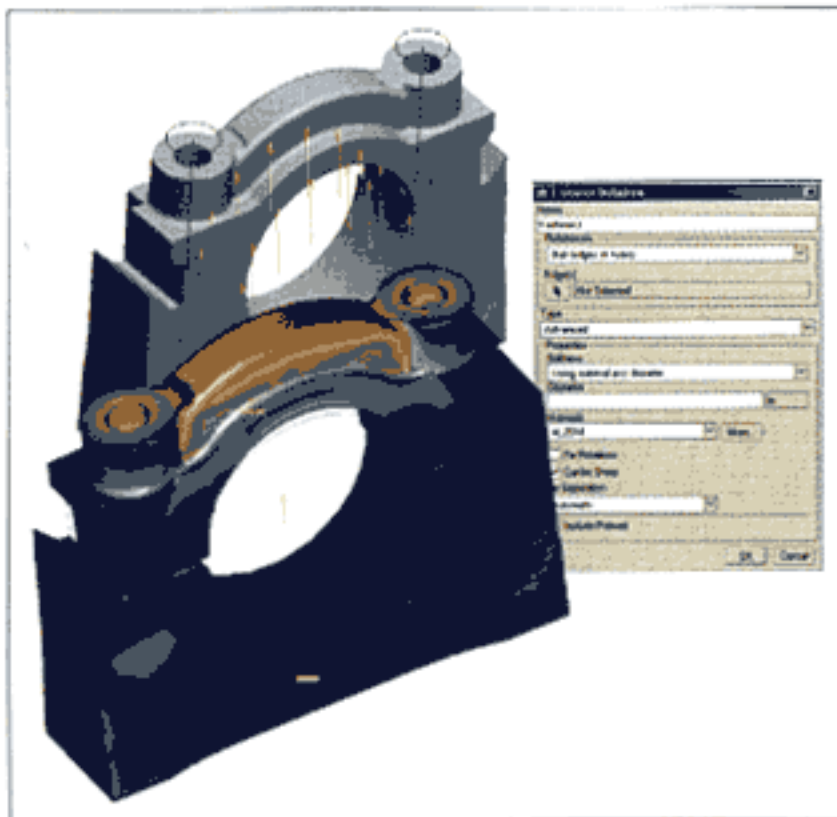


## Analizy wytrzymałościowe w systemie Pro/ENGINEER

Praca inżyniera niejednokrotnie wymaga szybkiego sprawdzenia konstrukcji pod względem wytrzymałościowym. W ciągu ostatnich 30 lat dużą karierę zrobiła Metoda Elementów Skończonych (MES), pozwalająca na szybkie określenie stanu wytrzymałości i odkształceń nawet najbardziej skomplikowanych elementów.

System Pro/ENGINEER proponuje całą grupę modułów wykorzystujących MES do przeprowadzenia analiz wytrzymałościowych: statycznych, dynamicznych i zmęczeniowych oraz w zakresie przepływów ciepła. Moduły pozwalają na symulacje w zakresie liniowym i w zakresie ograniczonej nieliniowości. W artykule zasygnalizujemy główne zagadnienia związane z wykorzystaniem MES w systemie Pro/ENGINEER

