

4. WPROWADZENIE DO UŻYTKOWANIA SYSTEMU ANSYS

4.1. WPROWADZENIE

System ANSYS jest przeznaczony między innymi do rozwiązywania zagadnień mechaniki konstrukcji – poczynając od zwykłej analizy statycznej, poprzez drgania własne i wymuszone, stateczność, stany nieustalone, wszelkie zagadnienia nieliniowe, a kończąc na zjawiskach zmęczenia i pęknięcia. Może być użyty w zagadnieniach wymiany ciepła, analizie pola magnetycznego, elektrycznego, a także mechanice płynów. Istnieje możliwość rozwiązywania zagadnień mieszanych, łączących wspomniane zagadnienia (tzw. *coupled field analysis*). Program zawiera wiele specjalnych dodatków pozwalających na uwzględnianie w analizach efektów takich jak: plastyczność, duże odkształcenia, hiperelastyczność, pełzanie, duże ugięcia, kontakt, zależność własności od temperatury, anizotropia czy radiacja. Program posiada np. możliwości tworzenia podstruktur, submodelingu, optymalizacji.

System ANSYS używany jest do celów komercyjnych już od 1970 roku. Wykorzystuje się go m.in. do analiz wytrzymałościowych statków powietrznych, pojazdów mechanicznych, konstrukcji lądowych; używany jest również w elektronice, energetyce, technikach wytwarzania, energetyce jądrowej, przemyśle naftowym i stalowym.

Opisy występujące w tej książce odnoszą się do wersji programu ANSYS 15.0.

4.2. CZYM JEST ANSYS?

System metody elementów skończonych ANSYS, umożliwia inżynierom:

- budowę modeli geometrycznych lub odtworzenie istniejących modeli pochodzących z popularnych programów CAD,
- wprowadzenie obciążeń eksploatacyjnych lub innych warunków związanych z pracą analizowanego układu,
- analizę stanów naprężeń, rozkładu temperatur itd.,
- optymalizację projektowanego układu na etapie wstępnych obliczeń,
- dokonanie takich symulacji pracy układu, które nie są możliwe do wykonania w inny sposób (np. w zastosowaniach biomechanicznych).

System ANSYS zawiera szereg pakietów, które można pogrupować tematycznie. Poniżej opisano krótko wybrane z nich.

Zagadnienia strukturalne (ANSYS Structural Products):

Mechanical APDL

Jest klasyczną wersją systemu ANSYS (ANSYS Classic) pozwalającą na rozwiązanie wielu zadań inżynierskich uwzględniających szerokie spektrum zagadnień fizyki. Program używa klasycznego interfejsu graficznego (GUI – graphical user interface) umożliwiającego łatwy, interaktywny dostęp do funkcji, komend, dokumentacji i materiałów pomocniczych. Zgodny z intuicją układ menu pomaga użytkownikowi poruszać się po programie.

Mechanical

Jest to aplikacja środowiska Workbench pozwalająca na przeprowadzanie szeregu symulacji inżynierskich uwzględniających naprężenia, ciepło, drgania, zagadnienia termoelektryczne i magnetostatyczne.

Kolejne operacje lokowane są w strukturze drzewka prowadząc przez kolejne etapy procesu budowy modelu, zadawania obciążeń, rozwiązania i analizy wyników.

Autodyn

ANSYS Autodyn jest narzędziem analizy typu explicit pozwalającym na modelowanie nieliniowych zadań dynamiki ciał, cieczy i gazów z uwzględnieniem ich wzajemnego oddziaływania. Posiada w pełni zintegrowany i łatwy w użyciu interfejs graficzny pozwalający na zbudowanie zadania, jego rozwiązanie i przedstawienie wyników.

ANSYS Composite PrepPost (ACP)

Narzędzie pozwalające na tworzenie i postprocesing kompozytów warstwowych. W połączeniu z narzędziami do analiz wytrzymałościowych takimi jak moduł ANSYS Mechanical APDL, stanowi bardzo silne narzędzie do weryfikacji numerycznej kompozytów.

Zagadnienia przepływowe (ANSYS Fluids Products):

Fluent

ANSYS Fluent jest najnowocześniejszym programem modelowania przepływu cieczy, przenoszenie ciepła i reakcji chemicznych dla złożonych geometrycznie zadań.

CFX

ANSYS CFX jest uniwersalnym programem dynamiki płynów (Computational Fluid Dynamics (CFD)), pakiet oprogramowania, który łączy w sobie zaawansowany solver z potężnymi możliwościami pre- i post-processingu.

TurboGrid

Jest wyspecjalizowanym narzędziem do budowy siatek dla zagadnień CFD układów łopatkowych (bladerows) maszyn przepływowych.

TurboSystem

TurboSystem jest zbiorem aplikacji do wspomagania projektowania maszyn wirnikowych w środowisku ANSYS Workbench.

CFD-Post

CFD-Post jest elastycznym najnowocześniejszym postprocesorem pozwalającym na prostą wizualizację i analizę ilościową wyników symulacji CFD.

Polyflow

ANSYS Polyflow jest programem metody elementów skończonych stosowanym do zagadnień dynamiki (CFD) przeznaczonym do symulacji zadań, w których przepływ ma charakter wiskotyczny czy wiskoelastyczny. Rozwiązuje przepływy izotermiczne i nieizotermiczne, dwu- i trójwymiarowe, stacjonarne i niestacjonarne, uwzględnia efekty reologiczne.

Zagadnienia Elektroniki (ANSYS Electronics Products):

Icepak

ANSYS Icepak jest silnym narzędziem, które pozwala inżynierom CAE na modelowanie projektowanych systemów elektronicznych w warunkach wymiany ciepła i symulacji przepływu płynów.

Zagadnienia budowy modeli i generacji siatek (ANSYS Geometry & Mesh Prep Products):

Design Modeler

ANSYS DesignModeler jest aplikacją przeznaczoną do edycji geometrii w środowisku Workbench. Jest aplikacją opartą na modelowaniu parametrycznym, pozwalając na intuicyjne i szybkie tworzenie geometrii części w oparciu o dwuwymiarowe szkice, trójwymiarowe bryły podstawowe, czy też import geometrii 3D modeli CAD. Jest on prosty w użyciu i efektywny w tworzeniu modeli 3D.

Meshing

Celem generatora siatek w ANSYS Workbench jest zapewnienie niezawodnych i łatwych w użyciu narzędzi, które uproszczą proces generacji siatki. Narzędzia te są wysoce zautomatyzowane oraz posiadają szeroki zakres kontroli tworzonej siatki.

IC Engine

IC Engine Analysis System jest wyspecjalizowanym narzędziem pozwalającym na automatyzację procesu budowy modelu symulacji przepływu wewnątrz silników spalinowych z elementami ruchomymi geometrii.

ICEM CFD

ANSYS ICEM CFD jest zestawem narzędzi do uzyskiwania i optymalizacji siatek dla zaawansowanych geometrii.

Zagadnienia symulacji (ANSYS Simulation Products):

Workbench

ANSYS Workbench jest środowiskiem, które gromadzi możliwości wszystkich aplikacji i narzędzi symulacyjnych systemu ANSYS, dostarczając podstawowych narzędzi niezbędnych do zarządzania projektami. Praca odbywa się w obszarze roboczym zwanym kartą projektu (Project tab).

Projekt jest przedstawiony wizualnie schematem blokowym (Project Schematic). Analiza postępuje na drodze zestawiania i ewentualnego łączenia bloków reprezentujących kolejne etapy niezbędne dla określonego rodzaju analizy. Edytując poszczególne komórki bloków, uruchamiane są wskazane aplikacje lub narzędzia. Ten sposób pracy daje dużą elastyczność i czytelność, jest prosty i intuicyjny, pozwalając na łatwe wprowadzanie zmian i modyfikacji.

Engineering Knowledge Manager (EKM)

EKM jest internetowym systemem zaprojektowanym do efektywnego zarządzania zarówno danymi wytworzonymi przez narzędzia symulacyjne jak i procesami kontroli gromadzenia tych danych.

Serwer EKM jest aplikacją J2EE, który działa na centralnym serwerze aplikacji (JBoss 7). Dostęp do EKM można uzyskać za pomocą przeglądarki internetowej, jak również z urządzeń mobilnych.

DesignXplorer

Opiera się na metodzie deterministycznej projektowania eksperymentów (Design of Experiments – DOE) i różnych metodach optymalizacji z parametrami. Parametry te mogą pochodzić z dowolnego obsługiwanego systemu analizy, aplikacji DesignModeler i różnych systemów CAD. Odpowiedzi mogą być przedstawiane ilościowo i na wykresie.

