

**Hubert Michalczuk, Krzysztof  
Tubielewicz, Andrzej Zaborski**

---

**Modelowanie komputerowe  
wytrobów w systemach CAD/CAM**

---

Dydaktyka Informatyki 5, 180-197

---

2010

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach  
dozwolonego użytku.

**Hubert Michalczuk, Krzysztof Tubielewicz, Andrzej Zaborski**

## **MODELOWANIE KOMPUTEROWE WYROBÓW W SYSTEMACH CAD/CAM/CAE**

### **1. Wprowadzenie**

Wprowadzenie w latach 90. XX wieku systemów komputerowych do procesu projektowo-konstrukcyjnego pozwoliło na wprowadzenie gruntownych zmian na wszystkich etapach przygotowania produkcji. Zmiany zaszły praktycznie na każdym etapie, począwszy od pojawienia się koncepcji przyszłego wyrobu, a kończąc na sposobie wygenerowania oprogramowania na obrabiarki sterowane numerycznie, systemy skomputeryzowanej kontroli jakości, czy też komputerowo sterowane systemy transportu wewnętrznego [Chlebus 2000].

Współczesne systemy CAD/CAM/CAE umożliwiają realizację modelowania trójwymiarowego (3D) poszczególnych części projektowanego wyrobu. Opracowane części można połączyć, tworząc trójwymiarowe, wirtualne modele funkcjonalne projektowanego wyrobu. Opracowane w ten sposób modele można wykorzystać do symulacji pracy projektowanego urządzenia, tak, by możliwe było skorygowanie ewentualnych problemów związanych ze współpracą poszczególnych jego części. We współczesnym procesie projektowania wykonanie prototypu urządzenia poprzedzane jest wykonaniem jego wirtualnych odpowiedników (makiet). Na takich obiektach przeprowadza się symulacje mające na celu zoptymalizowanie konstrukcji urządzenia.

Możliwe jest również wykorzystanie systemu do wspomaganie wykonania czasochłonnej dokumentacji dwuwymiarowej (2D) projektu przeznaczonej do wydruku na drukarkach lub ploterach. Bardzo istotną rolę może również pełnić system komputerowy na etapie wstępnego opracowania projektu realizowanego rozwiązania. Warto pamiętać, że na etapie tym tworzone są konstrukcje najistotniejszych elementów projektowanego urządzenia. Nie do przecenienia jest możliwość wykorzystania wówczas komputera do tworzenia modeli matematycznych, czy też symulacyjnych (np. MES) pozwalających na optymalizację ich konstrukcji. Dzięki wykorzystaniu komputera obliczenia nie tylko wykonuje się zdecydowanie szybciej, ale przede wszystkim mogą być one znacznie bardziej dokładne. Dzięki temu projektowane wyroby mogą być np. znacznie lżejsze, nie tracąc na możliwych do uzyskania właściwościach użytkowych. Opracowany

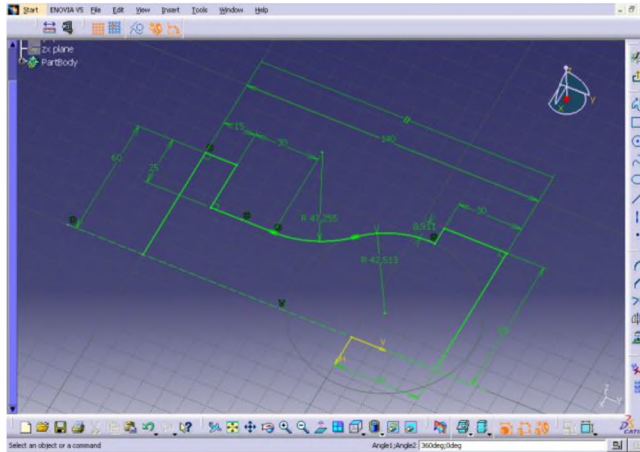
projekt pozwala na przejście do kolejnego etapu przygotowania procesu produkcyjnego, jakim jest etap technologiczny, podczas którego następuje opracowanie technologii wykonania poszczególnych części na podstawie rysunków wykonawczych.

Jednym z najpopularniejszych zintegrowanych systemów CAD/CAM/CAE stosowanych w przemyśle jest system Catia V5. Pozwala on na wspomaganie całego cyklu działań związanych z procesem konstrukcyjno-wytwórczym produktu. System ten zakresem swoich możliwości obejmuje cały proces projektowania i wytwarzania. Jest nie tylko wysokowydajnym narzędziem do modelowania przestrzennego, zautomatyzowanego tworzenia rysunków i dokumentacji technicznej, ale umożliwia również prowadzenie symulacji i wszechstronnych analiz projektowanych obiektów. Możliwości programu zostały zobrazowane na podstawie procesu projektowania chwytaka pneumatycznego [Michalczuk 2008; Tubielewicz, Michalczuk, Zaborski 2009 : 353–360]. Przykład pozwala na ukazanie możliwości programu podczas kolejnych etapów komputerowo wspomaganego projektowania i przygotowania produkcji wyrobów.

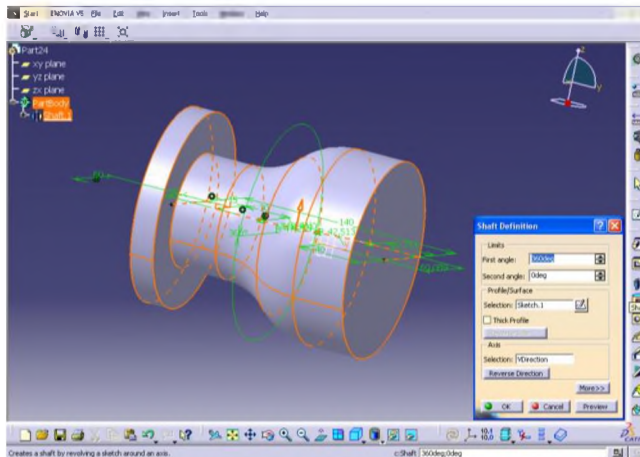
## 2. Modelowanie części

Proces opracowania modelu należy rozpocząć od opracowania modeli poszczególnych części całego zespołu. Kolejnym krokiem jest złożenie ich w jedną spójną całość. Proces modelowania części zostanie przedstawiony na przykładzie opracowania modelu korpusu chwytaka robota. Modelowanie korpusu chwytaka rozpoczyna się od opracowania szkicu, na którym w następnej fazie wykonywane są operacje modelowania trójwymiarowego (wyciągnięcie obrotowe, wybranie materiału, tworzenie otworów, fazowanie, zaokrąglanie itp.) prowadzące do uzyskania trójwymiarowego modelu poszczególnych części.

