

WYKORZYSTANIE SYSTEMÓW CAD W PROCESIE KONSTRUOWANIA MASZYN I URZĄDZEŃ

Opracowanie ma na celu zaprezentowanie możliwości wykorzystania systemów CAD do rozwiązywania zagadnień z jakimi spotykają się w swojej pracy zawodowej współcześni inżynierowie. Przedstawiono, w sposób ogólny, kilka najpopularniejszych w naszym kraju programów oraz porównanie możliwości wykorzystania na przykładzie projektu wału.

WSTĘP

W dobie współczesnego rozwoju i wykorzystania komputeryzacji w przemyśle, również w procesach projektowania i konstruowania nastąpiły poważne zmiany. Zastosowanie technik komputerowych zaowocowało powstaniem tzw. komputerowo zintegrowanego wytwarzania CIM (Computer Integrated Manufacturing). Jego wykorzystanie wpływa na optymalizację zarządzania realizacją zleceń produkcyjnych poprzez krótkie cykle produkcyjne, krótkie terminy realizacji zleceń, wysoki stopień wykorzystania potencjału produkcyjnego. Powoduje również zwiększenie wydajności produkcji, a w związku z tym obniżenie kosztów wytworzenia produktu.

Jednym z podstawowych podsystemów CIM jest komputerowo wspomagane projektowanie (Computer Aided Design) CAD. Przy jego wykorzystaniu współcześni konstruktorzy i technologowie mają do swojej dyspozycji cały szereg nowych narzędzi zwiększających wydajność produkcji, zarówno w fazie projektowania, jak i realizacji projektu.

Istotą CAD jest cyfrowe modelowanie tzn. tworzenie uproszczonej repliki obiektu przeznaczonego do produkcji. Replika taka powinna reprezentować sobą kluczowe informacje konstrukcyjne wyrobu (tzw. zapis konstrukcji). Ogólnie ujmując CAD pozwala na swobodne i przede wszystkim relatywnie mało kosztowne eksperymentowanie z modelami wirtualnej rzeczywistości.

Zaawansowane systemy CAD oferują szeroką gamę możliwości w zakresie modelowania geometrycznego. Polecenia w poszczególnych programach różnią się co prawda od siebie, ale w każdym z nich występują pewne uogólnione zasady dotyczące modelowania. Każdy model geometryczny można wykonać na wiele różnych sposobów, jednak tak wykonane modele nie muszą być ze sobą jednoznaczne (nie muszą być tożsame). Z nieograniczonej liczby teoretycznych sposobów wykonania modelu, tylko część pozwala uzyskać poprawny model geometryczny. Jest to istotne ze względu na możliwości wykorzystania modelu do dalszych procesów projektowych np. wykonania dokumentacji technicznej, analizy kinematycznej, obliczeń wytrzymałościowych metodą elementów skończonych (MES), analizy dynamiki elementów i zespołów, wizualizacji produktu itp. W związku z tym narzędzia i metody modelowania muszą być starannie dobrane, tak aby utworzony model był podstawą przyszłego procesu produkcyjnego.

Najczęściej występującym elementem ruchomym w konstrukcjach maszyn i urządzeń jest wał. Na przykładzie konstrukcji tego właśnie elementu, zostaną przedstawione możliwości wykorzystania najpopularniejszych programów wspomagających projektowanie 3D.

Wał jest elementem konstrukcyjnym napędu przeznaczonym do przenoszenia i przekazywania obciążenia podczas wykonywania ruchu obrotowego. Z tego powodu podczas projektowania należy uwzględnić zarówno sposób jego podparcia, jak również elementy zdolne do przekazania obciążenia np. na przekładnię. Poprawność konstrukcji winna być zweryfikowana w oparciu o niezbędne obliczenia wytrzymałościowe.

