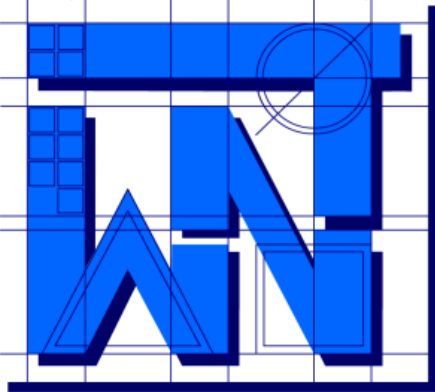


Wydział Nauk Technicznych



UNIVERSITY OF WARMIA AND MAZURY IN OLSZTYN  
The Faculty of Technical Sciences  
POLAND, 10-957 Olsztyn, M. Oczapowskiego 11  
tel.: (48)(89) 5-23-32-40, fax: (48)(89) 5-23-32-55  
URL: <http://www.uwm.edu.pl/edu/sobieski/> (in Polish)



# NUMERYCZNA MECHANIKA PŁYNÓW

ANSYS Fluent

Wojciech Sobieski

Olsztyn, 2003-2021

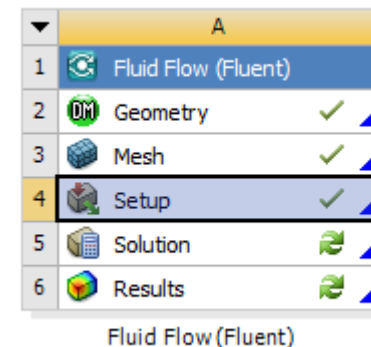
# ANSYS Fluent

---

**ANSYS Fluent** – jeden z modułów komercyjnego pakietu ANSYS, przeznaczony do wykonywania symulacji numerycznych przepływów płynów Metodą Objętości Skończonych.

ANSYS Fluent nie posiada narzędzi do definiowania geometrii i tworzenia siatek numerycznych – potrzebne są dodatkowe narzędzia:

- ANSYS DesignModeller, ANSYS SpaceClaim (lub inne),
- ANSYS Meshing (lub inne).



# Ogólny algorytm działań

---

## Meshing

Mesh Generation

## Solution Setup

**General**

Models

Materials

Phases

Cell Zone Conditions

Boundary Conditions

Mesh Interfaces

Dynamic Mesh

Reference Values

## Solution

Solution Methods

Solution Controls

Monitors

Solution Initialization

Calculation Activities

Run Calculation

## Results

Graphics and Animations

Plots

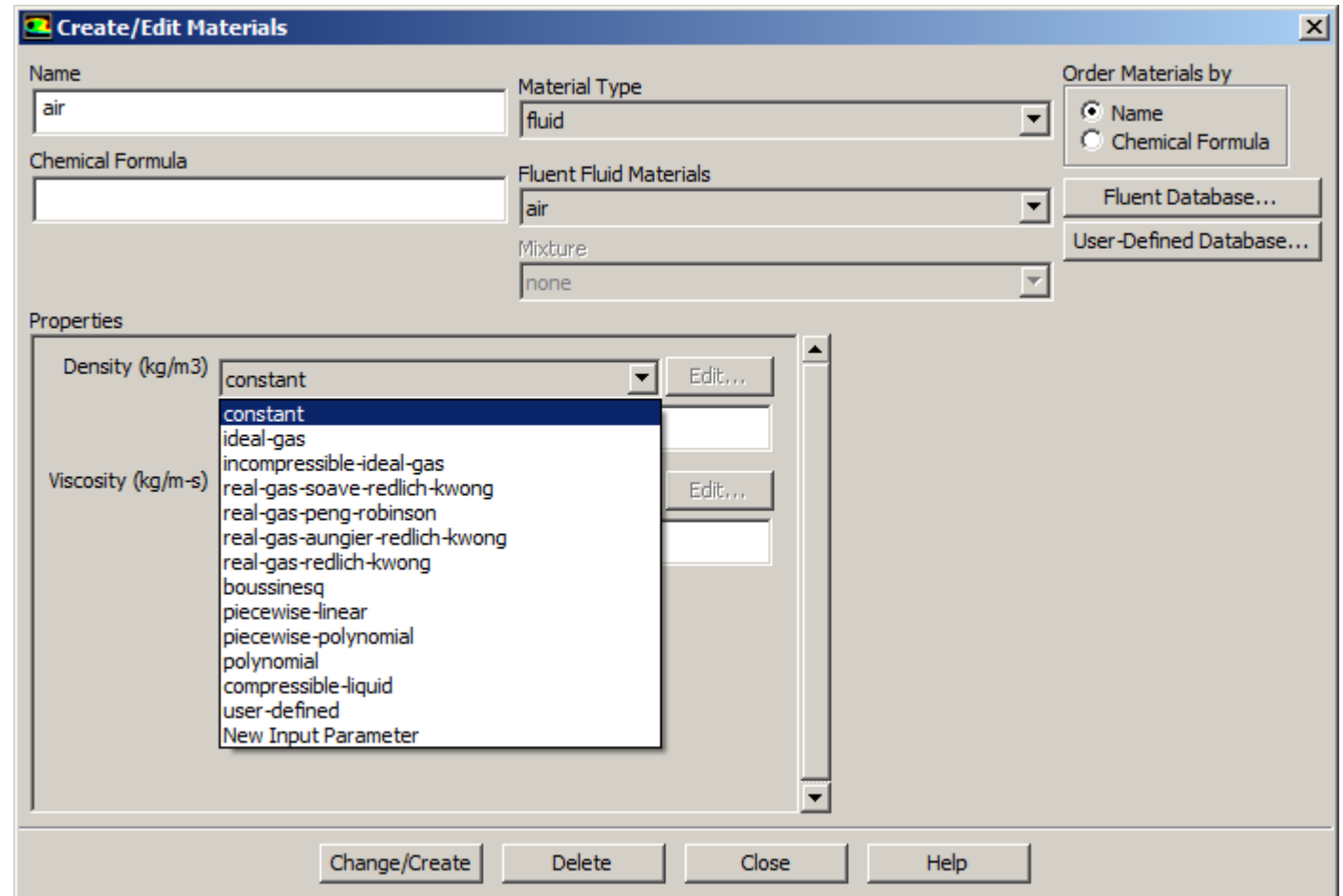
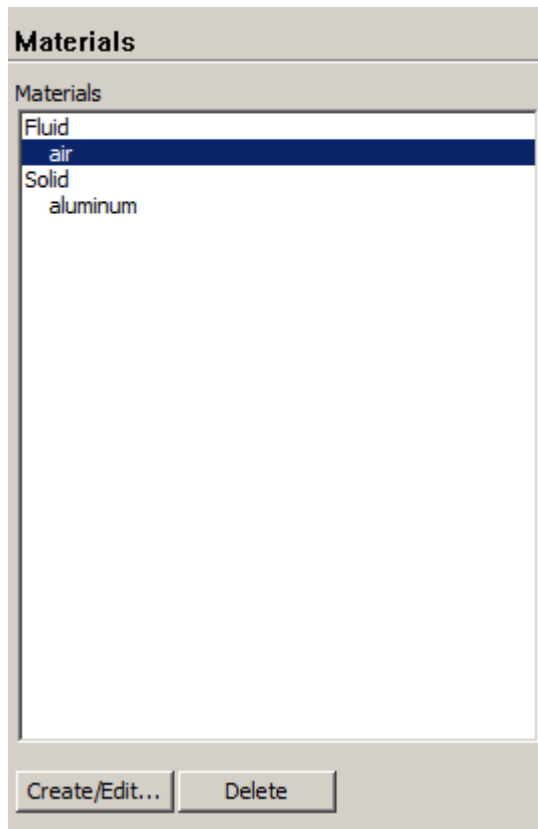
Reports

- **General** – rodzaj solvera, rodzaj obliczeń
- **Models** – ustawienia dotyczące „fizyki” zjawisk
- **Materials** – definicja mediów i ich właściwości
- **Phases** – definicja kolejności faz oraz interakcji między nimi (np. model kawitacji, model wymiany pędu)
- **Cell Zone Conditions** – ustawienia własności stref (np. definicja strefy porowatej)
- **Mesh Interfaces** –
- **Dynamic Mesh** –
- **Reference Values** – definicja wartości odniesienia dla jednostek
- **Solution Methods** – definicja metod rozwiązywania równań i rzędów schematów numerycznych
- **Solution Controls** – definicja wartości współczynników relaksacji
- **Monitors** – ustawienia rejestratorów
- **Solution Initialization** – inicjalizacja wartości pól skalarnych i wektorowych
- **Calculation Activities** – definicja dodatkowych działań realizowanych podczas obliczeń (np. zapis wizualizacji)
- **Run Calculation** – ustawienia dotyczące iteracji/czasu obliczeń
- **Graphic and Animation** – postprocesor
- **Plots** – moduł tworzenia wykresów
- **Reports** – moduł tworzenia raportów (np. sił oporu i unoszenia)

