

Wrocław, 26.11.2015

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY
Kierunek: Mechanika i budowa maszyn

Modelowanie obciążeń pojazdów samochodowych

Projekt: Przepływ spalin przez kolektor wylotowy

Prowadzący: Konrad Krakowian

Filip Solarczyk
nr albumu 205476

1. Wstęp

Kolektor wylotowy jest zespołem przewodów odprowadzających spaliny z cylindrów silnika spalinowego do rury wydechowej. Kolektor składa się z przewodów wylotowych poszczególnych cylindrów, połączonych z przewodem zbiorczym o odpowiednio większej średnicy. Zakończony jest kołnierzem do połączenia z rurą wylotową, prowadzącą w silnikach o zapłonie iskrowym do reaktora katalitycznego, a dalej do tłumików wylotu. W starszych konstrukcjach kolektory wylotowe były wykonywane z żeliwa, odznaczającego się dobrą zdolnością tłumienia dźwięków, odpornością na wysokie temperatury i na korozję, oraz umiarkowaną rozszerzalność cieplną.

Kolektor wylotowy powinien stawiać małe opory przepływu, umożliwiające dokładne opróżnienie cylindrów ze spalin.

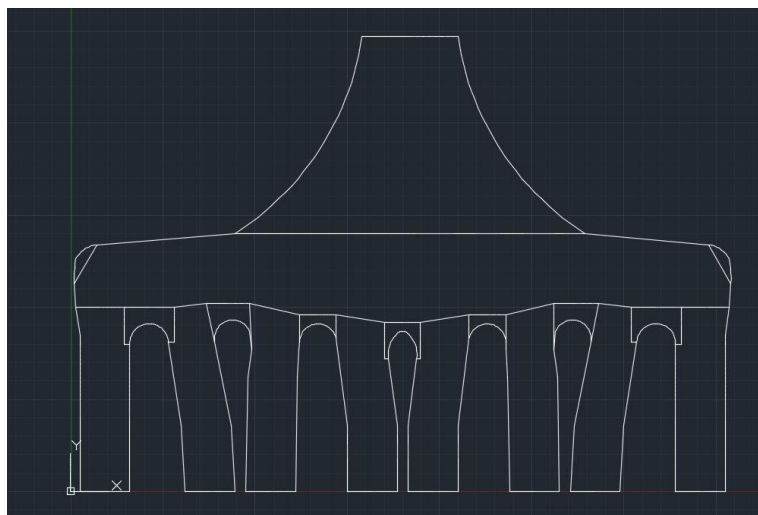
2. Modelowany kolektor



Rys 2.1. Modelowany kolektor wylotowy

Kolektor został zamodelowany w dwóch wymiarach, po przerysowaniu geometrii z przeciętych części. Dokładne odwzorowanie jego geometrii było niemożliwe z powodu braku dostępności odpowiednich przyrządów (najlepiej skanera laserowego). Projekt kolektora został wykonany w programie AutoCAD Mechanical 2015.

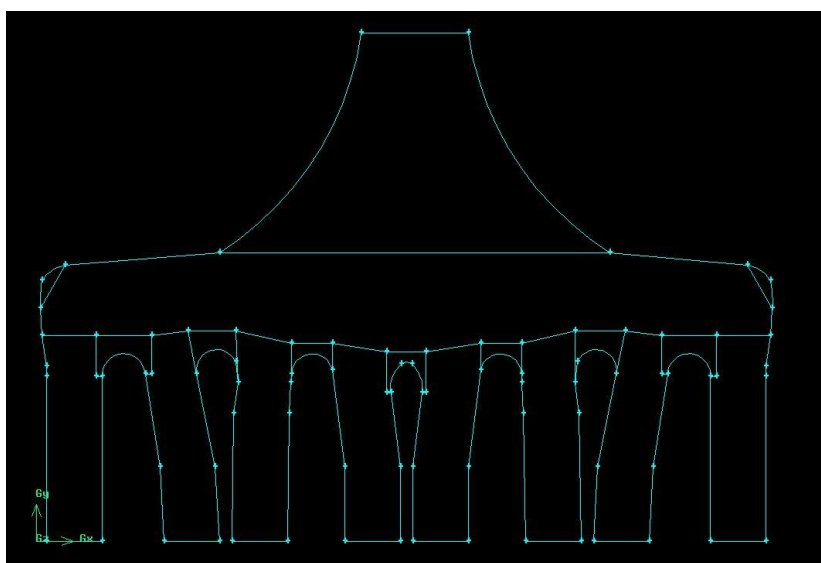
Geometria początkowa nie zakładała linii wewnątrz, zostały one dodane do modelu by zwiększyć dokładność wyników poprzez uzyskanie lepszej siatki nałożonej na przekrój. Wlot to częściowo ścięty okrąg, jego przekrój to 52 mm. Zejście z wlotu do kanałów zostało zmierzone głębokościomierzem (kilka punktów pomierzonych) i dopasowane tak aby jak najbardziej je odwzorować. Reszta modelu została przerysowana na zasadzie "kalki". Wszystkie kanały wylotowe mają profil walcowy, o średnicy 27 mm.



Rys 2.2. Projekt w programie AutoCAD Mechanical

3. Gambit

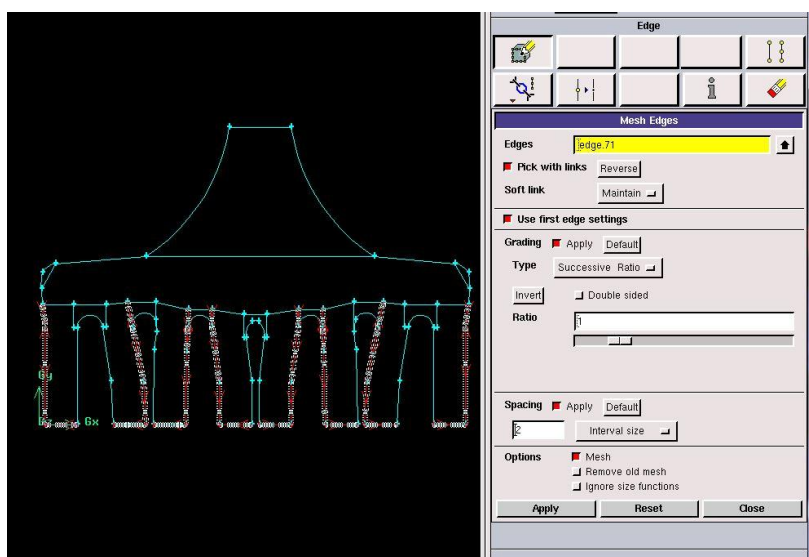
Geometria wykonana w Mechanicalu została zapisana w formacie .igs i zaimportowana do programu Gambit, by nałożyć siatkę na model.



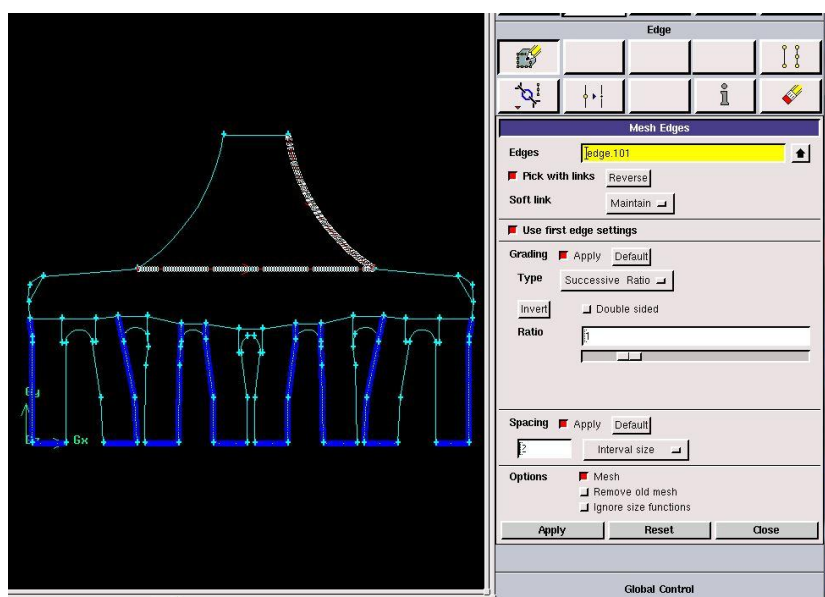
Rys 3.1. zaimportowana geometria do Gambita, wraz ze stworzonymi powierzchniami

Początkowo stworzone zostały powierzchnie (łącznie 14). Powierzchnie między kanałami zostały stworzone aby umożliwić równomierną dyskretyzację kanałów - by miały taką samą liczbę elementów objętościowych (zgodnie z zaleceniem). Na tych powierzchniach nie dało utworzyć się siatki quad - map, zostały one zdyskretyzowane elementami quad - pave (przy siatce tri - pave błędne wyniki).

Zdyskredytowane krawędzie:

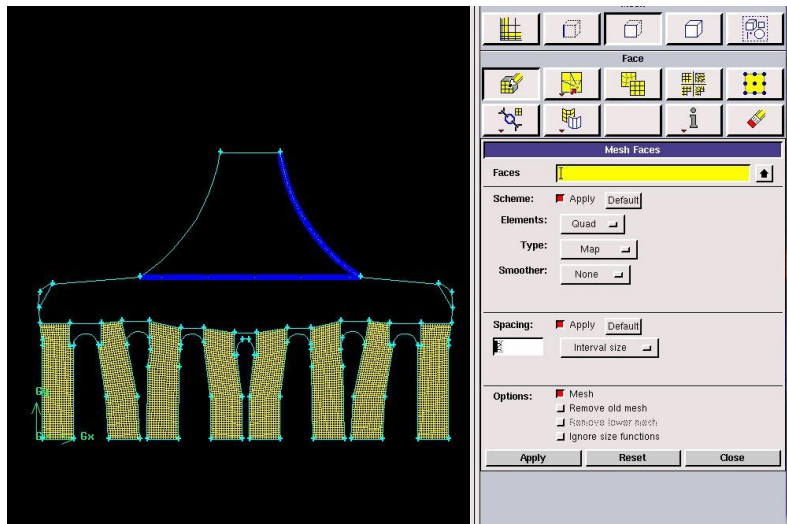


Rys 3.2. a) dyskretyzacja interval size - co 2 mm - równomierność siatek na kanałach wylotowych

