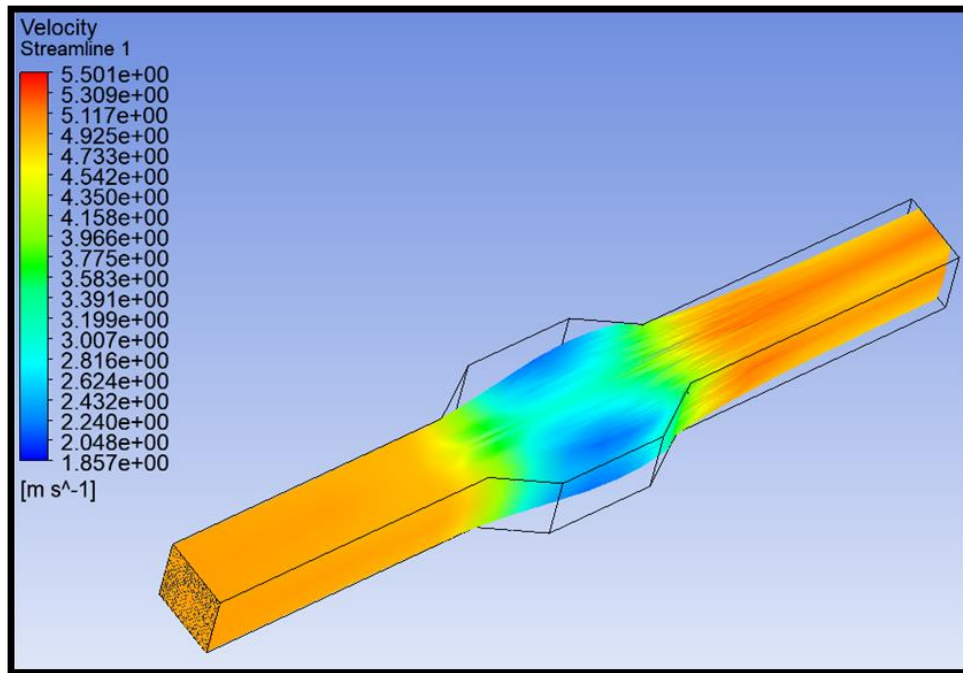


ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Μοντελοποίηση & προσομοίωση ροής ρευστών σε  
αγωγούς**



**Μάλλιαρης Αλέξανδρος**

**XANIA 2019**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Δρ. Δημητρίου Βασίλειος, Αναπληρωτής Καθηγητής**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Επίκουρο Καθηγητή Βασίλη Δημητρίου, του Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, για την δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία. Οι σημαντικές υποδείξεις και συμβουλές του με κατεύθυναν σ' ένα σωστό τρόπο σκέψης και πάνω απ' όλα μου προσέφεραν σημαντικά εφόδια για την μετέπειτα ζωή μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Μετά-Διδακτορικό Ερευνητή Δρ. Ευάγγελο Κασελούρη, για τη βοήθεια του και τις συμβουλές του στο επιστημονικό κομμάτι της εργασίας, και τον Παπαδουλή Θεόδωρο, Εργαστηριακό συνεργάτη του εργαστηρίου Προσομοιώσεων & Μηχανολογικών Κατασκευών – SMM, για την παροχή συμβουλών στην εργασία μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Πάνω από όλα ευχαριστώ τους γονείς μου που ήταν και είναι πάντα δίπλα μου με την στήριξή τους σε κάθε μου απόφαση και καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, απευθύνω ευχαριστίες και στα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής του τμήματος, οι οποίοι με προθυμία δέχθηκαν να παρακολουθήσουν και να αξιολογήσουν την παρούσα πτυχιακή εργασία.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	6
Εισαγωγή .....	6
1.1 Μηχανική ρευστών.....	7
1.2 Δυναμική των ρευστών.....	7
1.3 Εξίσωση της συνέχειας .....	8
1.4 Εξίσωση του Bernoulli.....	9
1.5 Είδη Ροής .....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	13
Σχεδιασμός και τρισδιάστατη μοντελοποίηση.....	13
2.1 Τρισδιάστατη μοντελοποίηση .....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	17
Προσομοιώσεις ροών .....	17
3.1 Μελέτη ροής νερού σε τρισδιάστατο αγωγό .....	18
3.2 Μελέτη ροής αέρα σε τρισδιάστατο αγωγό.....	28
3.3 Μελέτη ροής νερού σε δισδιάστατο αγωγό.....	32
3.4 Προσομοίωση ταχύτητας αέρα σε αγωγό τύπου Venturi.....	40
3.6.Εφαρμογές μελέτης ροής σε τρισδιάστατο μοντέλο αεροσύραγγας .....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	46
Συμπεράσματα.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	47
Βιβλιογραφία .....	47

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αφορά τη μελέτη σε έναν από τους πιο ανεπτυγμένους τομείς της εφαρμοσμένης έρευνας του μηχανικού είναι η Υπολογιστική Ρευστομηχανική. Πραγματεύεται ή μοντελοποίηση και προσομοίωση ροής ρευστών σε αγωγούς, με τη βοήθεια της υπολογιστικής ρευστομηχανικής. Για την υλοποίησή της χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ANSYS Academic και πιο συγκεκριμένα, τα modules προσομοίωσης ρευστών CFX και FLUENT του Ansys Workbench Academic<sup>®</sup>. Κατά την υλοποίηση και επίλυση επιλεγμένων ροών, εξάγονται συμπεράσματα για τις ταχύτητες σε σχέση με την είσοδο και έξοδο ρευστών σε αγωγούς με χαρακτηριστικές γεωμετρίες.

Στα πρώτα κεφάλαια δίδονται συνοπτικά οι βασικές αρχές που διέπουν τη μηχανική των ασυμπίεστων ρευστών σε ομαλές και στρωτές ροές και αναλύεται η λειτουργία του λογισμικού. Ακολουθεί η περιγραφή της κατασκευής και εισαγωγής γεωμετρικών μέσων ροής, αγωγών, σε αρχεία CAD δύο και τριών διαστάσεων. Για την υλοποίηση των μελετών είναι απαραίτητη η ύπαρξη αρχείων CAD που απεικονίζουν τη γεωμετρία του μέσου τα οποία δύναται να δημιουργηθούν μέσα στο ίδιο το λογισμικό επίλυσης και προσομοίωσης είτε έξω από αυτό. Συνήθως για την κατασκευή τρισδιάστατων ή/και περίπλοκων γεωμετριών ενδείκνυται η χρήση ειδικευμένου CAD λογισμικού και για αυτό το λόγο γίνεται μνεία στο πρόγραμμα CAD Autodesk Inventor που χρησιμοποιήθηκε. Ακολουθεί η ανάπτυξη και ανάλυση αντιπροσωπευτικών μοντέλων ροής σε δύο και τρεις διαστάσεις και τελικώς με τη χρήση κατάλληλων παραδειγμάτων. Τέλος, παρατίθεται η μελέτη ροής αέρα σε αεροσήραγγα του ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ. που μοντελοποιείται και αναλύεται με βάση τις προηγούμενες μελέτες.

.



## ABSTRACT

This thesis belongs to one of the most advanced areas of applied mechanics, the computational fluid mechanics. The studies performed deal with the computational fluid flow modeling and simulations using Computational Fluid Dynamics – CFD algorithms. The implementation is performed by the help of the ANSYS Academic Finite Element software, and more specifically, the CFX and FLUENT fluid simulation modules of the Ansys Workbench Academic®.

After modeling and simulation selected flow of incompressible fluids, conclusions are drawn on velocities and other key values in relation to the inlet and outlet of fluids in pipelines with characteristic geometries. The first chapters give a brief overview of the basic principles that govern the mechanics of fluids in normal and smooth flows and the functionality of the selected software. A description of the construction and import of geometric fluid flow mediums, in two- and three-dimensional Computer Aided Design - CAD files, follows. For the implementation of the studies it is necessary to build the CAD files that describe the geometry of the medium fluid which can be created either inside or outside the solution software itself. Usually the use of specialized CAD software is indicated for the construction of 3D and/or complex geometries and this is why the CAD Autodesk Inventor program used is presented. The development, modeling and computational analysis of representative fluid flow models in two and three dimensions comes next by the help of suitable examples. Finally, the air flow study in the air-tunnel of HMU is presented, that is modeled and simulated based on example studies presented.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τη μοντελοποίηση και προσομοίωση ροής ρευστών σε αγωγούς, με τη βοήθεια της υπολογιστικής ρευστομηχανικής. Για την υλοποίησή της χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ANSYS Academic και πιο συγκεκριμένα, τα modules προσομοίωσης ρευστών CFX και FLUENT στο Ansys Workbench [1].

