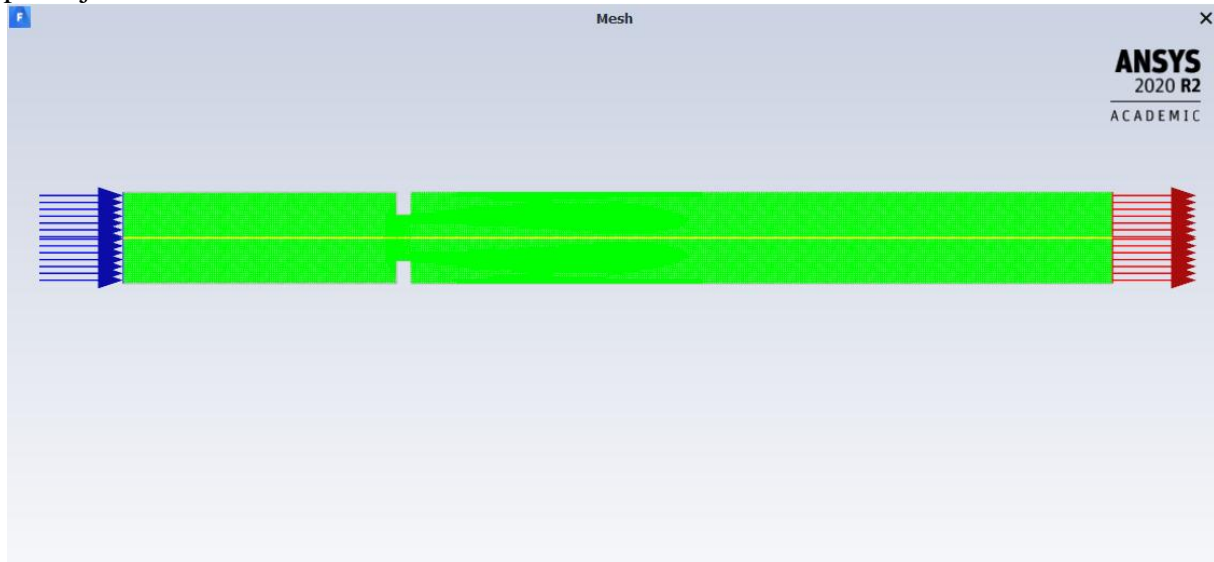


**Obliczenia przepływu powietrza i wody przez kryzę**  
**Komputerowa analiza przepływów sob. 12:15-16:00**  
**Prowadzący: Prof. Janusz Piechna**

## 1. Model geometryczny i siatka

Przepływ analizowany w tym zagadnieniu jest 2-wymiarowy. Przepływ będzie realizowany dla czynnika nieściśliwego (woda) oraz ściśliwego (powietrze). Model jest symetryczny więc obliczenia przebiegają na połowie geometrii. Wlot odbywa się po lewej stronie, wylot po prawej.



Rys. 1.1. widok pełnego modelu elementów skończonych w analizowanym zagadnieniu

## 2. Pre-processing i proces obliczeń

Obliczenia dla wody: [

Solver - bazujący na ciśnieniu - w przypadku czynnika nieściśliwego

Model lepkościowy użyty w obliczeniach - Spalart-Allmaras, ze standardowymi wartościami.

Warunki brzegowe - wlot 1m/s dla wody

Wylot - Pressure outlet, ciśn manometryczne=0

Obliczenia dla powietrza: [zmiana skali modelu -mm]

Solver - bazujący na gęstości - w przypadku czynnika ściśliwego.

Model lepkościowy użyty w obliczeniach - Spalart-Allmaras, ze standardowymi wartościami.

Warunki brzegowe - wlot pressure inlet - dane to gauge pressure, supersonic/initial gauge pressure a także warunki temperaturowe (300K)

**Pressure Inlet**

Zone Name  
wlot

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Reference Frame Absolute

Gauge Total Pressure (pascal) 50000

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal) 40000

Direction Specification Method Normal to Boundary

☐ Prevent Reverse Flow

**Turbulence**

Specification Method Intensity and Length Scale

Turbulent Intensity (%) 5

Turbulent Length Scale (m) 0.026

Apply Close Help

Rys. 2.1. Parametry wlotu dla powietrza

Wylot - Pressure outlet, ciśn manometryczne=0

**Create/Edit Materials**

Name  
water-liquid

Chemical Formula  
h2o<l>

Material Type fluid

Fluent Fluid Materials  
water-liquid (h2o<l>)

Mixture  
none

Order Materials by  
☒ Name  
☐ Chemical Formula

Fluent Database...  
GRANTA MDS Database...  
User-Defined Database...