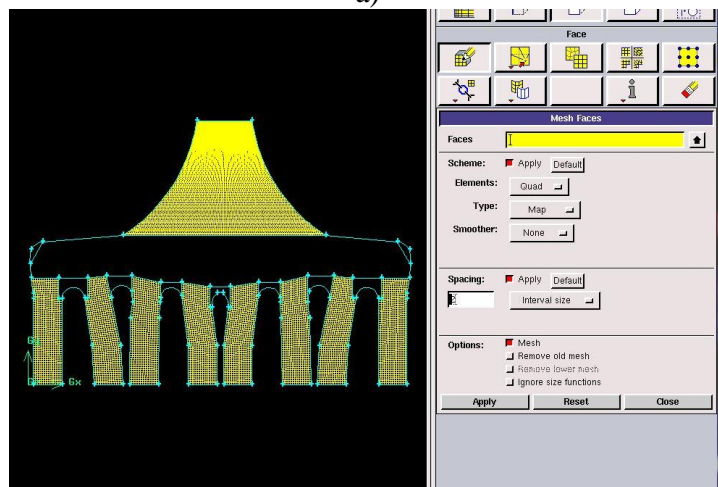


Rys 3.2. b) dyskretyzacja interval size - co 2 mm

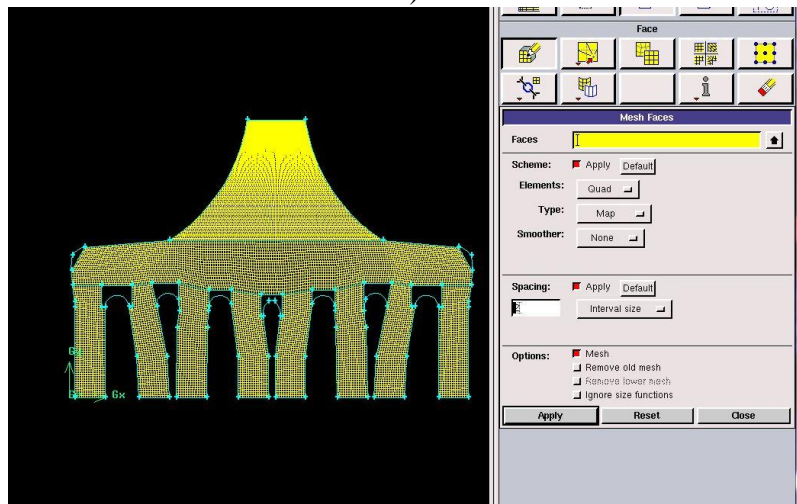
Następnie zdyskredytowane zostały powierzchnie, tak by siatka w kanałach, na dolocie i między kanałami i wlotem zawierała elementy Quad typu Map, co pozwoli na uzyskanie jak najdokładniejszych wyników w programie Fluent.



a)

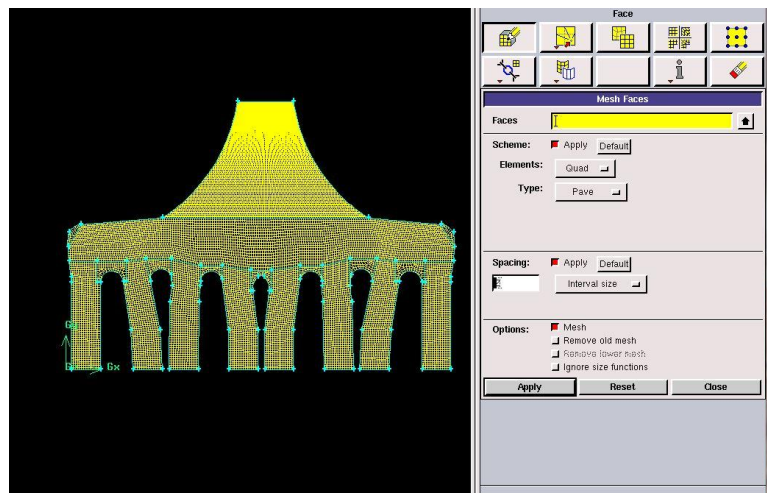


b)



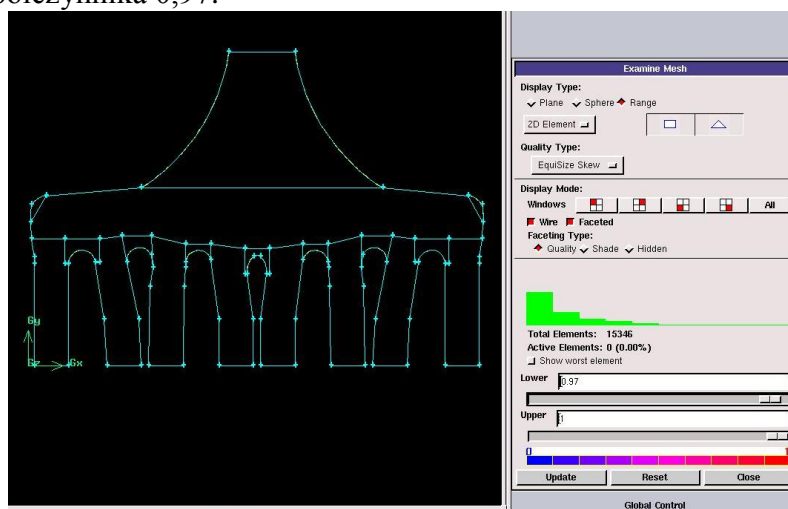
c)

Rys 3.3. a), b), c) nakładanie siatki na powierzchnie (quad - map)



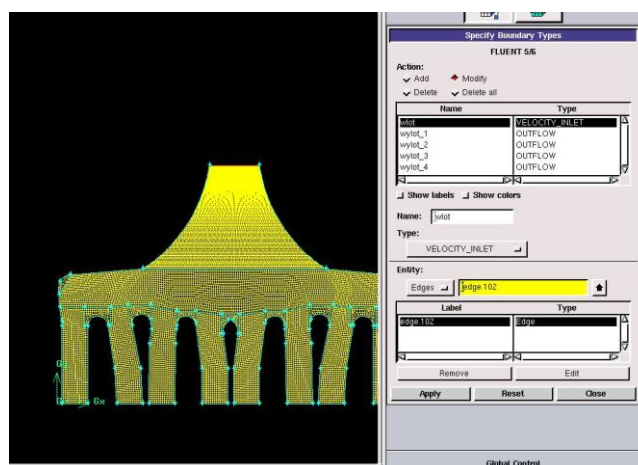
Rys. 3.3. d) siatka quad - pave

Następnie siatka została sprawdzona - najbardziej zdegenerowane elementy. Żaden z nich nie przekraczał współczynnika 0,97.

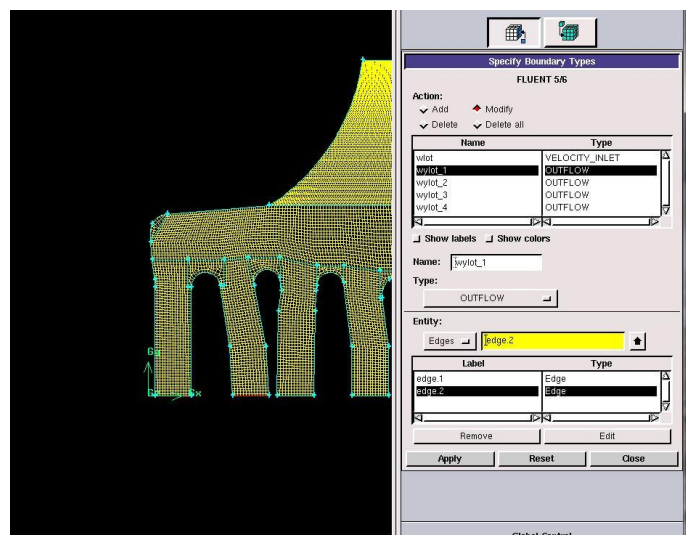


Rys 3.4. najbardziej zdegenerowane elementy

Kolejnym krokiem było nałożenie warunków początkowych na model - takich jak wlot, wylot oraz powietrze (jako występujące continuum).

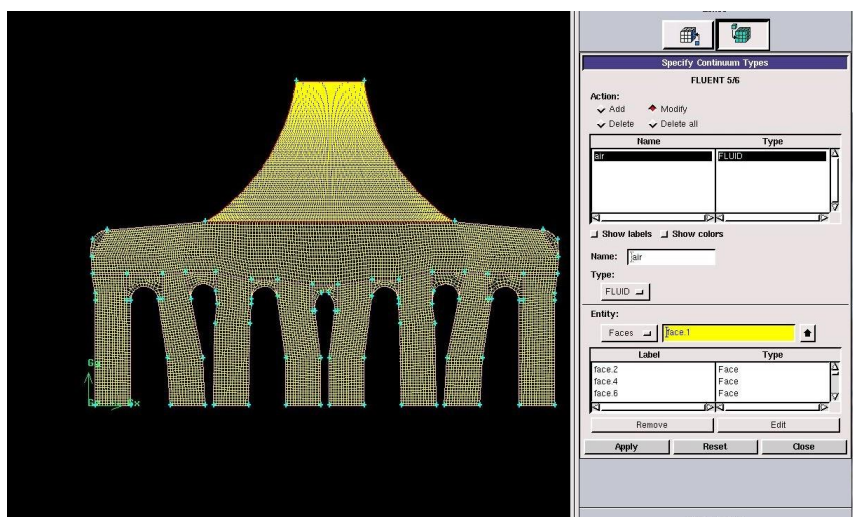


Rys 3.5. a) wlot - velocity inlet



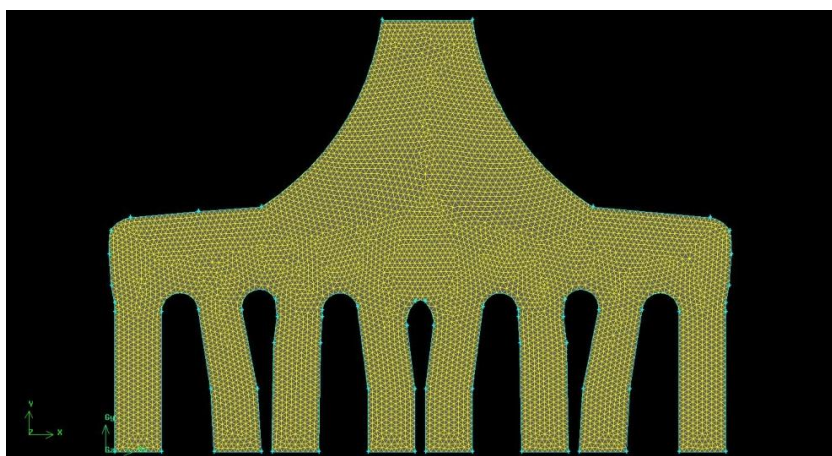
Rys 3.5. b) wylot - outflow

Na model nałożone zostały łącznie 4 wyloty - zgodnie z działaniem kolektora.

