

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



82

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παραμετρική μελέτη ψεκασμού νευτωνικού ρευστού

Parametric Study Of Newtonian Fluid Spray

Συναχειρίδης Κωνσταντίνος

Στούκας Ιωάννης

Επιβλέπων: Νίκας Κωνσταντίνος – Στέφανος

Πειραιάς, 2013



ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧ/ΤΟΝ ΜΗΧ/ΚΟΤΑ Τ.Ε.Ι.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κρίνεται σκόπιμο να εκφραστούν οι ειλικρινείς ευχαριστίες μας προς όσους βοήθησαν τοιουτοτρόπως στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Αρχικά στον επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή στον Ενεργειακό Τομέα, του Τμήματος Μηχανολογίας του Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά, κ. Κ-Σ. Νίκα, για την πολύτιμη καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Στους καθηγητές του τμήματος μας για τις γνώσεις που μας μετέδωσαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Τέλος στις οικογένειές μας για τη διαρκή στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας και στη συνεχή βοήθεια που μας παρέχουν για την εκπλήρωση των στόχων μας.

Χωρίς τη βοήθεια όλων των παραπάνω η συγγραφή της παρούσας εργασίας θα ήταν αναμφίβολα δυσκολότερη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	6
1.1 Βασικοί ορισμοί.....	6
1.2 Κατηγορίες Ρευστών.....	8
1.3 Ιδιότητες Ρευστών.....	9
1.4 Είδη Ροών.....	12
1.5 Όγκος Ελέγχου.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	16
2.1 Βασικές Εννοιες-Ορισμοί.....	16
2.2 Η υπολογιστική Ρευστοδυναμική στην πάροδο του χρόνου.....	16
2.3 Εφαρμογές της Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (CFD).....	19
2.4 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί των CFD.....	26
2.5 Τα βασικά βήματα μιάς Ανάλυσης CFD.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	37
3.1 Ορισμός.....	37
3.2 Σημασία των Spray.....	37
3.3 Ιστορική Αναδρομή.....	38
3.4 Χρήσεις των Spray.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	41
4.1 Εννοιολόγηση του Gambit.....	41
4.2 Λειτουργία του Gambit.....	41
4.3 Γραφικό Περιβάλλον του Gambit.....	42
4.4 Εννοιολόγηση του Fluent.....	47
4.5 Διαδικασία αντιμετώπισης και επίλυσης προβλημάτων στο Fluent.....	49

4.6 Γραφικές Απεικονίσεις.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	54
5.1 Ορισμός Σημείων Μοντέλου στο Επίπεδο	54
5.2 Δημιουργία Υπολογιστικού Πλέματος	59
5.3 Καθορισμός Οριακών Συνθηκών του μοντέλου μας	60
5.4 Αποθήκευση του Μοντέλου μας	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	64
6.1 Διαδικασία επίλυσης του Γεωμετρικού μοντέλου στο Fluent (ψευκασμός αέρα-μονοφασική ροή) case 0.....	64
6.2 Αποτελέσματα & Σχολιασμός των προσομοιώσεων στο Fluent για Μονοφασική Ροή (Case 0).....	77
6.3 Διαδικασία επίλυσης του μοντέλου του αγωγού στο Fluent (ψευκασμός spray-διφασική ροή) case 2.....	87
6.4 Αποτελέσματα & Σχολιασμός των προσομοιώσεων στο Fluent για διφασική ροή (case 2)	98
6.5 Επίδραση υποδιπλασιασμού διαμέτρου εγχυτήρα (diameter nozzle holder) (case 4).....	103
6.6 Αποτελέσματα υποδιπλασιασμού διαμέτρου εγχυτήρα (diameter nozzle holder) (case 4).....	104
6.7 Επίδραση μείωσης θερμοκρασίας εισερχόμενου αέρα και θερμοκρασίας spray στην είσοδο του αγωγού (case 3)	109
6.8 Αποτελέσματα μείωσης θερμοκρασίας εισερχόμενου αέρα και θερμοκρασίας spray στην είσοδο του αγωγού (case 3)	110
6.9 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.....	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο	117
7.1 Συμπεράσματα.....	117
7.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία.....	117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	118

Περίληψη

Το θέμα αυτής της εργασίας έχει να κάνει με τη μελέτη και τον σχεδιασμό μίας ροής ρευστού σε συγκεκριμένη γεωμετρία μέσω ενός κώδικα υπολογιστή. Κατά συνέπεια, υπολογίστηκε η αξονική ταχύτητα και η κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στην γεωμετρία για μονοφασική ροή και έγινε εξαγωγή διαγραμμάτων μέσω του υπολογιστικού πακέτου. Στην συνέχεια υπολογίσαμε μέσω του FLUENT: α) την ταχύτητα στην είσοδο και την έξοδο του αγωγού, β) την στατική θερμοκρασία, γ) το κλάσμα μάζας H₂O(Νερού) για διάφορες παραμετρικές αναλύσεις διφασικής ροής, προκειμένου να κατανοηθούν οι αλλαγές που λαμβάνουν μέρος στον αγωγό σε σχέση με την αρχική κατάσταση και έγινε εξαγωγή διαγραμμάτων. Μεθοδολογικά το θέμα προσεγγίστηκε μέσω ελληνικής αλλά και ξένης βιβλιογραφίας, καθώς και με ανάκτηση των σχετικών με το αντικείμενο πληροφοριών μέσω της ηλεκτρονικής βιβλιογραφίας.

Abstract

The theme of this work has to do with the study and design flow of a fluid in a particular geometry via a computer code. Consequently, the axial velocity and the temperature distribution were calculated inside the geometry for single phase flow and diagrams were extracted by the computational package. Then, we calculated by FLUENT a) the speed at the inlet and outlet of the conduit, b) a static temperature, c) the mass fraction of H₂O (water) for various parametric analyzes for two phase flow to understand the changes that take place in the tube in relation to the initial situation and diagrams were exported too. Methodologically the subject is searched through the review of the Greek but also foreign language bibliography, as well as the retrieval of relevant to the subject information through the electronic bibliography.

Λέξεις κλειδιά

Υπολογιστική Ρευστομηχανική, Κλάσμα Μάζας Νερού, Διφασική ροη, Τύρβη, Πλέγμα, Fluent, Gambit.

Key Words

Computational Fluid Dynamics, Mass Fraction of H₂O, Two-phase flow, Turbulence, Mesh, Fluent, Gambit.

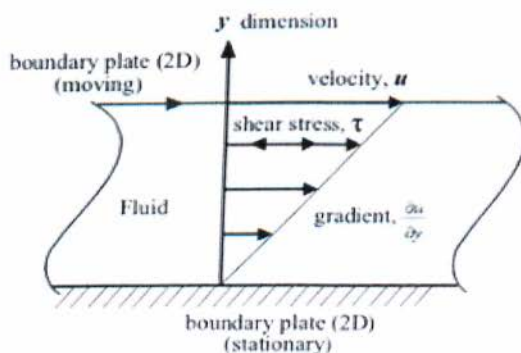
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Βασικές έννοιες της Μηχανικής Ρευστών

1.1 Βασικοί Ορισμοί

Ορισμός του Ρευστού

Με τον όρο ρευστό (Fluid) χαρακτηρίζεται μια οποιαδήποτε ουσία που παρουσιάζει ροή (flow) δηλαδή κάθε σώμα το οποίο υπο διατμητική τάση (Shear Stress) οσοδήποτε μικρή, δεν μπορεί να μείνει σε κατάσταση στατικής ισορροπίας. Τέτοιες ουσίες είναι τα υγρά (liquid) και τα αέρια (gas) ή και στερεά (solid) που βρίσκονται (τα τελευταία) σε φάση ροής. Συνεπώς ο όρος ρευστό χαρακτηρίζει συνοπτικά τα υγρά και τα αέρια σώματα των οποίων οι δυνάμεις συνοχής είναι χαλαρές με συνέπεια η μάζα τους να ολισθαίνει ελεύθερα (περίπτωση υγρών) ή να μετατοπίζεται ανεξάρτητα (περίπτωση αερίων) έτσι ώστε να λαμβάνει κάθε φορά το σχήμα του χώρου που καταλαμβάνουν ή του μέσου δια του οποίου κινούνται αυτά. Βέβαια μερικά στερεά σώματα παρουσιάζουν ιδιότητες ρευστού όταν υποστούν (υψηλού μεγέθους) καταπονήσεις διατμητικής μορφής.



Σχήμα 1.1 Ροή Couette

Θεωρούμε ότι έχουμε μια ουσία η οποία βρίσκεται μεταξύ δύο πλακών (Σχήμα 1.1), με μικρή απόσταση η μία από την άλλη και μεγάλες σε μήκος ώστε να αγνοηθούν οι συνθήκες που επικρατούν στα άκρα τους. Η κάτω πλάκα είναι

σταθερή ενώ στην πάνω πλάκα εφαρμόζεται μια δύναμη F , η οποία, ασκεί μια Διατμητική Τάση (Shear Stress) F/A σε κάθε σημείο μεταξύ των πλακών, όπου A είναι το εμβαδόν την επάνω πλάκας. Όταν η δύναμη F προκαλέσει την κίνηση της επάνω πλάκας με σταθερή ταχύτητα, όσο μικρό και αν είναι το μέτρο της F , συμπεραίνουμε ότι η ουσία που βρίσκεται ανάμεσα στις δύο πλάκες είναι ρευστό (Fluid). Αυτό το είδος ροής, ονομάζεται ροή Couette.

Τα πειράματα έχουν δείξει ότι η F είναι ευθέως ανάλογη του A και αντιστρόφως ανάλογη του πάχους t όταν άλλα μεγέθη παραμένουν σταθερά. Αυτό εκφράζεται από την εξίσωση: $F = \mu \frac{Av}{t}$ όπου μ ο συντελεστής αναλογίας και περιλαμβάνει την επίδραση του εξεταζόμενου ρευστού.

Αν $\tau = F/A$ η διατμητική τάση, τότε από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει: $\tau = \mu \frac{v}{t}$ και ο λόγος $\frac{v}{t}$ εκφράζει τη γωνιακή ταχύτητα (ή ρυθμό μεταβολής) της γωνιακής παραμόρφωσης του ρευστού. Η γωνιακή ταχύτητα μπορεί επίσης να γραφτεί ως du/dy , διότι το v/t αλλά και το du/dy εκφράζουν το λόγο της μεταβολής της ταχύτητας προς το μήκος στο οποίο έχουμε μεταβολή. Το κλάσμα du/dy εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο ένα στρώμα (layer) κινείται σχετικά με ένα προσκείμενο σώμα. Οπότε η προηγούμενη εξίσωση γίνεται $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ όπου το μ ονομάζεται ιξώδες (viscosity) του ρευστού (ή συνεκτικότητα) και εκφράζει τον Νόμο του ιξώδους του Νεύτωνα.

Διαφορετικά υλικά από τα ρευστά δεν μπορεί να ικανοποιούν τον ορισμό του ρευστού. Για παράδειγμα, μια πλαστική ουσία θα παραμορφώνεται κατά ορισμένο ποσοστό ανάλογα με τη δύναμη, όχι όμως συνεχώς, όταν η επιβαλλόμενη τάση βρίσκεται κάτω από τη διατμητική τάση διαρροής. Συνεπώς, τα πλαστικά (Plastics) και τα περισσότερα στερεά (Solids) σώματα αποκλείονται από τα ρευστά (Fluids).

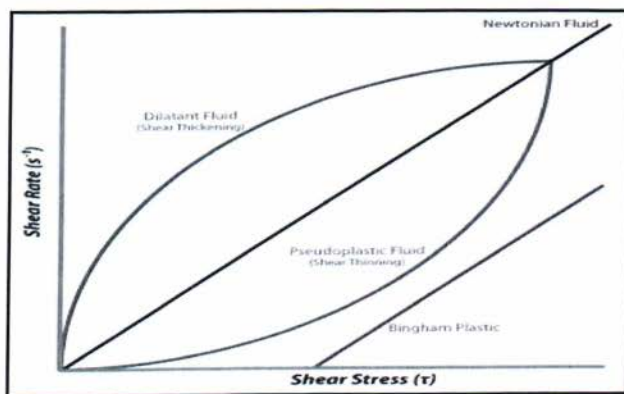
1.2 Κατηγορίες Ρευστών

Τα ρευστά διακρίνονται στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες:

Ιδανικά ρευστά ή τέλεια ρευστά ή και ακόμα ιδεώδη ή ιδεατά: Χαρακτηρίζονται υποθετικά ρευστά (συνήθως υγρά) τα οποία είναι τελείως ασυμπιέστα και

καμία εσωτερική τριβή των μορίων τους δεν αναπτύσσεται κατά τη ροή τους. Όπως επίσης και καμία δύναμη συνάφειας μεταξύ αυτών και των τοιχωμάτων των δοχείων ή αγωγών που περιέχονται. Είναι προφανές ότι αυτά αποτελούν υποθετική θεωρητική κατάσταση και μόνο, που λαμβάνεται υπόψη στις έρευνες και μελέτες των Νόμων των ρευστών διευκολύνοντας έτσι κατά πολύ την εξαγωγή συμπερασμάτων με αντίστοιχους υπολογισμούς. Παρά ταύτα ορισμένα φυσικά ρευστά με πολύ χαμηλό ιξώδες και μικρή θερμική αγωγιμότητα είναι δυνατόν ν' αντιμετωπιστούν, βέβαια κατά προσέγγιση, ως ιδανικά ρευστά.

Φυσικά ρευστά καλούμενα και Νευτώνεια ρευστά: Χαρακτηρίζονται όσα εμφανίζουν τις αποτρεπτικές ιδιότητες των προηγουμένων. Στα Νευτώνεια ρευστά η σχέση μεταξύ διατμητικής τάσης και ταχύτητας παραμόρφωσης είναι γραμμική, σε αντίθεση με τα μη Νευτώνια, όπου η σχέση μεταξύ του μέτρου της επιβεβλημένης διατμητικής τάσης και της ταχύτητας παραμόρφωσης δεν είναι γραμμική (Σχήμα 1.2). Μερικά παραδείγματα Νευτώνιων ρευστών είναι το νερό, υδατικά διαλύματα, ορισμένοι υδατικοί διαλύτες, τα αραιά αιωρήματα και γαλακτώματα, καθώς και όλα τα αέρια.



Σχήμα 1.2: Σύγκριση της συμπεριφοράς των τεσσάρων τύπων υγρών με ρυθμό διάτμησης σε συνάρτηση της εφαρμοζόμενης τάσης διάτμησης

Θιξότροπα ρευστά ή Μη νευτώνεια ρευστά: Τέτοια χαρακτηρίζονται συνήθως υγρά που παρουσιάζουν μικρότερης κλίμακας ιδιότητες των φυσικών ρευστών, δηλαδή χαμηλό ιξώδες ιδιαίτερα όταν υποβάλλονται σε ανάδευση και γίνονται περισσότερο λεπτόρρευστα, όπως, για παράδειγμα, το τυπογραφικό μελάνι, οι

διάφορες βαφές (ελαιοχρώματα κ.λπ.). Επίσης σ' αυτή τη κατηγορία υπάγονται τα πυκνά αιωρήματα καθώς και τα διάφορα πυκνά γαλακτώματα.

1.3 Ιδιότητες των Ρευστών

Οι πιο σημαντικές ιδιότητες των ρευστών είναι:

1. Πίεση ή Τάση
2. Ιξώδες
3. Επιφανειακή τάση
4. Άνωση
5. Συμπιεστότητα

Συμπιεστότητα

Με τον όρο **συμπιεστόν** ή **συμπιεστότητα** στη φυσική χαρακτηρίζεται μία από τις ιδιότητες της ύλης. Πρόκειται για μια ιδιότητα των σωμάτων να μειώνουν τον όγκο τους σε κάθε μεταβολή της ορθής εντατικής τους κατάστασης (πίεσης), είτε εν ηρεμία είτε εν κινήσει.

Διακρίνονται δύο συντελεστές συμπιεστότητας: ο ισοθερμοκρασιακός ή ισόθερμος συντελεστής και ο αδιαβατικός συντελεστής. Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των σωμάτων (ουσιών) η συμπιεστότητα αυτών διαφέρει σημαντικά. Συγκεκριμένα η αύξηση της πίεσης προκαλεί, εν γένει, αύξηση της πυκνότητας.

Τα στερεά όταν υποβληθούν σε συμπίεση υδροστατικού χαρακτήρα, δηλαδή με ομοιόμορφη κατανομή πίεσης σε όλη την επιφάνειά τους παρουσιάζουν ιδιαίτερη αντίσταση δηλαδή πολύ μικρή συμπιεστότητα για αυτο τον λόγο θεωρούνται πρακτικά ασυμπίεστα ($p = \text{const}$). Τα υγρά είναι περισσότερο συμπιεστά από τα στερεά αλλά πολύ-πολύ λιγότερο από τ' αέρια. Η δε συμπιεστότητα των υγρών μεταβάλλεται με την ασκούμενη σ' αυτά πίεση.

Τέλος τα αέρια, στα οποία η απόσταση μεταξύ των μορίων είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με το μέγεθός τους οπότε και η πυκνότητά τους είναι μικρή και δεν υφίστανται οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συμπιεστότητα. Αυτό έχει ως συνέπεια σε μια δεδομένη

θερμοκρασία ο όγκος ενός αερίου που καταλαμβάνει κάποιο χώρο να είναι αντιστρόφως ανάλογος προς τη πίεσή του.

Η συμπίεστικότητα ενός ρευστού εκφράζεται ως το αντίστροφο του μέτρου ελαστικότητας, που ορίζεται ως: $E = \frac{\Delta p}{\Delta p / p_0}$

Η συμπίεστικότητα των αερίων είναι στενά συνυφασμένη με την εμφάνιση θερμικών φαινομένων στη μάζα τους. Η εσωτερική θερμική ενέργεια ενός αερίου χαρακτηρίζεται από τη θερμοκρασία του. Η σχέση που συνδέει την πίεση του αερίου, την θερμική του κατάσταση με την πυκνότητά του σε ηρεμία και σε κίνηση ονομάζεται καταστατική εξίσωση: $\frac{p}{\rho} = RT$.

Από το γενικό ορισμό του μέτρου ελαστικότητας μπορούμε να το υπολογίσουμε για τα τέλεια αέρια στην περίπτωση της ισοθερμοκρασιακής μεταβολής: $E = \frac{\Delta p}{\Delta p / p_0} = p_0 \frac{\Delta p}{\Delta p / p_0} = p_0$, διότι για $T = \text{const}$ έχουμε: $\frac{p}{\rho} = \frac{p_0}{\rho_0} =$

$$RT = RT_0 \Rightarrow \frac{\Delta p}{p_0} = \frac{p - p_0}{p_0} = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \frac{\Delta \rho}{\rho_0}$$

Η συμπίεστικότητα των αερίων και κατ' επέκταση των ατμών αποτέλεσε γεγονός εξαιρετικής σημασίας για τους Τεχνολογικούς κλάδους, διότι κατέστη δυνατή η μετατροπή θερμικής ενέργειας σε μηχανικό έργο κατά πρόσφορο τρόπο, όπως στις θερμικές μηχανές, μηχανές εσωτερικής καύσης, στρόβιλοι, jet, πύραυλοι.

Ιξώδες

Με τον όρο **ιξώδες** (viscosity) στη Χημεία και στη Φυσική χαρακτηρίζεται μία από τις ιδιότητες των ρευστών ιδίως των υγρών αλλά και των αερίων, και συγκεκριμένα η αντίσταση που παρουσιάζουν κατά τη ροή τους, δηλαδή κατω από συνθήκες διατμήσεως. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στις δυνάμεις συνοχής, και την εσωτερική τριβή που δημιουργείται κατά την σχετική κίνηση των μορίων δύο συνεχών και παράλληλων στρωμάτων ενός ρευστού. Ο νόμος ιξώδους του Νεύτωνα ($\tau = \mu \frac{du}{dy}$) αναφέρει: ότι για μια δοσμένη ταχύτητα γωνιακής παραμόρφωσης του ρευστού η διατμητική τάση είναι ανάλογη προς το ιξώδες. Πειραματικά έχει βρεθεί ότι για τα περισσότερα ρευστά η μεταβολή

της παραμορφώσεως των απο διατμητική τάση $T=F/A$ εκφράζεται απο την σχέση U/d δηλαδή

$$\tau = \frac{F}{A} \propto \frac{U}{d}$$

Ο συντελεστής αναλογίας είναι το ιξώδες του ρευστού μ , οπότε :

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{U}{d}$$

όπου ο συντελεστής μ ανεξάρτητος της τιμής της ταχύτητας.

Λύνοντας την παραπάνω εξίσωση ως προς μ έχουμε:

$$\mu = \frac{F/A}{U/d}$$

οπότε οι διαστάσεις του ιξώδους μ είναι :

$$[\mu] = \frac{[F/A]}{[U/d]} = \frac{FL^{-2}}{LT^{-1}L^{-1}} = \frac{FT}{L^2}$$

Στο M.K.S το ιξώδες (viscosity) εκφράζεται σε $(N \cdot sec) / (m^2)$

Ομοίως και στο S.I.

Στο C.G.S το ιξώδες (μ) εκφράζεται σε $(dyne \cdot sec) / (cm^2)$

Τέλος στο αγγλικό σύστημα εκφράζεται σε $(lbf \cdot sec) / (ft^2)$

Το ιξώδες των αερίων αυξάνεται ενώ το ιξώδες των υγρών μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία. Στα υγρά οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων είναι πολύ μικρότερες από ότι στα αέρια και επομένως οι δυνάμεις συνοχής είναι πολύ μεγαλύτερες από ότι στα αέρια. Στα υγρά το ιξώδες οφείλεται κυρίως στις δυνάμεις συνοχής και αφού οι δυνάμεις μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας, μειώνεται και το ιξώδες. Αντίθετα στα αέρια, οι δυνάμεις συνοχής είναι πολύ μικρές.

Το ιξώδες μ αποκαλείται και απόλυτο ιξώδες (absolute viscosity) ή δυναμικό ιξώδες (dynamic viscosity) για να μην μπερδεύεται με το κινηματικό ιξώδες ν (kinematic viscosity), το οποίο είναι ο λόγος του ιξώδους προς την πυκνότητα της μάζας, δηλαδή: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$.

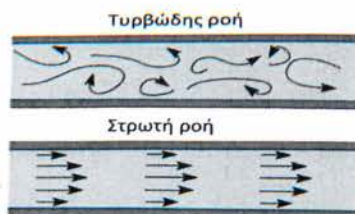
Χαρακτηριστικά παραδείγματα ρευστών με μεγάλη τιμή ιξώδους είναι το μέλι, το λάδι, η πίσσα ενώ αντίθετα το νερό και ο αέρας παρουσιάζουν μικρή τιμή ιξώδους.

1.4 Είδη Ροών

Οι ροές των ρευστών χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το κριτήριο που χρησιμοποιούμε κάθε φορά. Τα βασικά κριτήρια αναφέρονται παρακάτω:

Άτριβη / Ιξώδης: Άτριβη είναι η ροή η οποία δεν περιλαμβάνει διατμητικές τάσεις παρα μόνον κάθετες τάσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάποια ρευστά έχουν πολύ μικρό/αμελητέο ιξώδες

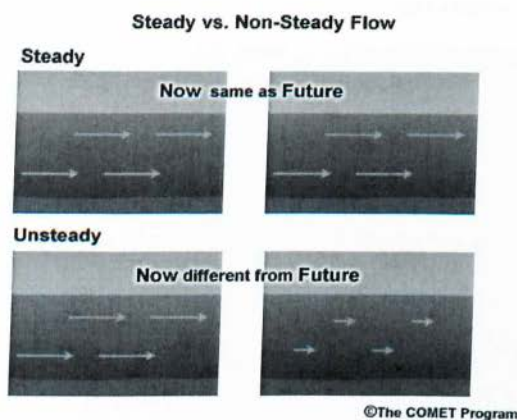
Στρωτή / τυρβώδης: Στρωτή είναι η ροή κατά την οποία όλα τα σωματίδια του ρευστού κινούνται ομαλά σε παράλληλες γραμμές και ως εκ τούτου δεν διασχίζουν τις γραμμές άλλων σωματιδίων ενώ αντίθετα στην τυρβώδη ροή τα σωματίδια του ρευστού κινούνται ακανόνιστα σε χαοτική τροχία προς όλες τις διευθύνσεις.



Σχήμα 1.3: Σχηματική απεικόνιση Στρωτής και Τυρβώδης Ροής

Ασυμπίεστη συμπίεστη: Επίδραση της πίεσης στην πυκνότητα (πρακτικό νόημα στα αέρια μόνο).

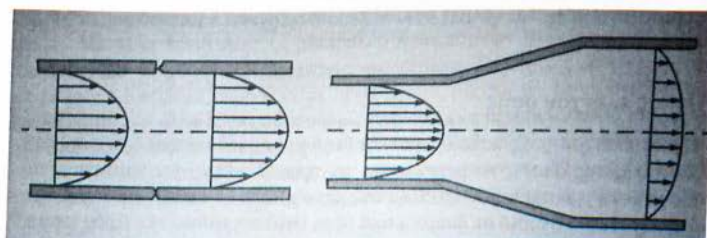
Μόνιμη / Μη μόνιμη: Μόνιμη ή Σταθερή ονομάζεται η ροή στην οποία η ταχύτητα σε κάποιο σημείο δεν είναι συνάρτηση του χρόνου δηλαδή δεν μεταβάλλεται με το χρόνο. Αντίθετα Μη μόνιμη ή Ασταθής καλείται η ροή της οποίας η ταχύτητα μεταβάλλεται με τον χρόνο



Σχήμα 1.4: Σχηματική απεικόνιση Σταθερής/Ασταθής ροής

Ομοιόμορφη / Ανομοιόμορφη: Ομοιόμορφη καλείται η ροή κατά την οποία το μέτρο και η διεύθυνση της ταχύτητας σε χρόνο t παραμένουν σταθερά κατά μήκος οποιασδήποτε ροϊκής γραμμής του πεδίου ροής. Είναι πιθανόν όμως να παρουσιάζει μεταβολές σε μία κάθετη διατομή λόγω ιξώδους.

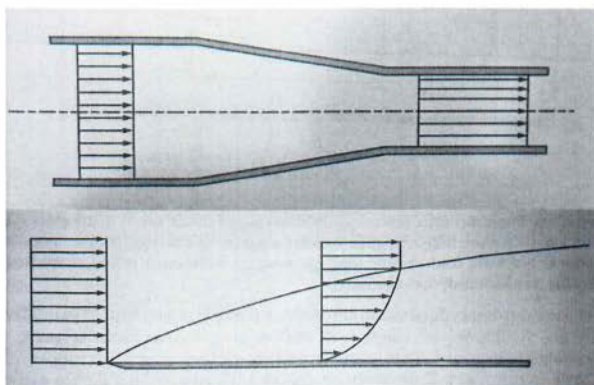
Ανομοιόμορφη λέγεται η ροή κατά την οποία η ταχύτητα μεταβάλλεται με τον χρόνο κατά μήκος του πεδίου της ροής.



Σχήμα 1.5: Σχηματική απεικόνιση Ομοιόμορφης/Ανομοιόμορφης Ροής

Περιοδική ροή: Είναι η ροή η οποία παρουσιάζει πλήρη επαναληψιμότητα στο χώρο ή στο χρόνο.

Μονοδιάστατη (1D), δισδιάστατη (2D) ή τρισδιάστατη (3D): Μονοδιάστατη καλείται η ροή στην οποία η ταχύτητα παραμένει παράλληλη προς έναν άξονα και έχει αυτό το μέγεθος σε κάθε διατομή. Ομοίως δισδιάστατη είναι η ροή κατά την οποία το διάνυσμα της ταχύτητας βρίσκεται πάνω σε δύο άξονες ή ακόμα και τρεις (τρειςδιάστατη)



Σχήμα 1.6: Σχηματική επεικόνιση μονοδιάστατης και δισδιάστατης ροής

1.5 Όγκος ελέγχου

Στις φυσικές και εφαρμοσμένες επιστήμες πολύ συχνά χρησιμοποιούνται οι έννοιες Σύστημα (Σ) και Όγκος Ελέγχου (ΟΕ) για τη μελέτη των διαφόρων φαινομένων.

Με τον όρο Σύστημα (Σ) εννοούμε μία διακεκριμένη ποσότητα ύλης, η μάζα της οποίας διατηρείται σταθερή με την πάροδο του χρόνου. Ότι δεν ανήκει στο σύστημα αποτελεί το περιβάλλον του συστήματος. Τα όρια του συστήματος σχηματίζουν μια (νοητή ή πραγματική) επιφάνεια, η οποία χωρίζει το σύστημα από το περιβάλλον του.

Οι Ιδιότητες του Συστήματος είναι οι εξής: α) Το σύστημα μπορεί να εναλλάσσει θερμότητα ή και έργο με το περιβάλλον, αλλά όχι μάζα. Εάν δεν εναλλάσσει ούτε θερμότητα ούτε έργο, λέγεται απομονωμένο, β) Το σύστημα ονομάζεται και κλειστό (λόγω της μη εναλλαγής μάζας) και χρησιμοποιείται συνήθως για τη μελέτη συστημάτων με στερεά σώματα.

Στη μηχανική των ρευστών, επειδή έχουμε ροή το σύστημα δεν είναι βολική έννοια. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ο όγκος ελέγχου (ΟΕ). Με τον όρο αυτό εννοούμε μία σταθερή και προσδιορισμένη περιοχή (χώρο) διαμέσου της οποίας γίνεται μεταφορά μάζας του ρευστού. Ένα όγκος ελέγχου μπορεί να είναι ακίνητος, να κινείται με σταθερή ταχύτητα ή ακόμα να επιταχύνεται. Το μέγεθος και το σχήμα του όγκου ελέγχου λαμβάνονται κατα βούληση ανάλογα με την γεωμετρία του προβλήματος, η επιφάνεια του ή αλλιώς επιφάνεια ελέγχου ροής είναι αυτή που τον χωρίζει απ το υπόλοιπο περιβάλλον και σημειώνεται με διακεκομένη γραμμή

Οι Ιδιότητες του Όγκου Ελέγχου είναι οι εξής:

- α) Η εναλλαγή μάζας συνεπάγεται και εναλλαγή ορμής,
- β) Στην θερμοδυναμική, ο όγκος ελέγχου ονομάζεται ανοικτό σύστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Υπολογιστική Ρευστοδυναμική

2.1 Βασικές Έννοιες-Ορισμοί

Η Υπολογιστική Ρευστοδυναμική είναι η επιστήμη της πρόβλεψης της ροής των ρευστών, της μετάδοσης θερμότητας και μάζας, των χημικών αντιδράσεων και άλλων σχετικών φαινομένων μέσω της επίλυσης των μαθηματικών εξισώσεων που διέπουν τις διεργασίες χρησιμοποιώντας μία αριθμητική μέθοδο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Ο βασικός σκοπός της αριθμητικής ανάλυσης είναι να βρίσκει εύχρηστες μεθόδους για την λύση προβλημάτων που μπορούν να εκφραστούν με μαθηματικές εξισώσεις. Η αριθμητική ανάλυση χρησιμοποιείται για την προσομίωση των ρευστομηχανικών μοντέλων και συνεπώς η γνώση της είναι εξαιρετικά υψηλής σημασίας, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα αξιόπιστο μοντέλο

Μιά ανάλυση δίνει χρήσιμα δεδομένα για έναν μηχανικό ώστε να τα χρησιμοποιήσει:

1. Στην αρχική μελέτη νέων σχεδίων
2. Στην λεπτομερή ανάπτυξη προϊόντων
3. Στην ανίχνευση προβλημάτων
4. Στον ανασχεδιασμό και στη βελτιστοποίηση

2.2 Η υπολογιστική Ρευστοδυναμική στην πάροδο του χρόνου

Ο Richardson (1910) ήταν από τους πρώτους που εφάρμοσε τεχνικές χαλάρωσης (επαναληπτικές μέθοδοι) για να υπολογίσει τη διανομή των τάσεων σε ένα φράγμα, και από τους πρώτους που διαχώρισε τα προβλήματα που μπορούν να επιλυθούν με μεθόδους χαλάρωσης από τα προβλήματα προέλασης. Λίγα χρόνια αργότερα οι Courant, Friedrichs και Levy (1928) δημοσίευσαν το κριτήριο CFL που ορίζει την ευστάθεια των αριθμητικών υπολογισμών επίλυσης

υπερβολικού τόξου εξισώσεων καθώς και τη διερεύνηση τους για την ύπαρξη και μοναδικότητα λύσης των μερικών διαφορικών εξισώσεων. Αργότερα ο J. V. Neumann δημοσίευσε αντίστοιχη μέθοδο για τον έλεγχο ευστάθειας λύσης παραβολικού τύπου διαφορικών εξισώσεων. Τέλος, σημαντικές πρόοδοι στην αριθμητική επίλυση υπερηχητικών ροών έγιναν τη δεκαετία του 1960 από τους Lax και Wendroff αναπτύσσοντας αριθμητικά σχήματα σύλληψης των κυμάτων κρούσης.

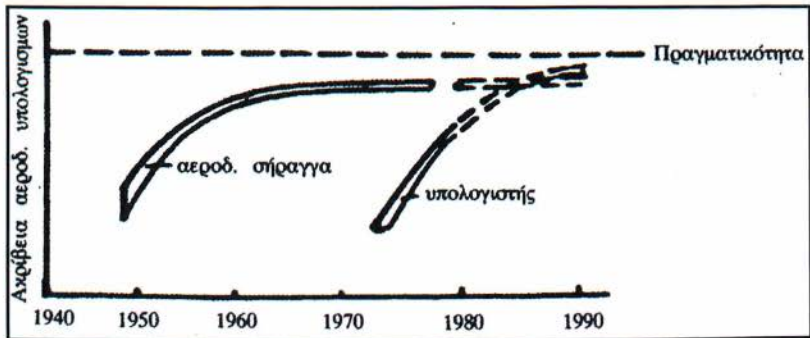
Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1960 οι λύσεις των προβλημάτων της ρευστομηχανικής προέρχονταν, είτε από πειραματική προσομοίωση των προβλημάτων σε αεροδυναμική σήραγγα, είτε από αναλυτικές λύσεις απλοποιημένων εξισώσεων με παραδοχές, των οποίων η αξιοπιστία ήταν αμφισβητήσιμη.

Η αεροδυναμική σήραγγα, η οποία έχει τόσο πλατιά χρήση στη μελέτη των αεροδυναμικών φαινομένων μπορεί να θεωρηθεί σαν μηχανισμός ολοκλήρωσης των διαφορικών εξισώσεων που εκφράζουν το πεδίο ροής. Συνήθως, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την αεροδυναμική σήραγγα αναφέρονται σε ολοκληρωτικά μεγέθη του πεδίου ροής, όπως συντελεστής άνωσης, C_L και αντίστασης του αεροσκάφους, C_D , σπανιότερα δε σε σημειακά μεγέθη του πεδίου ροής, όπως ταχύτητες και πιέσεις σε διάφορες θέσεις. Σήμερα, η συμμετοχή του ηλεκτρονικού υπολογιστή στη λύση των προβλημάτων της μηχανικής των ρευστών είναι σχεδόν πρωταρχική, σε ορισμένες δε περιπτώσεις οι λύσεις που παρέχει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι αρκετά αξιόπιστες και δεν κρίνεται αναγκαίος ο έλεγχος των αριθμητικών αποτελεσμάτων με μετρήσεις.