**Properties**

Density (kg/m3) constant Edit...  
998.2

Viscosity (kg/m-s) constant Edit...  
0.001003

Change/Create Delete Close Help

Rys. 2.2. Parametry czynnika - woda

**Create/Edit Materials**

Name:

Material Type:

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Chemical Formula:

Fluent Fluid Materials:

Mixture:

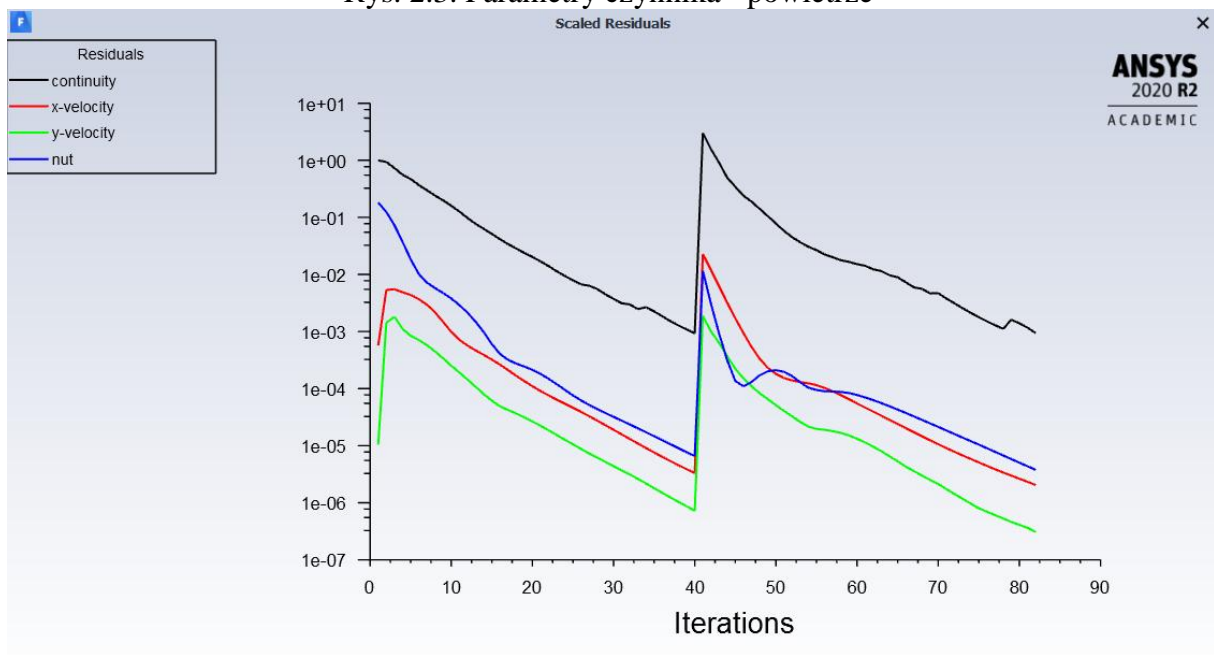
Fluent Database...  
GRANTA MDS Database...  
User-Defined Database...

**Properties**

Density (kg/m<sup>3</sup>):