1. SYSTEMY CAD/CAM WYKORZYSTYWANE W POLSCE

Najpopularniejsze w Polsce wykorzystywane systemy CAD/CAM wraz z opisem ich zastosowania oraz używanymi formatami plików zgodnie z [1] ujęto w tabeli 1. Niezbędne wyjaśnienia i opisy skrótów oraz pojęć zawartych w tabeli 1 przedstawiono poniżej:

- FBM (Feature Based Modeling) – modelowanie oparte na cechach konstrukcyjnych (elementach – predefiniowanych obiektach charakterystycznych takich jak powierzchnia płaska, powierzchnia walcowa, dwie powierzchnie równoległe, próg, gwint, szczelina, otwór, rowek itd.), z których każda ma określoną topologię i zestaw parametrycznych wymiarów geometrycznych. Modelowanie odbywa się poprzez bezpośrednie działanie w modelerze, zmianę wartości parametrów lub edytowanie biblioteki cech konstrukcyjnych.
- CAM (Computer Aided Manufacturing) – komputerowe wspomaganie wytwarzania (sterowanie obrabiarek, robotów, linii montażowych).
- CAE (Computer Aided Engineering) – inżynieria wspomagana komputerowo (wykorzystanie komputera do typowych czynności inżynierskich, zwłaszcza podczas przeprowadzania obliczeń wytrzymałościowych).
- PLM (Product Lifecycle Management) – zarządzanie cyklem życia produktu (kompleksowe podejście do organizacji wytwarzania bazujące na wykorzystaniu zintegrowanego ze sobą oprogramowania komputerowego wspomagającego wszystkie procesy związane z wytworzeniem i obsługą produktu od fazy koncepcji przez projektowanie szczegółowe, prototypy, testy, produkcję, serwis, aż po wycofanie produktu z rynku).
- Normy ISO 9000 - są powszechnie uznawane za podstawę budowania systemów zarządzania jakością we wszystkich organizacjach, bez względu na rodzaj ich działalności. Zawierają terminologię, wymagania i wytyczne dotyczące wprowadzania, doskonalenia i kontrolowania systemu zarządzania jakością.

2. PRZYKŁADY PROJEKTOWANIA WAŁU Z WYKORZYSTANIEM WYBRANYCH SYSTEMÓW CAD

2.1. Autodesk Inventor

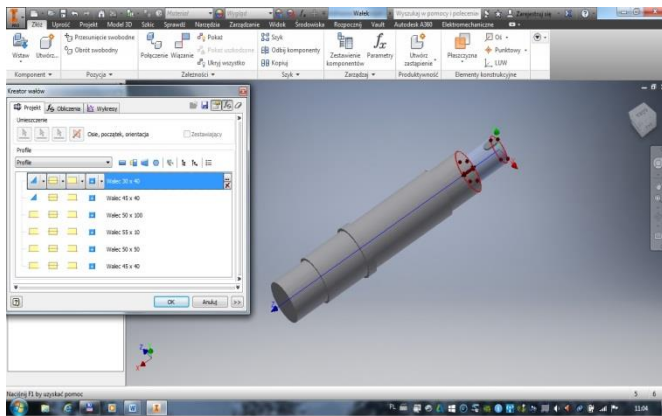
Projektowanie przeprowadzamy wykorzystując zamieszczony w programie kreator części [2] odpowiadający rodzajowi projektowanej części. W opisywanym przypadku jest to kreator wałów (rys. 1). W kreatorze wału definiujemy wstępnie wymiary wałka: średnicę czopa wałka od strony sprzęgła oraz długość wału wyliczoną na podstawie założeń projektowanej przekładni wynikającej z rozstawu między łożyskami, wymiarów szerokości sprzęgła i koła przekładni. Oprócz definiowania kolejnych odsadzeń wału kreator umożliwi wygenerowanie podcięć fazek, rowków pod wpusty i pierścienie osadzące.

Po dobrze odpowiedniego rodzaju materiału z którego ma być wykonany wał, dzięki rozbudowanemu modułowi obliczeniowemu możliwe jest przyłożenie obciążenia wału w postaci sił i momentów oraz umiejscowienie podpór wału w miejscach projektowanych osadzeń łożysk. (rys. 2.)