Κατά την υλοποίηση και επίλυση επιλεγμένων ροών, εξάγονται συμπεράσματα για τις ταχύτητες και άλλα βασικά μεγέθη σε σχέση με την είσοδο και έξοδο ρευστών σε αγωγούς με χαρακτηριστικές γεωμετρίες. Στα πρώτα κεφάλαια δίδονται συνοπτικά οι βασικές αρχές που διέπουν τη μηχανική των ασυμπίεστων ρευστών σε ομαλές και στρωτές ροές και αναλύεται η λειτουργία του λογισμικού. Ακολουθεί η περιγραφή της κατασκευής και εισαγωγής γεωμετρικών μέσων ροής, αγωγών, σε αρχεία CAD δύο και τριών διαστάσεων. Για την υλοποίηση των μελετών είναι απαραίτητη η ύπαρξη αρχείων CAD που απεικονίζουν τη γεωμετρία του μέσου τα οποία δύναται να δημιουργηθούν μέσα στο ίδιο το λογισμικό επίλυσης και προσομοίωσης είτε έξω από αυτό. Συνήθως για την κατασκευή τρισδιάστατων ή/και περίπλοκων γεωμετριών ενδείκνυται η χρήση ειδικευμένου CAD λογισμικού και για αυτό το λόγο γίνεται μνεία στο πρόγραμμα CAD Autodesk Inventor που χρησιμοποιήθηκε. Ακολουθεί η ανάπτυξη και ανάλυση αντιπροσωπευτικών μοντέλων ροής σε δύο και τρεις διαστάσεις και τελικώς με τη χρήση κατάλληλων παραδειγμάτων. Τέλος, παρατίθεται η μελέτη ροής αέρα σε αεροσήραγγα του ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ. που μοντελοποιείται και αναλύεται με βάση τις προηγούμενες μελέτες. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των ρευστών και της συμπεριφοράς τους κατά την ομαλή και ασυμπίεστη ροή τους σε αγωγούς.

## 1.1 Μηχανική ρευστών

Τα ρευστά είναι βασικά για τη ζωή και η σπουδαιότητά τους έγκειται στο γεγονός ότι το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από ~75% νερό, η επιφάνεια της γης είναι κατά τα 2/3 νερό και η ατμόσφαιρα εκτείνεται σε απόσταση 50 km πάνω από την επιφάνεια της γης. Τα ρευστά υπάρχουν παντού. Η μηχανική των ρευστών, η ρευστομηχανική, αποτελεί ιδιαίτερο κλάδο της κλασικής μηχανικής που σχετίζεται με την έρευνα και μελέτη της συμπεριφοράς τους, ως προς τις δυνάμεις που ασκούνται προς ή από αυτά ή/και της προσφοράς ενέργεια από και προς αυτά.

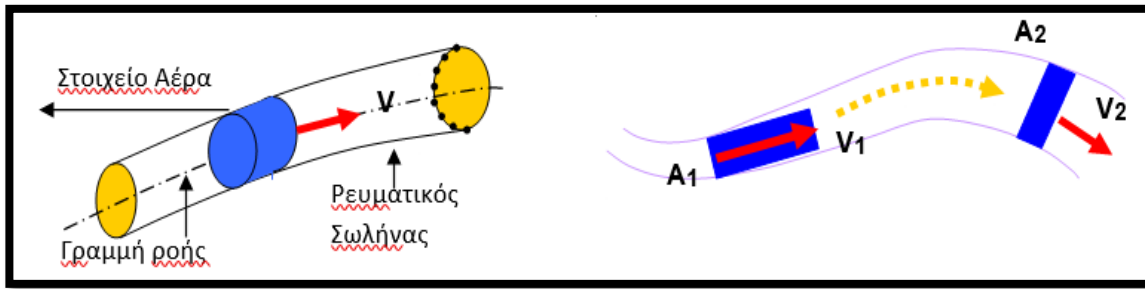
Γενικά η κλασική μηχανική πραγματεύεται την κίνηση των σωμάτων, ενώ η μηχανική των ρευστών τη ροή των ρευστών. Ρευστά μπορούν να συναντηθούν είτε σε μορφή υγρών είτε σε μορφή αερίων. Η κατανόηση της μηχανικής των ρευστών είναι πολύ σημαντική σε αρκετούς επιστημονικούς τομείς όπου απαιτείται άριστη γνώση των ιδιοτήτων της. Οι βασικότεροι από αυτούς είναι [2]:

- Η αεροδυναμική και υδροδυναμική
- Η μετρολογία
- Η μηχανολογία
- Η αεροναυπηγική
- Η ιατρική

Στην παρούσα εργασία τα προβλήματα που μελετώνται ανήκουν σε κλάδους της υδροδυναμικής και της αεροδυναμικής, της μηχανικής των ρευστών.

## 1.2 Δυναμική των ρευστών

Η δυναμική, όπως αναφέραμε ήδη, είναι ένας κλάδος της μηχανικής ρευστών. Ο κλάδος αυτός ερευνά και μελετά τους νόμους που ισχύουν για την κίνηση των ρευστών, όπως είναι η ταχύτητα τους, η διεύθυνση των γραμμών ροής (φλεβών) μέσα σε έναν αγωγό, καθώς και πώς συμπεριφέρονται στην αλληλεπίδρασή τους με πιθανά εμπόδια, αντιστάσεις, κατά την κίνηση τους. Ο φανταστικός αγωγός που έχει παρόμοιες ιδιότητες με έναν υλικό αγωγό χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του όγκου του ρευστού που θα μελετηθεί και ονομάζεται ρευματικός σωλήνας. Ένας ρευματικός αγωγός με απειροελάχιστη διατομή ονομάζεται ρευματικό νήμα. Παράδειγμα απεικονίζεται σχηματικά στην εικόνα 1.1. Όπου  $A_1$  είναι η διατομή εισόδου του ρευστού στον αγωγό,  $A_2$  είναι η διατομή εξόδου του ρευστού στον αγωγό,  $V_1$  είναι η ταχύτητα εισόδου του ρευστού στον αγωγό και  $V_2$  η ταχύτητα εξόδου από τον αγωγό.



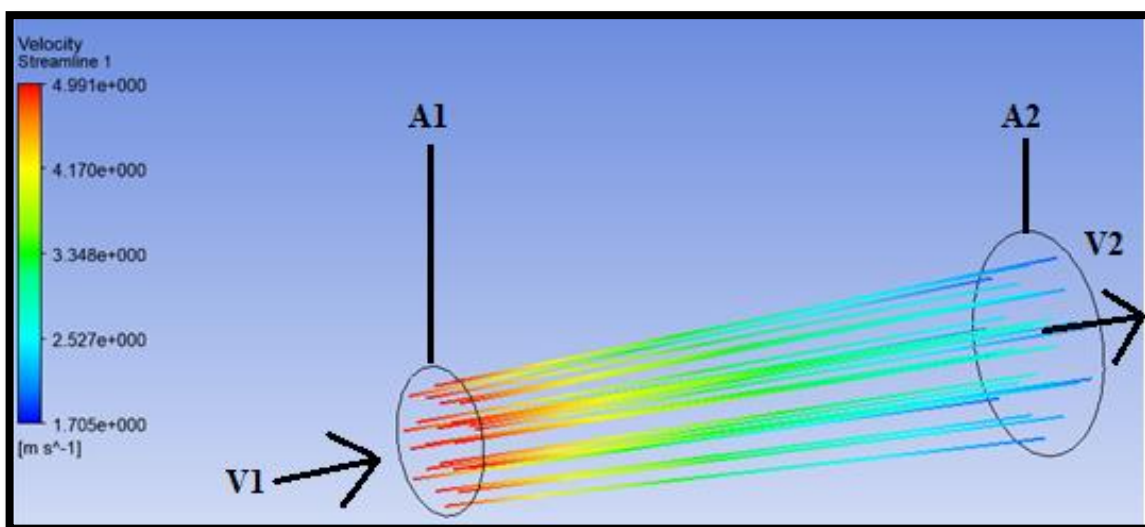
Εικόνα 1.1 Γραμμή ροής (αριστερά) και ρευματικός σωλήνας (δεξιά) [8].

### 1.3 Εξίσωση της συνέχειας

Σημαντικό ρόλο στη μελέτη των ρευστών διαδραματίζει η εξίσωση της συνέχειας. Η εξίσωση της συνέχειας στη ροή αναφέρει ότι η παροχή παραμένει σταθερή κατά μήκος ενός αγωγού ο οποίος διαρρέεται από ρευστό και προσδιορίζεται από την Εξίσωση 1.1 [2].

$$A_1 \cdot u_1 = A_2 \cdot u_2 \quad 1.1$$

Αντίστοιχα, στην εικόνα 1.2, παρουσιάζονται οι ροϊκές γραμμές ενός ρευστού οι οποίες μας υποδηλώνουν την μεταβολή την ταχύτητας ροής σε σχέση με την διατομή ενός αγωγού μεταβαλλόμενης διατομής. Η απεικόνισή τους βασίζεται σε πειραματικά, αναλυτικά βάσει εξισώσεων ή υπολογιστικά αποτελέσματα προσομοίωσης, όπως και περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3, της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 1.2 Γραμμές ροής ρευστού σε αποκλίνον αγωγό, σε μοντέλο τριών διαστάσεων. Η χρωματική κλίμακα υποδεικνύει τη μεταβολή ταχύτητας στις ροϊκές γραμμές.

