

Charakterystyka procesu wirtualnego projektowania – parametrycznego modelowania 3D części, zespołów części oraz wykonywania dokumentacji technicznej 2D

Prowadzący: ppłk dr inż. Paweł PŁATEK

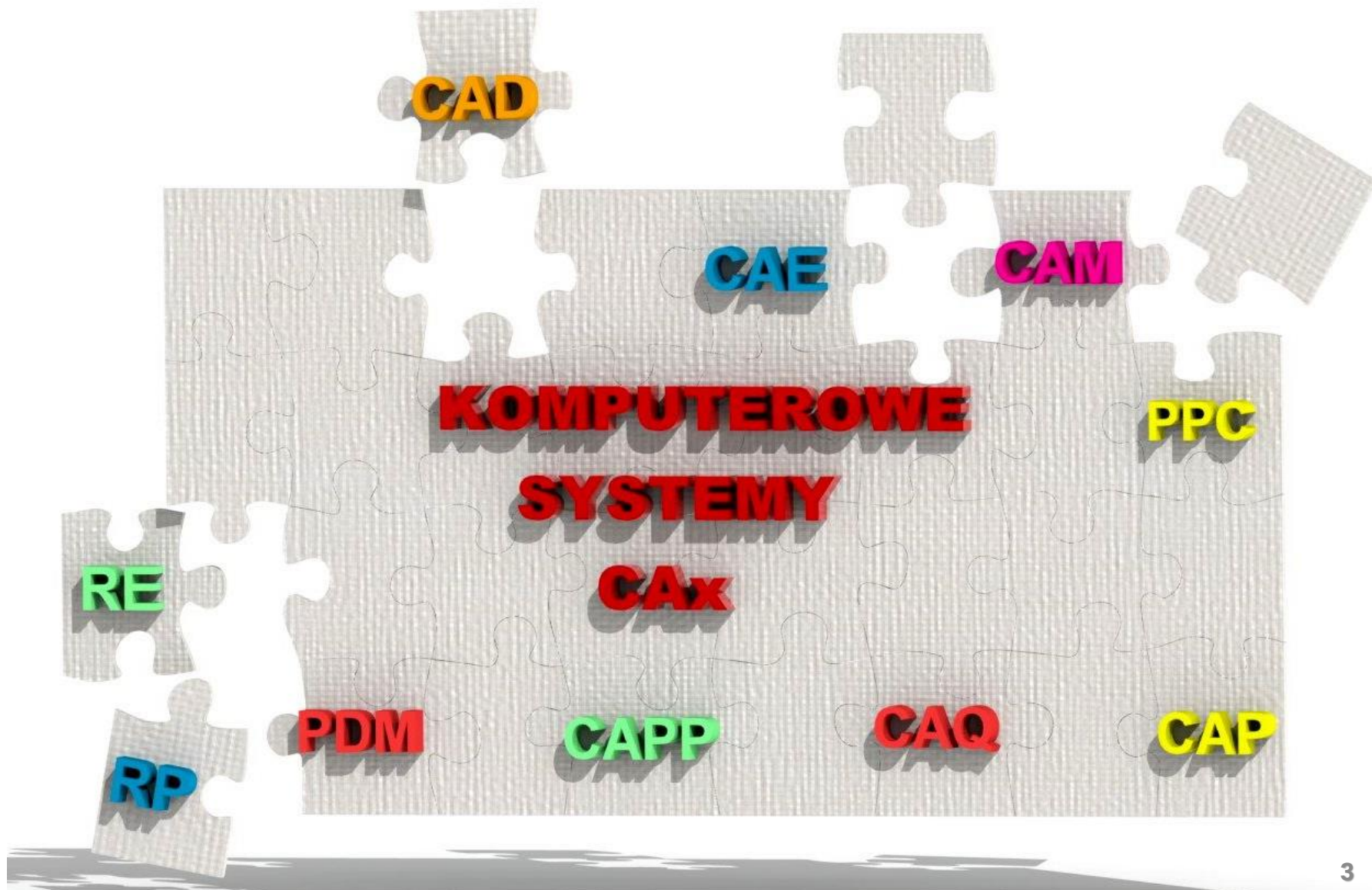
WYDZIAŁ MECHATRONIKI, UZBROJENIA I LOTNICTWA, semestr letni 2024/2025

Charakterystyka komputerowych systemów inżynierskich CAx

Komputerowe systemy inżynierskie CAx są to narzędzia informatyczne wspomagające prace inżynierskie w zakresie projektowania i konstruowania, przygotowania do realizacji procesu produkcji, jej realizacji oraz tzw. zarządzania cyklem życia produktu.

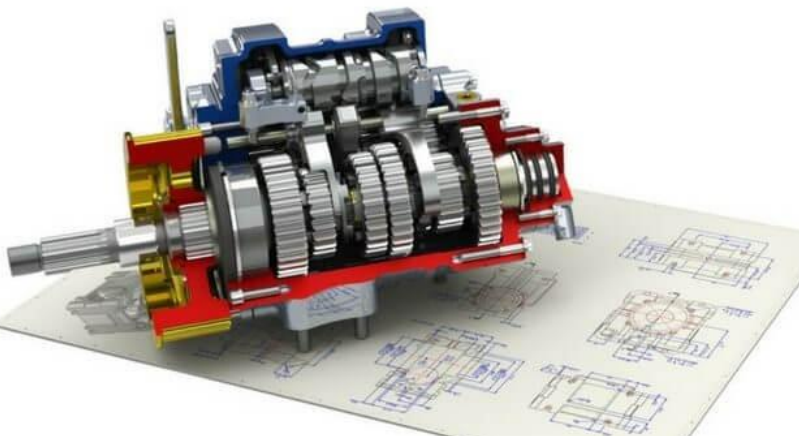


Charakterystyka komputerowych systemów inżynierskich CAx



Komputerowe systemy inżynierskie CAX – obszar zastosowania

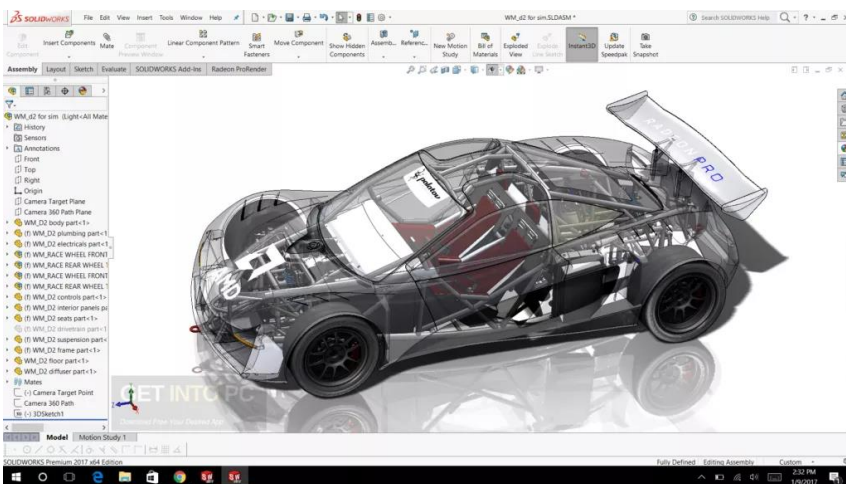
Przemysł motoryzacyjny



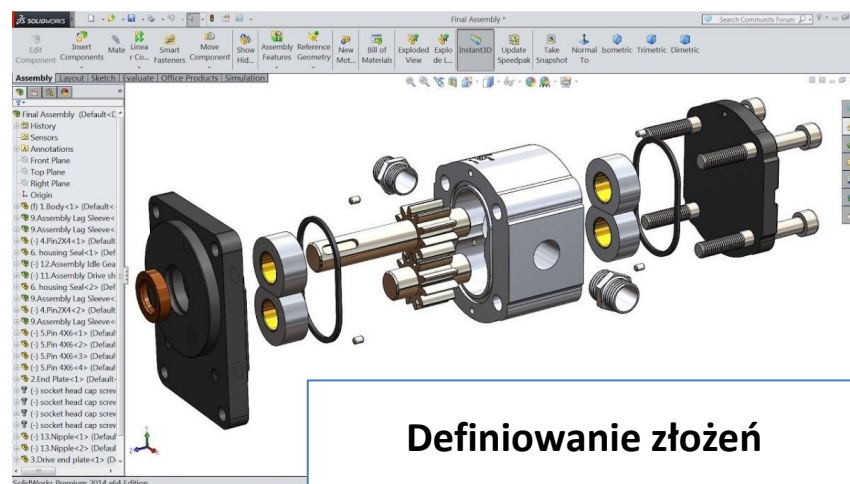
Projektowanie układów mechanicznych



Przygotowanie oprzyrządowania produkcyjnego



Kompleksowa realizacja projektu

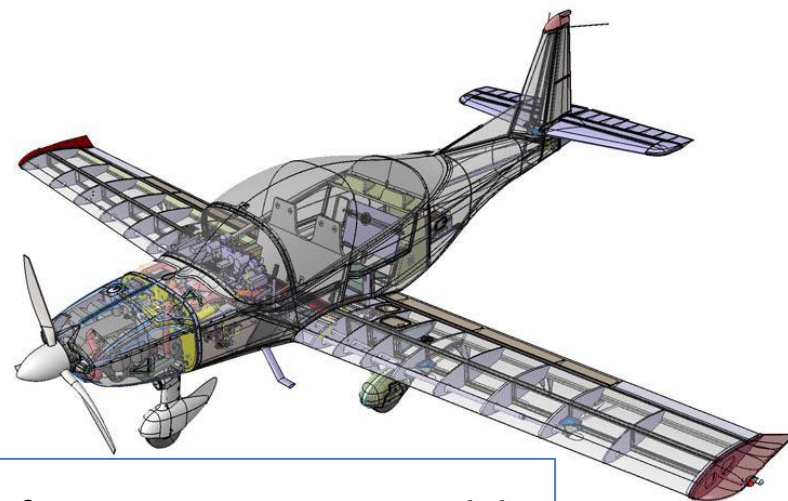


Definiowanie złożeń

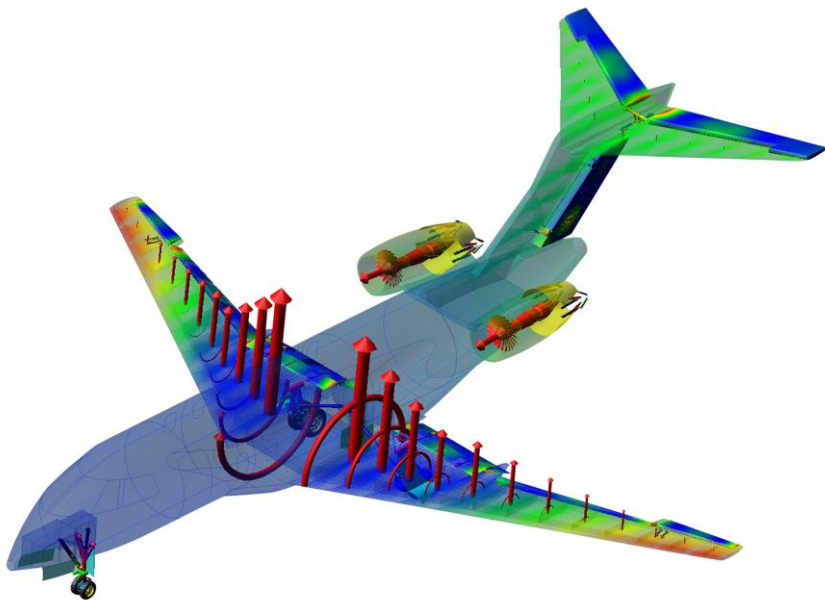
Przemysł lotniczy



Kompleksowa realizacja projektu



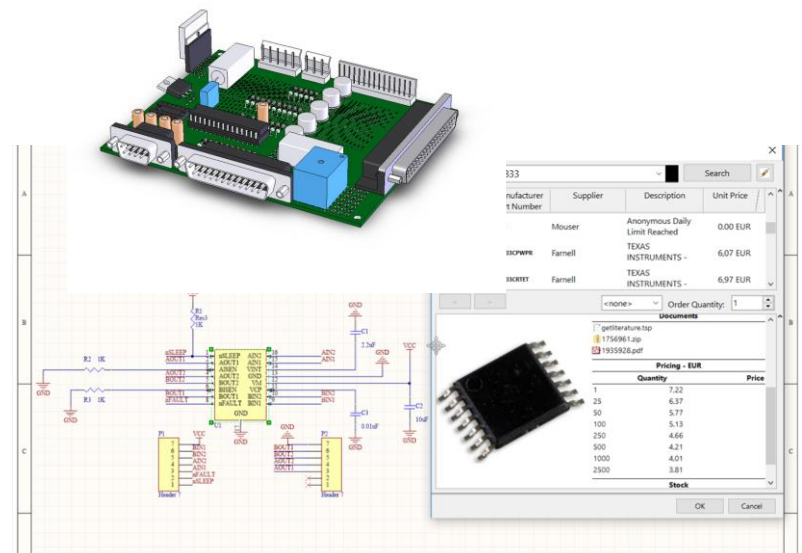
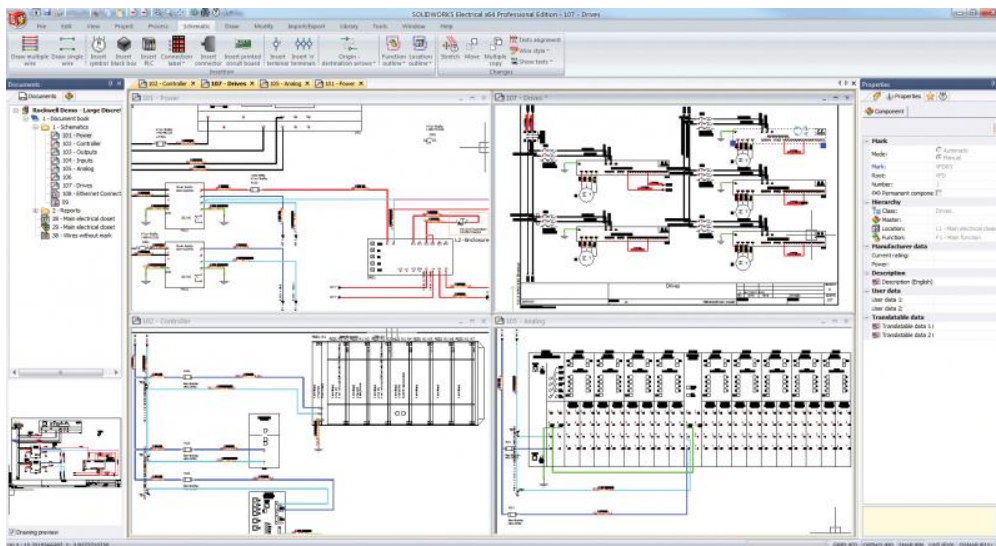
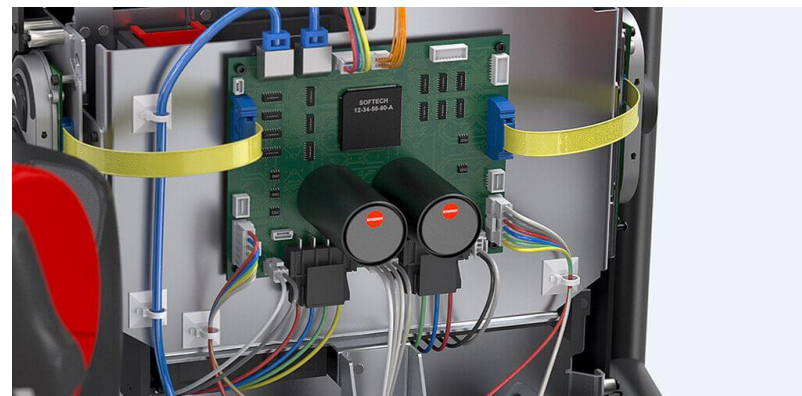
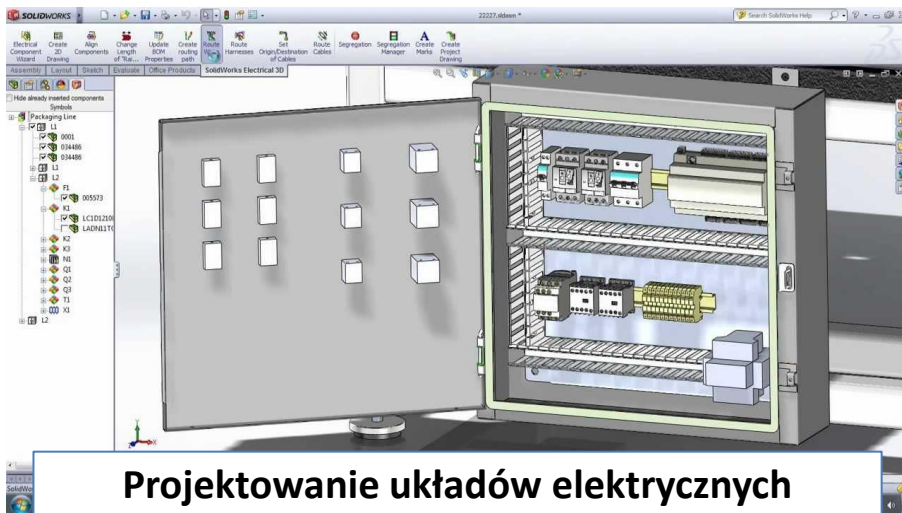
Definiowanie geometrii modelu