W celu rozpoczęcia pracy, po uruchomieniu systemu Catia, należy otworzyć moduł rysowania części, klikając z górnego menu *Start* i kolejno wybierać *Mechanical Design / Part Design*. Po znalezieniu się w odpowiednim środowisku pracy należy wybrać płaszczyznę, na której ma powstać dany szkic. Po wybraniu interesującej płaszczyzny, w celu przejścia do zasobów szkicownika stanowiącego ostoję modelowania elementów płaskich, klikamy ikonę *Sktecher*, lub ikonę *Positioned Sktecher*, co pozwala na dowolne pozycjonowanie wykonanego szkicu i umożliwia powielanie. Wykorzystując narzędzie *Profile*, które umożliwia rysowanie dowolnie zorientowanych linii, łuków itp. praktycznie bez odrywania „pióra”, należy narysować zarys (rys. 1).



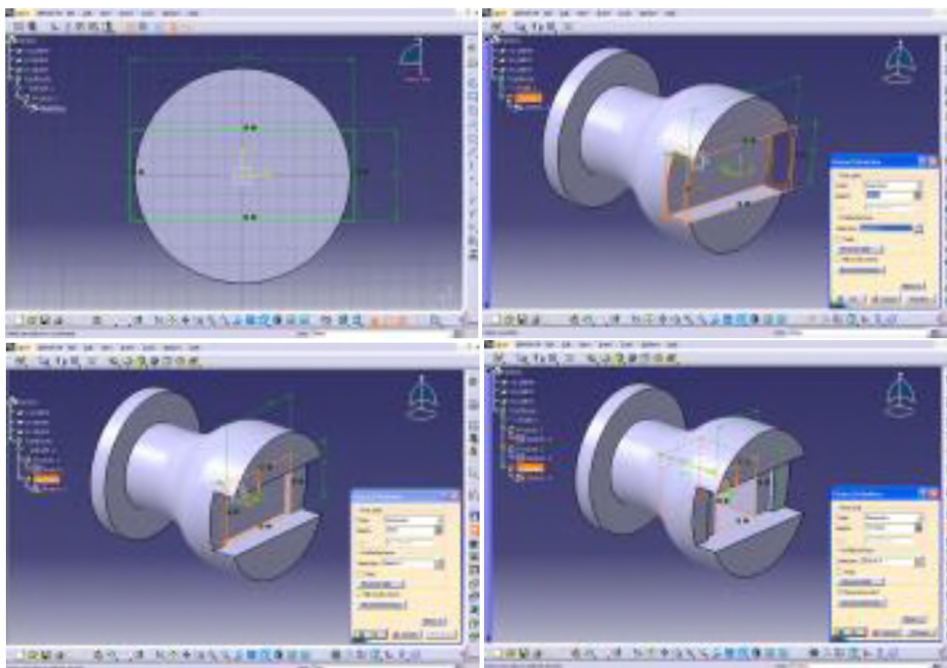
Rys. 1. Przykład opracowania szkicu



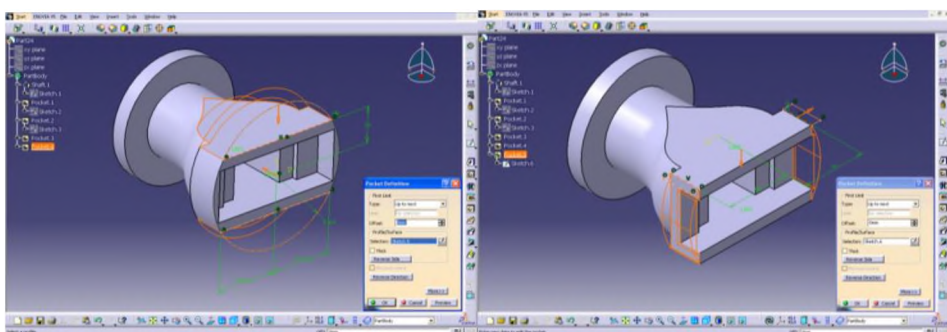
Rys. 2. Wyciągnięcie obrotowe profilu

Szpicowanie należy rozpocząć od narysowania odpowiedniego konturu, a następnie narzucić odpowiednie więzy. Narzucone więzy zarówno geometryczne (wymiary), jak i konstrukcyjne, umożliwiają sterowanie długością, promieniem oraz wzajemnym położeniem poszczególnych linii względem siebie, a także zapobiegają samoczynnemu przemieszczaniu się szkicu (cały szkic musi być w kolorze zielonym). Po sparametryzowaniu rysunku należy wyjść ze szkicownika za pomocą ikony *Exit Workbench*, znajdującej się na pasku narzędziowym. Po powrocie do modułu Part Design należy kliknąć ikonę *Shaft*. Polecenie to umożliwi stworzenie bryły przestrzennej poprzez wyciągnięcie obrotowe wykonanego szkicu. Należy wskazać szkic oraz ustalić kąt (Angle), o jaki profil ma być wyciągnięty (rys. 2).

Następnym etapem modelowania korpusu chwytaka jest wykonanie wycięcia, dzięki któremu uzyskuje się miejsce na zamocowanie szczęk. Postępując podobnie jak poprzednio, trzeba wybrać płaszczyznę, na której powstanie szkic (tym razem jest to czolowa powierzchnia naszej bryły). W module szkicownika tworzy się sparametryzowane kontury, za pomocą których wykonuje się wybrania (rys. 3). Po powrocie do modułu *Part Design* należy kliknąć ikonę *Pocket*. Polecenie to umożliwi wybranie materiału na podstawie wcześniej wykonanego szkicu. Po wybraniu *Pocket* należy wskazać szkic oraz ustalić głębokość (*Depth*) wybrania. W podobny sposób należy wykonać wycięcia pod siłownik pneumatyczny i pod pokrywę blokującą.



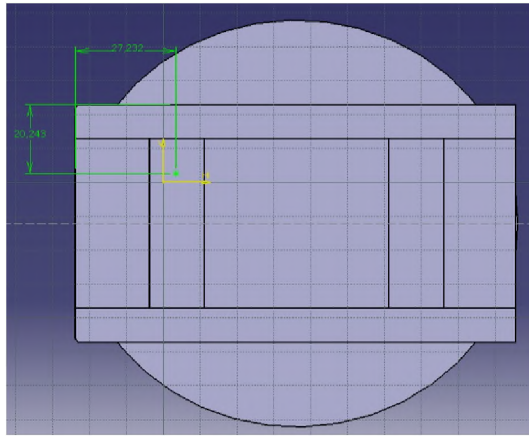
Rys. 3. Kolejne etapy wykonania wybrania pod pokrywę i siłownik



Rys. 4. Wykonanie wybrania kształtującego górną, dolną część i boki chwytaka

Po wykonaniu tych operacji, w następnej fazie modelowania, posługując się narzędziem *Poczet*, należy przystąpić do wykonania wycięć formujących zewnętrzny kształt chwytaka (rys. 4).

