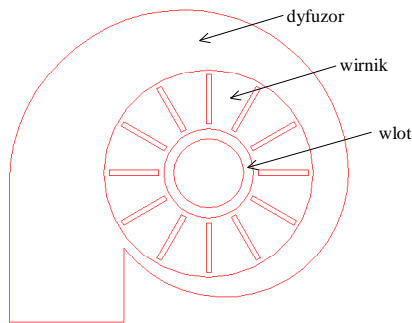


Ćwiczenie: Wentylator promieniowy

Sformułowanie zadania

Celem ćwiczenia jest obliczenie przepływu wewnątrz wentylatora promieniowego o kształcie jak na rysunku, z wykorzystaniem metody **Multiple Rotating Reference Frames**. Polega ona na tym, że w wyodrębnionym obszarze (który pozostaje nieruchomy) nadaje się elementom płynu dodatkowe składowe prędkości, tak jakby obszar ten był w ruchu.

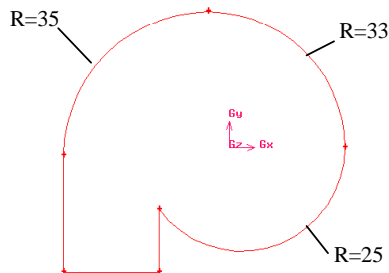


Wentylator składa się z 3 elementów: dyfuzor, wirnik, wlot.

Budowanie geometrii (GAMBIT)

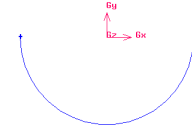
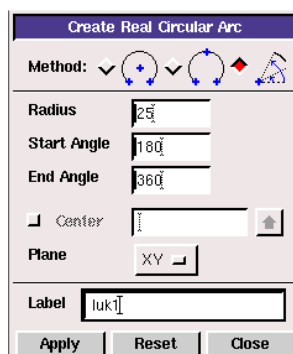
a) Tworzenie dyfuzora

Płaszczyzna dyfuzora ograniczona jest trzema odcinkami łuków o promieniu odpowiednio 25, 33 i 35 jednostek oraz trzema odcinkami prostymi jak pokazano na rysunku.

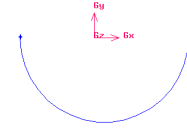


Zadanie należy rozpocząć od kolejnego wykonania łuków o promieniach 25 (luk1), 33 (luk2) i 35 (luk3). Łuk luk1 o promieniu 25 rozpoczyna się przy kącie 180° i kończy przy 360° .

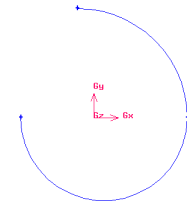
Operation Toolpad > Geometry Command Button > Edge Command Button > Create Real Circular Arc



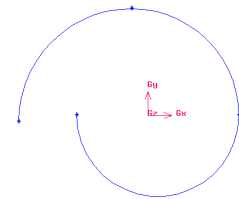
Następnie łuk luk1 przesuwamy o 3 jednostki w kierunku $+X$.



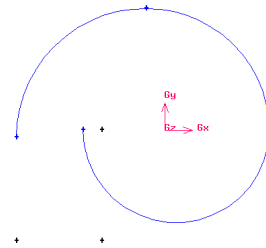
Z kolei wykonujemy łuk luk2 o promieniu 33, kącie początkowym 0° i kącie końcowym 90° przesuwając go następnie o 5 jednostek w kierunku ujemnych X.



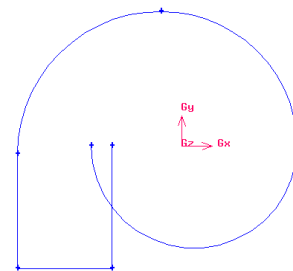
Na zakończenie wykonujemy łuk luk3 o promieniu 35, kącie początkowym 90° i kącie końcowym 180° przesuwając go następnie o 5 jednostek w kierunku ujemnych X i o 2 jednostki w kierunku ujemnych Y.



Teraz należy utworzyć trzy punkty o współrzędnych odpowiednio $(-40, -30)$, $(-17, -30)$ oraz $(-17, 0)$.