4.2.1. Struktura programu ANSYS Mechanical APDL

Program ANSYS Mechanical APDL zorganizowany jest na dwóch poziomach:

- Poziom wstępny.
- Poziom procesora.

Po uruchomieniu programu znajdujemy się na poziomie wstępnym (*Begin level*). Można tu ustalać pewne globalne parametry programu, np. ustawić nazwę roboczą zadania (*Jobname*), usunąć dane z bazy danych, dokonać operacji na zbiorach.

Poziom procesora (*Processor level*) udostępnia kilka procesorów, z których każdy zawiera zbiór funkcji pozwalających na wykonanie konkretnych zadań:

- General Preprocessor (PREP7) pozwala zbudować model,
- Solution Processor (SOLUTION) służy do wprowadzania obciążeń i uzyskania rozwiązania,
- General Postprocessor (POST1) umożliwia analizę wyników,
- Time History Postprocessor (POST1) służy do przeglądania wyników w funkcji czasu,
- inne procesory.

Uruchamianie wybranego procesora odbywa się zasadniczo w głównym menu (*Main Menu*) interfejsu graficznego, ale można też to zrobić za pomocą komendy (patrz tablica 4.1)

Wybrane, dostępne w programie ANSYS Mechanical APDL procesory przedstawiono w tablicy 4.1.

Aby powrócić na poziom wstępny należy wskazać w menu ciąg poleceń: *Main Menu >Finish* lub wprowadzić komendę *FINISH* (lub */QUIT*).

Można przechodzić bezpośrednio z jednego procesora do drugiego bez konieczności schodzenia na poziom wstępny.

Aby zakończyć pracę z programem i powrócić do systemu operacyjnego należy w w ANSYS Utility Menu wskazać ciąg poleceń: *Utility Menu > File > Exit* lub wprowadzić komendę */EXIT*. Program proponuje wtedy zapisanie istniejącej bazy danych pod nazwą *Jobname.DB*. Możliwe jest też opuszczenie programu bez zapisania bazy danych (*Quit without saving* w okienku dialogowym).

Wybrane procesory dostępne w programie ANSYS Mechanical APDL

Procesor	Funkcja	Ścieżka dostępu w GUI	Komenda
PREP7	Budowa modelu (geometria, materiały, itd.)	<i>Main Menu>Preprocessor</i>	/PREP7
SOLUTION	Wprowadzenie obciążeń i uzyskanie rozwiązania	<i>Main Menu>Solution</i>	/SOLU
POST1	Przeglądanie wyników w całym modelu w wybranej chwili czasu	<i>Main Menu>General Postproc</i>	/POST1
POST26	Przeglądanie wyników w wybranym punkcie modelu jako funkcji czasu	<i>Main Menu>TimeHist Postpro</i>	/POST26
PDS	Oszacowuje wpływ rozrzutu i niepewności danych na wyniki analizy MES	<i>Main Menu>Prob Design</i>	/PDS
AUX2	Przedstawianie zbiorów binarnych w postaci tekstowej	<i>Utility Menu>File>List>Binary Files</i> <i>Utility Menu>List>Files>Binary Files</i>	/AUX2
AUX12	Wyznaczanie współczynników radiacji i generacja macierzy radiacyjnej w analizie termicznej	<i>Main Menu>Radiation Matrix</i>	/AUX12
AUX15	Tłumaczenie zbiorów z programów CAD i innych	<i>Utility Menu>File>Import</i>	/AUX15

Baza danych

W jednej dużej bazie danych program przechowuje wszystkie dane wejściowe (wymiary geometryczne, dane materiałowe, obciążenia itd.) i wyniki (przemieszczenia, naprężenia, temperatury itd.) w postaci uporządkowanej. Pozwala to na listowanie, przedstawianie graficzne, modyfikację i usuwanie dowolnych wielkości prosto i szybko.

Baza danych jest zawsze jedna i ta sama bez względu na to, w którym miejscu programu znajduje się użytkownik.

Baza danych zawiera wszystkie istotne dane modelu, dlatego zalecane jest częste jej zapisywanie do zbiorów (aby w przypadku kłopotów, w trakcie prac nad modelem, można było ponownie przywrócić jej poprzednie wersje).

Zapisywanie bazy danych

Aby zapisać bazę danych pod nazwą roboczą *Jobname.DB* należy wprowadzić ciąg poleceń:

Utility Menu > File > Save as Jobname.DB

lub wprowadzić komendę: *SAVE*.

Aby zapisać bazę danych pod inną nazwą należy wprowadzić ciąg poleceń:

Utility Menu > File > Save as

lub wprowadzić komendę: *SAVE,Nazwa,DB*

Jeśli na dysku istnieje już poprzednia wersja bazy o danej nazwie, zostanie ona przepisana automatycznie pod nazwą: *nazwa.DBB*

Wczytywanie bazy danych

Aby wczytać bazę danych należy wskazać: *Utility Menu > File > Resume Jobname.DB*

lub wprowadzić komendę: *RESUME*.

Aby wczytać bazę danych o innej nazwie niż robocza: *Utility Menu > File > Resume from*

lub wprowadzić komendę: *RESUME,Nazwa,DB*

Zapisać i wczytać bazę danych można z każdego miejsca programu.

Użycie edytora sesji do modyfikacji bazy danych

W trakcie pracy istnieje możliwość modyfikacji lub usunięcia wykonanych komend od ostatniego zapisania lub wczytania bazy (odpowiednik komendy UNDO). Odbывается to za pomocą edytora sesji: *Main Menu>Session Editor*. W oknie dialogowym edytora można usunąć lub poprawić wybrane komendy i zaktualizować bazę danych wybierając komendę OK.

Czyszczenie bazy danych

Gdy potrzebne jest całkowite usunięcie danych z bazy danych należy wybrać:
Utility Menu > File > Clear&Start New lub wprowadzić komendę */CLEAR*.

Pliki robocze

Program używa wielu zbiorów (tablica 4.2) postaci: *Nazwa.EXT*
Nazwą jest domyślnie nazwa robocza (*Jobname*), którą można zmieniać wybierając:
Utility Menu > File > Change Jobname lub wykonując komendę */FILENAME*.
EXT jest dwu-, trój- lub czteroliterowym rozszerzeniem określającym zawartość zbioru.

Tablica 4.2

Rodzaje zbiorów używanych przez program ANSYS Mechanical APDL

Typ zbioru	Nazwa pliku	Format Pliku
Zbiór komend (Log file)	Jobname.LOG	ASCII
Zbiór błędów (Error file)	Jobname.ERR	ASCII
Zbiór wyjściowy (Output file)	Jobname.OUT	ASCII
Zbiór bazy danych (Database file)	Jobname.DB	Binarny
Zbiór wyników (Result file): strukturalnych termicznych magnetycznych	Jobname.xxx Jobname.RST Jobname.RTH Jobname.RMG	Binarny
Kroki obciążenia	Jobname.Sn	ASCII
Zbiory graficzne	Jobname.GRPH	ASCII (format specjalny)
Macierze elementów	Jobname.EMAT	Binary

Zbiór *Jobname.LOG* (zwany zbiorem sesji) jest szczególnie ważny, gdyż zawiera zapis wszystkich komend użytych w danej sesji. Zbiór ten można edytować używając jego fragmentów do tworzenia zbiorów komend, które wykorzystuje się do realizowania powtarzalnych sekwencji poleceń, wczytując je w programie za pomocą komendy: *File>Read Input_from>....*

System pomocy

Pakiet ANSYS posiada bardzo dobrze zorganizowany system pomocy *on line* pozwalający na szybkie dotarcie do wybranych informacji o charakterze teoretycznym lub praktycznym.
Pakiet Help zawiera między innymi tutoriala oraz przykłady umieszczone w części Verification Manual, ułatwiające samokształcenie użytkownika.

