. Takie możliwości projektowe dają takie programy, jak Alligator Flash Designer czy Adobe Flash. Projektowane animacje tworzone są przez definiowanie tzw. klatek kluczowych, zaś przejścia między nimi są wybierane spośród dostępnych efektów wprowadzonych do bazy programu (rys. 13). Ten sposób projektowania jest łatwiejszy w realizacji niż przygotowywanie animacji w formacie *.gif*, gdy należy wykonać samodzielnie wszystkie klatki (tzw. metoda klatka po klatce). Zastosowanie technologii *flash* umożliwia oprócz tworzenia obiektów graficznych umieszczanie tekstów, a także wzbogacenie tworzonego projektu o wprowadzenie obiektów bitmapowych, a nawet plików dźwiękowych.

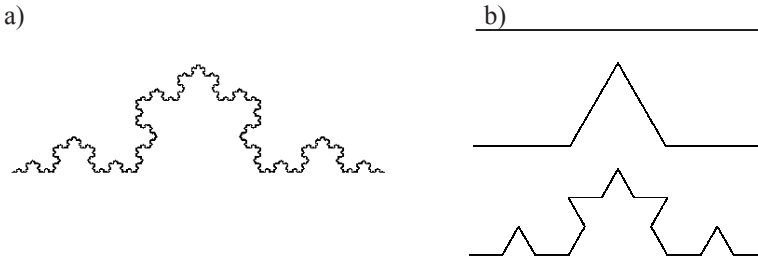


Rys. 13. Przykład projektowania banneru w technologii *flash* z wstawionym obiektem bitmapowym: a) stan początkowy; b) stan pośredni; c) stan końcowy

GRAFIKA FRAKTALNA

Fraktal jest figurą geometryczną o złożonej strukturze, nie będącą krzywą, powierzchnią ani bryłą w rozumieniu klasycznej matematyki. W swojej książce Mandelbrot [9] określił trzy cechy fraktali: posiadają cechę samopodobieństwa (frag-

ment obiektu jest podobny do całego), ich wymiary nie są liczbami naturalnymi, ich kształty nie są określone wzorami, lecz zależnościami rekurencyjnymi (do wyznaczenia kolejnych wartości musimy wykorzystać wyniki obliczeń wcześniejszych). Obiekty fraktalne można dowolnie skalować, przy ich powiększaniu formuła rekurencyjna zostanie dodatkowo przeliczona, a obraz na ekranie pokazuje nowe szczegóły. Na rysunku 14a. przedstawiono krzywą Kocha, która jest granicą ciągu linii łamanych – trzy pierwsze wyrazy tego ciągu zaprezentowano na rysunku 14b.



Rys. 14. Klasyczny obiekt fraktalny o pełnym samopodobieństwie
a) krzywa Kocha – 1904 r.; b) etapy kreślenia fraktala

Wymiar fraktala definiujemy następująco [14]:

$$d = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \frac{1}{\varepsilon}} \quad (1)$$

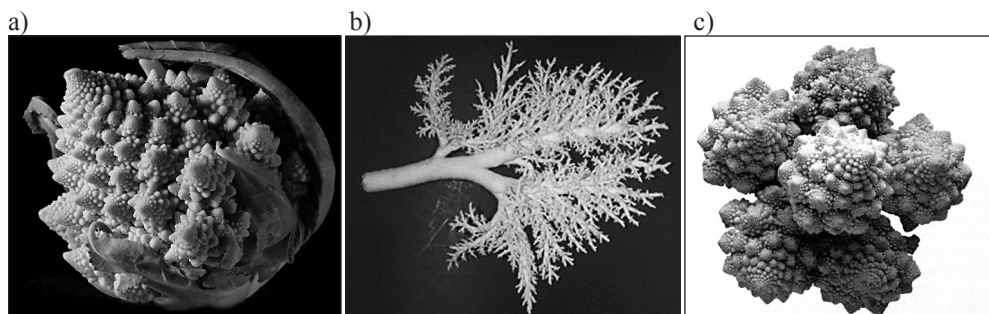
gdzie:

$N(\varepsilon)$ – to liczba odcinków miarowych,

ε – rozmiar odcinka miarowego.

