

Krótkie wprowadzenie do systemu elementów skończonych ANSYS

Łukasz Kaczmarczyk

9 kwietnia 2003

Rozdział 1

Ogólny opis sytemu

System elementów skończonych ANSYS został stworzony (między innymi) do wykonywania analiz wytrzymałościowych. Zaliczany jest do wiodących, za dowód może służyć fakt, że wykorzystywany jest w Międzynarodowym Ośrodku Badań Atomowych CERN w Genewie do projektowania akceleratorów. Budowa programu nie stawia ograniczeń co do rodzaju analizy wytrzymałościowej, umożliwiając łączenie obiektów z różnych materiałów. Możliwa jest również kombinacja elementów trójwymiarowych, dwuwymiarowych i jednowymiarowych przy zachowaniu reguł łączenia obiektów o różnej liczbie stopni swobody. Przy posiadaniu odpowiedniej wersji programu możliwe jest liczenie problemów sprzężonych, mechaniczno termicznych, z przepływem masy oraz z nisko lub wysoko częstotliwościowym magnetyzmem.

Możliwe symulacje (analiza wytrzymałościowa)

- liniowa
- nieliniowa
- statyczna
- dynamiczna
 - analiza w czasie „transient”
 - częstotliwości drgań własnych
 - analiza modalna
- analiza wyboczeniowa (liniowa, nieliniowa)
- optymalizacja topologiczna

Możliwości uwzględniania nieliniowości

- geometryczna
 - duże odkształcenia

- duże przemieszczenia i ich gradienty
- włączenie do macierzy sztywności początkowych naprężeń
- materiałowe
 - plastyczność
 - hypersprężystość
 - lepkoplastyczność
 - pełzanie
 - własności zależne od temperatury
 - zmiana fazy poprzez wartość entalpii

ANSYS posiada również szereg elementów z nieliniowościami geometrycznymi i materiałowymi opisującymi zadania kontaktu, mechaniki pękania, elementy typu kabel lub element przenoszący tylko ścinanie i inne.

System umożliwia badanie wrażliwości na zmiany wielkości, optymalizację projektowanych konstrukcji. Ponadto język programowania APDL (*Ansys Parametric Design Language*) pozwala na

- definiowanie geometrii w postaci parametrów
- powtarzanie operacji w pętli
- warunkowe wykonywanie instrukcji
- definiowanie własnych makr i funkcji

dając systemowi elastyczność pozwalającą na wykonywanie niestandardowych operacji i dostosowanie programu do indywidualnych potrzeb użytkownika.

Powyżej został przedstawiony niekompletny opis cech pakietu ANSYS. Dodatkowe informacje można znaleźć w internecie na stronie domowej ANSYSa <http://www.ansys.com/> lub poprzez polską stronę <http://www.mesco.com.pl>.

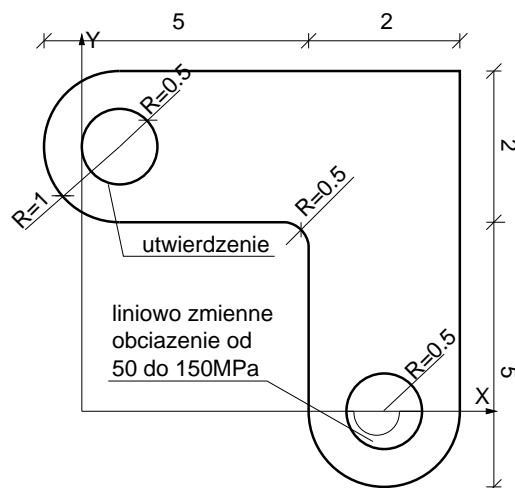
Rozdział 2

Modelowanie i rozwiązywanie zadań mechaniki

Ze względu na złożoność ANSYSa nie jest możliwe przedstawienie w pełni możliwości systemu. Dlatego w poniższym rozdziale na prostym przykładzie zostanie przedstawiony tok postępowania przy modelowaniu, dyskretyzacji i obliczaniu narożnej klamry.