Kolejnym etapem modelowania korpusu będzie wywiercenie otworów: mocujących pokrywę blokującą silownik w korpusie chwytaka, mocujących przewody powietrzne, mocujących szczęki i mocujących chwytak z ramieniem robota. Pracę należy rozpocząć od wyboru narzędzia *Hole* i wskazania płaszczyzny, na której będą znajdować się otwory. Po wykonaniu tych czynności wyświetlone zostanie okno dialogowe *Hole Definition*. W celu określenia pozycji otworu należy wybrać opcję *Positioning Sketch* i sparametryzować położenie otworu w płaszczyźnie wycięcia pod pokrywę (rys. 5). W przykładzie tym można użyć opcji przyspieszającej projektowanie, a mianowicie rozmieszczenie otworów jako sztyk prostokątny *Rectangle*.

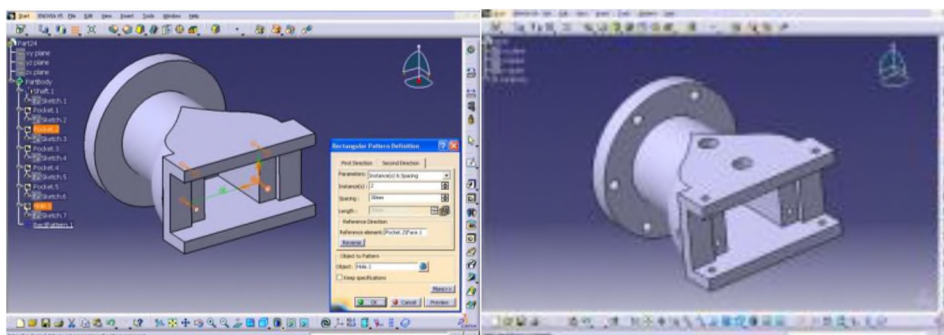


Rys. 5. Pozycjonowanie środka otworu

Po określeniu położenia środka otworu można opuścić szkicownik za pomocą ikonki *Exit Workbench*. W kolejnym kroku w oknie dialogowym *Hole Definition* na zakładce *Extension* wybrać należy z menu rozwijanego *Blind*, co oznacza, że otwór wycinany będzie na głębokość zadaną przez projektanta. Głębokość tę określa się za pomocą parametru *Depth*. Na powyższej zakładce należy podać jeszcze średnicę otworu *Diameter*, jednak w tym przypadku będzie to otwór gwintowany i jego średnica zostanie określona na zakładce *Thread Definition*. Ostatnia aktywna opcja *Bottom* (zakończenie otworu: płaskie bądź stożkowe) zostaje ustawiona na zakończenie stożkowe. Na następnej zakładce *Type*, można wybrać kształt podcięcia początku otworu. Podcięcia te wykorzystywane są przy stosowaniu śrub z różnym lbem (proste, z lbem walcowym, stożkowym, stożkowo-walcowym oraz podcięcie na kolek ustalający). W tym przypadku otwór pozostaje prosty. Ostatnią zakładkę *Thread Definition* stanowi modelowa-

nie gwintu w otworze. Pierwszym krokiem pracy na tej zakładce jest zaznaczenie opcji (*Threaded*), w celu potwierdzenia, że otwór ma być gwintowany. Następnie należy określić typ gwintu (*Type*) oraz podać średnicę gwintu (*Thread Description*). W przypadku modelowanego otworu będzie to typ *Metric Thick Pitch* o średnicy M6. Następnie wprowadza się głębokość, na jaką otwór ma zostać wykonany (*Hole Depth*) i głębokość gwintu (*Thread Depth*), gdzie w danym przypadku wartości te powinny wynosić 20 i 15 oraz określić czy gwint ma być prawo- czy lewoskrętny.

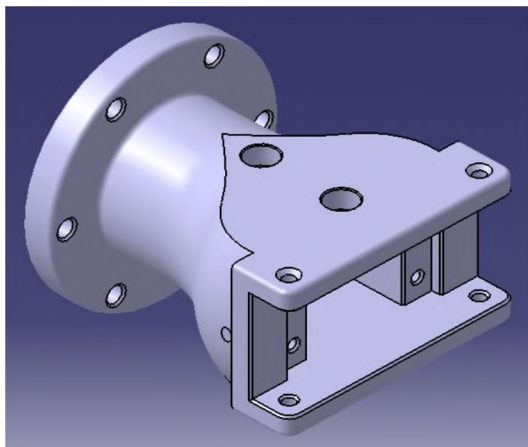
Po zdefiniowaniu geometrii otworu należy jeszcze skopiować go przy zastosowaniu szyku prostokątnego w celu wykonania pozostałych trzech otworów w modelu. Z drzewa historii należy wybrać *Hole*, a wśród ikon poszukać narzędzia *Rectangle*. Narzędzie to zawiera dwie zakładki *First* i *Second Definition*. Służą one rozmieszczeniu w dwóch kierunkach. Na pierwszej z nich należy zaznaczyć jako *Parameters Instance(s) & Spacing*. Oznacza to, że będzie możliwość wybrania ilości kopii danego elementu *Instance(s)* oraz wybranie odległości rozstawu między elementami *Spacing*. Jako pierwszy parametr należy ustawić 2, natomiast w drugim polu wpisać 30. Należy też wybrać płaszczyznę, na której będą rozmieszczane otwory. W przypadku omawianego modelu z drzewa historii trzeba wybrać *Pocket2*. Podobnie należy postąpić na drugiej zakładce, z tą tylko różnicą, że *Spacing* będzie wynosił 65. Po zatwierdzeniu na elemencie pojawiają się wszystkie 4 otwory. W podobny sposób należy wykonać otwory mocujące przewody powietrzne i otwory mocujące szczęki. Różnica będzie polegała na tym, że przy tworzeniu szyku otwory będą kopiowane tylko w jednym kierunku. W podobny sposób, lecz z wykorzystaniem szyku kołowego należy wykonać otwory, za pomocą których chwytak zostanie przytwierdzony do ramienia robota (rys. 6).



Rys. 6. Etapy wykonania otworów za pomocą szyku

W celach estetycznych oraz większego bezpieczeństwa użytkownika elementu należy jeszcze ścieńczyć, bądź zaokrąglić jego ostre krawędzie. Dokonuje się tego za pomocą narzędzi: *Chamfer* oraz *Edge Fillet*. Pierwsze z nich służy do

fazowania pod dowolnym kątem oraz na dowolną długość fazy (jeśli nie istnieją ograniczenia materiałowe), drugie natomiast stosuje się do tworzenia wszelkiego rodzaju zaokrążeń, czy też promieni odlewniczych. Efekt końcowy procesu opracowania modelu został przedstawiony na rys.7.