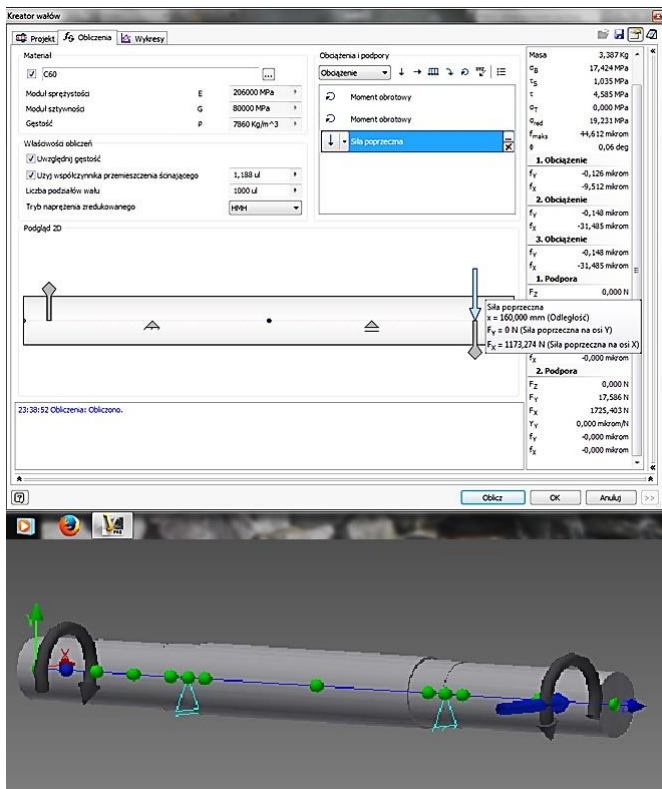
Może służyć jako programowalna platforma do automatyzacji złożonych zadań projektowych integrująca dane projektowe z firmowymi systemami informatycznymi. Na jego bazie opracowane zostały inne specjalistyczne systemy CAD dedykowane do różnych branż (AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical, AutoCAD Architecture). Charakteryzuje się otwartą architekturą umożliwiającą tworzenie specjalistycznych nakładek.

Tab. 1. Przegląd systemów CAD/CAM [1]

