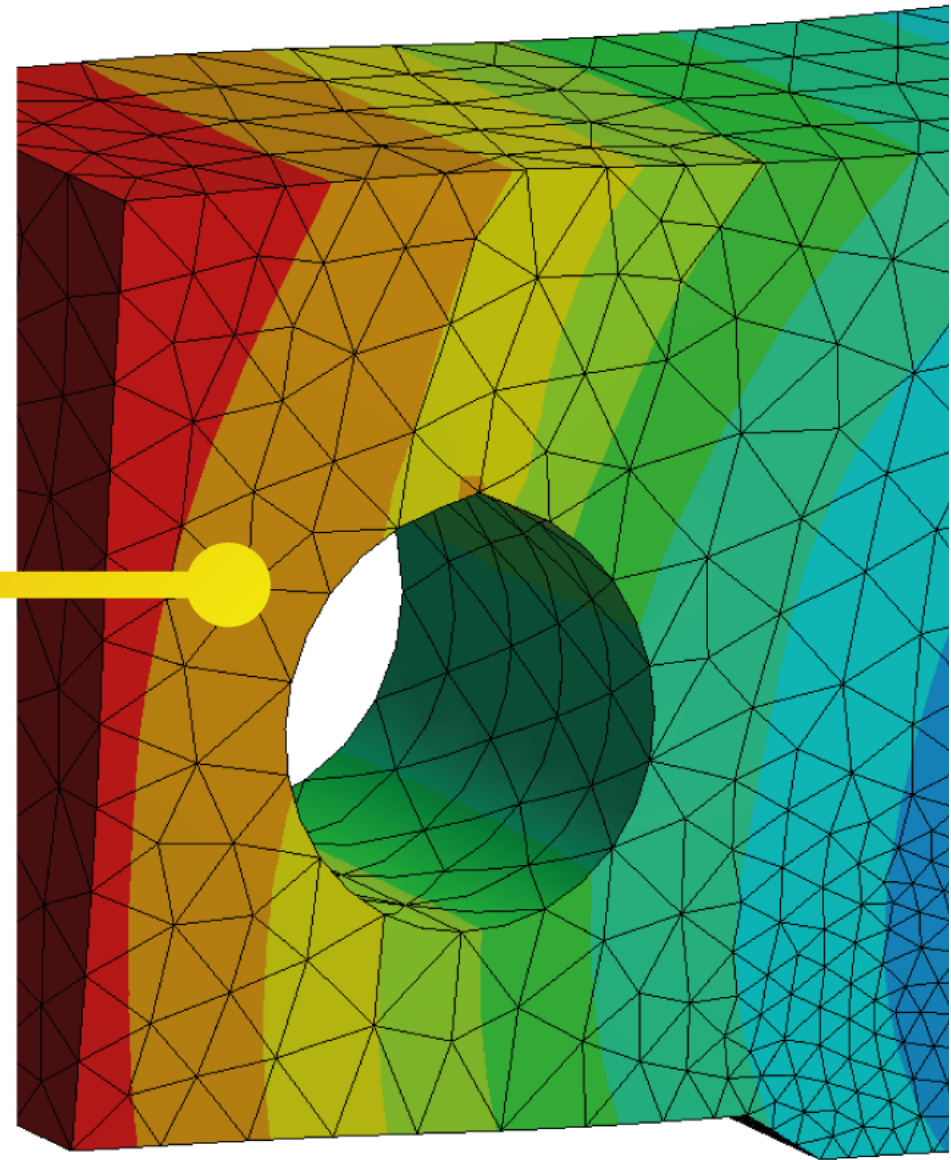


5. Obliczenia numeryczne zbiornika



ANSYS – pobieranie i instalacja oprogramowania

Program ANSYS jest dostępny za darmo w wersji akademickiej dla studentów. Licencja akademicka narzuca pewne ograniczenia na wielkości analizowanych modeli: gęstość siatki nie może przekraczać 32.000 węzłów lub elementów. Bardziej zaawansowane licencje (np. research) pozwalają na przeprowadzanie dużo dokładniejszych badań ale są one płatne. Ćwiczenia przedstawione w ramach niniejszego kursu dostosowane są do licencji akademickiej. Aby pobrać program ANSYS należy udać się na stronę: <https://www.ansys.com/academic/free-student-products>. W ramach jednej licencji uzyskujemy dostęp zarówno do programów z zakresu analiz mechaniki ciał stałych, mechaniki płynów, termodynamiki i wielu innych specjalistycznych pakietów obliczeniowych. Przedstawione ćwiczenia wykorzystują moduł ANSYS MECHANICAL APDL. Na kolejnych slajdach przedstawiony został proces pobierania i instalacji oprogramowania.



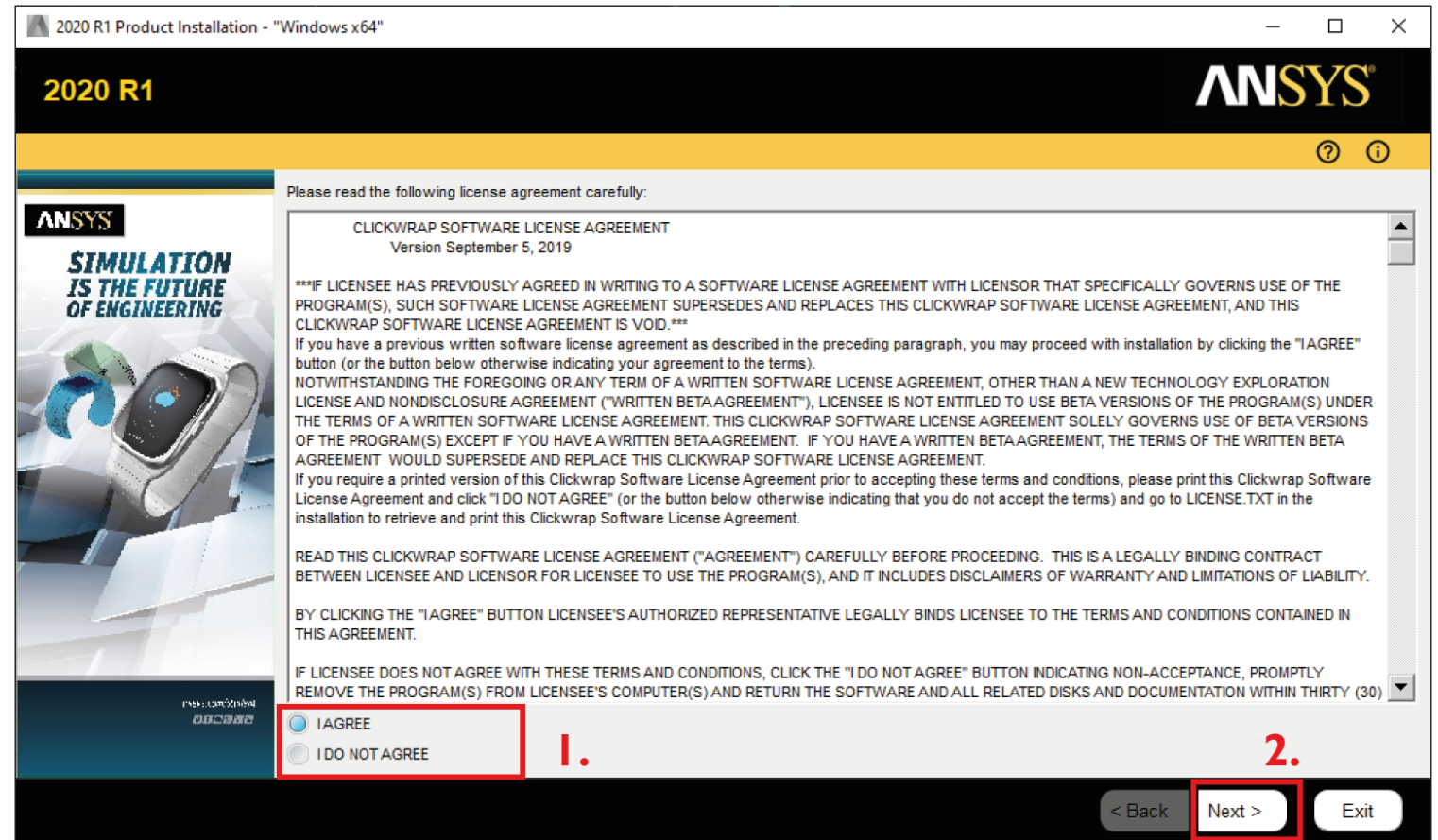
ANSYS – pobieranie i instalacja oprogramowania

Studencka wersja programu znajduje się w zakładce Ansys Student – 1. W zakładce związanej z pobieraniem - „Download” znajduje się link do pobrania wymaganych plików – 2 (pliki zostaną pobrane w formacie .rar). Dodatkowe informacje, między innymi na temat wymagań sprzętowych programu, znajdują się w paskach poniżej – 3.

The screenshot shows the Ansys website navigation bar with 'PRODUCTS', 'SOLUTIONS', 'SERVICES', 'SUPPORT', and 'ABOUT ANSYS'. The 'FREE TRIALS' button is highlighted. Below the navigation bar, four product cards are displayed: 'Discovery Live Student', 'Discovery AIM Student', 'Ansys Student' (highlighted with a red border), and 'Ansys SCADE Student'. Each card has a 'CLICK HERE' button. Below the 'Ansys Student' card, a red box highlights the 'Download Ansys Student 2020 R1' link. Below this link, a red box highlights the 'DOWNLOAD ANSYS STUDENT 2020 R1' button. Below the button, a red box highlights the 'Installation Steps' dropdown menu, which includes options like 'System and Browser Requirements', 'Problem Size Limits', 'License Duration', 'What's Included', and 'Prior Releases'. The text below the button states: 'For the free online simulation course from Cornell University, Ansys Student 2019 R3 is recommended.'

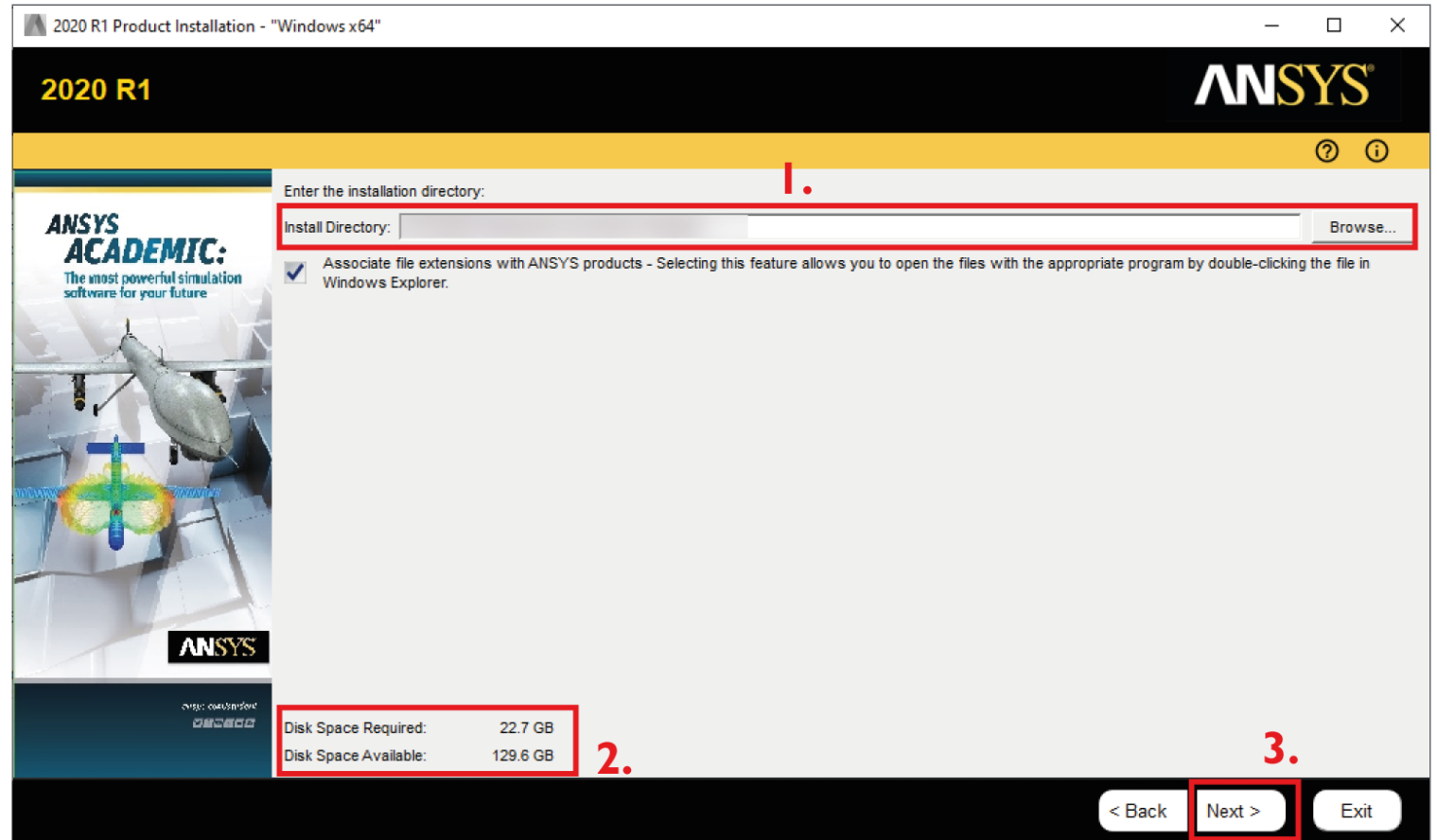
ANSYS – pobieranie i instalacja oprogramowania

I. Po uruchomieniu skrótu instalacyjnego „setup.exe” wyświetli się takie okno. Należy zaakceptować warunki licencyjne – **I.** i następnie przejść dalej – **2.**



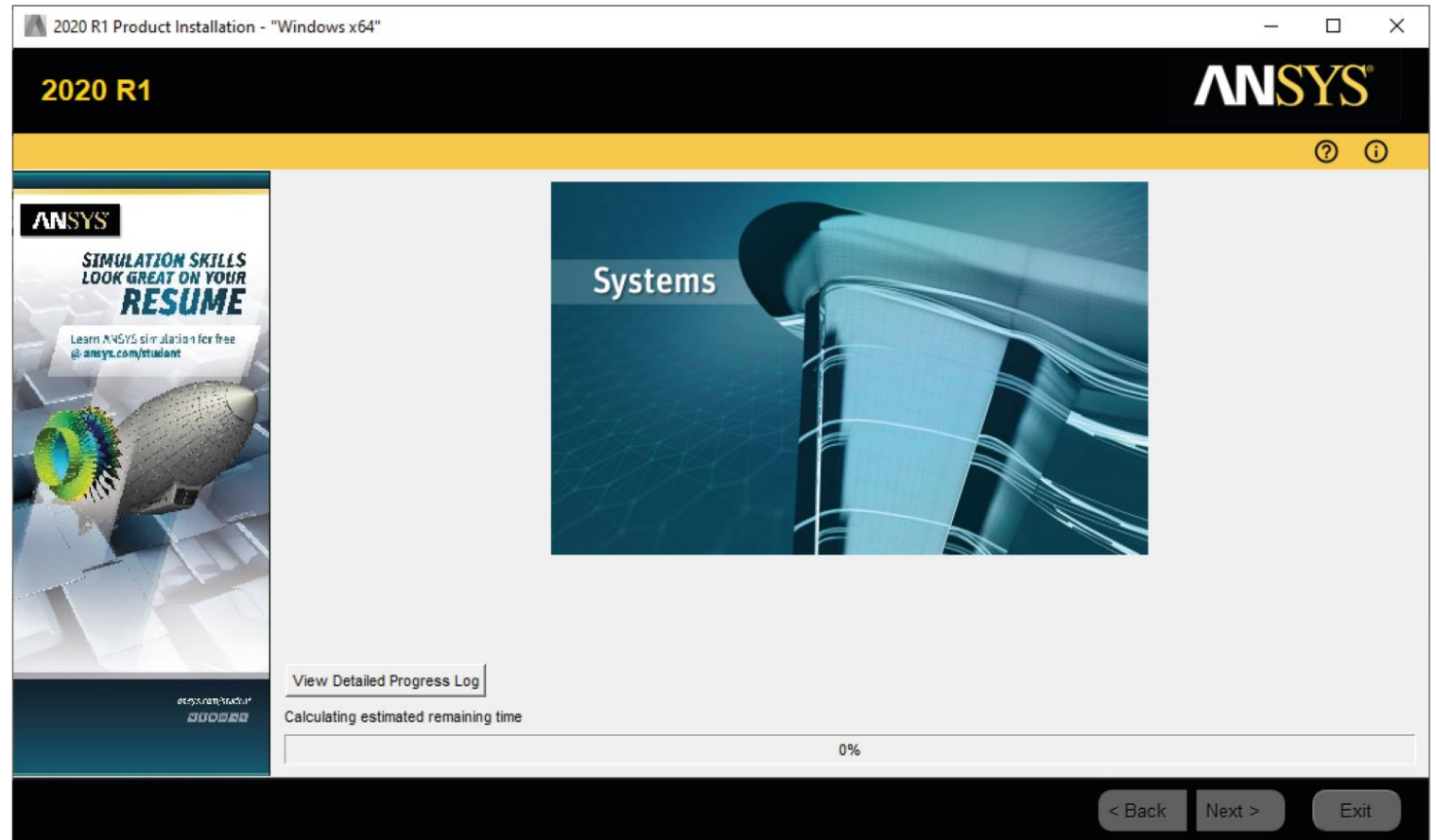
ANSYS – pobieranie i instalacja oprogramowania

II. Kolejnym krokiem jest wskazanie ścieżki instalacyjnej dla programu – 1. Należy zwrócić uwagę na ilość miejsca potrzebną programowi ANSYS – 2. Następnie można już rozpocząć instalację – 3.



