

Agnieszka MOLGA 

ORCID:0000-0002-0857-5111. Dr, Uniwersytet Radomski, Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Informatyki, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom; e-mail: agnieszka19216@wp.pl

data złożenia tekstu do Redakcji DI: 23.03.2024; data wstępnej oceny artykułu: 30.04.2024

MODELOWANIE, CZYLI PROCES TWORZENIA ABSTRAKCJI RZECZYWISTOŚCI W SYSTEMACH CAD

MODELING, I.E. THE PROCESS OF CREATING ABSTRACTIONS OF REALITY IN CAD SYSTEMS

Słowa kluczowe: modelowanie, projektowanie, wspomaganie komputerowe.
Keywords: modeling, design, computer-aided.

Streszczenie

W artykule omówiono proces modelowania w systemach CAD 3D, który jest kluczowym narzędziem w projektowaniu i inżynierii. Modelowanie umożliwia tworzenie trójwymiarowych reprezentacji obiektów, co pozwala na ich analizę, weryfikację i optymalizację przed fizyczną realizacją. Przedstawiono różne techniki modelowania, takie jak modelowanie geometryczne, parametryczne i powierzchniowe, oraz ich zastosowania w różnych dziedzinach. Podkreśla się również zalety modelowania w CAD, takie jak szybkie prototypowanie i iteracja projektów.

Abstract

The article discusses the modeling process in 3D CAD systems, which is a key tool in design and engineering. Modeling enables the creation of three-dimensional representations of objects, which allows their analysis, verification and optimization before physical implementation. The article presents various modeling techniques, such as geometric, parametric and surface modeling, and their applications in various fields. The advantages of CAD modeling are also emphasized, such as rapid prototyping and design iteration.

Wstęp

Modelowanie jako proces tworzenia geometrycznych modeli w systemie CAD 3D jest fundamentalną techniką w projektowaniu i inżynierii. Pozwala na tworzenie trójwymiarowych reprezentacji obiektów, które mogą być analizowane, weryfikowane i optymalizowane przed ich fizyczną realizacją. Wykorzystuje się go w różnych dziedzinach, takich jak projektowanie produktów, architektura, inżynieria mechaniczna czy przemysłowa.

Podczas modelowania w CAD 3D można definiować kształty, wymiary oraz relacje między elementami z dużą dokładnością. Za pomocą różnorodnych narzędzi i technik, takich jak rysowanie linii, tworzenie powierzchni, operacje booleanowskie czy krzywe Bezier'a, możliwe jest generowanie skomplikowanych geometrii, które dokładnie odzwierciedlają zamierzone projekty.

Jedną z kluczowych zalet modelowania w CAD 3D jest możliwość szybkiego prototypowania i iterowania, dzięki czemu projektanci mogą eksperymentować z różnymi koncepcjami, dokonywać zmian oraz analizować wpływ tych zmian na całość projektu. Dodatkowo modelowanie 3D umożliwia wizualizację gotowych produktów czy budynków, co ułatwia komunikację z klientami i interesariuszami¹.

Modelowanie w CAD 3D obejmuje również szereg zaawansowanych funkcji, takich jak tworzenie siatek, analiza przemieszczeń czy symulacje dynamiczne, które pozwalają na jeszcze bardziej zaawansowane projektowanie i analizę.

Dzięki systemowi CAD 3D projektanci mogą precyzyjnie definiować kształty, wymiary i relacje między elementami, co umożliwia skrupulatne projektowanie detali oraz kompleksowych struktur². Ten proces jest kluczowy w wielu dziedzinach, od architektury i projektowania produktów, po inżynierię lotniczą i przemysłową, gdzie dokładność i precyzja są niezbędne.

Czym właściwie jest modelowanie?