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, όταν μπορεί αξιόπιστα να επιλύσει ένα πεδίο ροής, έχει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες από την εναλλακτική λύση της φυσικής προσομοίωσης του πεδίου ροής σε Αεροδυναμική σήραγγα, γιατί η πειραματική προσομοίωση του πεδίου ροής συνήθως δεν μπορεί να είναι πλήρης, όπως στην περίπτωση της προσομοίωσης της διηθητικής ροής, λόγω του φαινομένου της αλληλεπίδρασης της ροής με τα τοιχώματα της σήραγγας ή της αδυναμίας της σύγχρονης προσομοίωσης των αριθμών Reynolds και Mach της ροής. Ο υπολογιστής, όπως είναι φανερό δεν έχει τέτοιες δεσμεύσεις

μια και μπορεί να προσομοιώσει οποιεσδήποτε καταστάσεις ροής. Ο μόνος προς το παρόν περιορισμός του είναι η ταχύτητα εκτέλεσης των πράξεων και η χωρητικότητα της μνήμης του.

Η εξέλιξη της υπολογιστικής ισχύος των μηχανών σε συνδυασμό με την ακρίβεια των μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης φαίνεται, ότι σύντομα θα οδηγήσει στην κατάσταση, όπου η αξιοπιστία των ρευστομηχανικών υπολογισμών να είναι μεγαλύτερη από την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της πειραματικής προσομοίωσης.



Σχήμα 2.1: Διαγραμματική απεικόνιση αξιοπιστίας αποτελεσμάτων Η/Υ και αεροδυναμικής σήραγγας

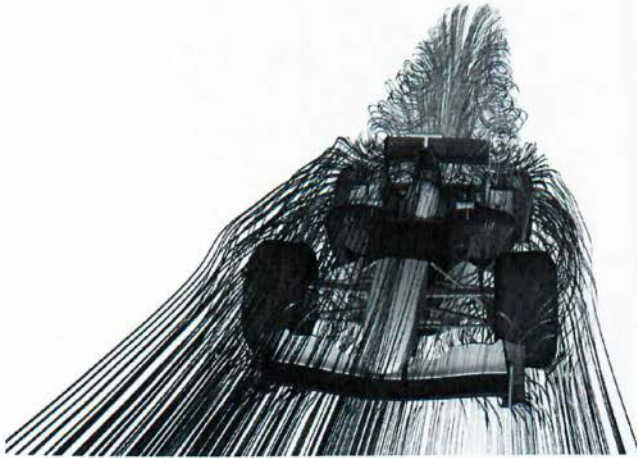
Τα τελευταία χρόνια έμφαση έχει δοθεί στην αριθμητική επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes σε σύνθετες τοπογραφίες και στην αριθμητική επίλυση των εξισώσεων σε γενικευμένα καμπυλόγραμμα συστήματα συντεταγμένων πάνω σε μη δομημένα αριθμητικά πλέγματα. Οι δυνατότητες της υπολογιστικής ρευστομηχανικής καθορίζονται από τη σημερινή διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ και την αριθμητική συμπεριφορά των αλγορίθμων επίλυσης των διαφορικών εξισώσεων.

Η Υπολογιστική Ρευστομηχανική είναι ένα δυναμικά αναπτυσσόμενος τομέας έρευνας με ενδιαφέροντα αποτελέσματα και προοπτικές εξέλιξης που όμως απαιτεί γνώσεις ρευστομηχανικής, αριθμητικής ανάλυσης και προγραμματισμού.

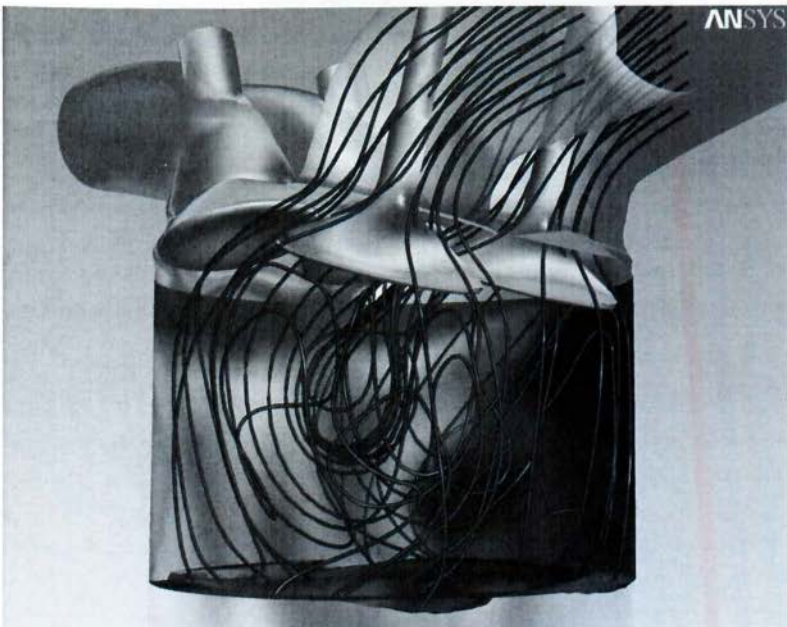
2.3 Εφαρμογές της Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (CFD)

Η συνεχής και ταχεία ανάπτυξη των Η/Υ είχε σαν επακόλουθο την ανάπτυξη και βελτίωση των προγραμμάτων CFD τα οποία πλέον έχουν άπειρα πεδία εφαρμογής. Τα σημαντικότερα και πιο διαδεδομένα είναι:

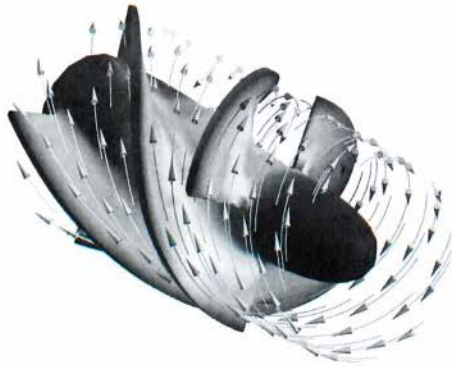
→ Στην αεροδυναμική αγωνιστικών οχημάτων



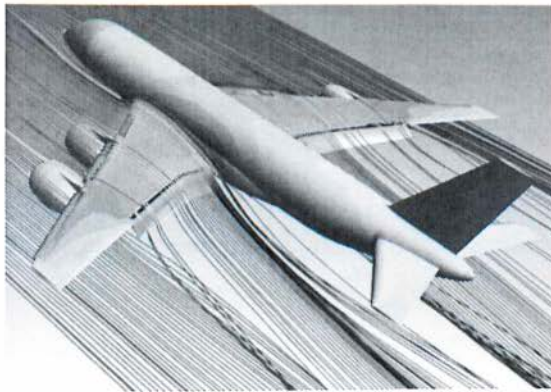
→ Στην ανάπτυξη των Μ.Ε.Κ (Μηχανες Εσωτερικής Καύσης)



→ Στην εξέλιξη των ταχυπλόων σκαφών



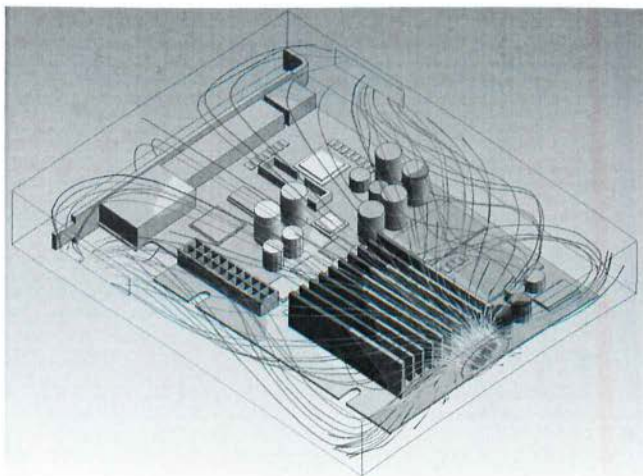
→ Στην ανάπτυξη των αεροσκαφών



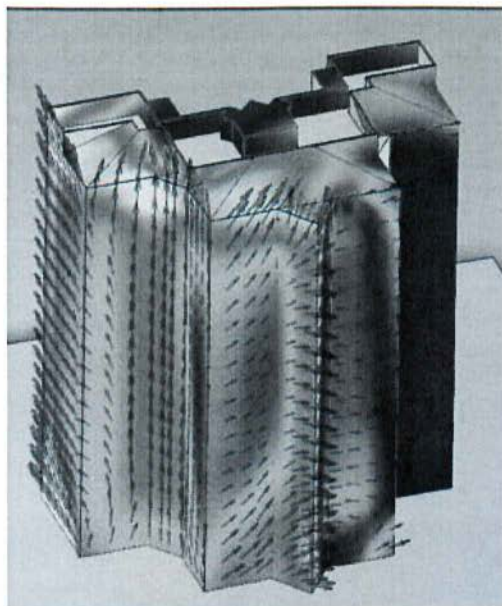
→ Στην ανάπτυξη και βελτίωση των συστημάτων υπερπλήρωσης των Μ.Ε.Κ



→ Στην απαγωγή θερμότητας των Η/Υ



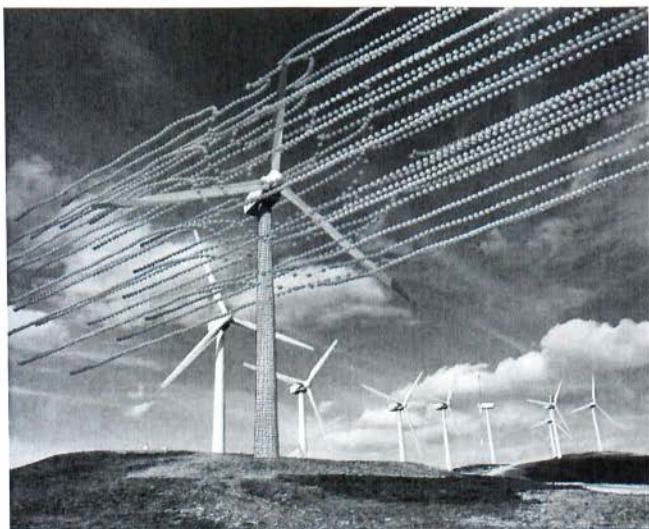
→ Στον Υπολογισμό των δυναμικών καταπονήσεων απο τα καιρικά φαινόμενα



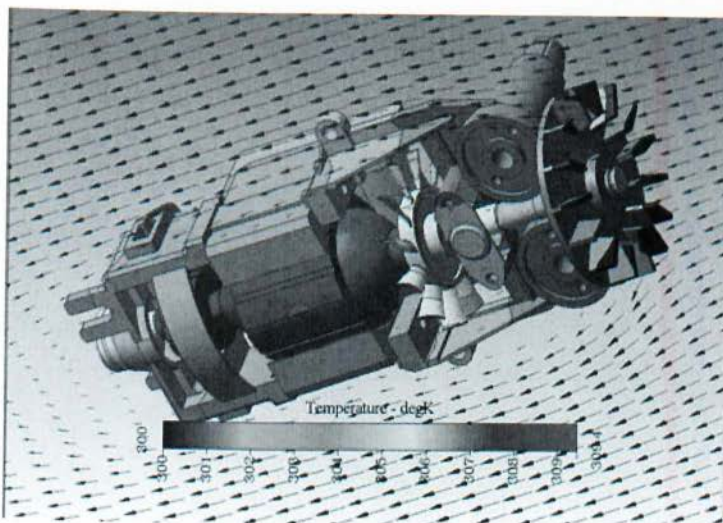
→Στον εξαερισμό των κτιρίων



→Στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας



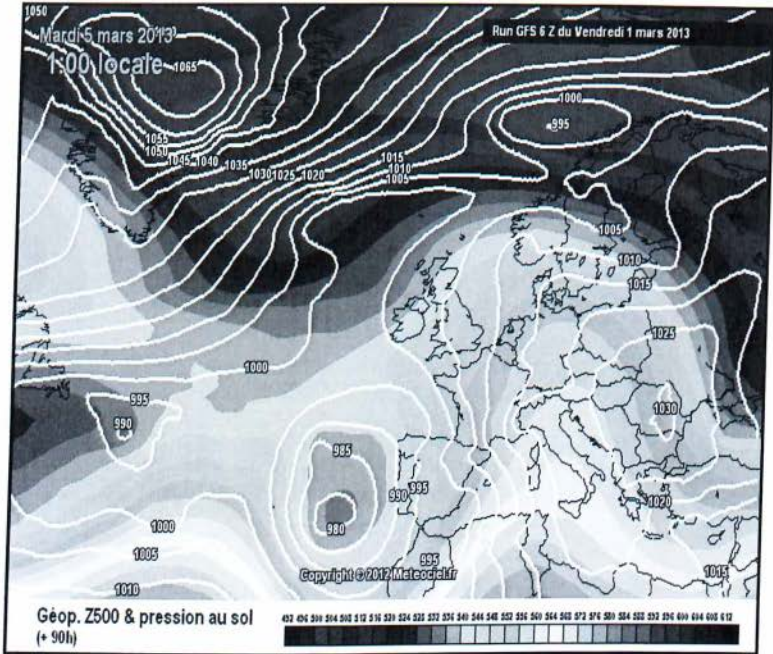
→ Στην Ροή ρευστού και μετάδοση θερμότητας σε βιομηχανικές διεργασίες (λέβητες, εναλλάκτες, συσκευές καύσης, αντλίες, ανεμιστήρες, σωληνώσεις,κ)



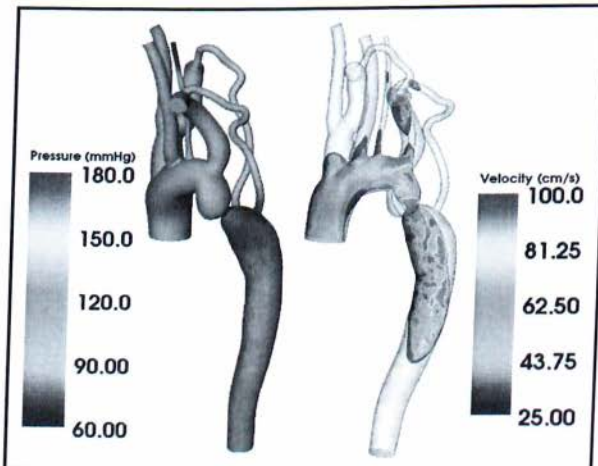
→ Σε Περιβαλλοντικές εφαρμογές εφαρμοσμένης μηχανικής - μεταφοράς των ρύπων και των αποβλήτων αποχέτευσης

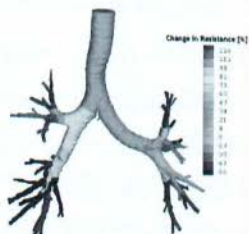
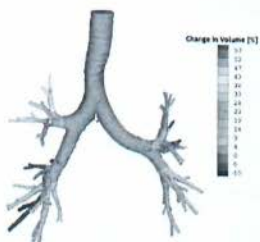


→ Στη μετεωρολογία





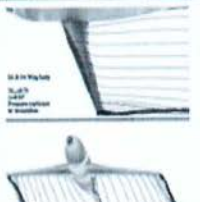





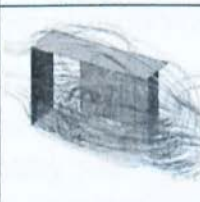

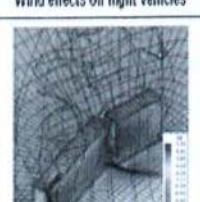





→ Σημαντικές εφαρμογές στον ιατρικό τομέα, έναν ταχύτατα εξελισσόμενο κλάδο, ο οποίος χρησιμοποιεί την τεχνολογία CFD για να μελετήσει το κυκλοφοριακό και το αναπνευστικό σύστημα.





→ Και σε άλλες γενικότερες εφαρμογές

			
Hermes on Ariane V rocket	Sänger spaceplane	Kinetic energy penetrator	Airbus A380 prototype
			
DLR-F4 Wing/body	V-style ski jumper	Ram-air parafoil	Turbulence from mountains
			
Wind effects on flight vehicles	Wind loads on girder bridge	Bus stop shelter	Train aerodynamics
			
Automotive aerodynamics	Vortex shedding in corrugated gas pipe	Water bag hydrodynamics	Big blade rowing oar flow analysis

2.4 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί των CFD

Οι αναλύσεις CFD έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις πειραματικές εφαρμογές παρόλα αυτά δεν σημαίνει ότι τις αντικαθιστούν πλήρως, αντιθέτως συνήθως χρησιμοποιούνται παράλληλα και αλληλοσυμπληρώνονται ώστε να υπάρχει μια πλήρης διεξαγωγή συμπερασμάτων. Μερικά από τα πλεονεκτήματα των αναλύσεων CFD είναι:

→ Είναι γρήγορες στην διεξαγωγή τους. Το γεγονός ότι όλη η διαδικασία λαμβάνει μέρος εικονικά καθιστά μία ανάλυση CFD σημαντικά πιο γρήγορη από μία αντίστοιχη πειραματική διαδικασία η οποία για να πραγματοποιηθεί θα πρέπει αρχικά να γίνει έλεγχος του εξοπλισμού καθώς και προσαρμογή του στις απαιτήσεις του πειράματος. Εκτός από αυτό σε μια ανάλυση CFD γίνεται ταχύτερη διεξαγωγή αποτελεσμάτων καθώς χιλιάδες υπολογισμοί γίνονται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα από τον Η/Υ ενώ αντίθετα σε ένα πείραμα η πραγματοποίηση των υπολογισμών είναι πολύ χρονοβόρα.

→ Είναι σημαντικά πιο οικονομικές. Και αυτό διότι για να πραγματοποιηθεί μία πειραματική διαδικασία απαιτείται εξοπλισμός που λόγω της εξειδικευμένης εφαρμογής του κοστίζει πολλά χρήματα αλλά και σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται και προσωπικό εξειδικευμένο το οποίο θα ξέρει να χειρίζεται τον αντίστοιχο εξοπλισμό. Αντίθετα σε μια ανάλυση CFD όλα γίνονται παραμετρικά μέσω του Η/Υ χωρίς να απαιτείται περαιτέρω εξοπλισμός.

→ Εισάγουν πολύ μικρή πιθανότητα λάθους. Αυτό συμβαίνει διότι ο Η/Υ είναι μία μηχανή προγραμματισμένη να διαβάζει δεδομένα. Εφόσον ο χειριστής του δώσει σωστά δεδομένα όσες χιλιάδες υπολογισμούς και να χρειαστεί να πραγματοποιήσει τα αποτελέσματα που θα δώσει θα ανταποκρίνονται πλήρως στα ζητούμενα του χρήστη αντίθετα όταν ένας άνθρωπος καλείται να πραγματοποιήσει πάρα πολλούς υπολογισμούς εισάγει μεγάλη πιθανότητα να πραγματοποιήσει έστω και ένα σφάλμα αλλοιώνοντας ίσως σημαντικά τα αποτελέσματα και κατ' επέκταση τα συμπεράσματα της πειραματικής διαδικασίας.

→ Προσομοιώνουν πραγματικές συνθήκες χωρίς κλίμακες και όρια. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές οι οποίες λόγω της φύσης τους καθιστάται αδύνατη η πραγματοποίησή τους σε πραγματικές συνθήκες, επομένως πραγματοποιούνται σε συνθήκες κλίμακας πράγμα το οποίο να μόν δίνει αποτελέσματα που βρίσκονται αρκετά κοντά σε αυτά των πραγματικών συνθηκών αλλά δεν είναι πλήρης η ταυτίσή τους. Μάλιστα σε μερικές εφαρμογές καθιστάται αδύνατη η πραγματοποίησή τους ακόμα και μέσω της προσέγγισης της κλίμακας όπως για παράδειγμα μία πυρηνική έκρηξη ή μια υπερηχητική ροή καθώς και άλλες πολλές πραγματικές εφαρμογές. Σε μια ανάλυση όμως γίνεται δυνατή η πραγματοποίηση οποιασδήποτε εφαρμογής προσομοιώνοντας πραγματικές συνθήκες και λαμβάνοντας κατ' επέκταση τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

→ Δίνουν αποτελέσματα σε ευρή χώρο. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των αναλύσεων είναι το γεγονός ότι ο χρήστης ορίζει το χώρο από τον οποίο θα δωθούν τα αποτελέσματα όσο μεγάλος ή μικρός και να είναι αυτός χωρίς περιορισμούς και όρια σε αντίθεση με μια πειραματική διαδικασία στην οποία το εύρος του συστήματος είναι περιορισμένο. Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία πλέγματος καθώς και με την πυκνότητά του. Όσο πιο πυκνό είναι το πλέγμα τόσο περισσότερα είναι τα κελιά του άρα υπάρχουν περισσότερα σημεία προς ανάλυση πράγμα που δίνει εξαιρετική ακρίβεια στα αποτελεσμάτα μας.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα τους οι αναλύσεις CFD έχουν μερικούς περιορισμούς

→ Οι αναλύσεις βασίζονται σε μαθηματικά μοντέλα και αυτά με την σειρά τους σε αντίστοιχα μοντέλα πραγματικών φαινομένων όπως για παράδειγμα μοντέλα τυρβώδους, συμπίεστικότητας, χημικών αντιδράσεων, πολυφασικής ροής, κλπ. Έτσι λοιπόν η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την ακρίβεια των μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται

→ Δυσκολή προσομοίωση αρχικών/οριακών συνθηκών. Μία άλλη παράμετρος που καθορίζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων μιας ανάλυσης είναι ο ορισμός των αρχικών/οριακών συνθηκών (δλδ το πόσο ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα). Για παράδειγμα η ροή σε αγωγή με απότομη διεύρυνση. Το προφίλ της ταχύτητας στην είσοδο είναι πιο ρεαλιστικό να αντιστοιχεί σε αναπτυγμένη ροή, παρά να είναι ομοιόμορφη.

2.5 Τα βασικά βήματα μιας Ανάλυσης CFD

Για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση μιάς πραγματικής εφαρμογής με την βοήθεια ενός προγράμματος με επιτυχία είναι απαραίτητος ο καθορισμός ορισμένων βασικών βημάτων που βοηθούν στην ανάλυση του προβλήματος.

2.5.1 Καθορισμός των κύριων στόχων της μοντελοποίησης

→ Το είδος των αποτελεσμάτων που επιθυμούμε καθώς και τον τρόπο αξιοποίησης αυτών

→ Καθορισμός των μαθηματικών μοντέλων που θα χρειαστεί να ενσωματώσουμε στην ανάλυση μας

→ Την ακρίβεια την οποία επιθυμούμε στα αποτελέσματά μας

→ Τον χρόνο μέσα στον οποίο επιθυμούμε να έχουμε τα αποτελέσματα που ζητάμε

2.5.2 Καθορισμός του Πεδίου προς επίλυση (Όσον αναφορά τον Χώρο και τον Χρόνο)

→ Τον τρόπο με τον οποίο θα απομονωθεί ένα κομμάτι του ολικού φυσικού συστήματος

→ Τα όρια (αρχή και τέλος) του υπολογιστικού μας πεδίου

→ Το είδος των οριακών συνθηκών που είναι απαραίτητες για την πραγματοποίηση της ανάλυσης

→ Αξιολόγηση πιθανότητας ανάλυσης του προβλήματος σε δύο διαστάσεις και ύπαρξης ροικής και γεωμετρικής συμμετρίας

2.5.3 Σχεδιασμός και Κατασκευή του Υπολογιστικού πλέγματος

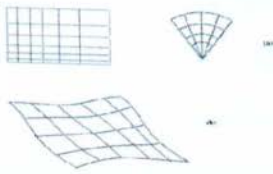
→ Καθορισμός του βαθμού ανάλυσης (resolution) πλέγματος σε κάθε τμήμα του πεδίου

→ Πιθανότητα προσαρμογής του πλέγματος για αύξηση της ανάλυσης (resolution)

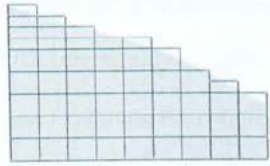
→ Αριθμητικός καθορισμός των στοιχείων του πλέγματος που είναι αναγκαία για την πραγματοποίηση την ανάλυσης

→ Καθορισμός του τύπου του πλέγματος που θα χρησιμοποιηθεί πχ εξαεδρικό/τετραπλευρικό ή τετραεδρικό/τριγωνικό, υβριδικό, μή συμβατό πλέγμα

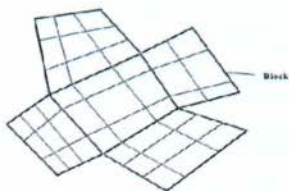
Τύποι πλεγμάτων προς χρήση



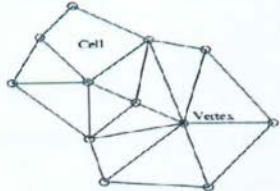
Κανονικά πλέγματα και πλέγματα 'body-fitted'



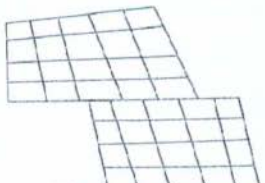
Βαθμιωτή αναπαράσταση περιπλοκής γεωμετρίας



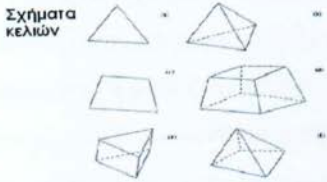
Δομημένα κατά block πλέγματα



Αδόμητα (unstructured) πλέγματα

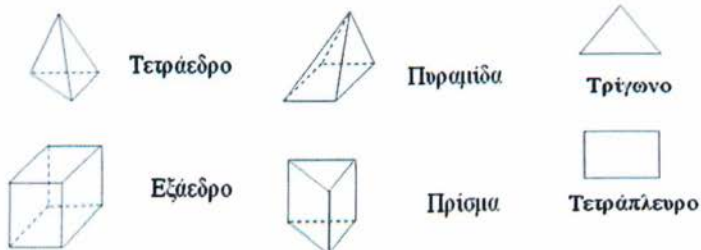


Πλέγματα με κελιά που δεν συμπίπτουν οι ακμές τους



Υβριδικά πλέγματα

Διάφορα σχήματα κελιών



2.5.4 Δημιουργία Αριθμητικού/Μαθηματικού Μοντέλου

Για την επίλυση κάθε πρόβληματος CFD θα πρέπει να :

→Οριστεί ένα μαθηματικό μοντέλο.

Οι κώδικες CFD έχουν σχεδιαστεί /προγραμματιστεί ώστε να επιλύουν βασικά φαινόμενα μηχανικής ρευστών, εφαρμόζοντας διαφορετικά μοντέλα. Τέτοια μοντέλα είναι τα μοντέλα τυρβώδους ροής και τα μοντέλα ελεύθερης επιφανειακής ροής.

Τυρβώδεις ροές με μεγάλο αριθμό Reynolds συνήθως περιλαμβάνουν μικρές και μεγάλες κλίμακες στροβιλοειδών κατασκευών καθώς και πολύ λεπτό οριακό στρώμα δίπλα στο τοίχωμα.

• Μοντέλα τυρβώδους ροής

Τα μοντέλα αυτά είναι πιο ακριβή όσον αφορά την επίλυση εξισώσεων, αλλά πιο ακριβά για τις τυρβώδεις ροές ενώ παράλληλα κάνουν προβλέψεις για τη ροή, αποτελεσματικές (αξιόπιστες) μέσα στο οριακό στρώμα, αλλά όχι τόσο ακριβείς και στην χωρισμένη περιοχή.

• Μοντέλα ελεύθερης επιφανειακής ροής

Στα μοντέλα αυτής της μορφής, το πλέγμα μετακινείται καταλαμβάνοντας την ελεύθερη επιφάνεια, περιορισμένο σε πλάγια κυματοειδή μορφή.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι μέσα στις επιλογές του χρήστη, συμπεριλαμβάνεται και η επιλογή των μοντέλων τα οποία προσχεδιάζονται από τους κώδικες, ενώ οι αρχικές και οριακές συνθήκες δεν προσχεδιάζονται από

τους κώδικες και πρέπει να οριστούν από τον χρήστη, ανάλογα με τις εφαρμογές.

→ Να καθοριστούν οι ιδιότητες των υλικών π.χ. στερεά, υγρά, αέρια, ιξώδες(λεπτορευστο η παχύρευστο) καθώς και η γεωμετρία τους

Οι απλές γεωμετρίες μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν από ελάχιστες γεωμετρικές παραμέτρους (π.χ. κυλινδρικός σωλήνας)

Οι σύνθετες γεωμετρίες μπορούν να κατασκευαστούν είτε από τις διαφορικές εξισώσεις είτε καθώς εισάγονται οι βάσεις δεδομένων (database) της γεωμετρίας, στο λογισμικό του υπολογιστή (π.χ. αεροτομή)

→ Να καθοριστούν οι συνθήκες προσομοίωσης π.χ.

- Εξωτερική - Εσωτερική ροή (όρια τοιχώματος)
- Τυρβώδης - Στρωτή ροή (αριθμός Reynolds)
- Ασυμπίεστη- Συμπιεστή
- Απλή-Πολυφασική
- Φαινόμενα που εξαρτώνται από θερμοκρασία-πυκνότητα
- Ελεύθερη επιφανειακή ροή και επιφανειακή τάση
- Χημικές αντιδράσεις και καύση

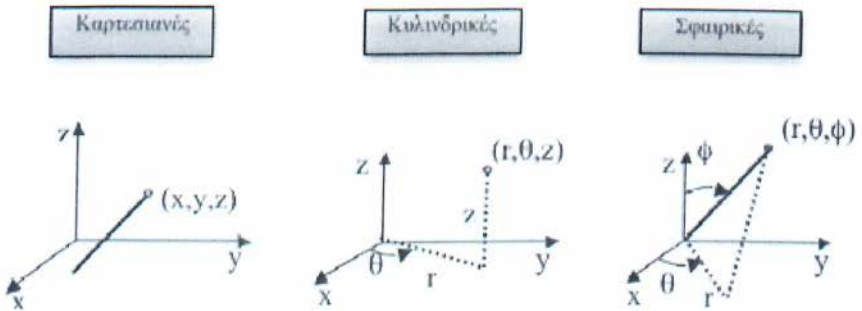
→ Να καθοριστούν οι αρχικές/οριακές συνθήκες

Οι αρχικές συνθήκες δεν πρέπει να επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα, παρά μόνο την διαδικασία της ανάλυσης, π.χ. ο αριθμός των επαναλήψεων(σταθερή ροή), ή ο χρόνος των βημάτων(μη σταθερή ροή). Περισσότερες δικαιολογημένες υποθέσεις επιταχύνουν τη διαδικασία, ενώ για σύνθετα προβλήματα ασταθούς ροής, πολλές φορές ο χρήστης τρέχει το πρόγραμμα σαν να είχε πρόβλημα σταθερής ροής για περισσότερες επαναλήψεις, έτσι ώστε να εξασφαλίσει καλύτερες αρχικές συνθήκες.

Όσον αφορά τις οριακές συνθήκες, αυτές πρέπει να δηλώνονται πάνω στη δεδομένη γεωμετρία, π.χ. τα τοιχώματα(walls), η είσοδος και η έξοδος του ρευστού ή των σωματιδίων ανάλογα, π.χ. Inlet (velocity inlet, mass flow rate,

constant pressure, κ.τ.λ.), Outlet ή Outflow (constant pressure, velocity convective, numerical beach, zero-gradient, κ.τ.λ.).

→ Να οριστεί ένα σύστημα συντεταγμένων



2.5.5 Εκτέλεση των υπολογισμών

Αφού έχει ολοκληρωθεί η δημιουργία του αριθμητικού μοντέλου, επόμενο βήμα είναι η επίλυση και η παρακολούθηση της λύσης, η οποία γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

1) Αριθμητικές Μέθοδοι

Οι συνεχείς αρχικές οριακές συνθήκες χαρακτηρίζονται από αλγεβρικές εξισώσεις, οι οποίες επιλύουν το σύστημα με προσεγγιστικές λύσεις.

Οι αριθμητικές μέθοδοι περιλαμβάνουν:

2) Περιγραφικές μεθόδους

Μέθοδος πεπερασμένων διαφορών (όταν πρόκειται για πλέγμα καθορισμένης μορφής) και μέθοδος πεπερασμένων όγκων (για πλέγμα ακανόνιστης μορφής).

- Κάθε μια από τις παραπάνω μεθόδους αποφέρει την ίδια λύση, εάν το πλέγμα είναι αρκετά καλό. Ωστόσο, τότε η μια μέθοδος και τότε η άλλη, είναι περισσότερο χρήσιμη (και κατά συνθήκη κατάλληλη) από την άλλη, ανάλογα με τη χρήση.

- Οι περισσότεροι ποιοτικές αριθμητικές μέθοδοι συνήθως αποφέρουν αποτελέσματα με μεγάλη ακρίβεια αλλά μάλλον ασταθή εξαιτίας λιγότερης αριθμητικής dissipation.

- Explicit μέθοδοι μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν αλλά θα δώσουν μόνο κατά συνθήκη σωστές μερικές διαφορικές εξισώσεις, οι οποίες περιορίζονται από το χρόνο του βήματος.

- Η περιγραφική μέθοδος θεωρείται ευσταθής αν δεν μεγαλώνει τα σφάλματα τα οποία εμφανίζονται κατά τη διαδικασία της αριθμητικής επίλυσης.

- Pre-conditioning μέθοδος χρησιμοποιείται όταν είναι αδύνατο να επιλυθεί το γραμμικό σύστημα, όπως π.χ. περιπτώσεις πολυφασικής ροής

1) Μεθόδους επίλυσης(solvers) και αριθμητικές παραμέτρους

- Τα είδη των επιλυτών (Solvers) μπορούν να είναι PETSC solver, tridiagonal, pentadiagonal solvers, solution-adaptive solver, πολλαπλού πλέγματος(multi-gridsolvers) κ.α.

- Οι μέθοδοι επίλυσης(solvers) μπορούν να είναι είτε άμεσες είτε επαναληπτικές. Οι αριθμητικές παράμετροι πρέπει να είναι καθορισμένες, για τον έλεγχο των υπολογισμών.

- Οι αριθμητικές παράμετροι πρέπει να προσδιορίζονται ώστε να ελέγχουν τους υπολογισμούς.

- Διαφορετική απεικόνιση αριθμητικών συμβόλων

- Αλλαγές των αποτελεσμάτων μεταξύ των επαναλήψεων

- Αριθμός επαναλήψεων για σταθερή ροή ή αριθμός βημάτων για μεταβλητή ροή

- Απλές / Διπλές ακρίβειες

3) Δημιουργία πλέγματος και μετασχηματισμό του

4) Μεγάλης ακρίβειας υπολογισμούς

2.5.6 Διαδικασία CFD Ανάλυσης

Οι υπολογισμοί μιας ανάλυσης CFD απαιτούν υψηλή υπολογιστική ικανότητα η οποία επιτυγχάνεται με τους υπερυπολογιστές με μια μέθοδο πολλαπλών περασμάτων (multi-block technique).