# Rodzaje mediów

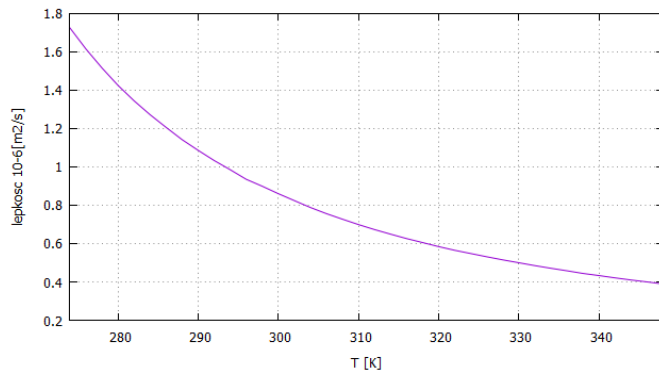
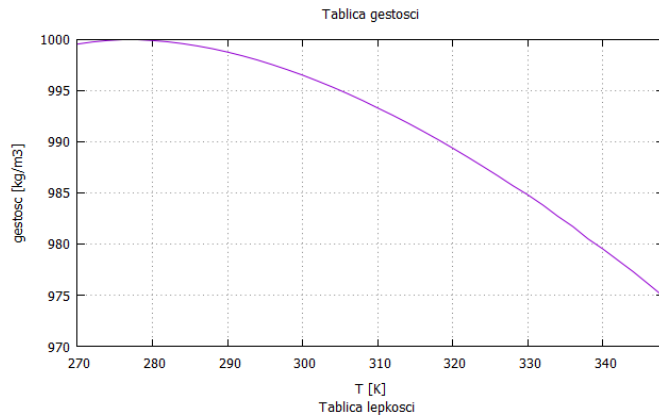
Rodzaje mediów:

- płyn  
(ściśliwy, nieściśliwy),
- ciało stałe.



Okno definicji modelu płynu.

# Rodzaje mediów



Fluent Database Materials

Fluent Fluid Materials

- vinyl-silylidene (h2cchsih)
- vinyl-trichlorosilane (sid3ch2ch)
- vinylidene-chloride (ch2ccd2)
- water-liquid (h2o<l>)**
- water-vapor (h2o)
- wood-volatiles (wood\_vol)

Material Type: fluid

Order Materials by:

- Name
- Chemical Formula

Copy Materials from Case... Delete

Properties

Density (kg/m3): constant, View..., 998.2

Cp (Specific Heat) (j/kg-k): constant, View..., 4182

Thermal Conductivity (w/m-k): constant, View..., 0.6

Viscosity (kg/m-s): constant, View..., 0.001003

New... Edit... Save Copy Close Help

Properties

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

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

Baza mediów.

# Warunki brzegowe

## External Boundaries

### Uniwersalne:

- pressure inlet
- pressure outlet

### Przepływy nieściśliwe:

- velocity inlet
- outflow (nie zalecany)

### Przepływy ściśliwe:

- mass flow inlet
- pressure far field

### Inne warunki:

- wall
- symmetry
- axis
- periodic

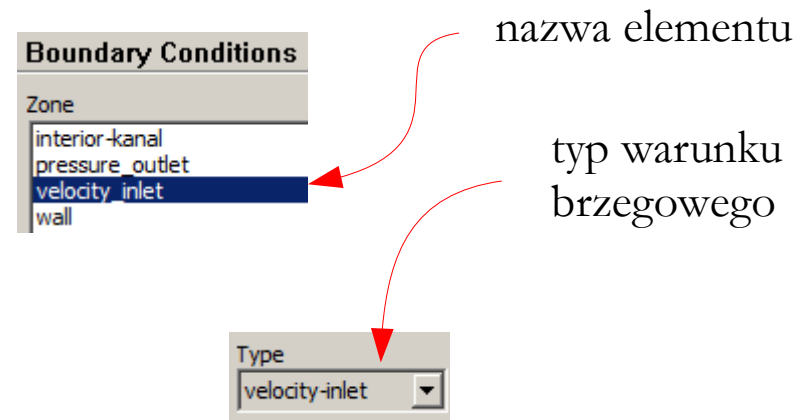
### Specjalne:

- inlet / outlet vent
- intake / exhaust fan

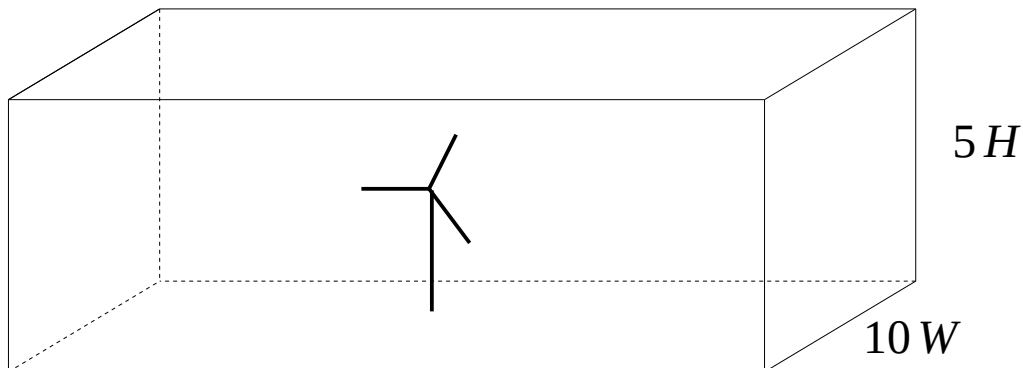
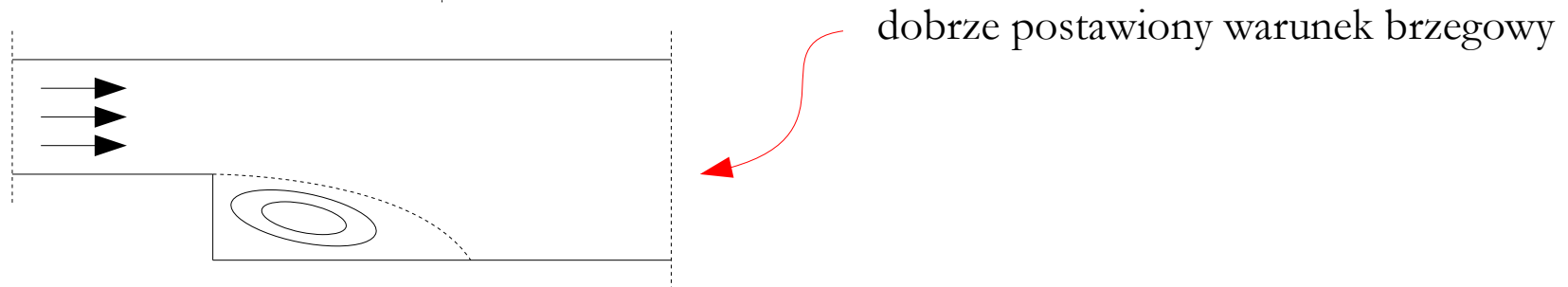
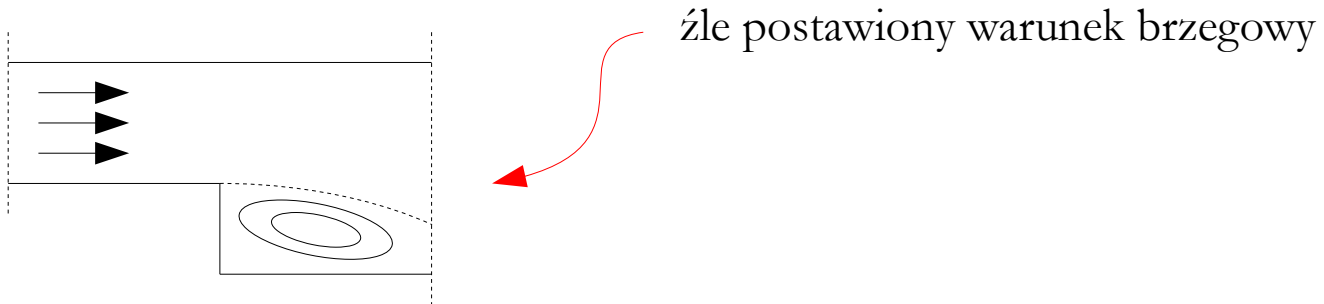
## Internal Boundaries

- fan
- interior
- porous jump
- radiator
- wall

Rodzaje warunków brzegowych.