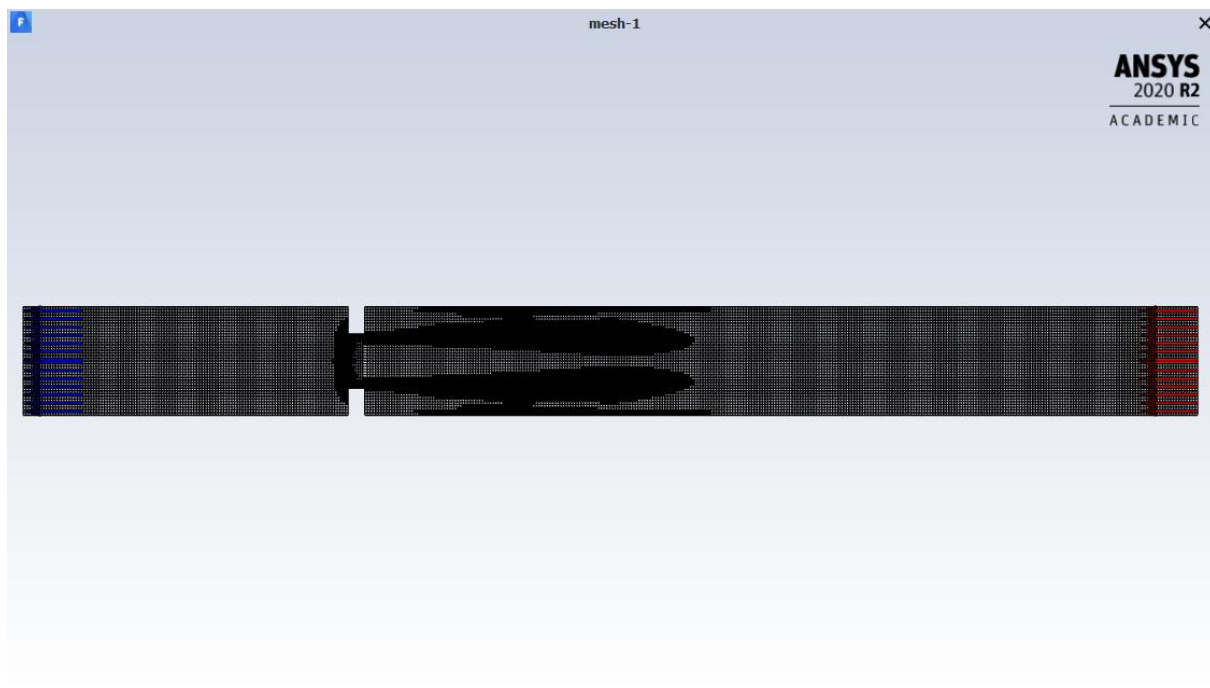
Viscosity (kg/m-s):

Rys. 2.3. Parametry czynnika - powietrze



Rys 2.3. Wykres rezyduów w analizowanym zagadnieniu (woda)

Symulacja w przypadku wody prowadzona była dwukrotnie - najpierw z siatką standardowej wielkości, następnie przy zagęszczeniu siatki w kluczowych obszarach przy użyciu funkcji refine/coarsen (domain-adapt). Zagęszczenie odbyło się wg kryterium scaled gradient - zależnie od ciśnienia. Widoczny pik rezyduów wynika właśnie ze zmiany siatki i rozpoczęcia nowych obliczeń.

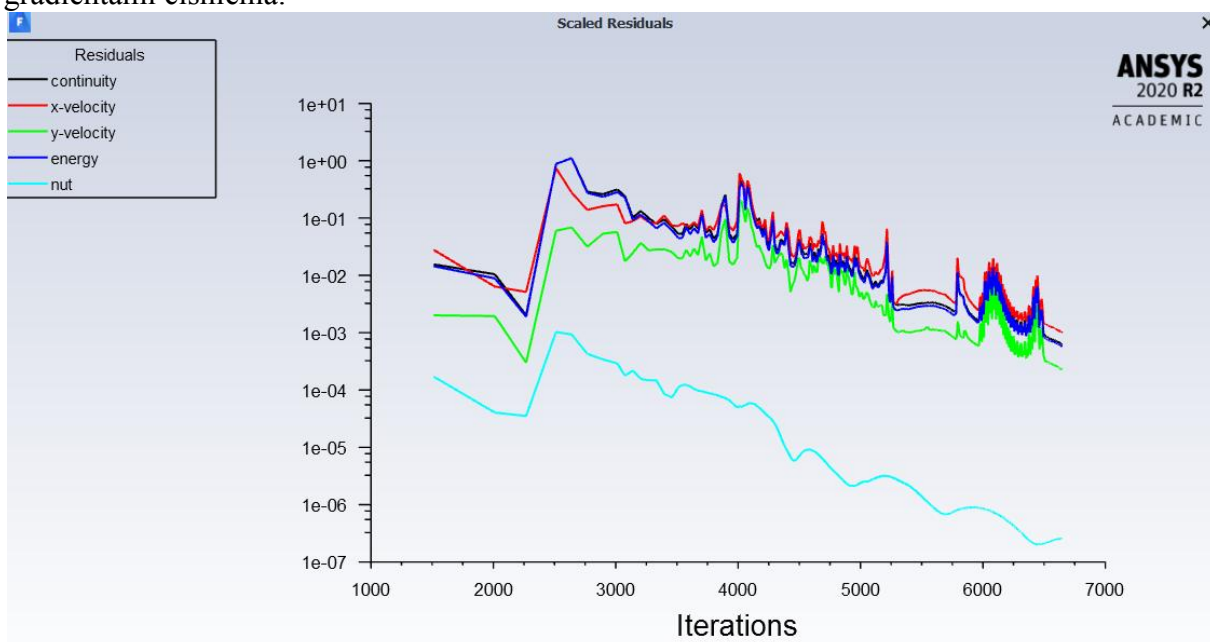


Rys. 2.4. widok modelu po zagęszczeniu siatki (woda)