2.1 Opis problemu

Dla narożnej klamry o wymiarach przedstawionych na rys. 2.1, w której górny lewy otwór jest utwierdzony na całym obwodzie, a na dolny prawy otwór działa ciśnienie liniowo zmienne od 50MPa do 150MPa. Klamra wykonana jest ze stali o parametrach mechanicznych $E = 200\text{GPa}$ i $\nu = 0.27$. Jej grubość wynosi $h = 0.1\text{m}$. Wszystkie wielkości fizyczne powinny być podawane dla wybranego zestawu jednostek , np. [N,m].



Rysunek 2.1: rysunek poglądowy narożnej klamry

Przyjmujemy że problem jest liniowo sprężysty i geometrycznie liniowy. Ze względu na mały wymiar grubości w porównaniu do innych wymiarów i działanie obciążenia w jednej płaszczyźnie, założony jest płaski stan naprężenia.

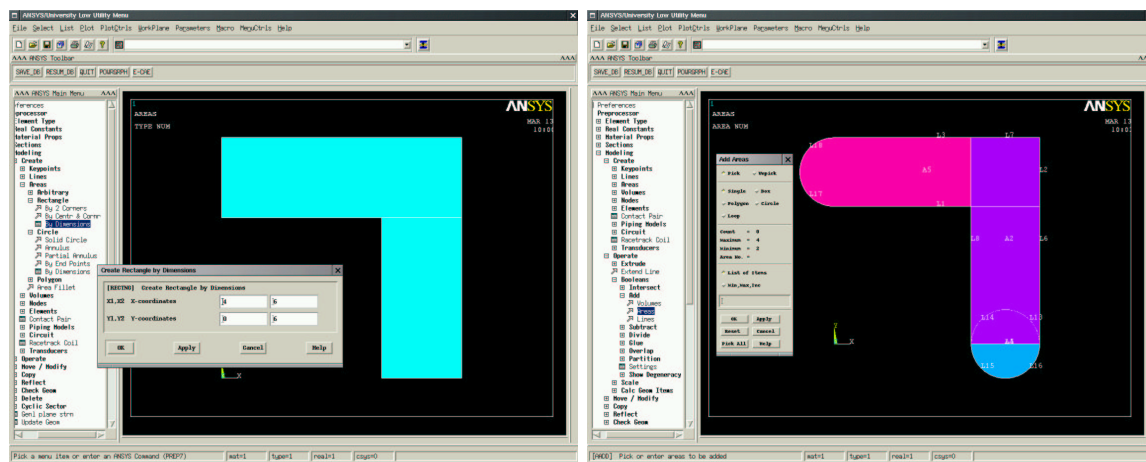
2.2 Preprocesor

Jest to początek pracy z preprocesorem, części kodu ANSYSa odpowiedzialnej za wprowadzanie danych takich jak geometria, stałe materiałowe, typy elementów.

2.2.1 Budowa geometrii

W tym punkcie tworzone są obiekty geometryczne takie jak: punkty, linie, podobszary z których składa się modelowany obszar. Podczas wprowadzania geometrii używane są opcje modelowania bryłowego to znaczy dodawanie, odejmowanie i inne działania Boole'owskie na obszarach.

Dla ustalonego początku układu odniesienia, tworzone są dwa prostokątne obszary przez wybranie opcji *Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Rectangle > By Dimensions*. W okienku przedstawionym na rys. 2.2a, wprowadzamy współrzędne. Dla pierwszego prostokąta są to: $X1 = 0$, $X2 = 6$, $Y1 = 4$, $Y2 = 6$. Przez analogie tworzymy drugi prostokątny obszar.