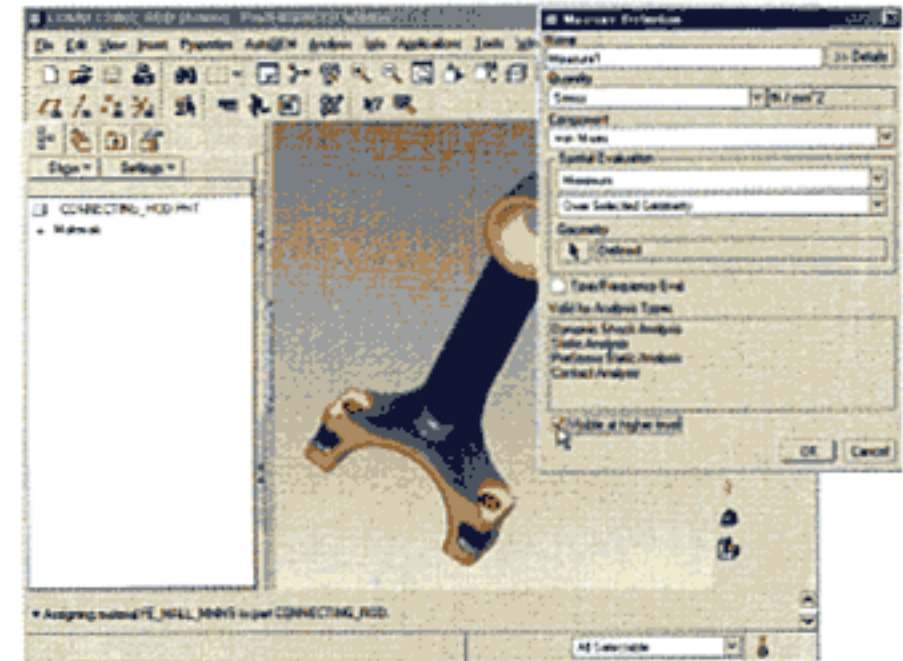
■ **Metoda P – elementów.** Pro/MECHANICA osiąga zbieżności analizy inaczej i skuteczniej niż konwencjonalny MES. Zamiast stałego rozdrabniania siatki, zbieżność uzyskiwana jest poprzez powiększanie stopnia interpolujących wielomianów. W metodzie „p-element” do reprezentacji przemieszczeń wewnątrz każdego elementu używa się wielomianów wyższych rzędów, w przeciwieństwie do elementów konwencjonalnych, kiedy używa się wielomianów co najwyżej rzędu trzeciego. Dlatego też pojedynczy element siatki typu P może reprezentować znacznie bardziej złożony stan odkształcenia aniżeli pojedynczy, konwencjonalny element skończony. Pro/MECHANICA automatycznie rozwiązuje równania dla modelu, zmieniając stopniowo rząd wielomianu na coraz wyższy, aż do rzędu dziewiątego włącznie. Równocześnie sprawdzane jest czy procentowa zmiana pomiędzy wynikami dwóch ostatnich obliczeń osiągnęła już zadaną wartość zbieżności.



Rys. 1. Różne metody przykładania sił i więzów

Użycie metody „p-element” w Pro/MECHANICA ma następujące zalety:

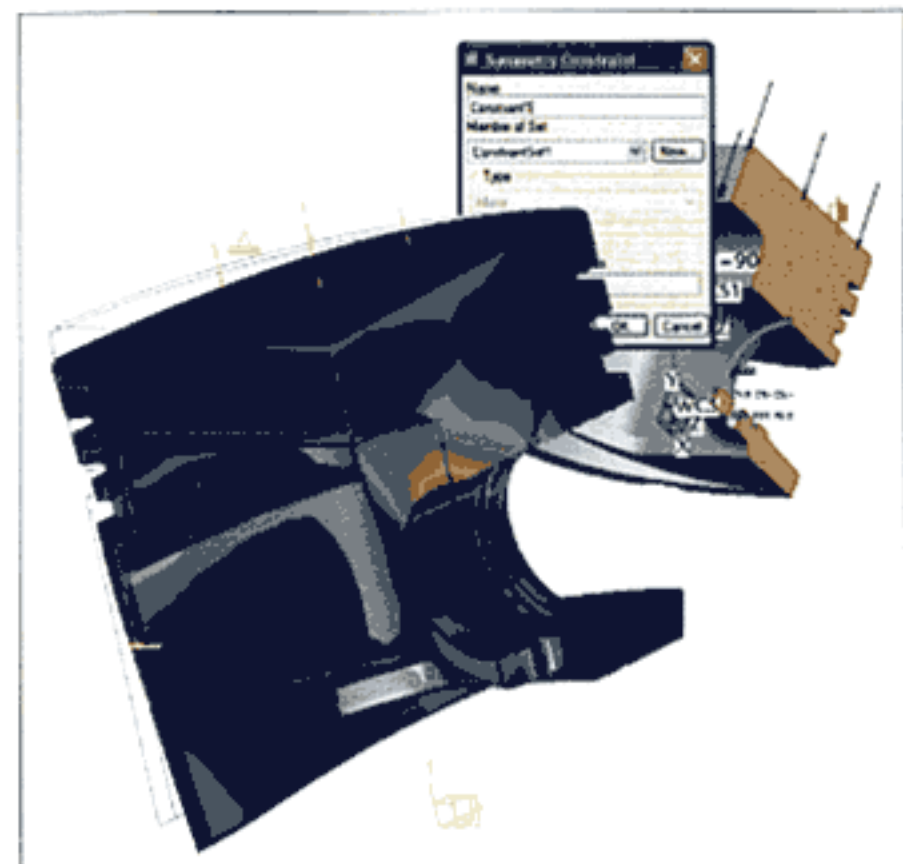
- siatka pozostaje taka sama przez całą analizę;
- Pro/MECHANICA monitoruje oczekiwany błąd w rozwiązaniu i automatycznie powiększa stopień wielomianu tylko na tych elementach, kiedy jest to niezbędne;
- siatka zawsze zawiera większe elementy i jest ich mniej niż w metodzie „h – element”.
- ograniczenia co do wielkości i kształtu elementów nie są tak ścisłe jak dla „h – elementów” (np. współczynnik kształtu, skośność);
- automatyczne generatory siatki są efektywniejsze z „p-elementami” z powodu zredukowanych wymagań i ograniczeń odnośnie do geometrii siatki;
- ponieważ siatka jest związana bezpośrednio z geometrią, to ta sama siatka jest użyta od początku do