4.2.2. Uruchamianie programu ANSYS Mechanical APDL w środowisku Windows

Uruchomienia programu ANSYS Mechanical APDL wygodnie jest dokonać za pomocą panelu startowego. W przypadku pracy w środowisku Windows należy uruchomić program:

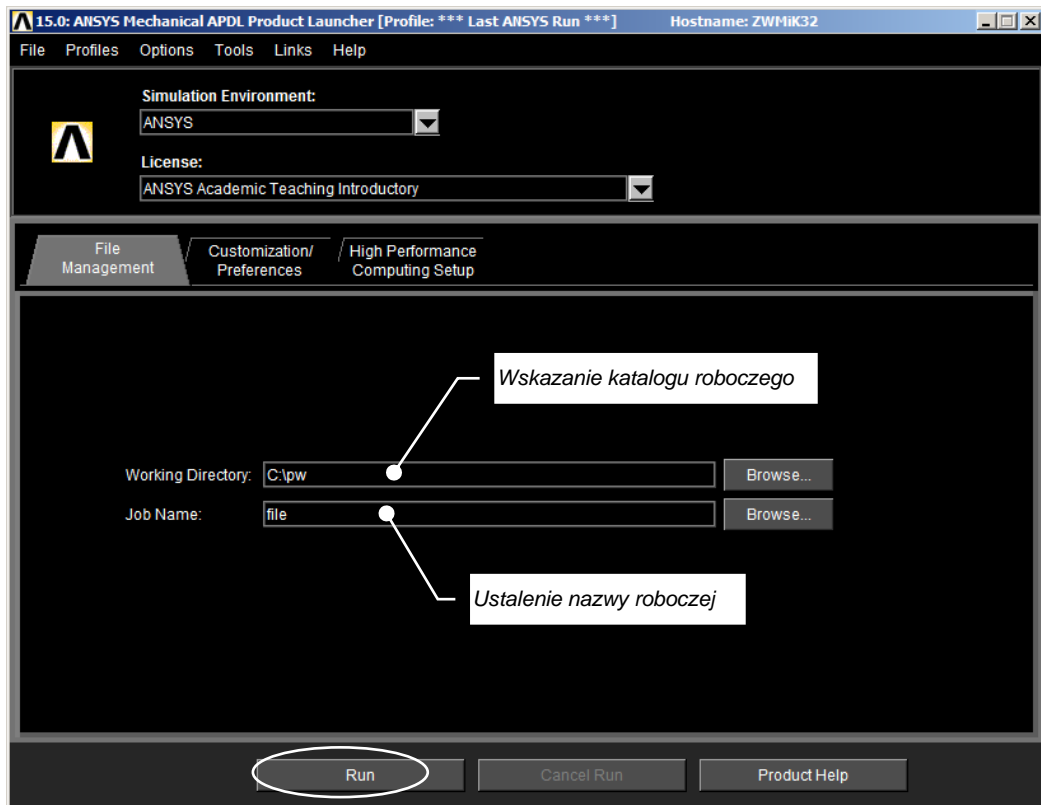
Start>Programy>ANSYS x.x > Mechanical APDL Product Launcher

(*ANSYSx.x* oznacza wersję programu np.: *ANSYS 15.0*).

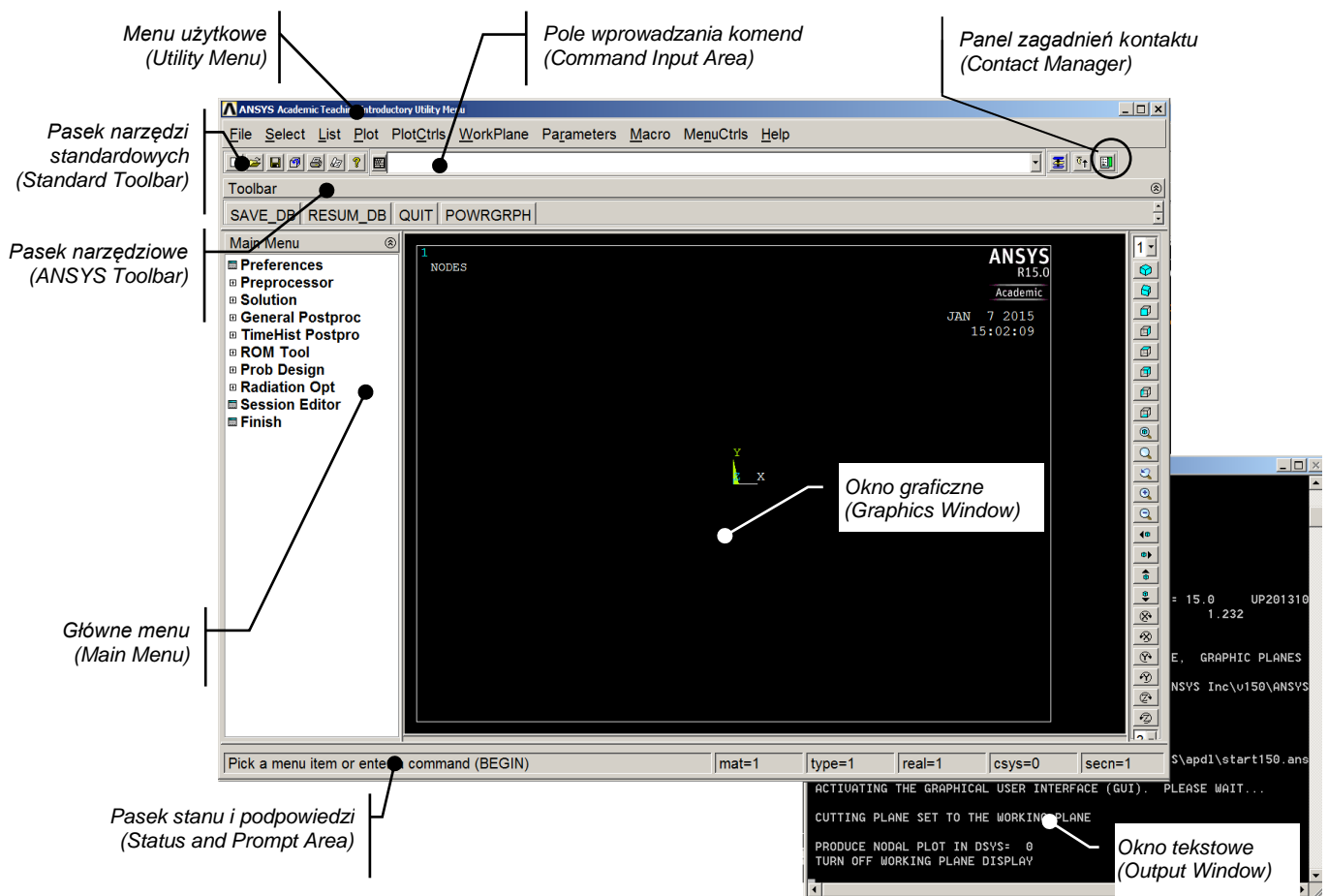
Wywołamy wtedy okno dialogowe, w którym można ustalić podstawowe parametry pracy (rys. 4.1).

4.2.3. Komunikowanie się z programem ANSYS Mechanical APDL

Program można obsługiwać za pomocą komend, których jest ponad 1200 (większość z nich jest określona przez kilka parametrów). Wygodniej jednak skorzystać z rozbudowanego interfejsu graficznego GUI (rys. 4.2).



Rys. 4.1. Okno panelu startowego



Rys. 4.2. Układ interfejsu graficznego GUI

Utility Menu	Zawiera funkcje uzytkowe dostepne w trakcie calej sesji, takie jak: kontrola zbiorow, selekcjonowanie, listowanie, kontrola grafiki, ustalanie ukkladow wspolrzecznych, parametry, makra, system pomocy.
Main Menu	Zawiera podstawowe komendy usytuowane w procesorach (Preprocessor, Solution, General Postprocessor, Time History Postprocessor, etc.).
ANSYS Toolbar	Zawiera przyciski uruchamiajace czesto uzywane funkcje (mozna tworzyc swoje wlasne przyciski w Utility Menu)
Command Input Area	Umozliwia bezposrednie wprowadzanie komend.
Graphics Window	Okno, w ktorym sa tworzone rysunki modelu.
Output Window	Prezentuje informacje kontrolne w formie komunikatow tekstowych.

4.3. TYPOWA ANALIZA PROGRAMEM ANSYS MECHANICAL APDL

Program ANSYS Mechanical APDL ma wiele mozliwosci przeprowadzania obliczen pocawszy od prostego zadania liniowego analizy statycznej, a skonczywszy na zlozonych, nieliniowych zadaniach dynamicznych. Istnieja jednak wspolne kroki dla kazdej z tych analiz. Sa to:

- budowa modelu,
- wprowadzenie warunkow brzegowych (pocatkowych) i uzyskanie wynikow,
- przegladanie wynikow

4.3.1. Budowa modelu

Budowa modelu pochlania zwykle znaczna czesc czasu calej analizy. Pocatkowo podajemy nazwe robocza (Jobname) i tytul analizy. Nastepnie uzywamy preprocesora (*PREP7*) do zdefiniowania typu elementow oraz ich parametrów, danych materialowych i geometrii modelu.

4.3.1.1. Ustalenie nazwy roboczej i tytułu analizy

Nadanie nazwy roboczej nie jest obligatoryjne, ale zalecane. Jesli nie zostanie ona nadana, przyjeta zostanie domyslnie nazwa *FILE* lub *file*, zaleznie od systemu operacyjnego.