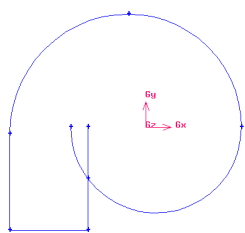
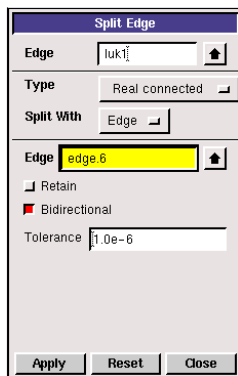


Wykorzystując te punkty należy utworzyć trzy krawędzie jak na rysunku.

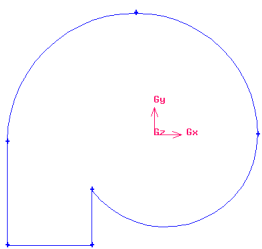


Teraz należy podzielić łuk luk1 za pomocą pionowej krawędzi edge6 w ten sposób, że obie krawędzie zostaną podzielone na dwie części (służy do tego opcja **Bidirectional**, którą należy uaktywnić).

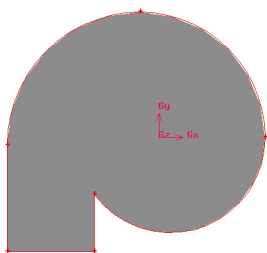
Operation Toolpad > Geometry Command Button > Edge Command Button > Split Edge



a następnie usunąć górną część łuku oraz pionowej krawędzi otrzymując układ jak niżej.



Następnie z istniejących krawędzi należy utworzyć powierzchnię i nadać jej nazwę „dyfuzor”.

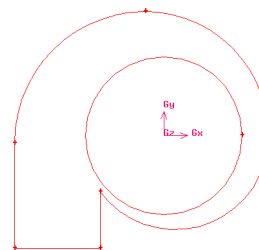


W wyniku tej operacji utworzona została powierzchnia o nazwie „dyfuzor” a jednocześnie usunięte zostały pokrywające się węzły.

b) Tworzenie części wentylatora o nazwie „wirnik”

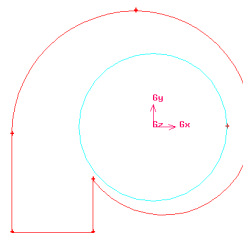
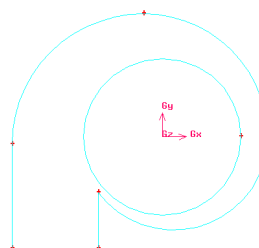
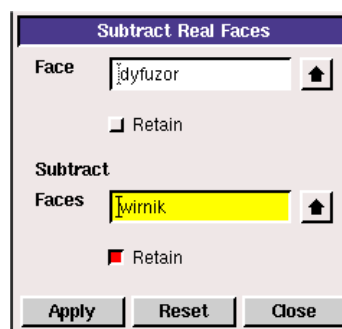
Wirnik wentylatora jest powierzchnią pierścieniową o promieniu zewnętrznym równym 21 jednostek i promieniu wewnętrznym równym 9 jednostek.

Pracę rozpoczynamy od utworzenia koła o promieniu 21 jednostek, nadając mu nazwę „wirnik”.

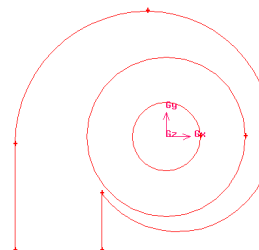


Powierzchnię „wirnik” należy teraz odjąć od powierzchni „dyfuzor” pozostawiając ją jednocześnie do dalszego opracowania (włączona opcja **Retain** przy powierzchni „wirnik”). Po tej operacji otrzymujemy powierzchnię „dyfuzor” z wyciętą częścią środkową oraz pozostawioną powierzchnię „wirnik”.