Όπως απαιτείται, με την multi-block technique, οι CFD κώδικες πρέπει να αναπτυχθούν μέσα από μια λειτουργία [Message Passing Interface(MPIStandard)], ώστε να μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ διαφορετικών. Επίσης, όσον αφορά στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων (περίγραμμα, βέλη ταχύτητας, γραμμές ροής κ.τ.λ.), η χρησιμότητα των CFD κωδίκων ποικίλει και διαφέρει ανάλογα με τις εφαρμογές, όπως για παράδειγμα, έρευνα αλληλεπίδρασης ρευστών σε ροή με φουσαλίδες, μελέτη μεγάλων χωρισμένων κυματοειδών ροών σε ελεύθερη επιφάνεια.

Η διαδικασία μιάς CFD ανάλυσης εξαρτάται από τον σκοπό και καθορίζεται από τις συνθήκες ροής του προβλήματος. Η επιλογή του κατάλληλου κώδικα γίνεται με γνώμονα την εκάστοτε περίπτωση (π.χ. αεροσκάφη, πλοία, πολυφασικές ροές, καύση κ.α.).

Κάθε φορά εφόσον γίνει η επιλογή από τον χρήστη του ανάλογου CFD κώδικα/κώδικες, τα στάδια τα οποία περνάνε μέχρι την επίλυση του προβλήματος, είναι τα εξής:

- Γεωμετρία

Στο στάδιο αυτό της γεωμετρίας, γίνεται η επιλογή κατάλληλου συστήματος συντεταγμένων. Πιο αναλυτικά ο χρήστης ασχολείται με τον καθορισμό του μεγέθους και του σχήματος, δηλαδή με την επιλογή των κατάλληλων σχημάτων που είναι απαραίτητα για την καλύτερη επίλυση της γεωμετρίας.

Όσον αφορά στους εμπορικούς κώδικες, η γεωμετρία κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας εμπορικό λογισμικό (είτε χωριστά από εμπορική κωδικοποίηση, όπως π.χ. το Gambit, είτε συνδυαζόμενο, όπως π.χ. το Fluent

- Φυσική

Με την επιστήμη της φυσικής, γίνεται εφικτή η μελέτη εννοιών όπως οι συνθήκες ροής και οι ιδιότητες των ρευστών. Λέγοντας συνθήκες ροής, ασφαλώς εννοείται το είδος της ροής, δηλαδή για το αν είναι στρωτή ή

τυρβώδης ροή, ενώ οι ιδιότητες των ρευστών οι οποίες απασχολούν τον χρήστη είναι η πυκνότητα, το ιξώδες και άλλες.

Οι συνθήκες ροής και οι ιδιότητες των ρευστών συνήθως αναπαρίστανται σε μη αδιάστατη μορφή με βιομηχανικό εμπορικό λογισμικό, συμπεριλαμβανομένων και αδιάστατων μεταβλητών.

- Πλέγμα

Τα πλέγματα θα πρέπει να είναι κατάλληλα κατασκευασμένα έτσι ώστε να μπορούν να επιλύουν χαρακτηριστικά ροής τα οποία εξαρτώνται από παραμέτρους συνθηκών ροής (π.χ. αριθμός Re).

Το πλέγμα μπορεί να δημιουργηθεί είτε από εμπορικούς κώδικες (π.χ. Gambit), είτε με διερευνητικούς / έπειτα από μελέτη (σύμφωνη σχεδίαση). Επίσης, το πλέγμα μαζί με τις οριακές συνθήκες πρέπει να εξαχθούν από εμπορικό λογισμικό, σε βασικό σχήμα και διάταξη (format), το οποίο θα αναγνωρίζεται (υποστηρίζεται) από τους παραπάνω διερευνητικούς κώδικες, ή από άλλο εμπορικό λογισμικό.

- Επίλυση (Solve)

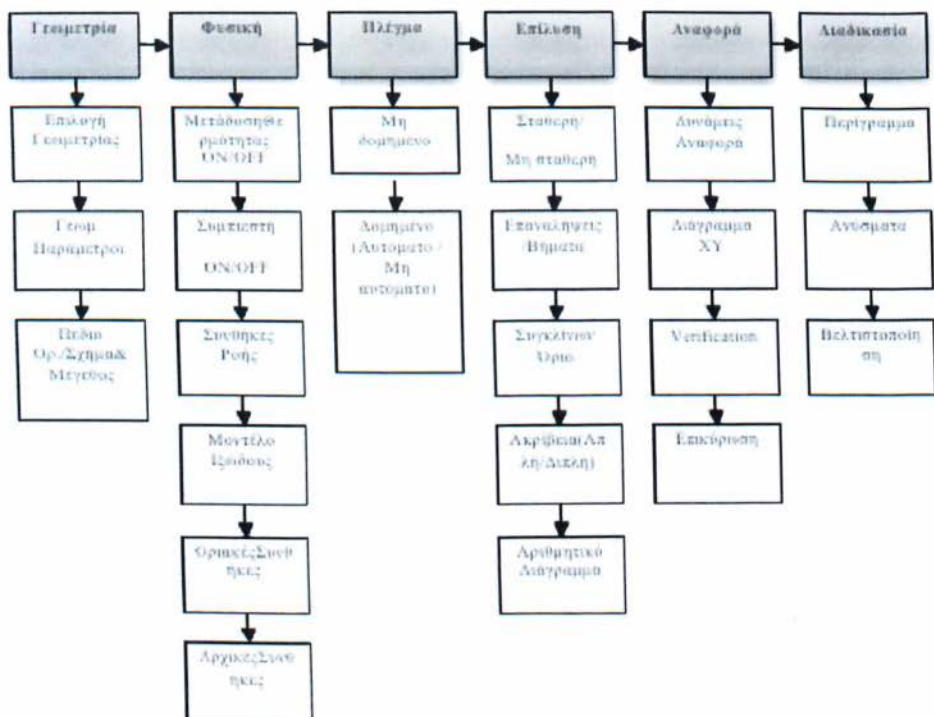
Οι διακριτοποιημένες (αλγεβρικές) εξισώσεις επιλύονται επαναληπτικά. Γι'αυτό απαιτείται ένας αριθμός επαναλήψεων, έως ότου πάρουμε λύση με σύγκλιση. Η σύγκλιση επιτυγχάνεται όταν οι αλλαγές μεταξύ λύσεων διαδοχικών επαναλήψεων είναι αμελητέες.

Η ακρίβεια μίας λύσης που έχει συγκλίνει εξαρτάται από την καταλληλότητα και την ακρίβεια των μαθηματικών μοντέλων, από την πυκνότητα του πλέγματος (ανεξαρτησία), από το "στήσιμο" του προβλήματος (problem setup). Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζουν η επιλογή των απαραίτητων αριθμητικών παραμέτρων αλλά και η επιλογή των κατάλληλων Solvers

- Αναφορά (Report)

- Διαδικασία (PostProcessing)

Η διαδικασία της CFD ανάλυσης, μπορεί να παρουσιαστεί συνοπτικά, με το σχεδιάγραμμα του Σχήματος που ακολουθεί



Σχήμα 2.2: Η διαδικασία της CFD ανάλυσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ψεκασμός - Spray

3.1 Ορισμός

Το spray είναι μια δυναμική συλλογή σταγόνων σε διασπορά τα οποία βρίσκονται σε αέρια μορφή. Η διεργασία σχηματισμού ενός spray είναι γνωστή ως εξαερίωση. Το μπέκ ψεκασμού είναι η συσκευή που χρησιμοποιείται για την δημιουργία ενός spray. Οι δύο κύριες χρήσεις του spray είναι για τη διανομή υλικού πάνω από μια εγκάρσια τομή και να παράγουν υγρά επιφάνεια. Υπάρχουν χιλιάδες εφαρμογές στις οποίες το spray επιτρέπει στο υλικό να χρησιμοποιείται πιο αποτελεσματικά. Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά ψεκασμού πρέπει να γίνουν κατανοητά, ώστε να επιλέξετε την πιο κατάλληλη τεχνολογία, την βέλτιστη διάταξη και το μέγεθος.

3.2 Σημασία των Spray

Η εξάτμιση των σταγονιδίων spray σε ένα τυρβώδες περιβάλλον είναι σημαντική για έναν αριθμό τεχνικών και βιομηχανικών διαδικασιών. Μία από τις πιο κοινές διαδικασίες είναι η εξατομίκευση, η εξάτμιση, και η καύση των υγρών καυσίμων σε κινητήρες εσωτερικής καύσης και υγρούς καυστήρες. Στη χημική και μηχανολογική βιομηχανία, για παράδειγμα, ένας αριθμός προϊόντων παράγονται με ξήρανση ψεκασμού (spray) (π.χ., καφές και σκόνης πλυσίματος). Άλλες διαδικασίες που περιλαμβάνουν υγρά spray είναι ψύξη επιφανειών με spray, spray σε υγρούς καθαριστήρες, και χρωματισμός με spray.

Η διφασική ροή σε ένα σπρέι περιλαμβάνει μια σειρά πολύπλοκων φυσικών φαινομένων. Μπορούν να εντοπιστούν τέσσερις περιοχές ροής σε ένα ψεκασμό, όπου συγκεκριμένα φυσικά φαινόμενα τις διέπουν:

1. διάσπασης ενός υγρού φύλλου ή τζετ σε σταγονίδια
2. πυκνή περιοχή ψεκασμού όπου αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταγονιδίων επικρατούν (π.χ., συνένωση)

3. αραιωμένη περιοχή ψεκασμού όπου η αεροδυναμική μεταφορά των σταγονιδίων είναι κυρίαρχη

4. αλληλεπίδραση των σταγονιδίων με άκαμπτα τοιχώματα όπου είτε φαινόμενα εναπόθεσης, πλήρης αντανάκλασης ή δευτερεύουσας εξατομίκευσης (π.χ διάσπαση ενός σταγονιδίου σε μια σειρά από μικρότερα σταγονίδια) λαμβάνουν χώρα.

3.3 Ιστορική Αναδρομή

Ως αποτέλεσμα των δυσκολιών που συνδέονται με την εκτέλεση αξιόπιστων πειραμάτων σε spray εξάτμιζόμενα σε θερμαινόμενη ροή αερίου υπό σαφώς προσδιορισμένες συνθήκες, οι μελέτες αυτές είναι σπάνιες. Η εξάτμιση ενός Freon-11 ψεκασμού που εγχέεται μέσα σε ακινητο αέρα εξετάστηκε από τον Solomon το 1985, χρησιμοποιώντας μάλλον απαρχαιωμένα όργανα. Για τις μετρήσεις της συγκέντρωσης σταγονιδίων χρησιμοποιήθηκε ισοκινητική δειγματοληψία, και η κατανομή μεγέθους σταγονιδίων προσδιορίστηκε με φωτογραφικές μεθόδους και μεθόδους ενσφίνωσης. Επιπλέον, οι συνθήκες εισόδου ελήφθησαν μόνο μακρύτερα από το ακροφύσιο, και κανένας συσχετισμός μεταξύ του μεγέθους των σταγονιδίων και της ταχύτητας δεν δόθηκε. Για λεπτομερείς αριθμητικές προβλέψεις των spray, ωστόσο, είτε η διάλυση θα πρέπει να διαμορφωθεί, ή οι συσχετίσεις μεταξύ του μεγέθους του σταγονιδίου και της ταχύτητα απαιτούνται σε κάποια απόσταση κατάντη του ακροφύσιου. Μία πιο λεπτομερής μελέτη ενός μη εξατμιζόμενου spray που αλληλεπιδρά με ένα συν-ρεον ρεύμα τυρβώδους αέρα διεξήχθη από τον Ruddof το έτος 1987 με την χρήση phase-doppler anemometry. Οι μετρήσεις περιελάμβαναν συσχετισμούς για τις τοπικές κατανομές μεγέθους των σταγονιδίων καθώς και του μεγέθους ταχύτητας. Για μια σειρά από συνθήκες ροής παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά του αερίου, οι ταχύτητες των σταγονιδίων καθώς και η (sauter) μέση διάμετρος.

3.4 Χρήσεις των spray

Spray καυσίμων: Τα spray των υγρών υδρογονανθράκων (ορυκτά καύσιμα) είναι από τις πιο οικονομικές καθώς και σημαντικές εφαρμογές των ψεκασμών (spray). Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών περιλαμβάνουν εγχυτήρες (μπεκ) ψεκασμού καυσίμου για βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες, ψεκαστήρες για κινητήρες jet (αεριοστρόβιλοι), ψεκαστήρες για την έγχυση βαρέος μαζούτ στον αέρα καύσης σε εγχυτήρα(μπεκ) ατμολέβητα καθώς και εγχυτηρές(μπεκ) σε πυραυλικές μηχανές. Το μέγεθος των σωματιδίων είναι σημαντικό διότι το μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας από ένα τέλεια διασπασμένο spray ενισχύει τον ρυθμό εξάτμισης του καυσίμου. Η διασπορά του καυσίμου στον αέρα καύσης είναι κρίσιμης σημασίας για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων αυτών και την ελαχιστοποίηση των εκπομπών ρύπων [αιθάλη, οξειδίων του αζώτου(NO_x), μονοξειδίου του άνθρακα (CO)]

Βιομηχανικά spray:

A) Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Ιλύς ασβεστόλιθου ψεκάζεται με μονά ακροφύσια ψεκασμού υγρού για τον έλεγχο των οξέων εκπομπών αερίων, ιδίως διοξειδίου του θείου (SO_2) που παράγεται από την καύση του άνθρακα σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καθαριστήρες υγρού. Υδροξείδιο του ασβεστίου (ασβέστης) ψεκάζεται σε ένα απορροφητή στεγνωτήρα ψεκασμού, για την απομάκρυνση όξινων αερίων (SO_2 και HCl) από την καύση άνθρακα μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Το νερό ψεκάζεται προς απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων χρησιμοποιώντας έναν πύργο ψεκασμού ή έναν κυκλωνικό καθαριστή spray. Πύργοι ψύξης χρησιμοποιούν ακροφύσια ψεκασμού για τη διανομή του νερού.

B) Τρόφιμα και ποτά

Spray χρησιμοποιούνται για να πλένουν τα φρούτα και τα λαχανικά. Ξήρανση δια μέσου ψεκασμού χρησιμοποιείται για να παράγει εκατοντάδες προϊόντα τροφίμων, συμπεριλαμβανομένου του στιγμιαίου καφέ, σούπες σε σκόνη, και αρωματικά συμπυκνώματα. Στην επικάλυψη των φαγώσιμων προϊόντων με αρωματικές ουσίες και πρόσθετες επιφανειακές επικαλύψεις. Στον καθαρισμό και την απολύμανση δεξαμενών αποθήκευσης χρησιμοποιούνται μονά

ακροφύσια για την απομάκρυνση και την έκπλυση διαφόρων υλικών. Αυτά τα εξειδικευμένα ακροφύσια καθαρισμού των δεξαμενών έχουν συχνά μια περιστροφική κίνηση που τροφοδοτείται απο ρευστό με σκοπό την αύξηση της αποτελεσματικότητας καθαρισμού τους.

Γ) Βιομηχανία

Τα spray χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της βιομηχανίας. Μερικές τυπικές εφαρμογές είναι η εναπόθεση κόλλας, λίπανση ρουλεμάν, και η ψύξη εργαλείων σε επιχειρήσεις κατεργασίας. Επίσης στον καθαρισμό εξαρτημάτων με την χρήση spray ζεστού νερού καθώς και απορυπαντικών σπρέι για την απολίπανση τους, στην ανακατασκευή ηλεκτροκινητήρων, στην ανακατασκευή κινητήρων diesel, στα χαλυβουργικά και στα σιδηροδρομικά ρουλεμάν. Spray υψηλής πίεσης χρησιμοποιούνται επίσης στο ξεγρέζισμα διαφόρων μηχανικών μερών. Τέλος spray βαφής χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές διαδικασίες παραγωγής όπως για παράδειγμα, αυτοκίνητα, οικιακές συσκευές, έπιπλα γραφείου κ.α.

Δ) Πυροπροστασία

Με ψεκασμό νερού από σταθερούς ψεκαστήρες. Υψηλής πίεσης υδατικά συστήματα υδρονέφωσης για ακριβό και ευαίσθητο εξοπλισμό όπως για παράδειγμα μηχανοστάσια υποβρυχίων σκαφών. Σε συστήματα κατακλυσμού περιουσιακών στοιχείων ή ακόμα για να διατηρεί εκρηκτικές ύλες δροσερές σε περίπτωση πυρκαγιάς (πχ γκαζάκια) και τέλος σε συστήματα “τούνελ νερού” που αποσκοπούν στην εξασφάλιση ενός ασφαλούς και “δροσερού” διαδρόμου ώστε να επιτρέπουν στους ανθρώπους να διαφεύγουν σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Ε) Χαλυβουργία

Με τη μορφή νερού υψηλής πίεσης που χρησιμοποιείται για την αφαίρεση οξειδίων του σιδήρου από κόκκινο καυτό χάλυβα κατά τη διαδικασία μετατροπής σε φύλλα ή λουρίδες. Στην βαφή κωκ και στις εγκαταστάσεις οπτανθρακοποίησης. Στην ψύξη των μετάλλων κατα την διέλαση και τέλος στην αποξείδωση και την έκπλυση κατα την αποξείδωση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Τα εμπορικά λογισμικά πακέτα Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής - Gambit & Fluent

4.1 Η εννοιολόγηση του Gambit

Το GAMBIT (Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit) είναι ένας ενιαίος, ολοκληρωμένος προεπεξεργαστής για CFD ανάλυση. Με βάση αυτό το πρόγραμμα ο σχεδιαστής ο οποίος θέλει να προσομοιώσει ένα μοντέλο για ένα φαινόμενο, μπορεί να σχεδιάσει το μοντέλο, να κατασκευάσει το πλέγμα και να περάσει τις οριακές συνθήκες έτσι ώστε στη συνέχεια να μπορεί να επιλύσει φαινόμενα ροής ρευστών, μεταφοράς θερμότητας και άλλων πολλών επιστημονικών εφαρμογών. Το Gambit είναι ο εύκολος τρόπος για την παραγωγή πλέγματος για όλους τους λύτες του Fluent (συμπεριλαμβανομένου των FIDAP και POLYFLOW), όπου εξετάζει ποιοτικά το πλέγμα για την καλύτερη δυνατή κατασκευή του. Τέλος, μπορεί να δημιουργήσει ζώνες οριακών συνθηκών. Η έκδοση του GAMBIT που χρησιμοποιήθηκε στη πτυχιακή εργασία είναι η 2.4.6.

4.2 Λειτουργία του Gambit

Στο Gambit ακολουθείται μία σειρά εκτελέσεων ώστε να καταλήξουμε σε ορθό σχεδιασμό και σωστά αποτελέσματα.

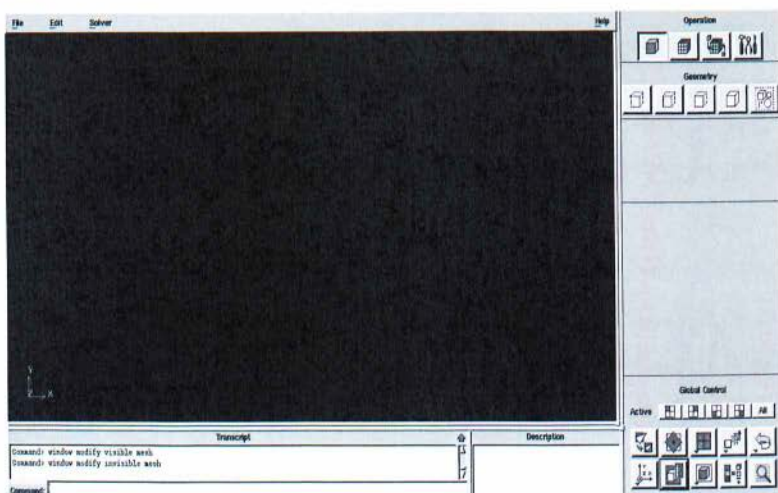
Αρχικά γίνεται η επιλογή του λύτη, έπειτα ακολουθεί η κατασκευή ολόκληρης της γεωμετρίας (ACIS, STEP, PARASOLID, IGES) και η ανάλυση της σε τμήματα που μπορούν να δημιουργήσουν πλέγμα. Μετά γίνεται η κατασκευή του πλέγματος σε ακμές και οριακές επιφάνειες καθώς και σε πλευρές και όγκους. Ακολουθεί ο έλεγχος του πλέγματος, ο ορισμός ζωνών και οριακών συνθηκών και τέλος η εξαγωγή του πλέγματος. Ο σκοπός του Gambit είναι αρχικά η κατασκευή της γεωμετρίας/σχήματος και η δημιουργία πλέγματος για προβλήματα ροής και στερεές περιοχές για μετάδοση θερμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή και δουλεύοντας πάνω σε μικρά στοιχεία της γεωμετρίας Η κατασκευή του πλέγματος είναι το σημαντικότερο πράγμα, γιατί

όσο πιο μικρά στοιχεία (κελιά) αποτελούν το πλέγμα, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια θα έχουμε στα αποτελέσματα. Όμως με την χρησιμοποίηση μικρών κελιών αυξάνονται οι απαιτήσεις του προγράμματος σε ισχύ του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το GAMBIT μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε διαβάθμιση του μεγέθους του πλέγματος έτσι ώστε στα σημεία που χρειάζεται, να έχουμε πιο πυκνό πλέγμα από τα υπόλοιπα σημεία.

4.3 Γραφικό περιβάλλον του Gambit

Το γραφικό περιβάλλον του **Gambit** αποτελείται από:

Το ΚΥΡΙΟ ΜΕΝΟΥ, το οποίο περιλαμβάνει τις βασικές λειτουργίες του λογισμικού πακέτου και βρίσκεται στο πάνω μέρος του παραθύρου που παρουσιάζεται πιο κάτω:

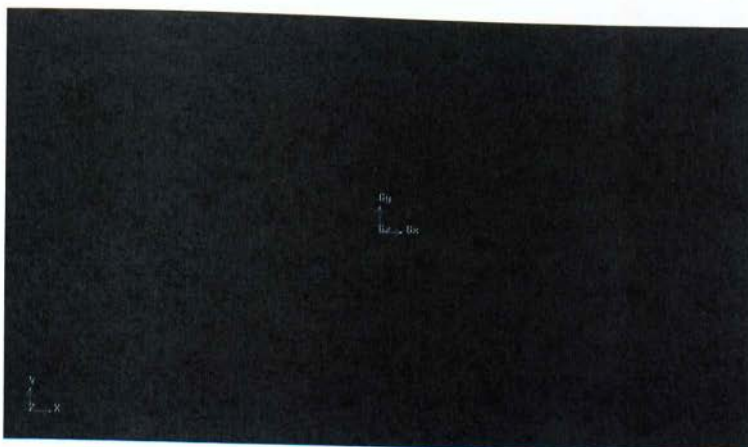


Σχήμα 4.1: Σχεδιαστικό Περιβάλλον Gambit

- File, από όπου έχει τις εξής επιλογές: δημιουργία, άνοιγμα, αποθήκευση, εκτύπωση γραφικών, τροποποίηση και τρέξιμο αρχείων, εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων και έξοδος.
- Edit, από όπου μπορεί να κάνει τροποποίηση: τίτλων, αρχείων, παραμέτρων.
- Solver, το οποίο περιλαμβάνει: τον ορισμό του υπολογιστικού λύτη.

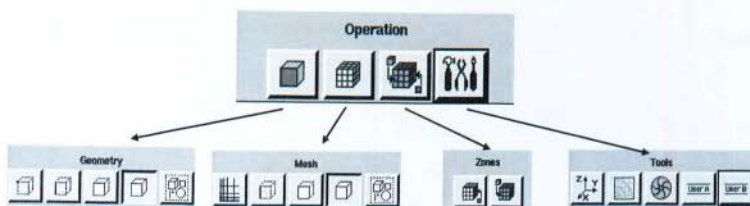
- Help, με το οποίο όπως και όλα τα λογισμικά προγράμματα, επιτρέπει βοήθεια μέσω διαδικτύου.

Η αρχική εικόνα που εμφανίζεται κατά την έναρξη του προγράμματος είναι η επιφάνεια εργασίας γραφικών (**graphic user interface**). Πάνω σε αυτήν την επιφάνεια σχεδιάζεται το σχήμα που θέλουμε.



Σχήμα 4.2: Επιφάνεια εργασίας Gambit

Δεξιά πάνω από την επιφάνεια εργασίας είναι τα κύρια μέρη λειτουργιών και εντολών του προγράμματος GAMBIT. Η γραμμή εργαλείων και λειτουργιών αποτελείται από τέσσερα επιμέρους τμήματα.



Σχήμα 4.3: Γραμμή Εργαλείων και Λειτουργιών

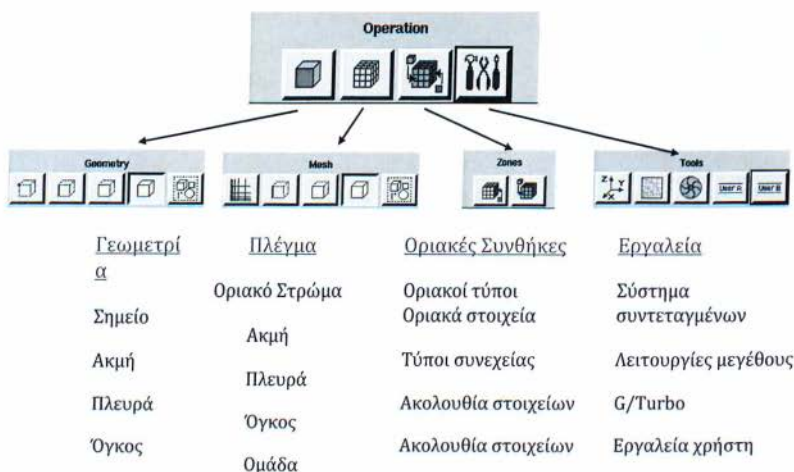
1) Geometry (Γεωμετρία): Με το πλήκτρο αυτό, ενεργοποιούνται τα εργαλεία με τα οποία κατασκευάζουμε ένα γεωμετρικό σχήμα (κύβο, κύλινδρο κ.τ.λ).

2) Mesh (Πλέγμα): Με το πλήκτρο αυτό, ενεργοποιούνται τα εργαλεία με τα οποία κατασκευάζουμε το πλέγμα πάνω στην γεωμετρία που είχαμε κατασκευάσει στο προηγούμενο βήμα.

3) Zones (Ζώνες): Με το πλήκτρο αυτό, ενεργοποιούνται τα εργαλεία με τα οποία ορίζουμε τις οριακές συνθήκες του γεωμετρικού μοντέλου που θέλουμε να κατασκευάσουμε.

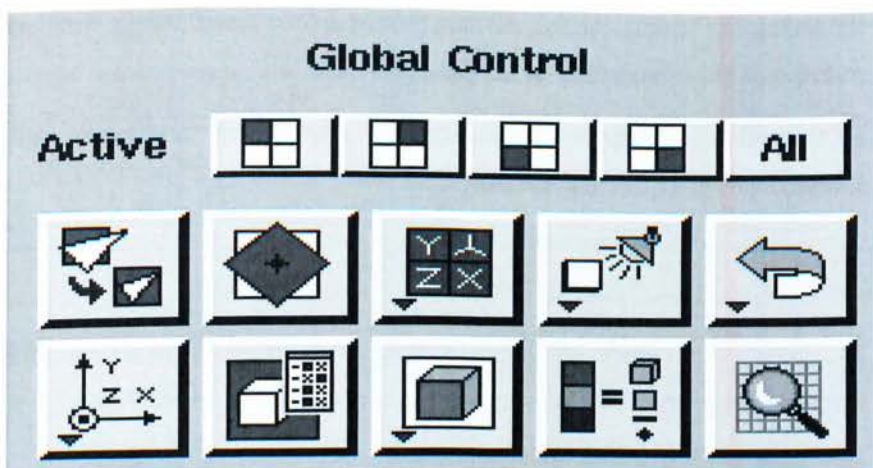
4) Tools (Εργαλεία): Με το πλήκτρο αυτό, ενεργοποιείται η γραμμή εργαλείων από την οποία είναι δυνατό να δημιουργήσουμε ή να μετατρέψουμε συστήματα συντεταγμένων καθώς και πλέγματα.

Αντίστοιχα αυτά τα τέσσερα τμήματα έχουν και κάποιες υποδιαίρεσεις, η λειτουργία των οποίων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.4 Υποδιαίρεσεις γραμμής εργαλείων

Επίσης, στην αρχική επιφάνεια εργασίας του Gambit, κάτω δεξιά φαίνεται η γραμμή εργαλείων κεντρικού ελέγχου (**global control toolbar**) η οποία αποτελείται από επιμέρους τμήματα.



Προσαρμογή του μοντέλου στο μέγεθος της οθόνης	Αξονας περιστροφής (άγκυρα) για διαφορετική θέαση	Διαίρεση της οθόνης σε 4 ίδια τμήματα Τεσσereis απεικονίσεις	Πηγή φωτός Ειδικές ετικέτες Σχόλια	Αναίρεση Επανασχεδιασμός
Προσανατολισμός μοντέλου Απεικόνιση βάση άξονα	Τροποποιήσεις Ταμπέλες Ορατότητα Εμφάνιση Πλέγματος	Μεταλλικό πλαίσιο Σκίαση Κρυμμένες γραμμές	Κωδικοποίηση χρωμάτων Τύποι στοιχείων Συνδεσιμότητα	Εξέταση πλέγματος

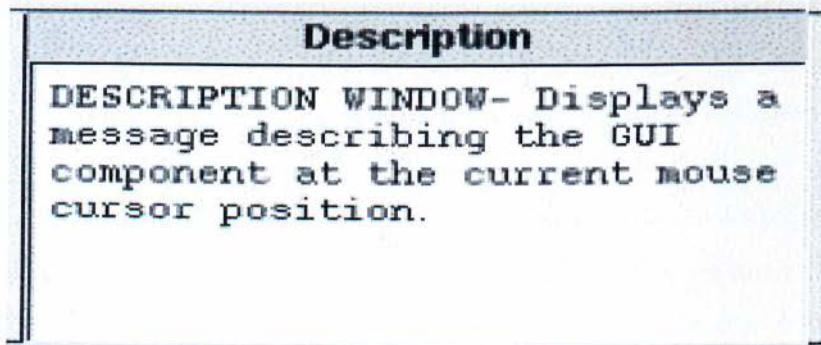
Σχήμα 4.5: Γραμμή εργαλείων κεντρικού ελέγχου

Πιο αναλυτικά:

- 1) Fit to window (Προσαρμογή στο παράθυρο): Προσαρμόζει το μοντέλο που έχουμε ώστε να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια εργασίας γραφικών.
- 2) Select pivot (Επιλογή άξονα): Καθορίζει ένα σημείο, γύρω από το οποίο υπάρχει την δυνατότητα να περιστρέφεται το μοντέλο.
- 3) Select preset configuration (Επιλογή προκαθορισμένης ρύθμισης): Χωρίζει τη επιφάνεια μας σε τέσσερα ίσα μέρη στα οποία το μοντέλο έχει διαφορετικό προσανατολισμό.
- 4) Modify lights (Τροποποίηση Φωτισμού): Ρυθμίζει την ένταση του φωτισμού στο γεωμετρικό μοντέλο.

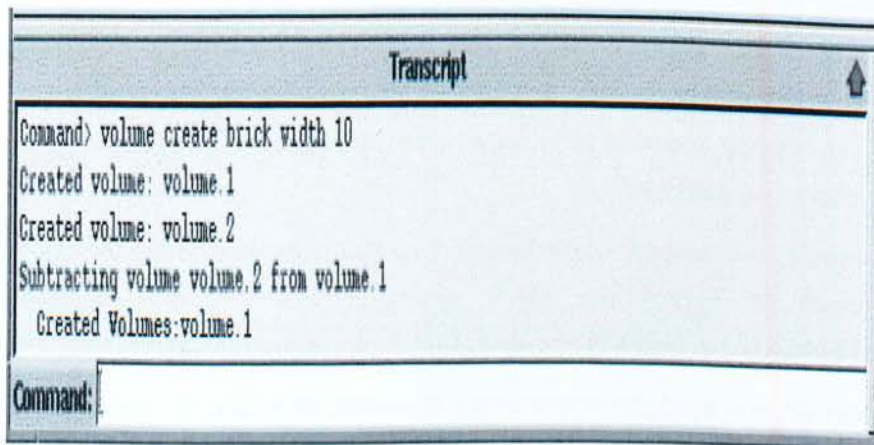
- 5) Annotate (Υποσημείωση): Δίνεται η δυνατότητα τοποθέτησης σχολίων στο μοντέλο με τη χρήση γραμμών και βελών.
- 6) Undo-Redo (Αναίρεση- Επανάληψη): Αναίρεση της τελευταίας εντολής- Επανάληψη της τελευταίας εντολής.
- 7) Orient model (Προσανατολισμός μοντέλου): Προσανατολίζει τη γεωμετρία σύμφωνα με το σύστημα συντεταγμένων που έχουμε ορίσει.
- 8) Specify color mode (Καθορισμός χρώματος): Μας επιτρέπει να ορίσουμε ποια χαρακτηριστικά της γεωμετρίας θα παρουσιάζονται στην οθόνη γραφικών, όπως κόμβοι, ακμές, επιφάνειες.
- 9) Render model (Ορισμός μοντέλου): Ορίζει αν στο μοντέλο θα φαίνετε το πλέγμα ή όχι, αν θα είναι σκιασμένο ή αν θα φαίνονται ακμές.
- 10) Specify color model (Προσδιορισμός μοντέλου χρώματος): Καθορίζει το χρωματισμό των διαφόρων συνιστωσών της γεωμετρικής κατασκευής.
- 11) Examine mesh (Εξέταση πλέγματος): Γίνεται ο έλεγχος του πλέγματος στο σχήμα.

Στην αρχική επιφάνεια εργασίας του Gambit έχουμε, κάτω δεξιά το παράθυρο περιγραφής (**Description**) σκοπός του οποίου είναι η εμφάνιση μηνυμάτων περιγράφοντας τα διάφορα συστατικά του GUI (Graphical Users Interface), όπως πεδία, παράθυρα και κουμπιά εντολών.



Σχήμα 4.6: Παράθυρο Περιγραφής

Τέλος, στην αρχική επιφάνεια εργασίας του Gambit έχουμε, κάτω αριστερά το παράθυρο καταγραφής και εισαγωγής εντολών (**Transcript**) με σκοπό να εμφανίζει και να καταγράφει ένα ιστορικό εντολών που έχουν πραγματοποιηθεί και η εμφάνιση μηνυμάτων του Gambit κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού.



Σχήμα 4.7: Παράθυρο καταγραφής εντολών

4.4 Η εννοιολόγηση του Fluent

Το **FLUENT** είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμα για την μοντελοποίηση της ροής ρευστού και της μεταφοράς θερμότητας σε απλές έως πολύ δύσκολες γεωμετρίες. Παρέχει δυνατότητα δημιουργίας πλέγματος με διδιάστατα τριγωνικά/τετραγωνικά κελιά. Το Fluent είναι ένα λογισμικό (λύτης) το οποίο εισάγοντας τα δεδομένα από το Gambit μπορεί να προσομοιώσει πραγματικές συνθήκες, που ορίζονται από παραμέτρους και να λύσει ένα πρόβλημα ρευστομηχανικής, μετάδοσης θερμότητας & μάζας, χημικών αντιδράσεων και άλλων σχετικών φαινομένων. Μερικές από τις εφαρμογές του είναι: εσωτερικές & εξωτερικές ροές αυτοκινήτων, αεροδυναμική υψηλών ταχυτήτων, ροές πυραύλων, στροβιλομηχανές, δοχεία αντίδρασης, κυκλώνες, στήλες φουσαλίδων, δοχεία ανάμιξης, ρευστοστερεές κλίνες.