Nadanie nazwy roboczej (Jobname)

Jobname jest nazwa, ktora okresla zadanie. Nazwa ta staje sie pierwszym czlonem nazw wszystkich zbiorow stworzonych podczas analizy.

Mozna zmienic domyslna nazwe robocza:

- przez podanie nowej nazwy w odpowiednim polu panelu startowego (rys. 4.1),
- wewnatrz programu komenda: */FILENAME* lub w GUI: *Utility Menu>File>Change Jobname* .

Nadanie tytułu analizy

Komenda */TITLE* (*Utility Menu>File>Change Title*) nadaje tytul analizy. Tytul ten moze byc umieszczony na wszystkich rysunkach w oknie graficznym i jest dołączany do wszystkich zbiorow wynikowych.

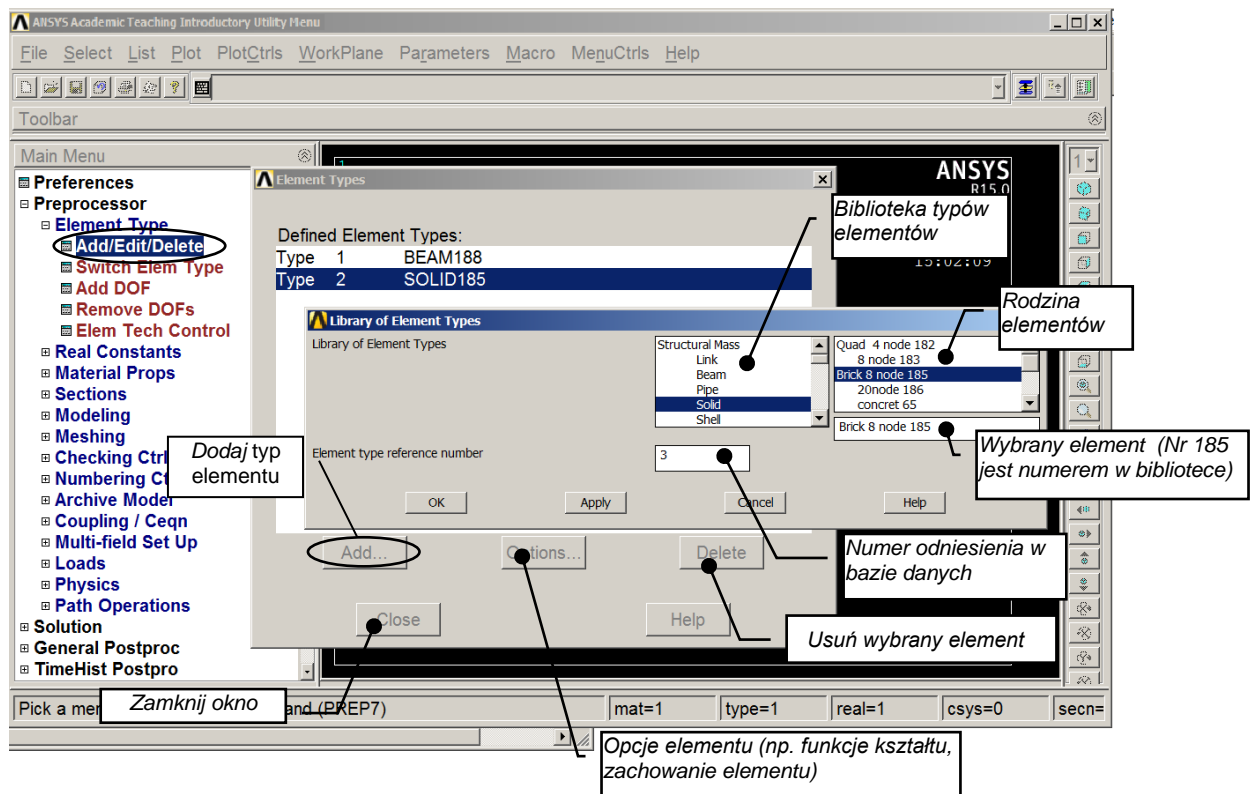
4.3.1.2. Zdefiniowanie typu elementu

Biblioteka ANSYS'a zawiera ponad 150 elementow skonczonych roznych typow, z ktorych kazdy posiada numer i czlon nazwy okreslajacy jednoznacznie kategorie np.: *BEAM188*, *PLANE182*, *SOLID185*, itd. Pomocne informacje o dostepnych elementach mozna uzyskac korzystajac z systemu pomocy: *Utility Menu>Help>Help Topics>Mechanical APL>Elements Reference*.

Typ elementu okresla miedzy innymi:

- rodzaj stopni swobody (związany z typem zagadnienia),
- charakter przestrzenny elementu (jedno-, dwu- lub trójwymiarowy).

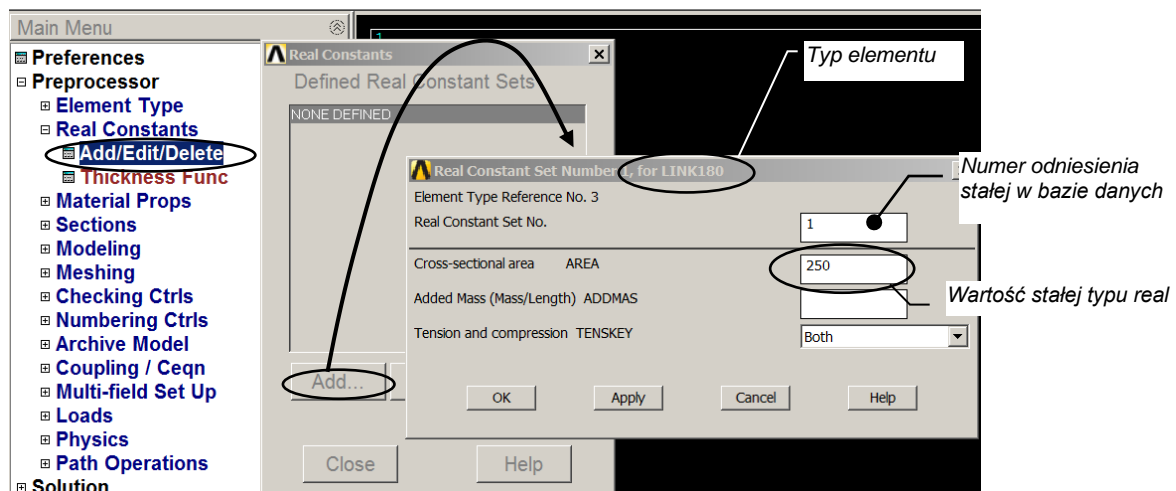
Definiowanie typu elementu odbywa sie w preprocesorze (*PREP7*). Sluzą do tego komendy z grupy *ET* (*ET*, *ETCHG*, itd.) lub ich odpowiedniki w interfejsie graficznym (rys. 4.3).



Rys. 4.3. Wygląd interfejsu graficznego (GUI) w trakcie wyboru typu elementu

4.3.1.3 Zdefiniowanie stałych typu *real* dla elementu

Stałe typu *real* (*Real Constants*) określają szczególne własności elementów takie jak np. geometryczne charakterystyki przekroju elementów prętowych, parametry elementów masowych, czy grubość elementów powłokowych. Stałe te można podawać za pomocą grupy komend *Real Constants* (*R*, *RMODIF*, itp.) (rys. 4.4).