Rys. 7. Gotowy model korpusu chwytaka

Gdy korpus chwytaka został w pełni zamodelowany, możliwe staje się przejście do opracowania modeli pozostałych części chwytaka. We wszystkich przypadkach, modelowanie będzie, odbywać się w podobny sposób. Gdy wszystkie części złożenia są już gotowe, można przystąpić do złożenia poszczególnych części w model kompletnego mechanizmu.

### 3. Tworzenie złożeń

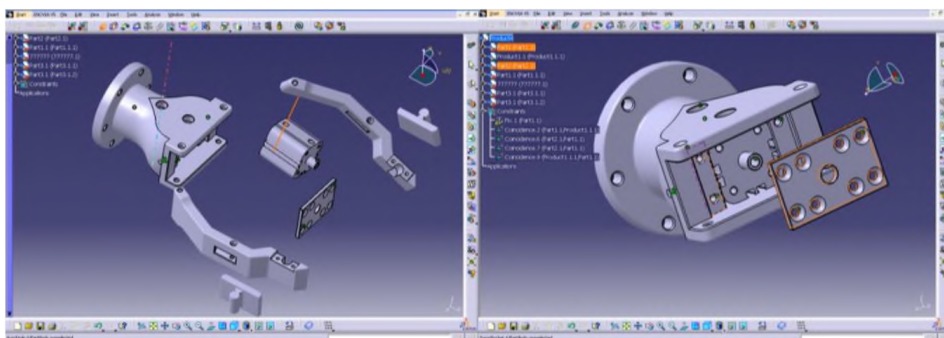
Na tym etapie projektowania następuje opracowanie złożenia mechanizmu z pojedynczych podzespołów poprzez nadanie odpowiednich więzów montażowych, wzajemnie współpracującym ze sobą elementom. W strukturę złożenia zespołu mogą wchodzić zarówno pojedyncze elementy, jak i gotowe, złożone już wcześniej podzespoły stanowiące jedną całość. Po wstawieniu określonych komponentów składowych zespołu, należy nadać im odpowiednie wzajemne położenie, a tym samym odebrać punkty swobody i określić charakter ich współpracy. Można tego dokonać poprzez określenie zależności montażowych (wieszów) [Skarka, Mazurek 2005].

Opracowanie kompletnego złożenia należy rozpocząć od przejścia do modułu *Assembly Design* oraz stworzenia nowego pliku *Produkt*. By wczytać komponenty wchodzące w skład mechanizmu trzeba zastosować polecenie *Existing Component* [Welyczko 2005]. Po wybraniu odpowiedniej ikony i wprowadzeniu

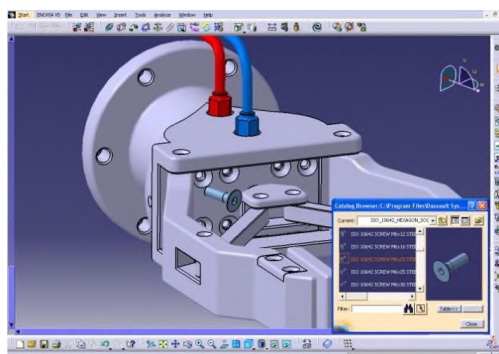


elementów składowych należy je porozsuwać i wstępnie ustawić, gdyż stanowią nieuporządkowaną grupę części składowych. Bierze się to z tego, że poszczególne części zapamiętują swoje położenie z modułu *Part Design*, gdzie były stworzone (najczęściej elementy powiązane są ze środkiem układu współrzędnych, a co za tym idzie po wczytaniu do złożenia zbiegają się do punktu centralnego). Wykonanie kompletnego złożenia należy zrealizować poprzez następujące czynności:

- 1) unieruchomienie korpusu chwytaka za pomocą narzędzia *Fix*,
- 2) nadanie wcześniej wprowadzonemu zespołowi siłownika (za pomocą narzędzia *Coincidence*) współosiowości względem korpusu chwytaka, a także współosiowość jednej z pary otworów, którymi będzie dostarczane powietrze, co umożliwi prawidłowe umieszczenie siłownika w korpusie,
- 3) narzucenie więzów współosiowości (z wykorzystaniem narzędzia *Coincidence*) dwóm otworom pokrywy blokującej siłownik względem odpowiednich otworów w korpusie, oraz określenie (za pomocą narzędzia *Contact Constraint*) miejsca przylegania pokrywy do korpusu poprzez wskazanie odpowiednich powierzchni (rys. 8),

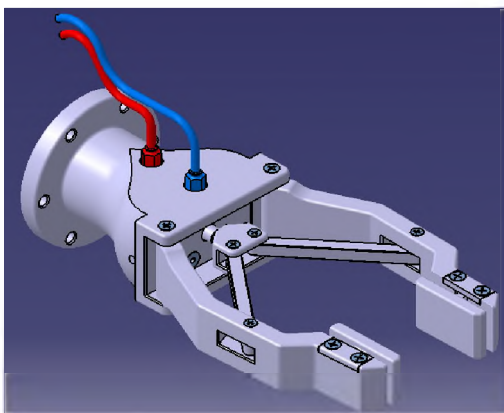


Rys. 8. Nadawanie więzów współosiowości i przylegania



Rys. 9. Wykorzystanie biblioteki systemu Catia V5

- 4) ustalenie położenie złączek, przewodów, końcówek chwytnych oraz rozgałęziacza,
- 5) zamocowanie (używając narzędzi *Coincidence* i *Offset Constraint*) szczęk chwytaka oraz ciągną (narzędzie *Offset Constraint* działa na tej samej zasadzie co narzędzie *Contact Constraint*, z tą różnicą, że jest wzbogacone o opcję pozwalającą nadać odległość pomiędzy wskazanymi elementami),
- 6) zabezpieczenie śrubami i podkładkami prawidłowo rozmieszczonych elementów składowych mechanizmu (części te można narysować w module Part Design, bądź można też wykorzystać katalog części znormalizowanych. System Catia V5 posiada znormalizowany katalog z częściami typu: śruba, nakrętka, podkładka, wpust, sworzeń oraz wkręt – rys. 9. Katalog ten jest w pełni modyfikowalny, umożliwia on dodawanie oraz modyfikację nowych komponentów).



Rys. 10. Model mechanizmu chwytaka pneumatycznego

Po wstawieniu śruby należy jeszcze tylko nadać im odpowiednie więzy geometryczne (za pomocą narzędzi *Coincidence* oraz *Contact*). W podobny sposób można wprowadzić do modelu pozostałe znormalizowane części. Kompletny mechanizm chwytaka pneumatycznego został przedstawiony na rys.10.