Operation Toolpad > Geometry Command Button > Face Command Button > Subtract Real Faces

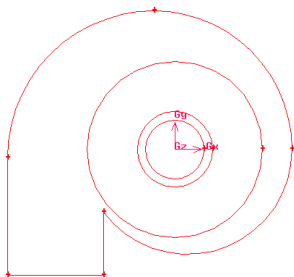


Dalej należy utworzyć powierzchnię o nazwie „wlot” jako koło o promieniu 9 jednostek a następnie odjąć ją od powierzchni „wirnik” pozostawiając ją jak poprzednio do dalszego opracowania (włączona opcja Retain przy powierzchni „wlot”).



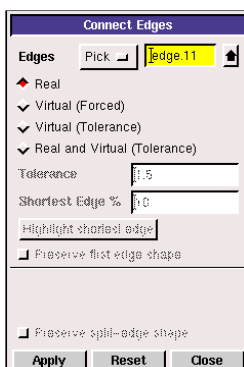
c) Wewnętrzny pierścień wentylatora „wlot”

Na zakończenie, w celu stworzenia wewnętrznego pierścienia wentylatora o nazwie „wlot” należy utworzyć powierzchnię o nazwie “srodek” (koło o promieniu 7 jednostek).



Tym razem podczas odejmowania jej od powierzchni “wlot” **nie należy uaktywniać opcji „Retain”**, ponieważ powierzchnia “srodek” nie będzie już potrzebna. Jako końcowy efekt operacji pokazanych wyżej otrzymujemy trzy powierzchnie: “dyfuzor”, „wirlnik” i “wlot”.

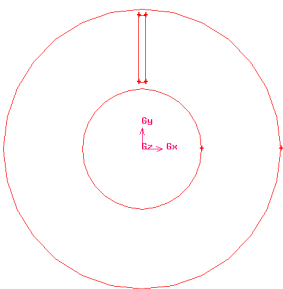
Na koniec należy jeszcze usunąć niepotrzebne podwójne krawędzie pomiędzy dyfuzorem a wirlnikiem oraz pomiędzy wirlnikiem a wlotem (byłyby one potrzebne w przypadku rozpatrywanie przepływu nieustalonego z ruchem siatki wirlnika).



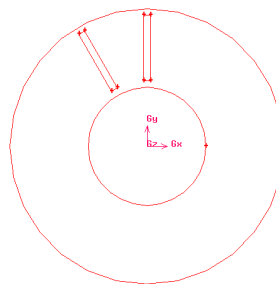
Po tej operacji powinno pozostać 9 krawędzi.

d) Wykonanie łopatek wirlnika

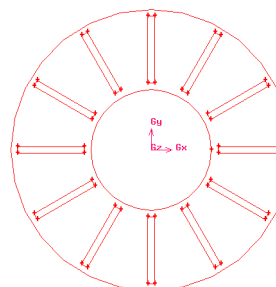
W płaszczyźnie XY Centered utworzyć prostokąt „łopaska” o wymiarach 1x10 a następnie przesunąć go o 15 jednostek w kierunku dodatnim osi Y.



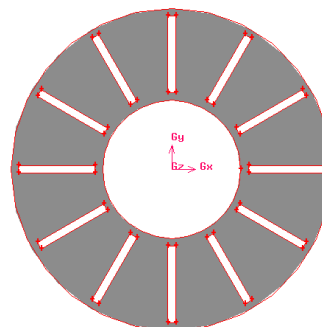
Teraz należy skopiować prostokąt „łopaska” z jednoczesnym obrotem o 30 stopni (włączone opcje „Copy” i „Rotate”).



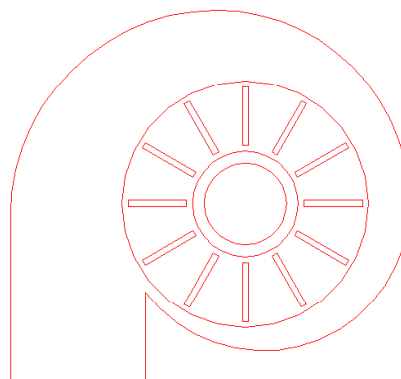
Powtórzyć operację kopiowania z jednoczesnym obrotem aż do uzyskania wszystkich 12 łopatek wirlnika.



