

Modelowanie matematyczne w nauce i technice

LAB 02

1. Wstęp

Celem zajęć jest zapoznanie z tworzeniem siatek z wykorzystaniem programu „**Gmsh**”. Program ten jest rozwijany na licencji GNU oprogramowaniem do tworzenia siatek obliczeniowych. Program składa się z czterech modułów:

- Moduł opisu geometrii (*geometry description*) – tworzymy ogólny kształt obszaru obliczeniowego.
- Moduł siatki (*meshing*) – tworzymy siatkę elementów dla utworzonego obszaru obliczeniowego.
- Moduł obliczeniowy (*solving*) – Gmsh pozwala na rozwiązywanie pewnej klasy zadań.
- Moduł post-processing-u – wizualizacja i opracowanie wyników.

W trakcie laboratorium wykorzystane zostaną tylko moduły do tworzenia obszaru obliczeniowego oraz podziału na elementy. Program można pobrać ze strony twórców (różne wersje i warianty):

<https://gmsh.info/>

lub ze strony <https://cloud.kisim.eu.org/s/AqeMP7aQfYE4WkG> (wersja 4.4.1, Linux64, działająca na komputerach z systemem Centos 7).

Zadanie najlepiej wykonywać jest na maszynie lokalnej i następnie przesłać utworzone pliki na serwer Honorata.

Można także korzystać z serwera Honorata (nie zawsze jednak udaje się bezproblemowo przeprowadzić ćwiczenia). Na stronie:

<https://cloud.kisim.eu.org/s/AqeMP7aQfYE4WkG>

znajduje się dokumentacja programu (oraz poza wersją 4.4.1 także nowsze spakowane wersje programu (4.8.0) dla systemu Linux i Windows).

2. Zadanie 1 [wykonywane lokalnie , ewentualnie na serwerze]

- 2.1. Proszę utworzyć katalog roboczy dla laboratorium np. **lab_02**
- 2.2. Proszę sprawdzić dostępność lokalnie programu **gmsh** lub pobrać plik z skompresowanym kodem **gmsh**, rozpakować i np. przekopiować do katalogu **lab_02** plik binarny **gmsh** z katalogu **gmsh-4.4.1-Linux64/bin** (można także przekopiować udostępnioną dokumentację)

3. Tworzenie siatek z wykorzystaniem programu ‘Gmsh’ [wykonywane lokalnie lub na serwerze – w przypadku pracy lokalnej należy na zakończenie utworzone pliki dla własnych siatek skopiować do katalogu roboczego na serwerze Honorata]

- 3.1. Proszę uruchomić program **gmsh** (lokalnie lub na serwerze Honorata z oknem wyświetlanym lokalnie)

