

Piotr Penkała¹⁾, Tomasz Gorecki¹⁾

MODELOWANIE BRYŁOWE I POWIERZCHNIOWE W SYSTEMACH CAD/CAM

Streszczenie. Wymagania obecnie stawiane przedmiotom projektowania, czyli konstruowanym obiektom, różnią się od wymagań formułowanych tradycyjnie, nie tylko tym, że są coraz ostrzejsze. Pojawiają się wymagania jakościowo nowe, wynikające z tego, że ustawicznie zwiększa się wielkość projektowanych urządzeń i systemów w sensie rozległości i różnorodności obejmowanej tematyki, a także w sensie kompleksowości powiązań zewnętrznych i ponoszonych kosztów. Projektowanie i konstruowanie w systemach komputerowych opiera się o zasadę tworzenia modeli geometrycznych. Narzędzia i metody modelowania geometrycznego muszą być starannie wybrane a znajomość ich jest konieczna do świadomego ich stosowania. W doborze tych metod projektant musi uwzględniać dalsze procesy projektowe, tak, aby model był podstawą całego procesu rozwoju produktu, a nie źródłem problemów projektowych.

Słowa kluczowe: konstruowanie, model geometryczny, modelowanie bryłowe, modelowanie powierzchniowe.

WSTĘP

Projektowanie i konstruowanie należą do dziedziny działań twórczych związanych z tworzeniem środków technicznych lub opracowaniem przedsięwzięć organizacyjnych w związku z wystąpieniem pewnej, rozpoznanej wcześniej potrzeby. Opracowane i wytworzone środki techniczne powinny tę potrzebę zaspokoić. Działania twórcze związane z obmyślaniem środków technicznych stanowią proces projektowo-konstrukcyjny. Istotą tego procesu jest dobór cech konstrukcyjnych tworzonego środka technicznego i ich zapisanie, czyli opracowanie dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej, będącej podstawą do przygotowania procesu wytwarzania.

Wymagania stawiane obecnie przedmiotom projektowania, czyli konstruowanym obiektom, różnią się od wymagań formułowanych tradycyjnie, nie tylko tym, że są coraz ostrzejsze. Pojawiają się wymagania jakościowo nowe, wynikające z tego, że ustawicznie zwiększa się wielkość projektowanych urządzeń i systemów w sensie rozległości i różnorodności obejmowanej tematyki, a także w sensie kompleksowości powiązań zewnętrznych i ponoszonych kosztów.

¹⁾ Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

Powyższe żądania w stosunku do rezultatów projektowania narzucają nowe wymagania dla systemu projektującego. Są to m.in.:

- konieczność angażowania dużej liczby projektantów do jednego zadania,
- konieczność angażowania specjalistów z różnych dziedzin do jednego zadania,
- konieczność angażowania dużych środków finansowych,
- uzyskanie najwyższej jakości projektowania.

To natomiast tworzy nowe żądania w stosunku do procesu projektowania, np.:

- konieczność starannego planowania procesu, dekompozycji zadań i koordynacji prac różnych zespołów,
- umożliwienie współuczestnictwa osobom spoza zespołu projektującego,
- niezbędność optymalizacji działań projektowych ze względu na czas i koszty,
- racjonalizacja zbierania i przechowywania informacji.

Projektowanie jest procesem przetwarzania masowej informacji, a doskonałym narzędziem do realizacji tego celu jest komputer wraz z odpowiednim oprogramowaniem. Niemal od początku rozwoju komputerów poświęcano szczególnie dużo uwagi tej klasie ich zastosowań.