Od wirlnika odjąć wszystkie łopatki. Po operacji otrzymujemy powierzchnię wirlnika jak pokazano na rysunku.

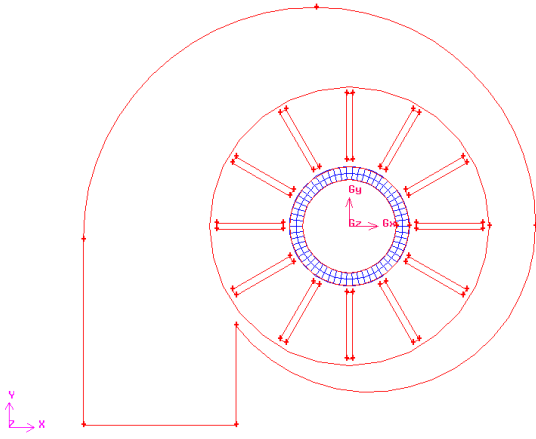


Ostateczny wynik tworzenia geometrii pokazano poniżej



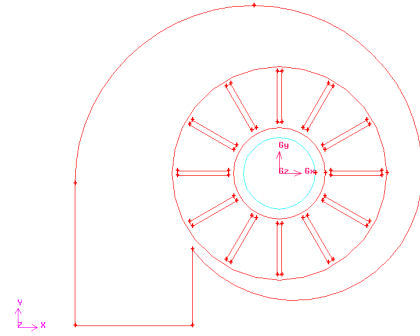
Tworzenie siatki (GAMBIT)

Tworzenie siatki rozpoczynamy od wlotu. Parametry siatki są następujące: Elements-Quad, Type-Map, Spacing=1 (Interval Size)

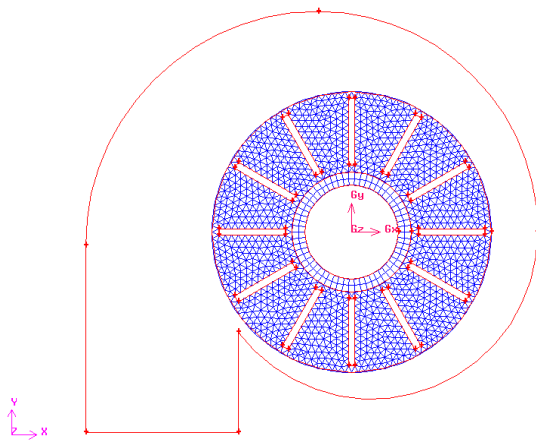


Dla wirnika parametry siatki są następujące: Elements-Tri, Type-Pave, Spacing=1 (Interval Size)

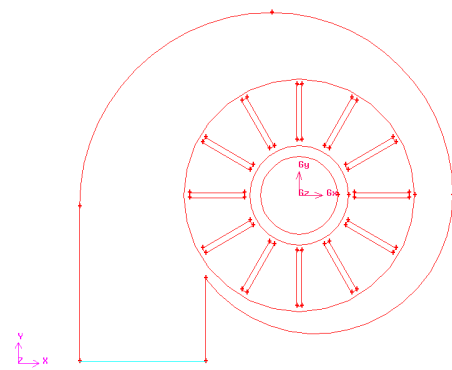
a) krawędź wewnętrzna „wlotu” jest typu PRESSURE_INLET i otrzymuje nazwę „wlot”.



b) krawędź dolna „dyfuzora” jest typu PRESSURE_OUTLET i otrzymuje nazwę „wylot”.



Dla dyfuzora parametry siatki są takie same jak dla wirnika: Elements-Tri, Type-Pave, Spacing=1 (Interval Size)

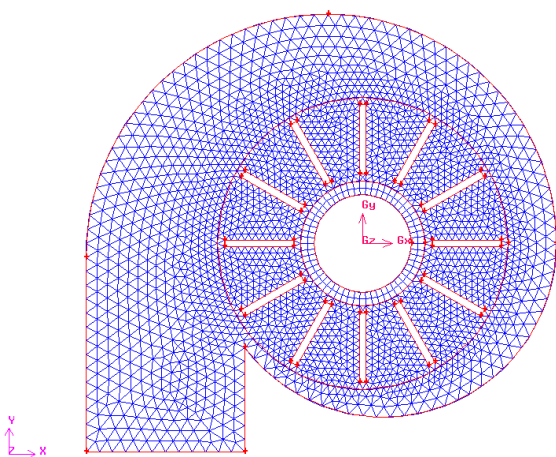


c) krawędź rozdzielająca „dyfuzor” od „wirnika” jest typu INTERIOR i otrzymuje nazwę „kolo-d”.

