

Wprowadzenie do programu ABAQUS oraz przykład rozwiązania tarczy



Piotr Mika

maj, 2014

1. Program ABAQUS – informacje ogólne

ABAQUS to pakiet programów oparty na metodzie elementów skończonych, który powstał w firmie Hibbit, Karlsson & Sorensen Inc, a jego obecnym właścicielem jest firma SIMULIA.

Jest to pakiet dostępny na wielu platformach sprzętowych, począwszy od komputerów klasy PC z Intel Pentium, przez stacje robocze HP, Compaq, IBM, SGI do superkomputerów Compaq AlphaServers, HP, IBM RS.6000, serie SGI Onyx, serie SGI Origin.

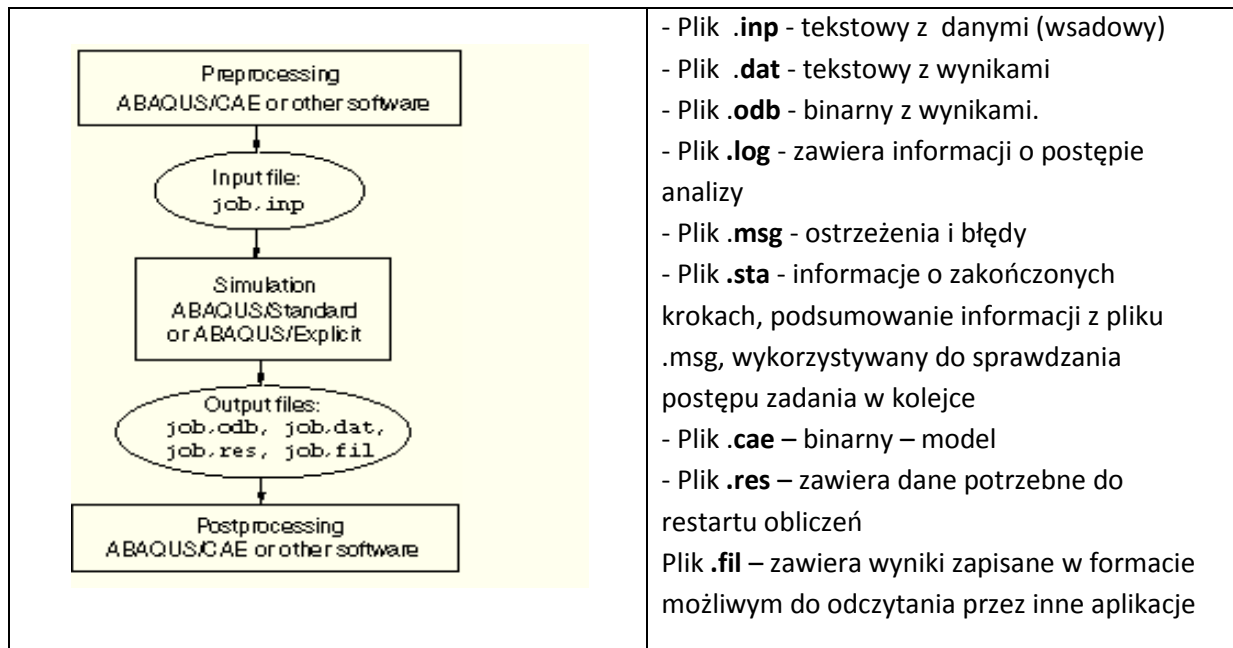
Pakiet ma budowę modułową, co pozwala na stosunkowo swobodną konfigurację całości w zależności od specyfiki zastosowań.

Użytkownik wersji edukacyjnej, zainstalowanej w laboratorium komputerowym L5, ma możliwość modelowania układów dyskretnych zawierających max 1000 węzłów metody elementów skończonych.

W naszym ćwiczeniu do wykonania obliczeń będziemy używać programu **ABAQUS/Standard**. Jest to moduł ogólnego przeznaczenia do przeprowadzania analiz metodą elementów skończonych. Zawiera on procedury analizy numerycznej następujących problemów – analizy statyczną, dynamiczną (low-speed, drgania własne), termiczną, natomiast nie zawiera nieliniowej analizy dynamicznej stosującej całkowanie równań ruchu metodą jawną (zawartej w ABAQUS/Explicit).

Model konstrukcji zostanie stworzony w programie **ABAQUS/CAE** - CAE (ang. Complete ABAQUS Environment). Program zawiera procedury do tworzenia, uruchamiania, monitorowania przebiegu obliczeń i postprocesingu (Abaqus/Viewer) wyników otrzymanych z symulacji ABAQUS/Standard.

Pliki które są generowane przez program:



Składowe modelu w programie ABAQUS stanowią:

1. Zdyskretyzowana geometria
2. Właściwości przekroju
3. Dane materiałowe
4. Obciążenie i warunki brzegowe
 - a. obc. skupione
 - b. obc. powierzchniowe
 - c. obc. liniowe ścinające
 - d. obc. liniowe i momenty na brzegu powłoki
 - e. siły masowe
 - f. obciążenia termiczne
 - g. dowolne warunki brzegowe (mechaniczne, termiczne, ...)
5. Typ analizy
 - a. statyczna
 - b. dynamiczna
6. Wymagane wyniki z obliczeń do postprocesingu
7. Postprocesor ABAQUS/CAE

1.1. Moduły programu ABAQUS

Poszczególne składowe modelu konstrukcji definiuje się w tzw. **modułach**. Moduły określają logiczny aspekt procesu tworzenia i analizowania modelu, np. definiowanie geometrii, definiowanie własności materiału. Każdy moduł posiada swój własny zestaw poleceń, parametrów i danych służących do utworzenia pliku wejściowego (z rozszerzeniem .inp) dla modułu obliczeniowego (Standard).

Moduł obliczeniowy (ang. solver) czyta plik wejściowy, dokonuje obliczeń, podczas których wysyła informacje do ABAQUS/CAE pozwalające śledzić postępy, na końcu umieszcza rezultaty w bazie wyników (plik z rozszerzeniem .odb). Wyniki zapisane w bazie można wczytać do CAE i dalej przetwarzać. Długie obliczenia wykonujemy w „tle”, posługując się poleceniami ABAQUS do zlecenia obliczeń. Po zakończeniu symulacji można uruchomić CAE ponownie i wczytać bazę modelu (plik z rozszerzeniem .cae) i bazę wyników (plik z rozszerzeniem .odb) w celu wizualizacji otrzymanych rozwiązań.

W ABAQUS/CAE wyróżniamy następujące moduły:

1. **Part**

Tworzenie lub import geometrii, podzielonej na części-elementy „part”

2. **Property**

Definicja przekroju – właściwości każdej części lub jej fragmentu, tzn. przekrój i rodzaj materiału. Tutaj definiujemy rodzaj przekroju i przypisujemy go do elementu konstrukcji

3. **Assembly**

Każda część po utworzeniu ma swój własny, lokalny układ współrzędnych, niezależny od innych części. Tutaj „składamy” części tworząc „instance” (przypadek), który jest zorientowany w globalnym układzie współrzędnych, tak więc otrzymujemy konstrukcję jako zbiór części – „assembly”

4. **Step**

Konfiguracja wariantów danych i przebiegu obliczeń analizy (definicja warunków brzegowych, obciążenia, wyników do postprocessingu – można to zrobić osobno dla każdego kroku)

5. Interaction

Definicja mechanicznej i termicznej interakcji pomiędzy konstrukcją a otoczeniem

6. Load

Definicja obciążenia i warunków brzegowych. Obciążenia i warunki brzegowe są zależne od kroku, dlatego należy zdefiniować krok, w którym są one aktywne