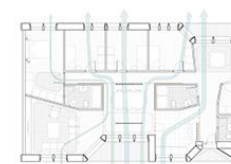
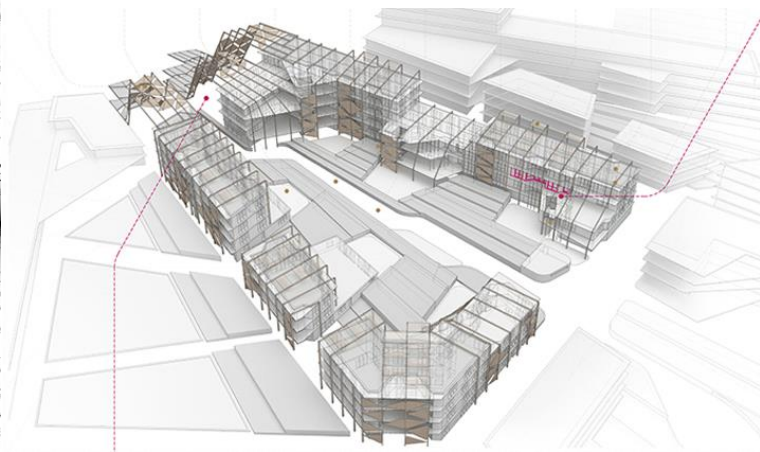
Określenie właściwości wytrzymałościowych

Komputerowe systemy inżynierskie CAx – obszar zastosowania

Układy elektrycznych i elektronicznych



Projektowanie obiektów architektonicznych



Secondary calculation: Additional night ventilation for cooling

Parameter	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value
Room volume	m³	100	Room volume	m³	100	Room volume
Room height	m	2.5	Room height	m	2.5	Room height
Room area	m²	40	Room area	m²	40	Room area
Room perimeter	m	20	Room perimeter	m	20	Room perimeter
Room volume	m³	100	Room volume	m³	100	Room volume
Room height	m	2.5	Room height	m	2.5	Room height
Room area	m²	40	Room area	m²	40	Room area
Room perimeter	m	20	Room perimeter	m	20	Room perimeter
Room volume	m³	100	Room volume	m³	100	Room volume
Room height	m	2.5	Room height	m	2.5	Room height
Room area	m²	40	Room area	m²	40	Room area
Room perimeter	m	20	Room perimeter	m	20	Room perimeter



SBPD SUSTAINABLE BUILDING
PERFORMANCE & DESIGN

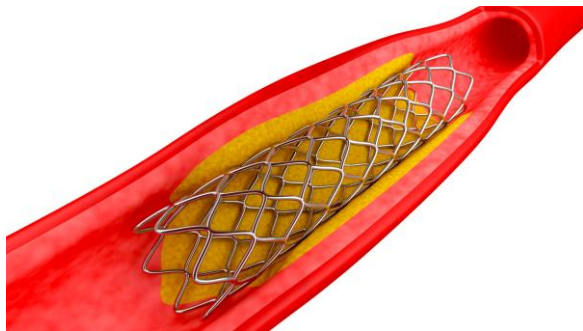
Wizualizacja obiektów



Kompleksowe
przygotowanie
dokumentacji projektowej



Medycyna



**Projektowanie stentów
naczyniowych**



Projektowanie implantów kostnych



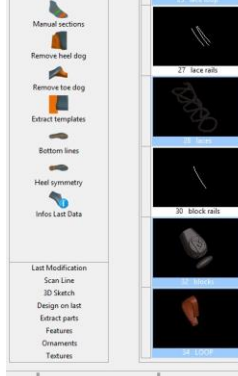
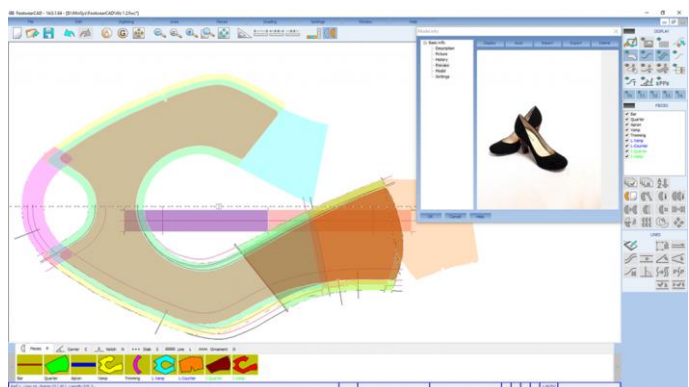
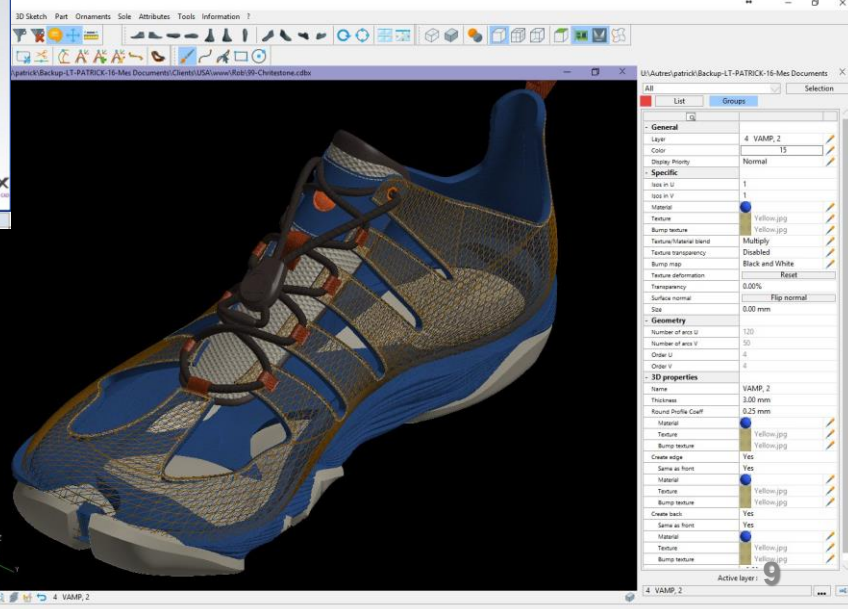
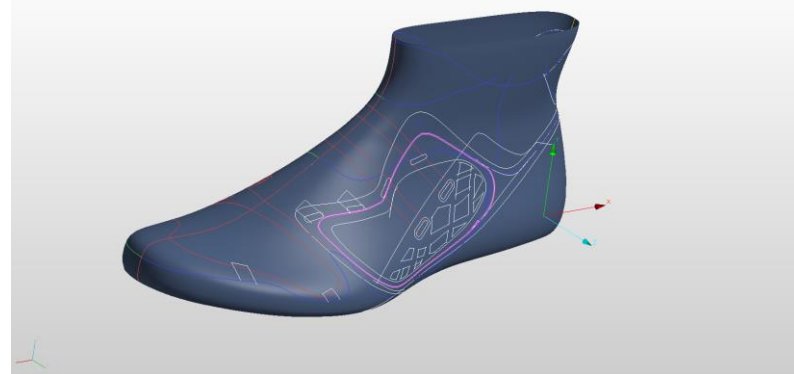
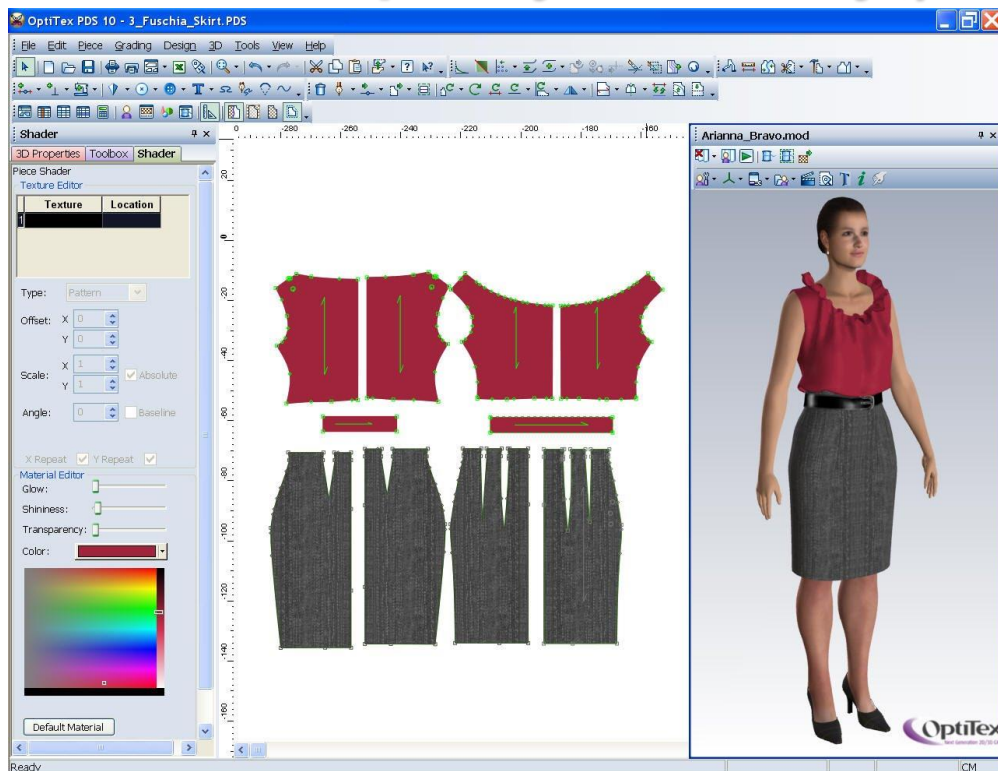
Projektowanie implantów stomatologicznych



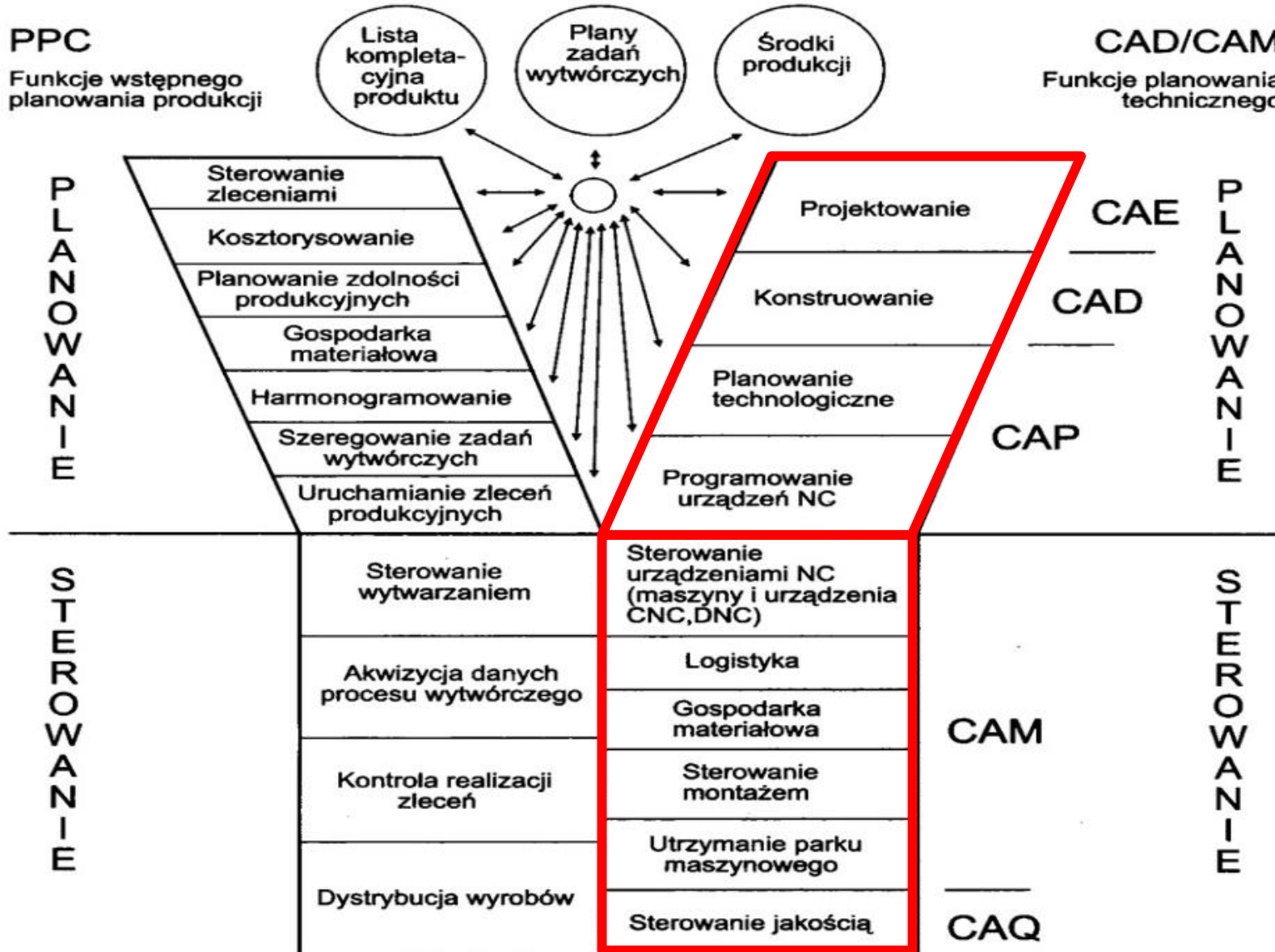
Projektowanie zaawansowanych protez

Komputerowe systemy inżynierskie CAx – obszar zastosowania

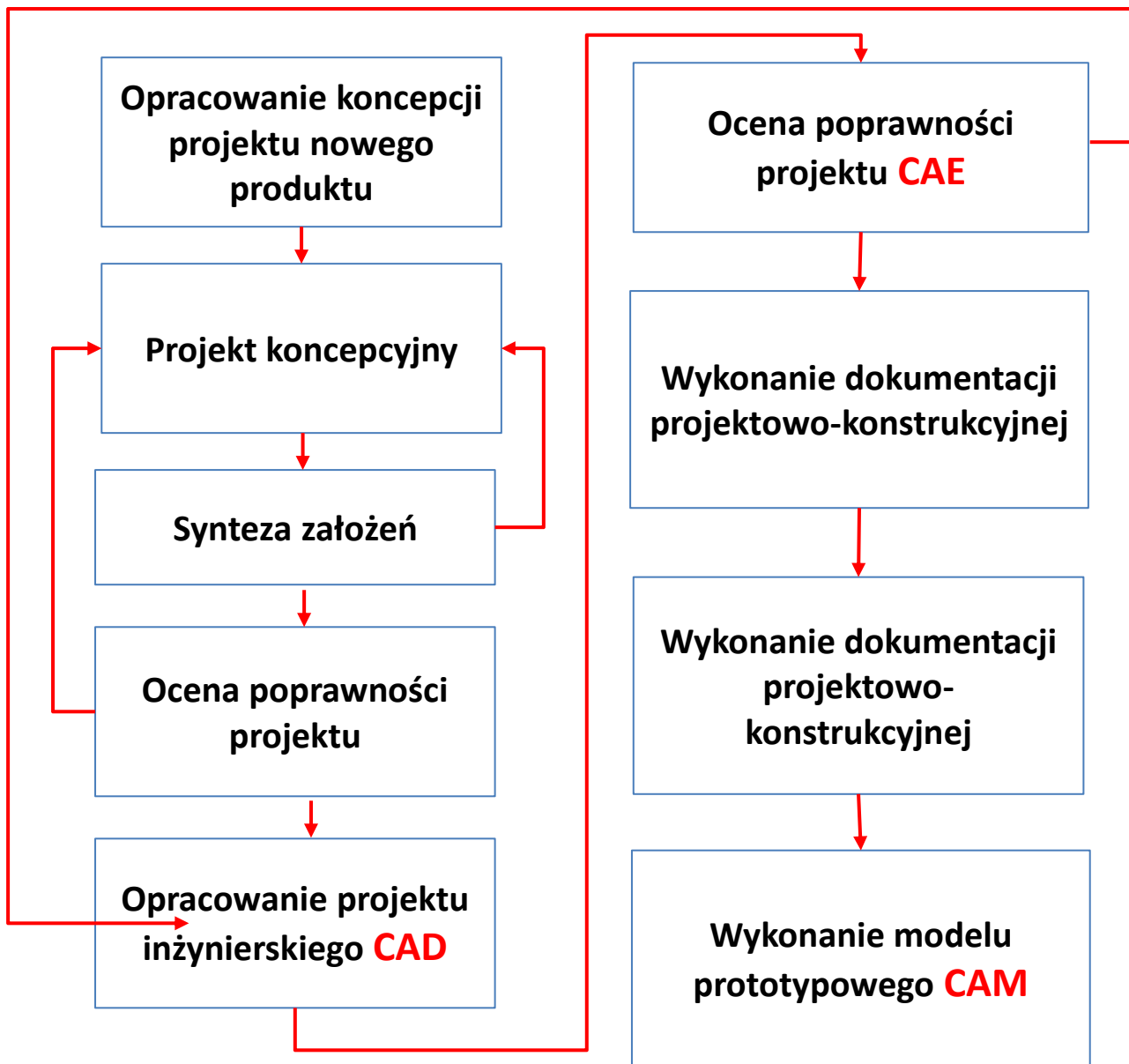
... nawet przemysł odzieżowy ;)



Rola systemów inżynierskich CAX



Wsparcie procesu rozwoju produktu - CAx



Wsparcie procesu rozwoju produktu - CAx

POMYSŁ

Zdefiniowanie wymagań

DEFINICJA
PRODUKTU

Określenie podstawowych funkcjonalności
opracowywanego produktu

KONCEPCJA

Zdefiniowanie głównych założeń oraz celów
projektu

ROZWÓJ PRODUKTU

Szkice odręczne
Projektowanie CAD
Obliczenia inżynierskie
Wykonanie modelu prototypowego
Testowanie

CAx

Variant 1

Variant 2

Variant 3

Variant N

$$\text{CA}\underline{x} = \text{CAD}\underline{/}\text{CAM}\underline{/}\text{CAE}\underline{}$$

Komputerowe wspomaganie projektowania **CAD**
Computer Aided Design

Komputerowe wspomaganie wytwarzania **CAM**
Computer Aided Manufacturing

Komputerowe wspomaganie obliczeń inżynierskich **CAE**
Computer Aided Engineering

CAD – komputerowo wspomagane projektowanie

Systemy CAD są to narzędzia i techniki wspomagające prace w zakresie projektowania, modelowania geometrycznego, obliczeniowej analizy z wykorzystaniem metody elementów skończonych oraz tworzenia i opracowywania dokumentacji projektowej.