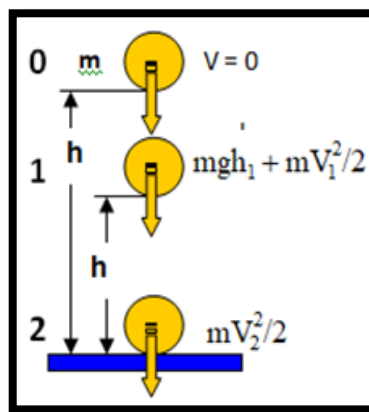


Παρατηρούμε, ότι όπως στις δύο, έτσι και στις τρεις διαστάσεις, ισχύει η εξίσωση της συνέχειας και συνεπώς, όσο μικραίνει η διατομή του αγωγού τόσο αυξάνεται η ταχύτητά του και αντιστρόφως. Η εξίσωση 1.1 υποδηλώνει ακριβώς αυτή τη συνθήκη καθώς παρατηρούμε ότι  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{u_2}{u_1}$  που αποδεικνύει μαθηματικά τη φυσική σημασία της εξίσωσης.

## 1.4 Εξίσωση του Bernoulli

Σημαντικός νόμος που διέπει τα ρευστά, είναι ο Νόμος του Ελβετού φυσικού Ντάνιελ Μπερνούλι (Daniel Bernoulli). Ο νόμος του Bernoulli καθορίζει την πίεση που επικρατεί στα ρευστά όταν αυτά κινούνται.

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης ενέργειας το άθροισμα της κινητικής και δυναμικής ενέργειας ενός κινουμένου σώματος σε κάθε χρονική στιγμή παραμένει ίδιο. Στην ελεύθερη πτώση ενός σώματος με μάζα  $m$ , όπως για παράδειγμα το σώμα που παρουσιάζεται στην εικόνα 1.3 και περιγράφεται από την αντίστοιχη εξίσωση 1.3.



Εικόνα 1.3 Μετατροπή κινητικής ενέργειας σε δυναμική [8].

$$mgh_0 = mgh_1 + \frac{mV_1^2}{2} = \frac{mV_2^2}{2} \quad 1.3$$

Παρατηρώντας τα δύο μέλη της εξίσωσης 1.3, προκύπτει ότι η ενέργεια σε κάθε θέση παραμένει σταθερή. Η εξίσωση του Bernoulli αποτελεί έκφραση της αρχής διατήρησης της ενέργειας στη ροή των ρευστών και μπορεί να ισχύσει υπό ορισμένες προϋποθέσεις με κυριότερες από αυτές [4]:

- **μόνιμη ροή**, σε ασυμπίεστο ρευστό (σταθερή πυκνότητα)
- **μη συνεκτικό ρευστό** (χωρίς απώλειες λόγω τριβών)
- **μη στροβιλώδες πεδίο ροής**

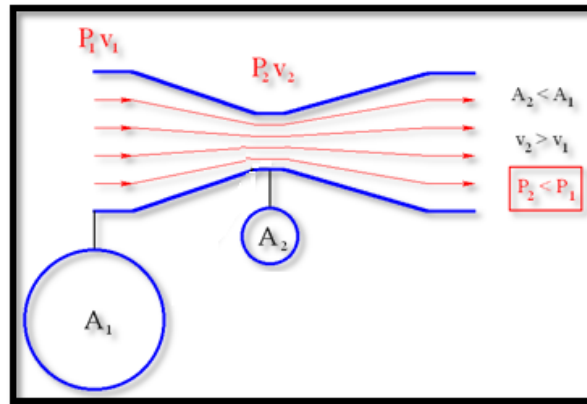
Στην περίπτωση που ο αγωγός είναι οριζόντιος και διαπερνάτε από ιδανικό ρευστό, η εξίσωση Bernoulli συναντάται στην μορφή:

$$P_1 + \frac{\rho u_1^2}{2} + \rho g z_1 = P_2 + \frac{\rho u_2^2}{2} + \rho g z_2 = \text{σταθ} \quad 1.2$$

- **$P$** : Είναι η στατική πίεση που δεν εμπεριέχει πιέσεις λόγω διαφοράς δυναμικής ενέργειας. Λέγεται στατική πίεση διότι ουσιαστικά αυτή είναι η πίεση όταν η ταχύτητα είναι μηδέν.
- **$\rho \frac{u^2}{2}$** : Είναι η πίεση που οφείλεται στην κινητική ενέργεια και ονομάζεται δυναμική πίεση
- **$\rho g z$** : Είναι η πίεση που οφείλεται στη διαφορά δυναμικής ενέργειας (πίεση λόγω θέσης).
- **$P + \rho \frac{u^2}{2} + \rho g z$** : Είναι το άθροισμα των τριών αυτών όρων ονομάζεται ολική πίεση.
- **$P + \rho \frac{u^2}{2}$** : Είναι το άθροισμα της στατικής και της δυναμικής πίεσης ονομάζεται πίεση ανακοπής [4]. Η πίεση ανακοπής αντιπροσωπεύει την πίεση του ρευστού σε ένα σημείο που η ροή ανακόπτεται τελείως και με τέτοιο τρόπο ώστε να μην προκληθούν τριβές.

Με βάση την εξίσωση της συνέχειας και την εξίσωση του Bernoulli, καταλήγουμε ότι σε περιοχές όπου πυκνώνουν οι ρευματικές γραμμές (μικρή διατομή του αγωγού) η ταχύτητα ροής αυξάνεται ενώ η πίεση ελαττώνεται. Αντίστοιχα όπου οι ρευματικές γραμμές αραιώνουν (μεγάλη διατομή αγωγού) η ταχύτητα ροής μειώνεται ενώ η πίεση αυξάνεται, όπως απεικονίζεται στο συγκλίνων αποκλίνων αγωγό της εικόνας 1.4. Επίπεδο αναφοράς

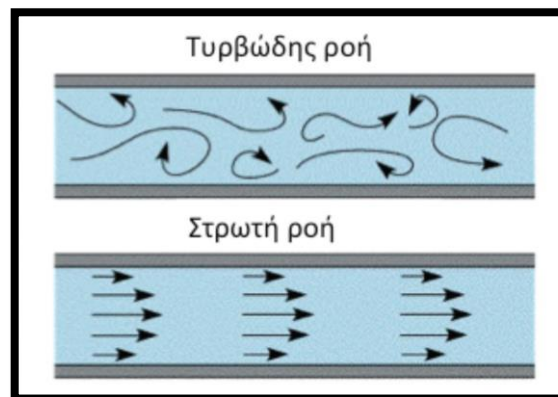
λαμβάνεται το επίπεδο στο κέντρο του αγωγού με αποτέλεσμα οι πιέσεις λόγω θέσεις να έχουν μηδενικές τιμές.



Εικόνα 1.4 Εφαρμογή εξίσωσης Bernoulli σε συγκλίνον αποκλίνον αγωγό [11]

## 1.5 Είδη Ροής

Η ροή μπορεί να είναι είτε συμπιεστή είτε ασυμπιεστή, παρόλα αυτά τις περισσότερες φορές την θεωρούμε ασυμπιεστή για τα υγρά και αρκετές φορές συμπιεσμένη για τα αέρια, στα οποία η ταχύτητα ροής ξεπερνά τα 0,4 Mach. Επιπρόσθετα μπορεί να διακριθεί σε στρωτή και τυρβώδης ανάλογα με την κίνηση ροής των ρευματικών γραμμών. Συναντάμε στρωτή ή παράλληλη ροή όταν η ροή του ρευστού είναι παράλληλη με τα τοιχώματα του μέσου που το περιέχει και οι γραμμές ροής είναι παράλληλες μεταξύ τους. Στην κατάσταση τυρβώδους ή στροβιλώδους ροής, οι γραμμές ροής έχουν την μορφή ακανόνιστων καμπυλών που σε διδιάστατη προβολή τέμνουν συνεχώς η μία την άλλη δίνοντας την εικόνα ροής με στροβιλισμούς. Οι διαφορές των ροών απεικονίζονται στην εικόνα 1.5 [5].



Εικόνα 1.5 Στρωτή και τυρβώδες ροή [5].

Ιδανική ροή μπορεί να χαρακτηριστεί η ροή των ρευστών η οποία θεωρείται ότι μεταξύ του οριακού στρώματος (το οποίο είναι μια μικρή απόσταση περίπου 1mm με προσαυξανόμενη ταχύτητα από την επιφάνεια ενός αντικειμένου) στα τοιχώματα ενός αγωγού και των μορίων του ρευστού που διαρρέεται από αυτόν δεν ασκούνται τριβές. Αυτού του είδους ρευστά δεν έχουν ιξώδες (το οποίο χαρακτηρίζετε ως η αντίσταση στην ροή των ρευστών). Αυτού του είδους ρευστών ανήκουν στην κατηγορία των υποθετικών ρευστών. Πραγματική ροή μπορεί να χαρακτηριστεί η ροή των ρευστών οι οποία θεωρείται ότι μεταξύ του οριακού στρώματος όπως αναφέραμε παραπάνω στα τοιχώματα ενός αγωγού και των μορίων του ρευστού που διαρρέεται από αυτόν ασκούνται τριβές και διατμητικές τάσεις. Είναι αυτά που τα συναντάμε καθημερινά, βρίσκονται στην φύση και έχουν ιξώδες. Αυτού του είδους ρευστών ανήκουν στην κατηγορία των πραγματικών ρευστών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