7. Mesh

Narzędzia służące do definicji siatki elementów skończonych

8. Job

Moduł do analizy modelu– wykonanie obliczeń

9. Visualization

Wyświetlenie modelu i wyników. Rodzaj wyników jest zdefiniowany w module Step

10. Sketch

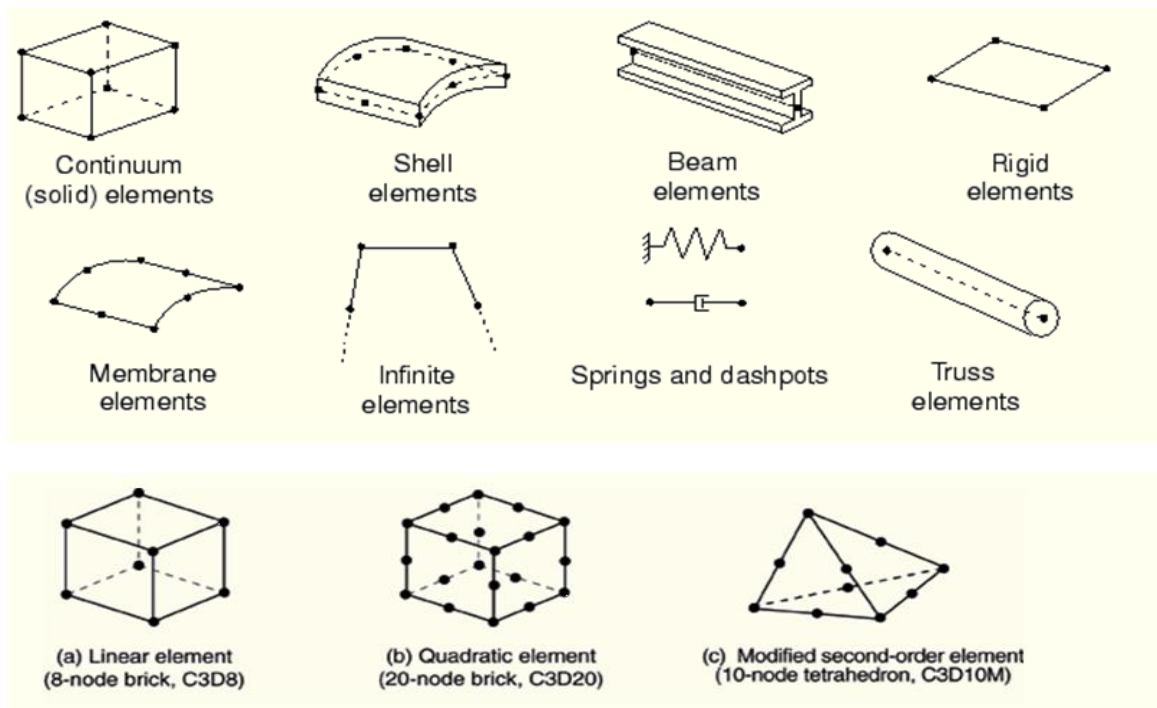
Dwuwymiarowe rysunki pomocne w tworzeniu geometrii. Rysunek może być rozciągnięty, obrócony, „ciągnięty” wzdłuż krzywej w celu stworzenia obiektu 3-D

1.2.Elementy skończone w programie ABAQUS

Elementy skończone zawarte w programie są charakteryzowane przez:

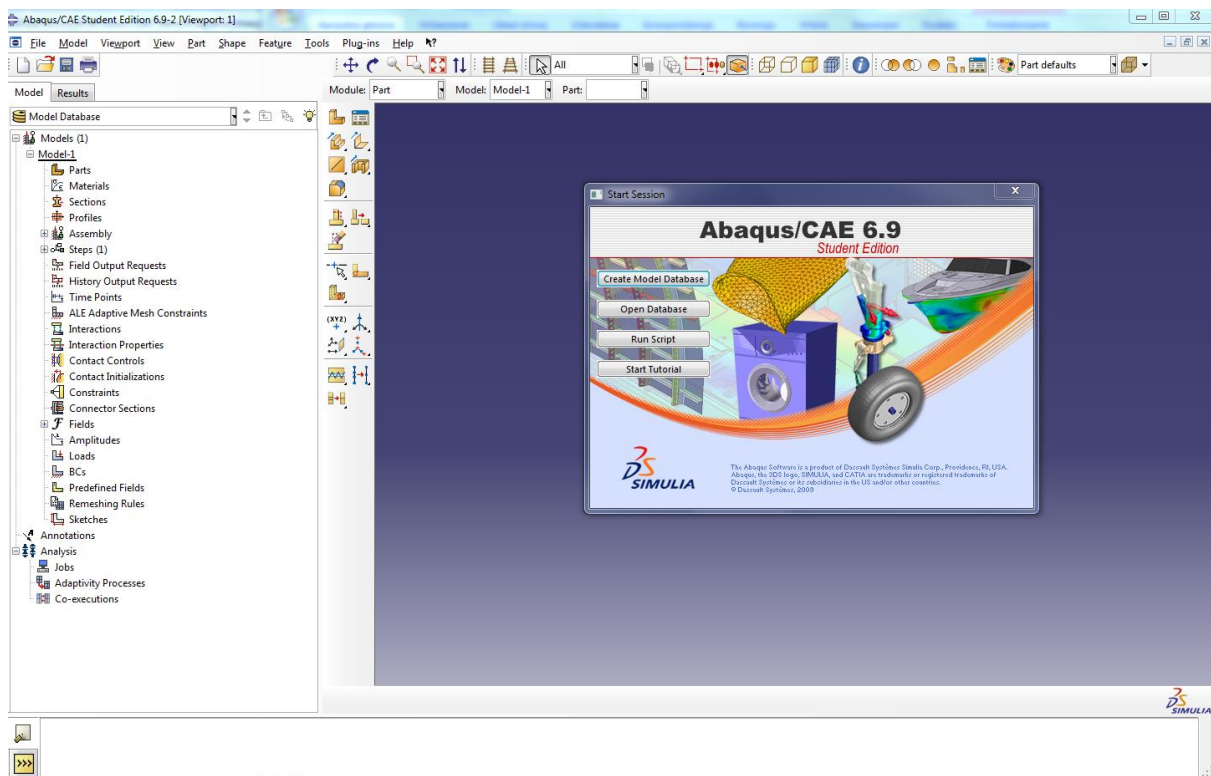
- typ
- liczba węzłów
- stopnie swobody
- rząd aproksymacji (liniowy, kwadratowy ...)
- kwadraturę całkowania numerycznego

Na kolejnych rysunkach zilustrowano typy elementów skończonych oraz wyjaśniono przyjętą zasadę nazewnictwa:

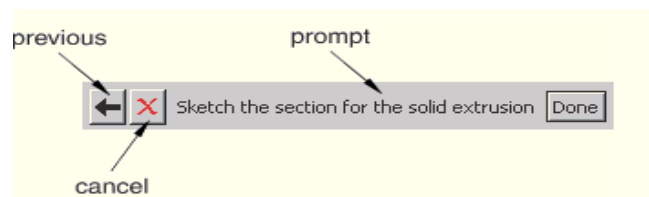
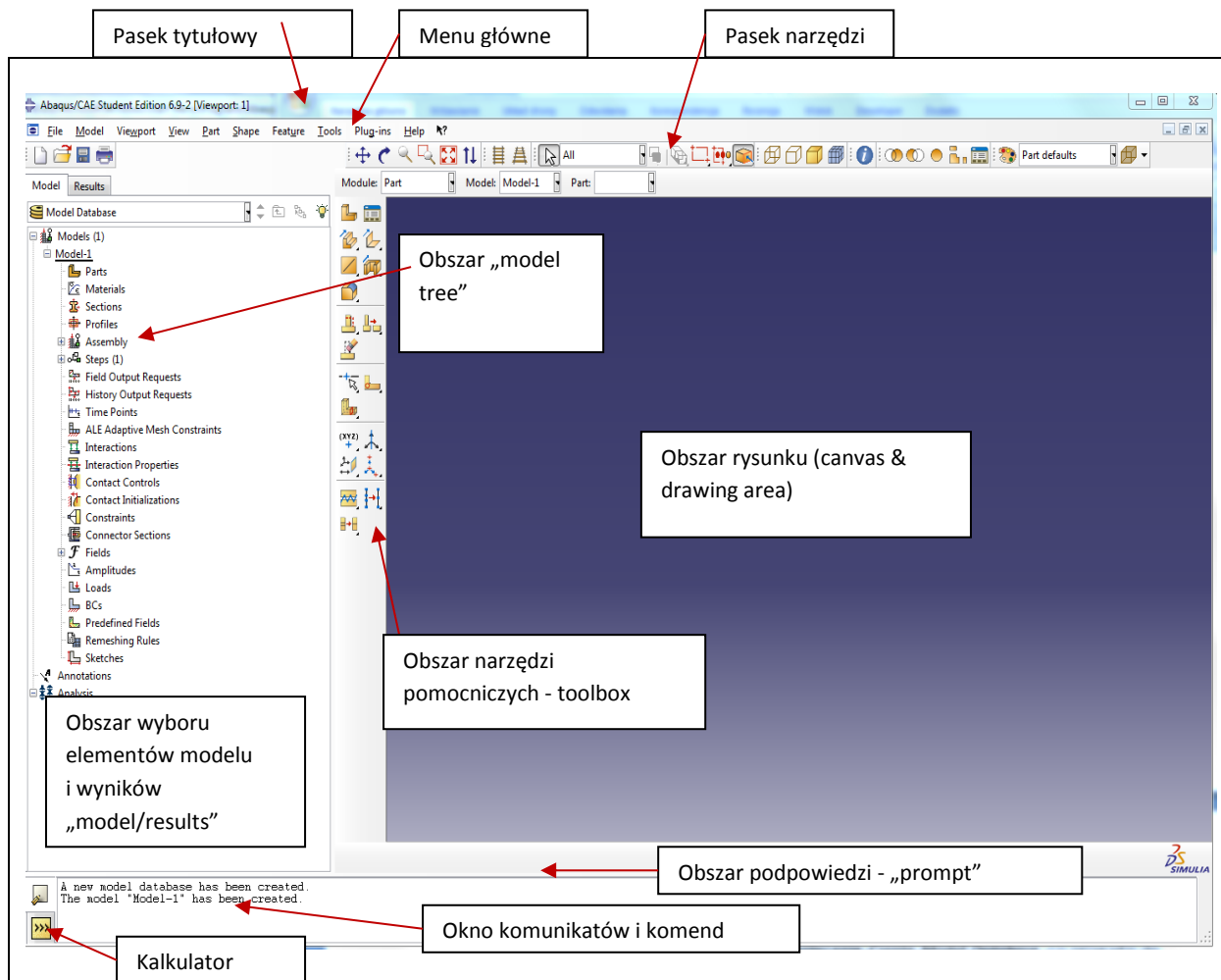