PODSTAWY MODELOWANIA W SYSTEMACH CAD/CAM

Projektowanie i konstruowanie w systemach komputerowych opiera się o zasadę tworzenia modeli geometrycznych wykorzystujących zarówno wiedzę pochodzącą z nauk matematycznych jak i technicznych. Zaawansowane systemy CAD/CAM/CAE oferują szerokie możliwości w zakresie modelowania geometrycznego. Polecenia w poszczególnych programach różnią się pewnymi atrybutami, w każdym z nich można wyróżnić pewne uogólnione metody modelowania geometrycznego. Ze względów użytkowych znajomość tych metod jest bardzo istotna. Okazuje się, że ten sam model geometryczny można wykonać na wiele różnych sposobów. W przypadku złożonego modelu geometrycznego liczba tych sposobów jest praktycznie nieograniczona. Modele wykonane na różne sposoby nie są równoznaczne. Z nieograniczonej liczby hipotetycznych sposobów tworzenia modeli geometrycznych tylko nieliczny procent zapewnia wykonanie poprawnego modelu geometrycznego. Jest to o tyle istotne, że w przeciwieństwie np. do programów graficznych, w których celem jest zapewnienie „dobrego wyglądu” modelu, model w zaawansowanym systemie CAD/CAM/CAE jest tworzony tak, aby spełniał wiele różnych zadań i mógł być zastosowany do wielu dalszych procesów projektowych, w tym między innymi [3]:

- wykonania dokumentacji technicznej,
- analizy kinematycznej,
- analizy dynamiki elementów i zespołów,
- weryfikacji funkcjonalności produktu,
- obliczenia inżynierskiego np. metodą elementów skończonych,

- weryfikacji ergonomicznej,
- zaprojektowania operacji wytwórczych i ich weryfikacji,
- zaprojektowania operacji eksploatacyjnych i ich weryfikacji,
- wizualizacji produktu,
- zapisu dodatkowych informacji uzyskanych w procesie projektowym,
- wprowadzania zmian w projekcie.

Te wszystkie zadania muszą być wykonane na bazie jednego z wcześniej przygotowanych modeli geometrycznych. Dlatego też narzędzia i metody modelowania geometrycznego muszą być starannie wybrane a znajomość ich jest konieczna do świadomego ich stosowania. W doborze tych metod projektant musi uwzględniać dalsze procesy projektowe, tak, aby model był podstawą całego procesu rozwoju produktu, a nie źródłem problemów projektowych.

Rozróżnia się następujące rodzaje komputerowych modeli geometrycznych:

- modele bryłowe,
- modele powierzchniowe,
- modele krawędziowe.

Modele te różnią się zasadniczo między sobą. Modele krawędziowe składają się i punktów i krawędzi. Krawędziami mogą być linie proste lub krzywe. Modele powierzchniowe są zbudowane z powierzchni (niekoniecznie płaskich) oraz krawędzi ograniczających te powierzchnie. Natomiast modele bryłowe zbudowane są z powierzchni i krawędzi ograniczających te powierzchnie oraz dodatkowo przestrzeni ograniczonej przez te powierzchnie. Model bryłowy najwierniej odzwierciedla rzeczywiste przedmioty. Należy zauważyć, że rodzaj modelu nie ma nic wspólnego ze sposobem wyświetlania danego modelu na ekranie komputera. Model bryłowy może być wyświetlany jako tzw. model drutowy i nie znaczy to wcale, że jest to model krawędziowy.

MODELOWANIE BRYŁOWE W SYSTEMACH CAD/CAM

W modelowaniu bryłowym zasadniczą rolę odgrywają płaskie (dwuwymiarowe) profile, służące do definiowania poszczególnych operacji: wyciągnięć, wycięć itd. Przy tworzeniu modelu mogą być stosowane również inne obiekty (np. krzywe) jednak profile pozostają zasadniczym elementem definiowania kształtu bryły. Modelowanie bryłowe pozwala w zasadzie na uzyskanie dowolnych kształtów, procedura ich tworzenia, a zwłaszcza edycji, nie jest jednak optymalna z punktu widzenia użytkownika tworzącego modele o bardzo dużym stopniu skomplikowania. Z tego też względu modelowanie bryłowe jest stosowane głównie tam, gdzie najważniejsze jest spełnienie założeń konstrukcyjnych dotyczących funkcjonalności projektowanego wyrobu, zaś estetyka odgrywa mniejszą rolę.