ANSYS – pobieranie i instalacja oprogramowania

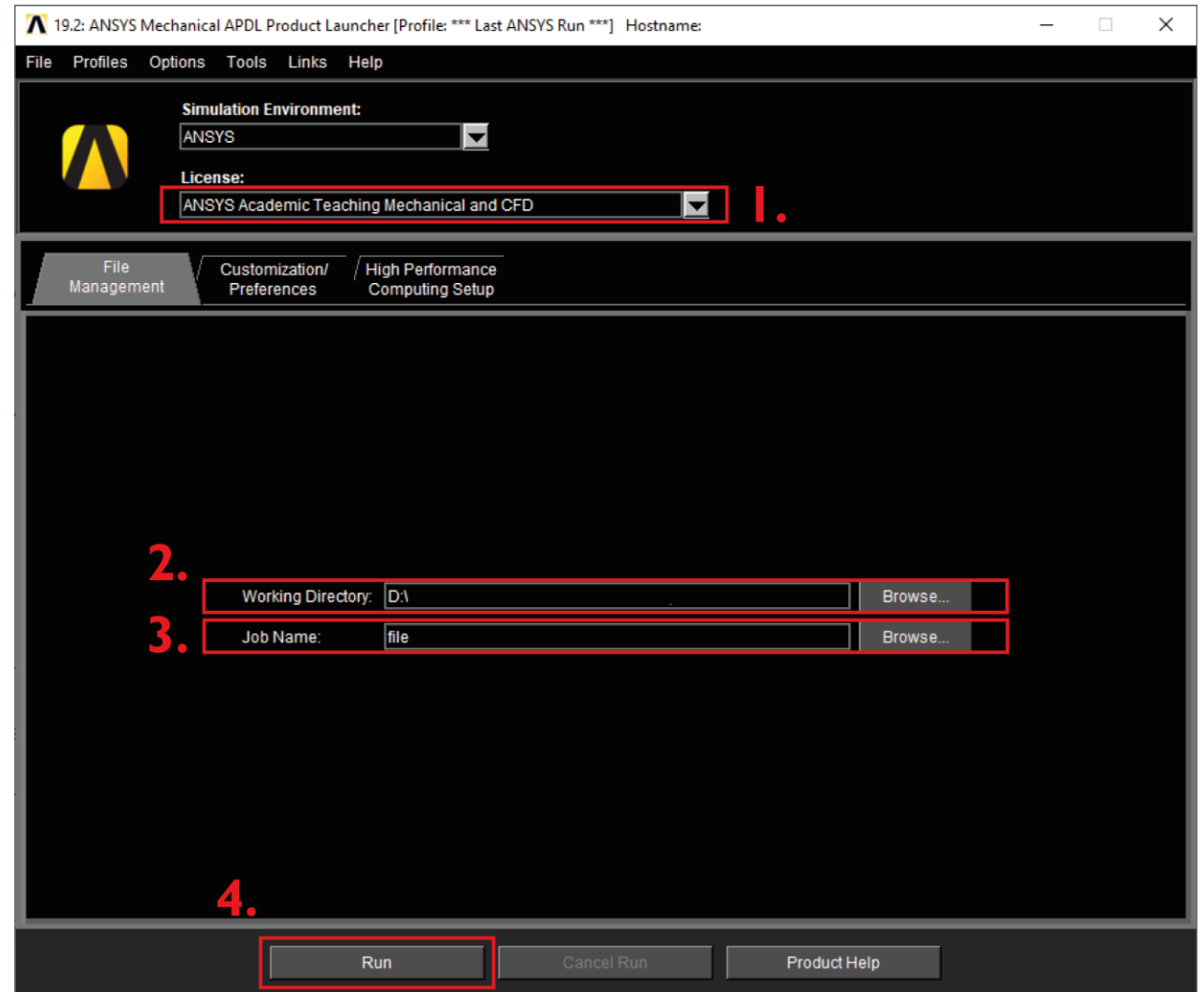
III. Instalacja oprogramowania może zająć nawet godzinę. Po zakończeniu instalacji program jest gotowy do użycia.





Pierwsze kroki z oprogramowaniem ANSYS Mechanical APDL

Uruchomienie Ansysa odbywa się poprzez program „Mechanical APDL Product Launcher”. Pozwala on na odpowiednie dopasowanie ustawień pod wykonywane zadania. W polu 1. wybierana jest licencja. W wersji studenckiej dostępne są jedynie licencje typu Teaching. Następnie należy wskazać ścieżkę roboczą – 2. oraz nazwę pliku – 3 (nazwa ta będzie służyła do nazywania różnych plików). Ansys w trakcie pracy tworzy dwa główne pliki robocze o rozszerzeniach .db (**d**atabase) oraz .dbb (**d**atabase **b**ackup). Należy pamiętać, że poprawne wczytywanie baz danych odbywa się nie bezpośrednio poprzez pliki .db, tylko poprzez pokazany Launcher! Po zaznaczeniu odpowiednich opcji uruchamiamy program klikając Run – 4. Jako ciekawostkę należy jeszcze wspomnieć, że Launcher pozwala również na konkretne przydzielenie zasobów obliczeniowych czy też zarządzanie obliczeniami wielkoskalowymi.





Pierwsze kroki z oprogramowaniem ANSYS Mechanical APDL

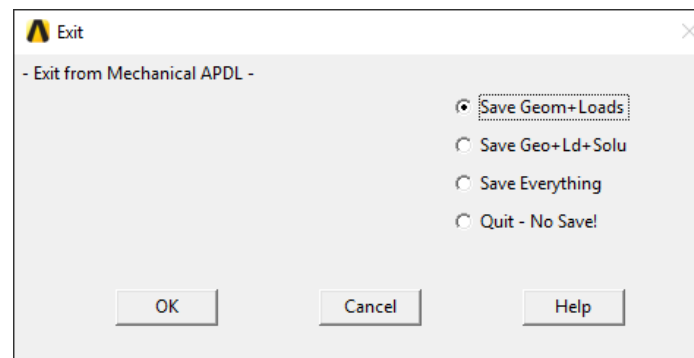
Po uruchomieniu ukazują się następujące okno:





Pierwsze kroki z oprogramowaniem ANSYS Mechanical APDL

Bardzo istotną cechą Ansysa jest to, że nie posiada on funkcji „cofnij”. Oznacza to, że wszelkie zmiany zarówno podczas modelowania jak i obliczeń są trwałe. Taki stan rzeczy wymaga bardzo przemyślanego używania opcji zapisywania – **Save_DB** i przywracania – **Resum_DB**. Obie opcje mają swoje przyciski w pasku narzędzi – **2**. Podczas pierwszego uruchomienia nowego pliku należy na wstępie zapisać go, inaczej przy awarii programu lub niepoprawnego zamknięcia programu stracimy wszelki progres. W przypadku wczytywania istniejącej bazy należy klikać **Resum**. Wtedy baza danych zostanie wczytana z ostatniego zapisu. UWAGA: jeżeli podczas otwierania istniejącej bazy danych zostanie kliknięty przycisk **Save**, to baza zostanie nadpisana pustym plikiem. W takiej sytuacji należy wyjść (bez zapisywania) i wrócić się do Launchera i wczytać plik .dbb. Pozwoli to na przywrócenie bazy danych. Jeśli jednak przed wczytaniem backup'u baza zostanie ponownie zapisana, to dane przypadną bezpowrotnie (nastąpi nadpisanie pliku .dbb). W pasku narzędzi znajduje się również klawisz **Quit**. Jego uruchomienie spowoduje pojawienie się okna wyjścia:



Górny pasek **1.** zawiera opcje dotyczące programu, grafiki, sposobu wyświetlania itp. Pozwala również na zapisywanie zrzutów graficznych. Wszelkie opcje modelowania i obliczeń znajdują się w rozwijanych paskach z boku ekranu – **3.** Ustawione są one w taki sposób w jaki przebiega analiza. Najważniejsze z nich:

- Preprocessor – wprowadzenie danych materiałowych, wybór elementu, modelowanie geometrii, budowa modelu mes,
- Solution – parametry analizy, warunki podparcia i obciążenia, przeprowadzenie obliczeń,
- General Postprocessor (Postproc) – prezentacja wyników, tworzenie wykresów itp.
- TimeHistory Postprocessor – prezentacja wyników z uwzględnieniem czasu.

Należy pamiętać, że przeważnie komendy są przypisane do konkretnych kroków i nie można ich wywoływać poza przypisanym modulem (np. nie uruchomimy obliczeń w module preprocesora).

W trakcie używania Ansys pokazuje komentarze dotyczące kolejnych kroków lub opisujące krótko wybraną opcję. Pokazywane są one na dole ekranu – **4.**

Po prawej stronie ekranu znajdują się opcje dotyczące wyświetlania modelu – **5.** Widoki, które można ustawić dotyczą zarówno rzutów na konkretne płaszczyzny, widoków izometrycznych czy nawet ręcznego ustawienia pozycji „kamery”. Na samym dole znajduje się przycisk odpowiedzialny za swobodne przemieszczenia kamery przy pomocy myszki.



ANSYS Mechanical APDL – porady i wskazówki

Poza głównym menu w trakcie działania programu Ansys otwiera dodatkowe okno: „Output Window”. Pokazywane są w nim wszystkie komendy wywoływane przez użytkownika. Dodatkowo wszystkie informacje zwracane przez program będą tutaj widoczne. Jest to niezwykle pomocne gdy wystąpią błędy w trakcie obliczeń. W przypadku gdy nie została odjęta odpowiednia liczba stopni swobody modelu (model jest niedostatecznie podparty) przy próbie obliczeń dostaniemy następujący komunikat:

```
*** ERROR ***                      CP =      4.562  TIME= 20:59:11
There is at least 1 small equation solver pivot term (e.g., at the UZ
degree of freedom of node 9). Please check for an insufficiently
constrained model.
```

Informuje on o tym, że wystąpił błąd w trakcie obliczeń oraz czym może być on spowodowany.

```
Mechanical APDL 19.2 Output Window

SHARED MEMORY PARALLEL REQUESTED
SINGLE PROCESS WITH 2 THREADS REQUESTED
TOTAL OF 2 CORES REQUESTED
START-UP FILE MODE = READ
STOP FILE MODE = READ
GRAPHICS DEVICE REQUESTED = win32
GRAPHICAL ENTRY = YES
LANGUAGE = en-us
INITIAL DIRECTORY =

RELEASE= Release 19.2      BUILD= 19.2      UP20180808  VE
RSION=WINDOWS x64
CURRENT JOBNAME=f          CP=      0.188

/SHOW SET WITH DRIVER NAME= WIN32 , RASTER MODE, GRAPHIC P
LANES = 8

RUN SETUP PROCEDURE FROM FILE=

/INPUT FILE= menust.tmp  LINE=      0

/INPUT FILE=
ans LINE=      0
ACTIVATING THE GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI). PLEASE WAIT...

CUTTING PLANE SET TO THE WORKING PLANE

PRODUCE NODAL PLOT IN DSYS= 0
TURN OFF WORKING PLANE DISPLAY

PRODUCE NODAL PLOT IN DSYS= 0

PRODUCE NODAL PLOT IN DSYS= 0
```

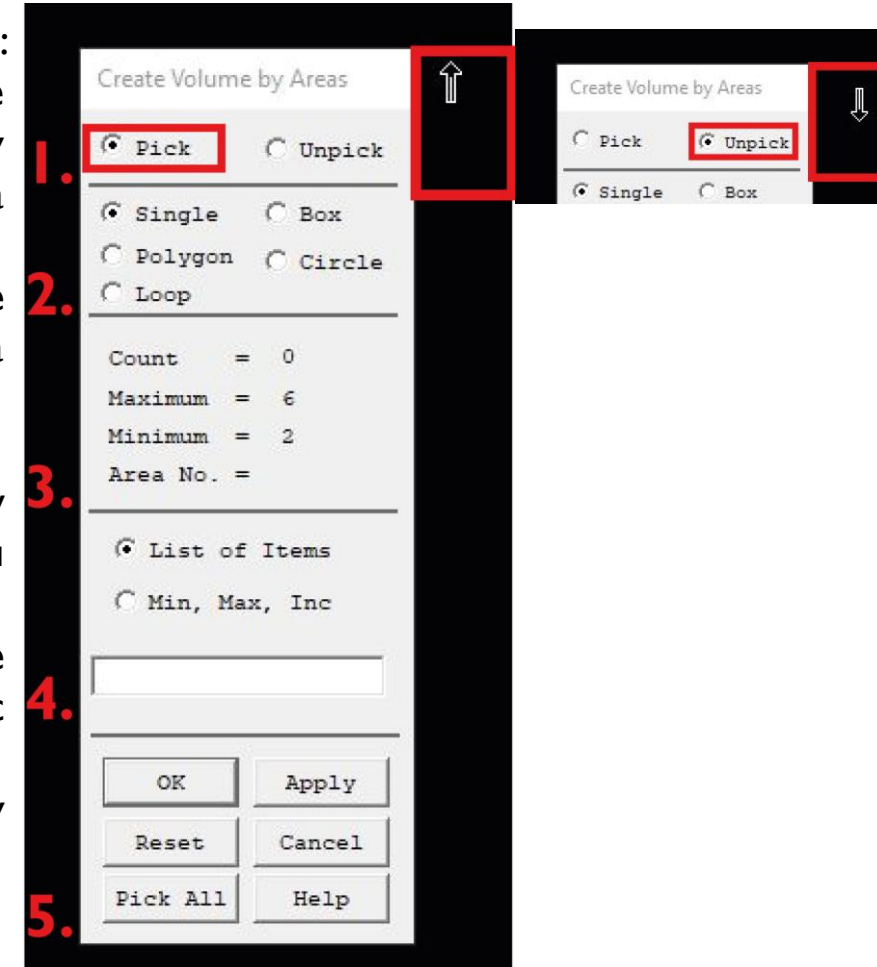


ANSYS Mechanical APDL – porady i wskazówki



Często w trakcie modelowania użytkownik musi wskazać konkretne komponenty, np.: w przypadku tworzenia linii pomiędzy punktami, wybór linii, na których nałożone zostaną warunki podparcia czy zaznaczenie powierzchni do podzielenia na elementy skończone. W takich przypadkach wywoływane jest menu odpowiedzialne za zaznaczanie. Składa się ono zazwyczaj z następujących elementów:

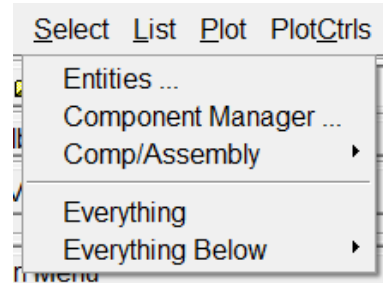
1. Zaznaczenie lub odznaczenie (Uwaga: przełączanie tych opcji jest również możliwe przy pomocy prawego przycisku myszy). Wybrana opcja jest również wyróżniona przy pomocy kursora (kierunek strzałki, patrz rysunki)
2. Typ zaznaczenia: pojedynczy, prostokątny itp.
3. Licznik zaznaczonych elementów oraz informacja o tym ile można ich wybrać (w przypadku linii pomiędzy dwoma punktami, maksymalna liczba punktów do wyboru będzie wynosić 2).
4. Okno do wpisywania listy komponentów. Czasem (jeśli znane są) konkretne numery poszczególnych komponentów można je bezpośrednio wpisać używając tego okna.
5. Na koniec zatwierdzamy (lub resetujemy) wybrane komponenty przy pomocy klawiszy z tego menu.





ANSYS Mechanical APDL – porady i wskazówki

Wybór poszczególnych komponentów modelu odbywa się przy pomocy menu **Select** znajdującego się na górnym pasku:

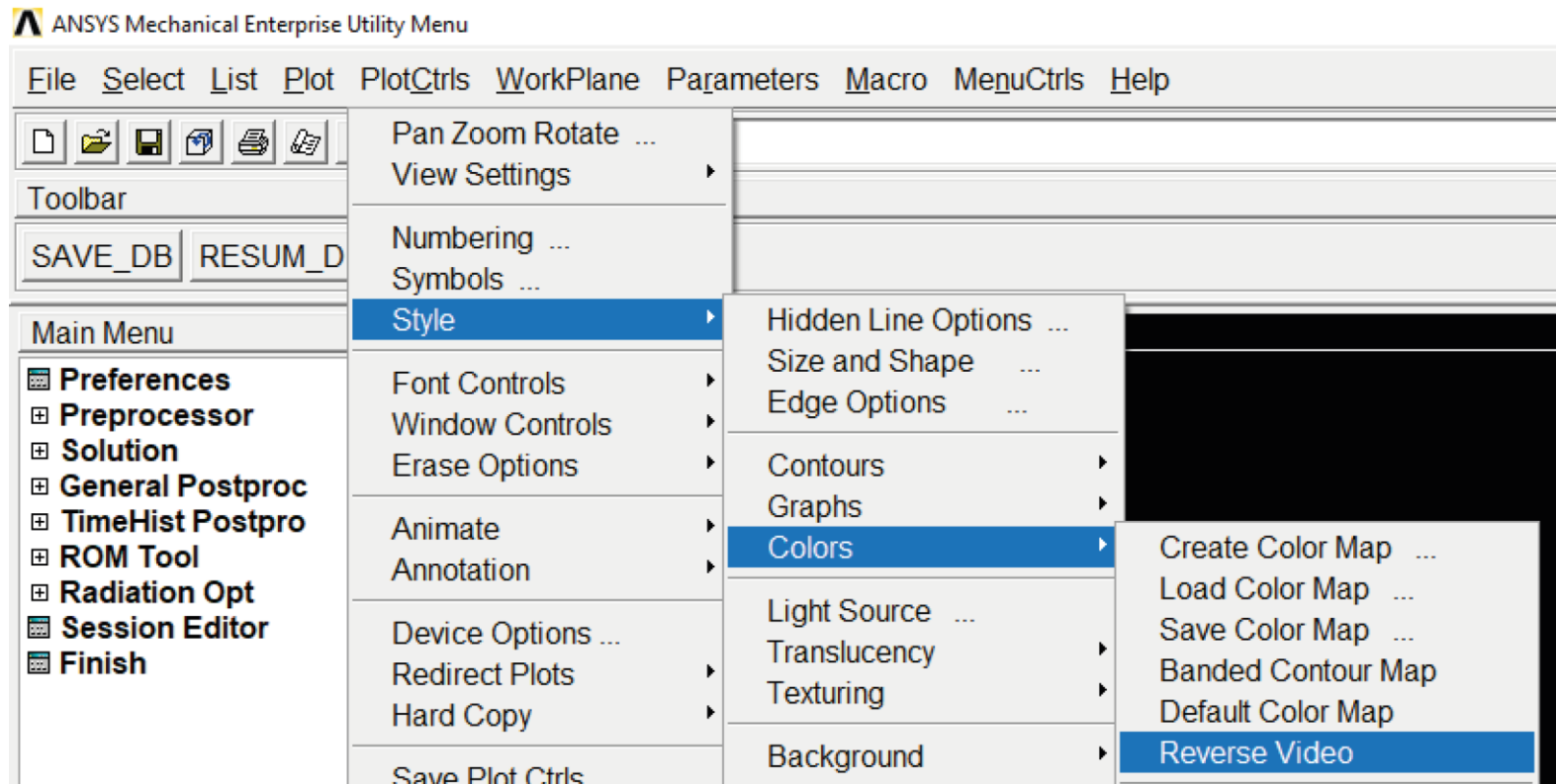


Znajdują się tutaj trzy bardzo przydatne opcje: **Entities**, **Everything**, i **Everything Below**. Pierwsza z nich pozwala na otwarcie kolejnego menu kontekstowego, które służy do wyboru konkretnych komponentów według pewnych zasad. W oknie 1. można wybrać jaki typ komponentu będzie wybierany (np. węzły, elementy, linie czy objętości). Okno 2. pozwala na wybór typu selekcji – może się ona odbywać poprzez kliknięcie albo np. poprzez wybór konkretnego typu elementu (opcji jest dużo). W punkcie 3. ustawia się typ wyboru.