2. Rozpoczęcie pracy z programem, elementy okien

Po wybraniu z menu Start - *Abaqus 6.7 Student Edition/ Abaqus CAE*, na ekranie pojawi się okno startowe:



W celu utworzenia nowego modelu wybieramy polecenie *Create Model Database*, co prowadzi do pojawienia się na ekranie następującego okna:



CANCEL – porzucenie aktualnego zadania

PREVIOUS – porzucenie bieżącego kroku w zadaniu i powrót do poprzedniego kroku

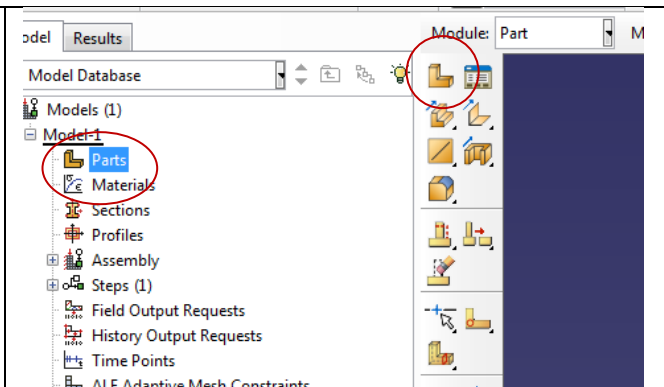
2.1. Użycie myszki i zaznaczanie obiektów

Funkcje poszczególnych klawiszy myszki:

- Przycisk 1 (lewy) - wybór
- Przycisk 3 (prawy) – menu
- Przycisk 2 (środkowy) – enter lub wykonaj (*done*)
- Wielokrotny wybór, zaznaczenie obszaru - myszką lub trzymanie SHIFT przy klikaniu
- Odwołanie zaznaczenia - CTRL

2.2. Tworzenie modelu konstrukcji

Po kliknięciu w ikonkę opisaną jako *Create Part* znajdującą się w obszarze narzędzi lub dwukrotne kliknięcie na drzewie poleceń (*Model Tree*) w *Parts*, wywołujemy następujące okno, w którym poszczególne elementy służą do następujących celów:



Nazwa elementu

Definicja przestrzeni:
 3D – trójwymiarowa
 2D Planar – płaska
 Axisymmetric – osiowo-symetryczna

Definicja typu:
 Deformable – ciało odkształcalne
 Discrete rigid – ciało sztywne
 Analytical rigid – ciało sztywne
 Eulerian – definicja obszaru dla analizy Eulera

Definicja kształtu:
 Solid – bryła 3D
 Shell – powłoka 3D lub powierzchnia płaska
 Wire – kratownice, belki
 Point - punkty

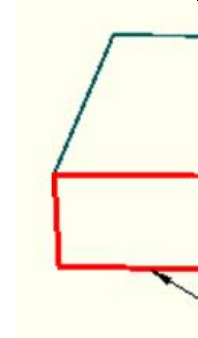
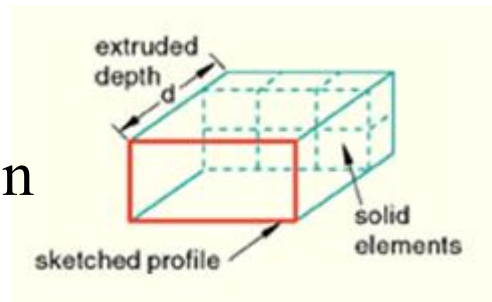
Definicja sposobu tworzenia kształtu:
 Extrude - wyciągnięcie
 Revolution - obrót
 Sweep – ciągnięcie wzdłuż krzywej

Przybliżony rozmiar konstrukcji, zadawany w celu naszkicowania modelu geometrycznego

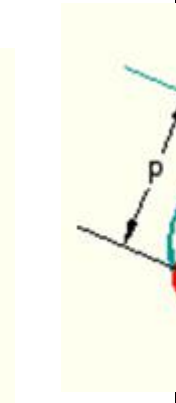
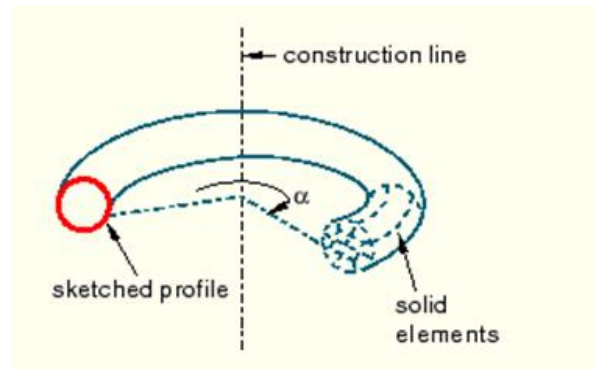
Ilustrację poszczególnych metod tworzenia geometrii stanowi schemat

ABAQUS/CAE C

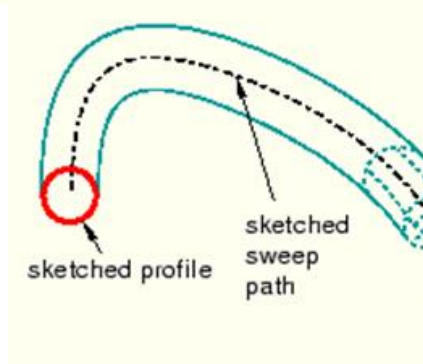
Extrusion



Revolution



Sweep



2.3. Szkicownik

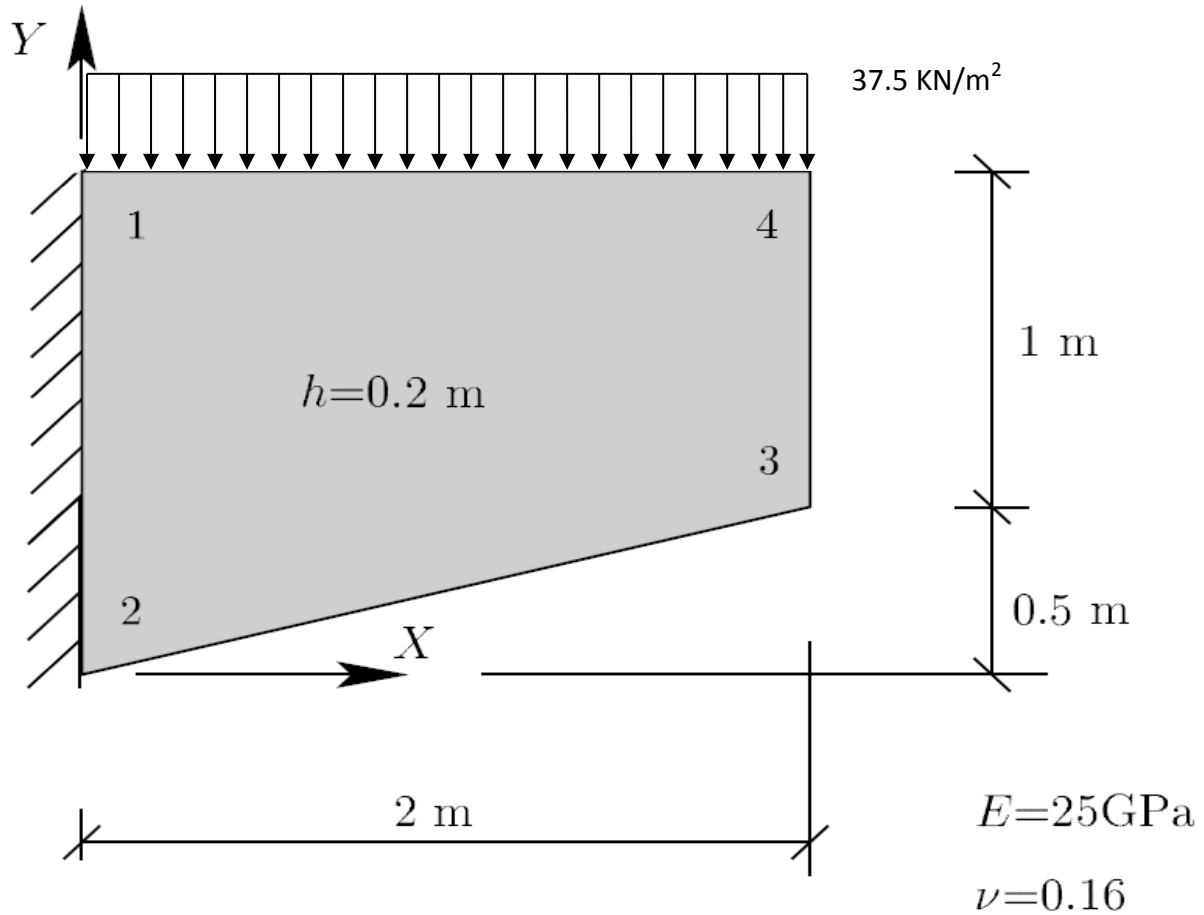
Najczęściej posługujemy się szkicownikiem. Podstawowe polecenia dostępne w szkicowniku zestawiono w poniższej tabeli:

Punkt		Linia łamana
Okrąg		Prostokąt
Elipsa		Łuk stanowiący przedłużenie odcinka
Łuk (środek i 2 punkty)		Łuk przez 3 punkty
Zaokrąglenie krawędzi		Spline
Linia konstrukcyjna		Linia tworzona przez rzutowanie
Przemieszczanie obiektów		Przycinanie, wyciąganie
Przesuwania, obroty		Przesuwanie konturu
Powtórzenia tego samego elementu		Powtórzenia tego samego elementu
Automatyczne wprowadzanie stałych zależności (np. równoległość, kąt prosty,...)		Wprowadzanie stałych zależności (np. równoległość, kąt prosty,...)
Automatyczne wymiarowanie		Wymiarowanie ręczne
Zmiana wymiarów		Definiowanie zależności parametrycznych
Cofnięcie ostatniej czynności		Mazanie obiektu
Wczytanie wcześniej zapisanego szkicu		Zapisywanie szkicu
Właściwości szkicownika		Odświeżanie zawartości okna szkicown.

3. Przykład – rozwiązanie tarczy programem ABAQUS

Celem zadania jest znalezienie rozwiązania tarczy przy założeniu płaskiego stanu naprężenia.

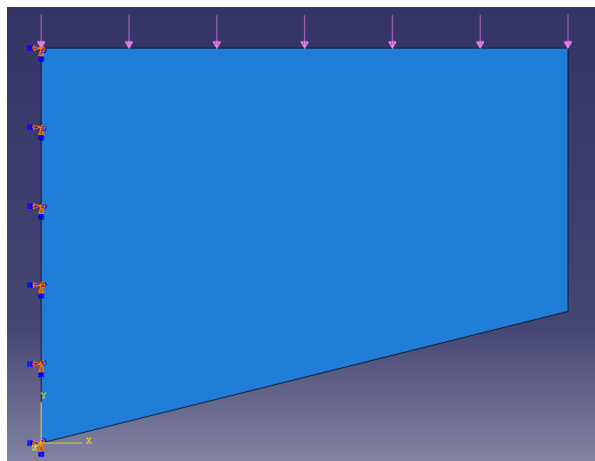
Wymiary oraz stałe materiałowe podane są na rysunku 1.



Rysunek 1 Geometria tarczy oraz stałe materiałowe

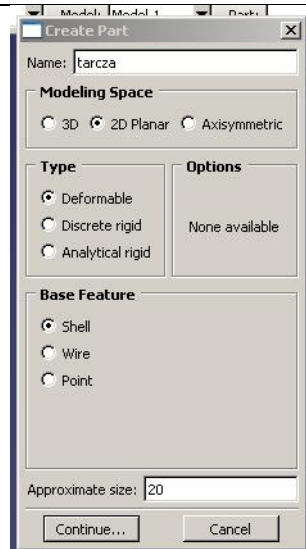
3.1. Preprocessing

W tabeli na następujących stronach opisano czynności prowadzące do zdefiniowania modelu konstrukcji w programie ABAQUS





DANE PODSTAWOWE

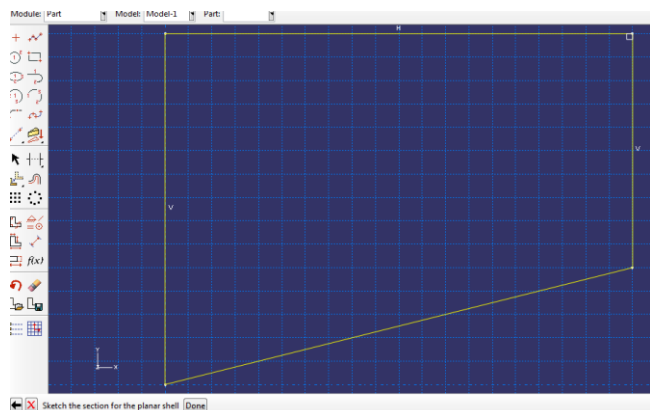
Po uruchomieniu programu ABAQUS, wybraniu *Create Model Database* i kliknięciu w ikonkę opisaną jako *Create Part* znajdującą się w obszarze narzędzi lub dwukrotne kliknięcie na drzewie poleceń (*Model Tree*) w Parts wywołujemy następujące okno, w którym definiujemy podstawowe dane modelu: nazwę elementu *tarcza* (nazwa jest dowolna), przestrzeń *2D*, ciało odkształcalne – *Deformable*, podstawowy kształt *Shell*



GEOMETRIA KONSTRUKCJI

Wybieramy ikonkę  *Create lines: connected*, następnie w obszarze prompt podajemy współrzędne punktów tworzących zarys tarczy oddzielając je klawiszem *enter* (0, 1.5), (0, 0), (2, 0.5), (2, 1.5), (0, 1.5), następnie klikamy środkowym klawiszem myszy (lub ESC) i zatwierdzamy poleceniem *DONE*, a wtedy kształt konstrukcji zostaje wypełniony kolorem białym

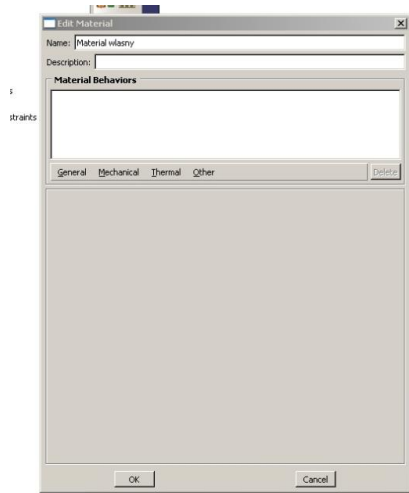
Ikona  powoduje dopasowanie okna do narysowanego schematu konstrukcji



DEFINICJA MATERIAŁU

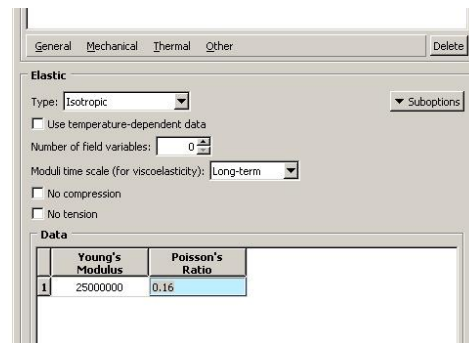
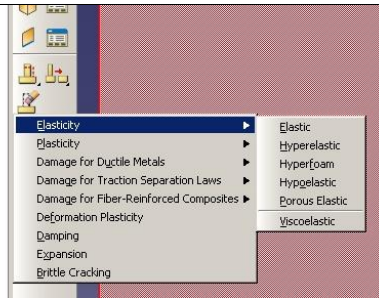
Menu Tree/Materials

Po wybraniu opcji wpisujemy dane jak na rysunku 1 – nazwa np. materiał własny




W karcie *Mechanical/Elasticity/Elastic*

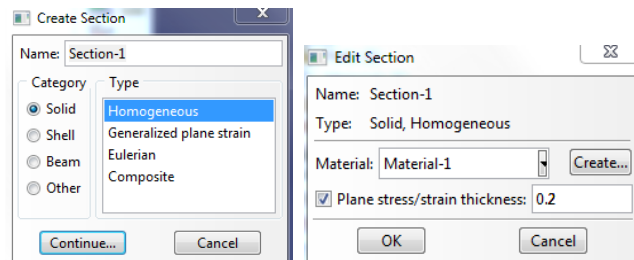
wyberamy materiał izotropowy - *Isotropic* i podajemy moduł Younga i współczynnik Poissona