Το πακέτο FLUENT που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει τα παρακάτω δύο βασικά τμήματα:

- **GAMBIT**, ο προ-επεξεργαστής για μοντελοποίηση γεωμετρίας και δημιουργία πλέγματος.

- FLUENT, ο επιλυτής των εξισώσεων.

Το υπολογιστικό πακέτο FLUENT, μπορεί να επιλύσει φαινόμενα τα οποία εξελίσσονται σε 2 ή 3 διαστάσεις.

Στις επόμενες παραγράφους δίνεται μια εποπτική άποψη για τη χρήση του προγράμματος και περιγράφονται αναλυτικά οι βασικές λειτουργίες (operations) του προγράμματος οι οποίες θα αναλυθούν και είναι οι εξής:

1) Εντολές που αφορούν την εισαγωγή του αρχείου από το σχεδιαστικό στο υπολογιστικό πακέτο.

2) Εντολές που αφορούν το υπολογιστικό πλέγμα το οποίο κατασκευάστηκε στο σχεδιαστικό πακέτο και πλέον χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό χαρακτηριστικών μεγεθών, π.χ.: αριθμό Mach στο στόμιο του ακροφυσίου.

3) Εντολές που αφορούν τις οριακές συνθήκες, π.χ.: θερμοκρασία εισόδου.

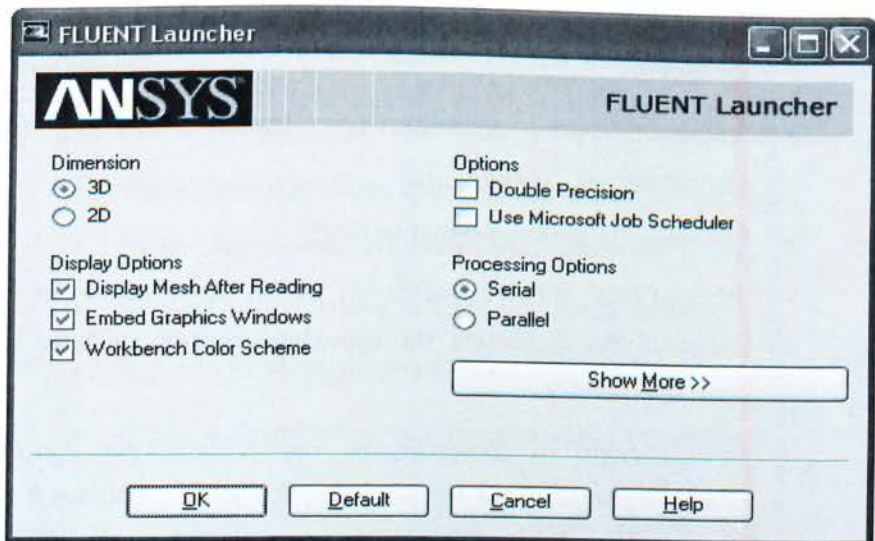
4) Εντολές που αφορούν την αριθμητική επίλυση του προβλήματος και επίσης γίνεται ο προσδιορισμός του χρονικού και χωρικού βήματος κάτω από το οποίο θα πραγματοποιηθεί η επαναληπτική διαδικασία για τη σύγκλιση της λύσης.

5) Εντολές που αφορούν την απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε περιβάλλον με γραφικά καθώς και επίσης απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε γραφικές παραστάσεις.

4.5 Διαδικασία αντιμετώπισης και επίλυσης προβλημάτων στο Fluent

Στην αρχική φόρτωση του προγράμματος έχουμε την επιλογή να διαλέξουμε μεταξύ κάποιων παραμέτρων ανάλυσης :

- 2d (Δισδιάστατη Προσομοίωση)
- 2d-dp (Δισδιάστατη Προσομοίωση Διπλής Ακριβείας)
- 3d (Τρισδιάστατη Προσομοίωση)
- 3d-dp (Τρισδιάστατη Προσομοίωση Διπλής Ακριβείας)



Σχήμα 4.8 : Παράθυρο αρχικής φόρτωσης fluent

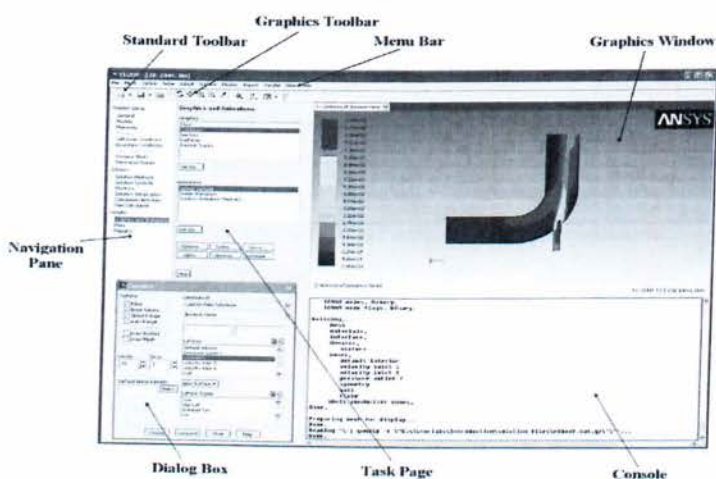
Στη συνέχεια εισάγουμε το αρχείο που δημιουργήσαμε στο Gambit. Αυτόματα μας εμφανίζει τη γεωμετρία με το κατασκευασμένο πλέγμα στην οθόνη οπτικοποίησης του GUI του προγράμματος. Στη συνέχεια ακολουθούνται κάποια βήματα που ορίζουν τις συνθήκες της προσομοίωσης, τα οποία είναι :

- Επιλέγουμε μοντέλο επίλυσης (πχ. Μοντέλα k-ε, k-ω)
- Ορίζουμε το υλικό του στερεού όγκου και του είδους του ρευστού
- Θέτουμε τις οριακές συνθήκες λειτουργίας (πχ. Ταχύτητα εισόδου ρευστού)
- Ορίζουμε την μέθοδο διακριτοποίησης (πχ. first-secondorderupwind, Quick)
- Ορίζουμε τους Under-relaxationfactors για κάποιες απο τις παραμέτρους (πχ. Momentum, Pressure, Turbulent Kinetic Energy, Turbulent Dissipation Rate)
- Θέτουμε το αποτέλεσμα στο οποίο η διαδικασία της επίλυσης θα διακοπεί και την θεωρούμε ως λύση (ConvergenceCriterion)
- Κάνουμε έλεγχο του πλέγματος (CheckGrid) και ολόκληρης της προσομοίωσης (CheckCase). Αυτά τα βήματα μας δείχνουν αν κάτι

δεν λειτουργεί σωστά στην προσομοίωση και τυχόν διορθώσεις που χρειάζονται.

- Ορίζουμε κάποιες συνθήκες για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων (πχ.Plot)
- Εκκινούμε την προσομοίωση (Initialize)
- Θέτουμε έναν αριθμό επαναλήψεων για την προσομοίωση μας και εκκινούμε την διαδικασία της επαναλαμβανόμενης επίλυσης του μοντέλου (Iterate).
- Οπτικοποιούμε τα αποτελέσματα της επίλυσης (πχ. Vectors, Contours, Pathlines) για τις επιφάνειες που μας ενδιαφέρουν ή για όλο το πεδίο επίλυσης. Συγκεκριμένες επιφάνειες ή σημεία μπορούν να οπτικοποιηθούν μέσω κατασκευής νέων ενδιάμεσων επιφανειών (Planes)

Στην χρησιμοποιούμενη έκδοση FLUENT υπάρχει ένα κυρίως GUI για όλες τις λειτουργίες, σε αντίθεση με παλαιότερες εκδόσεις όπου η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων γινόταν μέσω δεύτερου παραθύρου. Στο συγκεκριμένο GUI υπάρχουν δύο μενού, ένα οριζόντιο (Κυρίως Μενού) και ένα κατακόρυφο (Δευτερεύον Μενού) στο οποίο εμφανίζονται κάποιες συντομεύσεις για τις κυριότερες και πιο συχνά χρησιμοποιούμενες συντομεύσεις.



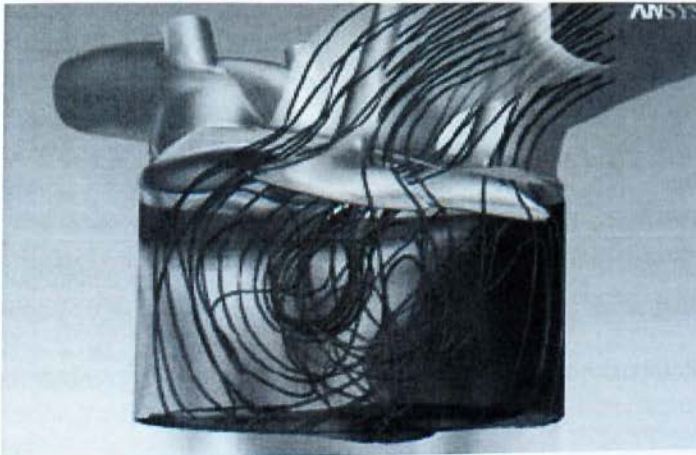
Σχήμα 4.9 : Fluent – graphical user interface

Στο κυρίως μενού, κάθε στήλη σχετίζεται με συγκεκριμένες λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα:

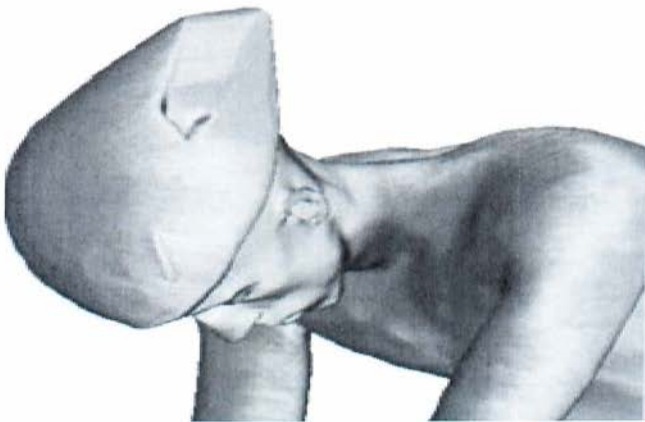
- *File* → Εισαγωγή πλέγματος, εισαγωγή και εγγραφή Case και Data
- *Grid* → Έλεγχος και άλλες σχετικές με το πλέγμα λειτουργίες.
- *Define* → Ορισμός συνθηκών λειτουργίας μοντέλου
- *Solve* → Επιλογές που αφορούν τη διαδικασία επίλυσης
- *Surface* → Επεξεργασία επιπέδων και επιφανειών
- *Display* → Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της επίλυσης

4.6 Γραφικές Απεικονίσεις

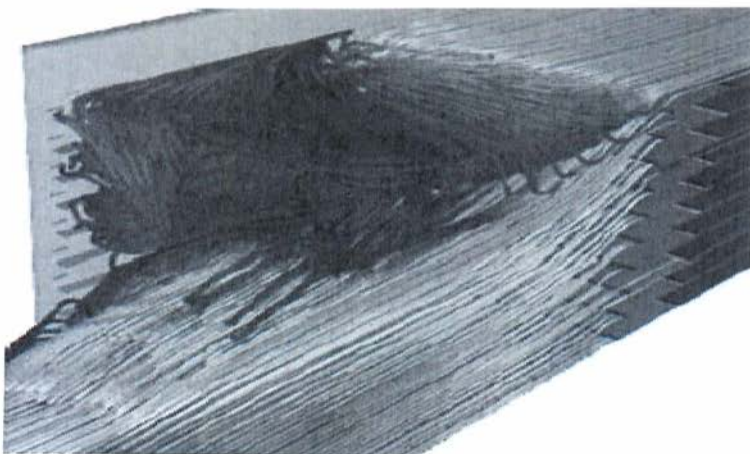
Στην συνέχεια παρατίθενται κάποια παράθυρα εργασίας από το GUI του FLUENT καθώς και οπτικοποιημένα παραδείγματα :



Σχήμα 4.10 : Προσομοίωση θαλάμου καύσης



Σχήμα 4.11 : Οπτικοποίηση πίεσης ποδηλάτη



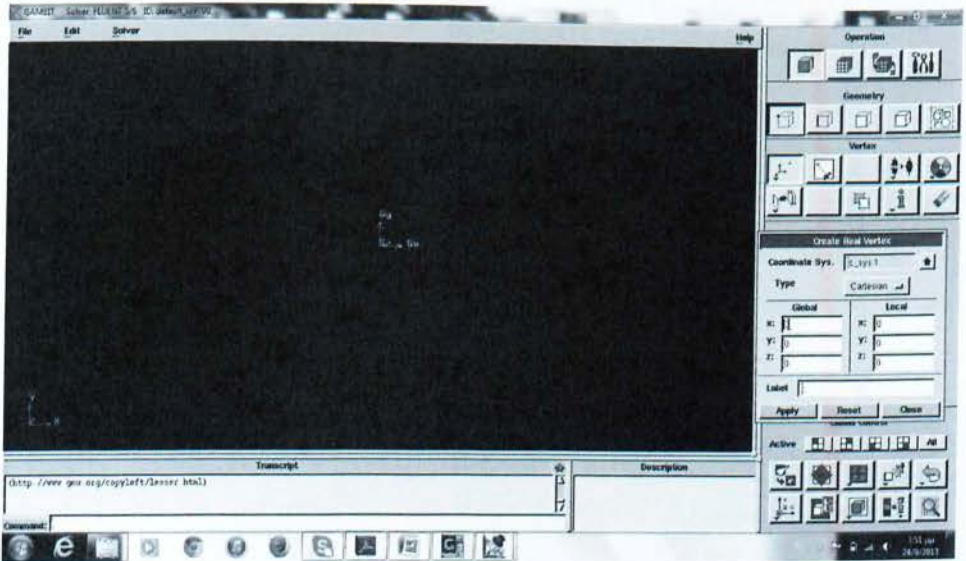
Σχήμα 4.12: Οπτικοποίησης αποτελεσμάτων εντός πυρηνικού αντιδραστήρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σχεδιασμός του γεωμετρικού μοντέλου




5.1 Ορισμός Σημείων Μοντέλου στο επίπεδο

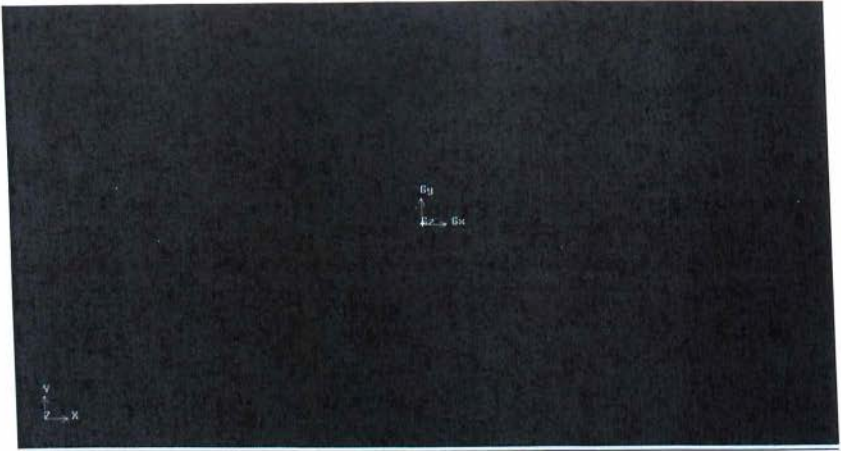
Ανοίγοντας το πρόγραμμα Gambit βλέπουμε το γραφικό περιβάλλον του με τους άξονες Gx και Gy.



Σχήμα 5.1 : Ανοίγοντας το γραφικό περιβάλλον

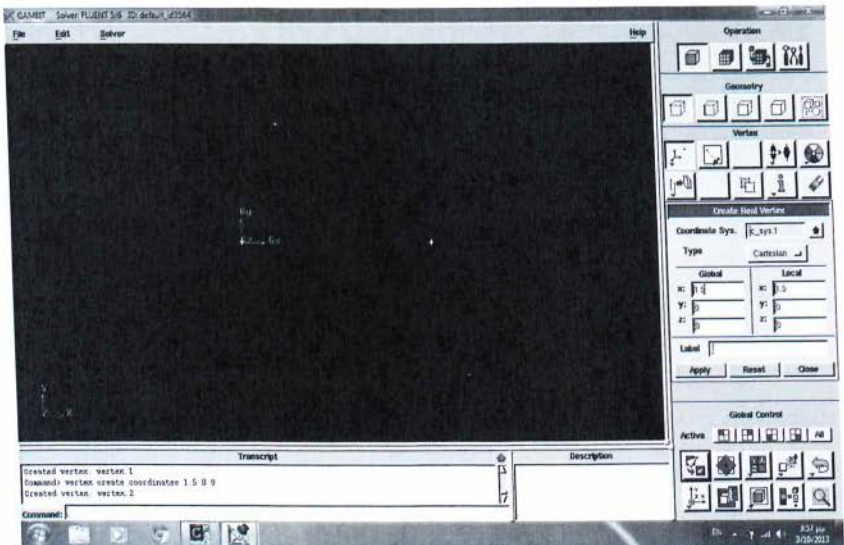
Αρχικά δημιουργώ το πρώτο σημείο A της τετραγωνικής διατομής A(0,0).

Operation Toolpad → Geometry command button  → Vertex command button  → Create Vertex 



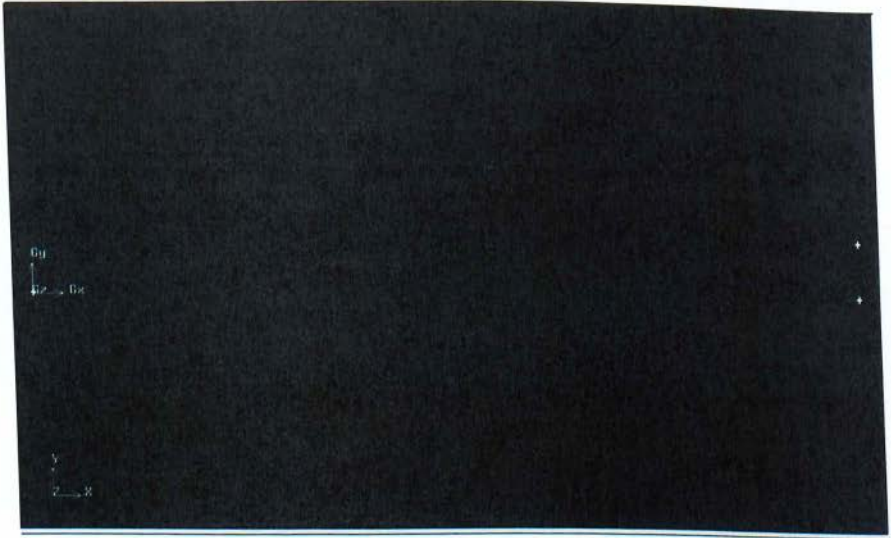
Σχήμα 5.2: Δημιουργία σημείου A(0,0)

Έπειτα δημιουργούμε το δεύτερο σημείο B(1.5,0) που θα υποδεικνύει το μήκος του αγωγού μας.



Σχήμα 5.3 : Δημιουργία σημείου B (1.5,0)

Στη συνέχεια ορίζουμε το σημείο $\Gamma(1.5,0.1)$ που δηλώνει την ακτίνα του αγωγού μας.



Σχήμα 5.4: Δημιουργία σημείου $\Gamma(1.5,0.1)$

Με τον ίδιο τρόπο δημιουργούμε όλα τα υπόλοιπα σημεία που αποτελούν στο σύνολο την γεωμετρία μας.

$\Delta(0,0.1)$

$E(0,0.32)$

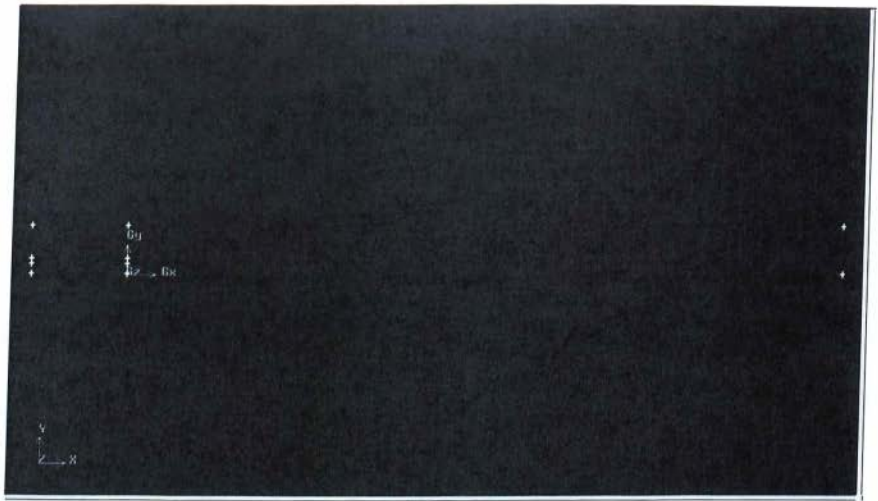
$\Sigma\Gamma(0,0.02)$

$Z(-0.2,0)$

$H(-0.2,0.032)$




$\Theta(-0.2,0.1)$

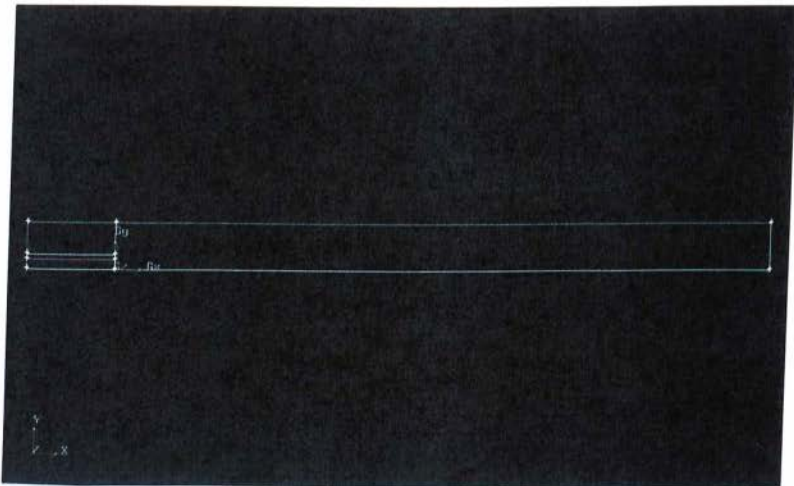
$I(-0.2,-0.02)$



Σχήμα 5.5: Δημιουργία των υπόλοιπων σημείων της γεωμετρίας

Ενώνουμε τα σημεία μεταξύ τους και δημιουργείται το σχήμα του αγωγού που επιθυμούμε.


Operation Toolpad → Geometry Command Button  → Edge Command Button 
 → Create Edge 

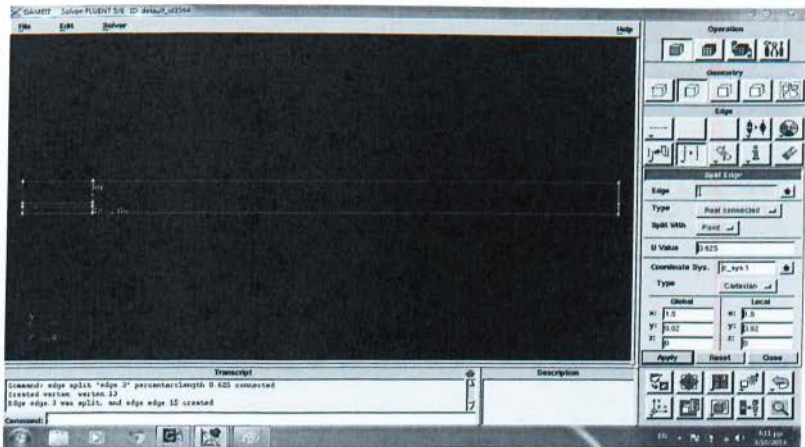


Σχήμα 5.6: Ένωση όλων των σημείων της γεωμετρίας

Κάνουμε Split/Merge Edges στην ευθεία ΒΓ προκειμένου να την χωρίσουμε σε μικρότερα ευθύγραμμα τμήματα για να μπορούμε να κάνουμε έπειτα Mesh Edges ξεχωριστά στα τμήματα αυτά. Συνεπώς η ευθεία ΒΓ γίνεται:

Operation Toolpad → Geometry Command Button  → Edge Command Button 

→ Split/Merge Edges 

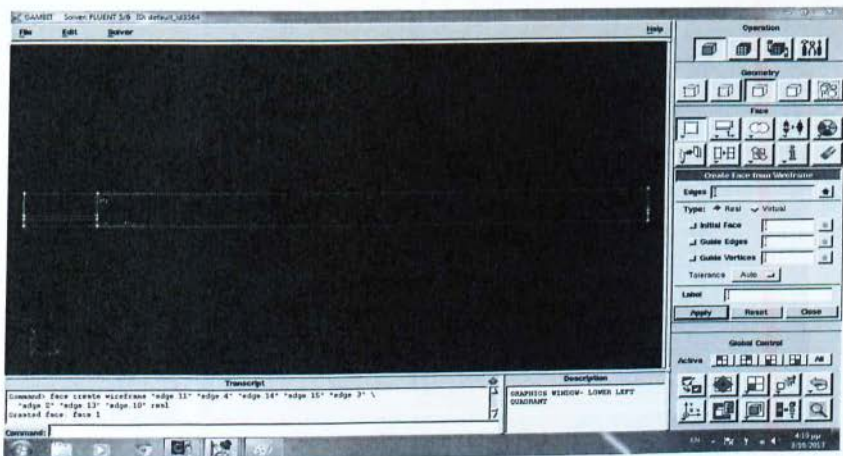


Σχήμα 5.7: Χωρισμός του Ε.Τ ΒΓ σε μικρότερα τμήματα

- Τέλος θα δημιουργήσουμε το πρόσωπο (face) από τα σημεία αυτά

Operation Toolpad → Geometry Command Button  → Face Command Button 

→ Form Face 






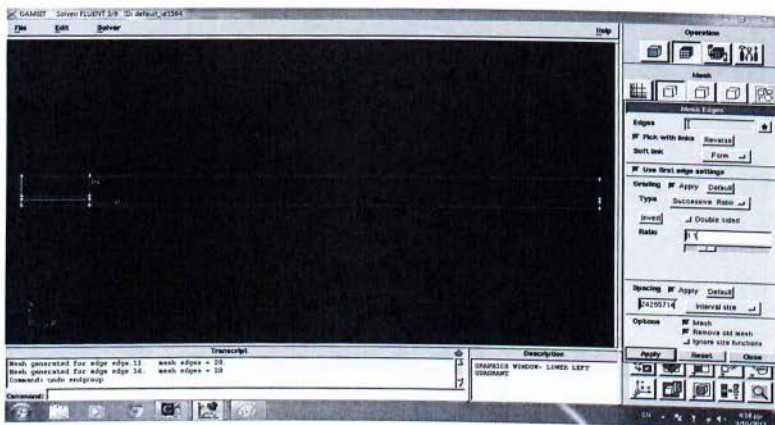
Σχήμα 5.8: Δημιουργία προσώπου στην γεωμετρία

5.2 Δημιουργία υπολογιστικού πλέγματος στο γεωμετρικό μοντέλο

5.2.1 Δημιουργία υπολογιστικού πλέγματος σε ακμές




Για τις ανάγκες κατασκευής του υπολογιστικού πλέγματος της γεωμετρίας του σχήματος μας θα χρησιμοποιήσουμε δημιουργία πλέγματος σε ακμή και στην συνέχεια σε επιφάνεια.

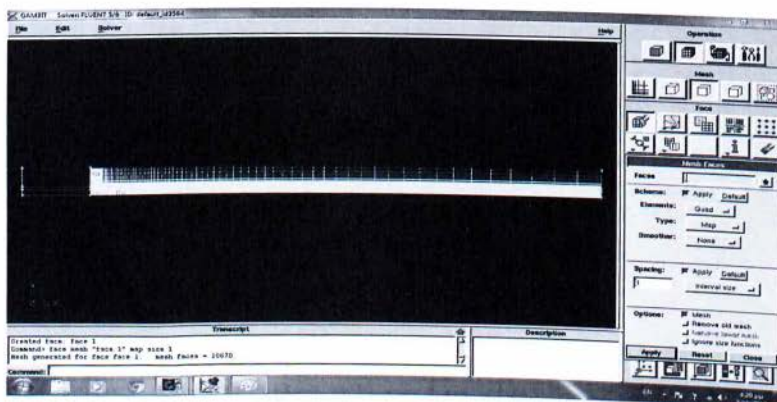
Operation Toolpad → Mesh Command Button  → Edge Command Button 
→ Mesh Edges 



Σχήμα 5.9: Δημιουργία υπολογιστικού πλέγματος στις ακμές

5.2.2 Δημιουργία υπολογιστικού πλέγματος σε πρόσωπο



Operation Toolpad → Mesh Command Button  → Face Command Button 
Mesh Faces 



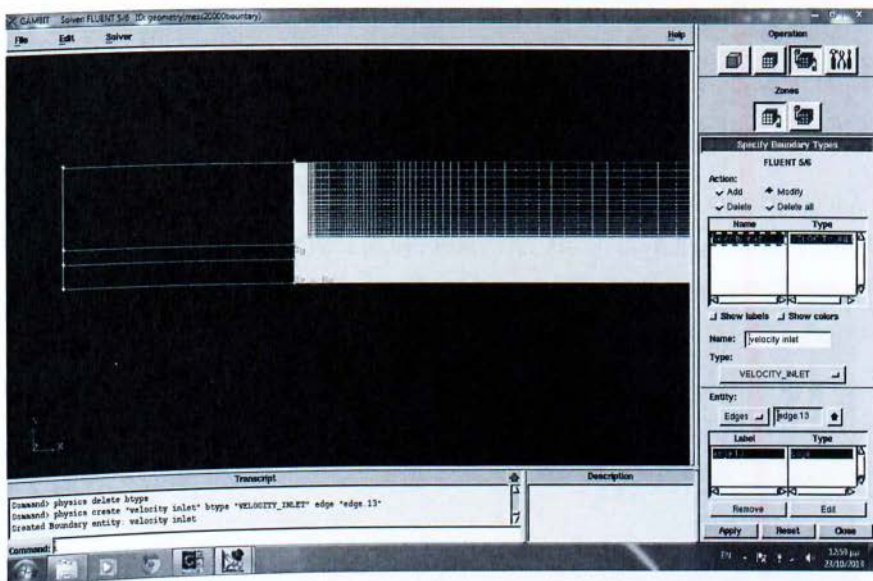
Σχήμα 5.10: Δημιουργία υπολογιστικού πλέγματος σε πρόσωπο

5.3 Καθορισμός οριακών συνθηκών του μοντέλου μας

Ο προσδιορισμός των ζωνών και των ορίων είναι απαραίτητος διότι ουσιαστικά οριοθετεί το γεωμετρικό μοντέλο που έχουμε κατασκευάσει.