Pozostałe dwie opcje **Select Everything** oraz **Everything Below** pozwalają na wybór wszystkiego lub wszystkiego poniżej pewnego, już wybranego, komponentu (hierarchia w Ansysie jest następująca: *objętość* → *powierzchnia* → *linia* → *punkt kluczowy* → *element* → *węzeł*).



Kolorem podstawowym tła w programie Ansys jest kolor czarny. W trakcie modelowania jest on bardzo wygodnym wyborem, jednak do tworzenia zdjęć preferowany jest kolor biały. Aby to zmienić należy odwrócić kolory postępując w następujący sposób:

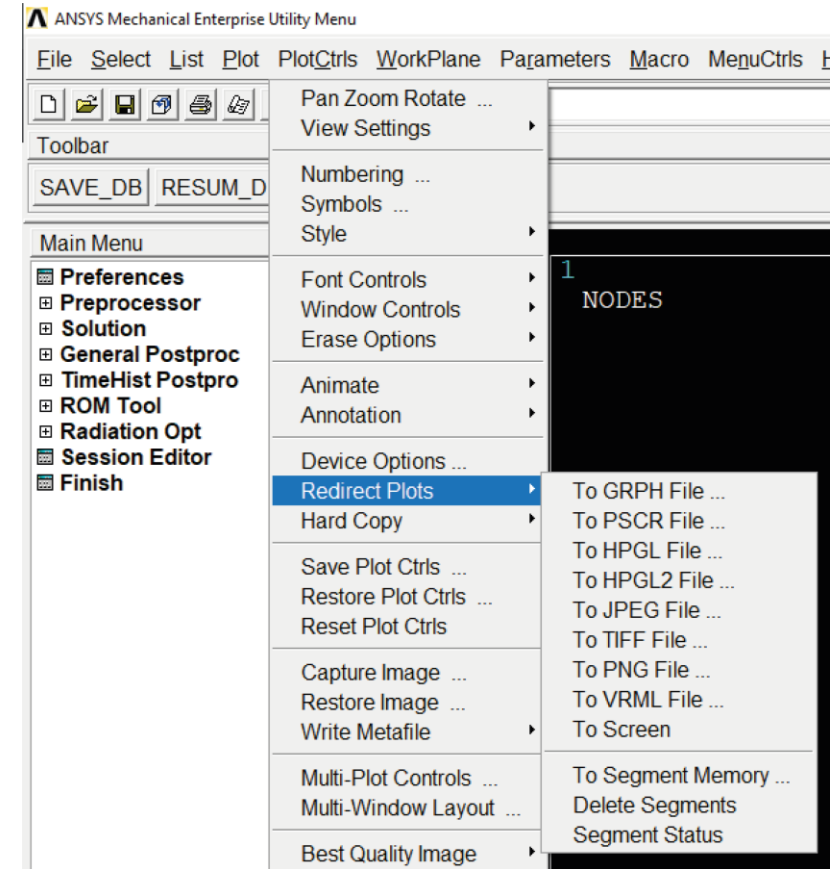




ANSYS Mechanical APDL – porady i wskazówki

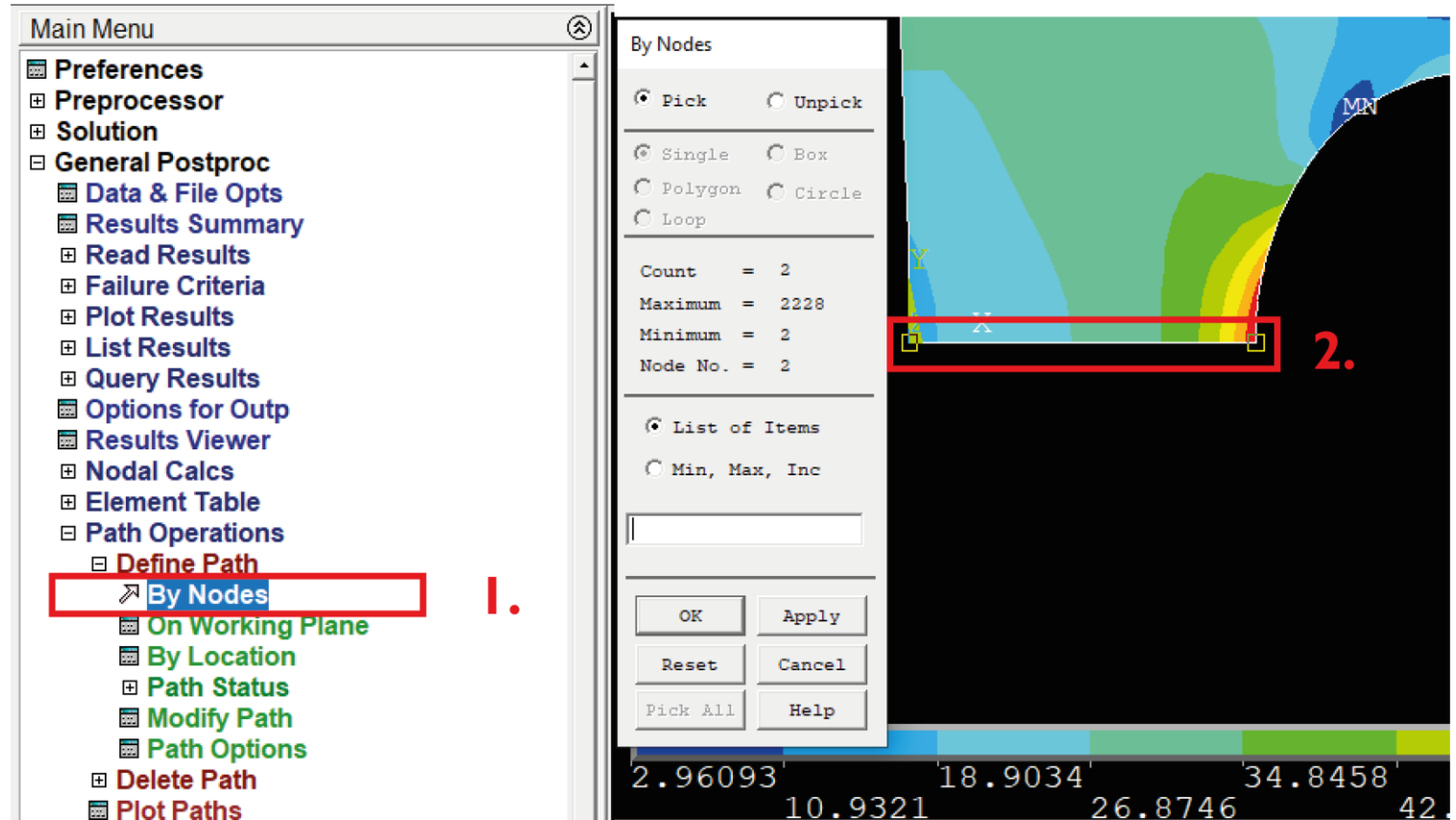


Generowanie obrazków z programu odbywa się poprzez **PlotCtrls** → **Redirect Plots** (patrz obrazek). Program zapewnia możliwość generowania obrazków w różnych formatach, ale również pozwala na zapis do pliku GRPH, który następnie stanowi kolekcję zapisanych obrazków (kolejne ujęcia są dodawane do jednego pliku zamiast generować kolejne pliki graficzne).



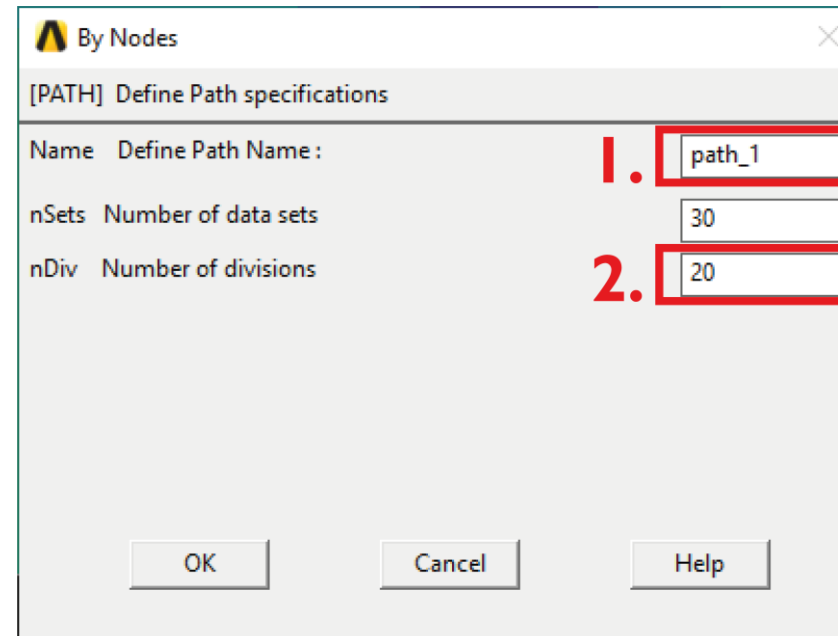


Program zapewnia również możliwość przedstawienia wyników w postaci wykresów pokazujących rozkład wybranych wielkości na ścieżce. Ścieżki określa się za pomocą węzłów – 1. Ilość punktów, które należy wskazać zależy od kształtu ścieżki. W przypadku linii prostej wystarczą dwa węzły – jeden wyznaczający początek ścieżki i drugi wyznaczający jej koniec – 2.





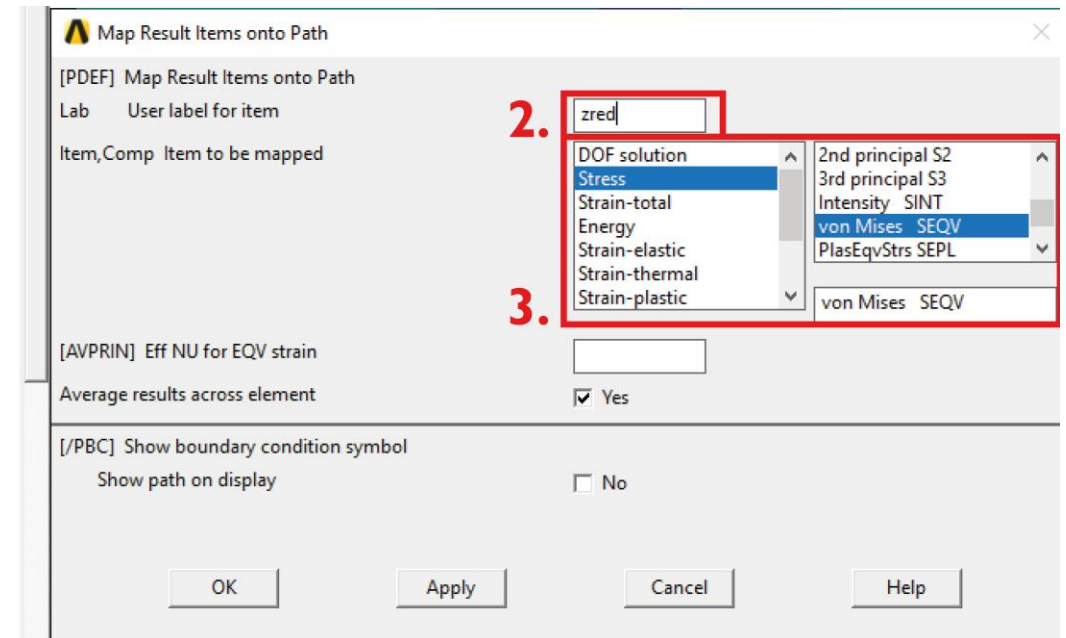
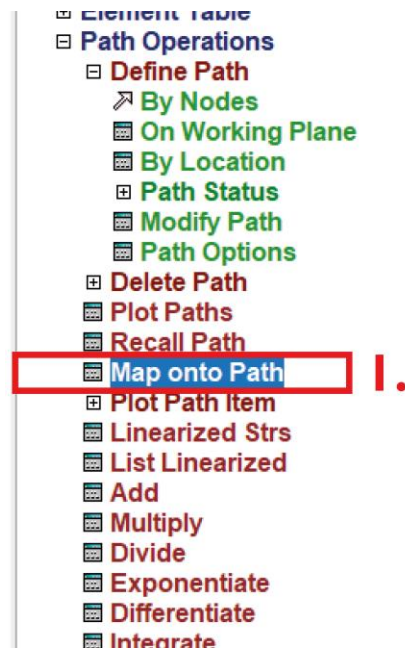
Po wybraniu punktów należy nazwać ścieżkę – **1.** Program pozwala również na wskazanie ilości podziałów na ścieżce – **2.** Liczba ta wskazuje z ilu punktów pobrane zostaną wartości liczbowe do wykresu. Oczywiście większa liczba podziałów przekłada się na dużo dokładniejsze i gładsze wykresy.





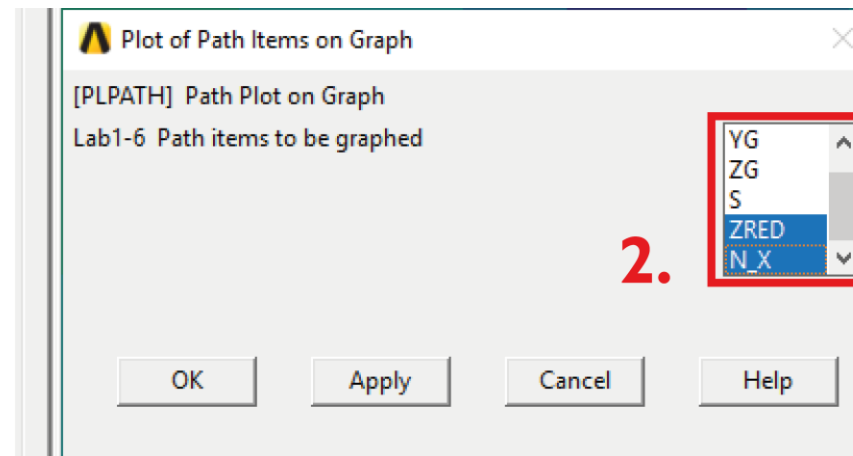
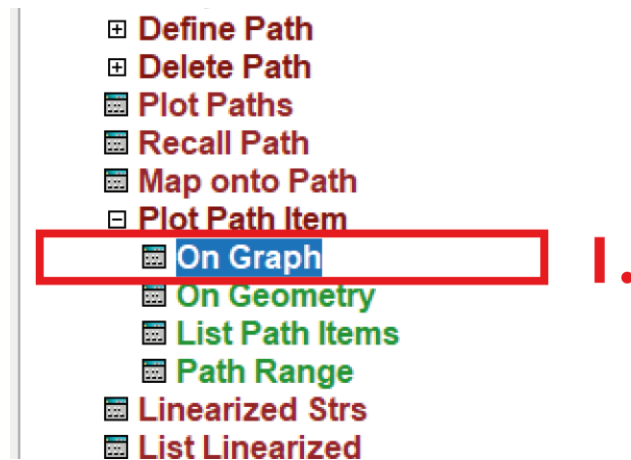
ANSYS Mechanical APDL – tworzenie wykresów

Kolejnym krokiem jest zmapowanie odpowiednich wartości na ścieżkę. W tym celu wykorzystujemy funkcję **Map onto Path** – 1. Na jednym wykresie można przedstawić kilka wartości. Dlatego też program prosi o nadanie nazwy dla danej wielkości – 2. W tym wypadku, jak widać na zaznaczeniu 3, przedstawione są naprężenia zredukowane. Nadana nazwa „zred” będzie również widoczna w legendzie na końcowym wykresie.



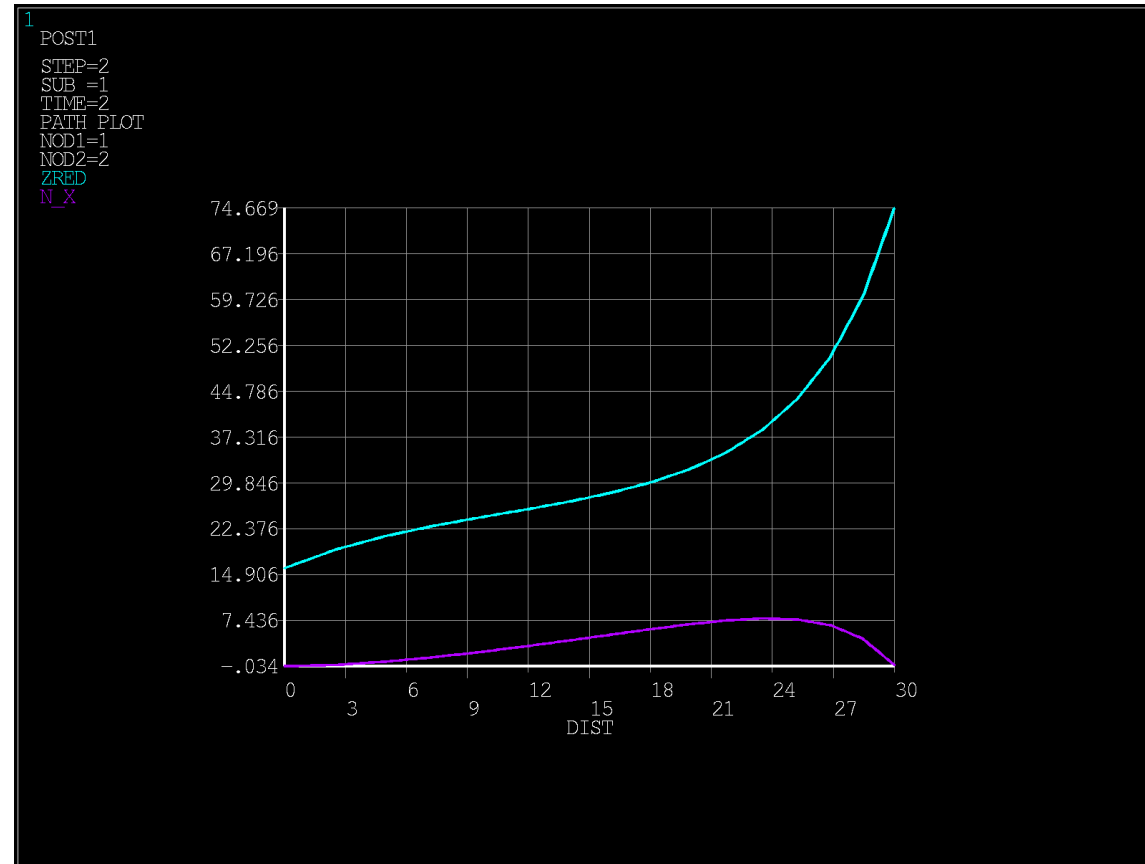


Końcowym krokiem jest narysowanie wykresu – 1. Z okna 2 należy wybrać wielkości, które mają zostać pokazane na wykresie. Posiadają one te same nazwy jak wpisane wcześniej. Tutaj przedstawione zostaną naprężenia zredukowane - „zred” oraz naprężenia w kierunku x - „N_X”.