# Warunki brzegowe



$H$  - wysokość obiektu

$W$  - szerokość obiektu

# Rodzaje Solwerów

## Rodzaje solwerów:

- **Pressure-Based** – solwer przeznaczony dla przepływów z małą lub średnią liczbą Macha ( $Ma < 2-3$ ),
- **Density-Based** – solwer przeznaczony dla przepływów z dużą liczbą Macha ( $Ma > 3$ ) lub przepływów z falami uderzeniowymi.

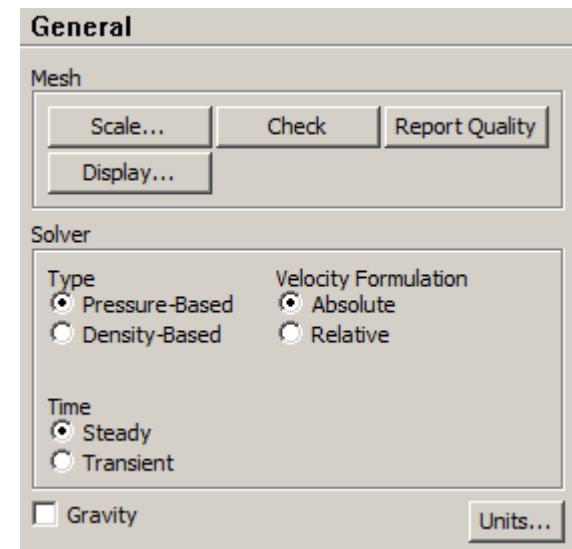
Liczba Macha (liczba bezwymiarowa):

$$M \leq \frac{v}{a}$$

$v$  - prędkość płynu lub obiektu

$a$  - prędkość dźwięku w płynie

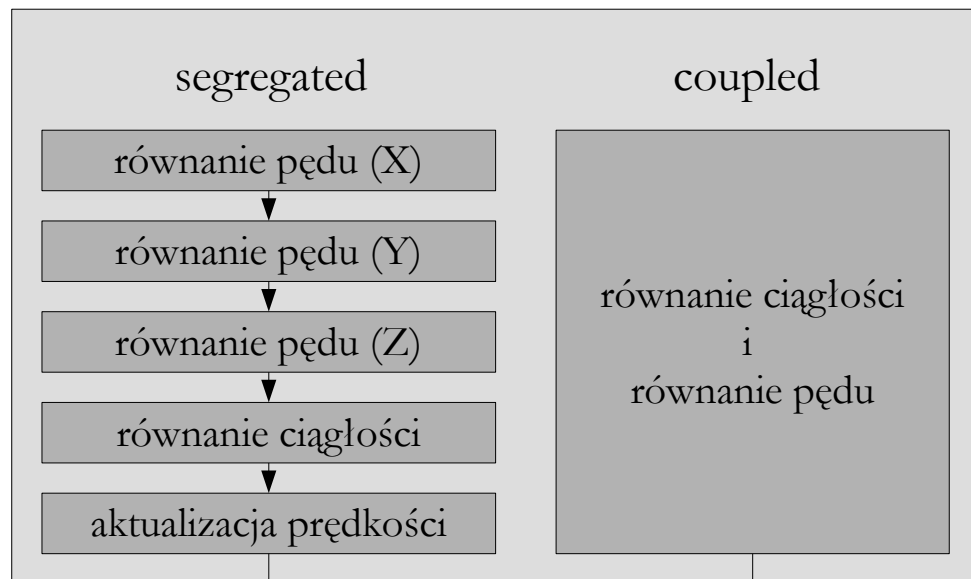
$$\left[ \frac{m}{s} \right]$$



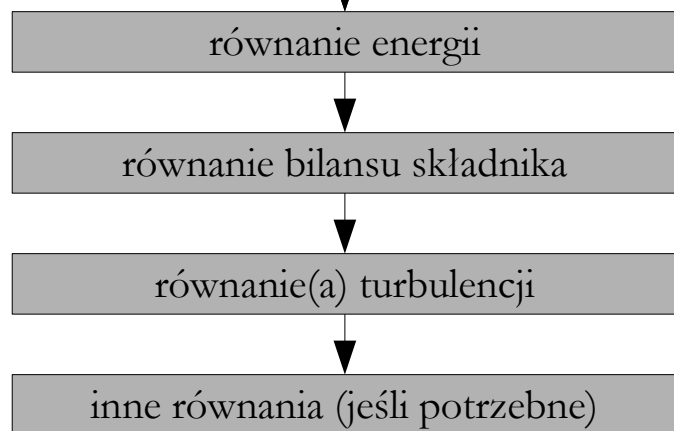
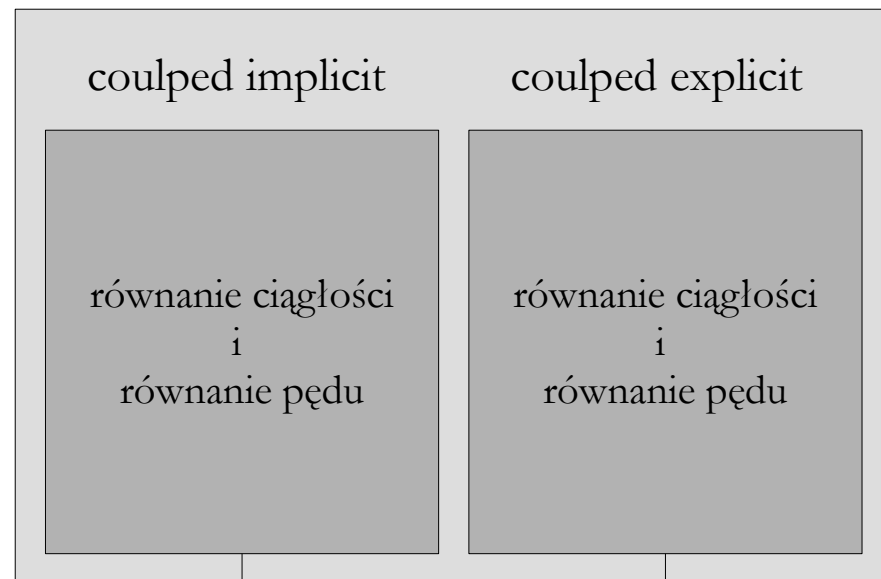


# Rodzaje Solwerów

## Pressure-Based



## Density-Based



Potrzebny algorytm spinający pola ciśnienia i prędkości.

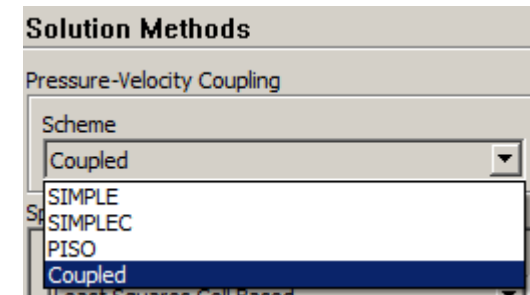


# Pressure-Based Solver

---

## Rodzaje algorytmów spinających pole ciśnienia i prędkości:

- **SIMPLE:**
  - algorytm dedykowany dla większości, przepływów płynów nieściśliwych.
- **Coupled:**
  - algorytm dedykowany dla przepływów płynów ściśliwych,
  - algorytm dedykowany dla przepływów płynów nieściśliwych z rotacją lub z istotnym wpływem sił wyporu,
  - algorytm wykorzystywany zamiast SIMPLE w przypadku problemów z uzyskaniem zbieżności.
- **PISO:**
  - algorytm dedykowany dla przepływów przejściowych.
- **SIMPLEC**



SIMPLE, SIMPLEC oraz PISO korzystają z relaksacyjnej metody rozwiązywania równań liniowych:

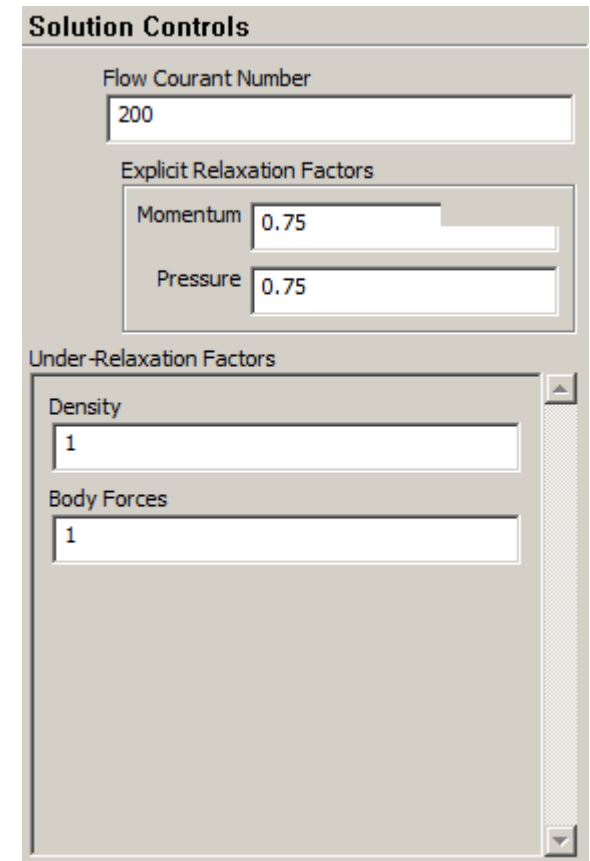
- współczynniki relaksacji są ważne dla procesu zbieżności,
- wynik końcowy nie zależy od wartości współczynników relaksacji, ale zależy od liczby iteracji,
- w razie problemów ze zbieżnością wartości współczynników relaksacji należy zmniejszać.

# Pressure-Based Solver

---

## Kontrola rozwiązania dla solwera Pressure-Based Coupled:

- metoda wykorzystująca liczbę Couranta (domyślnie 200):
  - zmniejszać wartość do 10-50 w przypadku problemów ze zbieżnością lub w przypadku skomplikowanej fizyki zjawisk (np. przepływy wielofazowe, spalanie),
  - mniejsza wartość wpływa korzystanie na stabilność obliczeń,
  - większa wartość skraca czas uzyskania zbieżności.



**Solution Controls**

Flow Courant Number  
200

Explicit Relaxation Factors

Momentum 0.75

Pressure 0.75

Under-Relaxation Factors

Density  
1

Body Forces  
1

# Pressure-Based Solver

## Kontrola rozwiązania dla solwera Pressure-Based Coupled:

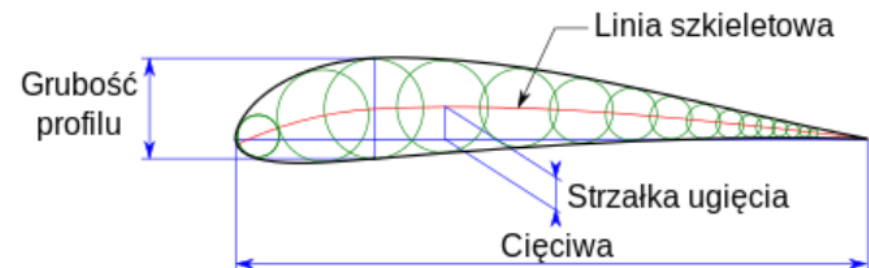
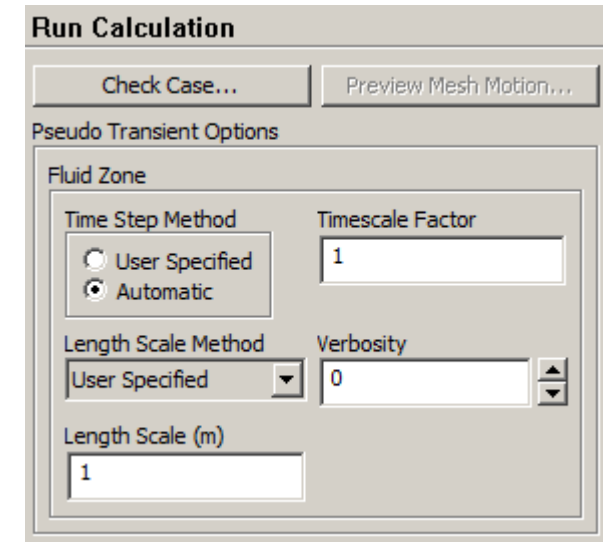
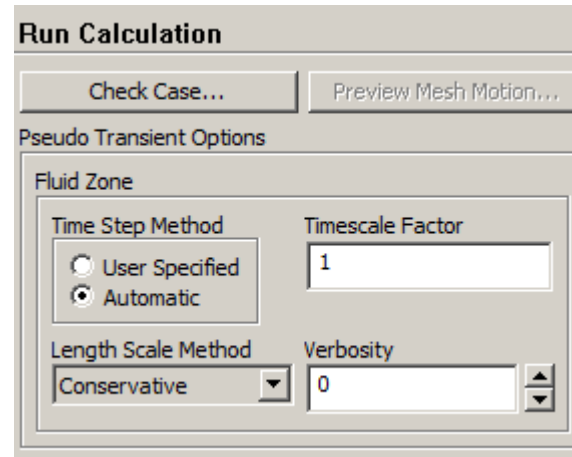
- metoda pseudo-niestacjonarna:
  - dale lepszą zbieżność dla siatek o złej jakości (duża wartość „Aspect Ratio”).

## Przepływy wewnętrzne:

- użyj metody „Automatic” – „Conservative”.

## Przepływy zewnętrzne:

- użyj metody „Automatic” – „User Specified”, gdzie „Length Scale” jest charakterystycznym wymiarem geometrii (np. cięciwa profilu lotniczego).

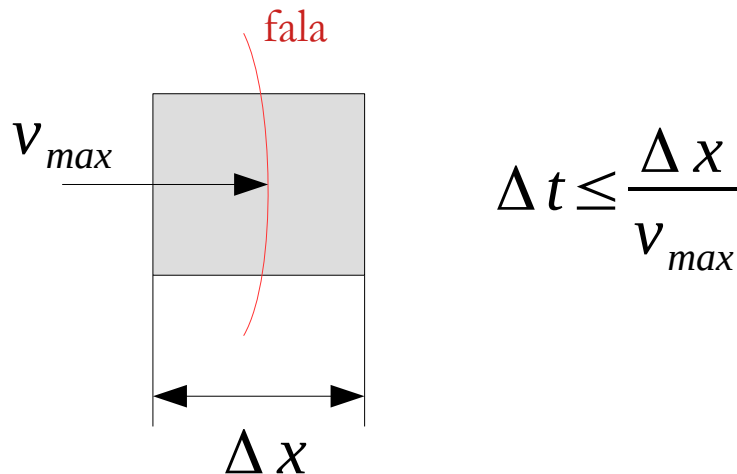


# Warunek Couranta (CFL)

---

**Warunek Couranta-Friedrichsa-Lewy'ego** (warunek CFL) – matematyczny warunek zbieżności numerycznych metod rozwiązywania pewnych równań różniczkowych cząstkowych (zwłaszcza równań hiperbolicznych). Pojawia się przy analizie stabilności jawnych metod numerycznych dla zagadnień zależnych od czasu.

Fizyczne znaczenie warunku CFL: Jeżeli równanie różniczkowe opisuje propagację fali, to w modelu numerycznym, w którym przestrzeń ciągłą przybliżono dyskretną siatką komórek, fala musi przejść przez pojedynczą komórkę siatki w czasie nie dłuższym niż czas potrzebny rzeczywistej fali na pokonanie tej samej odległości:



warunek Couranta (1D):

$$\frac{v_{max} \Delta t}{\Delta x} \leq C$$

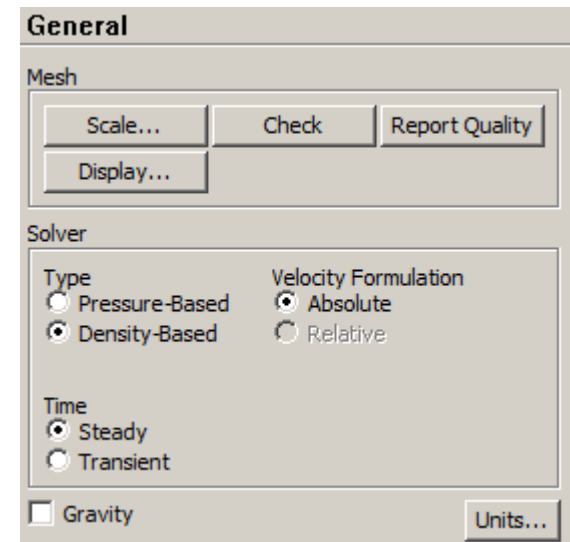
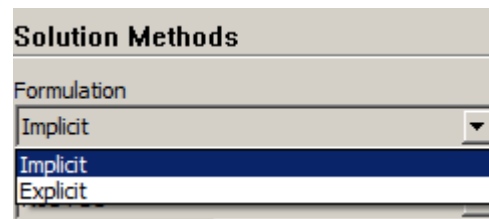
warunek Couranta (3D):

$$\frac{v_{x,max} \Delta t}{\Delta x} + \frac{v_{y,max} \Delta t}{\Delta y} + \frac{v_{z,max} \Delta t}{\Delta z} \leq C$$