Podstawowymi metodami tworzenia modeli bryłowych są :

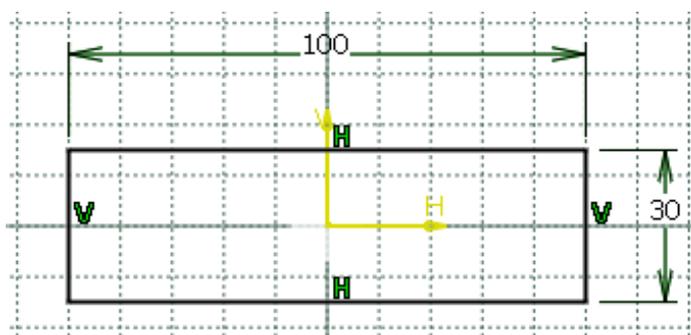
- wyciągnięcie lub obrót profilu,

- edycja cech modelu bryłowego,
- operacje logiczne na bryłach.

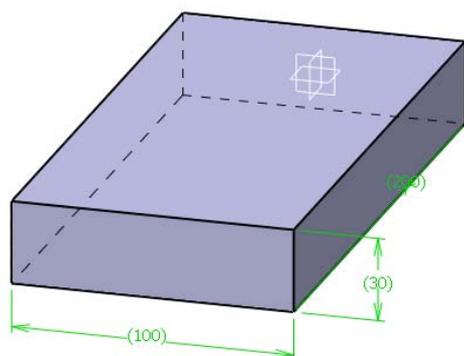
Wyciągnięcie lub obrót profilu

Pierwsza metoda – wyciągnięcie lub obrót profilu, polega na wyciągnięciu pewnego wcześniej zdefiniowanego profilu wzdłuż zadanego odcinka prostej lub krzywej lub obrót profilu względem pewnej osi. Załóżmy, że profilem będzie prostokąt o wymiarach $a = 100$ mm, $b = 30$ mm (rys. 1).

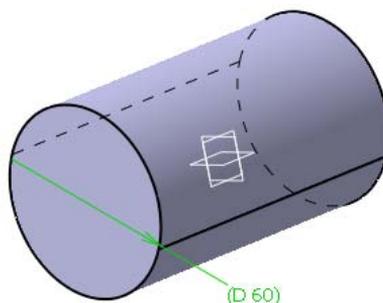
Gdy dokonamy wyciągnięcia tego profilu wzdłuż odcinka o długości 200 mm prostopadłego do płaszczyzny szkicu, otrzymamy prostopadłościan o wymiarach $100 \times 30 \times 200$ mm (rys. 2). Natomiast, gdy dokonamy obrotu profilu względem osi będącej zarazem jednym z boków prostokąta, da nam w to w efekcie walec (rys. 3).



Rys. 1. Szkic profilu wraz z wymiarami



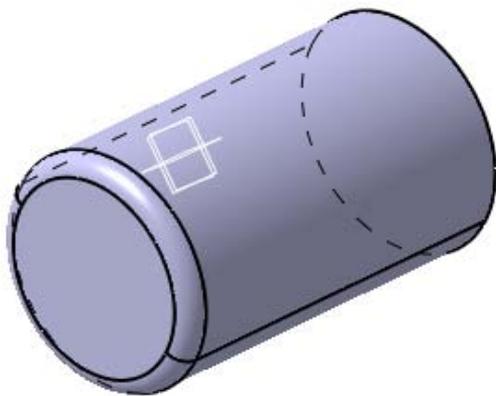
Rys. 2. Bryła uzyskana w wyniku wyciągnięcia profilu



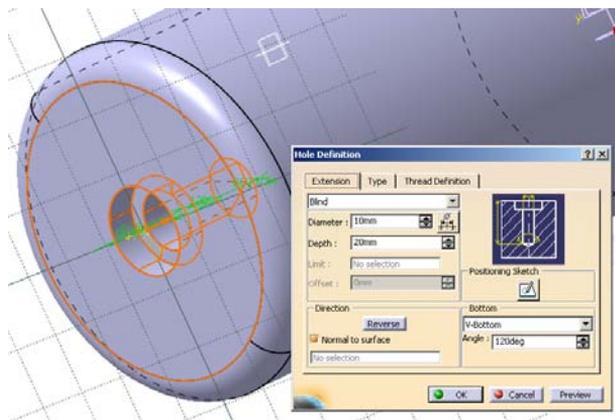
Rys. 3. Bryła uzyskana w wyniku operacji obrotu profilu

Edycja cech modelu bryłowego

Edycja cech modelu bryłowego jest najbardziej efektywnym sposobem modelowania. Polecenia edycyjne są związane najczęściej z pewnymi operacjami technologicznymi. Polecenia te obejmują proste operacje, jak np. fazowanie czy zaokrąglenie krawędzi (rys. 4) lub bardziej złożone operacje, jak np. tworzenie złożonych otworów (rys. 5).