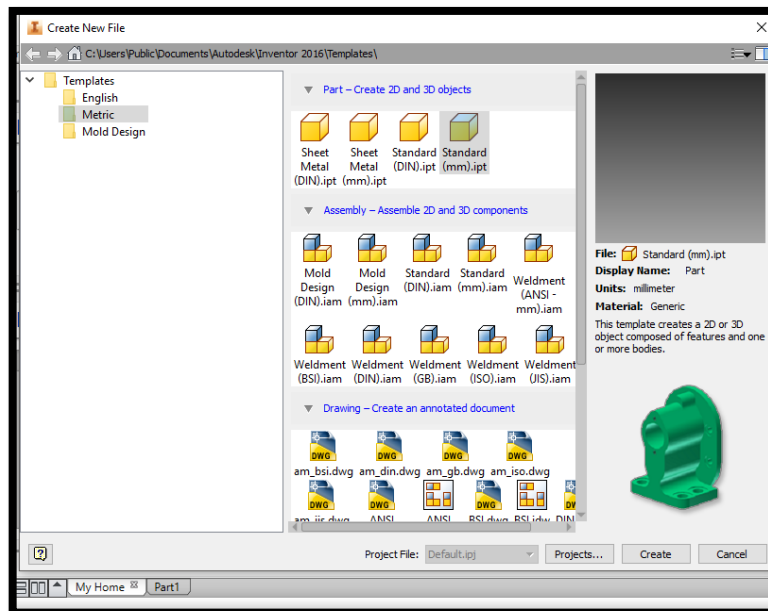
### Σχεδιασμός και τρισδιάστατη μοντελοποίηση

#### Εισαγωγή

Οι περίπλοκες 3D γεωμετρίες είναι ιδανικό να εισάγονται από ειδικά προγράμματα Computer Aided Design - CAD που το Ansys CFX Workbench Academic συνεργάζεται με προγράμματα όπως είναι το ACIS, το CATIA V4, το CATIA V5, το CREO PARAMETRIC, το INGES, το NX, το PARASOLID. Το CAD πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την εξωτερική κατασκευή γεωμετριών είναι το Autodesk Inventor.

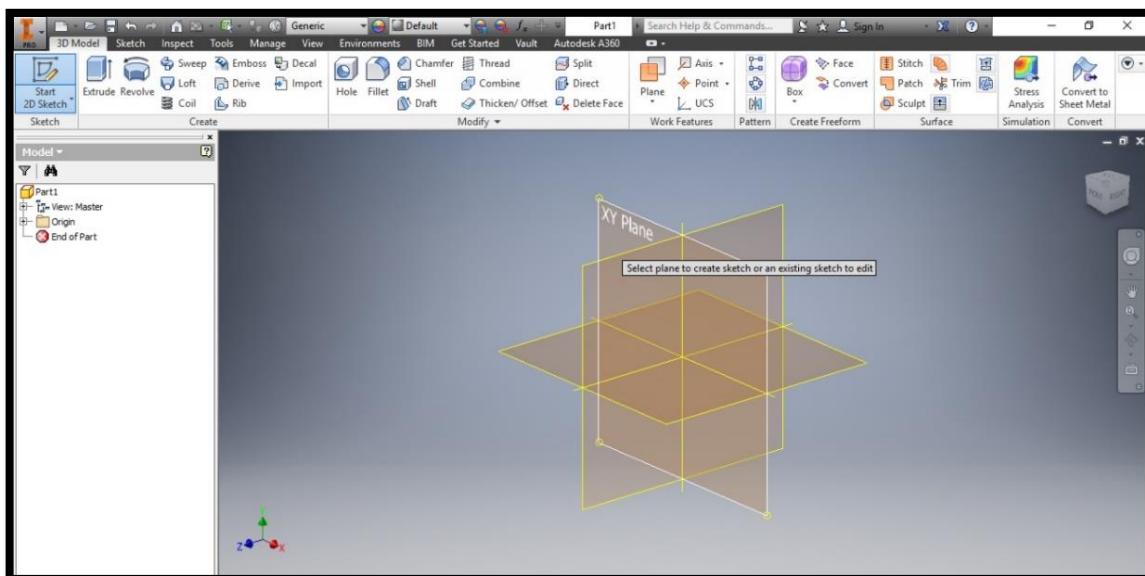
#### 2.1 Τρισδιάστατη μοντελοποίηση

Για να σχεδιάσουμε τη γεωμετρία της αεροσύραγγας που διαθέτει το ΕΛΜΕΠΙΑ με την βοήθεια του CAD προγράμματος Autodesk Inventor ακολουθούμε τη διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω. Αρχικά επιλέγουμε την καρτέλα New και στο παράθυρο που μας εμφανίζει επιλέγουμε από το φάκελο Metric το Standard (mm).ipt – Create όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1



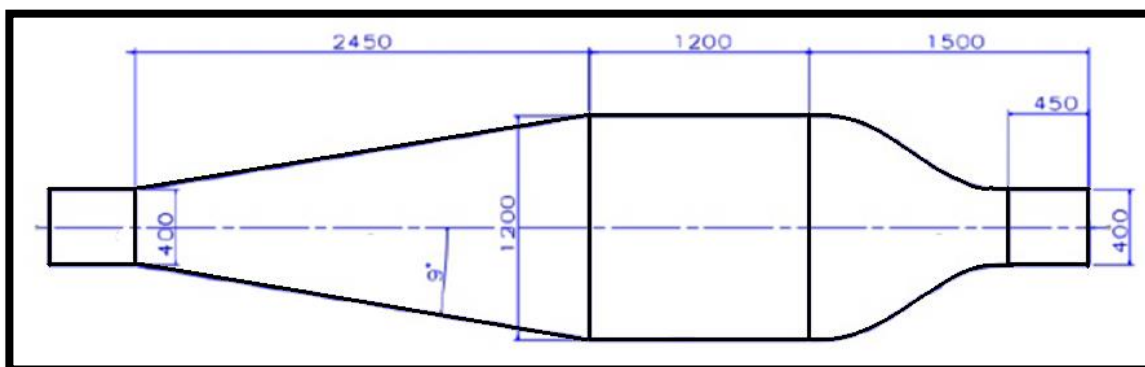
Εικόνα 2.1 Επιλογή μετρικού συστήματος και μονάδα μέτρησης.

Στη συνέχεια επιλέξουμε το Start 2D Sketch καθώς και το επίπεδο σχεδίασης που θα είναι το “XY”, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.2.



**Εικόνα 2.2** Επιλογή επιπέδου σχεδίασης.

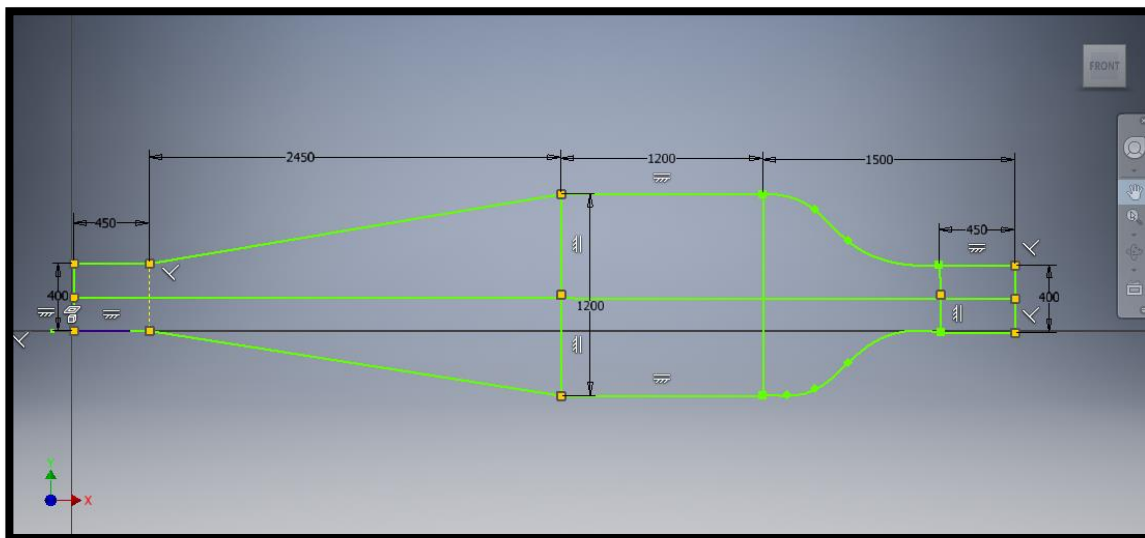
Οι διαστάσεις της αεροσύραγγας σε χιλιοστά (mm) που πρόκειται να σχεδιάσουμε παρουσιάζονται στην εικόνα 2.3.



