

ALINA ADRIANA MINEA

**TEHNICI DE SIMULARE
A
PROCESELOR TERMOGAZODINAMICE**

- lucrări practice -

- 2013 -

CURGEREA LAMINARĂ ÎN CONDUCTE

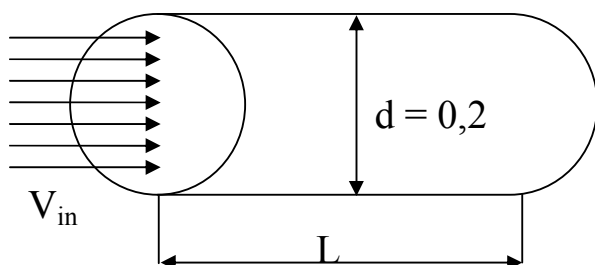
Specificațiile problemei:

1. Crearea geometriei în GAMBIT;
2. Mesharea geometriei în GAMBIT;
3. Specificarea tipurilor de limite în GAMBIT;
4. Implementarea problemei în FLUENT;
5. Rezolvarea;
6. Analiza rezultatelor;
7. Curățirea meshurilor;

Problema 1

Problema 2

Specificațiile problemei




Se consideră un fluid care circulă printr-o conductă cu secțiune constantă. Diametrul conductei este de 0,2 m și are o lungime de 8 m. Viteza de intrare este de 1 m/s și este constantă pe secțiunea de intrare. Fluidul iese apoi în atmosfera care se află la presiunea de 1 atm. Considerând densitatea $\rho = 1 \text{ Kg/m}^3$ și coeficientul de viscozitate de $\mu = 2 \times 10^{-3} \text{ Kg/ms}$. Numărul lui Reynolds – Re – bazat pe diametrul conductei este:

$$Re = \frac{\rho V_{avg} D}{\mu} = 100$$

Unde: V_{avg} – viteza medie la intrare, care este de 1 m/s în cazul nostru;

Rezolvați această problemă folosind programul de simulare FLUENT. Rezolvați apoi graficul vitezei la centru, coeficientul de frecare la limita pereților și profilul vitezei la ieșire. Validați răspunsul.

 *Notă: Valorile vitezei la intrare și proprietățile fluxului sunt alese convențional. Se va axa mult pe numărul lui Reynolds.*

Analiza preliminară

Se preconizează ca vâscozitatea stratului limită să crească începând de la intrare. Eventual va crește până va umple complet conducta (considerând conducta destul de lungă). Când acest lucru are loc, fluxul este complet dezvoltat, nemaivând variație a profilului de viteză de-a lungul direcției axiale, x (vezi figura de mai jos). Se poate obține o soluție a ecuației în regiunea dezvoltată în totalitate. *Lucru vizibil și în cursul de „Introducere în Mecanica Fluidelor”*. Vom compara rezultatele numerice obținute în zona dezvoltată complet cu cele obținute analitic. O recomandare este revederea cursului introductiv pentru analiza fluxului complet dezvoltat. Care sunt valorile vitezei în centru și factorul de frecare pe care le avem în zona complet dezvoltată, bazându-ne pe soluțiile analitice? Care este soluția pentru profilul de viteză?

Vom crea geometria și meshurile în GAMBIT (preprocesorul programului Fluent) și apoi le vom citi și rezolva în Fluent.

➡ PASUL 1: CREAREA GEOMETRIEI ÎN GAMBIT.

Dacă dorim să sărim peste acest pas, putem crea un folder de lucru (vezi mai jos) în care să descărcăm meshurile (clic dreapta și salvați ca „pipe.msh”) și apoi trece direct la pasul 4.

Strategii pentru crearea geometriei.

Pentru a crea un dreptunghi, vom începe cu poziționarea a patru vertexuri (puncte) în cele patru colțuri. Apoi vom uni punctele adiacente cu o linie dreaptă pentru a forma laturile (edges) dreptunghiului. În cele din urmă vom crea „fața” care corespunde suprafeței interioare a dreptunghiului. La pasul 2 vom face mesharea feței (dreptunghiului). Pentru problemele tridimensionale trebuie creat un volum (a treia dimensiune) format din fețe. Mai scurt, etapele pentru crearea unui obiect tridimensional în Gambit sunt: Crearea punctelor – Crearea Laturilor - Crearea Fețelor – Crearea Volumelor.

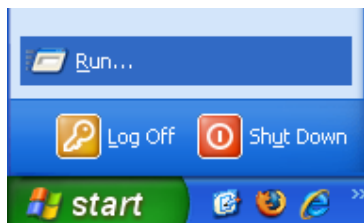
Crearea unui folder de lucru

Creai un folder numit „pipe”. Vom folosi acest folder ca fiind folderul de lucru în care se vom păstra toate fișierele.

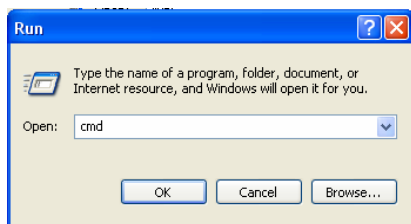
Pornirea GAMBIT-ului

Se inițializează prompterul de comenzi

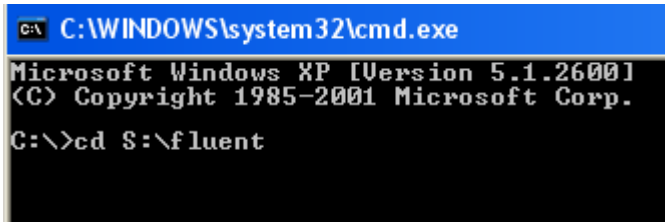
Start > Run



Pentru Window NT/2000/XP: Se scrie *cmd* apoi se apasă **OK**



După aceasta, intrați în folderul de lucru. De exemplu, dacă folderul creat, numit *fluent* pe partiția S: în Windows, executați `cd S:\fluent`

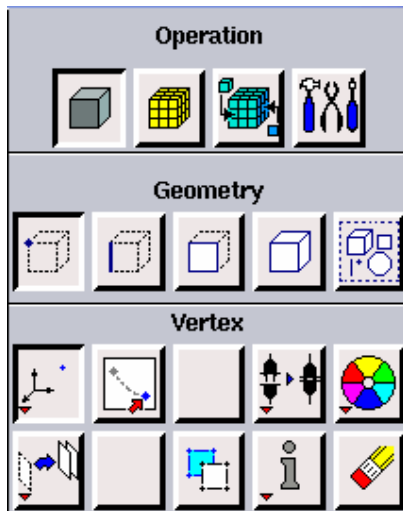


Interfața GAMBIT arată astfel:

- **Bara meniului principal:**

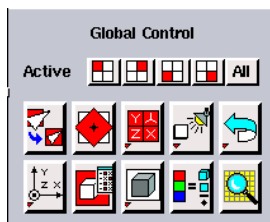




- **Meniul instrumentelor**



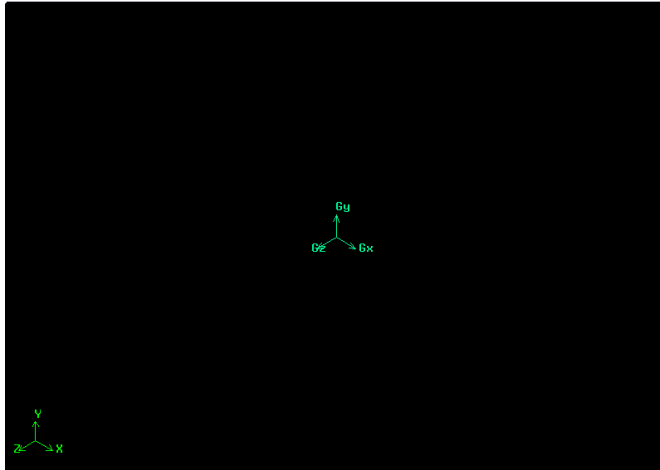
Vom folosi acest meniu mai mult sau mai puțin de-a lungul creării geometriilor. Se poate observa că fiecare meniu principal are sub-meniuri.

- **Meniul de control**



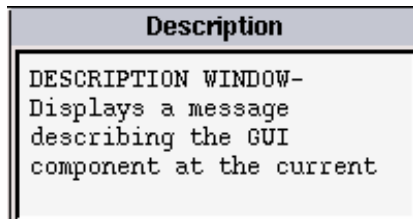
Meniul de control are opțiuni precum „Fit to Screen”  și „Undo”  care sunt foarte des utilizate în timpul creării geometriei precum și a meshurilor.

- **Fereastra de lucru:**



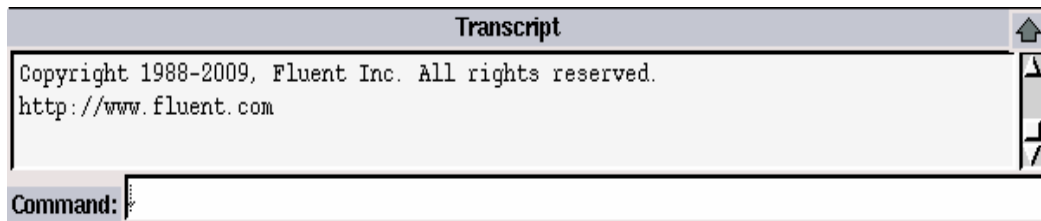
Aceasta este fereastra unde se pot observa grafic toate operațiile pe care le executăm.

- **Panoul de descriere**



Panoul de descriere conține descrierile butoanelor sau obiectelor peste care mișcăm cursorul mouseului. Mișcând mouseul peste butoate, putem observa aceste descrieri.

- **Fereastra de transcriere a comenzilor**

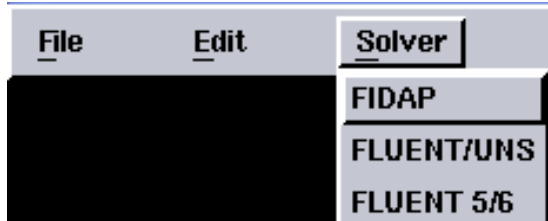


Aceasta este fereastra în care se scriu comenzile în Gambit și în care se pot șterge/corecta. Dacă nu suntem siguri ca am apăsas butonul corect sau am greșit comanda, aici se poate

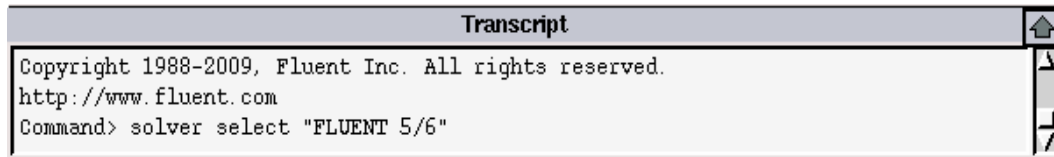
monitoriza. Se poate mări fereastra prin apăsarea săgeții din partea de sus, dreapta iar pentru a reveni la dimensiunile inițiale, se apasă din nou.

Selectarea Solverului

Main Menu > Solver > Fluent 5/6



Se verifică apoi dacă s-a activat, în fereastra de transcriere a comenzilor.



Putem presupune o curgere axisimetrică. Domeniul problemei este:

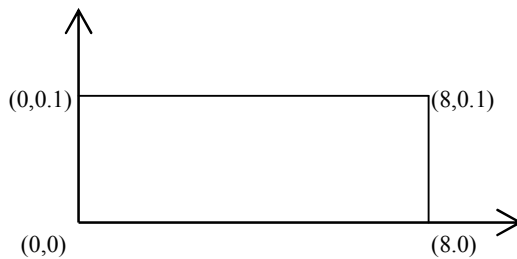
$$0 \leq r \leq \frac{D}{2}, 0 \leq x \leq L$$

Unde r și x sunt coordonatele radiale, respectiv spațiale.

Strategii pentru crearea geometriei

Vom plasa originea sistemului de coordonate în colțul de jos stânga a dreptunghiului.




Coordonatele colțurilor sunt arătate în figura de mai jos:



Vom crea pentru început patru puncte în cele patru colțuri ale dreptunghiului pe care le vom intersecta prin segmente, formând laturile. După aceasta, vom construi fața dreptunghiului care acoperă suprafața interioară a lui.

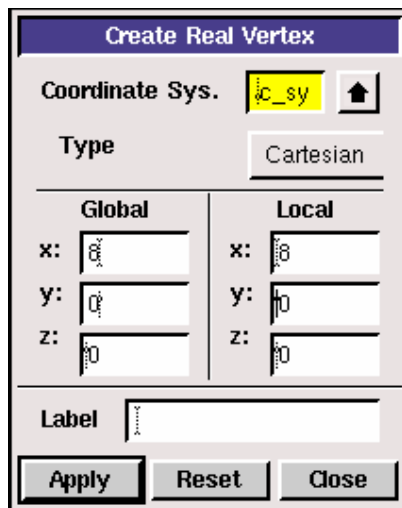
Construcția punctelor (vertexurilor)

Se construiesc din meniul instrumentelor urmând următorii pași:

Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Vertex Command Button  > Create Vertex 

Următorul pas este introducerea coordonatelor. Vom începe prin crearea unui vertex în colțul stânga jos a dreptunghiului:

În dreptul lui **x**: vom introduce valoarea 0. În dreptul lui **y**: de asemenea 0 iar la **z**: tot valoarea 0 (din cauză că avem o problemă bidimensională). Apoi se face clic pe „**Apply**”. Aceste valori au creat vertexul care are coordonatele (0,0,0). În figura de mai jos se observă grafic aceste valori:



În fereastra de transcriere a comenzilor, Gambit-ul ne afișează comanda de creare a vertexului „Created vertex: vertex.1”. Vertexurile sunt numerotate consecutiv: vertex.1, vertex.2 etc.; în ordinea în care au fost create.

Repetăm apoi acest proces pentru a crea celelalte trei vertexuri:

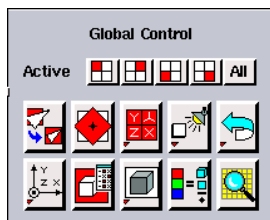
Vertexul 2: (0,0,1,0)

Vertexul 3: (8,0,1,0)

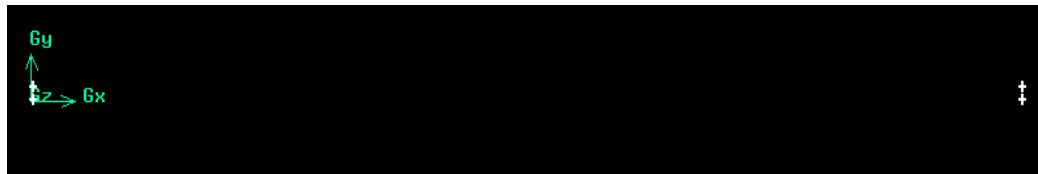
Vertexul 4: (8,0,0)

Apoi, pentru a putea încadra toate puncte în ecran, vom folosi comanda „Fit to window”.

Operation Toolpad > Global Control > Fit to Window Button 



Acum putem observa pe ecran toate cele patru puncte.



Construcția laturilor

În continuare vom conecta perechi apropiate de vertexuri pentru a crea laturile:

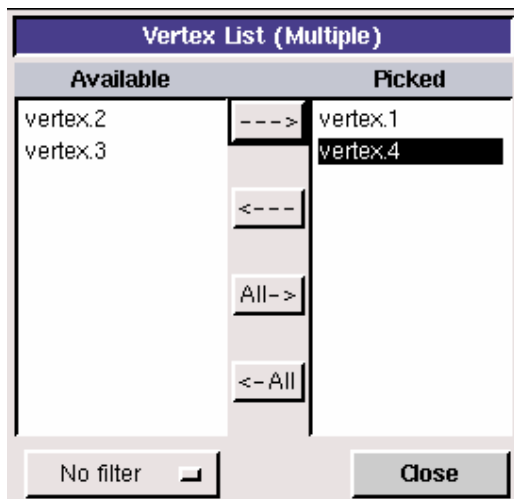
Operation Toolpad > Geometry Command Button  **> Edge Command Button**



Pentru selectarea unui obiect în Gambit, se ține buton **SHIFT** de la tastatură și apoi se selectează. Se pot face astfel selecta mai multe obiecte. În cazul nostru, vom selecta, pe rând, vertexurile. Pe măsură ce selectăm vertexurile, pe ecran ele vor apărea de culoare roșie (pot apărea și de altă culoare, în funcție de setările culorilor – standard este roșie). Făcând click pe săgeata în sus din meniu, o mică fereastră se va deschide.



În această mini-fereastră vom observa vertexurile selectate. Ele pot fi mutate din stânga, unde sunt cele disponibile (**Available**) spre dreapta, unde sunt cele selectate (**Picked**) și invers. Procesul de mutare se poate face simplu cu ajutorul săgeților (---> și <---).



După ce au fost selectate vertexurile corecte, se închide mini-fereastra făcând click pe butonul **Close** apoi **Apply** din meniul de creare a laturilor.

Pe ecran va apărea următoarea imagine:



Se repetă aceiași pași pentru crearea celorlalte laturi.

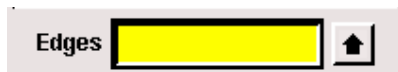
Construcția fețelor

Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Face Command Button 

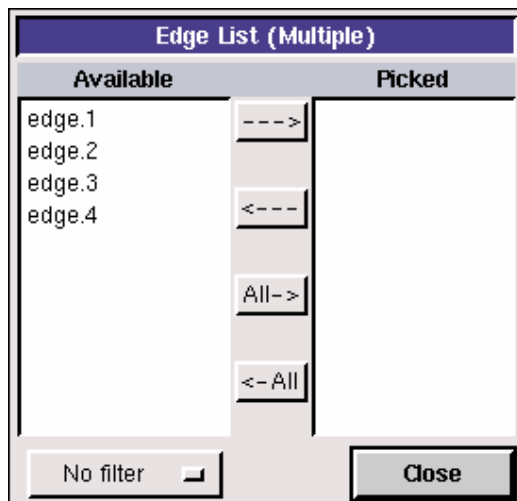
> Form Face 

Pentru a construi o față înscrisă de patru laturi trebuie să selectăm cele patru laturi care formează suprafața. Aceasta se poate face tot cu ajutorul tastei **SHIFT**, selectând pe rând fiecare latură (putem observa că liniile selectate apar de culoare roșie). După ce s-au selectat cele patru laturi, se ia mâna de pe tastă.

Sau, mai simplu, se face clic pe săgeata în sus care deschide o alta mini-fereastră în care avem de această dată laturile.



Iar mini-fereastra arată ca în figura de mai jos.



Se trec apoi toate din stânga în dreapta prin simplu clic pe **All→**. Se închide apoi mini-fereastra făcând clic pe **Close** apoi **Apply**.

PASUL 2: GEOMETRIA MESHURILOR ÎN GAMBIT

Vom mesha o față a dreptunghiului cu 100 de diviziuni în direcția axial și 5 în diviziuni în direcția radială. Pentru început vom mesha cele patru laturi apoi față. Spațiul dintre grile este specificat de către meshul feței.

Mesharea laturilor

Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Edge Command Button  >

Mesh Edges 

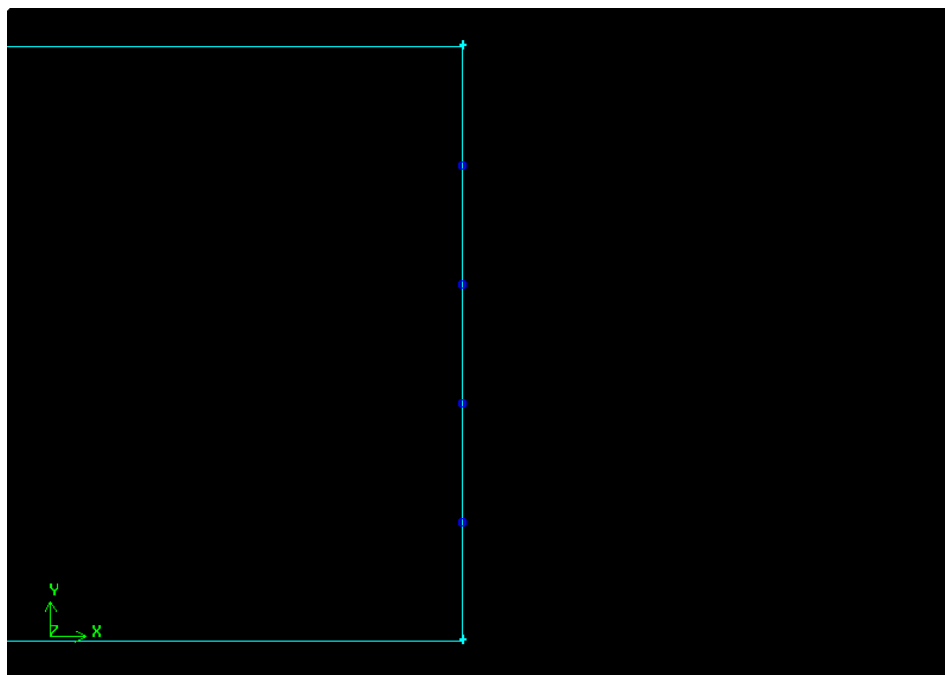
Din nou selectăm cu ajutorul tastei **SHIFT** sau din meniu laturile verticale. Dacă în fereastra grafică nu se observă bine aceste linii, putem mări ținând apăsată tasta **CTRL** apoi click pe zona pe care vrem să o mărim. Dacă s-a mărit prea mult, se poate reveni folosind „Fit to Window”.

După ce am selectat una dintre laturile verticale, o vom diviza folosind „**Interval Count**” din butonul pe care scrie „**Interval Size**” din cadrul meniului de meshare a laturilor. Apoi, în stânga se va trece numărul de diviziuni (în cazul nostru 5).



Apoi se face clic pe **Apply**.

Pe ecran va apărea imaginea ca în figura de mai jos:



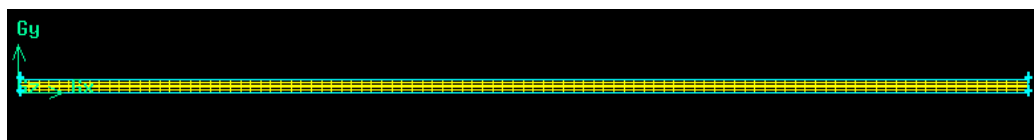
Se repetă același algoritm și pentru mesharea laturilor orizontale, dar divizat în 100 de unități. După ce am meshuit laturile putem crea meshuirea bidimensională a feței.

Mesharea feței

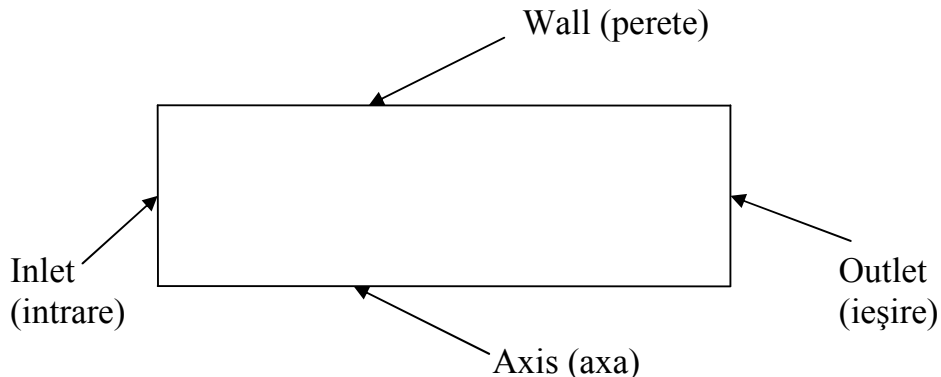
Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Face Command Button  >

Mesh Face 

Se selectează apoi fața, cu ajutorul săgeții sau tastei **SHIFT** după care se face clic pe **Apply**



PASUL 3: SPECIFICAREA TIPURILOR DE LIMITĂ



Definirea tipurilor de limită

După cum se observă și în figura de mai sus, vom defini tipurile de limite. Astfel, latura din stânga va fi intrarea în conductă, latura din dreapta ieșirea, cea de sus o definim ca fiind perete iar cea de jos ca axa.

Operation Toopad > Zones Command Button  > Specify Boundary Types

Command Button 

Aceasta va deschide meniul de specificare a tipurilor de limită. Prima dată vom specifica că latura din dreapta este intrarea. La „Entity:” vom face clic pe Edges pentru ca Gambitul să știe că vrem să selectăm o latură.



Vom selecta latura din stânga după care se face clic pe **Apply**. Apoi, la **Name:** vom pune *inlet* iar la **Type:** vom alege *VELOCITY_INLET*, urmat de **Apply**.

Repetăm aceiași pași și pentru celelalte laturi, respectând tabelul:

POZIȚIA LATUREI	NUMELE	TIPUL
Stânga	inlet	VELOCITY_INLET
Dreapta	outlet	PRESSURE_OUTLET
Sus	wall	WALL
Jos	centerline	AXIS

La final vom avea următoarele:

Name	Type
inlet	VELOCITY_
wall	WALL
outlet	PRESSURE_
centerline	AXIS

Salvarea lucrului și Exportul

Main Menu > File > Save

Main Menu > File > Export > Mesh

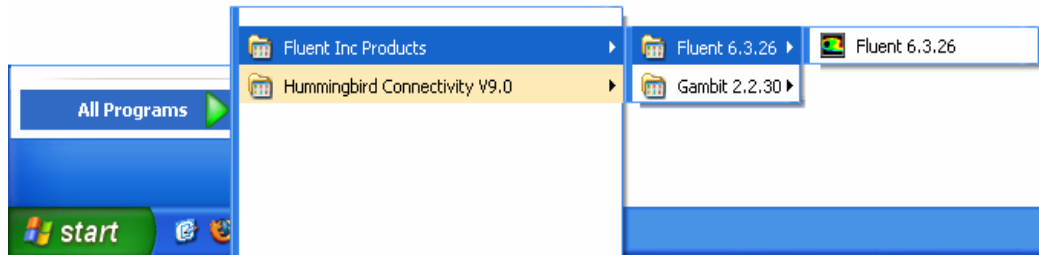
Scriem *pipe.msh* la **File Name:**, apoi selectăm **Export 2d Mesh** deoarece este un mesh bidimensional. În final, clic **Accept**.

Verificăm dacă *pipe.msh* a fost creat în folderul de lucru.


PASUL 4: SETAREA PROBLEMEI ÎN FLUENT

Se deschide fluentul:

Start > All Programs > Fluent Inc Products > Fluent x.x.xx > Fluent x.x.xx



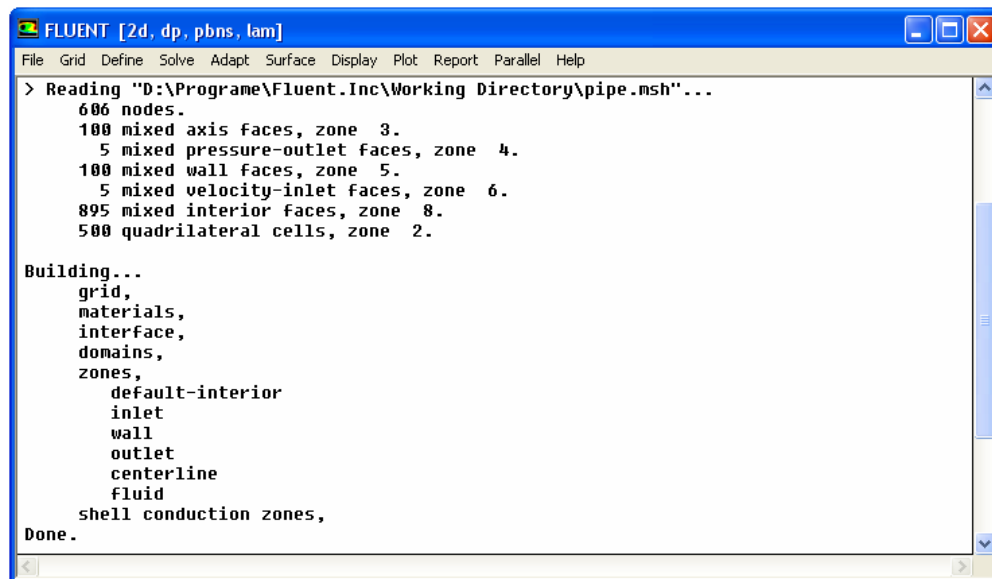
Selectăm 2ddp din listă apoi **Run**

 „2ddp” este folosit atunci când folosim un solver bidimensional, de precizie dublă. În solverul de precizie dublă fiecare număr este reprezentat folosind 64 biți, în contrast cu solverul de precizie simplă care folosește 32 biți. Numărul mare de biți crește precizia dar și ordinul de mărime care poate fi reprezentat. Dezavantajul este că pentru astfel de solver avem nevoie de mai multă memorie.

Importul grilei

Main Menu > File > Read > Case...

Cazul se deschide din folderul de lucru de unde se selectează pipe.msh. Acest este fișierul care a fost creat de preprocesorul Gambit în pasul anterior. Fluentul expune meshurile exact cum sunt ele scrise în Gambit.



Verificăm numărul de noduri, fețe (de diferite tipuri) și celule. În cazul nostru avem 500 celule patrulatere. Acesta este numărul la care era normal să ne așteptăm din moment ce aveam 5 diviziuni în direcția radială și 100 de diviziuni în direcția axială atunci când am construit grila, deci numărul total de celule este $5 \cdot 100 = 500$.

De altfel, dacă privim la zone, avem inlet, wall, outlet și centerline.

Verificarea și afișarea grilei

Pentru început se verifică grila pentru a fi siguri că nu sunt erori.

a) Verificarea grilei se face din

Main Menu > Grid > Check

Orice eroare întâlnită va fi reportată imediat. Verificăm apoi ieșirea pentru a fi siguri că nici acolo nu avem erori. Apoi se face verificarea dimensiunii grilei:

Main Menu > Grid > Info > Size

Aceasta arată ca în figura de mai jos:

Grid Size				
Level	Cells	Faces	Nodes	Partitions
0	500	1105	606	1
1 cell zone, 5 face zones.				

b) Afișarea grilei se face din:

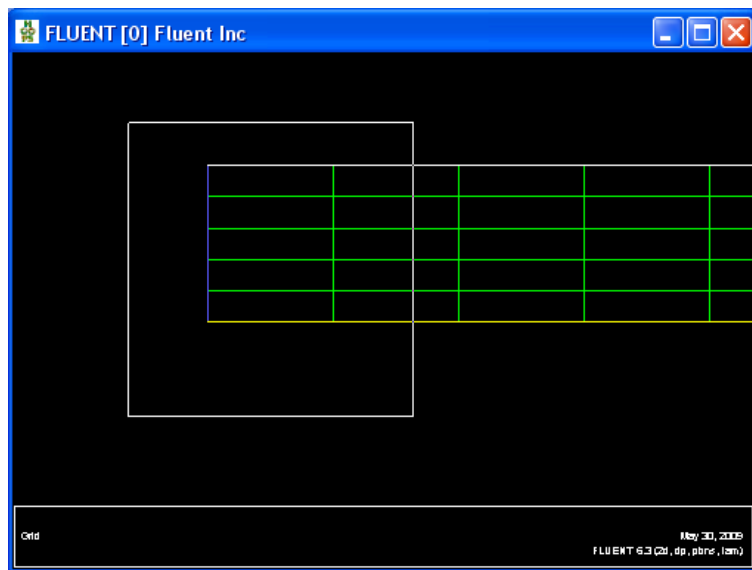
Main Menu > Display > Grid

Trebuie să ne asigurăm că toate suprafețele (**Surfaces**) sunt selectate. Apoi facem clic pe **Display**. O nouă fereastră în care vom observa grila se va deschide. Se va închide apoi făcând clic pe **Close**.

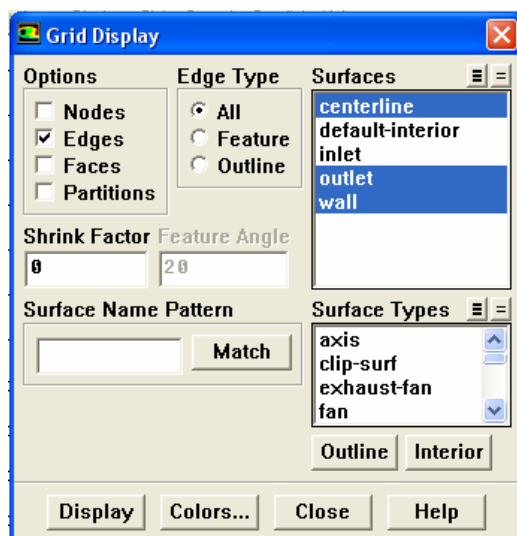
Operațiile disponibile în fereastra de grid sunt:

- **Translația:** Gridul poate fi mutat în orice direcție, ținând apăsat clic stanga și mișcând mouseul;
- **Mărirea:** Aceasta se poate face ținând apăsată roțița mouseului după care se mișcă din stânga spre dreapta.
- **Micșorarea:** Aceasta se poate face ținând apăsată roțița mouseului după care se mișcă din dreapta spre stânga.

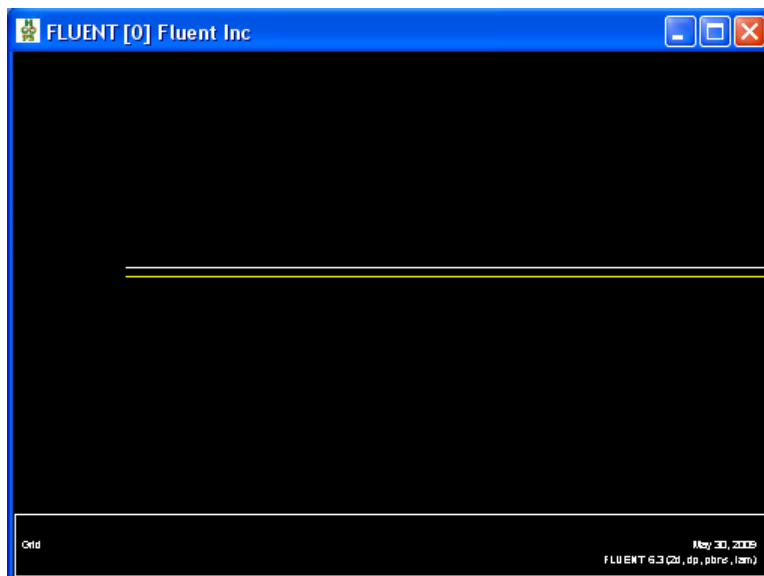
Mărirea grilei arată ca în figura de mai jos:




Putem să vizualizăm și anumite părți ale grilei alegând din lista de suprafețe. Se face clic din nou pe **Display** și apoi se vizualizează părțile selectate. De exemplu: wall, outlet și centerline.



Avem:

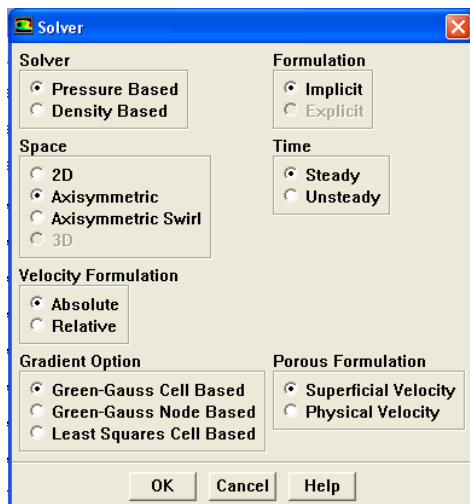


În cazul în care avem mai multe limite, putem să le selectăm sau să le deselectăm pe toate folosind butoanele  de lângă **Surfaces**.

Difinirea proprietăților solverului

Main Menu > Define > Models > Solver

Vom alege **Axisymmetric** din lista de sub **Space**. Vom folosi setările prestabilite ale solverului segregat, formulare implicită, curgere staționară și viteză absolută.

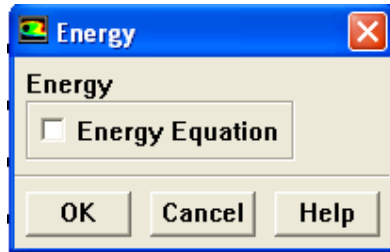


Main Menu > Define > Models > Viscous

Curgerea laminară este predefinită, deci nu avem nevoie să schimbăm nimic în acest menu. Clic **Cancel**.

Main Menu > Define > Models > Energy

Pentru fluidele incompresibile, ecuația energiei este decuplată de la continuitate și de la ecuația momentului. Ecuația o vom activa numai atunci când dorim să observăm distribuția temperaturii. În exemplul nostru nu este necesar. Lăsăm deci **Energy Equation** deselectat și facem clic pe **Cancel** pentru anulare.



Definirea proprietăților materialelor

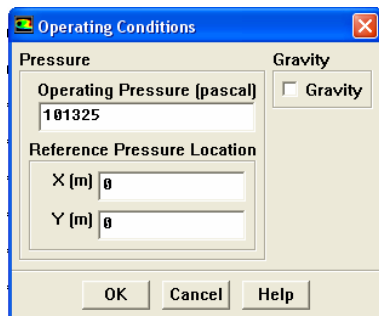
Main Menu > Define > Materials...

Îi dăm densității valoarea 1 și viscozității $2e-3$. Acestea sunt valorile care sunt specificare în problema noastră. Le vom considera pe amândouă constante. Facem clic apoi pe **Change/Create**

Definirea condițiilor de operare

Main Menu > Define > Operating Conditions

Pentru toate curgerile, Fluent folosește măsura presiunii interioare. De fiecare dată când este nevoie de presiunea absolută, ea este generată prin adăugarea presiunii de operare la presiunea măsurată. Vom folosi valoarea predefinită de 1 atm. (101,325 Pa) ca presiune de operare.



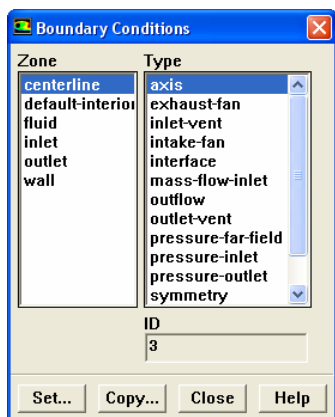
Definirea condițiilor la limită

Vom stabili în continuare valoarea vitezei la intrare și a presiunii la ieșire.

Main Menu > Define > Boundary Conditions...

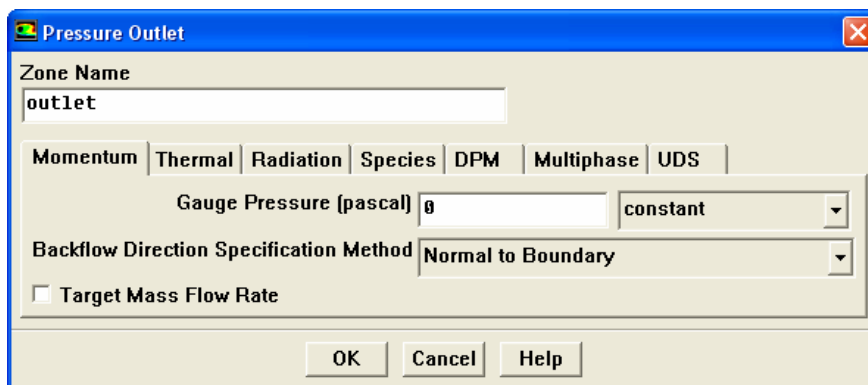
Aducem aminte că cele tipuri de limite pe care le-am definit sunt specificate ca zone în partea de stânga a ferestrei condițiilor la limită. Zona **centerline** ar trebui să fie selectată automat. În cazul în care nu este, trebuie să ne asigurăm că tipul acestei limite este axă (**axis** din lista). Apoi se face clic pe **Set**. Observăm că nu este nici o setare de făcut decât numele pe care, în cazul nostru, îl vom lăsa **centerline**.

Apoi, mai jos, în listă selectăm **inlet**. Observăm că Fluent-ul indică că tipul acestei limite este **velocity-inlet**. Ne amintim că aceasta a fost deja stabilită în Gambit. Dacă este necesar, putem schimba tipul limitei stabilită anterior în Gambit în acest meniu prin selectarea diferitelor tipuri din dreapta.



Facem clic pe **inlet** apoi **Set...** Se va deschide o nouă mini-fereastră. Vom adăuga valoarea 1 la **Velocity Magnitude** (mărimea vitezei). Aceasta setează viteza cu care fluidul intră în conductă prin limita din stânga.

Presiunea (absolută) la ieșire este de 1 atm. Din moment ce presiunea de operare este stabilită ca fiind 1atm, mărimea presiunii la ieșire = presiunea absolută la ieșire – presiunea de operare = 0. Alegem din listă **outlet**. Tipul acestei limite este **pressure-outlet**. Facem clic pe **Set...** Valoarea prestabilită a **Gauge Pressure** (mărirea presiunii) este 0. Nu facem nici o modificare și închidem fereastra.



În final selectăm **wall** și ne asigurăm că tipul acestei limite este tot **wall** (perete).
Facem clic pe fiecare buton unde avem: Momentum, Thermal, Radiation, Species etc. și vom observa că numai la Momentum putem schimba în urma condițiilor stabilite până acum.

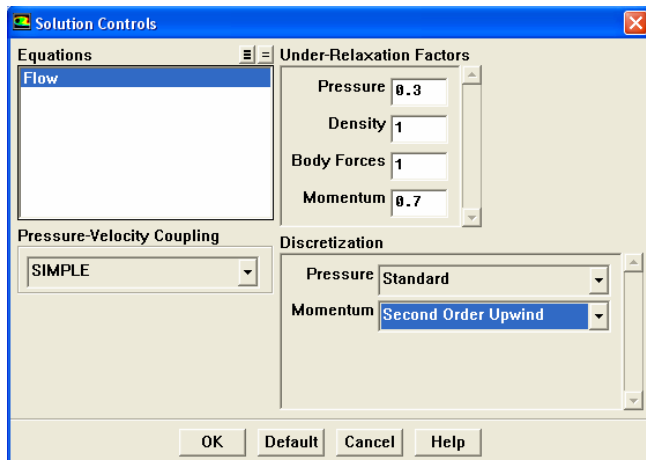
Închidem meniul **Boundary Contitions**.

PASUL 5: REZOLVAREA

Vom folosi o schemă de discretizare de ordinul doi.

Main Menu > Solve > Controls > Solution...

Schimbăm valoarea momentului din ordinul I în ordinul II (Second Order Upwind)

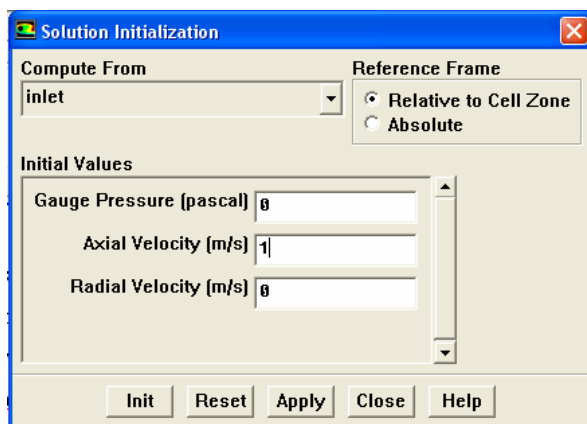


Se face prima presupunere

Se inițializează câmpul curgerii cu valorile de la intrare:

Main Menu > Solve > Initialize...

În meniul **Solution Initialization** la **Compute From** vom alege **inlet**. Viteza axială (**Axial Velocity**) pentru toate celulele va fi setată la 1 m/s, viteza radială (**Radial Velocity**) va fi 0 m/s. Aceste valori au fost luate de la condițiile limită la intrare.



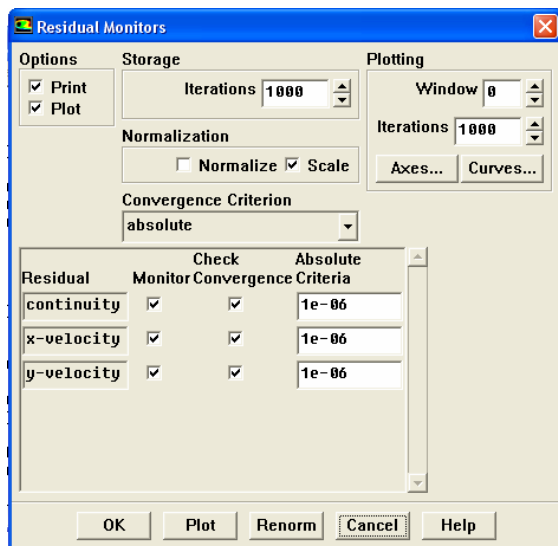
Facem clic pe **Init** pentru a inițializa, apoi **Apply** și, în final, **Close**.


Setarea crierului ce convergență

Fluentul face raportul la reziduul pentru fiecare ecuație ce urmează a fi rezolvată. Reziduul este măsura la cât de mult satisface soluția curentă forma discretizantă a fiecărei ecuații ce guvernează. Vom itera soluția până când reziduul fiecărei ecuații scade sub $1 \cdot 10^{-6}$.

Main Menu > Solve > Monitors > Residual...

Schimbăm reziduul pentru **continuity**, **x-velocity** și **y-velocity**, toate cu valoarea $1e-6$. După aceasta, pentru vizualizare, se face clic pe **Plot**. Acesta va face graficul reziduurilor în fereastra grafică după cum sunt ele calculate.



 Dacă vă apar erori de tipul **“Error: FLUENT received a fatal signal (SEGMENTATION VIOLATION)”** sau **„Error: floating point error: divide by zero”** înseamnă că placa video este configurată pentru funcționarea calculatorului cu viteză și nu pentru performanță. Consultați un expert pentru soluționarea unei astfel de probleme.

Am terminat specificațiile problemei. Salvăm totul:

Main Menu > File > Write > Case...

Salvăm cu numele *pipe.cas* pentru fișierele de tip case. Verificăm apoi dacă s-a salvat în folderul de lucru. Dacă închidem Fluent-ul acum, putem continua cu tot ceea ce am stabilit până acum.

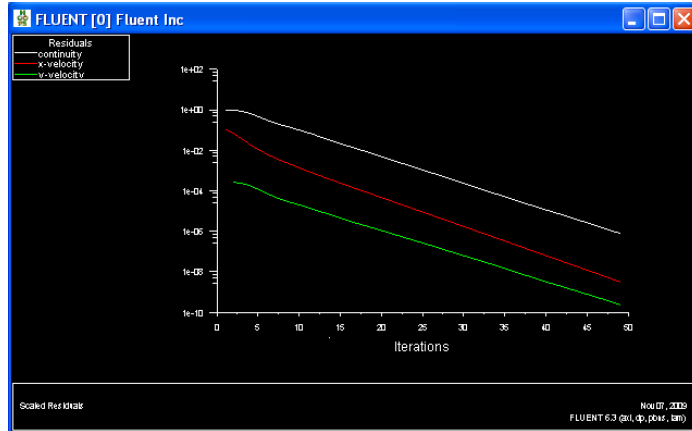
Iterăm până la convergență

Vom porni calcularea făcând 100 de iterații:

Main Menu > Solve > Iterate

În fereastra de iterații (**Iterate Window**) schimbăm numărul de iterații de la 1 la 100 apoi facem click pe **Iterate**.

Reziduurile pentru fiecare iterație sunt afișate și listate în fereastra de grafice după cum sunt ele calculate.



Reziduurile ajung la criteriul de convergență specificat ($1 \cdot 10^{-6}$) la 46 de iterații.

iter time/iter

! 46 solution is converged

Se salvează soluția ca un fișier dată:

Main Menu > File > Write > Data...

Introducem la nume *pipe.dat*. Din nou, se verifică dacă fișierul a fost salvat în folderul de lucru. Din acest moment se pot determina soluțiile de fiecare dată folosind acest fișier.

PASUL 6: VITEZA LA CENTRU

Vom afișa variația vitezei axiale de-a lungul liniei de centru.

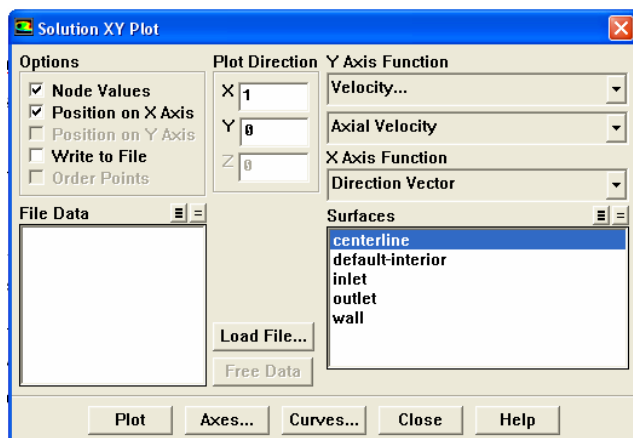
Main Menu > Plot > XY Plot...

Ne asigurăm că în mini-fereastră, la **Options** avem selectat **Position on X Axis**, și că **X** este setat la 1 iar **Y** este 0 la **Plot Direction** (direcția de afișare). Asta înseamnă că Fluentul va afișa valorile lui x pe abscisa graficului.

La **Y Axis Function**, alegem **Velocity** iar mai jos vom alege **Axial Velocity** (Viteză axială).

Trebuie de știut faptul că **X Axis Function** și **Y Axis Function** descriu axele X și Y ale graficului care nu trebuie confundate cu direcțiile X și Y ale conductei.

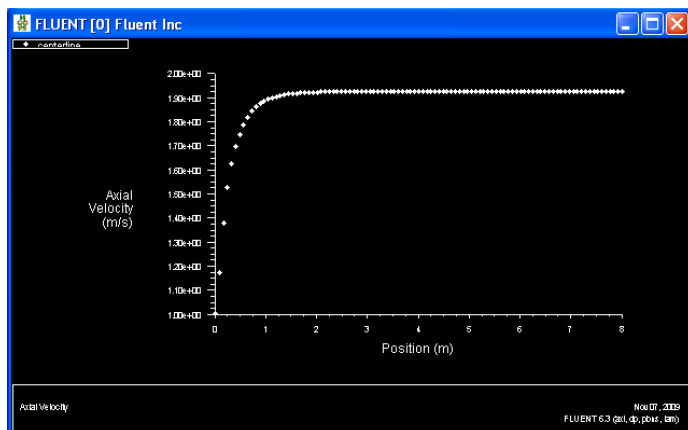
În final, vom alege, în cadrul **Surfaces**, **centerline** (linie de centru) din moment ce dorim să țtim viteza axială de-a lungul liniei de centru. Mini-fereastra trebuie să arate ca în figura de mai jos:



Facem clic apoi pe **Plot**.