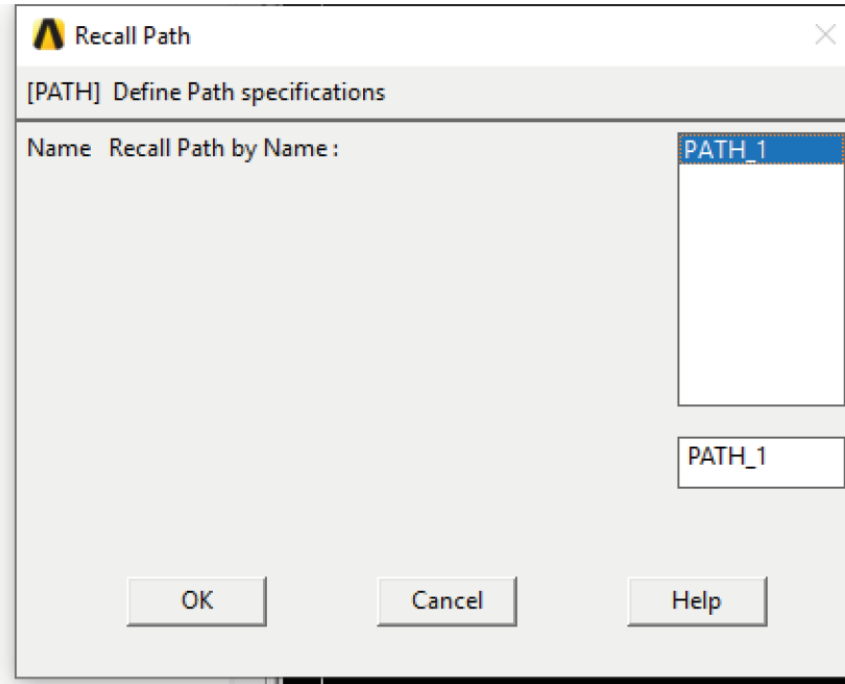
Końcowy wykres dla liczby podziałów na ścieżce równej 200 prezentuje się następująco:



ANSYS Mechanical APDL – tworzenie wykresów

W przypadku, gdy ścieżek jest więcej można wybierać pomiędzy nimi przy pomocy funkcji **Recall Path**.

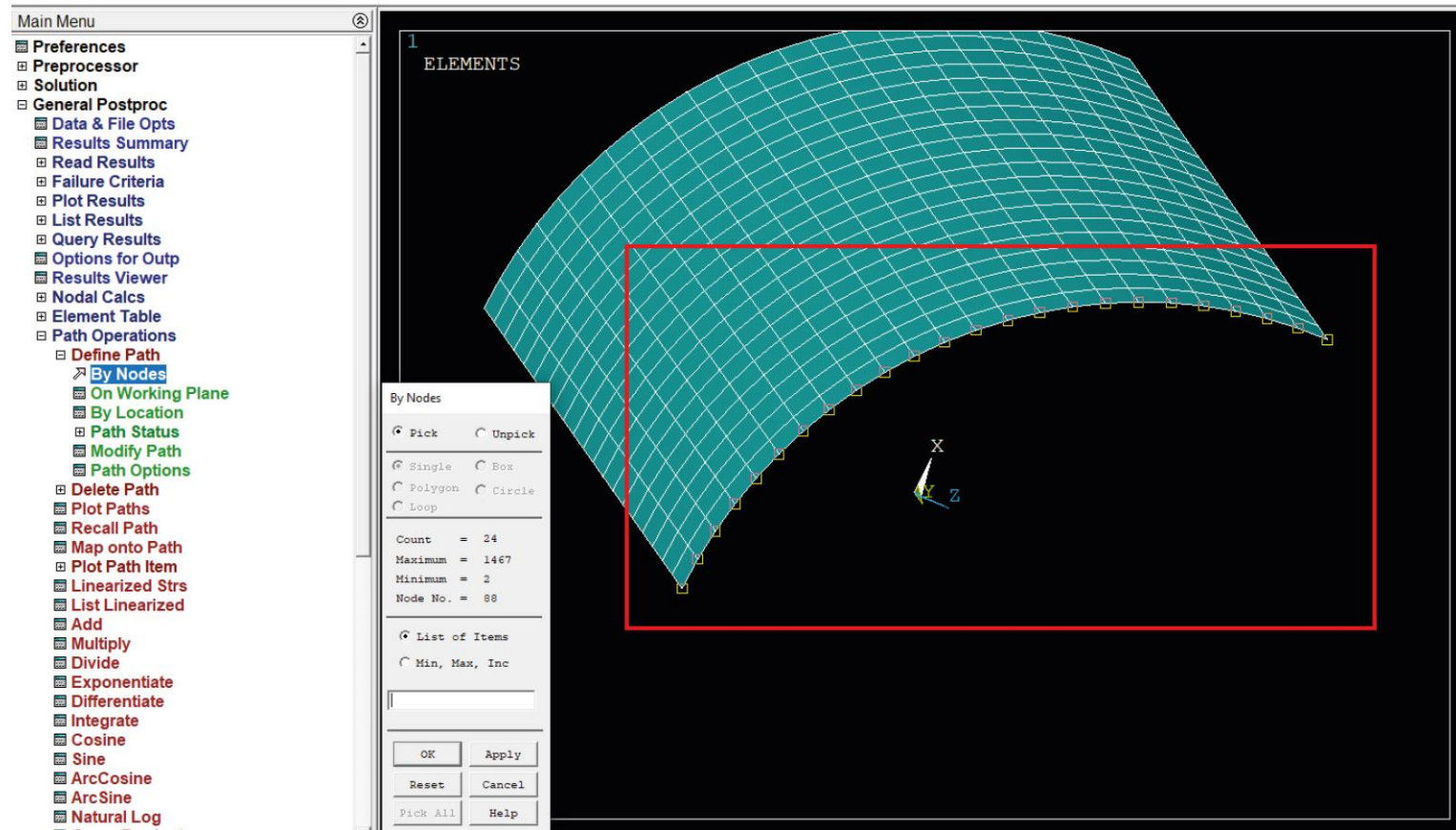
- Options for Outp
- Results Viewer
- Nodal Calcs
- Element Table
- Path Operations
 - Define Path
 - Delete Path
 - Plot Paths
 - Recall Path**
 - Map onto Path
 - Plot Path Item
 - On Graph
 - On Geometry
 - List Path Items
 - Path Range
- Linearized Strs
- List Linearized
- Add





ANSYS Mechanical APDL – tworzenie wykresów

Tworzenie ścieżki za pomocą jedynie dwóch punktów (początkowego i końcowego) jest możliwe tylko, jeśli jest ona tworzona na prostym odcinku. W przypadku gdy jest to linia zakrzywiona należy wskazać większą liczbę punktów.



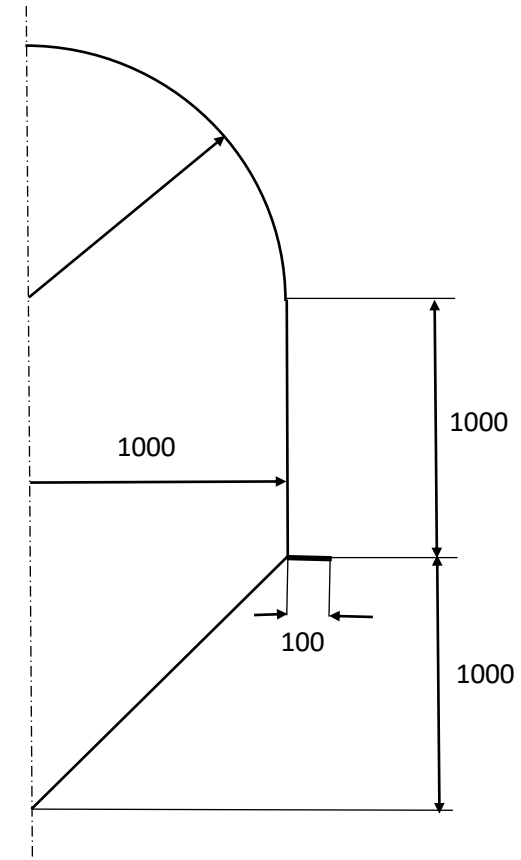


Ćwiczenie – zbiornik cienkościenny

Zamknięty zbiornik cienkościenny obciążony jest stałym nadciśnieniem wewnętrznym $p = 0.1 \text{ MPa}$. Zarys południka wraz z wymiarami powłoki będącej uproszczeniem rzeczywistego urządzenia pokazano na rys. I.

Powłoka składa się z części kulistej, walcowej i stożkowej. Z rys. I widać, że promień kuli, walca, promień podstawy stożka oraz wysokość stożka wynoszą **1000 mm**. Oznaczmy ten wymiar jako **R** . Dopuszcza się różne grubości wymienionych trzech segmentów powłoki, oznaczone kolejno: δ_k , δ_w , δ_s . Konieczny w załomie profil usztywniający przyjęto w formie wąskiej tarczy pierścieniowej o szerokości **$a = 100 \text{ mm}$** . Podobnie jak dla płaszcz, grubość pierścienia oznaczona δ_p zadawana jest jako parametr. Płaszcz powłoki i pierścień wykonano ze blachy stalowej dla której moduł Younga $E = 2.0 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, a liczba Poissona $\nu = 0.3$. Stałe materiałowe nie wchodzą do wzorów teorii błonowej.

W zadaniu przyjmujemy: $\delta_k = \delta_w = \delta_s = 5 \text{ mm}$ oraz $\delta_p = 10 \text{ mm}$.



Rys. I. Wymiary geometryczne południka powłoki osiowosymetrycznej.

Obliczenia dla kuli. W przypadku obciążenia kuli stałym ciśnieniem obliczenia są bardzo proste. Skoro obydwie promienie krzywizny – południkowej i obwodowej są sobie równe, tyle samo wynoszą składowe naprężenia południkowych i obwodowych. Dodatkowo wartości te są stałe wzdłuż południka. Wobec tego do obliczenia ich wystarczy posłużyć się jedynie równaniem Laplace’a. Wynika z niego, że:

$$\sigma_p = \sigma_t = \frac{pR}{2\delta_k} = \frac{0.1\text{MPa} \cdot 1000\text{mm}}{2 \cdot 5\text{mm}} = 10 \text{ MPa}$$

Obliczenia dla walca. Przecinając myślowo zbiornik w obrębie walca należy napisać równanie równowagi sił osiowych dla którejkolwiek z oddzielonych części. Jedyną niewiadomą równania jest składowa południkowa naprężenia. Jej wartość wyraża się wzorem:

$$\sigma_p = \frac{pR}{2\delta_w} = \frac{0.1MPa \cdot 1000mm}{2 \cdot 5mm} = 10 \text{ MPa}$$

Ponieważ promień krzywizny południkowej w walcu wynosi nieskończoność, jedyną niewiadomą w równaniu Lapace'a jest składowa obwodowa, wyrażona poniższym wzorem :

$$\sigma_t = \frac{pR}{\delta_w} = \frac{0.1MPa \cdot 1000mm}{5mm} = 20 \text{ MPa}$$

Obydwie składowe naprężeń są stałe wzdłuż południka.

Obliczenia dla stożka. Sposób postępowania jest identyczny jak dla walca. Rozkłady naprężenia południkowego i obwodowego są tym razem liniowo zmienne wzdłuż południka. Przyjmują wartości zerowe w wierzchołku a maksymalne na połączeniu z walcem. Te maksymalne wartości wynoszą:

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{2}pR}{2\delta_s} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0.1MPa \cdot 1000mm}{2 \cdot 5mm} = 14.14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{\sqrt{2}pR}{\delta_s} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0.1MPa \cdot 1000mm}{5mm} = 28.28 \text{ MPa}$$

Czynnik $\sqrt{2}$ w powyższych wzorach wynika z tego, że kąt α stożka wynosi 45° .

Obliczenie naprężenia w pierścieniu. Zastosowano wzór, zakładając stałe naprężenie σ_p w przekroju pierścienia. W tarczy pierścieniowej jest to założenie upraszczające.

$$\sigma_p = \frac{pR^2}{2A_p} = \frac{0.1 \text{ MPa} \cdot 10^6 \text{ mm}^2}{2 \cdot 10^3 \text{ mm}^2} = 50 \text{ MPa}$$

gdzie A_p jest polem przekroju pierścienia ($A_p = a \cdot \delta_p$).

Uzyskane powyżej wyniki liczbowe zamieszczono w poniższej tabeli:

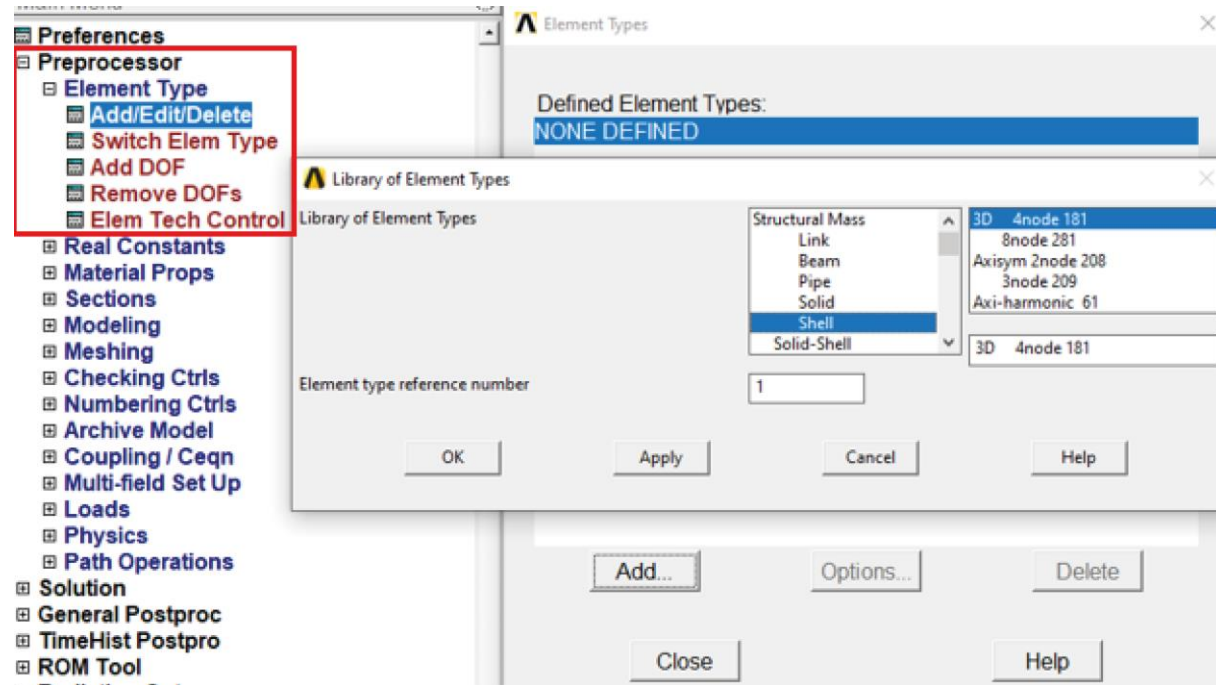
	kula	walec	stożek	pierścień
σ_p [MPa]	10	10	14.14	---
σ_t / σ_p [MPa]	10	20	28.28	50



Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor

Na kolejnych slajdach przedstawione będą najważniejsze kroki prowadzące do wyników analizy metodą elementów skończonych z wykorzystaniem systemu ANSYS.

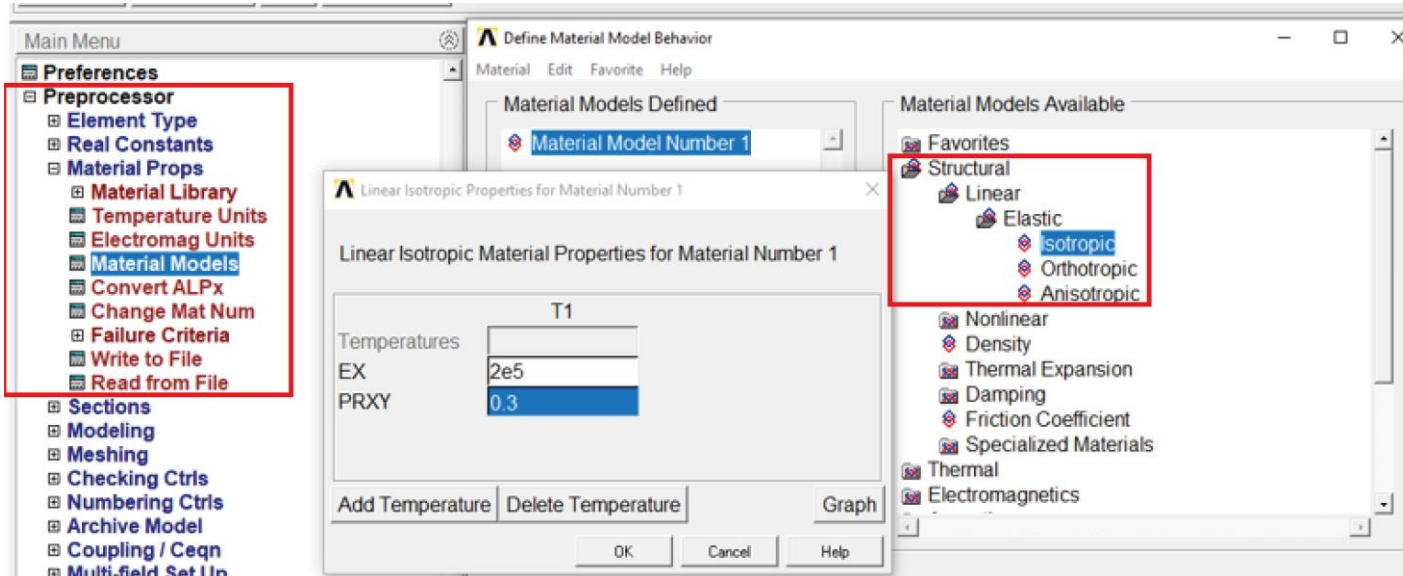
A. Wybranie typu elementów SHELL181 (rys. 2).