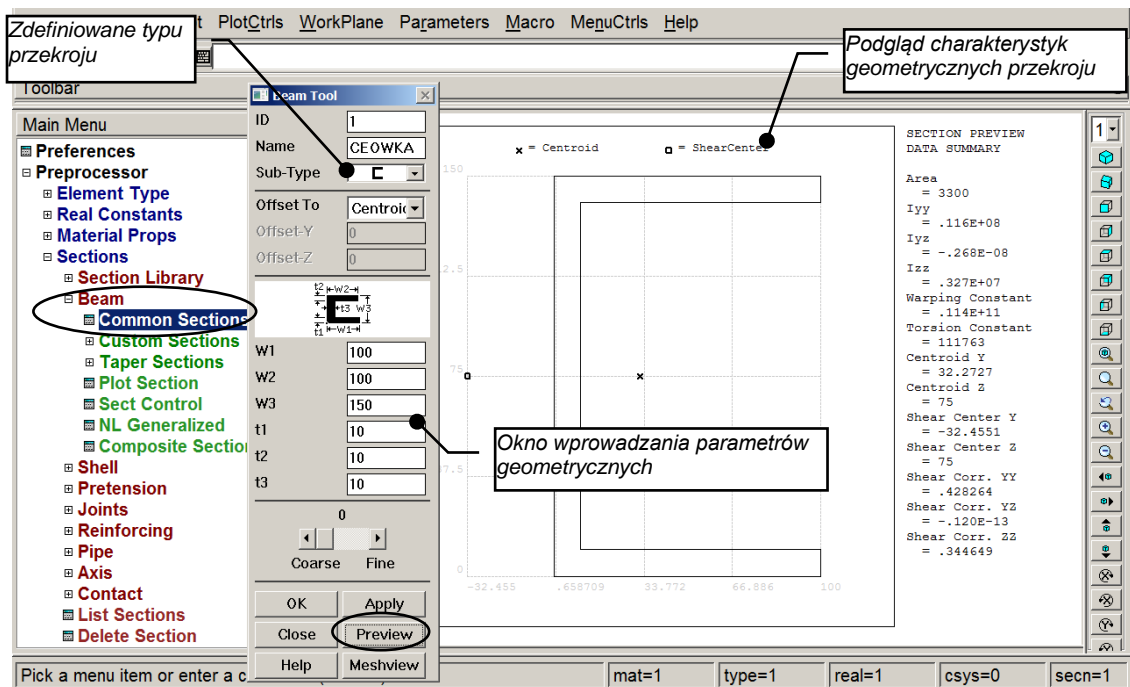


Rys. 4.4. Przykład wprowadzania stałych typu *real*

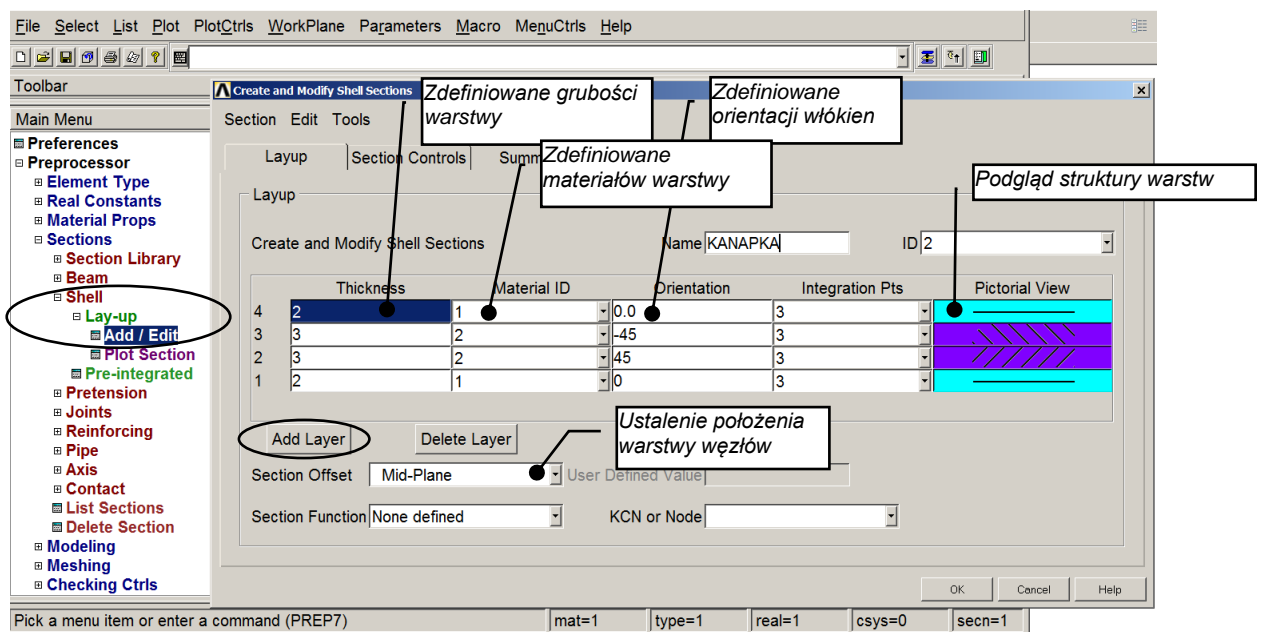
4.3.1.4. Definiowanie stałych *sections*

Niektóre typy elementów wymagają zdefiniowania parametrów takich jak grubość elementu, struktura warstw (elementy powłokowe), czy też charakterystyk przekroju (elementy belkowe) nie przez *real Constant*, ale za pomocą opcji *sections*.

ANSYS Mechanical APDL posiada wyspecjalizowane interfejsy do definiowania potrzebnych danych. Przykład interfejsu do definiowania charakterystyk przekroju belkowego pokazano na rys. 4.5, a na rys. 4.6 przedstawiony został interfejs wprowadzania parametrów przekroju warstwowego elementu powłokowego.



Rys. 4.5. Przykład wprowadzania parametrów przekroju belkowego (widok GUI)



Rys. 4.6. Przykład definiowania parametrów powłokowego elementu warstwowego (widok GUI)

4.3.1.5. Definiowanie stałych materiałowych

Dla większości typów elementów potrzebne jest wprowadzenie do programu stałych materiałowych (rys. 4.7). W zależności od rodzaju zagadnienia własności materiałowe mogą być:

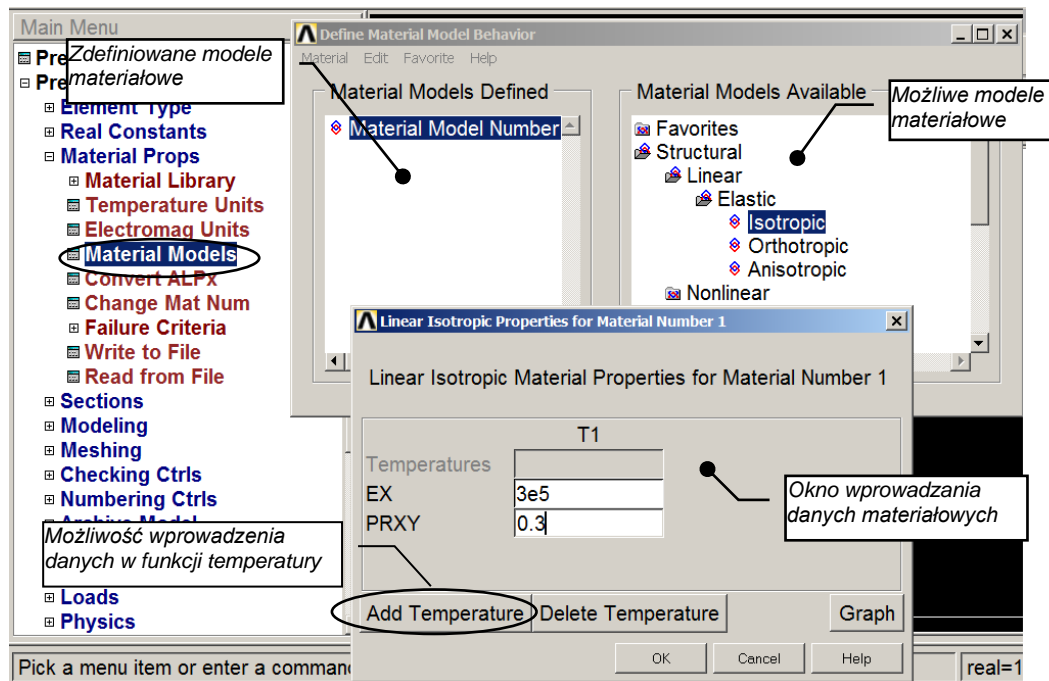
- liniowe lub nieliniowe,
- izotropowe, ortotropowe lub anizotropowe,
- niezależne lub zależne od temperatury.

Używanym w zadaniu zestawom danych materiałowych przyporządkowane są numery.

Interfejs modeli materiałowych (Material Model Interface)

ANSYS Mechanical APDL posiada interfejs graficzny służący do definiowania modeli materiałowych. Jego przejrzysta i logiczna struktura pozwala na szybkie określenie własności materiałów występujących w rozwiązywanym zadaniu.

Uruchomienie interfejsu: *Main Menu*>*Preprocessor*>*Material Props*>*Material Models*.



Rys. 4.7. Przykład definiowania właściwości materiałowych (widok GUI)

4.3.1.6. Tworzenie geometrii modelu

Celem tego etapu jest wygenerowanie modelu geometrycznego, na którym zdefiniowana będzie następnie siatka dyskretyzacyjna – węzłów i elementów.