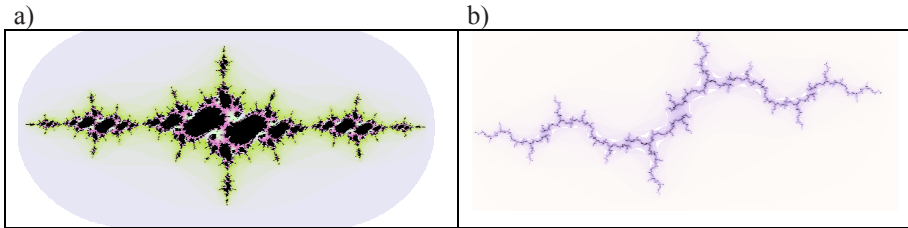
Dla krzywej Kocha $\varepsilon = \frac{1}{3^k}$, zaś $N = 4^k$, stąd po zaokrągleniu wymiar fraktalny $d = 1,26186$.

W przyrodzie występuje wiele obiektów fraktalnych o tzw. samopodobieństwie przybliżonym (rys. 15).

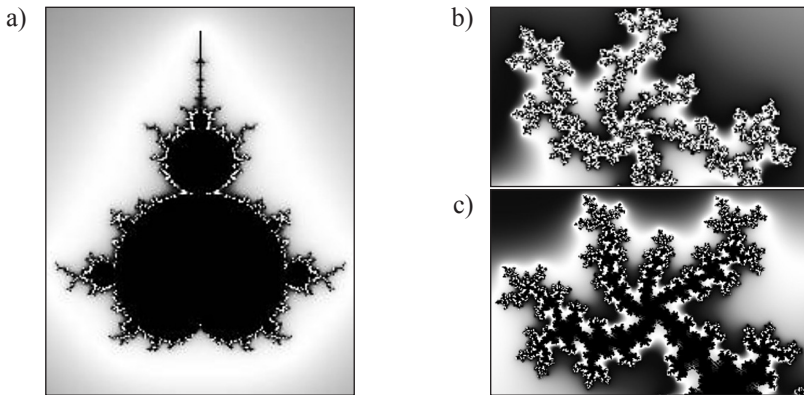


Rys. 15. Naturalne obiekty fraktalne o przybliżonym samopodobieństwie: a) zdjęcie brokoły; b) zdjęcie ludzkiej tchawicy; c) brokoła wygenerowana komputerowo

Obiekty grafiki fraktalnej zajmują niewiele przestrzeni dyskowej, ponieważ zawierają tylko sposób generowania obrazu, a nie sam obraz, który tworzony jest w trakcie jego wyświetlania na ekranie. Obiekty te mogą być generowane jako tzw. obiekty płaskie oraz przestrzenne. To jednak nie oznacza, że są to obiekty dwu- lub trzywymiarowe w klasycznym rozumieniu geometrii euklidesowej. W przypadku generowania obiektów płaskich wygodnie posługiwać się zbiorem liczb zespolonych ze względu na fakt, że posiadają one część rzeczywistą i urojoną, co umożliwia prezentowanie obiektu na płaszczyźnie (rys. 16 i 17).



Rys. 16. Zbiór Julii: $f_c(z) = z^2 + c$ dla różnych postaci zapisu liczby c :
 a) $c = -1,25 + 0,03i$; b) $c = -1,25 - 0,4i$



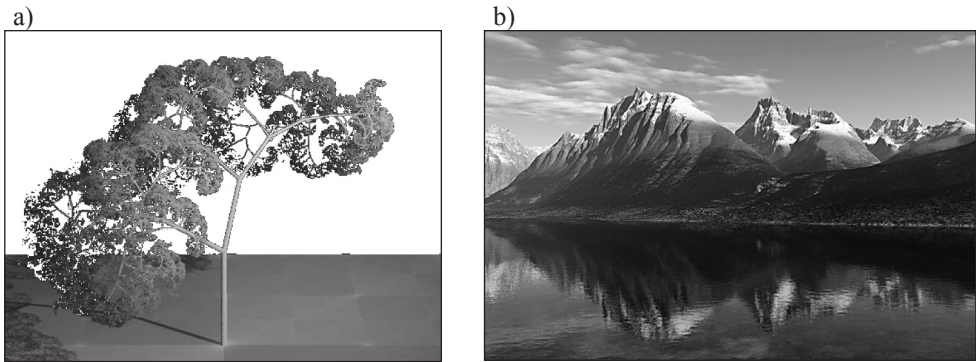
Rys. 17. Zbiór Mandelbrota: a) całość; b) fragment po zwiększeniu 10 tys. razy;
 c) fragment po zwiększeniu 10 mln. razy