Podstawowe funkcje systemów CAD

*odzworowanie
konstrukcji*

*przetwarzanie
danych*

wykonywanie
modeli 3D

archiwizacja
danych

wykonywanie
dokumentacji
2D

biblioteki
elementów
głównych

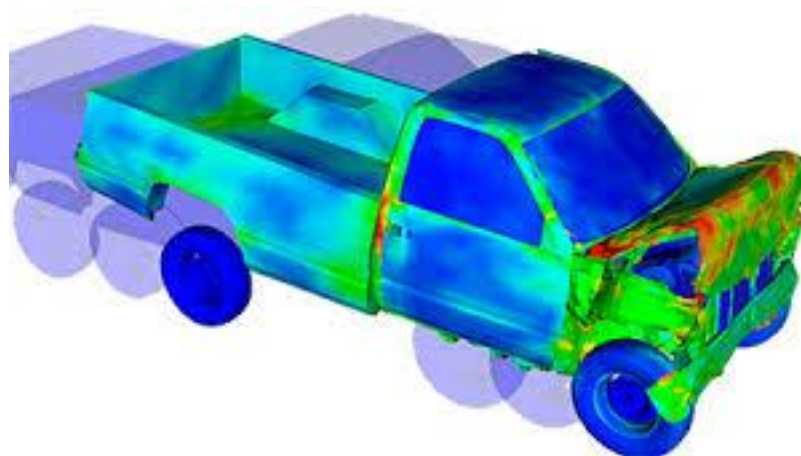
Systemy CAM są to narzędzia i techniki wspomagające prace w zakresie przygotowania programu sterującego pracą maszyn sterowanych numerycznie CNC (tokarki, frezarki, centra obróbcze, narzędzia do obróbki elektroerozyjnej, systemy przygotowujące kody sterujące pracą drukarek 3D)

Zalety systemów CAM

- ❖ poprawnie zdefiniowany plan produkcyjny, przynoszący oczekiwane wyniki podczas produkcji,
- ❖ możliwość wykorzystania pełnego zakresu oprzyrządowania produkcyjnego, w tym związanego z obróbką szybkościową i 5-osiową, tokarkami i obrabiarkami wielofunkcyjnymi, obrabiarkami elektroerozyjnymi (EDM) oraz urządzeniami pomiarowymi CMM,
- ❖ opracowywanie, weryfikacja i optymalizacja programów NC dla zapewnienia optymalnej wydajności produkcji,
- ❖ automatyzacja procesu generowania kodów sterujących pracą maszyn NC

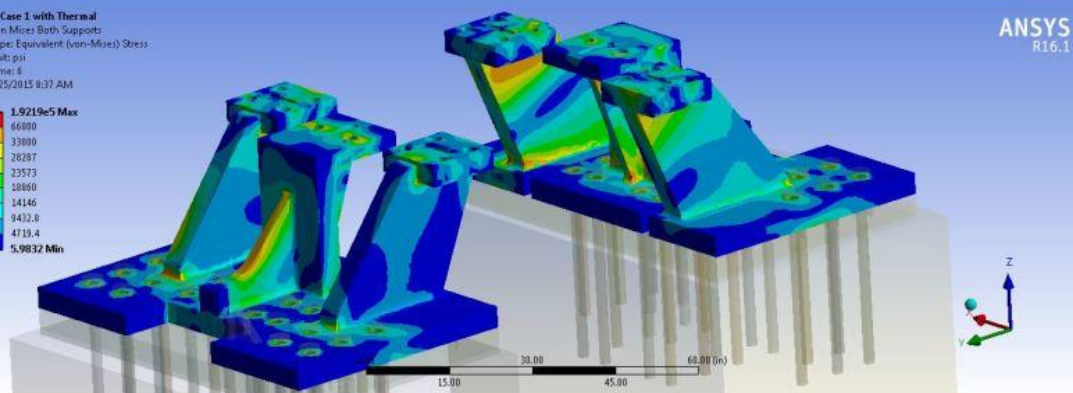
CAE – komputerowo wspomagane obliczenia inżynierskie

Systemy CAE są to systemy wspomagające prace inżynierskie w zakresie modelowania numerycznego. Dzięki nim możliwe jest testowanie nowoprojektowanych części oraz układów w środowisku wirtualnym poprzez minimalizację liczby prototypów, redukcję kosztów i czasu trwania długotrwałych badań eksperymentalnych.



Br Case 1 with Thermal
Von Mises Both Supports
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: psi
Time: 6
6/25/2015 9:37 AM

1.9219e5 Max
66800
33880
28287
23573
18860
14146
9432.8
4719.4
5.9832 Min



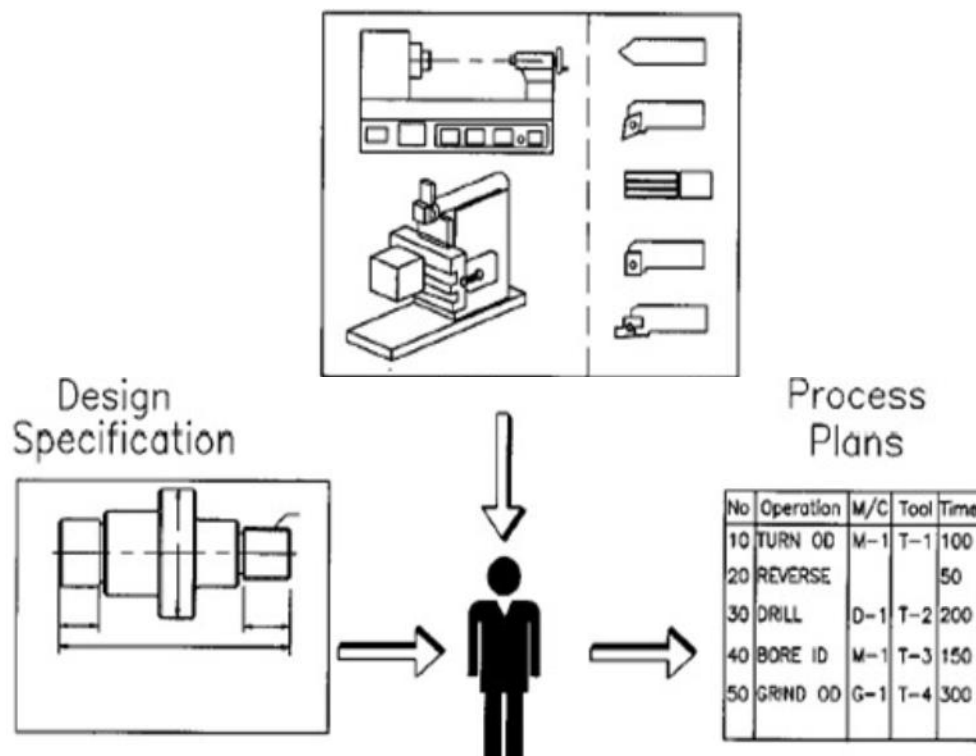
CAX i inne dziedziny pokrewne:

- ❖ **CIM** - Computer Integrated Manufacturing:
 - komputerowo zintegrowane wytwarzanie
- ❖ **PPC** - Production Planning and Control:
 - planowanie i sterowanie produkcją
- ❖ **CAP** - Computer Aided Planning:
 - komputerowe wspomaganie planowania
- ❖ **CAQ** - Computer Aided Quality Control:
 - komputerowo wspomagane sterowanie jakością
- ❖???

❖ CAP - Computer Aided Planning:

- komputerowe wspomaganie planowania

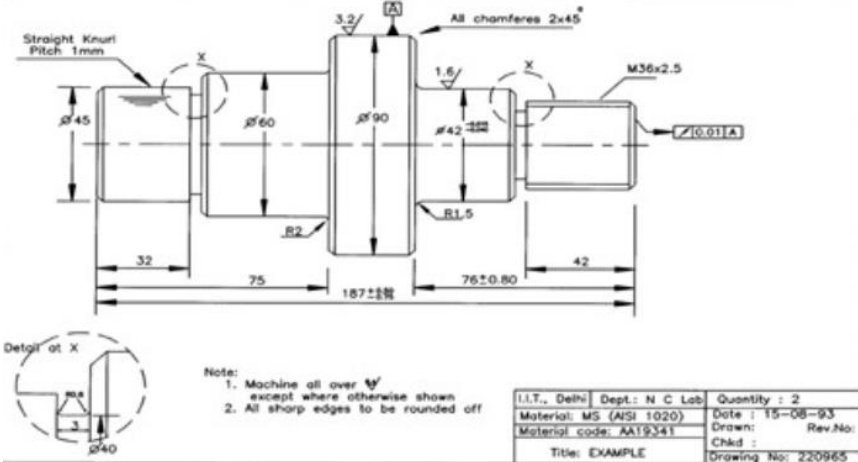
Wspomaga projektowanie technologiczne, obejmujące opracowanie dokumentacji technologicznej z uwzględnieniem modelu geometrycznego przedmiotu, jego stanów pośrednich, narzędzi, oprzyrządowania, rodzaju maszyny i parametrów obróbki. Systemy CAP wspomagają, prace związane z programowaniem urządzeń sterowanych numerycznie: obrabiarek, robotów, współrzędnościowych maszyn pomiarowych, systemów transportowych.



❖ CAPP - Computer Aided Process Planning:

- komputerowo wspomagane planowanie procesów

Ta klasa systemów jest szersza niż klasa CAP. W zakresie zastosowań CAPP mieszczą się także wszystkie metody i techniki technologicznego przygotowania produkcji realizowanej w konwencjonalnych technologiach, wspomaganych technikami komputerowymi i systemami ekspertowymi.

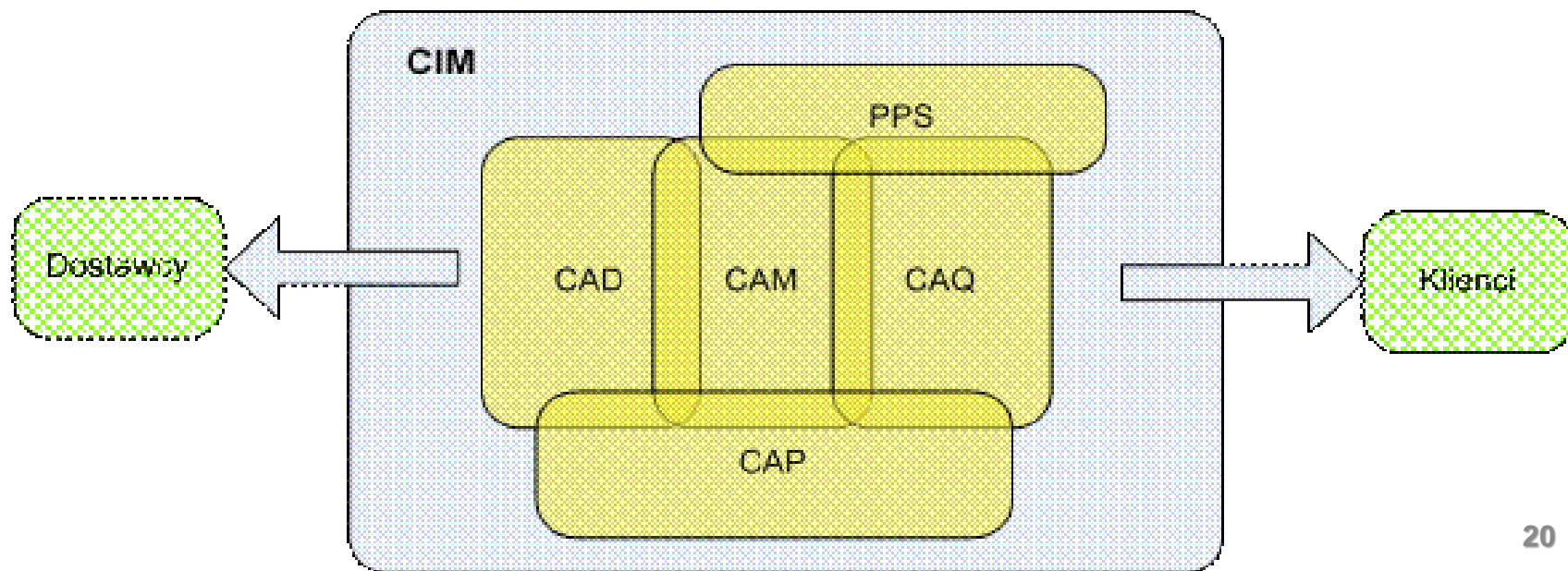


❖ **CIM** - Computer Integrated Manufacturing:

- komputerowo zintegrowane wytwarzanie

Computer Integrated Manufacturing

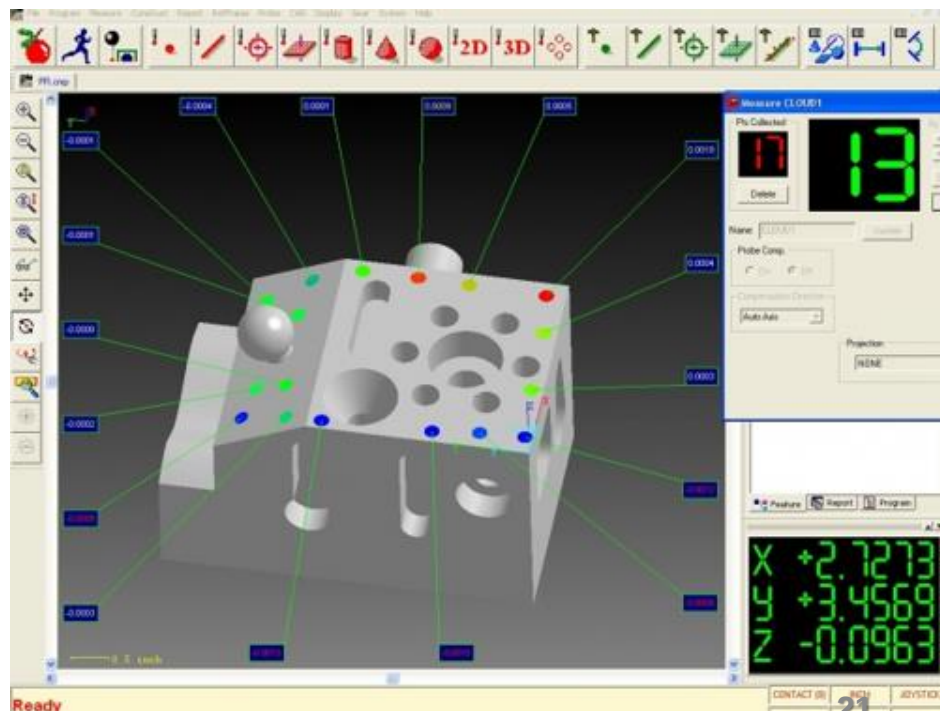
CIM - obejmuje zintegrowane zastosowanie komputerów we wszystkich związanych z produkcją obszarach działania przedsiębiorstwa. Obejmuje techniczno-informacyjne współdziałanie między CAD, CAP, CAM, CAQ i PPS. W wyniku wdrożenia CIM powinna być osiągnięta integracja technicznych i integracyjnych funkcji, mających na celu wytworzenie produktu. Warunkiem udanego zastosowania idei CIM jest wspólne wykorzystanie wspólnej bazy danych.



❖ CAQ - Computer Aided Quality Control:

- komputerowo wspomagane sterowanie jakością

Są to metody i techniki komputerowego wspomaganie planowania i realizacji procesów pomiarowych, a także procedur kontroli jakości. Systemy te, najczęściej sprzężone z systemami CAD przez model geometryczny lub przez programy bądź procedury pomiarowe, są zintegrowane z systemami PPC, CAP i CAM, głównie w części odnoszącej się do pomiarów na współrzędnościowej maszynie pomiarowej.



❖ PPC - Production Planning and Control:

- planowanie i sterowanie produkcją

Systemy te realizują dwa podstawowe zadania:

planowanie produkcją – planowanie programu produkcji, zapotrzebowania materiałowego oraz zasobów do realizacji zleceń – wynikiem tych planów są harmonogramy stanowiące podstawę sterowania produkcją;

sterowanie produkcją – uruchamianie zleceń i czynności związane z kontrolą ich realizacji;



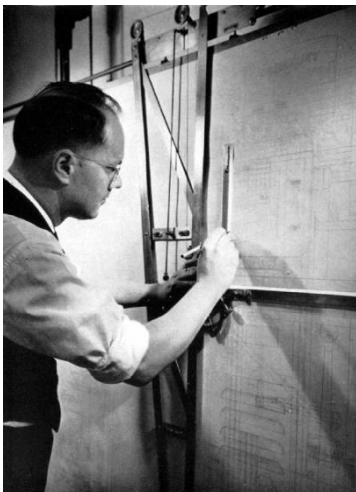
Aplikacje CAD, przykłady oraz możliwości zastosowania

Geneza systemów CAD *Computer Aided Design*

Pierwotnie skrót ten określał **Komputerowe Wspomaganie Rysowania** (z ang. *drafting, drawing*). Wszystkie rysunki wymagały od inżyniera umiejętności starannego prowadzenia ołówka, a także „wytrzymałości i odporności” w trakcie nanoszenia jakichkolwiek poprawek.

Komputery pozwalały na wielokrotne i nieporównywalnie szybsze dokonywanie wszelkich zmian.

Pierwsze systemy CAD stanowiły odpowiednik desek kreślarskich, zestawów krzywków, itp.