Rys. 2. Definicja regionów pomiarowych

końca analizy. Ma to zasadnicze znaczenie przy wykonywaniu studiów wrażliwości i optymalizacji, kiedy geometryczne wymiary modelu mogą zostać zmodyfikowane. Mimo to solver (program rozwiązujący) nie potrzebuje stale dokonywać przebudowy siatki modelu.

■ **Typy modeli.** W różnych przypadkach analiz używane są różne typy modeli. Wybór typu modelu jest pierwszym krokiem w przeprowadzaniu Analizy Elementów Skończonych. Krok ten jest niezwykle ważny, ponieważ wybór typu modelu wpływa na czas potrzebny na przeprowadzenie analizy. Wybierając poprawnie typ modelu można skrócić czas obliczeń.



Rys. 3. Graficzna wizualizacja wyników

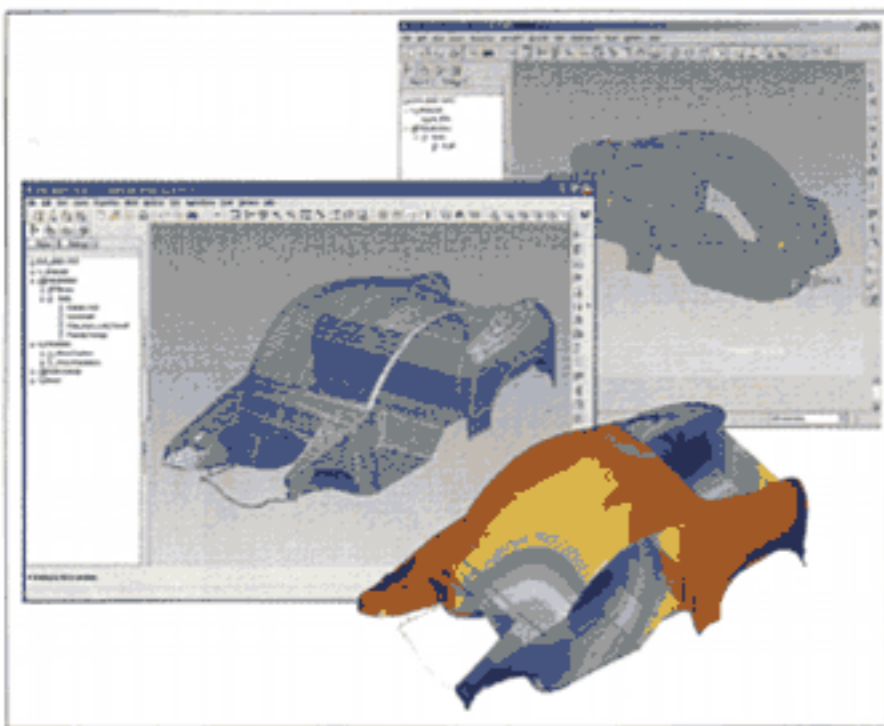
W Pro/MECHANICA istnieją następujące typy modeli:

- 3D – model bryłowy,
- Plane Stress – płaski stan naprężeń,
- Plane Strain – płaski stan odkształceń,
- 2D Axisymmetric – osiowo-symetryczny.



