

### 1. Wstęp

Celem zajęć jest zapoznanie z tworzeniem siatek z wykorzystaniem programu „Gmsh”. Program ten jest rozwijanym 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 przestać 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]

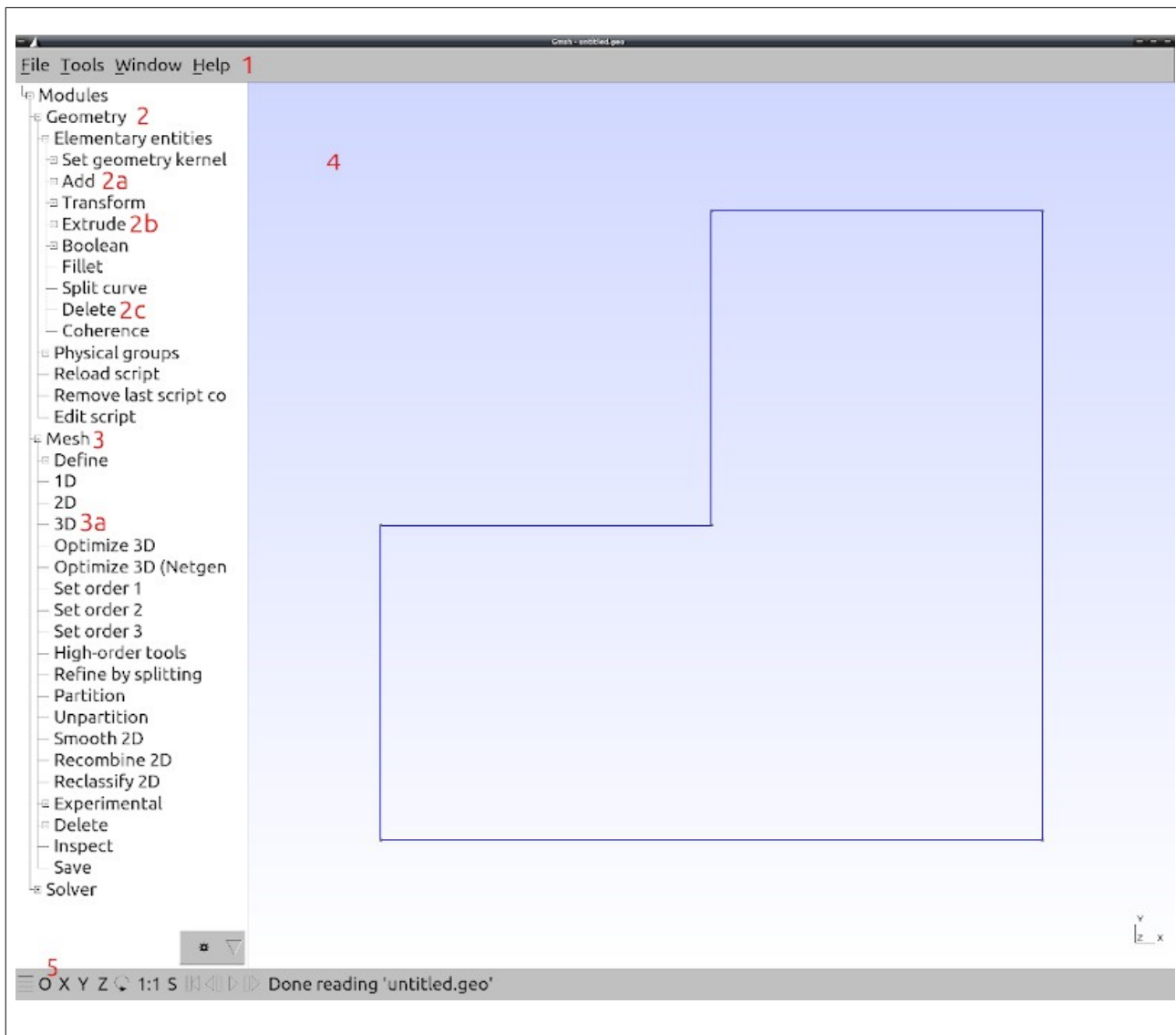
- 2.1. Proszę utworzyć katalog roboczy dla laboratorium np. **lab\_02**
- 2.2. Proszę pobrać plik z skompresowanym kodem **gmsh**, rozpakować i np. przekopiować do katalogu **lab\_02** plik binarny **gmsh** z katalogu **gmsh-4.4.1-Linux64/bin** (można także przekopiować udostępnioną dokumentację)

### 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**

- 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

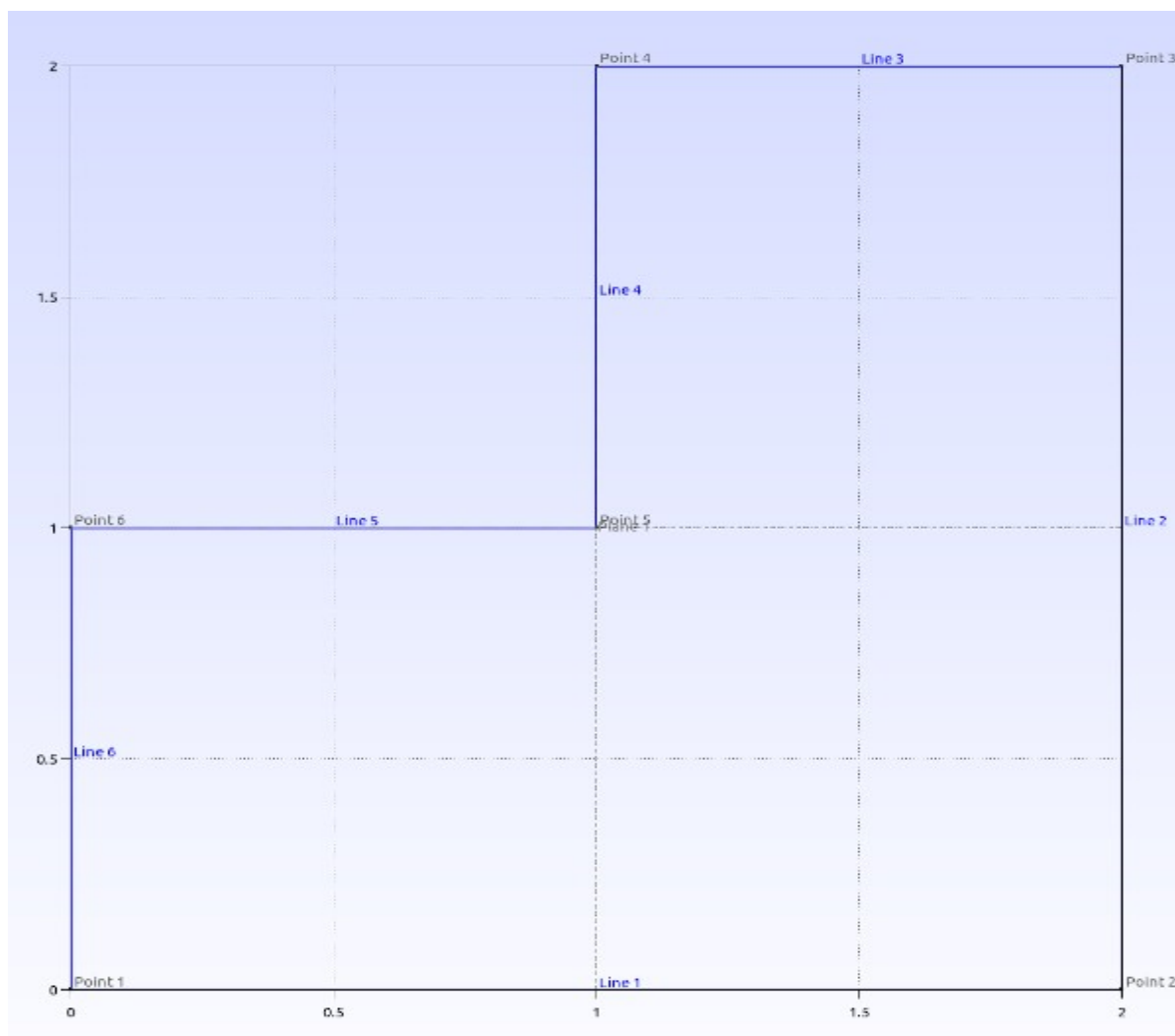
- 3.4.3. Proszę utworzyć krawędzie obiektu, dodając linie łączące [ **Geometry → Elementary entities → Add → Line** ], aby to zrobić należy kliknąć dwa punkty (zostaną podświetlone na czerwono) i nacisnąć klawisz '**e**', procedurę należy powtórzyć aż powstanie zamknięta figura

**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 ]

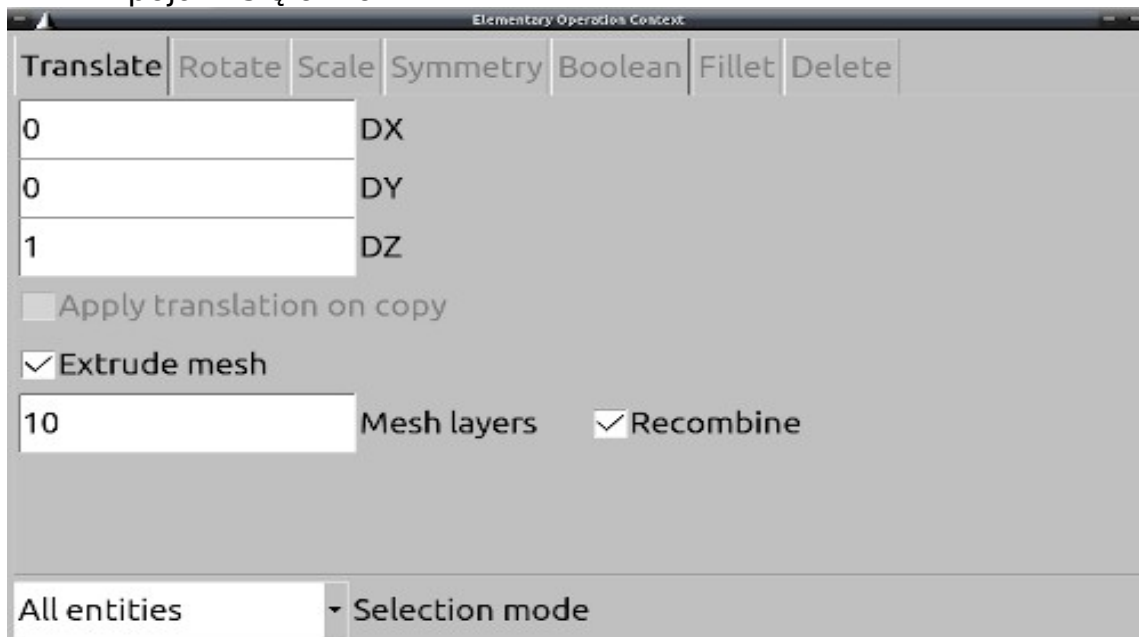
(uwaga każde użycie [ File → Rename ] przepisuje pliki w katalogu – stworzony model geometrii, który chce się zachować (np. do późniejszych modyfikacji) należy przepisać do innego pliku)

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 **zewnętrzne** elementów siatki (tylko krawędzie elementów odpowiadające krawędziom zewnętrznym danego 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<br>własna w %<br>(0-100) | OCENA<br>prowadzącego<br>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:<br>..... |                                |                                      |
| Zad. 3.6 b – utworzenie siatki 2D, obiekt B                            |                                |                                      |
| ŁĄCZNIE (500):                                                         |                                |                                      |
| OCENA KOŃCOWA:                                                         | -----<br>-----                 |                                      |

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](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](https://docs.plm.automation.siemens.com/data_services/resources/nxnastran/10/help/en_US/tdocExt/pdf/User.pdf) (format NASTRAN)