Rysunek 2.2: a) wprowadzenie prostokątów, b) dodawanie obszarów

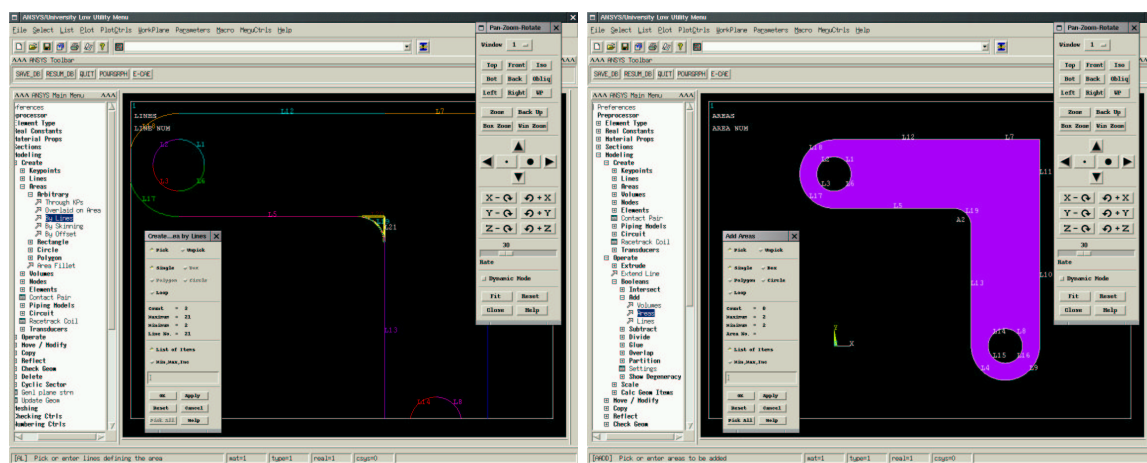
Następnym krokiem jest utworzenie obszarów dwóch kół z których zbudowane są łuki na ramionach klamry. Przez wybranie opcji *Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Circle > Solid Circle*, wprowadzeniu w powstałym okienku danych dla pierwszego koła $X = 0$, $Y = 5$, $R = 1$ i podobnie dla drugiego koła, otrzymamy w rezultacie rys. 2.2b.

Gdy mamy utworzone podobszary prostokątów i kół, dodajemy je do siebie, tworząc jeden obszar. Realizowane jest to poprzez wybranie opcji *Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Add > Areas*, a następnie wskazanie podobszarów (kół, prostokątów).

Kolejnym krokiem będzie stworzenie otworów. Operacja ta realizowana jest poprzez utworzenie obszarów kół w miejscach otworów (przez analogie, jak wyżej) i odjęcie od obszaru klamry stworzonych kół w miejscach otworów. Wykonujemy opcje *Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Subtract > Areas*. Zaznaczymy obszar od którego odejmujemy i naciskamy *Apply*, następnie obszar który chcemy odjąć i naciskamy ponownie *Apply*. Rezultat tej operacji widać na rys. 2.3b.

Do pełnego opisu geometrii pozostało wykonanie zaokrąglenia w miejscu ostrego kąta klamry. Wybieramy wyświetlenie wyłącznie linii opcją *Utility Menu > Plot > Lines*. Powiększamy fragment z tworzonym zaokrągleniem opcją *Utility Menu > PlotCtrls > Pan, Zoom, Rotate*, następnie kliknięciu w przycisk *Box Zomm* i zaznaczeniu myszą miejsca ostrego kąta. Zaokrąglenie tworzymy poprzez wybranie opcji *Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Line Fillet* zaznaczeniu linii i podaniu promienia zaokrąglenia $R = 0.5$ Musimy wykonać powtórnie opcje *Utility Menu > Plot > Lines* by wyświetlone zostały linie potrzebne do utworzenia obszaru (zobacz rys. 2.3a).

Wybierając opcje *Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Arbitrary > By Lines*, następnie wybierając linie, tylko trzy ograniczające obszar zaokrąglenia, powstaje ten obszar.



Rysunek 2.3: a) zaokrąglenie b) wprowadzona cała geometria

Powracając do opcji *Utility Menu > PlotCtrls > Pan, Zoom, Rotate* i klikając w przycisk *Fit* na ekranie uzyskujemy pełny rysunek klamry.