Dopiero gdy systemy wspomagające rysowanie rozwinęły się do poziomu modelowania postaci konstrukcyjnej, literę D w nazwie CAD zaczęto uważać jako projektowanie (z ang. *design*)

O Historii słów kilka ...

CAD history

1960

1957 - Dr. Patrick J. Hanratty – *PRONTO* (the 1st CAM system)

Early 1960's - Ivan Sutherland – *Sketchpad*

1965 - Dr. Hanratty, General Motors - *DAC* (Design Automated by Computer)

1966 - McDonnal-Douglas – *CADD*

1967 – Ford – *PDGS*

1967 – Lockheed – *CADAM*



O Historii słów kilka ...

CAD history

1970

Focus to the wide range of application

1975 - Avions Marcel Dassault – CATIA
(Computer Aided Three Dimensional
Interactive Application)



1980

1980 – DEC MicroVAX

1980 - IGES - Initial Graphic Exchange Standard



O Historii słów kilka ...

CAD history

1980

1980 – IBM PC

1981 – Autodesk - AutoCAD Release 1

1982 - CADRA 2D CAD

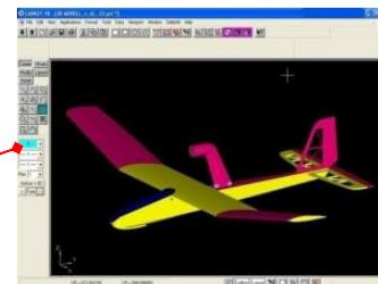


1984 - Bentley Systems – MicroStation

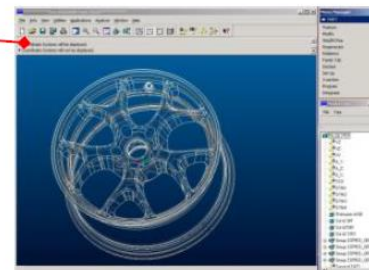
1984 - Diehl Graphsoft – *miniCAD*

1985 - Micro-Control System – *CADKEY*

1985 – CATIA v2



1987 - Parametric Technology - Pro/Engineer



1990

1989 – Unigraphics – *UniSolids*

O Historii słów kilka ...

CAD history

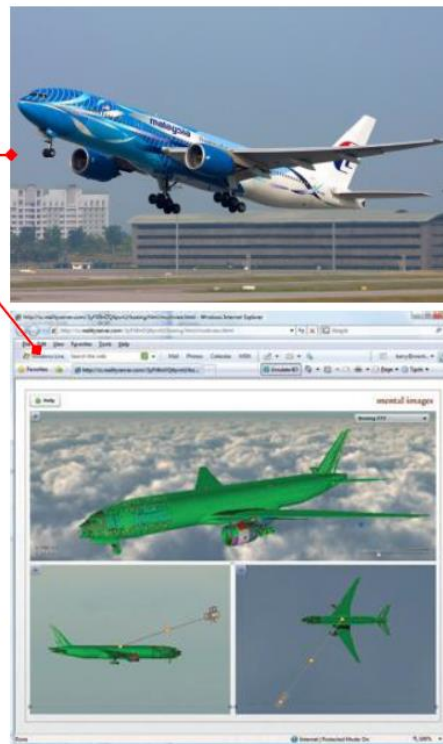
1990

1990 – Boeing 777 – full CAD design process

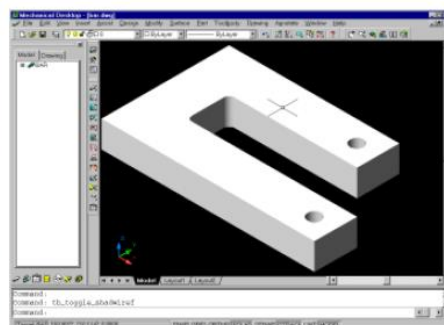
1990-94 - Autodesk AutoCAD
1 million licences / 4 years

1994 - Autodesk Mechanical Desktop 1.0

Commercial Rapid Prototyping Technologies



1995



O Historii słów kilka ...

CAD history

1995

1995 - Intel Pentium Pro processor

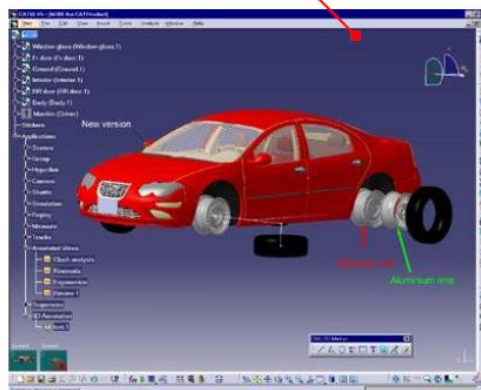
1996 - Windows NT operation system

1997 – OpenGL graphic card

1998 - Dassault System – *ENOVIA*
PDM - Product Data Management

2000

1999 - Dassault System - **CATIA v5**

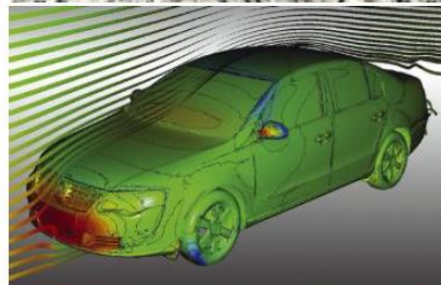


Współczesne możliwości systemów

CAD history

2000

3D scanning
Reverse engineering
Wild range of simulations
Digital mock-up
Photorealistic image



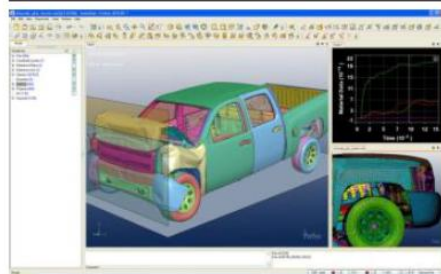
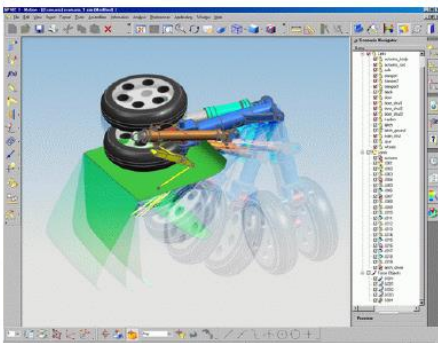
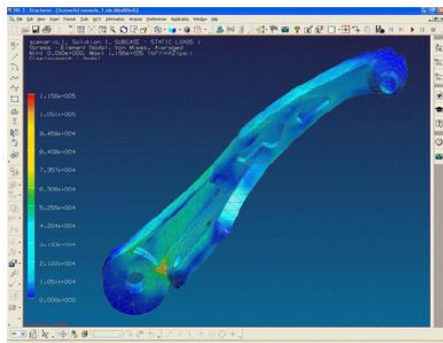
Product Lifecycle Management

Dassault Systemes – CATIA v5 & ENOVIA

Siemens – NX & iMAN

PTC - Pro/Engineer & WindChill

2010



Inne rozwiązania wspomagające możliwości systemów CAD

Hardware



Special devices for CAD applications

W skład CAD wchodzi:

- opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej (2D, 3D),
- analizy kinematyczne,
- analizy wytrzymałościowe, analizy termiczne, prowadzone najczęściej z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych,
- realizacja procesów optymalizacyjnych,
- systemy eksperckie (systemy doradcze),
- systemy obsługi eksperymentów,
- metody syntezy i analizy systemów sterowania,
- inne zagadnienia związane z powstawaniem projektu gotowego wyrobu.

Dzięki zastosowaniu CAD inżynierowie mają łatwiejszy dostęp do:

- zasobów wiedzy,
- bibliotek,
- know-how firmy,
- opracowań normatywnych,
- przepisów prawnych i dyrektyw obowiązujących w konkretnej
- gałęzi przemysłu.

Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu w procesie projektowania inżynierskich baz danych, oraz pracy w środowiskach sieciowych.

Zalety oprogramowania CAD:

- **łatwość wprowadzania zmian,**
- **skrócenie czasu tworzenia dokumentacji,**
- **zwiększenie precyzji,**
- **zmniejszenie możliwości popełnienia błędu,**
- **możliwość kopiowania fragmentów dokumentacji,**
- **korzystanie z bibliotek elementów,**
- **możliwość pracy grupowej,**
- **możliwość przesyłania dokumentacji w formie elektronicznej,**
- **symulacja projektowanych urządzeń,**
- **wizualizacja widoku zewnętrznego projektowanego urządzenia,**
- **automatyzacja powtarzających się czynności,**
- **automatyczne tworzenie fragmentów dokumentacji (zestawienia elementów).**

Oferowanych jest co najmniej kilkadziesiąt programów.

- Jednym z najstarszych (od 1982 r.) i najbardziej znanych jest **AUTOCAD – firmy AutoDesk**
- Obecnie najbardziej znane na rynku firmy oferujące modelery 3D/2D to: **Dassault Systemes: Catia, SolidWorks, Siemens: NX, Solid Edge, AutoDesk: Inventor, PTC (Parametric Technology Corp.): Pro/Engineer**
- **Inne modelery 3D/2D dostępne na rynku to: T-flex, Alibre, Bricscad i wiele innych...**

STANDARDOWE FORMATY WYMIANY DANYCH W PROGRAMACH CAD

- ***.iges** - standard zapewnia wsparcie dla wymiany rysunków technicznych 2-D i 3-D, dokumentacji i innych danych niezbędnych w procesie projektowania i wytwarzania, włączając dane geometryczne i niegeometryczne dotyczące materiałów i powierzchni wraz z ich właściwościami (kształty, wymiary, tolerancje, cechy użytkowe, itp.).
- ***.dxf** – jest jednym z bardziej popularnych formatów wektorowych, w którym można zapisywać zarówno rysunki 2D jak i zawierające elementy 3D. Specyfikacja tego formatu została opracowana przez firmę Autodesk i służyła początkowo głównie do wymiany danych pomiędzy programami AutoCAD i 3D Studio. Z czasem format ten rozprzecznił się i zaczął być wykorzystywany przez inne firmy. Jego popularność związana jest z prostotą tworzenia plików w tym formacie i udostępnieniem jego pełnej dokumentacji. DXF jest plikiem tekstowym w formacie ASCII, dzięki czemu jego poprawny odczyt i zapis jest możliwy na każdej platformie sprzętowej i systemowej. Wadą takiego rozwiązania jest jednak stosunkowo duża wielkość pliku w porównaniu z jego binarnym odpowiednikiem DWG, jak również znacznie większy czas odczytu i zapisu pliku.

STANDARDOWE FORMATY WYMIANY DANYCH W PROGRAMACH CAD

Standard STEP (Standard for the Exchange of Product Data) - jest standardem ISO dla reprezentacji i wymiany danych produkcyjnych interpretowalnych przez komputer (danych CAD, a także metadanych). Standard STEP jest często używany do wymiany danych modelu 3D między różnymi systemami CAD. Pozwala na przekształcenia następujących typów danych:

- Zespoły,
- Części,
- Powierzchnie,
- Bryły,
- Geometria krzywej (2D i 3D),

STANDARDOWE FORMATY WYMIANY DANYCH W PROGRAMACH CAD

Parasolid - jest to modeler geometrii rozwijany przez EDS w Cambridge, Anglia. Opracowany na potrzeby najbardziej zaawansowanych aplikacji MCAD, jest obecnie wykorzystywany przez wielu różnych, liczących się na rynku dostawców oprogramowania CAD/CAM/CAE. Zaawansowana funkcjonalność **Parasolid** dostarczana jest w postaci biblioteki ponad 700 obiektowo zorientowanych funkcji, które przygotowane są do łatwej integracji z aplikacją. Takie rozwiązanie pozwala użytkownikom Parasolid, szybko i bardzo efektywnie wykorzystać w swoich aplikacjach wiedzę i wieloletnie doświadczenie w modelowaniu geometrii. Parasolid umożliwia użytkownikom tworzenie modelu matematycznego obiektów, od prostopadłościanów, cylindrów i stożków do skomplikowanych kształtów nowoczesnych samochodów czy łopat wirnika śmigłowca. EDS w pracach nad rozwojem Parasolid współpracuje z najbardziej wymagającymi użytkownikami z przemysłu lotniczego i samochodowego poszukując rozwiązań dla najtrudniejszych spotykanych w praktyce problemów. Rezultatem są znakomite możliwości Parasolid w obszarach takich jak: zaokrąglanie, tworzenie modeli cienkościennych, zszywanie brył i powierzchni.

OBSZAR ZASTOSOWANIA OPROGRAMOWANIA TYPU CAD

A) Modelowanie geometryczne

B) Obliczenia

C) Gromadzenie i wykorzystywanie danych

Modele geometryczne mogą być:

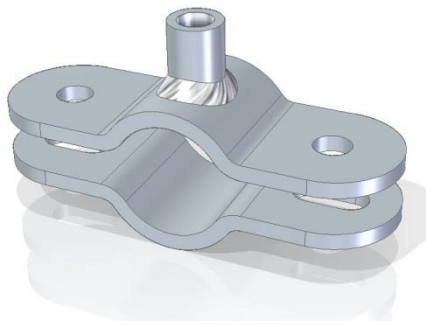
- **płaskie (2D)** – rysunki także izometryczne
- **trójwymiarowe (3D)**, modele 3D mogą być:
 - ☞ krawędziowe (jak z drutu),
 - ☞ powierzchniowe,
 - ☞ bryłowe.

Modele geometryczne są podstawą do:

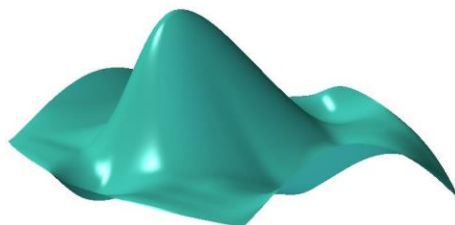
- generowania papierowej **dokumentacji 2D**,
- szybkiego (komputerowego) tworzenia **prototypów** (np. ze sklejanых warstw papieru lub utwardzanej żywicy)

Komputerowe odwzorowanie konstrukcji – modelowanie geometryczne pozwalające na uzyskanie:

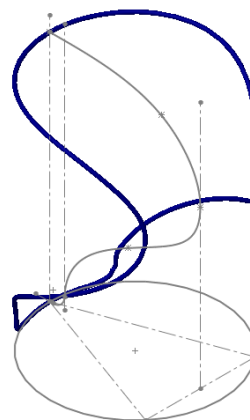
- ❖ *przestrzennych bryłowych modeli 3D,*
- ❖ *przestrzennych powierzchniowych modeli 3D,*
- ❖ *zestawu krzywych przestrzennych (szkiców 2D oraz 3D),*
- ❖ *rysunków płaskich – dokumentacji technicznej.*



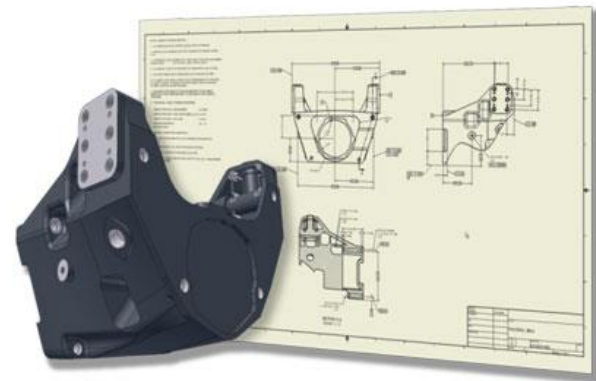
***model
bryłowy 3D***



***model
powierzchniowy 3D***



***krzywa
przestrzenna***



rysunek płaski 2D

Komputerowe odwzorowanie konstrukcji – modelowanie geometryczne może być realizowane:

- ❖ *poprzez bezpośrednie modelowanie w programie CAD,*
- ❖ *z wykorzystaniem danych uzyskanych za pomocą procesu skanowania 3D,*
- ❖ *dzięki wykorzystaniu zdjęć cyfrowych,*
- ❖ *stosując zestawy szkiców wykonanych w innych programach, zeskanowanych rysunków wykonanych odręcznie.*

Prymitywy graficzne

Przy konstrukcji modelu 3D stosuje się często łączenie prymitywów (primitives) – elementarnych składowych obrazu.

Prymitywy 2D (figury płaskie): odcinek, prostokąt, elipsa, trójkąt, łuk, krzywe Beziera i spline, itp.

Prymitywy 3D (bryły): kula, prostopadłościan, stożek, walec, torus, itp.

Bryły przesuwane i obrotowe

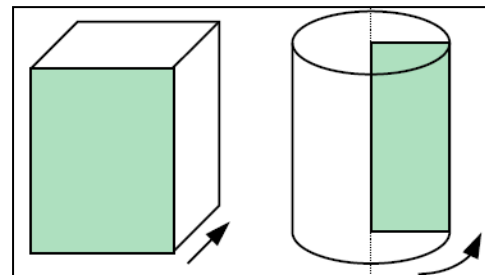
Modelowanie prostych, symetrycznych brył:

- bryły przesuwane („wyciągane”) – przesuwanie płaskiego obiektu wzdłuż trajektorii w przestrzeni***
- bryły obrotowe – obracanie płaskiego wzorca wokół osi***

Np. z prostokąta można uzyskać:

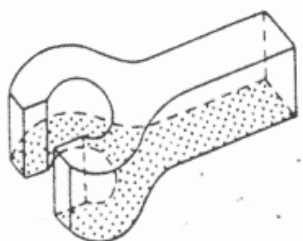
bryłę przesuwaną – prostopadłościan,

bryłę obrotową – walec.