Są dwa sposoby tworzenia modelu MES:

Solid Modeling – czyli modelowanie figurami geometrycznymi; opisane zostają granice modelu, a program według odpowiednich wskazań samodzielnie generuje siatkę dyskretyzacyjną,

Direct Generation – czyli generowanie bezpośrednio; jest bezpośrednim definiowaniem (z ewentualnym automatycznym wspomaganie) węzłów i łączeniem ich w elementy.

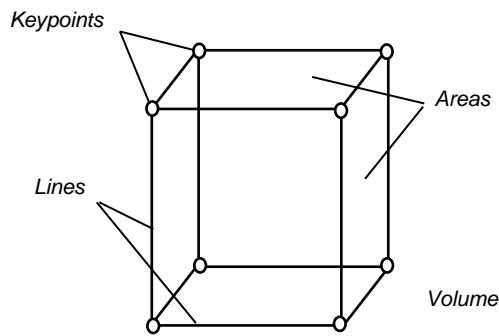
Solid Modeling

Celem stosowania modelu typu *solid* (rys. 4.8) jest uwolnienie użytkownika od pochłaniającej czas bezpośredniego tworzenia (*Direct Generation*) siatki elementów i węzłów modelu MES. Komendy wykorzystywane do budowania modelu typu *solid* są przedstawione na rys. 4.9.

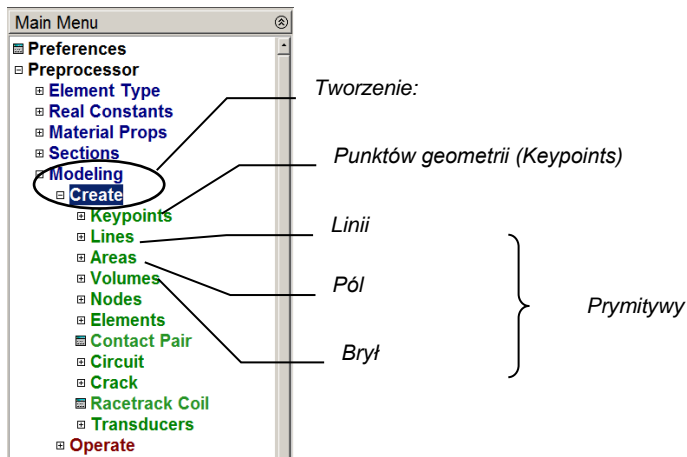
Budowa modelu z dołu do góry (Bottom-up): Punkty geometrii (*Keypoints*) są to punkty wyznaczające kształt modelu. Budując model typu *solid* zaczynamy od rozmieszczenia *punktów geometrii* w przestrzeni, a następnie wykorzystując te punkty tworzymy linie, pola, bryły (odpowiednio: *lines*, *areas*, *volumes*).

Budowa modelu z góry do dołu (Top-down): W programie ANSYS Mechanical APDL można budować model z wykorzystaniem typowych figur płaskich lub brył przestrzennych (*geometric primitives*), np.: koła, prostokąta, kuli, walca itd. Wywołanie tzw. *prymitywu* pociąga za sobą automatyczne utworzenie powierzchni, linii i punktów.

Te dwa sposoby tworzenia geometrii modelu można dowolnie łączyć ze sobą.

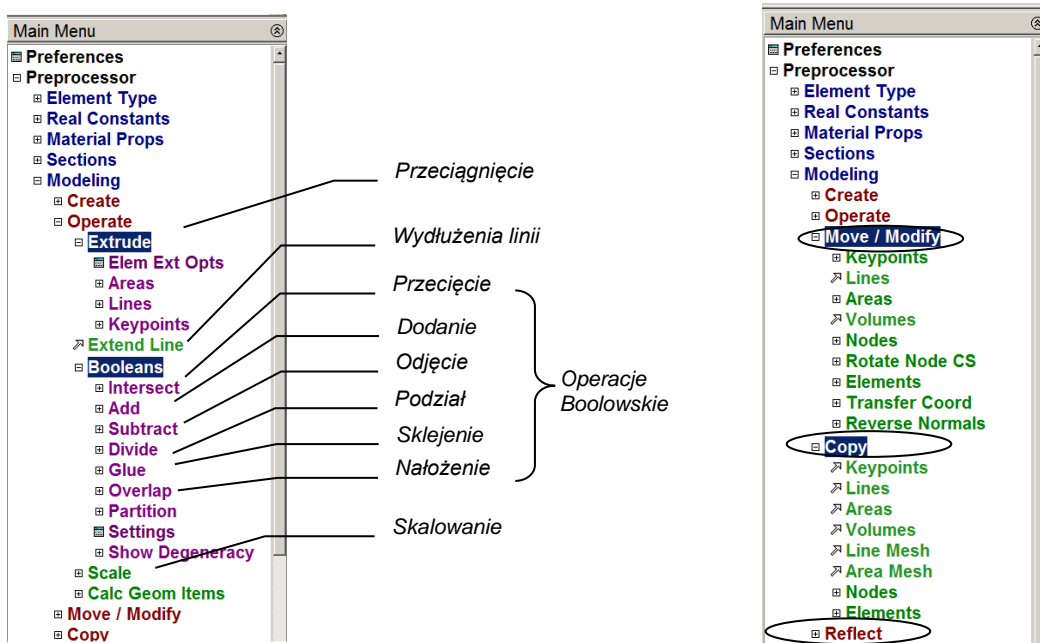


Rys. 4.8. Składowe modelu *solid*



Rys. 4.9. Lokalizacja komend potrzebnych do budowy modelu *solid*

Użycie operacji boolowskich. Można tworzyć kształt modelu używając operacji przecięcia, odejmowania, nakładania, przenikania i innych operacji boolowskich na częściach składowych (rys. 4.10).



Rys. 4.10. Lokalizacja komend do operowania, modyfikowania i kopiowania elementów modelu *solid*

Przeciągnięcia i obroty

Operacje boolowskie mogą być czasowo i pamięciowo "kosztowne", podczas gdy czasami model można łatwo zbudować przez „przeciągnięcia” figur lub linii wzdłuż linii lub ich obrót wokół osi.

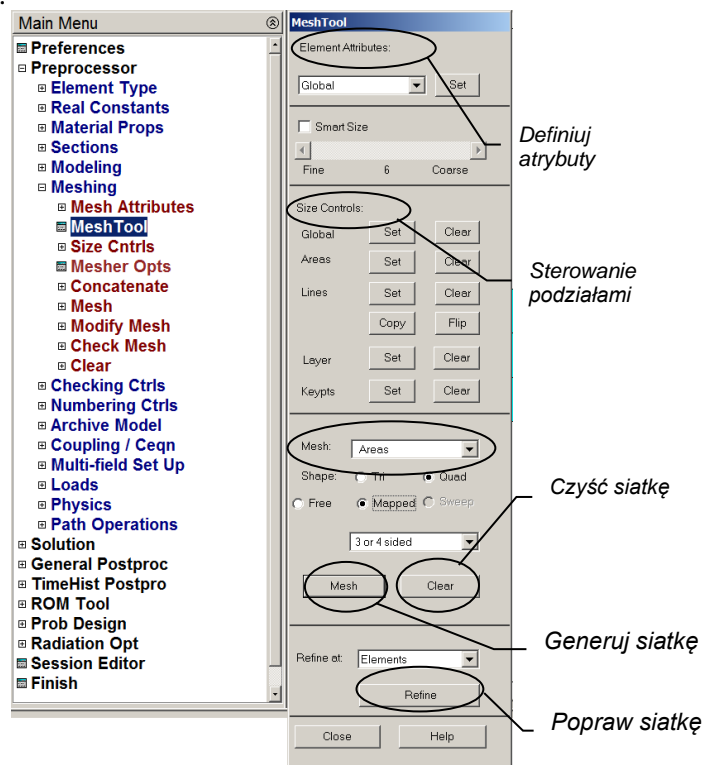
Przemieszczanie i kopiowanie elementów geometrii

Skomplikowana bryła lub powierzchnia, która powtarza się wielokrotnie w modelu może zostać zbudowana tylko raz, a potem kopiowana do nowych położenia. Czasami wygodnie jest zbudować siatkę w części obszaru, a następnie kopiować tę część odpowiednią liczbę razy.

Budowa siatki

Po zakończeniu budowy modelu *solid* i ustaleniu atrybutów elementu (numeru typu elementu, numeru stałej *real* lub *section*, numeru grupy materiałowej), można przystąpić do generacji siatki (rys. 4.11).

Można zbudować siatkę regularną (*mapped mesh*) albo nieregularną (*free mesh*). Sposób automatycznego tworzenia siatki sterowany jest komendami z grupy *Size Controls* (sterowanie rozmiarami). Pozwalają one m.in. zdefiniować gęstość podziału poprzez określenie typowej wielkości elementu, wskazanie punktów koncentracji (zagęszczenia) siatki czy podanie długości krawędzi elementów skończonych wzdłuż linii modelu geometrycznego.