DEFINICJA PRZEKROJU

Dwa razy klikamy w *Sections*  wybieramy opcję *Solid/Homogeneous*, następnie *Continue*

Po wybraniu zdefiniowanego wcześniej materiału i zaznaczeniu opcji *Plane stress/strain thickness* podajemy grubość warstwy *0.2*

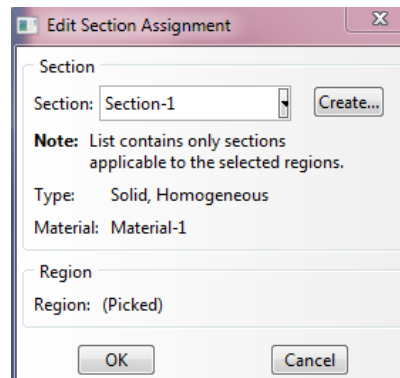
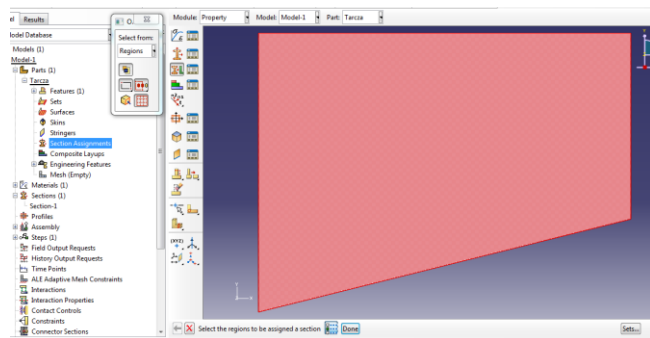


PRZYPISANIE PRZEKROJU DO CZĘŚCI MODELU

Po zdefiniowaniu przekroju należy przypisać właściwości tego przekroju do poszczególnych części modelu. Robimy to rozwijając „+” polecenia w *model tree* schowane w części *Part* pod nazwą konstrukcji *tarcza*.

Wybieramy *Section Assignments* i wskazujemy na naszą konstrukcję, która zmienia kolor na czerwony. Zatwierdzamy wybór *Done*

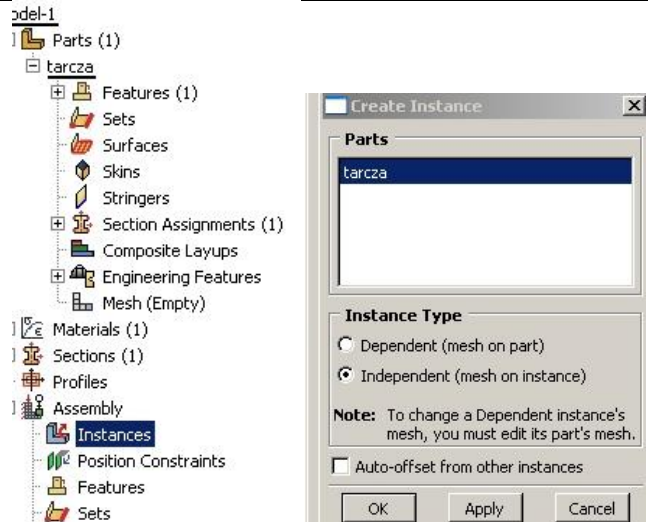
Przekrój w oknie *Edit Section Assignments* pozostaje bez zmian (mamy w zadaniu tylko jeden)



STWORZENIE PRZYPADKU (INSTANCE)

Assembly/Instances

Wybieramy opcję siatkowania *Independent*

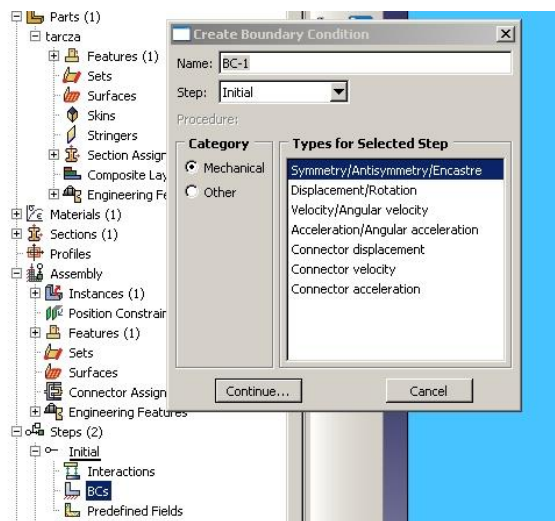


STWORZENIE KROKÓW OBLICZENIOWYCH

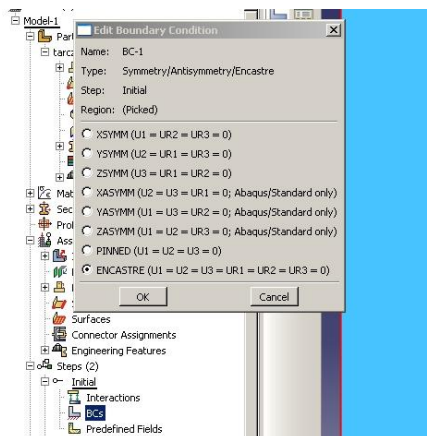
Po rozwinięciu opcji Steps w *model tree* w kroku pierwszym, tzw. *Initial*, zadajemy warunki brzegowe.

Klikamy obok napisu *Initial* w „+”, następnie dwukrotnie klikamy w BCs, po wyświetleniu okienka *Create Boundary Conditions*, jako kategorię wybieramy *Mechanical* i wskazujemy opcję *Symmetry/Antisymmetry/Encastre* i potwierdzamy *continue*.

Następnie zaznaczamy krawędzie, gdzie należy zadać warunki brzegowe (w naszym wypadku lewy bok tarczy) i zatwierdzamy *Done*.

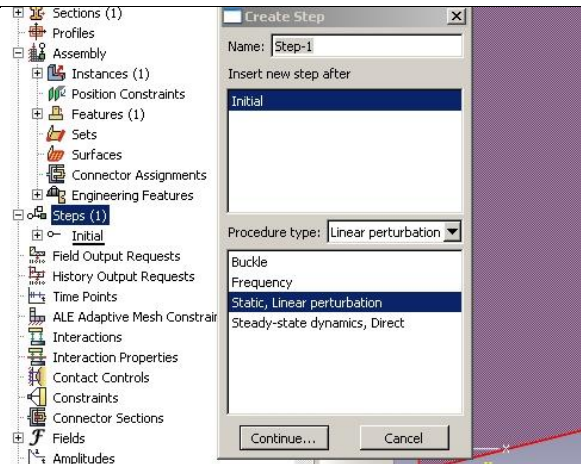


W kolejnym oknie należy wybrać rodzaj warunków brzegowych – *Encastre* i zatwierdzić *ok*.



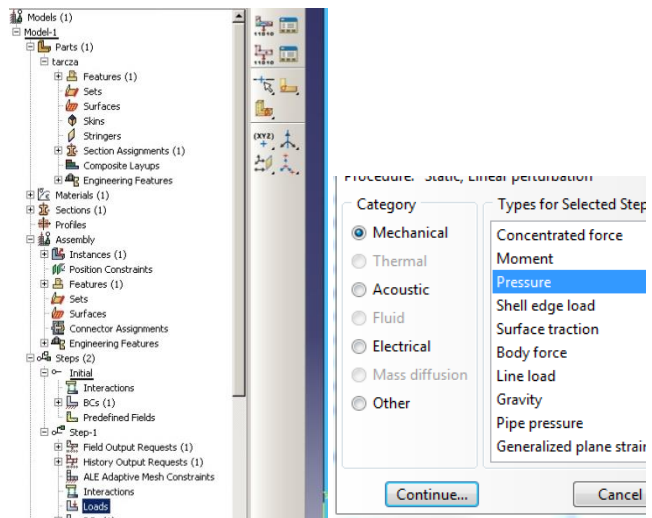
Obciążenie zadajemy w kolejnym kroku, który stworzymy dwukrotnie klikając polecenie *Step* i wskazując, że kolejny krok obliczeniowy ma następować po kroku *Initial*. Zmieniamy typ procedury na *Linear perturbation* oraz *Static, Linear perturbation* i dalej *Continue*.

Pojawia się okno, w którym możemy opisać obciążenie lub od razu zatwierdzić przyciskiem *ok*.