Rys. 4. Zaokrąglenie jako cecha krawędzi walca



Rys. 5. Otwór jako cecha powierzchni bryły

Do wykonania polecenia edycyjnego danej cechy musimy już posiadać model geometryczny, a wykonanie polecenia edycyjnego nadaje modelowi jakieś nowe cechy. Dana cecha jest bezpośrednio związana z pewną częścią modelu, np. zaokrąglenie jest dodatkową cechą krawędzi, a otwór jest cechą powierzchni bryły.

MODELOWANIE POWIERZCHNIOWE W SYSTEMACH CAD/CAM

W modelowaniu powierzchniowym również mogą być (i są) wykorzystywane profile, jednak zasadniczą rolę przy tworzeniu modelu odgrywają punkty kontrolne, służące do definiowania krzywych – zarówno płaskich, jak i przestrzennych. Na krzywych tych z kolei rozpinane są powierzchnie. Powierzchnie takie można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej należą te, które mogą być opisane za pomocą wzorów matematycznych, na przykład powstałe przez obrót krzywych stożkowych (parabola, hiperbola); powierzchnie takie są stosowane m.in. do definiowania kształtu złożonego. Druga grupa to powierzchnie swobodne, składające się z nieskończonej liczby punktów, opisywanych jedynie przez ich współrzędne. Współrzędne te nie są powiązane zależnościami matematycznymi. Pozwala to na dużą elastyczność przy modelowaniu – z tego względu modelowanie powierzchniowe stosowane jest głównie tam, gdzie występują bardzo złożone kształty modeli lub istotna jest estetyka wykonania, np. przy projektowaniu artykułów codziennego użytku [1].

Modelowanie powierzchniowe znajduje zastosowanie w przypadku, gdy powierzchnia elementu projektowanego ma zbyt skomplikowany kształt, aby zamodelować ją tradycyjnymi metodami modelowania bryłowego. Funkcje modelowania powierzchni są nastawione na modelowanie złożonych kształtów powierzchni i w takim przypadku doskonale się sprawdzają. Często jest tak, że w całej konstrukcji jeden lub kilka elementów mają złożone kształty i muszą być modelowane metodami modelowania powierzchni - wynikiem tego procesu są modele powierzchniowe tych elementów. Reszta elementów konstrukcji jest zamodelowana innymi technikami i zapisana jako modele bryłowe. Dla zgodności form modelu całej konstrukcji modele powierzchniowe są przekształcane na modele bryłowe. Takie modele noszą nazwę modeli hybrydowych. Są one tworzone technikami modelowania powierzchniowego i za pomocą zestawu funkcji, przekształcających je do formy modelu bryłowego, przekształcane w następnej fazie do modelu bryłowego. Dalej takie modele bryłowe mogą być edytowane tradycyjnymi technikami modelowania bryłowego [2].

Do tworzenia modeli powierzchniowych można stosować kilka metod. Najważniejsze z nich to:

- wyciągnięcie równoległe profilu lub wzdłuż zadanej ścieżki,
- obrót profilu wokół wybranej osi,
- operacje przycinania i łączenia powierzchni,
- edycja cech modelu powierzchniowego,
- modelowanie swobodne,
- rozwinięcie powierzchni na profilach [4].

Cztery pierwsze metody są bezpośrednim przeniesieniem metod stosowanych w modelowaniu bryłowym, i jako takie, dla głównego zastosowania, czyli odzwierciedlenia kształtu powierzchni, która nie da się określić technikami modelowania bryłowego, nie wnoszą nic nowego. Za pomocą tych czterech pierwszych metod dają się zamode-

lować tylko takie kształty, które dają się zamodelować bezpośrednio metodami modelowania bryłowego. Dwie ostatnie metody są najbardziej wydajne dla modelowania złożonych kształtów.