#### 4. Opracowanie dokumentacji technicznej

System Catia zawiera podwójny system tworzenia dokumentacji. Pierwsza metoda polega na przejściu do modułu Drafting i tam, podobnie jak w module Sketch, narysowanie szkicu, sparametryzowanie wymiarów, naniesienie odpowiednich tolerancji oraz chropowatości. Jest to metoda najprostsza i najszybsza w przypadku mało skomplikowanych elementów. Gdy jednak dochodzi do przy-

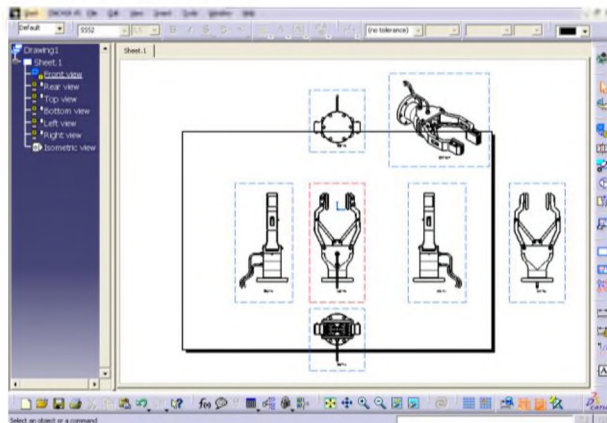
padku projektowania zaawansowanych urządzeń, pierwsza metoda nie jest zbyt dobrym wyjściem (zbyt duża pracochłonność i nakłady czasu poświęcone przy tworzeniu poszczególnych rysunków wykonawczych, rzutów, przekrojów itp.). W takim przypadku rozsądniejszą opcją staje się zastosowanie drugiej metody. Polega ona na tym, że konstruktor tworzy modele trójwymiarowe poszczególnych części, następnie wykonuje złożenie i dopiero na tej podstawie generowane są rysunki stanowiące dokumentację techniczną. Rysując model trójwymiarowy projektant tworzy go tylko raz i na jego podstawie jest w stanie wygenerować wszystkie rzuty, przekroje, wyrwania, szczegóły oraz inne elementy potrzebne w dokumentowaniu. Pierwsza metoda tego nie umożliwia, po stworzeniu rysunku złożeniowego każdy następny detal, rzut, przekrój projektant musi wykonać ręcznie.

Projektant, konstruując urządzenie, opracowuje na samym początku rysunek złożeniowy, a w dalszym etapie, po zatwierdzeniu projektu, tworzone zostają rysunki wykonawcze poszczególnych części. System Catia V5 potrafi na podstawie modelu 3D w sposób automatyczny czy też półautomatyczny wygenerować rysunki zarówno złożeniowe, jak i wykonawcze. Możliwe jest tworzenie wszelkiego rodzaju rzutów, przekrojów, wyrwań, powiększeń. Rysunki stanowiące system dokumentacji muszą zawierać tabliczkę, gdzie zawarte są informacje o nazwie detalu, skali, materiału, z jakiego jest element wykonany, normach itp. Projekty stworzone w module Drafting zapisywane są w odrębnych plikach niż złożenia czy też poszczególne części w postaci \*CATDrafting, jednak dzięki asocjatywności programu wszelkie zmiany naniesione w geometrii modelu automatycznie są aktualizowane w systemie dokumentacji.

Prace przy przygotowywaniu dokumentacji należy rozpocząć od wczytania geometrii modelu, dla którego ta dokumentacja będzie generowana. W tym przypadku będzie to model chwytaka pneumatycznego, przedstawiony na rysunku 10. Należy przejść do modułu *Assembly* i z jego poziomu wczytać plik zawierający model złożenia. Gdy model zostanie wczytany należy przejść do modułu dokumentacji, klikając po kolei menu *Start – Mechanical Design – Drafting*. W tym momencie na ekranie pojawi się okno z możliwością wyboru generowanych rzutów, przekrojów, norm oraz formatu arkusza papieru.

Jako standard kodowania należy ustawić ISO, natomiast format arkusza ustawia się w ten sposób, by zapobiec przypadkowi generowania dokumentacji rysunku złożeniowego na kilku arkuszach papieru. Po dokonaniu tego wyboru należy się jeszcze zastanowić nad tym, w ilu rzutach przedstawiona musi być generowana dokumentacja. Catia umożliwia automatyczne lub ręczne wygenerowanie rzutów, jeżeli chce się generować rzuty ręcznie należy zaznaczyć pustą kartkę, a generowania rzutów dokonać w module Drafting, posługując się narzędziami z palety *Projections*, generując rzuty automatyczne wybiera się jedną z opcji udostępnionych w programie (należy jednak pamiętać o tym, że zbyt duża ilość rzutów wprowadza niepotrzebnie nieczytelność rysunku, stwarzając problemy z odnalezieniem właściwych danych). Po zatwierdzeniu nastąpi proces

generowania rysunku, który w zależności od poziomu skomplikowania oraz mocy obliczeniowej komputera może chwilę potrwać. Po wygenerowaniu Catia automatycznie przechodzi do modułu Drafting (rys. 11), w którym to nastąpi dalsza „obróbka” rysunku.