**Εικόνα 2.3** Διαστάσεις αεροσύραγγας προς σχεδίαση.

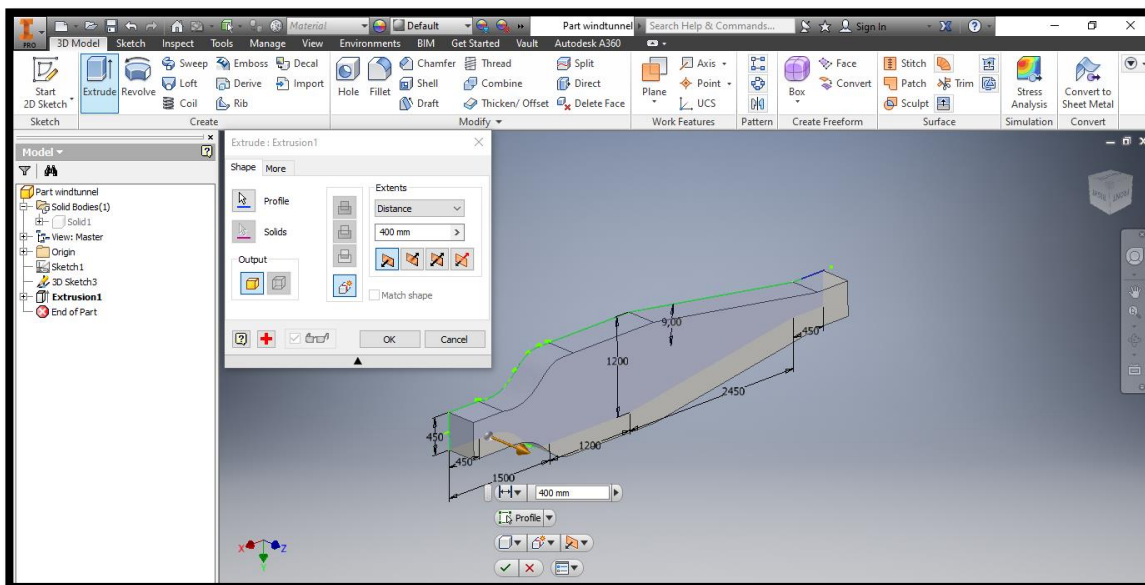
Στη συνέχεια θα δημιουργήσουμε την δυσδιάστατη (2D) γεωμετρία της αεροσύραγγας χρησιμοποιώντας την εντολή Line. Αρχικά θα δημιουργήσουμε μια ευθεία γραμμή στο κέντρο του σχεδίου ως βοηθητική. Με τη χρήση της ίδιας εντολής σχεδιάζουμε τις υπόλοιπες γραμμές του μισού σχεδίου και χρησιμοποιούμε το Spline επιλέγοντας το βελάκι στην εντολή Line για να δημιουργήσουμε την καμπυλότητα. Χρησιμοποιούμε την εντολή dimension και βάζουμε τις διαστάσεις που απεικονίζονται στο κατασκευαστικό σχέδιο. Αφού τελειώσει η μισή γεωμετρία επιλέγουμε από το Sketch την εντολή Mirror και αντικατοπτρίζουμε το υπόλοιπο μισό της γεωμετρίας χρησιμοποιώντας τη βοηθητική

γραμμή. Έτσι έχουμε έτοιμη την τομή της αεροσύραγγας που παρουσιάζεται στην εικόνα 2.4.



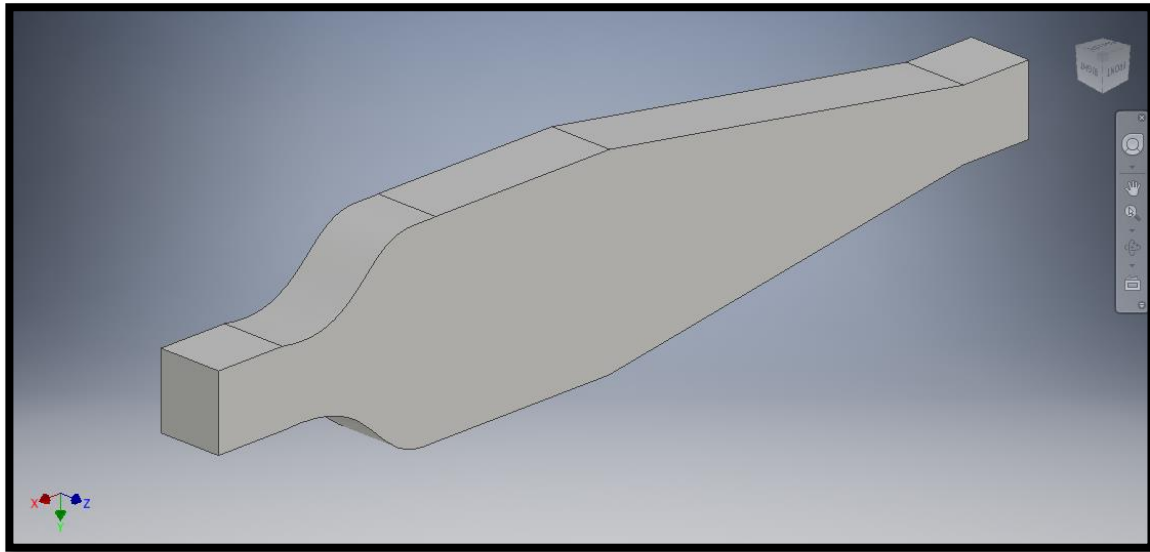
**Εικόνα 2.4** Εμφάνιση τελικής τομής σχεδίου με διαστάσεις.

Έπειτα, εφόσον θέλουμε να δημιουργήσουμε 3D γεωμετρία, επιλέγουμε την εντολή Extrude. Επιλέγουμε όλα τα τμήματα του σχεδίου μας και από την καρτέλα εργαλείων 3D Model, το Extrude. Από το παραθυράκι που εμφανίζεται εισάγουμε στο Extend 400 mm (δηλαδή 0,4 m) και Ok. Έτσι δίνουμε πλάτος ενός μέτρου. Η διαδικασία της εντολής Extrude υποδηλώνεται στην εικόνα 2.5.



**Εικόνα 2.5** Διαδικασία του Extrude.

Με την ολοκλήρωση της εντολής Extrude η 3D αεροσύραγγα παρουσιάζεται στην εικόνα 2.6.



**Εικόνα 2.6** Μορφή της αεροσύραγγας.

Τέλος αποθηκεύουμε το 3D σχέδιο CAD ως εξής. Επιλέγουμε την μπλε δισκέτα που βρίσκεται στο πάνω αριστερά μέρος του παράθυρου γράφοντας το όνομα του σχεδίου και την τοποθεσία που επιθυμούμε να αποθηκευτεί.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Προσομοιώσεις ροών

Το CFX είναι ένα από τα λογισμικά τα οποία λύνουν CFD προβλήματα. Είναι οπότε μια καταχωρημένη ονομασία του ANSYS το οποίο είναι γνωστό ότι παρέχει λογισμικά πολύπλοκων προσομοιώσεων, έχει σχεδιαστεί για να πραγματοποιεί αποτελεσματικές και ευέλικτες εργασίες ροής, επίσης, όπως αναφέρθηκε είναι συμβατό με σχεδιαστικά προγράμματα CAD, όπως το Auto Desk Inventor που παρουσιάστηκε αλλά διαθέτει και δικό του σχεδιαστικό υπο-πρόγραμμα (προ-επεξεργαστή), τον Design Modeler, για τη σχεδίαση και μοντελοποίηση των προς μελέτη μέσων. Σχετικό παράδειγμα με τη χρήση του Design Modeler το οποίο παρατίθεται στο ακόλουθο κεφάλαιο.

Ποιο αναλυτικά το ANSYS CFX Workbench Academic είναι ένα λογισμικό υπολογιστικής ροής (ρευστομηχανικής) υψηλής απόδοσης που παρέχει αξιόπιστες και ακριβείς λύσεις σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και σε ένα ευρύ φάσμα περίπλοκων εφαρμογών.[7]

Μερικοί από τους συνηθέστερους τομείς οι οποίοι μπορούν να προσομοιωθούν με την βοήθεια της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής είναι:

- Στον τομέα της αλληλεπίδρασης των ρευστών όταν πραγματοποιείται μια καύση.
- Στον τομέα της μελέτης τυρβώδους ροής γύρω από μία επιφάνεια.
- Στον τομέα της προσομοίωσης υπερηχητικών εφαρμογών.
- Στον τομέα της σχεδίασης ενός στροβιλοκινητήρα (αποδοτική σχεδίαση).
- Στον τομέα της προσομοίωσης αγωγών ως προς την πίεση και την ταχύτητα που τους διαπερνούν [8].

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία επιλύθηκαν επτά χαρακτηριστικά test cases τα οποία παρατίθενται στο ακόλουθο κεφάλαιο.