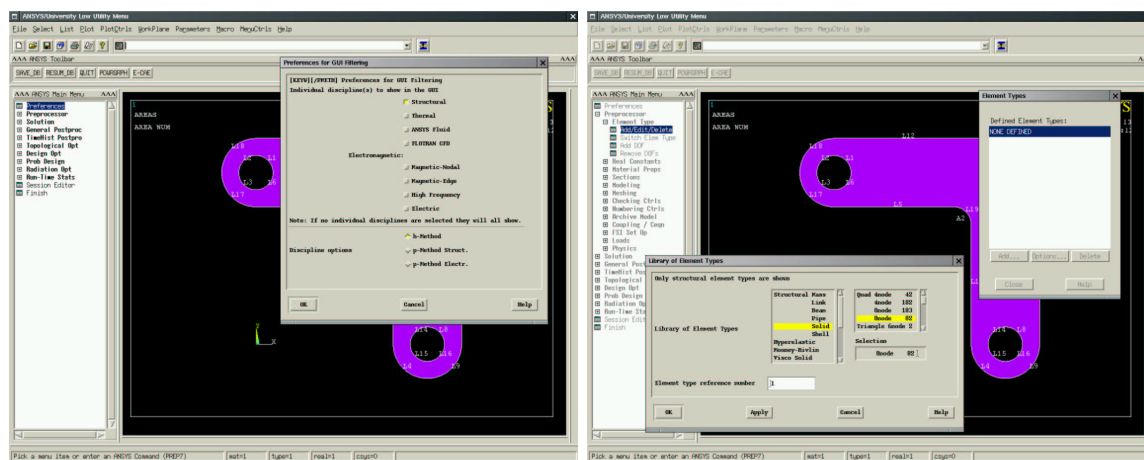
Opcja *Utility Menu > Plot > Areas* powoduje wyświetlenie wcześniej utworzonych obszarów.

Następnie dodając jak wyżej obszar klamry i zaokrąglenia proces opisu geometrii zostaje zakończony. Końcowy rezultat widać na rys. 2.3b.

2.2.2 Definiowanie materiału

Po wybraniu opcji *Main Menu > Preferences* i filtrowania *structural*, ANSYS będzie pokazywał jedynie opcje związane z analizą wytrzymałościową (modele materiałów, typy elementów związane dla przykładu z analizą termiczną, elektromagnetyczną zostaną wyłączone).

Zadanie ograniczone jest do liniowej analizy, materiał opisany jest przez model Hooke'a. Wybranie tego modelu materiału odbywa się przez opcje *Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models* następnie klikanie kolejno w *Structural, Linear, Elastic, Isotropic*. Na końcu podajemy stałe materiałowe $E = 2e11$ $\nu = 0.27$



Rysunek 2.4: a) wybór filtracji opcji menu b) dodawanie elementu

2.2.3 Definiowanie elementu

Użyty zostanie element o nazwie PLANE82. Element definiowany jest poprzez osiem węzłów, z dwoma stopniami swobody w węźle.

Poprzez opcje *Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete*, a następnie przycisk *Add...* i kolejno wybranie *Structural > Solid > (Quad 8node 82)* dodamy element.

Wybrany element, posiada dodatkowe opcje umożliwiające wybór sposobu formułowania macierzy sztywności. Zgodnie z założeniem o płaskim stanie naprężenia (PSN) zostanie wybrana opcja *Main Menu > Preprocessor > Element Type > Options* i ustawienie *Element behavior > plane stress with thickness*, rys. 2.5a.

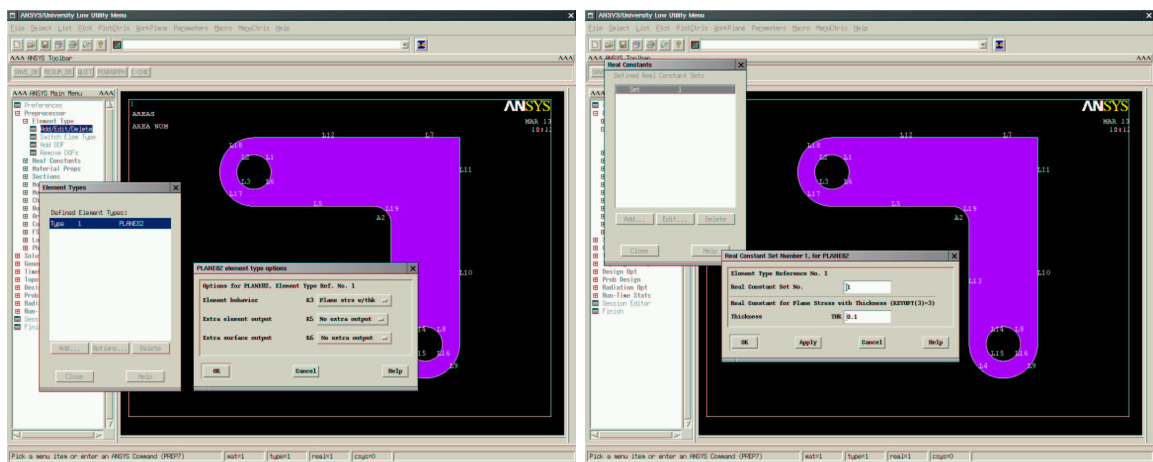
Grubość klamry dla tak sformułowanego problemu (założenie o psn), nie jest wielkością opisującą geometrię, ani parametrem materiałowym. Takie wielkości stają się parametrami elementu. Grubość wprowadzamy przy pomocy opcji *Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete*, rys. 2.5b.