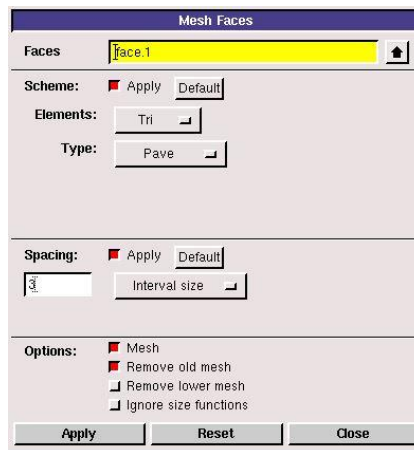


Rys 3.5. d) continuum - powietrze, na wszystkie powierzchnie

Zgodnie z zaleceniem stworzony został także model z siatką automatyczną (bez podziału na powierzchnie) - w tym wypadku tri - pave.



Rys 3.6. a) Siatka automatyczna



Rys 3.6. b) typ elementów do siatki
Obie siatki zostały zapisane w formacie .msh.



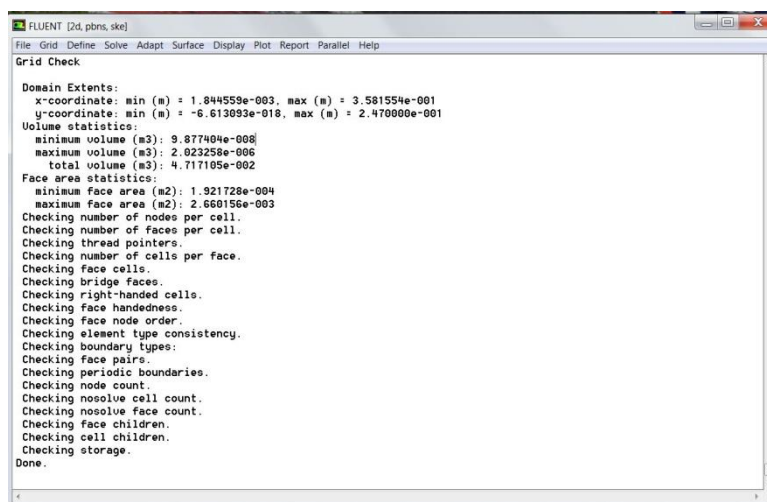
Rys 3.7. export siatki

4. Obliczenia we Fluencie - wersja z prędkością.

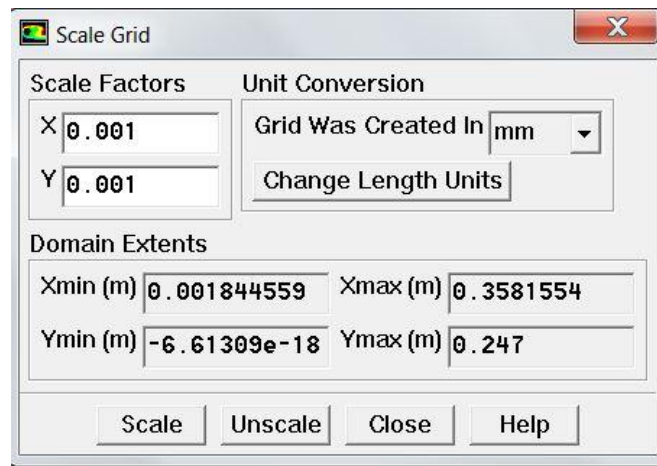
Obliczenia zostały wykonane dla warunku początkowego - prędkość 7 m/s na wlocie.

4.1. Obliczenia siatki quad

W programie Fluent wczytana została siatka utworzona w programie Gambit. Następnie postępowano wg następującego klucza działań:

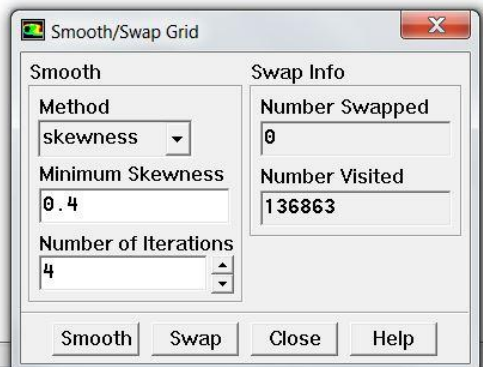


Rys 4.1.1. grid - check

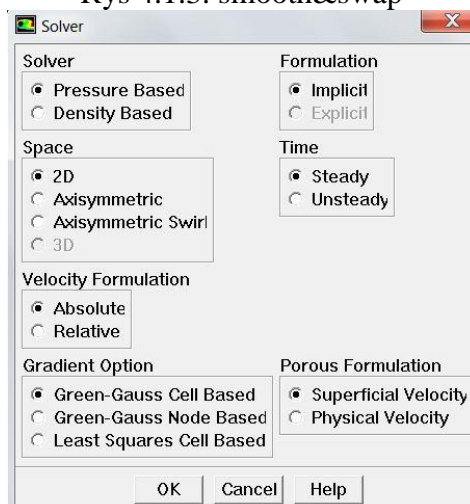


Rys 4.1.2. scale

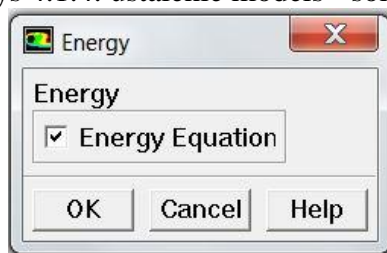
Checking boundary types:
 Checking face pairs.
 Checking periodic boundaries.
 Checking node count.
 Checking nosolve cell count.
 Checking nosolve face count.
 Checking face children.
 Checking cell children.
 Checking storage.
 Done.
 No nodes moved, smoothing complete.
 Done.
 Number faces swapped: 0
 Number faces visited: 136863



Rys 4.1.3. smooth&swap



Rys 4.1.4. ustalenie models - solver



Rys 4.1.5. zaznaczenie energy equation

Materials

Name: Material Type: Order Materials By: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Chemical Formula: Fluent Fluid Materials: Fluent Database...
 Mixture: User-Defined Database...

Properties

Density (kg/m³): Edit...

Cp (J/kg-K): Edit...

Thermal Conductivity (W/m-K): Edit...

Viscosity (kg/m-s): Edit...

Rys 4.1.6. ustalenie continuum

Operating Conditions

Pressure:

Gravity: ☐ Gravity

Reference Pressure Location:

X (m):

Y (m):

Rys 4.1.6. ustalenie ciśnienia

Viscous Model

Model

☐ Inviscid
☐ Laminar
☐ Spalart-Allmaras (1 eqn)
☒ k-epsilon (2 eqn)
☐ k-omega (2 eqn)
☐ Reynolds Stress (5 eqn)

k-epsilon Model

☒ Standard
☐ RNG
☐ Realizable

Near-Wall Treatment

☒ Standard Wall Functions
☐ Non-Equilibrium Wall Functions
☐ Enhanced Wall Treatment
☐ User-Defined Wall Functions

Options

☐ Viscous Heating

Model Constants

Cmu:

C1-Epsilon:

C2-Epsilon:

TKE Prandtl Number:

User-Defined Functions

Turbulent Viscosity:

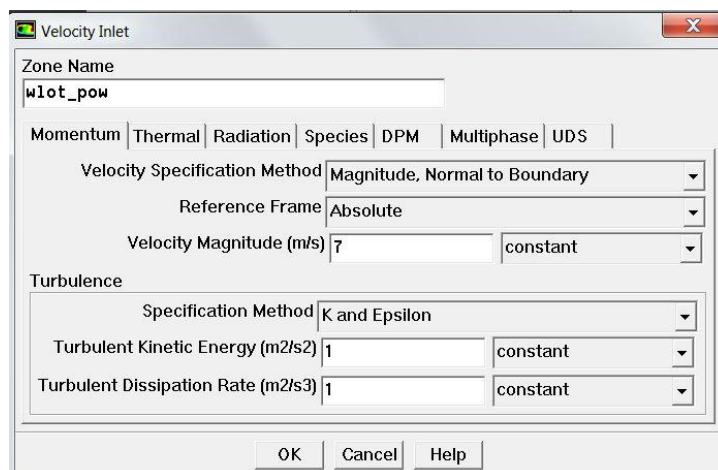
Prandtl Numbers:

TKE Prandtl Number:

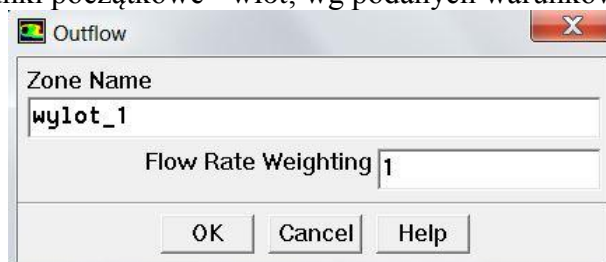
TDR Prandtl Number:

Energy Prandtl Number:

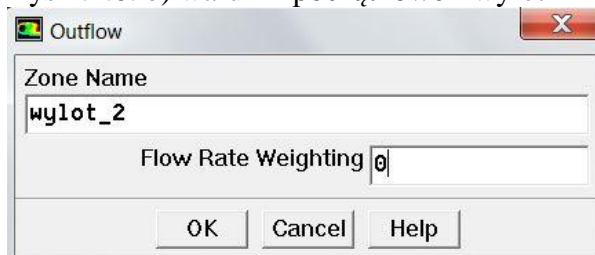
Rys 4.1.7. ustalenie modelu lepkościowego