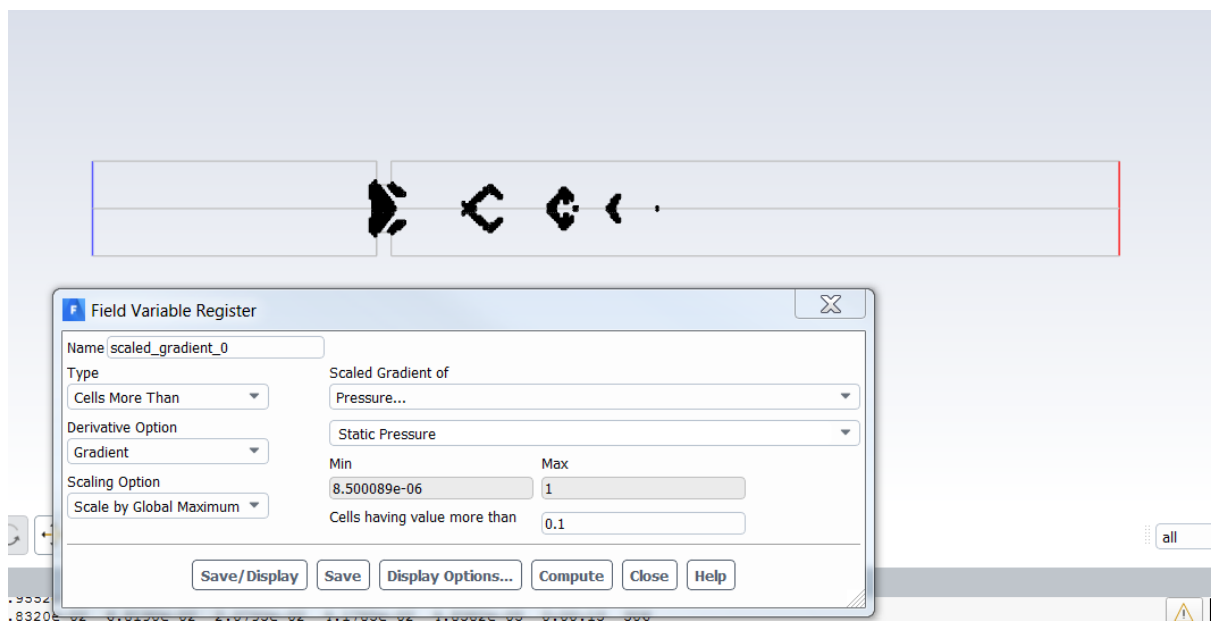
Symulacja zbiega się w momencie gdy parametr continuity zejdzie poniżej wartości 0,001 (domyślne ustawienie dla obliczeń w Fluencie). Wartości błędów obliczeń na końcu dla poszczególnych parametrów wynoszą:

- prędkość X - około  $1,5 \cdot 10^{-6}$
- prędkość Y - poniżej  $10^{-6}$
- lepkość dynamiczna - około  $10^{-5}$

Symulacja dla powietrza liczona była z kilkoma wartościami nadciśnienia - 0.5, 1, 2 bary (ostateczna wartość 2 bary). Po wstępnych obliczeniach z wyjściową siatką, podobnie jak w liczonym przypadku dla wody siatka była zagęszczona w obszarach z największymi gradientami ciśnienia.



Rys. 2.5. Wykres rezyduów w analizowanym zagadnieniu (powietrze)



Rys. 2.6. parametry i ustawienia dot. zagęszczenia siatki (powietrze)