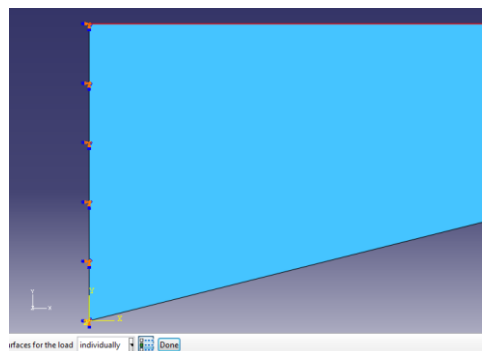


ZADANIE OBCIĄŻENIA

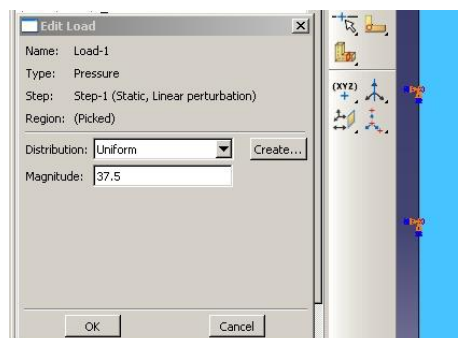
Dwukrotnie klikamy w *Loads*, po wyświetleniu okienka *Create load* wybieramy krok, w którym ma być przyłożone obciążenie (*Step-1*), kategorię *Mechanical*, typ *Pressure* i *Continue*



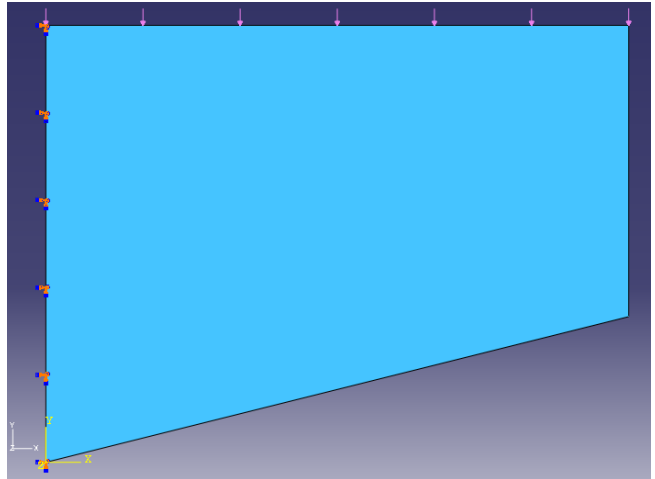
Następnie należy wskazać krawędź, która będzie obciążona i zatwierdzić *Done*



W kolejnym oknie wybieramy *Uniform* oraz podajemy wartość *37.5*

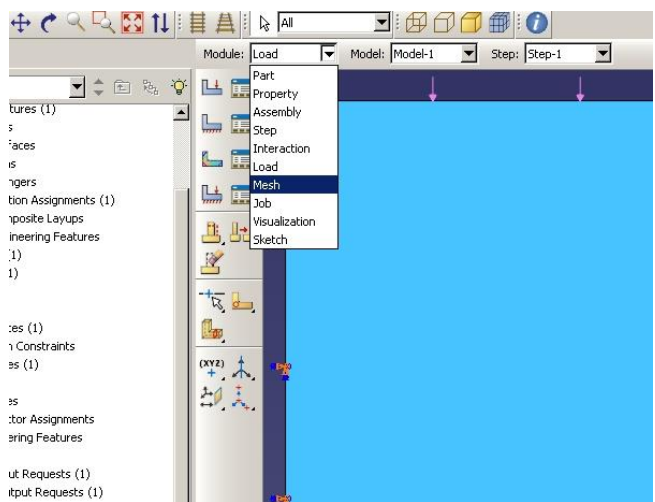


Otrzymujemy zdefiniowany w pełni model konstrukcji




GENERACJA SIATKI

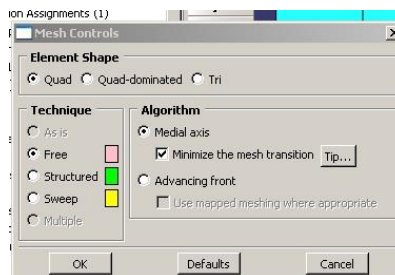
Zmieniamy moduł na *Mesh*



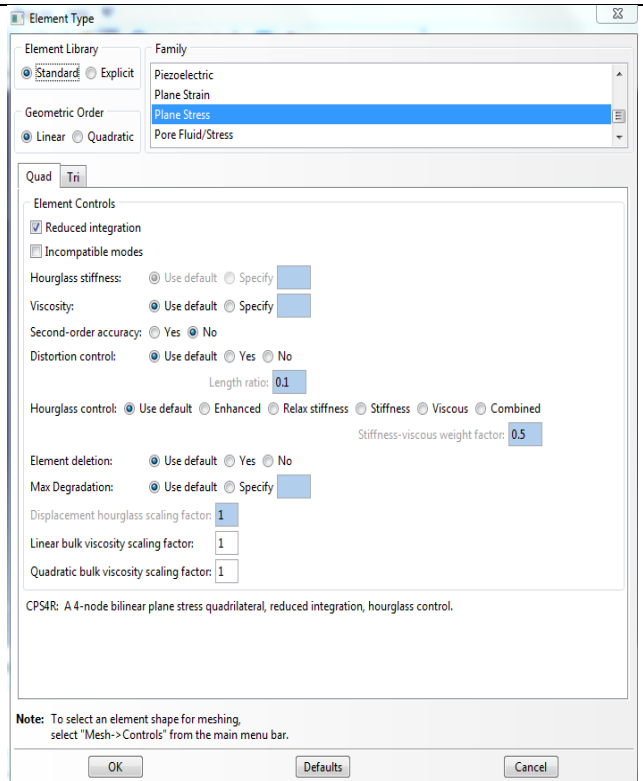
Następnie z menu *Mesh* wybieramy



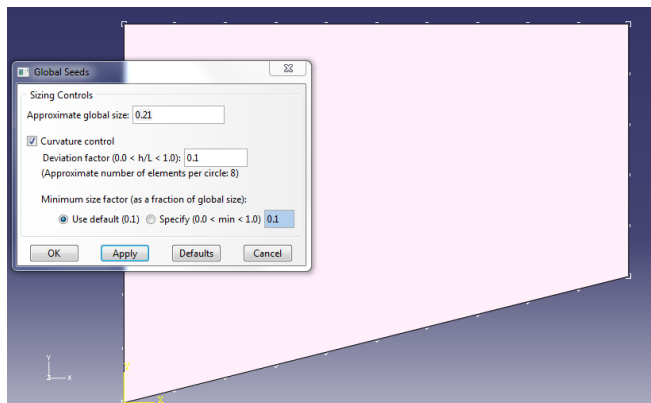
polecenie *Controls* (lub ikona ) , wskazujemy typ elementu *Quad*, technikę siatkowania *Free* oraz wybieramy w tym wypadku algorytm *Medial axis*. Warto sprawdzić oba algorytmy (*Medial axis* i *Advancing front*), po czym wybrać odpowiednią siatkę



W następnym oknie *Mesh/Element Type* wybieramy bibliotekę (*Standard*), typ elementu (*Linear, Plane Stress*). Pozostałe opcje zostawiamy bez zmian

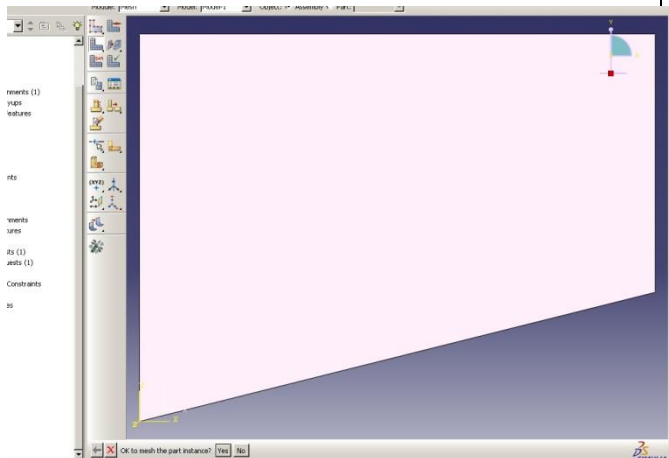


Ilość elementów zależy od wprowadzenia tzw. *mesh seeds*, które wyznaczają położenie naroży elementów. Robimy to w menu *Seed/Instance* lub



klikając w ikonę 

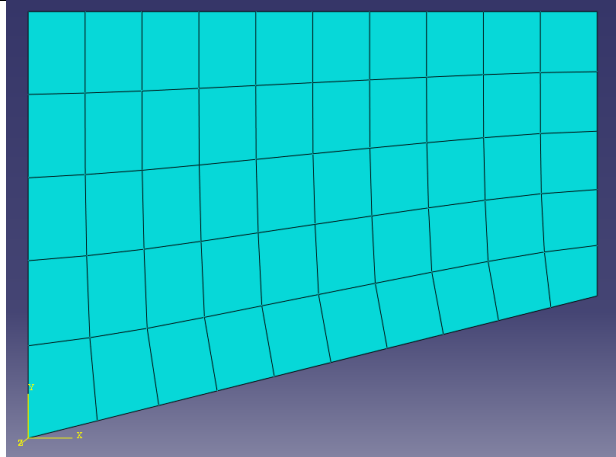
Możemy zostawić bez zmian wartości domyślne. Po wybraniu *Apply* na brzegach tarczy pojawiają się kółeczka