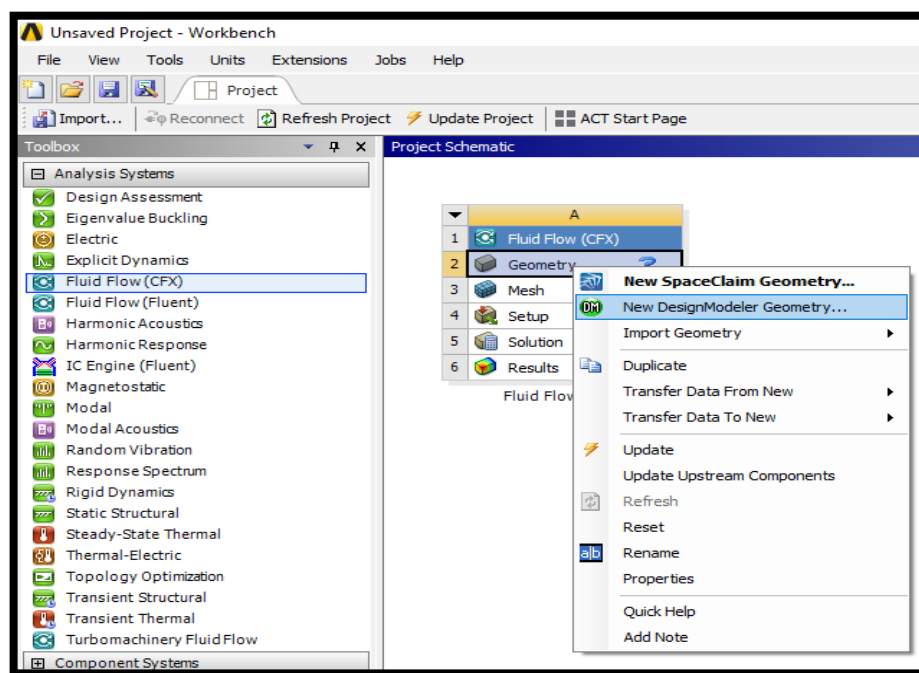
Για να επιτευχθεί η μεταφορά ρευστών σε μια κατοικία χρησιμοποιούνται συχνά ευθύγραμμοι κυκλικοί αγωγοί, μερικές από της συνηθέστερες εφαρμογές τους οποίους συναντάμε είναι η μεταφορά ρευστών σε εγκαταστάσεις ύδρευσης και σε εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης. Για να είναι δυνατή η μελέτη ροής ενός ρευστού σε ένα ευθύγραμμο αγωγό κυκλικής διατομής θεωρούμε ότι η πίεση ( $P$ ) και η παροχή του όγκου ( $Q$ ) (όπου  $Q=V/T$ ) που ρέει εντός του αγωγού είτε από το δίκτυο ύδρευσης είτε από μια δεξαμενή παραμένει σταθερή.

### 3.1 Μελέτη ροής νερού σε τρισδιάστατο αγωγό

Για να μελετήσουμε τη ροή νερού σε αγωγό μεταβαλλόμενης διατομής θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα ANSYS CFX Workbench Academic. Από την καρτέλα Toolbox στα αριστερά επιλέγουμε με διπλό κλικ το Fluid Flow (CFX) που είναι η πιο διαδεδομένη έκδοση προγράμματος υπολογιστικής ρευστομηχανικής.

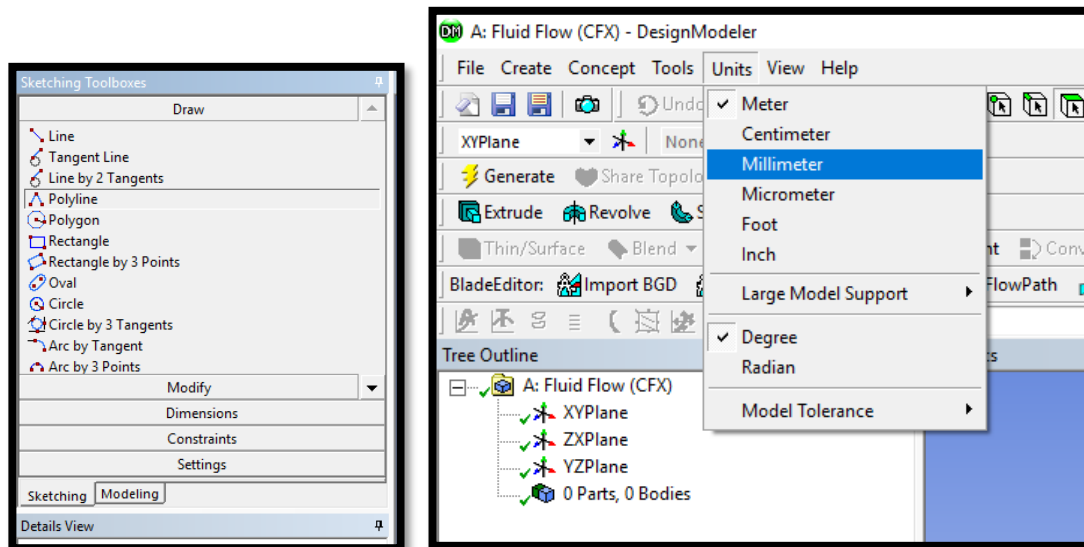
#### Υπολογιστική σχεδίαση με τον Design Modeler

Στο παράδειγμα αυτό θα χρησιμοποιήσουμε το σχεδιαστικό πρόγραμμα του workbench, το design modeler. Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 3.1, στο παράθυρο του Project Schematic εμφανίζεται ένα πινακάκι με έξι γραμμές. Θα μοντελοποιήσουμε των αγωγό χρησιμοποιώντας αρχικά για την σχεδίαση του το Design Modeler του Ansys Workbench. Αρχικά επιλέγουμε με δεξί κλικ το Geometry και έπειτα το New Design Modeler Geometry, σύμφωνα με την εικόνα 3.1



Εικόνα 3.1 Επιλογή μοντελοποίησης με τη βοήθεια του Design Modeler.

Όταν ανοίξει το CFX Design Modeler θα επιλέξουμε το Units από την πρώτη στήλη εργαλείων να είναι σε Millimeter, προχωράμε στη σχεδίαση του αγωγού επιλέγοντας με αριστερό κλικ το επίπεδο YZ Plane και στη συνέχεια επιλέγουμε από το παράθυρο του Sketching το Polyline, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2.

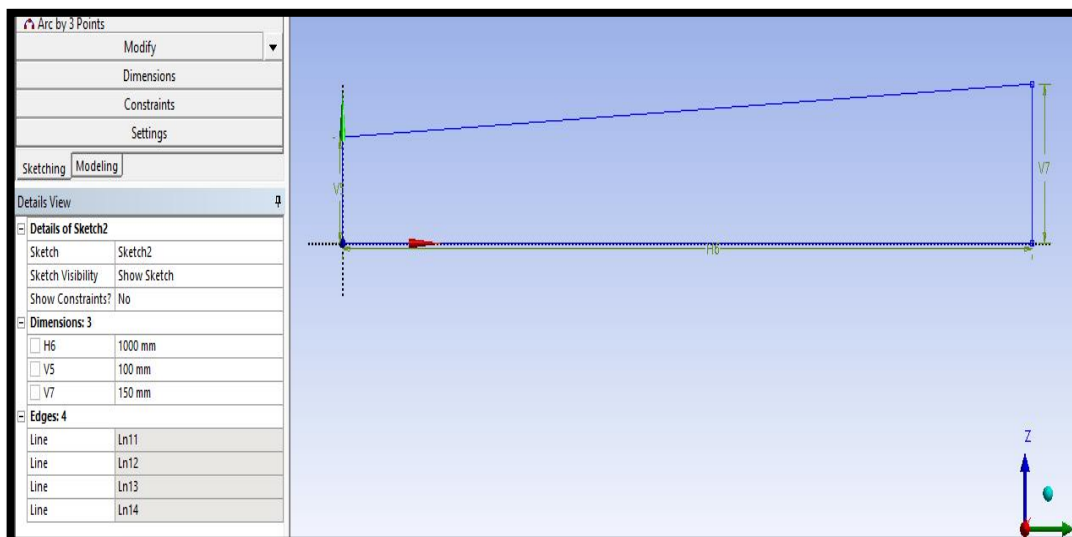


Εικόνα 3.2 Επιλογή σχεδιασμού μοντέλου.

Με την εντολή Look At επιλέγουμε το επίπεδο YZ με σκοπό να σχεδιάσουμε σε αυτό. Αρχίζουμε την σχεδίαση δημιουργώντας ένα σχήμα της μορφής ενός τετραγώνου παραλληλεπίπεδου, χωρίς να έχει συγκεκριμένες διαστάσεις καθώς θα εισάγουμε τις πραγματικές διαστάσεις στο επόμενο βήμα.

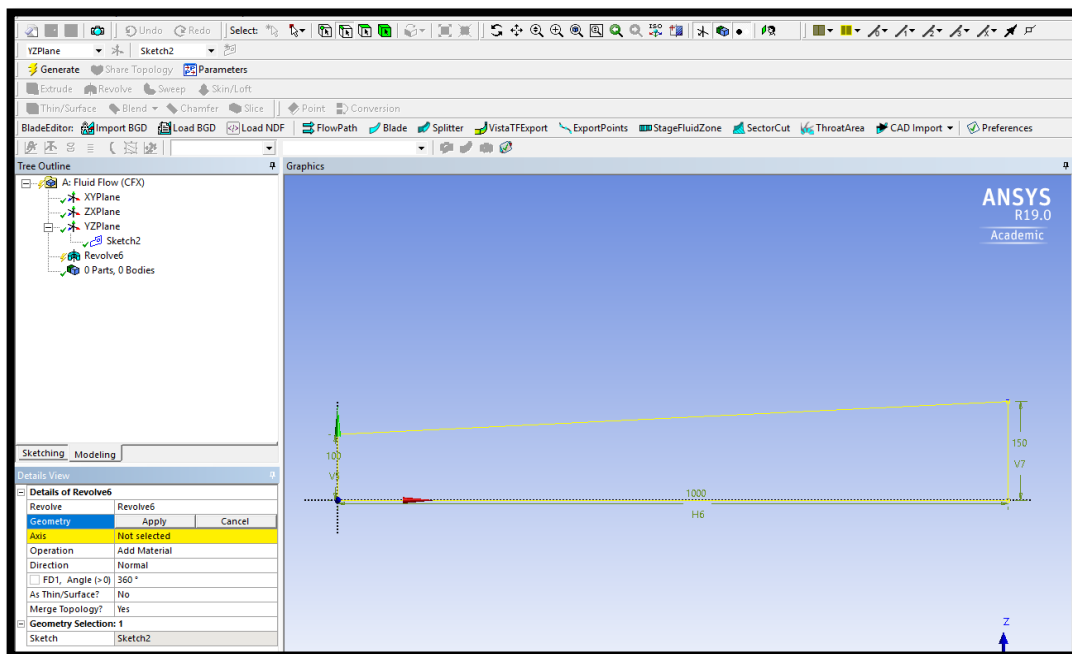
Επόμενο βήμα να δημιουργήσουμε της διαστάσεις του σχήματος και να της εμφανίσουμε. Οπότε επιλέγοντας το Dimensions - Displays - και την επιλογή Value εμφανίζονται η διαστάσεις. Για να δώσουμε την μορφή του αγωγού που επιθυμούμε επιλέγουμε το General και επιλέγοντας κάθε πλευρά του σχήματος όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3 ορίζουμε της διαστάσεις .