# Density-Based Solver

## Density-Based Solver:

- Solver dedykowany dla przepływów płynów ściśliwych, w których występuje silne sprzężenie lub współzależność między gęstością, energią a pędem (duże wartości liczby Macha),
- Posiada wariant:
  - niejawny (implicit) – preferowany ze względu na brak restrykcji dotyczących liczby CFL,
    - domyślna wartość liczby Couranta 5,
    - na początku obliczeń można zmniejszyć wartość do 0.1 – 2.0,
    - przy przepływach zewnętrznych dopuszczalne są wartości rzędu 100 – 1000,
  - jawny (explicit):
    - domyślna wartość liczby Couranta 1,
    - wartość maksymalna liczby Couranta  $< 2$ .

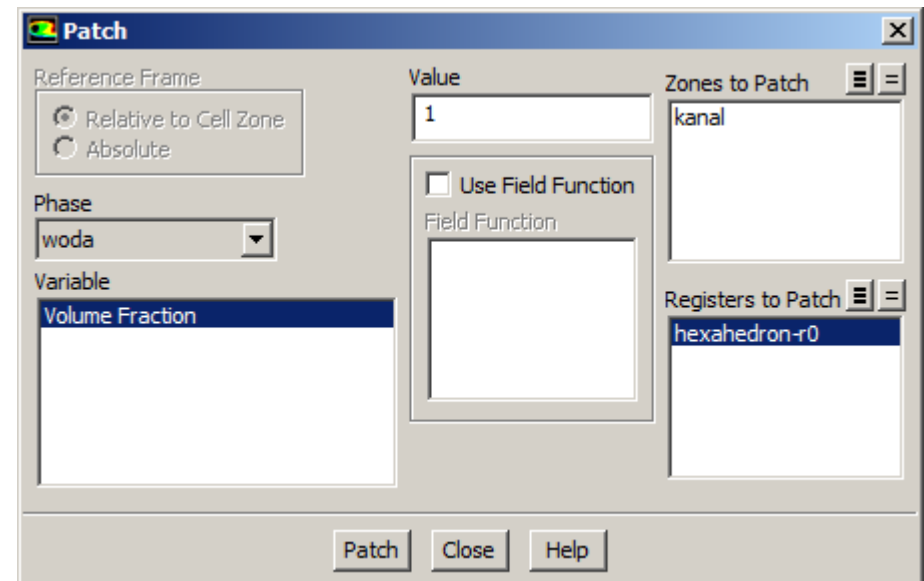
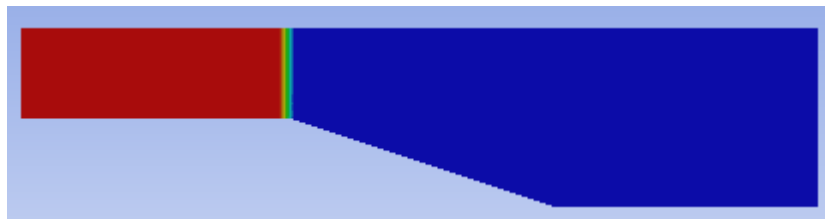
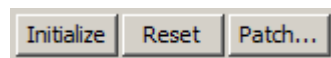
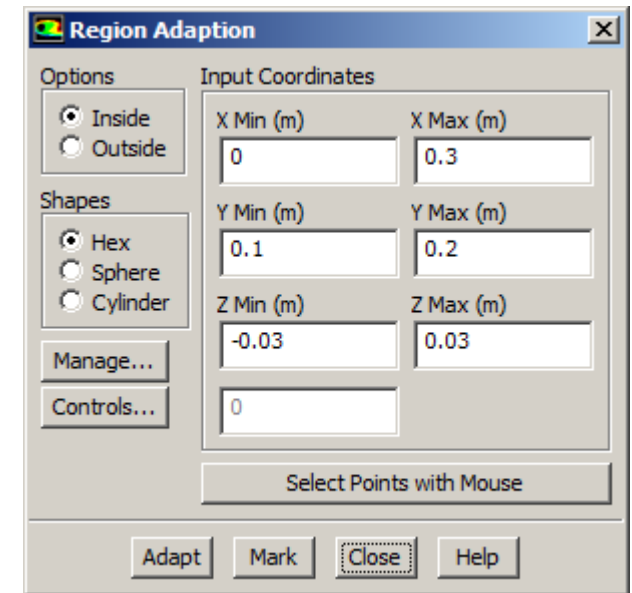


# Inicjalizacja obliczeń

## Rodzaje inicjalizacji:

- Standardowa – wszystkie komórki mają te same wartości parametrów, skopiowane z wybranego wlotu lub wylotu (wartości można również ustawić ręcznie),
- Hybrydowa – komórki mają różne parametry, dostosowane do wszystkich wlotów wylotów.

**Patch** – opcja umożliwiająca zmianę parametrów w wybranych regionach (często używane w modelach wielofazowych).



# Obliczenia

**Stan stacjonarny** – rozwiązanie nie zmienia się w czasie, więc wystarczy raz rozwiązać wszystkie równania do osiągnięcia określonego kryterium zbieżności.

**Run Calculation**

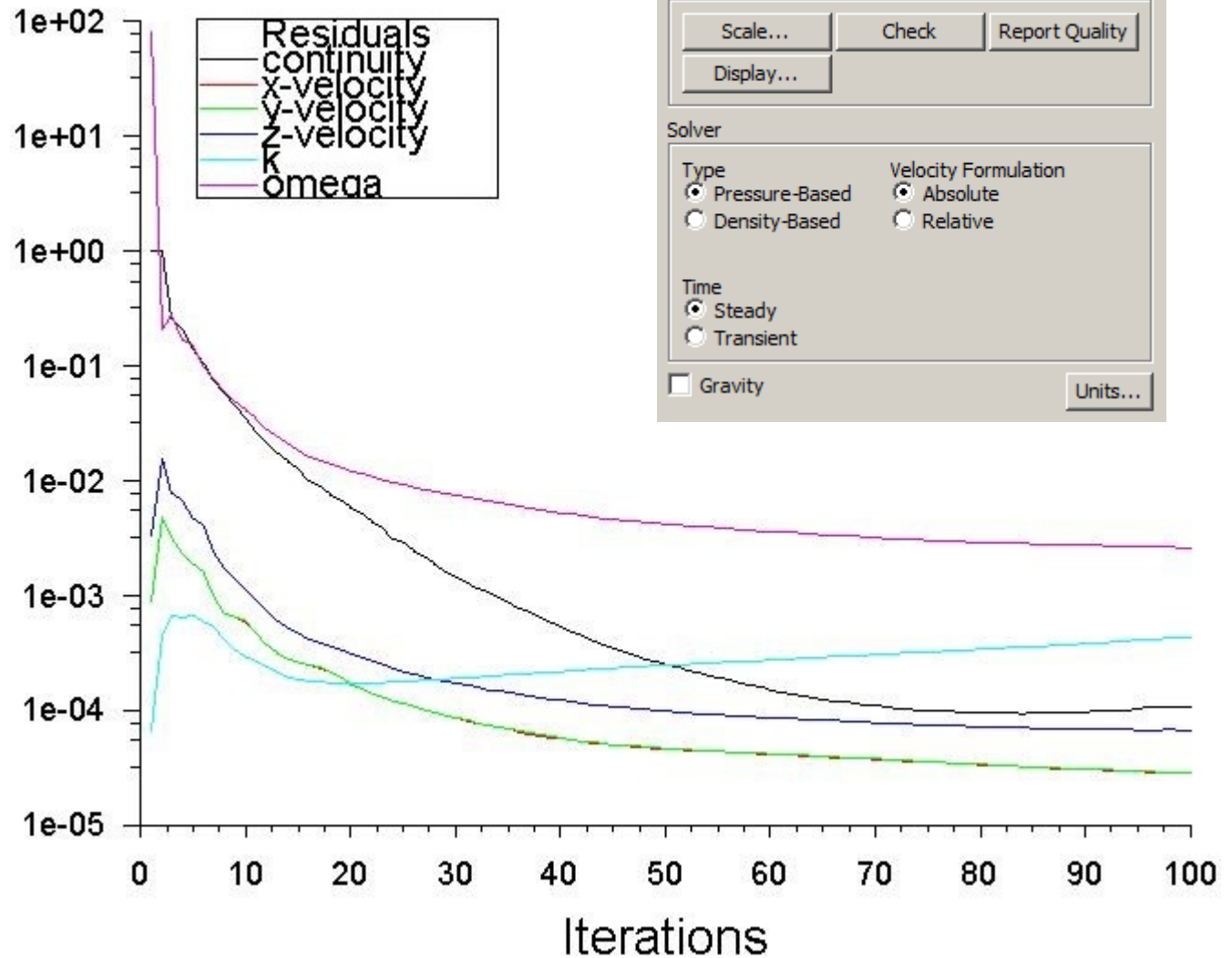
Check Case... Preview Mesh Motion...

Number of Iterations: 100 Reporting Interval: 1

Profile Update Interval: 1

Data File Quantities... Acoustic Signals...

Calculate



**General**

Mesh

Scale... Check Report Quality

Display...

Solver

Type

- Pressure-Based
- Density-Based

Velocity Formulation

- Absolute
- Relative

Time

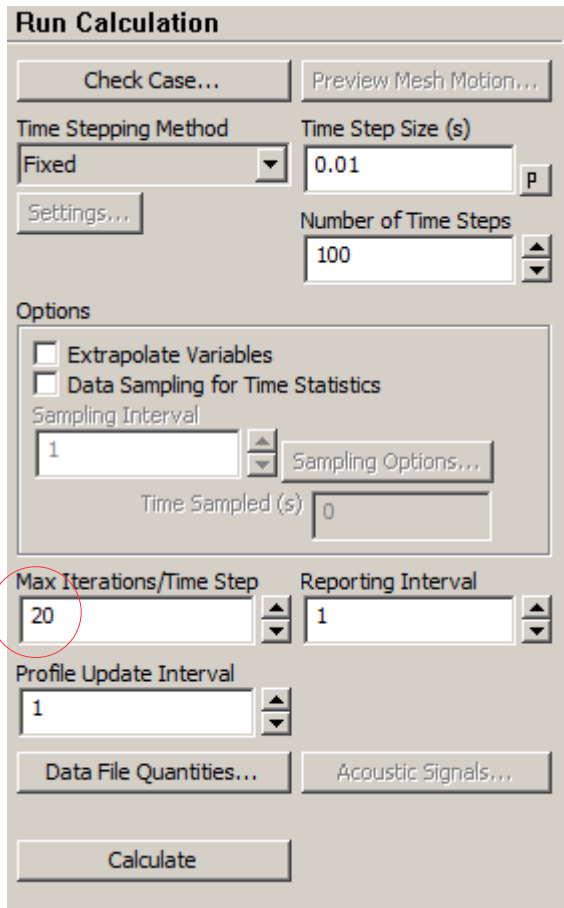
- Steady
- Transient

Gravity

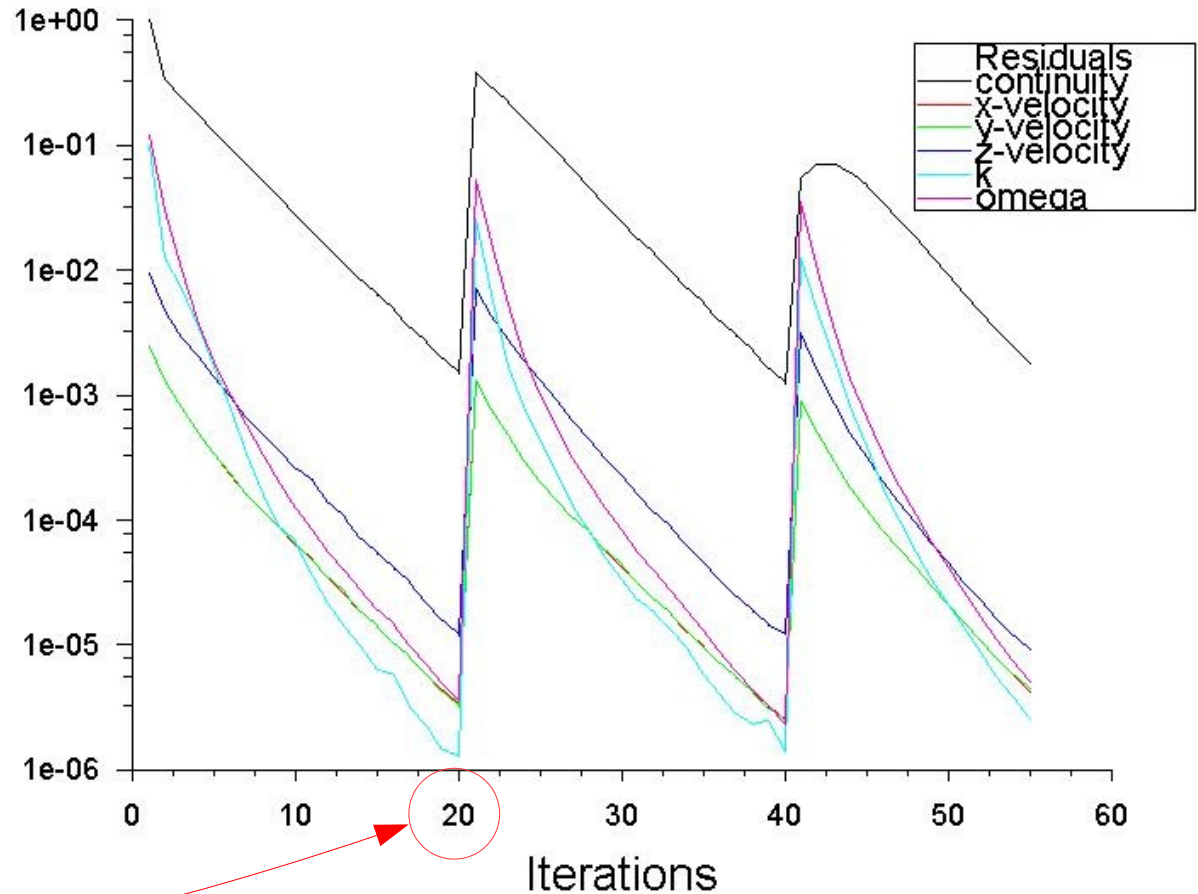
Units...



# Obliczenia



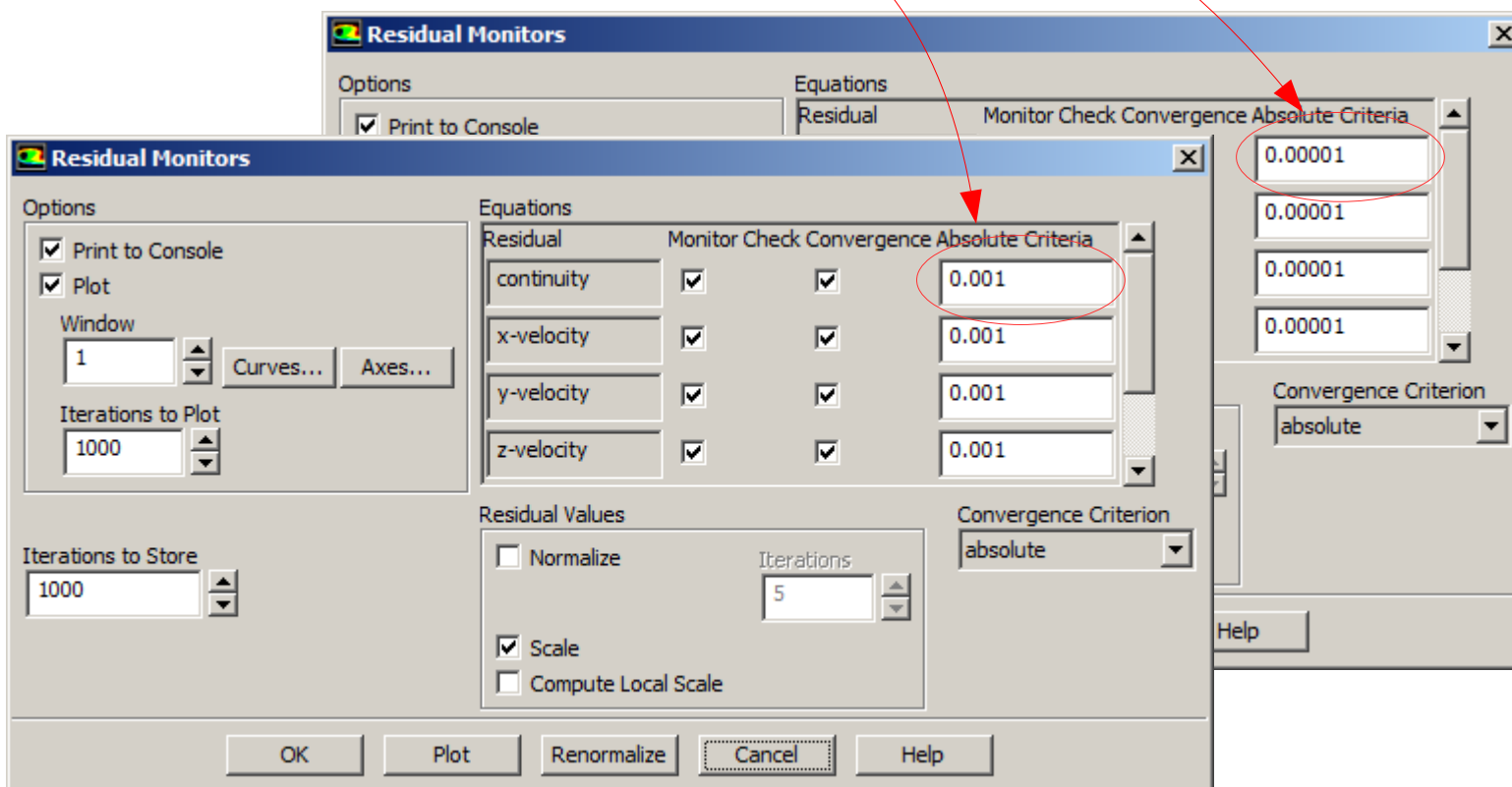
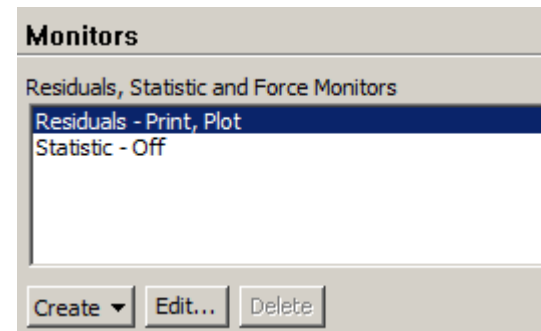
Liczba iteracji w jednym kroku czasowym.



**Stan niestacjonarny (Transient)** – rozwiązanie zmienia się w czasie, więc trzeba wielokrotnie rozwiązać wszystkie równania aby uzyskać symulację ewolucji procesów lub zjawisk.

# Obliczenia

Okno definiowania kryterium zbieżności.



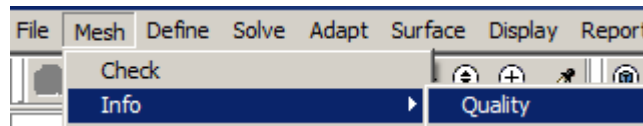
# Obliczenia

## W razie problemów ze zbieżnością:

- sprawdź ustawienia „fizyki” zjawisk,
- zastosuj schematy dyskretyzacji pierwszego rzędu,
- dla solwera Pressure-Based zmniejsz współczynniki relaksacji,
- dla solwera Density-Based zmniejsz wartość liczby CFL,
- popraw jakość siatki.

## Aby przyspieszyć zbieżność:

- rozpocznij obliczenia od poprzedniego rozwiązania (nie wykonuj inicjalizacji),
- prowadź obliczenia etapami, stopniowo zwiększając wartości współczynników relaksacji lub liczby CFL,
- zapewnij dobrą jakość siatki.



$> 0.1$  ( $\gg 0.1$ )

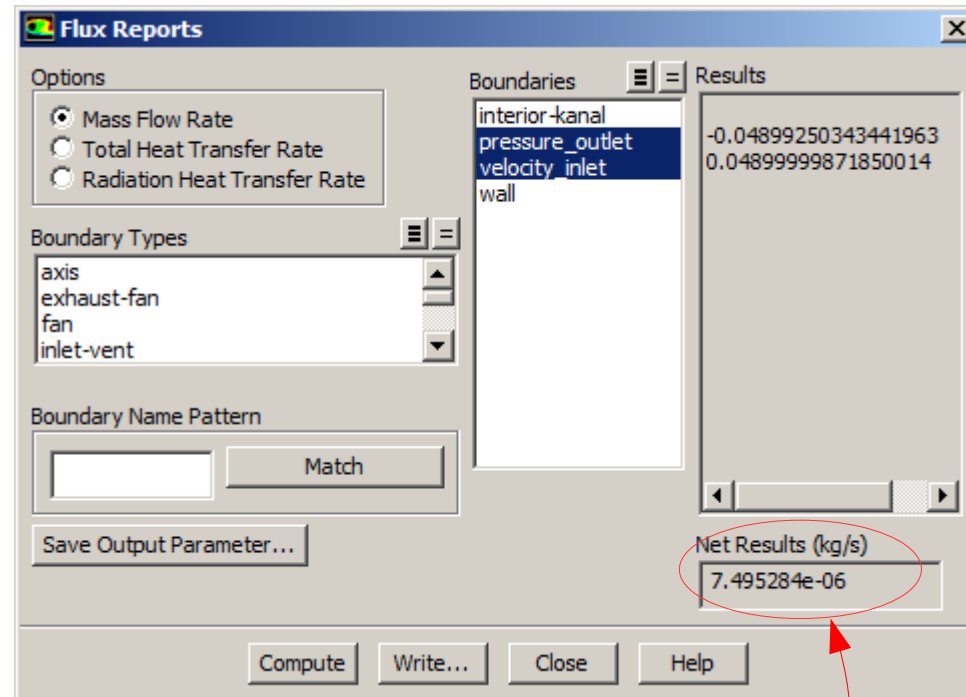
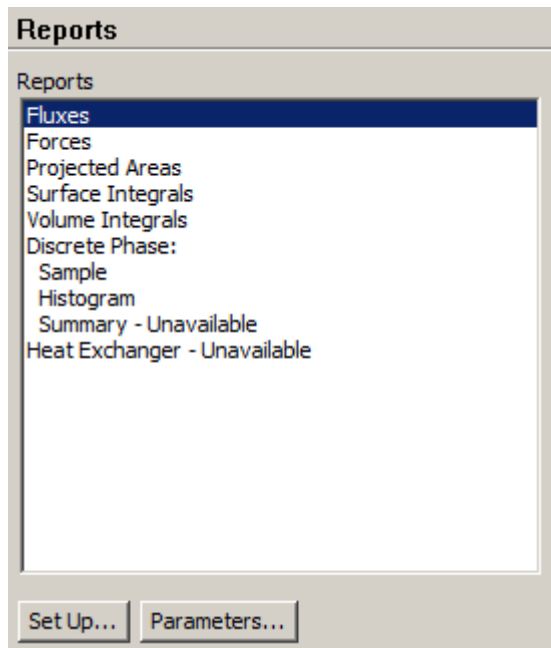
### Mesh Quality:

Orthogonal Quality ranges from 0 to 1, where values close to 0 correspond to low quality.

Minimum Orthogonal Quality =  $7.45104e-01$

Maximum Aspect Ratio =  $2.46996e+01$

# Obliczenia



Standardowo należy sprawdzić poziom bilansu masy na wszystkich wlotach i wylotach.

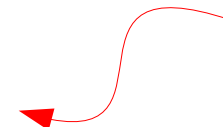
# Funkcje Użytkownika

---

**Funkcje Użytkownika** (User Defined Functions) – funkcje w języku C, którymi można zastąpić wybrane funkcje wewnętrzne, dostępne w programie Fluent.