Rys. 2. Określenie typu elementów skończonych (SHELL181).



B. Określenie własności mechanicznych materiałów (rys. 3) .



Rys. 3. Określenie własności sprężystych materiału powłoki.

W przypadku systemu Ansys niezwykle ważne jest używanie poprawnych jednostek wymiarowych i właściwości materiałowych. Sam program nie prosi o zdefiniowanie, czy używane będą przy budowaniu modelu milimetry, czy metry. Decyzję należy podjąć na etapie wprowadzania jednostek właściwości materiałowych. Jeżeli wymiary będą podawane w milimetrach (tak jak w niniejszym przykładzie), to moduł Younga zostanie wpisany w postaci $2 \cdot 10^5$ MPa (tak jak na rys. 3), a wyniki naprężeń otrzymamy również w MPa. Jeśli geometria modelu byłaby wprowadzana w metrach, to wpisać należy $2 \cdot 10^{11}$ Pa. Otrzymamy wtedy w wynikach naprężenia w jednostce Pa.

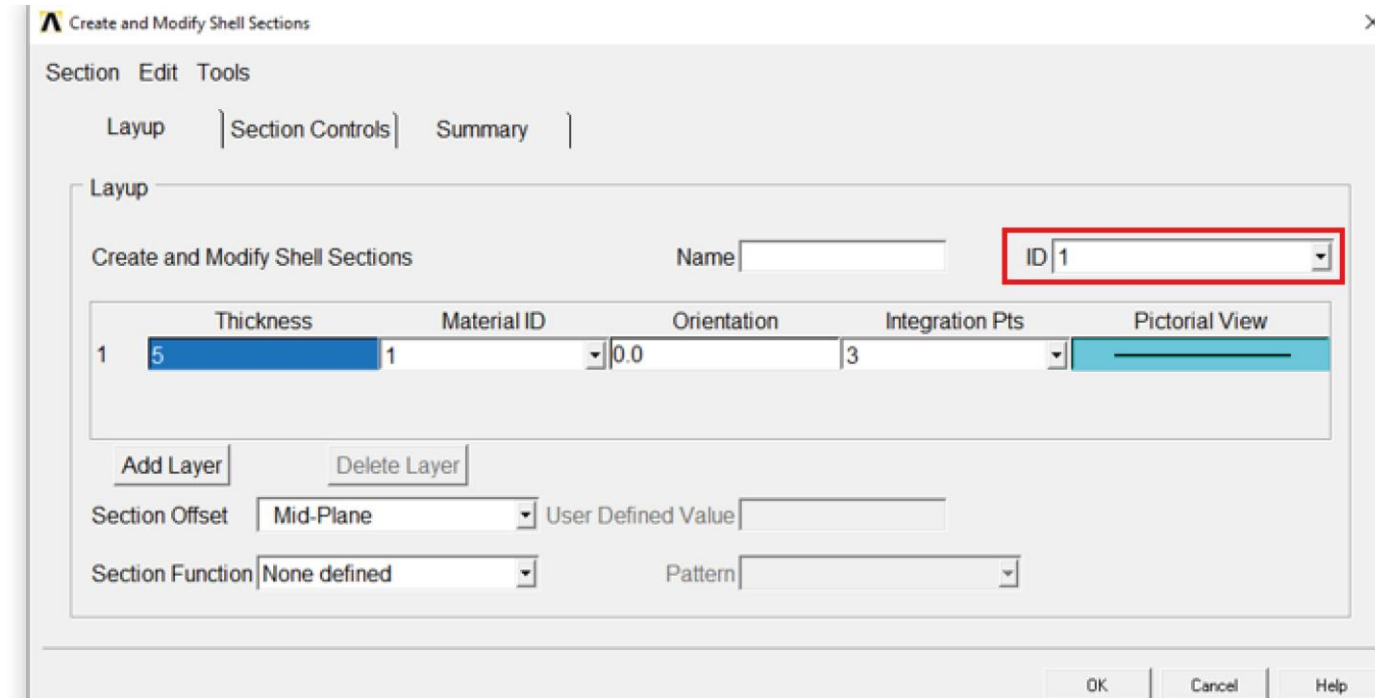
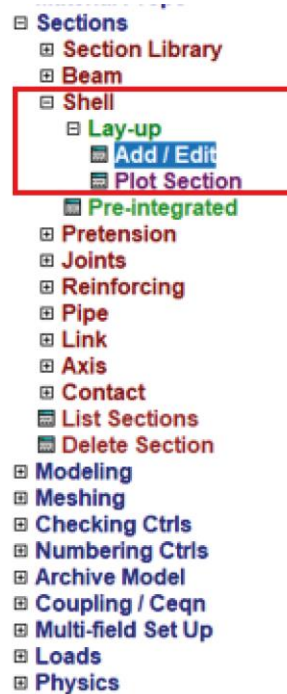


Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor



C. Określenie listy atrybutów typu Section definiujących grubości poszczególnych segmentów zbiornika i pierścienia usztywniającego (rys. 4) .

Jak już wspomniano w elementach typu SHELL grubość jest parametrem. Grubości poszczególnych elementów wprowadzamy jako kolejne pozycje na liście.

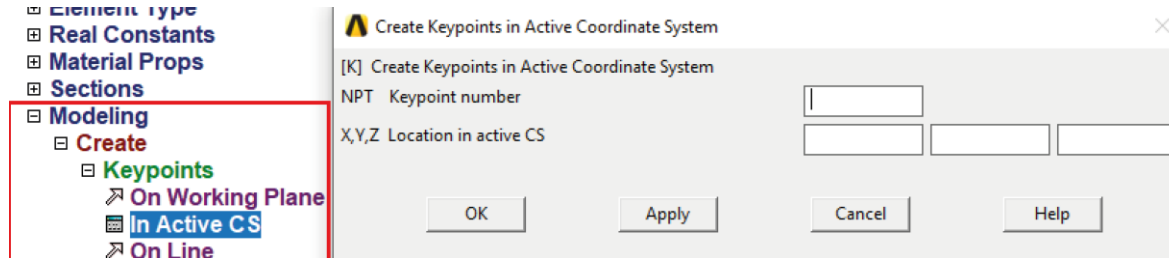


Rys. 4. Określenie grubości 5 mm na pierwszej pozycji listy **Section** (nr pozycji na liście wstawia się w okienku ID).



Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor

D. Zdefiniowanie punktów kluczowych południka .



Rys. 5. Zdefiniowanie pierwszego punktu kluczowego .

Tak zdefiniowany punkt ma numer 1, program sam numeruje punkty, linie, powierzchnie itd. Punkt ten ma zerowe współrzędne, leży zatem w początku aktywnego układu odniesienia. Następnym punktom nadawane są automatycznie kolejne numery. Wstawiając współrzędne kolejnych punktów należy pamiętać, że w Ansysie zamiast przecinka dziesiętnego stosuje się kropkę.

Następne punkty kluczowe zostaną zdefiniowane metodą kopiowania.



Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor



- Modeling
 - Create
 - Operate
 - Move / Modify
 - Copy
 - Keypoints
 - Lines
 - Areas
 - Volumes
 - Line Mesh
 - Area Mesh
 - Nodes

Copy Keypoints

Pick Unpick

Single Box

Polygon Circle

Loop

Count = 0
Maximum = 65
Minimum = 1
KeyP No. =

List of Items

Min, Max, Inc

OK Apply
Reset Cancel
Pick All Help

1.

Rys. 6. Okienko pomocnicze z poleceniem w dolnej linijce do wybierania kursorem na ekranie.

2.

[KGEN] Pick or enter keypoints to be copied

Przed wykonaniem większości operacji zachodzi konieczność wskazania na ekranie już istniejących fragmentów modelu. Pokazuje się wtedy małe okno w lewym dolnym rogu ekranu – **1**, a w dolnej linijce odpowiednie polecenie – **2**. W tym kroku z rysunku 6 wynika konieczność wskazania punktu do skopiowania. Zatwierdzenie skutkuje pojawieniem się następnego okienka (patrz rys. 7) służącego do wpisania współrzędnych przesunięcia. W ten sposób utworzono drugi punkt tworzącej stożka. Podobnie postępując dostaje się trzy kolejne punkty kluczowe konieczne do stworzenia całego południka wg. rys. 1. Oczywiście zamiast kopiowania można każdy punkt zdefiniować oddzielnie wpisując jego znane współrzędne.

Main Menu

Preferences

Preprocessor

- Element Type
- Real Constants
- Material Props
- Sections
- Modeling
 - Create
 - Operate
 - Move / Modify
 - Copy
 - Keypoints
 - Lines
 - Areas
 - Volumes

[KGEN] Copy Keypoints

ITIME Number of copies - 2

- including original

DX X-offset in active CS 1000

DY Y-offset in active CS 1000

DZ Z-offset in active CS

KINC Keypoint increment

NOELEM Items to be copied Keypoints & mesh

OK Apply Cancel Help

Rys. 7. Skopiowanie wskazanego punktu .

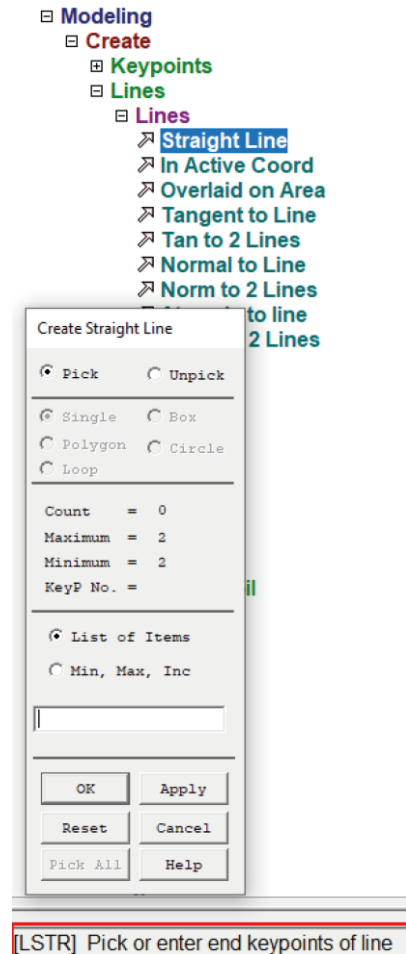


Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor

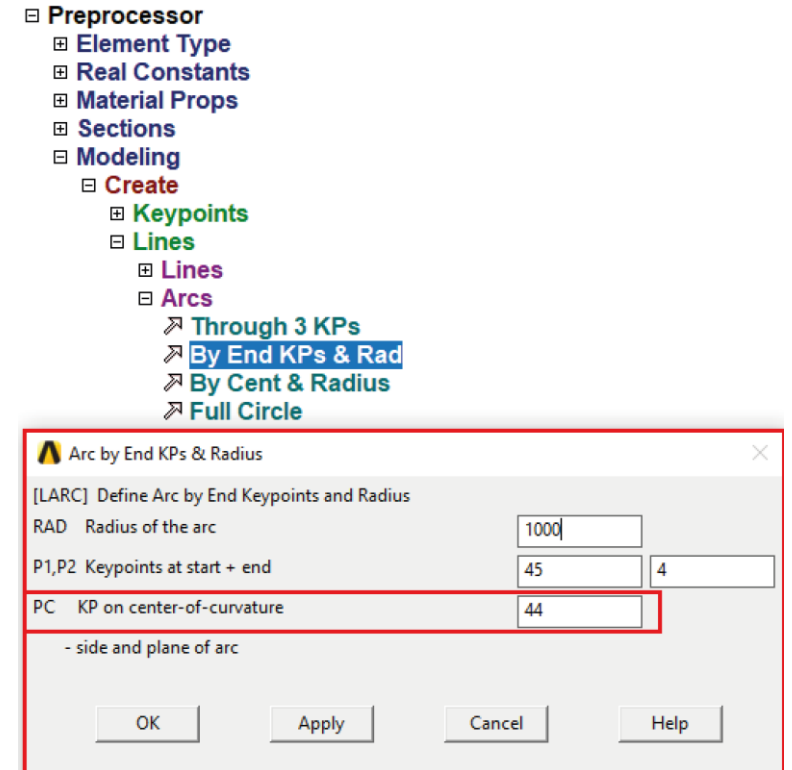
E. Tworzenie linii prostych i łuków.

Z rysunku 9 wynika utworzenie łuku o promieniu 1000 mm między punktami o numerach 45 i 4. W pierwszym kroku należy te punkty wskazać. W drugim wskazuje się pomocniczy punkt (tutaj nr 44), dowolnie wybrany po stronie środka promienia krzywizny łuku. Trzecim krokiem jest operacja w okienku pokazanym na rysunku 9. Uwaga: numery punktów nie muszą być takie same jak na rys. 9.

Na tym etapie utworzony jest południk jak na rys. 1.



Rys. 8. Tworzenie linii prostej między dwoma wskazanymi punktami.

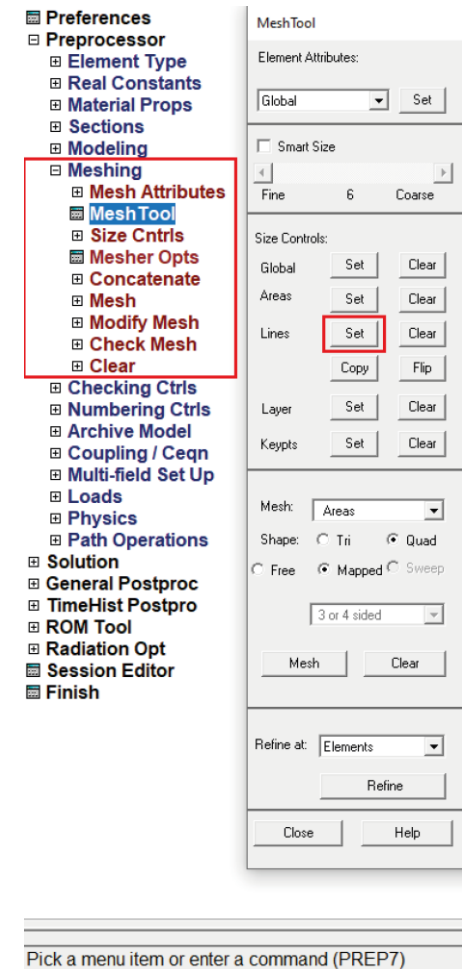


Rys. 9. Utworzenie łuku.



Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor

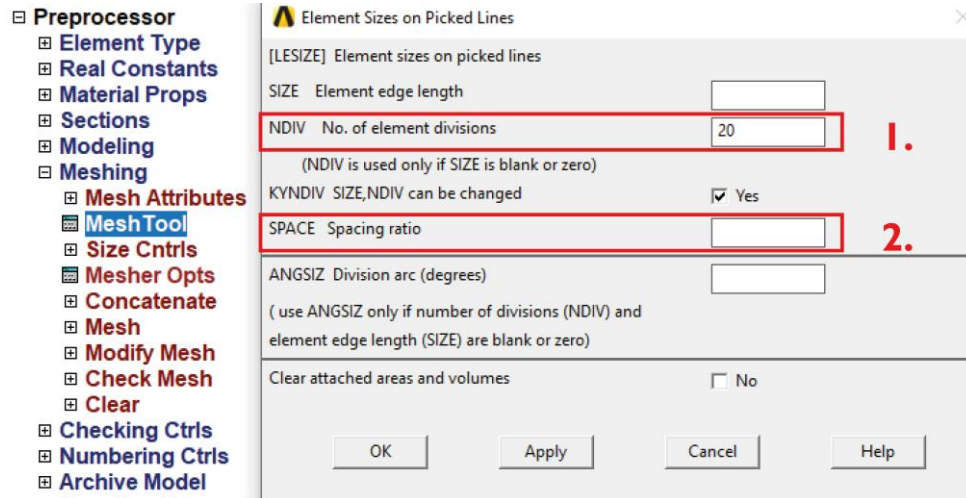
Na tym etapie opłaca się nadać tzw. podziały na liniach południka. Nie są to dosłownie podziały, wskazują jedynie ile elementów będzie swymi krawędziami leżało na linii, inaczej mówiąc określają gęstość później wygenerowanej siatki elementów. Działanie to uaktywnia się wskazując kursorem przycisk **Lines Set** z grupy Size Controls (Rys. 10).



Rys. 10. Użycie wielofunkcyjnego okna Mesh Tool.

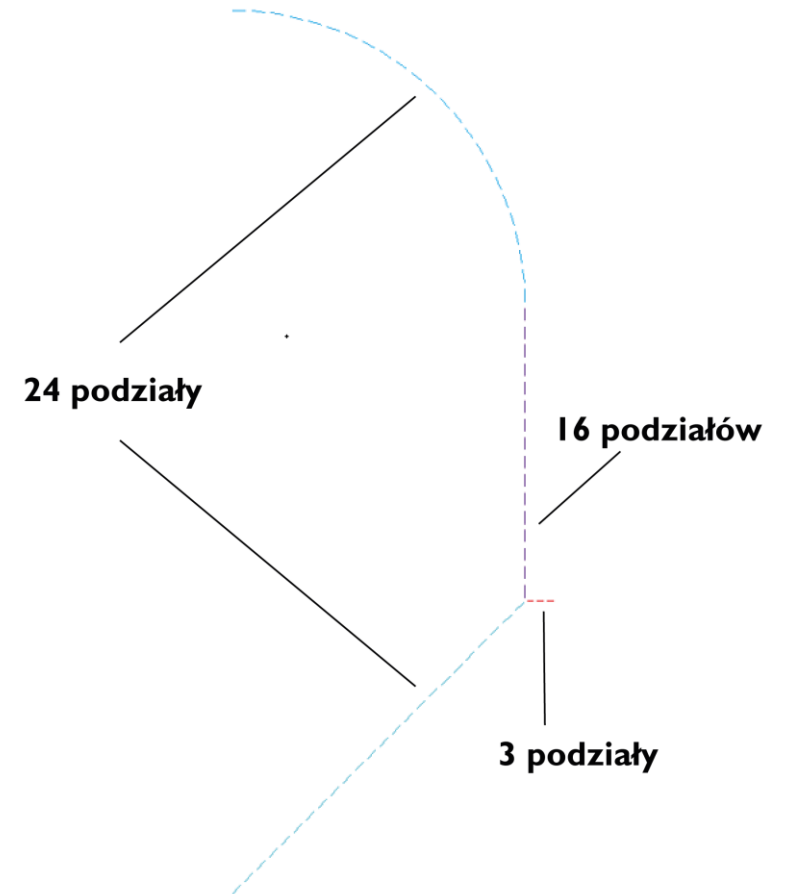


Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor



Rys. 11. Przypisanie liniom podziałów elementowych.