Modelowanie w CAD 3D, pozwalając na szybką iterację projektów, ułatwia eksperymentowanie z różnymi koncepcjami i szybkie dostosowywanie się do zmieniających się wymagań projektowych. Modelowanie, jako proces tworzenia geometrycznych modeli w systemie CAD 3D, jest niezwykle wszechstronne. W przypadku systemów 2D, w których poprzez użycie punktów, linii, krzywych i płaskich figur geometrycznych buduje się abstrakcyjne reprezentacje obiektów, trafniej jest mówić

¹ D. Planchard, M. Planchard, *Engineering Design with SolidWorks*, SDC Publications, Mission, Kansas, USA, 2020.

² Tamże, s. 29.

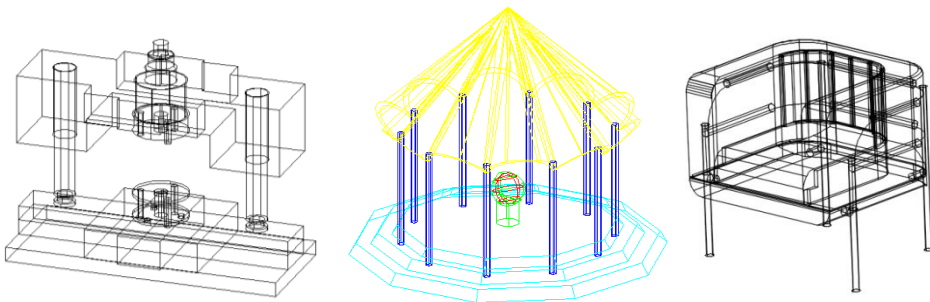
o szkicowaniu. Jednak nawet w tych systemach, dzięki wykorzystaniu szkiców, możliwe jest budowanie trójwymiarowych modeli poprzez nadawanie dwuwymiarowym przekrojom głębokości i manipulowanie nimi wzdłuż ścieżek.

Modelowanie skomplikowanych obiektów w przestrzeni staje się możliwe dzięki różnym technikom, takim jak nadawanie głębi dwuwymiarowym przekrojom poprzez ich przesuwanie wzdłuż ścieżek czy też obracanie, skalowanie i modyfikowanie przekrojów na poszczególnych odcinkach. W systemach 3D, korzystając ze szkiców 2D, możemy również tworzyć bryły obrotowe, które powstają poprzez obrót szkicu lub przekroju wokół wyznaczonej osi³.

Niektóre zaawansowane systemy CAD wykorzystują bazowe bryły nazywane *primitives*,⁴ które następnie poddawane są różnym operacjom boolowskim, takim jak suma, różnica czy iloczyn, co pozwala na skomplikowane przekształcenia i tworzenie złożonych modeli.

Podział modeli obejmuje trzy główne typy:

- Model krawędziowy (ang. *wire frame*) przedstawia strukturę obiektu 3D za pomocą linii i punktów, tworząc swoistą szkieletową reprezentację (rys. 1); wykorzystywany jest często do tworzenia szkiców wstępnych umożliwiającących opracowanie projektu przed przejściem do bardziej zaawansowanych etapów. Choć model krawędziowy może być interpretowany niejednoznacznie, jego zaletą jest prosta struktura;



Rys. 1. Obiekty trójwymiarowe przedstawione za pomocą modelowania krawędziowego

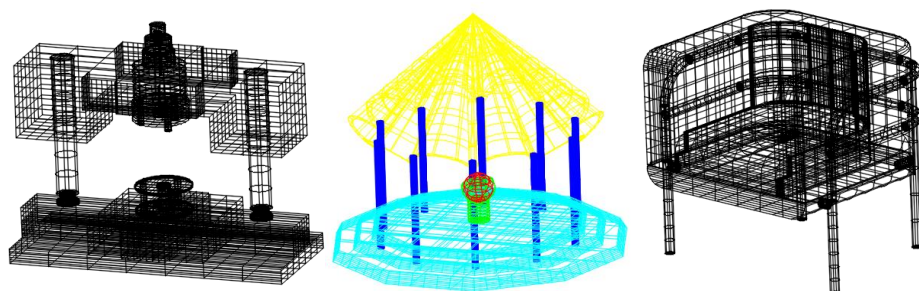
Źródło: opracowanie własne

- Model powierzchniowy (ang. *surface*) opiera się na siatce punktów, linii i powierzchni tworzących płaską reprezentację obiektu (rys. 2). Mimo że

³ *Computer-Aided Design and Applications*, 2022.