Nazwa programu	Typ	Format pliku	Opis
AutoCAD	CAD	.dwg	Program do modelowania 2D i 3D oraz opracowywania dokumentacji (grafiki inżynierskiej) w branży mechanicznej, budowlanej, elektrycznej itp. Jest najpopularniejszym na świecie narzędziem do projektowania i kreślenia. Może służyć jako programowalna platforma do automatyzacji złożonych zadań projektowych integrująca dane projektowe z firmowymi systemami informatycznymi. Na jego bazie opracowane zostały inne specjalistyczne systemy CAD dedykowane do różnych branż (AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical, AutoCAD Architecture). Charakteryzuje się otwartą architekturą umożliwiającą tworzenie specjalistycznych nakładek.
AutoCAD Mechanical	CAD	.dwg	Program służący do tworzenia szkiców i rysunków 2D urządzeń mechanicznych metodą Feature Based Modeling. Zawiera biblioteki elementów znormalizowanych. Umożliwia wykonywanie obliczeń wytrzymałościowych.
Inventor	CAD	części - .dwg (.ipt) złożenia - .iam rysunki - .idw	Parametryczny modeler bryłowy umożliwiający cyfrowe prototypowanie, półautomatyczną generację dokumentacji rysunkowej z trójwymiarowych modeli. Podstawowe moduły to: - moduł do tworzenia części (dawniej .ipt, obecnie .dwg), - moduł do tworzenia złożeń (.iam), - moduł do tworzenia dokumentacji (.idw). Dodatkowo moduł do tworzenia części oferuje możliwość sprawdzenia wytrzymałościowego części, natomiast moduł do tworzenia złożeń umożliwia przeprowadzenie symulacji montażu, tworzenia animacji i renderingu do prezentacji fotorealistycznych.
CATIA	CAD/CAM CAE/PLM	części - .catpart modele - .model złożenia - .catproduct	Zaawansowany parametryczny wielomodułowy system wspomagania prac inżynierskich (CAD/CAM) wspomagający projektowanie mechaniczne od szkiców, przez rysunki detali, zdefiniowanie zespołów i wygenerowanie dokumentacji wykonawczej oraz wirtualne prototypowanie. Umożliwia wykonanie wirtualnych makiet oraz przeprowadzenie niezbędnych symulacji i obliczeń mających na celu zoptymalizowanie konstrukcji urządzenia. CATIA jest oferowana w trzech konfiguracjach (tzw. platformach) różniących się między sobą modułami składowymi. Każda z nich opracowywana pod kątem różnych potrzeb użytkowników.
IronCAD	CAD	.ics, .icd, .icc	Parametryczny program do modelowania bryłowego FBM dedykowany branży mechanicznej. Umożliwia tworzenie trójwymiarowych modeli cyfrowych powiązanych asocjatywnie z rysunkami wykonawczymi. Oferuje możliwości modelowania bezpośredniego, renderingu, analizy kolizji w złożeniach.
Pro/Engineer	CAD/CAM/ CAE/PLM	.prt, .asm, .frm, .drw	Modeler wysokiego poziomu stosowany w branży motoryzacyjnej, jest narzędziem służącym do kompleksowego wspomaganie procesu projektowania produktu od wstępnej koncepcji, po technologię wytwarzania.
Solid Edge	CAD/CAE	części - .par złożenia - .asm rysunki - .dft	Parametryczny system służący do modelowania części i zespołów (głównie w przemyśle maszynowym). Ma wbudowany system zarządzania dokumentacją (Solid Edge Insight) ułatwiający prace grupową zgodnie z wymaganiami norm ISO 9000
Solid Works	CAD/CAE	części - .sldprt złożenia - .sldasm rysunki - .slddrw	Modułowy rozbudowany system oferujący: projektowanie mechaniczne (SolidWorks Office), obliczenia wytrzymałościowe (CosmosWorks), zarządzanie danymi (PDMWorks), - narzędzia do komunikacji (eDrawings), moduły specjalistyczne (projektowanie połączeń SolidWorks Toolbox, projektowanie konstrukcji rurowych SolidWorks Routing).
UGS NX	CAD/CAM CAE/PLM	.prt	System przeznaczony do zarządzania całym cyklem życia produktu. Zawiera wiele specjalizowanych modułów. Moduł CAD przeznaczony jest do cyfrowego parametrycznego modelowania



Rys.1. Kreator wałka.



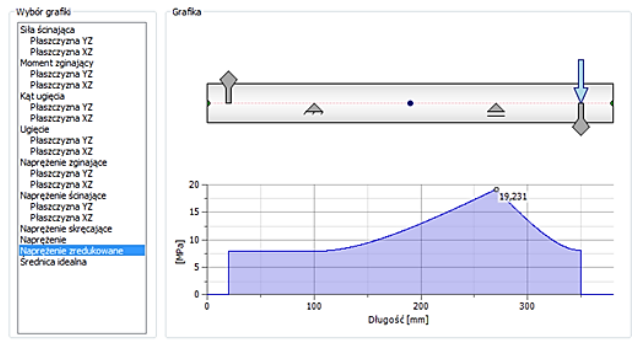
Rys. 1. Moduł obliczeniowy wału wraz z wizualizacją obciążenia

Obliczenia wału wykonywane są poprzez kliknięcie zakładki **Oblicz**. W wyniku wprowadzonych danych otrzymujemy szereg obliczeń inżynierskich, podstawowych parametrów pracy projektowanego wałka np. wartości sił reakcji w podporach, wartości naprężeń zginających, ścinających czy zredukowanych jak również wymiar wymaganej minimalnej średnicy wału lub strzałki ugięcia.

Kreatory w programie Inventor wyposażone są dodatkowo w funkcję notatnika, która pozwala na zapisanie i wydruk wszystkich danych projektu, począwszy od założeń projektowych poprzez wyniki obliczeń, a także wykresy (rys. 3.) i dołączenie ich do dokumentacji projektowej urządzenia.