Liczbę podziałów elementowych wstawia się w linijce drugiej – 1. Wypełnienie tylko tego pola daje podziały równomierne na liczbę elementów równą wpisanej wartości. Wstawienie dodatkowo odpowiedniego współczynnika w polu **Spacing ratio** – 2 umożliwia stopniowe zagęszczanie albo rozrzedzenie siatki elementów wzdłuż linii. Jeśli nadać znak minus współczynnikowi, dostaje się zagęszczanie albo rozrzedzenie do środka linii a dalej proces odwrotny w stronę drugiego końca linii. Południk z podziałami linii przedstawia rysunek 12.

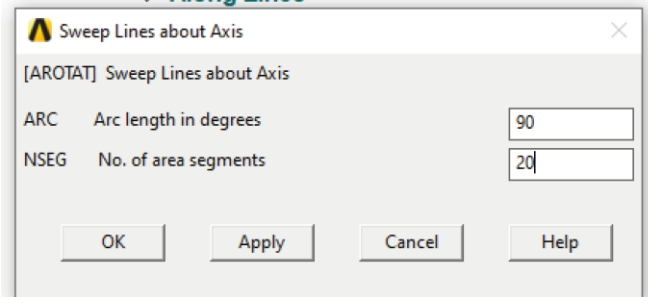


Rys. 12. Południk powłoki z podziałami na liniach.

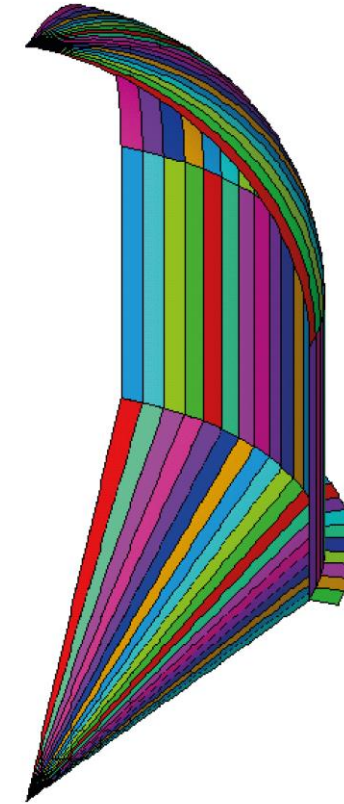


F. Tworzenie powierzchni poprzez obrót tworzącej.

- ▣ Preprocessor
 - ▣ Element Type
 - ▣ Real Constants
 - ▣ Material Props
 - ▣ Sections
 - ▣ Modeling
 - ▣ Create
 - ▣ Operate
 - ▣ Extrude
 - ▣ Elem Ext Opts
 - ▣ Areas
 - ▣ Lines
 - About Axis
 - Along Lines



Uwaga! Operację obrotu należy wykonać w dwóch krokach: najpierw obrót samego południka zbiornika, a w drugim kroku obrót krawędzi pierścienia.

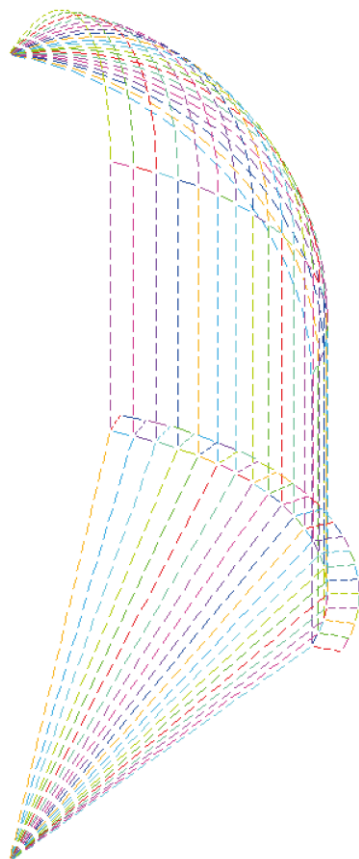


Rys. 13. Wytworzenie ćwiartki powłoki złożonej z 20 segmentów.

Rys. 14. Powierzchniowy model geometryczny ćwiartki powłoki.



Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor



Jak widać z rys. 13 operacja **Sweep Lines about Axis** dopuszcza wytworzenie pojedynczej powierzchni na każdym z płaszczy, jeśli w linijce **No. of area segments** wstawić liczbę 1. Wtedy jednak siatka wygenerowanych elementów na dużych powierzchniach byłaby nieregularna, co wpłynęłoby na dokładność obliczeń jak i możliwość późniejszej prezentacji wyników w formie odpowiadającej rozwiązaniu teoretycznemu. Teraz należy podkreślić, że omawiana operacja definiuje powierzchnie ale co oczywiste powstają również odpowiadające im linie i punkty kluczowe. Na rys. 14 pokazano powierzchnie, zatem użyto komendy **Plot Areas** wybierając z górnego poziomego paska **Plot**. Równie dobrze można wybrać komendę: **Plot Lines** (albo **Plot Keypoints**) i widzieć na ekranie linie jak na rys. 15 (albo punkty kluczowe).

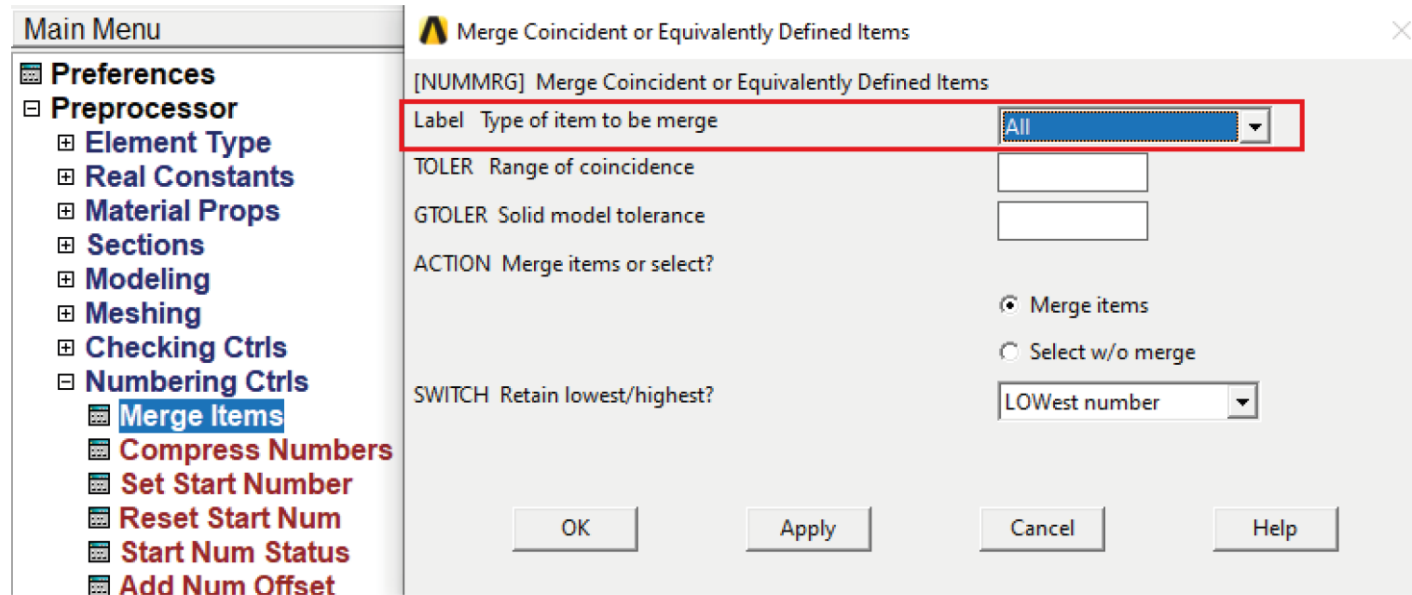
Rys. 15. Liniowy model geometryczny ćwiartki powłoki.



G. Scalenie dwóch lub więcej punktów kluczowych , linii itd. o tych samych współrzędnych.

Ponieważ na obracanym południku mamy rozgałęzienie linii (tworząca pierścienia i tworzące płaszcza), operację **Sweep Lines about Axis** należy zrobić w dwóch krokach, obraca się najpierw np. trzy linie płaszcza a następnie odcinek pierścienia. Należy zwrócić uwagę, że punkt kluczowy wspólny dla obu części będzie obracany dwukrotnie. To powoduje powstanie dublujących się punktów kluczowych i linii oddzielnych dla pierścienia, i oddzielnych dla południka. Komponenty, które są zdublowane znajdują się w tym samym miejscu w przestrzeni, ale nie są ze sobą połączone. System Ansys będzie to rozumiał jako dwie zupełnie niezależne części nie mające ze sobą wspólnej geometrii. Bez „sklejenia” model byłby nieciągły. W celu zintegrowania obydwu fragmentów używa się operacji **Merge Coincident or Equivalently Defined Items** (rys. 16).

Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor



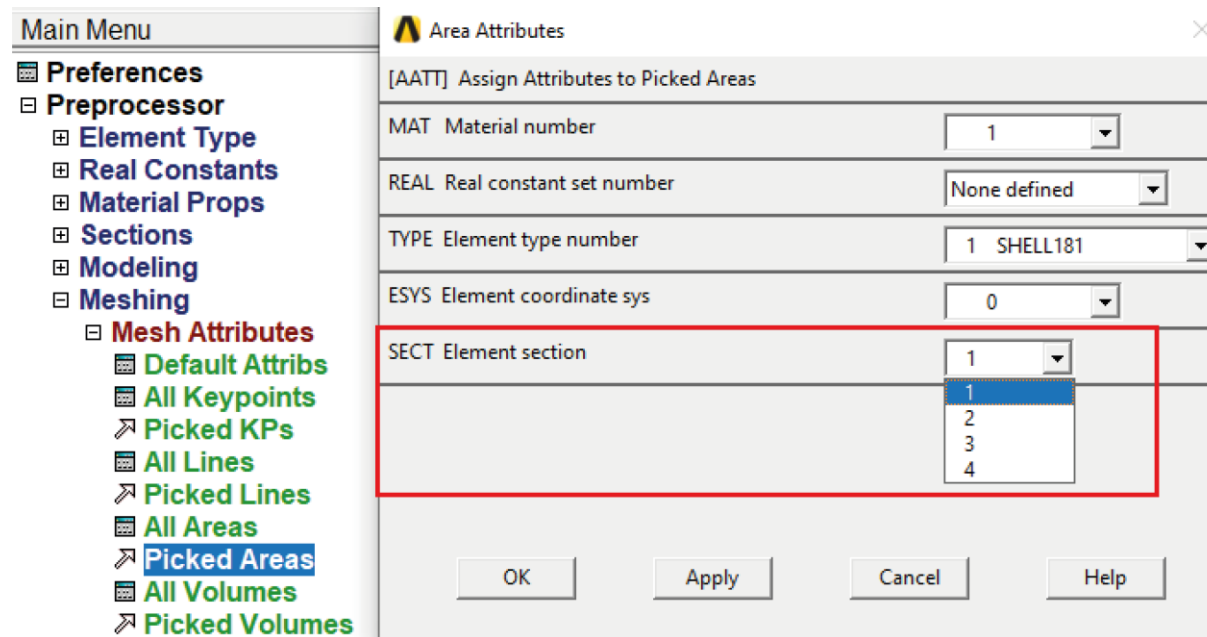
Rys. 16. Scalanie dwóch lub więcej punktów kluczowych , linii itd. o tych samych współrzędnych.

Najczęściej w pierwszej linijce okienka ustawia się tryb **All**, a to dla pełnej spójności modelu. Należy wziąć pod uwagę, że scaleniu podlegają również różne pozycje na liście np. **Sections**, jeśli grubości płaszcza są na tych pozycjach takie same. Proces polega na pozbyciu się duplikatu i zostawieniu tylko jednego komponentu. Dla przykładu: mamy zdublowane punkty o numerach 30 i 45. Scalanie spowoduje usunięcie jednego z nich, powiedzmy punktu kluczowego o numerze 45. Wszystkie linie, które się z nim łączyły ulegną modyfikacji polegającej na zamianie punktu końcowego na ten o numerze 30. W ten sposób uzyskujemy spójność modelu.



H. Przypisanie powierzchniom atrybutów.

Przed generacją siatki elementów należy przypisać powierzchniom numery pozycji na listach **Section**, czyli nadać płaszczowi odpowiednie grubości. W przypadku, gdy w zadaniu listy typów elementów oraz własności materiałowych byłyby więcej niż jednopozycyjne, należałoby to również uwzględnić poprzez przypisanie odpowiednich pozycji z list. Okno do przypisania poszczególnym powierzchniom atrybutów zamieszczono na rys. 17.



Rys. 17. Przypisanie powierzchniom atrybutów.

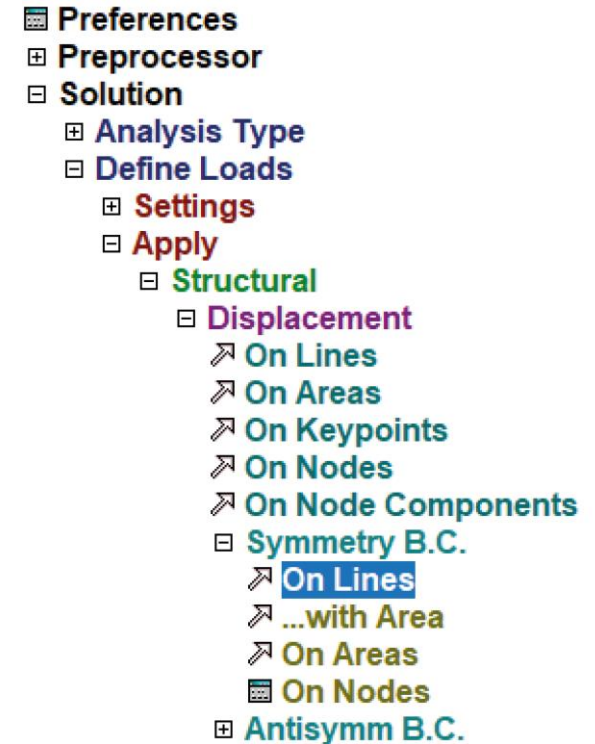


Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor



I. Określenie warunków brzegowych na liniach i ciśnienia na powierzchniach .

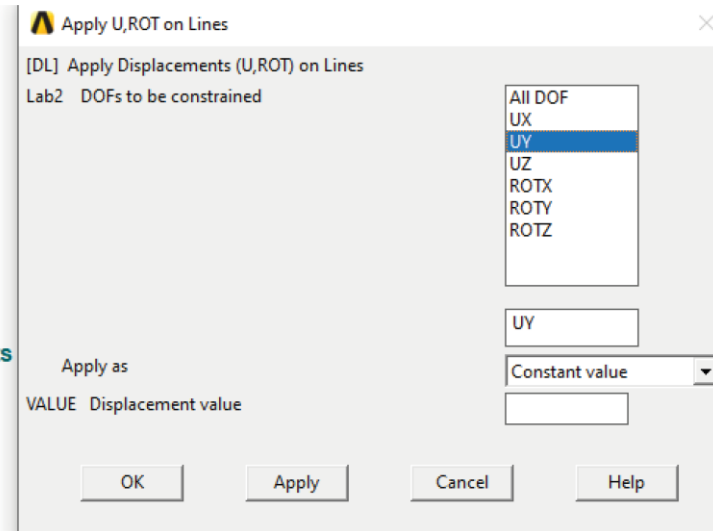
Aby wydzielona ćwiartka powłoki pracowała jak cały zbiornik, na brzegowych południkach przykładają się warunki symetrii (patrz rys. 18). Za płaszczyznę symetrii uważa się płaszczyznę zawierającą dany południk. W ten sposób blokuje się jedną składową translacyjną w poprzek powierzchni symetrii i dwie składowe rotacyjne: względem stycznej do południka i względem promienia wodzącego południka. Warunki symetrii to użyteczny zabieg przy modelowaniu, dający znaczącą redukcję wymiaru zadania a co za tym idzie zajętej pamięci komputera i czasu obliczeń. Dodatkowo w niniejszym zadaniu odbiera się translację w kierunku osi powłoki, przykładając odpowiednie warunki na równoleżniku łączącym pierścień z płaszczem (patrz rys. 19). Spełniony jest wtedy warunek konieczny wszelkich analiz metodą elementów skończonych odebrania wszystkich sześciu stopni swobody bryły sztywnej. Obciążenie płaszcza ciśnieniem przedstawia rys. 20.



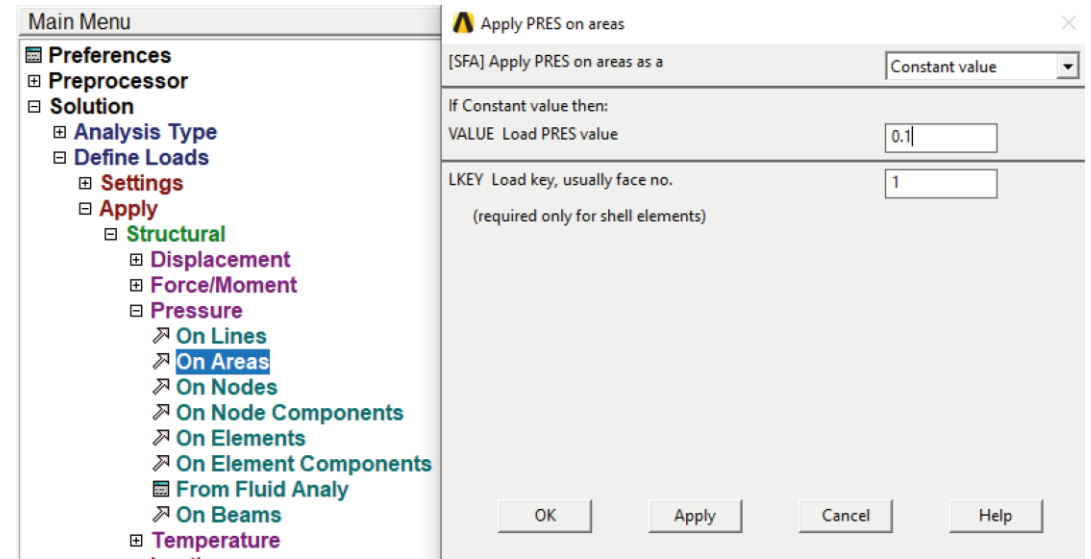
Rys. 18. Określenie warunków symetrii na brzegowych południkach.