Obecnie definiowanie obiektów fraktalnych jest zupełnie inne. Zagadnienia te można znaleźć w pracy Kudrewicza [6]. Podano tam następującą definicję: *fraktalem nazywamy taki zbiór, którego wymiar topologiczny jest różny (mniejszy) od wymiaru Hausdorffa* (wymiar ten określany jest w przestrzeni, w której elementami są podzbiory zwarte punktów płaszczyzny, czyli obiekty graficzne)). Ponieważ wymiar topologiczny zawsze jest liczbą naturalną, to fraktalem jest każdy zbiór, którego wymiar Hausdorffa nie jest liczbą naturalną. Stąd obiektem fraktalnym jest kontur zbioru Mandelbrota, ale nie jego wnętrze.

Ze względu na fakt, że wymiar obiektu fraktalnego nie jest liczbą naturalną to nie należy mówić o fraktalach dwuwymiarowych, ale o fraktalach osadzonych w przestrzeni dwuwymiarowej (będą to obiekty płaskie) lub trójwymiarowej (będą to obiekty o elementach usytuowanych przestrzennie).

Obiekty fraktalne mają obecnie wiele różnych zastosowań. W obszarze grafiki komputerowej fraktale wykorzystuje się przede wszystkim do modelowania obiektów roślinnych (trawy, krzewy, drzewa), które można wstawiać w trójwymiarowe sceny. Dzięki temu łatwiej uzyskać właściwy poziom fotorealistyczności projektowanej sceny. Fraktale przedstawiające rośliny są generowane wykorzystując tzw. system Lindemayera [8, 15] – L-system, polegający na zastosowaniu zestawu reguł produkcji gramatyki formalnej służący do tworzenia graficznych twórców o fraktalnej budowie przedstawiony między innymi w pracy [11]. Generowane drzewa mogą być także obiektami przestrzennymi (rys. 18a).

Programy komputerowe potrafią również sprawnie generować obiekty fraktalnej przedstawiające krajobrazy (rys. 18b).



Rys. 18. Wygenerowane komputerowo obiekty fraktalne: a) drzewo przestrzenne; b) fotorealistyczny krajobraz, program Terragen 2

Inne współczesne zastosowanie obiektów fraktalnych to ich użycie do opisu i klasyfikacji struktur geometrycznych tworzonych sieci wodociągowych [5]. W pracy wykorzystując koncepcje L-systemów określono zależność rekurencyjną, którą można wykorzystać do opisu samopodobieństwa zbiorów geometrycznych tworzących przez struktury sieci wodociągowych. Dla sieci o strukturze drzewiastej uzyskano następujący zapis:

$$L_o - \text{odcinek początkowy,}$$

$$\text{formuła przekształceń } L_{i+1} = \begin{cases} a \cdot L_i, \alpha' \\ b \cdot L_i, \alpha'' \\ c \cdot L_i, \alpha''' \end{cases} \quad (2)$$

Opracowana formuła opisuje iteracyjne przekształcenie odcinka poprzedzającego L_i na kolejny L_{i+1} gdzie a, b, c oraz α' , α'' , α''' – to odpowiednio parametry dłu-

gości oraz kąty opisujące położenie nowopowstającego odcinka względem odcinka poprzedniego.

W pracy [1] Briuchanov i inni proponują na przykładzie powłoki wykonanej ze złota i azotku tytanu określenie stanu uzyskanej powierzchni w mikro- i nanoskali przez wyznaczenie wymiaru fraktalnego tej powierzchni. Autorzy z powodzeniem znaleźli związki między wartością średniego odchylenia kwadratowego profilu pików R_q badanej niewgłębnej powierzchni, a jej wymiarem fraktalnym d_f . W tej nowej koncepcji określania jakości powierzchni na podstawie zdjęć pochodzących z spektroskopii sił atomowych i skaningowej mikroskopii tunelowej można określić początkowo fraktalny wymiar uzyskanej powłoki, a następnie wyliczyć parametry chropowatości.

PODSUMOWANIE

Grafika komputerowa jest fascynującą dziedziną, która w ciągu zaledwie 20 lat bardzo rozkwitła i stała się czymś codziennym w życiu większości ludzi. Dzięki szybkiemu rozwojowi sprzętu komputerowego, dostępowi do Internetu, powstaniu wielu darmowych nowoczesnych programów, stała się powszechnie dostępna.