Modelowanie powierzchniowe poprzez wyciągnięcie równoległe profilu lub wzdłuż zadanej ścieżki

Ten sposób modelowania jest bardzo zbliżony do modelowania brył poprzez wyciągnięcie profilu. Jediną różnicą jest to, że model powierzchniowy posiada tylko ścianki boczne, brak jest „wypełnienia”, z którym mamy do czynienia w modelowaniu bryłowym. Wynika z tego, że w modelowaniu powierzchniowym można wyciągać profil, który nie jest domknięty.

Sposób postępowania w tego typu modelowaniu jest podobny do modelowania bryłowego tzn. konieczne jest w pierwszym kroku narysowanie profilu, a następnie, w drugim kroku następuje jego przesunięcie w kierunku prostopadłym do płaszczyzny konturu. Możemy też przesuwać kontur wzdłuż zadanej ścieżki (prostej lub krzywej), którą wcześniej zdefiniujemy.

Modelowanie poprzez wyciągnięcie w programie CATIA przeprowadzamy w module **Generative Shape Design**. Następnie wchodzimy do szkicownika (funkcja *Sketcher*). Po narysowaniu odpowiedniego profilu wychodzimy ze szkicownika. Narysowany profil wyciągamy za pomocą narzędzia **Extrude**  (rys. 6).

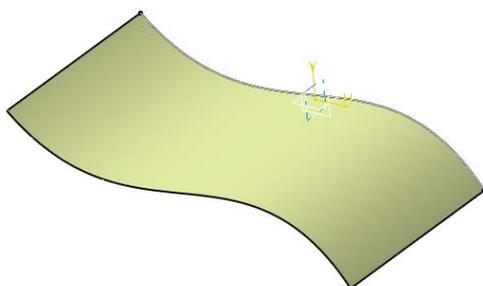
W otwartym oknie **Extruded Surface Definition** wybieramy:

- *Profile* – profil, który chcemy przesunąć (nasz narysowany profil).
- *Direction* – płaszczyznę, względem której przesuujemy narysowany kontur (dla zamkniętego, płaskiego profilu jest to płaszczyzna równoległa do profilu; dla linii jest to każda płaszczyzna równoległa do linii).
- *Reverse Direction* – kierunek przesunięcia.
- *Extrusion Limits* – długość przesunięcia ustalana za pomocą okien *Limit 1*, *Limit 2*.



Rys. 6. Okno narzędzia Extrude

Wybór potwierdzamy naciskając **OK**. Efekt końcowy widoczny jest na rysunku 7. Powierzchnia powstała poprzez wyciągnięcie profilu – krzywej spline.



Rys. 7. Tworzenie modelu powierzchni poprzez przesunięcie profilu

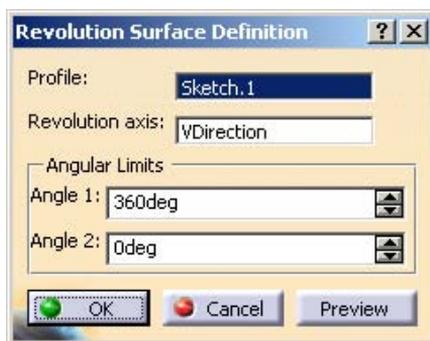
Modelowanie powierzchniowe poprzez obrót profilu wokół wybranej osi

Modelowanie to umożliwia otrzymanie powierzchni obrotowej. Sposób postępowania przy tego typu modelowaniu jest analogiczny jak w modelowaniu bryłowym, tzn. wymagane jest kolejno narysowanie profilu, a następnie jego obrócenie wokół osi obrotu. Podobnie jak w modelowaniu bryłowym poprzez obrót, oś obrotu musi być wcześniej zdefiniowana lub może być osią symetrii automatycznie rozpoznawaną przez program.

Do modelowania stosujemy moduł *Generative Shape Design*. Narysowany profil obrócimy przy pomocy narzędzia *Revolve*  (rys. 8)

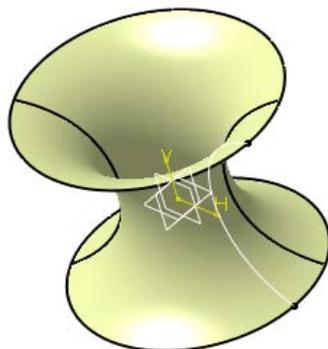
W oknie **Revolution Surface Definition** wybieramy:

- profil, który chcemy obrócić – pole *Profile*;
- oś obrotu – pole *Revolution Axis*;
- zakres obrotu – pole *Angular Limits*.