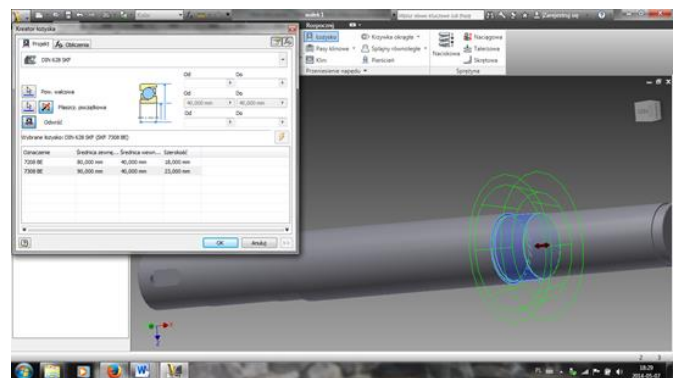
W oparciu o wykorzystanie rozbudowanych bibliotek programu „uzbrojenie” projektowanego wału w łożyska (rys. 4, 5.), pierścienie uszczelniające, osadczce czy wpusty, sprowadza się do wyboru odpowiedniego elementu i wskazania jego położenia. Trwałość dobranych łożysk oraz sprawdzenie zdolności przeniesienia obciążenia przez wstawiony wpust jest wykonywana z poziomu programu.

Równie proste dzięki wbudowanym w oprogramowaniu generatorom, jest dalsze projektowanie układu przeniesienia napędu i w postaci np. przekładni pasowej czy zębatej (rys.6).

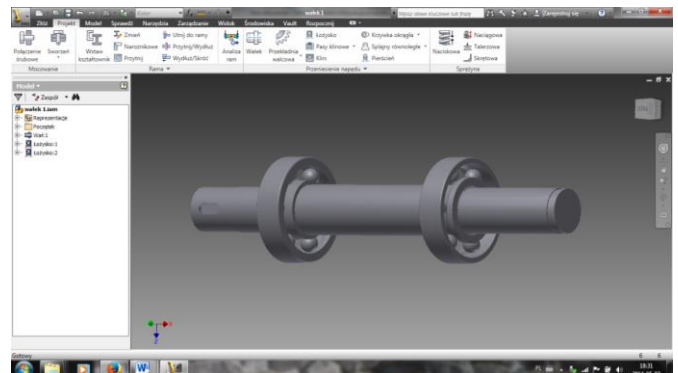


23:38:52 Obliczenia: Obliczono.