Ποιο συγκεκριμένα για να ορίσουμε της διαστάσεις ενώ επιλέξουμε τον άξονα σχεδίασης Z από το πινακάκι Detail View εισάγουμε της διαστάσεις που είναι: (H6=1000 mm – V5=100mm – V7= 150mm), σύμφωνα με την εικόνα 3.3.



Εικόνα 3.3 Διαστάσεις σχήματος.

Στη συνέχεια επιλέγουμε την εντολή Revolve και επιλέγοντας το σχήμα στην πλευρά των 1000mm, επιλέγουμε το Apply και μετά το Generate (υπάρχει ένας κίτρινος κεραυνός πάνω ακριβώς από το παράθυρο του Tree Outline). Το κάνουμε αυτό για να δώσουμε όγκο και η διαδικασία παρουσιάζεται στην εικόνα 3.4.

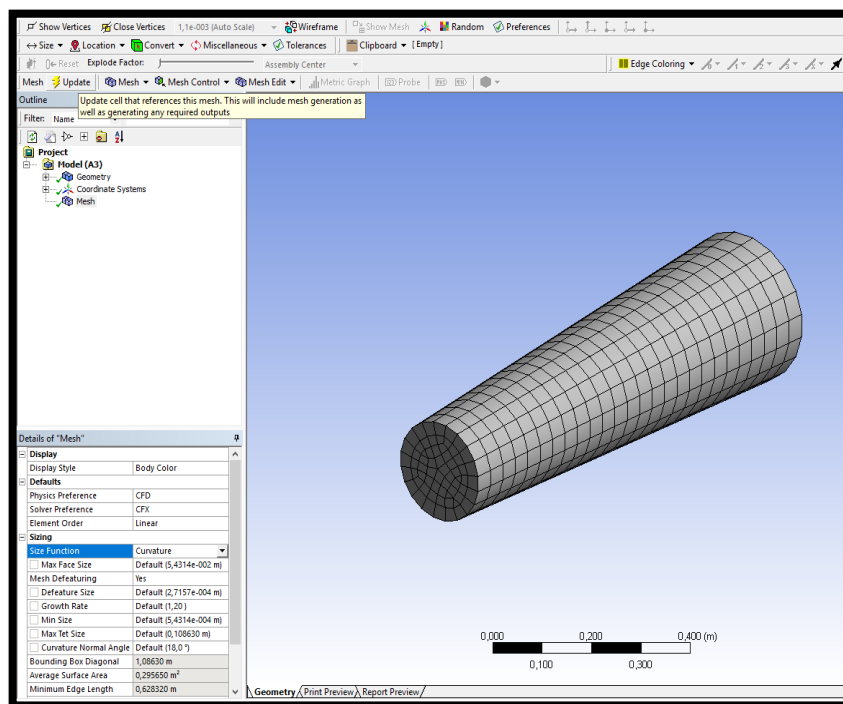


Εικόνα 3.4 Προσθήκη όγκου μέσω «revolve».

Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2 υπάρχει η δυνατότητα χρήσης αρχείου γεωμετρίας από εξωτερικό μοντέλο CAD. Στο τρέχον test case η απλή γεωμετρία κατασκευάστηκε έμμεσα στο Ansys.

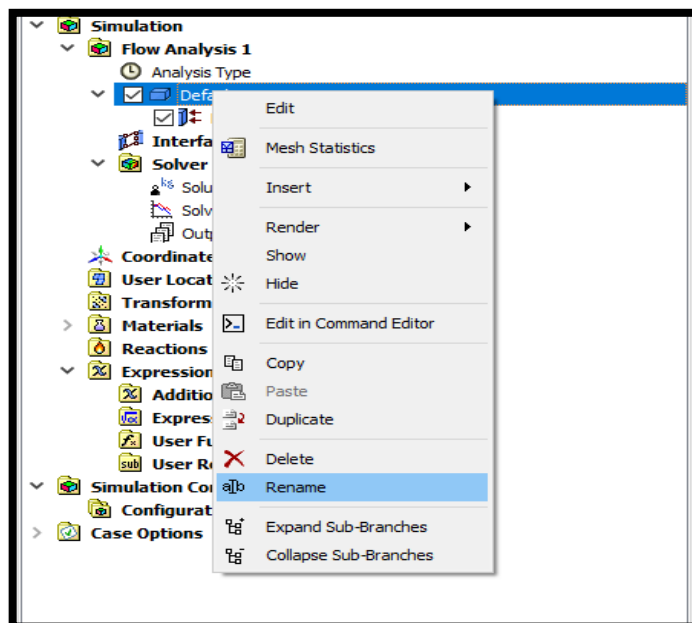
### Μοντελοποίηση ροής

Ελαχιστοποιούμε η κλείνουμε το τρέχων παράθυρο και επιστρέφουμε πίσω στο Workbench του Ansys CFX Academic επιλέγοντας την 3η στήλη που είναι το Mesh. Από το πίνακα στα αριστερά Outline επιλέγουμε το Mesh και έπειτα από τον πίνακα Details of Mesh επιλέγουμε το Sizing. Στην γραμμή του Size Function επιλέγουμε (εάν δεν είναι από μόνο του επιλεγμένο) το Curvature. Τέλος επιλέγουμε το Update (υπάρχει ένας κίτρινος κεραυνός πάνω ακριβώς από το παράθυρο του Mesh) η διαδικασία υποδηλώνεται στην εικόνα 3.5.



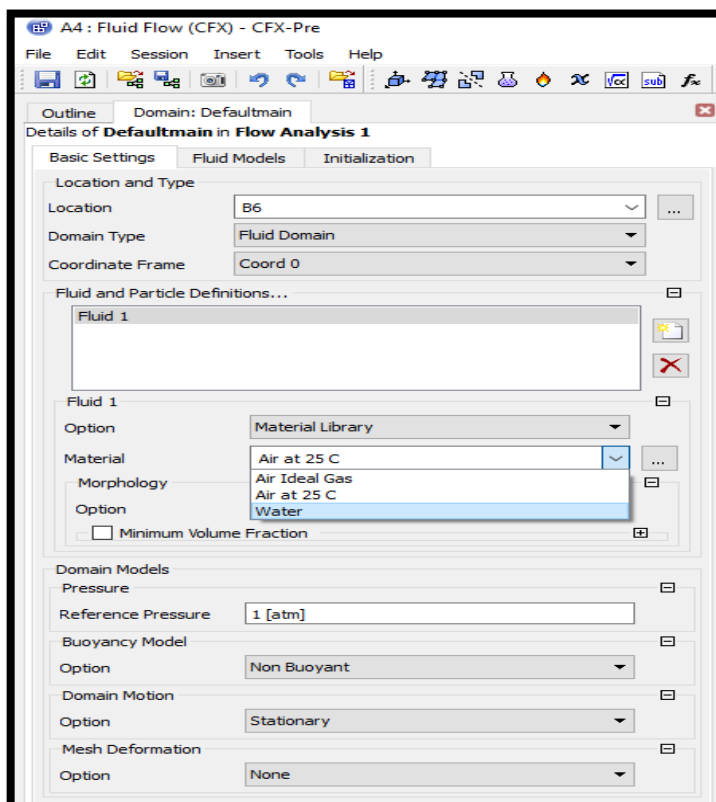
Εικόνα 3.5 Δημιουργία του Mesh.

Ελαχιστοποιούμε το παράθυρο και προχωράμε στην 4η επιλογή το Setup. Όταν ανοίξει θα μετονομάσουμε το σχέδιο μας σε Pipe σύμφωνα με την εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6 Μετονομασία του όγκου ελέγχου.