2.2.4 Generacja siatki

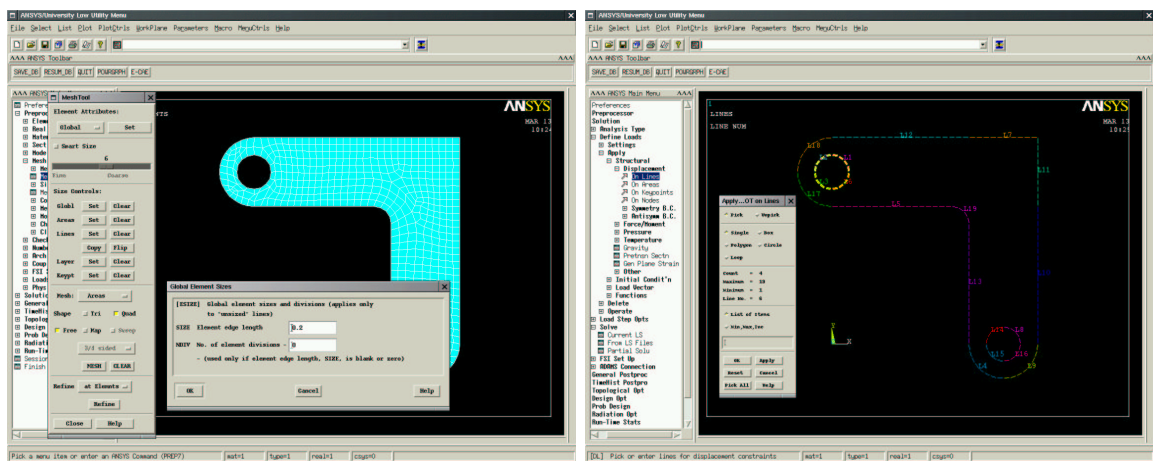
W punkcie tym opisany jest sposób budowy modelu dyskretnego obszaru złożonego z obiektów geometrycznych utworzonych w punkcie 2.2.1.

ANSYS posiada możliwość ręcznego generowania siatki, jednak dużą wygodą jest wygenerowanie jej w sposób automatyczny poprzez wybranie opcji *Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool* a następnie wybieranie *Size Controls: Global Set > Size Element edge length > 0.2* oraz *Areas Meshing*, rys. 2.6b i naciśnięcia przycisku *MESH*

W tym momencie zostały wprowadzone dane potrzebne do generacji układu równań algebraicznych MES, a przez to jest zakończony praca preprocesora.



Rysunek 2.5: a) ustalenie sposobu pracy elementu b) ustawienie stałych dla elementu



Rysunek 2.6: a) wygenerowana siatka elementów b) kinematyczne warunki brzegowe

2.3 Solver

W tej części kodu programu definiowany jest sposób rozwiązania układu równań, zależnie od typu nieliniowości i definicji czasu. Dla postawionego powyżej zadania nie jest wymagana zmiana opcji programu, ponieważ ANSYS jest ustawiony domyślnie do zadań liniowej analizy.

W ogólnym przypadku warunki brzegowe kontrolowane są przez algorytm solvera, dlatego warunki brzegowe definiowane są w tej części.