Rys.3. Wykres naprężeń zredukowanych



Rys.4. Wybór i wskazanie umiejscowienia łożyska



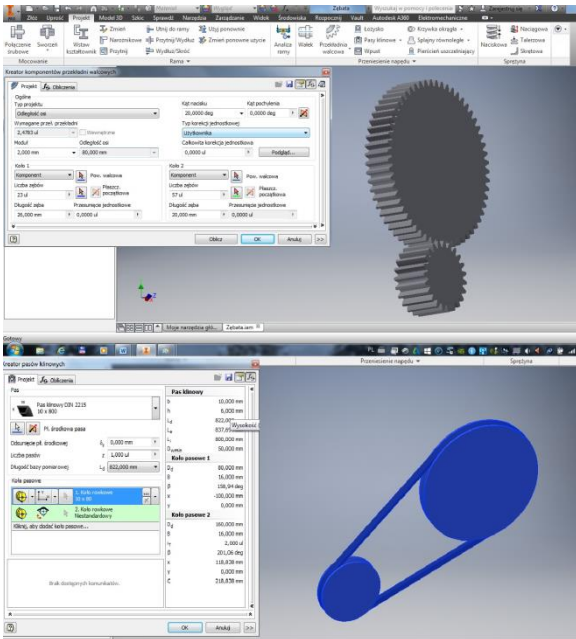
Rys.5. Wizualizacja ułożyskowanego wału

2.2. CATIA

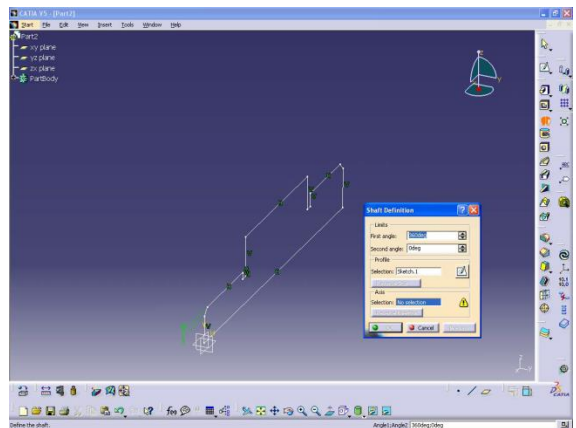
W programie CATIA konstruktor nie dysponuje generatorami opisanymi podczas projektowania przy użyciu programu Inventor.

Aby utworzyć wałek, konieczna jest jego ręczna edycja na podstawie wcześniej przeprowadzonych obliczeń wytrzymałościowych, według których dobieramy średnice w poszczególnych przekrojach wału [3].

Projektowanie rozpoczyna się od narysowania szkicu, a następnie korzystając z odpowiedniej funkcji programu dokonujemy obrotu szkicu tworząc bryłę obrotową (rys.7.). Dla brył nieobrotowych wykorzystuje się funkcję Wyciągnięcie. Modyfikacja wałka, np. dodanie rowka pod wpust wymaga kolejny raz ręcznej edycji. Najpierw definiuje się nową płaszczyznę, na której zostanie wykonany szkic. W tym celu wybrana zostaje jedna z płaszczyzn charakterystycznych, do której nowa płaszczyzna ma być równoległa, a następnie określa się odległość między płaszczyznami.



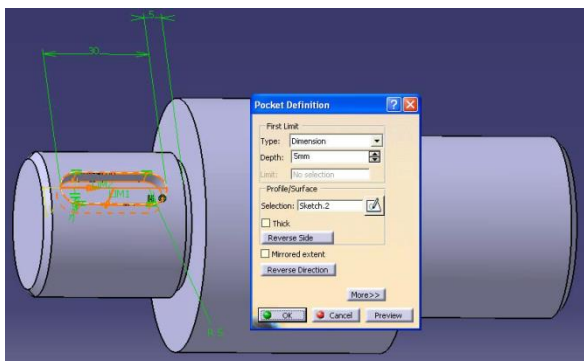
Rys.6. Przykład wygenerowanych przekładni zębatej i pasowej



Rys. 7. Tworzenie bryły przez obrót (Catia)

Na tak przygotowanej płaszczyźnie rysujemy szkic rowka na wpust, wymiarujemy rowek podając promień rowka, jego długość całkowitą, oraz odsunięcie od krawędzi stopnia. Poprzez dodanie odpowiednich więzów ustalamy jego położenie symetrycznie względem osi symetrii wału.

Wykorzystując funkcję *Wyciągnięcie proste z wybraniem*, wykonujemy zaplanowany rowek na powierzchni czopa wału, definiując głębokość wybrania (rys.8.)



Rys. 8. Wykonanie rowka pod wpust przez wybranie materiału (Catia)

Do zaprojektowanego wału możliwe jest przyłożenie obciążeń i wykonanie niezbędnych obliczeń wytrzymałościowych.

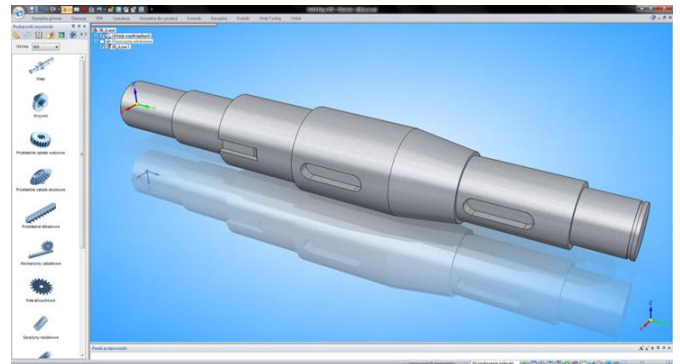
Niemożliwe jest natomiast automatyczne wygenerowanie elementów jak łożyska, uszczelniacze, czy też pierścienie osadze. W tym wypadku należy je modelować od podstaw jako oddzielne części lub podzespoły. Taki sam tok postępowania okaże się niezbędny podczas projektowania przekładni. Wiąże się to oczywiście z istotną niedogodnością i koniecznością włożenia w projekt odpowiednio więcej pracy. W konsekwencji w sposób znaczący wydłuży się czas całego procesu projektowania.