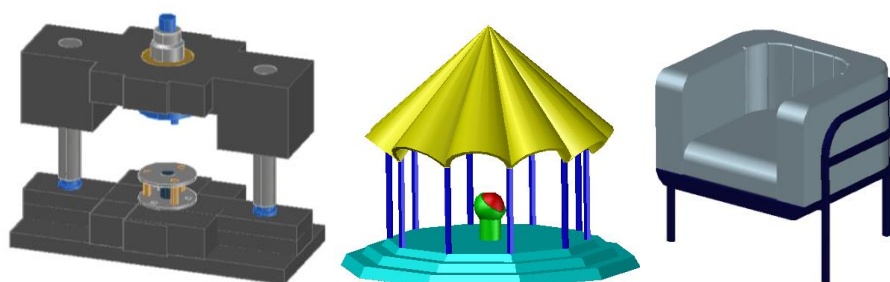
⁴ D. Planchard, M. Planchard, *Engineering Design...*, s. 45.

niektóre modele siatkowe mogą przypominać modele bryłowe, modele powierzchniowe są często preferowane ze względu na ich elastyczność i łatwość modyfikacji;



Rys. 2. Obiekty trójwymiarowe przedstawione za pomocą modelowania powierzchniowego
Źródło: opracowanie własne

- Model bryłowy (ang. *solid*) składa się z punktów, linii, powierzchni oraz objętości (rys. 3). Modele te są konstruowane z pełnych brył nazywanych *prymitywami* (np. kostka, sfera, walec) oraz operacji boolowskich lub też poprzez definiowanie powierzchni i tworzenie brył obrotowych.



Rys. 3. Obiekty trójwymiarowe przedstawione za pomocą modelowania bryłowego
Źródło: opracowanie własne

W niektórych publikacjach i analizach można znaleźć podział na modele brzegowe (ang. *boundary representation*, b-rep) oraz modele obiektowe. Modele brzegowe oparte na technice b-rep reprezentują bryłę jako zbiór płaszczyzn (ścianek), krawędzi i wierzchołków⁵. Każda ścianka jest definiowana jako ograniczenie przestrzeni będące granicą obiektu. Krawędzie są liniami, które łączą

⁵ R. Tenfjord, A. Koenig, *Solid Modeling with the Power of Python*, Apress, New York 2021.

wierzchołki, natomiast wierzchołki określają punkty w przestrzeni⁶. Ten sposób reprezentacji pozwala na dokładne opisanie kształtu bryły oraz umożliwia precyzyjne operacje na jej elementach.

Modele obiektowe natomiast są konstruowane poprzez stopniowe dodawanie kolejnych cech do podstawowej części, która może być traktowana jako baza konstrukcyjna. Te dodawane cechy mogą obejmować elementarne obiekty, takie jak prostopadłościany czy cylindry, jak również szczegóły modelujące, otwory, rowki, występy, zaokrąglenia, kieszenie i inne detale. Poprzez sukcesywne dodawanie i manipulację tymi cechami projektanci mogą tworzyć coraz bardziej skomplikowane i precyzyjne modele, dopasowując je do wymagań projektowych. Ta metoda modelowania umożliwia elastyczne dostosowywanie projektów oraz łatwe wprowadzanie zmian w trakcie procesu projektowania.