d) krawędź rozdzielająca „wirnik” od „wlotu” jest typu INTERIOR i otrzymuje nazwę „kolo-m”.

e) łopatki „wirnika” są typu WALL i otrzymują nazwę „łopatki”.

f) zewnętrzne krawędzie „dyfuzora” są typu WALL i otrzymują nazwę „ścianki”.



Ustalenie warunków brzegowych dla obszarów wewnętrznych wentylatora

Wszystkie obszary są typu FLUID i otrzymują nazwy: dyfuzor, wirnik i dołot.

Zapis wyników pracy

Eksport dwuwymiarowej siatki

Należy upewnić się, że nastąpi eksport dwuwymiarowej siatki (aktywna opcja Export 2d Mesh).

Ustalenie warunków brzegowych

Wybieramy solver

Main Menu > Solver > FLUENT 5/6

Ustalenie warunków brzegowych dla wybranych krawędzi wentylatora

5. Obliczenia (FLUENT)

Uruchomić program FLUENT w wersji 2d

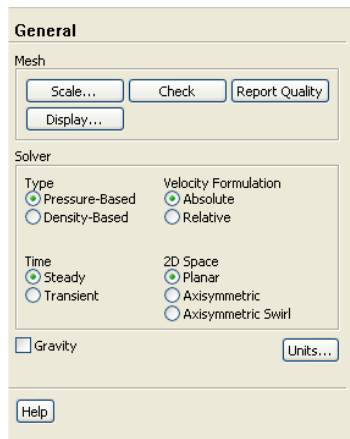
Wczytać siatkę

File > Read > Mesh

(wybierz katalog i plik) wentylator.msh > OK

Przeskalować siatkę (siatka była wykonana w cm)

Główne ustawienia solvera



(Pressure Based, Absolute, Steady, Planar)

Ustawić model lepkości płynu

Przepływ lepki, model turbulencji Spalart-Allmaras. Pozostałe parametry bez zmian.

Wybrać materiał

Materials>Fluid>Air

Obliczenia wykonamy dla powietrza o stałej gęstości ($\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$, $\mu=1.789 \times 10^{-5} \text{ kg/m*s}$) – przyjęte wartości odpowiadają powietrzu o temperaturze 15°C .

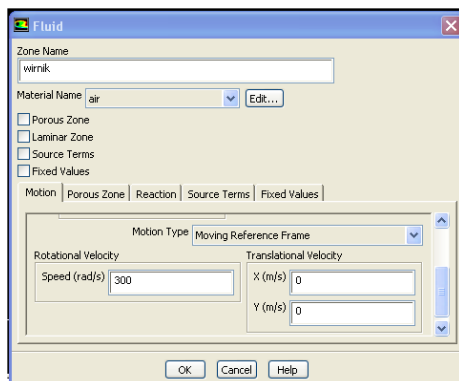
Ustalenie warunków odniesienia

Cell Zone Conditions > Operating Conditions

Jako warunki odniesienia przyjmujemy: brak grawitacji (dopuszczalny w tym przypadku), zerowe wartości współrzędnych dla ciśnienia odniesienia oraz ciśnienie atmosferyczne równe 101325 Pa (ciśnienia będą liczone w stosunku do tego ciśnienia).