Rys 4.1.8. a) warunki początkowe - wlot; wg podanych warunków - na wlocie 7 m/s

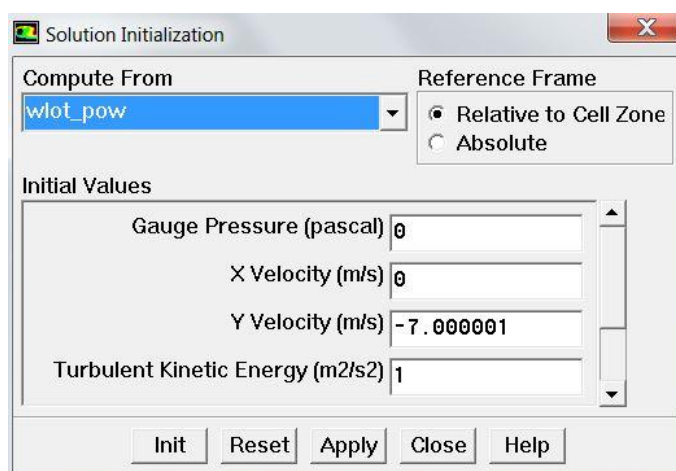


Rys 4.1.8. b) warunki początkowe - wylot nr 1

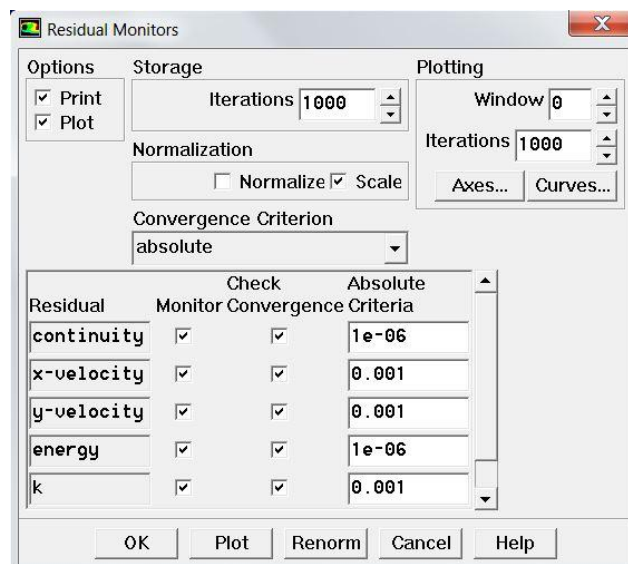


Rys 4.1.8. c) warunki początkowe - wylot - nr 2, 3, 4

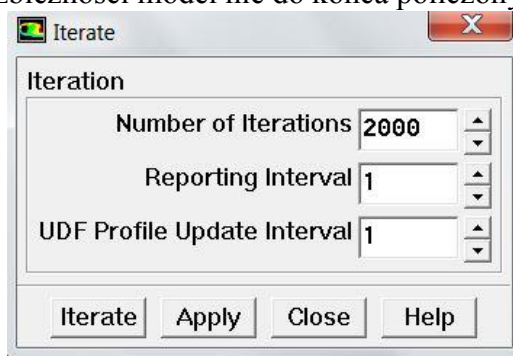
Wykonane zostały obliczenia dla 4 przypadków - jeden wylot otwarty, reszta zamknięta.



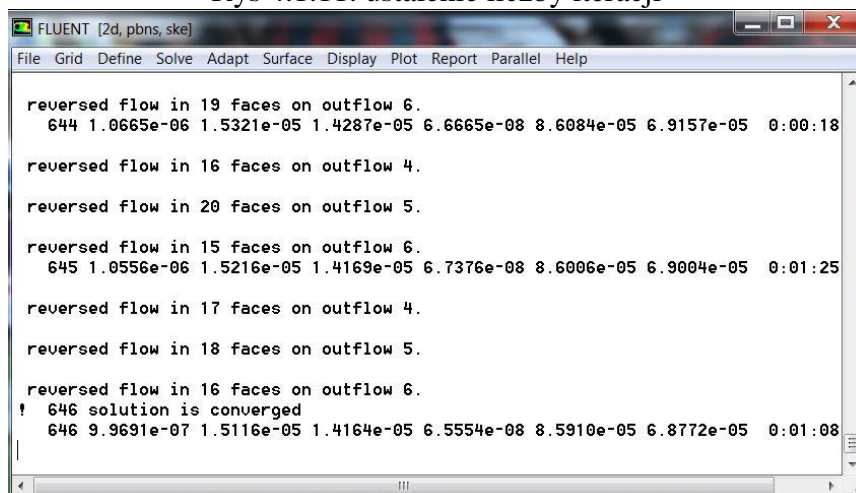
Rys 4.1.9. inicjalizacja obliczeń



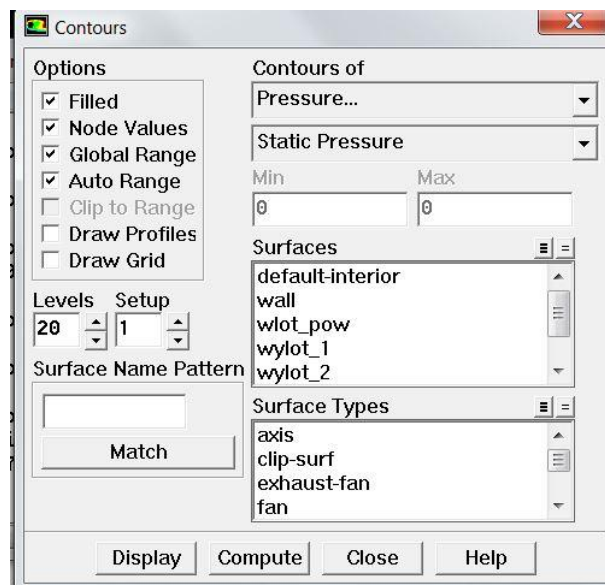
Rys 4.1.10. ustalenie monitors - residual; zbieżność do 6 miejsc po przecinku, tak aby wszystkie obliczenia dokonane zostały dokładnie dla każdego wylotu (dla większej zbieżności model nie do końca policzony)



Rys 4.1.11. ustalenie liczby iteracji

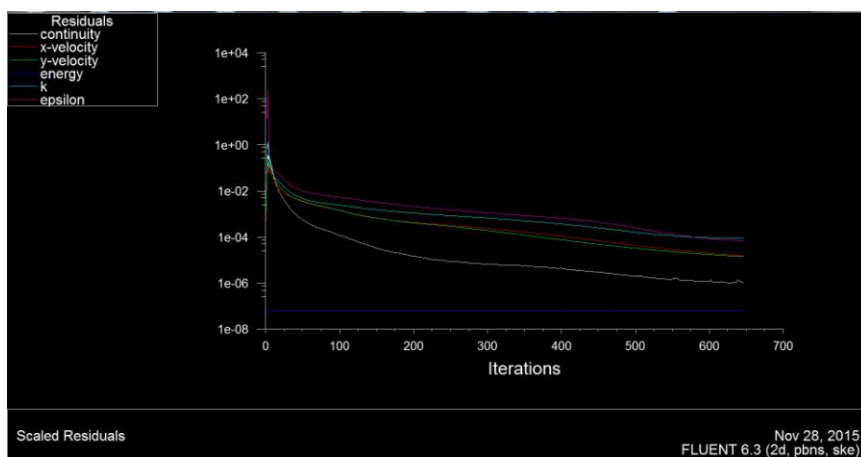


Rys 4.1.12. osiągnięcie zbieżności dla otwartego wylotu nr 1

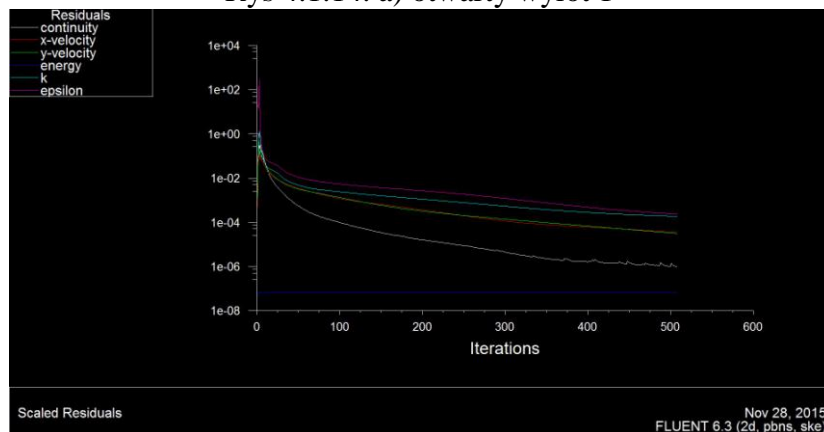


Rys 4.1.13. proces wyświetlania wyników - ciśnienie (pressure - static pressure) oraz prędkość (velocity - magnitude)

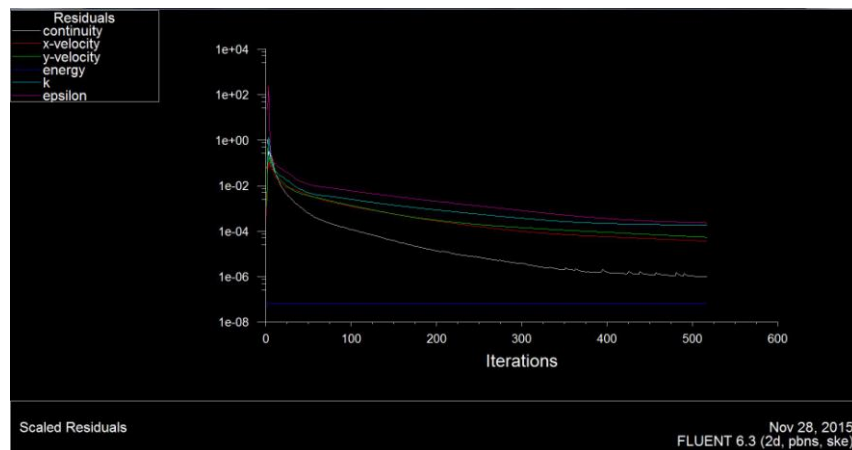
Wykresy obliczeń dla 4 przypadków:



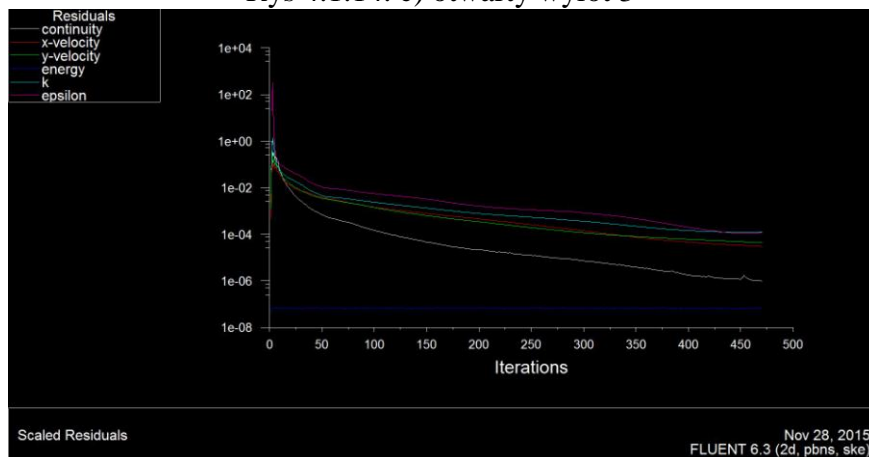
Rys 4.1.14. a) otwarty wylot 1



Rys 4.1.14. b) otwarty wylot 2

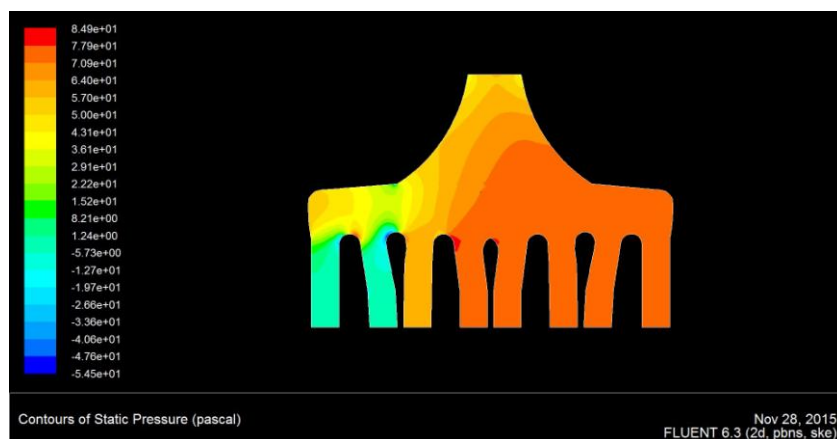


Rys 4.1.14. c) otwarty wylot 3

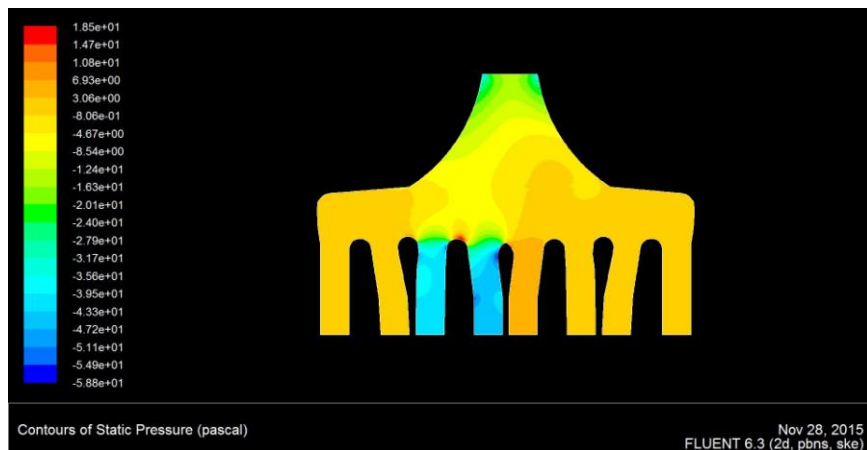


Rys 4.1.14. d) otwarty wylot 4

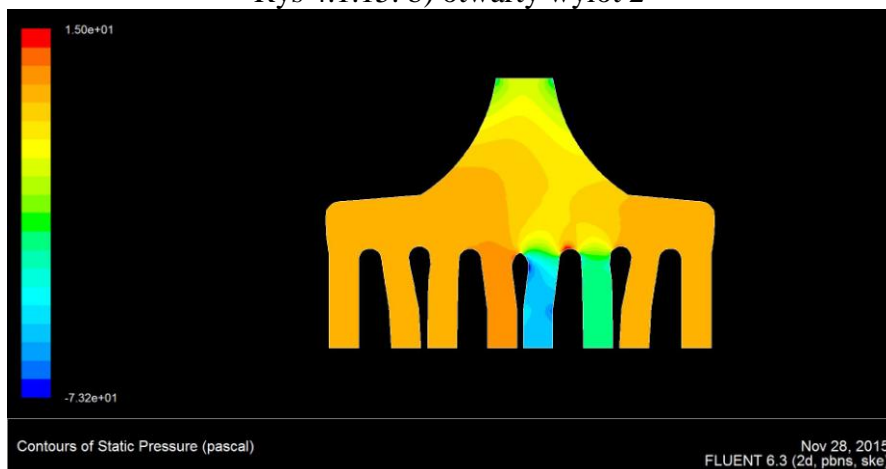
Wykresy ciśnień:



Rys 4.1.15. a) otwarty wylot 1 - najniższe ciśnienie na wylocie, wysokie w kanałach zamkniętych. Kanał bezpośrednio przy tych otwartych może mieć nieco niższe ciśnienie bo znajduje się na drodze wylotu



Rys 4.1.15. b) otwarty wylot 2



Rys 4.1.15. c) otwarty wylot 3

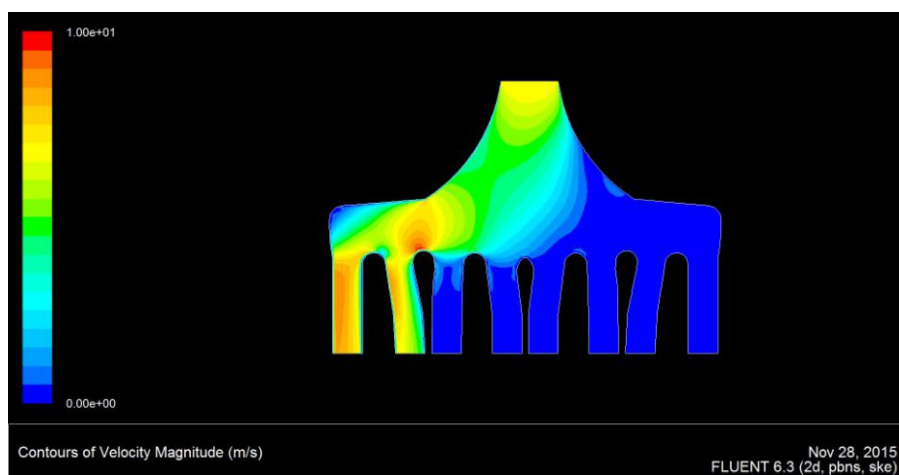
Wyloty 2 i 3 znajdują się na środku kolektora, zatem mogą powodować trochę niższe ciśnienie w całym kolektorze w porównaniu z wylotami 1 i 4 w których wylot następuje w skrajnych częściach kolektora.



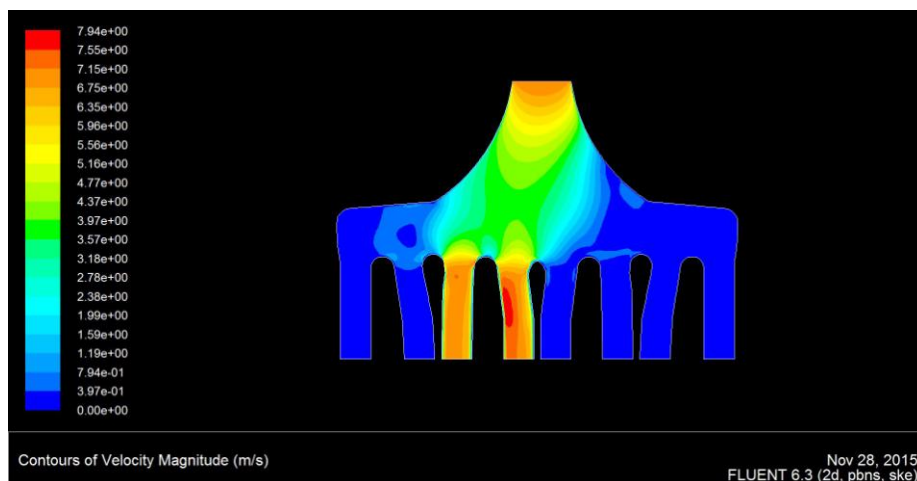
Rys 4.1.15. d) otwarty wylot 4

Wysokie ciśnienie w obu kanałach na środku może być spowodowane tym że spora część spalin uderza w zamknięte kanały i nie może się wydostać. Jest nieco inaczej niż w przypadku 1 gdyż należy pamiętać że kolektor nie do końca jest symetryczny, np. przy modelowaniu wspominałem o ścięciu na wlocie (częściowo ścięty okrąg)

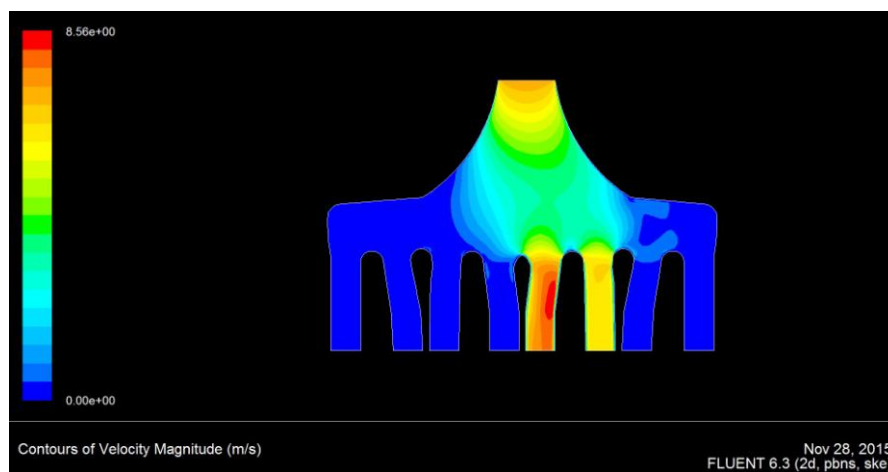
Wykresy prędkości:



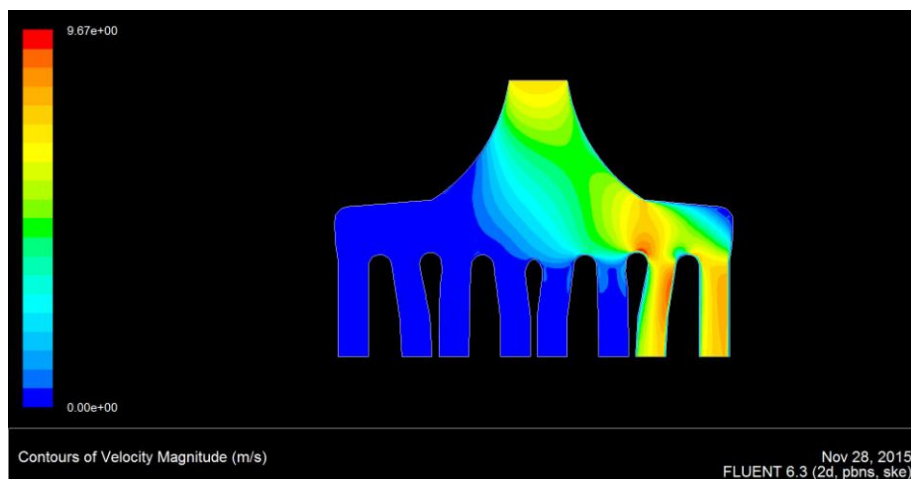
Rys 4.1.16. a) otwarty wylot 1



Rys 4.1.16. b) otwarty wylot 2



Rys 4.1.16. c) otwarty wylot 3

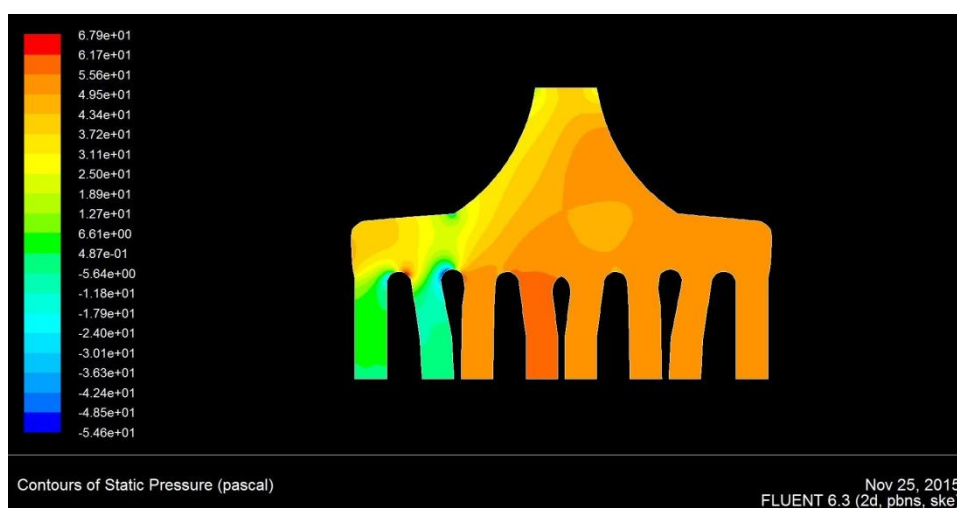


Rys 4.1.16. d) otwarty wylot 4

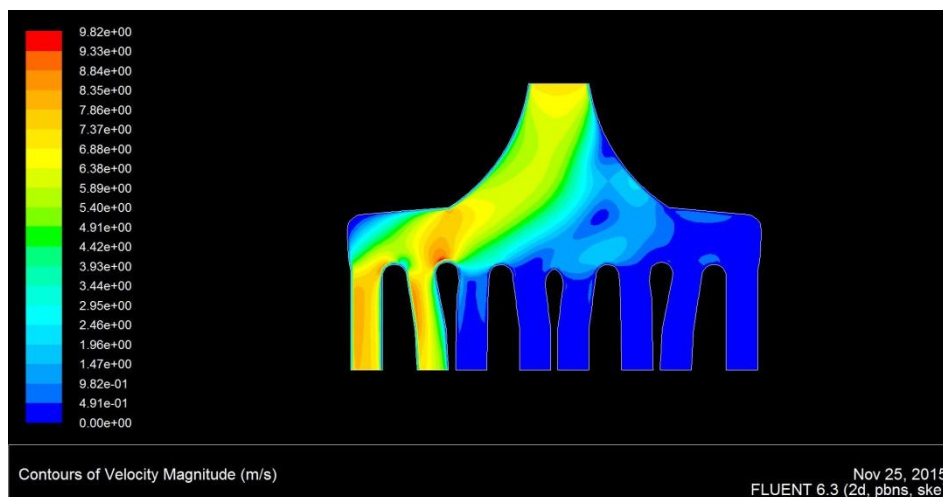
Praktycznie zerowe prędkości w zamkniętych kanałach potwierdzają wcześniejsze wyniki ciśnień (i na odwrót); natomiast na wypływie niskie ciśnienie - wysokie prędkości.

4.2. Obliczenia dla siatki automatycznej

Aby uzyskać punkt odniesienia do wniosków zostały przeprowadzone obliczenia na siatce automatycznie założonej przez program Gambit, przy otwartym wylocie nr 1.



Rys 4.2.1. a) wykres ciśnień



Rys 4.2.1. b) wykres prędkości

4.3. Wnioski:

Udało się uzyskać wyniki dla podanych warunków początkowych. W miejscach gdzie następuje wylot prędkość wzrasta - zgodnie z teorią, przekrój na wlocie jest większy a prędkość niższa, a na wylocie przekrój mniejszy a prędkość wyższa (natężenie wszędzie jest stałe - przy pominięciu strat energii). Ciśnienie na wylocie jest znacznie mniejsze niż w miejscach gdzie przepływ jest zamknięty, co również zgodne jest z teorią. Widać także że wyniki dla siatki prostokątnej są znacznie dokładniejsze niż dla siatki trójkątnej, założonej automatycznie przez program Gambit.

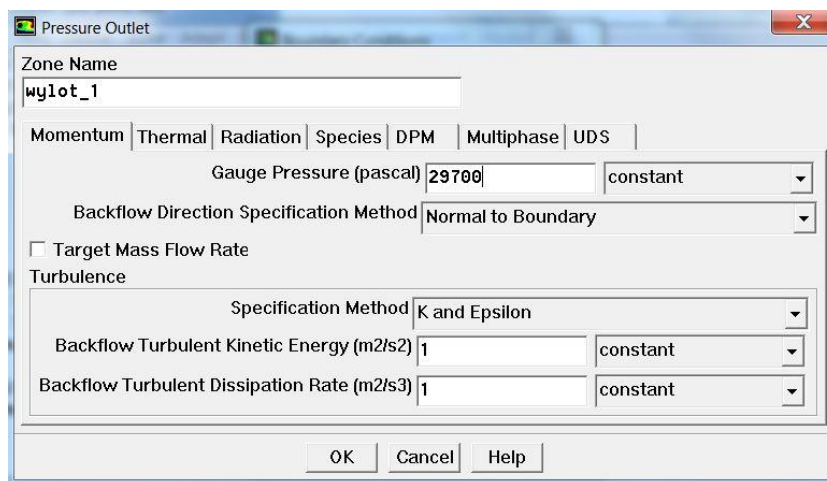
5. Obliczenia we Fluencie - wersja z ciśnieniem

Obliczenia wykonane dla warunku początkowego - ciśnienie 0,3 bar na wlocie, spadek 1% na wylocie (czyli 0,297 bar).

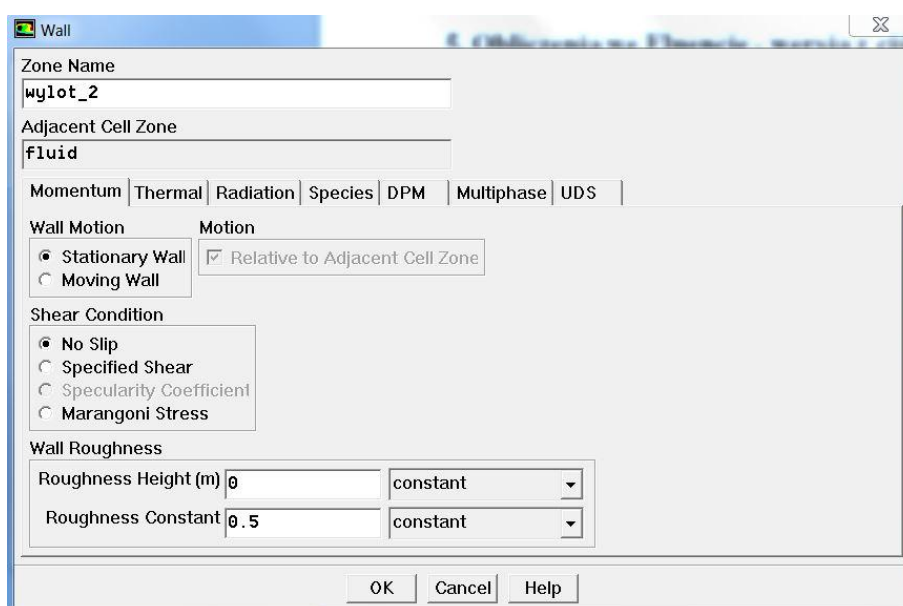
5.1. Obliczenia siatki quad

Postępowanie zgodne jest z prezentowanym wcześniej w obliczeniach prędkościowych, za wyjątkiem warunków brzegowych, które wyglądają następująco:

Rys 5.1.1. a) na wlocie - ciśnienie 0,3 bar



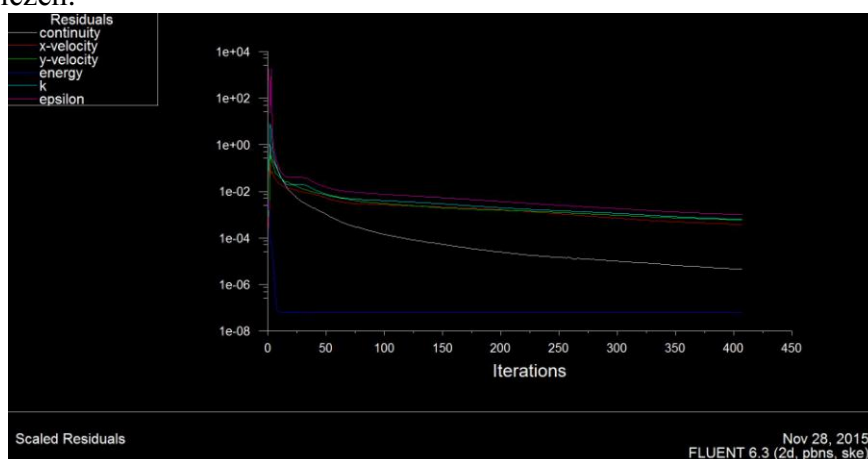
Rys 5.1.1. b) na wylocie - ciśnienie 0,297 bar - spadek 1%



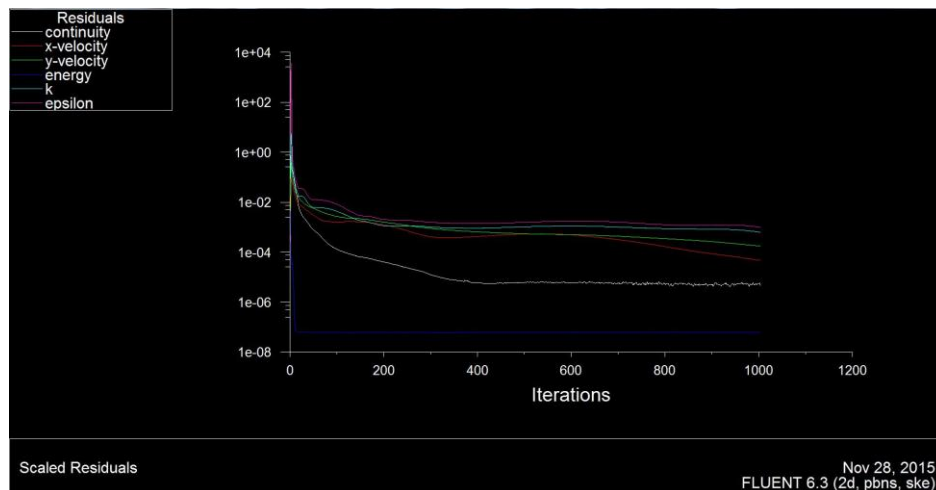
Rys 5.1.1. c) na wylocie - ustalenie wylotów nr 2, 3, 4 jako wall (przepływ zamknięty) - przy ustaleniu outflow na 0 wyskakują błędy

Zbieżność została ustalona na poziomie 5 miejsc po przecinku.