Przed zakupem programu konieczne jest określenie niezbędnej dla użytkownika funkcjonalności. Zwykle jest to pakiet kilku modułów. Dodatkowe moduły rozszerzające możliwości aplikacji są dodatkowo płatne.

2.3. Solid Edge

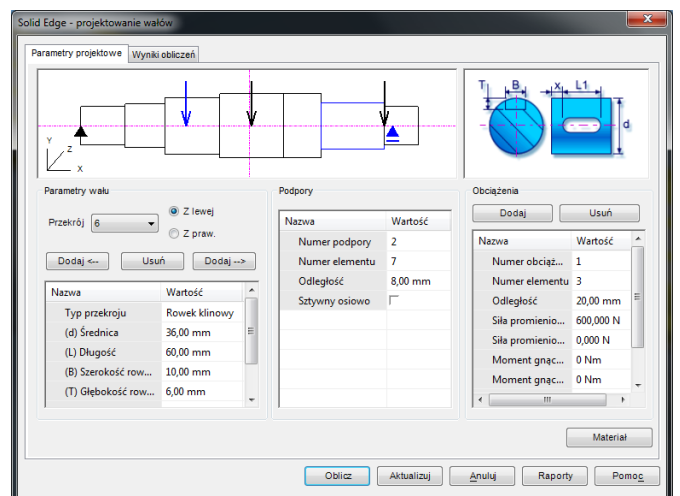
W przypadku programu Solid Edge, tak jak we wcześniej opisanym programie Inventor, podczas projektowania mamy do dyspozycji specjalnie opracowane kreatory części [4].

W kreatorze charakteryzujemy poszczególne przekroje podając ich główne wymiary oraz cechy szczególne (rowki na wpust, podcięcia technologiczne, fazowanie krawędzi lub rowki pod pierścienie zabezpieczające) (rys. 9.).



Rys. 9. Kreator wału Solid Edge

Tu także wprowadza się obciążenie wałka, definiując siły czynne i siły reakcji (rys. 10.). Wyniki obliczeń otrzymujemy w formie wykresów sił, momentów, czy strzałki ugięcia wału.



Rys. 10. Definiowanie parametrów projektowych i obciążeń wału

Uzupełnieniem kreatora są również bogate biblioteki znormalizowanych części jak wpusty, łożyska, uszczelnienia lub pierścienie

osadczce, które dobieramy wskazując odpowiednią powierzchnię modelowanego elementu (rys. 11.).



Rys. 11. Wykorzystanie bibliotek Solid Edge

2.4. ProEngineer / CreoW przypadku aplikacji ProEngineer/Creo modelowanie wału (rys. 12.) odbywa się w sposób analogiczny do znanego już z Catii. Program umożliwia zdefiniowanie rodzaju materiału, zdefiniowanie obciążeń i podpór oraz wykonanie obliczeń wytrzymałościowych. Aplikację wyposażono we wtyczkę umożliwiającą wysłanie parametrów konstruowanego elementu bezpośrednio do obrabiarki sterowanej numerycznie. Niestety oprogramowanie nie posiada aż tak szerokiego wyboru akceleratorów jaki dostępny jest w Inventorze. Możliwe jest jednak korzystanie z szeregu bibliotek oraz dostępnych za dopłatą modułów wspomagających projektowanie konstrukcji szkieletowych i ramowych, rurowych oraz kablowych.