## 2.4.2.2. Usage

```
DEFINE_CAVITATION_RATE (name, c, t, p, rhoV, rhoL, mafV, p_v, cigma, f_gas, m_dot)
```



nagłówek funkcji

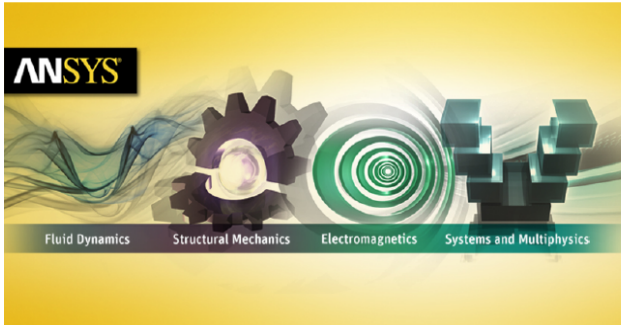
Argument Type	Description
symbol name	UDF name.
cell_t c	Cell index.
Thread *t	Pointer to the mixture-level thread.
real *p[c]	Pointer to shared pressure.
real *rhoV[c]	Pointer to vapor density.
real *rhoL[c]	Pointer to liquid density.
real *mafV[c]	Pointer to vapor mass fraction.
real *p_v	Pointer to vaporization pressure.
real *cigma	Pointer to liquid surface tension coefficient.
real *f_gas	Pointer to the prescribed mass fraction of non condensable gases.
real *m_dot	Pointer to cavitation mass transfer rate.

# Funkcje Użytkownika

```
5 #include "udf.h"
6 #define n_bubbles 1.0e13
7 #define c_min 1.e-5
8 #define c_max 1.-c_min
9 DEFINE_CAVITATION_RATE(Schnerr_Sauer_UDF, c, t, p, rhoV, rhoL, mafV, p_v, cigma, f_gas, m_dot)
10 {
11     real source;
12     real p_vapor = *p_v;      /* critical (vaporisation) pressure */
13     real f_v;                /* vapour mass fraction */
14     real alfa_v;             /* vapour volume fraction (from cell data) */
15     real alfa_n;            /* vapour volume fraction (from eq. (14)) */
16     real p_m;               /* mixture pressure */
17     real Rb;                /* bubble radius */
18     real dp;                /* local pressure difference */
19     real dp_lim;           /* local pressure difference - limited */
20
21     f_v = mafV[c];
22     p_m = ABS_P(p[c], op_pres);
23     dp = p_vapor - p_m;
24     dp_lim = MAX(0.1, ABS(dp));
25     alfa_v = (rhoL[c]*f_v)/(rhoL[c]*f_v+rhoV[c]*(1.0-f_v));
26     if(alfa_v < c_min) {alfa_v = c_min;}
27     if(alfa_v > c_max) {alfa_v = c_max;}
28     Rb = pow((3.0*alfa_v)/(4.*(1.0-alfa_v)*M_PI*n_bubbles),1./3.);
29     alfa_n = (n_bubbles*(4./3.)*M_PI*Rb*Rb*Rb)/(1.0+n_bubbles*(4./3.)*M_PI*Rb*Rb*Rb);
30
31     if(dp > 0.0)
32     {
33         /* evaporation */
34         if (1.0-alfa_v > 0.0)
35             *m_dot = alfa_v*(1.0-alfa_v)*(3./Rb)*sqrt((2.0*ABS(dp_lim))/(3.0*rhoL[c]));
36         else
37             *m_dot = 0.0;
38     }
39     else
40     {
41         /* condensation */
42         if (alfa_v > 0)
43             *m_dot = -alfa_v*(1.0-alfa_v)*(3./Rb)*sqrt((2.0*ABS(dp_lim))/(3.0*rhoL[c]));
44             if (alfa_v <= c_min) *m_dot=0.;
45         else
46             *m_dot = 0.0;
47     }
48     C_UDMI(c,t,0) = *m_dot;
49     C_UDMI(c,t,1) = alfa_v;
50     C_UDMI(c,t,2) = alfa_n;
51     C_UDMI(c,t,3) = Rb;
52 }
```

Przykład funkcji użytkownika  
(model kawitacji Schnerr-Sauer).

# Podsumowanie



## ANSYS FLUENT Theory Guide



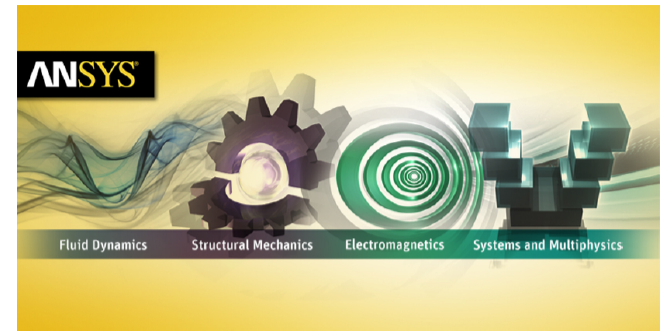
ANSYS, Inc.  
Southpointe  
275 Technology Drive  
Canonsburg, PA 15317  
ansysinfo@ansys.com  
<http://www.ansys.com>  
(T) 724-746-3304  
(F) 724-514-9494

Release 14.5  
October 2012

ANSYS, Inc. is  
certified to ISO  
9001:2008.

ANSYS Fluent Theory Guide  
(788 stron w wersji 14.5).

ANSYS Fluent Tutorial Guide  
(1146 stron w wersji 14.5).



## ANSYS FLUENT Tutorial Guide



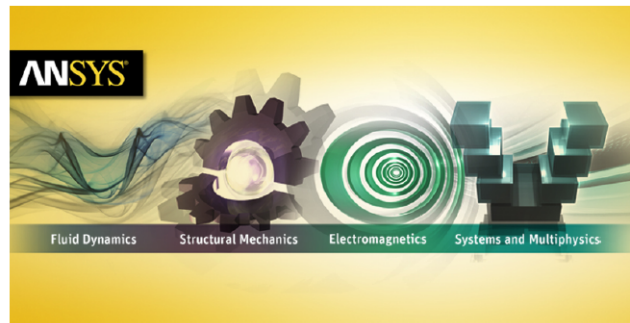
ANSYS, Inc.  
Southpointe  
275 Technology Drive  
Canonsburg, PA 15317  
ansysinfo@ansys.com  
<http://www.ansys.com>  
(T) 724-746-3304  
(F) 724-514-9494

Release 14.5  
October 2012

ANSYS, Inc. is  
certified to ISO  
9001:2008.

# Podsumowanie

ANSYS Fluent Users Guide  
(2692 strony w wersji 15.0).



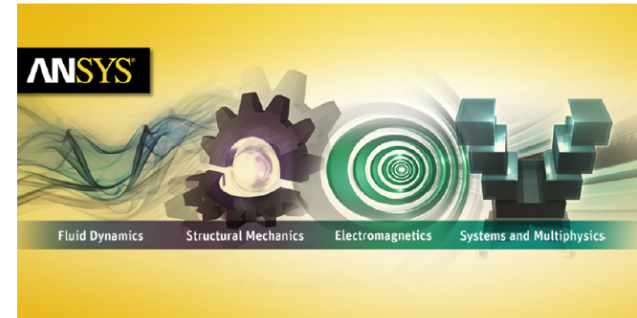
## ANSYS Fluent User's Guide



ANSYS, Inc.  
Southpointe  
275 Technology Drive  
Canonsburg, PA 15317  
ansysinfo@ansys.com  
<http://www.ansys.com>  
(T) 724-746-3304  
(F) 724-514-9494

Release 15.0  
November 2013

ANSYS, Inc. is  
certified to ISO  
9001:2008.



## ANSYS Fluent UDF Manual



ANSYS, Inc.  
Southpointe  
275 Technology Drive  
Canonsburg, PA 15317  
ansysinfo@ansys.com  
<http://www.ansys.com>  
(T) 724-746-3304  
(F) 724-514-9494

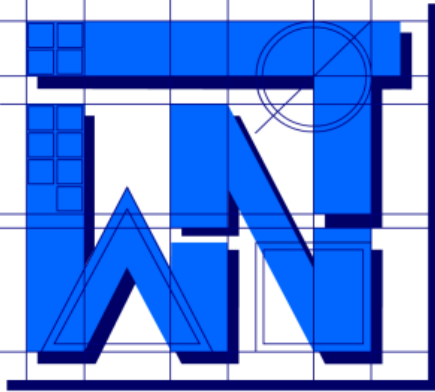
Release 15.0  
November 2013

ANSYS, Inc. is  
certified to ISO  
9001:2008.

ANSYS Fluent UDF Manual  
(592 strony w wersji 15.0).



Wydział Nauk Technicznych



UNIVERSITY OF WARMIA AND MAZURY IN OLSZTYN  
The Faculty of Technical Sciences  
POLAND, 10-957 Olsztyn, M. Oczapowskiego 11  
tel.: (48)(89) 5-23-32-40, fax: (48)(89) 5-23-32-55  
URL: <http://www.uwm.edu.pl/edu/sobieski/> (in Polish)



---

**Dziękuję za uwagę**

**Wojciech Sobieski**

---

Olsztyn, 2003-2021