Teraz możemy wygenerować siatkę. Po wybraniu z menu *Mesh polecenia Mesh/Instance* trzeba potwierdzić komunikat, który pojawi się pod rysunkiem

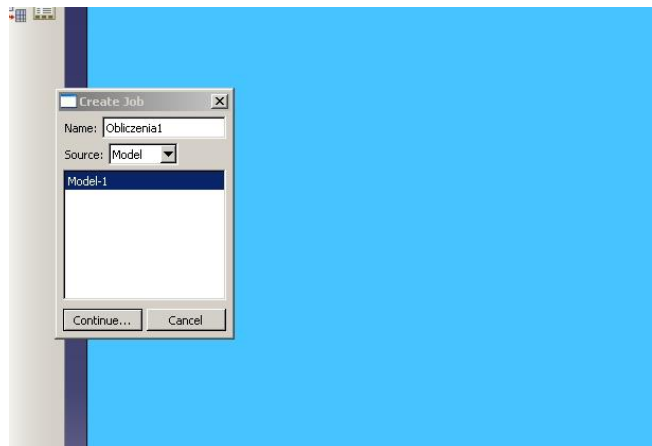
Automatycznie zostanie wygenerowana siatka.

Jeśli chcemy zmienić siatkę, w menu *Mesh* wybieramy *Delete Instance Mesh*, a następnie w miarę potrzeb zmieniamy poszczególne parametry, np. mesh seeds, typ elementu, rodzaj algorytmu tworzenia siatki

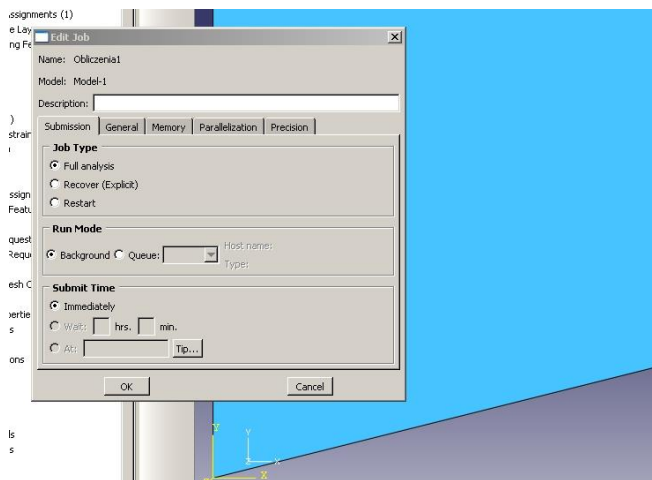


ZDEFINIOWANIE OBLICZEŃ

W dolnej części *model tree* dwukrotnie klikamy w *Jobs*, w okienku możemy nadać nazwę zadaniu i wybrać polecenie *Continue*

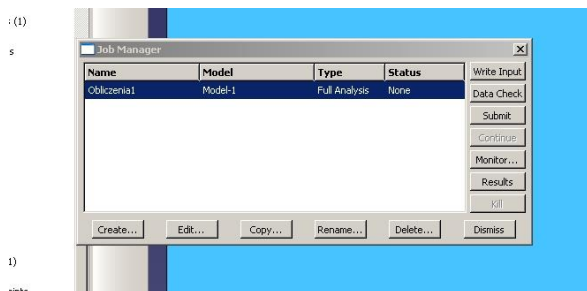


W oknie *Edit Job* pozostawiamy parametry bez zmian. Opcja *Submit Time* służy do określenia, kiedy mają zostać wykonane obliczenia. W karcie *General* można wymusić zawarcie w pliku tekstowym z wynikami danych dotyczących modelu konstrukcji (parametry *Echo*)



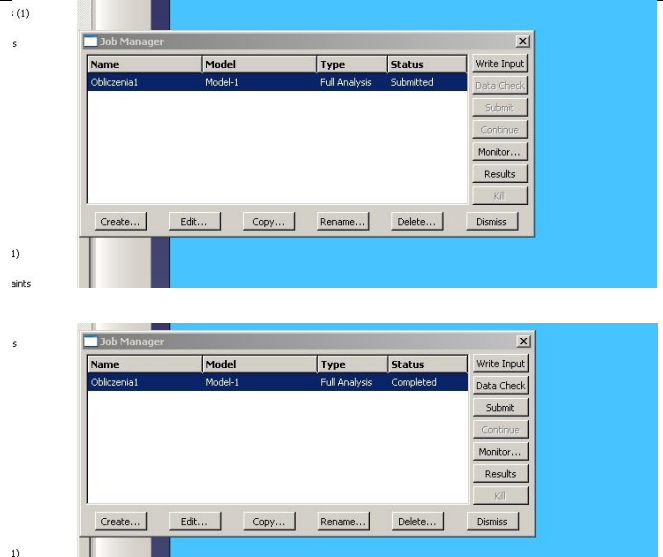
Wskazując prawym klawiszem myszy na polecenie *Job*, wybieramy *Job Manager*. Są tu do wyboru następujące opcje:

- **Write Input** – zapisanie pliku typu *.inp zawierającego tekstowy plik wsadowy
- **Data Check** - sprawdzenie poprawności wygenerowanego modelu (warto to zrobić przed wykonaniem właściwych obliczeń)
- **Submit** – wykonanie obliczeń
- **Monitor** - nadzorowanie obliczeń, wyświetlenie komunikatów o błędach
- **Results**- oglądanie wyników



- **Kill** – przerwanie obliczeń

Po wskazaniu polecenia *Submit*, w oknie *Job Manager* pojawia się odpowiednia informacja w kolumnie status





Zakończenie obliczeń wskazuje napis *Completed* w kolumnie Status

WYNIKI – POSTPROCESSING

W module *Visualisation* możemy przystąpić do oglądania wyników.

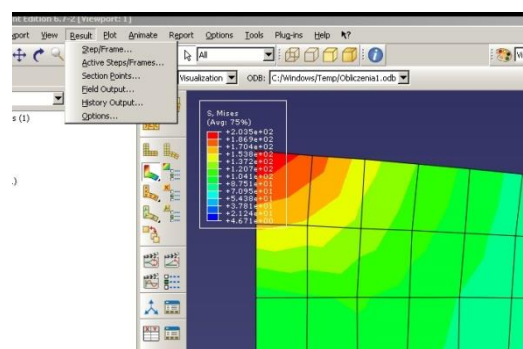
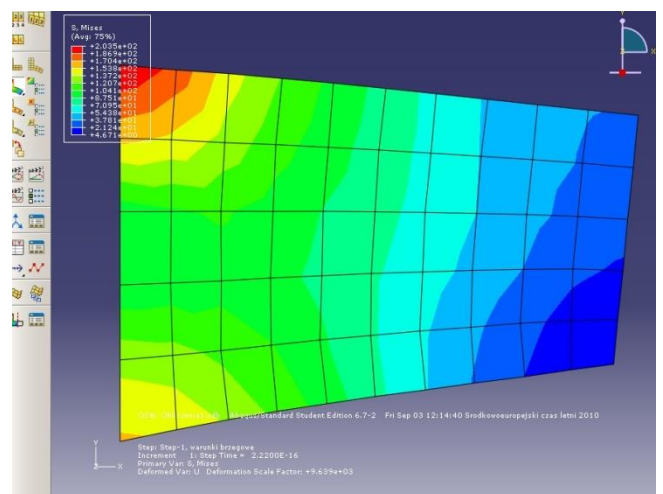
W tym celu po zakończeniu obliczeń klikamy przycisk *Results*. Następuje przejście do modułu *Visualisation* i zostaje wyświetlona konstrukcja w stanie początkowym

Ikona  powoduje wyświetlenie mapy konturowej pola skalarnego dla domyślnych wyników (naprężenia Misesa). Wskazanie przez krótki czas i kliknięcie tej ikony umożliwia wybór, czy rysunki konturowe mają być rysowane na konstrukcji początkowej, zdeformowanej, czy na obu (również menu *Plot/Contour*). Warto sprawdzić wygląd rysunku po zaznaczeniu *Quilt* i *Line*, co umożliwia ikona sąsiednia .