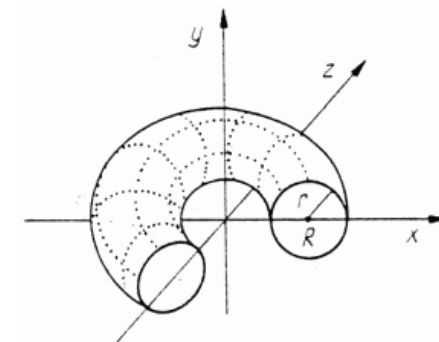
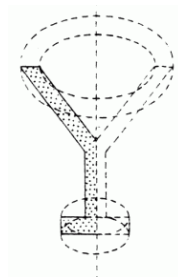


Bryły przesuwane i obrotowe

Bryła przesuwana

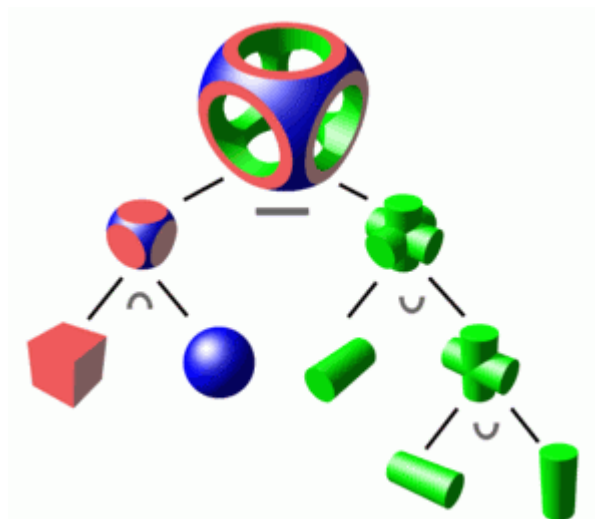


Bryły obrotowe



Konstruktywna geometria brył (CSG)

Ang. CSG – Constructive Solid Geometry - reprezentacja obiektu jako drzewa działań logicznych (suma, różnica, iloczyn) wykonywanych na prymitywach.



**Reprezentacja przestrzenna (3D) modeli wyrobów
w programach CAD JEST standardem.**

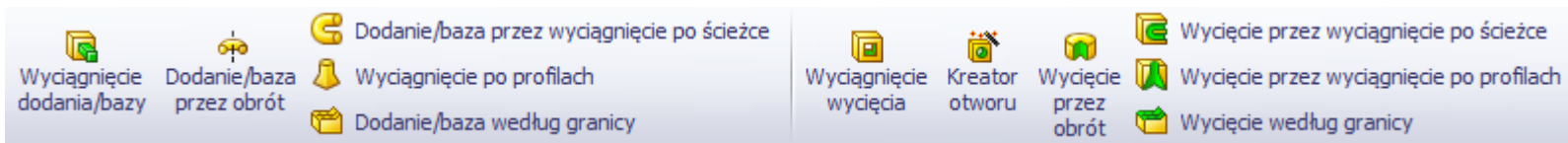
Czym właściwie jest modelowanie ???

Najprościej mówiąc, jest to tworzenie geometrycznego modelu w systemie CAD 3D.

W przypadku systemów 2D trafniej będzie mówić o szkicowaniu, ale w nich również – poprzez szkice zawierające (punkty, linie, krzywe, płaskie figury geometryczne etc.) budujemy model geometryczny.

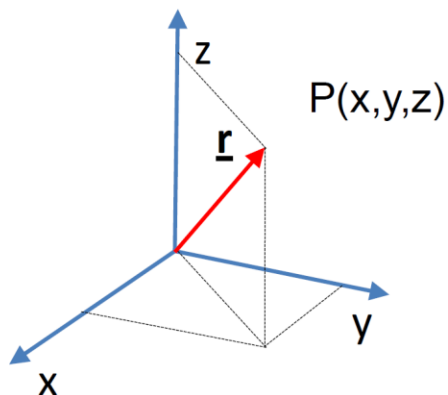
Modelowanie skomplikowanych obiektów w przestrzeni jest możliwe dzięki kilku technikom, m.in. nadawaniu dwuwymiarowym przekrojom głębokości, poprzez przesuwanie przekrojów wzdłuż ścieżki (tj. odcinka, bądź krzywej).

W niektórych programach możliwe są dodatkowe działania na przekrojach, np. obroty, skalowanie, czy nawet zmiana przekroju na poszczególnych odcinkach ścieżki. Korzystając w systemach 3D ze szkiców 2D, na ich podstawie możemy też tworzyć bryły obrotowe, powstające na skutek obrotu szkicu/przekroju wokół wyznaczonej osi.



Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

Punkt



$$\underline{r} = x_1 \cdot \underline{i} + x_2 \cdot \underline{j} + x_3 \cdot \underline{k} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Krzywa

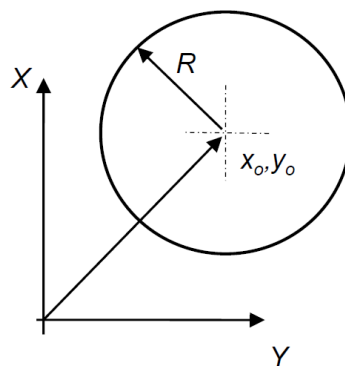
Opis za pomocą funkcji jawnej

$$\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ t &\in [0,1] \end{aligned}$$

Opis dyskretny

$$f(x,y)=0$$

Przykład: okrąg



$$x = x_o + R \cdot \cos 2\pi t$$

$$y = y_o + R \cdot \sin 2\pi t$$

$$t \in [0,1]$$

$$(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2 - R^2 = 0$$

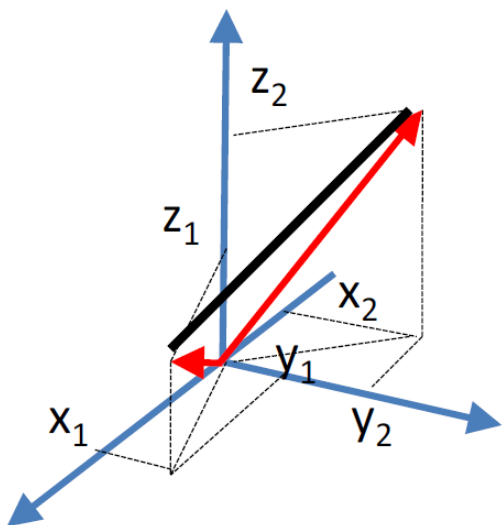
Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

Krzywa typu 3D

Opis za pomocą
funkcji

$$\begin{aligned}x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t)\end{aligned}$$

Przykład: krzywa



Założenia opisu wielomianowego

$$x(t) = \sum_{i=0}^n a_i \cdot t^i$$

$$y(t) = \sum_{i=0}^n b_i \cdot t^i$$

$$z(t) = \sum_{i=0}^n c_i \cdot t^i$$

$$t \in [0,1]$$

$$x = x_1 \cdot t + x_2 \cdot (1 - t)$$

$$y = y_1 \cdot t + y_2 \cdot (1 - t)$$

$$z = z_1 \cdot t + z_2 \cdot (1 - t)$$

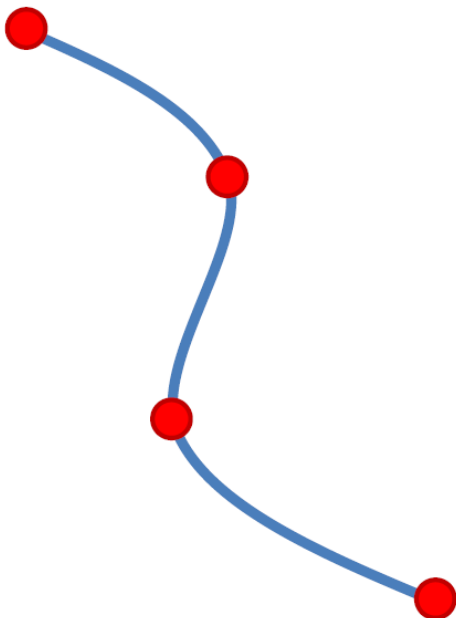
$$t \in [0,1]$$

Krzywa 3D może być zdefiniowana
w sposób jawny zdefiniowany za
pomocą **wyrażenia wielomianowego**

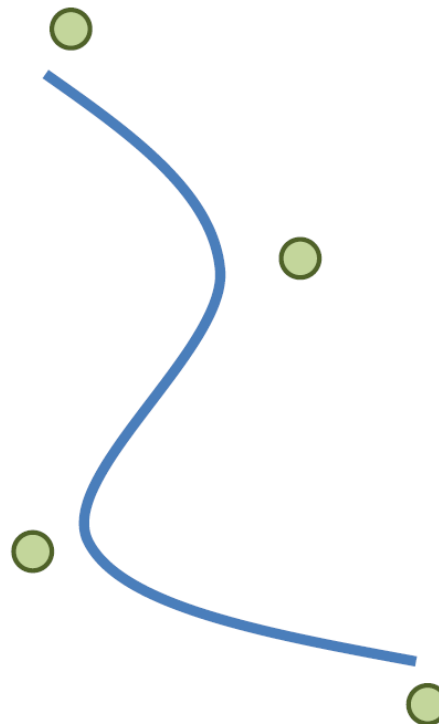
Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

Krzywe złożone

Interpolacja



Przybliżenie



Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

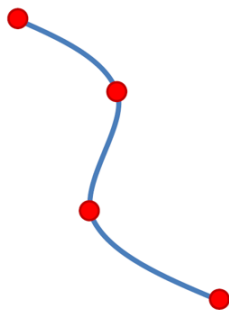
Krzywe złożone

Lagrange interpolation

$$\vec{r}(t_j) = [x(t_j), y(t_j)] = \sum_{i=0}^{n-1} [a_i, b_i] \cdot t_j^i = \vec{r}_j$$

$$\vec{r}(t) = \sum_{i=0}^{n-1} L_i(t) \cdot \vec{r}_i$$

$$L_i(t) = \frac{\prod_{j \neq i} (t - t_j)}{\prod_{j \neq i} (t_i - t_j)}$$



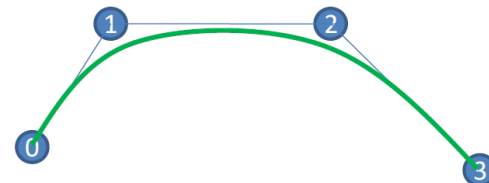
Bézier interpolation

$$(1) \quad (t + (1-t))^n = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \cdot t^i \cdot (1-t)^{n-i} \quad B_i^{(n)}(t) = \binom{n}{i} \cdot t^i \cdot (1-t)^{n-i}$$

$$(2) \quad \underline{b}(t) = \sum_{i=0}^3 \underline{b}_i \cdot \binom{3}{i} \cdot t^i \cdot (1-t)^{3-i}$$

$$\underline{b}(t) = \underline{b}_0 \cdot (1-t)^3 + 3 \cdot \underline{b}_1 \cdot t \cdot (1-t)^2 + 3 \cdot \underline{b}_2 \cdot t^2 \cdot (1-t) + \underline{b}_3 t^3$$

$$\underline{b}(t) = \underline{b}_0 \cdot (-t^3 + 3 \cdot t^2 - 3 \cdot t + 1) + \underline{b}_1 \cdot (3 \cdot t^3 - 6 \cdot t^2 + 3t) + \underline{b}_2 \cdot (-3 \cdot t^3 - 3 \cdot t^2) + \underline{b}_3 t^3$$



Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

Krzywe złożone

Spline

$$(1) \quad \vec{p}(t) = \vec{a}_3 \cdot t^3 + \vec{a}_2 \cdot t^2 + \vec{a}_1 \cdot t + \vec{a}_0$$

$$(2) \quad \vec{p}(0) = \vec{a}_0 \quad \vec{p}(1) = \vec{a}_3 + \vec{a}_2 + \vec{a}_1 + \vec{a}_0$$

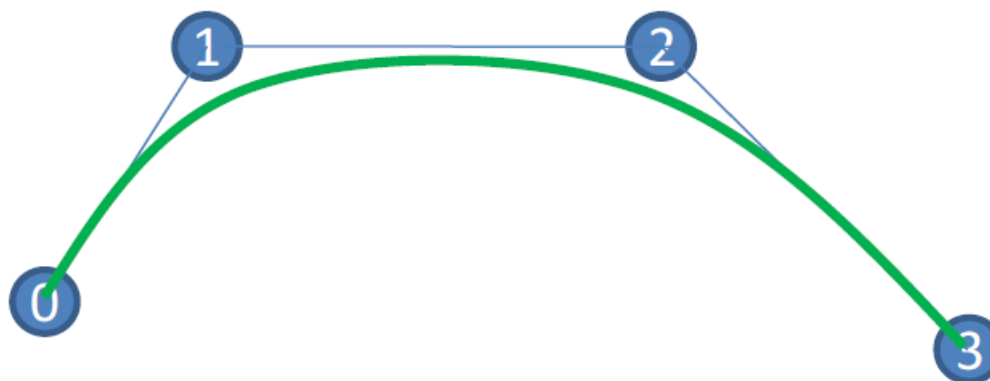
$$\vec{p}'(0) = \vec{a}_1 \quad \vec{p}'(1) = 3 \cdot \vec{a}_3 + 2 \cdot \vec{a}_2 + \vec{a}_1$$

$$(3) \quad \vec{p}_i(0) = \vec{r}_i$$

$$\vec{p}_i(1) = \vec{r}_{i+1}$$

$$\vec{p}_i'(1) = \vec{p}_{i+1}'(0)$$

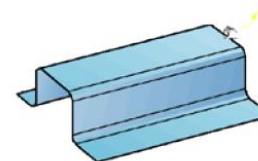
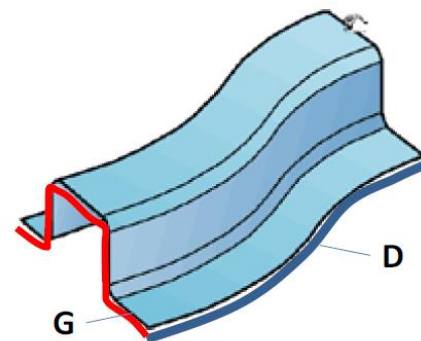
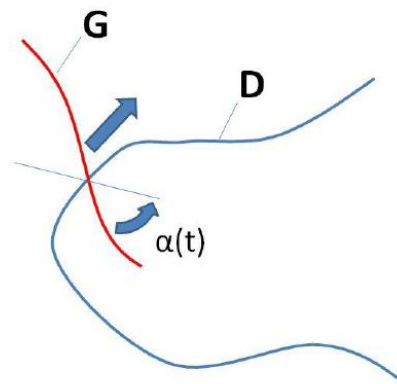
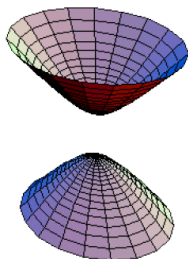
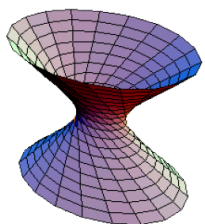
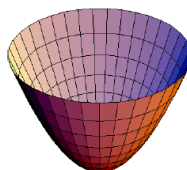
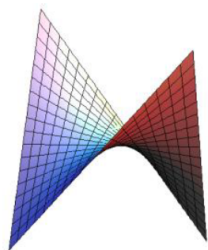
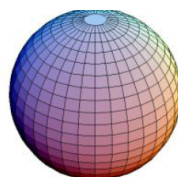
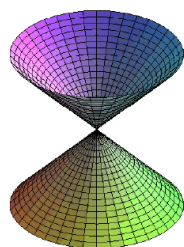
$$\vec{p}_i''(1) = \vec{p}_{i+1}''(0)$$



Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

Przykładowe odwzorowanie powierzchni

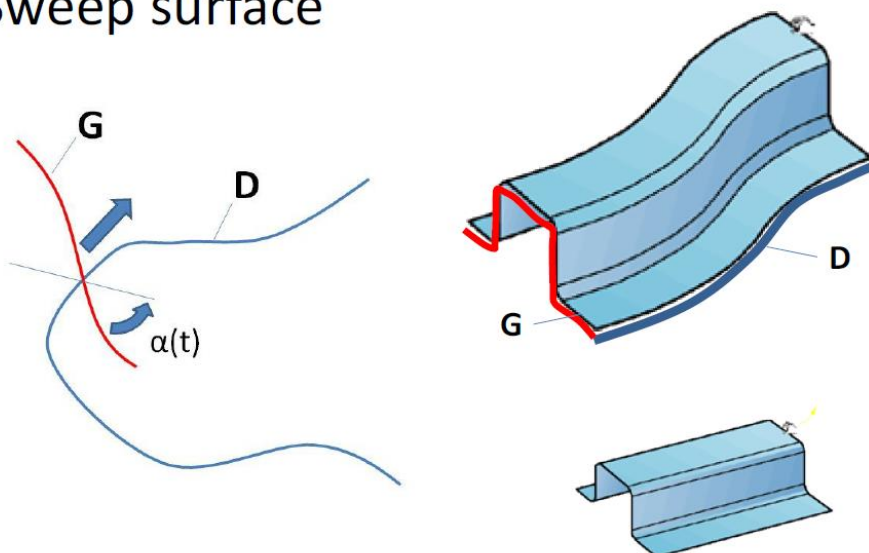
$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \cdot \underline{Q} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$



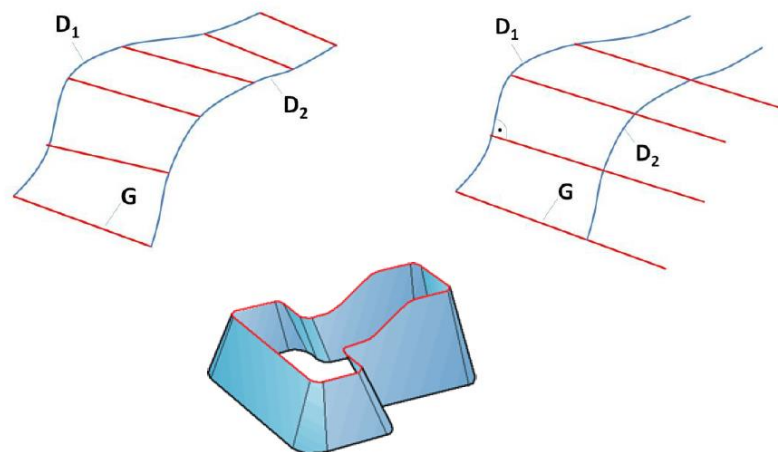
Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