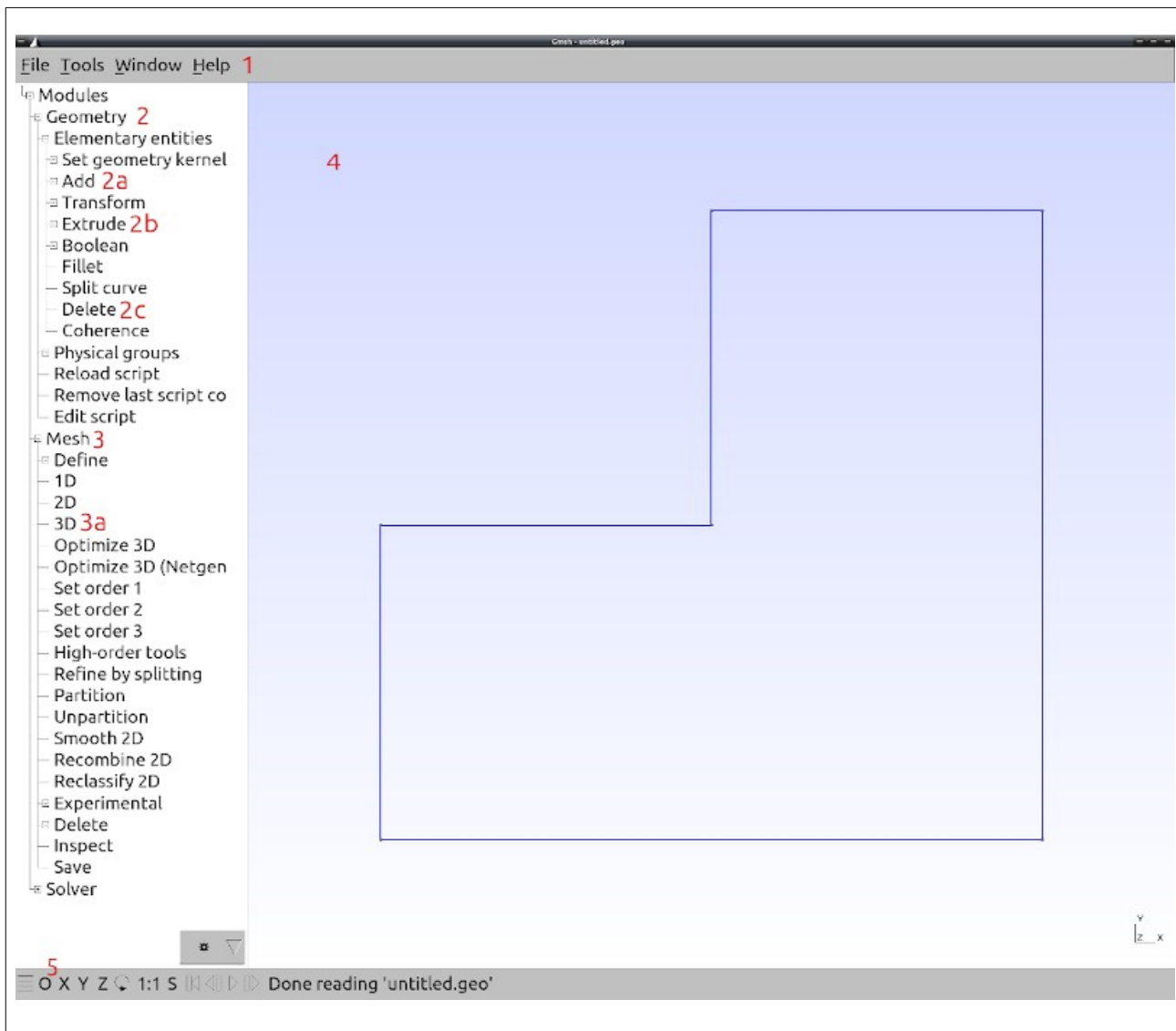
gmsh

lub w przypadku skopiowania pliku binarnego do katalogu lokalnego

./gmsh

(w dalszym ciągu tematu wykorzystywane jest wywołanie **gmsh**, które w przypadku skopiowania pliku binarnego do katalogu lokalnego należy zastąpić przez **./gmsh**)

- 3.2. Okno programu ‘Gmsh’:



- 1- pasek menu
- 2 – tworzenie podstawowej geometrii obszaru obliczeniowego
- 2a – dodawanie obiektu
- 2b – tworzenie warstw (prosty sposób przejścia z geometrii 2D do 3D)
- 2c – usuwanie obiektów
- 3 – tworzenie siatki dla podstawowej geometrii (1D/2D/3D) złożonej z różnego typu elementów
- 3a – siatka 3D
- 4 – okno robocze
- 5 – ustalanie osi

3.3. Konfiguracja 'Gmsh': **Tool/Options**

W oknie konfiguracji dla pola „Geometry” jest zakładka „Visibility”, proszę w niej włączyć wszystko poza 'Volume labels' i zamknąć okno konfiguracji

3.4. Można przejść do tworzenia geometrii obszaru obliczeniowego:

3.4.1. Tworzenie punktów [**Geometry** → **Elementary entities** → **Add** → **Points**], proszę utworzyć punkty o współrzędnych zadanych w tabelce (wpisujemy współrzędne, wpisujemy dla każdego punktu wartość parametru "Prescribed mesh size at point" równą 0.5 i klikamy 'Add'):

3.4.2. Wartość rozmiaru siatki w okolicy zadanych punktów można później zmieniać za pomocą opcji [**Mesh** → **Define** → **Size at points**]

Uwaga: punkty tworzone są kolejno na brzegu obszaru w kierunku odwrotnym do ruchu wskazówek zegara (w innym przypadku program ModFEM nie będzie mógł korzystać z utworzonych siatek)

x	y	z
0.0	0.0	0.0
2.0	0.0	0.0
2.0	2.0	0.0
1.0	2.0	0.0
1.0	1.0	0.0
0.0	1.0	0.0

Należy pamiętać o zakończeniu wprowadzania punktów poprzez wciśnięcie klawisza 'q' z kursorem w oknie wizualizacji

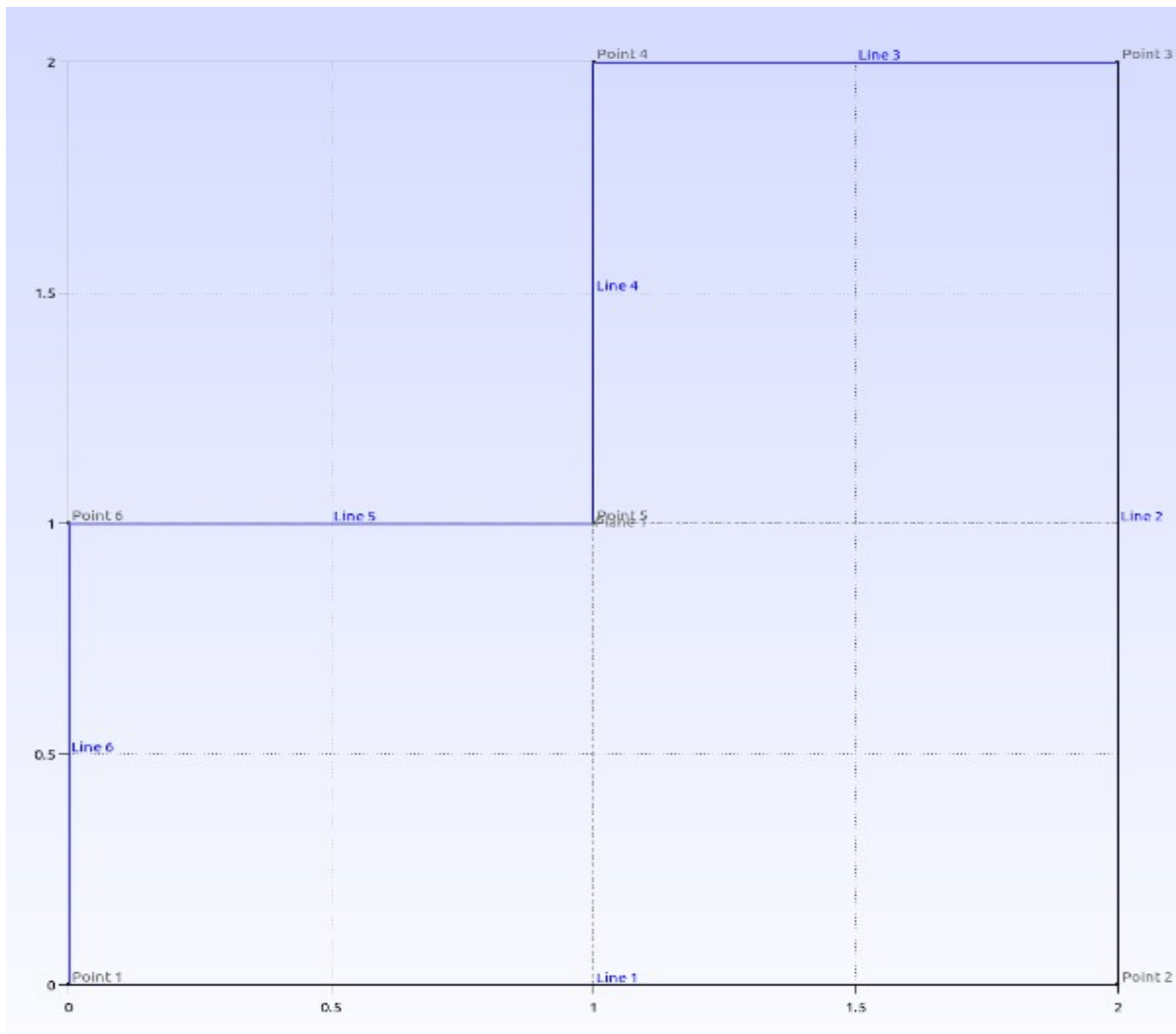
3.4.3. Proszę utworzyć krawędzie obiektu, dodając linie łączące [**Geometry** → **Elementary entities** → **Add** → **Line**], aby to zrobić należy kliknąć dwa punkty (zostaną podświetlone na czerwono) i nacisnąć klawisz 'e', procedurę należy powtórzyć aż powstanie zamknięta figura

Uwaga: krawędzie tworzone są kolejno na brzegu obszaru w kierunku odwrotnym do ruchu wskazówek zegara (w innym przypadku program ModFEM nie będzie mógł korzystać z utworzonych siatek)

Należy pamiętać o zakończeniu wprowadzania punktów poprzez wciśnięcie klawisza 'q' z kursorem w oknie wizualizacji

3.4.4. Następnym etapem jest tworzenie ścian [**Geometry** → **Elementary entities** → **Add** → **Plane surface**], w tym celu należy zaznaczyć figurę (klikając w dowolny wierzchołek, lub krawędź) i gdy figura zostanie podświetlona nacisnąć klawisz 'e' (i następnie 'q' w celu zakończenia etapu)

3.4.5. Po wykonaniu poleceń powinien powstać poniższy obiekt:



Uwaga: zaznaczone na rysunku numery boków (Line 1, Line 2, itd.) są wykorzystywane w programie ModFEM jako numery warunków brzegowych (które zostaną przypisane ścianom, po transformacji do siatki 3D)

3.5. Uzyskany obiekt proszę zapisać w katalogu roboczym, np. jako "L_shape_2D.geo", korzystając z opcji [File → Rename] lub kopiując domyślny plik "untitled.geo" (domyślny plik jest tworzony w momencie uruchamiania programu) – chcąc zapisać także opcje (np. **Visibility**) należy zapisać je korzystając z [File → Save Model Options]

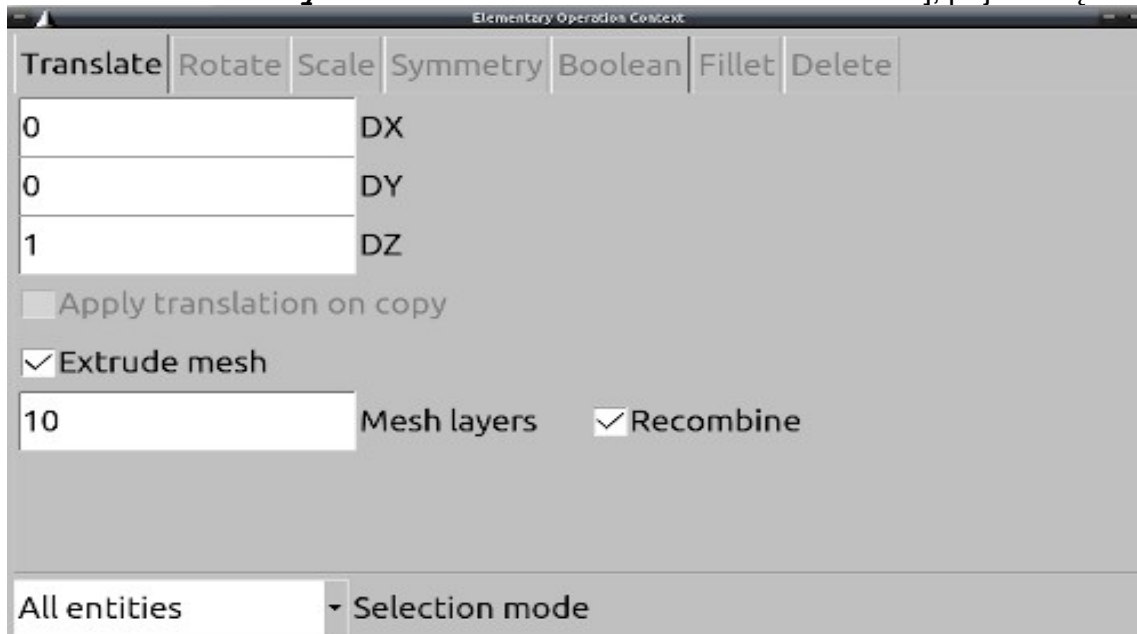
(uwaga każde użycie [File → Rename] przepisuje pliki w katalogu – stworzony model geometrii, który chce się zachować (np. do późniejszych modyfikacji) należy przepisać do innego pliku)



3.5.1. Proszę wyjść z programu, a następnie skopiować pliki L_shape_2D.geo i L_shape_2D.geo.opt do: L_shape_3D.geo i L_shape_3D.geo.opt

3.5.2. Tworzenie obiektu 3D: należy otworzyć program podając nazwę pliku z geometrią jako argument

```
gmsht L_shape_3D.geo
```

- 3.5.3. W skopiowanym pliku znajduje się obiekt 2D. Na tym etapie należy przejść do tworzenia obiektu 3D, wybieramy narzędzie [**Geometry** → **Elementary entities** → **Extrude** → **Translate**], pojawi się okno:



- W oknie zaznaczamy opcję '**Extrude mesh**', ustalamy liczbę warstw '**Mesh layer**' na liczbę z przedziału 3-5, zaznaczamy opcję '**Recombine**'. Następnie wychodzimy poza okno konfiguracji oraz klikamy na jedną z przerywanych szarych kresek na utworzonej wcześniej figurze (powinna zaznaczyć się na czerwono) – figura ta będzie stanowić podstawę obiektu 3D. Na koniec wciskamy klawisz '**e**' (i klawisz '**q**').
- 3.5.4. Aby obejrzeć efekt pracy, w dolnym lewym rogu okna programu należy kliknąć ikonę - zostanie aktywowany  swobodny obrót.
- 3.5.5. Dla uzyskanego obiektu 3D  można utworzyć siatkę poprzez opcję: [**Mesh** → **3D**]
- 3.5.6. Aby zapisać wynik pracy w formacie NASTRAN proszę wybrać [**File** → **Export**], a następnie w oknie **Format**: [**Mesh – Nastran Bulk Data File (*.bdf)**] i zapisać plik (należy nadać nazwę pliku np. **L_shape_3D_prism.nas** oraz pozostawić opcje '**Small field**' i '**Elementary entity**')
- 3.5.7. Uzyskana siatka jest siatką złożoną z elementów pryzmatycznych (obiekty CPENTA w pliku siatki) – w efekcie użycia opcji '**Extrude mesh**'
- 3.5.8. W celu uzyskania siatki czworościennej należy powtórzyć kroki 3.5.2-3.5.4, ale bez zaznaczania opcji '**Extrude mesh**'
- 3.5.9. Uzyskaną siatkę można zapisać tym razem w pliku np. **L_shape_3D_tetra.nas** .

- 3.6. Wykorzystując opis tworzenia siatki proszę wykonać następujące polecenia:

- 3.6.1. **Utworzyć jeden z czterech obszarów obliczeniowych typu A**, zgodnie z rysunkami w plikach **siatka_Ax.png** na stronie przedmiotu (zasady wyboru obszarów oraz ich wymiary podaje prowadzący):
- 3.6.2. **Utworzyć obszar obliczeniowy typu B** zgodnie z rysunkiem w pliku **siatka_B.png** na stronie przedmiotu

- 3.6.3. Geometria obszarów powinna zostać zapisana w odpowiednich plikach *.geo (np. A2.geo, B.geo)
- 3.6.4. Dokonać podziału obszarów na elementy trójkątne (**liczba elementów nie powinna przekraczać 100**) poprzez wybór opcji : [**Mesh** → **2D**] (rozmiarem siatki w punkcie, a więc liczbą elementów można sterować poprzez ustalenie: parametru [**Mesh** → **Define** → **Size at points**] przy wstawianiu punktów lub parametru [**Mesh** → **Define** → **Size at points**] (w połączeniu z wyklikaniem wszystkich punktów) bezpośrednio przed tworzeniem siatki).
- 3.6.5. Efekt pracy zapisać w formacie NASTRAN-a. Zastosować tę samą procedurę co dla siatek 3D ([**File** → **Export**], a następnie w oknie: **Format**: [**Mesh - Nastran Bulk Data File (*.bdf)**], po czym nadać nazwę pliku oraz pozostawić opcje 'Small field' i 'Elementary entity')
- 3.6.6. Nazwa pliku powinna być utworzona w następującej konwencji **nazwisko_imie_An_x_y.nas** - z następującymi oznaczeniami:
- n - numer siatki
 - x - rozmiar "oczka" siatki w kierunku osi x
 - y - rozmiar "oczka" siatki w kierunku osi y
 - (parametry każdej osobie przydziela prowadzący)
- 3.6.7. W pliku ...nas powinny znajdować się obiekty:

- GRID - kolejne punkty i ich współrzędne
- CBAR - kolejne krawędzie **zewnątrzne** elementów siatki (tylko krawędzie elementów odpowiadające krawędziom zewnętrznym zadanego obszaru)
 - trzecia kolumna podaje, której krawędzi obszaru geometrycznego odpowiada krawędź siatki z elementami - jak widać np. krawędzi obszaru 1 odpowiadają dwie krawędzie elementowe (7 i 8) - **w efekcie obie te krawędzie elementowe będą miały numer warunku brzegowego 1**
- CTRIA3 - trójkąty siatki

Przykładowa zawartość pliku siatki:

```
$ Created by Gmsh
GRID 1 0 0.00E+000.00E+000.00E+00
GRID 2 0 2.00000000.00E+000.00E+00
....
GRID 10 0 0.50000000.50000000.00E+00
GRID 11 0 1.50000000.50000000.00E+00
CBAR 7 1 1 7 0. 0. 0.
CBAR 8 1 7 2 0. 0. 0.
....
CBAR 13 5 5 6 0. 0. 0.
CBAR 14 6 6 1 0. 0. 0.
CTRIA3 15 1 7 2 11
CTRIA3 16 1 8 3 9
...
CTRIA3 25 1 1 7 10
CTRIA3 26 1 2 8 11
ENDDATA
```

4. Podsumowanie realizacji zadań (poniższa tabelka ma znaleźć się w sprawozdaniu bezpośrednio po wnioskach, a przed załącznikami - numeracja punktów realizacji kolejnych kroków laboratorium i załączników ma odpowiadać numeracji poniższych zadań)

Zadanie (skrótowy opis)	OCENA własna w % (0-100)	OCENA prowadzącego w % (0-100)
Zad. 3.5 a – utworzenie geometrii 3D obszaru obliczeniowego		
Zad. 3.5 b – utworzenie prostej siatki 3D z elementami pryzmatycznymi		
Zad. 3.5 c – utworzenie prostej siatki 3D z elementami czworosiecznymi		
Zad. 3.6 a – utworzenie siatki 2D, z grupy A, wybrana siatka:		
Zad. 3.6 b – utworzenie siatki 2D, obiekt B		
ŁĄCZNIE (500):		
OCENA KOŃCOWA:	----- -----	

Sprawozdanie powinno zawierać krótki opis wykonywanych kroków i programu 'Gmsh'. W sprawozdaniu powinna znajdować się wizualizacja utworzonych siatek (zrzuty ekranu z programu Gmsh). Utworzone pliki siatek (*.nas) powinny znaleźć się w katalogu laboratorium na serwerze Honorata (nie powinny być dołączane do sprawozdania – w przypadku pracy lokalnej należy je na zakończenie skopiować do katalogu roboczego na serwerze Honorata) .

5. Materiały pomocnicze:

- 5.1. <http://gmsh.info/>
- 5.2. <https://www.youtube.com/watch?v=xL2LmDsDLYw> (Gmsh kurs wideo)
- 5.3. https://openfoamwiki.net/index.php/2D_Mesh_Tutorial_using_GMSH
- 5.4. https://docs.plm.automation.siemens.com/data_services/resources/nxnastran/10/help/en_US/tDocExt/pdf/User.pdf (format NASTRAN)