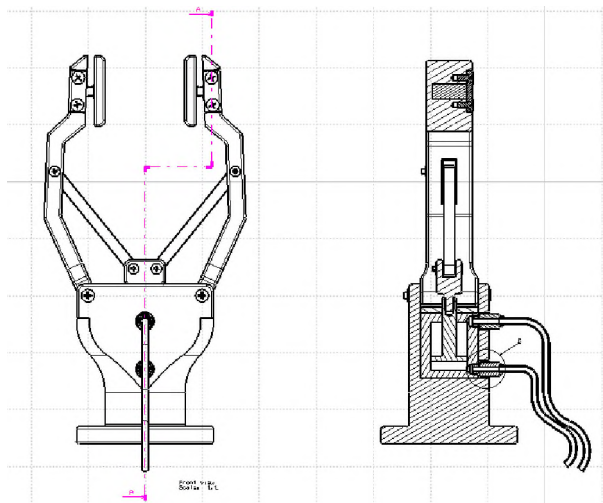


Rys. 11. Wczytanie trójwymiarowego złożenia korpusu chwytaka do modułu Drafting

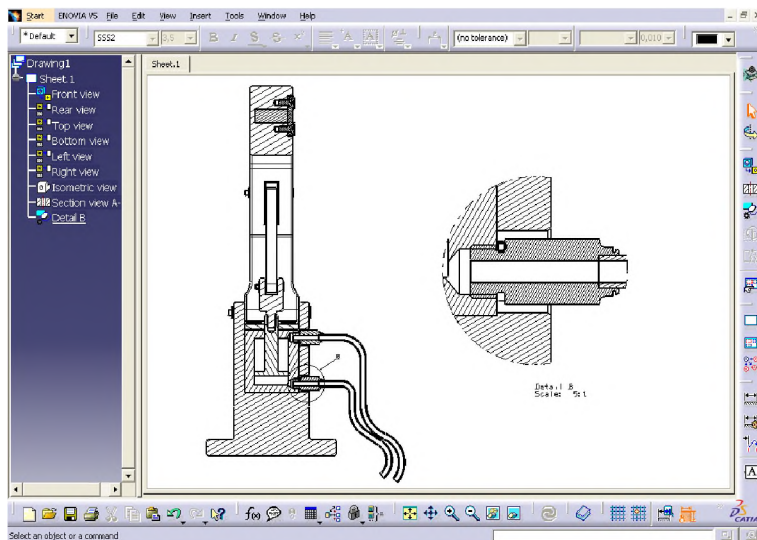
Kolejnym krokiem po wygenerowaniu rzutów jest stworzenie przekrojów mających na celu przedstawienie wewnętrznych zarysów służących dokładnemu wymiarowaniu rysunku. Ilość tworzonych przekrojów powinna być tak samo jak w przypadku rzutów zminimalizowana do poziomu określenia w sposób jednoznaczny konstrukcji modelu. Catia pozwala na tworzenie w zależności od przebiegu płaszczyzny tnącej przekrojów: całkowitych, częściowych, półprzekrojów oraz ćwierćprzekrojów, półwidoków – półprzekrojów.

W przypadku modelowania chwytaka potrzebne będą dwa przekroje, na których pokazane zostaną wszystkie elementy służące do zwymiarowania mechanizmu. Można tego dokonać w sposób następujący: Należy najechać kursorem na ramkę otaczającą interesujący nas widok, kliknąć prawym przyciskiem myszy i z rozwijalnego menu wybrać *Activate View* (oznacza to że wszelkie obróbki będą dokonywane tylko w obrębie danego rzutu, w tym przypadku widoku z przodu). Z menu bocznego należy wybrać ikonkę *Offset Section View* (opcja ta pozwala na tworzenie przekrojów, w których płaszczyzna przebiega pod kątem prostym. Catia zapewnia również cięcie płaszczyznami zorientowanymi dowolnie przy wykonywaniu skomplikowanych przekrojów). Płaszczyznę przekroju prowadzi się tak jak pokazano przerywaną linią w przykładzie. Gdy profil płaszczyzny jest już narysowany, należy kliknąć myszką podwójnie i przenieść kursor na prawo od modelu bazowego (kierunek odkładania wykonywanego półwidoku, bądź półprzekroju jest sprawą ważną, gdyż wybranie nieodpowiedniej strony rzutowania sprawi, że otrzymamy rysunek nie będzie tym, jakiego projektant

w swych zamiarach oczekiwał, lub też nie będzie zgodny z zasadami tworzenia rysunku technicznego). Po zatwierdzeniu (kliknięciu myszą) Catia wygeneruje przekrój (rys. 12).



Rys. 12. Generowanie wybranych przekrojów chwytaka



Rys. 13. Edycja właściwości wybranego szczegółu

Czasami zdarza się, że trzeba pokazać jakiś ze szczegółów rysowanego detalu w powiększeniu, np. podcięcie, gwint, lub też inne bardzo małe detale, niewidoczne na arkuszu rysunku. Trzeba wtedy wykonać odrębny widok w powięk-

szeniu (zwiększona podziałka). W systemie Catia odbywa się to w ten sposób, że wybiera się narzędzie *Detail View*, ograniczając obszar, który ma być powiększony okręgiem (możliwe jest też ograniczenie innym kształtem), a następnie należy wskazać miejsce, gdzie Catia ma wygenerować szczegół (rys. 13). Standardowo detal powiększany jest w skali 2:1, jednak nic nie stoi na przeszkodzie, by tę skalę zmodyfikować. Można tego dokonać, wybierając z menu pomocniczego właściwości detalu, opcję *Properties* – ustawienia. Opcja ta pozwala na dokonywanie wszelkiego rodzaju zmian w obrębie aktywnego rysunku. Umożliwia modyfikacje linii (grubość, kolor, rodzaj), pozwala na pokazywanie bądź ukrycie osi, gwintów, linii centralnych oraz ukrytych, możliwa jest także edycja pól tekstowych (zmiana czcionki: koloru, wielkości, kąta pochylenia itp.).

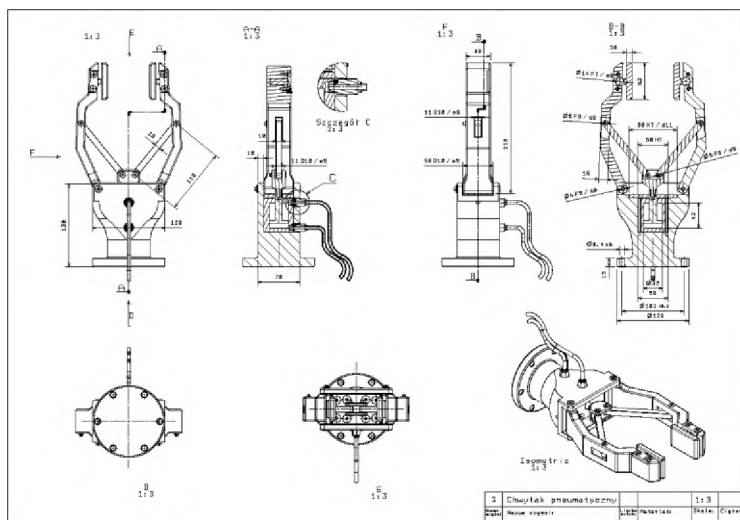
Przygotowanie dokumentacji technicznej opiera się nie tylko na wykonaniu rysunków złożeniowych, detali czy też szczegółów. Do poprawnego zdefiniowania geometrii potrzebny jest także opis rysunku w postaci wymiarów, które stanowią miarę ilościową (miarą jakościową jest kształt rysunku). Catia pozwala na generowanie wymiarów w sposób dwojaki: ręcznie bądź automatycznie (na podstawie więzów i wymiarów założonych podczas modelowania geometrii 3D). Główna różnica między tymi dwoma sposobami wymiarowania to asocjatywność pomiarów. W przypadku wymiarowania ręcznego wielkość pomiaru stanowi jednostronną relację między odniesieniem geometrii a wymiarem na rysunku. Konsekwencją takiego sposobu wymiarowania jest jednostronna asocjatywność polegająca na tym, że przy dokonywaniu modyfikacji na modelu trójwymiarowym wszystkie wymiary na rysunku są automatycznie uaktualniane, natomiast zmiana rysunku nie wpływa w żadnym stopniu na kształt bądź wielkość modelu 3D.