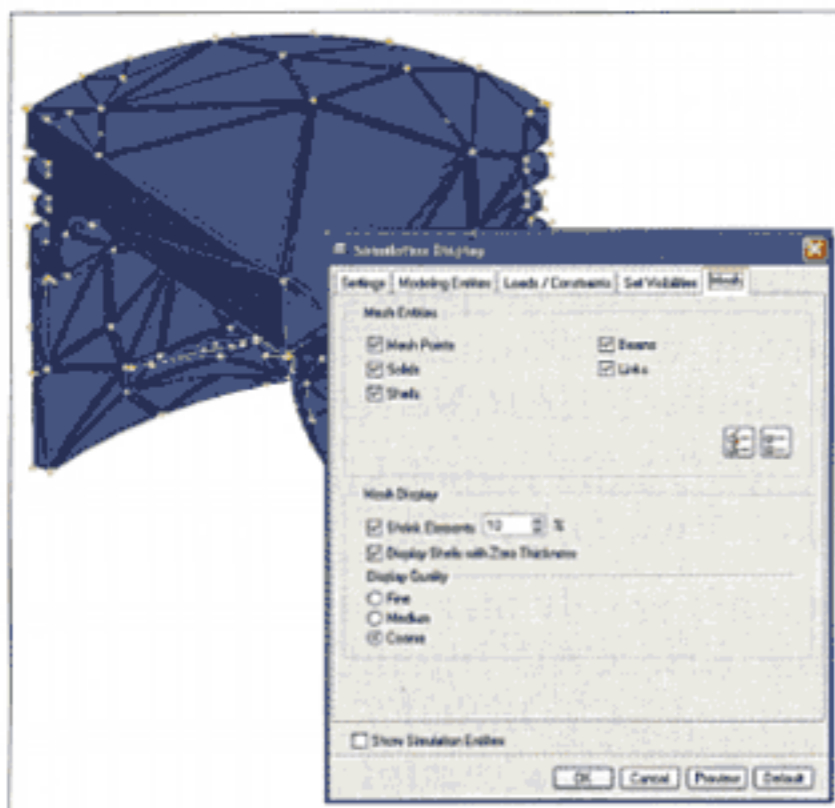
Rys. 4. Automatyczna optymalizacja siatki elementów

■ **Stosowane idealizacje modeli.** Poszczególne zagadnienia analityczne mogą być realizowane za pomocą wyidealizowanych modeli obliczeniowych. Modele te są pewnego rodzaju uproszczeniami opisu rzeczywistości, ale nie mogą zakłócać istoty rozpatrywanego zagadnienia. Użytkownik ma do dyspozycji zbiór narzędzi, które służą uproszczeniu projektu. I tak, model może być idealizowany za pomocą: elementów powłokowych typu *Shells*, elementów belkowych typu *Beams*, elementów masowych typu *Masses* oraz elementów sprężynowych typu *Springs*. Można również idealizować połączenia pomiędzy poszczególnymi częściami analizowanego zespołu. Pro/MECHANICA w tym przypadku oferuje idealizację połączeń: spoin punktowych typu *Spot Welds*, połączeń sztywnych typu *Rigid Connections*, a także połączeń gwintowych.



Rys. 5. Modelowanie konstrukcji złożonych

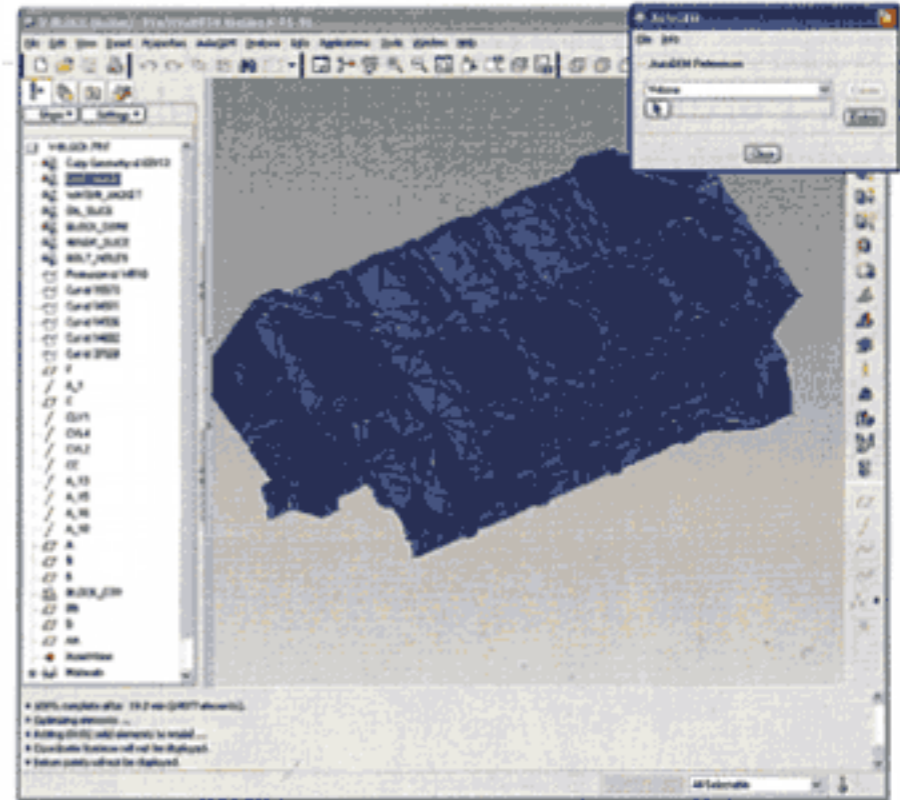
■ **Własności materiałowe. Obciążenia. Utwierdzenia.** Wprowadzenie własności materiałowych więzów i obciążeń w systemie Pro/ENGINEER jest proste i intuicyjne. Wystarczy wskazanie obszaru i nada-