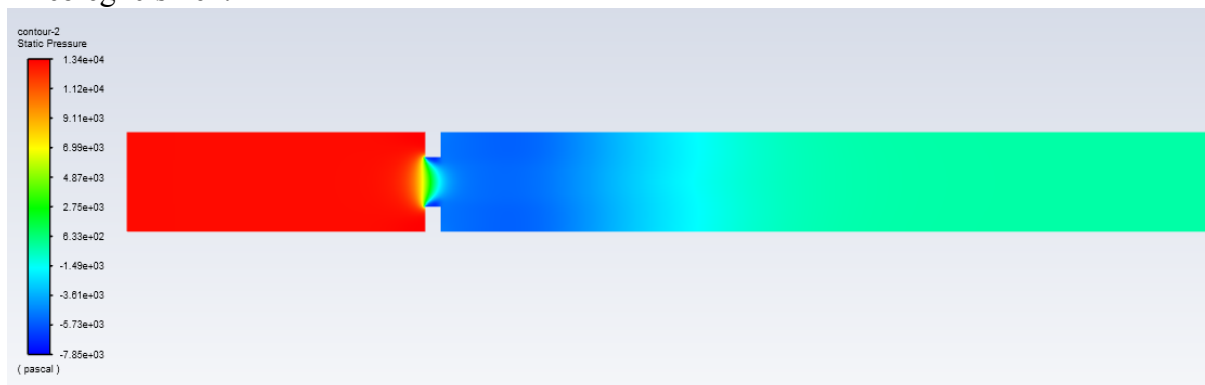
Rys. 2.7. widok modelu po zagęszczeniu siatki (powietrze)

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	energy	nut	time/iter	
6643	6.3066e-04	1.0164e-03	2.2985e-04	5.8447e-04	2.5734e-07	0:00:13	76
6644	6.3041e-04	1.0148e-03	2.2906e-04	5.8350e-04	2.5908e-07	0:00:11	75
6645	6.2784e-04	1.0094e-03	2.2801e-04	5.8024e-04	2.5678e-07	0:00:08	74
6646	6.2497e-04	1.0053e-03	2.2707e-04	5.7805e-04	2.5747e-07	0:00:07	73
6647	6.2228e-04	1.0011e-03	2.2649e-04	5.7575e-04	2.5908e-07	0:00:20	72
6648	solution is converged						
6648	6.2003e-04	9.9600e-04	2.2550e-04	5.7298e-04	2.5709e-07	0:00:15	71

Rys. 2.8. wartości błędów w zakończonych obliczeniach

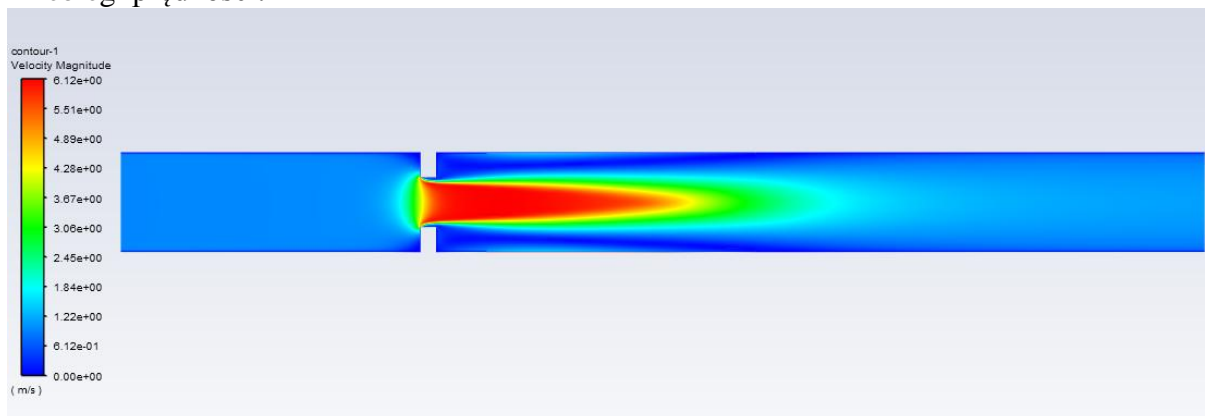
### 3. Wyniki i wnioski:

Przebiegi ciśnień:



Rys. 3.1. Ciśnienie statyczne - max 13353 Pa, min -7865 Pa

Przebiegi prędkości:



Rys. 3.2. przebiegi prędkości - max 6,11 m/s (na wlocie 1m/s)

W teori  $Q$  w przekroju początkowym wynosi:

$$Q_1 = V_{in} \cdot S_1 = 1 \cdot (0,13^2 \cdot \pi) = 0,0531 \text{ m}^3/\text{s}$$

W przekroju na zwężce: (zwężka jest 2x mniejsza niż przekrój 1)

$$Q_2 = V_{in} \cdot S_2 = 6,12 \cdot (0,065^2 \cdot \pi) = 0,0812 \text{ m}^3/\text{s}$$