Przykładowe operacje modelowania powierzchniowego

Sweep surface



Ruled surface



Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

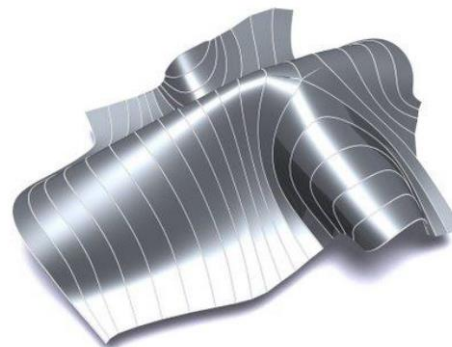
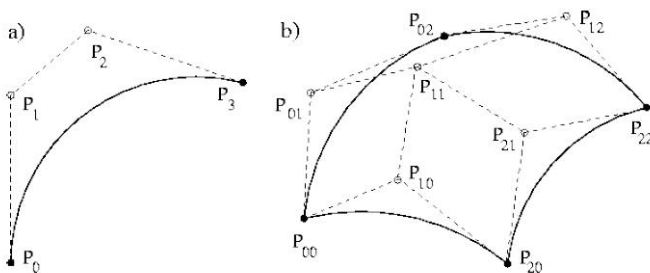
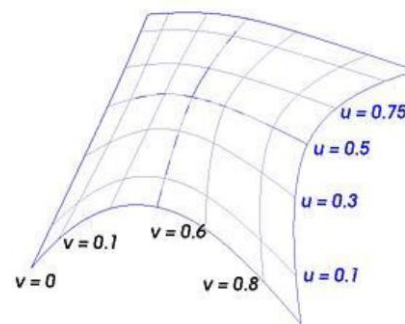
Przykładowe operacje modelowania powierzchniowego

Freeform surfaces

$$(1) \quad \vec{r}(u, v) \quad u, v \in [0, 1]$$

$$(2) \quad \vec{r}(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \vec{r}_{ij} \cdot B_{ij}(u, v) \quad u, v \in [0, 1]$$

$$(3) \quad B_{ij}(u, v) = \binom{n}{i} \cdot u^i \cdot (1-u)^{n-i} \cdot \binom{m}{j} \cdot v^j \cdot (1-v)^{m-j}$$



Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

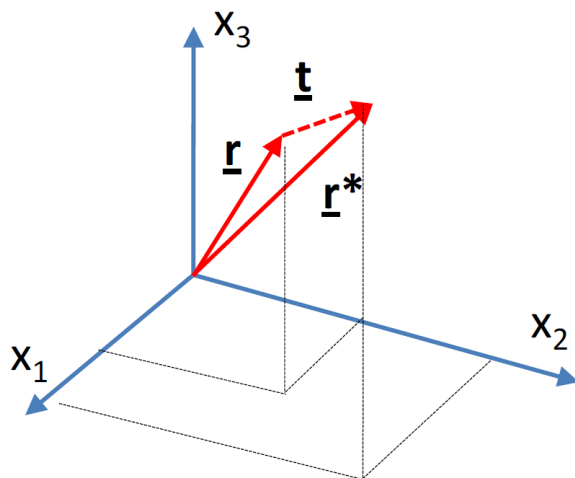
Przykładowe operacje transformacji geometrycznych

Translation

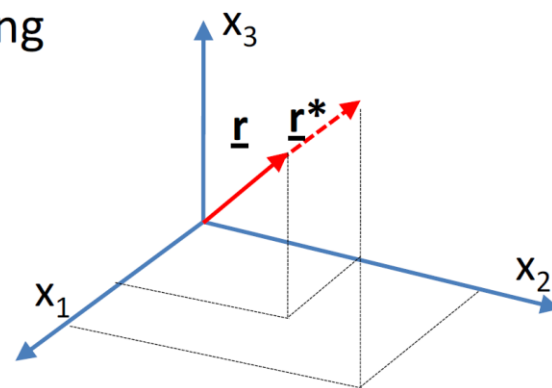
$$\underline{r}^* = \underline{r} + \underline{t} = \begin{bmatrix} x_1 + t_1 \\ x_2 + t_2 \\ x_3 + t_3 \end{bmatrix}$$

$$\underline{t} = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix}$$

$\underline{t}$: translation vector



Scaling



$$\underline{r}^* = \underline{C} \cdot \underline{r} = \begin{bmatrix} C & 0 & 0 \\ 0 & C & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \cdot r_1 \\ C \cdot r_2 \\ C \cdot r_3 \end{bmatrix}$$

Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

Przykładowe operacje transformacji geometrycznych

Rotation about x_i

Rotation around x_1 with φ_1

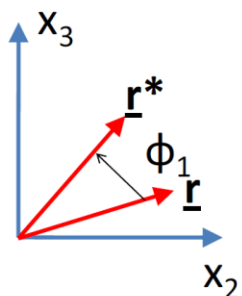
$$\underline{r}^* = \underline{F}_1 \cdot \underline{r}$$

Rotation around x_2 with φ_2

$$\underline{r}^* = \underline{F}_2 \cdot \underline{r}$$

Rotation around x_3 with φ_3

$$\underline{r}^* = \underline{F}_3 \cdot \underline{r}$$



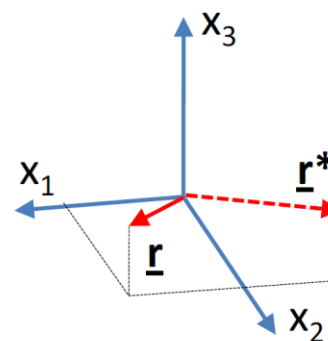
$$\underline{r}^* = \underline{F}_2 \underline{F}_1 \underline{r}$$

$$\underline{F}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 \\ 0 & \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{F}_2 = \begin{bmatrix} \cos \varphi_2 & 0 & \sin \varphi_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & 0 & \cos \varphi_2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{F}_3 = \begin{bmatrix} \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 & 0 \\ \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Mirror to plane



Mirror to $[x_2, x_3]$ plane: $\underline{r}^* = \underline{S}_1 \cdot \underline{r}$

Mirror to $[x_1, x_3]$ plane: $\underline{r}^* = \underline{S}_2 \cdot \underline{r}$

Mirror to $[x_1, x_2]$ plane: $\underline{r}^* = \underline{S}_3 \cdot \underline{r}$

$$\underline{S}_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

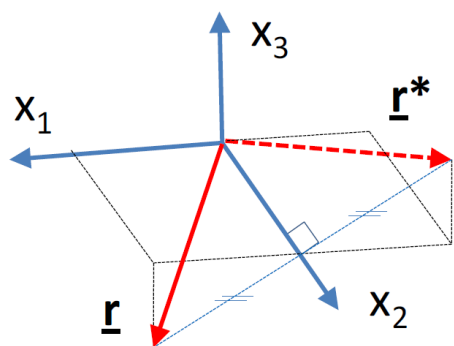
$$\underline{S}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{S}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Podstawowe założenia geometryczne wykorzystywane w systemach CAD

Przykładowe operacje transformacji geometrycznych

Mirror to x_i axes



Mirror to x_1 axes:

$$\underline{r}^* = \underline{S}_{2,3} \cdot \underline{r}$$

Mirror to x_2 axes:

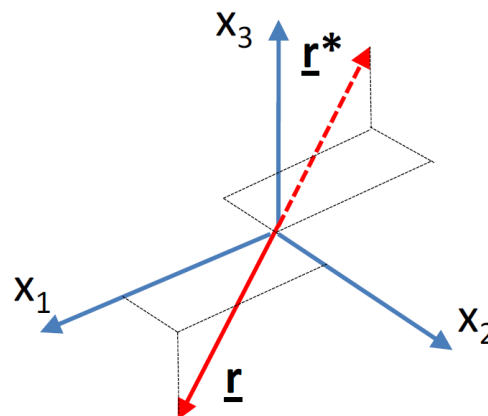
$$\underline{r}^* = \underline{S}_{1,3} \cdot \underline{r}$$

Mirror to x_3 axes:

$$\underline{r}^* = \underline{S}_{1,2} \cdot \underline{r}$$

$$\underline{S}_{2,3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \underline{S}_{1,3} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \underline{S}_{1,2} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Mirror to the origin

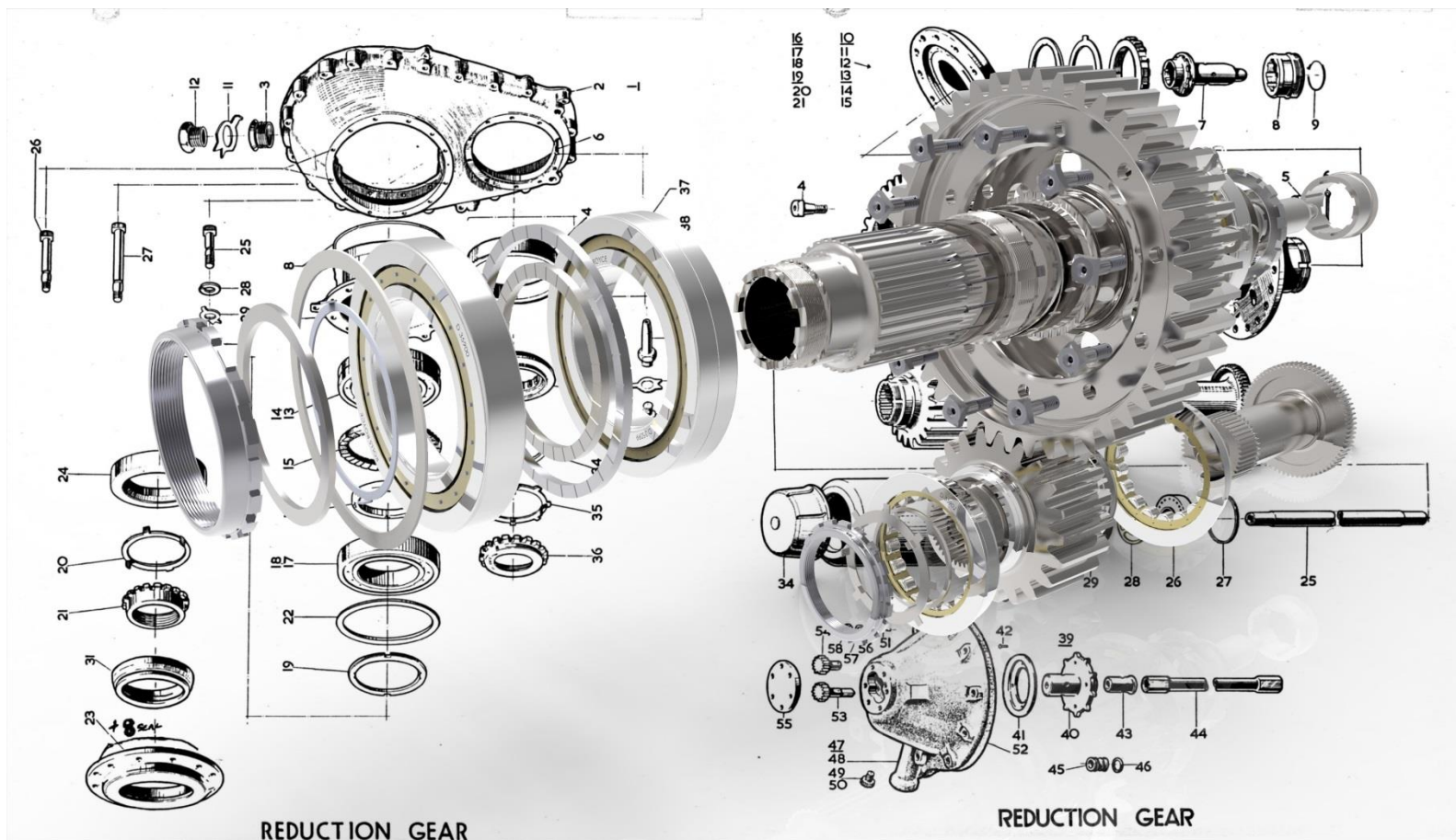


$$\underline{r}^* = \underline{S} \cdot \underline{r}$$

$$\underline{S} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

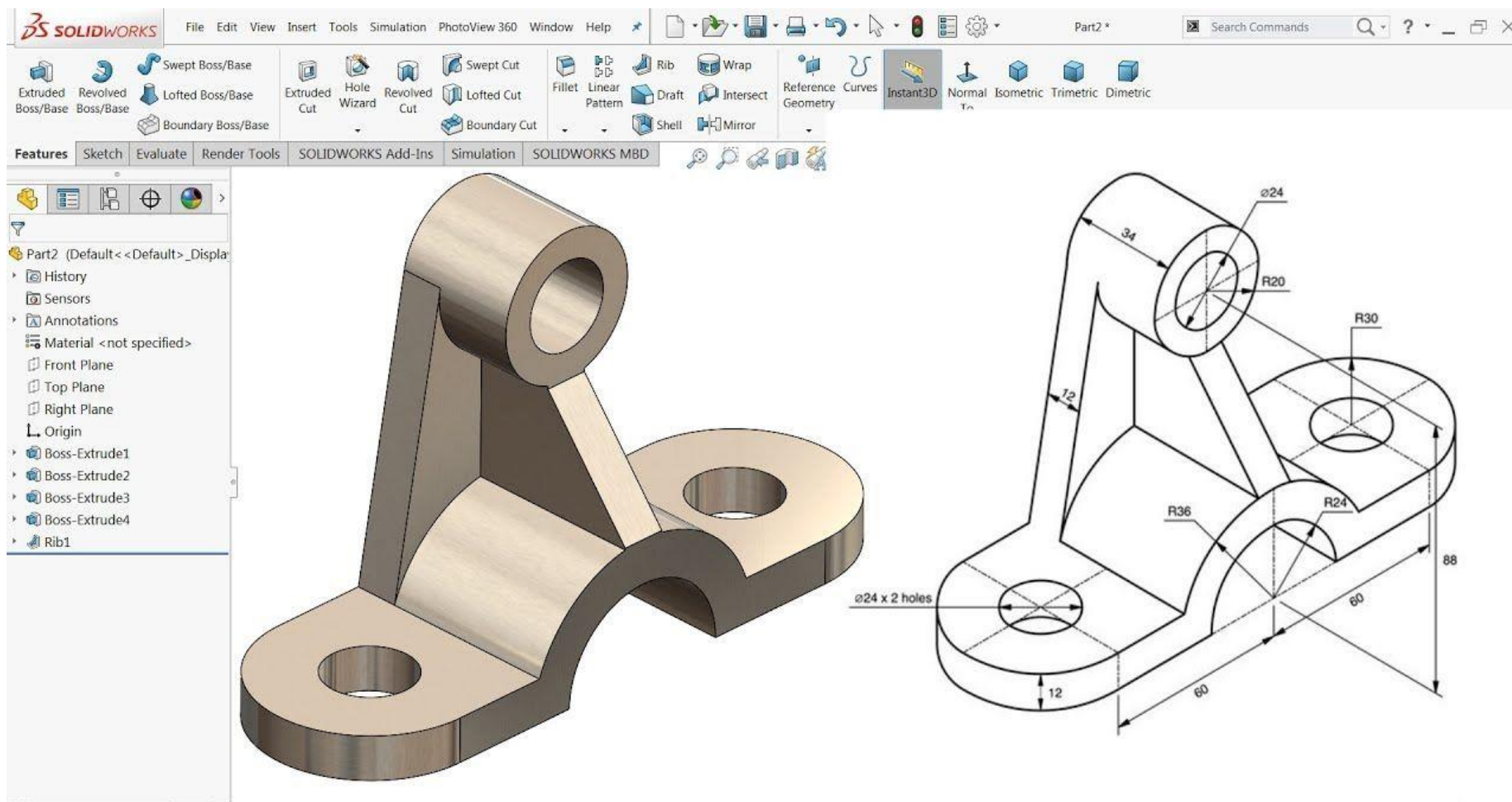
CAD – proces modelowania bryłowego

model bryłowy jest zamkniętym obiektem 3D z przypisanymi właściwościami, takimi jak masa, objętość, środek ciężkości i moment bezwładności

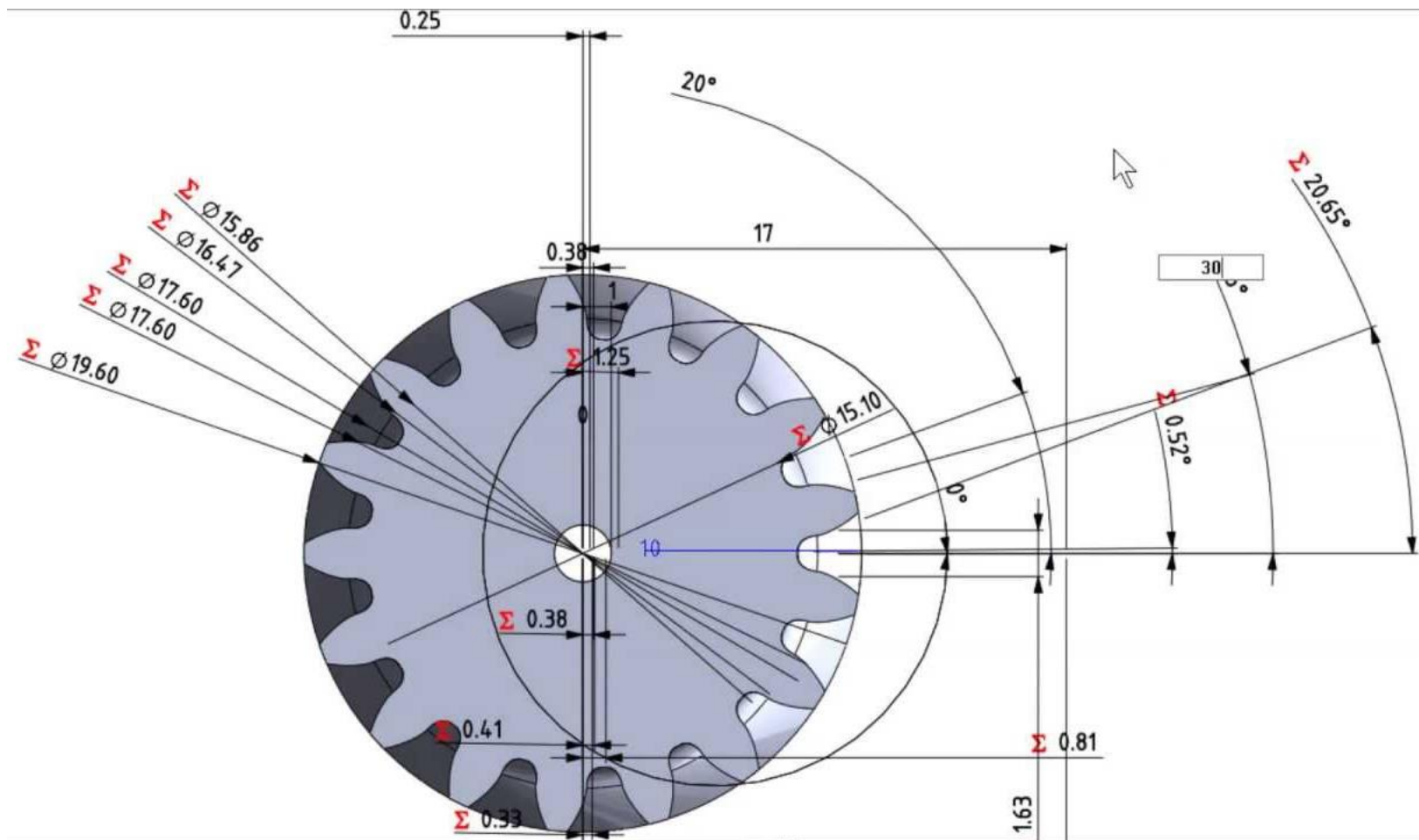


CAD – dedykowane narzędzia wspomagające projektowanie

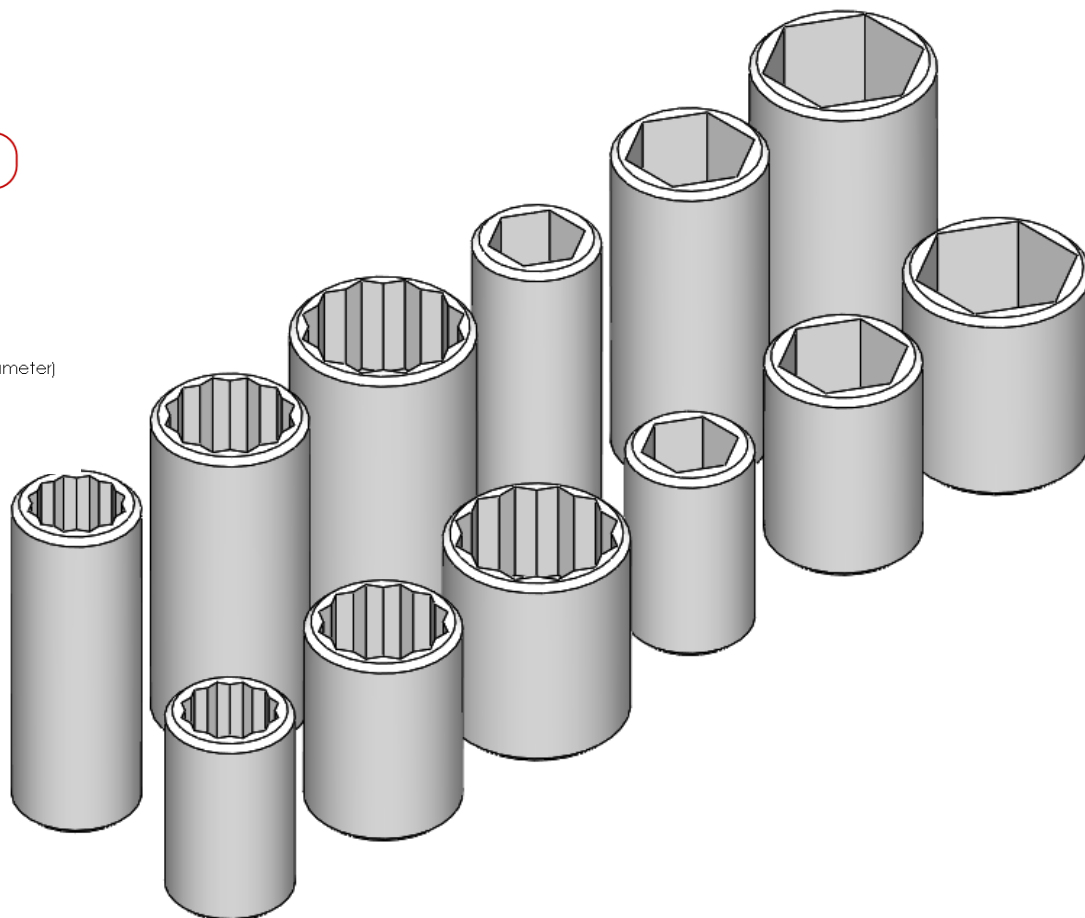
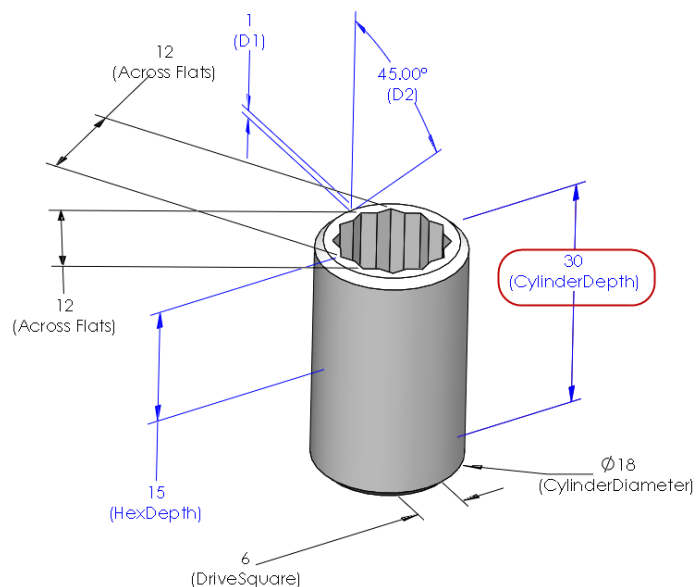
Parametryczność modeli bryłowych CAD



Parametryczność modeli bryłowych CAD

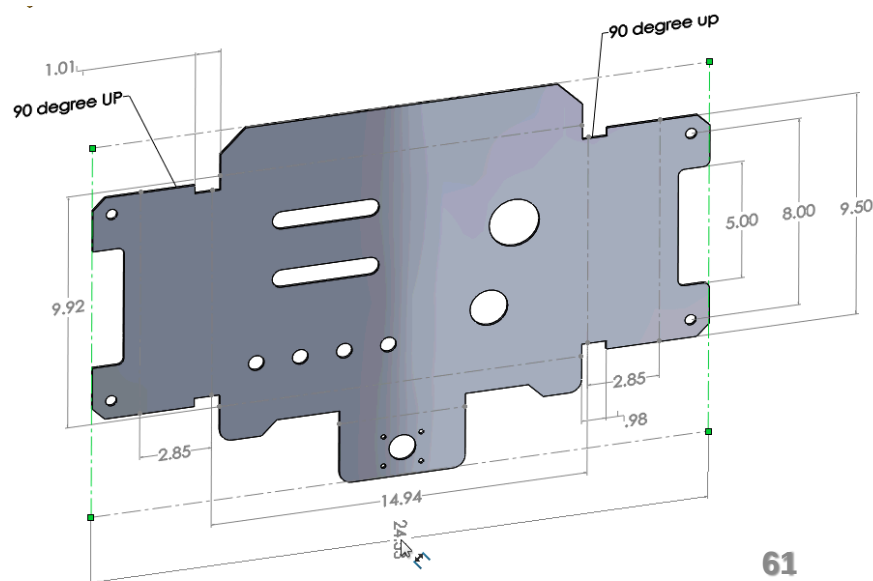
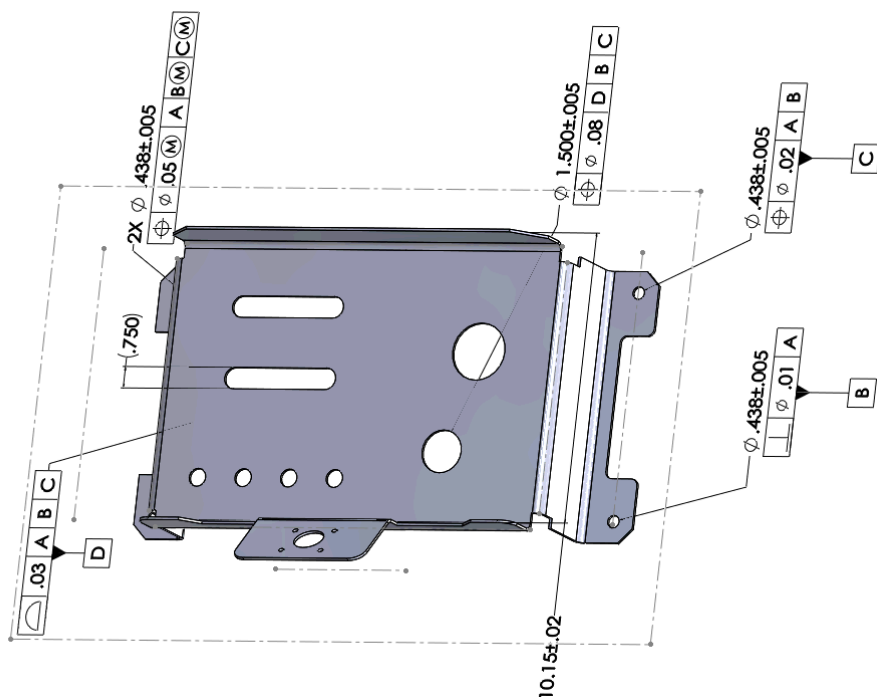


Parametryczność modeli bryłowych CAD



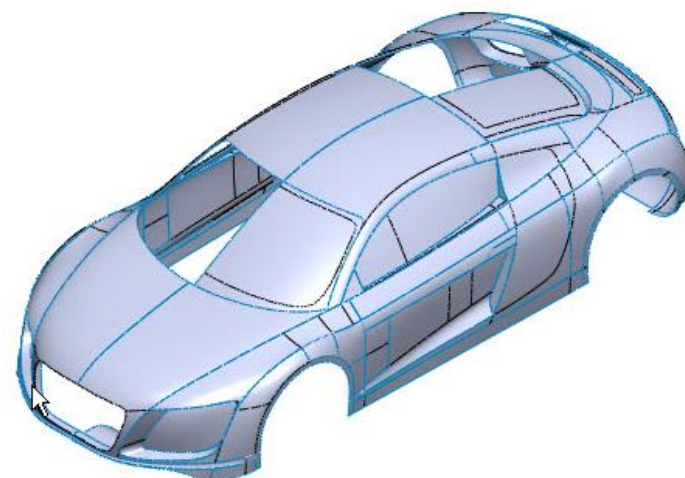
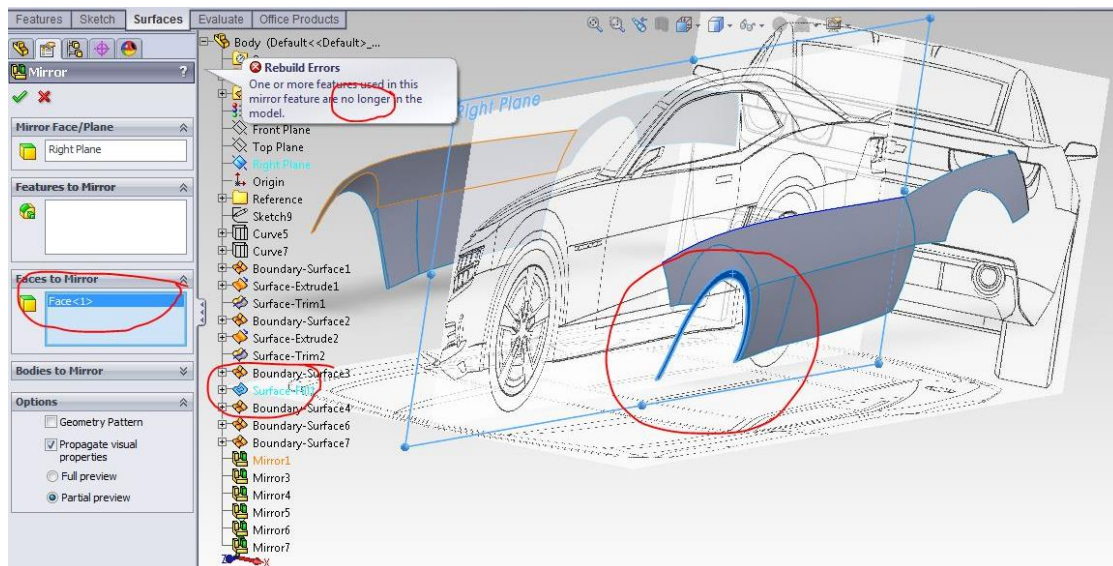
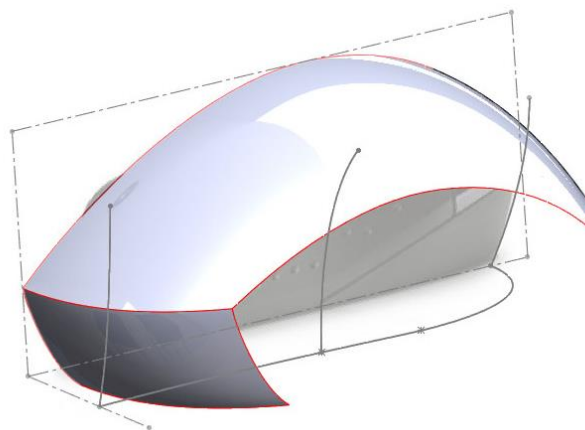
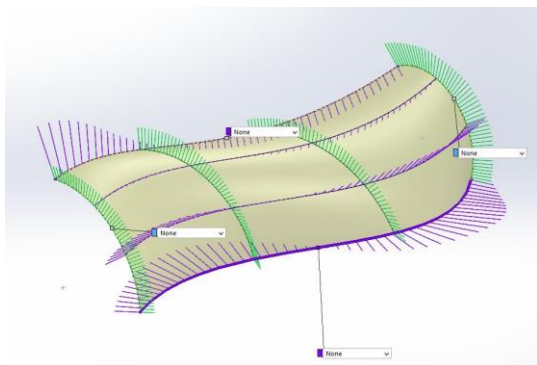
CAD – dedykowane narzędzia wspomagające projektowanie

Sheetmetal – moduł oprogramowania CAD dedykowany do projektowania konstrukcji blaszanych, definiowanie złożonego kształtu obiektu, a następnie na jego podstawie automatyczne generowanie modeli w widoku rozwiniętym



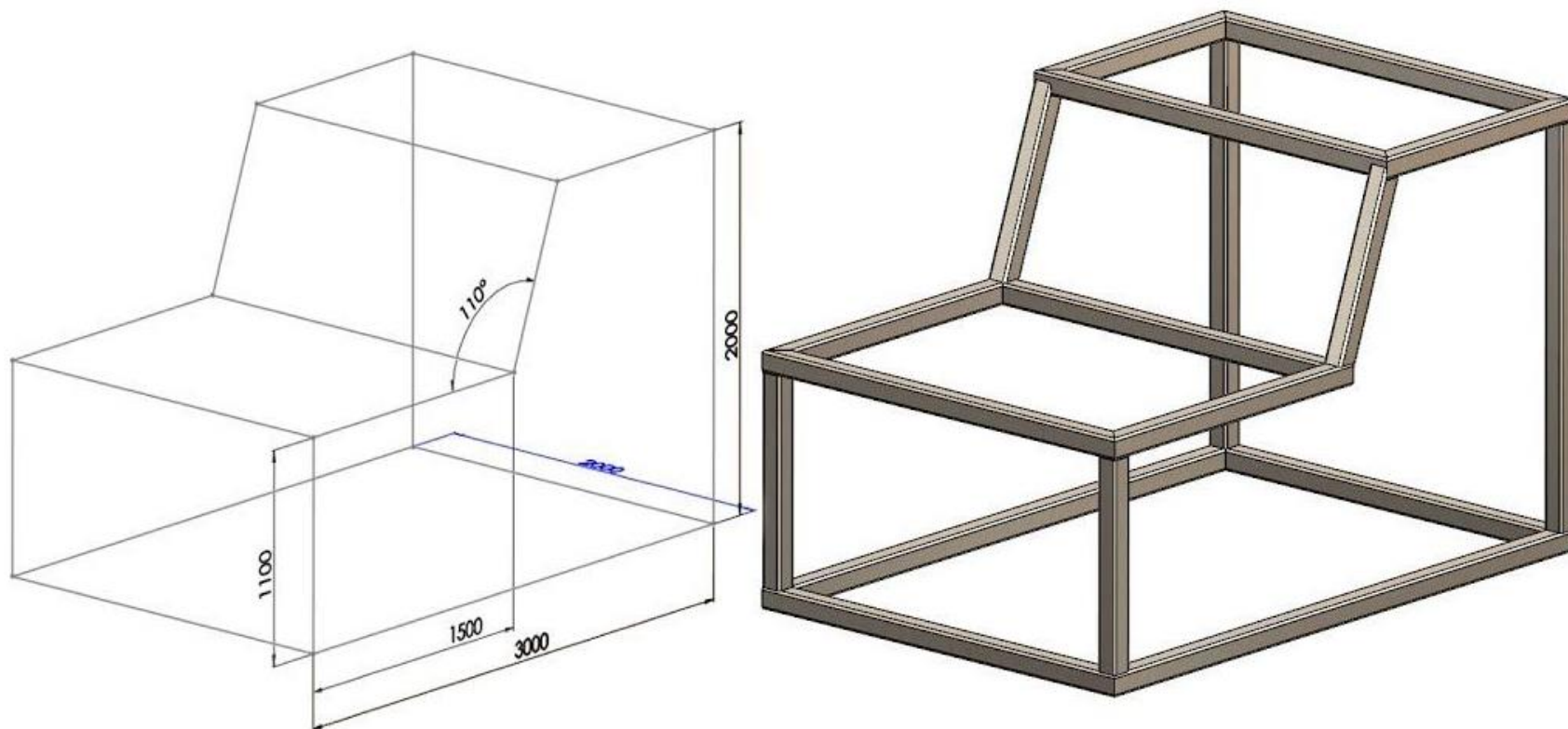
CAD – dedykowane narzędzia wspomagające projektowanie