Ustalenie warunków dla obszaru wirnika (Rotational Reference Frame)

Cell Zone Conditions > Wirnik>edit

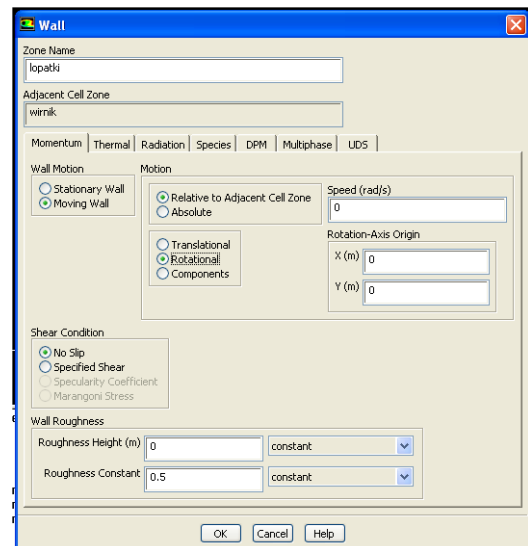


W opcji **Motion Type** wybieramy **Moving Reference Frame**, w opcji **Rotation-Axis Origin** pozostawiamy wartości $X=0$, $Y=0$ (środek obrotu wirnika pokrywa się z początkiem układu współrzędnych) a w opcji **Rotational Velocity** wstawiamy 300 rad/s ($=2865 \text{ obr/min}$).

Ustalenie warunków dla łopatek wirnika

Boundary Conditions (łopatki) > Edit

W zakładce **Momentum** w polu **Wall Motion** należy wybrać **Moving Wall**, w polu **Motion** opcję **Relative to Adjacent Cell Zone, Rotational, Speed = 0, Rotation-Axis Origin $X=0$, $Y=0$** .



Ustalenie warunków brzegowych

Boundary Conditions

Na początku sprawdzamy, czy wszystkie krawędzie mają dobrze zdefiniowane warunki brzegowe (w szczególności warunek typu INTERIOR dla krawędzi kolo-d i kolo-m).

Następnie ustalamy **poziom turbulencji na wlocie**

W opcji **Turbulence Specification Method** wybieramy **Diameter Intensity and Hydraulic** a następnie przyjmujemy poziom turbulencji równy 5% oraz średnicę hydrauliczną 0.1 m (równą wysokości łopatki).

Z kolei ustalamy **poziom turbulencji na wylocie**

Przyjmujemy poziom turbulencji równy 5% oraz średnicę hydrauliczną 0.1 m (jak na wlocie).

Ustalenie sposobu wyświetlania residuów

Wyłączamy opcję **Print to Console**, pozostałe wielkości (**Convergence Absolute Criteria**) pozostawiamy na poziomie 0.001 .

Inicjalizacja zadania

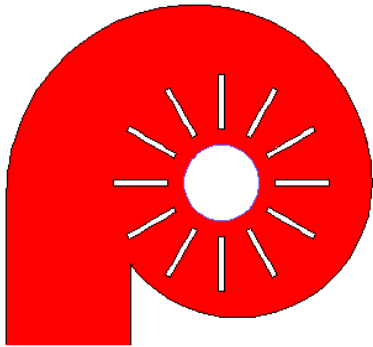
Zadanie zainicjalizujemy z warunków wlotu.

Solution Initialization > Compute from wlot

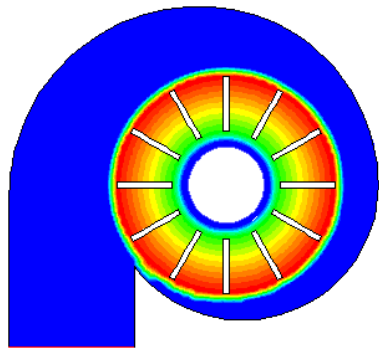
Sprawdzenie poprawności inicjalizacji

Graphics and Animations > Contours > Set Up

Wybieramy opcję **Filled** a następnie **Contours of Pressure**



i **Contours of Velocity** (rozkład prędkości wewnątrz wirnika wynika z prędkości obrotowej).