- ▣ Preprocessor
- ▣ Solution
- ▣ Analysis Type
- ▣ Define Loads
- ▣ Settings
- ▣ Apply
 - ▣ Structural
 - ▣ Displacement
 - ▣ On Lines
 - ▣ On Areas
 - ▣ On Keypoints
 - ▣ On Nodes
 - ▣ On Node Components
 - ▣ Symmetry B.C.
 - ▣ On Lines
 - ▣ ...with Area
 - ▣ On Areas
 - ▣ On Nodes
 - ▣ Antisymm B.C.



Rys. 19. Odebranie przemieszczenia pionowego na połączeniu pierścienia z płaszczem.

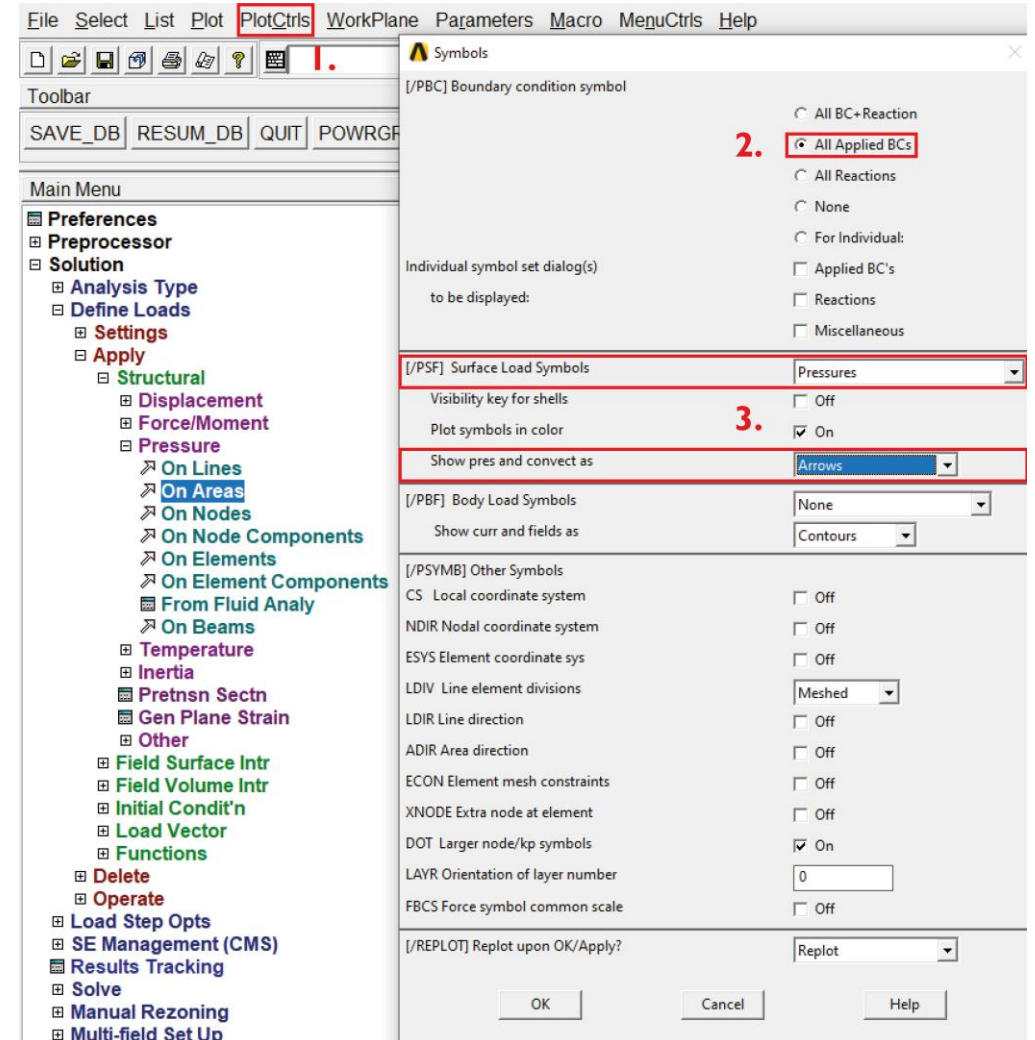


Rys. 20. Określenie ciśnienia na powierzchniach płaszczka.

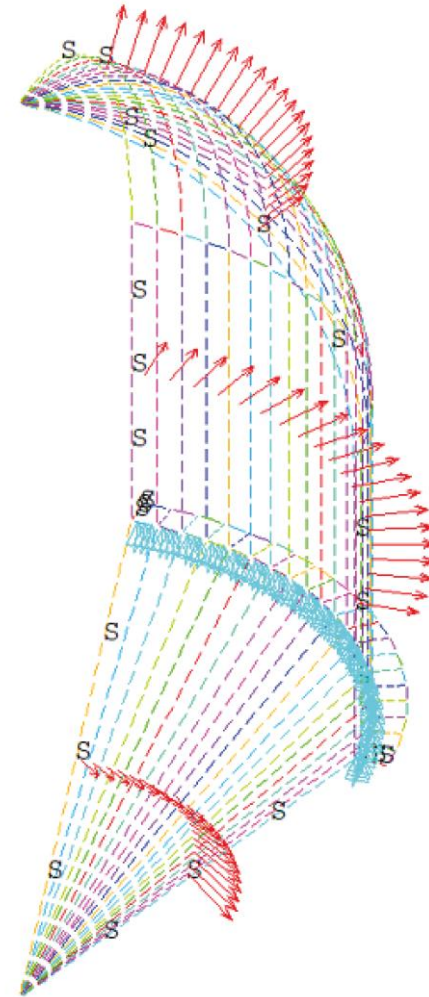
Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor

Przyłożone warunki brzegowe oraz ciśnienia można przedstawić graficznie na tle modelu geometrycznego otwierając odpowiednie okno **Symbols** ukryte pod zakładką **PlotCtrls** na górnym pasku. Rysunek 21 przedstawia takie wielofunkcyjne okno, gdzie ustawiono **All Applied BCs**, **Pressures (as Arrows)**.

Rys. 21. Ustawienie rysowania modelu wraz z symbolami warunków brzegowych i ciśnienia.



Model geometryczny ćwiartki powłoki wraz z symbolami warunków brzegowych i ciśnienia widać na rys. 22.



Rys. 22. Model geometryczny ćwiartki powłoki wraz z symbolami warunków brzegowych i ciśnienia.



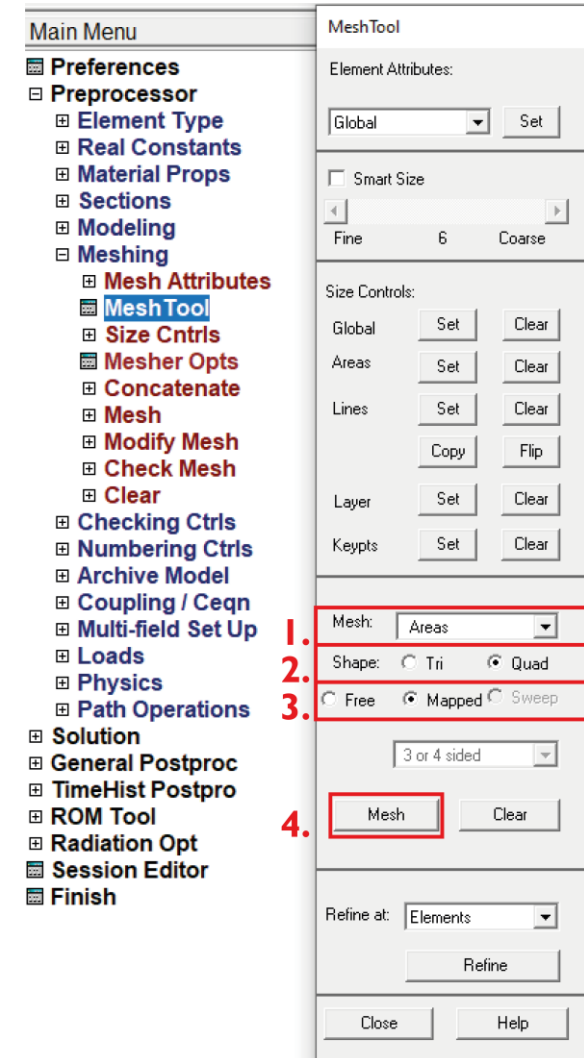
Przebieg analizy numerycznej – Preprocessor

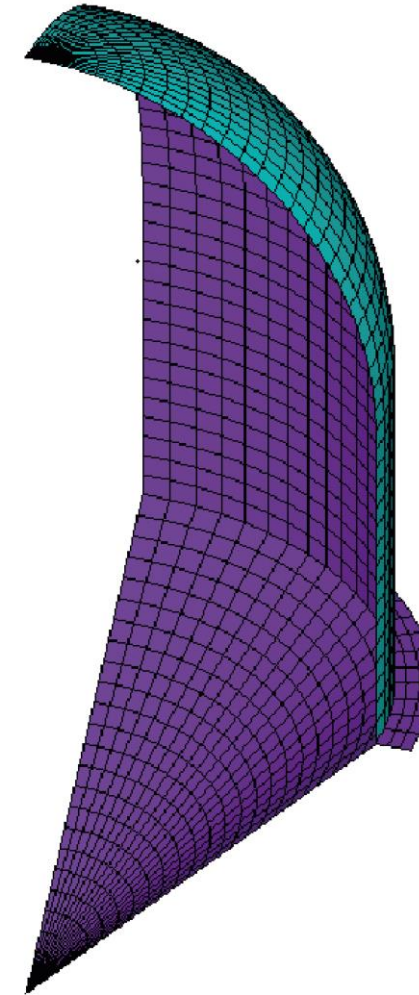
J. Podział powierzchni powłoki na elementy skończone.

Przed podziałem modelu na elementy skończone należy jeszcze wprowadzić dodatkowe podziały linii łączących poszczególne części płaszcza (linie prostopadłe do południka). Ze względu na powstanie 20 segmentów jest to sumarycznie 40 linii, na których należy wprowadzić podział na jeden element.

Na otwartym ponownie oknie *Mesh Tool* należy wybrać z **Mesh : Areas**, a z **Shape : Quad**. Następnie ustawić tryb **Mapped** (powierzchnie czworoboczne) i kliknąć przycisk **Mesh**. Dalej wybrać powierzchnie walca i pierścienia. Operacja ta spowoduje wygenerowanie siatki elementów skończonych na wskazanych powierzchniach. Cały proces należy powtórzyć dla powierzchni kuli i stożka, z tą różnicą, że należy wybrać tryb **Free** (powierzchnie trójboczne).

Rys. 23. Podział na elementy skończone powierzchni powłoki.



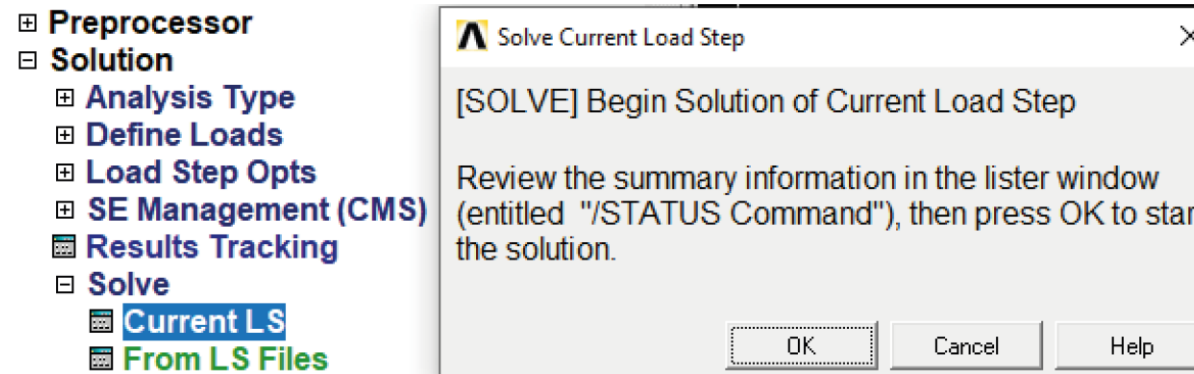


Rys. 24. Siatka elementów skończonych na powierzchniach powłoki.



A. Wykonanie obliczeń.

Ścieżkę do uruchomienia obliczeń wskazuje rys. 25.

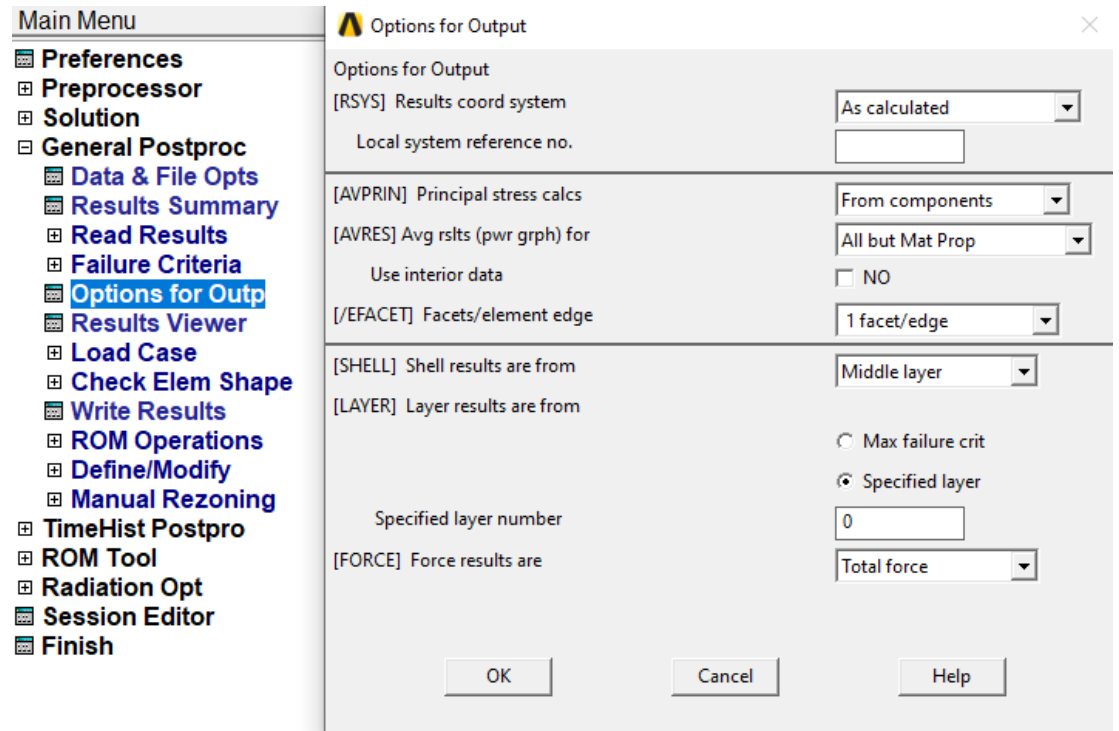


Rys. 25. Uruchomienie obliczeń.

Zanim uruchomione zostaną procedury metody elementów skończonych, wszelkie atrybuty modelu obliczeniowego, obciążenia oraz warunki brzegowe przetransferowane zostaną automatycznie do elementów i węzłów.

A. Prezentacja wyników.

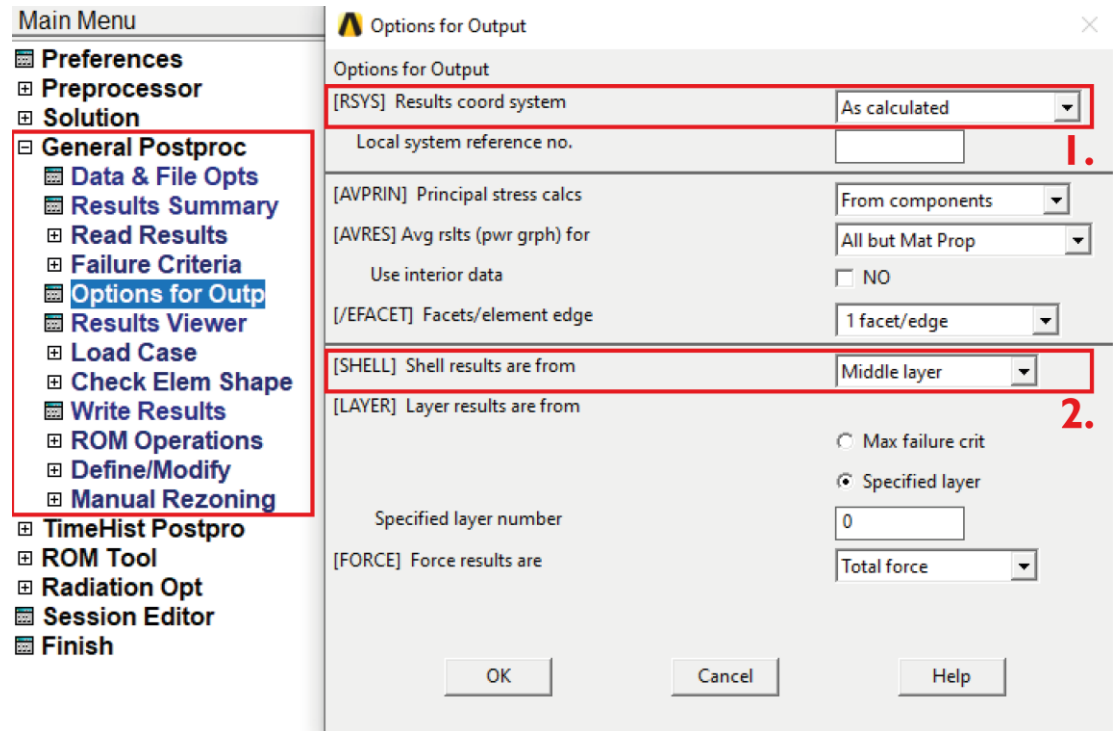
Wyniki obliczeń pokazuje się w postaci map oraz wykresów. Wcześniej warto wykorzystać możliwość ustawienia odpowiedniej formy dla tych wyników. Do tego służy okno **Options for Output** (rys. 26).