Rys. 6. Idealizacja modelu

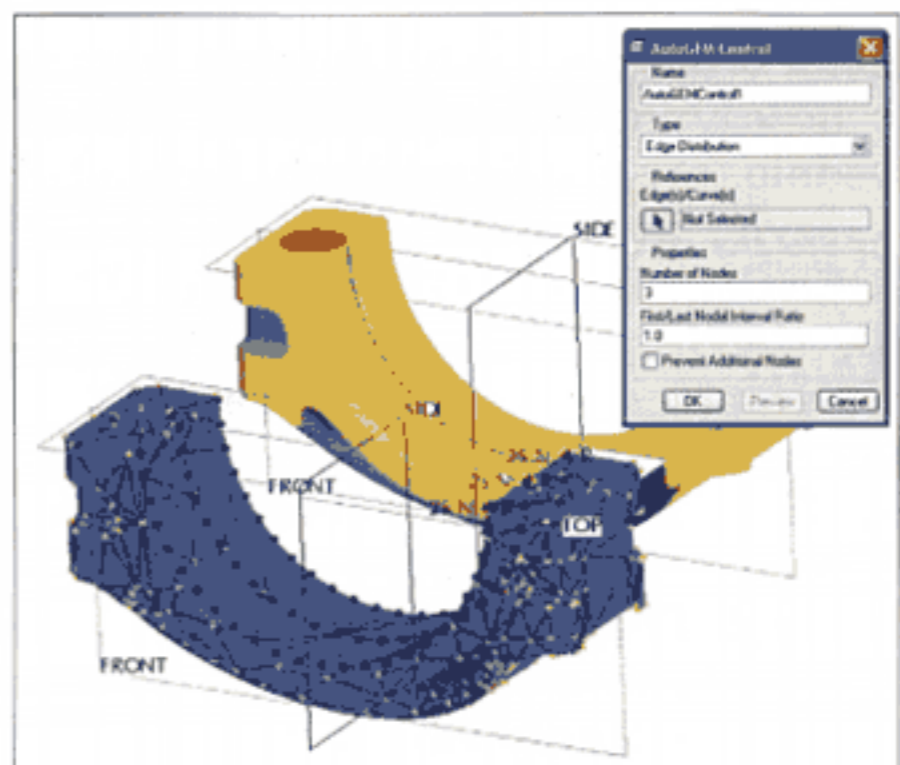
nie odpowiednich własności więzów poprzez wpisanie danych. Istnieje możliwość wprowadzenia dowolnych warunków zdefiniowanych poprzez opis funkcyjny.

■ **Typy analiz.** W systemie Pro/MECHANICA możliwe jest przeprowadzenie dowolnych analiz obiektów w zakresie statycznym, dynamicznym i zmęczeniowym. Analiza może być zdefiniowana lokalnie lub globalnie. Dodatkowo istnieje możliwość prowadzenia symulacji przepływów ciepła w elementach.



Rys. 7. Analiza jako cecha modelu

■ **Optymalizacja i badanie wrażliwości.** Ponieważ Pro/ENGINEER jest systemem parametrycznym, istnieje możliwość optymalizacji obiektu ze względu na różne kryteria techniczne. Jednokryterialna optymalizacja konstrukcji jest prowadzona za pomocą metody gradientowej.



Rys. 8. Możliwość ręcznego sterowania strukturą siatki

■ **Interpretacja wyników.** Doskonały interfejs systemu pozwala na wygodną analizę i interpretację uzyskanych wyników. Istnieje możliwość analizowania naprężeń na powierzchniach, odczytywania wyników w punktach i przekrojach. Także analiza odkształceń i postaci drgań może być wizualizowana bezpośrednio na ekranie komputera.

\*

System Pro/ENGINEER oferuje wspaniałe narzędzie do szybkiej analizy konstrukcji bez konieczności wnikania w strukturę podziału siatki elementu. Pro/MECHANICA jest całkowicie wbudowany w interfejs systemu, co wyklucza konieczność przenoszenia obiektów. Parametryczność staje się doskonałym narzędziem pozwalającym na automatyczne zoptymalizowanie konstrukcji.

Marcin Wojciechowski, Radosław Cieślak