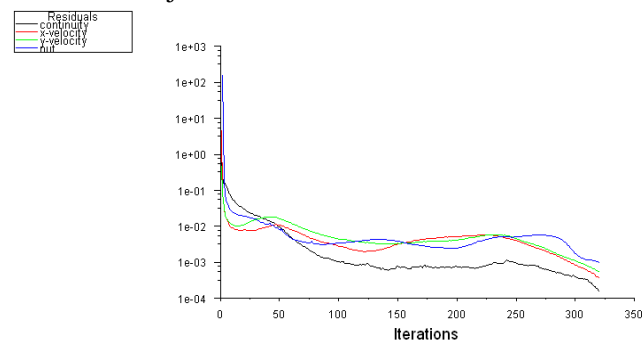
Jeśli otrzymane obrazy są takie, jak na rys. możemy przystąpić do iterowania rozwiązania.

Iteracje

Wykonujemy ok. 350 iteracji.

Run Calculation > Number of Iterations wpisujemy **350**

Rozwiązanie powinno osiągnąć wymaganą zbieżność po ok. 320 iteracjach.



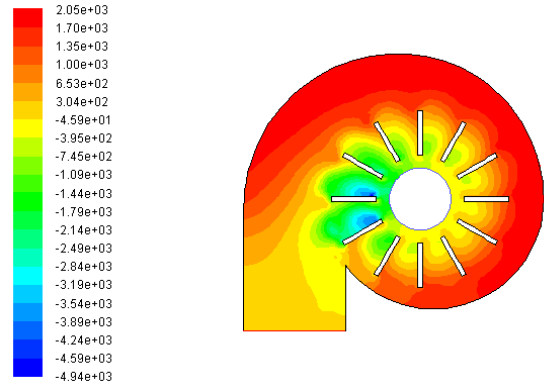
Analiza wyników (Results)

Analiza wyników obliczeń polega na **wizualizacji pól ciśnienia, prędkości, wektorów prędkości oraz torów elementów płynu**. Przedstawiono ją poniżej.

Wizualizacja pól ciśnienia

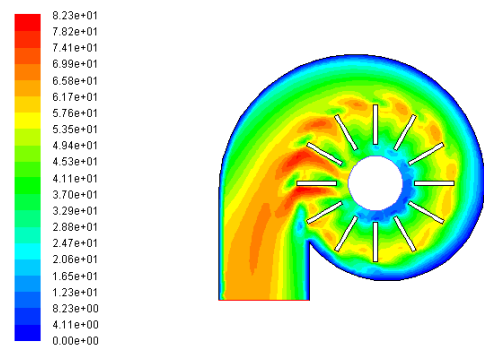
Graphics and Animations > Contours > Set Up

Contours of Pressure (Static Pressure) > Display



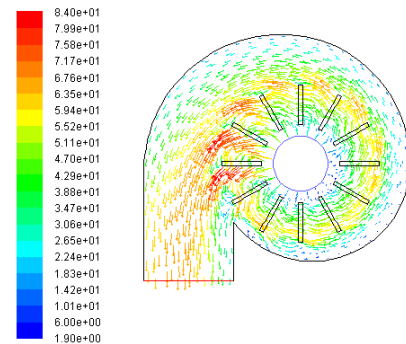
Wizualizacja pól prędkości

Contours of Velocity (Velocity Magnitude) > Display



Wizualizacja wektorów prędkości

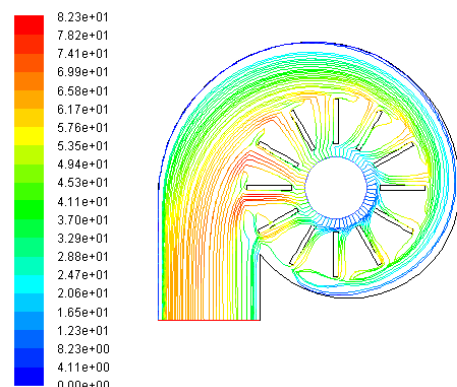
Graphics and Animations > Vectors > Set Up