Rys. 12. Wałek wraz z obciążeniem (ProEngineer)

Na uwagę zasługuje moduł do modelowania elementów ciała ludzkiego i analizy interakcji człowiek-produkt (Creo Manikin Extension). Creo Manikin Extension pozwala na budowę modeli 3D w oparciu o biblioteki typowych elementów ludzkiego ciała oraz wstawianie ich do projektów urządzeń. Modele te bazują na wynikach pomiarów antropologicznych. Dodatkowo możliwe jest uwzględnianie zagadnień ergonomii w procesie projektowania.

PODSUMOWANIE

Niewątpliwie, współcześnie przy wykonywaniu zadań konstruktorskich stawianych przed inżynierami, ogromne znaczenie ma zastosowanie systemów CAD. Poprawiają one efektywność wykonywanej pracy, pozwalają na wirtualną analizę projektowanego wyrobu, a to wszystko wpływa na zmniejszenie kosztów produkcji, co w obecnym świecie jest kryterium szczególnie uwzględnianym podczas analizy możliwości produkcyjnych. Z drugiej jednak strony wiąże się to z

koniecznością zakupu odpowiedniego sprzętu komputerowego i oprogramowania, co może okazać się poważnym obciążeniem dla budżetu firmy. Szeroka gama dostępnego na rynku oprogramowania, zróżnicowanego pod względem zasobów bibliotecznych oraz możliwości konstrukcyjnych, a co za tym idzie również pod względem kosztowym, z jednej strony pozwala firmom mniejszym, o ograniczonym budżecie, na wyposażenie swojego stanowiska konstruktorskiego w system CAD, jednak z drugiej strony może powodować niepełne i nieefektywne wykorzystanie zasobów takiego systemu (inżynier poznaje pełną wartość oprogramowania dopiero w trakcie pracy z nim).

W różnych programach, w różny sposób rozwiązane jest projektowanie części. Niektóre systemy (Inventor, Solid Edge) posiadają kreatory części, w których modelowanie polega na definiowaniu cech konstrukcyjnych podzespołu. W innych indywidualnie edytujemy tworzoną część korzystając z funkcji rysunkowych programu, jak wyciągnięcie proste szkicu, czy przez obrót (Catia, ProEngineer).

Oczywiście nie można zapomnieć o wymaganych, odpowiednich kwalifikacjach współczesnych inżynierów obsługujących systemy komputerowe. Równocześnie możliwość wykorzystywania do pracy nowoczesnych, rozbudowanych programów nie zwalnia konstruktora z obowiązku zdobywania i poszerzania wiedzy o charakterze czysto inżynierskim. Systemy CAD są bardzo dobrym uzupełnieniem i wsparciem w pracy konstruktora, ale to tylko narzędzia, którymi powinien operować odpowiednio do tego przygotowany, posiadający odpowiednią wiedzę inżynier.

Gruntowna analiza dostępnego oprogramowania pod kątem jego funkcjonalności w aspekcie realnych potrzeb, jak i możliwości ekonomicznych przedsiębiorstwa pozwoli na optymalny wybór.

BIBLIOGRAFIA

1. Sydor M., *Wprowadzenie do CAD. Podstawy komputerowo wspomaganego projektowania*, Warszawa 2009, Wydawnictwo Naukowe PWN.
2. Płuciennik P., *Projektowanie elementów maszyn z wykorzystaniem programu Autodesk Inventor*, Warszawa 2013, Wydawnictwo Naukowe PWN.
3. Skarka W., Mazurek A., *CATIA. Podstawy modelowania i zapisu konstrukcji*. Warszawa 2005, Wydawnictwo Helion.
4. Kazimierzczak G., *Solid Edge. Komputerowe wspomaganie projektowania*, Warszawa 2004, Wydawnictwo Helion.

The use of CAD systems in the process of machinery and equipment constructing

Paper aims to present the possibilities of using CAD systems to solve problems they encounter in their professional modern engineers. Shows, in general terms, few popular in our country programs and to compare the possibilities of using the example of a project of the shaft

Autorzy:

dr inż. **Paweł Płuciennik** – Politechnika Łódzka – Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn

dr inż. **Andrzej Maciejczyk** – Politechnika Łódzka – Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn