

Projekt OpenFOAM – Symulacje komputerowe procesów spalania

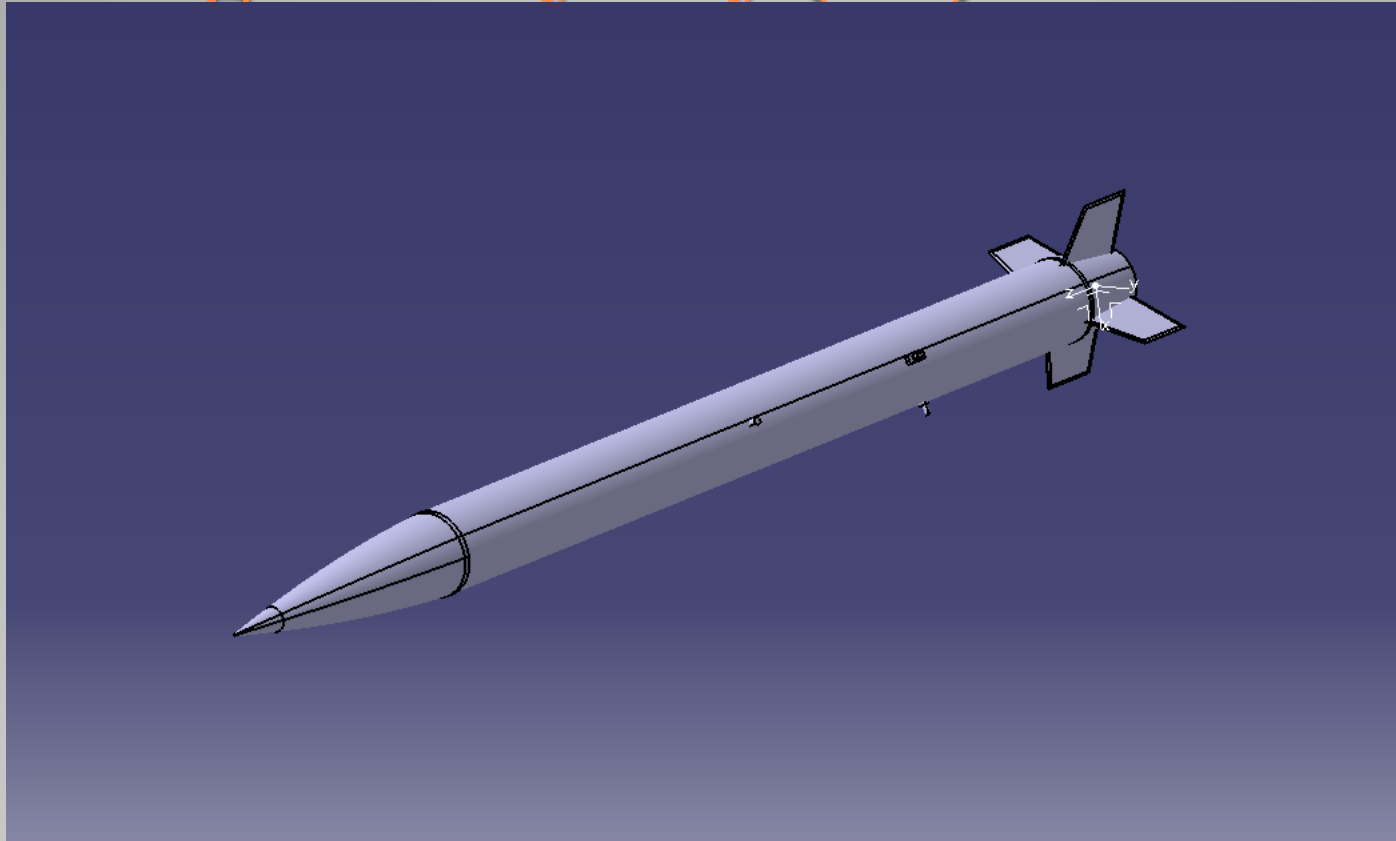
Opływ powietrza wokół rakiety
Studenckiego Koła Astronautycznego
„Twardowski”

Filip Solarczyk,
Nr albumu 302737

- Wyznaczenie rozkładu ciśnień i prędkości wokół rakiety „twardowski” studenckiego koła astronautycznego przy prędkości 0,5Ma
- Obliczenia prowadzone w przekroju 2D uwzględniającym skrzydła w dolnej części
- Różne wersje siatki elementów skończonych wzięte pod uwagę
- Obliczenia prowadzone w 2 solverach OpenFOAM – najprostszy icoFOAM oraz pisoFOAM (uwzględniający model turbulencji)

Cel projektu

Model geometryczny (3D)

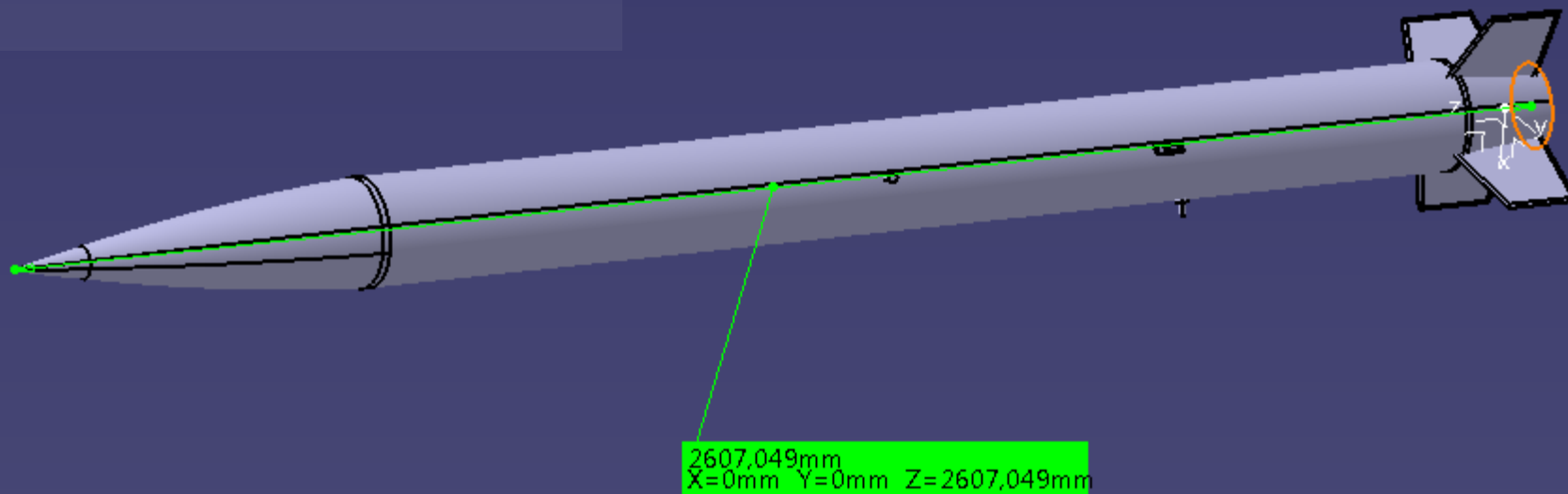
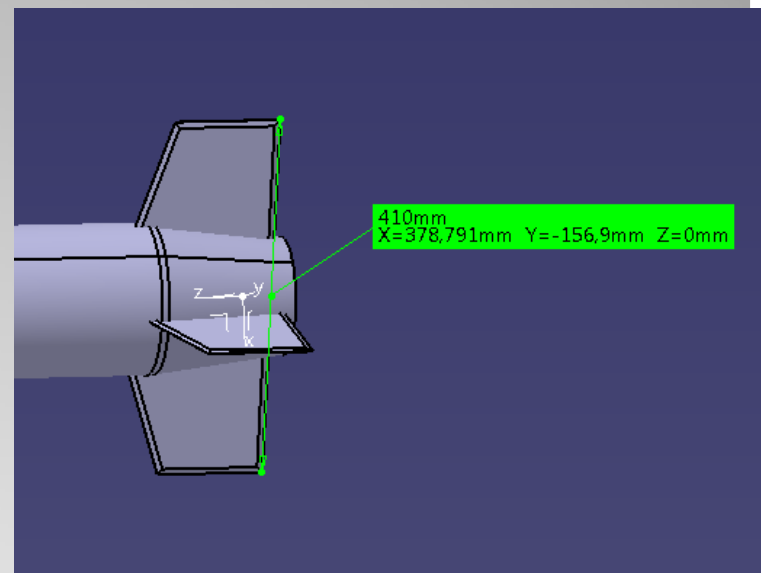
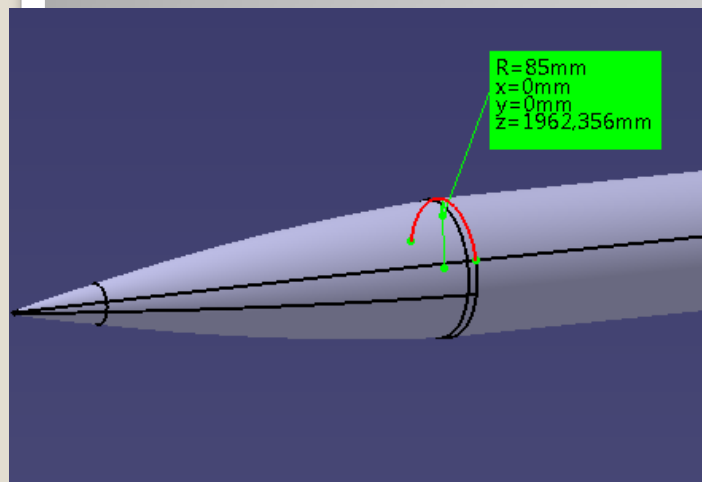


- Model geometryczny rakiety „Twardowski” SKA-PW

Wymiary

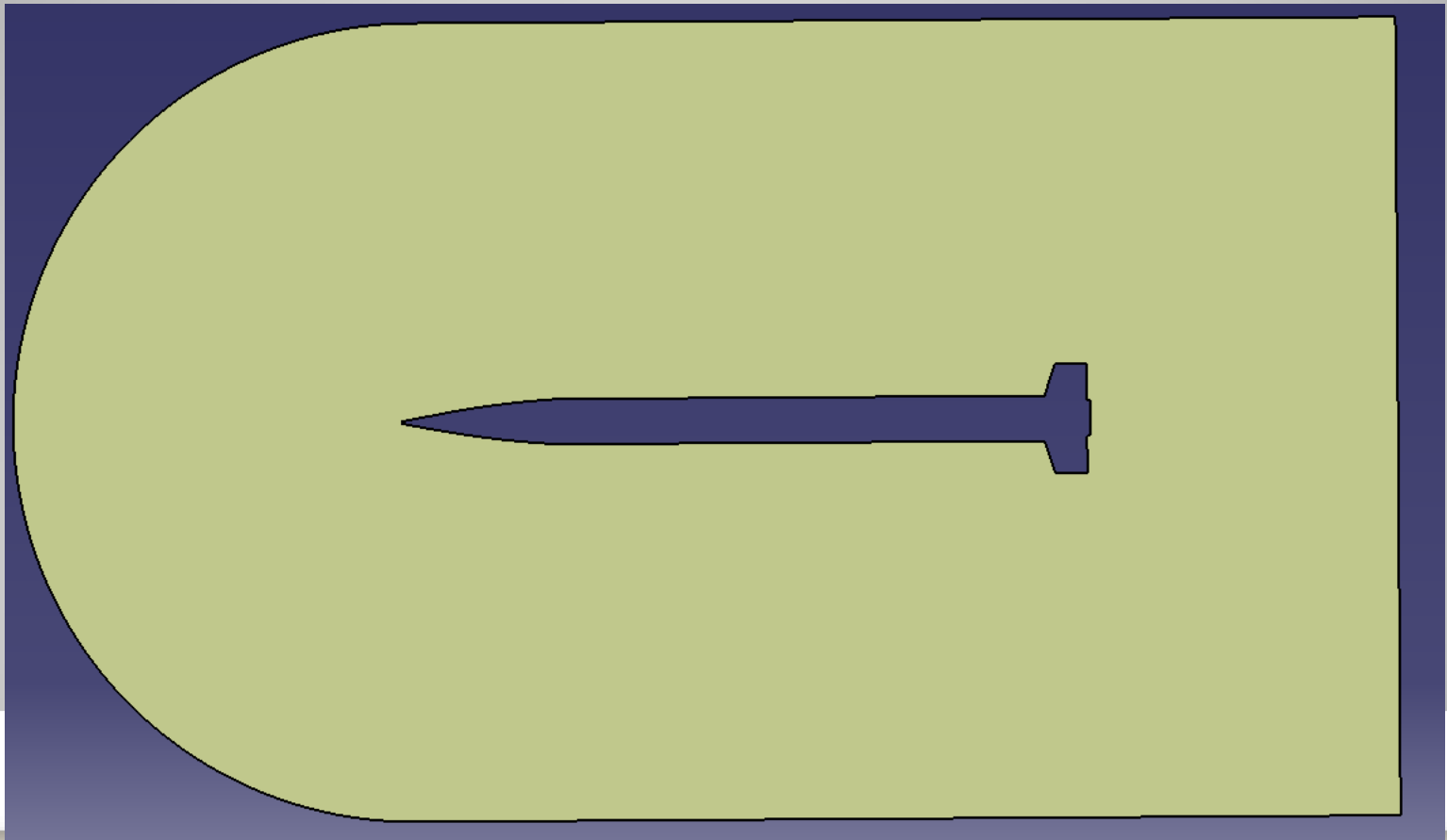
Poniżej przedstawiono ogólne wymiary rakiety:

- 1) długość 2600mm
- 2) średnica rakiety 170 mm
- 3) rozpiętość skrzydeł 410 mm



Model geometryczny (2D)

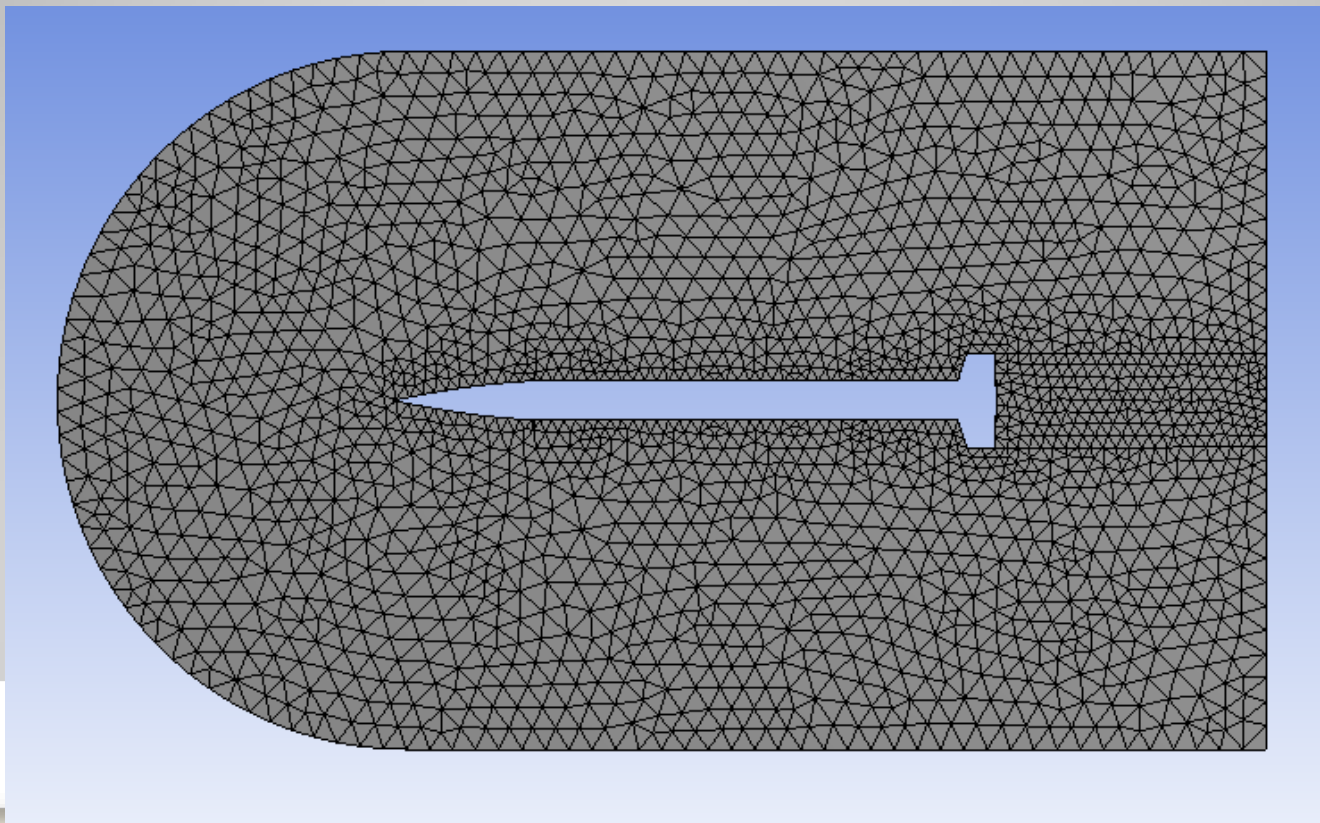
- W celu obliczeń rozkładów prędkości i ciśnień wokół rakiety przygotowano obszar dookoła wstępnej geometrii, wycinając fragment w 2D w przekroju uwzględniającym skrzydła



Siatka elementów skończonych

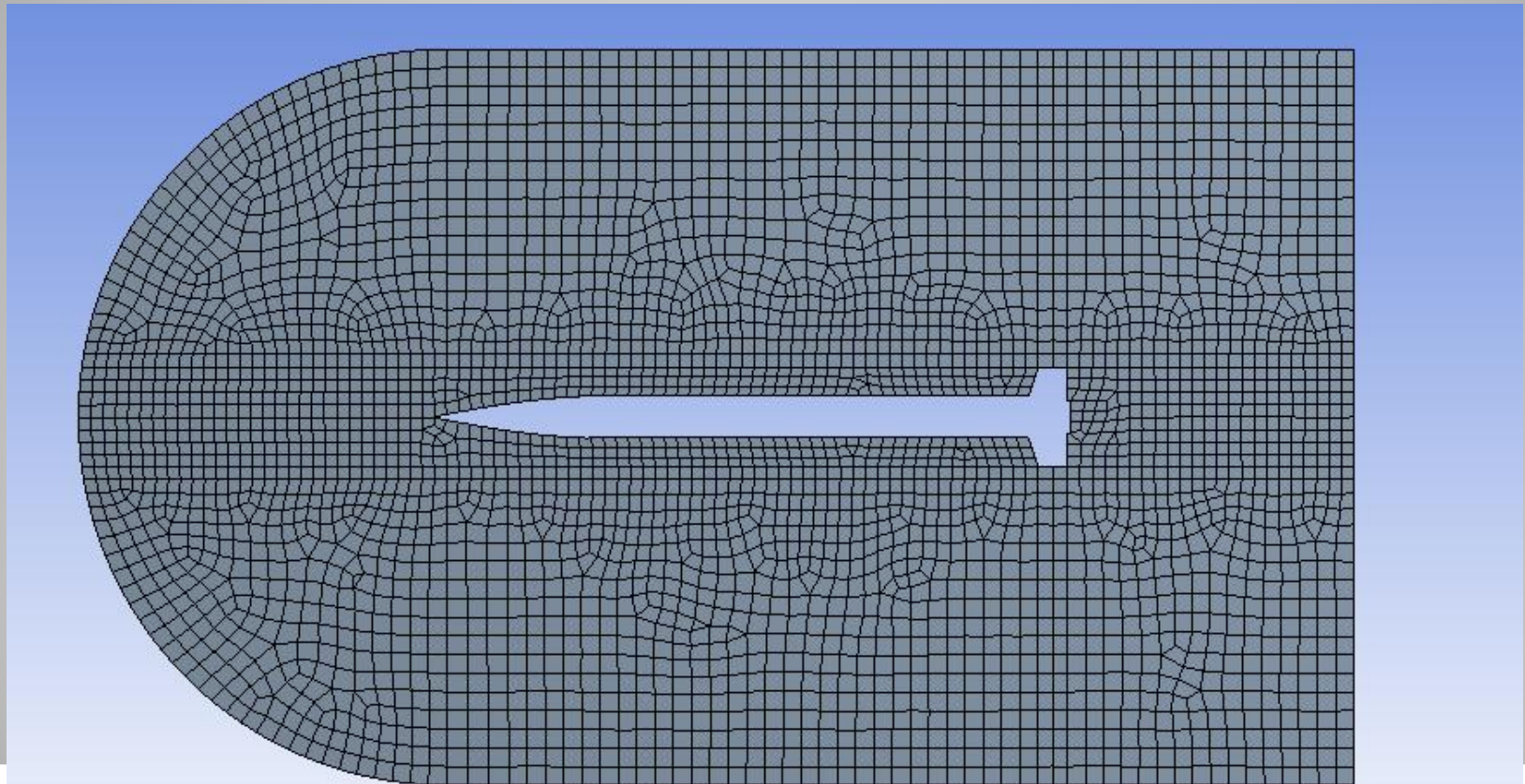
Siatkę przygotowano w programie Ansys w kilku wersjach:

- 1) Elementy typu tria (3-węzłowe)– wersja z trójkątami, rozmiar min. $x=0,05\text{m}$ (wokół ścianki i za skrzydłami), globalnie $0,1\text{m}$; liczba elementów: 3806; nodów: 2042



Siatka elementów skończonych

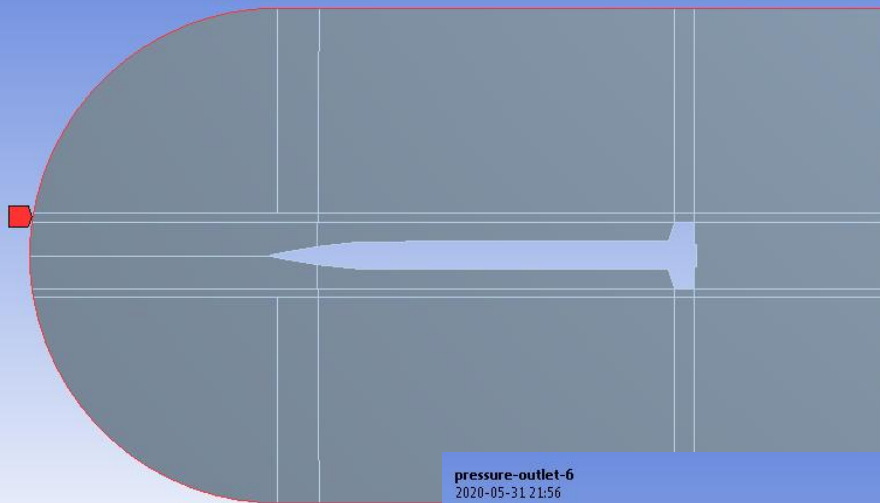
2) Quad– wersja z elementami 4-węzłowymi, rozmiar min. $x=0,05\text{m}$ (na wlocie przed zarysem rakiety oraz wokół ścianki i za skrzydłami), globalnie $0,1\text{m}$; liczba elementów: 3477; nodów: 10747



Warunki brzegowe

velocity-inlet-5
2020-05-31 21:56

velocity-inlet-5

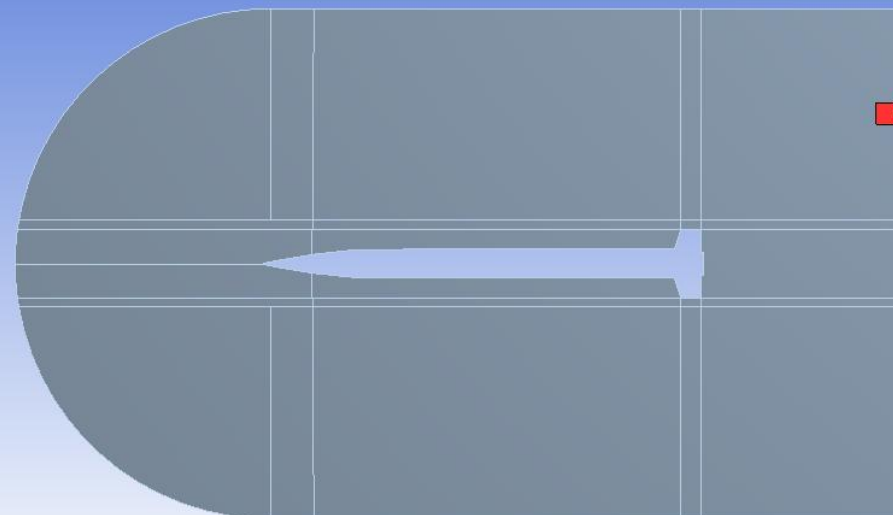


Wlot – obrzeża
geometrii

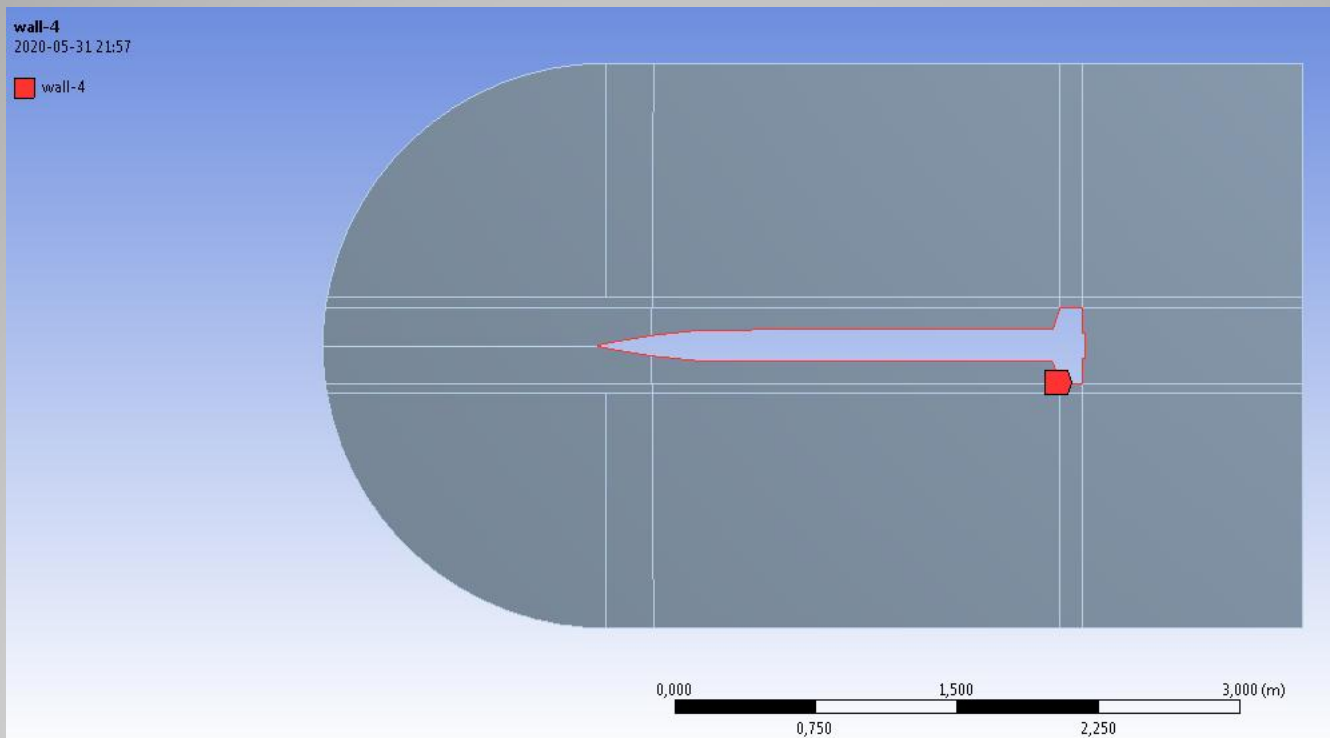
Wylot– tylna ścianka
geometrii

pressure-outlet-6
2020-05-31 21:56

pressure-outlet-6



0,000 0,750 1,500 2,250 3,000 (m)



Ściana (wall) – obrzeża zarysu rakiety

Warunki brzegowe

- Przepływ wokół rakiety odbywa się z prędkością $0,5\text{Ma}$ – zatem jest to przepływ nieściśliwy
- Przepływ jest turbulentny
- Przepływ przejściowy – transient (niestabilny)
- Siatka dość dokładna, prędkość przepływu jest relatywnie duża – małe timestep'y (warunek Couranta między tymi wartościami)
- Solver do obliczeń – pisoFoam (Pressure Implicit with Splitting of Operators, algorytm ciśnieniowych obliczeń iteracyjnych z dzieleniem operatorów)
- <https://www.youtube.com/watch?v=06FFgTzW0Os>

Wybór solvera

Użyty model turbulencji: k - ε (RAS model, Reynolds Averaged Simulation), uwzględniający dodatkowe współczynniki (poza ciśnieniem i prędkością):

- k – kinetyczna energia turbulencji
- ε – turbulentna dyssypacja energii
- η_t – lepkość turbulentna (nut)

Wybór modelu turbulencji

Modelowany jest opływ z prędkością 0,5Ma, wobec tego liczba Reynoldsa:

$$Re = \frac{u \times l}{\nu}$$

Gdzie:

Re - liczba Reynoldsa

u - prędkość przepływu

l - wielkość charakterystyczna zagadnienia

ν - lepkość dynamiczna

Ponieważ:

$u=0,5Ma=170m/s$ (przyjmuję $T=15^{\circ}C$, wysokość npm znacznie mniejsze od 10km)

$l=0,41m$ (rozstaw skrzydeł rakiety)

$\nu = 17,2 \times 10^{-6} Pa \times s = 17,2 \times 10^{-6} kg/(m \times s)$ (wartość dla powietrza)

Zatem:

$$Re = \frac{170 \times 0,41}{17,2 \times 10^{-6}} = 4052325,581 kg \times m/s^2$$

Obliczenia pomocnicze

Obliczenia pomocnicze

Obliczenie wartości k :

$$k = \frac{3}{2} \times (u \times I)^2$$

Gdzie:

k - kinetyczna energia turbulencji

u - prędkość przepływu

I - intensywność turbulencji, zależna od liczby Reynoldsa:

$$I = 0,16 \times Re^{-\frac{1}{8}} = 0,16 \times 4052325,581^{-\frac{1}{8}} = 0,023887$$

Zatem:

$$k = \frac{3}{2} \times (170 \times 0,0239)^2 = 24,734$$

Obliczenie wartości ε :

$$\varepsilon = (0,164 \times k^{1,5}) / (0,07l)$$

Gdzie:

ε - turbulentna dyssypacja energii

k - kinetyczna energia turbulencji

l - wielkość charakterystyczna zagadnienia

Zatem:

$$\varepsilon = \frac{0,164 \times 24,97^{1,5}}{0,07 \times 0,41} = 702,937$$

Wartość współczynnika lepkości η_t wyznaczana jest na podstawie k oraz ε w trakcie obliczeń.

Obliczenia pomocnicze

Dobór wartości kroku czasowego

Warunek Couranta:

$$C = \frac{u\Delta t}{\Delta x} \leq 1$$

Gdzie:

u - prędkość przepływu, $u=170$ m/s

Δx - wielkość siatki, $\Delta x=0,05$ m

Δt - krok czasowy

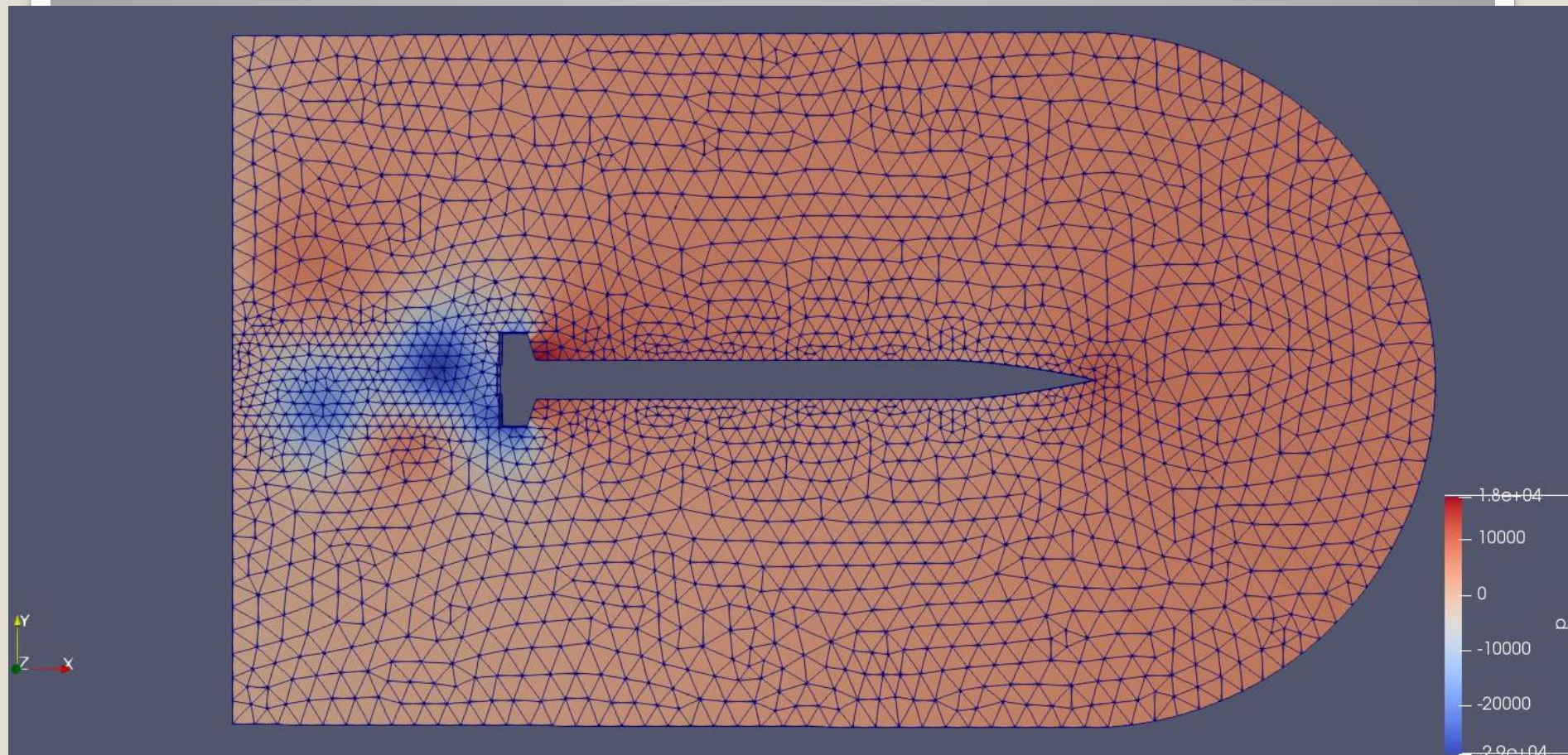
Zatem:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{u} = \frac{0,05}{170} = 0,000294 \text{ [s]}$$

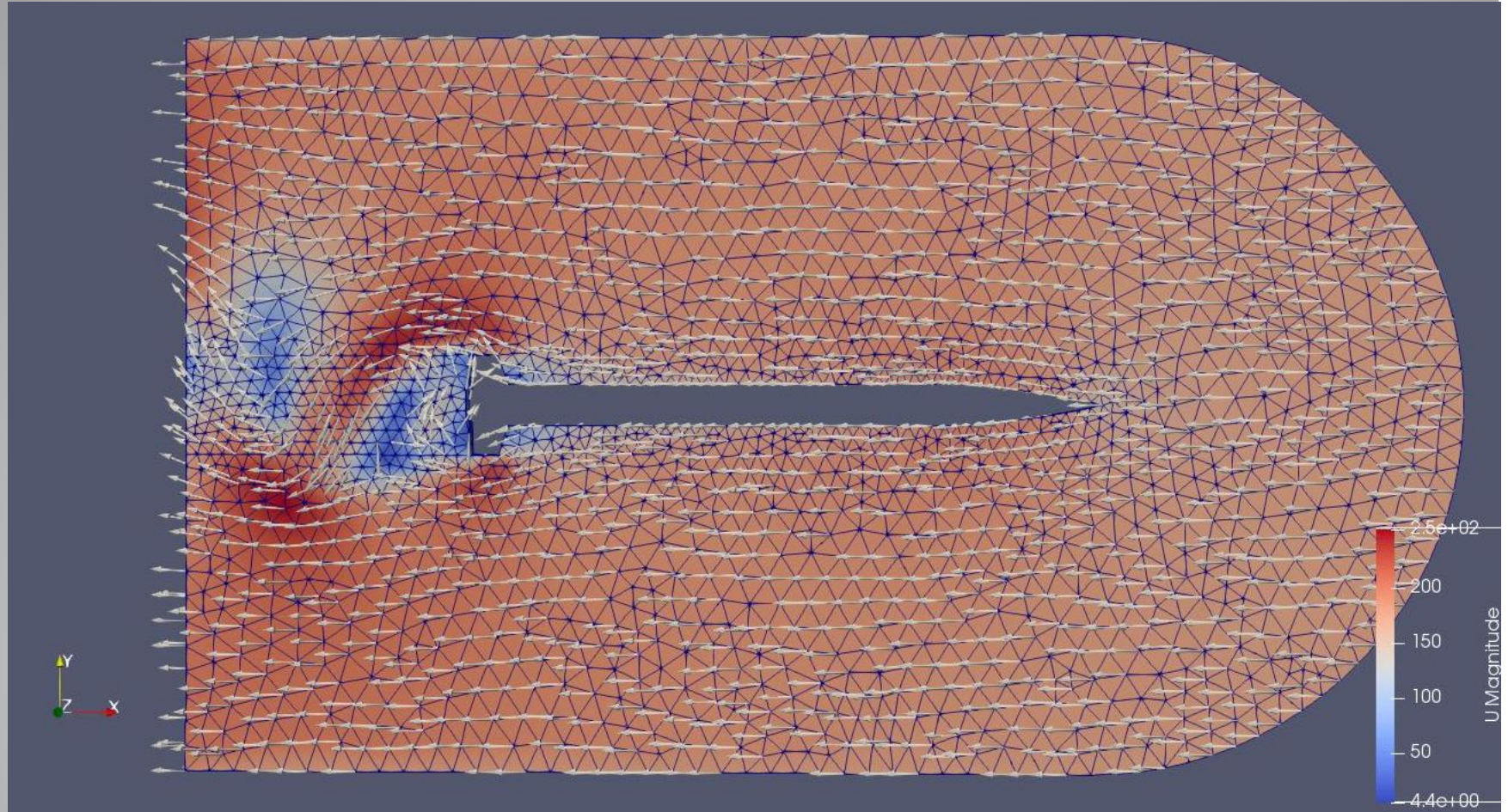
Minimalna wartość $\Delta t=0,000294$; po kilku testowych obliczeniach wartość Δt została ustalona na $0,00002$. Liczba Couranta wynosi w takim wypadku $0,068$.

- Pierwsze obliczenia zostały przeprowadzone z siatką typu tria, w prostym solverze icoFOAM
- Prędkość przepływu została ustalona na 170 m/s
- Czas obliczeń to 5s
- Generacja siatki do openFOAM następuje poprzez komendę fluentMeshToFoam
- Wyniki wyświetlane w programie Paraview

Pierwsze obliczenia



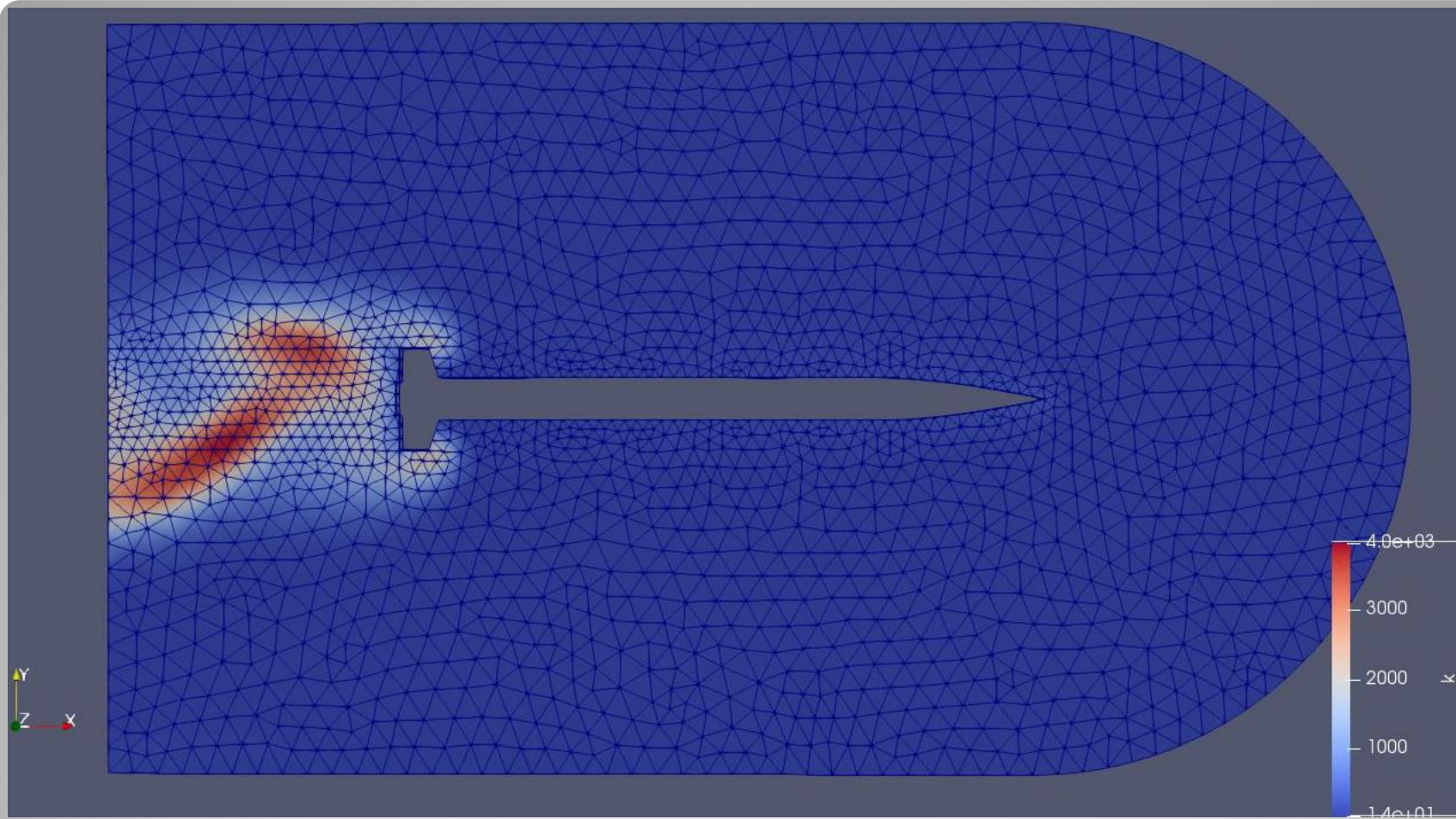
Warstwice ciśnienie - icoFoam



Warstwie prędkości - icoFoam

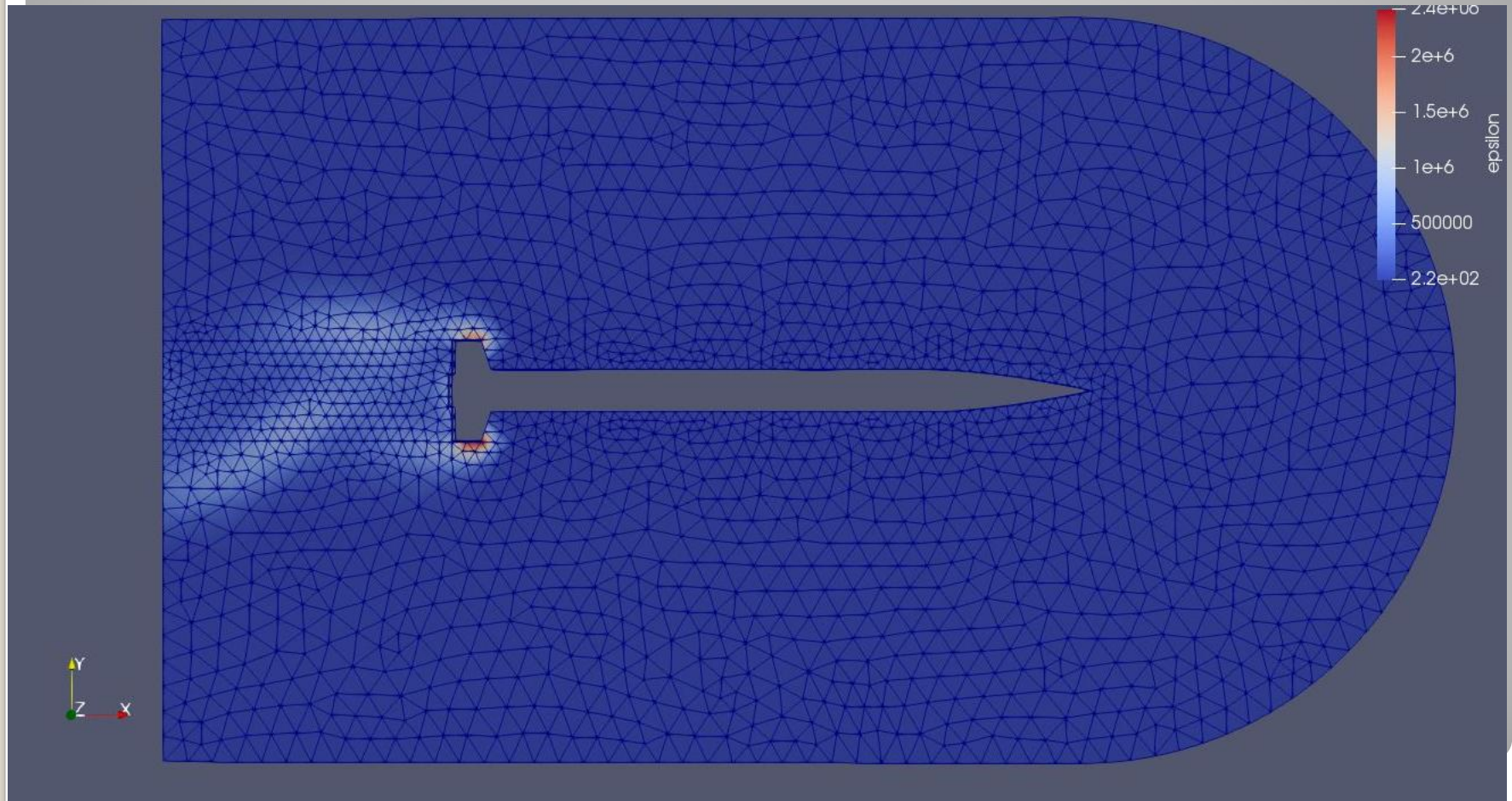
- Dla siatek tria i quad – porównanie wyników
- Wartości wyznaczone w obliczeniach pomocniczych wpisane do plików z folderu „0”
- Dla tria czas obliczeń to 10s, dla quad 30
- Wszystkie pokazane warstwy z czasu 5 sekundy, dla porównania

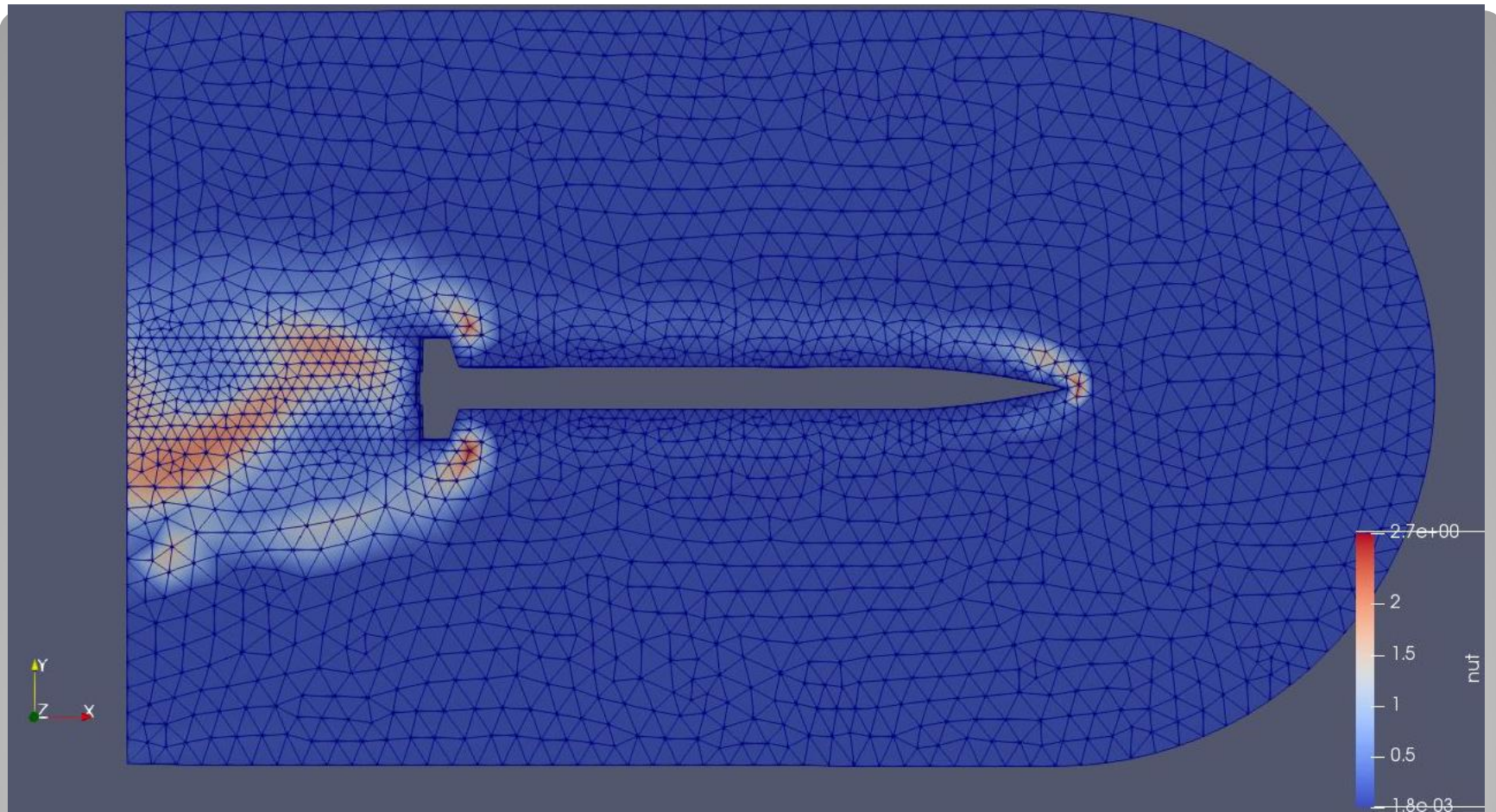
Obliczenia w pisoFoam



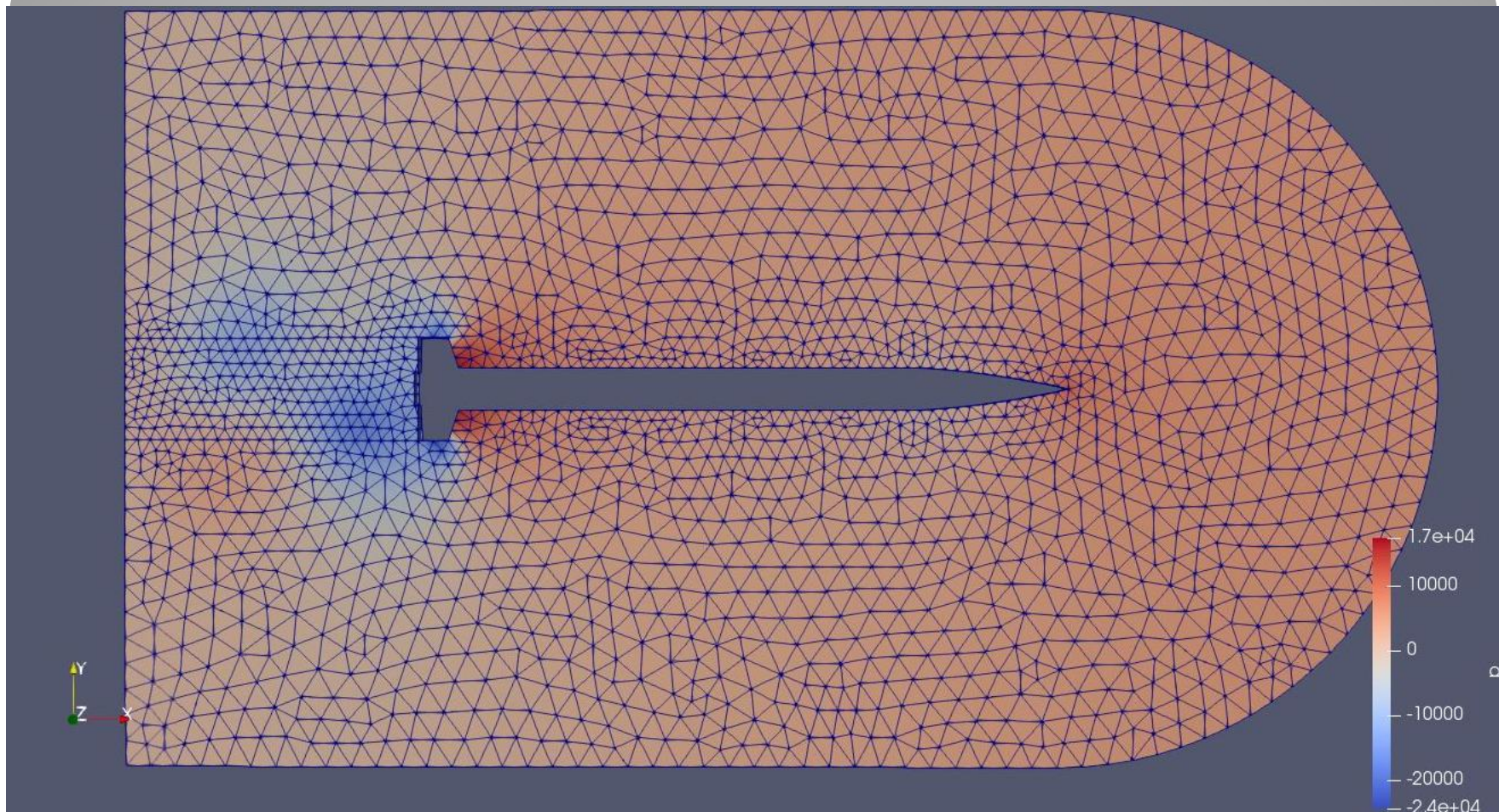
**Warstwice k , energii kinetycznej turbulencji –
pisoFoam, siatka tria**

Warstwice epsilon, turbulentnej dyssypacji energii – pisoFoam, siatka tria

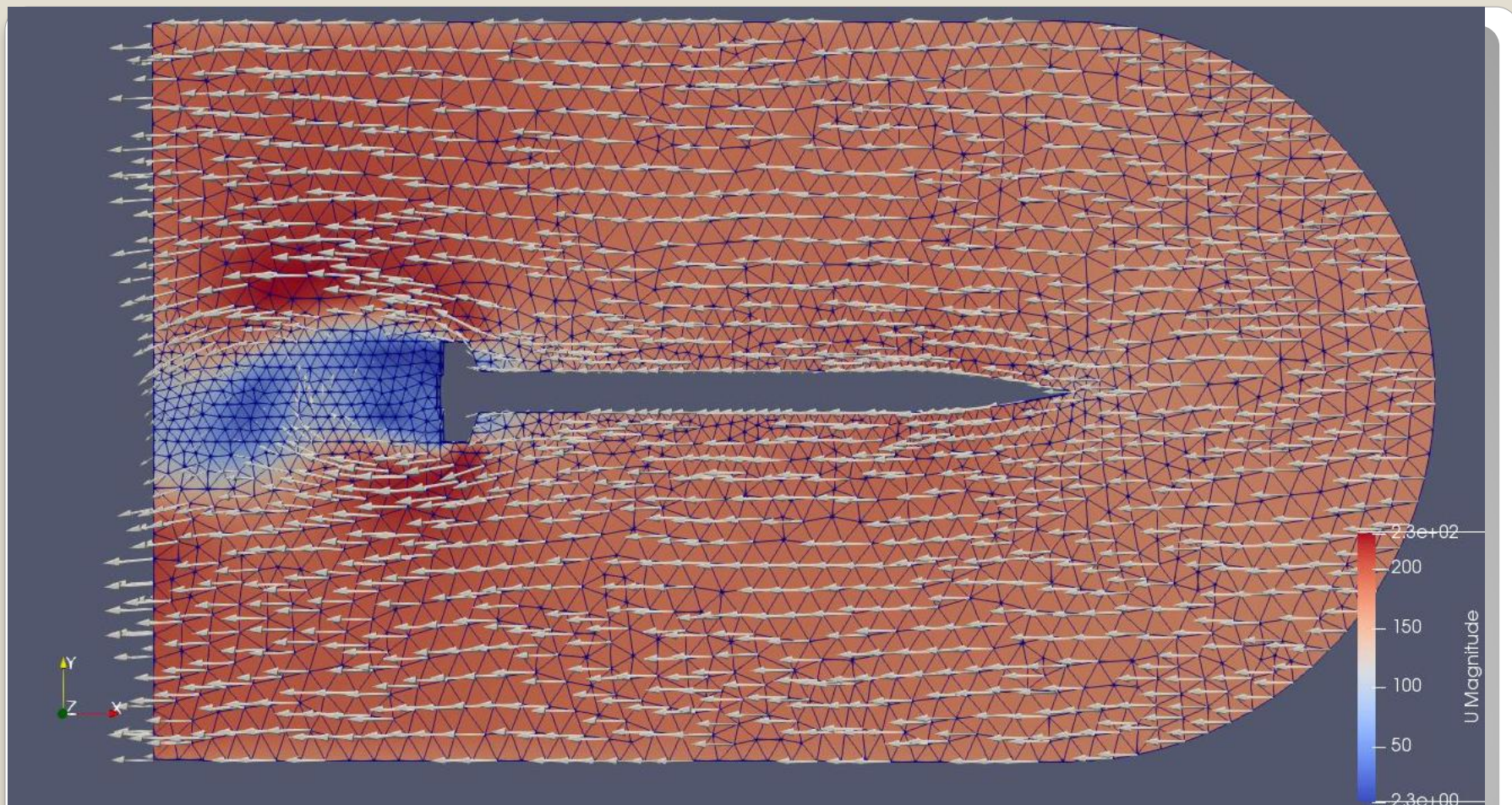




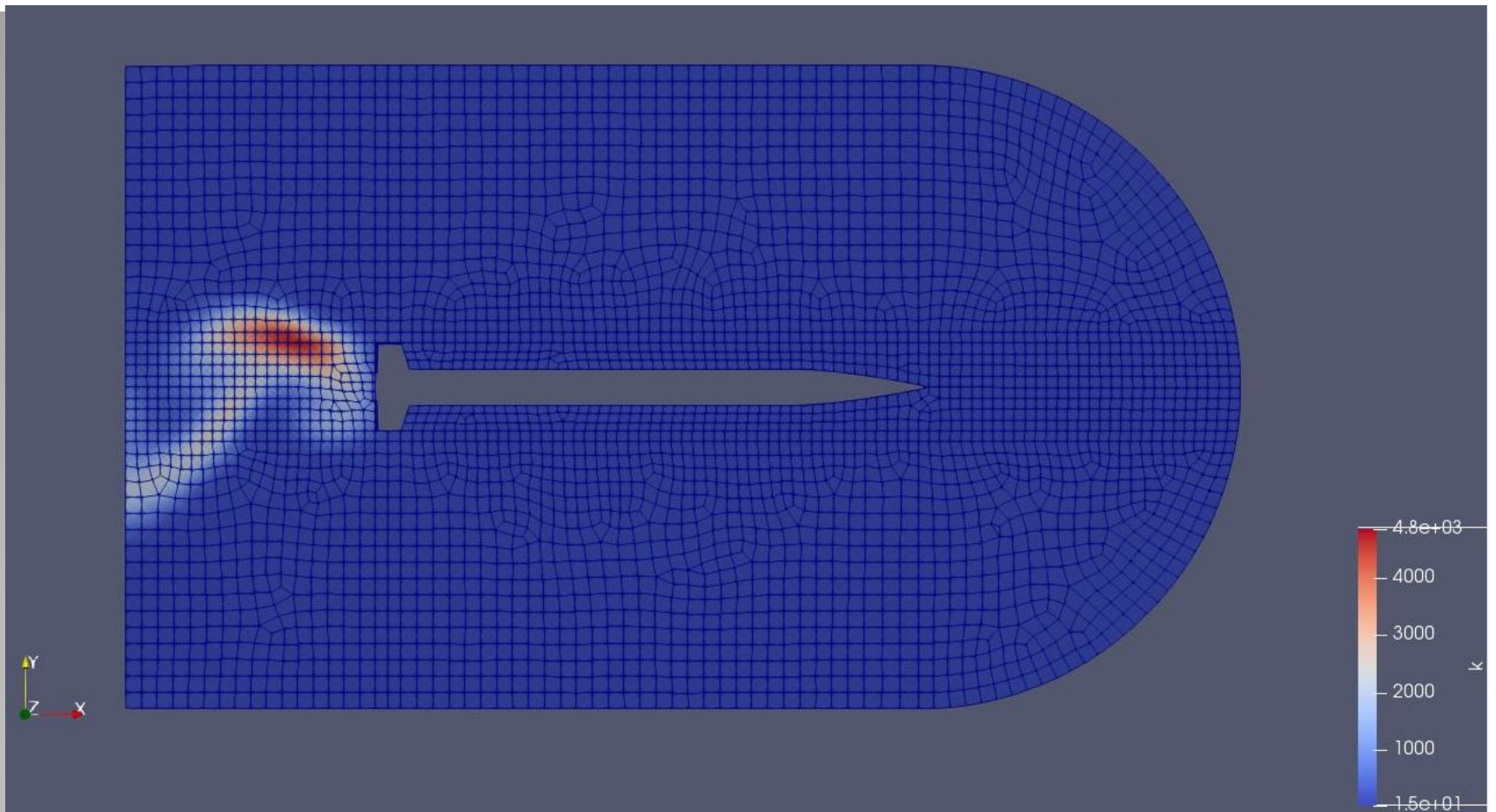
**Warstwie lepkości turbulentnej – pisoFoam,
siatka tria**



Warstwice ciśnienia – pisoFoam, siatka tria

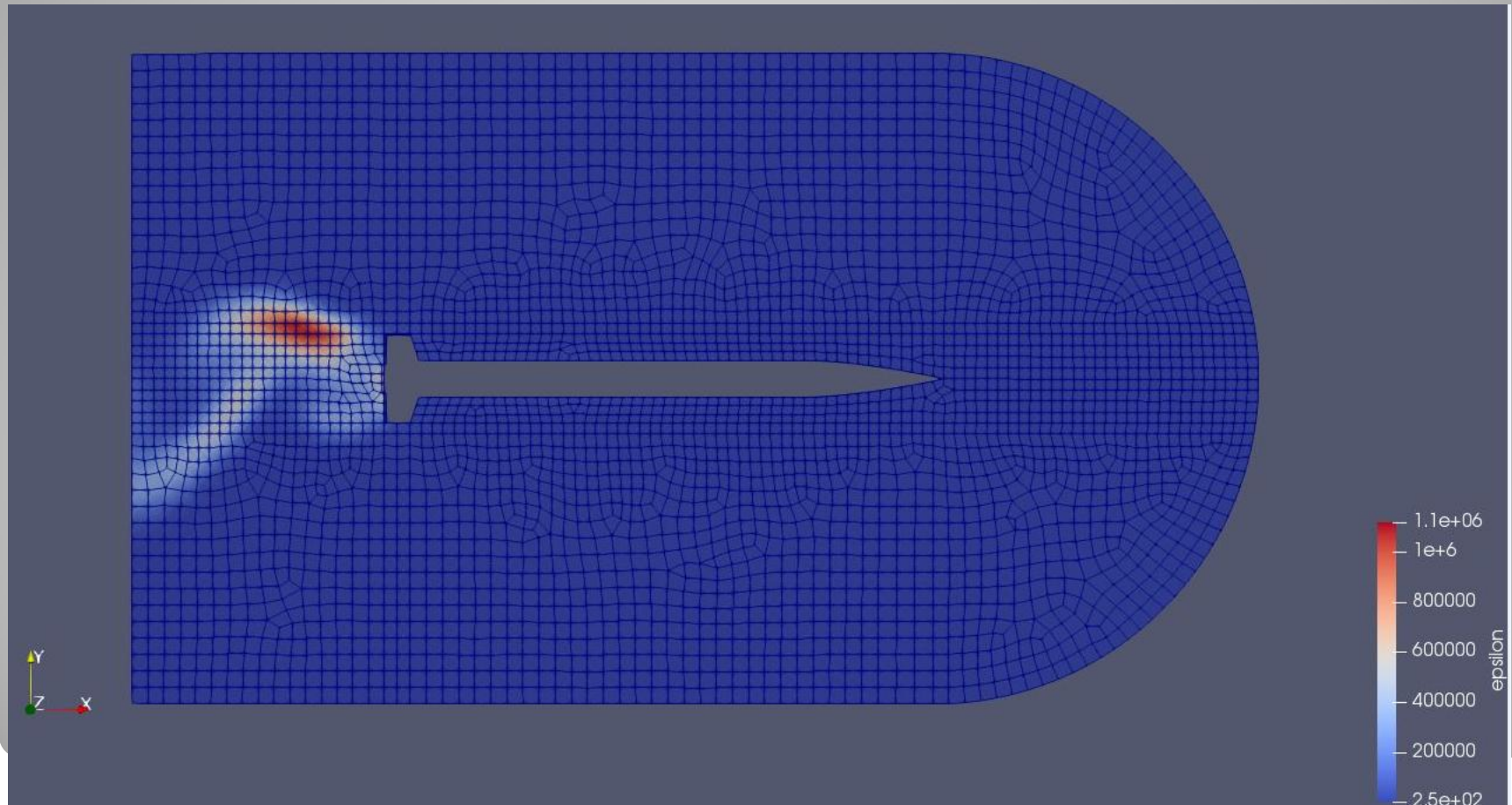


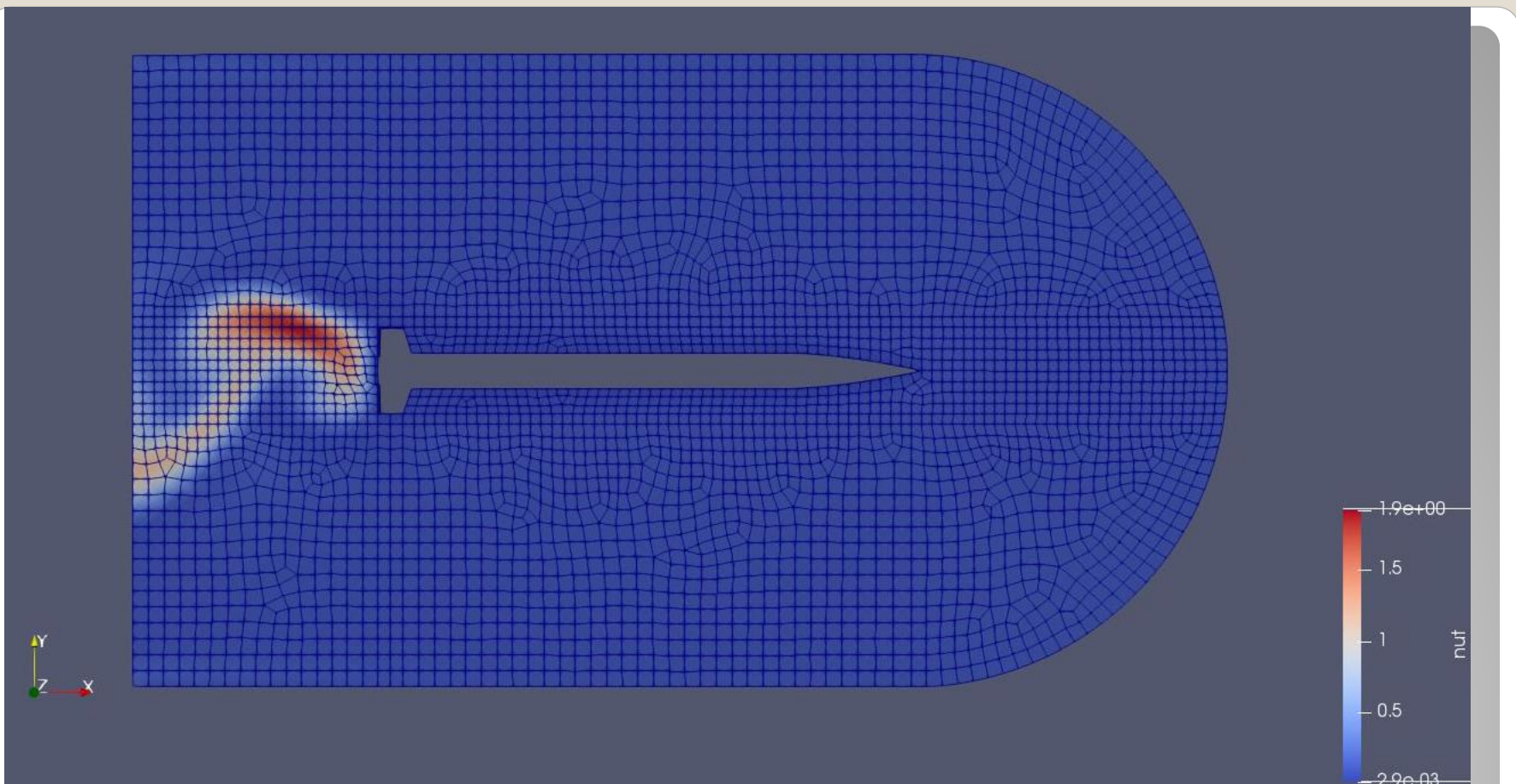
Warstwie prędkości – pisoFoam, siatka tria



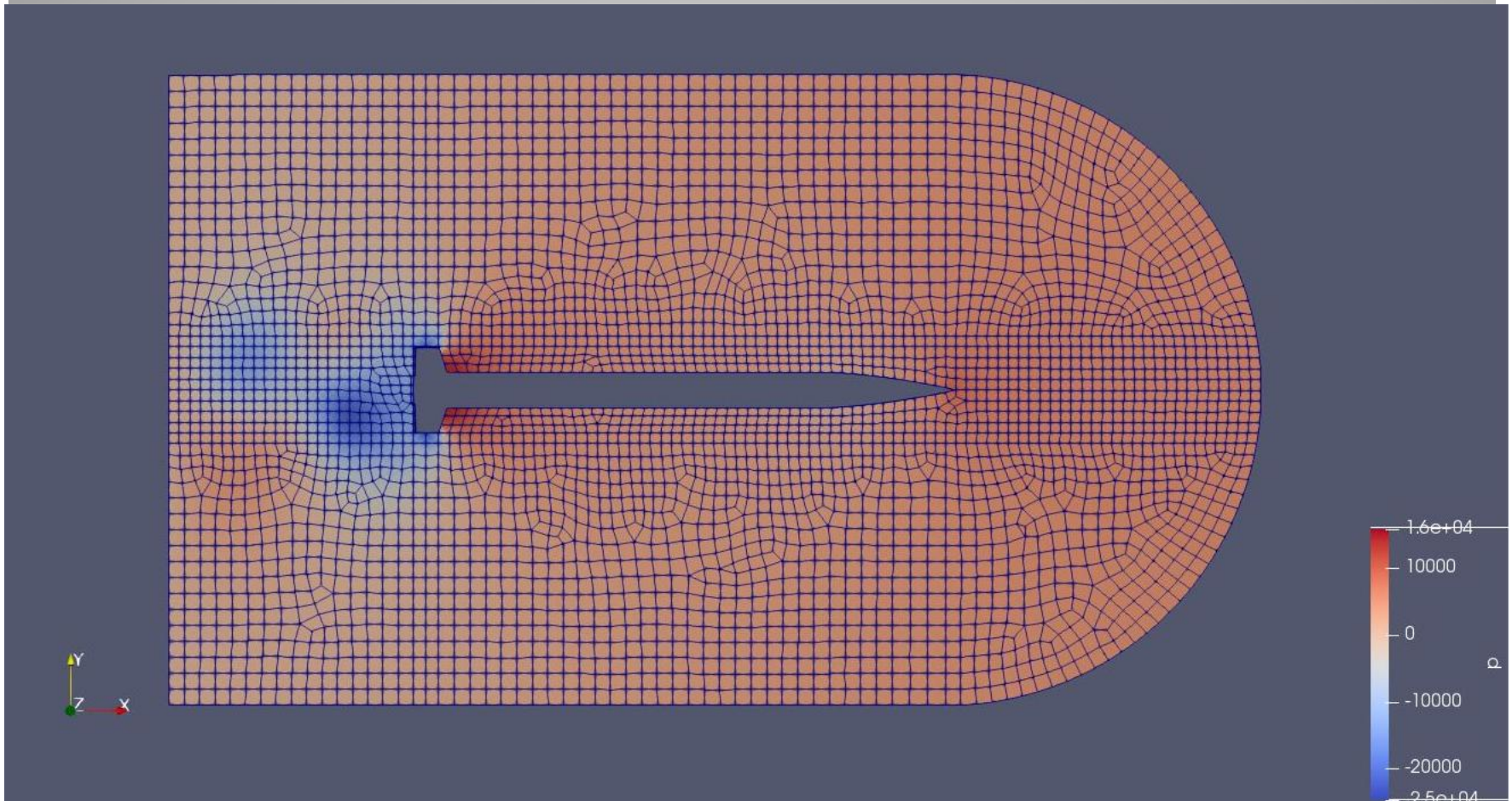
**Warstwie k , energii kinetycznej turbulencji –
pisoFoam, siatka quad**

Warstwie epsilon, turbulentnej dyssypacji energii – pisoFoam, siatka quad

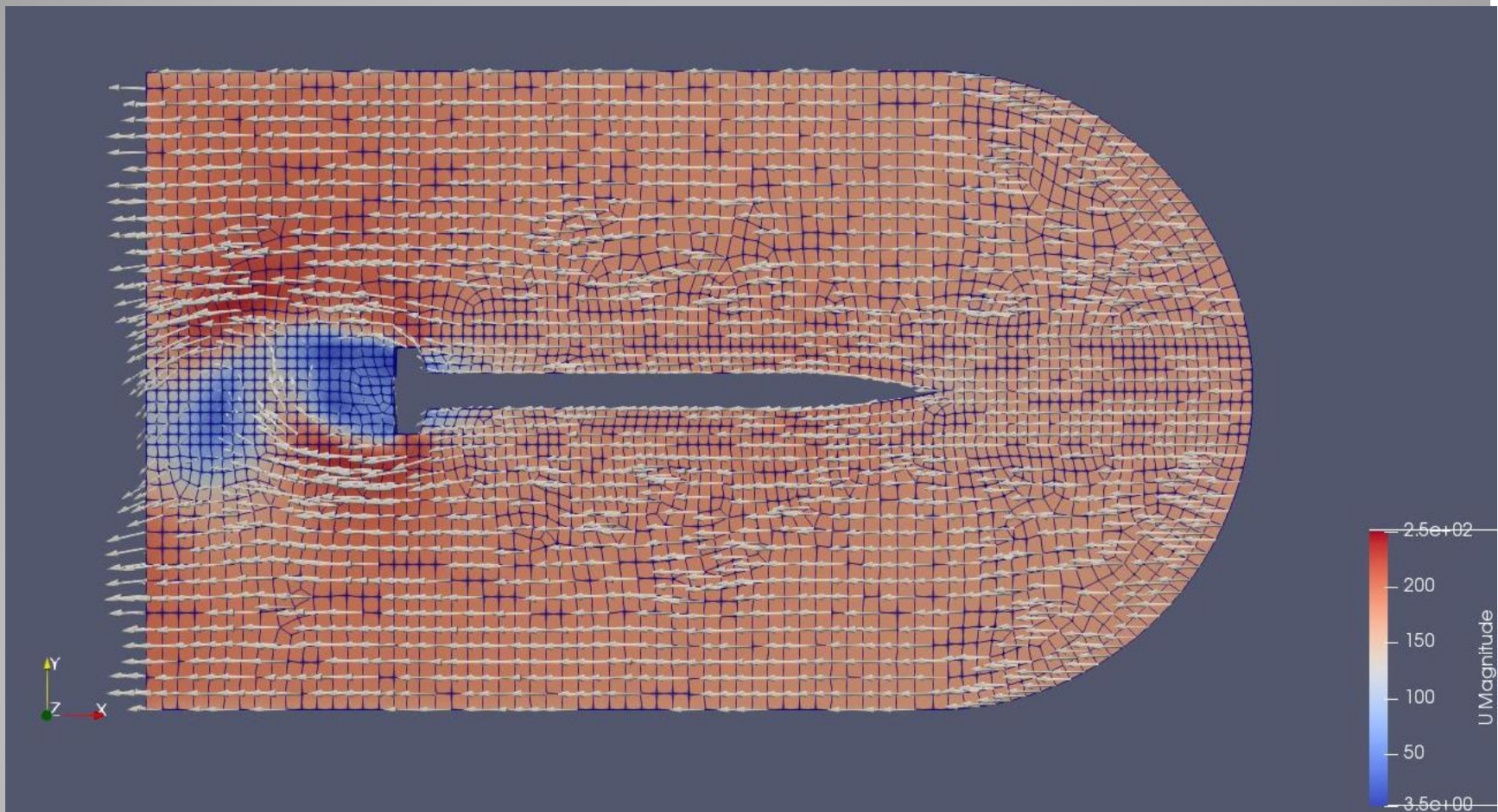




**Warstwie lepkości turbulentnej – pisoFoam,
siatka quad**



Warstwice ciśnienia – pisoFoam, siatka quad



Warstwie prędkości– pisoFoam, siatka quad