Wymiary wygenerowane w sposób automatyczny (*Generale Dimensions*) nie zawsze są zgodne z podstawowymi zasadami tworzenia rysunku technicznego. Niepoprawnie wykonane wymiary należy poprawić ręcznie, co nie zawsze jest proste, a czasami wręcz niemożliwe do dokonania, dlatego należy na samym początkowym etapie tworzenia geometrii zastanowić się nad aspektem jej tworzenia, co w fazie rozwojowej zaowocuje oszczędnością czasu. Wymiarowanie automatyczne jest bardzo ciekawym rozwiązaniem, gdyż charakteryzuje się dwukierunkową asocjatywnością, ponieważ wymiar określany na rysunku pobierany jest z wcześniej założonego modelu geometrii.

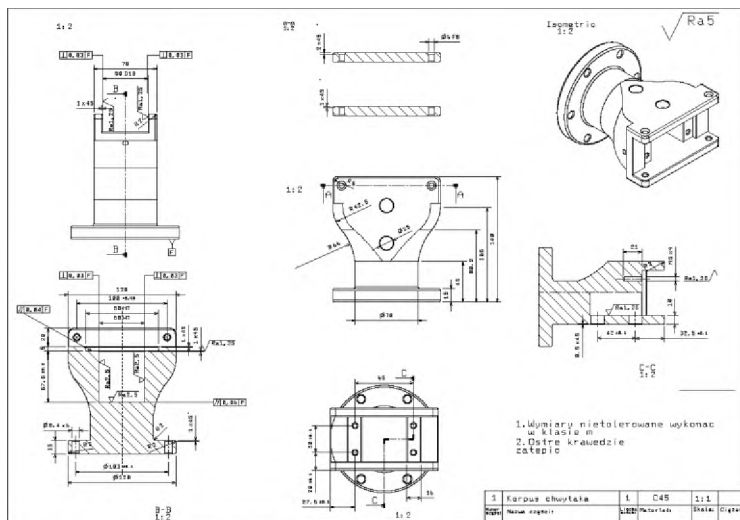
Wymiary zakładane w fazie konstrukcyjnej muszą mieć niekiedy zaznaczoną na rysunku odchyłkę (górną i dolną granicę tolerancji), a także musi być określona chropowatość powierzchni (dokładność wykonania). Stan powierzchni charakteryzowany jest za pomocą znaków graficznych z opisem w formie liczbowej.

W końcowej fazie przygotowywania dokumentacji nieodzowny staje się też opis tekstowy w postaci uwag (wartość wstawiana za pomocą narzędzia *Text*). Zawarte są tam przeważnie dodatkowe informacje służące metodzie wykonania dla całego detalu (rodzaj obróbki cieplnej, twardość materiału po obróbce, wykończenie ostrych krawędzi itp.).

Możliwości wykorzystania systemu Catia do tworzenia dokumentacji technicznej zostały przedstawione na rysunkach 14 i 15:



Rys. 14. Rysunek złożeniowy chwytaka pneumatycznego



Rys. 15. Rysunek wykonawczy korpusu chwytaka

Tworzenie rysunków w oparciu o model trójwymiarowy pozwala na znaczne zaoszczędzenie czasu i pracy. Dzieje się tak, ponieważ nie jest konieczne wykonywanie każdego rzutu „kreska po kresce”, a tworzy się je w sposób automatyczny. Przygotowana w ten sposób dokumentacja, dzięki asocjatywności

z modelem 3D, po wprowadzeniu jakichkolwiek zmian w modelu może zostać w automatyczny sposób edytowana. Stworzone w ten sposób rysunki są bardzo łatwe do archiwizacji i odszukania. Opisane w pracy narzędzie jest bardzo cennym przedmiotem pracy współczesnych inżynierów i projektantów, gdyż dzięki tego typu usprawnieniom skupiają się na pracy, co znacznie skraca proces projektowania. Elektroniczna wersja umożliwia w błyskawicznym tempie przesłanie rysunku do najbardziej odległych zakątków świata.

## 5. Analiza wytrzymałościowa wybranych elementów

We współczesnym procesie komputerowo wspomaganego projektowania w systemach CAD/CAM/CAE obliczenia wytrzymałościowe stają się jednym z najistotniejszych etapów tego procesu. Catia V5 posiada cały szereg narzędzi służących obliczaniu wytrzymałościowemu FEM (Finite Element Method – Metoda Elementów Skończonych) pozwalających na analizę modelu bez konieczności tworzenia obiektów rzeczywistych.

Analizowane przedmioty są automatycznie dzielone na podobszary, na które nakładana jest siatka, jednakże istnieje możliwość świadomej modyfikacji wygenerowanej siatki elementów pozwalającej na zmianę rozmiarów i kształtów generowanych elementów skończonych.

Catia umożliwia zdefiniowanie różnego rodzaju warunków brzegowych. Możliwe jest zdefiniowanie schematu: utwierdzeń, sił, momentów, obciążeń, przemieszczeń, czy nawet wpływu grawitacji w miejscach takich jak krawędzie łączenia płaszczyzn, wierzchołki, płaszczyzny (zarówno proste, jak i krzywoliniowe), a także inne zdefiniowane w procesie tworzenia modelu obszary. Poza modelem wytrzymałościowym Catia uwzględnia wpływ temperatury, pozwalając także na obliczenia przy współdziałaniu kontaktowym (współpraca kilku elementów). Pozwala to na wyeliminowanie błędów powstałych przy analizie poszczególnych jednostek wchodzących w skład mechanizmu, traktując elementy jako złożeniową całość.

Program umożliwia zarówno analizę statyczną – Static Case, dynamiczną (częstotliwościową) – Frequency Case, zmęczeniową – Buckling Case oraz mieszaną – Combined Case, wyczerpując tym samym pakiet analiz, jakie wykonywane są podczas projektowania.

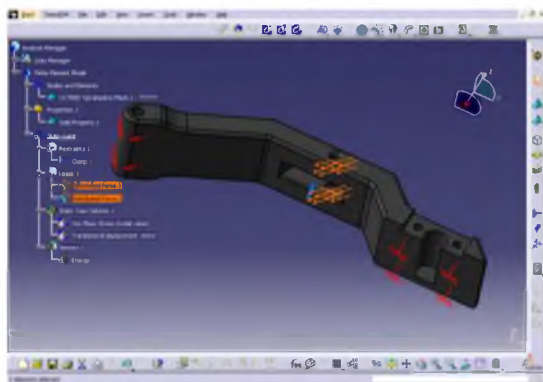
Możliwości programu Catia w zastosowaniu obliczeniowym zademonstrowano na przykładzie szczęki prezentowanego chwytaka. Przyjęto, że obciążenie szczęki wynosić będzie  $F = 820$  N. Wartość obciążenia szczęki obliczono przez wyznaczenie sił działających w układzie kompletnego chwytaka.

Pracę nad obliczeniem modelu należy rozpocząć od stworzenia geometrii w module *Part Design* i nałożeniu właściwości materiału (dokonuje się tego za pomocą narzędzia *Material*, wybierając z zakładek *Metal*, a następnie *Steel*).