Rys. 8. Okno narzędzia Revolve

Efekt końcowy widoczny jest na rysunku 9.



Rys. 9. Powierzchnia wykonana poprzez obrót profilu

PODSUMOWANIE

W modelowaniu bryłowym zasadniczą rolę odgrywają płaskie (dwuwymiarowe) profile, służące do definiowania poszczególnych operacji: wyciągnięć, wycięć itd. Oczywiście, przy tworzeniu modelu mogą być stosowane również inne obiekty (np. krzywe) jednak profile pozostają zasadniczym elementem definiowania kształtu bryły. Modelowanie bryłowe pozwala w zasadzie na uzyskanie dowolnych kształtów, procedura ich tworzenia, a zwłaszcza edycji, nie jest jednak optymalna z punktu widzenia użytkownika tworzącego modele o bardzo dużym stopniu skomplikowania. Z tego też względu modelowanie bryłowe jest stosowane głównie tam, gdzie najważniejsze jest spełnienie założeń konstrukcyjnych dotyczących funkcjonalności projektowanego wyrobu, zaś estetyka odgrywa mniejszą rolę.

W modelowaniu powierzchniowym również mogą być (i są) wykorzystywane profile, jednak zasadniczą rolę przy tworzeniu modelu odgrywają punkty kontrolne, służące do definiowania krzywych – zarówno płaskich, jak i przestrzennych. Na krzywych tych z kolei rozpinane są powierzchnie. Powierzchnie takie można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej należą te, które mogą być opisane za pomocą wzorów matematycznych, na przykład powstałe przez obrót krzywych stożkowych (parabola, hiperbola); powierzchnie takie są stosowane m.in. do definiowania kształtu odbłyśników lamp. Druga grupa to powierzchnie swobodne składające się z nieskończonej liczby punktów, opisywanych jedynie przez ich współrzędne. Współrzędne te nie są powiązane zależnościami matematycznymi. Pozwala to na dużą elastyczność przy modelowaniu – z tego względu modelowanie powierzchniowe stosowane jest głównie tam, gdzie występują bardzo złożone kształty modeli lub istotna jest estetyka wykonania, np. przy projektowaniu artykułów codziennego użytku.

W wielu przypadkach korzystne jest połączenie obu sposobów modelowania. Przykładowo, w pierwszym etapie projektowania elementu urządzenia gospodarstwa do-

mowego (odkurzacz, robot kuchenny) można wykorzystać techniki powierzchniowe, aby uzyskać estetyczny wygląd wyrobu, a następnie na podstawie utworzonych powierzchni zdefiniować model bryłowy, który może posłużyć np. do analizy wytrzymałościowej lub symulacji pracy. Takie połączenie modelowania bryłowego i powierzchniowego nazywamy modelowaniem hybrydowym.

PIŚMIENNICTWO

1. Kazimierczak G., Pacuła B. Solid Edge. Komputerowe wspomaganie projektowania. Wydawnictwo Helion, Gliwice 2004.
2. Skarka W., Mazurek A. Catia – podstawy modelowania i zapisu konstrukcji. Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.
3. Tarnowski W. Podstawy projektowania technicznego. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
4. Winkler T. Komputerowy zapis konstrukcji. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.

SOLID AND SURFACE MODELING IN CAD/CAM SYSTEMS

Summary

The requirements currently placed on the subjects of design, which is engineered objects, differ from the requirements traditionally formulated, not only because they are getting tougher. Appear qualitatively new requirements arising from the fact that the constantly increasing size of the proposed equipment and systems in terms of breadth and diversity of the male subjects, and also in terms of external relations of the complexity and costs. Design and construction of computer systems based on the principle of geometric modeling. Tools and methods for geometric modeling must be carefully selected, and the knowledge they need to be conscious of their use. In choosing these methods, the designer must take into account a further design processes, so that the model was based on the entire product development process, not a source of design problems.

Keywords: construction, geometric model, solid modeling, surface modeling.