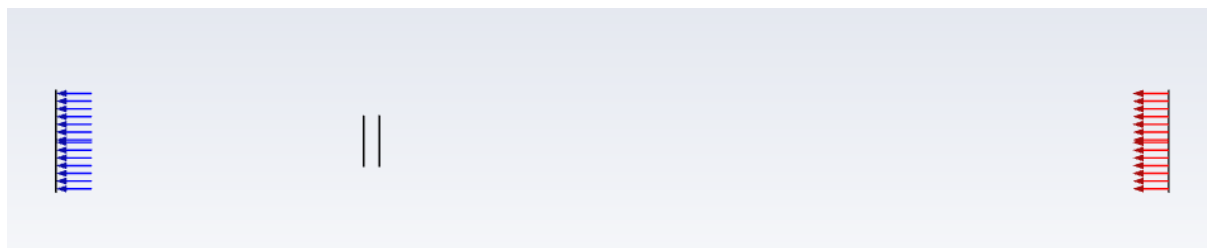
Obliczenia powyżej są przykładowe, nie do końca prawidłowe ponieważ w przypadku przekroju 2 musielibyśmy mieć przepływ z prędkością 6,12 na pełnym przekroju, a tak nie jest; w tamtym obszarze mamy też ciecż stojącą, stąd obszary gdzie prędkość ciecży wynosi 0 m/s (lub blisko tej wartości).

W pewnych miejscach mamy nieco zwiększony przepływ; ale zwróćmy uwagę na przepływ masy przez określone miejsca:

Mass Flow Rate	(kg/s)
part_2-surface_body	-52.99667
part_2-surface_body.1	-52.99675
wlot	52.997349
wylot	-52.997349
Net	0

Rys. 3.3. wydatek masowy w określonych miejscach przepływu

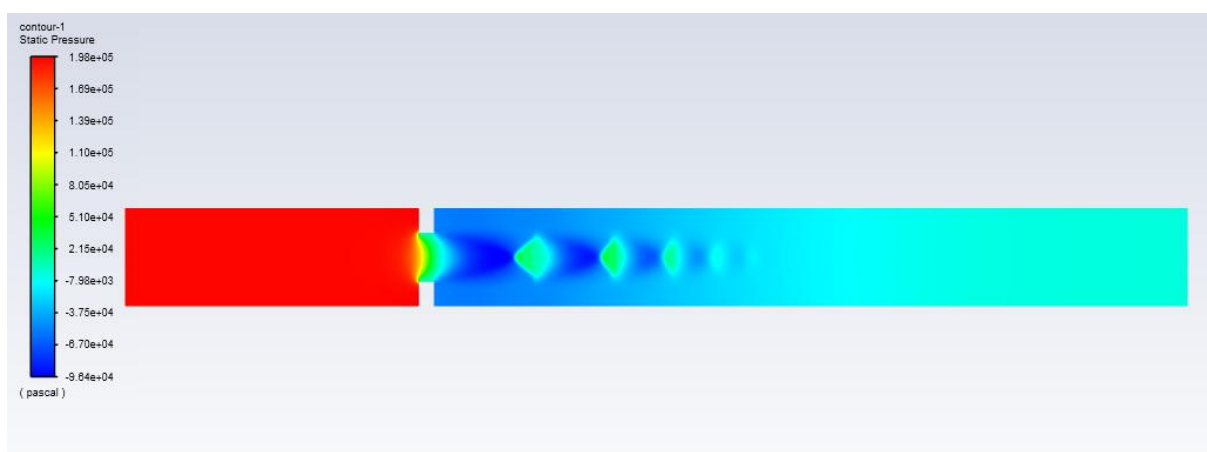
Zatem, jak wynika z rys 3.3. wydatki są na tych powierzchniach jednakowe.