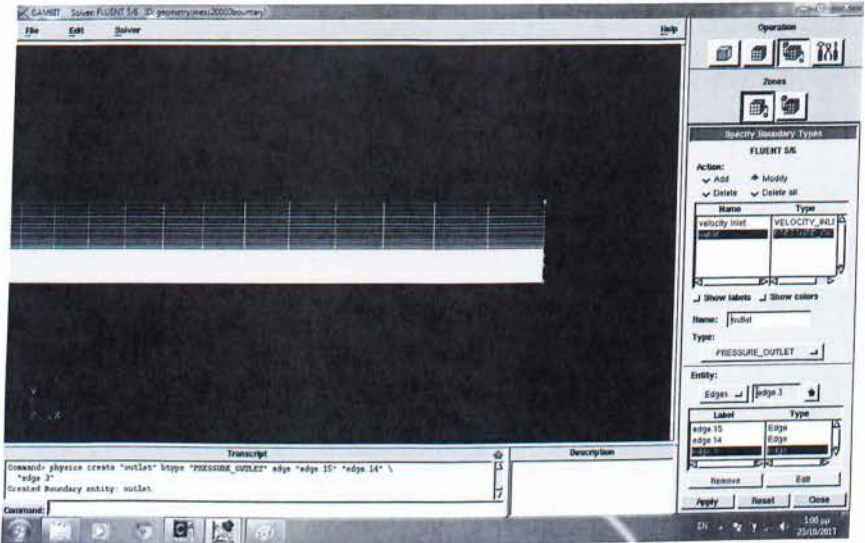
Operation Toolpad > Zones Command Button  > Specify Boundary Types Command Button 

Ορίζουμε σαν είσοδο (Velocity Inlet) το ευθύγραμμο τμήμα ΕΣΤ με συντεταγμένες (0,0.032) και (0,0.02)



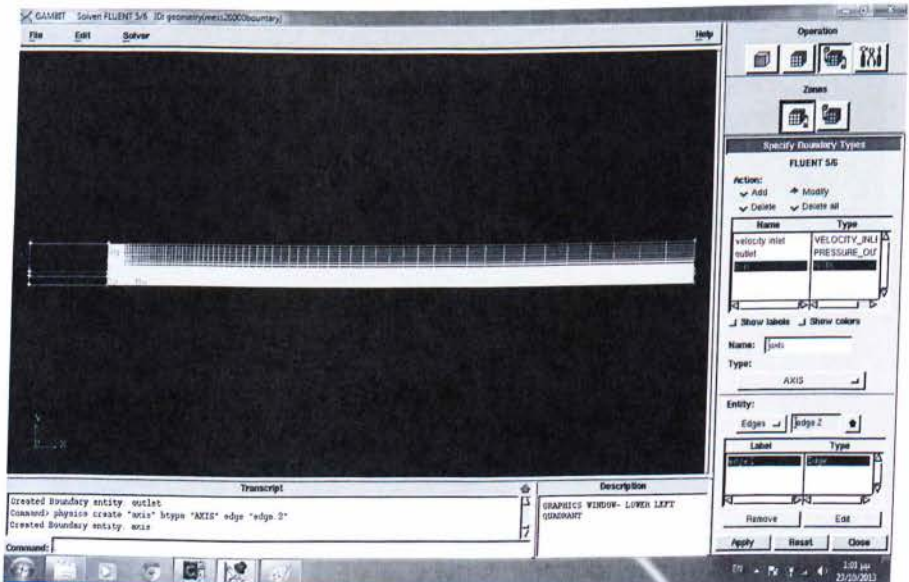
Σχήμα 5.11: Καθορισμός εισόδου (Velocity inlet)

Ορίζουμε σαν έξοδο (Pressure Outlet) ολόκληρο το ευθύγραμμο τμήμα ΒΓ με συντεταγμένες (1.5,0) και (1.5,0.1)



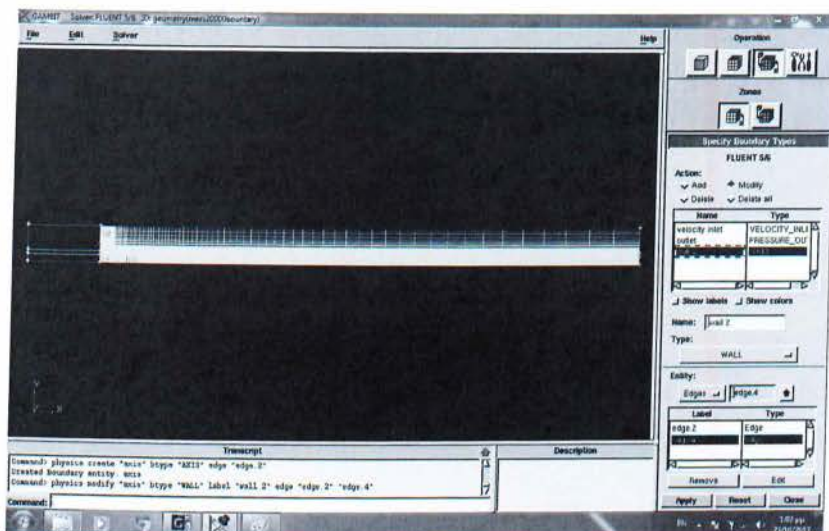
Σχήμα 5.12: Ορισμός εξόδου (Pressure outlet)

Ορίζουμε σαν άξονα(Axis) (επειδή το σχήμα μας είναι αξονοσυμμετρικό) το ευθύγραμμο τμήμα AB με συντεταγμένες (0,0) και (1.5,0)



Σχήμα 5.13: Ορισμός άξονα συμμετρίας

Τέλος ορίζουμε σαν τοίχο (wall 2) το ευθύγραμμο τμήμα ΔΓ με συντεταγμένες (0,0.1) και (1.5,0.1)

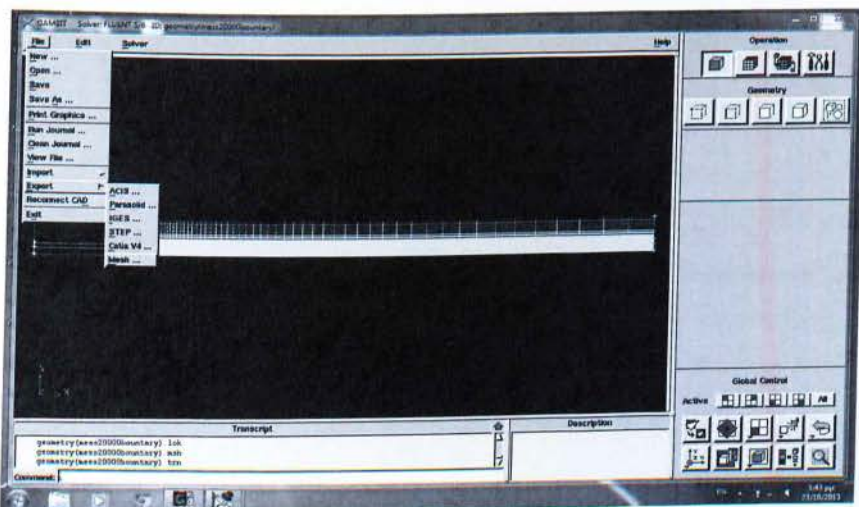


Σχήμα 5.14: Ορισμός τοιχώματος

5.4 Αποθήκευση του μοντέλου μας

Έπειτα έχοντας τελειώσει με την διαδικασία σχεδίασης της γεωτρίας είναι αναγκαία η αποθήκευσή της σε μια μορφή η οποία θα είναι κατανοητή απο το υπολογιστικό πακέτο Fluent και αυτή ή μορφή έχει κατάλληληξη (.msh). Για να το πετύχουμε αυτό κάνουμε τα παρακάτω βήματα:

Επιλέγουμε **File** → **Export** → **msh**



Σχήμα 5.15 : Αποθήκευση της γεωμετρίας

Αφου πραγματοποιήσουμε και αυτή την ενέργεια είμαστε πλέον έτοιμοι να αρχίσουμε την διαδικασία επίλυσης της γεωμετρίας με την χρήση του υπολογιστικού πακέτου Fluent.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

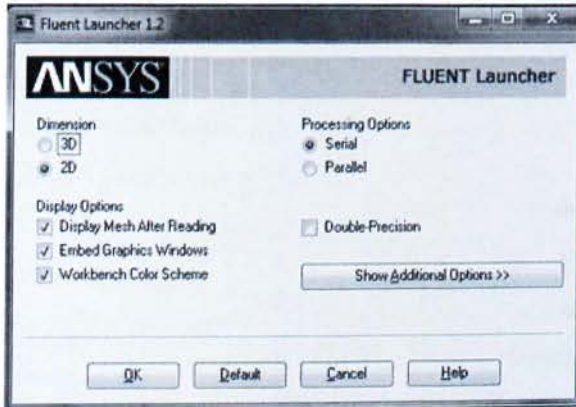
Επίλυση του Γεωμετρικού Μοντέλου με χρήση του υπολογιστικού πακέτου *Fluent*

6.1 Διαδικασία επίλυσης του Γεωμετρικού μοντέλου στο *Fluent* (ψεκασμός αέρα-μονοφασική ροή)

Σε αυτήν την παράγραφο παρατίθενται τα βήματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να προσομοιώσουμε το μοντέλο μας στο υπολογιστικό πρόγραμμα *fluent*.

Case 0

Ανοίγοντας το *Fluent* εμφανίζεται η γνωστή εικόνα



*Σχήμα 6.1: Εισαγωγική εικόνα *fluent**

Παρότι είναι προεπιλεγμένη η επίλυση προβλημάτων τριών διαστάσεων (3D) εμείς για τις ανάγκες της εργασίας μας θα αλλάξουμε αυτή την επιλογή σε επίλυση προβλημάτων δύο διαστάσεων (2D)

Επειτα εισάγουμε το αρχείο κατάληξης *.msh* που δημιουργήσαμε με την χρήση του σχεδιαστικού πακέτου *Gambit*

Main Menu → File → Read → msh...

Reading "C:\Users\Γιάννης\Desktop\Ptixiaki telika apotelesmata\ geometry(mess20000boundary)air teliko limeno.cas"...

Clearing partially read grid.

20000 quadrilateral cells, zone 2, binary.

115 2D wall faces, zone 3, binary.

125 2D wall faces, zone 10012, binary.

125 2D axis faces, zone 4, binary.

160 2D pressure-outlet faces, zone 5, binary.

45 2D velocity-inlet faces, zone 6, binary.

39715 2D interior faces, zone 8, binary.

20286 nodes, binary.

20286 node flags, binary.

27 "exper" point-profile points, x, y, axial-velocity.

Building..

mesh

materials,

interface,

domains,

mixture

zones,

default-interior

velocity_inlet

outlet

axis_x

wall_2

wall

fluid

shell conduction zones,

Done.

Preparing mesh for display...

Done.

Στην συνέχεια ελέγχουμε το πλέγμα που έχουμε κατασκευάσει στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Gambit για να βεβαιωθούμε ότι δεν υπάρχουν σφάλματα.

▪ **Under Problem Setup → General → Mesh → Check**

Mesh Check

Domain Extents:

x-coordinate: min (m) = 0.000000e+000, max (m) = 1.500000e+000

y-coordinate: min (m) = 0.000000e+000, max (m) = 1.000000e-001

Volume statistics:

minimum volume (m3): 3.314402e-011

maximum volume (m3): 2.790829e-004

total volume (m3): 4.712389e-002

minimum 2d volume (m3): 4.220027e-008

maximum 2d volume (m3): 4.588811e-004

Face area statistics:

minimum face area (m2): 1.688011e-004

maximum face area (m2): 7.158933e-002

Checking number of nodes per cell.

Checking number of faces per cell.

Checking thread pointers.

Checking number of cells per face.

Checking face cells.

Checking cell connectivity.

Checking bridge faces.

Checking right-handed cells.

Checking face handedness.

Checking face node order.

Checking closed cells.

Checking contact points.

Checking for nodes that lie below the x-axis.

Checking element type consistency.

Checking boundary types:

Checking face pairs.

Checking wall distance.

Checking node count.

Checking nosolve cell count.

Checking nosolve face count.

Checking face children.

Checking cell children.

Checking storage.

Done.

Ελέγχουμε πόσους κόμβους έχει το πλέγμα μας.

Mesh→Info→Size

Mesh Size

Level	Cells	Faces	Nodes	Partitions
0	20000	40285	20286	1

1 cell zone, 6 face zones.

Ο συνολικός αριθμός των κόμβων είναι **20000**.

Ορίζουμε τις ιδιότητες για επίλυση (**solve**)

Ιστορικά, η επιλογή **“Pressure-Based”** αναπτύχθηκε για χαμηλές ταχύτητες ροής (ασυμπίεστη), ενώ η επιλογή **“Density-Based”** χρησιμοποιήθηκε κυρίως για υψηλές ταχύτητες ροής (συμπιεστή). Ωστόσο, πρόσφατα οι δύο μέθοδοι ροής έχουν επεκταθεί και αναδιατυπωθεί για να λύσουν, λειτουργήσουν σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών ροής.

Στις περισσότερες μεθόδους το πεδίο ταχύτητας λαμβάνεται από τις εξισώσεις ορμής. Στη μέθοδο επίλυσης **“Density-Based”** η εξίσωση της συνέχειας

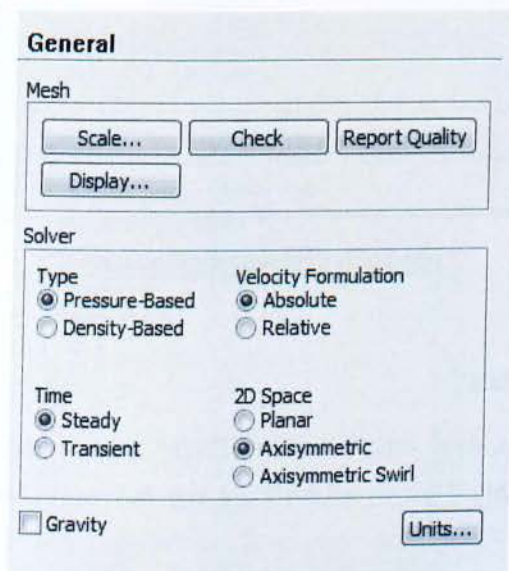
χρησιμοποιείται για να ληφθεί το πεδίο πυκνότητας, ενώ το πεδίο λύσης προσδιορίζεται από την καταστατική εξίσωση.

Από την άλλη πλευρά, στη μέθοδο επίλυσης "Pressure-Based" το πεδίο πίεσης εξάγεται με την επίλυση μιας εξίσωσης διόρθωσης πίεσης όπου η πίεση λαμβάνεται από τις εξισώσεις συνέχειας και ορμής.

Για τον αγωγό της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα επιλέξουμε την μέθοδο επίλυσης "Pressure-Based"

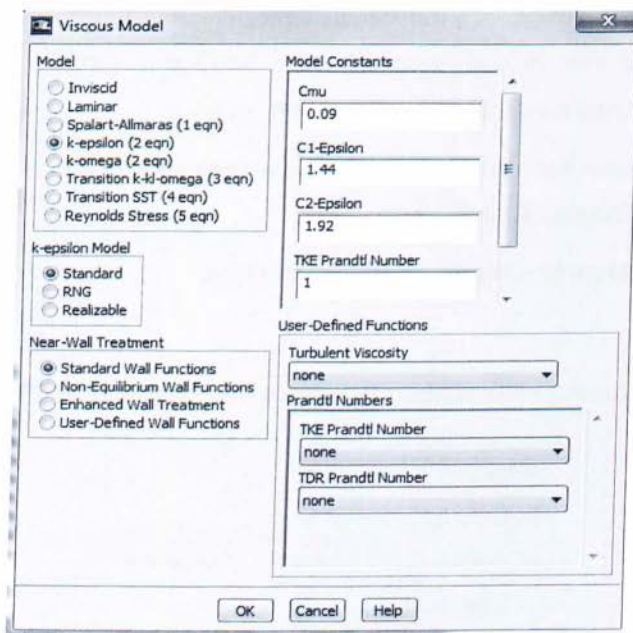
Define → Models → Solver... → Pressure-Based

Επίσης, η εξίσωση που επιλέξαμε θα επιλυθεί αξονοσυμμετρικά (Axisymmetric).



Σχήμα 6.2: Ορισμος αξονοσυμμετρικου προβληματος

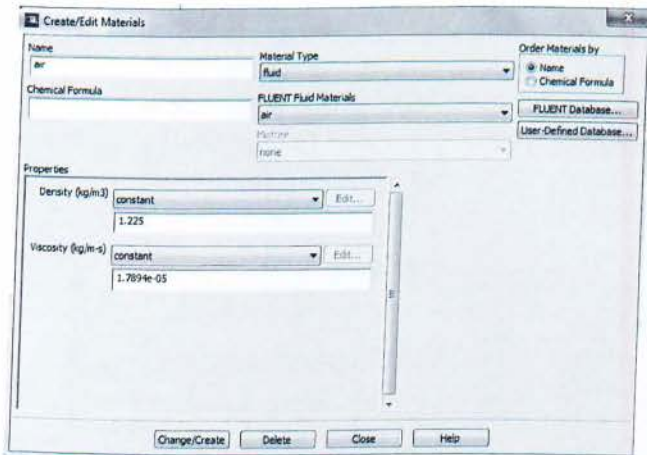
Define → Models → Viscous Model → k-epsilon (2 eqn)



Σχήμα 6.3: Επιλογή μοντέλου k-epsilon

Define → Materials

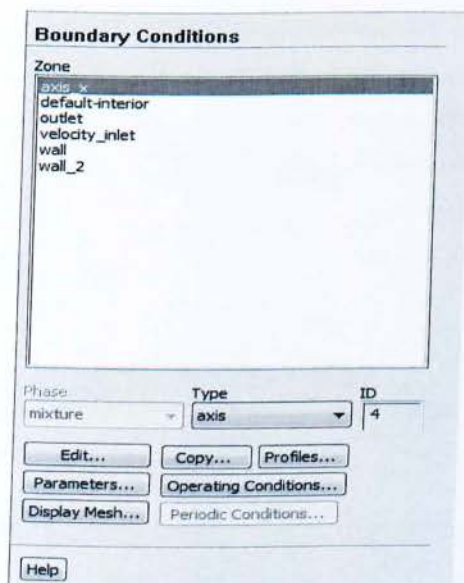
Επιλέγουμε αέρα. Αυτό σημαίνει ότι το Fluent χρησιμοποιεί την καταστατική εξίσωση των αερίων να σχετίζονται με την πυκνότητα, στατική πίεση και θερμοκρασία.



Σχήμα 6.4 : Επιλογή Αέρα ως υλικό

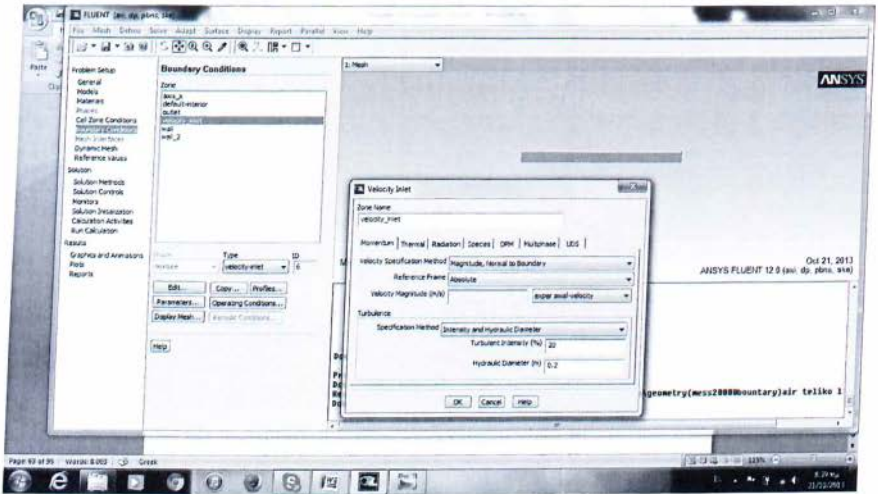
Define → Boundary Conditions

Ορίζουμε τις οριακές συνθήκες για τις ακόλουθες επιφάνειες: velocity inlet (είσοδος), outlet (έξοδος), axis (αξονική γραμμή x), wall (τοιίχο), wall 2 (τοιίχο 2).

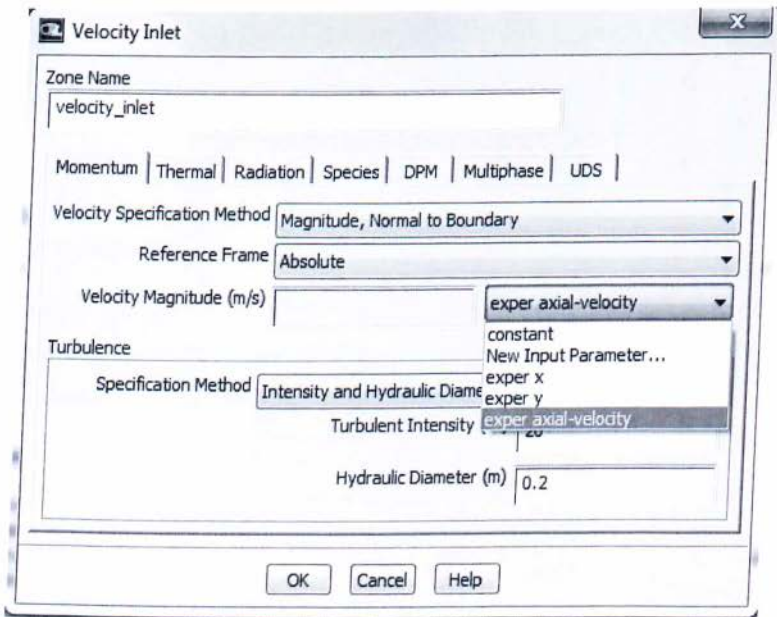


Σχήμα 6.5: Ορισμός οριακών συνθηκών

Προσθέτουμε το προφίλ της ταχύτητας του αέρα (Velocity Magnitude(m/s)).



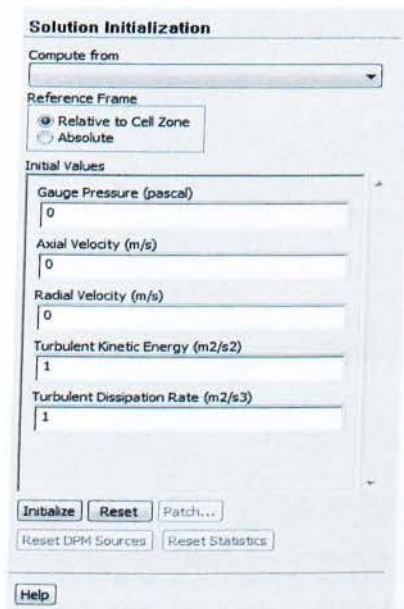
Σχήμα 6.6: Εισαγωγή του προφίλ της ταχύτητας



Σχήμα 6.7: Εισαγωγή του προφίλ της ταχύτητας

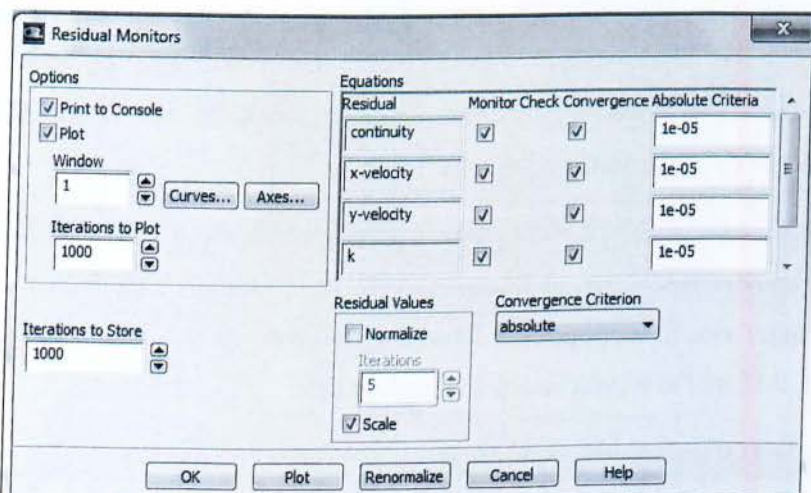
Τώρα θα θέσουμε τις ρυθμίσεις για να λύσει το πρόβλημα και στη συνέχεια να λύσει χρησιμοποιώντας μια επαναληπτική διαδικασία προσέγγισης.

Under Solution → Solution Methods → Main Menu → Solve → Initialization



Σχήμα 6.8 Initialization προβλήματος

Main Menu → Solution → Monitors → Residual Monitors → Edit



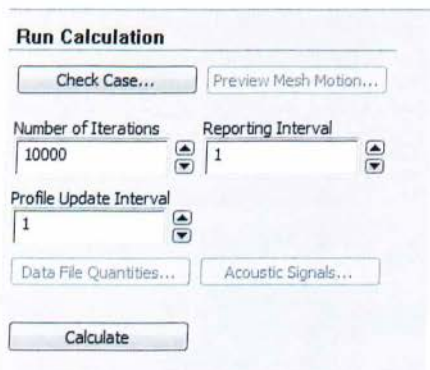
Σχήμα 6.9: Ορισμός επιθυμητής ακρίβειας

Αλλάζουμε το υπόλοιπο με κριτήριο σύγκλισης για τη συνέχεια, x-ταχύτητα, y-ταχύτητα και ενέργεια για $1e-05$.

Επανάληψη έως τη σύγκλιση (converged)

Στο παράθυρο που εμφανίζεται βάζουμε αριθμό επαναλήψεων (number of iterations) 10000.

Main Menu → Solution → Run Calculation



Σχήμα 6.10: Έναρξη επίλυσης προβλήματος

Έπειτα το υπολογιστικό πρόγραμμα ξεκινάει την επίλυση των απαραίτητων εξισώσεων μέχρι να υπάρξει σύγκλιση των αποτελεσμάτων όπου και σταματάει.

Μολις υπάρξει σύγκλιση είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε την διαδικασία συλλογής των απαραίτητων αποτελεσμάτων, με σκοπό την κατασκευή συγκριτικών διαγραμμάτων καθώς και τον γενικότερο σχολιασμό των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Για την συλλογή των αποτελεσμάτων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

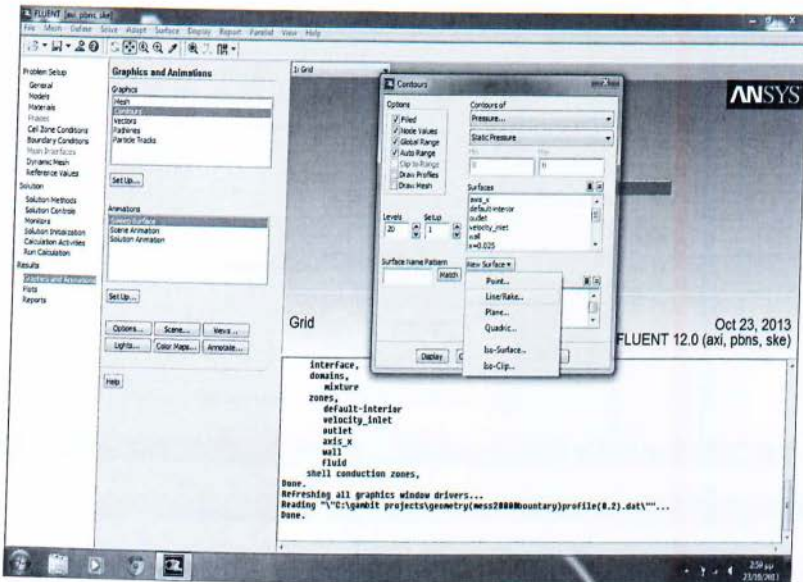
α) Επιλέγουμε τις θέσεις κατα μήκος της γεωμετρίας μας στις οποίες θέλουμε να εξάγουμε αποτελέσματα με βάση τις αντίστοιχες πειραματικές θέσεις οι οποίες πάρθηκαν από τα πειραματικά δεδομένα και είναι για $x=0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.15$ m. Για να γίνει αυτό κάνουμε τα εξής:

Από την κεντρική στήλη επιλέγουμε:

Graphics and Animations → Contours

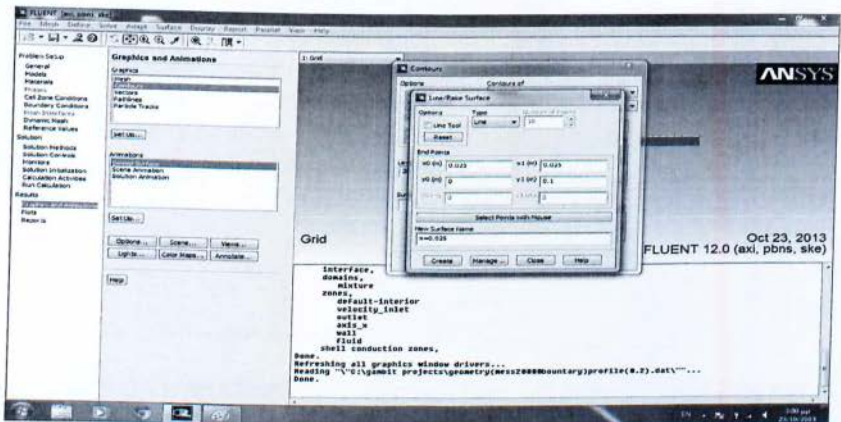
και απ' το παράθυρο που εμφανίζεται την επιλογή

New Surface → Line/Rake



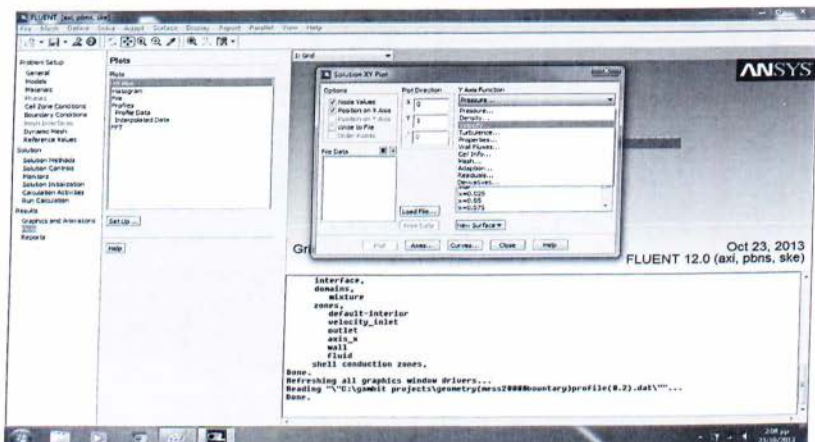
Σχήμα 6.11: Ορισμός θέσεων κατα μήκος της γεωμετρίας

Στην συνέχεια, στο παράθυρο που ανοίγει βάζουμε τις συντεταγμένες της θέσης της οποίας θέλουμε να εξάγουμε αποτελέσματα και πηγαίνοντας στο κάτω μέρος θέτουμε ένα όνομα για αυτή την θέση.



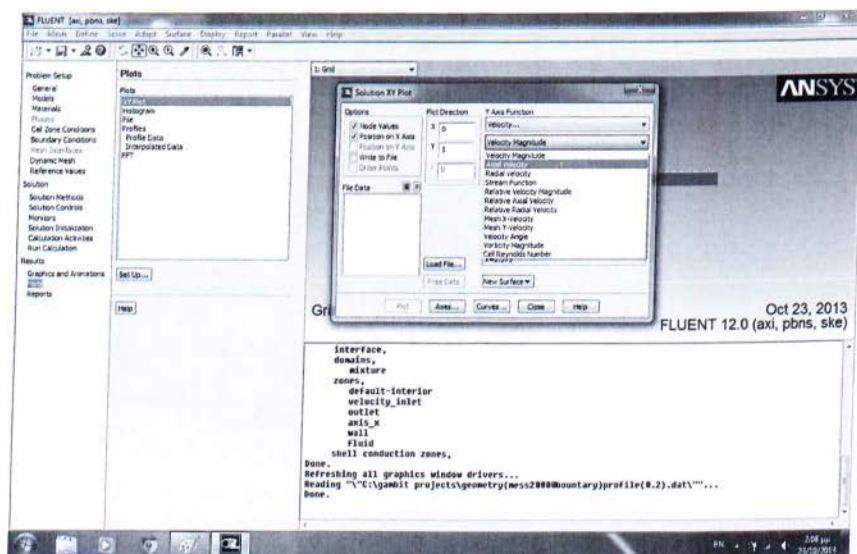
Σχήμα 6.12: Εισαγωγή συντεταγμένων των σημείων

β) Επιλέγουμε στην κεντρική καρτέλα την επιλογή **Plot**→**XYplot** και εμφανίζεται το παράθυρο **Solution XY plot** και στην συνέχεια επιλέγουμε το μέγεθος για το οποίο θέλουμε να εξάγουμε αποτελέσματα στην περίπτωση αυτή **Velocity** (ταχύτητα).



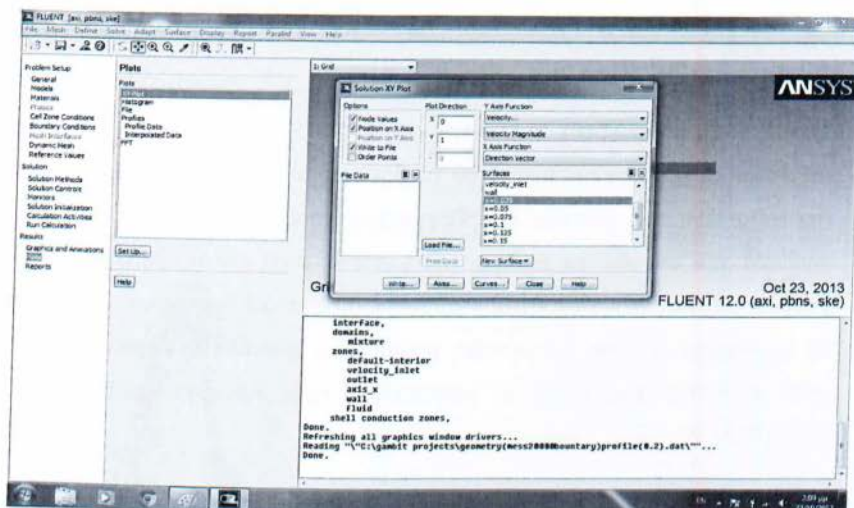
Σχήμα 6.13: XY plot της ταχύτητας

Στην συνέχεια, επιλέγουμε το είδος της ταχύτητας για το οποίο θέλουμε να εξάγουμε αποτελέσματα, δηλαδή **axial velocity**.



Σχήμα 6.14: XY plot της αξονικής ταχύτητας

Και τέλος είμαστε έτοιμο να εξάγουμε τα αποτελέσματά μας επιλέγοντας στην στήλη **Options**→**Write to file**→ και πατάμε την επιλογή **Write**

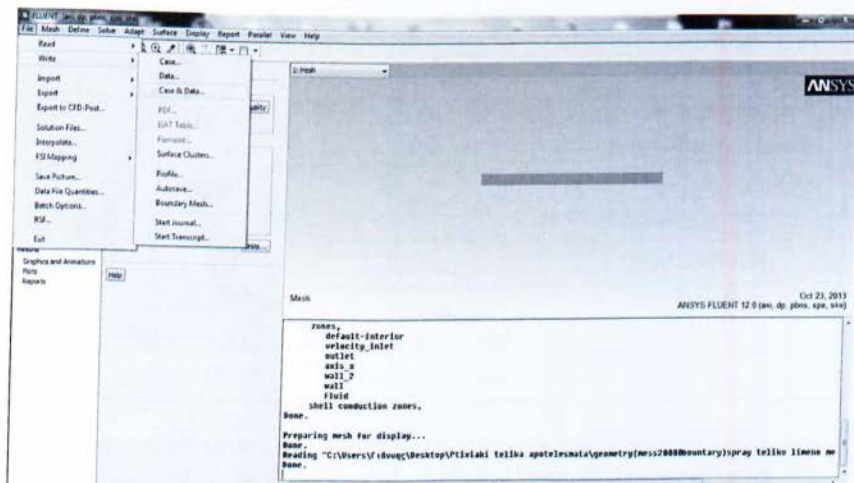


Σχήμα 6.15: Αριθμητική εξαγωγή αποτελεσμάτων (Write to file)

Σημείωση!!!: Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για τη εξαγωγή αποτελεσμάτων και στις μετέπειτα περιπτώσεις της εργασίας μας (case 2, case 3, case 4)

Τέλος, αποθηκεύουμε την περίπτωση που τρέξαμε ως βάση για τις μετέπειτα περιπτώσεις (Case 2, Case 3, Case 4), σε μορφή με κατάληξη .cas.

File → **Write** → **Case & Data**



Σχήμα 6.16: Αποθήκευση της περίπτωσης (case)

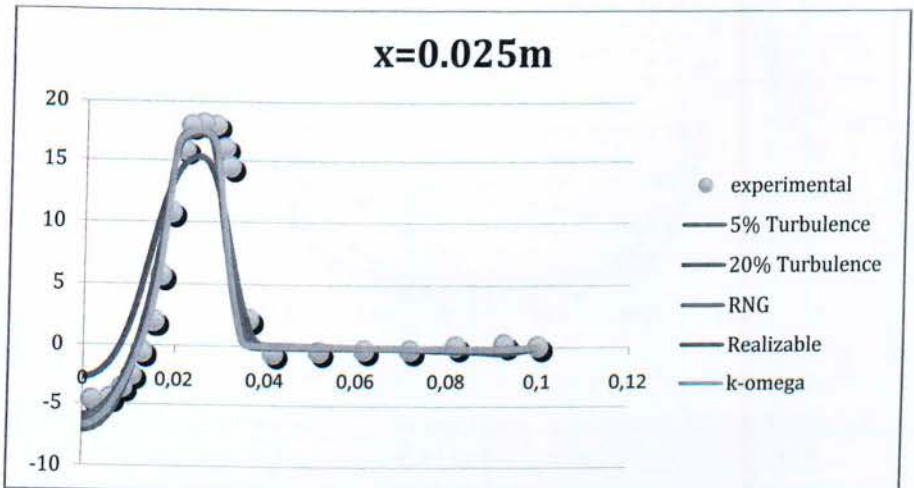
6.2 Αποτελέσματα & Σχολιασμός των προσομοιώσεων στο Fluent για Μονοφασική Ροή (Case 0)

Αρχικά είναι απαραίτητη η επιλογή συγκεκριμένου μαθηματικού μοντέλου καθώς και συγκεκριμένου ποσοστού τύρβης το οποίο θα χρησιμοποιούμε κατά την διεξαγωγή της εργασίας μας. Για να μπορέσουμε όμως να επιλέξουμε με σιγουριά πίο απ όλα τα μαθηματικά μοντέλα είναι καταλληλότερο για τις ανάγκες μας θα πρέπει να κατασκευάσουμε συγκριτικά διαγράμματα τα οποία θα περιλαμβάνουν τα πίο σύνηθη μαθηματικά μοντέλα, διάφορους τρόπους επίλυσης αυτών καθώς και τις πειραματικές τιμές για συγκεκριμένες θέσεις κατά μήκος της γεωμετρίας.