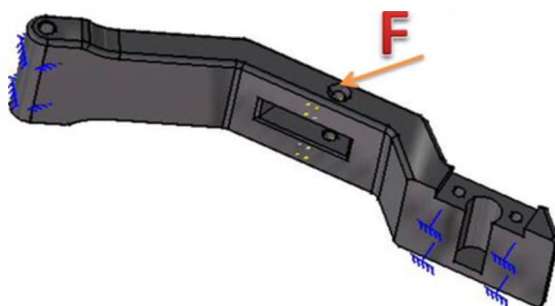


Kolejny krok stanowi przejście do modułu obliczeniowego (*Start-Analysis&Simulation – Generative Structural Analysis*). Po przejściu do modułu FEM należy postępować w następujący sposób:

1. W okienku, które pojawia się po przejściu do modułu należy wybrać typ obliczeń. Model rozpatrywanej szczęki będzie analizowany jako układ statyczny, należy wybrać więc *Static Analysis* i zatwierdzić przyciskiem *OK*.
2. By dokonać analizy należy założyć odpowiednie warunki brzegowe (rys.16). Dokonuje się tego w sposób następujący:
  - na pasku narzędzi należy znaleźć ikonę *Clamp* – służy ona nadaniu utwierdzenia (ograniczenie wszystkich możliwych przemieszczeń oraz obrotów). Mając uruchomione narzędzie, należy kliknąć płaszczyznę płyty, po czym nastąpi utwierdzenie elementu zobrazowane odpowiednimi znakami graficznymi.
  - szczeka ma być obciążona siłą 820 N przyłożoną do osi środkowego otworu pod kątem 45° do szczęki. Do tego celu służy narzędzie *Distributed Force*, po wybraniu którego trzeba wskazać punkt przyłożenia siły (wzdłuż środkowego otworu). Narzędzie to pozwala na założenie sił we wszystkich kierunkach (rys.17).



Rys. 16. Określenie warunków brzegowych oraz siły obciążającej szczękę chwytaka

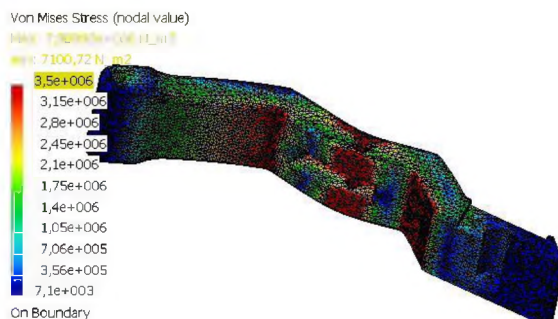


Rys. 17. Model szczęki wraz z nałożonymi siłami oraz więzami

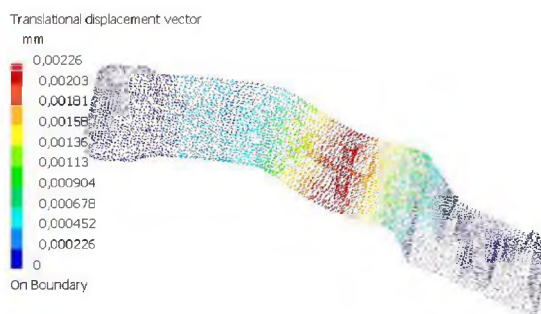
3. Kolejnym krokiem jest uruchomienie narzędzia – *Compute*, które wygeneruje siatkę oraz dokona obliczeń (rys. 18).
4. Po wykonaniu obliczeń można wyświetlić wyniki przemieszczeń, odkształceń, naprężeń itp., jednakże możliwe jest też wygenerowanie raportu podsumowującego całą analizę, którego treść będzie służyć jako dokumentacja techniczna. W celu stworzenia dokumentacji obliczeniowej należy wybrać narzędzie *Generate Report*, w którym warto zaznaczyć opcję *Add Created Image*. Spowoduje to załączenie do raportu zdjęć wszystkich wykonywanych analiz.



Rys.18. Model szczęki z nałożoną siatką elementów skończonych



Rys. 19. Naprężenia zredukowane



Rys. 20. Odkształcenia zredukowane

Największe naprężenia w analizowanej szczęce chwytaka występują w miejscu przyłożenia obciążenia, ale nie są one większe niż naprężenia dopuszczalne naszego materiału (rys. 19). Maksymalne przemieszczenia również występują w miejscu przyłożenia siły, jednak ich wielkość jest nieznaczna (rys. 20).

## Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono, jak nowoczesne systemy wspomagania projektowania i wytwarzania mogą w efektywny sposób ułatwić pracę inżynierom. Przygotowany model korpusu chwytaka może posłużyć jako podstawa do przeprowadzenia symulacji wytrzymałościowych, stworzenia rysunku wykonawczego oraz przygotowania procesu technologicznego wykonania jego elementów składowych. W oparciu o wykonany mechanizm chwytaka pneumatycznego możliwe jest przygotowanie rysunku złożeniowego, sprawdzenie czy mechanizm został poprawnie zaprojektowany, uzyskanie informacji na temat kinematyki układu, a także przeprowadzenie wielu innych symulacji i analiz, dzięki którym można uzyskać niezbędne informacje dotyczące projektowanego rozwiązania konstrukcyjnego, bez konieczności wykonania prototypu.

Metody elementów skończonych pozwalają na dokonywanie zaawansowanych analiz obliczeniowych, dzięki czemu projektowany model jako wirtualny ma rzeczywiste parametry, co eliminuje konieczność budowy często bardzo drogiej, wymagających dużych nakładów czasowych podczas wykonywania, prototypów. Przeprowadzona analiza wytrzymałościowa dostarcza informacji, dzięki którym można stwierdzić, że szczęka chwytaka pneumatycznego została zaprojektowana w sposób poprawny i sprosta wymaganiom eksploatacyjnym.

## Bibliografia

- Chlebus E. *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, WNT, Warszawa 2000.
- Michalczuk H.: *Wykorzystanie w wytwarzaniu nowoczesnych systemów CAD/CAM*. Praca magisterska, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008.
- Skarka W., Mazurek A.: *CATIA. Podstawy modelowania i zapisu konstrukcji*, Wydawnictwo Helion, 2005
- Węliczko A.: *CATIA V5. Przykłady efektywnego zastosowania systemu w projektowaniu mechanicznym*, Wydawnictwo Helion 2005.
- Tubielewicz K., Michalczuk H., Zaborski A. *Modelowanie trójwymiarowe z wykorzystaniem programu CATIA V5*. Materiały XIII Międzynarodowej Szkoły komputerowego wspomagania projektowania, wytwarzania i eksploatacji, Jurata 11–15 maja 2009, s. 353–360.