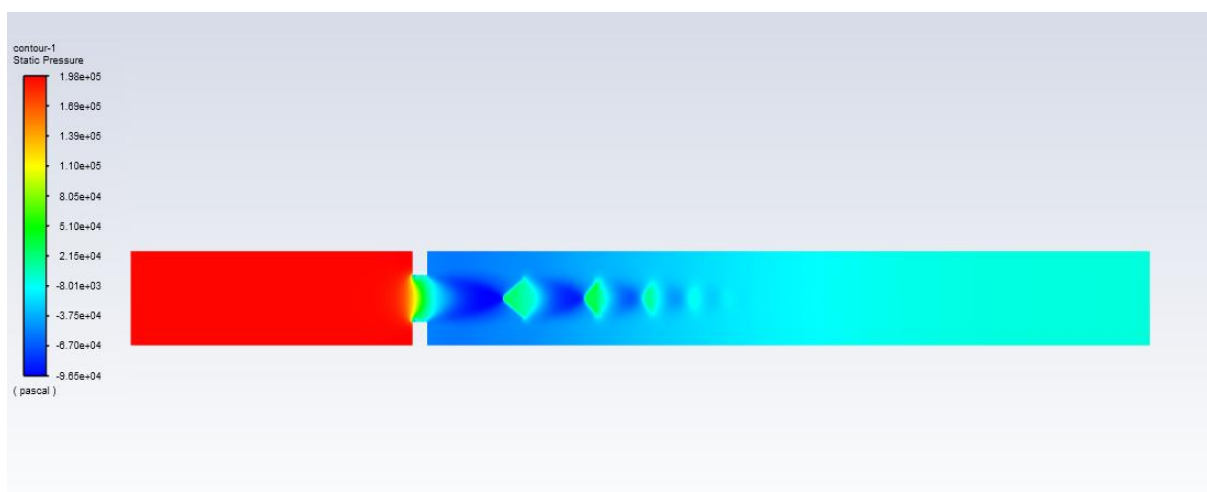
Rys. 3.4. powierzchnie part\_2-surface\_body i part\_2-surface\_body.1 dotyczą miejsc gdzie zaczyna się i kończy zwężka

Obliczenia z powietrzem:

W wstępnych obliczeniach z siatką standardową, zauważalna jest struktura diamentowa powietrza za zwężką.



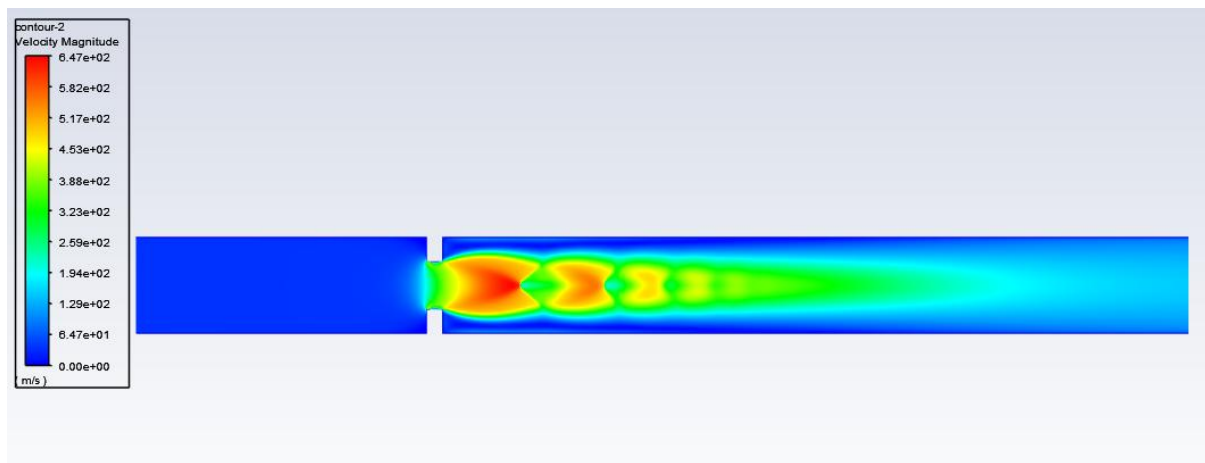
Rys. 3.5. wstępne obliczenia i struktura diamentowa powietrza



Rys. 3.6. obliczenia z zagęszczoną siatką - ciśnienie

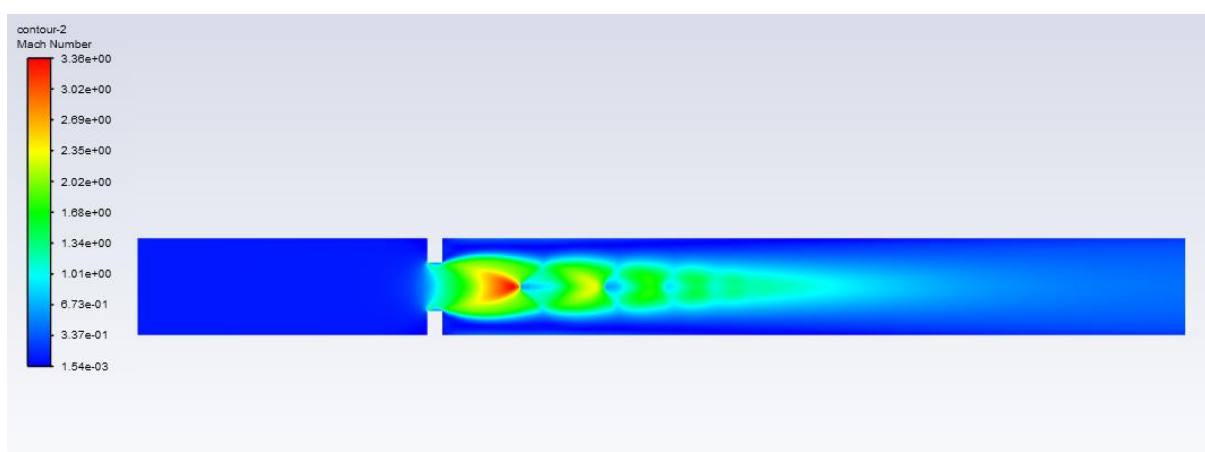
Wartości skrajne ciśnienia: min - 96490 Pa; max: 198345 Pa.