Rys. 4.11. Struktura narzędzia do budowy siatki (*Mesh Tool*)

Poprawianie modelu

Czasami istnieje potrzeba usunięcia pewnych składowych geometrii. Należy jednak pamiętać, że program nie może usunąć składowych geometrii niższego rzędu, które są związane z istniejącymi składowymi geometrii wyższego rzędu. Hierarchia ważności składowych geometrii jest następująca:

↑ Ważność	<i>Elements (and Element Loads)</i>	– elementy (i siły w elementach),
	<i>Nodes (and Nodal Loads)</i>	– węzły (i siły w węzłach),
	<i>Volumes (and Solid-Model Body Loads)</i>	– bryły (i siły objętościowe w modelu solid),
	<i>Areas (and Solid-Model Surface Loads)</i>	– pola (i siły powierzchniowe w modelu solid),
	<i>Lines (and Solid-Model Line Loads)</i>	– linie (i siły na liniach w modelu solid),
	<i>Keypoints (and Solid-Model Point Loads)</i>	– punkty (i siły w punktach modelu solid).

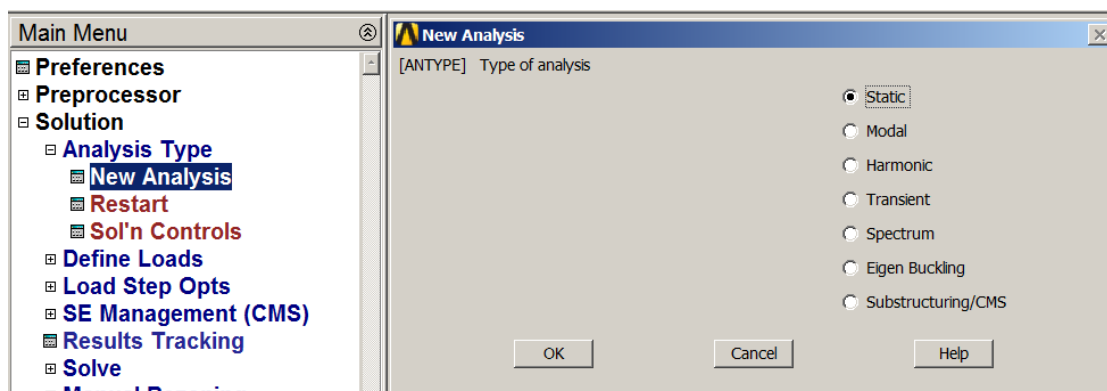
Jeśli zachodzi potrzeba poprawy modelu *solid* po wygenerowaniu siatki elementów, należy najpierw usunąć istniejącą siatkę, a następnie dokonać stosownych korekt.

4.3.2. Wprowadzenie obciążeń i uzyskanie rozwiązania

Ten etap pracy z programem odbywa się zasadniczo w procesorze nazwanym solverem (*Solution*). Określa się typ analizy wraz z odpowiednimi parametrami, wprowadza obciążenia, ustala opcje kroków obciążenia. Zainicjowany zostaje proces rozwiązania.

Określenie typu i opcji analizy

Typ analizy należy wybrać w zależności od celu obliczeń. Dostępne typy analizy pokazano na rys. 4.12. (np. analiza statyczna – *Static*, drgania własne – *Modal*, itd.).

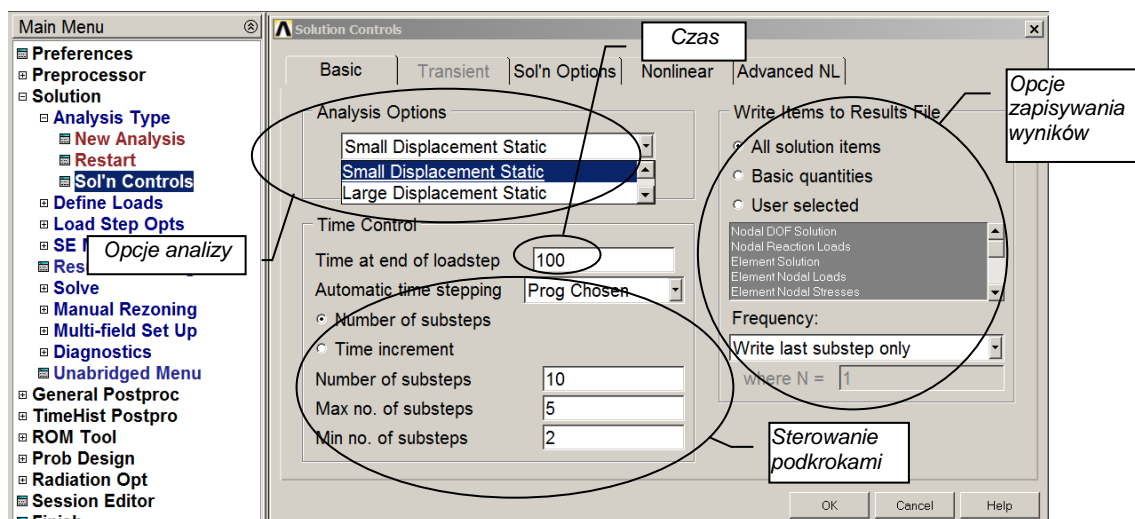


Rys. 4.12. Przykład definiowania typu analizy

Typ analizy wymaga niekiedy doprecyzowania za pomocą opcji analizy. Przykładowymi opcjami są: sposób rozwiązania, uwzględnienie lub nieuwzględnienie udziału naprężeń w macierzy sztywności i opcje procedury Newtona-Raphsona.

Typem analizy przyjmowanym domyślnie przez program jest analiza statyczna.

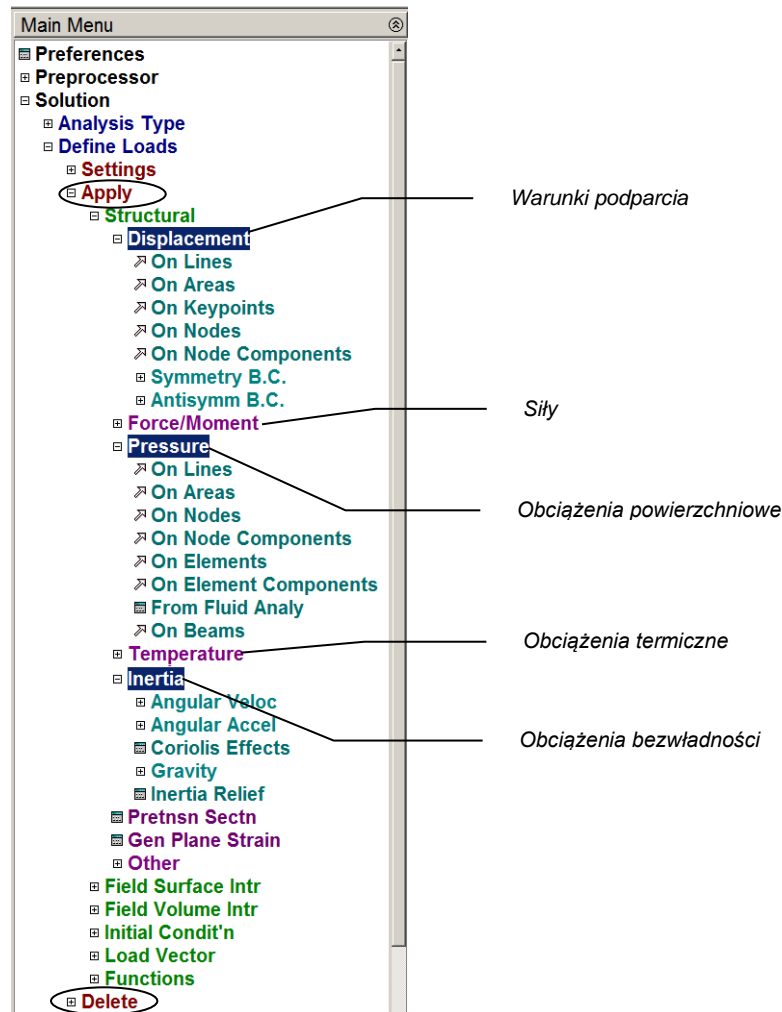
Parametry rozwiązania wygodnie jest określać w okienku kontroli rozwiązania (*Solution Controls Dialog Box*), co przedstawiono na rys. 4.13.