Wizualizacja linii prądu

Graphics and Animations > Pathlines > Set Up

Release from Surfaces wybieramy **wlot** > Display



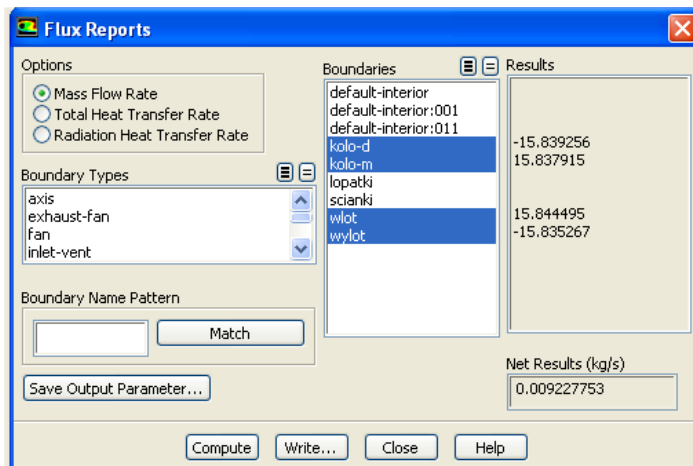
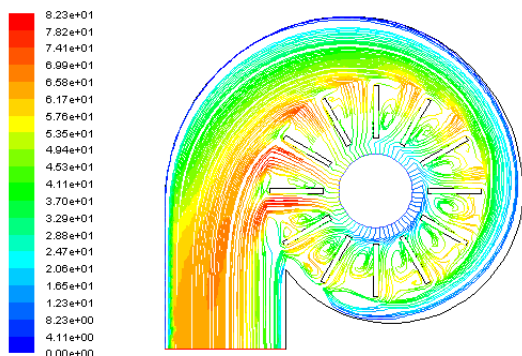
Jak widać na załączonym rysunku, wewnątrz łopatek są puste obszary, gdzie można spodziewać się przepływów powrotnych. Aby je uwidocznnić, musimy stworzyć dodat-

kową płaszczyznę przechodzącą przez środek wirnika (o promieniu ok. 0.15 m).

[Graphics and Animations > Pathlines > Set Up > New Surface > Iso-Surface](#)

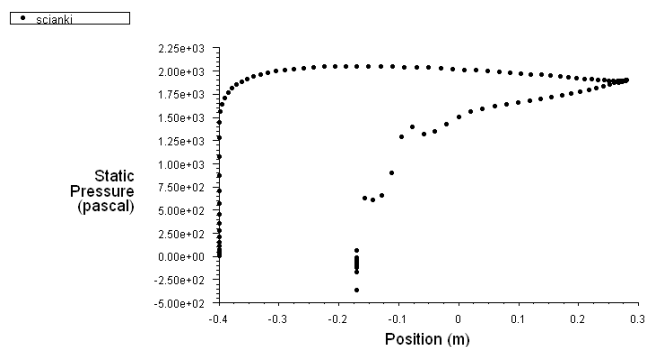
W oknie **Surface of Constant** wybieramy opcję **Mesh** a poniżej **Radial Coordinate**. W oknie **Iso-Values (m)** wpisujemy wartość 0.15. W oknie **New Surface Name** wpisujemy nazwę (np. $r = 0.15$ m) i naciskamy przycisk **Create** a potem **Close**.

W oknie **Release from Surfaces** oprócz opcji **włot** uaktywniamy dodatkowo **$r = 0.15$ m**. Otrzymujemy nowy, polepszony obraz linii prądu.



Zmiana ciśnienia na ściance dyfuzora

[Plots > XY Plot > Set Up](#)



Wydatki masowe

Ostatnim elementem analizy wyników jest obliczenie oraz porównanie wydatków masowych w charakterystycznych przekrojach. Ponieważ rozpatrywano przepływ płaski (2D) to obliczone w kg/s wartości wydatków odnoszą się do 1m rozpiętości wentylatora.

[Report > Fluxes > Set Up](#)

Wybierając w oknie **Boundaries: wlot, wylot, kolo-m, kolo-d** otrzymujemy wydatki masowe powietrza przepływającego przez daną powierzchnię. Znak (+) oznacza, że płyn wpływa, znak (-), że płyn wypływa (np. 15.83 kg/s poprzez wylot). Wartość w polu **Net Results** (0.00923 kg/s) oznacza największą różnicę w obliczonych wydatkach, co wskazuje na dokładność obliczeń (ok. 0.06 %).