W pracy starano się przybliżyć zagadnienia dotyczące użytkowych aspektów komputerowej grafiki wektorowej i fraktalnej, której obiekty umieszczane są na płaszczyźnie. W tym celu zaprezentowano wiele praktycznych przykładów zastosowania opisanych typów grafiki w projektowaniu, bogato ilustrując je odpowiednimi rysunkami. Szczegółowe poznanie właściwości obiektów grafiki wektorowej i fraktalnej pozwala na ich różnorodne praktyczne wykorzystanie zarówno w środowisku wirtualnym, w projektowaniu inżynierskim, a także w opisie rzeczywistych obiektów technicznych, np. istniejącej sieci wodociągowej.

Śledząc dostępną literaturę z zakresu grafiki komputerowej widać wyraźnie, że stosowanie grafiki wektorowej jest powszechne, różnorodne i wieloaspektowe (projektowanie techniczne, twórcze, animacje reklamowe). Wydaje się, że zastosowanie grafiki fraktalnej jest dopiero na początku tej drogi. Brakuje bowiem dobrego oprogramowania, które pozwoliłoby szybko i sprawnie generować obiekty graficzne o łatwo przewidywalnym kształcie końcowym.

LITERATURA

1. Briuchanov V.V., Łabutin I.S., Samusiev I.G.: Związek między chropowatością powłok ze złota i azotku tytanu a wymiarem fraktalnym ich powierzchni. Inżynieria Powierzchni, 4, 2008: 3–7.
2. Dziedzic K., Lis R., Montusiewicz J.: Grafika bitmapowa w nauczaniu przedmiotu techniki multimedialne. Postępy Nauki i Techniki, 2, 2008: 140–152.

3. Kania L.: AutoCAD dla zaawansowanych. Programowanie. Wyd. Pol. Częstochowska, Częstochowa 2010.
4. Kiciak P.: Podstawy modelowania krzywych i powierzchni, zastosowania w grafice komputerowej. WNT, Warszawa 2005.
5. Kowalski D.: Nowe metody opisu struktur sieci wodociągowych do rozwiązywania problemów ich projektowania i eksploatacji. PAN, Komitet Inżynierii Środowiska, monografie. vol. 88, Lublin 2011.
6. Kudrewicz J.: Fraktale i chaos. WNT, Warszawa 2007.
7. Kukuczka J.: Grafika komputerowa. Wyd. Pracowni Komputerowej, J. Skalmierskiego, Gliwice 2000.
8. Lindemayer A.: Mathematical models for cellular interaction in development, part I, II. *Journal of Theoretical Biology*, vol. 18, 1968: 280–315.
9. Mandelbrot B.: *The Fractals Geometri of Nature*. New York 1982.
10. Montusiewicz J.: Modelowanie 2D w programie AutoCAD. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2011.
11. Montusiewicz J.: Projektowanie i wizualizacja 3D ogrodów przydomowych w programie AutoCAD. *Postępy Nauki i Techniki*, 10, 2011: 124–139.
12. Montusiewicz J., Czerkawska A.: Specyfika tworzenia komputerowego zapisu obiektów technicznych. [W:] Lenik K., Borowski G. (red.): *Komputerowe wspomaganie w technice*. Monografia. Societas Scientiarum Lublinensis, Lublin 2006: 5–13.
13. Montusiewicz J., Osyczka A., Zamorski J.: A Decomposition Method for Multicriteria Optimization and its Application to Machine Tool Spindle Design. [In:] H. Eschenauer, J. Koski, A. Osyczka (eds.): *Multicriteria Design Optimization. Procedures and Applications*, Springer-Verlag, 1990: 282–302.
14. Peitgen H., Jürgens H., Saupe D.: *Granice chaosu fraktale*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1995.
15. Prusinkiewicz P.: Graphical applications of L-systems. *Proc. Graphical Interface 1986 – Vision Interface*, 1986: 247–253.
16. Sikora J.: *Matematyczne podstawy grafiki komputerowej*, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2011.
17. Winkler T.: *Komputerowy zapis konstrukcji*, WNT, Warszawa 1997.

APPLYING TWO-DIMENSIONAL VECTOR AND FRACTAL GRAPHICS IN DESIGN

Summary

The study presents ordered knowledge regarding vector and fractal graphics whose objects can be placed on a plane. Detailed familiarity with the properties of such graphics allows their practical application both in virtual environments, engineering design, advertising and in describing actual technical objects. The work includes many examples of the practical implementation of the objects in question, illustrated with appropriate drawings.

Key words: vector graphics, fractal graphics, static 2D graphics, animated 2D vector graphics.