Tutaj można dokonać zmiany parametrów rysunku, np. liczby przedziałów ilustrujących zakres naprężeń – *Contour Intervals*.


W przypadku obliczeń wielokrokowych, wyniki z poszczególnych kroków wywołujemy w menu *Results/Step/Frame*


Również w menu *Results – Field Output* możemy wskazać zmienną, którą chcemy wyświetlić na rysunku

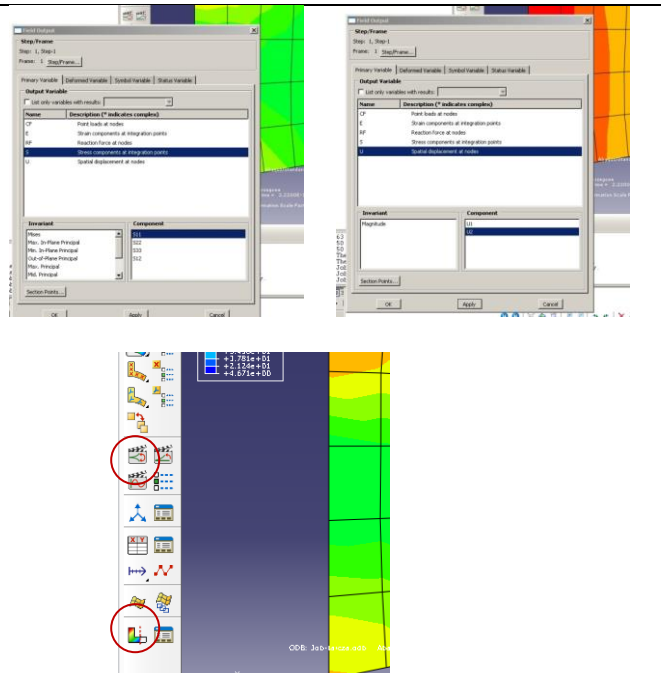


Np. wybrano składową tensora naprężeń S11 lub składową wektora przemieszczenia U2

Aby zobaczyć wyniki w przekroju, możemy skorzystać z ikonki *Activate/Deactivate View*

Cut  znajdującej się na pasku narzędzi


Korzystając z narzędzia *Animate: Scale Factor* - ikona  tworzymy animację




Wybierając *Common Options*  możemy wyświetlić numery elementów i węzłów - karta *labels*

W menu *Report/Field Output* możemy zapisać wyniki w postaci tekstowej do pliku o rozszerzeniu *.rpt

W menu *Viewport/Viewport Annotation Options* dostosowuje się wygląd okna i jego poszczególne elementy do potrzeb (np. wyświetlanie legendy, napisów na ekranie, symbolu układu współrzędnych)

W menu *Plot/Symbols* (ikona ) pozwala na wyświetlenie na rysunku wektorów, wskazujących zwrot i ilustrujących wartość np. składowej głównej tensorów naprężeń/odkształceń czy wektora przemieszczeń (np. rys.2).

Menu *Report* (ikony ) zawiera polecenia do odczytania wartości w poszczególnych punktach (np. węzłach siatki lub węzłach całkowania) konstrukcji, a w przypadku analizy przyrostowej wyświetlić linię ilustrującą zmiany wartości w czasie.

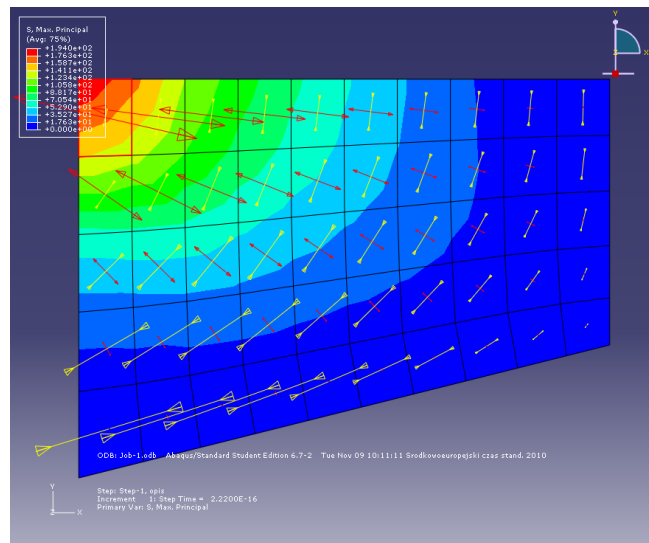
3.2. Wyniki kontrolne

W poniższej tabeli zestawiono otrzymane wartości obliczeń (w celach kontrolnych oraz do ewentualnego porównania z wynikami otrzymanymi z innych programów)

Węzeł	Smax (naprężenie główne)	Smin (naprężenie główne)	U min (przemieszczenie węzła)	U max (przemieszczenie węzła)
11 (lewy górny róg)	193,978	-17,8528	0,0	0,0
56 (prawy dolny róg)	0	-4,686	-1,997 E-5	-3,024 E-6

Poniższy rysunek ilustruje mapę konturową pola skalarnego maksymalnej wartości głównej tensora naprężeń z opisanymi w tabeli przedziałami wartości, odpowiadającymi kolorom poszczególnych

warstwic. Dodatkowo na rysunku zamieszczono wektory ilustrujące kierunek i poglądowo wielkość maksymalnej (wektor czerwony) i minimalnej (wektor żółty) wartości głównej tensora naprężeń.



Rysunek 2 Rysunek warstwowy z wektorami ilustrującymi kierunki i wartości składowych głównych tensora naprężeń

3.3.Plik tekstowy z danymi do programu:

*Heading

** Job name: Job-tarcza Model name: Model-1

*Preprint, echo=NO, model=YES, history=YES, contact=NO

**

** PARTS

**

*Part, name=Tarcza

*End Part

**

**

** ASSEMBLY

**

*Assembly, name=Assembly

**

*Instance, name=Tarcza-1, part=Tarcza

*Node

1, 2., 1.5

2, 1.80000007, 1.5

```

3, 1.60000002, 1.5
.....

64, 0.459091306, 0.114772826

65, 0.242941275, 0.0607353188

66, 0., 0.

*Element, type=CPS4R

1, 1, 2, 13, 12

2, 2, 3, 14, 13

3, 3, 4, 15, 14

.....

48, 52, 53, 64, 63

49, 53, 54, 65, 64

50, 54, 55, 66, 65

*Nset, nset=_PickedSet2, internal, generate

1, 66, 1

*Elset, elset=_PickedSet2, internal, generate

1, 50, 1

** Section: Section-1

*Solid Section, elset=_PickedSet2, material=Material-1

0.2,

*End Instance

**

*Nset, nset=_PickedSet4, internal, instance=Tarcza-1, generate

11, 66, 11

*Elset, elset=_PickedSet4, internal, instance=Tarcza-1, generate

10, 50, 10

*Elset, elset=__PickedSurf5_S1, internal, instance=Tarcza-1, generate

1, 10, 1

*Surface, type=ELEMENT, name=_PickedSurf5, internal

__PickedSurf5_S1, S1

*End Assembly

**

** MATERIALS

```

```
**  
  
*Material, name=Material-1  
  
*Elastic  
  
2.5e+07, 0.16  
  
**  
  
** BOUNDARY CONDITIONS  
  
**  
  
** Name: BC-1 Type: Symmetry/Antisymmetry/Encastre  
  
*Boundary  
  
_PickedSet4, ENCASTRE  
  
** -----  
  
**  
  
** STEP: Step-1  
  
**  
  
*Step, name=Step-1, perturbation  
  
*Static  
  
**  
  
** LOADS  
  
**  
  
** Name: Load-1 Type: Pressure  
  
*Dload  
  
_PickedSurf5, P, 37.5  
  
**  
  
** OUTPUT REQUESTS  
  
**  
  
** FIELD OUTPUT: F-Output-1  
  
**  
  
*Output, field, variable=PRESELECT  
  
**  
  
** HISTORY OUTPUT: H-Output-1  
  
**  
  
*Output, history, variable=PRESELECT  
  
*End Step
```

Spis treści

1. Program ABAQUS – informacje ogólne	2
1.1. Moduły programu ABAQUS.....	3
1.2. Elementy skończone w programie ABAQUS.....	4
2. Rozpoczęcie pracy z programem, elementy okien.....	5
2.1. Użycie myszki i zaznaczanie obiektów.....	7
2.2. Tworzenie modelu konstrukcji	7
2.3. Szkicownik	8
3. Przykład – rozwiązanie tarczy programem ABAQUS.....	10
3.1. Preprocessing	10
3.2. Wyniki kontrolne	19
3.3. Plik tekstowy z danymi do programu:	20