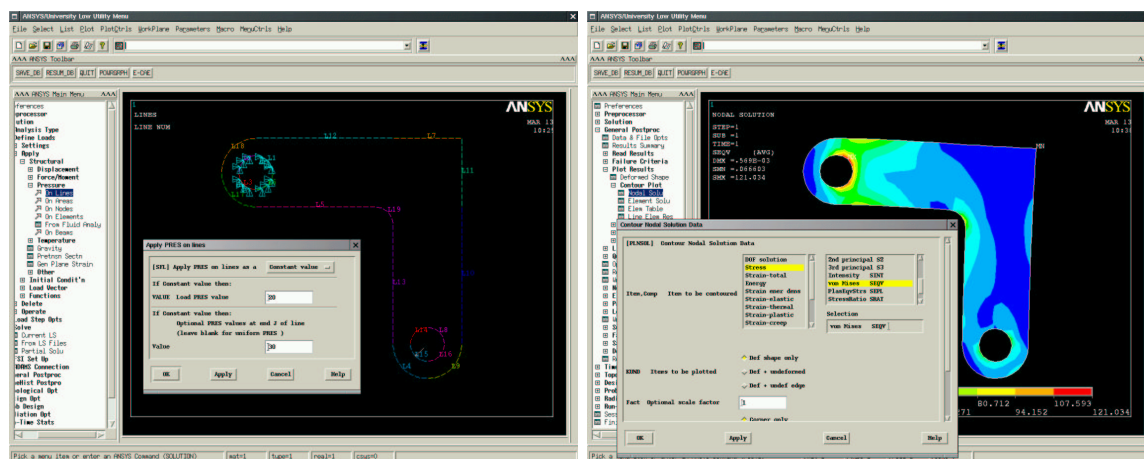
2.3.1 Warunki brzegowe

Kinematyczne warunki brzegowe

Po wpisaniu opcji *Utility Menu > Plot > Lines* ANSYS zostaje przełączony w tryb wyświetlania wyłącznie linii. Następnie, gdy wybrana zostanie opcja *Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Lines* i zaznaczone linie lewego kręgu, odebrane zostaną wszystkie stopnie swobody (*ALL DOF*), rys. 2.6b - zostają zadane kinematyczne warunki brzegowe realizujące utwierdzenie.

Statyczne warunki brzegowe

Statyczne warunki brzegowe zostają nadane poprzez opcje *Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Lines*. Pamiętając że ciśnienie na brzegu okręgu po prawej stronie jest liniowo zmienne, po zaznaczeniu linii w dolnej części okręgu, wpisujemy wartość ciśnienia na początku 50 i na końcu 150, rys. 2.7a - nadane zostają statyczne warunki brzegowe.



Rysunek 2.7: a) statyczne warunki brzegowe b) mapa naprężeń ekwiwalentach H-M-H

2.3.2 Obliczenie zadania

W tym momencie wprowadzone są wszystkie dane więc możemy rozwiązać problem. Uruchamiamy opcje *Main Menu > Solution > Solve Current LS*, liczone są przemieszczenia węzłowe. Zakończona jest praca solvera.

2.4 Przegląd wyników

Jest to ostatnia faza, w której program oblicza wszystkie niewiadome wtórne. Tworzone są również aproksymacje pól wielkości mechanicznych.

Użytkownik może wyświetlić w postaci map bitowych, wektorowych lub w postaci kolumn liczb wyniki potrzebne w ocenie wytrzymałościowej konstrukcji.

Dla przykładu opcja *Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu* wyświetla mapy bitowe wielkości węzłowych - rys. 2.7b przedstawia pole naprężeń zredukowanych H-M-H (von Mises).

Wielkości w postaci liczbowej uzyskamy poprzez opcje *Main Menu > General Postproc > List Results > Reaction Solu*. Możemy je zapisać jako plik tekstowy przez *File > Save As*.

Można również wyświetlać animację odkształcającej się konstrukcji z jednoczesną zmianą pola wielkości mechanicznych. W tym celu należy wybrać opcje *Utility Menu > PlotCtrls > Animate > Deformed Results*.