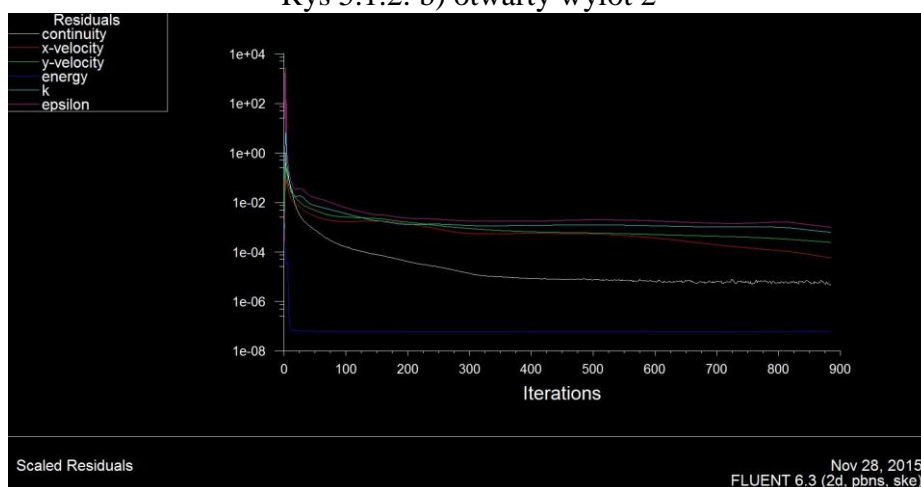
Wykresy obliczeń:



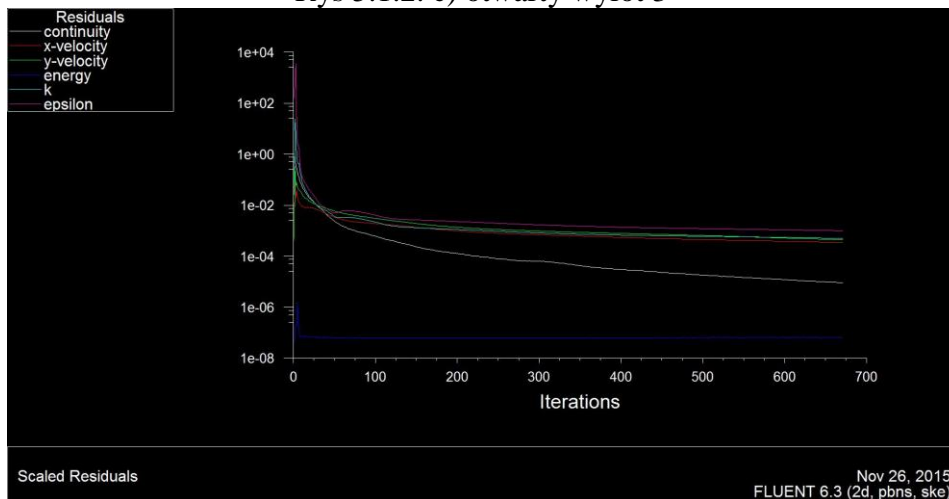
Rys 5.1.2. a) otwarty wylot 1



Rys 5.1.2. b) otwarty wylot 2



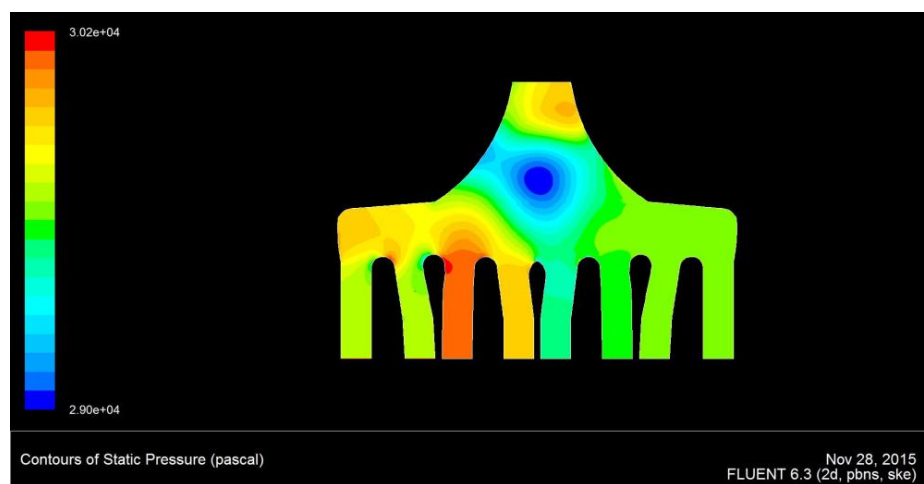
Rys 5.1.2. c) otwarty wylot 3



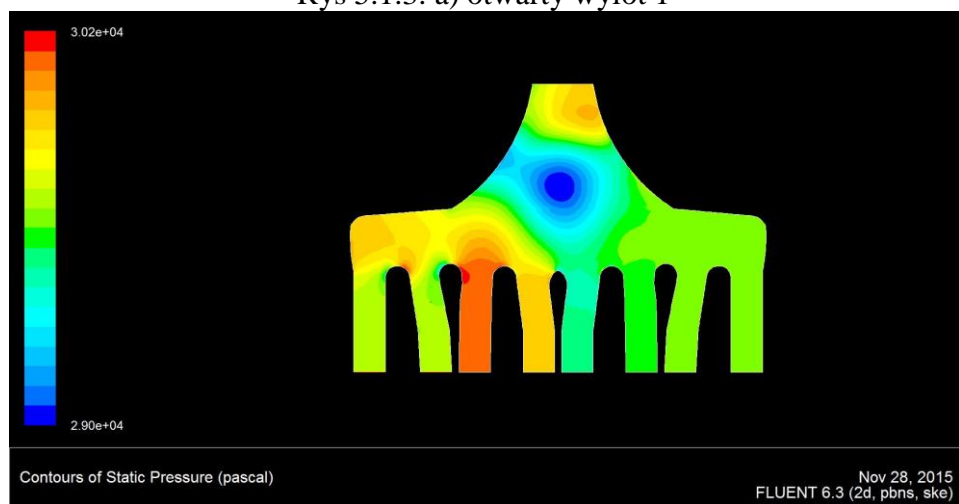
Rys 5.1.2. d) otwarty wylot 4

O pewnej niedokładności uzyskanych wyników świadczyć mogą zachwiania rozbieżności przed jej uzyskaniem.

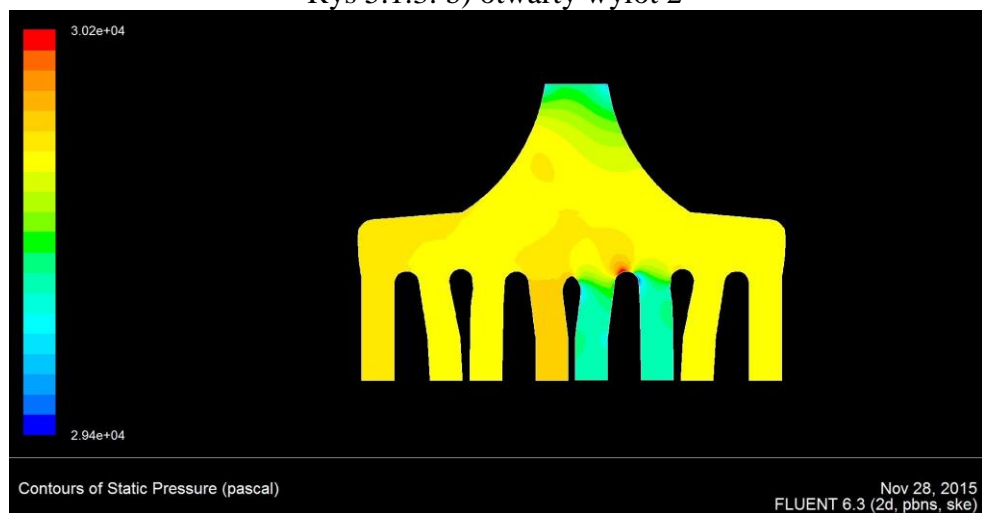
Wykresy ciśnień:



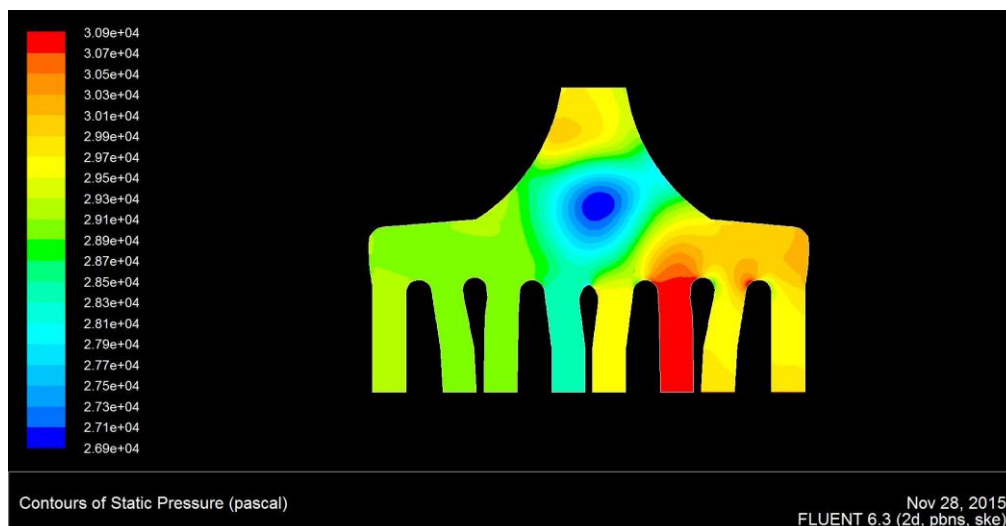
Rys 5.1.3. a) otwarty wylot 1



Rys 5.1.3. b) otwarty wylot 2



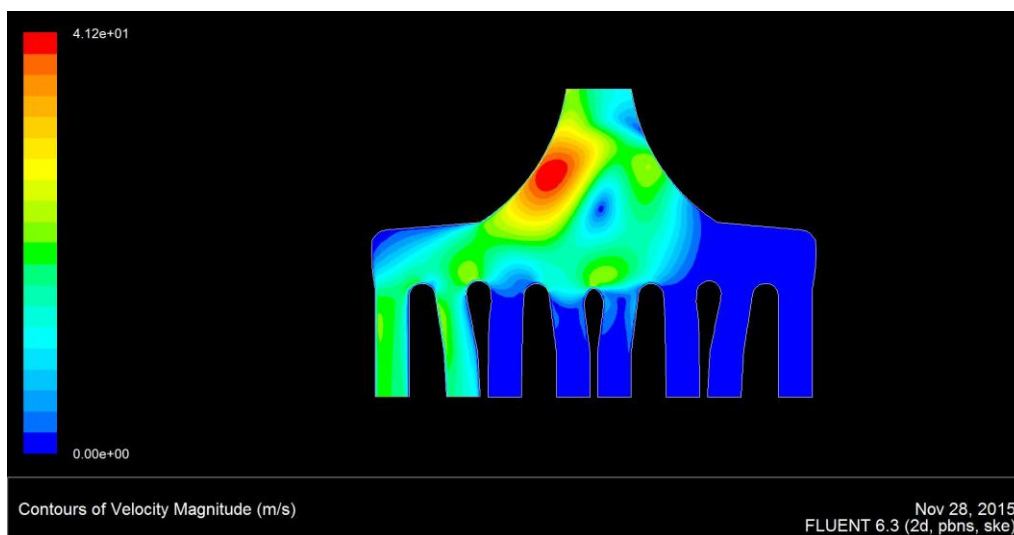
Rys 5.1.3. c) otwarty wylot 3



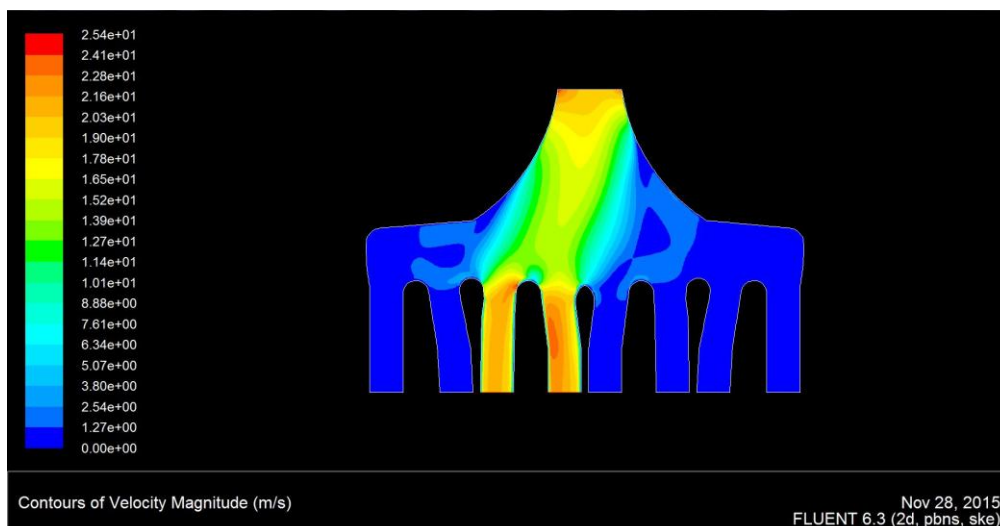
Rys 5.1.3. d) otwarty wylot 4

Ciśnienia na wlocie i wylocie uzależnione są warunkami początkowymi, stąd niewielkie różnice między nimi w porównaniu z przypadkiem z prędkościami.

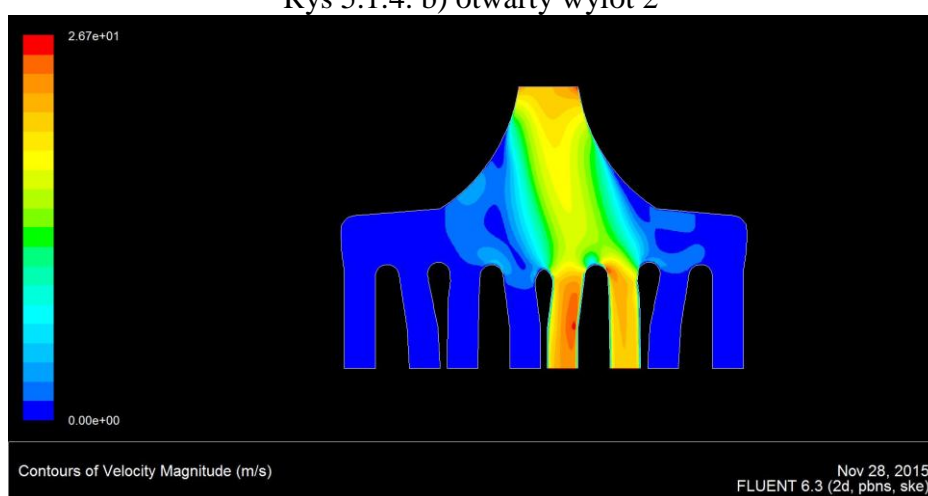
Wykresy prędkości:



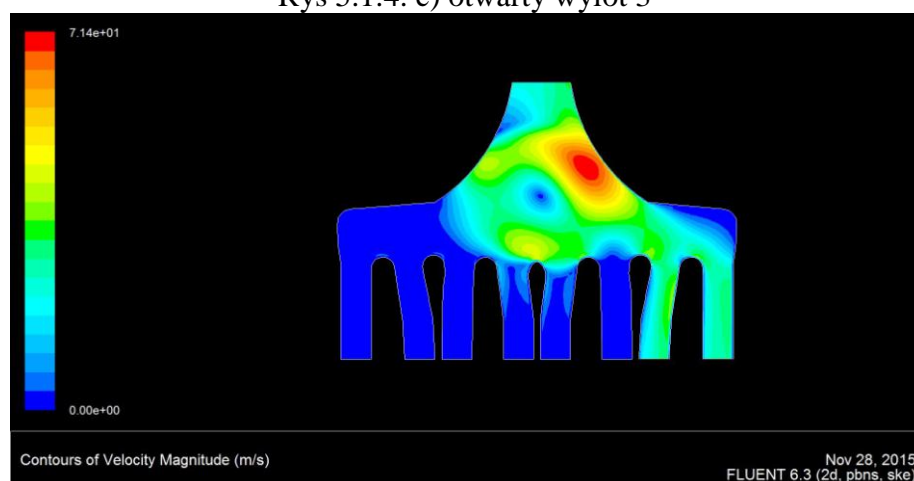
Rys 5.1.4. a) otwarty wylot 1



Rys 5.1.4. b) otwarty wylot 2



Rys 5.1.4. c) otwarty wylot 3

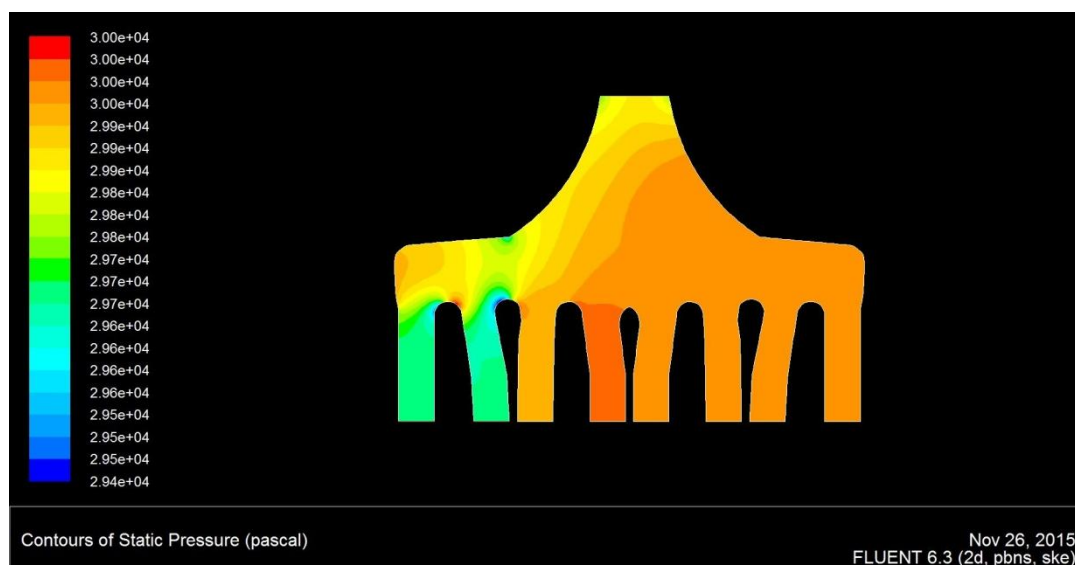


Rys 5.1.4. d) otwarty wylot 4

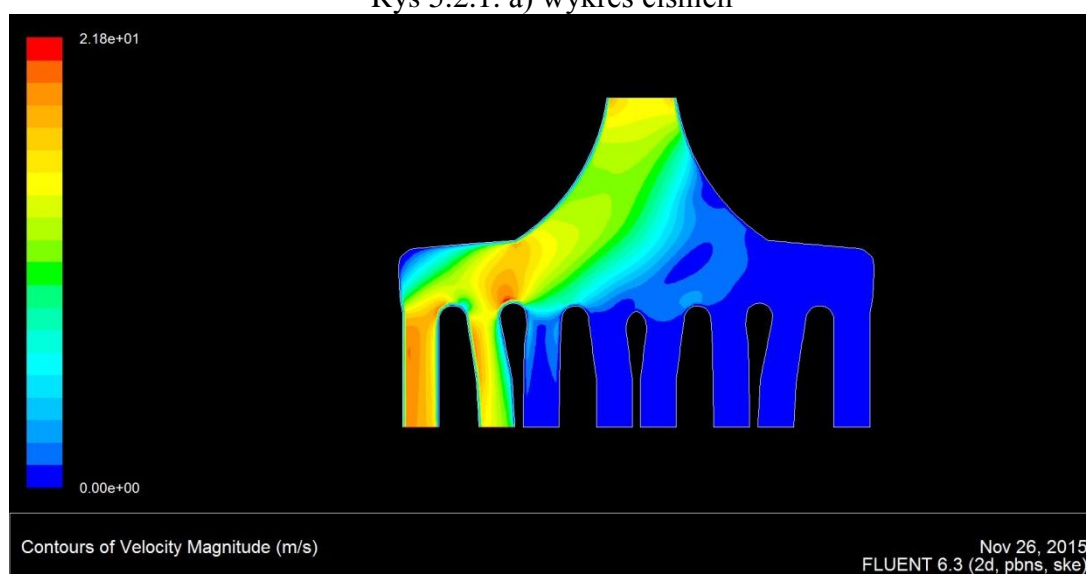
Prędkości na wylocie są niemal identyczne jak na wlocie bo różnica ciśnień nie jest duża (1%), ale podobnie jak w pierwszym przypadku w miejscach gdzie kanały są zamknięte prędkości są zerowe, a ciśnienia wysokie.

5.2. Obliczenia siatki automatycznej:

Aby uzyskać punkt odniesienia do wniosków zostały przeprowadzone obliczenia na siatce automatycznie założonej przez program Gambit, przy otwartym wylocie nr 1.



Rys 5.2.1. a) wykres ciśnień



Rys 5.2.1. b) wykres prędkości

5.3. Wnioski

Także dla obliczeń z wersji z ciśnieniem występuje zgoda z teorią, gdzie przepływ jest stały, prędkości przy mniejszej średnicy się zwiększają. Tam gdzie jest wylot jest niższe ciśnienie. Różnice w wykresach z ciśnienia i prędkości spowodowane są znacząco różnymi warunkami początkowymi.