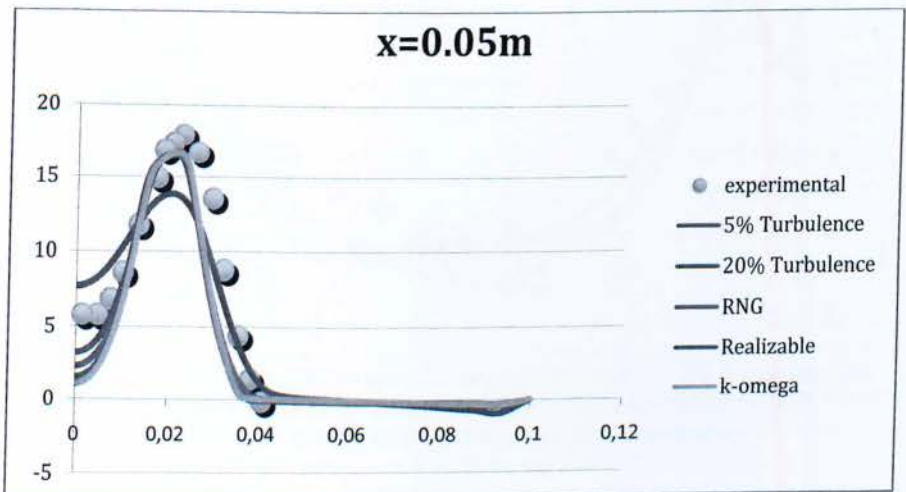
Συνοπτικά στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα εξής:

- A) Μαθηματικό μοντέλο k-epsilon → Standar με 5% ποσοστό τύρβης
- B) Μαθηματικό μοντέλο k-epsilon → Standar με 20% ποσοστό τύρβης
- Γ) Μαθηματικό μοντέλο k-epsilon → RNG με 5% ποσοστό τύρβης
- Δ) Μαθηματικό μοντέλο k-epsilon → Realizable με 5% ποσοστό τύρβης
- Ε) Μαθηματικό μοντέλο k-omega → SST με 5% ποσοστό τύρβης

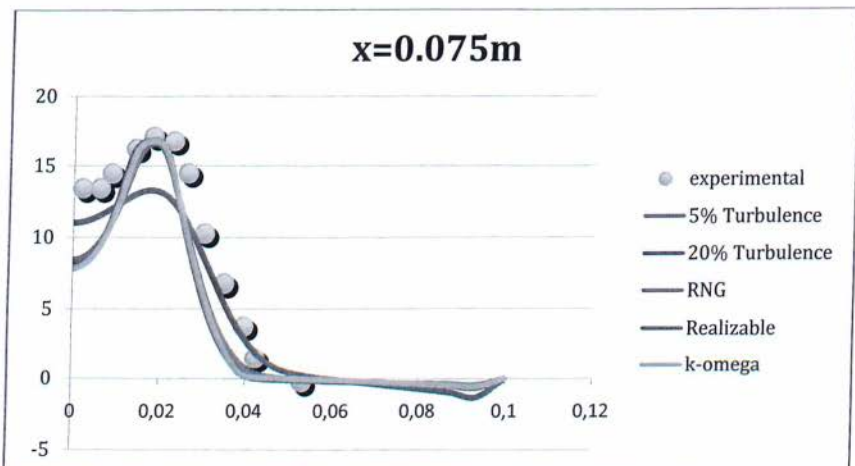
Συγκριτικά Διαγράμματα Υπολογιστικών-Πειραματικών τιμών
σε συγκεκριμένες θέσεις κατά μήκος της γεωμετρίας



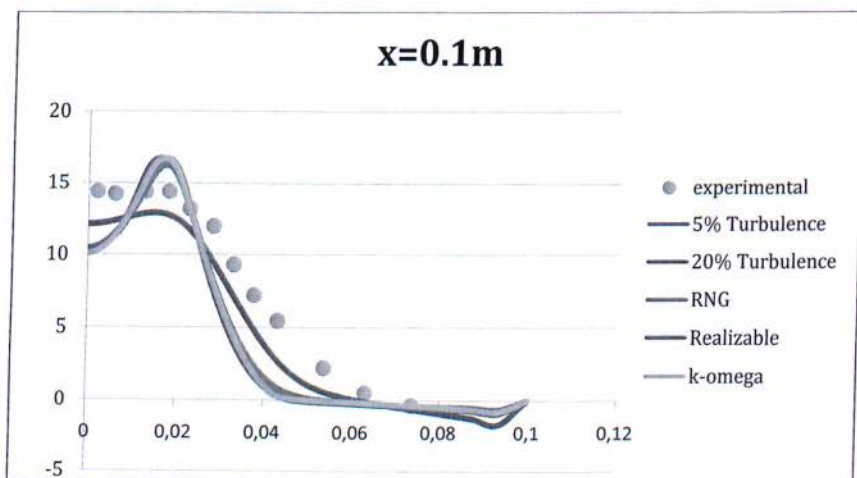
Διάγραμμα 6.17: Συγκριτικό διάγραμμα υπολογιστικών-πειραματικών τιμών- δύο διαφορετικών τιμών τύρβης (Turbulence) και δύο διαφορετικών μαθηματικά μοντέλα k-epsilon για την θέση $x=0,025$ m.



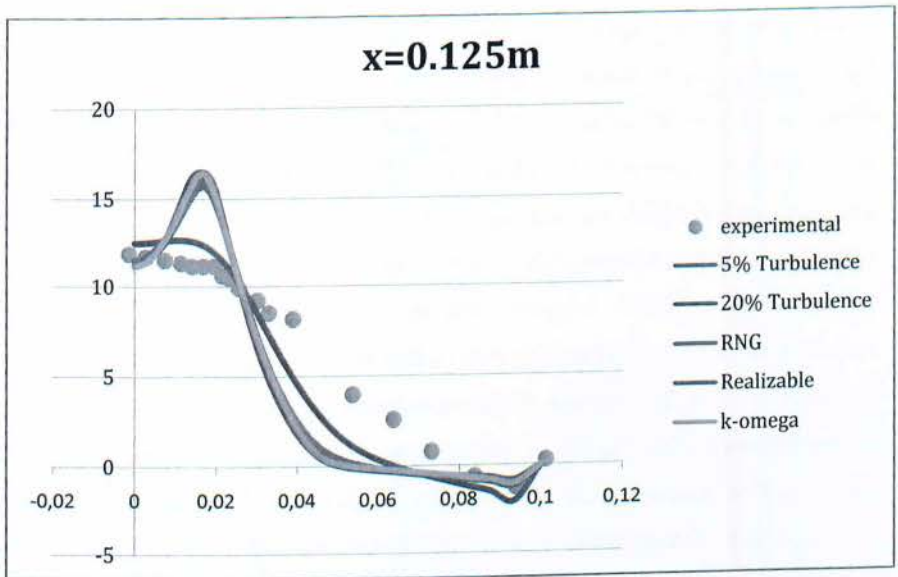
Διάγραμμα 6.18: Συγκριτικό διάγραμμα υπολογιστικών-πειραματικών τιμών- δύο διαφορετικών τιμών τύρβης (Turbulence) και δύο διαφορετικών μαθηματικών μοντέλων k-epsilon για την θέση $x=0,05$ m



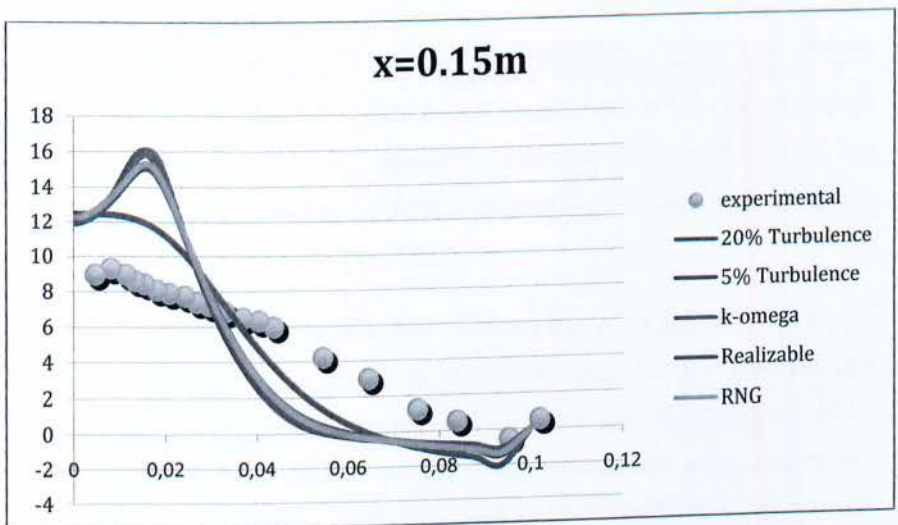
Διάγραμμα 6.19: Συγκριτικό διάγραμμα υπολογιστικών-πειραματικών τιμών- δύο διαφορετικών τιμών τύρβης(Turbulence) και δύο διαφορετικών μαθηματικών μοντέλων k-epsilon για την θέση $x=0,075$ m.



Διάγραμμα 6.20: Συγκριτικό διάγραμμα υπολογιστικών-πειραματικών τιμών- δύο διαφορετικών τιμών τύρβης(Turbulence) και δύο διαφορετικών μαθηματικών μοντέλων k-epsilon για την θέση $x=0,1$ m.



Διάγραμμα 6.21: Συγκριτικό διάγραμμα υπολογιστικών-πειραματικών τιμών- δύο διαφορετικών τιμών τύρβης (Turbulence) και δύο διαφορετικών μαθηματικών μοντέλων k-epsilon για την θέση $x=0,125$ m.



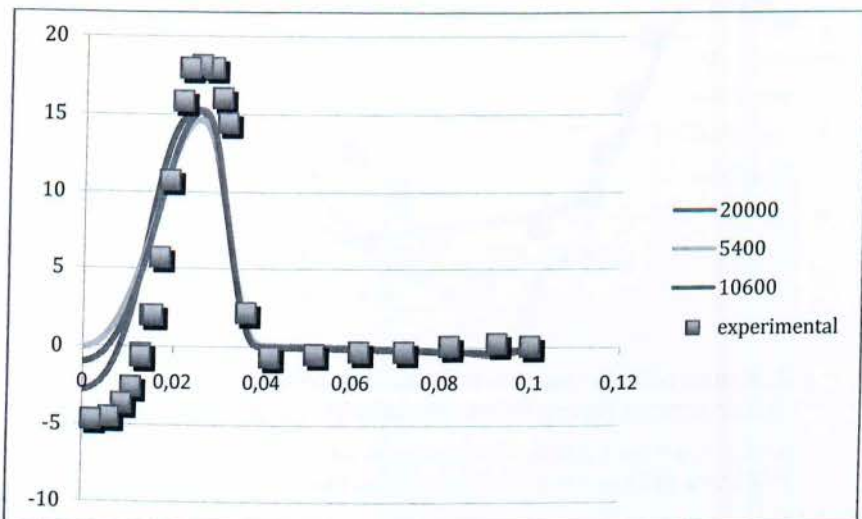
Διάγραμμα 6.22: Συγκριτικό διάγραμμα υπολογιστικών-πειραματικών τιμών- δύο διαφορετικών τιμών τύρβης (Turbulence) και δύο διαφορετικών μαθηματικών μοντέλων k-epsilon για την θέση $x=0,15$ m.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα βλέπουμε, ότι με 5% τύρβη τα υπολογιστικά διαγράμματα συμπίπτουν σε μεγάλο ποσοστό με τις πειραματικές τιμές στις θέσεις $x=0.025m$, $x=0.05m$, $x=0.075m$ ενώ όσο αναπτύσσεται η ροή υπάρχει όλο και λιγότερη ταύτιση ($x=0.1m$, $x=0.125m$) φτάνοντας έτσι στο πιο απομακρυσμένο σημείο που εξετάζουμε ($x=0.15m$), στο οποίο υπάρχει ελάχιστη ταύτιση. Επίσης παρατηρούμε ότι οποιονδήποτε τρόπο επίλυσης του μαθηματικού μοντέλου k -epsilon και να επιλέξουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι σχεδόν τα ίδια, ενώ το ίδιο συμβαίνει ακόμα και αν επιλέξουμε μαθηματικό μοντέλο k -omega. Αντίθετα αυξάνοντας το ποσοστό της τύρβης από 5% σε 20% παρατηρούμε ότι οι υπολογιστικές τιμές παρουσιάζουν διαφορές σε σχέση με τις πειραματικές στις θέσεις $x=0.025m$, $x=0.05m$, $x=0.075m$, ενώ αντίθετα όσο αναπτύσσεται η ροή, ταυτίζονται περισσότερο. Παρότι με 20% τύρβη παρουσιάζονται διαφορές μεταξύ υπολογιστικών και πειραματικών τιμών στις αρχικές θέσεις όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ταύτιση των υπολογιστικών τιμών με τις πειραματικές είναι σε αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό καλύτερη συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιπτώσεις επομένως η τελική μας επιλογή για την συνέχεια της εργασίας μας θα είναι 20% τύρβη. Όσο αφορά την τελική επιλογή του μαθηματικού μας μοντέλου καθώς και του τρόπου επίλυσης αυτού, παρότι δεν παρουσιάζουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ τους η τελική μας επιλογή θα είναι το k -epsilon \rightarrow Standard, διότι είναι αρκετά πιο γρήγορο στο χρόνο επίλυσης του σε σχέση με τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

Για τη συνέχεια της εργασίας μας είναι απαραίτητη η επιλογή του αριθμού των κελιών (cells) που θα χρησιμοποιήσει το Fluent προκειμένου να μας δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα. Για αυτό επιλέγουμε εμπειρικά διάφορες τιμές κελιών και συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με τις πειραματικές τιμές φτιάχνοντας συγκριτικά διαγράμματα για όλες τις θέσεις της γεωμετρίας μας που υποδικνύουν τα πειραματικά δεδομένα.

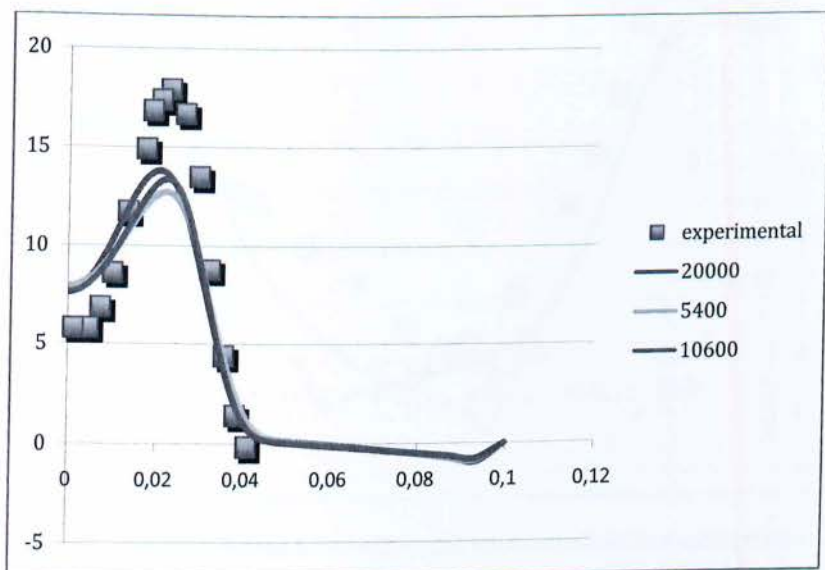
Συγκριτικά Διαγράμματα Υπολογιστικών-Πειραματικών τιμών σε συγκεκριμένες θέσεις κατά μήκος της γεωμετρίας για διαφορετικές τιμές κελιών (cells)

$x=0.025m$



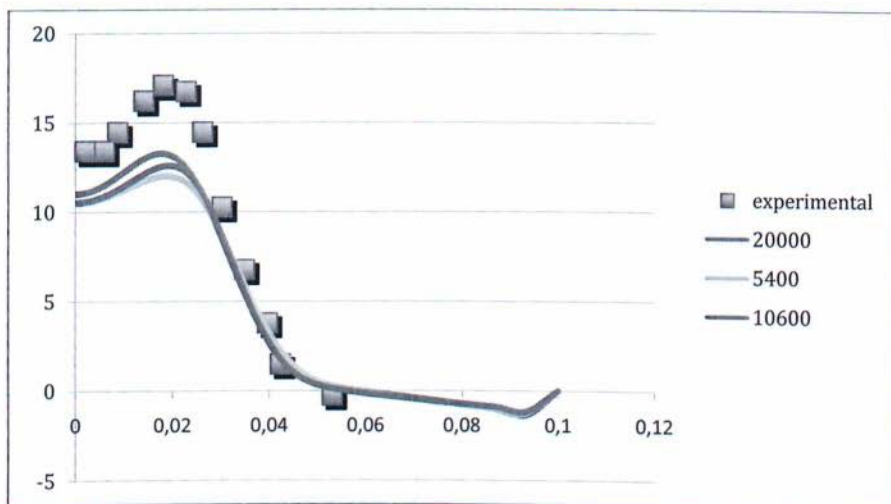
Διάγραμμα 6.23: Συγκριτικό διάγραμμα πειραματικών τιμών και τριών διαφορετικών περιπτώσεων κελιών(cells) για την θέση $x=0,025m$

$x=0.05m$



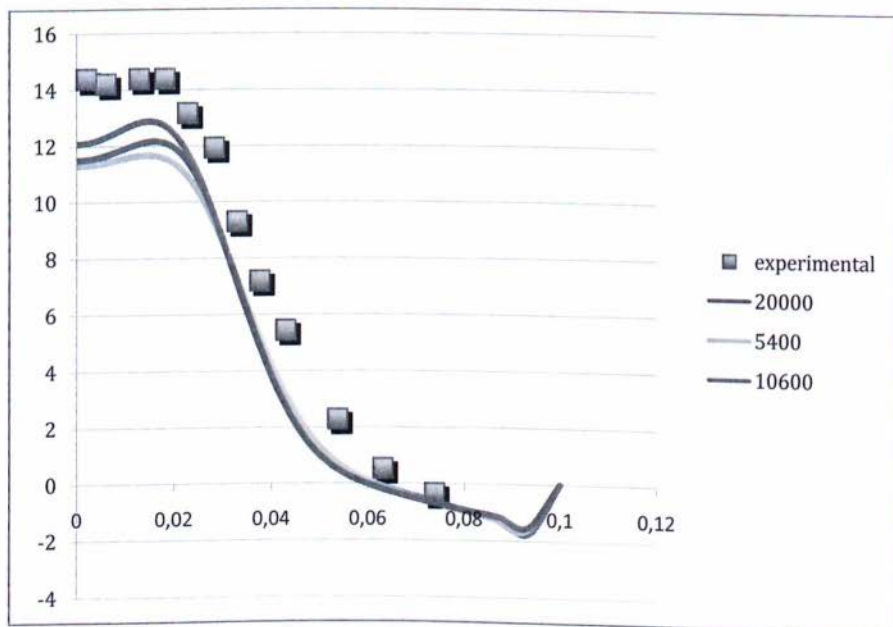
Διάγραμμα 6.24: Συγκριτικό διάγραμμα πειραματικών τιμών και τριών διαφορετικών περιπτώσεων κελιών(cells) για την θέση $x=0,05m$

$x=0.075m$



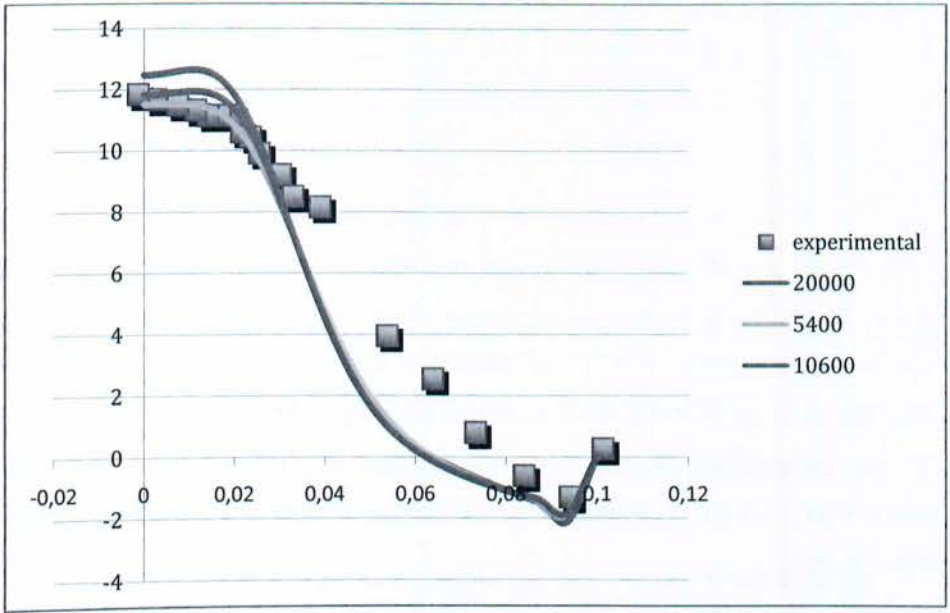
Διάγραμμα 6.25: Συγκριτικό διάγραμμα πειραματικών τιμών και τριών διαφορετικών περιπτώσεων κελιών(cells) για την θέση $x=0,075m$

$x=0.1m$



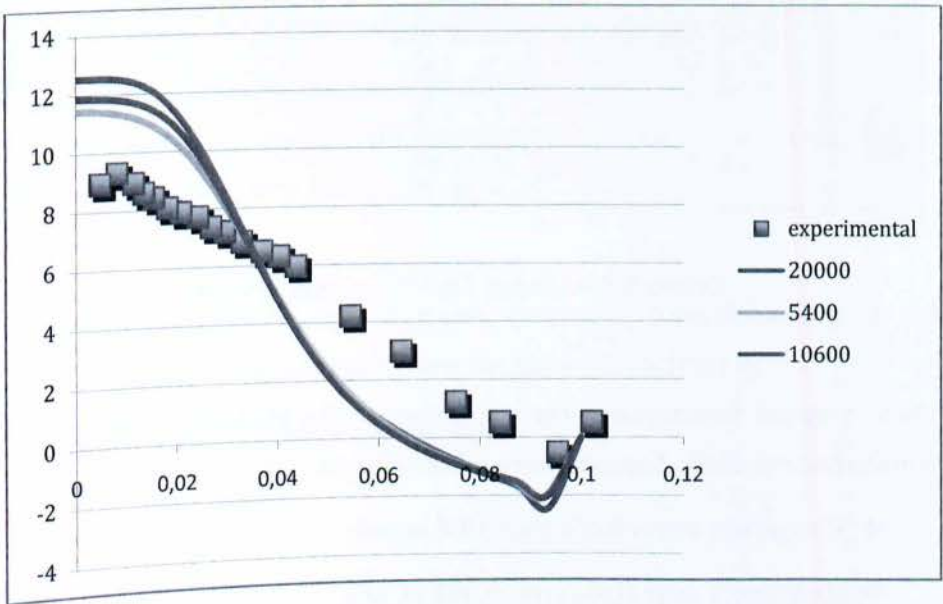
Διάγραμμα 6.26: Συγκριτικό διάγραμμα πειραματικών τιμών και τριών διαφορετικών περιπτώσεων κελιών(cells) για την θέση $x=0,1m$

$x=0.125m$



Διάγραμμα 6.27: Συγκριτικό διάγραμμα πειραματικών τιμών και τριών διαφορετικών περιπτώσεων κελιών(cells) για την θέση $x=0,125m$

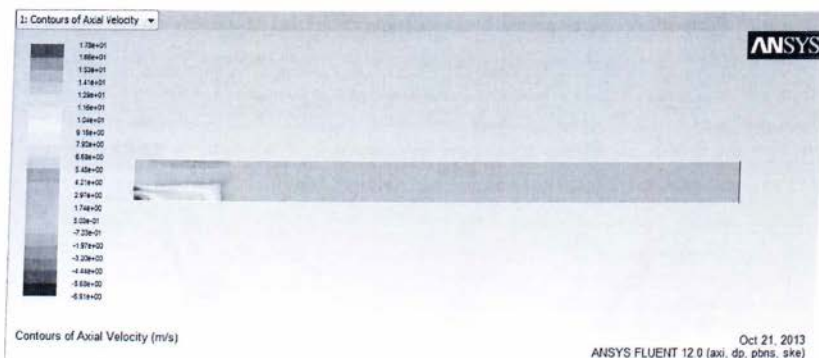
$x=0.15m$



Διάγραμμα 6.28: Συγκριτικό διάγραμμα πειραματικών τιμών και τριών διαφορετικών περιπτώσεων κελιών(cells) για την θέση $x=0,15m$

Κατασκευάζοντας τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να επιλέξουμε πλέον με σιγουριά ποσο πυκνό πλέγμα θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε στην συνέχεια της εργασίας μας και πιο συγκεκριμένα στην προσωμοίωση της διαφασικής ροής (case 2) που θα ακολουθήσει καθώς και των παραμετρικών της (case 3, case 4).

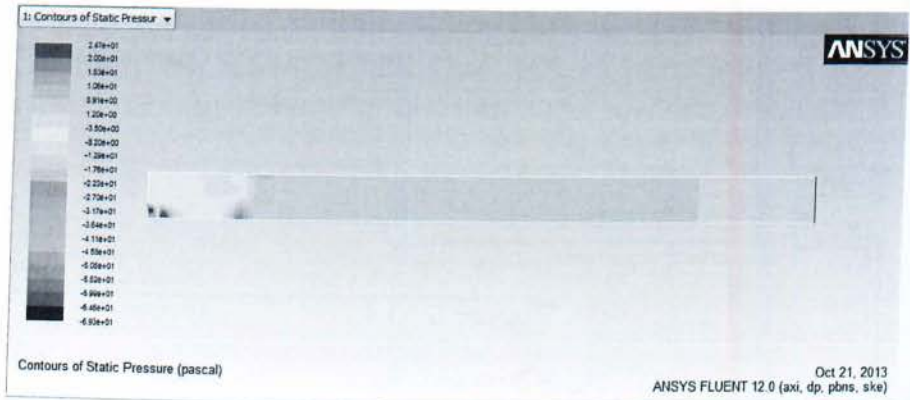
Παρότι όπως προκύπτει απο τα διαγράμματα δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των διαφόρων τιμών των κελιών σε σχέση με τις πειραματικές τιμές το πλέγμα το οποίο τελικά επιλέγουμε για τις μετέπειτα προσωμοιώσεις είναι αυτο των 20.000 κελιών διοτί στην διαφασική ροή λαμβάνουν χώρα πολυ πιο πολύπλοκοι υπολογισμοί και επιλέγοντας το πλέγμα με τα περισσότερα κελιά ελαχιστοποιούμε όσο γίνεται την πιθανότητα σφαλμάτος και είμαστε όσο το δυνατόν σίγουροι για τα αποτελέσματα που θα προκύψουν.



Σχήμα 6.29: Αξονική Ταχύτητα (Axial Velocity)

Από το σχήμα παρατηρούμε ότι η ροή είναι ομαλά επιβραδυνόμενη, από την είσοδο έως την έξοδο. Χαρακτηριστικά βλέπουμε ότι:

- ➔ Η ταχύτητα στην είσοδο είναι **17,8 m/sec.**
- ➔ Η ταχύτητα στην έξοδο είναι **0,503 m/sec.**



Σχήμα 6.30: Στατική πίεση (Static Pressure)

Σύμφωνα με το σχήμα παρατηρούμε πως η στατική πίεση αυξάνεται καθώς ο αέρας ρέει προς την έξοδο του αγωγού. Χαρακτηριστικά:

→ Στην άκρη της εισόδου έχουμε τη μικρότερη στατική πίεση **-69,3 Pascal**.

Πλησιάζοντας προς το κέντρο του αγωγού η στατική πίεση αυξάνεται.

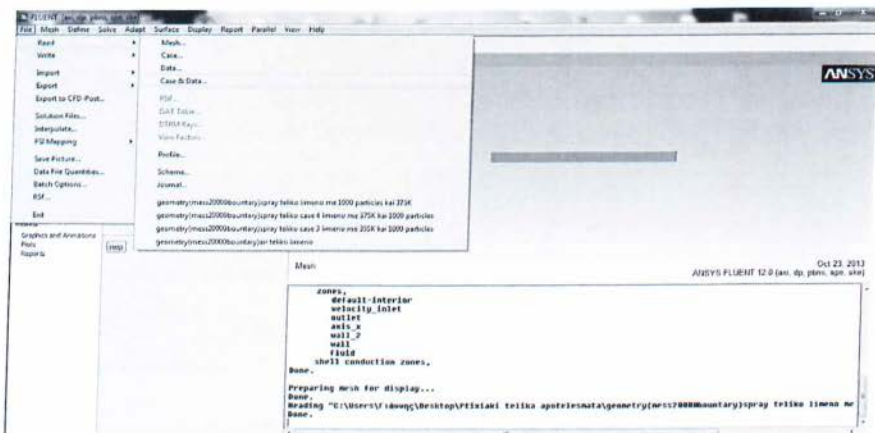
→ Πλησιάζοντας προς την έξοδο έχουμε την μέγιστη πίεση **5,91 Pascal**.

6.3 Διαδικασία επίλυσης του μοντέλου του αγωγού στο Fluent(ψεκασμός spray-διφασική ροή) case 2

Σε αυτήν την παράγραφο παρατίθενται τα βήματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να προσομοιώσουμε το μοντέλο μας στο υπολογιστικό πρόγραμμα fluent.

Για την προσομοίωση της διφασικής ροής εισάγουμε το αρχείο μορφής cas που αποθηκεύσαμε στην πρώτη περίπτωση της εργασίας μας(case 0).

Main Menu → File → Read → Case & Data



Σχήμα 6.31: Άνοιγμα περίπτωσης (case) στο fluent

Reading "C:\Users\Γιάννης\Desktop\PTixiaki telika apotelesmata\geometry\mess20000boundary\spray teliko limeno me 1000 particles kai 375K.cas"...

20000 quadrilateral cells, zone 2, binary.

115 2D wall faces, zone 3, binary.

125 2D wall faces, zone 10012, binary.

125 2D axis faces, zone 4, binary.

160 2D pressure-outlet faces, zone 5, binary.

45 2D velocity-inlet faces, zone 6, binary.

39715 2D interior faces, zone 8, binary.

20286 nodes, binary.

20286 node flags, binary.

27 "exper" point-profile points, x, y, axial-velocity.

Building...

mesh

materials,

interface,

domains,

mixture

zones,

default-interior

velocity_inlet

outlet

axis_x

wall_2

wall

fluid

shell conduction zones,

Done.

Preparing mesh for display...

Done.

Reading "C:\Users\Γιδάνας\Desktop\Ptixiaki telika apotelesmata\geometry(mess20000boundary)spray teliko limeno me 1000 particles kai 375K.dat"...

Done.

Mesh Check

Domain Extents:

x-coordinate: min (m) = 0.000000e+000, max (m) = 1.500000e+000

y-coordinate: min (m) = 0.000000e+000, max (m) = 1.000000e-001

Volume statistics:

minimum volume (m3): 3.314402e-011

maximum volume (m3): 2.790829e-004

total volume (m3): 4.712389e-002

minimum 2d volume (m3): 4.220027e-008

maximum 2d volume (m3): 4.588811e-004

Face area statistics:

minimum face area (m2): 1.688011e-004

maximum face area (m2): 7.158933e-002

Checking number of nodes per cell.

Checking number of faces per cell.

Checking thread pointers.

Checking number of cells per face.

Checking face cells.

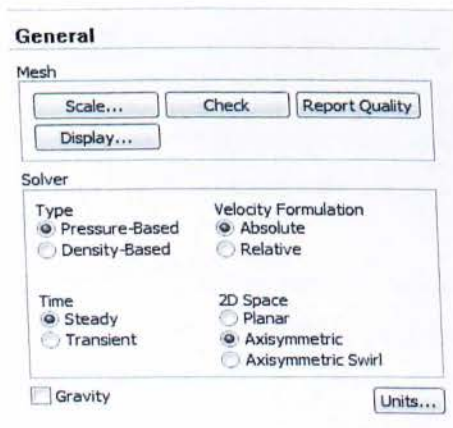
Checking cell connectivity.

Checking bridge faces.

- Checking right-handed cells.
- Checking face handedness.
- Checking face node order.
- Checking closed cells.
- Checking contact points.
- Checking for nodes that lie below the x-axis.
- Checking element type consistency.
- Checking boundary types:
- Checking face pairs.
- Checking wall distance.
- Checking node count.
- Checking nosolve cell count.
- Checking nosolve face count.
- Checking face children.
- Checking cell children.
- Checking storage.

Done.

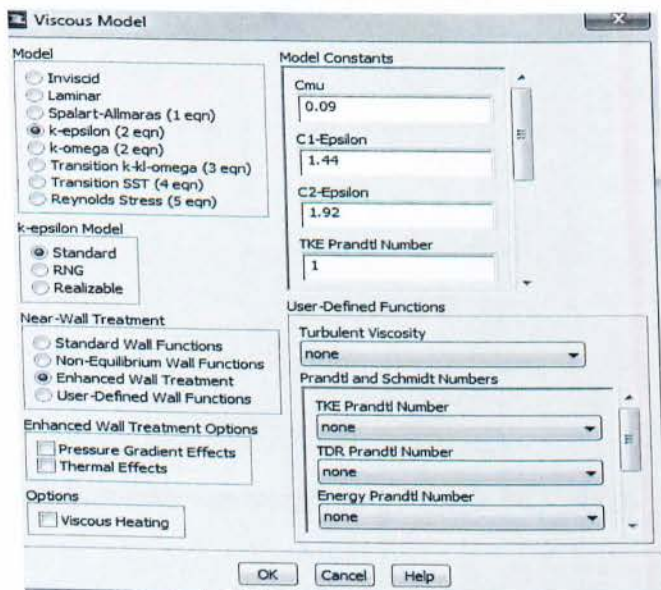
Ορισμός ιδιοτήτων για επίλυση (**solve**)



Σχήμα 6.32: Ορισμός ιδιοτήτων για επίλυση

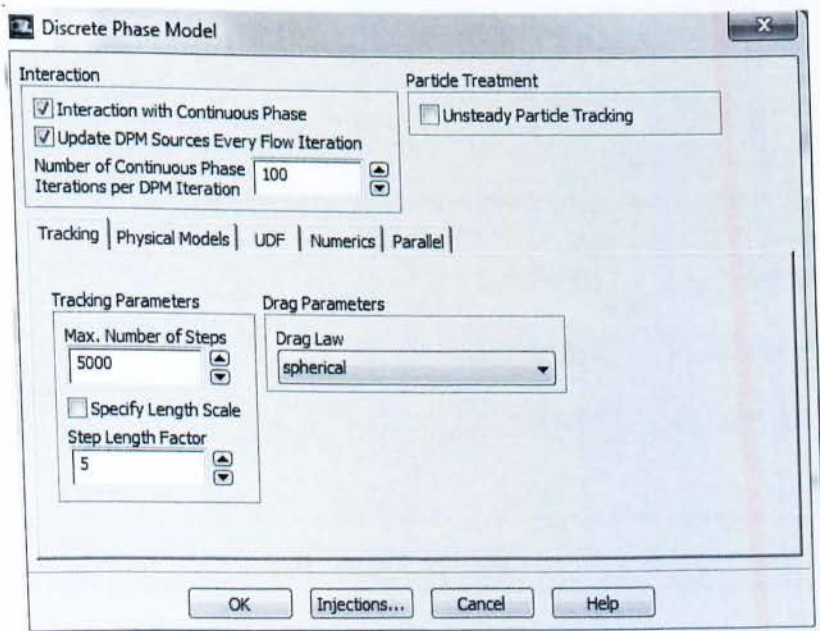
Define → Models

A) Viscous Model → k-epsilon (2 eqn)

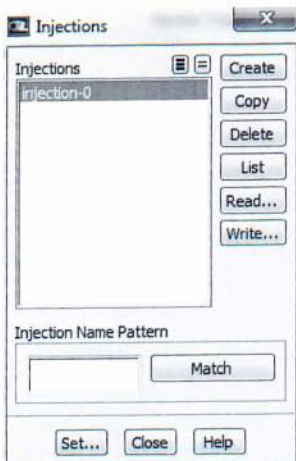


Σχήμα 6.33: Επιλογή μοντέλου k-epsilon

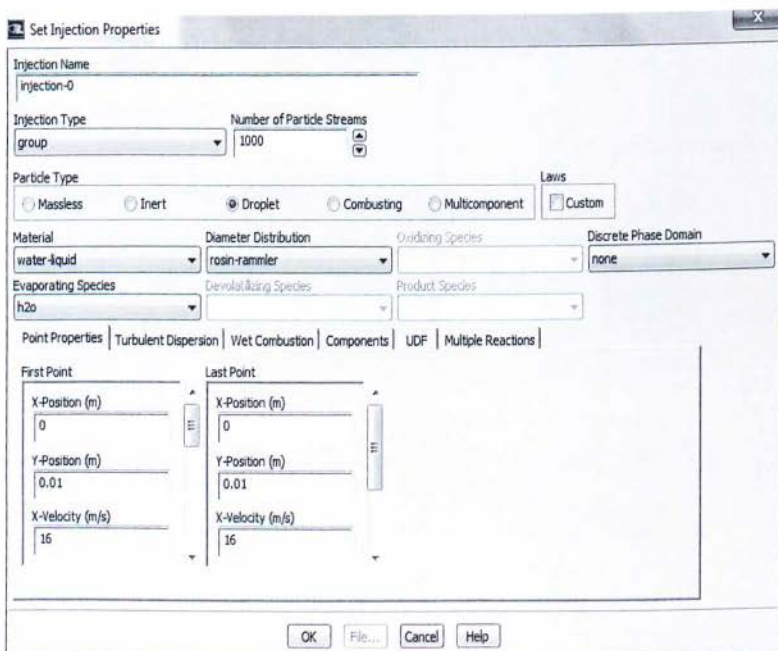
Discrete Phase-On



Σχήμα 6.34: Ορισμός ροής ψεκασμού

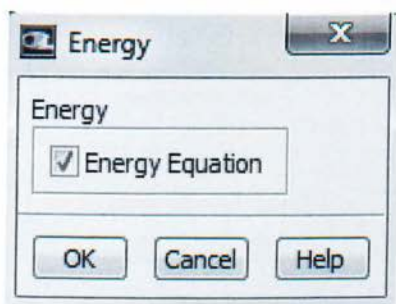


Σχήμα 6.35: Ορισμός χαρακτηριστικών ψεκασμού



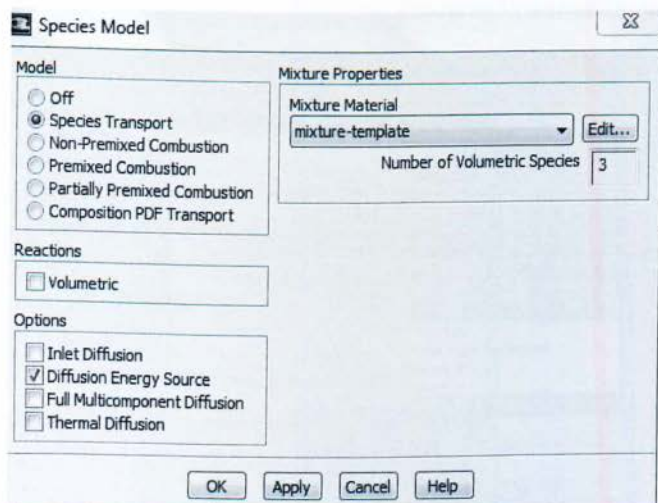
Σχήμα 6.36: Ορισμός ιδιοτήτων ψεκασμού

Energy-On



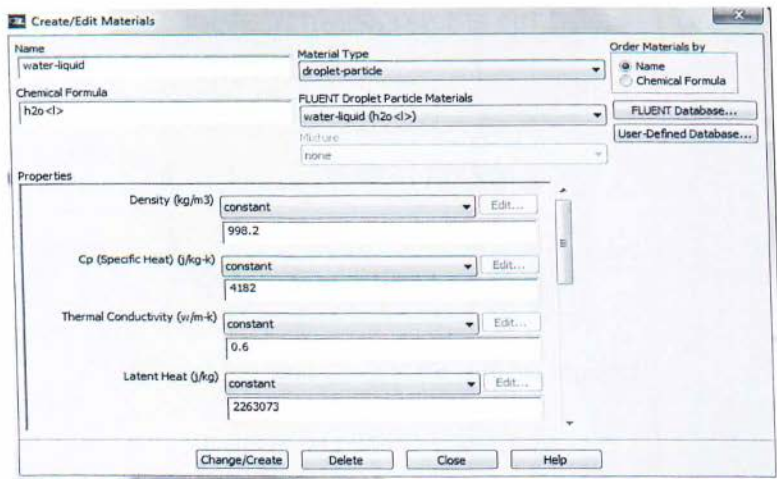
Σχήμα 6.37: Ενεργοποίηση εξίσωσης της ενέργειας

Species-Species Transport



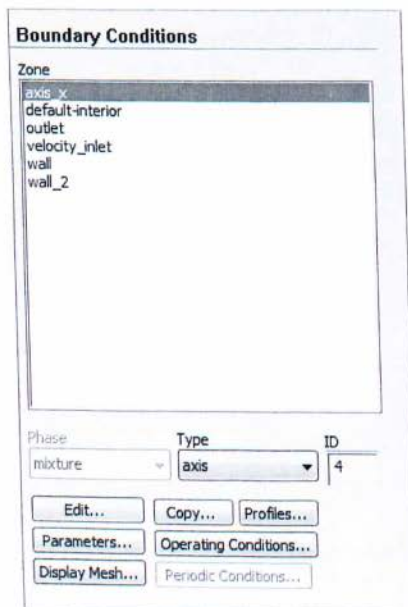
Σχήμα 6.38: Ορισμός μοντέλου ανάμειξης

Define → Materials

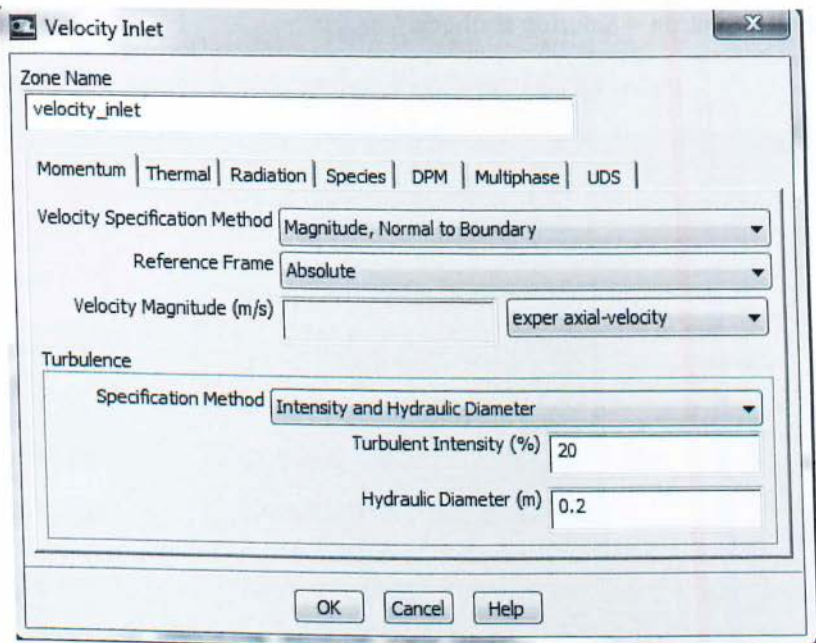


Σχήμα 6.39: Ορισμός υλικών

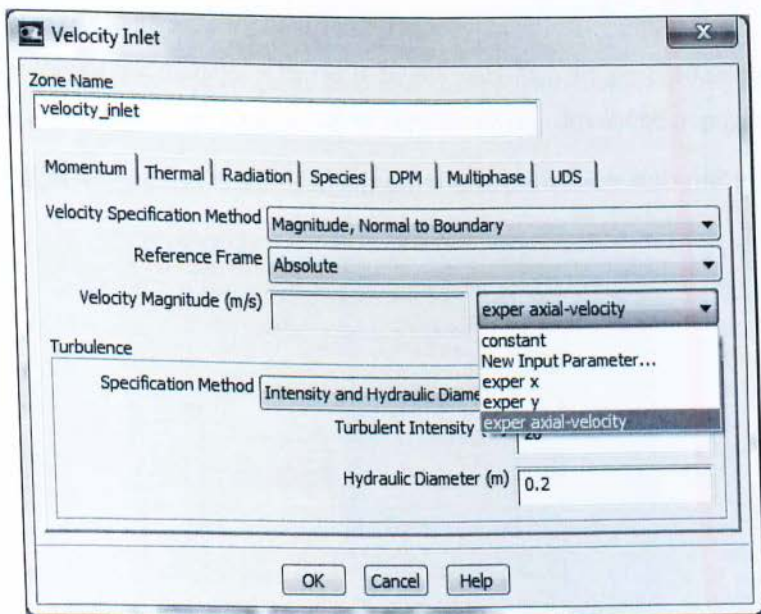
Define → Boundary Conditions



Σχήμα 6.40: Ορισμός οριακών συνθηκών

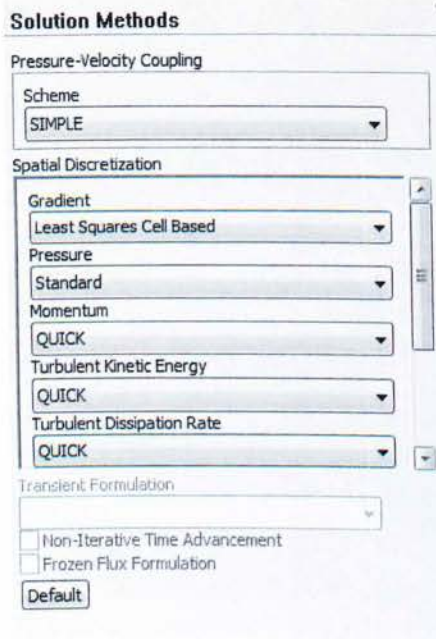


Σχήμα 6.41: Εισαγωγή προφίλ ταχύτητας



Σχήμα 6.42: Επιλογή του προφίλ της ταχύτητας

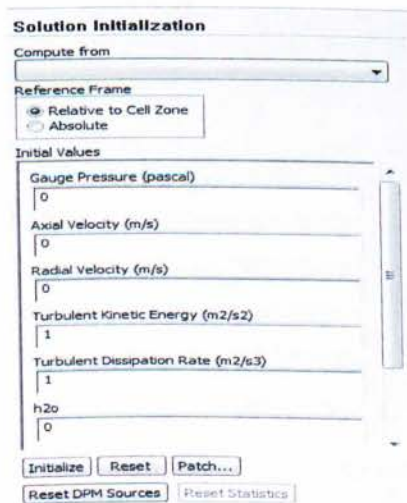
Under Solution → Solution Methods



Σχήμα 6.43: Ορισμός τρόπου επίλυσης του μαθηματικού μοντέλου

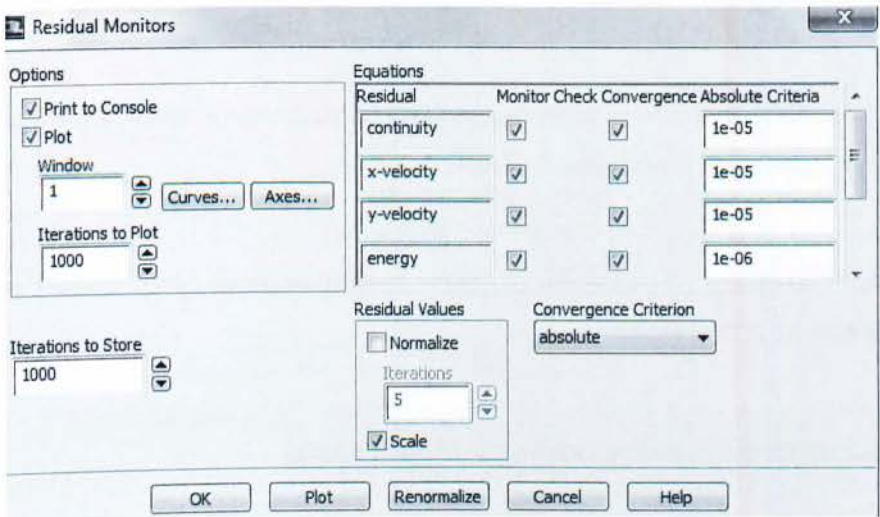
Τώρα θα θέσουμε τις ρυθμίσεις για να λύσει το πρόβλημα και στη συνέχεια να λύσει χρησιμοποιώντας μια επαναληπτική διαδικασία προσέγγισης.

Under Solution → Solution Methods → Main Menu → Solve → Initialization



Σχήμα 6.44: Initialization προβλήματος

Main Menu → Solution → Monitors → Residual Monitors → Edit

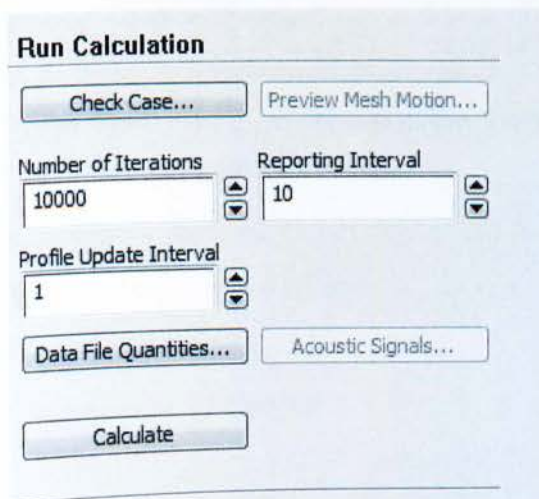


Σχήμα 6.45: Ορισμός επιθυμητής ακρίβειας

Επανάληψη έως τη σύγκλιση (converged)

Στο παράθυρο που εμφανίζεται βάζουμε αριθμό επαναλήψεων (number of iterations) 10000.

Main Menu → Solution → Run Calculation



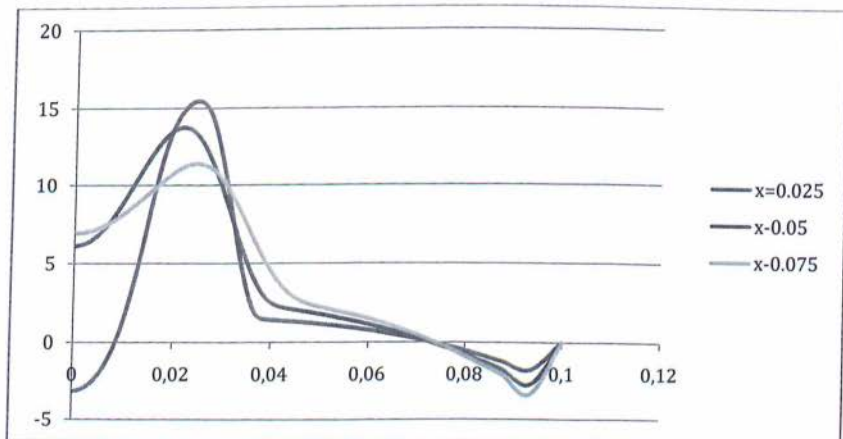
Σχήμα 6.46: Έναρξη επίλυσης προβλήματος

Έπειτα ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με την περίπτωση 1 (case 0) για την εξαγωγή των απαιτούμενων αποτελεσμάτων για την κατασκευή των απαραίτητων διαγραμμάτων

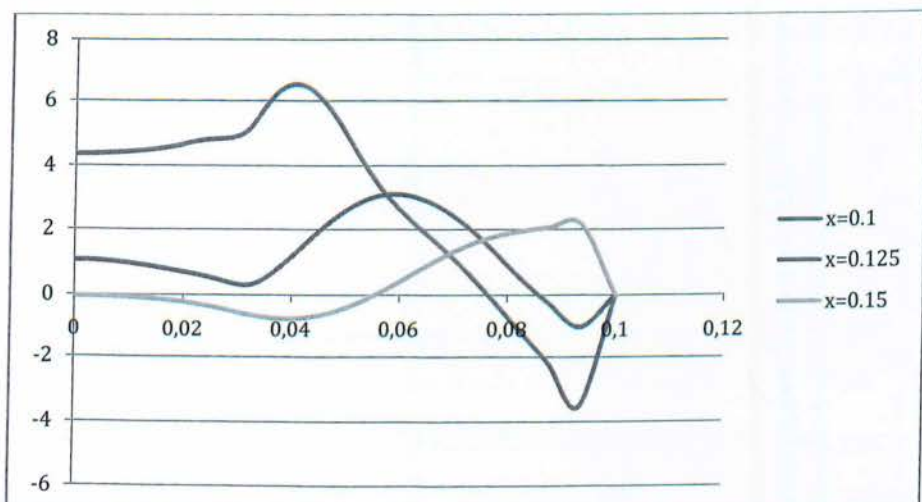
Η ίδια διαδικασία με την περίπτωση 1 (case 0) ακολουθείται επίσης και για την αποθήκευση της περίπτωσης 2 (case 2)

Αποτελέσματα & Σχολιασμός των προσομοιώσεων στο Fluent για διαφοσική ροή (case 2)

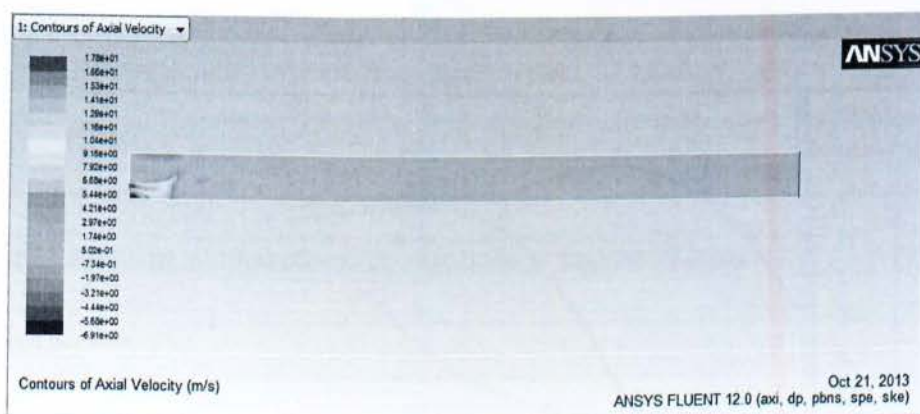
Διαγράμματα αξονικής ταχύτητας (Axial Velocity)



Σχήμα 6.47: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας(Axial Velocity) για τις θέσεις $x=0,025m, x=0,05m, x=0,075m$



Σχήμα 6.48: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας (Axial Velocity) για τις θέσεις $x=0,01m$, $x=0,125m$, $x=0,15m$



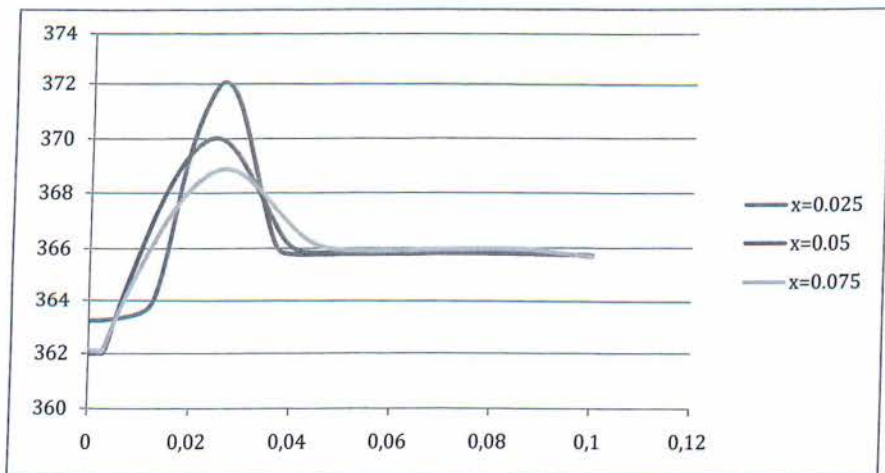
Σχήμα 6.49: Αξονική Ταχύτητα (Axial Velocity)

Από το σχήμα παρατηρούμε ότι η ροή είναι ομαλά επιβραδυνόμενη, από την είσοδο έως την έξοδο. Χαρακτηριστικά βλέπουμε ότι:

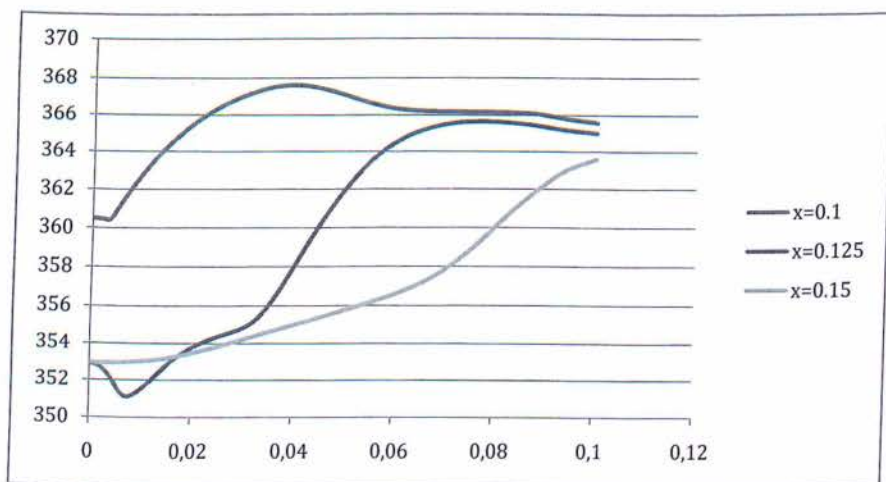
→ Η ταχύτητα στην είσοδο είναι **17,8 m/sec**.

→ Η ταχύτητα στην έξοδο είναι **-6,91 m/sec**.

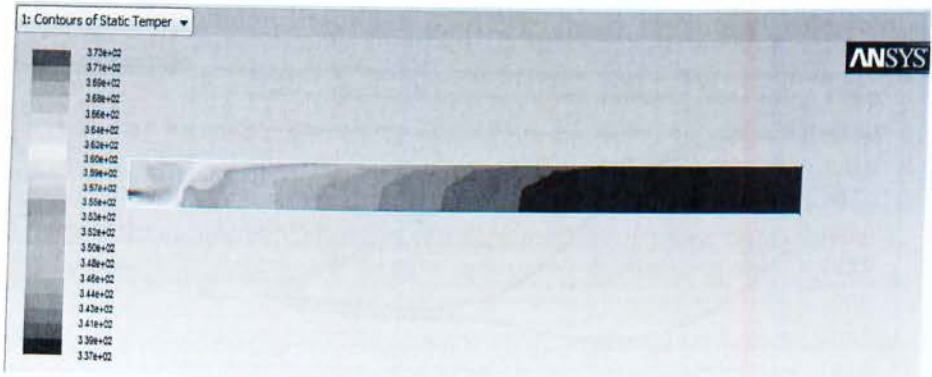
Διαγράμματα στατικής θερμοκρασίας (Static Temperature)



Σχήμα 6.50: Διάγραμμα στατικής θερμοκρασίας(Static Temperature) για τις θέσεις $x=0,025m$, $x=0,05m$, $x=0,075m$



Σχήμα 6.51: Διάγραμμα στατικής θερμοκρασίας(Static Temperature) για τις θέσεις $x=0,1m$, $x=0,125m$, $x=0,15m$



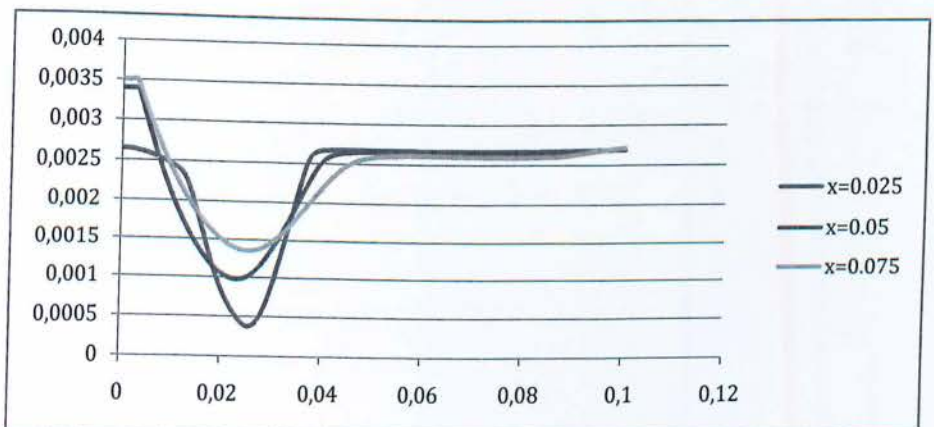
Σχήμα 6.52: Στατική Θερμοκρασία (Static Temperature)

Από το σχήμα παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ελατώνεται καθώς το spray ρέει προς την έξοδο υποδεικνύοντας μια μεταφορά της εσωτερικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια, με αποτέλεσμα την εν λόγω μείωση της θερμοκρασίας.

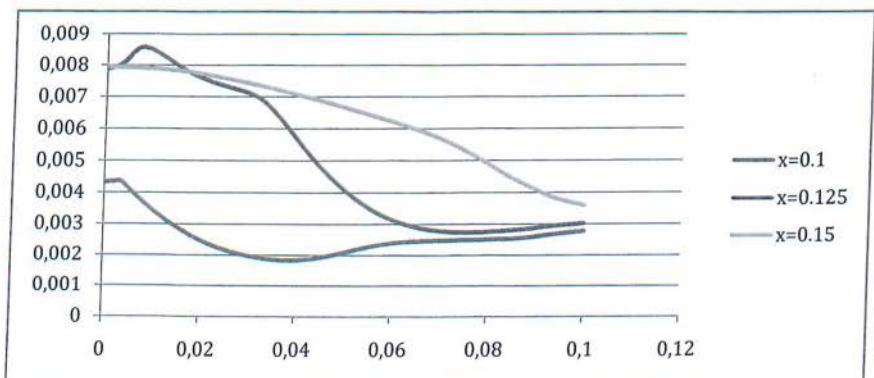
→ Η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρείται είναι **373 Kelvin**.

→ Η ελάχιστη θερμοκρασία που παρατηρείται είναι **337,2 Kelvin**.

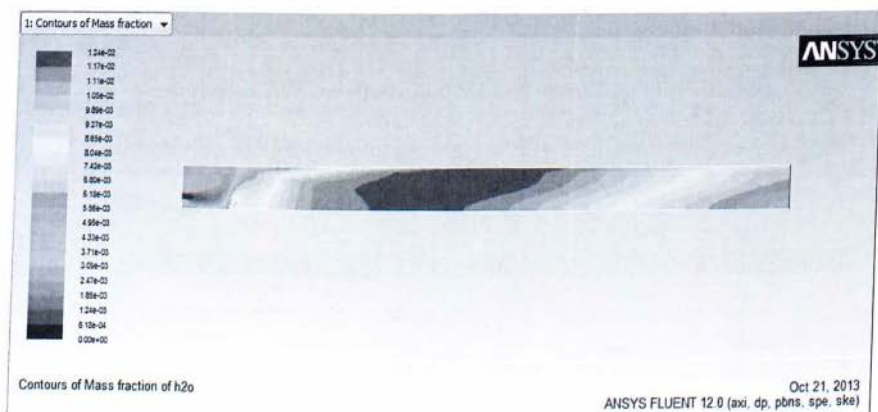
Διαγράμματα κλάσματος μάζας νερού (Mass fraction of H2O)



Σχήμα 6.53: Διάγραμμα κλάσματος μάζας νερού (Mass fraction of H2O) για τις θέσεις $x=0,025m$, $x=0,05m$, $x=0,075m$



Σχήμα 6.54: Διάγραμμα κλάσματος μάζας νερού (*Mass fraction of H₂O*) για τις θέσεις $x=0,1m$, $x=0,125m$, $x=0,15m$



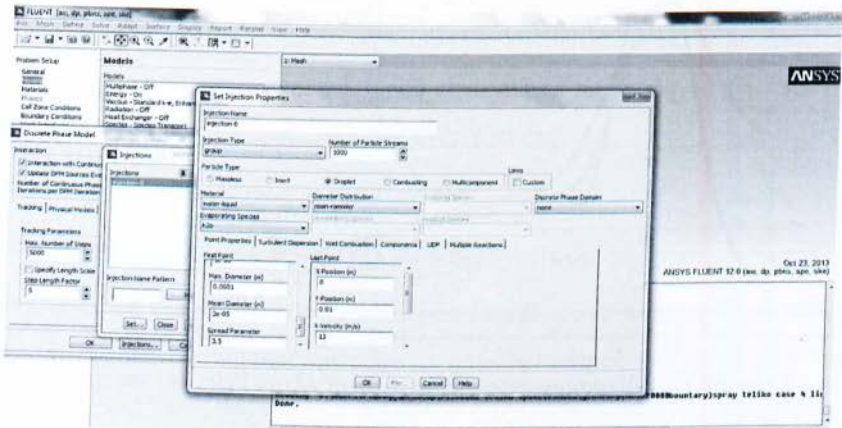
Σχήμα 6.55: *Mass Fraction of H₂O*

6.5 Επίδραση υποδιπλασιασμού διαμέτρου εγχυτήρα (diameter nozzle holder) case 4

Σε αυτή την παραμετρική μελέτη λαμβάνουν χώρα οι εξής τροποποιήσεις σε σχέση με την αντίστοιχη μελέτη της περίπτωσης 2 (case 2)

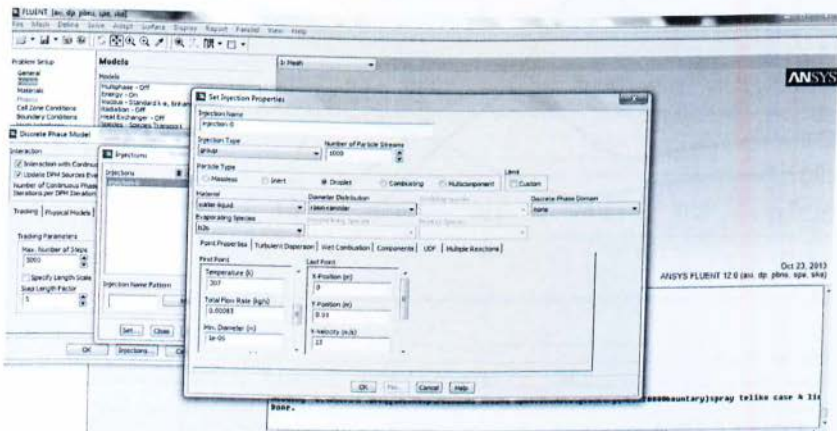
1)Υποδιπλασιασμός της διαμέτρου του ακροφυσίου (Diameter nozzle holder) από $D=40\text{mm} \rightarrow D=20\text{mm}$

Επιλέγουμε Models \rightarrow Discrete Phase \rightarrow Injections \rightarrow Set \rightarrow Set Injection Properties και πηγαίνοντας στο κάτω μέρος της οθόνης επιλέγουμε Mean Diameter= $2e-05$



Σχήμα 6.56: Υποδιπλασιασμός της διαμέτρου του ακροφυσίου

2)Αύξηση ποσοστού ροής μάζας(g/s) $\rightarrow 0,83\text{g/s}$ ή 0.00083 kg/s με τον ίδιο τρόπο



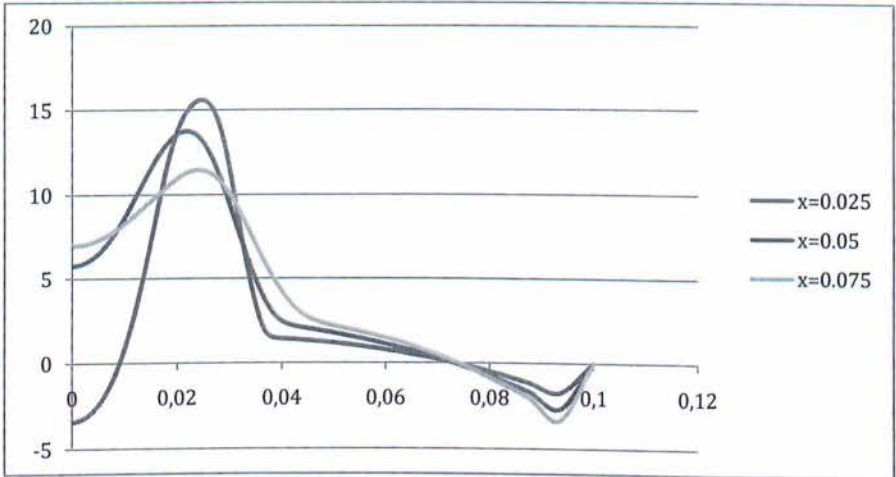
Σχήμα 6.57: Αύξηση ποσοστού ροής μάζας

Όλες οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν ίδιες με την περίπτωση 2 (case 2)

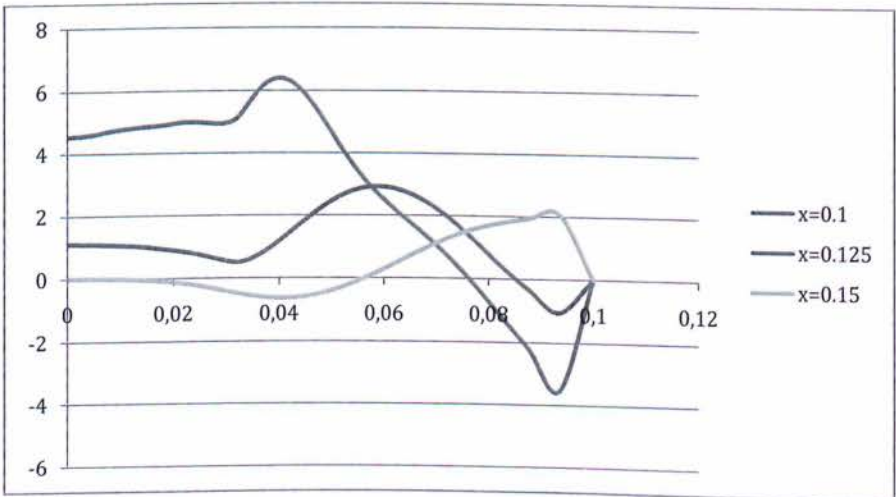
6.6 Αποτελέσματα υποδιπλασιασμού διαμέτρου εγχυτήρα (diameter nozzle holder) case 4

Τα αποτελέσματα παραθέτονται παρακάτω:

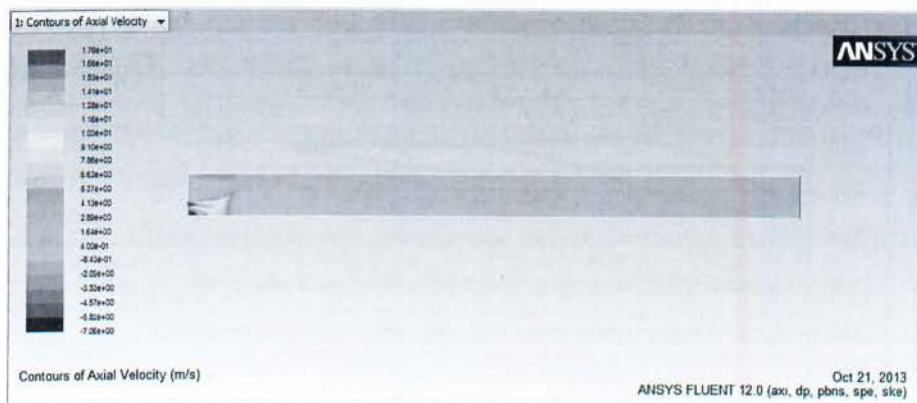
Διαγράμματα αξονικής ταχύτητας (Axial Velocity)



Σχήμα 6.58: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας (Axial Velocity) για τις θέσεις $x=0,025m, x=0,05m, x=0,075m$



Σχήμα 6.59: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας (Axial Velocity) για τις θέσεις $x=0,1m, x=0,125m, x=0,15m$



Σχήμα 6.60: Αξονική Ταχύτητα (Axial Velocity)

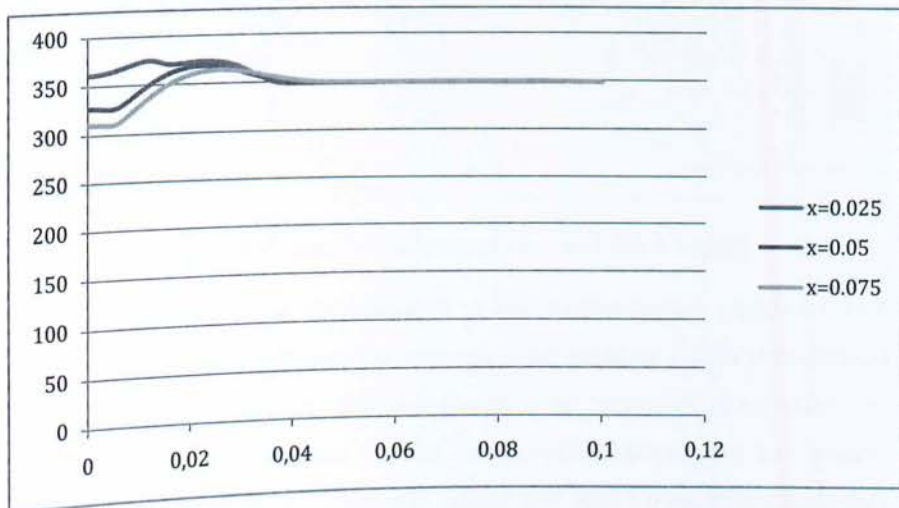
Από το σχήμα παρατηρούμε ότι η ροή είναι ομαλά επιβραδυνόμενη, από την είσοδο έως την έξοδο. Χαρακτηριστικά βλέπουμε ότι:

→ Η ταχύτητα στην είσοδο είναι **17,8 m/sec**.

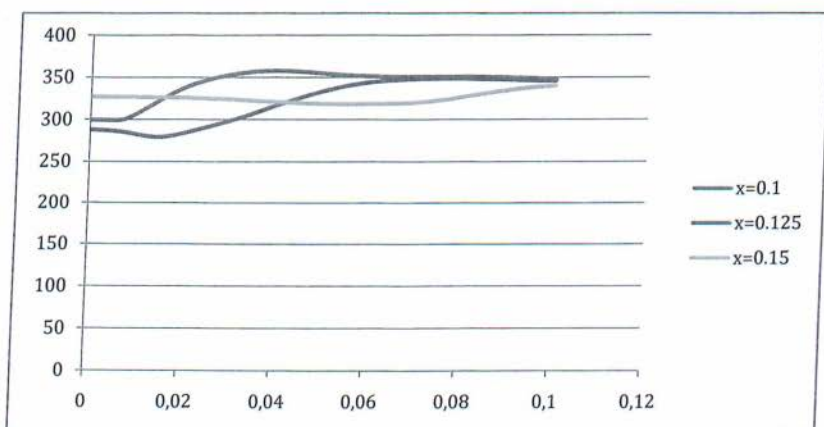
→ Η ταχύτητα στην έξοδο είναι **-7,05 m/sec**.

Συγκριτικά με την περίπτωση 2(case 2) τα διαγράμματα παρουσιάζουν πλήρη ταύτιση επομένως συμπερνούμε ότι ο υποδιπλασιασμός της διαμέτρου του εγχυτήρα δεν επηρεάζει την αξονική ταχύτητα της ροής

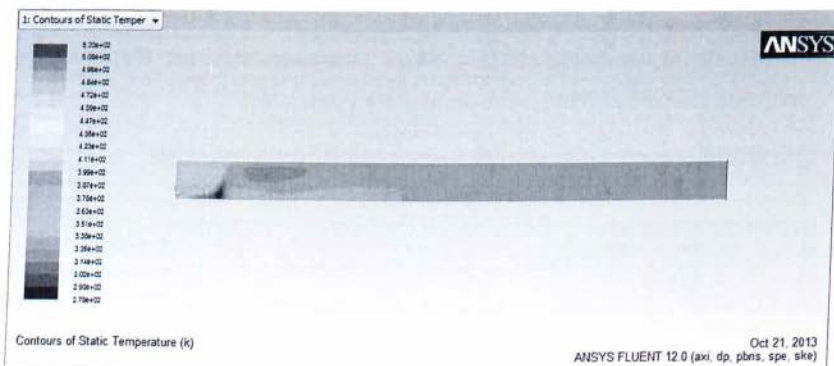
Διαγράμματα στατικής θερμοκρασίας (Static Temperature)



Σχήμα 6.61: Διάγραμμα στατικής θερμοκρασίας (Static Temperature) για τις θέσεις $x=0,025m, x=0,05m, x=0,075m$



Σχήμα 6.62: Διάγραμμα στατικής θερμοκρασίας(Static Temperature) για τις θέσεις $x=0,1m, x=0,125m, x=0,15m$



Σχήμα 6.63: Στατική Θερμοκρασία (Static Temperature)

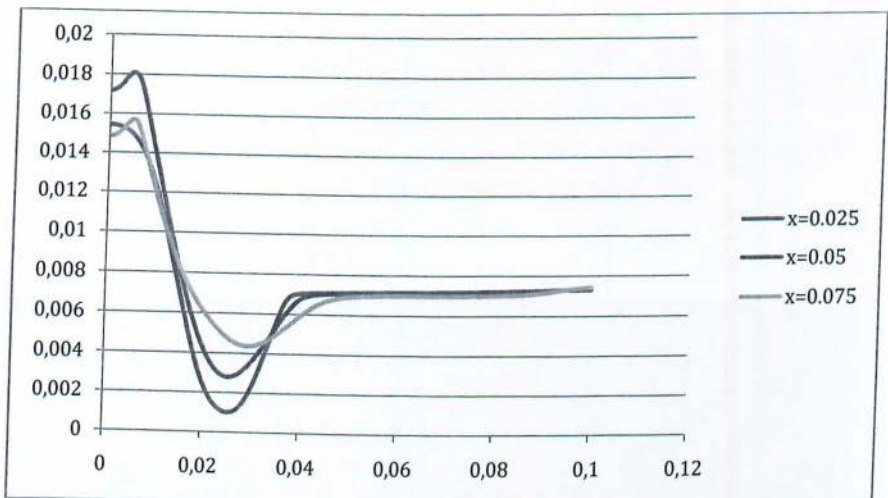
Από το σχήμα παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ελαττώνεται καθώς το spray ρέει προς την έξοδο, υποδεικνύοντας μια μεταφορά της εσωτερικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια, με αποτέλεσμα την εν λόγω μείωση της θερμοκρασίας. Συγκριτικά με την περίπτωση 2 βλέπουμε ότι τα διαγράμματα παρουσιάζουν πιο ομαλές καμπύλες χωρίς μεγάλες αυξομειώσεις σε όλες τις θέσεις ενώ σταθεροποιούνται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε

αντίθεση με την περίπτωση 2 όπου σταθεροποιούνται κοντα σε μεγαλύτερη θερμοκρασία

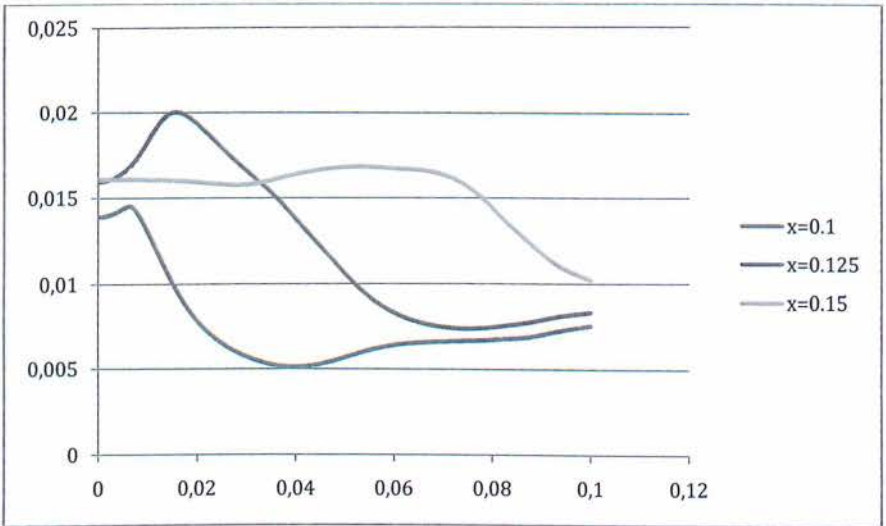
→ Στην είσοδο του αγωγού όπου εισέρχεται το spray έχουμε την μέγιστη στατική θερμοκρασία **519,94 Kelvin**.

→ Από το κέντρο περίπου του αγωγού εως την έξοδο έχουμε σταθεροποίηση της μείωσης της στατικής θερμοκρασίας η οποία είναι **277,89 Kelvin**.

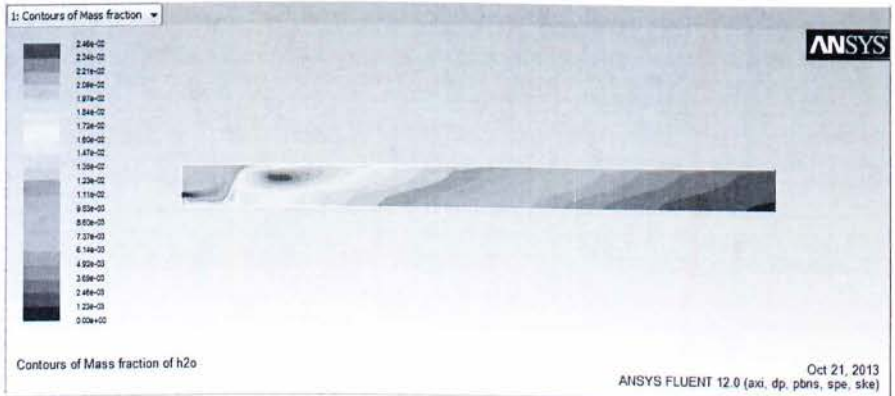
Διαγράμματα κλάσματος μάζας νερού (Mass Fraction of H₂O)



Σχήμα 6.64: Διάγραμμα κλάσματος μάζας νερού (Mass fraction of H₂O) για τις θέσεις $x=0,025m$, $x=0,05m$, $x=0,075m$



Σχήμα 6.65: Διάγραμμα κλάσματος μάζας νερού (Mass fraction of H₂O) για τις θέσεις $x=0,1m$, $x=0,125m$, $x=0,15m$



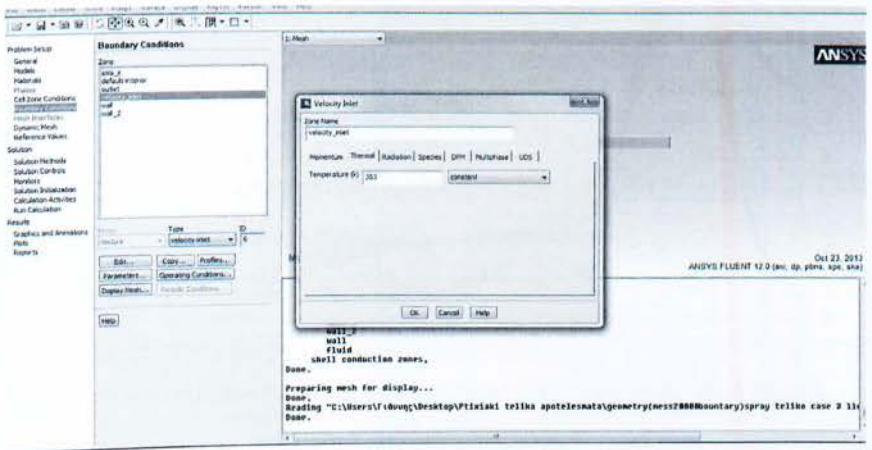
Σχήμα 6.66: Mass Fraction of H₂O

6.7 Επίδραση μείωσης θερμοκρασίας εισερχόμενου αέρα και θερμοκρασίας spray στην είσοδο του αγωγού (case 3)

Σε αυτή την παραμετρική μελέτη λαμβάνουν χώρα οι εξής τροποποιήσεις σε σχέση με την αντίστοιχη μελέτη της περίπτωσης 2 (case 2)

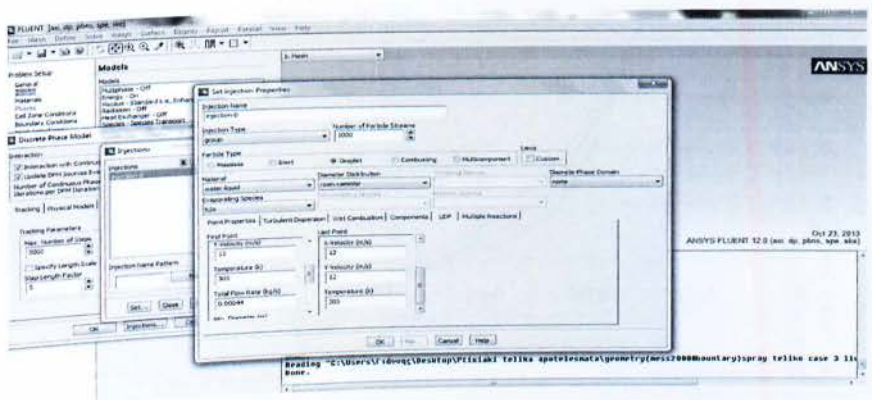
1) Μείωση μέγιστης θερμοκρασίας αέρα (maximum air temperature) από 373→353K

Κεντρική στήλη → Boundary Conditions → Velocity Inlet → Temperature (K) = 353



Σχήμα 6.67: Μείωση μέγιστης θερμοκρασίας αέρα

2) Μείωση θερμοκρασίας spray στην είσοδο του αγωγού (liquid temperature at nozzle exit) από 307K → 305K



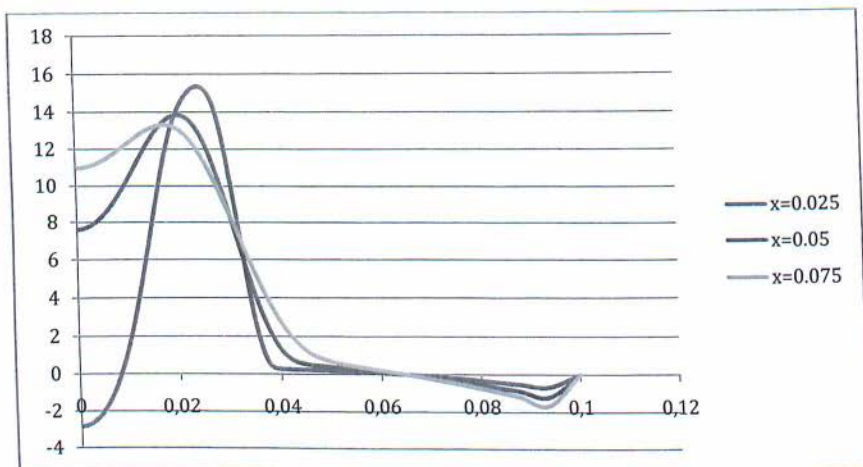
Σχήμα 6.68: Μείωση θερμοκρασίας spray στην είσοδο του αγωγού

Όλες οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν ίδιες με την περίπτωση 2 (case 2).

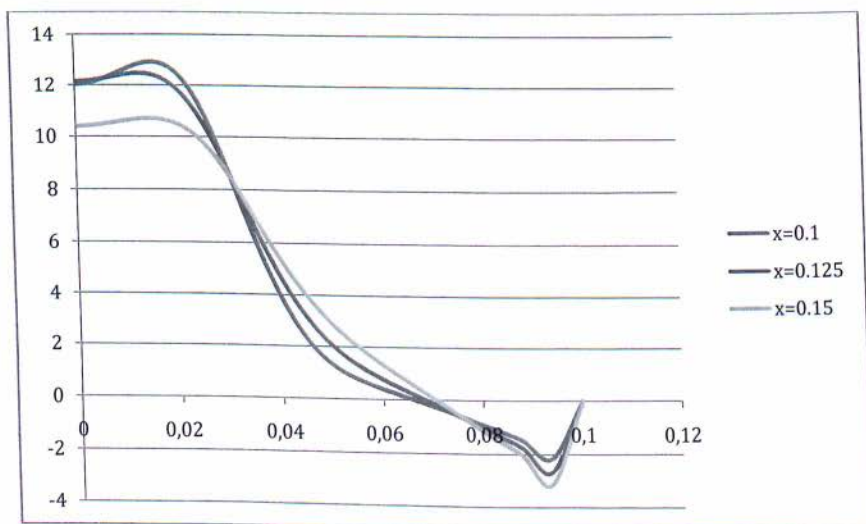
6.8 Αποτελέσματα μείωσης θερμοκρασίας εισερχόμενου αέρα και θερμοκρασίας spray στην είσοδο του αγωγού (case 3)

Τα αποτελέσματα της μελέτης παραθέτονται παρακάτω:

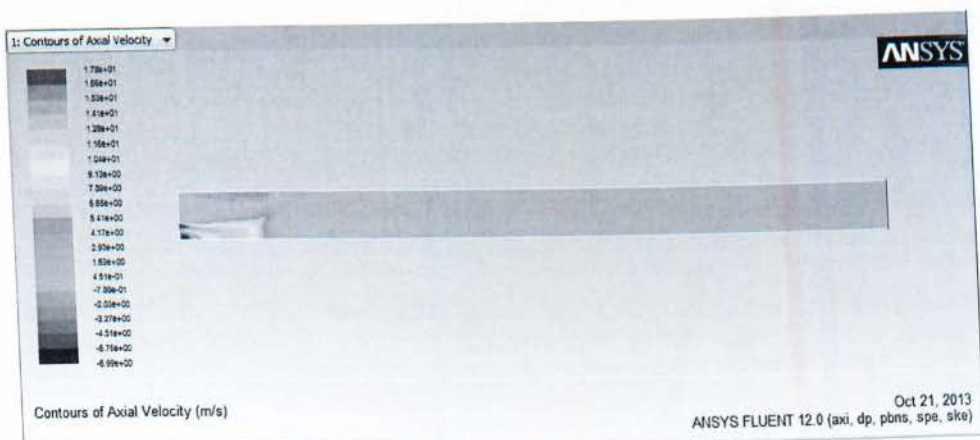
Διαγράμματα αξονικής ταχύτητας (Axial Velocity)



Σχήμα 6.69: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας (Axial Velocity) για τις θέσεις $x=0,025m$, $x=0,05m$, $x=0,075m$



Σχήμα 6.70: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας (Axial Velocity) για τις θέσεις $x=0,1m$, $x=0,125m$, $x=0,15m$



Σχήμα 6.71: Αξονική Ταχύτητα(Axial Velocity)

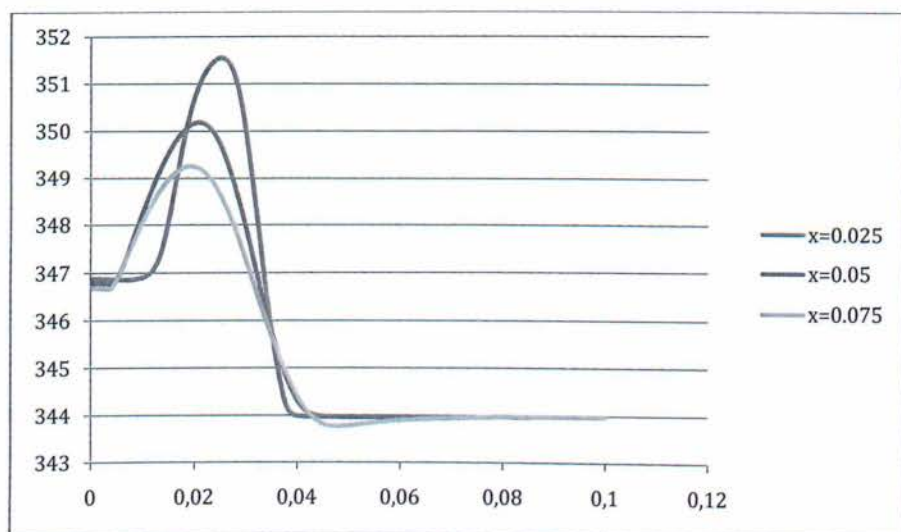
Από το σχήμα συμπεραίνουμε ότι η ροή είναι ομαλά επιβραδυνόμενη από την είσοδο έως την έξοδο. Πιο συγκεκριμένα:

→ Η ταχύτητα στην είσοδο είναι **17,80m/s**.

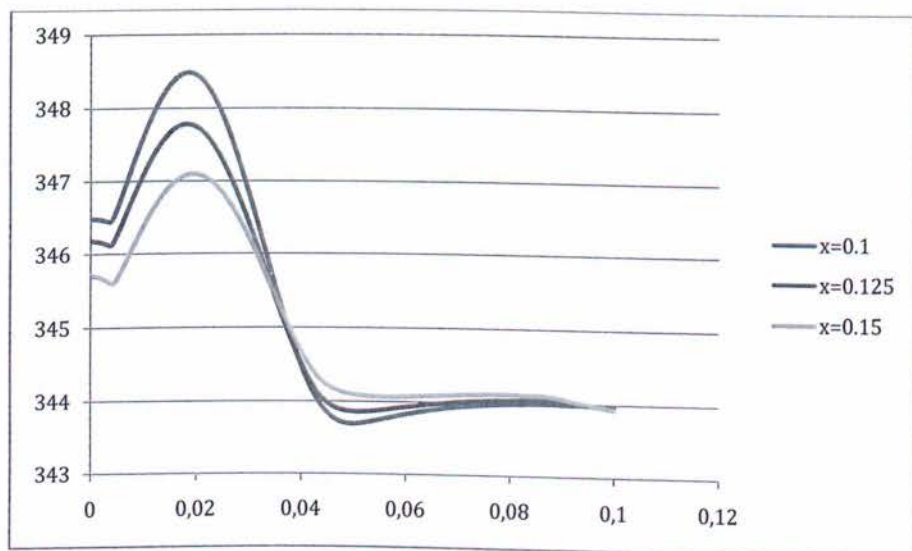
→ Η ταχύτητα στην έξοδο είναι ομοιόμορφη **-6,98m/s**.

Σε σύγκριση με την περίπτωση 2 παρατηρούμε ότι στις αρχικές θέσεις υπάρχει πιο απότομη μείωση της ταχύτητας ενώ σαν απόλυτη τιμή αυτή αυξάνεται. Στις πιο απομακρυσμένες θέσεις οι μορφή των διαγραμμάτων ομαλοποιείται (σταδιακή αύξηση αρχική και μετά σταδιακή μείωση) σε σχέση με την περίπτωση 2 στην οποία παρατηρούντε μεγάλες αυξομειώσεις κατά την διάρκεια της ροής.

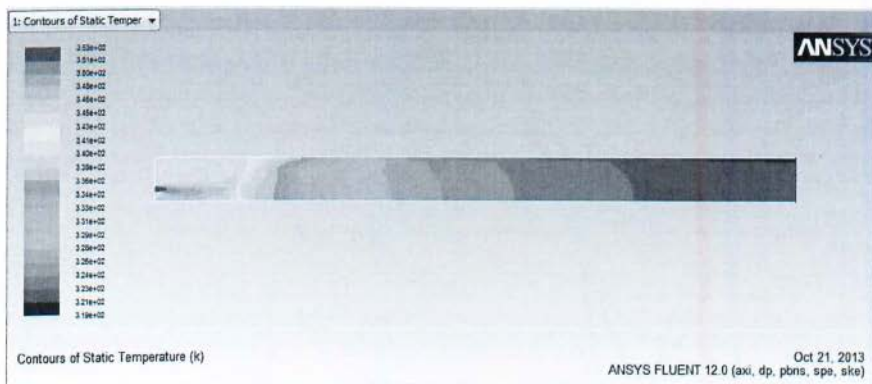
Διαγράμματα στατικής θερμοκρασίας (Static Temperature)



Σχήμα 6.72: Διάγραμμα στατικής θερμοκρασίας (Static Temperature) για τις θέσεις $x=0,025m$, $x=0,05m$, $x=0,075m$



Σχήμα 6.73: Διάγραμμα στατικής θερμοκρασίας (Static Temperature) για τις θέσεις $x=0,1m$, $x=0,125m$, $x=0,15m$



Σχήμα 6.74: Στατική Θερμοκρασία(Static Temperature)

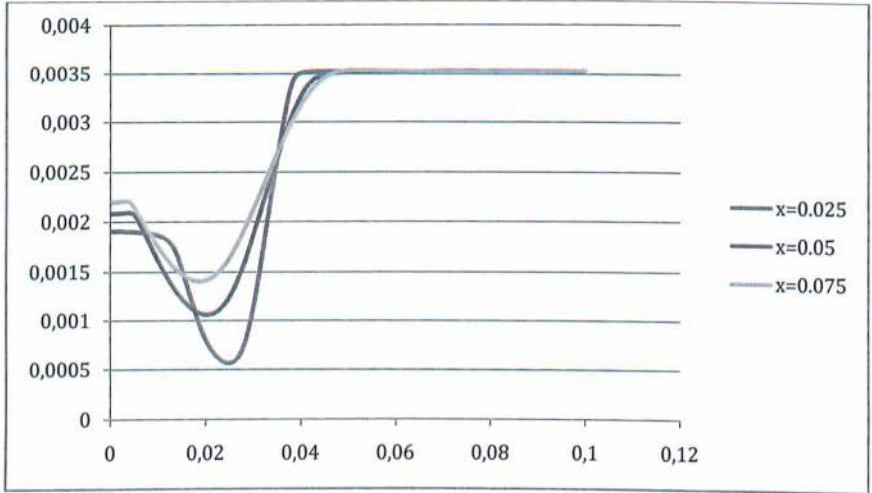
Από το σχήμα μπορούμε να δούμε πως η θερμοκρασία μειώνεται από την είσοδο προς την έξοδο του ακροφυσίου, υποδεικνύοντας μια μεταφορά της εσωτερικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια με αποτέλεσμα την εν λόγω μείωση της θερμοκρασίας. Χαρακτηριστικά:

→ Στην είσοδο του αγωγού έχουμε τη μέγιστη στατική θερμοκρασία **353 Kelvin**. Στη συνέχεια παρατηρείτε μείωση της στατικής θερμοκρασίας σε όλο το μήκος του αγωγού.

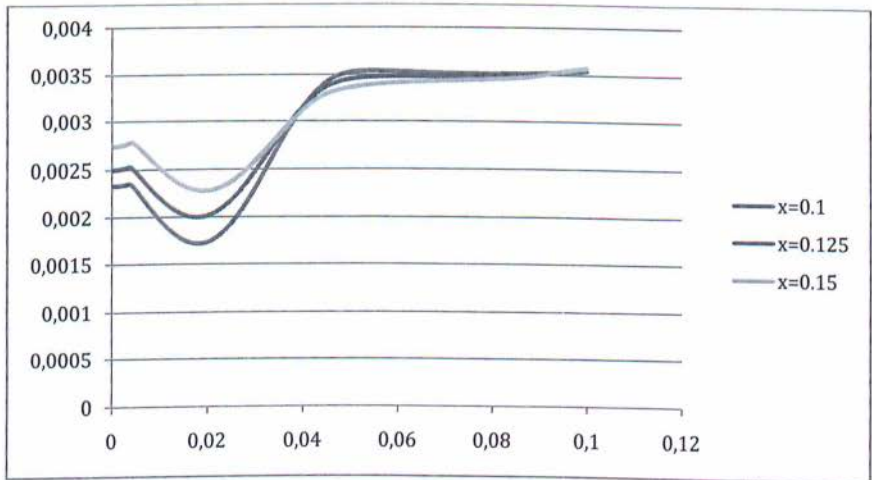
→ Στην έξοδο του αγωγού το spray εξέρχεται με θερμοκρασία **319,33 Kelvin**.

Συγκριτικά με την περίπτωση 2 στις αρχικές θέσεις δεν παρατηρούντε σημαντικές διαφοροποιήσεις στην μορφή των καμπυλών (και στις 2 περιπτώσεις έχουμε αρχικά αύξηση της θερμοκρασίας, στην συνέχεια σταδιακή μείωση και στο τέλος ομαλοποίηση σε μια συγκεκριμένη τιμή) ενώ αντίθετα στις πτώ απομακρυσμένες θέσεις οι καμπύλες ομαλοποιούνται σε σχέση με την περίπτωση 2 και παίρνουν μια μορφή αντίστοιχη με αυτή των αρχικών θέσεων ενώ απο ένα σημείο και μετά υπάρχει και σε αυτά σταθεροποίηση. Επίσης παρατηρούμε ότι στην περίπτωση 3 η γενική τιμή της θερμοκρασίας είναι χαμηλότερη και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δώσαμε χαμηλότερες τιμές εισόδου θερμοκρασίας και στον αέρα και στο spray.

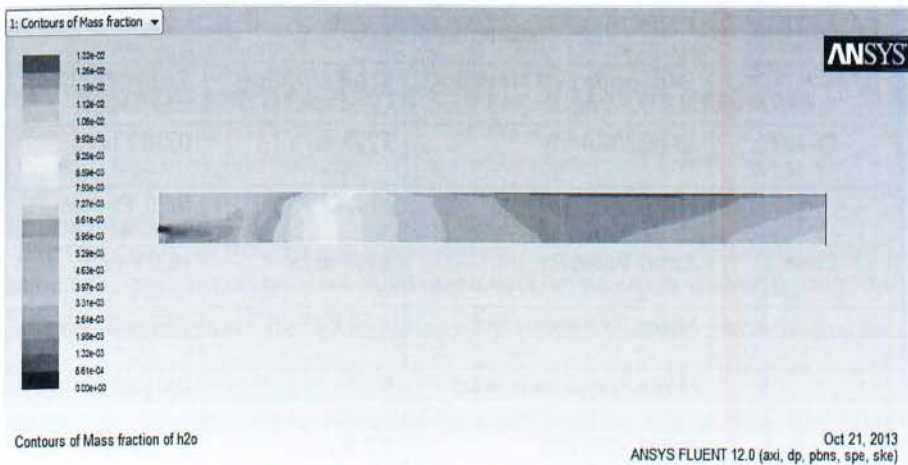
Διαγράμματα κλάσματος μάζας νερού (Mass Fraction of H₂O)



Σχήμα 6.75: Διάγραμμα κλάσματος μάζας νερού (Mass fraction of H₂O) για τις θέσεις $x=0,025m$, $x=0,05m$, $x=0,075m$



Σχήμα 6.76: Διάγραμμα κλάσματος μάζας νερού (Mass fraction of H₂O) για τις θέσεις $x=0,1m$, $x=0,125m$, $x=0,15m$



Σχήμα 6.77: Mass Fraction of H₂O

6.9 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

	Μετρούμενο Μέγεθος	Τιμή εισόδου	Τιμή εξόδου
Case 0	Axial Velocity	17,8 m/s	0,503 m/s
	Static Pressure	-69,3 Pascal	5,91 Pascal
Case 2	Axial Velocity	17,8 m/s	-6,91 m/s
	Static Temperature	373 Kelvin	337,2 Kelvin
	Mass Fraction of h2o	0	0,00618
Case 4	Axial Velocity	17,8 m/s	-7,05 m/s
	Static Temperature	519,94 Kelvin	277,89 Kelvin
	Mass Fraction of h2o	0	0,00123
Case 3	Axial Velocity	17,8 m/s	-6,98 m/s
	Static Temperature	353 Kelvin	319,33 Kelvin
	Mass Fraction of h20	0	0,0106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα & Προτάσεις για μελλοντική εργασία

7.1 Συμπεράσματα

Βλέποντας τον συγκεντρωτικό πίνακα παρατηρούμε ότι η απόλυτη τιμή της στατικής θερμοκρασίας στην περίπτωση 4 (Case 4) στην είσοδο αυξάνεται σημαντικά σε σχέση με την περίπτωση 2 (Case 2) και αυτό οφείλεται στην μείωση της διαμέτρου του εγχυτήρα σε συνδιασμό με την αύξηση της ροής μάζας του νερού. Αντίθετα στην έξοδο παρά τον υποδιπλασιασμό της διαμέτρου του εγχυτήρα παρατηρούμε σημαντικά χαμηλότερη στατική θερμοκρασία σε σχέση με την περίπτωση 2 (Case 2) η οποία κατα πάσα πιθανότητα οφείλεται στην αύξηση της μάζας του νερού μέσα στο ρεύμα του αέρα. Επίσης παρατηρούμε ότι στην περίπτωση 3 (Case 3), η μείωση της θερμοκρασίας εισόδου και του spray επέφερε αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας στην έξοδο της γεωμετρίας.

7.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Για περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου θα μπορούσαν να προταθούν οι ακόλουθες εργασίες:

- 1) Ίδιες γεωμετρίες με διαφορετικό πλέγμα και σύγκριση με το αρχικό μας πρόβλημα.
- 2) Διαφορετικές γεωμετρίες με διαφορετικό πλέγμα και σύγκριση με το αρχικό μας πρόβλημα.
- 3) Ίδιες γεωμετρίες με διαφορετικές παραμέτρους και παράλληλη σύγκριση με το αρχικό μας πρόβλημα.
- 4) Διαφορετικές γεωμετρίες με διαφορετικές παραμέτρους και παράλληλη σύγκριση με το αρχικό μας πρόβλημα.
- 5) Δημιουργία καλύτερου πλέγματος σε κρίσιμα σημεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Επιλεγμένη ελληνική βιβλιογραφία :

- ➔ Περικλής Κορωνάκης, <<Μηχανική Ρευστών>>, Τρίτη Έκδοση, Εκδόσεις ΙΩΝ
- ➔ Περικλής Κορωνάκης, <<Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική>>, Δεύτερη Έκδοση, Εκδόσεις ΙΩΝ
- ➔ Νικολόπουλος Νικόλαος, Νίκας Κων/νος-Στέφανος, Μουστρής Κωνσταντίνος, <<Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική>> Αθήνα 2011

Εγχειρίδια Προγραμμάτων:

- ➔ GAMBIT 2.4.6 Software
- ➔ Fluent 12.0.16 Software
- ➔ Gambit Tutorial Guide September 2004
- ➔ Fluent Tutorial Guide January 2005

Διαδικτυακοί Τόποι: wikipedia