Surface design – moduł oprogramowania CAD dedykowany do projektowania obiektów o powierzchni zewnętrznej opisanej za pomocą powierzchni wyższego rzędu



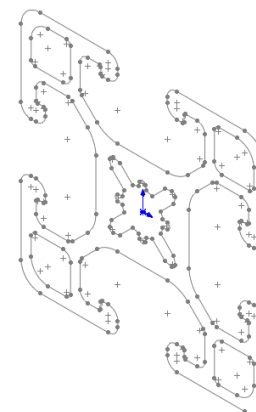
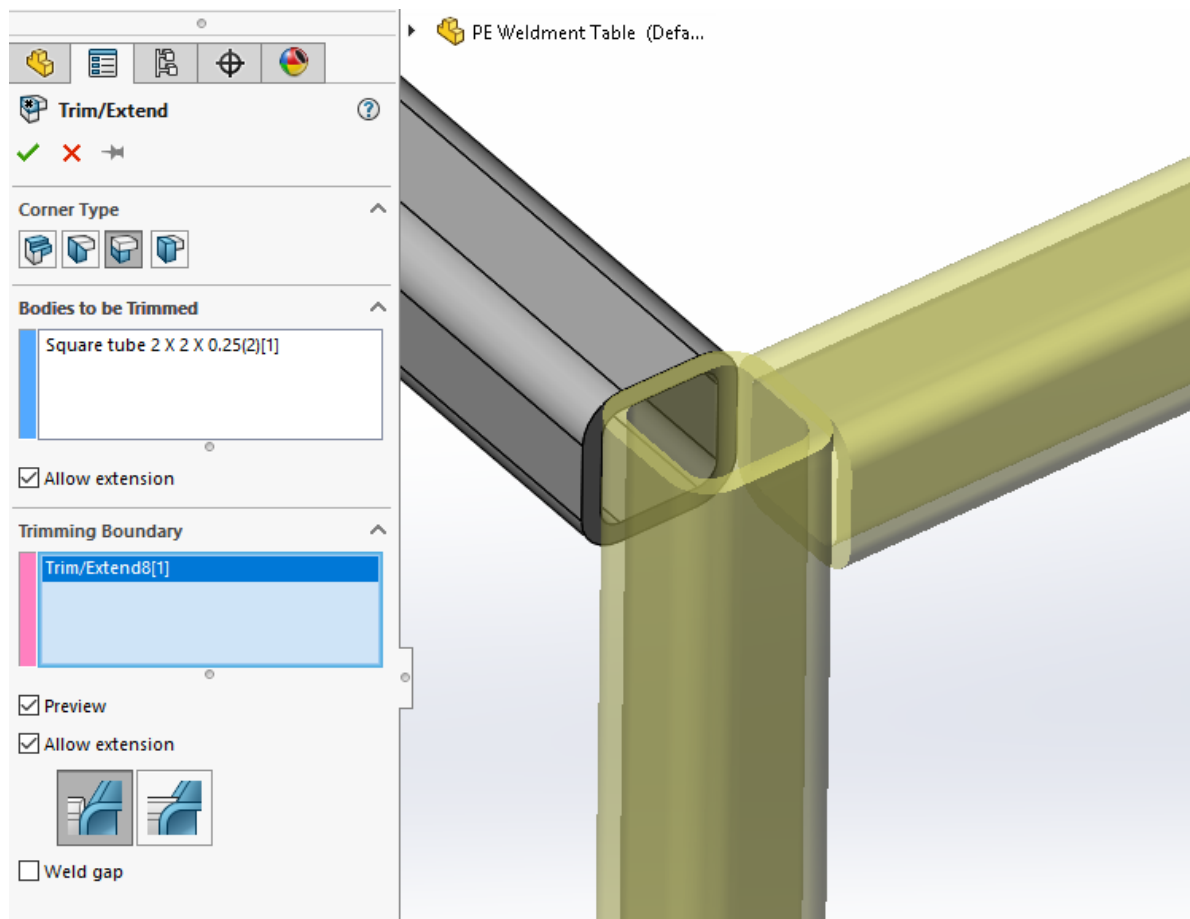
CAD – dedykowane narzędzia wspomagające projektowanie

Weld metal – moduł oprogramowania CAD dedykowany do projektowania konstrukcji zdefiniowanych z profili standardowych połączonych technologią spawania



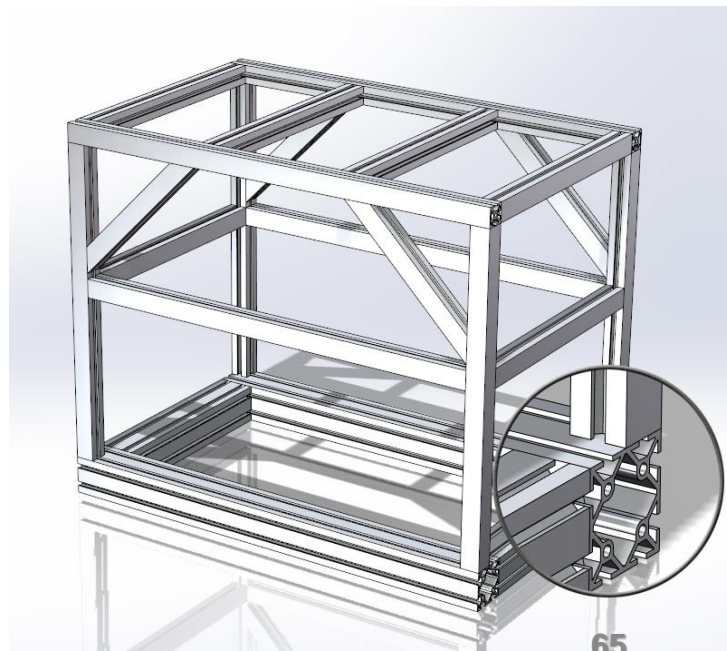
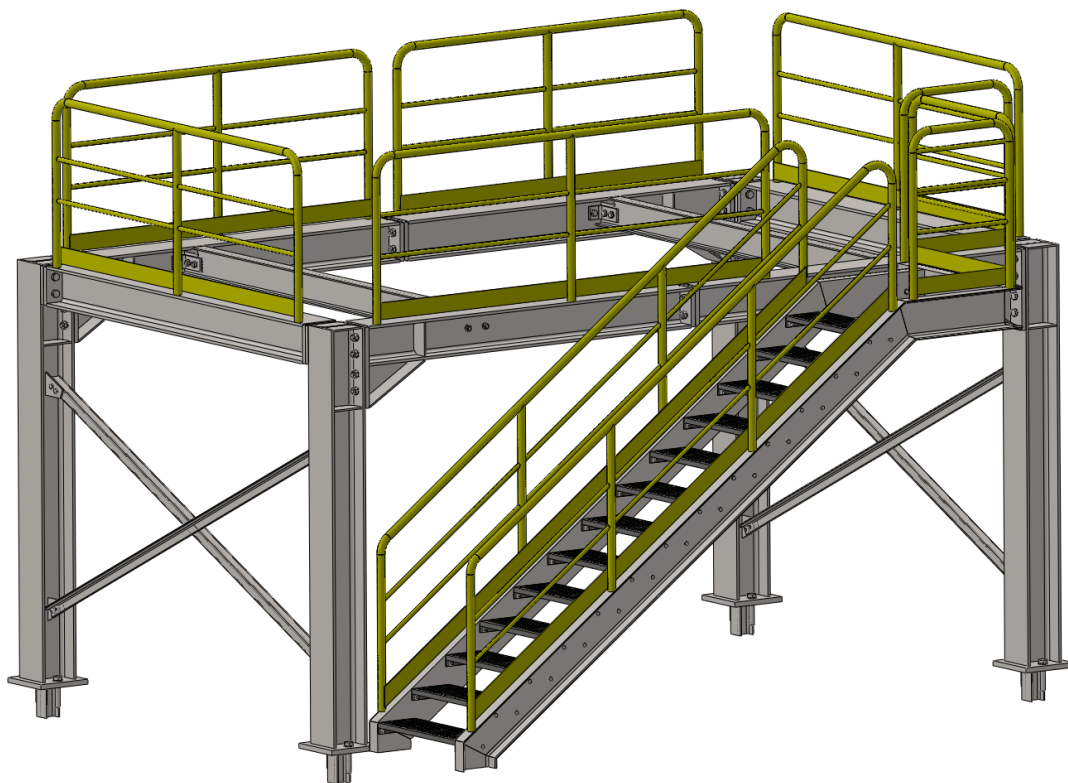
CAD – dedykowane narzędzia wspomagające projektowanie

Weld metal – moduł oprogramowania CAD dedykowany do projektowania konstrukcji zdefiniowanych z profili standardowych połączonych technologią spawania



CAD – dedykowane narzędzia wspomagające projektowanie

Weld metal – moduł oprogramowania CAD dedykowany do projektowania konstrukcji zdefiniowanych z profili standardowych połączonych technologią spawania



IDEA

MODEL FIZYCZNY

URZĄDZENIE POMIAROWE
SKANER 3D

MODEL BRYŁOWY 3D

SYMULACJA
DZIAŁANIA

DOKUMENTACJA 2D

OBLICZENIA
WYTRZYMAŁOŚCIOWE

PROGRAMY GENERUJĄCE KODY
I STERUJĄCE OBRABIARKAMI CNC

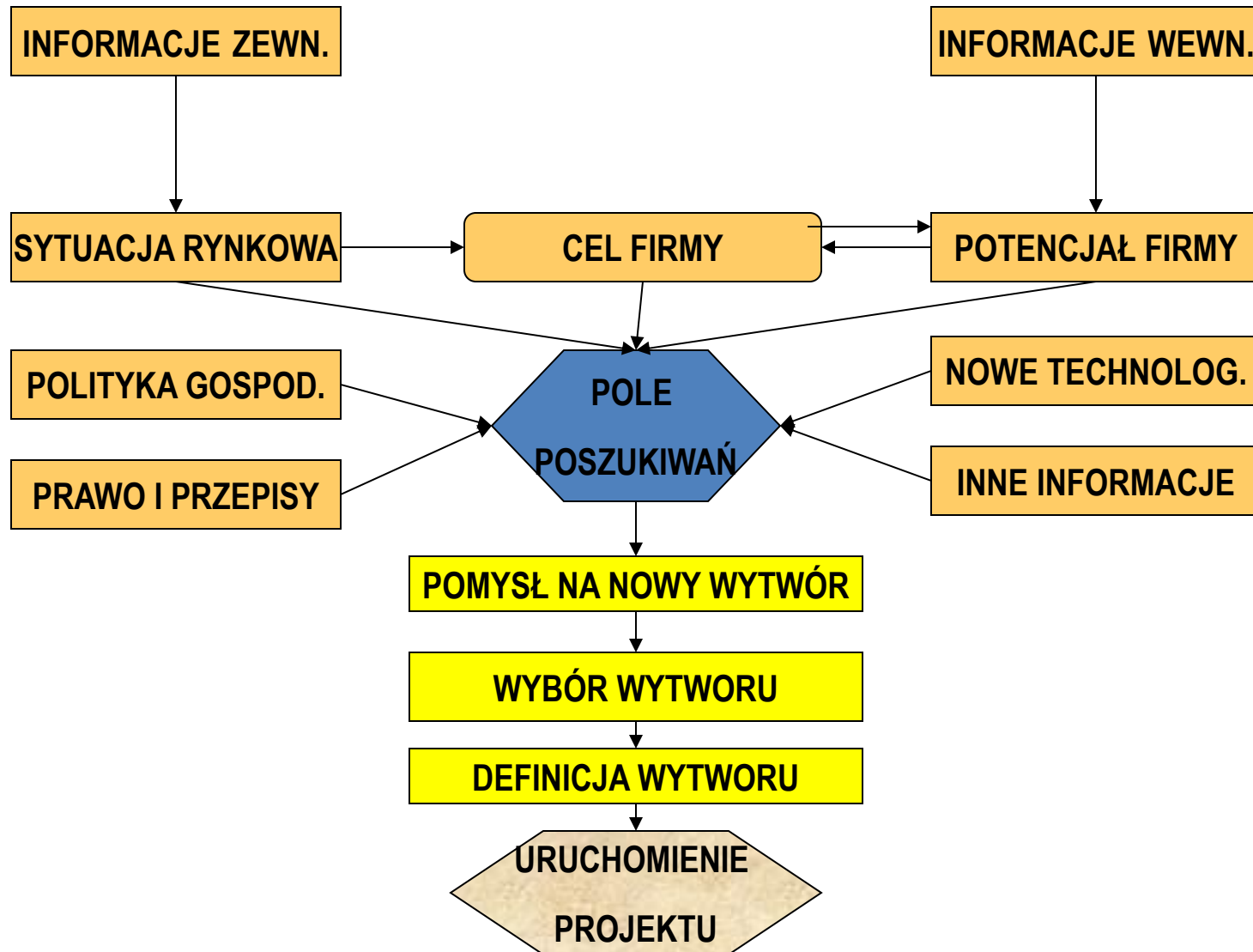
SYMULACJA PROCESU
OBRÓBK

PRODUKCJA

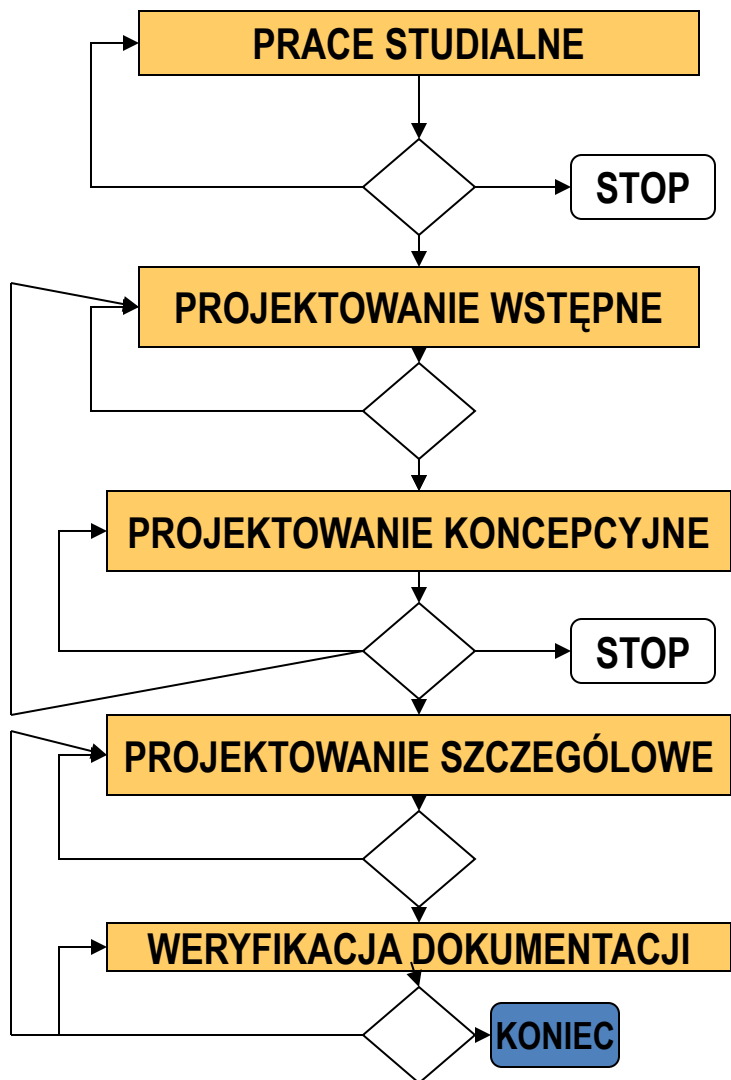
GOTOWE URZĄDZENIE

Idea procesu projektowania

PRZEBIEG PROCESU PROJEKTOWANIA NOWEGO WYROBU



OGÓLNY SCHEMAT PROJEKTOWANIA NOWEGO WYROBU



CELE:

Czy problem może być rozwiązany i ocena opłacalności

Analiza potrzeb, możliwości realizacji zbytu, konkurencji

Opracowanie ogólnej koncepcji (ZK i ZTE)

Sprawdzenie poprawności technicznej koncepcji

Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej

Sprawdzenie dokumentacji (poprawność, kompletność, jednoznaczność, koszty)

Prototyp, instalacje pilotowe, opinie ekspertów

PROCES DEKOMPOZYCJI ZADAŃ PODCZAS PROJEKTOWANIA