Techniki tworzenia modeli

Metody modelowania odnoszą się do różnorodnych technik i podejść wykorzystywanych do tworzenia modeli trójwymiarowych lub ich reprezentacji. Obejmują zbiór narzędzi, procedur i strategii stosowanych przez projektantów, inżynierów, artystów i inne osoby zajmujące się tworzeniem wizualnych lub fizycznych reprezentacji obiektów. Metody te mogą być oparte na matematyce, geometrii, algorytmach, fizyce, symulacjach, grafice komputerowej i innych dziedzinach, w zależności od konkretnego kontekstu i celu modelowania. Ich zadaniem jest stworzenie dokładnych, estetycznych lub funkcjonalnych modeli, które mogą być używane do analizy, wizualizacji, projektowania, symulacji, animacji, produkcji, nauki lub mieć inne zastosowania.

Wybrane metody modelowania:

Jedną z podstawowych metod modelowania jest modelowanie geometryczne. Jest to proces tworzenia trójwymiarowych modeli za pomocą technik matematycznych i geometrycznych. Obejmuje ono reprezentację obiektów za pomocą punktów, linii, powierzchni i brył, a także manipulację nimi w celu uzyskania określonych kształtów i struktur⁷. W tej metodzie projektanci korzystają z narzędzi CAD (*Computer-Aided Design*), aby rysować, edytować i manipulować kształtami.

Punkty: Punkty są podstawowymi elementami modelowania geometrycznego. Określają położenie w trójwymiarowej przestrzeni i są używane jako

⁶ Tamże, s. 91.

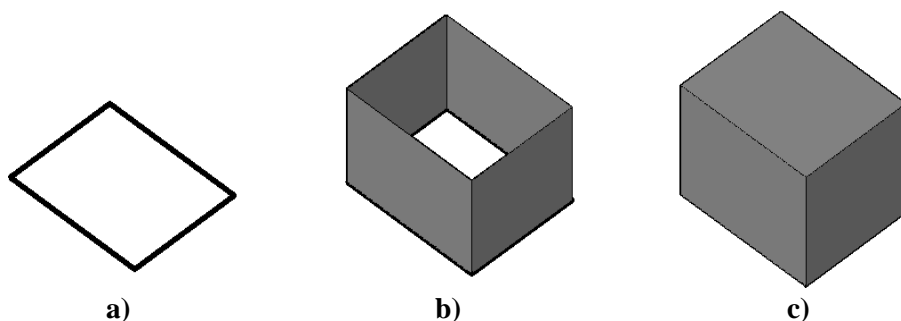
⁷ A.J. Griesser, *CAD and Modeling for Architecture, Engineering and Design*, CRC Press, Boca Raton 2015.

punkty odniesienia do konstrukcji linii, powierzchni i brył. W modelowaniu geometrycznym punkty są wykorzystywane do tworzenia szkieletów modeli i definiowania ich kształtów.

Linie: Linie są reprezentowane jako ciągi punktów, które są ze sobą połączone. Mogą służyć do definiowania krawędzi obiektów lub dowolnych innych struktur geometrycznych. W modelowaniu geometrycznym linie są często używane do tworzenia konturów i kształtów obiektów (rys. 4a).

Powierzchnie: Powierzchnie są dwuwymiarowymi płaszczyznami ograniczonymi przez linie. Wykorzystywane są do definiowania brył oraz ich właściwości wizualnych i fizycznych. W modelowaniu geometrycznym powierzchnie są tworzone poprzez połączenie linii w zamknięte pętle, które są następnie wypełniane, aby utworzyć płaskie struktury (rys. 4b).

Bryły: Bryły są trójwymiarowymi obiektami ograniczonymi przez powierzchnie. Mogą reprezentować rzeczywiste obiekty lub abstrakcyjne struktury w trójwymiarowej przestrzeni. W modelowaniu geometrycznym bryły są tworzone poprzez połączenie powierzchni w zamknięte pętle, które następnie są wypełniane, aby utworzyć trójwymiarowe kształty (rys. 4c)⁸.

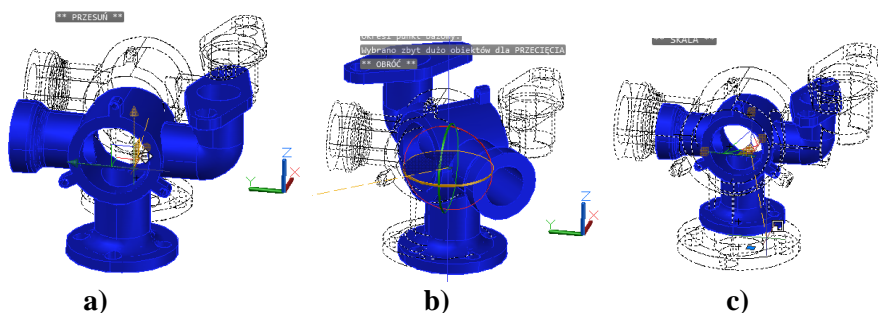


Rys. 4. Reprezentacja obiektów za pomocą: a) linii, b) powierzchni, c) brył

Źródło: opracowanie własne

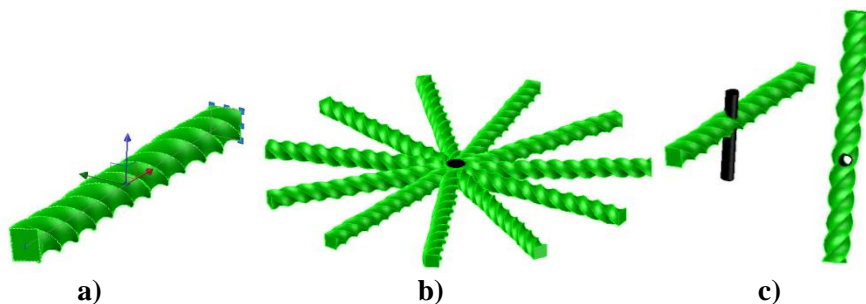
W modelowaniu geometrycznym stosuje się różnorodne operacje, takie jak przesuń (rys. 5 a), obrót (rys. 5b), skalowanie (rys. 5c), przekształcenia i kombinacje elementów geometrycznych, aby uzyskać pożądane efekty np. szyk (rys. 6a), przeciągnięcie (rys. 6b), operacje logiczne *Boole'a* (rys. 6c). Te operacje pozwalają na modyfikowanie i manipulowanie modelami w celu osiągnięcia określonych kształtów i struktur.

⁸ A.J. Griesser, *CAD and Modeling for Architecture...*, s. 121.



Rys. 5. Edycja obiektów trójwymiarowych za pomocą poleceń: a) przesun 3D, b) obrót 3D, c) skala 3D

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Edycja obiektów trójwymiarowych za pomocą poleceń: a) przeciągnięcie, b) szyk, c) operacja *Boole'a różnica*

Źródło: opracowanie własne

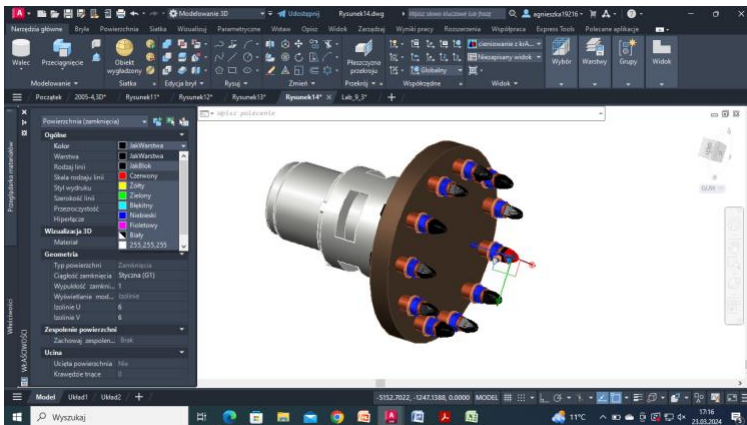
Modelowanie geometryczne jest szeroko stosowane w różnych dziedzinach, takich jak inżynieria, projektowanie produktów, grafika komputerowa, animacja, architektura i wiele innych. Pozwala na tworzenie precyzyjnych, realistycznych i estetycznych modeli, które mogą być używane do analizy, wizualizacji, symulacji, produkcji i mieć wiele innych zastosowań.

Kolejną metodą modelowania przestrzennego to modelowanie parametryczne. To technika, która pozwala na tworzenie modeli za pomocą zdefiniowanych parametrów, które można później zmieniać, co automatycznie dostosowuje cały model. Jest to bardzo przydatne w projektowaniu, ponieważ umożliwia łatwe wprowadzanie zmian i eksperymentowanie z różnymi konfiguracjami.

Modelowanie parametryczne to technika tworzenia modeli trójwymiarowych, w której parametry są wykorzystywane do definiowania kształtu i cech modelu. Oznacza to, że różne aspekty modelu, takie jak jego wymiary, proporcje, geometria czy inne właściwości, są kontrolowane przez określone parametry, które można łatwo zmieniać i dostosowywać. Dzięki temu model może być dynamicznie modyfikowany poprzez zmianę wartości parametrów, co umożliwia szybką iterację projektów i eksperymentowanie z różnymi wariantami.

Główne cechy modelowania parametrycznego to:

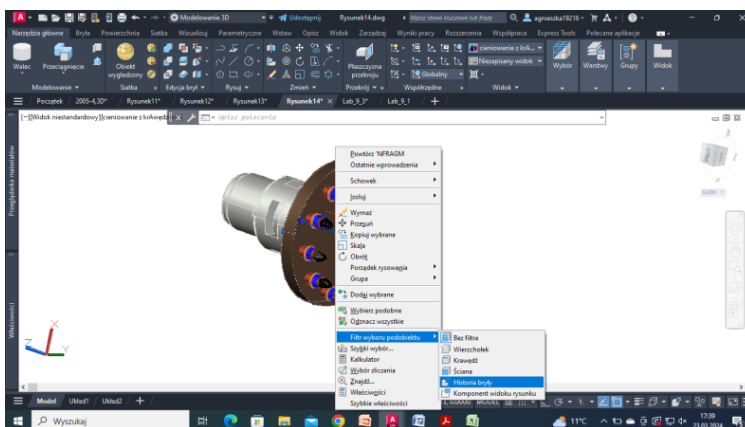
- **parametryzacja:** model jest oparty na zestawie parametrów, które definiują jego cechy i kształt. Parametry mogą obejmować wymiary geometryczne, kąty, proporcje, odległości oraz inne właściwości⁹;
- **zależności parametryczne:** parametry mogą być wzajemnie powiązane za pomocą zależności parametrycznych. Na przykład zmiana jednego parametru może wpływać na inne parametry lub na całą geometrię modelu;
- **edytowalność:** model można łatwo modyfikować poprzez zmianę wartości parametrów. Jest to szczególnie przydatne podczas eksperymentowania z różnymi koncepcjami projektowymi i dostosowywania modelu do zmieniających się wymagań (rys. 7);
- **historia modelu:** w modelowaniu parametrycznym często zachowywana jest historia edycji, co pozwala na śledzenie zmian i cofanie się do wcześniejszych stanów modelu. To ułatwia zarządzanie modyfikacjami i poprawianie błędów (rys. 8).



Rys. 7. Edytowanie obiektu przestrzennego za pomocą właściwości

Źródło: opracowanie własne

⁹ A.J. Griesser, *CAD and Modeling for Architecture...*, s. 74.



Rys. 8. Historia modelu

Źródło: opracowanie własne

Zastosowanie tego podejścia do projektowania przyspiesza proces definiowania trójwymiarowego modelu części, a przede wszystkim znacząco ułatwia wprowadzanie zmian konstrukcyjnych. Wystarczy wywołać procedurę definiowania określonej cechy konstrukcyjnej i dostosować wartość parametru lub zastąpić dowolny z elementów wejściowych. Taka organizacja systemu CAD stanowi fundament każdego systemu opartego na parametrach, niezależnie od tego, czy mówimy o modelowaniu bryłowym, czy powierzchniowym.

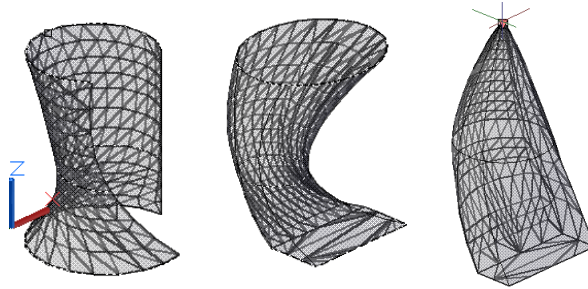
Modelowanie parametryczne znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach. Jest to skuteczne narzędzie do tworzenia elastycznych, interaktywnych i łatwo modyfikowalnych modeli, które można szybko dostosować do zmieniających się wymagań i preferencji projektowych.

Bardzo popularną metodą projektowania przestrzennego jest modelowanie powierzchniowe¹⁰.

Modelowanie powierzchniowe to technika tworzenia trójwymiarowych modeli, która skupia się głównie na definiowaniu powierzchni obiektów bez konieczności opisywania ich wnętrza. W tej metodzie geometria obiektu jest reprezentowana za pomocą siatki punktów, linii i powierzchni, które tworzą płaską reprezentację kształtu obiektu. Głównym celem modelowania powierzchniowego jest precyzyjne i elastyczne określenie zewnętrznej formy obiektu, a nie jego wewnętrznej struktury czy objętości.

¹⁰ M.P. Groover, E.W. Zimmers, Jr., *CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing*, Pearson, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2013.

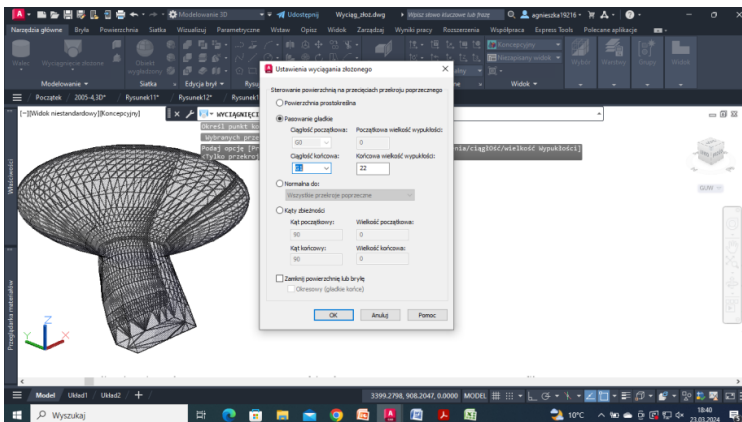
Modelowanie powierzchniowe wykorzystuje siatkę punktów, linii i powierzchni do opisu geometrii obiektu. Punkty są umieszczone w trójwymiarowej przestrzeni, linie łączą punkty, tworząc krawędzie, a powierzchnie są definiowane przez połączenie linii w zamknięte pętle (rys. 9)¹¹.



Rys. 9. Modele powierzchniowe

Źródło: opracowanie własne

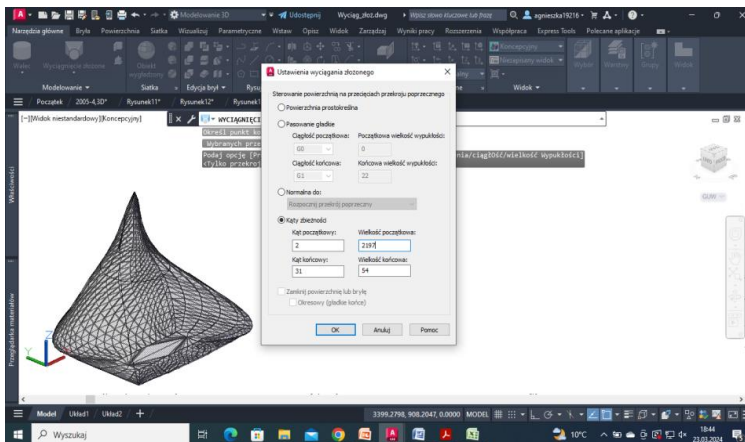
Głównym elementem w modelowaniu powierzchniowym są powierzchnie, które reprezentują zewnętrzną strukturę obiektu. Definiowane są one przez zestaw punktów, które określają ich kształt i geometrię. Techniki modelowania powierzchniowego pozwalają na manipulację powierzchniami obiektów, jak wypukłości, zagłębienia, skręty czy inne deformacje, aby osiągnąć pożądane kształty (rys. 10 i 11).



Rys. 10. Edycja modelu powierzchniowego ustawieniami w funkcji wyciągnięcie złożone

Źródło: opracowanie własne

¹¹ *Computer-Aided Design ...*, s. 5.



Rys. 11. Edycja modelu powierzchniowego *ustawieniami* w funkcji *wyciągnięcie złożone*

Źródło: opracowanie własne

Modelowanie powierzchniowe umożliwia dokładne definiowanie kształtów i proporcji obiektów, co jest istotne szczególnie w dziedzinach, gdzie wymagana jest wysoka precyzja, np. w projektowaniu samochodów, statków czy elementów architektonicznych¹².

Modelowanie powierzchniowe pozwala na tworzenie estetycznych i gładkich powierzchni, co jest istotne w dziedzinach związanych z designem, sztuką czy animacją.

Podsumowanie

Modelowanie jest fundamentalnym procesem tworzenia abstrakcji rzeczywistości w systemach CAD 3D. Stanowi kluczową technikę w projektowaniu i inżynierii, umożliwiając tworzenie precyzyjnych modeli trójwymiarowych obiektów. W artykule omówiono trzy główne metody modelowania: geometryczne, parametryczne oraz powierzchniowe, każda z nich oferuje unikatowe narzędzia i strategie projektowania, takie jak operacje boole'a czy krzywe Bezier'a. Modelowanie geometryczne pozwala na tworzenie modeli za pomocą technik matematycznych, modelowanie parametryczne umożliwia dynamiczną ich modyfikację poprzez manipulację parametrami, a modelowanie powierzchniowe koncentruje się na definiowaniu zewnętrznej formy obiektów. Każda z tych metod ma swoje zastosowanie w różnych dziedzinach, od inżynierii po

¹² M.P. Groover, E.W. Zimmers Jr., *CAD/CAM: Computer-Aided...*, s. 12.

projektowanie produktów i architekturę. Dzięki modelowaniu w systemach CAD 3D projektanci mogą szybko prototypować, eksperymentować z różnymi koncepcjami oraz tworzyć dokładne i estetyczne modele, które znacząco przyspieszają proces projektowy.

Modelowanie w systemach CAD 3D jest niezwykle wszechstronnym i dynamicznym procesem, który stale ewoluuje dzięki rozwojowi technologii i narzędzi. Pozwala ono na tworzenie skomplikowanych, dokładnych i estetycznych modeli, które znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach życia, od nauki i inżynierii po sztukę i rozrywkę.

Bibliografia

- Computer-Aided Design and Applications*, Taylor & Francis, Abingdon 2022, ISSN: 1686-4360.
- Griesser A.J., *CAD and Modeling for Architecture, Engineering and Design*, CRC Press, Boca Raton 2015, ISBN: 978-1-4822-2582-0.
- Groover M.P., Zimmers Jr. E.W., *CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing*, Pearson, Upper Saddle River 2013, ISBN: 978-013-27-6666-3.
- Planchard D., Planchard M., *Engineering Design with SolidWorks*, SDC Publications, Mission 2020, ISBN: 978-1-63057-323-7.
- Rogers DF., *Mathematical Elements for Computer Graphics*, McGraw-Hill, New York 1990, ISBN: 978-0070535291.
- Tenfjord R., Koenig A., *Solid Modeling with the Power of Python*, Apress, New York 2021, ISBN: 978-1-4842-7489-1.