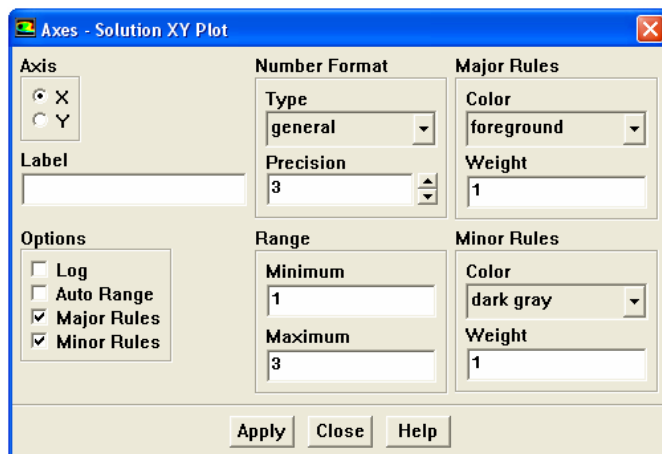
Aceasta generează graficul vitezei axiale ca o funcție de distanță de-a lungul axei centrale a conductei.

Figura care generează este afișată mai jos:



În graficul de mai sus se poate vedea că viteza are o valoare constantă după ce parcurge o anumită distanță de la intrare. Aceasta este zona cu curgerea dezvoltată în totalitate.

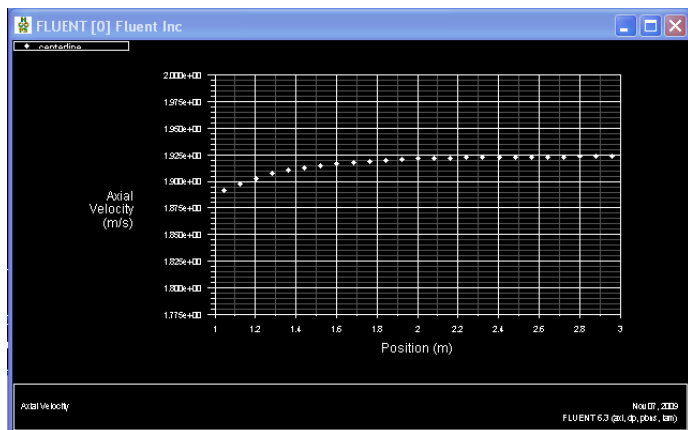
Schimbăm măsura axelor: În mini-fereastra **Solution X-Y Plot**, facem clic pe **Axis...** La **Options**, vom deselecta **Auto Range** (aranjament automat). În dreapta, la **Range** vom avea posibilitatea să introducem valori, astfel, la **Minimum** vom introduce 1 iar la **Maximum** 3. La **Axis** trebuie să fie activat **X**.



Vom activa liniile grilei pentru a ne ajuta să estimăm unde se află curgerea dezvoltată complet. Vom selecta, tot în aceeași mini-fereastră, **Major Rules** și **Minor Rules**. Apoi se face clic pe **Apply**.

În continuare, vom selecta **Y** la **Axis** și, din nou, deselectăm **Auto Range**, apoi introducem 1.8 la **Minimum** și 2.0 la **Maximum**. De altfel, selectăm **Major Rules** și **Minor Rules** pentru a activa liniile grilei de-a lungul direcției **Y**. Am terminat acum de specificat distanța pentru fiecare axă, facem clic pe **Apply** și apoi **Cancel**.

Ne întoarcem la mini-fereastra **Solution XY Plot** și facem clic pe **Plot** pentru a reafișa graficul cu modificările făcute. Putem observa că regiunea complet dezvoltată apare după 3 metri de la intrarea din conductă și că viteza de-a lungul axei centrale este de 1,93 m/s.



Salvarea graficului

Salvăm datele din acest grafic:

În mini-fereastra **Solution XY Plot Window**, selectăm **Write to file** (scrie în fișier). Acum butonul **Plot** este schimbat în **Write** (scrie). Facem clic pe **Write...** Introducem *vel.xy* la **XY File** și apoi **OK**. Verificăm dacă fișierul a fost creat în folderul de lucru.

În continuare vom face o captură a imaginii:

Vom lăsa graficul în continuare deschis, iar dacă l-am închis, îl vom deschide din nou și vom deschide fereastra principală a fluentului.

Vom intra în **File > Hardcopy**

În căsuța **Format**, avem mai multe tipuri de fișiere. Vom alege una dintre:

- **EPS** – în cazul în care avem vizualizare generată de text, acesta este cea mai bună alegere. **EPS** ne permite să salvăm fișierul păstrând forma vectorială, opțiune ce ne oferă o calitate foarte bună a imaginii din cauza „alunecării” la infinit a vectorilor. După ce selectăm **EPS**, vom alege **Vector** la **File Type** (Tipul fișierului);
- **TIFF** – acesta oferă o rezoluție foarte bună a imaginii graficului. Diferența se observă la dimensiunea fișierului care va fi mare deci este nerecomandată pentru calculatoarele cu memorie mică de stocare;
- **JPG** – are dimensiune mică și poate fi vizualizat de către toate navigatoarele. Dezavantajul principal în folosirea acestui tip este rezoluția mică.

După ce am selectat formatul imaginii dorit și opțiunile de rigoare, vom face clic pe **Save...**

Vom introduce *vel.eps*, *vel.tif* sau *vel.jpg*, în funcție de formatul ales.

Vom verifica în continuare dacă fișierul a fost salvat în folderul de lucru. De aici poate fi copiate în orice altă destinație deoarece este un fișier total independent de Fluent.

Coeficientul de frecare la limită

Fluentul ne oferă foarte multe informații și ajutor on-line. Vom face o probă pentru a intra în contact cu ajutorul oferit de fluent. Vom începe, bineînțeles, cu calcularea coeficientului de frecare la limită.

Main Menu > Help > User`s Guide Index...

Facem clic pe **S** la legături și vom derula în jos până la **skin friction coefficient**. Facem apoi clic pe legătura **965** (normal ar trebui să căutam pas cu pas ceea ce avem nevoie). Vom observa un fragment din coeficientul de frecare la limita precum și ecuația de rezolvare a lui.

Facem clic pe **Reference Values** (valori de referință) pentru a primi instrucțiuni în legătură cu utilizarea valorilor de referință utilizate pentru calcularea coeficientului.

Skin friction coefficient

The skin friction coefficient, C_f , is defined by:

$$C_f \equiv \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2}$$

Where τ_w is the local [wall shear stress](#), ρ is the fluid density and U_∞ is the free-stream velocity (usually taken outside of the boundary layer or at the inlet).

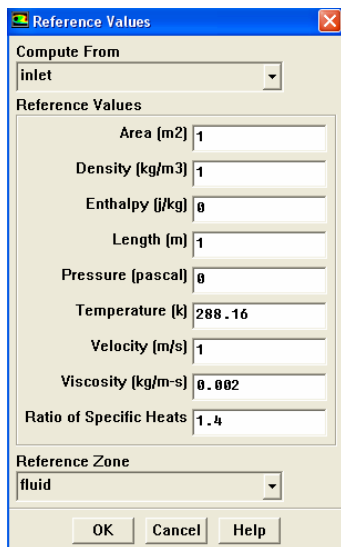
It is related to the momentum thickness as follows: $C_f = 2(d\theta)/(dx)$

An empirical relation you may use for comparison is: $C_f = 0.0583/(Re)^{0.2}$

Stabilim valorile de referință:

Main Menu > Report > Reference Values...

Selectăm **inlet** la **Compute From** (calculează din) pentru a da indicații programului de a calcula valorile de referință cu valorile de la intrare. Verificăm dacă densitatea este 1 kg/m^3 și dacă viteza este de 1 m/s .



Mergem înapoi la **Solution XY Plot**, deselectăm **Write to File** deoarece vrem să afișăm în program graficul. Vom lăsa celelalte opțiuni așa cum sunt ele din moment ce afișăm de-a lungul direcției X a conductei.

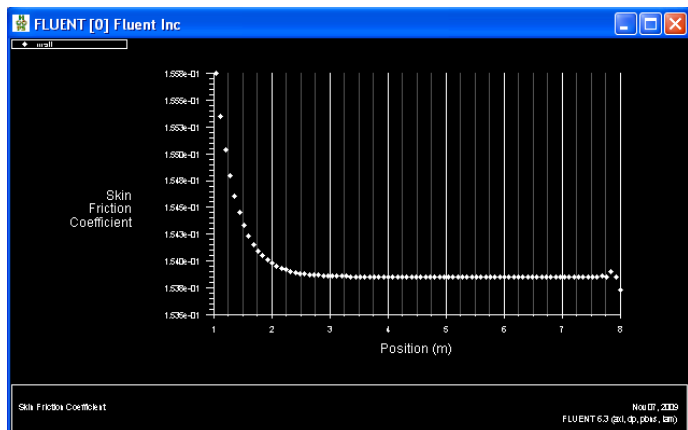
La **Y Axis Function**, alegem **Wall Fluxes...** (Fluxul din pereți) și apoi **Skin Friction Coefficient** din căsuța de dedesubt.

La **Surfaces** alegem **wall** și deselectăm **centerline**.

Resetăm mărimea axelor: Mergem la **Axes...** și reselectăm **Auto-Range** pentru axa Y. Vom alege mărimea axei X dându-i valoarea 8. Vom selecta X sub **Axis** și vom introduce 1 la **Minimum** și 8 la **Maximum** în căsuța **Range** (Nu trebuie să uităm să deselectăm **Auto-Range**).

Facem clic pe **Apply**, apoi **Close** și, în final, **Plot**.

Vom avea un grafic ca în figura de mai jos:



Putem observa că zona complet dezvoltată se află la distanța de $x = 3$ m față de zona de intrare și că coeficientul de frecare la limită în această zonă este de 1,54. Comparăm valoarea numeric 1,54 cu cea teoretică a zonei complet dezvoltată care are valoarea de 0,16.

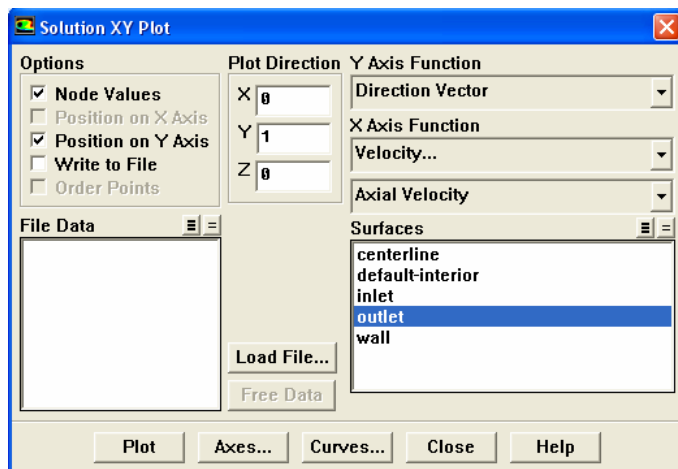
Salvăm informația de pe acest grafic. Alegem **Write to File** din **Options** și apoi facem clic pe **Write...** Introducem la nume cf.xz și apoi **OK**.

Profilul de viteză

În continuare vom afișa graficul vitezei la ieșirea din conductă ca o funcție de distanță de la centru. Pentru a face aceasta, avem nevoie să stabilim axa y a graficului să corespundă cu axa y a conductei (în direcția radială).

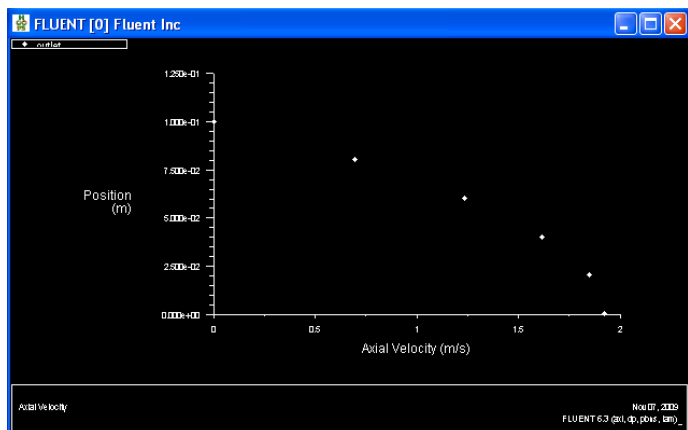
Pentru a afișa poziția care variază de-a lungul axei y a graficului, deselectăm **Position on X Axis** din căsuța **Options** și în loc, vom selecta **Position on Y Axis**. Pentru a face distanța radială să varieze cu linia de centru, la **Plot Direction**, vom introduce la **X** valoarea 0 iar la **Y** valoarea 1. Pentru a afișa viteza axială pe axa x a graficului, pentru **X Axis Function** vom alege **Velocity...** și **Axial Velocity** în căsuța de mai jos.

Din moment ce vrem să afișăm viteza la ieșire, vom alege **outlet** din cadrul **Surfaces**. Vom schimba axele x și y cu **Auto-Range**.



Deselectăm **Write to File** și facem clic pe **Plot**

Rezultatul este un grafic care arată ca în figura de mai jos:



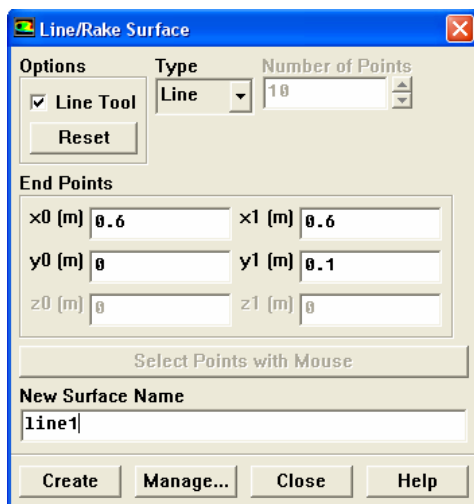
Rezultatul ar trebui să fie un profil parabolic.

Salvăm informația din acest grafic: selectăm **Write to File** și apoi facem clic pe **Write...** La numele fișierului vom scrie *profile.xy*.

Pentru a vedea cum se schimbă profilul în zona complet dezvoltată, vom adăuga graficului de mai sus profilul la $x = 0,6$ m ($x/D=3$) și $x = 0,12$ m ($x/D=6$). Pentru început, vom crea o linie la $x = 0,6$ m utilizând instrumentul **Line/Rake** (Linie/Pieptene)

Main Menu > Surface > Line/Rake

Vom crea o linie dreaptă de la $(x_0,y_0) = (0.6,0)$ la $(x_1,y_1) = (0.6,0.1)$. Selectăm **Line Tool** din căsuța **Option**. Introducem la $x_0 = 0.6$, $y_0 = 0$, $x_1 = 0.6$ și $y_1 = 0.1$ iar la **New Surface Name** (numele suprafeței) vom scrie *line1*.

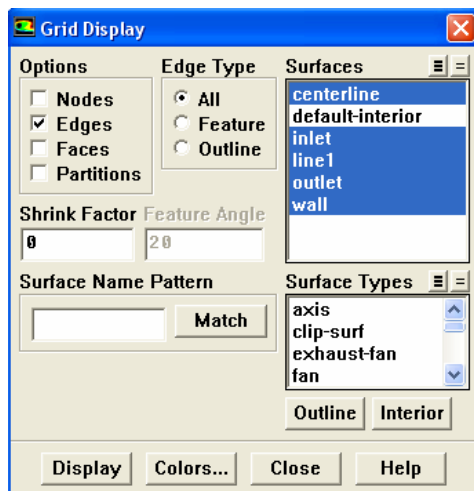


Pentru a vizualiza linia nou creată vom alege:

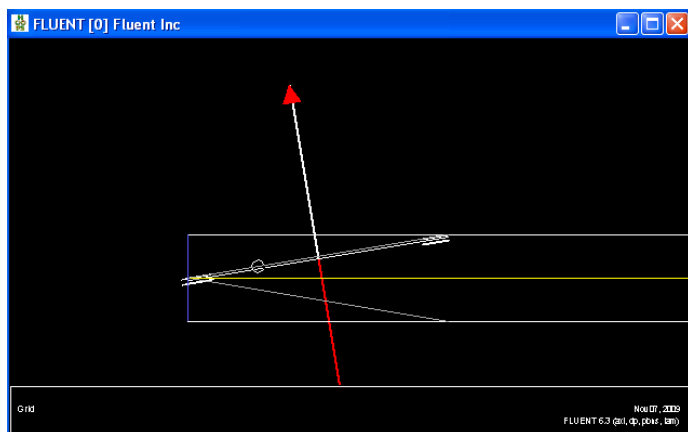
Main Menu > Display > Grid

Observăm **line1** în lista din căsuța **Surfaces**.

Selectăm toate elementele din listă cu excepția **default-interior**. Facem clic pe **Display**. Aceasta va afișa toate suprafețele mai puțin celulele din mesh.

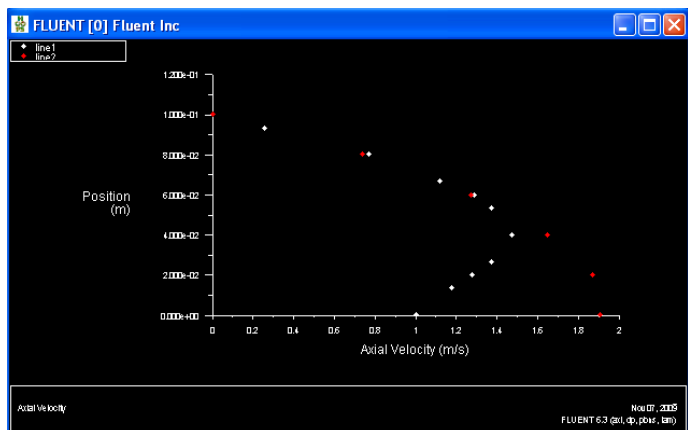


Mărim apoi zona apropiată zonei de intrare pentru a observa linia creată la $x = 0.6$ m. Linia nou creată, **Line1**, este reprezentată vertical, în partea dreaptă, cu culoare albă, ca în figura de mai jos:



Vom crea prin aceeași metodă o linie verticală pe care o vom numi *line2* la $x = 1.2$; $(x_0, y_0) = (1.2, 0)$ la $(x_1, y_1) = (1.2, 0.1)$ în acest caz. Vom afișa în fereastra grafică pentru a verifica dacă s-a creat corect.

Acum putem afișa profilul de viteză la $x = 0,6$ m ($x/D=3$) și $x = 0,12$ m ($x/D=6$) de-a lungul profilului de la ieșirea din conductă. Deschidem din nou mini-fereastra **Solution XY Plot** și folosim aceleași valori ca cele de mai sus. În căsuța **Surfaces**, pe lângă **outlet** vom selecta **line1** și **line2**. Selectăm **Node Values** (Valorile nodului) și apoi facem clic pe **Plot**. Simbolurile ar putea apărea diferit de cele din figura de mai jos.



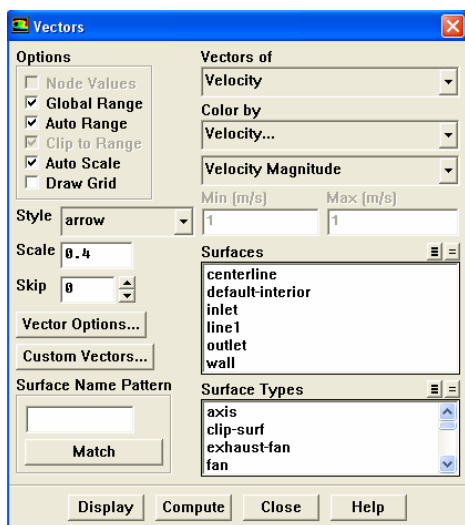
Putem să schimbăm simbolurile și stilurile liniilor în meniul **Curves**. În cazul în care întâmpinăm probleme, facem clic pe **Help** din meniul **Curves**.

Vectorii vitează

Putem afișa vectorii din întreaga zonă sau din anumite părți. Pentru exemplificare vom afișa vectorii de viteză pentru întreaga zonă pentru a observa cum se dezvoltă fluidul pe toată zona, de la intrare și până la ieșire.

Main Menu > Display > Vectors...>Display

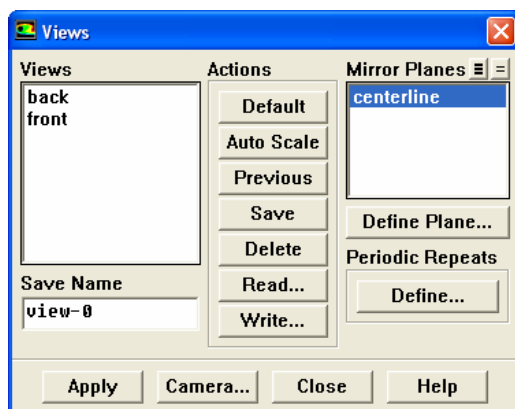
Mărim regiunea din vecinătatea zonei de intrare. Lungimea și culoarea săgeților reprezintă viteza. Vectorii pot fi vizualizați mai ușor modificând scara. La **Scale** vom introduce 0.4 după care se face clic pe **Display**.



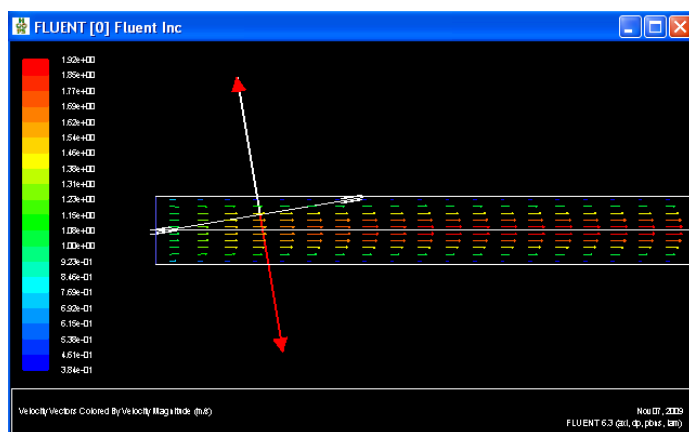
Putem vizualiza de altfel și secțiuni ale conductei:

Main Menu > Display > Views...

La **Mirror Planes** (Planuri în oglindă), este afișat doar **centerline** în căsuța **Surfaces**. Selectăm **centerline** după care facem clic pe **Apply**. Închidem minifereastra **Views**.



Vom avea un grafic ca în figura de mai jos:



Vectorii viteză ne arată cum se dezvoltă curgerea în conductă. O dată cu creșterea stratului limită, curgerea la limita peretelui este încetinită/deviată de frecarea vâscoasă. Putem observa foarte clar vectorii înclinați în zona de intrare, pe lângă perete. Aceasta arată că încetinirea curgerii în apropierea peretelui rezultă prin injectarea fluidului în zona depărtată de perete pentru a satisface conservarea masei. Astfel viteza din afara stratului limită crește.

Din setările inițiale, un vector este desenat în centrul fiecărei celule. Aceasta poate fi vizibilă prin activarea grilei de vectori. Selectăm **Draw Grid** din meniul **Vectors** și apoi facem clic pe **Display**.

PASUL 7 – CURĂȚIREA MESHURILOR

Este foarte important să se facă evaluarea dependenței rezultatelor meshurilor folosite prin repetarea unor calcule pe diferite meshuri, făndu-se comparația. Vom reconstrui calculele anterioare cu un mesh de dimensiunile 100x10. Dacă dorim să sărim peste pasul de modificare a meshurilor, putem descărca meshurile din Gambit și importate direct în Fluent.

Modificarea Meshurilor în Gambit

Meshul 100x5 este salvat cu denumirea de *pipe.dbx* în folderul de lucru. Vom deschide fereastra de comandă ca și la pasul 1. Pentru a copia *pipe.dbx*, se folosește comanda:

Copy pipe.dbx pipe2.dbx

Unde: *pipe2.dbx* este noul nume a fișierului copiat.

Vom lucra cu *pipe2.dbx* pentru a nu modifica *pipe.dbx*. Deschidem *pipe2.dbx* cu Gambitul, folosind următoarea comandă:

gambit pipe2.dbx

De ținut minte faptul că *pipe2* este ID-ul programului de lucru, deci toate fișierele create în această sesiune vor avea acest prefix.

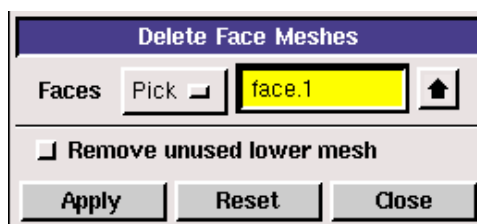
Vom șterge meshurile feței și vom modifica meshurile fețelor (laturilor) și vom remesha fața. Pentru a șterge meshurilor feței originale, vom alege

Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Face Command Button  >

Delete Face Meshes 

În fereastra **Delete Face Meshes** care se va deschide vom deselecta **Remove unused lower mesh**. Aceasta dictează programului să șteargă doar meshurile feței și menține meshurile fețelor atribuite fiecărei fețe. Din moment ce vom schimba meshurile a două fețe ale dreptunghiului, nu este nevoie să refacem meshurile celor patru laturi.

Selectăm singura față a dreptunghiului cu ajutorul tastei **Shift** după care facem clic pe **Apply**.



Modificarea meshurilor fețelor

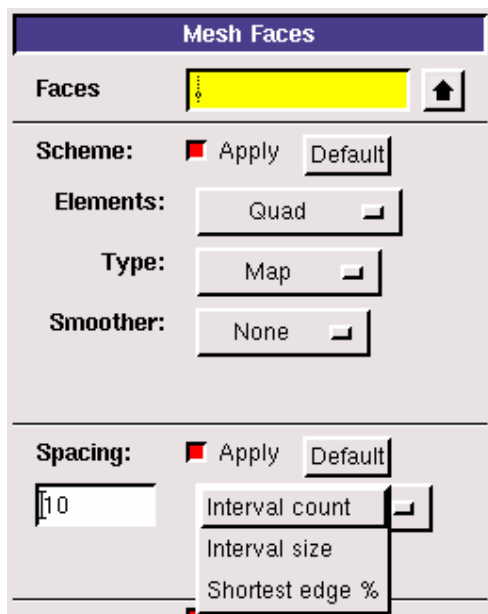
Pentru a schimba numărul de diviziuni ale laturilor verticale din 5, 10, alegem:

Operation Toolpad > Mesh Command Button  **> Edge Command Button**  **>**
Mesh Edges 

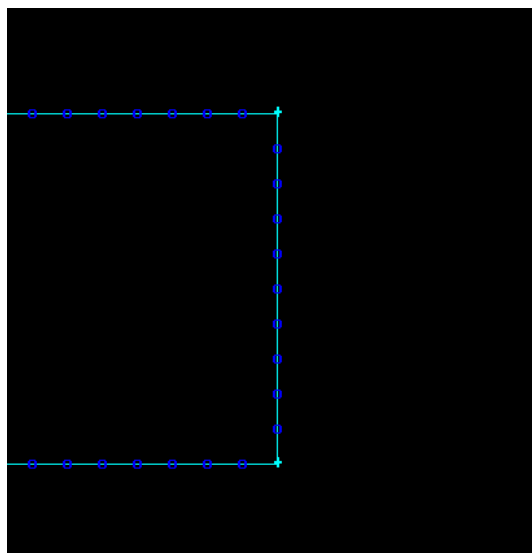
Selectăm cele două laturi verticale cu ajutorul tastei **Shift**, făcând clic pe fiecare în parte, după care dăm drumul. Selectăm **Interval Count** din căsuță, sub **Spacing** pe care scrie **Interval Size**. Schimbăm numărul, din 5 în 10.

Ne asigurăm din nou că opțiunea **Remove old mesh** este deselectedă din mini-fereastra **Option**. Asta ne asigură că meshurile vechi ale laturilor sunt șterse înainte ca cele noi să fie create.

Facem clic apoi pe **Apply**.



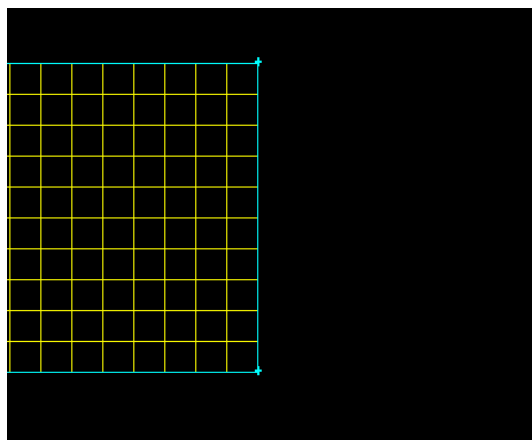
A nu se uita că putem mări desenul prin ținerea apăsată a tastei **Ctrl**, și apoi, cu mouseul, se fac secțiunile de mărire a zonelor dorite. Putem observa acum cele 10 diviziuni



Reconstruirea meshurilor fețelor

Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Face Command Button  >

Mesh Face 



Salvarea și Exportarea

Main Menu > File > Save

Main Menu > File > Export > Mesh...

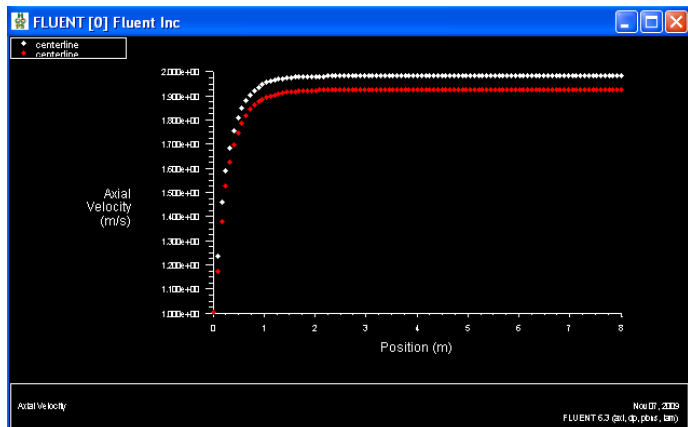
Scriem *pipe2.msh* la File Name: și selectăm **Export 2d Mesh** după care **Appy**.

Analiza fină a meshurilor (finisarea meshurilor)

Repetăm pașii 4 și 5 folosind meshurile 100x10.

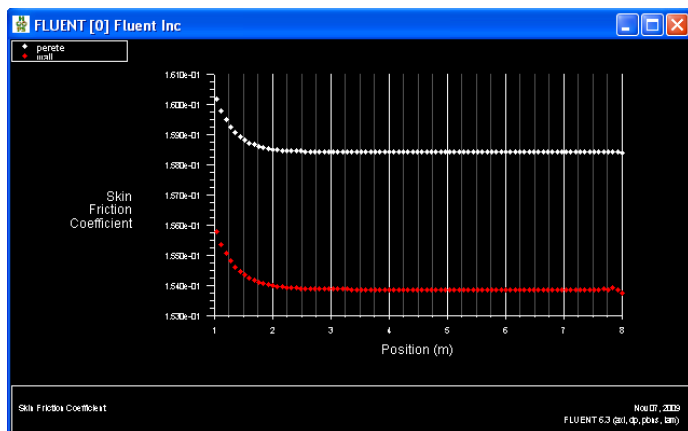
Cand obținem soluția, afișăm variația vitezei la centru de-a lungul axei X după cum am descris și la pasul 6. Comparăm rezultatele noi cu cele anterioare, care au fost salvate cu *vel.xy*. Pentru a face asta, după ce am afișat viteza la centru, facem clic pe **Load File...** în mini-fereastra **Solution XY**. Deschidem folderul de lucru și facem clic pe *vel.xy* după care **Ok** și, în final, **Plot**.

În fereastra cu grafice putem observa ambele rezultate pe același grafic. Modificăm axele pentru a putea mări zona de început a regiunii complet dezvoltată.



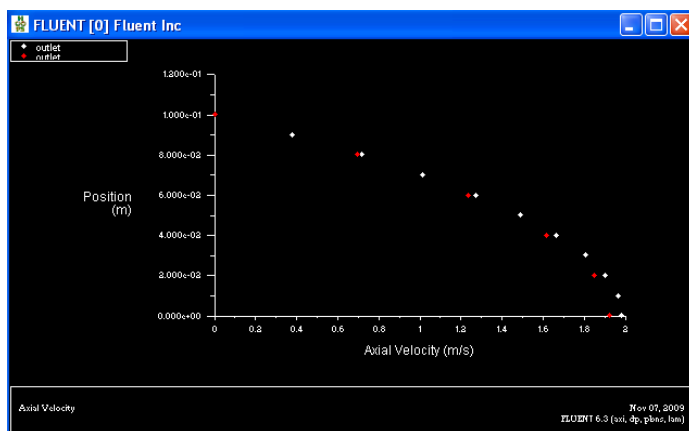
Pe graficul vitezei la centru de mai sus, simbolurile cu alb și roșu reprezintă rezultele meshurile de dimensiunile 100x10 respectiv 100x5. Viteza la centru în regiunea dezvoltată complet este de 1,98 m/s. Această valoare corespunde mai degrabă cu valoarea analitică de 2 m/s decât cu valoarea 1,93 m/s obținută pe meshul brut. Salvăm aceste date ca *vel2.xy*. Viteza rezultată devine mai exactă în timpul finisării meshurilor după cum era de așteptat.

Afișăm coeficientul de frecare la limită ca și la pasul 6. Comparând rezultatele avem:



Finisarea meshurilor ne oferă un coeficient de frecare la limită de 0,159 în zona complet dezvoltată, care este mult mai apropiată de valoarea teoretică de 0,16 decât celei de 0,154 la meshurile brute. Salvăm datele cu numele de *cf2.xy*.

Analog, afișăm profilul de viteză la ieșire și comparăm cu cel făcut pe meshurile brute. Salvăm ca *out.xy*. Cele două rezultate sunt comparate foarte bine cu cea mai mare deviație de la centru. Salvăm datele ca *out2.xy*.



PROBLEMA 1:

Problema:

- a) Considerăm problema rezolvată în acest laborator. La ieșirea din conductă, putem defini eroarea calculelor pentru viteza centrală astfel:

$$\varepsilon = |U_c - U_{\text{exact}}|$$

unde:

U_c – valoarea liniei de centru din Fluent;

U_{exact} – valoarea analitică exactă pentru zona complet dezvoltată.

Eroarea rezultată trebuie să aibă formă:


$$\varepsilon = K\Delta r^p$$

unde coeficientul K și puterea p depind de metoda folosită. Considerăm soluția obținută pentru meshurile de dimensiunile 100x5, 100x10 și 100x20. Cu ajutorul Matlab-ului, folosim metoda celor mai mici pătrate

$$\ln \varepsilon = \ln K + p \ln \Delta r$$

pentru a obține coeficienții K și p . Valoarea lui U_{exact} poate fi găsită în diferite cărți de fluidomecanică precum *Fluid Mechanics* de *F. White*. La final, trebuie să demonstrați de ce valorile voastre au sens.


- b) Repetați exercițiul de mai sus folosind schema „first-order upwind” pentru ecuația momentului. Comparați valoarea lui p obținută în acest caz cu cea precedentă și explicați în amănunt (2-3 fraze) rezultatele.

 *Observați că discretizarea de primul și al doilea ordin se aplică numai în termen convectiv în ecuațiile Navier-Stokes. Viscositatea este întotdeauna de ordinul doi, pentru precizie.*

PROBLEMA 2

Problema:

Pe cel mai curat mesh (100x20), refaceți calculele pentru $Re=200$ și $Re=500$ folosind schema „second order upwind”. Observație: schimbați numărul Reynolds prin ajustarea viscozității moleculare μ . Afișați viteza la centru și frecarea la limită ca o funcție de distanța axială pentru $Re = 100$ (problema anterioară), 200 și 500. Afișați cele trei cazuri pe același grafic pentru comparație. Explicați pe scurt ce observați atunci când numărul lui Reynolds crește.

 **Sfaturi:** Dacă nu ați salvat meshul 100x20 în pasul 7, puteți să-l încărcați în fluent din nou fără a fi necesară reconstruirea lui în Gambit.

Rezolvați μ pentru fiecare număr Reynolds la început apoi gândiți-vă ce pași ar trebui să fie schimbați.

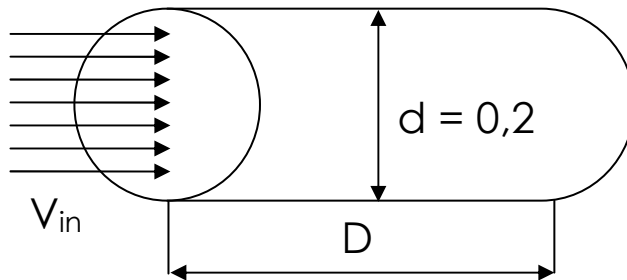
CURGEREA TURBULENTĂ ÎN CONDUCTE

Specificațiile problemei:

1. Crearea geometriei în Gambit;
2. Masharea geometriei în Gambit;
3. Specificarea tipurilor de limită în Gambit;
4. Stabilirea Problemei in Fluent;
5. Rezolvarea;
6. Analiza rezultatelor;
7. Finisarea meshurilor.

Problema 1.

Specificarea problemei



Acest exercițiu este construit pe baza datelor generale ale problemei anterioare. La fel, viteza de intrare V_{in} este de 1m/s, evacuarea fluidului în atmosferă și densitatea este de 1kg/m^3 . Pentru $\mu = 2 \cdot 10^{-5}$ kg/ms, numărul Reynolds în funcție de diametru și viteza medie la intrarea în conductă este de:

$$Re_D = \frac{\rho V_{avg} D}{\mu} = 100\,000$$

La această valoare, în general, curgerea este în totalitate turbulentă.

Curgerea turbulentă manifestă mici fluctuații în timp. Aceste fluctuații sunt uneori imposibil de rezolvat în calculele de tip CFD (Computer Fluid-Dynamics), deci variabilele curgerii precum viteza, presiunea etc. sunt pentru un timp mediu. Din păcate, ecuațiile pe baza timpului mediu nu sunt închise adică ele conțin cantități fluctuante care trebuie modelate folosind un model de turbulență. Nici un model de turbulență nu este încă disponibil pentru toate tipurile de curgeri și deci este necesar să alegem un model fin sau clase particulare de curgeri. În acest exercițiu vom folosi modelul de tipul k-ε. Dar, în exemplele reale, trebuie luată o măsură foarte importantă: trebuie evaluată validitatea calculelor folosind modelul de turbulență cu grijă.

Fluentul nu trebuie utilizat ca o „cutie neagră”. Modelele k- ϵ constau în două ecuații diferențiale: una pentru energia cinetică k și una pentru dispersia turbulentă ϵ . Aceste două ecuații trebuie să fie rezolvate folosind continuitatea timpului mediu, momentul și ecuația energiei. Deci, calculele curgerii turbulente sunt mult mai dificile și costisitoare decât calculele regimului laminar.

PASUL 1. CREAREA GEOMETRIEI ÎN GAMBIT

Deoarece curgerea este axisimetrică, geometria este un dreptunghi că și la primul exercițiu. Vom folosi pentru început un mesh de mărimea 100x30, adică 100 de diviziuni în direcția axială și 30 diviziuni în cea radială.

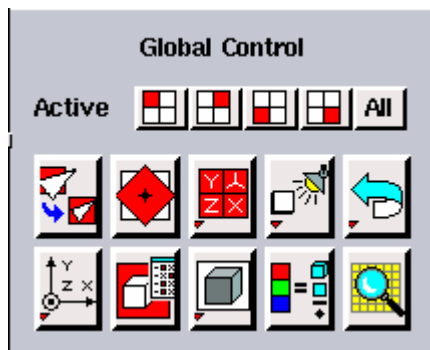
Putem construi acest mesh de la 0 dar, în loc, îl vom modifica pe cel de la primul exercițiu și anume din 100x5, în 100x30. Aceasta ne introduce în „arta modificării meshurilor” în Gambit.


PASUL 2: GEOMETRIA MESHULUI ÎN GAMBIT

Deschiderea GAMBITULUI

Vom crea un folder cu denumirea *pipe2* într-o locație convenabilă pentru a-l folosi drept folder de lucru. Copiem *pipe.dbs* (fișierul care conține meshul 100x5) din laboratorul anterior în acest folder. Denumim fișierul ca *pipe100x30.dbs*. Vom modifica acest fișier pentru a obține meshul pentru simularea curgerii turbulente în conducte.

Pornim GAMBIT-ul în folderul de lucru cu comanda *gambit -id pipe100x30* din prompterul de comenzi ale windowsului (a se revedea laboratorul anterior). GAMBIT-ul va folosi id-ul *pipe100x30* ac prefix predefinit pentru toate fișierele care vor fi create în această sesiune. În continuare va afișat meshul creat anterior. Pentru a cuprinde tot meshul în fereastra, vom selecta:



„Fit to Screen”  din meniul „Global Control”

Ștergerea meshurilor de pe fețe create anterior

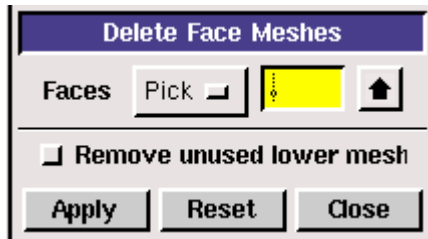
Primul pas pe care trebuie să-l parcurgem este ștergerea vechiului mesh de pe față. Să nu uităm faptul că meshul de pe față este construit deasupra meshurilor laturilor, deci formează grid-ul. În acest caz nu vrem să ștergem meshurile laturilor. Pentru a șterge numai meshurile fețelor, selectăm:

Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Face Command Button  > Delete Face

Meshes 

Deoarece avem o singură față, facem clic, ținând apăsată tasta **SHIFT**, pe fiecare latură care formează fața pentru a o selecta. Fața selectată apare cu culoare roșie iar numele ei apare în meniu, la „Delete Face Meshes”.

Pentru că nu vrem să ștergem și laturile, deselectăm „Remove unused lower mesh”.



Facem clic apoi pe **Apply**

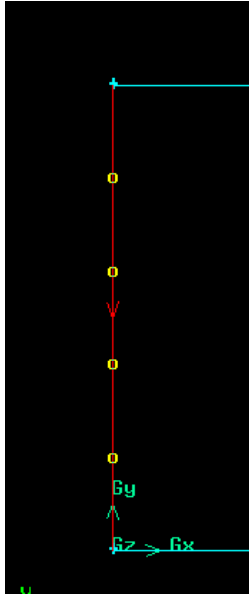
Remesharea laturilor

Deoarece vom folosi din nou 100 de diviziuni pentru laturile orizontale, vom modifica doar cele verticale.

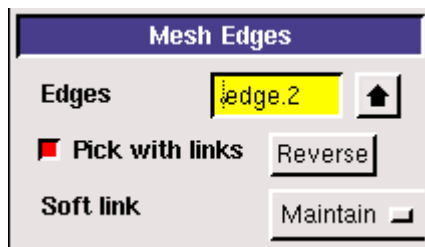
Pentru a avea un gradient mai puternic lângă perete, pentru curgerea turbulentă, vom folosi un spațiu mai mic între ochiurile grilei prin strângerea lui.

Pentru fiecare latură verticală, vom specifică lungimea diviziunilor de lângă perete ca fiind de 0,001 și numărul total de diviziuni de 30. În GAMBIT, fiecare latură are o direcție asociată cu ea, după cum ne arată săgeata. Vom muta această săgeată mai departe de perete astfel încât diviziunea apropiată peretelui devine „prima lungime” și cea de-a doua devine „ultima lungime”. Vom da apoi valoarea primei lungimi de 0,001 și 30 numărului total de diviziuni pentru latură; Gambitul va calcula valoare aproximativă a ultimei lungimi.

Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Edge Command Button 

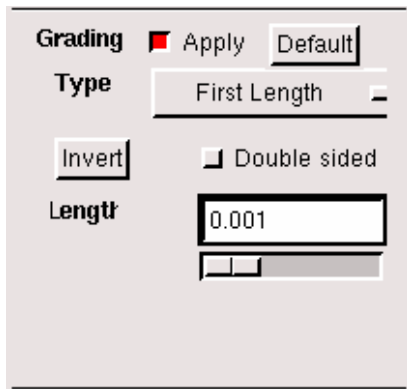
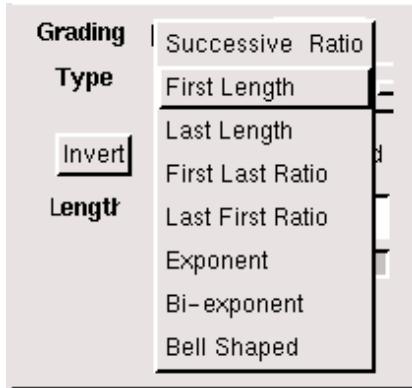


Selectăm laturile verticale. Observăm săgeata roșie care apare pe latura selectată. Trebuie să ne asigurăm că direcția ei este în jos. Dacă ambele săgeți sunt îndreptate în direcții greșite, le putem corecta cu ajutorul comenzii „Reverse” din meniul „Mesh Edges”

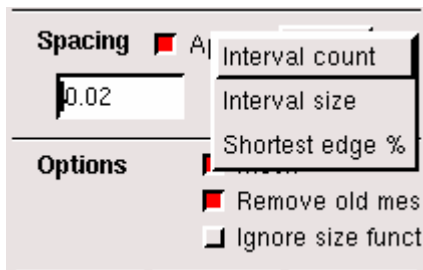


Dacă săgeata uneia dintre laturi trebuie întoarsă, o putem face și cu ajutorul tastei **SHIFT** și ținând clic pe Rotița Mouseului.

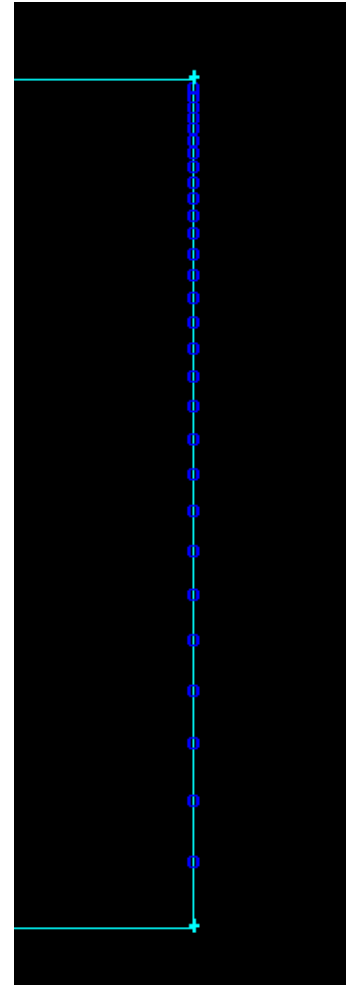
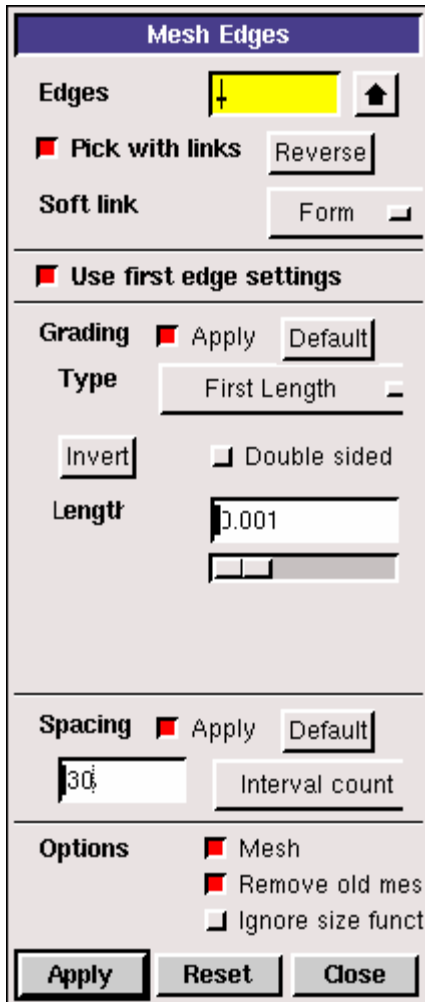
La „Type” în meniul „Mesh Edges”, selectăm „First Length” (prima față) din listă. Lângă „Length”, introducem valoarea 0,001



În continuare vom împărți fiecare latură verticală în 30 de diviziuni. Selectăm „Interval Count” și introducem valoarea 30.



Meniul și latura arată ca în figurile de mai jos:



Observăm că spațiul meshurilor este mai mic lângă perete după cum sunt așezate cercurile albastre.

Reconstrucția meshurilor fețelor

Următorul pas este reconstrucția meshurilor fețelor.

Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Face Command Button  > Mesh Face



Selectăm fața și apoi facem clic pe „Apply”. Suprafața meshată arată ca în figura de mai jos:

PASUL 3: SPECIFICAREA TIPURILOR DE LIMITĂ ÎN GAMBIT

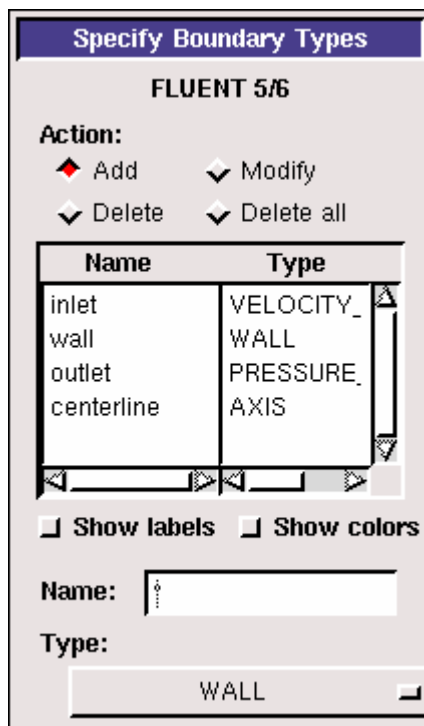
Tipurile de limită au fost creat în laboratorul anterior și anume:

POZIȚIA LATUREI	NUMELE	TIPUL
Stânga	inlet	VELOCITY_INLET
Dreapta	outlet	PRESSURE_OUTLET
Sus	wall	WALL
Jos	centerline	AXIS

Aceste tipuri de limită au rămas la fel chiar dacă s-a modificat meshul de pe fiecare latura. Verificăm dacă acestea s-au păstrat:



Operation Toopad > Zones Command Button > Specify Boundary Types Command Button



Dacă dorim să vedem toate limitele pe fereastra principală, selectăm „Show labels” din meniul iar în fereastra principală vor fi reprezentate denumirile cu galben, ca în figura de mai jos:



Salvarea și exportarea

Ca și în laboratorul anterior, vom salva și exporta meshul:

Main Meniu > File > Save

și

Main Menu > File > Export > Mesh...

La „File Name:” vom scrie *pipe100x30*. Selectăm „Export 2d Mesh” deoarece acesta este un mesh bidimensional. Apoi clic **Accept**

Verificăm dacă *pipe100x30.msh* a fost creat în folderul de lucru.

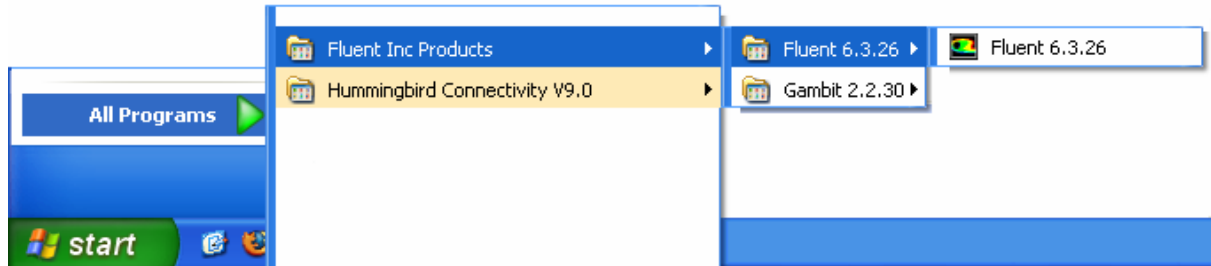
Ieșim din GAMBIT:

Main Meniu > File > Exit și salvăm sesiunea.

PASUL 4: INTRODUCEREA PROBLEMEI ÎN FLUENT

Deschidem FLUENT

Start > Programs > Fluent Inc > Fluent 6.x.xx



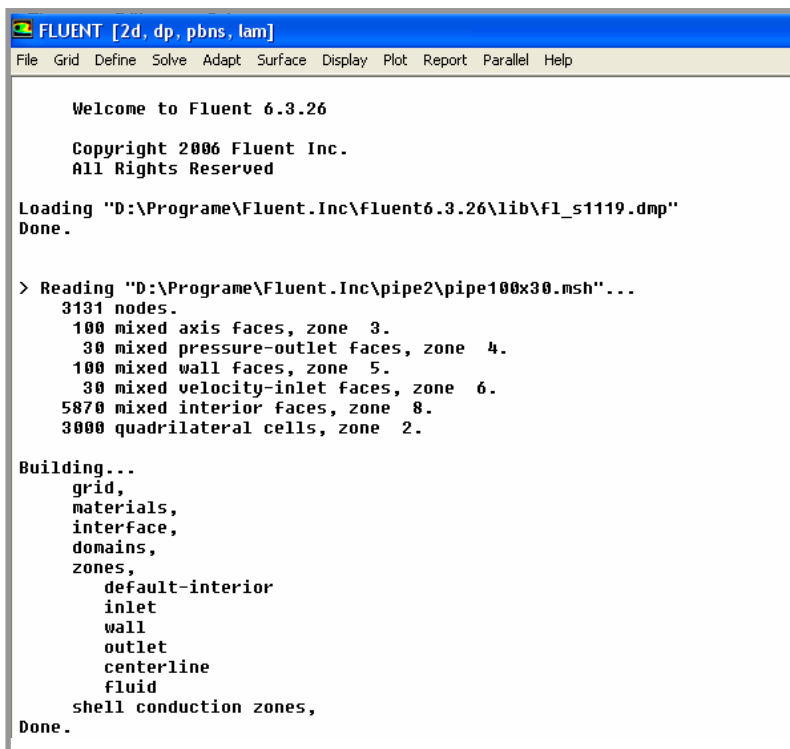
Selectăm 2ddp (2D, precizie dublă) din listă și apoi facem clic pe **Run**.

Importarea fișierului

Main Menu > File > Read > Case...

Intrăm în folderul de lucru și selectăm *pipe100x30.msh*. Facem clic apoi pe **OK**.

În fereastra principală va apărea:



Verificăm numărul de noduri, fețe (de tipuri diferite) și celule. Sunt 3000 de celule patrulatere. Acesta este numărul la care ne așteptăm deoarece folosim 30 de diviziuni în direcția radială și 100 în cea axială. Deci numărul total de celule este $30 \times 100 = 3000$

De altfel, ne uităm și la zone. Putem observa cele patru zone: *inlet*, *wall*, *outlet* și *centerline*.

Grila

Pentru început verificăm grila pentru a fi siguri că nu sunt erori.

Verificarea se face din meniul:

Main Menu > Grid > Check

Orice eroare întâlnită va fi raportată imediat. Verificăm apoi ieșirea pentru a fi siguri că nici acolo nu avem erori. Apoi se face verificarea dimensiunii grilei:

Main Menu > Grid > Info > Size

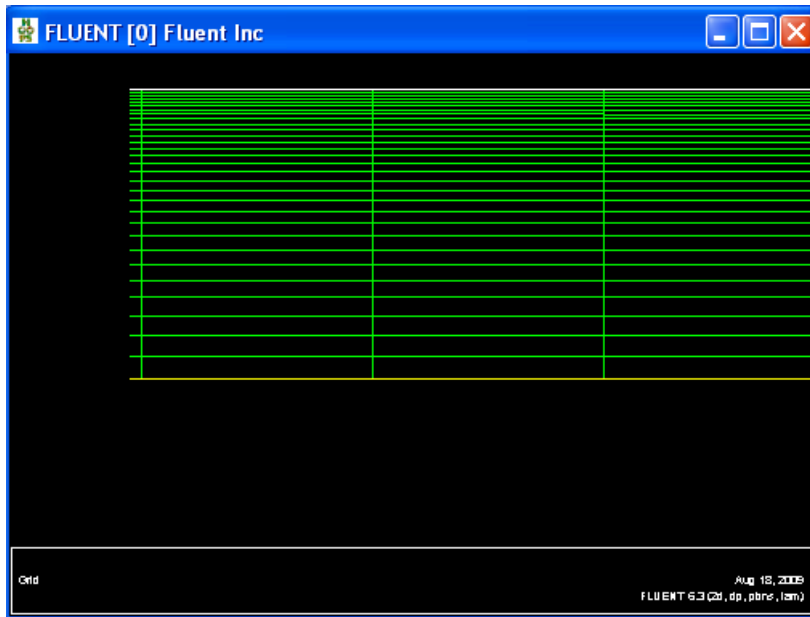
Aceasta arată ca în figura de mai jos:

Grid Size				
Level	Cells	Faces	Nodes	Partitions
0	3000	6130	3131	1
. 1 cell zone, 5 face zones.				

Vizualizăm grila:

Main Menu > Display > Grid

Trebuie să ne asigurăm că toate suprafețele (**Surfaces**) sunt selectate. Apoi facem clic pe **Display**. O nouă fereastră în care vom observa grila se va deschide. Se va închide apoi făcând click pe **Close**.



Putem să vizualizăm și anumite părți ale grilei alegând din lista de suprafețe. Se face clic din nou pe **Display** și apoi se vizualizează părțile selectate. Este indicat să folosim această particularitate și să ne asigurăm că etichetele limitelor corespund cu entitățile geometrice.

Închidem fereastra „Grid Display”.

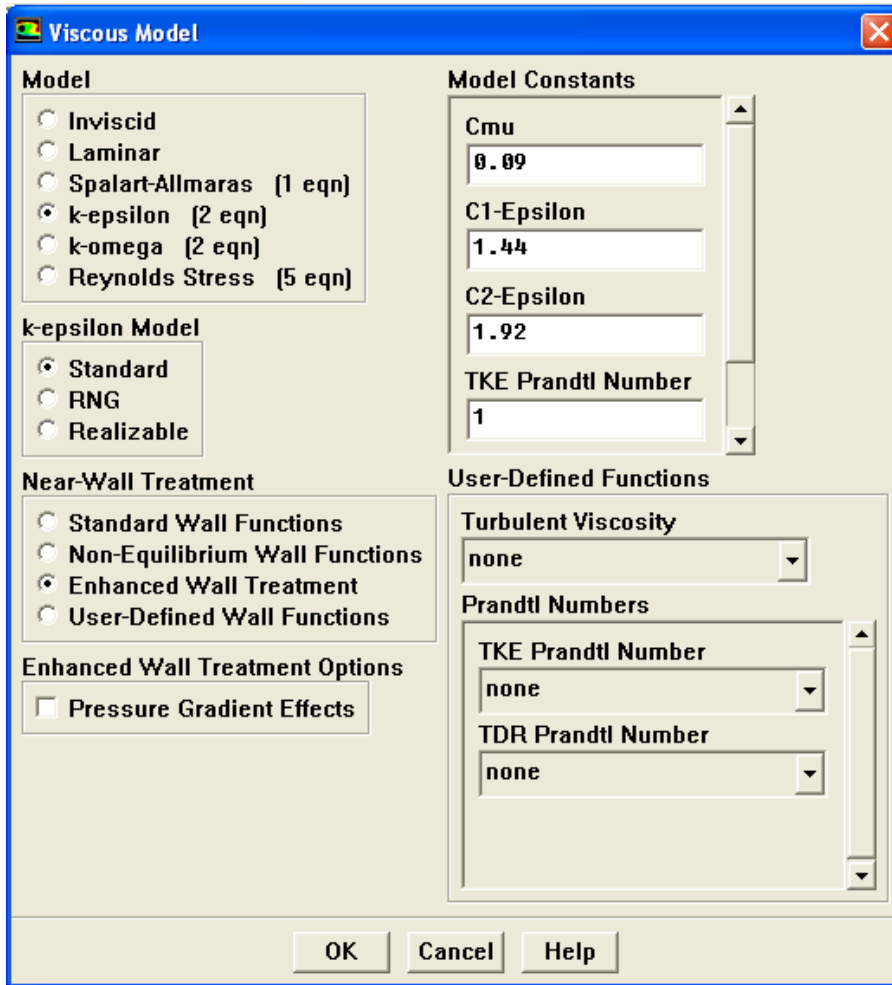
Difinirea proprietăților solverului

Main Menu > Define > Models > Solver

Vom alege **Axisymmetric** din lista de sub **Space**. Ca și la problema anterioară, vom folosi setările prestabilite ale solverului segregat, formulare implicită, curgere staționară și viteză absolută.

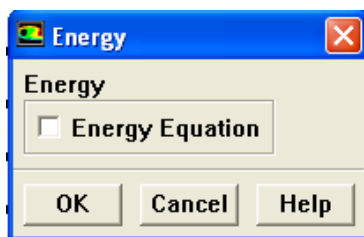
Main Menu > Define > Models > Viscous

Selectăm „k-epsilon (2eqn)”. Observăm că fereastra se lărgeste, apărând opțiuni noi atunci când selectăm modelul de turbulență *k-epsilon*. În lista de sub „Near-Wall Treatment”, selectăm „Enhanced Wall Treatment” pentru a obține un rezultat mai precis.



Main Menu > Define > Models > Energy

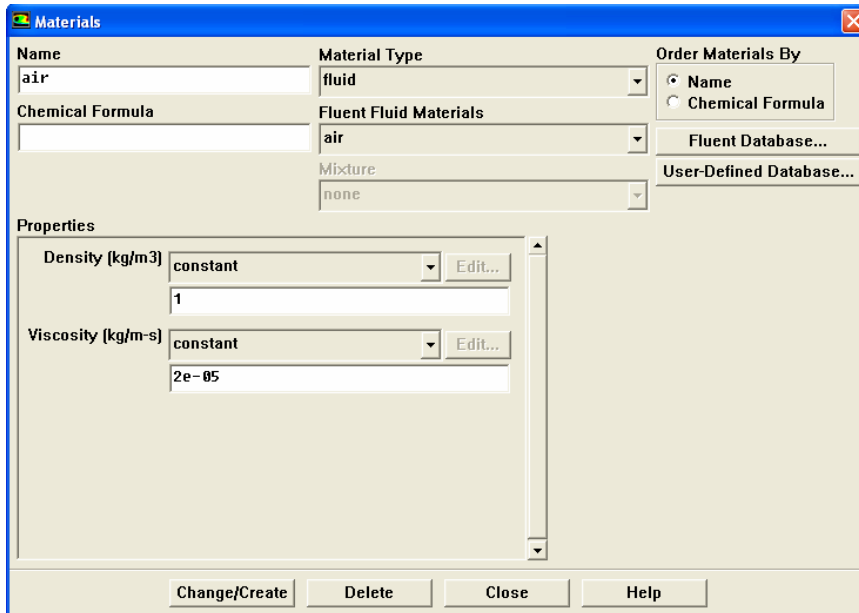
Pentru fluidele incompresibile, ecuația energiei este decuplată de la continuitate și de la ecuația momentului. Ecuația o vom activa numai atunci când dorim să observăm distribuția temperaturii. În exemplul nostru nu este necesar. Lăsăm deci **Energy Equation** deselected și facem clic pe **Cancel** pentru anulare.



Definirea proprietăților materialelor

Main Menu > Define > Materials...

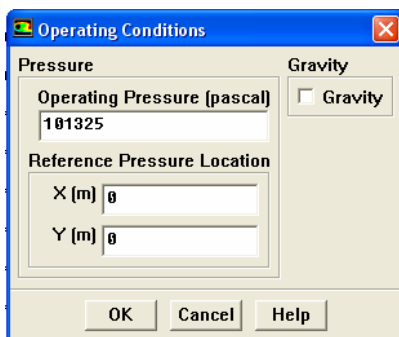
Densitatea va avea valoarea 1 și viscozitatea $2e-5$. Acestea sunt valorile care sunt specificare în problema noastră. Le vom considera pe amândouă constante. Facem clic apoi pe **Change/Create**. (Numele materialului nu contează în exemplele noastre)



Definirea condițiilor de operare

Main Menu > Define > Operating Conditions

Pentru toate curgerile, Fluentul folosește măsura presiunii interioare. De fiecare dată când este nevoie de presiunea absolută, ea este generată prin adăugarea presiunii de operare la presiunea măsurată. Vom folosi valoarea predefinită de 1 atm. (101,325 Pa) ca presiune de operare.



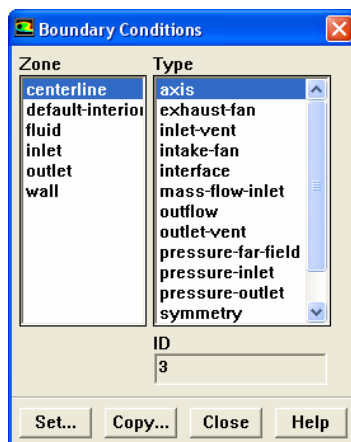
Definirea condițiilor la limită

Vom stabili în continuare valoarea vitezei la intrare și a presiunii la ieșire.

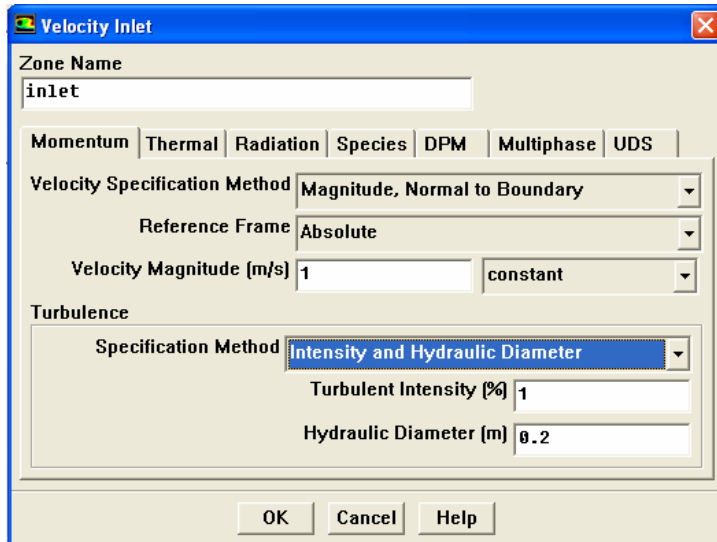
Main Menu > Define > Boundary Conditions...

Aducem aminte că cele tipuri de limite pe care le-am definit sunt specificate ca zone în partea de stânga a ferestrei condițiilor la limită. Zona **centerline** ar trebui să fie selectată automat. În cazul în care nu este, trebuie să ne asigurăm că tipul acestei limite este axă (**axis** din lista). Apoi se face clic pe **Set**. Observăm că nu este nici o setare de făcut decât numele pe care, în cazul nostru, îl vom lăsa **centerline**.

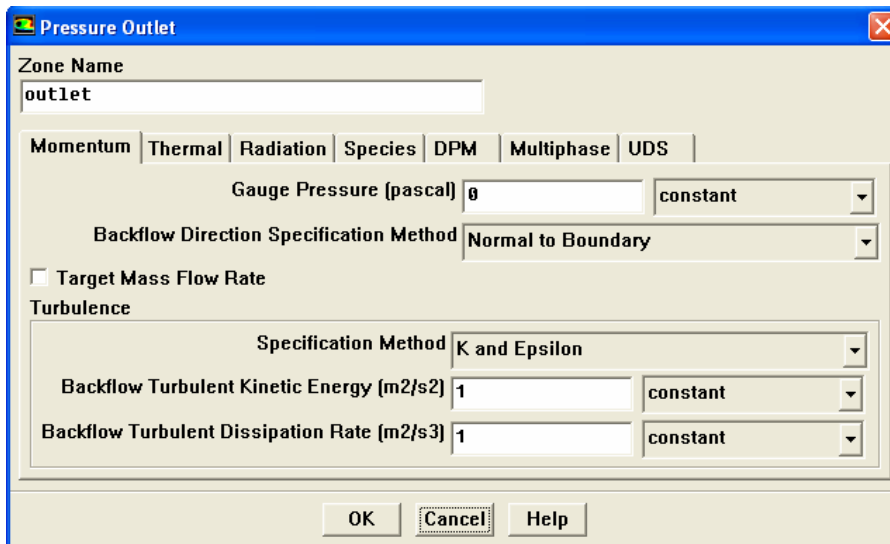
Apoi, mai jos, în listă selectăm **inlet**. Observăm că Fluent-ul indică că tipul acestei limite este **velocity-inlet**. Ne amintim că aceasta a fost deja stabilită în Gambit. Dacă este necesar, putem schimba tipul limitei stabilită anterior în Gambit în acest meniu prin selectarea diferitelor tipuri din dreapta.



Facem clic pe **inlet** apoi **Set...** Se va deschide o nouă mini-fereastră. Vom adăuga valoarea 1 la **Velocity Magnitude** (mărima vitezei). Aceasta setează viteza cu care fluidul intră în conductă prin limita din stânga (în cazul nostru 1m/s). La „Specification Method” alegem din listă „Intensity and Hydraulic Diameter”. La „Turbulence Intensity” vom introduce valoarea 1 iar la „Hydraulic Diameter” valoarea 0.2. Clic pe **OK** pentru a salva noile valori.



Presiunea (absolută) la ieșire este de 1 atm. Din moment ce presiunea de operare este stabilită ca fiind 1atm, mărimea presiunii la ieșire = presiunea absolută la ieșire – presiunea de operare = 0. Alegem din listă **outlet**. Tipul acestei limite este **pressure-outlet**. Facem clic pe **Set...** Valoarea prestabilită a **Gauge Pressure** (mărirea presiunii) este 0. Nu facem nici o modificare și închidem fereastra.



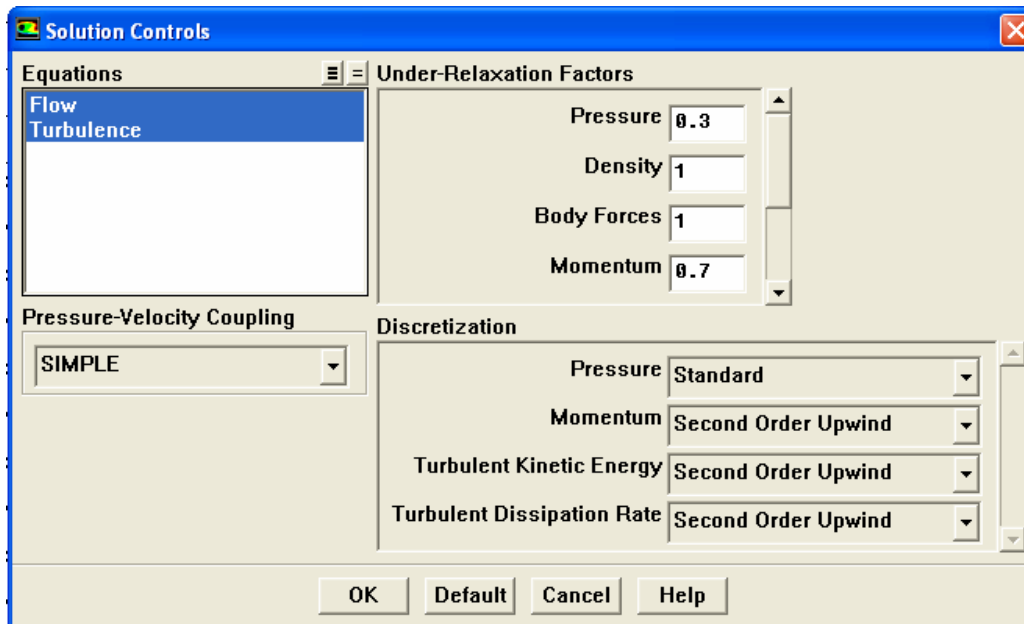
***i** Notă: „Backflow” se referă la fluxul care intră la ieșire. Acesta nu este cazul nostru deci nu vom introduce nimic. Închidem meniul „Boundary Conditions”.*

PASUL 5: REZOLVAREA

Vom folosi o schemă de discretizare de ordinul doi pentru ecuația de moment, ca și în laboratorul anterior, și de altfel pentru ecuația energiei cinetice turbulente care este face parte din modelul de turbulență *k-epsilon*.

Main Menu > Solve > Controls > Solution...

Schimbăm valoarea momentului din ordinul I în ordinul II (Second Order Upwind)



Facem clic apoi pe **OK**.

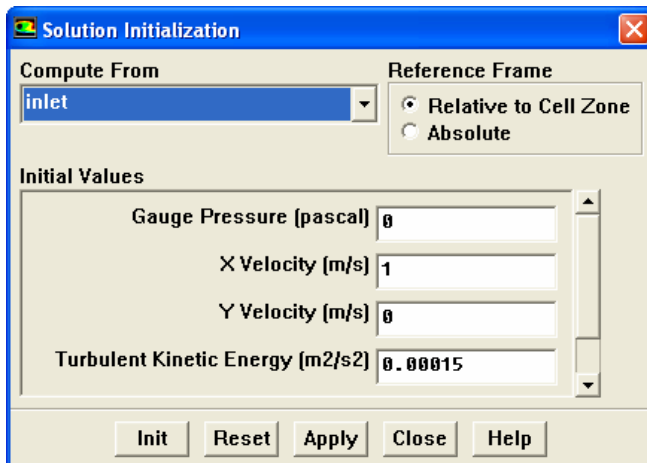
Ordinul de discretizare pe care tocmai l-am ales se referă la termenii convectivi în ecuație; discretizarea termenilor de viscozitate este întotdeauna de ordinul doi în Fluent pentru acuratețe mare. Discretizarea de ordinul doi duce în general la acurateți mari iar cele de ordinul unu duc la convergențe robuste. Dacă schema de ordinul doi nu **CONVERGE**, putem încerca iterarea și cu schema de ordinul I.

Se face prima presupunere

Se inițializează câmpul curgerii cu valorile de la intrare:

Main Menu > Solve > Initialize...

În meniul **Solution Initialization** la **Compute From** vom alege **inlet**. Viteza axială (**Axial Velocity**) pentru toate celulele va fi setată la 1 m/s, viteza radială (**Radial Velocity**) va fi 0 m/s. Presiunea măsurată (**Gauge Pressure**) va fi și ea de 0 Pa. Energia cinetică a turbulenței (**Turbulence Kinetic Energy**) și rata disipării (**Dissipation Rate**) sunt stabilite din valorile prescrise pentru intensitatea turbulenței și diametrul hidraulic la intrare (stabilite anterior).



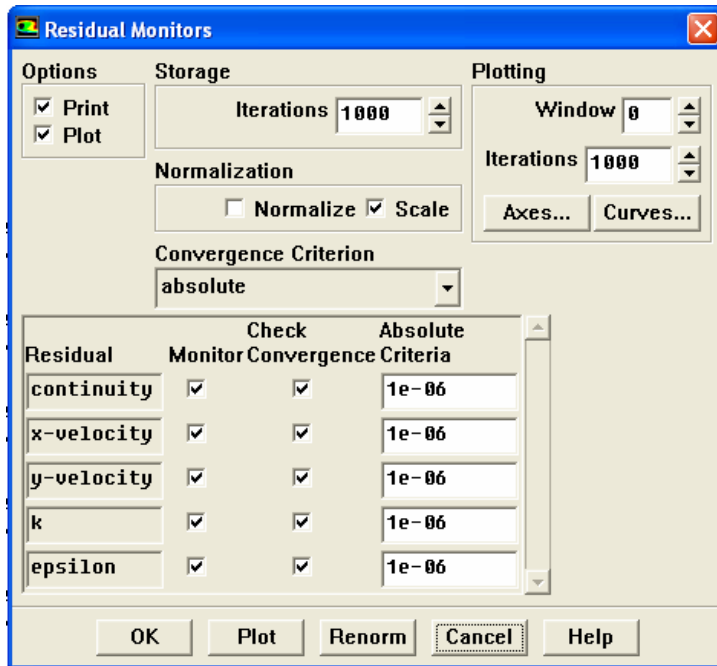
Facem clic pe **Init** pentru a inițializa, apoi **Apply** și, în final, **Close**.

Stabilirea criterului de convergență

Fluentul face raportul la reziduul pentru fiecare ecuație ce urmează a fi rezolvată. Reziduul este măsura la cât de mult satisface soluția curentă forma discretizantă a fiecărei ecuații ce guvernează. Vom itera soluția până când reziduul fiecărei ecuații scade sub $1 \cdot 10^{-6}$ (1e-6).

Main Menu > Solve > Monitors > Residual...

Observăm că la criteriul de convergență (**Convergence Criterion**) avem posibilitatea de a schimba ecuațiile k și ϵ , pe lângă celelalte trei prezentate în laboratorul anterior. Introducem valoarea 1e-06 la toate cele cinci ecuații ce urmează a fi rezolvate. Selectăm **Print** și **Plot** din mini-fereastră pentru a putea afișa reziduurile. Se face clic apoi pe **OK**.



Aceasta completează specificațiile problemei. Salvăm sesiunea astfel:

Main Menu > File > Write > Case...

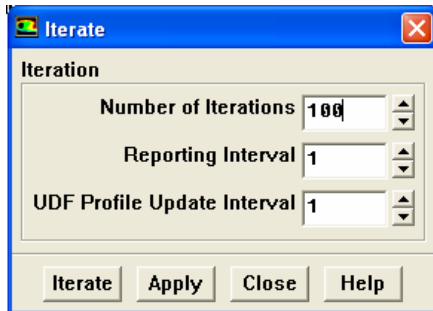
Salvăm cu numele *pipe100x30.cas* pentru fișierele de tip case. Verificăm apoi dacă s-a salvat în folderul de lucru. Dacă închidem Fluent-ul acum, putem continua cu tot ceea ce am stabilit până acum.

Iterăm până la convergență

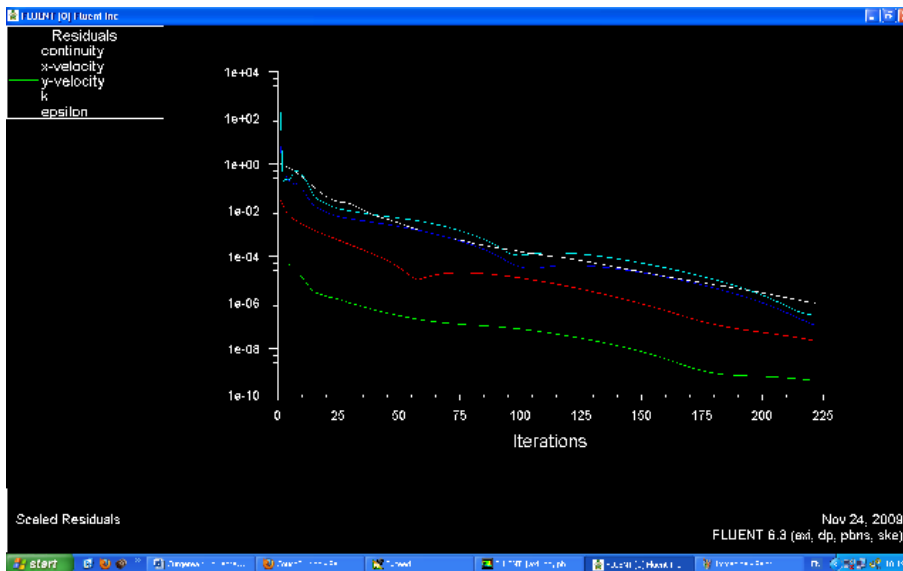
Vom porni calcularea făcând 100 de iterații:

Main Menu > Solve > Iterate

În fereastra de iterații (**Iterate Window**) schimbăm numărul de iterații de la 1 la 100 apoi facem click pe **Iterate**. Vom vedea că nu toate reziduurile sunt sub $1e-6$ în 100 de iterații. Rezolvăm pentru încă 200 de iterații. Soluția converge într-un total de 229 iterații.



Rezultatul va arăta ca în figura de mai jos:



Avem nevoie de un număr mai mare de iterații pentru convergență pentru curgerea turbulentă decât pentru cea laminară din moment ce avem un mesh mult mai finisat și, de altfel, un număr mai mare de ecuații.

Main Menu > File > Write > Data...

Introducem la nume *pipe100x30.dat*. Din nou, se verifică dacă fișierul a fost salvat în folderul de lucru. Din acest moment se pot determina soluțiile de fiecare dată folosind acest fișier.

PASUL 6: ANALIZA REZULTATELOR

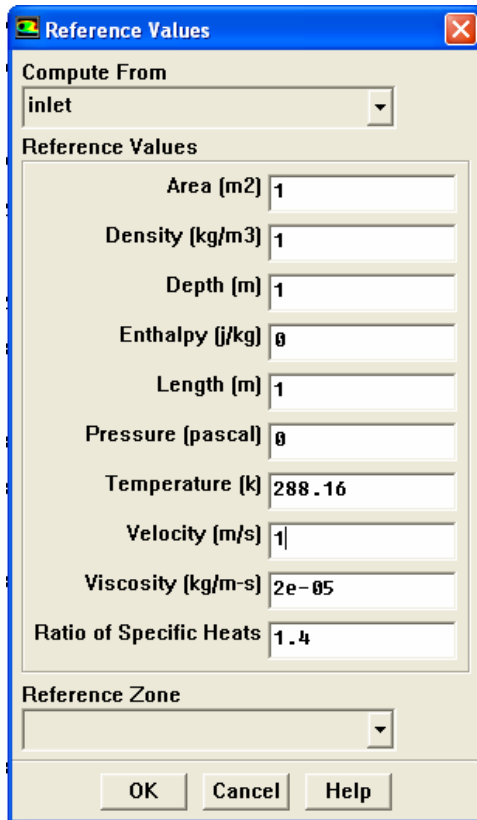
y^+

Curgerile turbulente sunt afectate simțitor de prezența pereților. Modelul de turbulență *k-epsilon* este valid prima dată departe de pereți fiind necesar un tratament special pentru a-l face valid în apropierea lor. Modelul pentru zona apropiată de pereți este dependentă de rezoluția grilei care este evaluată în unități y^+ (definit în secțiunea 10.9.1 în manualul Fluentului). Nu vom intra în prea multe detalii și vom folosi următoarea regulă de bază: selectăm rezoluția zonei de lângă perete astfel: $y^+ < 30$ și $y^+ < 5$ pentru celula adiacentă peretelui. A se vedea secțiunea 10.9 din, „Grid Considerations for Turbulent Flow Simulations” pentru mai multe detalii.

Pentru început avem nevoie să stabilim câteva valori de referință pentru a calcula y^+ .

Din **Main Meniu > Report > Reference Values**

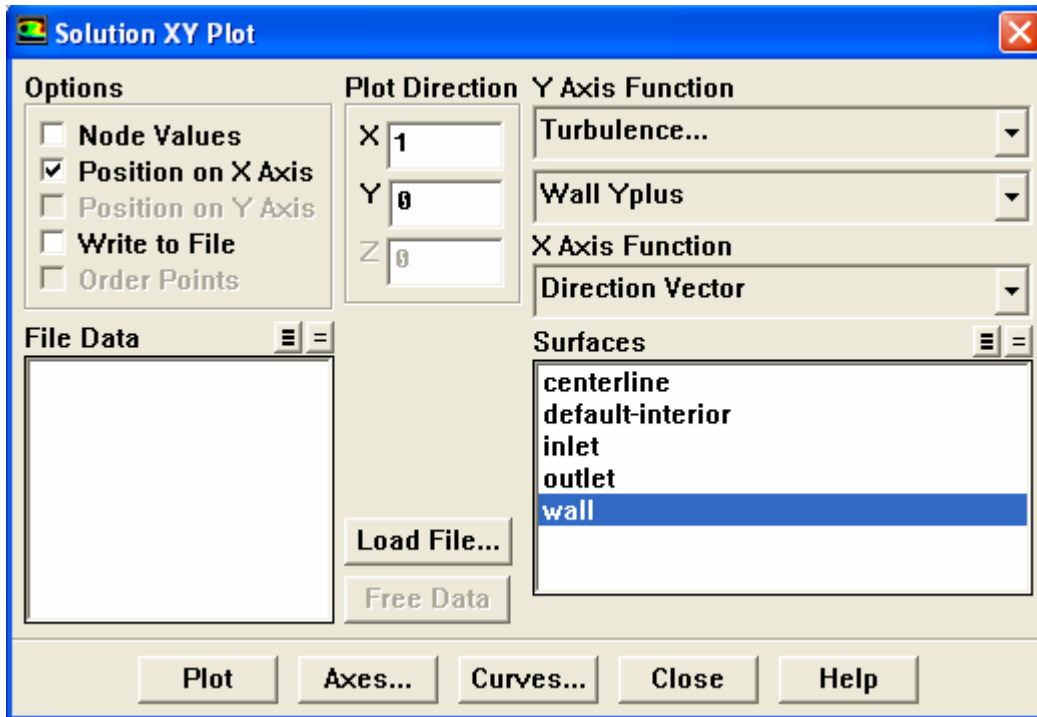
Selectăm **inlet** la **Compute From** pentru a-i da Fluent-ului valorile la intrarea în conductă ca valori de referință. Verificăm dacă valorile de referință sunt: densitate - 1kg/m^3 , viteză – 1m/s și coeficient de viscozitate – $2\text{e-}05\text{ kg/m}\cdot\text{s}$, după cum apar în specificațiile problemei. Aceste valori de referință vor fi folosite pentru a adimensiona distanța celulei centrale de perete pentru a obține valoarea corespunzătoare y^+ . Clic **OK**.



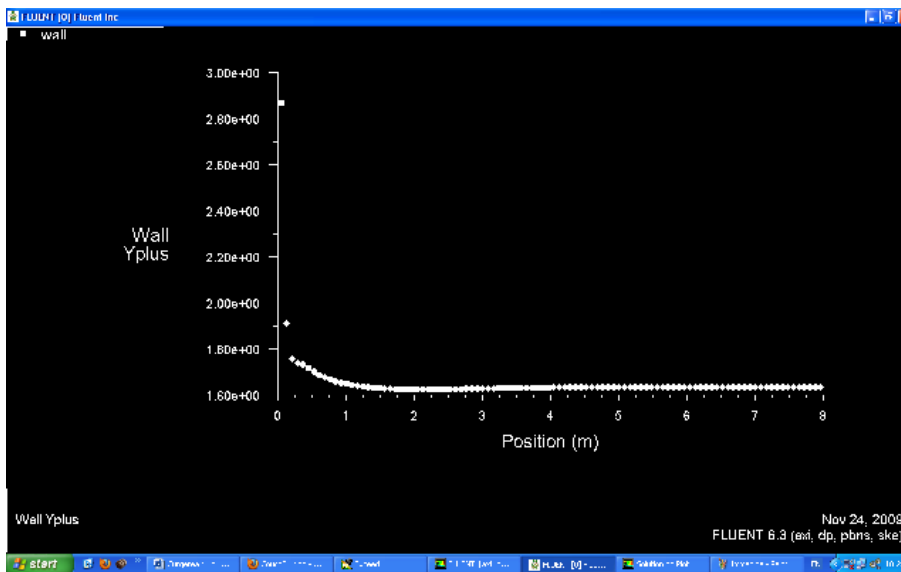
Vom afișa valorile lui y^+ pentru celulele adiacente peretelui pentru a verifica comparația cu recomandările menționate anterior.

Main Menu > Plot > XY Plot...

Ne asigurăm că „Position on X Axis” este selectat. La „X” vom avea valoarea 1 și 0 la Y. Aceasta face Fluentul să afișeze valorile pe abscisa graficului. Sub „Y Axis Function”, din listă, vom alege „Turbulence” iar dedesubt „Wall Yplus”, ca în figura de mai jos. Deoarece dorim valoarea y^+ pentru celulele adiacente peretelui conductei, alegem „wall” din lista de suprafețe.



Facem clic apoi pe **Plot** pentru a afișa. Va apărea un grafic ca în figura de mai jos:



După cum putem observa, valoarea y^+ este situată între valorile 1,6 și 1,9 (ignorând anomalia de la intrare). Din moment ce aceasta este mai mică decât 5, rezoluția grilei din zona peretelui este bună.

Salvarea graficului

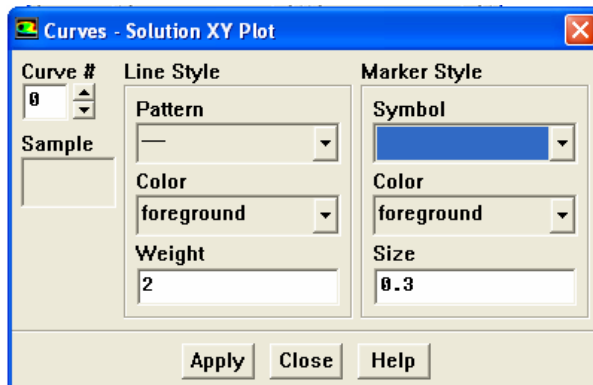
Salvăm datele din acest grafic:

În mini-fereastra **Solution XY Plot Window**, selectăm **Write to file** (scrie în fișier). Acum butonul **Plot** este schimbat în **Write** (scrie). Facem clic pe **Write...** Introducem *yplus.xy* la **XY File** și apoi **OK**. Verificăm dacă fișierul a fost creat în folderul de lucru.

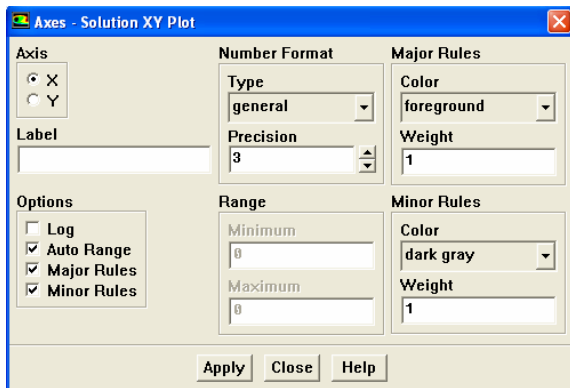
Viteza la centru

În aceeași mini-fereastră, sub „Y Axis Function” vom selecta „Velocity...” și în lista de dedesubt vom selecta „X Velocity”. La „Surfaces” vom selecta **centerline** deoarece vom afișa doar viteza de-a lungul axei X. Deselectăm **wall**.

Facem clic pe „Curves...”. Selectăm din lista de sub „Pattern” simbolul „—”. Schimbăm valoarea grosimii liniei (**Weight**) cu valoarea 2 iar la „Symbol” lăsăm gol. Facem clic pe **Apply** apoi **Close**.

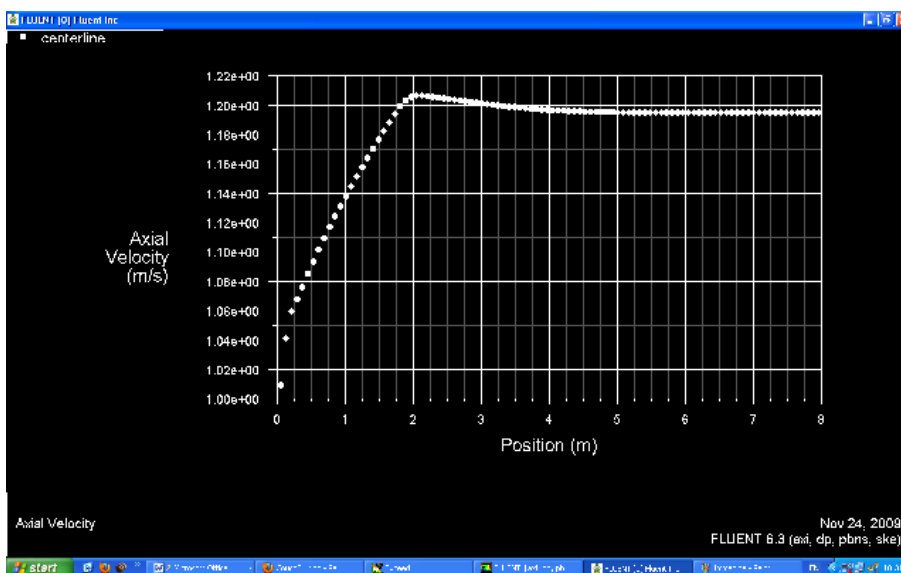


Activăm liniile grilei: În mini-fereastra „Solution XY Plot Window”, facem clic pe „Axes...”. Pentru activarea grilei se selectează, din lista „Options”, „Major Rules” și „Minor Rules” apoi facem clic pe **Apply**. Selectăm **Y** la „Axis” și facem din nou clic pe **Apply**, apoi **Close**.



Deselectăm „Write to File” și apoi facem clic pe **Plot** pentru afișare.

Vom genera un grafic asemănător cu cel din figura de mai jos:



Putem observa că regiunea dezvoltată complet începe aproximativ de la $x = 5$ cu viteza la centru constantă la o valoare de aproximativ 1,195 m/s. Aceasta este mai mică decât valoarea de 2 m/s rezultată în cazul curgerii laminare. Puteți explica diferența dintre caracteristicile fizice dintre curgerile laminare și turbulente?

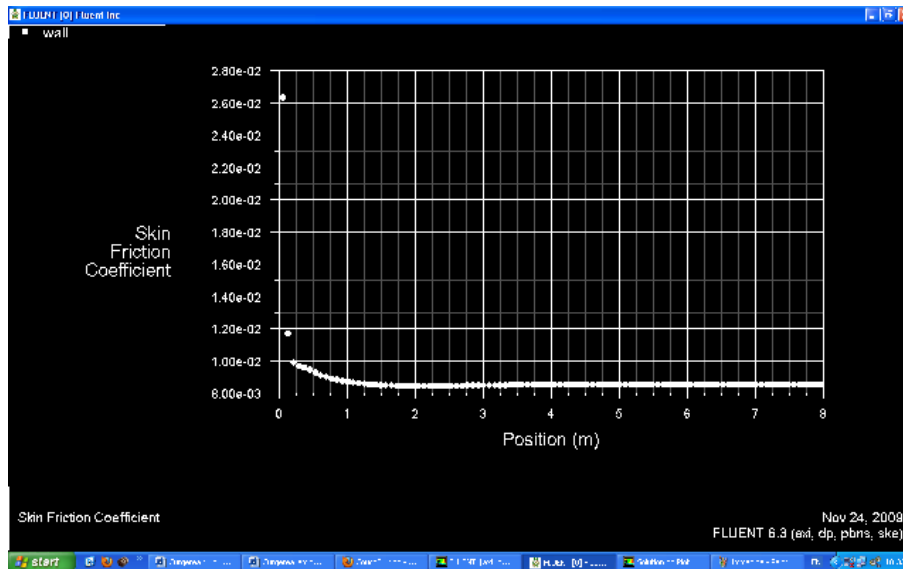
Salvăm acest grafic sub denumirea de *vel.xy*.

Coeficientul de frecare la limită

Definiția coeficientului de frecare la limită a fost dată în laboratorul anterior. Valorile de referință necesare precum densitatea și viteza au fost deja definite când s-a făcut afișarea valorii y^+ .

Deschidem din nou mini-fereastra „Solution XY Plot”. Din lista de sub „Y Axis Function” vom selecta „Wall Fluxes...” și apoi „Skin Friction Coefficient”. La „Surfaces” vom selecta **wall** deoarece acolo este suprafața de interes. Deselectăm **centerline**.

Deselectăm „Write to File” și facem clic pe **Plot**.



Putem observa că valoarea zonei complet dezvoltată este de 0,0085. Comparați aceasta cu ceea ce vă așteptați de la graficul Moody.

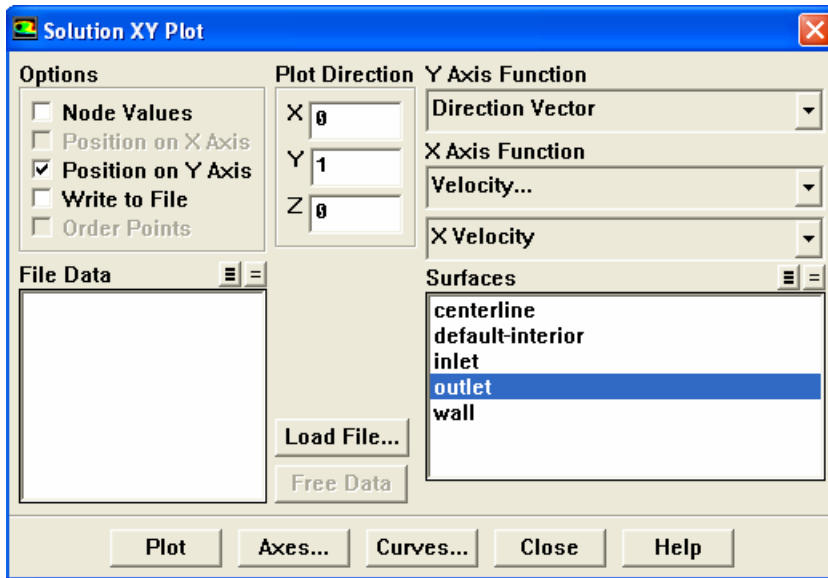
Salvăm datele acestui grafic sub denumirea de *cf.xy*.

Profilul de viteză

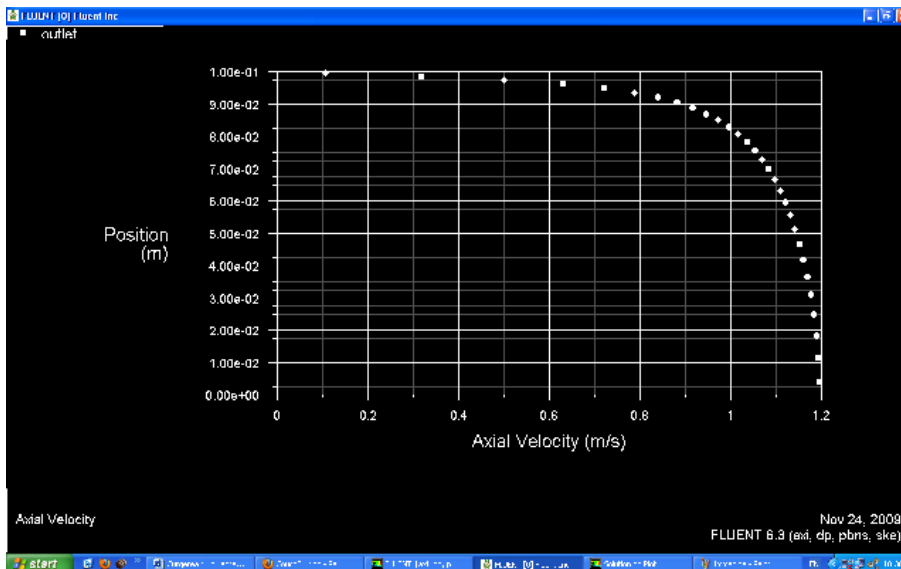
Vom afișa viteza axială la ieșire ca o funcție de distanță de la centrul conductei.

Schimbăm situația astfel încât distanța radială față de axă să fie afișată pe ordonată: în mini-fereastra „Solution XY Plot” deselectăm „Position on X Axis” și selectăm „Position on Y Axis”. La „Plot Direction” la **X** introducem valoarea 0 și la **Y** valoarea 1. Pentru „X Axis Function” (abscisa), alegem „Velocity...” și dedesubt „Axial Velocity”. Deoarece dorim să afișăm doar pentru zona de ieșire, selectăm **outlet**.

Deselectăm „Write to File” și facem clic pe **Plot**.



Vom avea următorul grafic:



Viteza axială este maximă la centru și 0 la perete pentru a satisface condiția de „no-slip” pentru curgerile vâscoase. Comparați calitativ gradientul de viteză din zona de lângă perete normală la perete cu cel de la curgerea laminară. Care este mai mare? După aceasta ce puteți spune despre forța relativă a contactului de lângă perete în cazul curgerii laminare și curgerii turbulente?

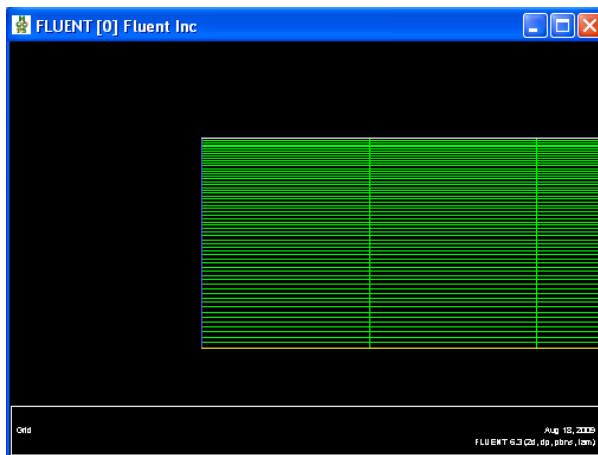
Salvăm graficul sub denumirea de *profile.xy*.

PASUL 7: CURĂȚAREA MESHURILOR

Pentru a evalua precizia numerică a rezultatelor obținute este necesară compararea rezultatelor pe diferite meshuri. Vom reface calculele pe un mesh de dimensiunea 100x60 care are numărul de noduri în direcția radială dublu decât meshul de dimensiunea 100x30. Vom recrea meshurile din Gambit și îl vom salva sub denumirea de *pipe100x60.msh*.

File > Read > Case...

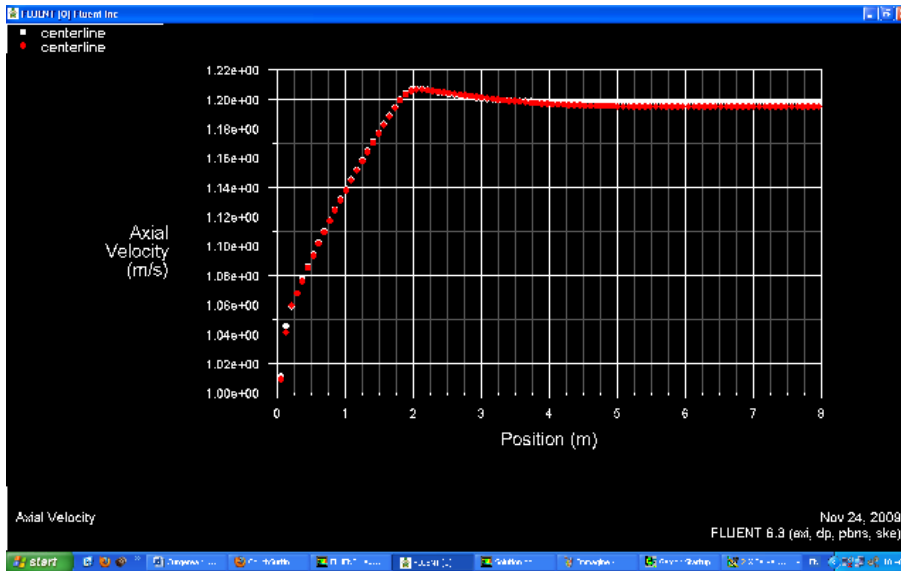
Din folderul de lucru vom deschide *pipe100x60.msh*. Facem apoi clic pe **Ok**, urmând în continuare verificarea și verificarea grilei.



Analiza meshurilor fine

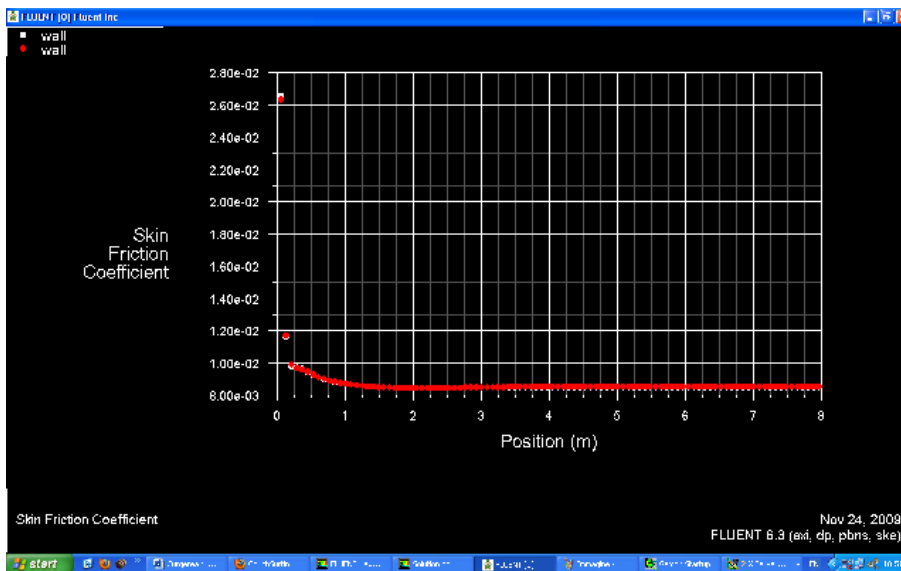
Repetăm pașii 4,5 și 6 al acestui laborator cu meshurile curățate.

Pentru a compara rezultatelor, după ce se face afișarea rezultatelor pe meshul fin, în mini-fereastra „Solution XY Plot”, facem clic pe **Load File...** Intrăm în folderul de lucru, facem clic pe fișierul dorit (ex.: vel.xy) pentru viteza la centru, apoi **OK**, urmat de **Plot**. Vom vedea astfel rezultatele pe același grafic.

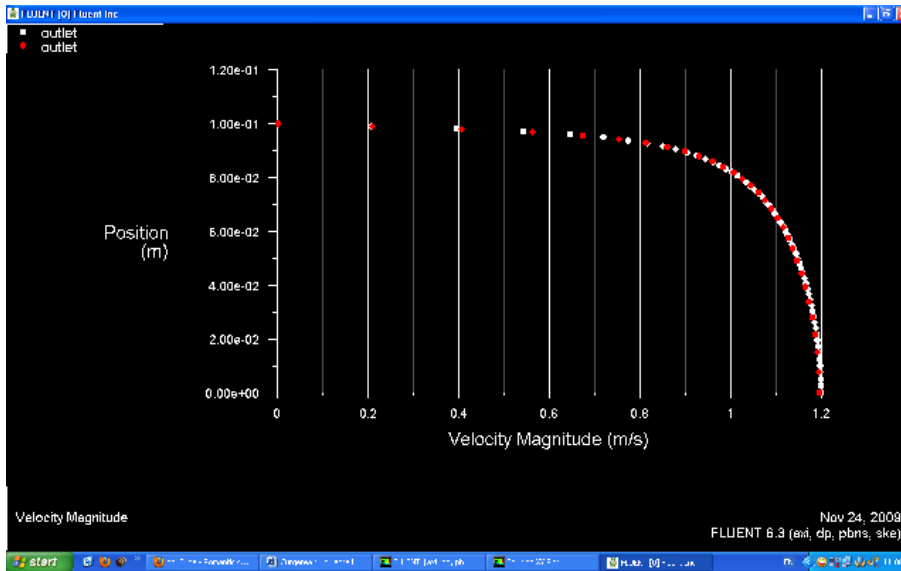


În graficul vitezei la centru de mai sus, linia albă reprezintă viteza la centru a meshurilor fine în timp ce linia roșie reprezintă viteza meshurilor „brute”. După cum putem vedea, nu este o diferență foarte mare între cele două grafice. Salvăm acest grafic sub denumirea de *vel12.xy*.

În continuare ne vom ocupa de graficul coeficientului de frecare la limită. De această dată deschidem *cf1.xy* pentru comparație. Mai jos putem observa graficul coeficientului de frecare la limită:

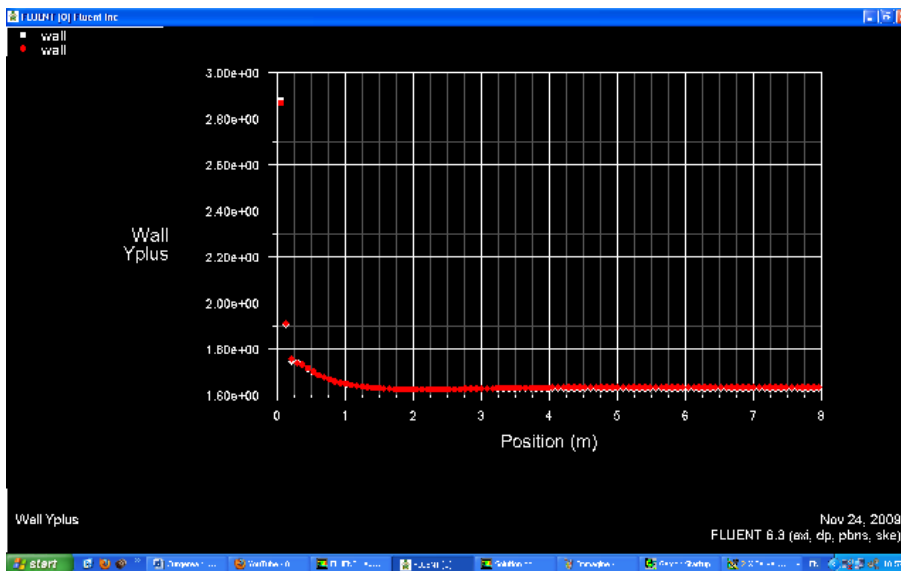


Din nou putem observa că nu există o diferență prea mare între cele două tipuri de meshuri. Salvăm graficul sub denumirea de *cf2.xy*. Verificăm mai departe viteza de la ieșire prin afișare și comparare cu graficul în fișierul *outt.xy*.



Aceeași observație. Salvăm acest grafic sub denumirea de *outt2.xy*.

În final, ne vom uita la graficul YPlus:



După cum putem observa, este o creștere simțitoare în acuratețe la meshul fin. Salvăm acest grafic sub denumirea de *yplus2.xy*.

Se pot face experimente cu meshuri de alte granulații și se pot compara graficele cu cele făcute în acest laborator.

În problema 1 ne vom uita la efectul meshurilor brute cu granulație uniformă:

PROBLEMA 1:

Folosiți FLUENT pentru a rezolva regimul de dezvoltare într-o conductă (aceeași configurație ca și în acest laborator) în care numărul Reynolds este de 10000 pentru următoarele dimensiuni de meshuri: 100x5, 100x20 cu spațiu uniform în direcție radială. Afișați coeficientul de frecare la limită c_f în funcție de locația axială a fiecărei grile. Comparați valorile de la ieșire cu cele presupuse pentru zona dezvoltată complet. Să se reamintească faptul că o întrebare cheie pentru integritatea meshului este valoarea adimensională a primului punct(nod).

$$y_1^+ = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \cdot \frac{y_1}{\nu}$$

Acesta ar trebui să fie mai mic decât 4 (astfel încât rezolvarea să fie pentru substratul vâscos) sau mai mare decât 30 (unde funcțiile peretelui pot fi compensate cu precizie pentru o rezolvare slabă a substratului vâscos). Valorile intermediare pot duce la erori foarte mari. Calculați valoarea lui y_1^+ pentru fiecare mesh; folosiți această valoare pentru a explica (pe scurt) concluziile trase.

**CURGEREA UNUI FLUID
PRINTR-O CONDUCTĂ
PREVĂZUTĂ CU DIAFRAGMĂ**

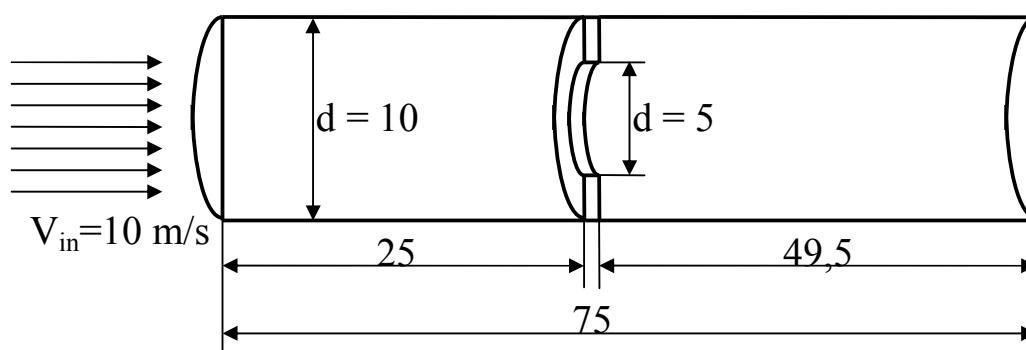
Specificațiile problemei:

1. Crearea geometriei în GAMBIT;
2. Mesharea geometriei în GAMBIT;
3. Specificarea tipurilor de limite în GAMBIT;
4. Implementarea problemei în FLUENT;
5. Rezolvarea;
6. Analiza rezultatelor;
7. Curățirea meshurilor;

Problema 1

Problema 2

Specificațiile problemei



Să se construiască o conductă cu lungimea de 75 metri și diametrul de 10 metri prin care intră aer cu o viteză de 10m/s. Se introduce la o distanță de 25 m de la intrare o diafragmă de grosime 0,5 m și diametru de 5 m. Să se reprezinte graficul presiunii și a turbulenței în interiorul conductei știind că densitatea aerului este de $1,225 \text{ kg/m}^3$ și viscozitatea de $1,7894 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/ms}$. Intensitatea turbulenței din interiorul conductei este de 5 %.

PASUL 1: CREAREA GEOMETRIEI ÎN GAMBIT.

Dacă dorim să sărim peste acest pas, putem crea un folder de lucru (vezi mai jos) în care să descărcăm meshurile (clic dreapta și salvați ca „diafragma.msh”) și apoi puteți trece direct la pasul 4.

Strategii pentru crearea geometriei.

Conducta se poate construi prin două metode:

- Se pot construi puncte corespunzătoare fiecărui colț al geometriei, separat.
- Se pot construi puncte principale, suprapuse, pe care le vom copia de-a lungul axelor până la locul potrivit.

Vom adopta cea de-a doua metodă.

După ce vom construi punctele corespunzătoare tuturor colțurilor, vom crea o față care va conține suprafața interioară apoi vom face mesharea ei.

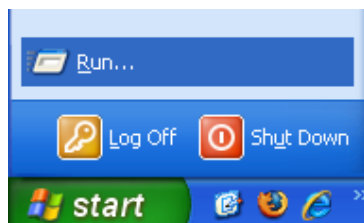
Crearea unui folder de lucru

Creați un folder numit „diafragma”. Vom folosi acest folder ca fiind folderul de lucru în care se vom păstra toate fișierele.

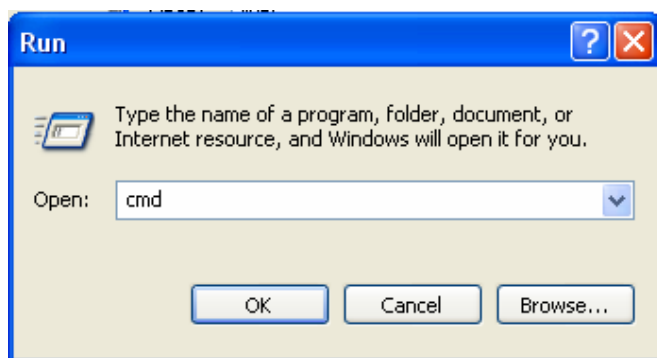
Pornirea GAMBIT-ului

Se inițializează prompterul de comenzi

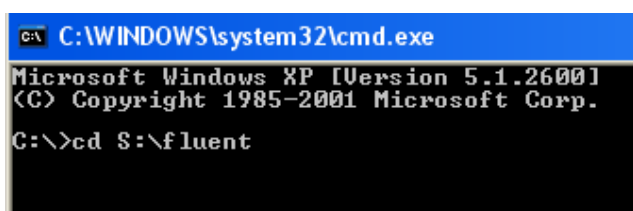
Start > Run



Pentru Window NT/2000/XP: Se scrie *cmd* apoi se apasă OK



După aceasta, intrați în folderul de lucru. De exemplu, dacă folderul creat, numit *fluent* pe se află pe partiția S, executați `cd S:\fluent`

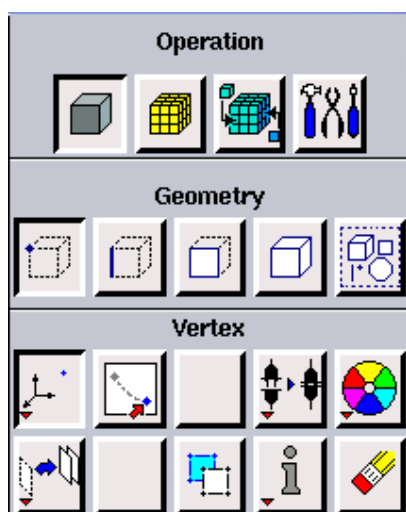


Interfața GAMBIT arată astfel:

- **Bara meniului principal:**

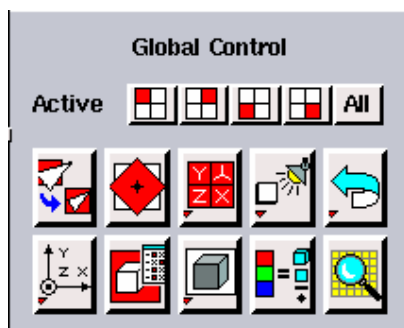




- **Meniul instrumentelor**



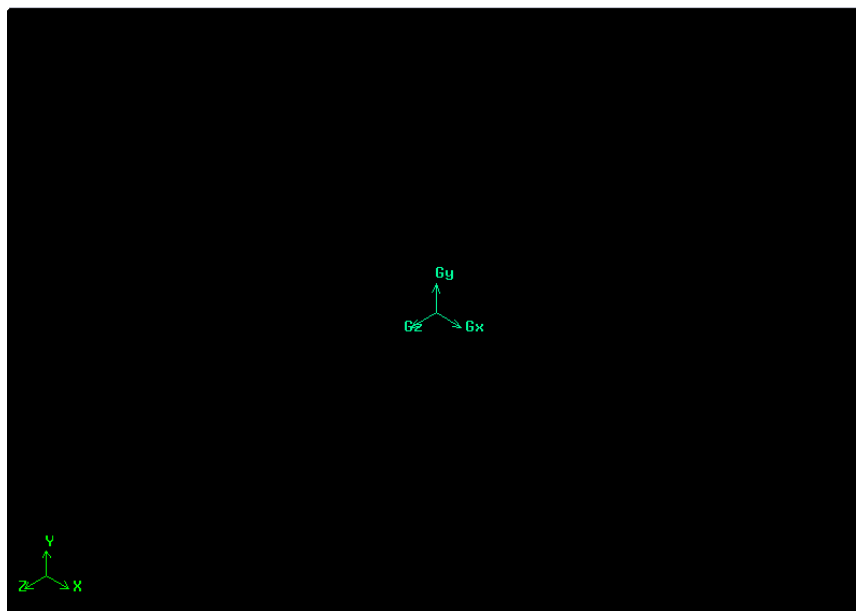
Vom folosi acest meniu mai mult sau mai puțin de-a lungul creării geometriilor. Se poate observa că fiecare meniu principal are sub-meniuri

- **Meniul de control**



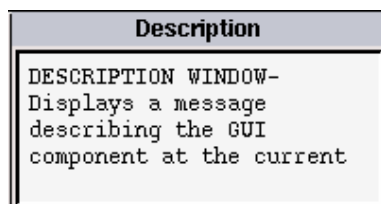
Meniul de control are opțiuni precum „Fit to Screen”  și „Undo”  care sunt foarte des utilizate în timpul creării geometriei precum și a meshurilor.

- **Fereastra de lucru:**



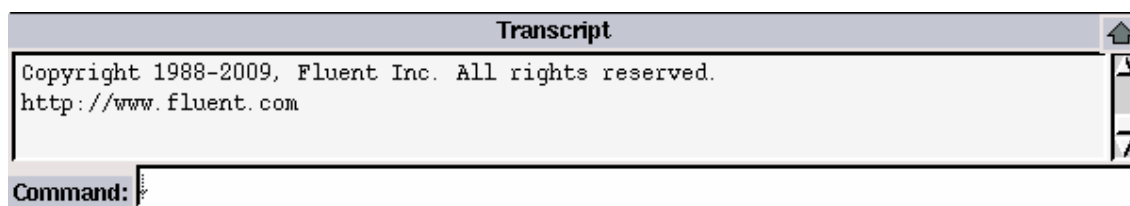
Aceasta este fereastra unde se pot observa grafic toate operațiile pe care le executăm.

- **Panoul de descriere**



Panoul de descriere conține descrierile butoanelor sau obiectelor peste care mișcăm cursorul mouseului. Mișcând mouseul peste butoate, putem observa aceste descrieri.

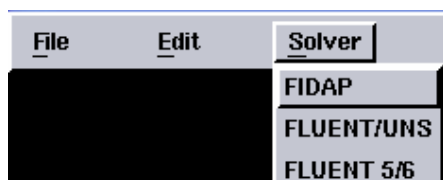
- Fereastra de transcriere a comenzilor



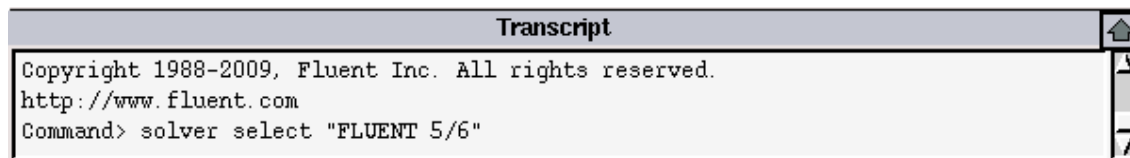
Aceasta este fereastra în care se scriu comenzile în Gambit și în care se pot șterge/corecta. Dacă la un moment-dat nu sunteți sigur ca nu ați apăsas butonul corect sau ați greșit comanda, aici se poate observa motivul. Se poate mări fereastra prin apăsarea săgeții din partea de sus, dreapta iar pentru a reveni la dimensiunile inițiale, se apasă din nou.

Selectarea Solverului

Main Menu > Solver > Fluent 5/6

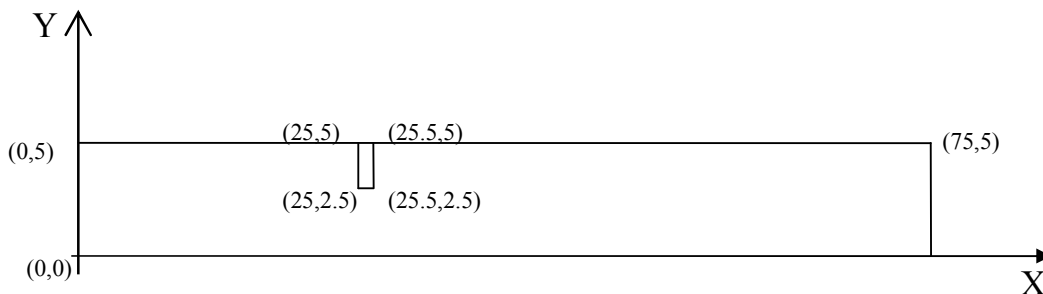


Se verifică apoi dacă s-a activat, în fereastra de transcriere a comenzilor.



Strategii pentru crearea geometriei




Vom plasa originea sistemului de coordonate în colțul de jos stânga a dreptunghiului. Pentru a simplifica construcția, vom crea doar partea de sus a conductei apoi, în Fluent, o vom completa. Coordonatele colțurilor sunt arătate în figura de mai jos:



Vom crea pentru început punctul de coordonate (0,0).

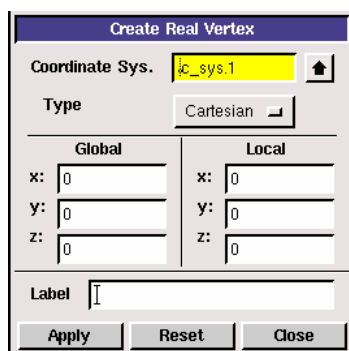
Construcția punctelor (vertexurilor)

Din meniul instrumentelor se creează urmând următorii pași:

Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Vertex Command Button  > Create Vertex 

Următorul pas este introducerea coordonatelor. Vom începe prin crearea unui vertex în colțul stânga jos a dreptunghiului:

În dreptul lui **x**: vom introduce valoarea 0. În dreptul lui **y**: de asemenea 0 iar la **z**: tot valoarea 0 (din cauză că avem o problemă bidimensională). Apoi se face clic pe „**Apply**”. Aceste valori au creat vertexul care are coordonatele (0,0,0). În figura de mai jos se observă grafic aceste setări:

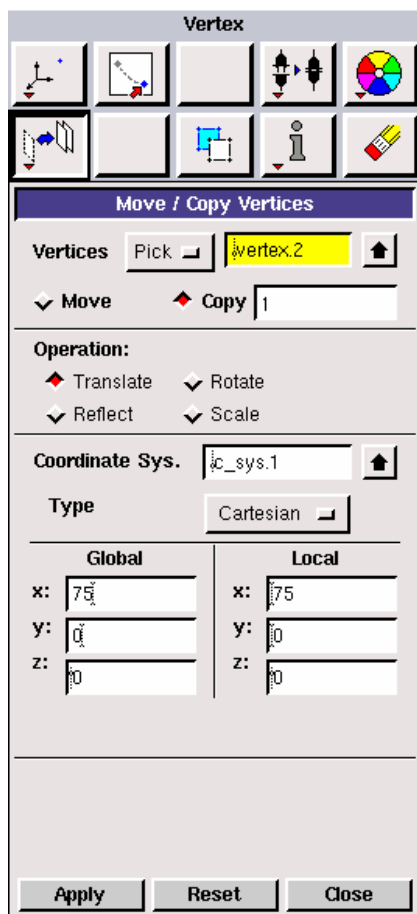


În fereastra de transcriere a comenzilor, Gambit-ul ne afișează comanda de creare a vertexului „Created vertex: vertex.1”. Vertexurile sunt numerotate consecutiv: vertex.1, vertex.2 etc.; în ordinea în care au fost create.

În continuare vom crea punctul de coordonate (0,5). Pe care îl vom copia, împreună cu primul punct, de-a lungul axei X la o distanță de 75 unități (unitățile de măsură se introduc cu ajutorul altor programe de citire a meshurilor).

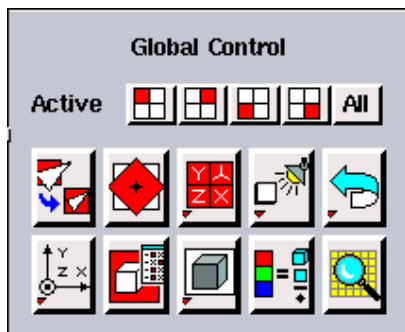
Copierea se face cu ajutorul butonului  din mini-fereastra de creare a punctelor.

Pentru copiere/mutare, se selectează, cu ajutorul butonului „Pick”, punctele și se selectează, de exemplu, pentru copiere, butonul „Copy” iar în căsuța de alături de câte ori se face copierea; la coordonate se introduc valorile axelor. Pentru cazul nostru, la numărul de copii punem valoarea 1 iar pentru coordonate, la **X**: valoarea 75 iar la **Y**: și **Z**: valoarea 0.

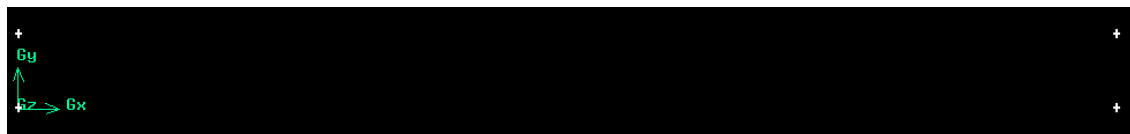


Apoi, pentru a putea încadra toate puncte în ecran, vom folosi comanda „Fit to window”.

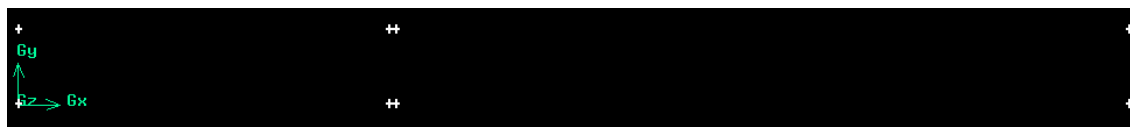
Operation Toolpad > Global Control > Fit to Window Button 



Acum putem observa pe ecran toate cele patru puncte.



Vom construi în continuare, prin copierea punctelor de bază, punctele care descriu diafragma (a nu se uita că geometria pe care o construim este una simetrică). Vom selecta primele două puncte și le vom copia de-a lungul axei X la o distanță de 25 respectiv 25.5 unități. Vom avea o construcția ca în figura de mai jos.



După cu putem observa, avem nevoie ca punctele din interior, jos, să fie mutate la o distanță de 2,5 unități, de-a lungul axei Y. Pentru asta, selectăm punctele cu ajutorul tastei SHIFT, din mini-fereastra din dreapta selectăm „Move” (Mutare) iar la axele de coordonate introducem: la **X**: și **Z**: valoarea 0 iar la **Y**: 2.5.

Vom avea o construcție ca în figura de mai jos:



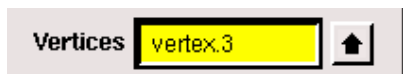
Construcția laturilor

În continuare vom conecta perechi apropiate de vertexuri pentru a crea laturile:

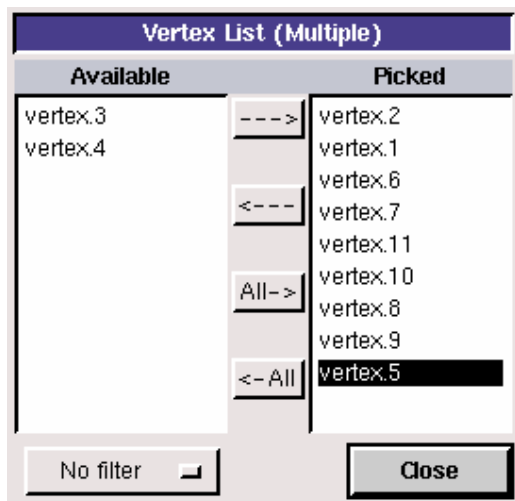
Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Edge Command Button 
 > Create Edge 

Pentru selectarea unui obiect în Gambit, se ține buton **SHIFT** de la tastatură și apoi se selectează. Se pot face astfel selecta mai multe obiecte. În cazul nostru, vom selecta, pe rând,

vertexurile. Pe măsură ce selectăm punctele, pe ecran ele vor apărea de culoare roșie (pot apărea și de altă culoare, în funcție de setările culorilor – standard este roșie). Făcând click pe săgeata în sus din meniu, o mică fereastră se va deschide.

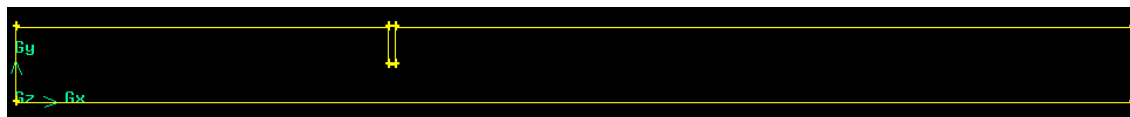


În această mini-fereastră vom observa punctele selectate. Ele pot fi mutate din stânga, unde sunt cele disponibile (**Available**) spre dreapta, unde sunt cele selectate (**Picked**) și invers. Procesul de mutare se poate face simplu cu ajutorul săgeților (---> și <---).



După ce au fost selectate vertexurile corecte, se închide mini-fereastra făcând click pe butonul **Close** apoi **Apply** din meniul de creare a laturilor.

Pe ecran va apărea următoarea imagine:



Se repetă aceeași pași pentru crearea celorlalte laturi.

Construcția fețelor

Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Face Command Button 

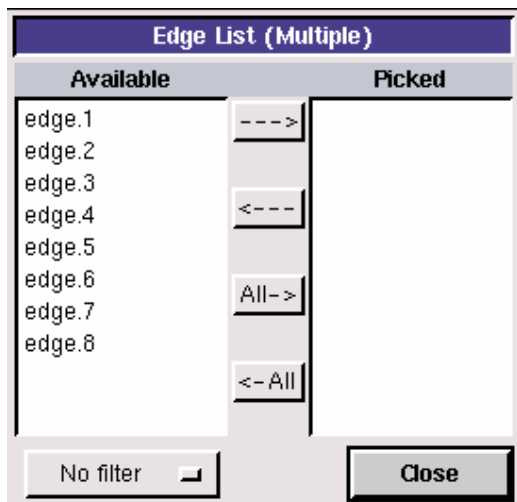
> Form Face 

Pentru a construi o față înscrisă de ceșe opt laturi trebuie să selectăm cele opt laturi care formează suprafața. Aceasta se poate face tot cu ajutorul tastei **SHIFT**, selectând pe rând fiecare latură (putem observa că liniile selectate apar de culoare roșie). După ce s-au selectat cele patru laturi, se ia mâna de pe tastă.

Sau, mai simplu, se face clic pe săgeata în sus care deschide o alta mini-fereastră în care avem de această dată laturile.



Iar mini-fereastra arată ca în figura de mai jos.



Se trec apoi toate din stânga în dreapta prin simplu clic pe **All→**. Se închide apoi mini-fereastra făcând clic pe **Close** apoi **Apply**.

▶ PASUL 2: GEOMETRIA MESHURILOR ÎN GAMBIT

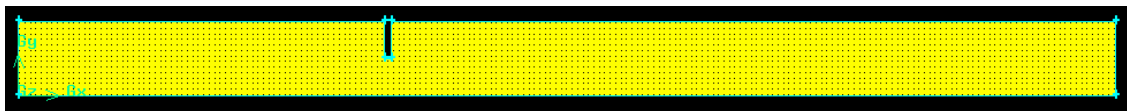
Vom mesha față dreptunghiului cu diviziuni de mărimea 0.1. Vom mesha direct față. Spațiul dintre grile este specificat de către meshul feței.

Mesharea feței

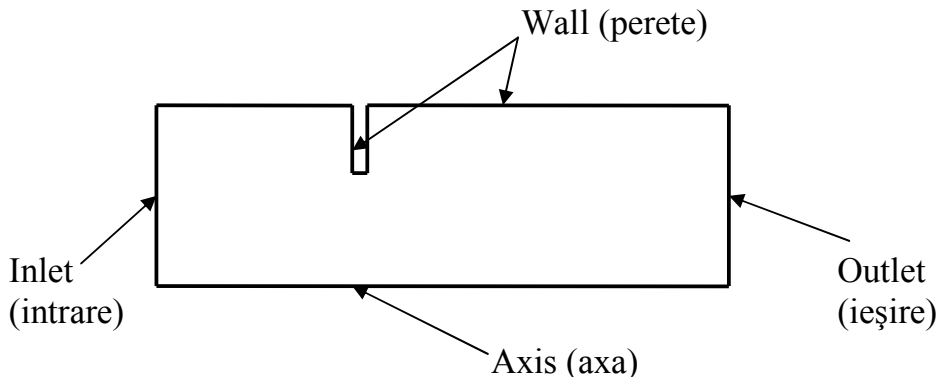
Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Face Command Button  >

Mesh Face 

Se selectează fața, cu ajutorul săgeții sau tastei **SHIFT** după care se face clic pe **Apply** iar la „Interval Count” se trece valoarea 100 pentru o rezoluție bună. Pe ecran va apărea imaginea de mai jos.



PASUL 3: SPECIFICAREA TIPURILOR DE LIMITĂ



Definirea tipurilor de limită

După cum se observă și în figura de mai sus, vom defini tipurile de limite. Astfel, latura din stânga va fi intrarea în conductă, latura din dreapta ieșirea, cea de sus o definim ca fiind perete iar cea de jos ca axa.

Operation **Toopad > Zones Command Button**  **> Specify Boundary Types**

Command Button 

Aceasta va deschide meniul de specificare a tipurilor de limită. Prima dată vom specifică că latura din dreapta este intrarea. La „**Entity:**” vom face clic pe Edges pentru ca Gambitul să știe că vrem să selectăm o latură.



Vom selecta latura din stânga după care se face clic pe **Apply**. Apoi, la **Name:** vom pune *inlet* iar la **Type:** vom alege *VELOCITY_INLET*, urmat de **Apply**.

Repetăm aceiași pași și pentru celelalte laturi, respectând tabelul:

POZIȚIA LATUREI	NUMELE	TIPUL
Stânga	velocity_inlet.1	VELOCITY_INLET
Dreapta	pressure_outlet.2	PRESSURE_OUTLET
Sus	wall.4	WALL
Jos	axis.3	AXIS

La final vom avea următoarele:

Name	Type
velocity_inlet.1	VELOCITY_INLE
pressure_outlet.2	PRESSURE_OUT
axis.3	AXIS
wall.4	WALL

Salvarea lucrului și Exportul

Main Menu > File > Save

Main Menu > File > Export > Mesh

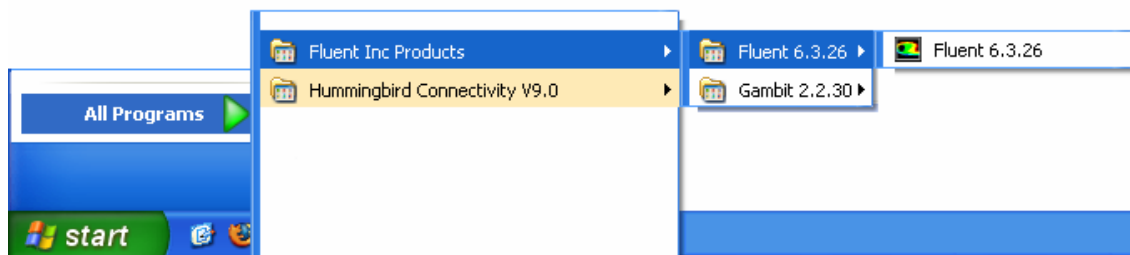
Scriem diafragma.msh la **File Name:**, apoi selectăm **Export 2d Mesh** deoarece este un mesh bidimensional. În final, clic **Accept**.

Verificăm dacă diafragma.msh a fost creat în folderul de lucru.

PASUL 4: SETAREA PROBLEMEI ÎN FLUENT

Se deschide fluentul:

Start > All Programs > Fluent Inc Products > Fluent x.x.xx > Fluent x.x.xx



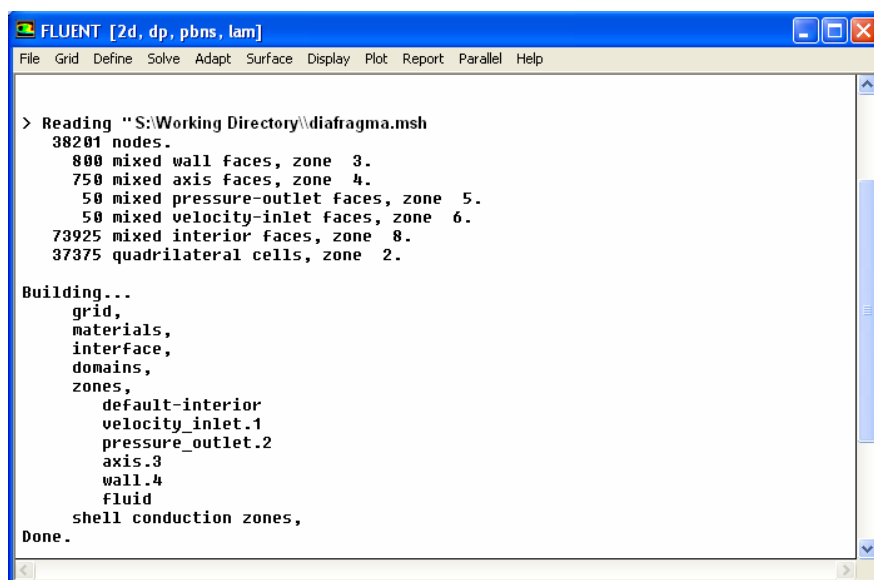
Selectăm 2ddp din listă apoi **Run**

„2ddp” este folosit atunci când folosim un solver bidimensional, de precizie dublă. În solverul de precizie dublă fiecare număr este reprezentat folosind 64 biți, în contrast cu solverul de precizie simplă care folosește 32 biți. Numărul mare de biți crește precizia dar și ordinul de mărime care poate fi reprezentat. Dezavantajul este că pentru astfel de solver avem nevoie de mai multă memorie.

Importul grilei

Main Menu > File > Read > Case...

Cazul se deschide din folderul de lucru de unde se selectează pipe.msh. Acest este fișierul care a fost creat de preprocesorul Gambit în pasul anterior. Fluentul expune meshurile exact cum sunt ele scrise în Gambit.



De altfel, dacă privim la zone, avem inlet, wall, outlet și centerline.

Verificarea și afișarea grilei

Pentru început se verifică grila pentru a fi siguri că nu sunt erori.

a) Verificarea grilei se face din

Main Menu > Grid > Check

Orice eroare întâlnită va fi raportată imediat. Verificăm apoi ieșirea pentru a fi siguri că nici acolo nu avem erori. Apoi se face verificarea dimensiunii grilei:

Main Menu > Grid > Info > Size

Aceasta arată ca în figura de mai jos:

Grid Size

Level	Cells	Faces	Nodes	Partitions
0	39766	80032	40267	1

1 cell zone, 5 face zones.

b) Afișarea grilei se face din:

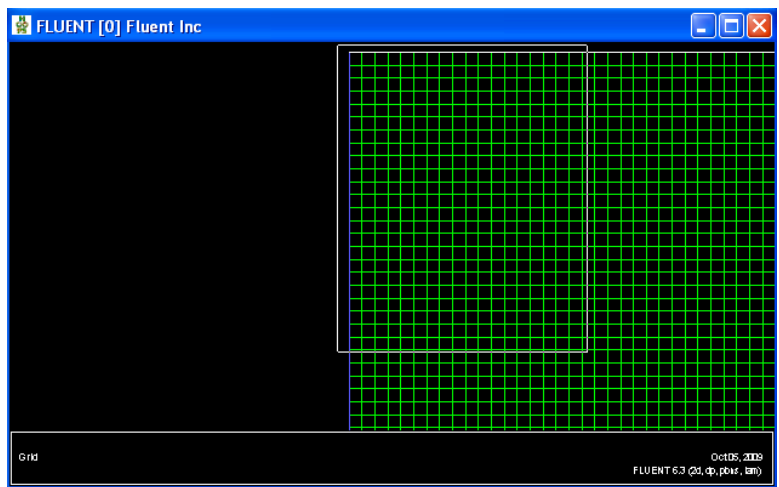
Main Menu > Display > Grid

Trebuie să ne asigurăm că toate suprafețele (**Surfaces**) sunt selectate. Apoi facem clic pe **Display**. O nouă fereastră în care vom observa grila se va deschide. Se va închide apoi făcând clic pe **Close**.

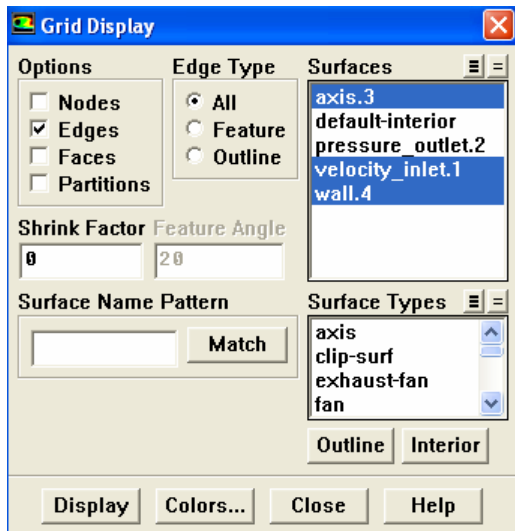
Operațiile disponibile în fereastra de grid sunt:

- **Translația:** Gridul poate fi mutat în orice direcție, ținând apăsat clic stanga și mișcând mouseul;
- **Mărirea:** Aceasta se poate face ținând apăsată roțița mouseului după care se mișcă din stânga spre dreapta.
- **Micșorarea:** Aceasta se poate face ținând apăsată roțița mouseului după care se mișcă din dreapta spre stânga.

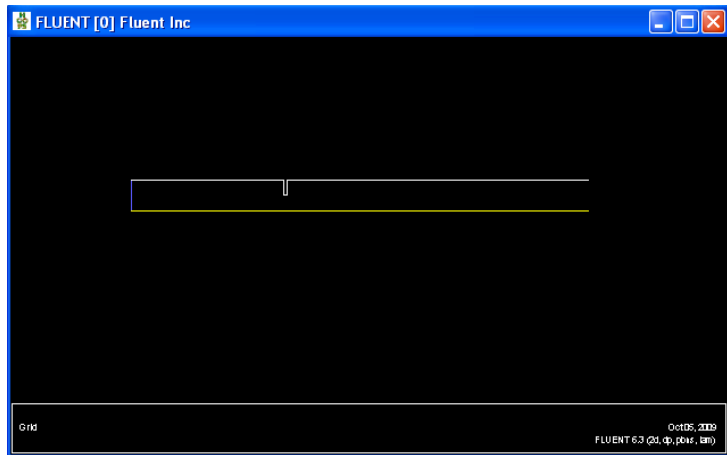
Mărirea grilei arată ca în figura de mai jos:




Putem să vizualizăm și părți diferite ale geometriei alegând din lista de suprafețe. Se face clic din nou pe **Display** și apoi se vizualizează părțile selectate. De exemplu: wall, outlet și centerline.



Avem:



În cazul în care avem mai multe limite, putem să le selectăm sau să le deselectăm pe toate folosind butoanele  de lângă **Surfaces**.

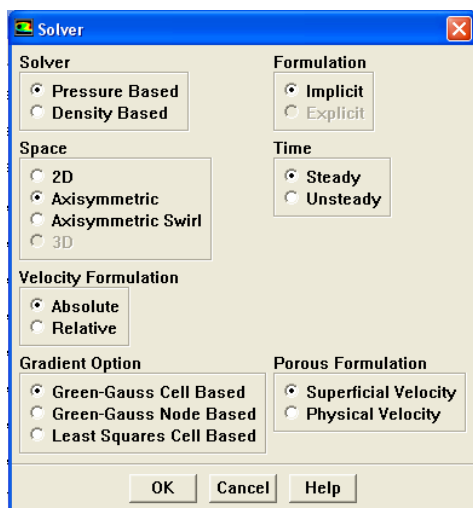
Difinirea proprietăților solverului

Main Menu > Define > Models > Solver

Vom alege **Axisymmetric** din lista de sub **Space**. Vom folosi setările prestabilite ale solverului segregat(.....), formulare implicită, curgere staționară și viteză absolută.

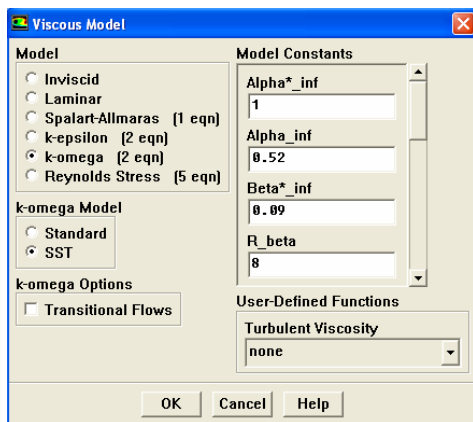
La **Space** vom selecta **Axisymmetric** deoarece am construit doar partea superioară a conductei.

La **Time** vom selecta **Steady** (Regim Staționar) deoarece nu ne interesează timpul.



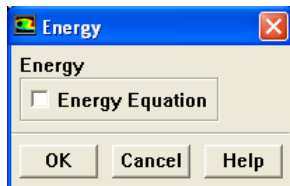
Main Menu > Define > Models > Viscous

Alegem **k-omega** deoarece avem curgere turbulentă. La **Model Constants** nu se modifică valorile.



Main Menu > Define > Models > Energy

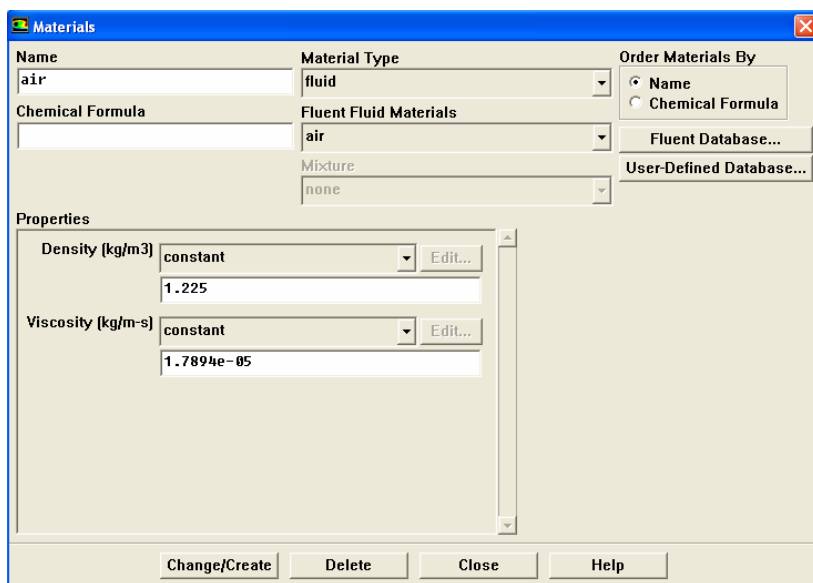
Pentru fluidele incompresibile, ecuația energiei este decuplată de la continuitate și de la ecuația momentului. Ecuația o vom activa numai atunci când dorim să observăm distribuția temperaturii. În exemplul nostru nu este necesar. Lăsăm deci **Energy Equation** deselectat și facem clic pe **Cancel** pentru anulare.



Definirea proprietăților materialelor

Main Menu > Define > Materials...

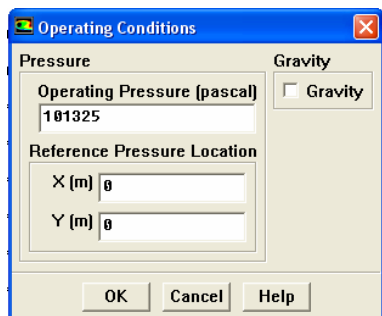
Îi dăm valoarea densității 1,225 și a viscozității 1,7894e-05. Acestea sunt valorile care sunt specificare în problema noastră. Le vom considera pe amândouă constante.



Definirea condițiilor de operare

Main Menu > Define > Operating Conditions

Pentru toate curgerile, Fluent folosește măsura presiunii interioare. De fiecare dată când este nevoie de presiunea absolută, ea este generată prin adăugarea presiunii de operare la presiunea măsurată. Vom folosi valoarea predefinită de 1 atm. (101,325 Pa) ca presiune de operare.



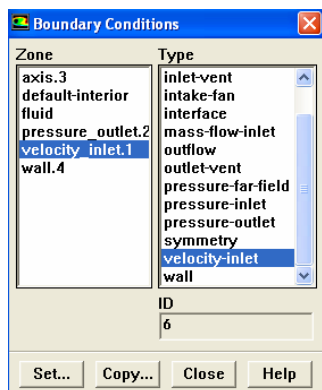
Definirea condițiilor la limită

Vom stabili în continuare valoarea vitezei la intrare și a presiunii la ieșire.

Main Menu > Define > Boundary Conditions...

Aducem aminte că cele tipuri de limite pe care le-am definit sunt specificate ca zone în partea de stânga a ferestrei condițiilor la limită. Zona **axis.3** ar trebui să fie selectată automat. În cazul în care nu este, trebuie să ne asigurăm că tipul acestei limite este axă (**axis** din lista). Apoi se face clic pe **Set**. Observăm că nu este nici o setare de făcut decât numele pe care, în cazul nostru, îl vom lăsa **axis.3**.

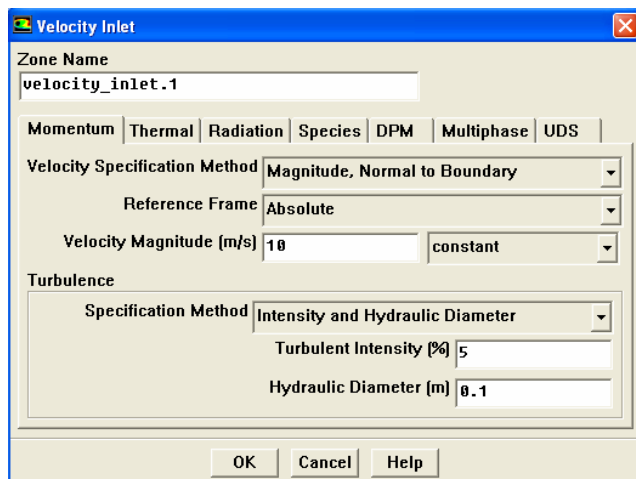
Apoi, mai jos, în listă selectăm **velocity_inlet.1**. Observăm că Fluent-ul indică că tipul acestei limite este **velocity-inlet**. Ne amintim că aceasta a fost deja stabilită în Gambit. Dacă este necesar, putem schimba tipul limitei stabilită anterior în Gambit în acest meniu prin selectarea diferitelor tipuri din dreapta.



Facem clic pe **velocity_inlet.1** apoi **Set...** Se va deschide o nouă mini-fereastră. Vom adăuga valoarea 10 la **Velocity Magnitude** (mărimea vitezei). Aceasta setează viteza cu care fluidul intră în conductă prin limita din stânga. Deoarece am selectat la **Solver**, turbulență de tip **k-omega**, în continuare vom stabili Intensitatea turbulenței și diametrul hydraulic.

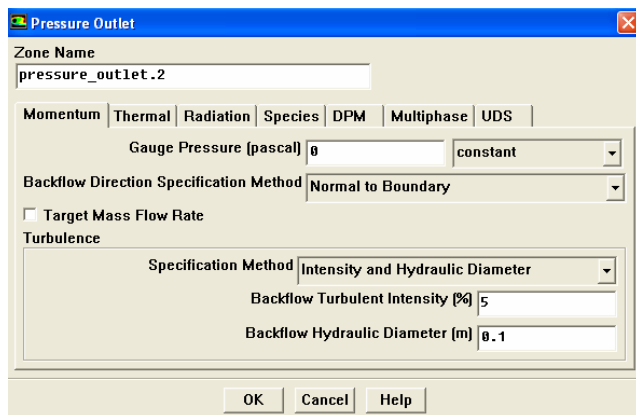
La **Turbulent Intensity** (intensitatea turbulenței) vom avea valoarea 5 iar la **Hydraulic Diametric** valoarea 0,1.

Presiunea (absolută) la ieșire este de 1 atm. Din moment ce presiunea de operare este stabilită ca fiind 1atm, mărimea presiunii la ieșire = presiunea absolută la ieșire – presiunea de operare = 0.



Apăsăm apoi **OK** pentru a reveni la lista limitelor.

Alegem din listă **pressure_outlet.2**. Tipul acestei limite este **pressure-outlet**. Facem clic pe **Set...** Valoarea prestabilită a **Gauge Pressure** (mărirea presiunii) este 0. La **Backflow Turbulent Intensity** introducem valoarea 5 iar la **Backflow Hydraulic Diameter** valoarea 0,1.



În final selectăm **wall** și ne asigurăm că tipul acestei limite este tot **wall** (perete). Facem clic pe fiecare buton unde avem: Momentum, Thermal, Radiation, Species etc. și vom observa că numai la Momentum putem schimba în urma condițiilor stabilite până acum.

Închidem meniul **Boundary Conditions**.

PASUL 5: REZOLVAREA

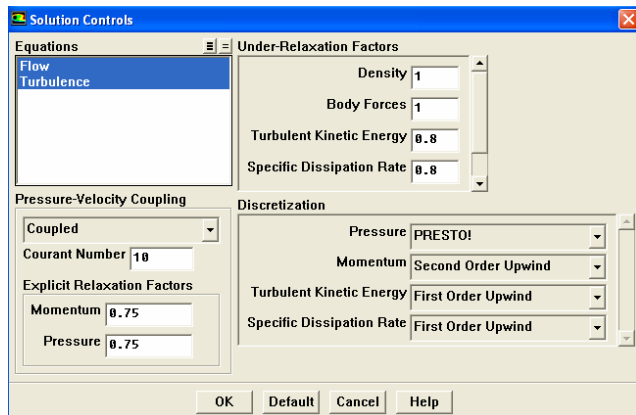
Vom folosi o schemă de discretizare de ordinul doi.

Main Menu > Solve > Controls > Solution...

La **Pressure-Velocity Coupling** vom selecta din lista **Coupled**. Iar la **Courant Number** avem valoarea 10.

La **Density** și **Body Forces** vom avea valoarea 1.

La **Turbulent Kinetic Energy** și **Specific Dissipation Rate** valoarea 0,8;

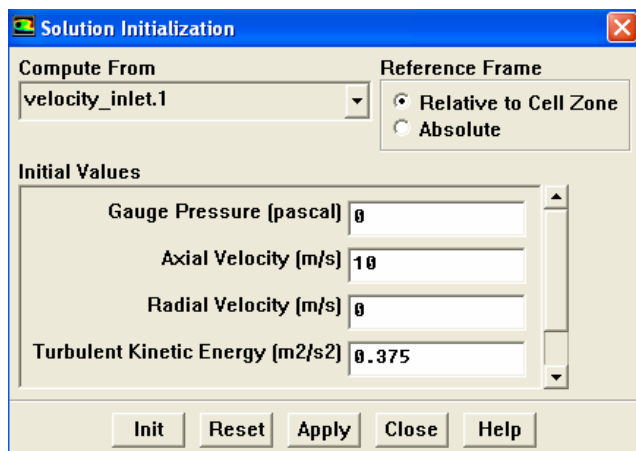


Se face prima presupunere

Se inițializează câmpul curgerii cu valorile de la intrare:

Main Menu > Solve > Initialize...

În meniul **Solution Initialization** la **Compute From** vom alege **inlet**. Viteza axială (**Axial Velocity**) pentru toate celulele va fi setată la 10 m/s, viteza radială (**Radial Velocity**) va fi 0 m/s. Aceste valori au fost luate de la condițiile limită la intrare.



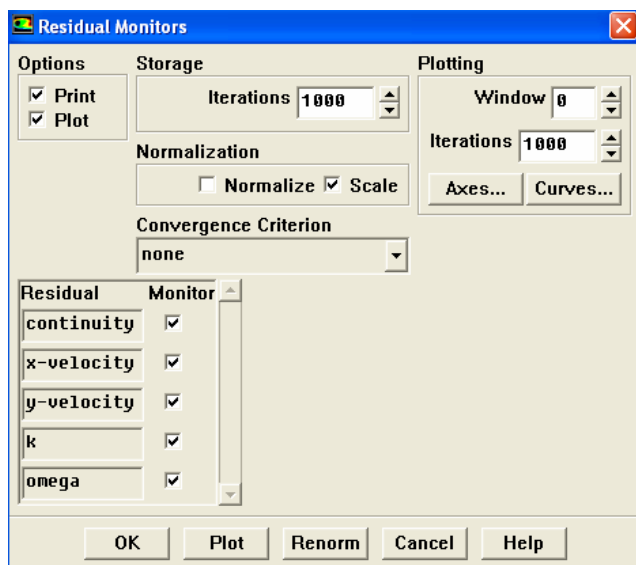
Facem clic pe **Init** pentru a inițializa, apoi **Apply** și, în final, **Close**.

Setarea crierului ce convergență

Fluentul face raportul la reziduul pentru fiecare ecuație ce urmează a fi rezolvată. Reziduul este măsura la cât de mult satisface soluția curentă forma discretizantă a fiecărei ecuații ce guvernează. Vom itera soluția până când reziduul fiecărei ecuații scade sub $1 \cdot 10^{-6}$.

Main Menu > Solve > Monitors > Residual...

Schimbăm reziduul pentru **continuity**, **x-velocity** și **y-velocity**, toate cu valoarea $1e-6$. După aceasta, pentru vizualizare, se face clic pe **Plot**. Acesta va face graficul reziduurilor în fereastra grafică după cum sunt ele calculate.



Dacă vă apar erori de tipul “**Error: FLUENT received a fatal signal (SEGMENTATION VIOLATION)**” sau „**Error: floating point error: divide by zero**” înseamnă că placa video este configurată pentru funcționarea calculatorului cu viteză și nu pentru performanță.

Consultați un expert pentru soluționarea unei astfel de probleme.

Am terminat specificațiile problemei. Salvăm totul:

Main Menu > File > Write > Case...

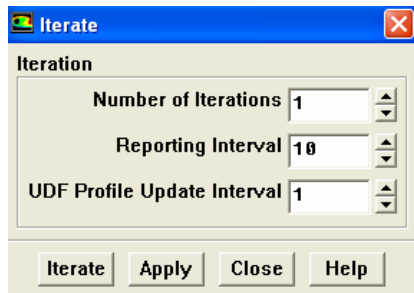
Salvăm cu numele *diafragma.cas* pentru fișierele de tip case. Verificăm apoi dacă s-a salvat în folderul de lucru. Dacă închidem Fluent-ul acum, putem continua cu tot ceea ce am stabilit până acum.

Iterare până la convergență

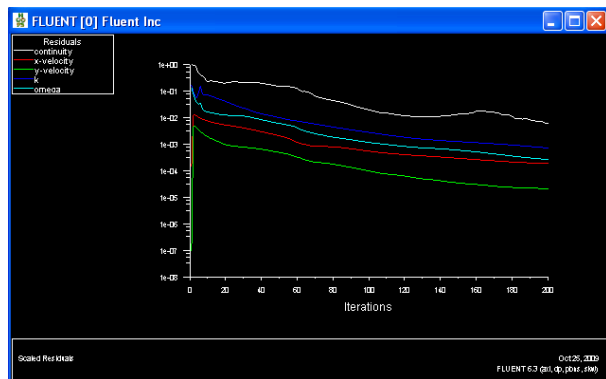
Vom porni calcularea făcând 100 de iterații:

Main Menu > Solve > Iterate

În fereastra de iterații (**Iterate Window**) schimbăm numărul de iterații (**Number of Iterations**) de la 1 la 200 apoi facem click pe **Iterate**.

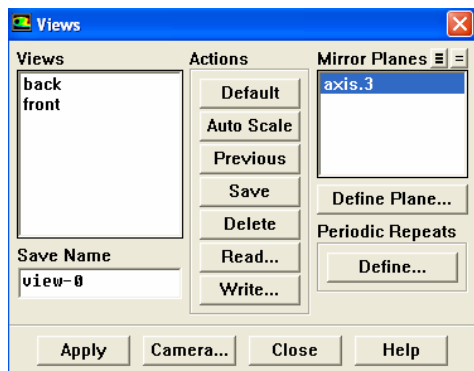


Reziduurile pentru fiecare iterație sunt afișate și listate în fereastra de grafice după cum sunt ele calculate.



Reziduurile ajung la criteriul de convergență specificat ($1 \cdot 10^{-6}$) la 46 de iterații.

Pentru a vizualiza și partea axiometrică, vom selecta din meniul **Display > Views** iar la planele de oglindire (**Mirror Planes**) selectăm **axis.3** pe care am definit-o în GAMBIT



Se salvează soluția ca un fișier dată:

Main Menu > File > Write > Data...

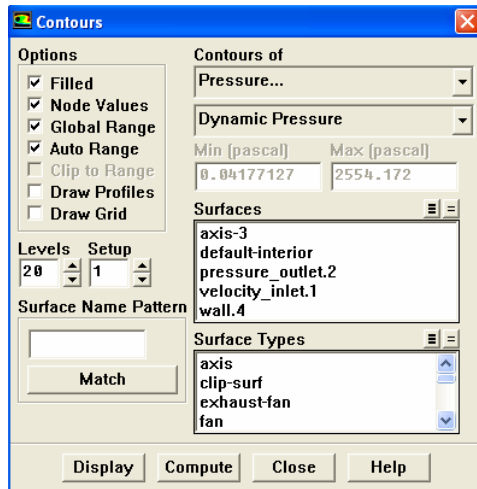
Introducem la nume *pipe.dat*. Din nou, se verifică dacă fișierul a fost salvat în folderul de lucru. Din acest moment se pot determina soluțiile de fiecare dată folosind acest fișier.

PASUL 6: PROFILUL DE PRESIUNE

La meniul **Display**, alegem **Contours**, pentru a avea o imagine mai bună asupra profilului de presiune.

În mini-fereastra care se deschide, selectăm suprafețele pe care dorim să vedem acest profil.

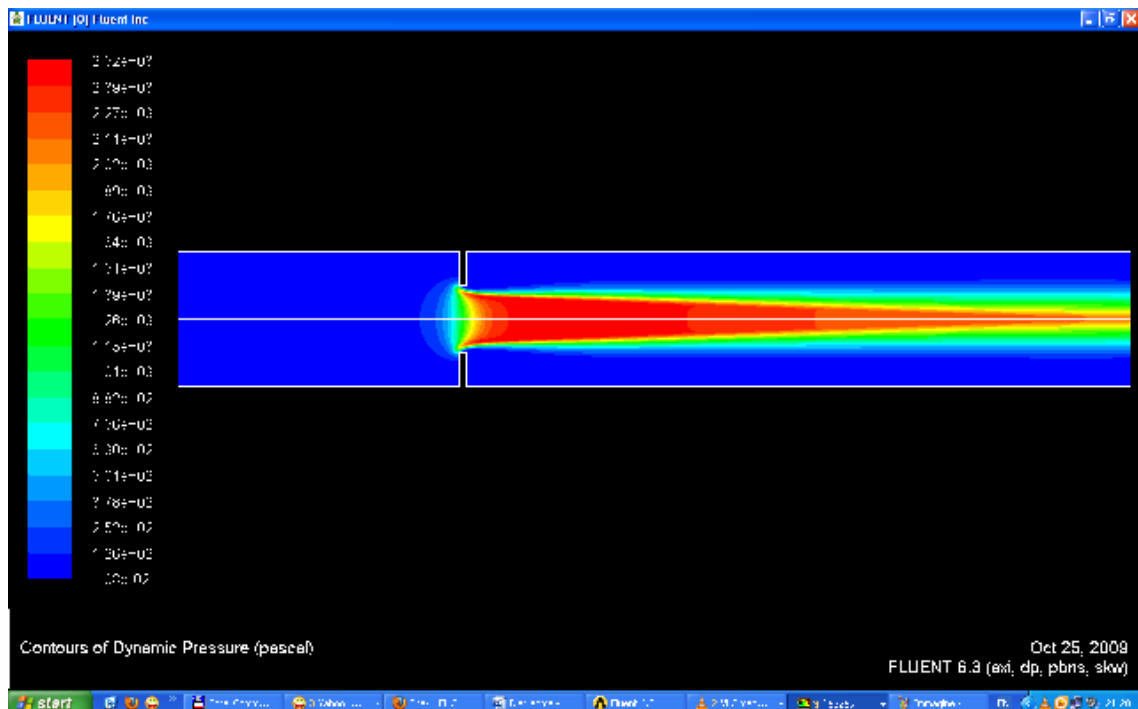
La „Contours of” alegem pe rând, **Pressure** apoi **Turbulence**. În casuța de sub **Pressure** vom selecta **Dynamic Pressure** iar la **Turbulence**, **Turbulence Intensity**.



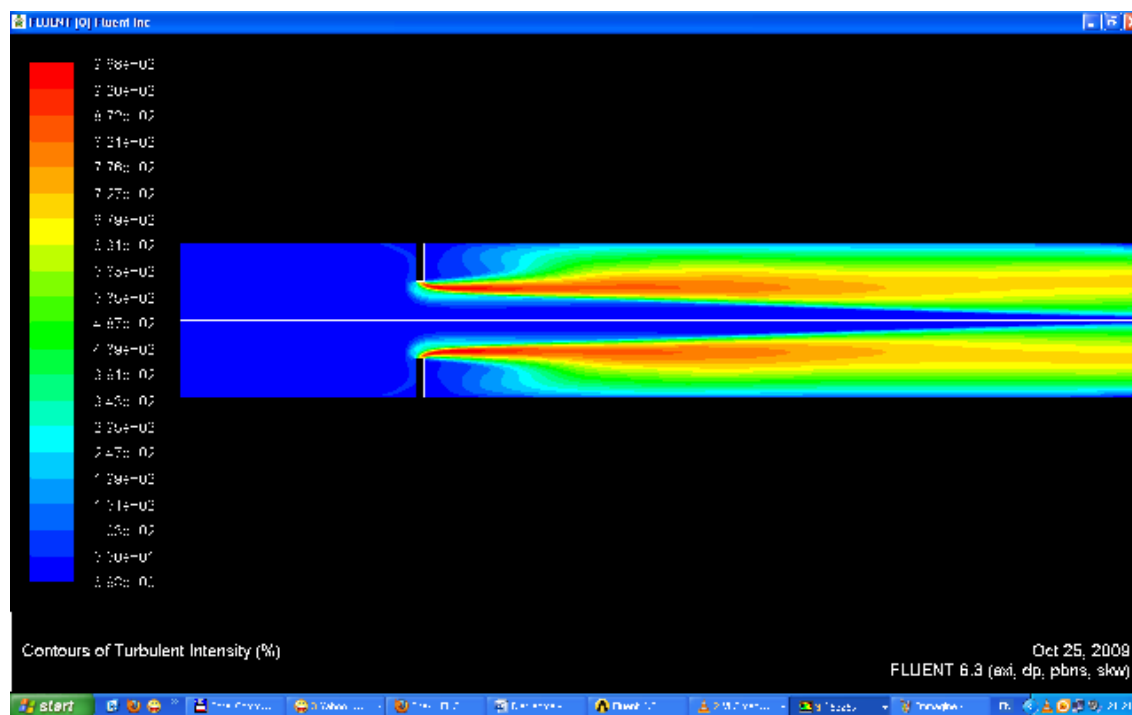
Facem clic apoi pe **Plot**.

Aceasta generează graficul vitezei axiale ca o funcție de distanță de-a lungul axei centrale a conductei.

La **Pressure** vom avea un profil ca în figura de mai jos:



La **Turbulence Intensity** va genera un profil asemănător figurii de mai jos:



**AMESTECUL FLUIDELOR ÎN
CONDUCTE TIP “COT”**

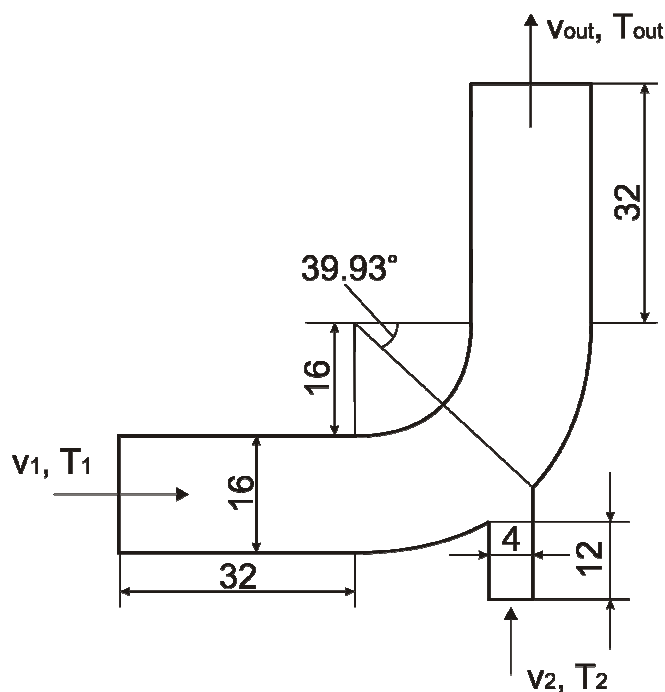
Specificațiile problemei:

1. Crearea geometriei în GAMBIT;
2. Mesharea geometriei în GAMBIT;
3. Specificarea tipurilor de limite în GAMBIT;
4. Implementarea problemei în FLUENT;
5. Rezolvarea;
6. Analiza rezultatelor;
7. Curățirea meshurilor;

Problema 1

Problema 2

Specificațiile problemei



Se consideră un fluid rece (26°C) care intră prin partea stângă a profilului de țevă tip „cot” prezentat în figura de mai sus și care se amestecă cu fluid cald (40°C) în dreptul cotului. Dimensiunile țevii sunt date în inch iar proprietatea fluidului împreună cu condițiile la limită sunt date în unități din SI. Numărul lui Reynolds la intrarea în țevă este de $2,03 \times 10^5$, având, deci, nevoie de un model de turbulență. Se mai dau și următorii parametri:

- Densitatea, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$;
- Viscositatea, $\mu = 8 \times 10^{-4} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$;

Laborator 4. Amestecul fluidelor în conducte tip „cot”

- Conductivitatea termică, $k = 0,677 \text{ W/m}\cdot\text{K}$;
- Căldura specifică, $C_p = 4216 \text{ J/Kg}\cdot^\circ\text{C}$.

Rezolvați această problemă folosind programul de simulare FLUENT.

➡ PASUL 1: CREAREA GEOMETRIEI ÎN GAMBIT.

Dacă dorim să sărim peste acest pas, putem crea un folder de lucru (vezi mai jos) în care să descărcăm meshurile (clic dreapta și salvați ca „tcot.msh”) și apoi trece direct la pasul 4.

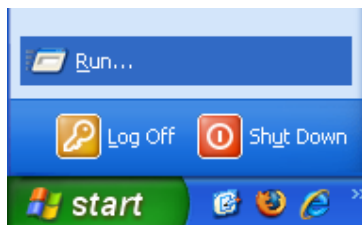
Crearea unui folder de lucru

Creați un folder numit „tcot”. Vom folosi acest folder ca fiind folderul de lucru în care se vom păstra toate fișierele.

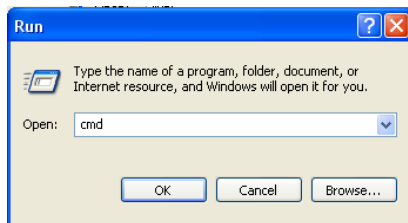
Pornirea GAMBIT-ului

Se inițializează prompterul de comenzi

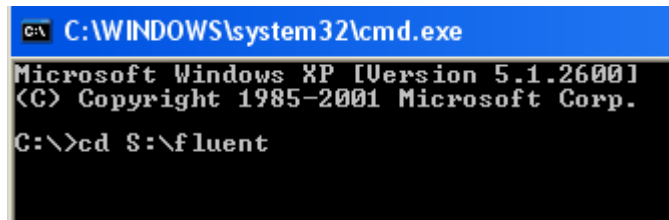
Start > Run



Pentru Window NT/2000/XP: Se scrie *cmd* apoi se apasă **OK**



După aceasta, intrați în folderul de lucru. De exemplu, dacă folderul creat, numit *fluent* pe partiția S: în Windows, executați *cd S:\fluent*

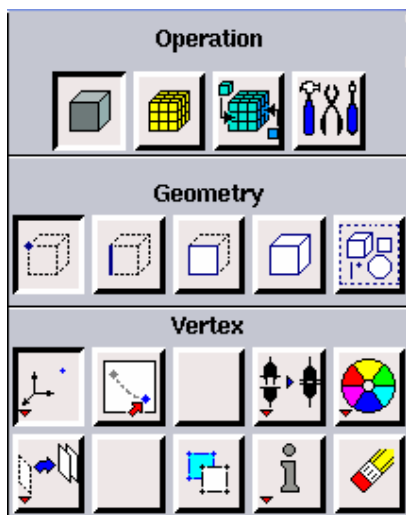


Interfața GAMBIT arată astfel:

- **Bara meniului principal:**

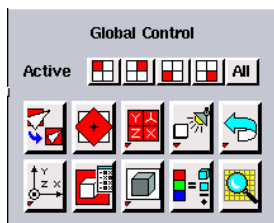




- **Meniul instrumentelor**



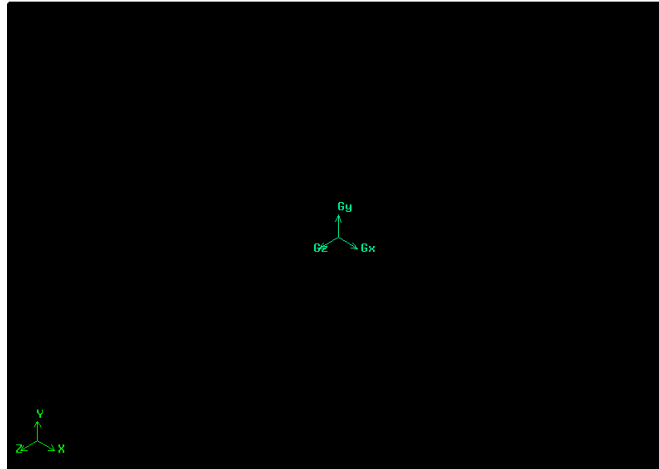
Vom folosi acest meniu mai mult sau mai puțin de-a lungul creării geometriilor. Se poate observa că fiecare meniu principal are sub-meniuri.

- **Meniul de control**



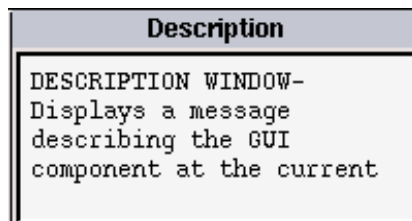
Meniul de control are opțiuni precum „Fit to Screen”  și „Undo”  care sunt foarte des utilizate în timpul creării geometriei precum și a meshurilor.

- **Fereastra de lucru:**



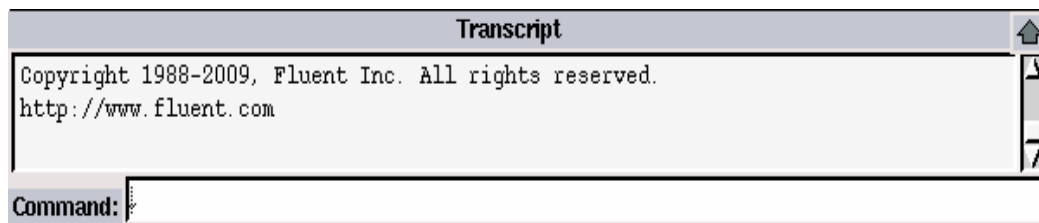
Aceasta este fereastra unde se pot observa grafic toate operațiile pe care le executăm.

- **Panoul de descriere**



Panoul de descriere conține descrierile butoanelor sau obiectelor peste care mișcăm cursorul mouseului. Mișcând mouseul peste butoate, putem observa aceste descrieri.

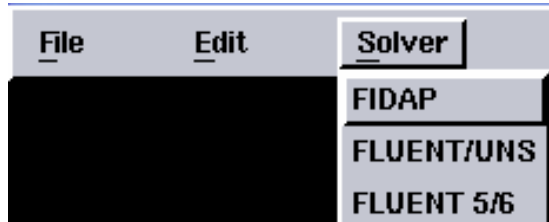
- **Fereastra de transcriere a comenzilor**



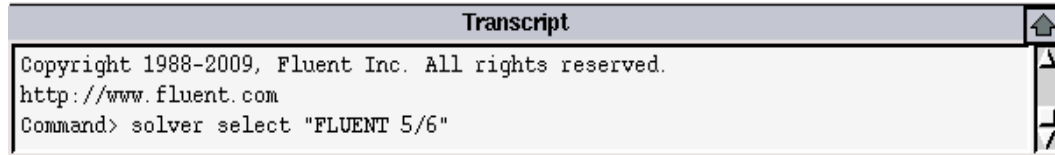
Aceasta este fereastra în care se scriu comenzile în Gambit și în care se pot șterge/corecta. Dacă nu suntem siguri ca am apăsat butonul corect sau am greșit comanda, aici se poate monitoriza. Se poate mări fereastra prin apăsarea săgeții din partea de sus, dreapta iar pentru a reveni la dimensiunile inițiale, se apasă din nou.

Selectarea Solverului

Main Menu > Solver > Fluent 5/6



Se verifică apoi dacă s-a activat, în fereastra de transcriere a comenzilor.

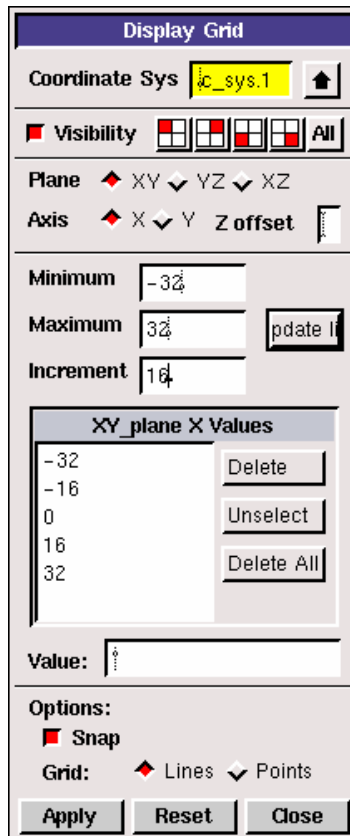


Construcția punctelor (vertexurilor)

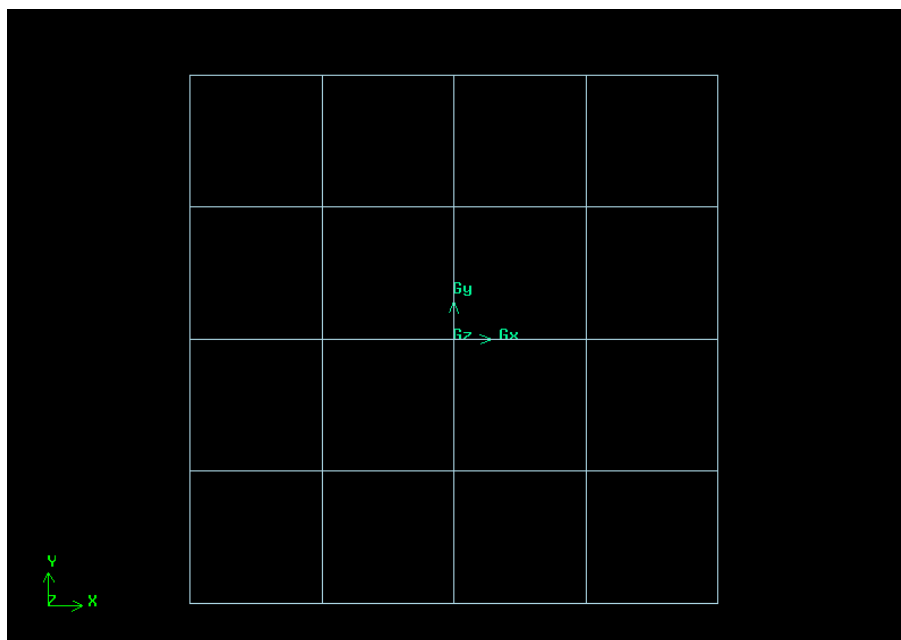
Pentru început vom afișa grila pe care vom construi punctele din:



Se va deschide o mini-fereastră în care vom introduce limitele distanței dintre ochiurile de rețea, astfel: la valoarea minimă vom introduce valoarea -32 iar la maximă 32. Incrementul de multiplicare va fi de 16. La **Plane** (planul de vizualizare) vom bifa XY (2D) iar la axis, **Y**.

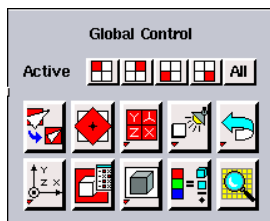


Vom avea o imagine asemănătoare cu cea din figura de mai jos:

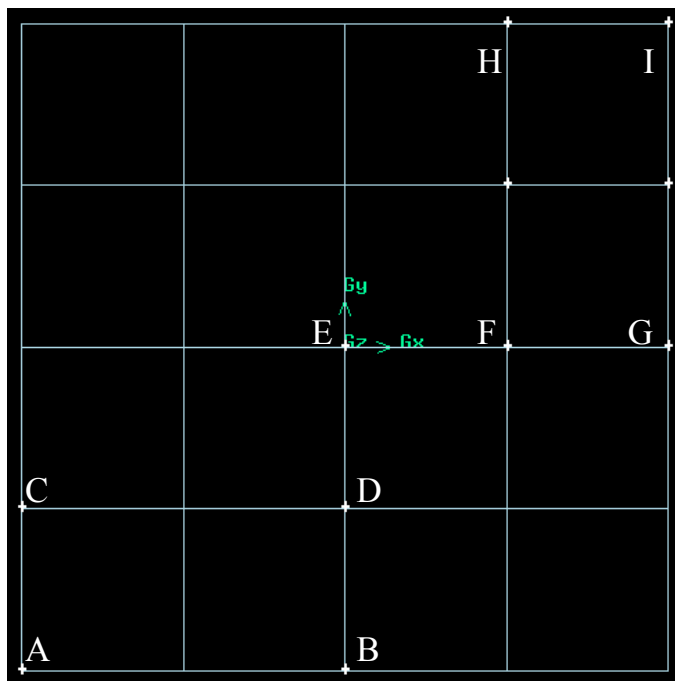


Pentru a putea încadra toată geometria pe ecran, vom folosi comanda „Fit to window”.

Operation Toolpad > Global Control > Fit to Window Button






Vom construi puncte pe punctele de intersecție ale ochiurilor de rețea, după ordinea prezentată în figura de mai jos:

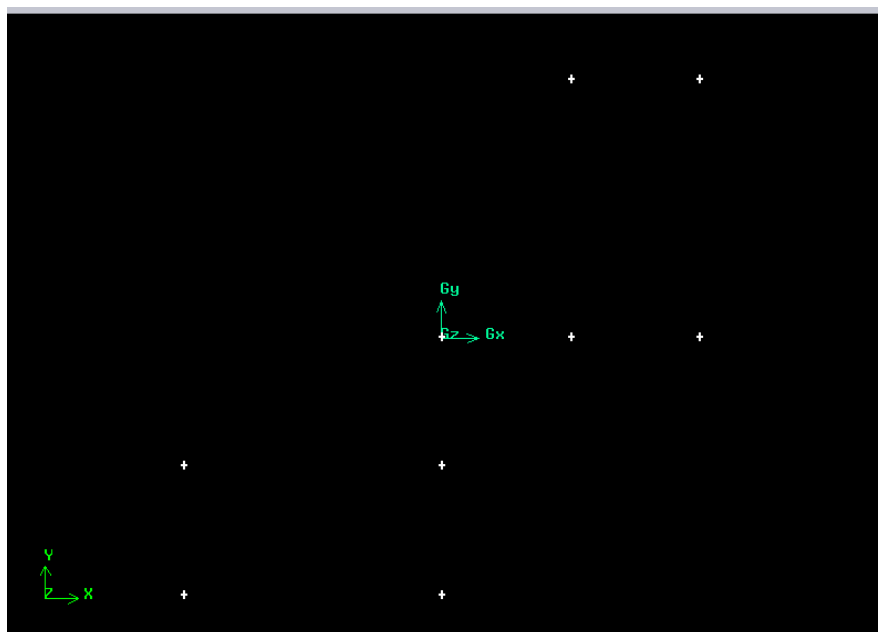


Pentru a construi aceste puncte, eliminând etapa costisitoare de a le crea folosind coordonatele fiecăruia, vom selecta nodurile de la intersecția ochiurilor cu ajutorul tastei **CTRL** și **CLIC DREAPTA** pe fiecare.

După ce am construit cele nouă puncte, vom dezactiva ochiurile de rețea. Din:

TOOLS  > **COORDINATE SYSTEM**  > **DISPLAY GRID**  în mini-fereastra care se va deschide, dezactivăm **Visibility** apoi facem clic pe **Apply**.

Vom avea următoarea figură:



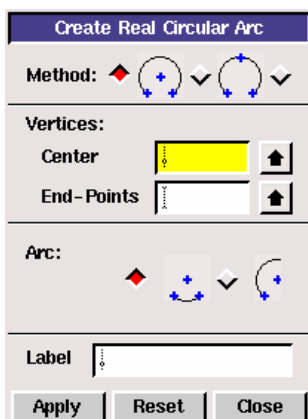
Construcția laturilor

Pentru început vom crea arcul de cerc de la cot.

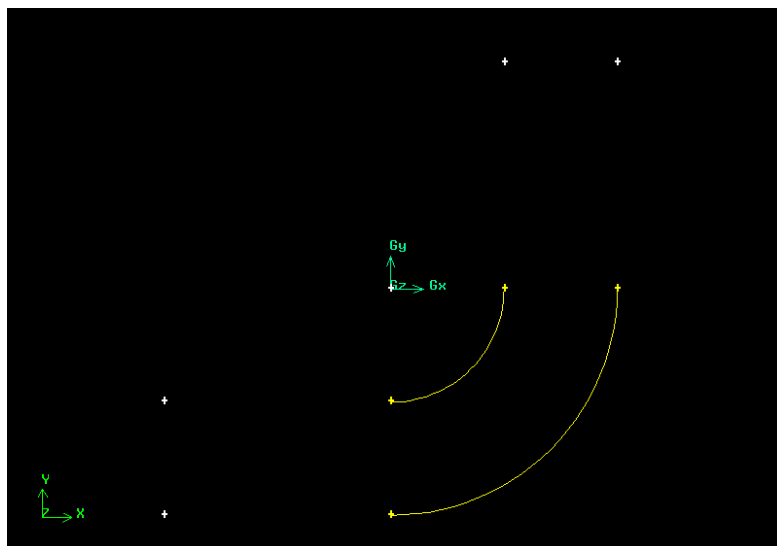
Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Edge Command Button

 > Create Edge 

Se va deschide o mini-fereastră în care avem două metode de a crea arcul de cerc. Pentru geometria noastră vom alege prima variantă deoarece avem centrul lui. La **center** vom selecta punctul **E** iar la **End-Points** (punctele extreme), întâi **D** și **F** pentru cercul mic, apoi punctele **B** și **G** pentru cel mare.



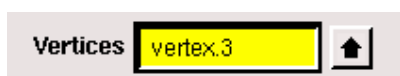
Vom avea:



Construim în continuare laturile:

Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Edge Command Button  > Create Edge 

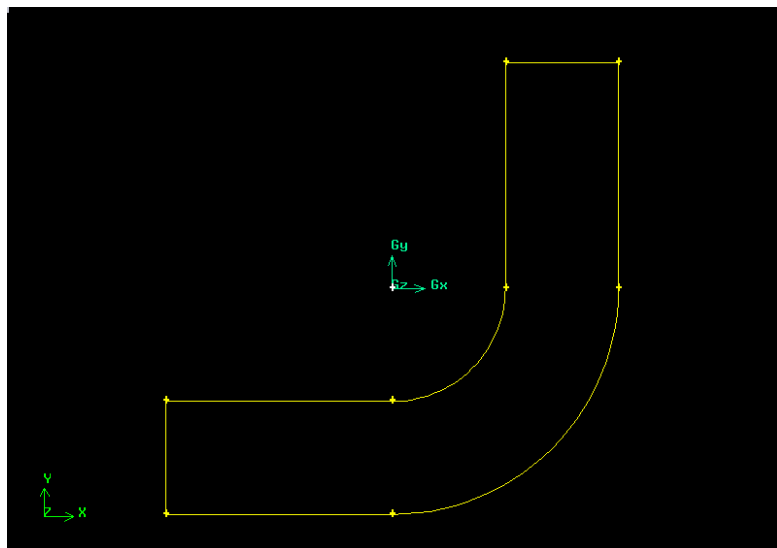
Pentru selectarea unui obiect în Gambit, se ține buton **SHIFT** de la tastatură și apoi se selectează. Se pot face astfel selecta mai multe obiecte. În cazul nostru, vom selecta, pe rând, vertexurile. Pe măsură ce selectăm vertexurile, pe ecran ele vor apărea de culoare roșie (pot apărea și de altă culoare, în funcție de setările culorilor – standard este roșie). Făcând clic pe săgeata în sus din meniu, o mică fereastră se va deschide.



În această mini-fereastră vom observa vertexurile selectate. Ele pot fi mutate din stânga, unde sunt cele disponibile (**Available**) spre dreapta, unde sunt cele selectate (**Picked**) și invers. Procesul de mutare se poate face simplu cu ajutorul săgeților (---> și <---).

După ce au fost selectate vertexurile corecte, se închide mini-fereastra făcând clic pe butonul **Close** apoi **Apply** din meniul de creare a laturilor.

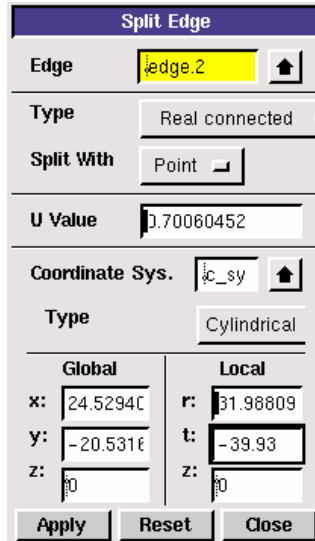
Pe ecran va apărea următoarea imagine:



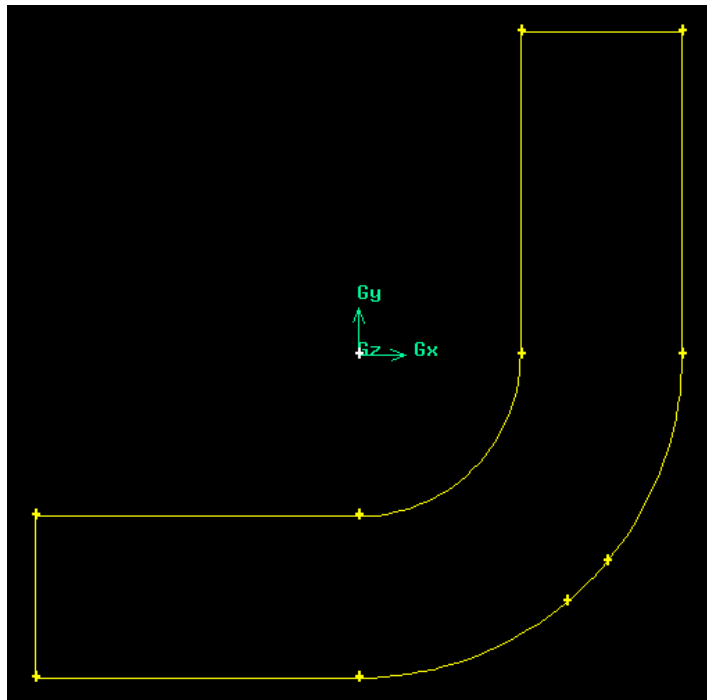
Vom construi apoi canalul mic pe unde vom introduce fluidul cald. Pentru asta selectăm:

Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Edge Command Button  > Split/Merge Edges 

Vom selecta pentru început arcul cel mare. La tipul laturii vom selecta **Real**, la **Split with** (împarte prin) vom selecta **Point** iar la tipul sistemului de coordonate vom avea **Cylindrical**. Apoi, mai jos, la valorile locale vom introduce, pe rând, la **t** (unghiul de la centru) valorile 39.93, respectiv 50,07 (pentru arcul din partea de jos).



Vom avea următoarea figură:

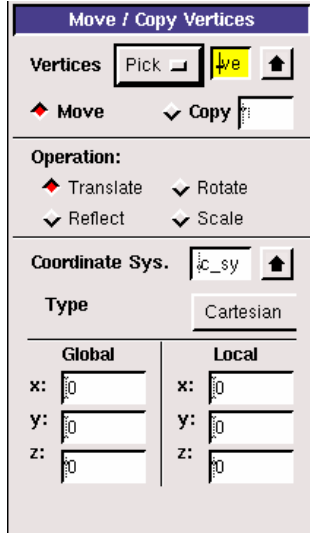


Vom selecta punctul creat în partea de jos a arcului după care îl vom copia de-a lungul axei Y cu 12 unități (după cum putem observa și în desenul de prezentare a problemei). Pentru copiere selectăm:

Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Vertex Command Button

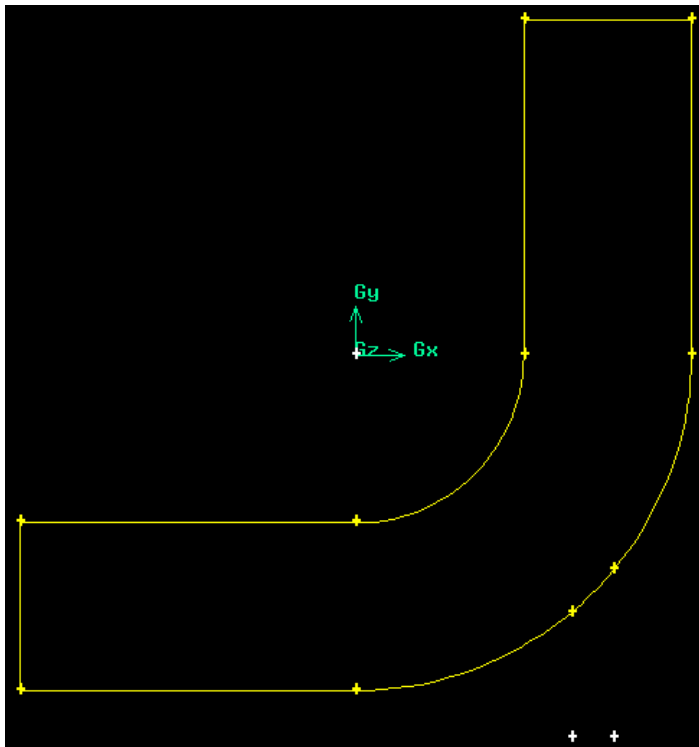
 > Move/Copy/Align Vertices 

În mini-fereastra care apare vom selecta **Copy** iar în căsuța de alături, unde vine introdus numărul de multiplicări, vom introduce valoarea 1. La operații vom selecta **Translate** iar la **Y** vom introduce valoarea -12.

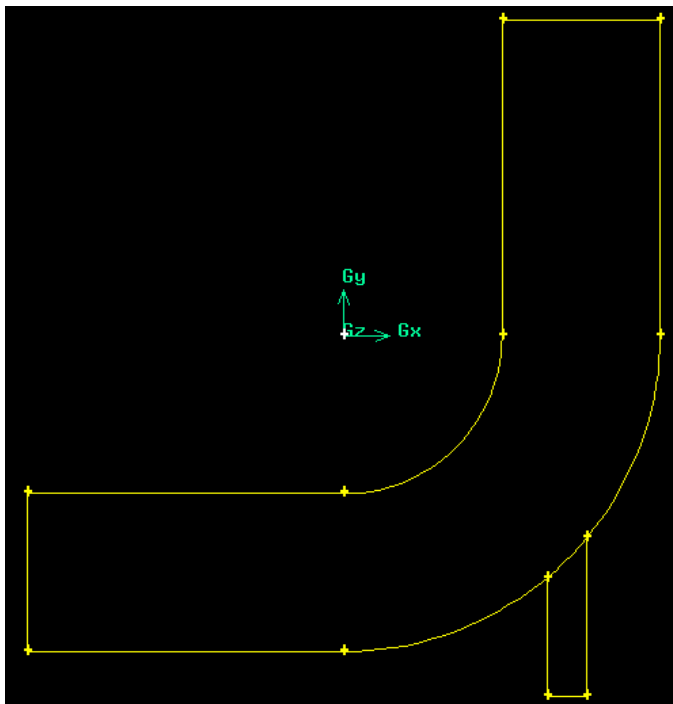


Punctul recent creat îl vom copia de-a lungul axei X la o lungime de 4 unități.

Vom avea următoarea geometrie:



Vom construi apoi laturile care leagă toate cele patru puncte și vom avea o geometrie ca cea prezentată în figura de mai jos:



Construcția fețelor

Operation Toolpad > Geometry Command Button



> Face Command Button

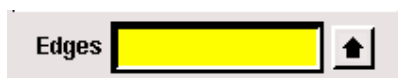


> Form Face

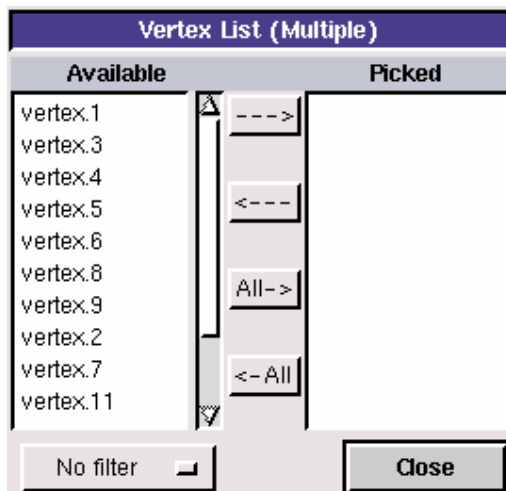


Pentru a construi o față înscrisă de patru laturi trebuie să selectăm cele patru laturi care formează suprafața. Aceasta se poate face tot cu ajutorul tastei **SHIFT**, selectând pe rând fiecare latură (putem observa că liniile selectate apar de culoare roșie). După ce s-au selectat cele patru laturi, se ia mâna de pe tastă.

Sau, mai simplu, se face clic pe săgeata în sus care deschide o alta mini-fereastră în care avem de această dată laturile.



Iar mini-fereastra arată ca în figura de mai jos.



Vom construi întâi fața cilindrului cot. Pentru asta selectăm doar laturile corespunzătoare lui, incluzând și micul arc de cerc creat în urma împărțirii arcului mare. Construim apoi fața cilindrului mic selectând cele patru laturi care îl compun.

PASUL 2: GEOMETRIA MESHURILOR ÎN GAMBIT

Mesharea laturilor

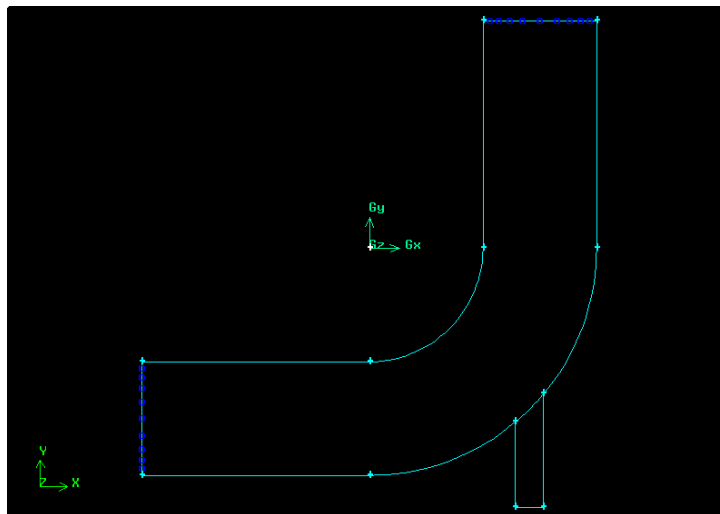
Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Edge Command Button  >

Mesh Edges 

Din nou selectăm cu ajutorul tastei **SHIFT** sau din meniu laturile corespunzătoare intrării și ieșirii din conductă. Dacă în fereastra grafică nu se observă bine aceste linii, putem măriți ținând apăsată tasta **CTRL** apoi click pe zona pe care vrem să o mărim. Dacă s-a mărit prea mult, se poate reveni folosind „Fit to Window”.

Vom selecta laturile corespunzătoare intrării și ieșirii din țevă apoi, în fereastra din dreapta, **Double sided** (ambele părți) și vom introduce la **Ratio** (Rata) valoarea 1,25 iar la **Spacing**, în căsuța intervalelor, vom selecta **Interval Count** unde vom introduce valoarea 10.

Vom avea o imagine asemănătoare cu cea de jos:

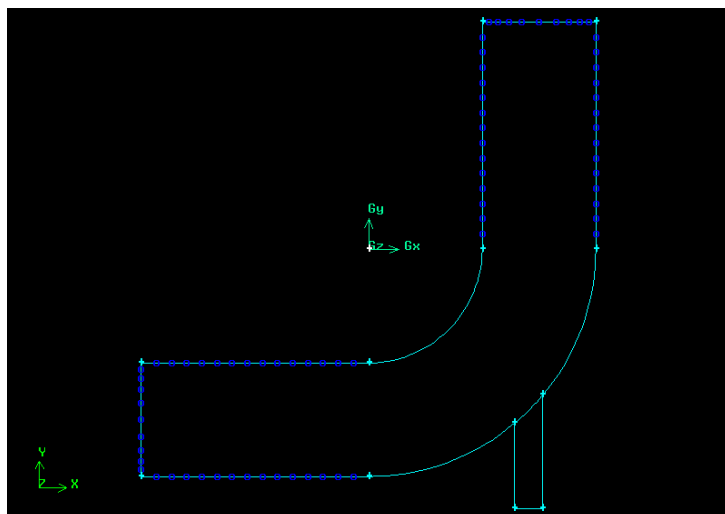


Se repetă același algoritm și pentru mesharea laturilor orizontale, dar divizat în 100 de unități. După ce am meshuit laturile putem crea meshuirea bidimensională a feței.

În continuare vom mesha laturile drepte. Vom selecta fețele; la **Ratio** vom avea valoarea 1 iar la **Interval Count** vom introduce valoarea 15 (numărul de intervale).

Facem clic pe **Apply**.

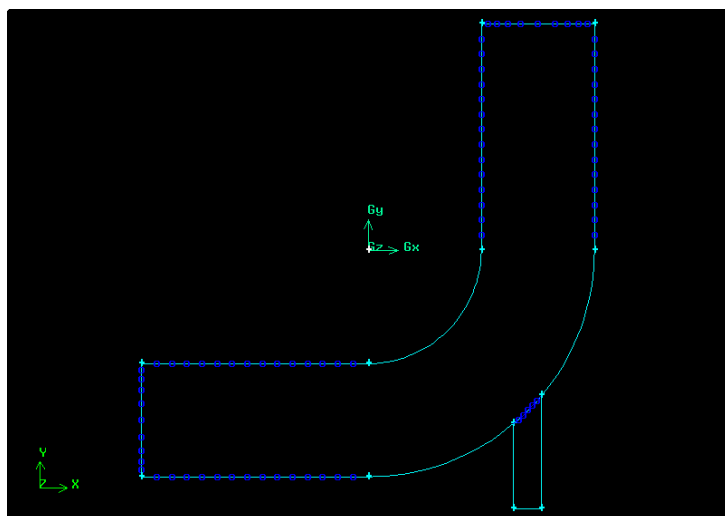
Vom avea:



Vom mesha apoi arcul de cerc aflat la intersecția celor două conducte. Vom proceda la fel ca și mai sus având:

- la **Ratio** vom avea valoarea 1;
- la **Interval Count** vom avea 6.

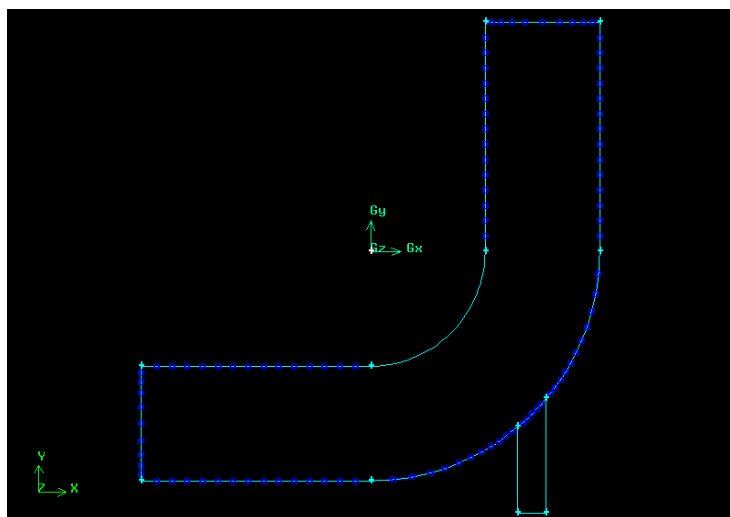
Vom obține:



În continuare vom mesha arcele de cerc din stânga și dreapta arcului de intersecție.

- selectăm arcul din stânga și ne asigurăm că săgeata roșie va fi îndreptată spre țeva mică (în cazul în care nu o observăm vom mări zona) și introducem la **Ratio** valoarea 0,9 iar la **Interval Count** valoarea 12. Facem clic pe **Apply** și vom putea vizualiza meshul.
- selectăm arcul din dreapta și urmăm același procedeu, din nou, asigurându-ne că săgeata roșie este îndreptată în jos, spre țeva mică.

Vom avea:



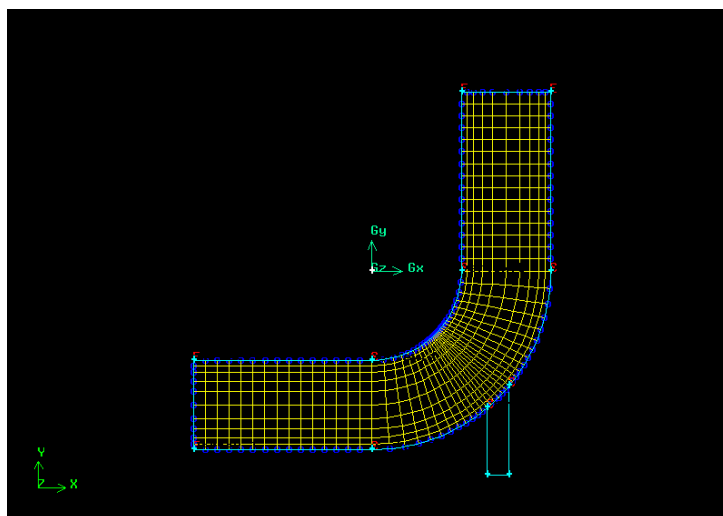
Meshăm acum arcul mic de cerc procedând la fel ca și la laturile corespunzătoare intrării și ieșirii din conductă și anume: selectăm arcul, la **Ratio** introducem 0,85 și selectăm **Double sided**, lăsîng GAMBIT-ul să calculeze singur spațiul de intervale. Pentru ca programul nostru să calculeze singur numărul de intervale vom deselecta **Apply** de la **Spacing**. Deselectăm, de altfel, și butonul **Mesh** de la **Options**. Vom avea o figură asemănătoare celei de sus.

Mesharea feței

Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Face Command Button  >

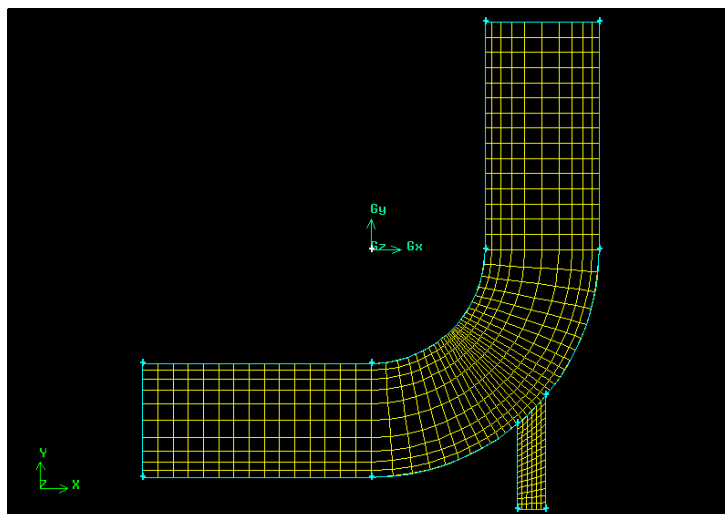
Mesh Face 

Selectăm fața corespunzătoare conductei mari apoi facem clic pe **Apply**. Vom avea:

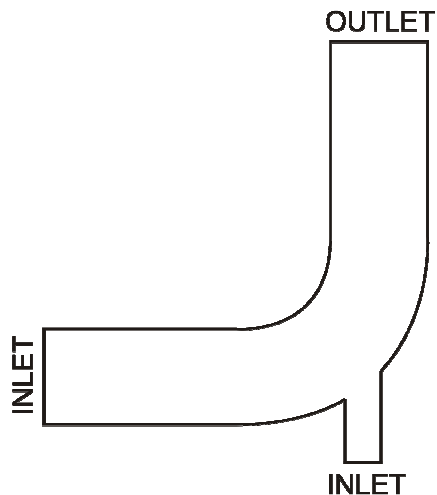


În final, vom mesha țeava mică. Vom selecta fața după care îi vom aplica meshul. La **Elements** vom avea **Quad**, la **Type** vom avea **Map** iar la **Interval Spacing** valoarea 1.

Vom obține geometria finală:




PASUL 3: SPECIFICAREA TIPURILOR DE LIMITĂ

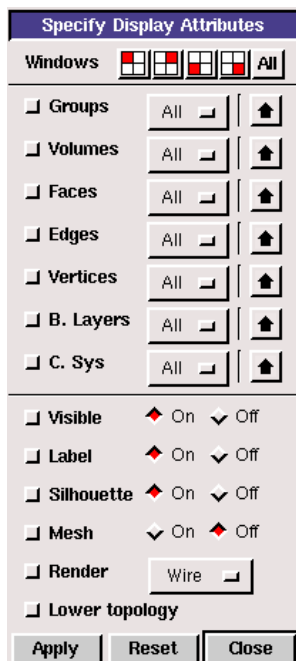


Definirea tipurilor de limită

Pentru început vom dezactiva grafic meshurile pentru a putea observa mai bine fiecare latură.



Pentru asta facem clic pe butonul  din partea dreapta jos. În mini-fereastra care se va deschide vom selecta **Off** în dreptul **Mesh**-ului apoi clic pe **Apply**. Vom observa că pe ecran va dispărea meshul.

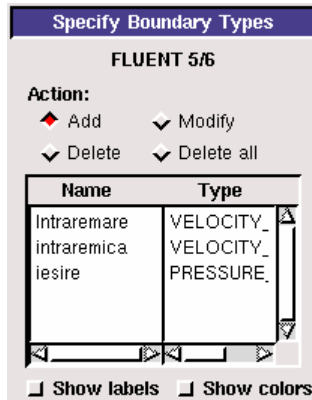


Din:

Operation Toopad > Zones Command Button  **> Specify Boundary Types**

Command Button 

vom defini tipurile de limite. Pentru intrări vom aloca tipul de limită numit **Velocity Inlet** iar pentru ieșire **Pressure Outlet**



Salvarea lucrului și Exportul

Main Menu > File > Save

Main Menu > File > Export > Mesh

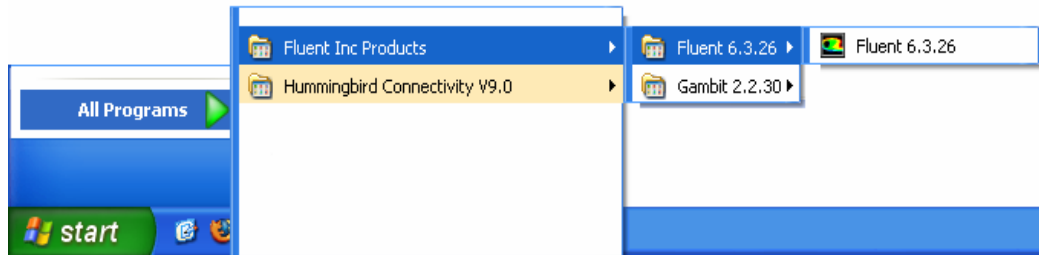
Scriem pipe.msh la **File Name:**, apoi selectăm **Export 2d Mesh** deoarece este un mesh bidimensional. În final, clic **Accept**.

Verificăm dacă *tcot.msh* a fost creat în folderul de lucru.


PASUL 4: SETAREA PROBLEMEI ÎN FLUENT

Se deschide fluentul:

Start > All Programs > Fluent Inc Products > Fluent x.x.xx > Fluent x.x.xx



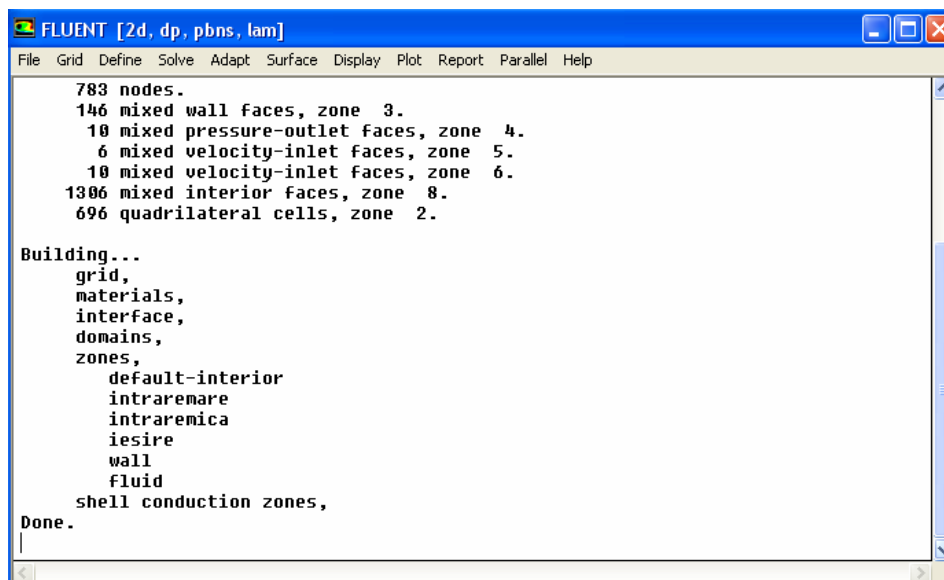
Selectăm 2ddp din listă apoi **Run**

 „2ddp” este folosit atunci când folosim un solver bidimensional, de precizie dublă. În solverul de precizie dublă fiecare număr este reprezentat folosind 64 biți, în contrast cu solverul de precizie simplă care folosește 32 biți. Numărul mare de biți crește precizia dar și ordinul de mărime care poate fi reprezentat. Dezavantajul este că pentru astfel de solver avem nevoie de mai multă memorie.

Importul grilei

Main Menu > File > Read > Case...

Cazul se deschide din folderul de lucru de unde se selectează pipe.msh. Acest este fișierul care a fost creat de preprocesorul Gambit în pasul anterior. Fluentul expune meshurile exact cum sunt ele scrise în Gambit.



Verificarea și afișarea grilei

Pentru început se verifică grila pentru a fi siguri că nu sunt erori.

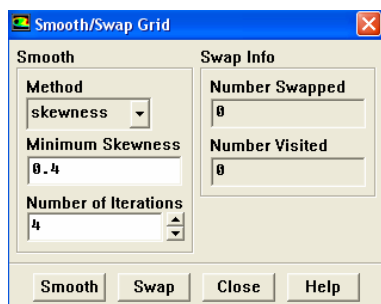
a) Verificarea grilei se face din

Main Menu > Grid > Check

Orice eroare întâlnită va fi reportată imediat. Verificăm apoi ieșirea pentru a fi siguri că nici acolo nu avem erori. Apoi se face verificarea dimensiunii grilei:

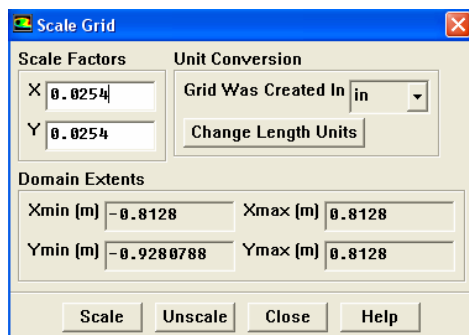
Main Menu > Grid > Smooth/Swap

Se folosește pentru a oferi calculului o calitate mai bună. Facem clic apoi pe **Smooth**.



Main Menu > Grid > Scale

Schimbam valoarea unităților în INCH după care îi dăm **Scale**.



b) Afișarea grilei se face din:

Main Menu > Display > Grid

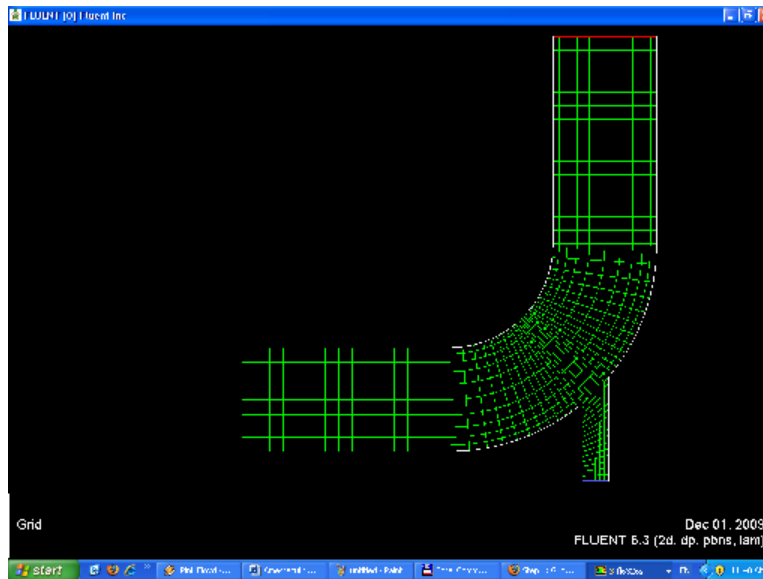
Trebuie să ne asigurăm că toate suprafețele (**Surfaces**) sunt selectate. Apoi facem clic pe **Display**. O nouă fereastră în care vom observa grila se va deschide. Se va închide apoi făcând clic pe **Close**.

Operațiile disponibile în fereastra de grid sunt:


- **Translația:** Gridul poate fi mutat în orice direcție, ținând apăsat clic stanga și mișcând mouseul;
- **Mărirea:** Aceasta se poate face ținând apăsată roțița mouseului după care se mișcă din stânga spre dreapta.

- **Micșorarea:** Aceasta se poate face ținând apăsată roțița mouseului după care se mișcă din dreapta spre stânga.

Grila arată ca în figura de mai jos:



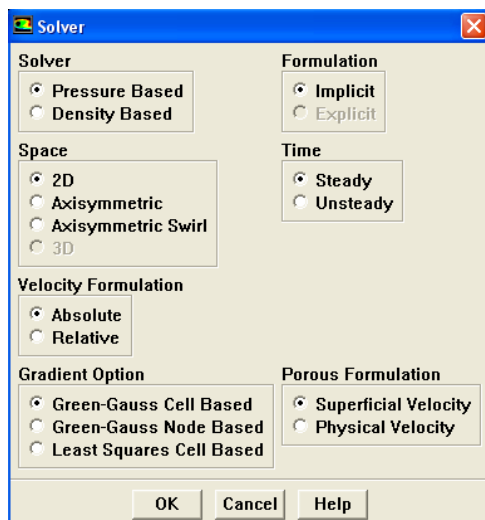
Putem să vizualizăm și anumite părți ale grilei alegând din lista de suprafețe. Se face clic din nou pe **Display** și apoi se vizualizează părțile selectate.

În cazul în care avem mai multe limite, putem să le selectăm sau să le deselectăm pe toate folosind butoanele  de lângă **Surfaces**.

Difinirea proprietăților solverului

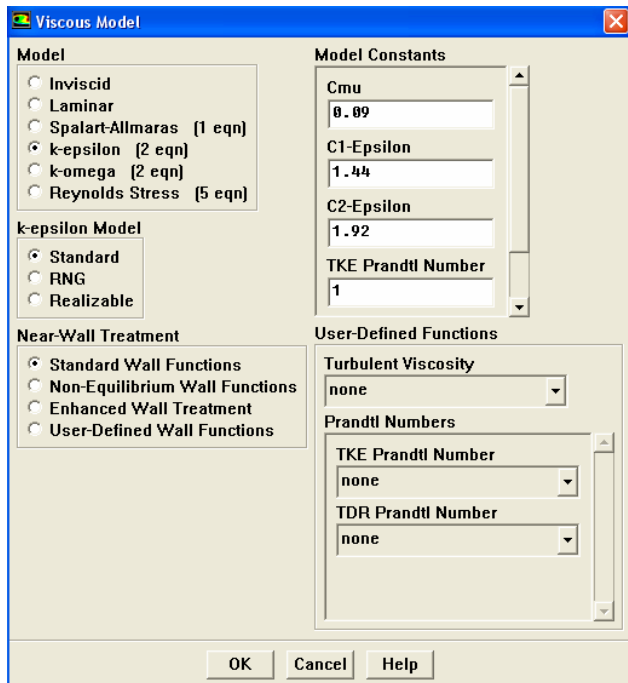
Main Menu > Define > Models > Solver

Vom folosi setările prestabilite ale solverului segregat, formulare implicită, curgere staționară și viteză absolută.



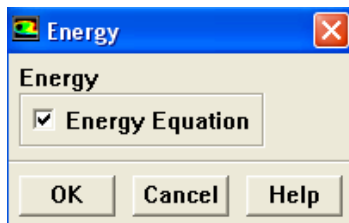
Main Menu > Define > Models > Viscous

Vom alege, după cum am văzut la început, un regim turbulent. Ca și în celelalte probleme, alegem tipul de turbulență k-epsilon. Vom lăsa constantele prestabilite de acest model.



Main Menu > Define > Models > Energy

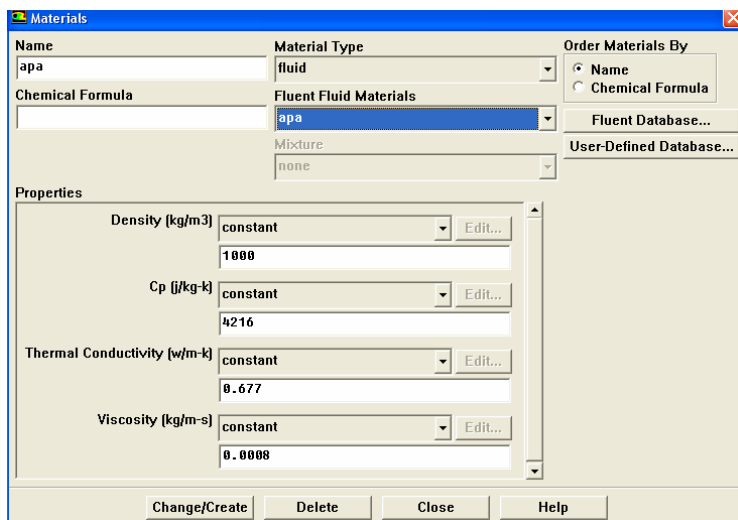
Deoarece problema noastră implică transfer de căldură, vom activa ecuația energiei.



Definirea proprietăților materialelor

Main Menu > Define > Materials...

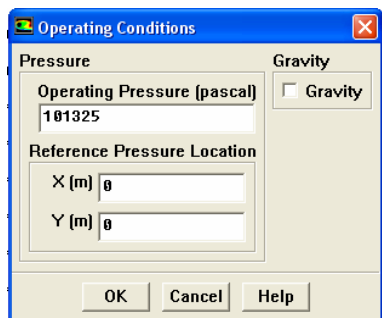
Vom introduce proprietățile fluidului (care este apa) în fiecare căsuță, proprietăți care sunt date la specificațiile problemei. Facem clic apoi pe **Change/Create**.



Definirea condițiilor de operare

Main Menu > Define > Operating Conditions

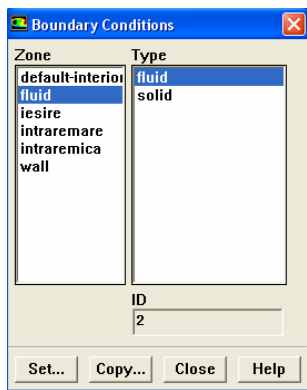
Pentru toate curgerile, Fluentul folosește măsura presiunii interioare. De fiecare dată când este nevoie de presiunea absolută, ea este generată prin adăugarea presiunii de operare la presiunea măsurată. Vom folosi valoarea predefinită de 1 atm. (101,325 Pa) ca presiune de operare.



Definirea condițiilor la limită

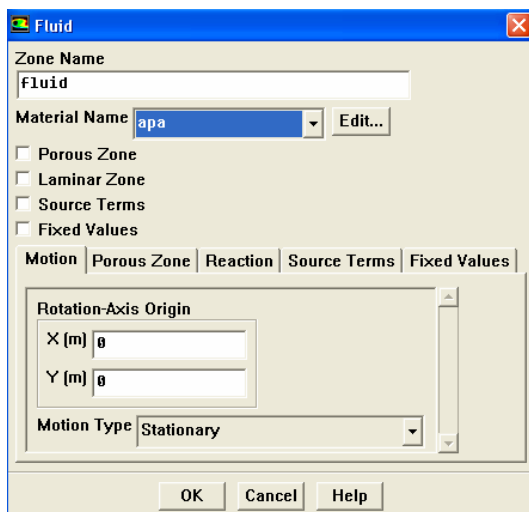
Vom stabili în continuare valoarea vitezelor la intrare și a presiunii la ieșire.

Main Menu > Define > Boundary Conditions...



Selectăm fluid apoi facem clic pe **Set...**

În fereastra care se va deschide vom introduce la **Material Name** - apa.



La **intrare mare** vom selecta, din dreapta, **velocity-inlet** și facem clic pe **Set...**

În fereastra care se va deschide vom introduce:

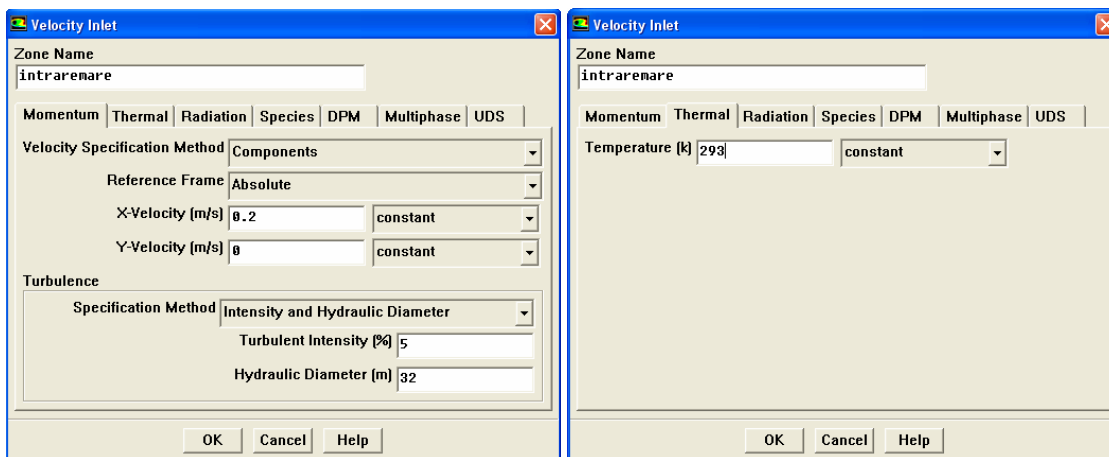
- la **Momentum**, în dreptul metodei de definire a vitezei (**Velocity Specification Method**) vom alege **Components** (componentele vitezei). Vom introduce mai jos viteza de-a lungul axei X (orizontală) care are valoarea 0.2 m/s iar la turbulență, mai jos, vom selecta **Intensity and Hydraulic Diameter** unde vom introduce Intensitatea Turbulenței – 5% - și diametrul hidraulic de 32 inch.
- La **Thermal**, la Temperature vom introduce valoarea 293 K.

Diametrul hidraulic se calculează cu formula:

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P_w}$$

Unde: A – aria secțiunii și P_w – perimetrul zonei umectate

Laborator 4. Amestecul fluidelor în conducte tip „cot”



Vom proceda la fel și pentru cealaltă intrare (intraremică). Singurii parametri care vor diferi vor fi: viteza verticală (de-a lungul axei Y), care are valoarea de 1, diametrul hidraulic care are valoarea de 8 inch și temperatura de 313K.

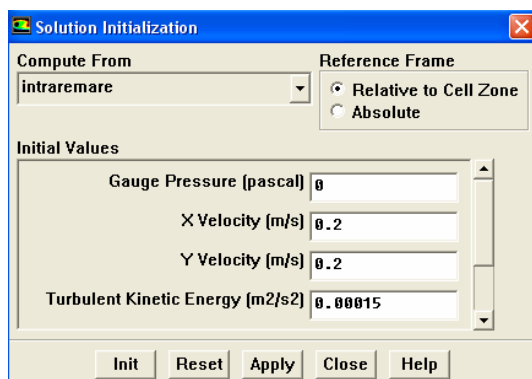
PASUL 5: REZOLVAREA

Se face prima presupunere

Se inițializează câmpul curgerii cu valorile de la intrare:

Main Menu > Solve > Initialize...

În meniul **Solution Initialization** la **Compute From** vom alege **intraremare**. Viteza orizontală și verticală pentru toate celulele va fi setată la 0,2 m/s. Aceste valori au fost luate de la condițiile limită la intrare.



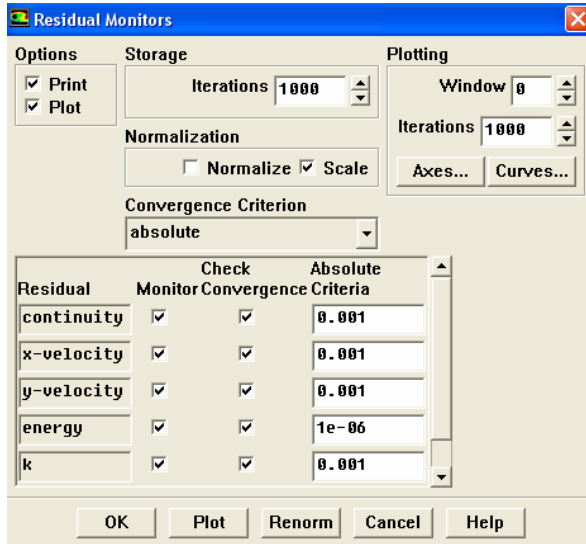
Facem clic pe **Init** pentru a inițializa, apoi **Apply** și, în final, **Close**.


Setarea crierului ce convergență

Fluentul face raportul la reziduul pentru fiecare ecuație ce urmează a fi rezolvată. Reziduul este măsura la cât de mult satisface soluția curentă forma discretizantă a fiecărei ecuații ce guvernează. Vom itera soluția până când reziduul fiecărei ecuații scade sub $1 \cdot 10^{-3}$.

Main Menu > Solve > Monitors > Residual...

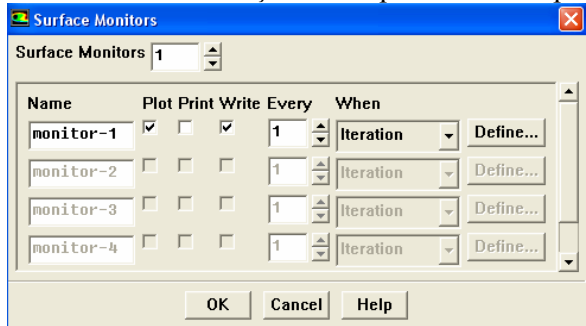
Schimbăm reziduul pentru **continuity**, **x-velocity** și **y-velocity**, toate cu valoarea $1e-3$. După aceasta, pentru vizualizare, se face clic pe **Plot**. Acesta va face graficul reziduurilor în fereastra grafică după cum sunt ele calculate.



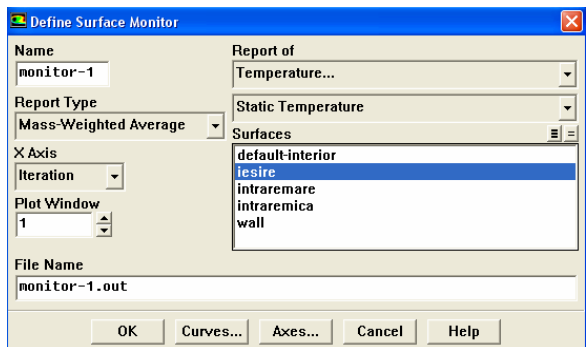
 Dacă vă apar erori de tipul “*Error: FLUENT received a fatal signal (SEGMENTATION VIOLATION)*” sau „*Error: floating point error: divide by zero*” înseamnă că placa video este configurată pentru funcționarea calculatorului cu viteză și nu pentru performanță. Consultați un expert pentru soluționarea unei astfel de probleme.

Main Menu > Solve > Monitors > Surfaces

Vom bifa la monitor-1 **Plot** și **Write** apoi definim suprafețele cu ajutorul butonului **Define...**



Aici vom selecta la **Report of**, **Temperature** și apoi **Static Temperature** iar la **Report Type** selectăm **Mass-Weighted Average**. La **Surfaces** vom selecta ieșirea.



Am terminat specificațiile problemei. Salvăm totul:

Main Menu > File > Write > Case...

Salvăm cu numele *tcot.cas* pentru fișierele de tip case. Verificăm apoi dacă s-a salvat în folderul de lucru. Dacă închidem Fluent-ul acum, putem continua cu tot ceea ce am stabilit până acum.

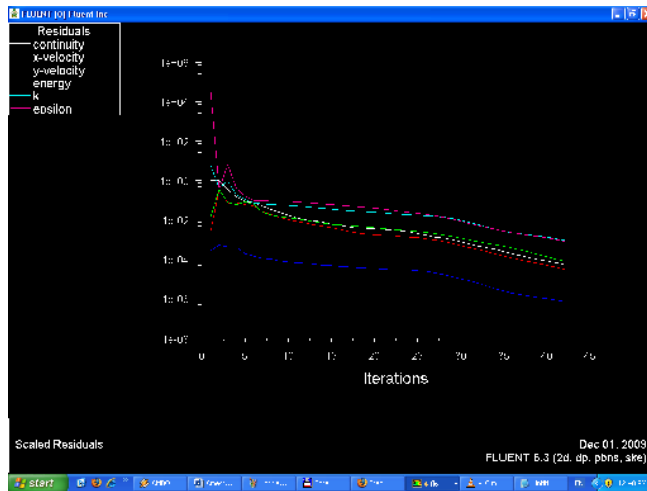
Iterăm până la convergență

Vom porni calcularea făcând 100 de iterații:

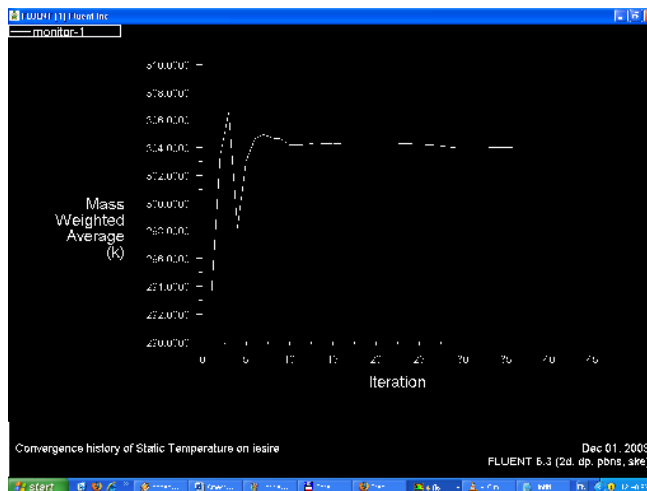
Main Menu > Solve > Iterate

În fereastra de iterații (**Iterate Window**) schimbăm numărul de iterații de la 1 la 100 apoi facem click pe **Iterate**.

Reziduurile pentru fiecare iterație sunt afișate și listate în fereastra de grafice după cum sunt ele calculate.



Iar la **Surfaces**:



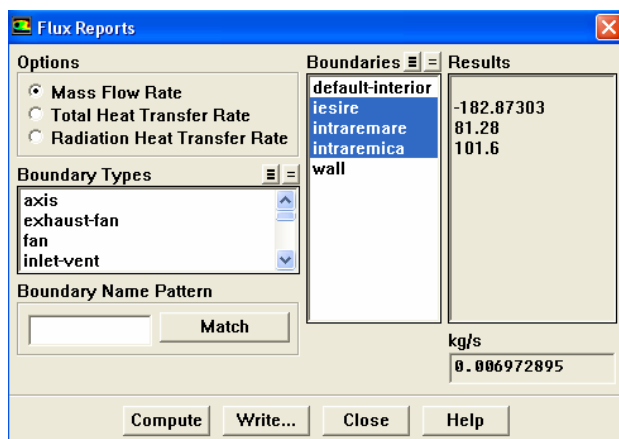
Reziduurile ajung la criteriul de convergență specificat ($1 \cdot 10^{-6}$) la 42 de iterații. Asta înseamnă că după acest număr de iterații nu se mai schimbă nimic, deci rezolvarea problemei este finalizată.

iter time/iter

! 42 solution is converged

Pentru a verifica masa totală, momentul, energia și bilanțul scalar mergem în:

Main Menu > Report > Fluxes



După ce am selectat limitele, facem clic pe **Compute** (Calcul) iar în dreapta sau în fereastra principală va apărea rezultatul.

Se salvează soluția ca un fișier dată:

Main Menu > File > Write > Data...

Introducem la nume *tcot.dat*. Din nou, se verifică dacă fișierul a fost salvat în folderul de lucru. Din acest moment se pot determina soluțiile de fiecare dată folosind acest fișier.

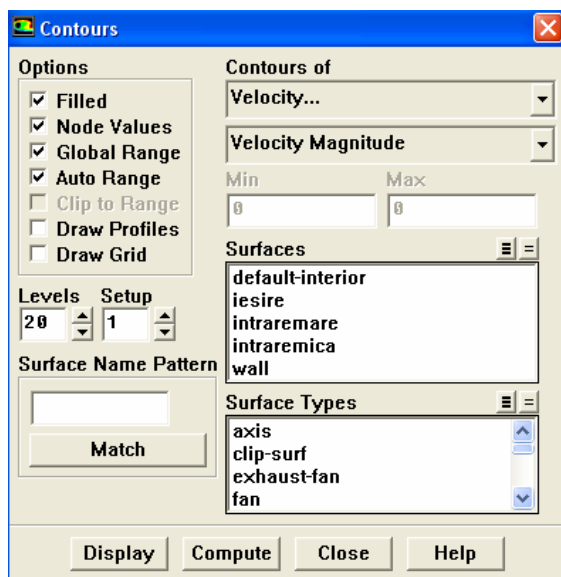
PASUL 6: GENERAREA GRAFICELOR ȘI INTERPRETAREA REZULTATELOR

Pentru început vom afișa conturul plin al conductei, pentru viteza interioară.

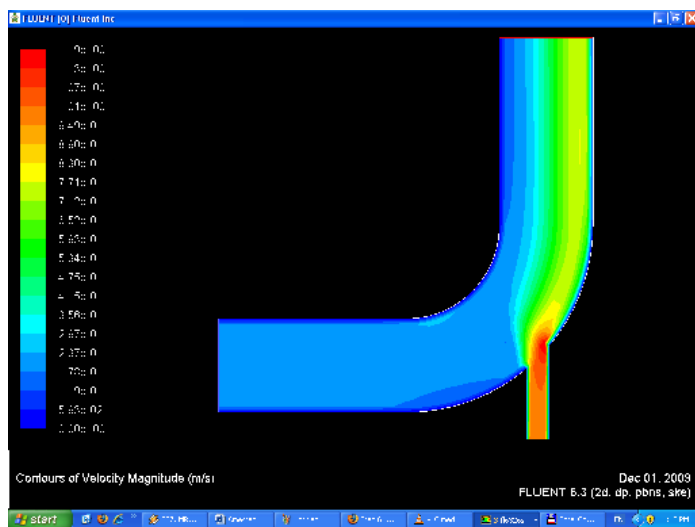
Din:

Main Menu > Display > Contours

selectăm **Velocity** și **Velocity Magnitude** apoi facem clic pe **Display**.

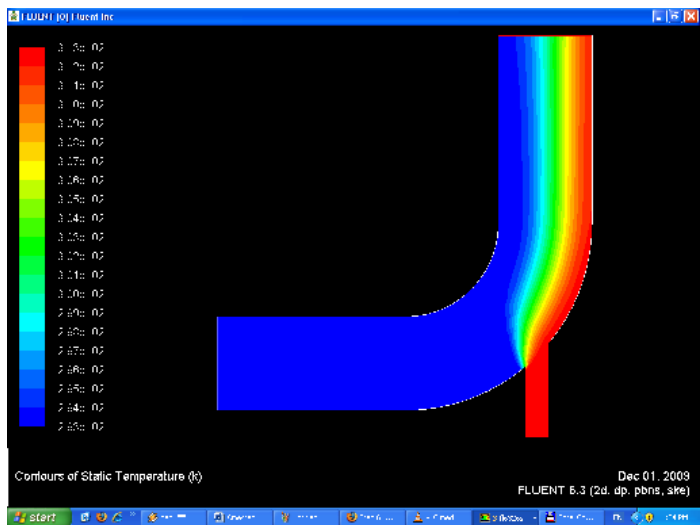


Vom avea o imagine ca în figura de mai jos:



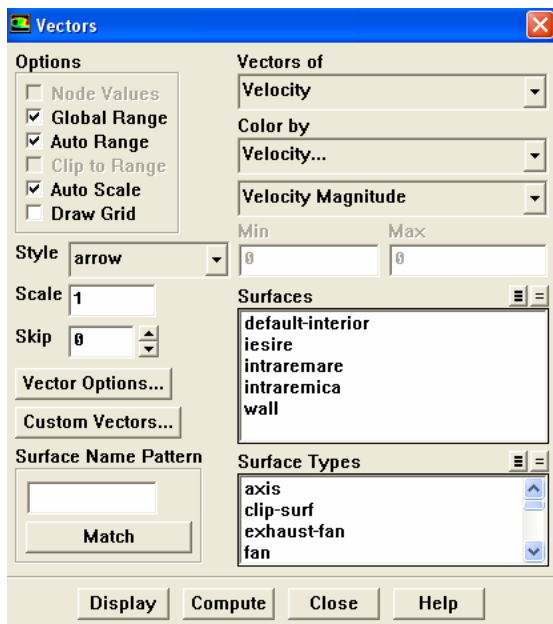
Afișăm mai apoi profilul temperaturii:

Laborator 4. Amestecul fluidelor în conducte tip „cot”



Afișăm, pentru o imagine mai clară, vectorii vitezei:

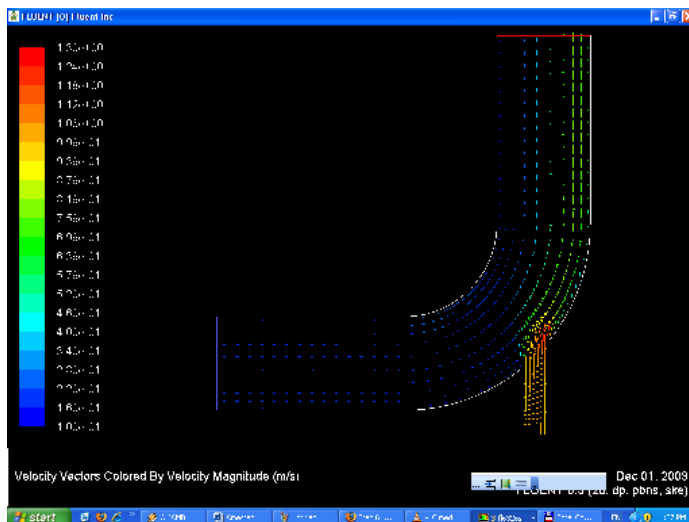
Din: **Main Menu > Display > Vectors**



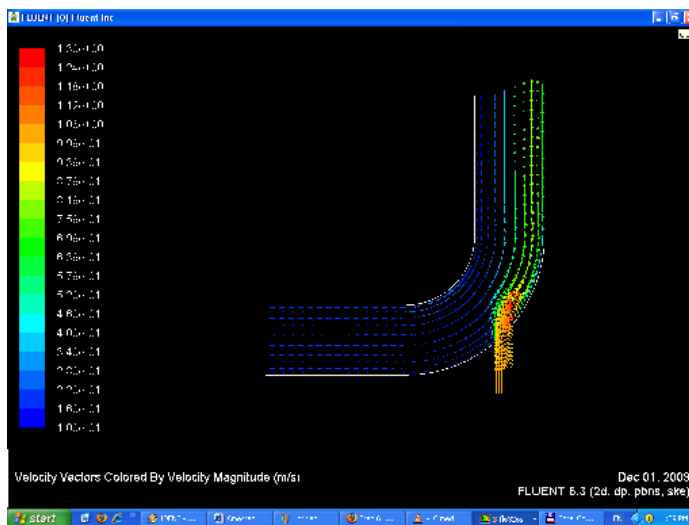
Selectăm la **Vectors of, Velocity**.

Avem următorul profil:

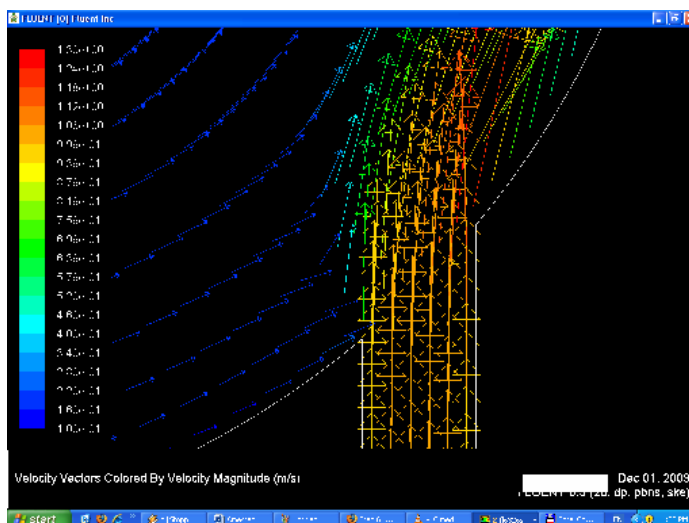
Laborator 4. Amestecul fluidelor în conducte tip „cot”



Pentru o imagine și mai clară, la **Scale** vom introduce valoarea 3. Avem următorul profil:



Putem să mărim zonele făcând clic pe roțița mouseului.



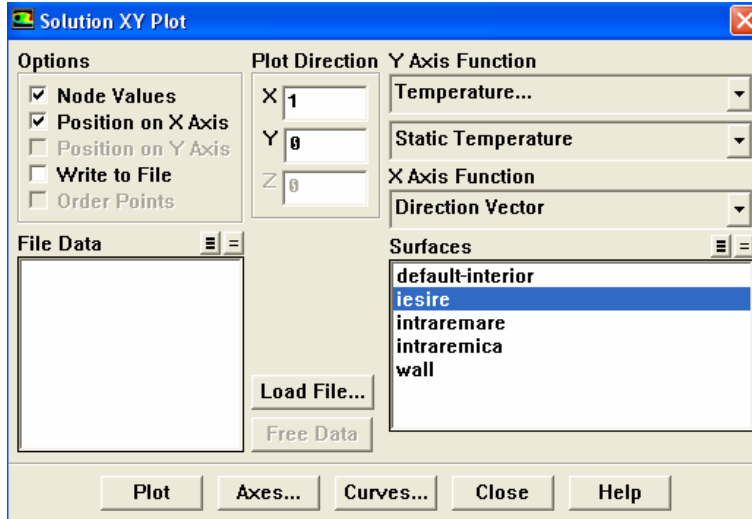
Pentru a observa un profil din care se pot trage concluzii apropiate de realitate, vom afișa un grafic XY unde vom introduce diverse profiluri pe direcția conductei.

1. Vom genera un grafic care urmărește temperatura statică la ieșirea din conductă.

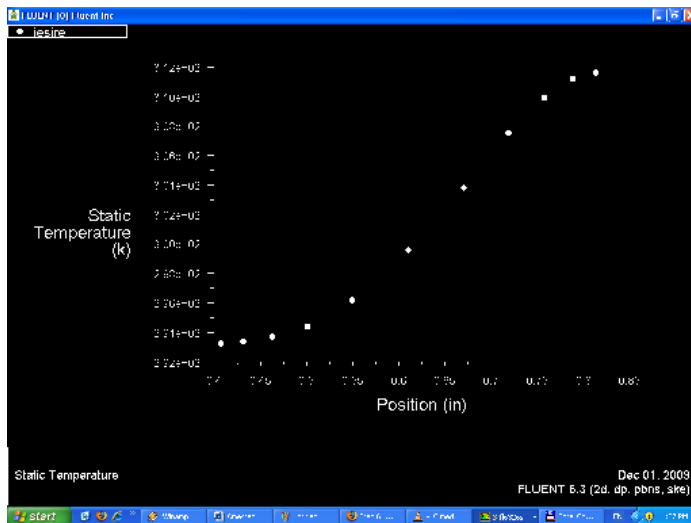
Din:

Main Menu > Plot > XY Plot

selectăm pe ordonată (Y) *temperatura statică* iar pe abscisă (X) lăsăm *direcția* iar la **Surfaces** selectăm **iesire**. Apoi facem clic pe **Plot**.



Se va afișa următorul grafic:

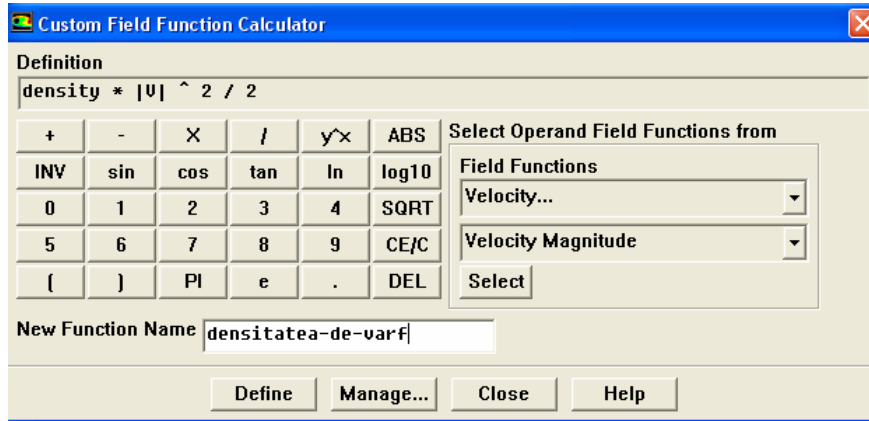


2. Vom genera un grafic după o funcție pe care o vom defini noi. Vom defini, de exemplu **Densitatea de Vârf** care are următoarea formulă:

$$DV = \frac{\rho \cdot |V|^2}{2}$$

Pentru a defini o nouă funcție, mergem în:

Main Menu > Define > Custom Field Function

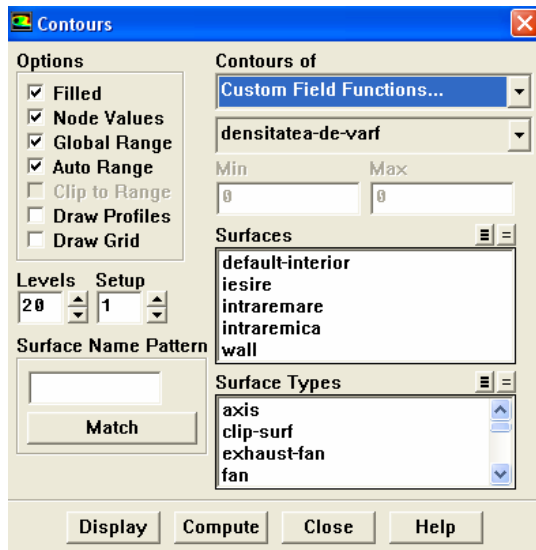


Pentru a scrie o formulă la **Definition** selectăm din dreapta ceea ce dorim să introducem în ea iar cu ajutorul operațiilor din stânga o definim ca formulă.

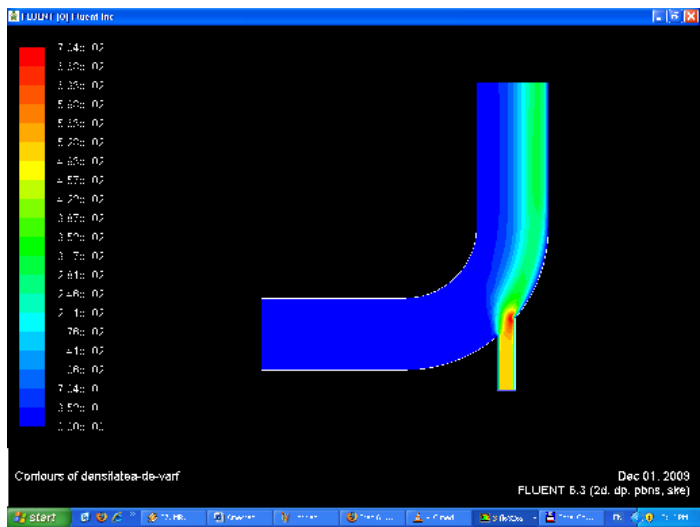
Pentru formula noastră am introdus **Static Density** și **Velocity Magnitude** (density și |V|). După ce suntem siguri ca formula este cea dorită, facem clic pe **Define** apoi **Close**.

Vom afișa acum conturul piesei în funcție de noua funcție definită. Pentru asta mergem în **Main Menu > Display > Contours**

unde vom selecta noua funcție, la **Custom Field Functions...**



Vom avea:



Se salvează soluția, din nou, ca un fișier dată:

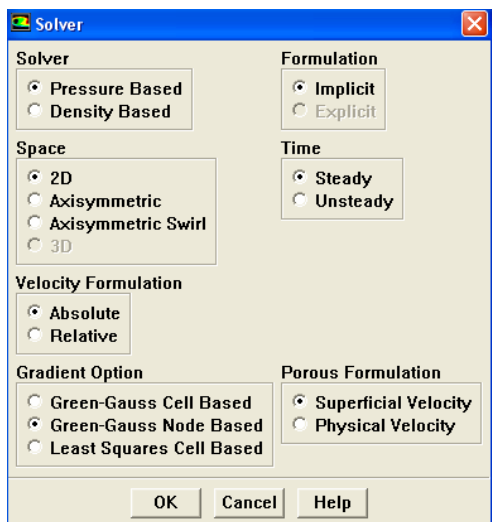
Main Menu > File > Write > Data...

Introducem la nume *tcot.dat* și vom scrie peste cel vechi.

Până acum discretizarea a fost de gradul întâi. În continuare vom rezolva problema folosind discretizarea de gradul II. Pentru asta definim întâi solverul din:

Main Menu > Define > Models > Solver

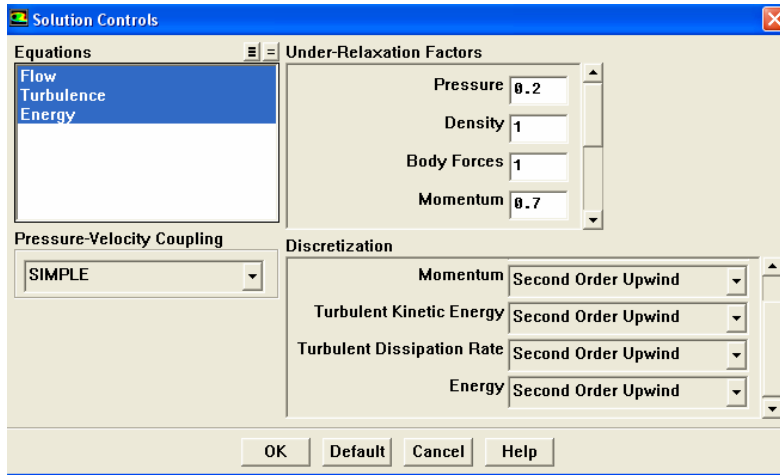
schimbând la **Gradient Option**, în loc de modelul **Green-Gauss Cell Based**, modelul **Green-Gauss Node Based** (a se citi în curs mai multe despre ele). Facem clic apoi pe **Ok**.



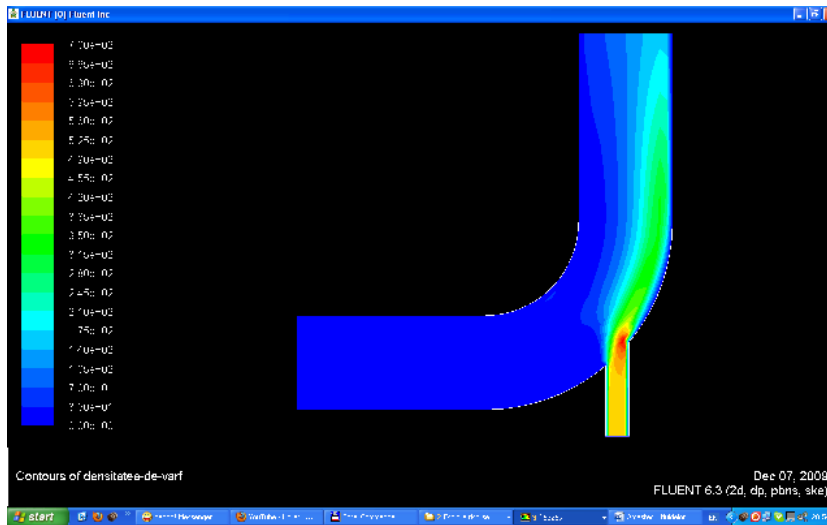
Iar acum definirea propriu-zisă a discretizării de gradul II, din

Main Menu > Solve > Controls > Solution

unde vom introduce, la **Momentum**, **Turbulent Kinetic Energy**, **Turbulent Dissipation Rate** și **Energy** soluția de discretizare **Second Order Upwind**. Vom da lista mai jos cu ajutorul săgeții de scroll din dreapta de unde vom schimba și **Energy**. Facem apoi clic pe **Ok**.



Vom face încă 100 de iterații și vom obține un profil cu o precizie mai mare:



**CONVECȚIE FORȚATĂ DE-A
LUNGUL UNEI PLĂCI**

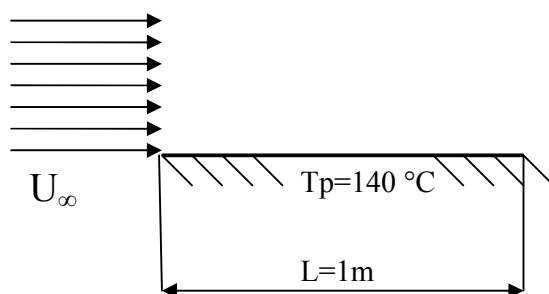
Specificațiile problemei:

1. Crearea geometriei în GAMBIT;
2. Mesharea geometriei în GAMBIT;
3. Specificarea tipurilor de limite în GAMBIT;
4. Implementarea problemei în FLUENT;
5. Rezolvarea;
6. Analiza rezultatelor;
7. Curățirea meshurilor;

Problema 1

Problema 2

Specificațiile problemei



Se consideră o placă de lățime infinită ce se află la temperatura de $150\text{ }^\circ\text{C}$. Profilul de viteză a fluidului este uniform la distanța $x = 0$. Temperatura fluidului care trece deasupra ei se află la temperatură de $80\text{ }^\circ\text{C}$. Ipoteza de incompresibilitate devine invalidă pentru diferențe mari de temperatură dintre placă și fluid. Din cauza asta, vom trata curgerea ca fiind compresibilă. Vom analiza o curgere în următoarele condiții:

$$Re_L = 1,5e6 \quad Pr = 0,71$$

Pentru a obține aceste condiții de curgere vom folosi următoarele:

$$U_\infty = 1\text{ m/s};$$

$$\mu = 6,667e-7\text{ Kg/m}\cdot\text{s};$$

$$k = 9,4505e-4\text{ W/m}\cdot\text{K};$$

$$C_p = 1006,43\text{ J/Kg}\cdot\text{K};$$

$$T_\infty = 80\text{ K};$$

$$P_\infty = 101325\text{ Pa}$$

Ținând cont de legea gazului ideal, temperatura și presiunea rezultă din următoarea formulă a densității:

$$\rho_{\infty} = \frac{P_{\infty}}{RT_{\infty}} = \frac{10132\text{Pa}}{287 \frac{\text{J}}{\text{Kg}\cdot\text{K}} \cdot 353\text{K}}$$

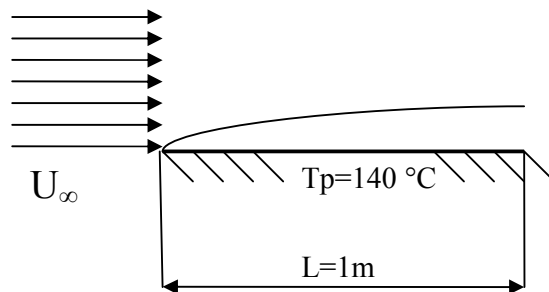
Aceste condiții de curgere nu reprezintă un fluid real ci sunt alese pentru a furniza constantele Prandtl și Reynolds specificate mai sus.

Rezolvați această problemă folosind programul de simulare FLUENT. Validați soluția prin afișarea valorii y^+ pe placă. Afișați apoi, pe rând, profilul de viteză la distanța $x = 1\text{m}$ și dependența dintre valorile Nusselt și Reynolds. Comparați rezultatele obținute folosind Fluent și corelațiile empirice.

Analiza preliminară

Ne așteptăm la o creștere a stratului limită corespunzător turbulenței de-a lungul plăcii. Odată cu creșterea grosimii stratului, rata transferului de căldură (q'') și implicit coeficientul termic (λ) vor scădea.

$$q''_x = \lambda_x (T_{\text{placă}} - T_{\infty})$$



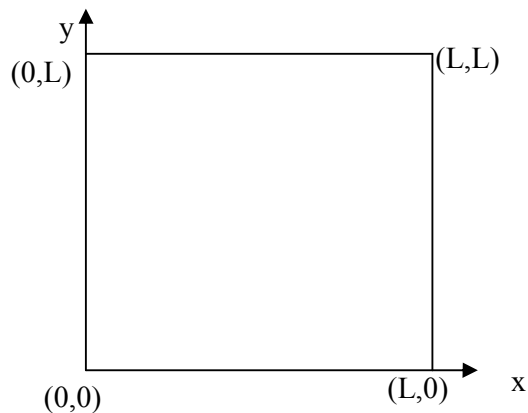
Vom compara rezultatele numerice cu corelațiile transferului termic derivate experimental. Vom crea geometria pe care o vom mesha în Gambit, o vom citi cu ajutorul programului Fluent, apoi vom rezolva problema.

► PASUL 1: CREAREA GEOMETRIEI ÎN GAMBIT.

Strategii pentru crearea geometriei.

Pentru a crea geometria pentru câmpul de curgere trebuie să considerăm modelul necesar pentru a crea o curgere aproximativ reală. Un strat limită crește de-a lungul plăcii care trebuie să satisfacă condiția de „anti alunecare”. Viteza curgerii la nivelul plăcii trebuie să fie 0. Avem nevoie de continuitate pentru ca această condiție să genereze viteză normală (de-a lungul axei Y). Deși viteza normală este mai mică decât viteza longitudinală (de-a lungul axei X) ea afectează dramatic soluția dacă nu se ia în considerație când construim geometria curgerii.

Vom fixa originea sistemului de coordonate în colțul stâng, jos al dreptunghiului care definește câmpul de curgere. Coordonatele colțurilor sunt prezentate în figura de mai jos:



Vom crea pentru început patru puncte adiacente corespunzătoare celor patru colțuri pentru ca apoi să creăm laturile dreptunghiului. După aceasta vom crea fața care cuprinde suprafața dreptunghiului.

Crearea unui folder de lucru

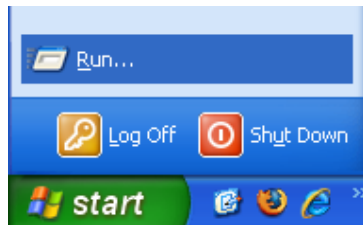
Creați un folder numit „placa”. Vom folosi acest folder ca fiind folderul de lucru în care se vom păstra toate fișierele.

Pornirea GAMBIT-ului

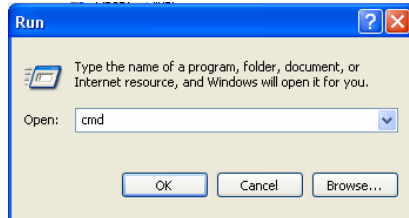
Se inițializează prompterul de comenzi

Start > Run

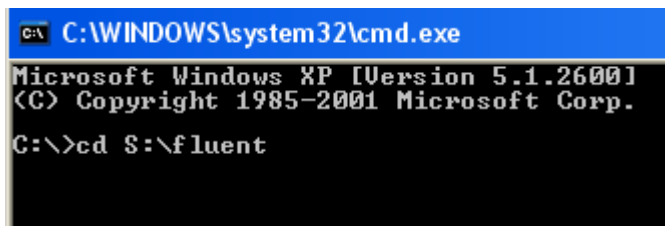
Laborator 5. Convecție forțată de-a lungul unei plăci



Pentru Window NT/2000/XP: Se scrie *cmd* apoi se apasă **OK**



După aceasta, intrați în folderul de lucru. De exemplu, dacă folderul creat, numit *fluent* pe partiția S: în Windows, executați *cd S:\fluent*

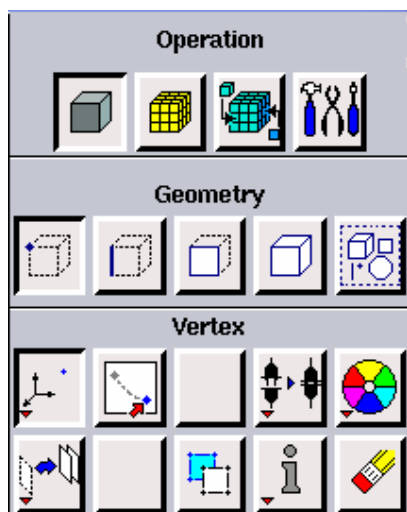


Interfața GAMBIT arată astfel:

- **Bara meniului principal:**

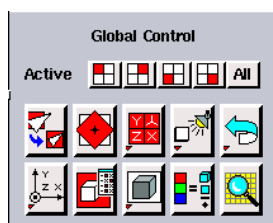




- **Meniul instrumentelor**



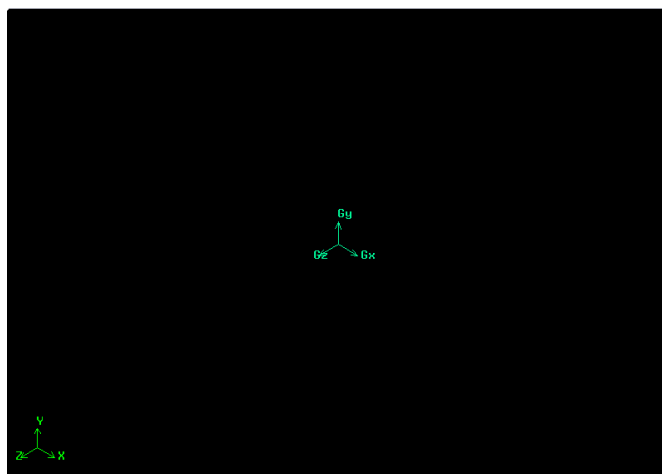
Vom folosi acest meniu mai mult sau mai puțin de-a lungul creării geometriilor. Se poate observa că fiecare meniu principal are sub-meniuri.

- **Meniul de control**



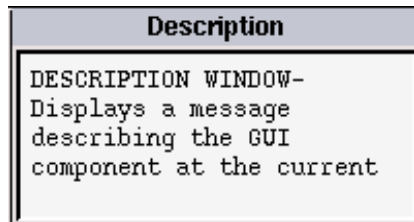
Meniul de control are opțiuni precum „Fit to Screen”  și „Undo”  care sunt foarte des utilizate în timpul creării geometriei precum și a meshurilor.

- **Fereastra de lucru:**



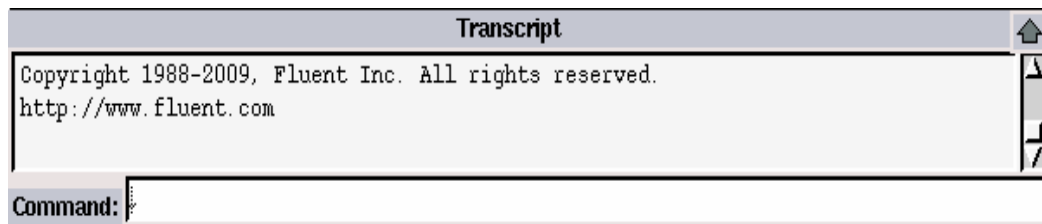
Aceasta este fereastra unde se pot observa grafic toate operațiile pe care le executăm.

- **Panoul de descriere**



Panoul de descriere conține descrierile butoanelor sau obiectelor peste care mișcăm cursorul mouseului. Mișcând mouseul peste butoate, putem observa aceste descrieri.

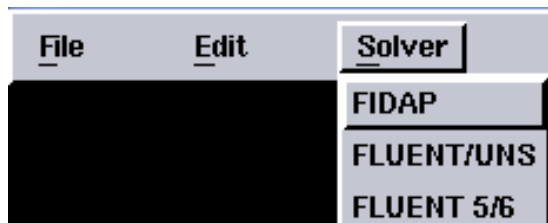
- **Fereastra de transcriere a comenzilor**



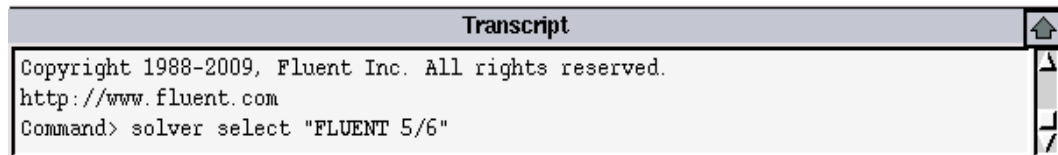
Aceasta este fereastra în care se scriu comenzile în Gambit și în care se pot șterge/corecta. Dacă nu suntem siguri ca am apăsat butonul corect sau am greșit comanda, aici se poate monitoriza. Se poate mări fereastra prin apăsarea săgeții din partea de sus, dreapta iar pentru a reveni la dimensiunile inițiale, se apasă din nou.

Selectarea Solverului

Main Menu > Solver > Fluent 5/6






Se verifică apoi dacă s-a activat, în fereastra de transcriere a comenzilor.



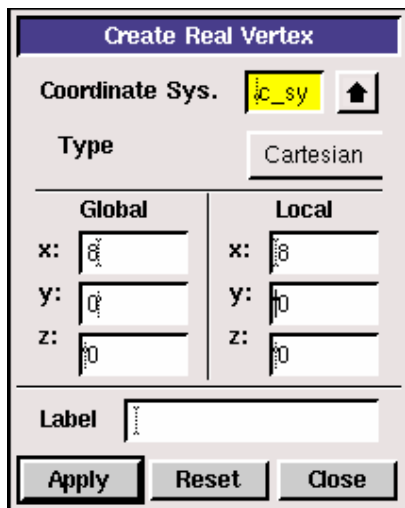
Construcția punctelor (vertexurilor)

Se construiesc din meniul instrumentelor urmând următorii pași:

Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Vertex Command Button  > Create Vertex 

Următorul pas este introducerea coordonatelor. Vom începe prin crearea unui vertex în colțul stânga jos a dreptunghiului:

În dreptul lui **x**: vom introduce valoarea 0. În dreptul lui **y**: de asemenea 0 iar la **z**: tot valoarea 0 (din cauză că avem o problemă bidimensională). Apoi se face clic pe „**Apply**”. Aceste valori au creat vertexul care are coordonatele (0,0,0). În figura de mai jos se observă grafic aceste valori:



În fereastra de transcriere a comenzilor, Gambit-ul ne afișează comanda de creare a vertexului „Created vertex: vertex.1”. Vertexurile sunt numerotate consecutiv: vertex.1, vertex.2 etc.; în ordinea în care au fost create.

Repetăm apoi acest proces pentru a crea celelalte trei vertexuri:

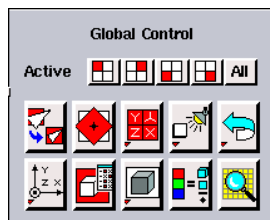
Vertexul 2: (1,0,0)

Vertexul 3: (1,1,0)

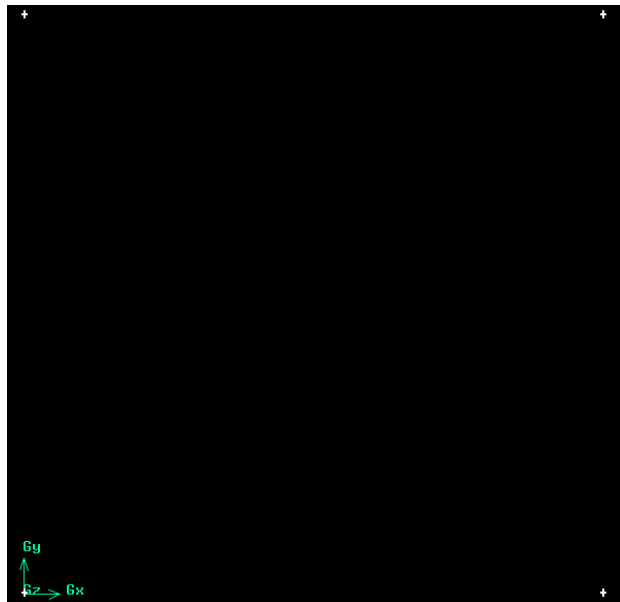
Vertexul 4: (0,1,0)

Apoi, pentru a putea încadra toate puncte în ecran, vom folosi comanda „Fit to window”.

Operation Toolpad > Global Control > Fit to Window Button 



Acum putem observa pe ecran toate cele patru puncte.



Construcția laturilor

În continuare vom conecta perechi apropiate de vertexuri pentru a crea laturile:

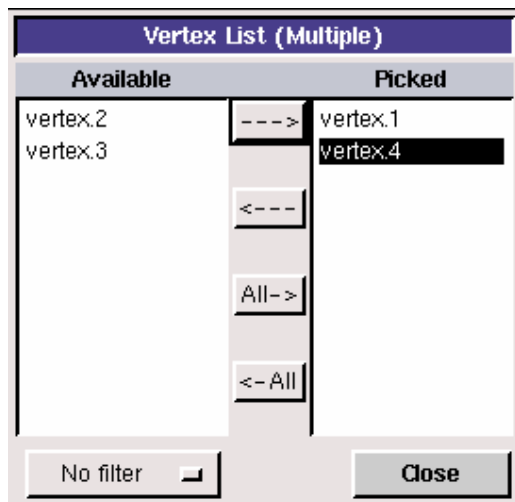
Operation Toolpad > Geometry Command Button  **> Edge Command Button**



Pentru selectarea unui obiect în Gambit, se ține buton **SHIFT** de la tastatură și apoi se selectează. Se pot face astfel selecta mai multe obiecte. În cazul nostru, vom selecta, pe rând, vertexurile. Pe măsură ce selectăm vertexurile, pe ecran ele vor apărea de culoare roșie (pot apărea și de altă culoare, în funcție de setările culorilor – standard este roșie). Făcând click pe săgeata în sus din meniu, o mică fereastră se va deschide.

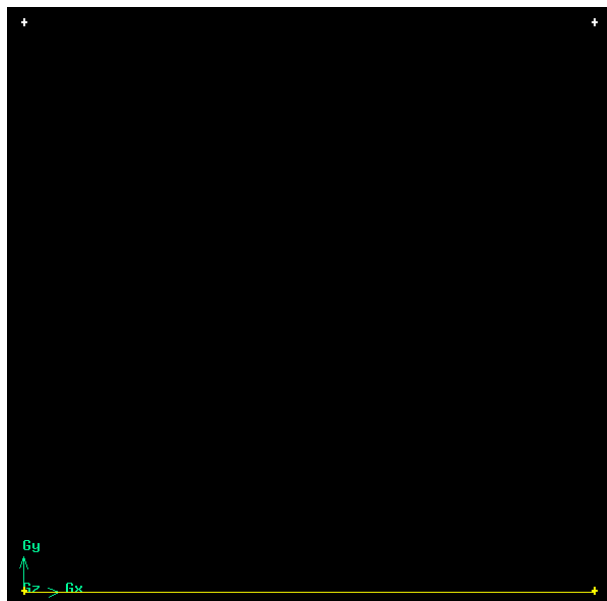


În această mini-fereastră vom observa vertexurile selectate. Ele pot fi mutate din stânga, unde sunt cele disponibile (**Available**) spre dreapta, unde sunt cele selectate (**Picked**) și invers. Procesul de mutare se poate face simplu cu ajutorul săgeților (---> și <---).



După ce au fost selectate vertexurile corecte, se închide mini-fereastra făcând click pe butonul **Close** apoi **Apply** din meniul de creare a laturilor.

Pe ecran va apărea următoarea imagine:



Se repetă aceiași pași pentru crearea celorlalte laturi.

Construcția fețelor

Operation Toolpad > Geometry Command Button  > Face Command Button 

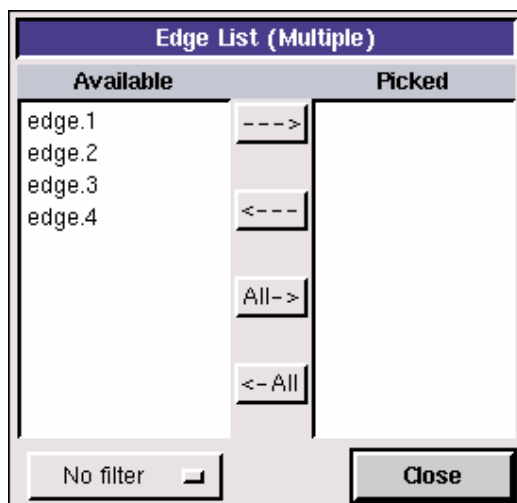
> Form Face 

Pentru a construi o față înscrisă de patru laturi trebuie să selectăm cele patru laturi care formează suprafața. Aceasta se poate face tot cu ajutorul tastei **SHIFT**, selectând pe rând fiecare latură (putem observa că liniile selectate apar de culoare roșie). După ce s-au selectat cele patru laturi, se ia mâna de pe tastă.

Sau, mai simplu, se face clic pe săgeata în sus care deschide o alta mini-fereastră în care avem de această dată laturile.



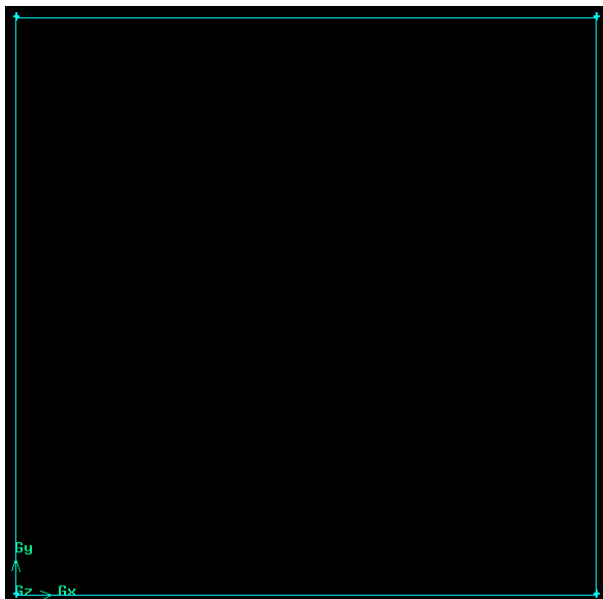
Iar mini-fereastra arată ca în figura de mai jos.



Se trec apoi toate din stânga în dreapta prin simplu clic pe **All→**. Se închide apoi mini-fereastra făcând clic pe **Close** apoi **Apply**.

Avem:

Laborator 5. Convecție forțată de-a lungul unei plăci



PASUL 2: GEOMETRIA MESHURILOR ÎN GAMBIT

Vom mesha o față a dreptunghiului cu 30 de diviziuni în direcția longitudinală și 100 în diviziuni pe direcția normală pe placă. Pentru început vom mesha cele patru laturi apoi fața. Spațiul dintre grile este specificat de către meshul feței.

Mesharea laturilor

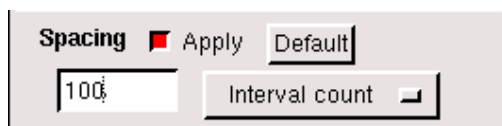
Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Edge Command Button  >

Mesh Edges 

Este de dorit o densitate mai mare a meshurile în zona adiacentă plăcii deoarece avem condiții la limită pentru turbulență pe un strat foarte subțire în comparație cu restul geometriei de reprezentare a curgerii.

Din nou selectăm cu ajutorul tastei **SHIFT** sau din meniu laturile verticale. Dacă în fereastra grafică nu se observă bine aceste linii, putem mări ținând apăsată tasta **CTRL** apoi click pe zona pe care vrem să o mărim. Dacă s-a mărit prea mult, se poate reveni folosind „Fit to Window”.

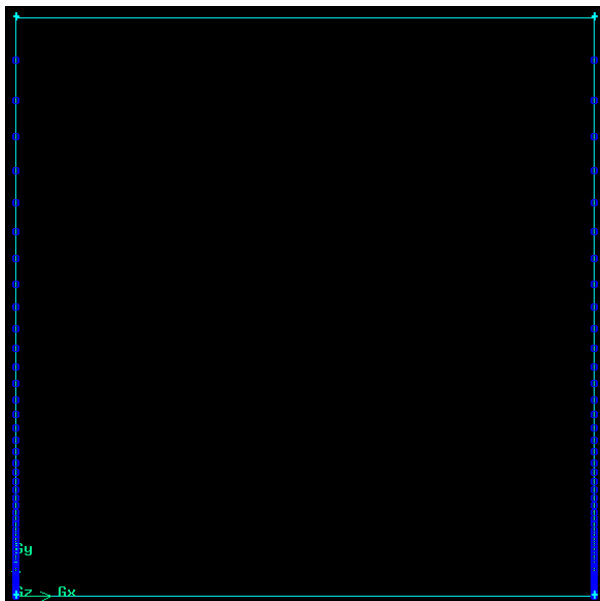
După ce am selectat una dintre laturile verticale, o vom diviza folosind „**Interval Count**” din butonul pe care scrie „**Interval Size**” din cadrul meniului de meshare a laturilor, dând valoarea 1,08 la **Ratio**. Apoi, în stânga se va trece numărul de diviziuni (în cazul nostru 100). De altfel, ne vom asigura și că săgeata care indică direcția de meshare va fi în sus. În cazul în care nu este așa vom da din meniu **Reverse** sau facem clic pe roțița mouseului în timp ce ținem apăsată tasta **Shift**.



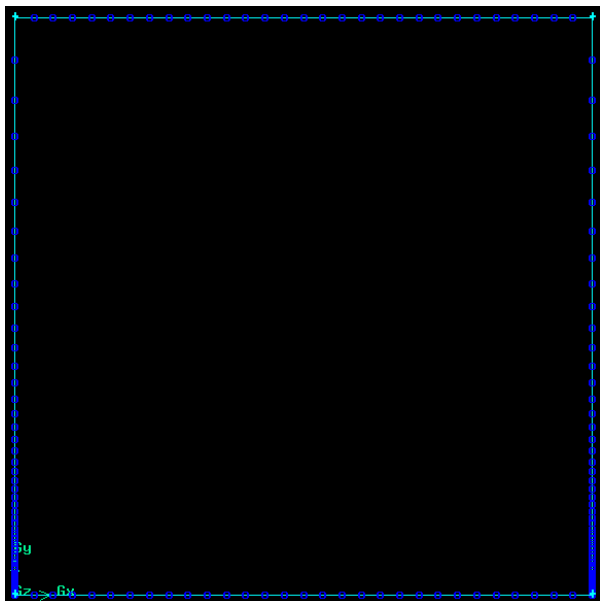
Apoi se face clic pe **Apply**.

Se selectează apoi cealaltă latură și se urmează aceiași pași de meshare.

Avem o imagine ca în figura de mai jos:



Meshăm apoi laturile orizontale împărțindu-le în 30 de unități. Folosim aceiași pași ca și pentru meșharea fețelor verticale dar de această dată vom avea la **Ratio** valoarea 1 iar la **Interval Count** valoarea 30. Avem:



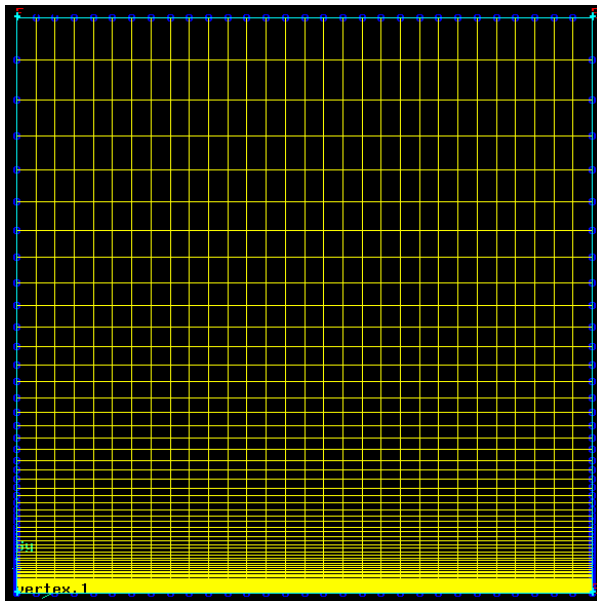
După ce am meshuit laturile putem crea meshuirea bidimensională a feței.

Mesharea feței

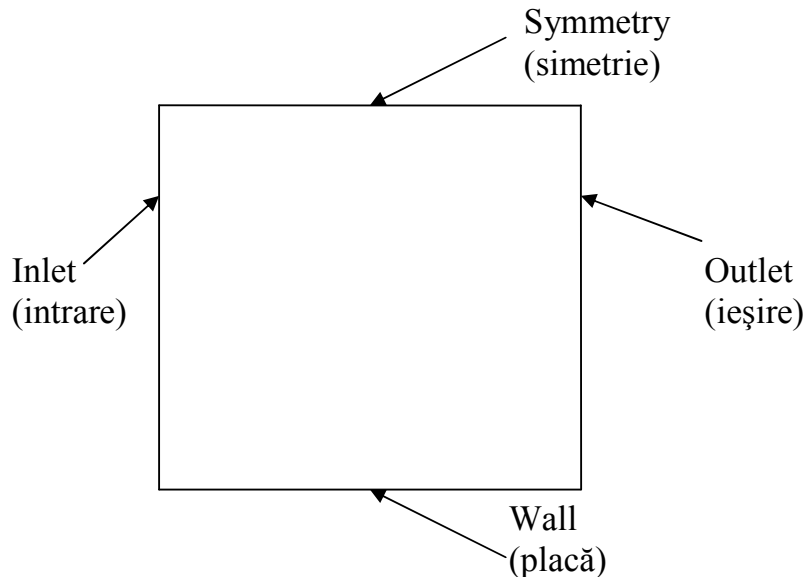
Operation Toolpad > Mesh Command Button  > Face Command Button  >

Mesh Face 

Se selectează apoi fața, cu ajutorul săgeții sau tastei **SHIFT** după care se face clic pe **Apply**



➡ PASUL 3: SPECIFICAREA TIPURILOR DE LIMITĂ



Definirea tipurilor de limită

După cum se observă și în figura de mai sus, vom defini tipurile de limite. Astfel, latura din stânga va fi intrarea în conductă, latura din dreapta ieșirea, cea de sus o definim ca fiind perete iar cea de jos ca axa.

Operation **Toopad > Zones Command Button**  **> Specify Boundary Types**

Command Button 

Aceasta va deschide meniul de specificare a tipurilor de limită. Prima dată vom specifica că latura din dreapta este intrarea. La „**Entity:**” vom face clic pe Edges pentru ca Gambitul să știe că vrem să selectăm o latură.



Vom selecta latura din stânga după care se face clic pe **Apply**. Apoi, la **Name:** vom pune *inlet* iar la **Type:** vom alege *VELOCITY_INLET*, urmat de **Apply**.

Repetăm aceiași pași și pentru celelalte laturi, respectând tabelul:

POZIȚIA LATUREI	NUMELE	TIPUL
Stânga	intrare	VELOCITY_INLET
Dreapta	iesire	PRESSURE_OUTLET
Sus	simetrie	SYMMETRY
Jos	placa	WALL

La final vom avea următoarele:

Name	Type
intrare	VELOCITY_INLE
iesire	PRESSURE_OUT
simetrie	SYMMETRY
placa	WALL

Salvarea lucrului și Exportul

Main Menu > File > Save

Main Menu > File > Export > Mesh

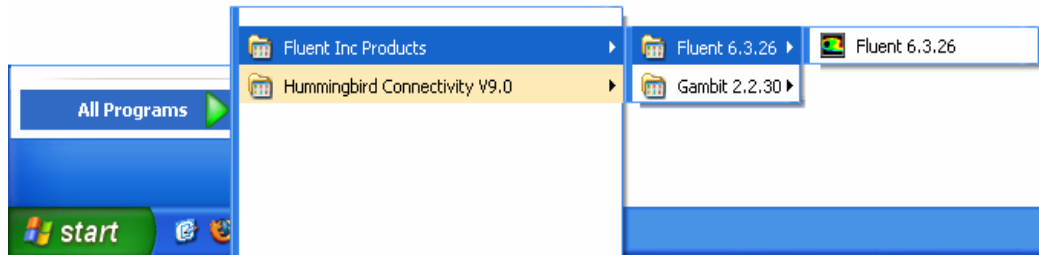
Scriem *pipe.msh* la **File Name:**, apoi selectăm **Export 2d Mesh** deoarece este un mesh bidimensional. În final, clic **Accept**.

Verificăm dacă *placa.msh* a fost creat în folderul de lucru.


PASUL 4: SETAREA PROBLEMEI ÎN FLUENT

Se deschide fluentul:

Start > All Programs > Fluent Inc Products > Fluent x.x.xx > Fluent x.x.xx



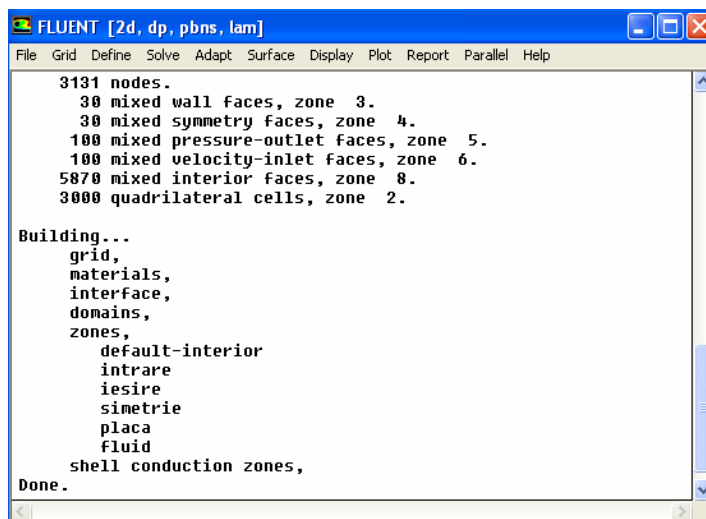
Selectăm 2ddp din listă apoi **Run**

 „2ddp” este folosit atunci când folosim un solver bidimensional, de precizie dublă. În solverul de precizie dublă fiecare număr este reprezentat folosind 64 biți, în contrast cu solverul de precizie simplă care folosește 32 biți. Numărul mare de biți crește precizia dar și ordinul de mărime care poate fi reprezentat. Dezavantajul este că pentru astfel de solver avem nevoie de mai multă memorie.

Importul grilei

Main Menu > File > Read > Case...

Cazul se deschide din folderul de lucru de unde se selectează placa.msh. Acest este fișierul care a fost creat de preprocesorul Gambit în pasul anterior. Fluentul expune meshurile exact cum sunt ele scrise în Gambit.



Verificăm numărul de noduri, fețe (de diferite tipuri) și celule. În cazul nostru avem 500 celule patrulatere. Acesta este numărul la care era normal să ne așteptăm din moment ce

aveam 30 diviziuni în direcția radială și 100 de diviziuni în direcția axială atunci când am construit grila, deci numărul total de celule este $30 \cdot 100 = 3000$.

De altfel, dacă privim la zone, avem inlet, wall, outlet și centerline.

Verificarea și afișarea grilei

Pentru început se verifică grila pentru a fi siguri că nu sunt erori.

a) Verificarea grilei se face din

Main Menu > Grid > Check

Orice eroare întâlnită va fi reportată imediat. Verificăm apoi ieșirea pentru a fi siguri că nici acolo nu avem erori. Apoi se face verificarea dimensiunii grilei:

Main Menu > Grid > Info > Size

Aceasta arată ca în figura de mai jos:

```
Grid Size
Level      Cells      Faces      Nodes      Partitions
  0         3000       6130       3131         1
1 cell zone, 5 face zones.
```

b) Afișarea grilei se face din:

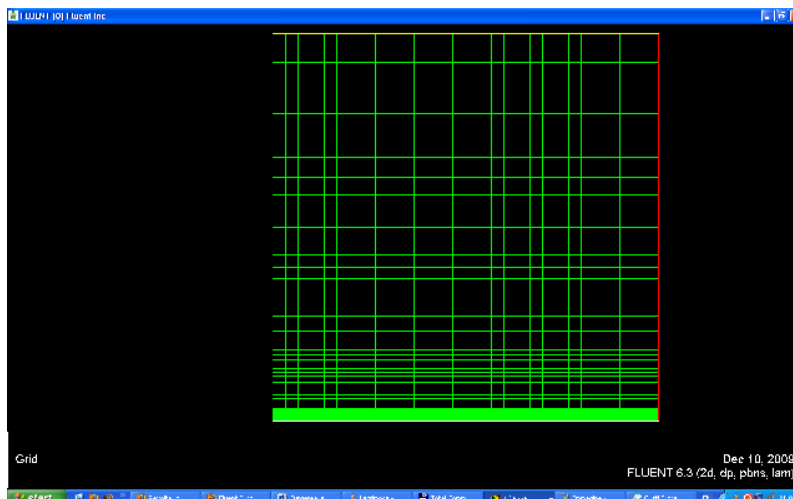
Main Menu > Display > Grid

Trebuie să ne asigurăm că toate suprafețele (**Surfaces**) sunt selectate. Apoi facem clic pe **Display**. O nouă fereastră în care vom observa grila se va deschide. Se va închide apoi făcând clic pe **Close**.

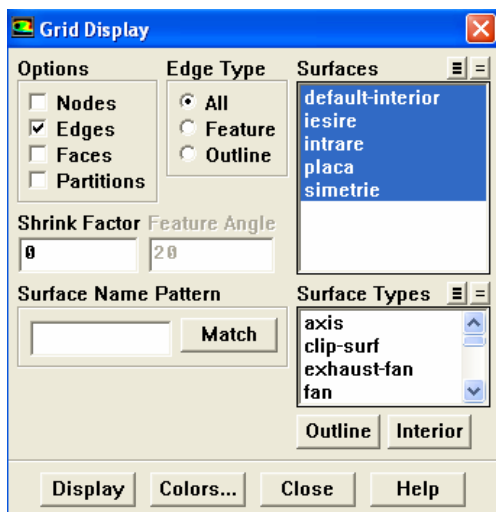
Operațiile disponibile în fereastra de grid sunt:


- **Translația:** Gridul poate fi mutat în orice direcție, ținând apăsat clic stanga și mișcând mouseul;
- **Mărirea:** Aceasta se poate face ținând apăsată roțița mouseului după care se mișcă din stânga spre dreapta.
- **Micșorarea:** Aceasta se poate face ținând apăsată roțița mouseului după care se mișcă din dreapta spre stânga.

Mărirea grilei arată ca în figura de mai jos:



Putem să vizualizăm și anumite părți ale grilei alegând din lista de suprafețe. Se face clic din nou pe **Display** și apoi se vizualizează părțile selectate. De exemplu: wall, outlet și centerline.

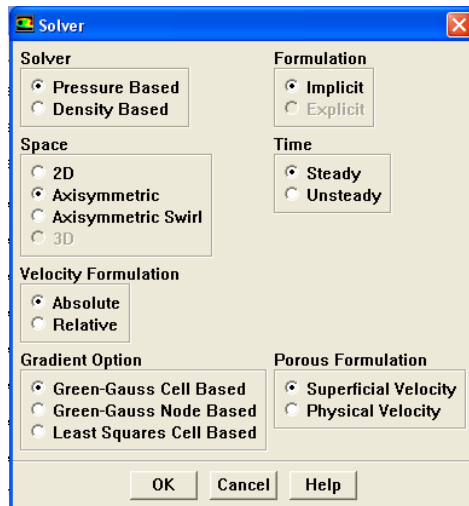


În cazul în care avem mai multe limite, putem să le selectăm sau să le deselectăm pe toate folosind butoanele  de lângă **Surfaces**.

Difinirea proprietăților solverului

Main Menu > Define > Models > Solver

Vom alege **Axisymmetric** din lista de sub **Space**. Vom folosi setările prestabilite ale solverului segregat, formulare implicită, curgere staționară și viteză absolută.



Main Menu > Define > Models > Viscous

La **Model** vom selecta modelul cu care ne-am obișnuit deja și anume modelul de turbulență **k-epsilon**. Vom folosi în cadrul acestui model, tipul **Realizable** (realizabil). Modelul **Realizable k-epsilon** are o precizie mai ridicată pentru stratul limită de curgere decât modelul **Standard**. În căsuța **Near-Wall Treatment** (tratament adiacent peretelui) selectăm **Enhanced Wall Treatment** (tratament intensificat al peretelui) care are o rezoluție mai mare a stratului limită în modelul ales. Sunt trei regiuni în stratul limită:

1. Laminar sublayer (substrat laminar) ($y^+ < 5$)
2. Buffer region (regiunea tranzitivă) ($5 < y^+ < 30$)
3. Turbulet region (regiune turbulentă) ($y^+ > 30$)

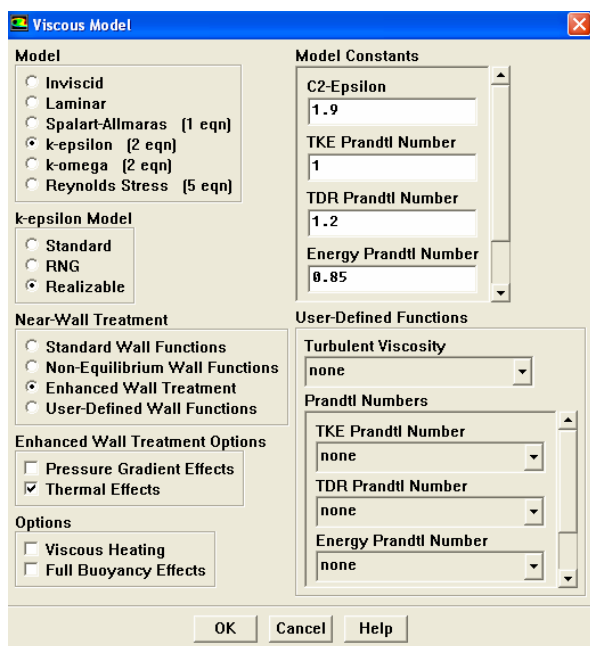
y^+ este o distanță adimensională dependentă de mesh care cuantifică gradul în care stratul adiacent peretelui este rezolvat. Opțiunea de tratament intensificat pe lângă perete (**Enhanced Wall Treatment**) servește o rezolvare mai precisă a stratului limită în cazul în care meshul este suficient de bun pentru rezolvarea regiunii turbulente ($y^+ > 30$). Tot această opțiune mărește precizia meshului care poate rezolvat doar în zona de tranziție ($5 < y^+ < 30$). Oricum, soluția cu valoarea y^+ în zona de tranziție sunt, în general, mai puțin precisă decât dacă soluția este rezolvată în una dintre celelalte două regiuni. A se consulta și fișa de documentare, capitolul 10.9, **Grid Consideration for Turbulent Flow Simulation** (Conșiderații ale ochiurilor de rețea pentru simularea curgerii turbulente) pentru mai multe detalii.

Pentru meshul nostru, Fluentul va rezolva substratul laminar, deci tratamentul de intensificare la pereți nu mărește precizia soluției cu meshul nostru. Dar diferența va fi sesizabilă în cadrul Pasului 7 când vom folosi mesh mai fin. Grosimea stratului limită este

semnificativ mai mică decât lungimea câmpului de curgere. Rezolvarea soluției în substratul laminar este dificilă, în special în tipul de curgere în care numărul lui Reynolds este mare. Rezolvarea zonei turbulente este de cele mai multe ori singura opțiune rezonabilă. Deci, este bine să folosim întotdeauna **Enhanced Wall Treatment** atunci când lucrăm cu stratul limită. Chiar dacă nu este necesar în meshul nostru, va fi indispensabil pentru meshul mai puțin fin.

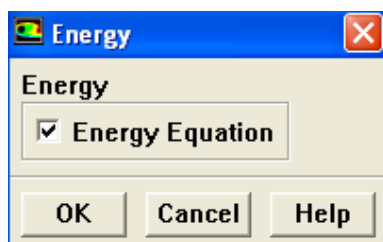
Selectăm **Thermal Effects** (efect termic) mai jos pentru a include termenii termici în ecuația tratamentului intensificat de la pereți.

Valorile de sub **Model Constant** (constantele modelului) sunt cele corespunzătoare ecuației de turbulență **k-epsilon**. Aceste valori sunt valabile pentru o multe cazuri de curgeri adiacente pereților. Nu vom modifica nimic aici.



Main Menu > Define > Models > Energy

Deoarece avem transfer de căldură, vom activa ecuația energiei.



Facem apoi clic pe **Ok**.

Definirea proprietăților materialelor

Main Menu > Define > Materials...

Vom modifica:

Densitatea > luăm modelul unui gaz ideal (**ideal-gas**);

Căldură specifică > valoarea constantă 1006,43

Conductivitate termică > valoarea constantă 0,00094505

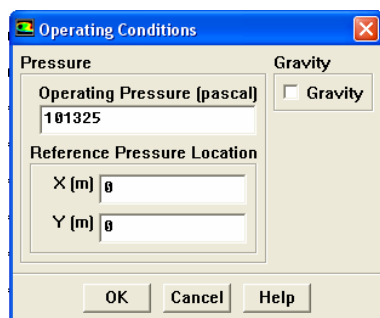
Viscozitate > valoarea constantă 6,667e-07

Apoi facem clic pe **Change/Create**.

Definirea condițiilor de operare

Main Menu > Define > Operating Conditions

Pentru toate curgerile, Fluentul folosește măsura presiunii interioare. De fiecare dată când este nevoie de presiunea absolută, ea este generată prin adăugarea presiunii de operare la presiunea măsurată. Vom folosi valoarea predefinită de 1 atm. (101,325 Pa) ca presiune de operare.

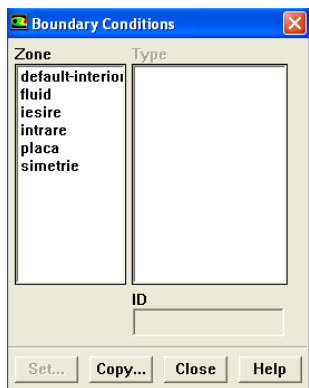


Definirea condițiilor la limită

Vom stabili în continuare valoarea vitezei la intrare și a presiunii la ieșire.

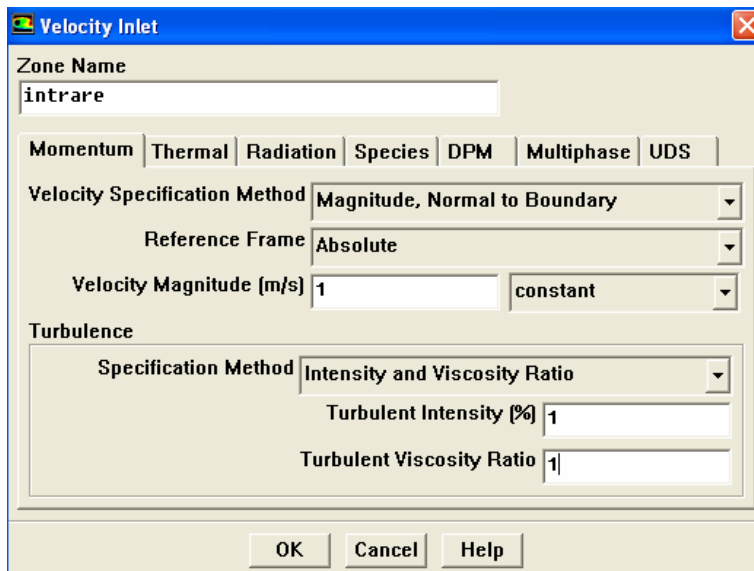
Main Menu > Define > Boundary Conditions...

Observăm în partea stângă șase tipuri de limită dintre care patru sunt definite de noi iar două sunt alocate automat (*default-interior* și *fluid*) utilizate pentru definirea interiorului câmpului de curgere. Nu vom schimba nimic la aceste două zone.

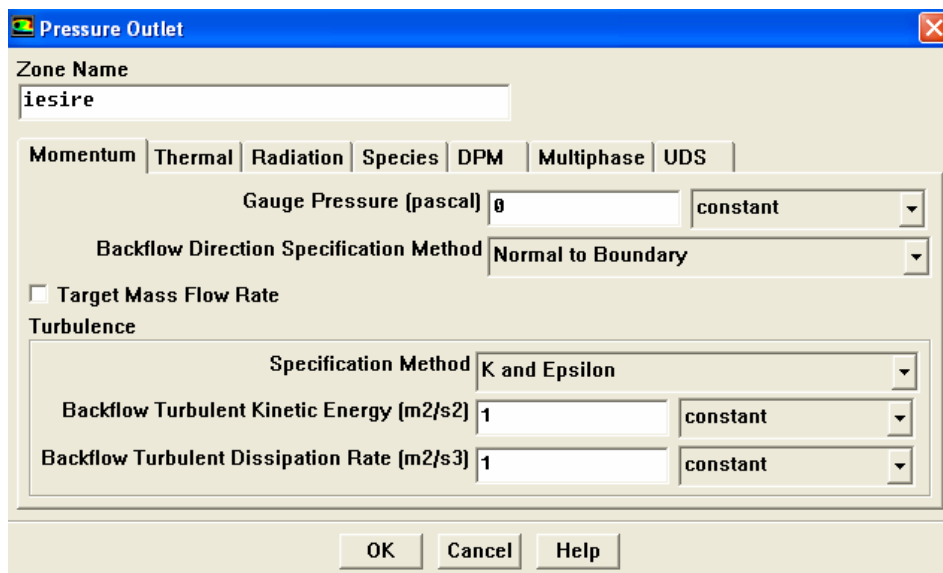


Selectăm *intrare*. Observăm că Fluentul recunoaște tipul de limită pe care l-am selectat din Gambit și anume **velocity_inlet**. Dacă este necesar putem schimba tipul de limită stabilit în Gambit direct din Fluent. În continuare selectăm **velocity_inlet** apoi facem clic pe **Set...** pentru a introduce parametrii.

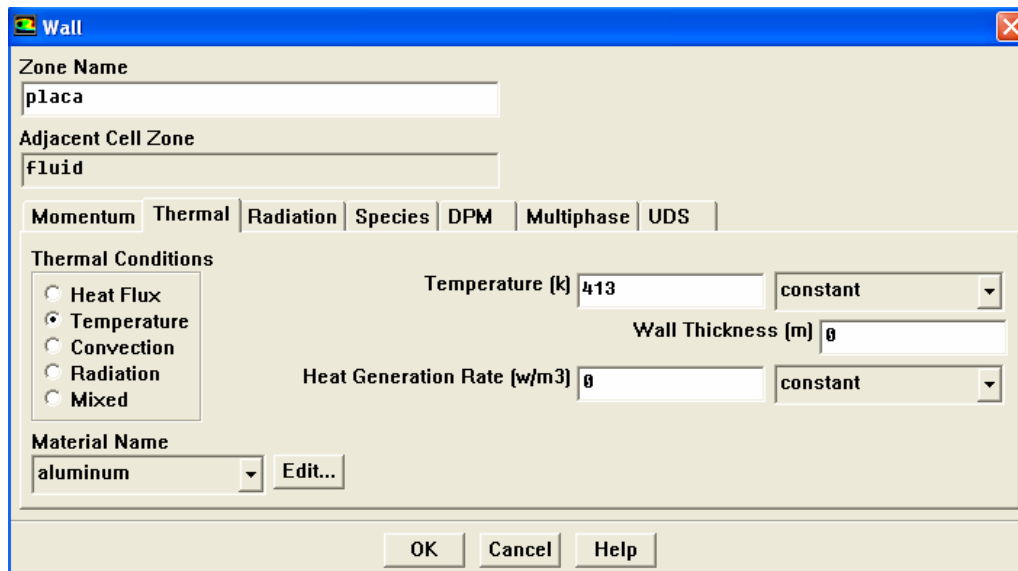
La **Velocity Magnitude** vom introduce valoarea 1. La **Turbulence Specification Method** (Metoda de specificare a turbulenței) vom selecta **Intensity and Viscosity Ratio** (Intensitatea și rata viscozității) iar mai jos, vom avea în ambele căsuțe valoarea 1. Atât la **Turbulence Intensity** (Intensitatea turbulenței) cât și la **Turbulent Viscosity Ratio** (Rata viscozității turbulenței). Apoi, în bara de sus avem **Thermal**. Vom specifica aici temperatura de intrare și anume 353 K. Facem apoi clic pe **Ok**.



În continuare selectăm *iesire*. Observăm tipul de limită și anume **pressure-outlet**. Facem clic pe **Set...** Valoarea predefinită a presiunii (**Gauge Pressure**) este 0. Presiunea absolută la ieșire este de 1atm. Deoarece avem stabilită presiunea de operare (din **Operating Conditions**) avem: presiunea la ieșire (**Gauge Pressure**) = presiunea absolută – presiunea de operare = 0. Lăsăm totul prestabilit și dăm clic pe **Cancel**.



În final selectăm **placa** și ne asigurăm că tipul acestei limite este tot **wall** (perete). Deoarece trebuie să încălzim o placă încălzită izoterm trebuie să introducem temperatura. Mergem la **Thermal** iar în lista de la **Thermal Conditions** (condiții termice) selectăm **Temperature** iar în dreapta vom introduce, la Temperature, valoarea 413. Facem clic apoi pe **Ok** pentru validare.



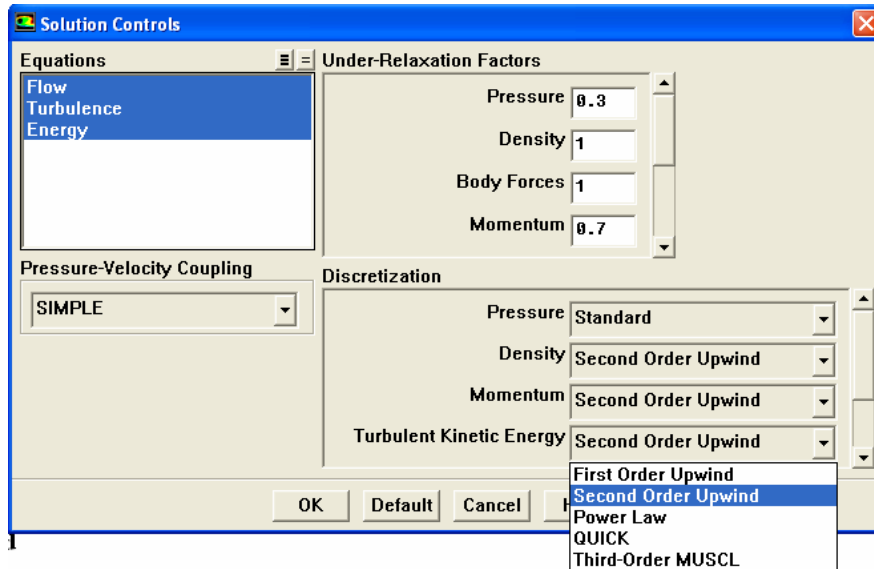
Închidem fereastra condițiilor la limită.

► PASUL 5: REZOLVAREA

Vom folosi o schemă de discretizare de ordinul doi.

Main Menu > Solve > Controls > Solution...

Schimbăm valoarea momentului din ordinul I în ordinul II (Second Order Upwind)



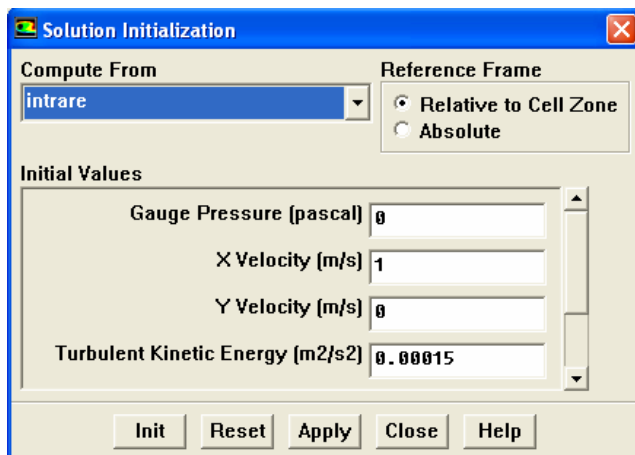
Schimbăm la **Density**, **Momentum**, **Turbulent Kinetic Energy**, **Turbulent Dissipation Rate** și **Energy** tipul de discretizare, din **First Order Upwind** (discretizare de gradul I) în **Second Order Upwind** (discretizare de gradul II). Lăsăm celălalte cu valorile prestabilite.

Se face prima presupunere

Se inițializează câmpul curgerii cu valorile de la intrare:

Main Menu > Solve > Initialize...

În meniul **Solution Initialization** la **Compute From** vom alege **intrare**. Viteza de-a lungul axei X pentru toate celulele va fi setată la 1 m/s iar cea de-a lungul axei Y va fi 0 m/s. Aceste valori au fost luate de la condițiile limită la intrare.



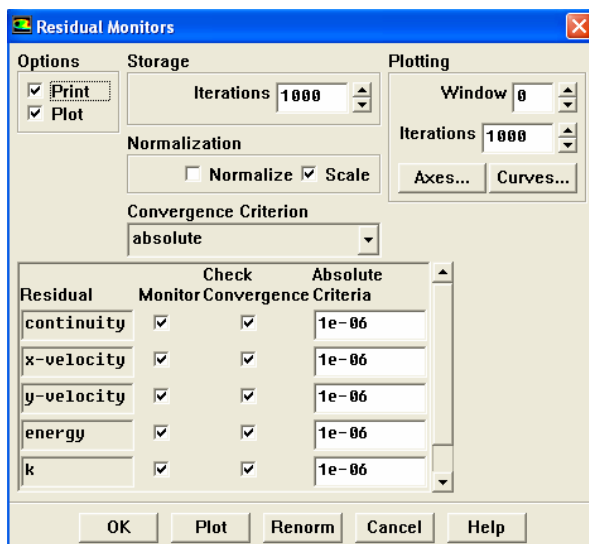
Facem clic pe **Init** pentru a inițializa, apoi **Apply** și, în final, **Close**.


Setarea crierului ce convergență

Fluentul face raportul la reziduul pentru fiecare ecuație ce urmează a fi rezolvată. Reziduul este măsura la cât de mult satisface soluția curentă forma discretizantă a fiecărei ecuații ce guvernează. Vom itera soluția până când reziduul fiecărei ecuații scade sub $1 \cdot 10^{-6}$.

Main Menu > Solve > Monitors > Residual...

Schimbăm reziduul pentru **continuity**, **x-velocity**, **y-velocity**, **energy**, **k** și **epsilon**, toate cu valoarea $1e-6$. După aceasta, pentru vizualizare, se face clic pe **Plot**. Acesta va face graficul reziduurilor în fereastra grafică după cum sunt ele calculate. **Print** face ca pe ecranul principal al programului să apară calculele făcute pas-cu-pas de către program (a nu se face confuzia cu **Print** folosit pentru imprimare).



 Dacă vă apar erori de tipul “**Error: FLUENT received a fatal signal (SEGMENTATION VIOLATION)**” sau „**Error: floating point error: divide by zero**” înseamnă că placa video este configurată pentru funcționarea calculatorului cu viteză și nu pentru performanță. Consultați un expert pentru soluționarea unei astfel de probleme.

Am terminat specificațiile problemei. Salvăm totul:

Main Menu > File > Write > Case...

Salvăm cu numele *placa.cas* pentru fișierele de tip case. Verificăm apoi dacă s-a salvat în folderul de lucru. Dacă închidem Fluent-ul acum, putem continua cu tot ceea ce am stabilit până acum.

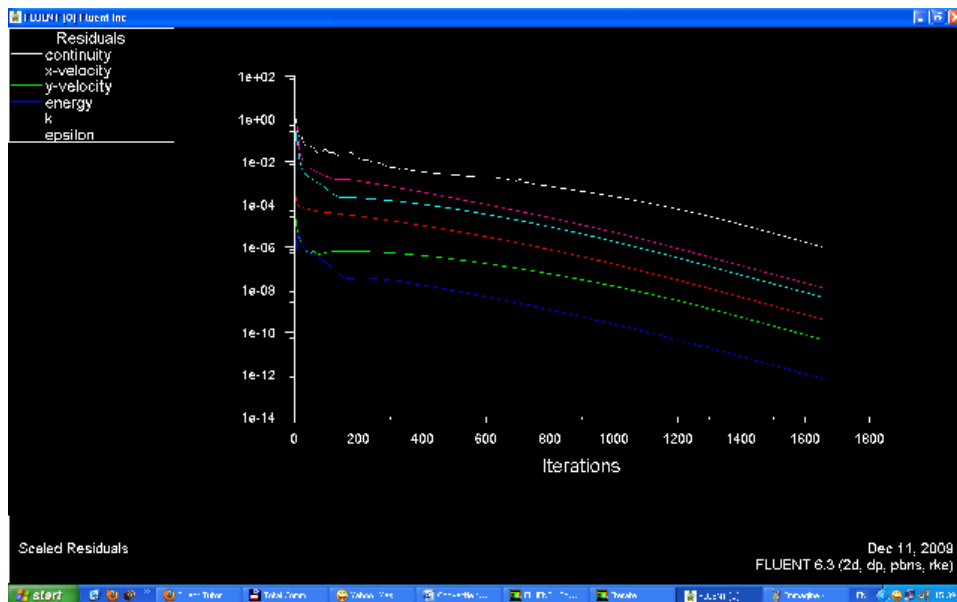
Iterăm până la convergență

Vom porni calcularea făcând 10000 de iterații:

Main Menu > Solve > Iterate

În fereastra de iterații (**Iterate Window**) schimbăm numărul de iterații de la 1 la 10000 apoi facem click pe **Iterate**.

Reziduurile pentru fiecare iterație sunt afișate și listate în fereastra de grafice după cum sunt ele calculate.



Reziduurile ajung la criteriul de convergență specificat ($1 \cdot 10^{-6}$) la 46 de iterații.

```
1651 1.0099e-06 4.1253e-10 4.5475e-11 6.4672e-13 4.4979e-09 1.2443e-08
! 1652 solution is converged
1652 9.9785e-07 4.0874e-10 4.5056e-11 6.6530e-13 4.4568e-09 1.2329e-08
```

Se salvează soluția ca un fișier dată:

Main Menu > File > Write > Data...

Introducem la nume *placa.dat*. Din nou, se verifică dacă fișierul a fost salvat în folderul de lucru. Din acest moment se pot determina soluțiile de fiecare dată folosind acest fișier.

PASUL 6: ANALIZA REZULTATELOR

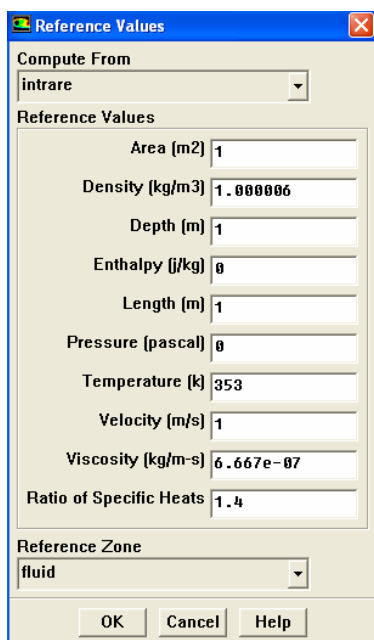
y^+

Curgerile turbulente sunt afectate semnificativ de prezența pereților. Validitatea modelului de turbulență **k-epsilon** este independentă de ochiurile de rețea îndepărtat pereților dar are nevoie de verificare pentru a ne asigura că este valid adiacent pereților. Modelul adiacent peretelui este dependent de rezoluția ochiurilor de rețea care este atribuit unității y^+ , după cum am discutat și în Pasul 4.

Pentru început este nevoie să stabilim valorile de referință necesare calculării y^+ .

Main Menu > Report > Reference Values

Selectăm **intrare** în căsuța de la **Compute From** (calculează din) pentru a da indicații programului de stabilire a valorilor de referință de la intrare. Verificăm dacă avem la **Velocity** valoarea 1, la **Temperature** 353K și **Viscosity** 6,667e-07 în căsuțele de mai jos. La zona de referință (**Reference Zone**) vom selecta **fluid**.



Parameter	Value
Area (m ²)	1
Density (kg/m ³)	1.000006
Depth (m)	1
Enthalpy (J/kg)	0
Length (m)	1
Pressure (pascal)	0
Temperature (K)	353
Velocity (m/s)	1
Viscosity (kg/m-s)	6.667e-07
Ratio of Specific Heats	1.4

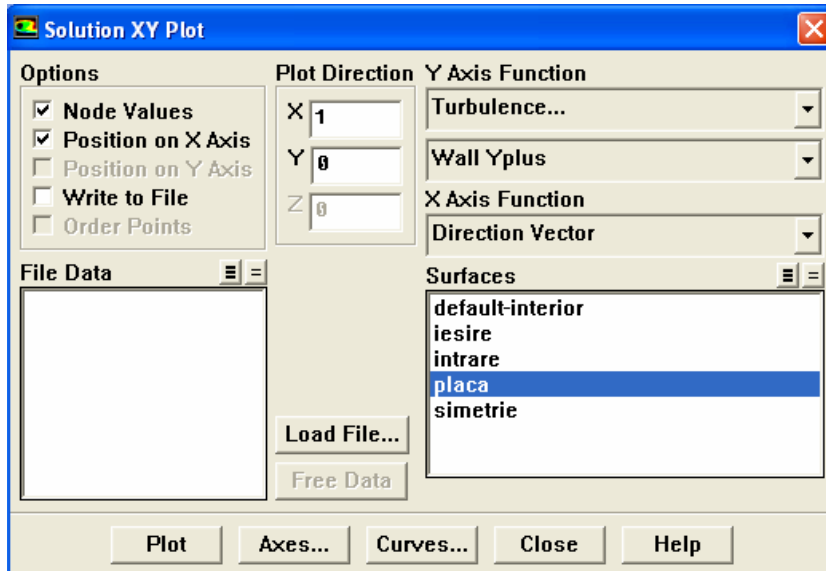
Prin folosirea a folosi următoarea metodă, trebuie să afișăm valorile y^+ în celulele adiacente peretelui pentru compararea cu recomandările menționate mai sus.

Vom afișa valoarea y^+ .

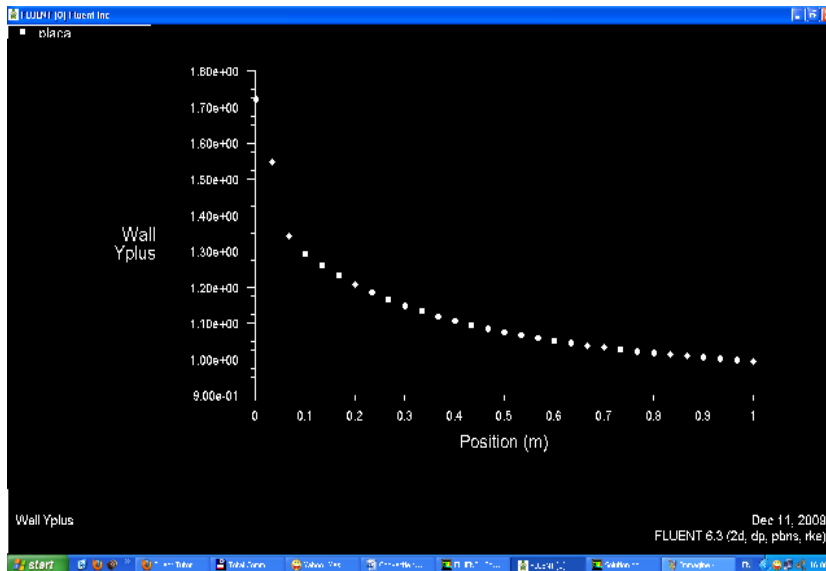
Main Menu > Plot > XY Plot...

Ne asigurăm că în mini-fereastră, la **Options** avem selectat **Position on X Axis**, și că **X** este setat la 1 iar **Y** este 0 la **Plot Direction** (direcția de afișare). Asta înseamnă că Fluentul va afișa valorile lui x pe abscisa graficului.

La **Y Axis Function**, alegem **Turbulence** iar mai jos vom alege **Wall Yplus**. La **Surfaces** selectăm **placa**.



Avem:



După cum putem observa, valoarea y^+ a peretelui este vizibilă între 1 și 1,4 (ignorând anomalia de la intrare). Deoarece aceste valori sunt mai mici decât 5, rezoluția meshului de lângă perete este în substratul laminar, care este cea mai precisă regiune cu care putem rezolva stratul limită.

Salvăm graficul

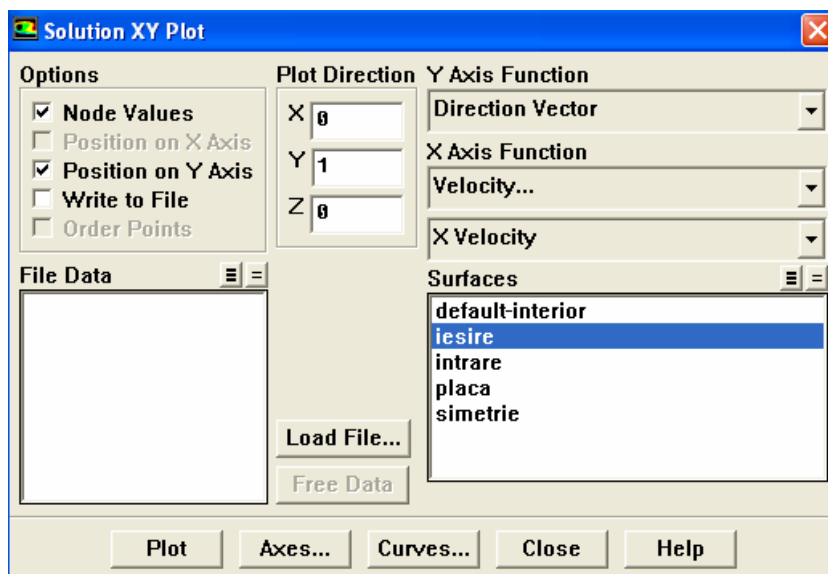
În mini-fereastra **Solution XY Plot Window**, selectăm **Write to File** și observăm că butonul **Plot** s-a transformat în **Write**. Facem clic pe **Write...**, introducem numele `yplusplaca.xy` la numele fișierului apoi facem clic pe **Ok**. Verificăm dacă acest fișier se află în folderul de lucru.

Afișăm profilul de viteză la distanța $x = 1$ m

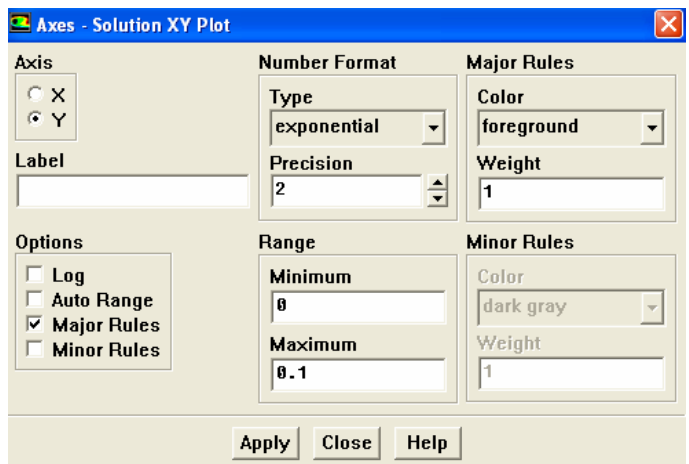
Main Menu > Plot > XY Plot...

La **Options**, deselectăm **Position on X Axis** și selectăm **Position on Y Axis**. La **Plot Direction**, introducem 0 în dreptul valorii X și 1 în dreptul valorii Y. Aceasta comandă Fluentul să afișeze un profil vertical.

La **X Axis Function** selectăm **Velocity** și apoi în căsuța de dedesubt selectăm **X Velocity**. În final, selectăm la **Surfaces** limita **iesire** deoarece afișăm profilul la ieșire. Deselectăm **placă**.

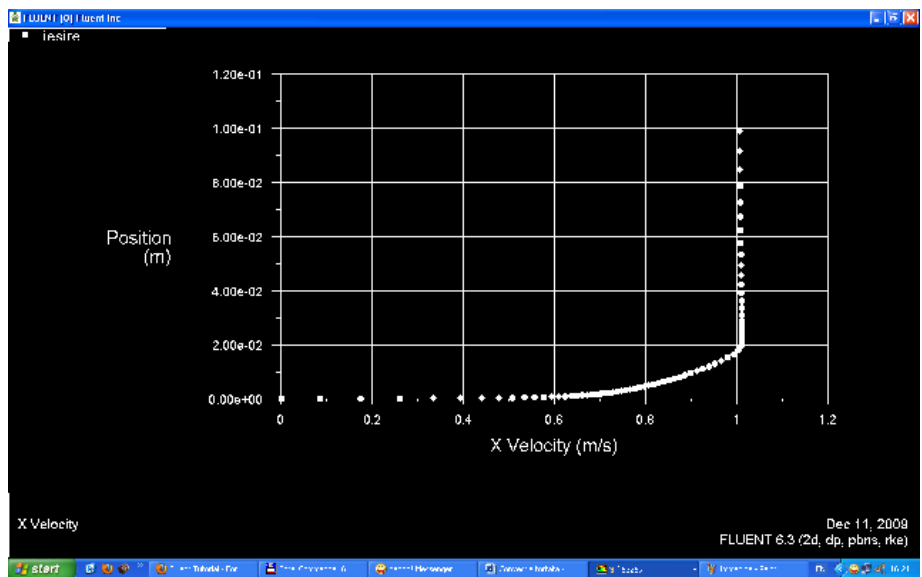


Facem clic apoi pe **Axes...** în minifereastra de afișare a profilului XY. Selectăm **X** în căsuța **Axis**. Selectăm **Major Rules** pentru a activa liniile de pe grafic. Facem apoi clic pe **Apply**. Apoi selectăm **Y** și **Major Rules** și deselectăm **Auto Range**. În căsuța **Range** introducem valoarea 0.1 la **Maximum** deci vom observa profilul de viteză mai aproape.



Facem clic pe **Apply** apoi **Close**.

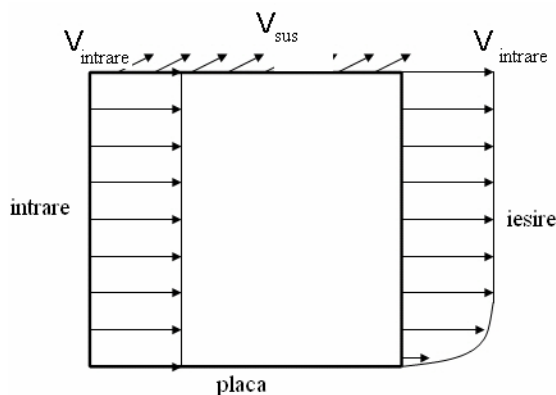
Deselectăm **Write to File** apoi facem clic pe **Plot**.



Observăm aici că viteza de-a lungul axei X ajunge la 1 m/s la o distanță de aproximativ $y = 0,02$ m. Aceasta arată grosimea relativă a stratului limită comparativ cu lungimea plăcii. Remarcăm și faptul că profilul de viteză este mai mare de 1 m/s deasupra stratului limită. Știm că acest lucru nu se poate întâmpla într-o curgere reală ci mai degrabă este rezultatul condiției la limită pe care am ales-o pentru modelul nostru. Oricum, nici o curgere nu are voie să iasă din strat.

Într-o curgere exterioară reală nu este un astfel de strat la suprafața și fluidul poate trece liber. Când considerăm profilul vitezelor de intrare și ieșire în termeni de conservare a masei, profilul uniform de viteză de 1m/s la $x = 0$ are mai multă masă intrată în câmpul de curgere decât profilul neuniform de viteză la $x = 1$ în care viteza este mică la nivelul plăcii. În plus,

fluidul se dilată în zona de lângă placă deoarece temperatura crește, crescând astfel și viteza verticală a fluidului. Acești factori au nevoie ca o cantitate de masă să fie eliberată prin partea de sus a câmpului nostru de curgere pentru a satisface conservarea masei.



Introducând o limită de tipul **pressure_outlet** în partea de sus ar rezulta o curgere reală cu precizie mai ridicată. Din păcate aceasta nu poate fi folosită în câmpul nostru de curgere fără a provoca probleme de convergență deci alegerea făcută (definirea limitei ca simetrie) este una bună. Deoarece nu dorim ca această curgere să depășească stratul limită de sus, observăm un profil de viteză la ieșire în care viteza este mai mare decât 1 deasupra stratului limită pentru a satisface legea conservării masei. Din fericire aceste neconcordanțe rezultate din modelul ales nu au un efect semnificativ asupra coeficienților de transfer termic al plăcii.

Selectăm **Write to File** și salvăm datele sub denumire de *profiliesire.xy*.

Afișăm numărul Nusselt funcție de numărul Reynolds.

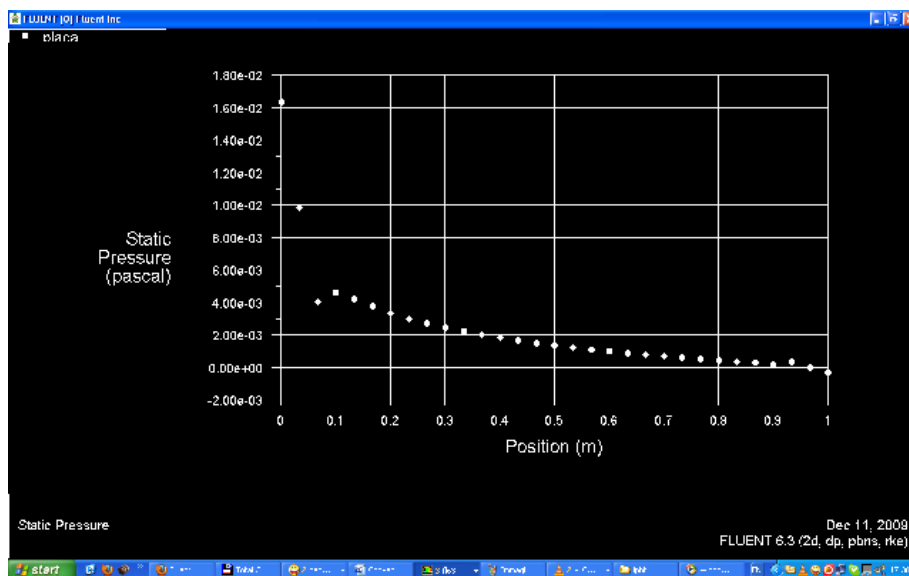
Amintit faptul că numărul Nusselt este un coeficient de transfer de căldură non-dimensional asociat convecției și convecției.

$$Nu_x = \frac{h_x \cdot x}{k}$$

Pentru a obține numărul lui Nusselt cu ajutorul programului Fluent, vom face afișarea fluxului total de căldură la suprafață (**Total Surface Heat Flux**).

Main Menu > Plot > XY Plot

În căsuța **Options**, schimbăm din nou pe **Position on X Axis**. În căsuța **Plot Direction** introducem la **X** valoarea 1 și 0 la **Y**. La **Y Axis Function** selectăm **Wall Fluxes** iar în căsuța de mai jos avem **Total Surface Heat Flux**. Selectăm **placa** la **Surfaces**. Înainte să afișăm ne asigurăm că avem selectat **Auto Range** pentru **Y**.



Selectăm din nou **Write to file** și scriem sub denumirea de flux.xy.

Deschidem flux.xy cu programul din pachetul Microsoft Office și anume **Microsoft Excel**.

	A	B
4	((xy/key/label "placa")	
5	0.016667	337.54
6	0.05	216.776
7	0.083333	198.819
8	0.116667	188.051
9	0.15	178.988
10	0.183333	171.139
11	0.216667	164.32
12	0.25	158.365
13	0.283333	153.137
14	0.316667	148.53
15	0.35	144.455
16	0.383333	140.838
17	0.416667	137.615
18	0.45	134.732
19	0.483333	132.144

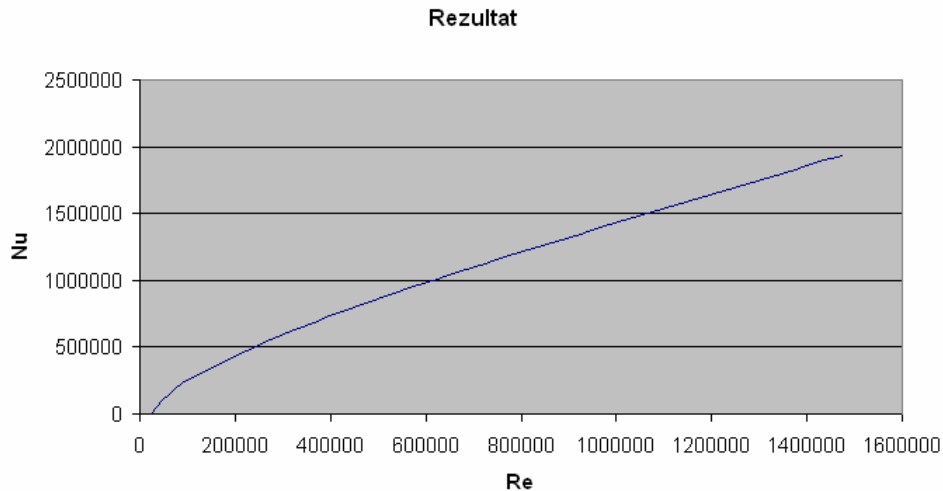
Prima coloană corespunde lungimii de-a lungul axei x a plăcii iar a doua este fluxul total de căldură la suprafață (q'') corespunzătoare fiecărei lungimi. Avem nevoie acum să determinăm numărul Nusselt din aceste valori la fiecare locație pe axa X. Vom defini q'' pozitiv ca fiind transferul termic din fluid. Folosim următoarele expresii pentru a transforma q'' în număr Nusselt folosind Excel.

$$q''_x = h_x \cdot (T_{\text{fluid}}(x, y = 0) - T_{\text{placă}})$$

$$Nu_x = \frac{h_x \cdot x}{h} = \left(\frac{q''_x}{T_{\text{plate}} - T_{\infty}} \right) \left(\frac{x}{k} \right) = \left(\frac{q''_x}{60} \right) \left(\frac{x}{9.4505e - 4 \text{ W/mK}} \right)$$

Numărul lui Reynolds trebuie definit la fiecare punct X.

Acum vom afișa un grafic Re vs Nu în Excel.



Comparația rezultatelor date de corelații și experiment

Validăm rezultatul obținut în Fluent prin compararea rezultatelor corelat și rezultatele experimentale. Corelațiile pe care le vom utiliza derivă din relația lui Reynolds:

$$Nu_x = 0,0296(Re_x^{0,8})(Pr^{0,6})\left(\frac{T_{plate}}{T_\infty}\right)^{-0,4}$$

Toate proprietățile în această corelație sunt evaluate la temperatura statică de 300K. Corelația se compune din:

1. $Pr = 0,7$
2. $10^5 < Re < 10^7$
3. Proprietățile fluidului evaluate în condiții de curgere liberă;
4. Strat limită compresibil turbulent;
5. Placă;
6. Factorul de frecare calculat din următoarea relație (implicit în ecuația lui Nu de mai sus și nu este necesar să-l calculăm):

$$C_f = 0,0296Re_x^{-0,2}$$

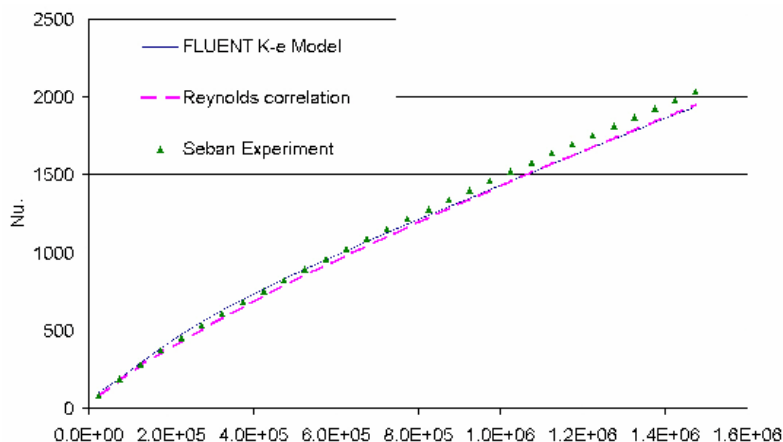
Adăugăm corelația Reynold la numărul Nusselt în Excel.

Seban și Doughty au făcut un experiment asemănător dar ei au lansat următoarea expresie pentru numărul lui Nusselt:

$$Nu_x = 0,0236 \left(\frac{\rho \cdot u \cdot x}{\mu} \right)^{4/5}$$

Experimentul lor a avut drept fluid aerul ($Pr=0,7$) și numere diferite ale numărului lui Reynolds într-un câmp de $1e5 < Re < 4e6$. Adăugăm și această relația pentru numărul lui Reynolds în Excel.

Acum vom afișa un grafic Re vs Nu în Fluent și comparăm cu Corelația Reynolds și experimentul lui Seban.

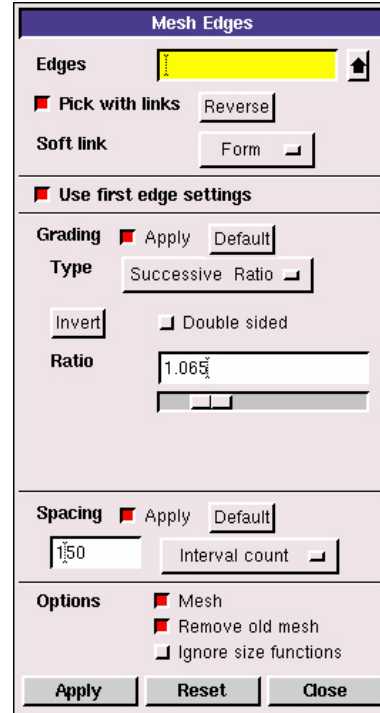
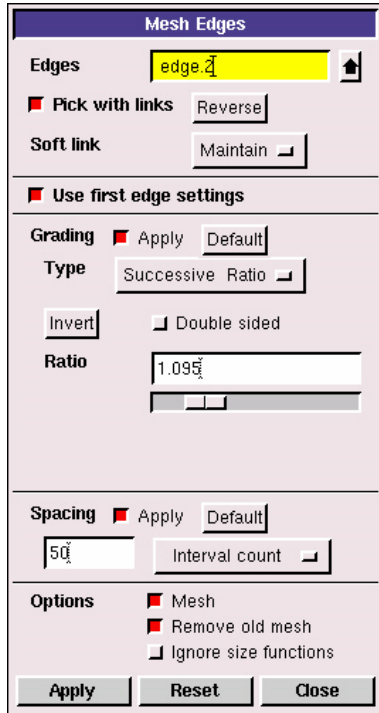


După cum putem observa, este o mică variație între cele trei rezultate. Cea mai mare eroare (în %) între rezultatele obținute în Fluent și corelațiile Reynolds este doar de 7,5%. În cazul curgerii turbulente, cum este cazul nostru, rezultate similare între cele două sunt mai greu de obținut decât cele în cazul curgerii laminare deoarece un model turbulent trebuie să fie utilizat în Fluent, care nu rezolvă ecuațiile Navier-Stokes cu exactitate. Eroarea experimentală (în experimentele din care rezultă corelațiile) ia în considerație o parte din eroarea de 7,5%. Fiecare din modelele de turbulență pe care Fluentul le oferă dau rezultate similare cu acestea dar cu toate acestea modelul k-epsilon este cel mai bun model.

PASUL 7: CURAȚAREA MESHURILOR

Vom modifica meshul din Gambit. Vom modifica meshul cu următoarele dimensiuni: 30x50 și 30x150.

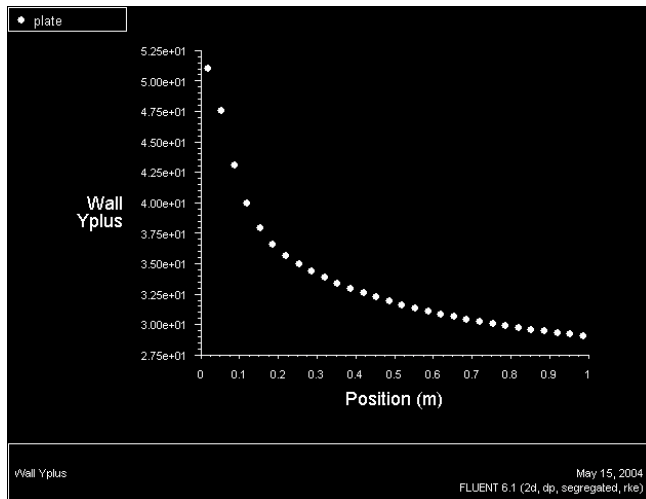
Vom face modificarea pentru meshul de dimensiune 30x50(stânga) și 30x150 (dreapta). Vom selecta laturile orizontale și le vom schimba ratele, odată cu 1,095 și numărul de intervale 50 pentru meshul de dimensiune 30x50 și 1,065 iar numărul de intervale de 150 pentru meshul 30x150.



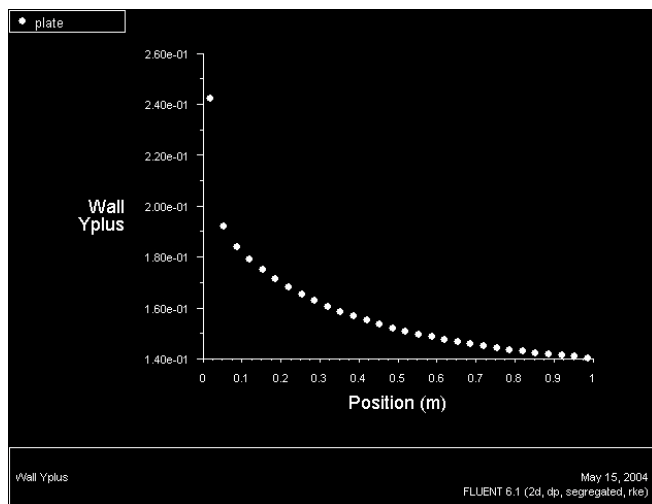
Vom deschide meshurile cu Fluent din nou și vom parcurge din nou pașii 2, 3, 4, 5 și 6.

Avem următoarele grafice pentru valorile de turbulență y^+ :

- pentru meshul 30x50

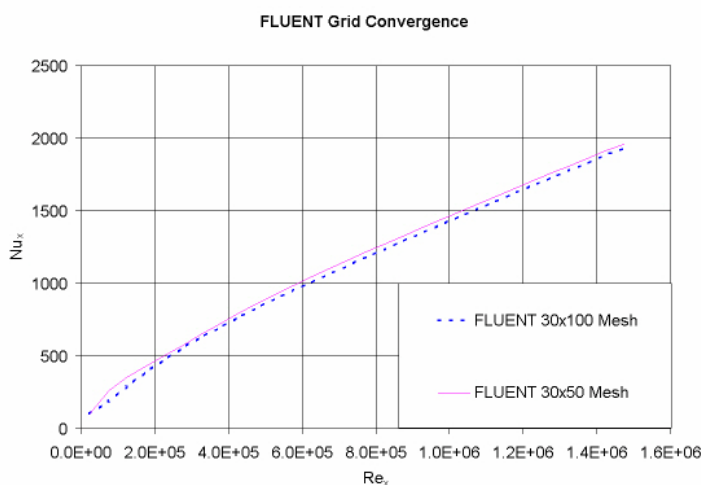


- pentru meshul 30x150



Pentru fluxul de căldură avem:

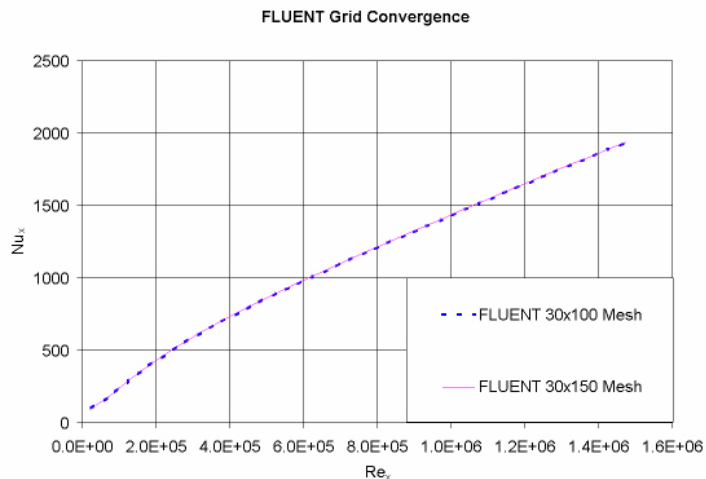
- pentru meshul 30x50:



Observăm că meshul brut produce rezultate cu diferențe mari dar chiar și așa este unul rezonabil. O mică eroare numerică apare atunci când folosim meshuri mai rare (30x50). După cum ne așteptam, pentru rezolvarea stratului limită a substratului laminar, pe care l-am avut cu meshul original dă o acuratețe mai mare rezultatului decât rezolvând în zona turbulentă. Rezolvarea substratului laminar nu este întotdeauna o soluție foarte bună, în special atunci când avem numere Reynolds mari. Rezultatul generat pe un mesh 30x50 arată că o soluție rezonabilă poate fi obținută fără a rezolva substratul laminar.

- pentru meshul 30x150

Laborator 5. Convecție forțată de-a lungul unei plăci



Acest grafic ne arată că rezultatele nu s-au schimbat prin rafinarea meshurilor dar putem concluziona că meshul folosit anterior (30x100) este suficient de bun. Este foarte important să se facă verificarea dacă soluția nu se schimbă prin rafinarea meshurilor în direcția curgerii. În acest caz, meshul în direcția curgerii este deja foarte bun pentru a elimina eroarea numerică dependentă de mesh.