Rys. 26. Ustawienie wynikowego układu odniesienia oraz warstwy powierzchni.

Przebieg analizy numerycznej – General Postprocessor

W przypadku struktury powłokowej wyniki powinno się prezentować w układach elementowych. Układy elementowe, odrębne dla poszczególnych elementów zdefiniowane są względem ich krawędzi. Aby wyniki obserwować w tych układach wystarczy w pierwszej linijce **Result coord system** wybrać opcję **As calculated – 1**. Jeśli dodatkowo uzyskana siatka jest regularna to, krawędzie wszystkich elementów mają układ południkowo – równoleżnikowy. Rysowane ostatecznie składowe SX i SY płaskiego stanu naprężenia są głównymi naprężeniami południkowymi i obwodowymi. Wtedy jedynie ma sens porównanie wyników numerycznych z analitycznymi. Drugie ustawienie dotyczy linijki **Shell results are from**. Na rys. 25 wybrano opcję **Middle layer – 2**, co oznacza, że będą rysowane wyniki na powierzchni środkowej płaszczka – tzw. naprężenia błonowe. Oprócz tego można obserwować wyniki na powierzchni dolnej albo górnej.



Rys. 26. Ustawienie wynikowego układu odniesienia oraz warstwy powierzchni.



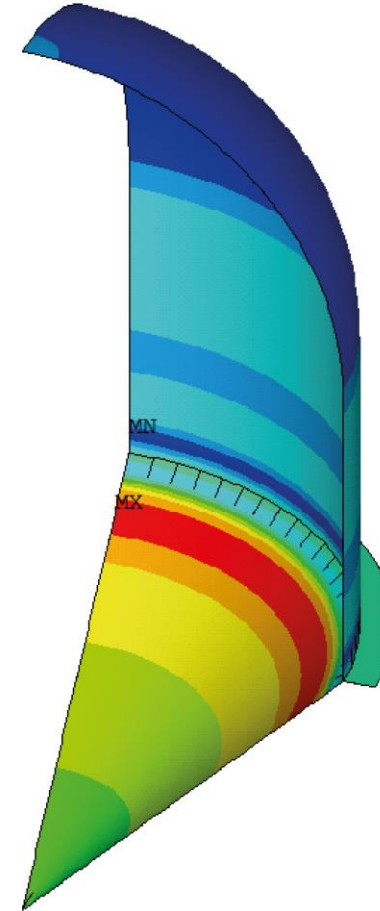
Przebieg analizy numerycznej – General Postprocessor



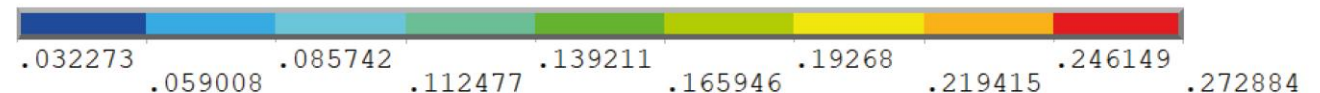
B. Prezentacja wyników.

Pierwsza mapa (rys. 27) przedstawia pole sumarycznych przemieszczeń.

```
1 NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=SOLU
DMX =.272884
SMN =.032273
SMX =.272884
```



Rys. 27. Pole sumarycznych przemieszczeń .
Jednostki w legendzie w mm.

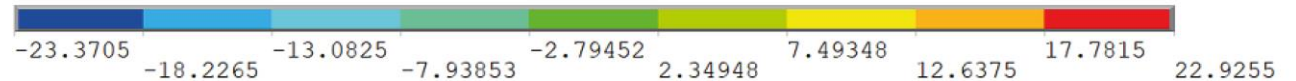
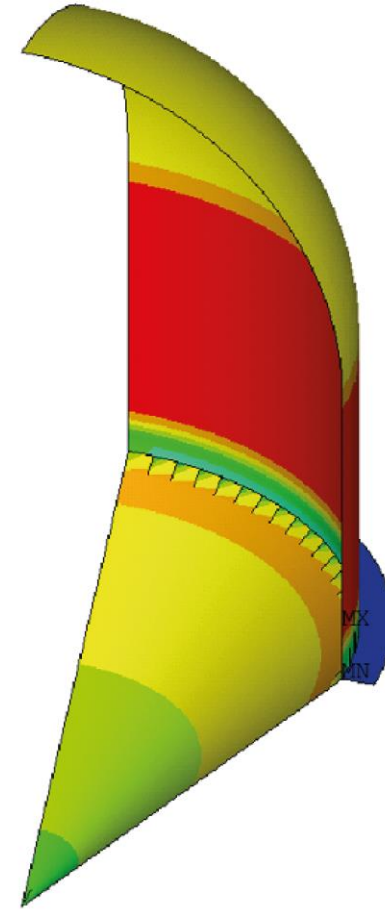




Przebieg analizy numerycznej – General Postprocessor

Następne dwie mapy przedstawiają rozkłady naprężeń **południkowych** i **obwodowych**.

```
1 NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SX      (AVG)
MIDDLE
RSYS=SOLU
DMX =.272884
SMN =-23.3705
SMX =22.9255
```



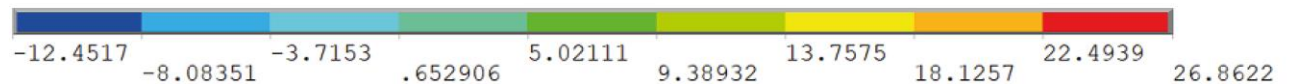
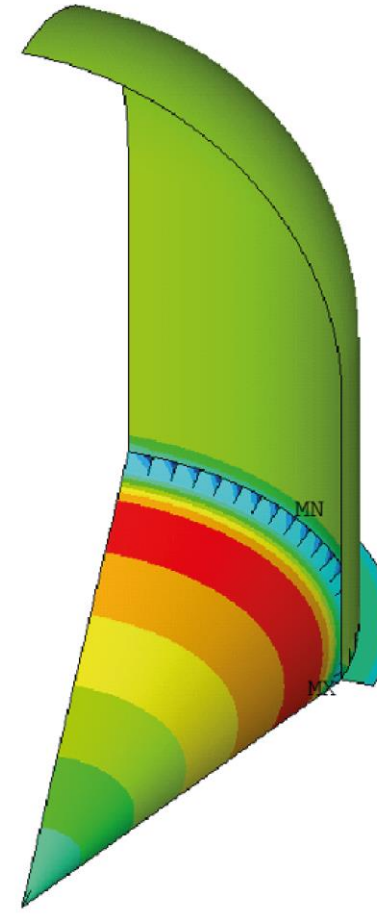
Rys. 28. Mapa naprężeń SX. Jednostki w legendzie w MPa.



Przebieg analizy numerycznej – General Postprocessor

Następne dwie mapy przedstawiają rozkłady naprężeń południkowych i obwodowych.

```
1 NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SY (AVG)
MIDDLE
RSYS=SOLU
DMX =.272884
SMN =-12.4517
SMX =26.8622
```



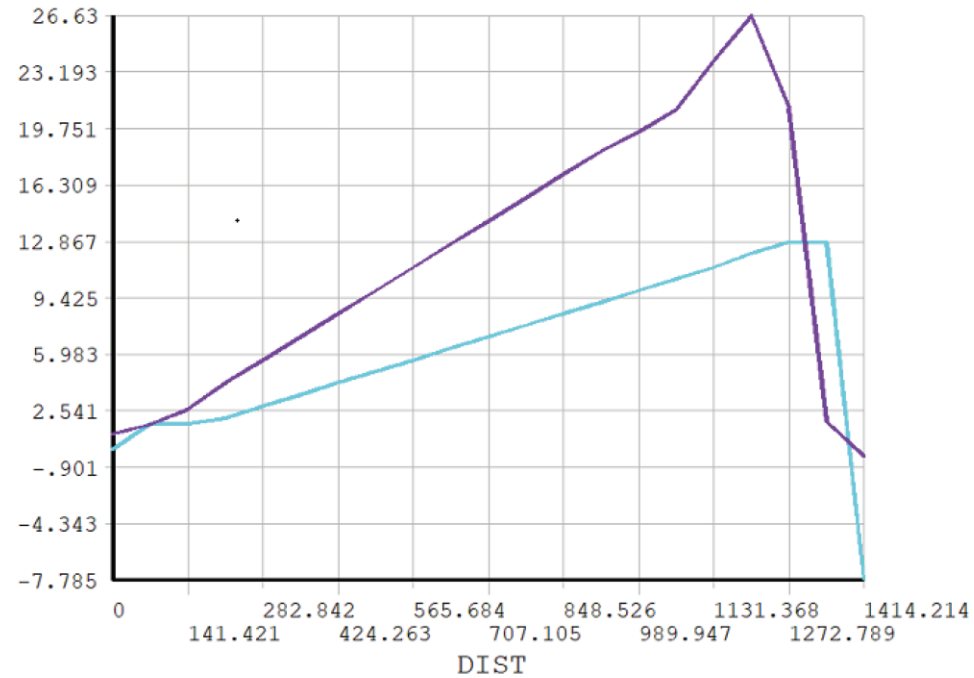
Rys. 29. Mapa naprężeń SY. Jednostki w legendzie w MPa.



Na rysunkach 28 i 29 utrzymano ogólne oznaczenia SX i SY . Rozstrzygnięcie, które z nich jest południkowe a które obwodowe wymaga porównania z rozwiązaniem teoretycznym. Okazuje się, że w tym zadaniu naprężenie SX z rys. 28 reprezentuje składową obwodową na powierzchni środkowej kuli, walca i pierścienia, natomiast na powierzchni stożka składową południkową. Z kolei naprężenie SY z rys. 29 reprezentuje składową południkową na powierzchni środkowej kuli, walca (pierścienia promieniową), natomiast na powierzchni stożka składową obwodową. Z tego też powodu wykresy SX i SY zamieszczono na odrębnych rysunkach: nr 30 dla stożka i nr 31 dla walca z kulą łącznie.



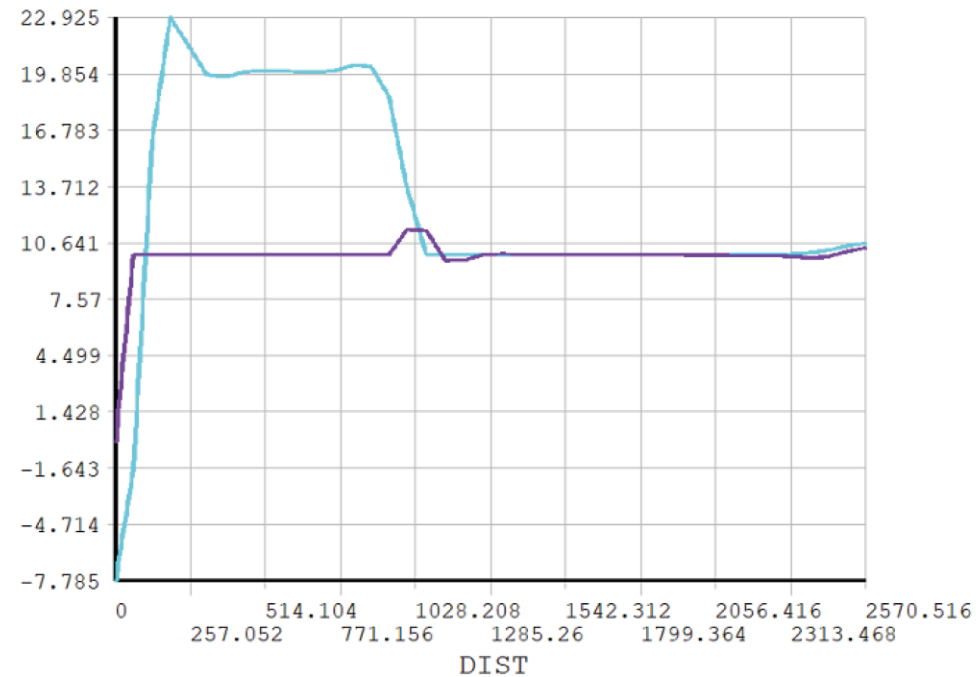
```
1 POST1  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
PATH PLOT  
NOD1=1389  
NOD2=482  
SX  
SY
```



Rys. 30. Wykresy naprężeń południkowych (SX) i obwodowych (SY) na południku stożka.



```
1 POST1  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
PATH PLOT  
NOD1=482  
NOD2=508  
SX  
SY
```



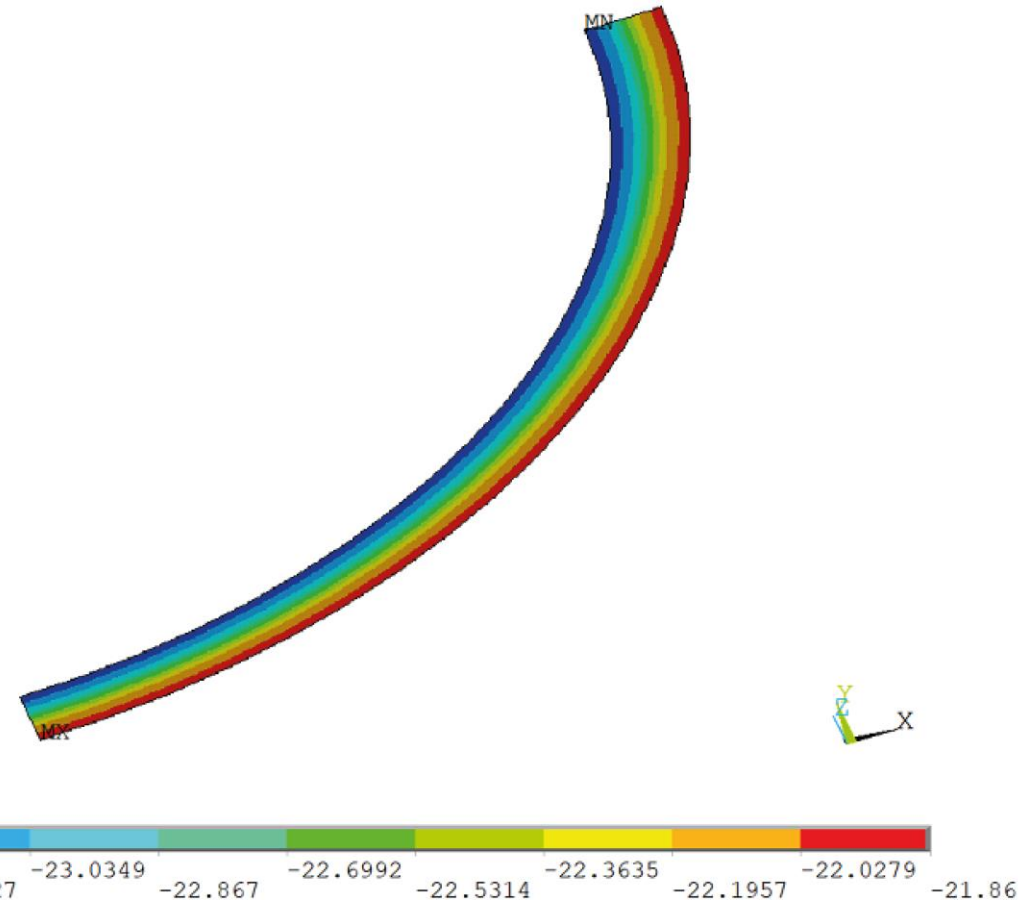
Rys. 31. Wykresy naprężeń obwodowych (SX) i południkowych (SY) na południku walca i kuli .



Wreszcie rys. 32 przedstawia mapę składowej obwodowej na pierścieniu usztywniającym (SX). Składowa promieniowa (SY) może zostać pominięta ze względu na małe wartości.

```

1 NÓDAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SX      (AVG)
MIDDLE
RSYS=SOLU
DMX =.122452
SMN =-23.3705
SMX =-21.86
    
```



Rys. 32 . Naprężenia obwodowe na pierścieniu usztywniającym. Jednostki w legendzie w MPa.



Przedstawione w zwartej postaci najważniejsze wyniki analizy powłoki osiowosymetrycznej pozwalają dokonać oceny ich poprawności w odniesieniu do uproszczonej teorii błonowej. W szczególności łatwo dostrzec dużą niezgodność w okolicy załomu południka z pierścieniem ale wytłumaczeniem jest fakt uwzględnienia efektu brzegowego w modelu mes zapewniającego ciągłość przemieszczeń, czego nie ujmuje teoria błonowa.



Z1. Porównać wyniki obliczeń zbiornika metodą elementów skończonych dla grubości płaszczy kuli, walca i stożka **5 mm** oraz grubości pierścienia **10 mm** z wartościami ze wzorów analitycznych (strona 27). Opisać wpływ pierścienia na lokalne zaburzenie stanu naprężenia w walcu i stożku. Opisać również zaburzenie na połączeniu kuli i walca.

Z2. Przeprowadzić obliczenia opisanego zbiornika dla grubości płaszczy kuli, walca i stożka **5 mm** oraz grubości pierścienia **40 mm**. Porównać wyniki z obliczeniami dla mniejszej grubości pierścienia wynoszącej **10 mm**.



1. Program metody elementów skończonych ANSYS oblicza:
 - A. tylko naprężenia średnie wzdłuż grubości płaszcza.
 - B. naprężenia na obydwu powierzchniach zewnętrznych płaszcza.
 - C. naprężenia zgięciowe w płaszczu.
 - D. pełny płaski stan naprężenia.

2. Aby uzyskać za pomocą programu ANSYS składowe płaskiego stanu naprężenia odpowiadające naprężeniom południkowemu i obwodowemu należy w opcjach do prezentacji wyników ustawić układ:
 - A. kartezjański.
 - B. walcowy.
 - C. elementowy – indywidualny dla każdego elementu.
 - D. dowolny.

Pytania sprawdzające - odpowiedzi

1. Program metody elementów skończonych ANSYS oblicza:
 - A. tylko naprężenia średnie wzdłuż grubości płaszcza.
 - B. naprężenia na obydwu powierzchniach zewnętrznych płaszcza.
 - C. naprężenia zgięciowe w płaszczu.
 - D. pełny płaski stan naprężenia.

2. Aby uzyskać za pomocą programu ANSYS składowe płaskiego stanu naprężenia odpowiadające naprężeniom południkowemu i obwodowemu należy w opcjach do prezentacji wyników ustawić układ:
 - A. kartezjański.
 - B. walcowy.
 - C. elementowy – indywidualny dla każdego elementu.
 - D. dowolny.