Rys. 3.7. obliczenia z zagęszczoną siatką - prędkość (m/s)

Max prędkość w przepływie to 3,36 Ma (około 647 m/s).

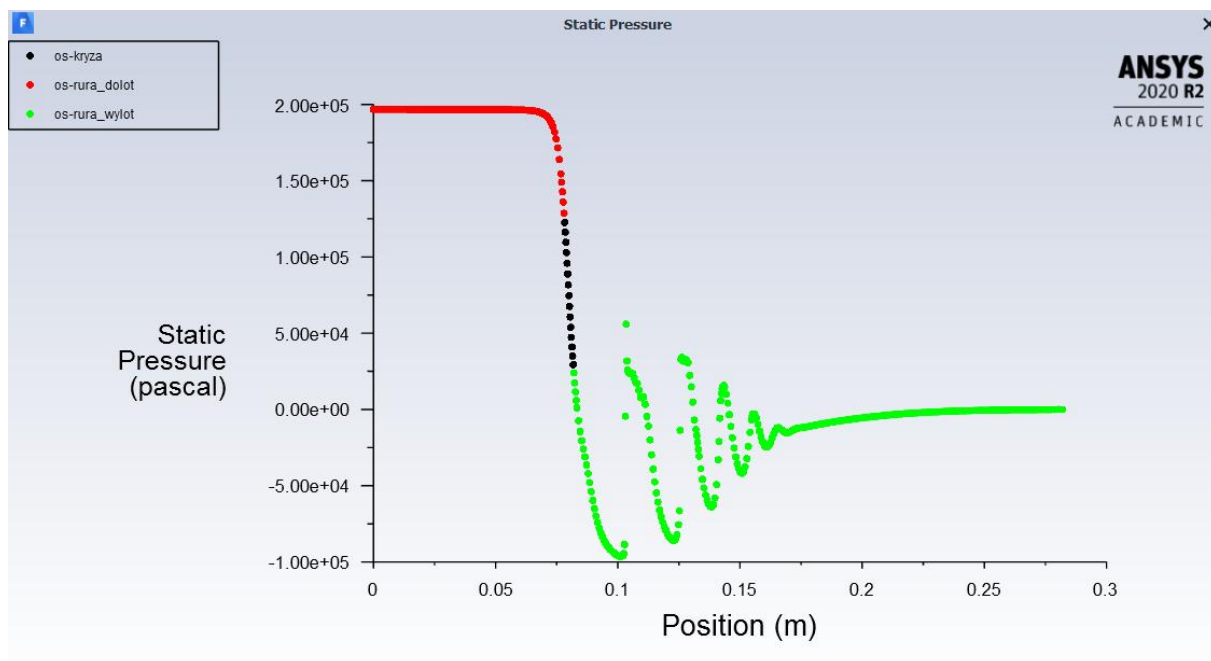


Rys. 3.8. obliczenia z zagęszczoną siatką - prędkość (liczba Macha)

Analiza wydatku w płaszczyznach wlotu, wylotu a także płaszczyzny początkowej i końcowej kryzy pokazuje że mamy do czynienia z niewielkimi efektami ściśliwości płynu: (wartość net niezerowa)

Mass Flow Rate	(kg/s)
part_2-surface_body	-0.079661548
part_2-surface_body.1	-0.079661541
wlot	0.079661489
wylot	-0.079662338
Net	-8.4936619e-07

Rys. 3.9. wydatek masowy w określonych miejscach przepływu



Rys. 3.10. wykres ciśnienia statycznego w przekroju symetrii modelu w zależności od położenia na osi X

Z wykresu 3.10 widać że w pozycji X od 0,1 do 0,15 mamy do czynienia z falą uderzeniową (gwałtowne zmiany ciśnienia).