Rys. 4.13. Przykład wprowadzania opcji analizy

Wprowadzanie obciążeń

Termin *loads* oznacza w programie ANSYS Mechanical APDL zarówno siły zewnętrzne, jak i warunki podparcia. Rodzaje obciążeń pokazano na rys. 4.14.



Rys. 4.14. Lokalizacja komend dotyczących obciążeń w analizie strukturalnej

Większość tych obciążeń można przyłożyć do modelu *solid* (w punktach, na liniach, na powierzchniach – *On Keypoints*, *On Lines*, *On Areas*) lub do modelu MES (w węzłach, na elementach – *On Nodes*, *On Elements*). Wygodnie jest związać obciążenia z elementami geometrii.

W chwili inicjacji rozwiązania obciążenia te zostają przeliczone do węzłów lub elementów siatki dyskretyzacyjnej.

Pojęcie kroku obciążenia (*Load Step*) oznacza układ obciążeń, dla którego uzyskujemy rozwiązanie. W kolejnych krokach można wprowadzać różne przypadki obciążenia.

W analizie nieustalanej kroki obciążenia odpowiadają kolejnym krokom czasowym historii obciążenia.

Podkroki (*Substeps*) są przyrostami obciążenia wewnątrz kroku, mają na celu poprawę dokładności i zbieżności zadania.

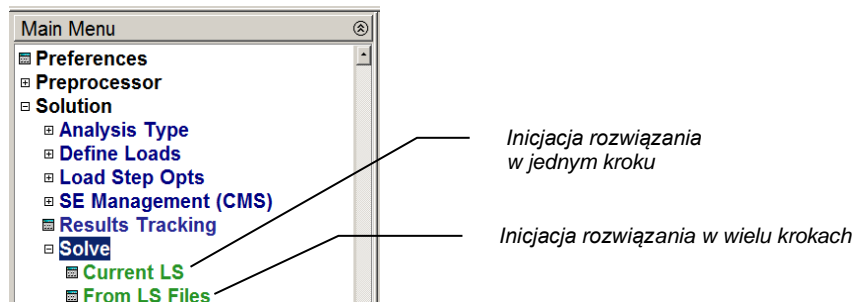
Uwaga: ANSYS używa pojęcia czasu zarówno w analizie nieustalanej, jak i ustalonej. W analizie nieustalanej czas jest czasem rzeczywistym, a w analizie statycznej lub ustalonej pełni rolę pomocniczą w określaniu kroku obciążenia.

Wprowadzanie parametrów kroku obciążenia (*Load Step Options*)

W kolejnych krokach można zmieniać opcje obciążenia, np.: liczbę podkroków, czas końcowy kroku i kontrolę zapisywanych wyników. Te parametry wygodnie jest wprowadzić korzystając z okienka kontroli rozwiązania (*Solution Controls Dialog Box*), co przedstawiono na rys. 4.13

Inicjacja rozwiązania

Proces rozwiązania inicjujemy wskazując polecenie *Current LS*, a w przypadku analizy z kilkoma krokami obciążenia wybierając *From LS Files* (rys. 4.15).

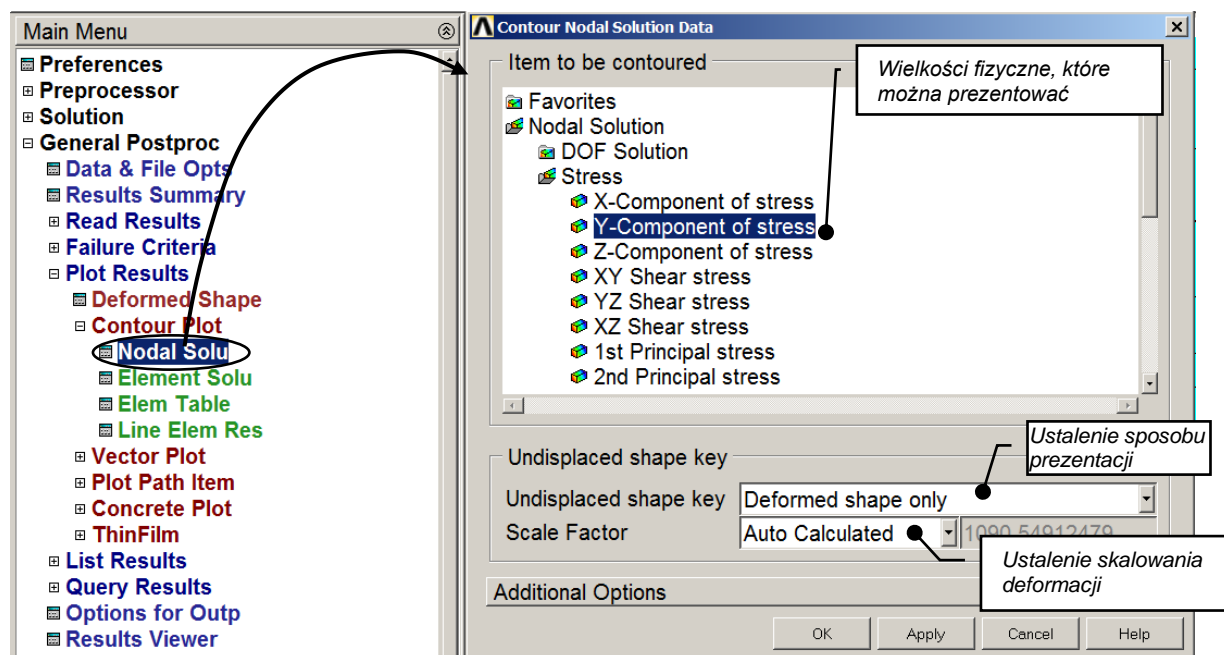


Rys. 4.15. Lokalizacja komend inicjujących rozwiązanie

4.3.3. Przeglądanie wyników

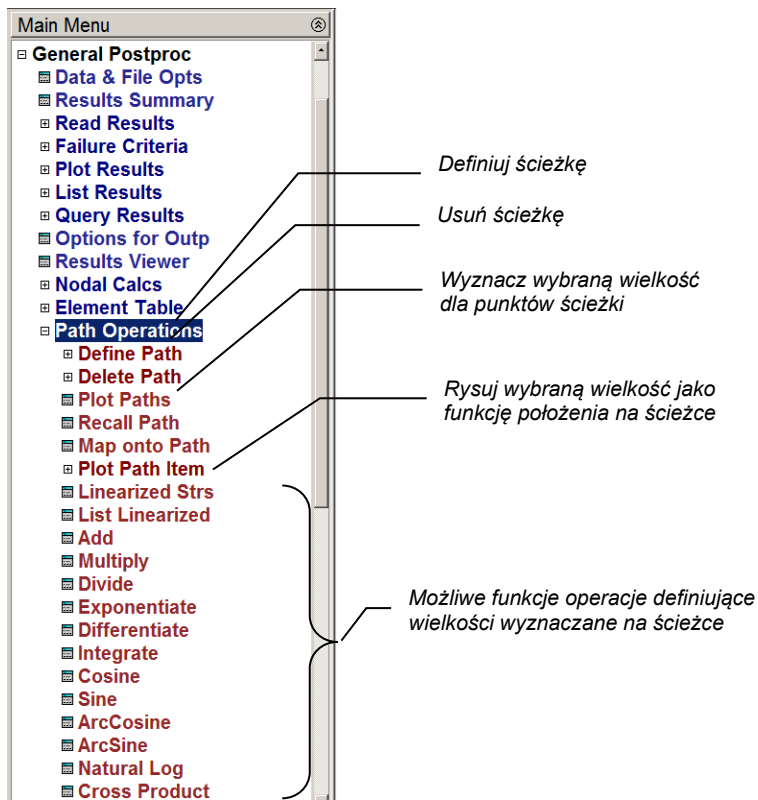
W przypadku analizy prowadzonej w jednym kroku (np. analizy liniowej) należy użyć postprocesora ogólnego (POST1).

Możliwa jest prezentacja wyników w postaci map warstwicznych wybranych wielkości (składowych przemieszczenia, naprężenia, odkształcenia itp.) na tle modelu odkształconego (rys. 4.16). Wyniki można prezentować w interpolacji węzłowej (*Nodal Solution*) lub w elementach (*Element Solution*).



Rys. 4.16. Przykład wskazania mapy warstwicznej dla składowej naprężenia w kierunku y

Istnieje też możliwość prezentacji wybranych wielkości w funkcji położenia na dowolnie określonej ścieżce. Służą do tego komendy z grupy *Path_Operations* (rys. 4.17). Uzyskuje się w ten sposób wykresy poszukiwanych wielkości.



Rys. 4.17. Lokalizacja komend do prezentacji wyników wzdłuż ścieżki