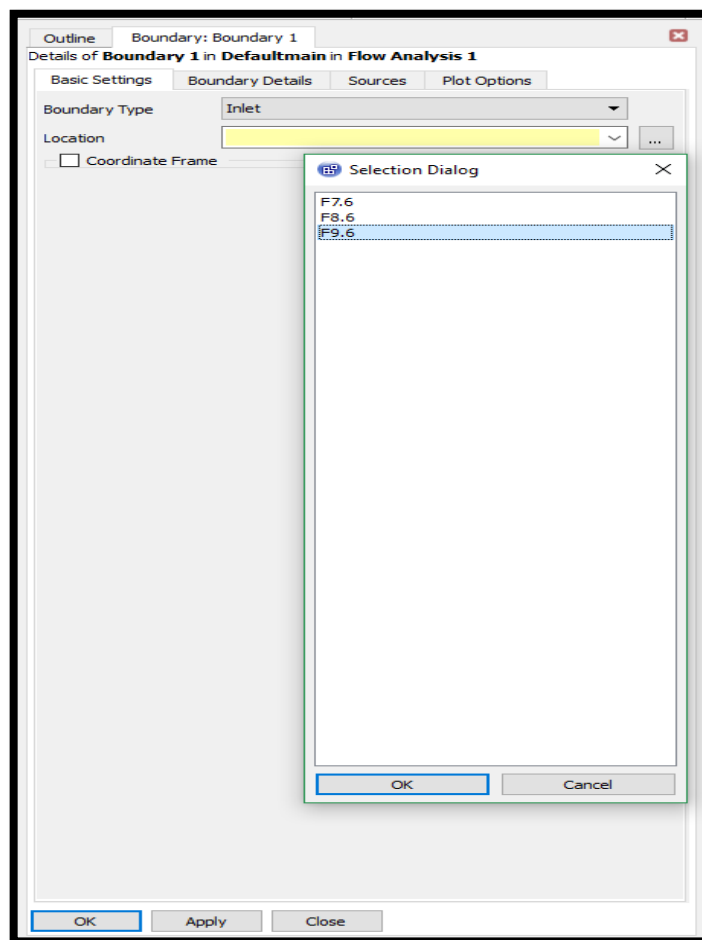
Επιλέγοντας διπλό κλικ στο Pipe όπου εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο, σε αυτό θα επιλέξουμε το υλικό που θα διαπερνά από το εσωτερικό του αγωγού, στην προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε το νερό (Water) και έπειτα Οκ όπως φαίνεται στην εικόνα 3.7.



Εικόνα 3.7 Επιλογή υλικού που θα διαπερνάει τον αγωγό.

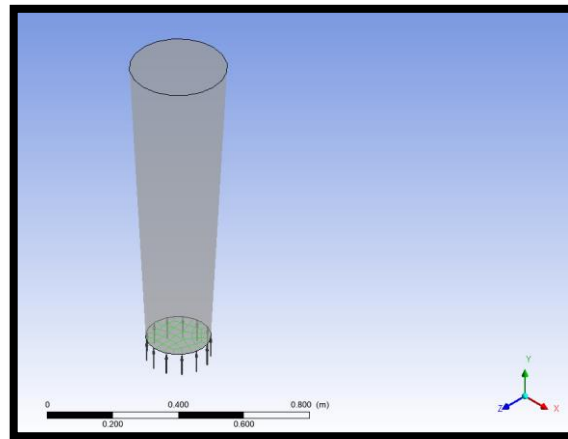
Έπειτα θα ορίσουμε την είσοδο, έξοδο και τα τοίχωμα του αγωγού. Οπότε επιλέγοντας δεξί κλικ στο Pipe – Insert – Boundary μπορούμε να προσδιορίσουμε το τμήμα του αγωγού που επιθυμούμε.

Όταν εμφανιστεί το νέο παράθυρο μιας και επιλέξουμε το Boundary στο Location επιλέγουμε το κουτάκι δίπλα με της τρεις τελείες, επιλέγοντας πάνω στις τρεις επιλογές που έχουμε, το σχήμα μας πρασινίζει ανά τομέα. Εμείς στην προκομμένη περίπτωση θα ξεκινήσουμε με την είσοδο μας οπότε η είσοδος μας (Inlet) θέλουμε να είναι στον κύκλο με την μικρότερη διάμετρο, έτσι επιλεγούμε τον κατάλληλο τομέα με εφαρμόζουμε Ok. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εμφανίζεται στην εικόνα 3.8.

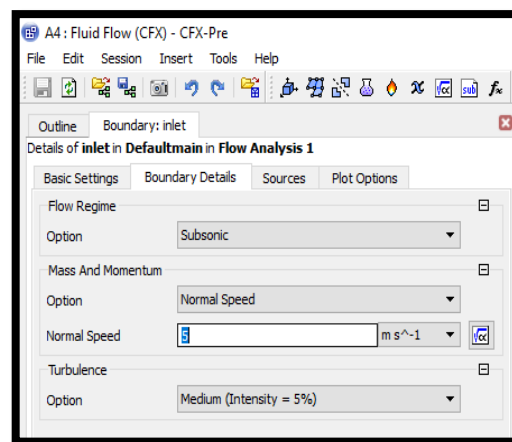


**Εικόνα 3.8** Επιλογή εισόδου του ρευστού.

Επίσης θα ορίσουμε την ταχύτητα εισόδου. Για να το κάνουμε αυτό επιλέγουμε το Boundary Details και στο πλαίσιο του Normal Speed ορίζουμε την ταχύτητα που θα είναι 5 (m/s) – OK, σύμφωνα με την εικόνα 3.9 και 3.10



Εικόνα 3.9 Ορισμός της ταχύτητας εισόδου.



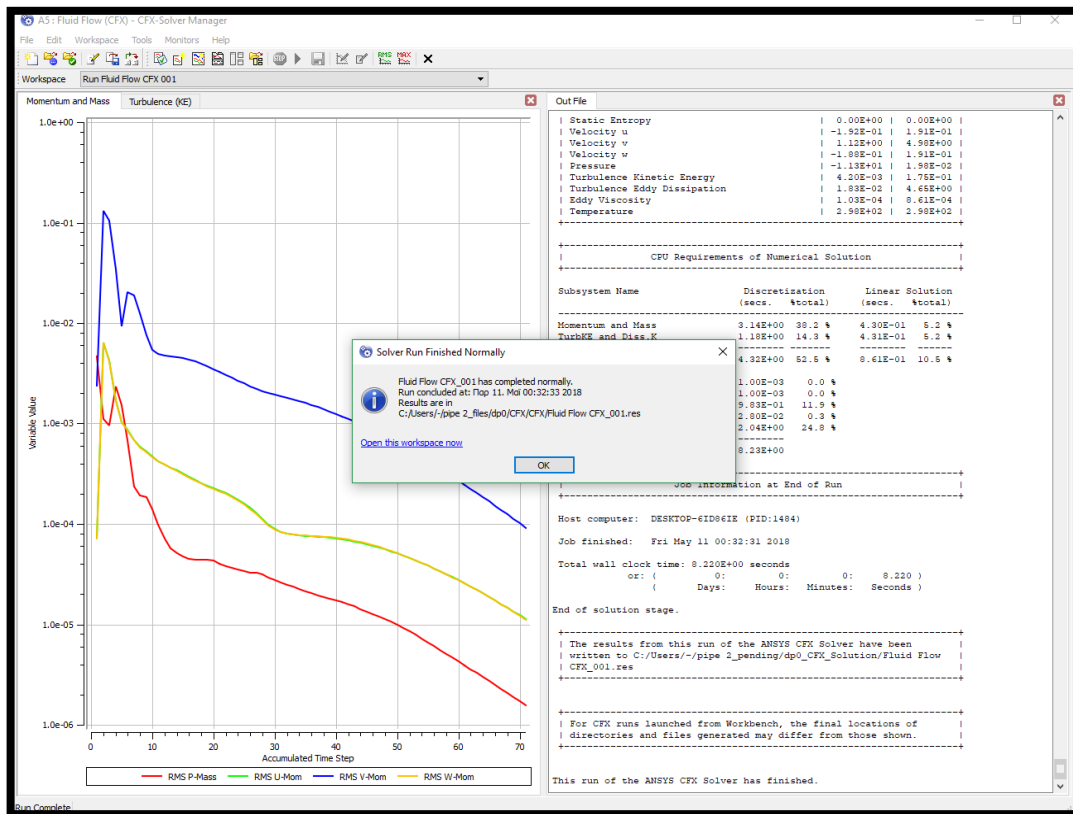
Εικόνα 3.10 Ορισμός τιμής της ταχύτητας εισόδου.

Επαναλαμβάνουμε το αντίστοιχο στην έξοδο μας Outlet στον κύκλο με την μεγαλύτερη διάμετρο, όπου εκεί θα ορίσουμε από την καρτέλα Boundary Details την σχετική πίεση εξόδου του ρευστού σε 0 Pa (pascal). Τέλος ορίζουμε το τοίχος του αγωγού με no-slip Boundary: Wall, επιλέγοντας τις παράπλευρες επιφάνειες του αγωγού, χωρίς να αλλάξουμε κάτι στις ιδιότητες του.

### Προσομοίωση ροής

Κλείνοντας η ελαχιστοποιώντας και αυτό το παράθυρο και προχωράμε στην 5<sup>η</sup> επιλογή το Solution. Όταν ανοίξει το Host Name επιλέγουμε το όνομα του υπολογιστή μας και εκτελούμε το Start Run, περιμένοντας μέχρι να ολοκληρωθεί η λύση του προβλήματος και έπειτα επιλέγουμε Οκ, η διαδικασία της επίλυσης του προβλήματος παρουσιάζεται στην εικόνα 3.11.

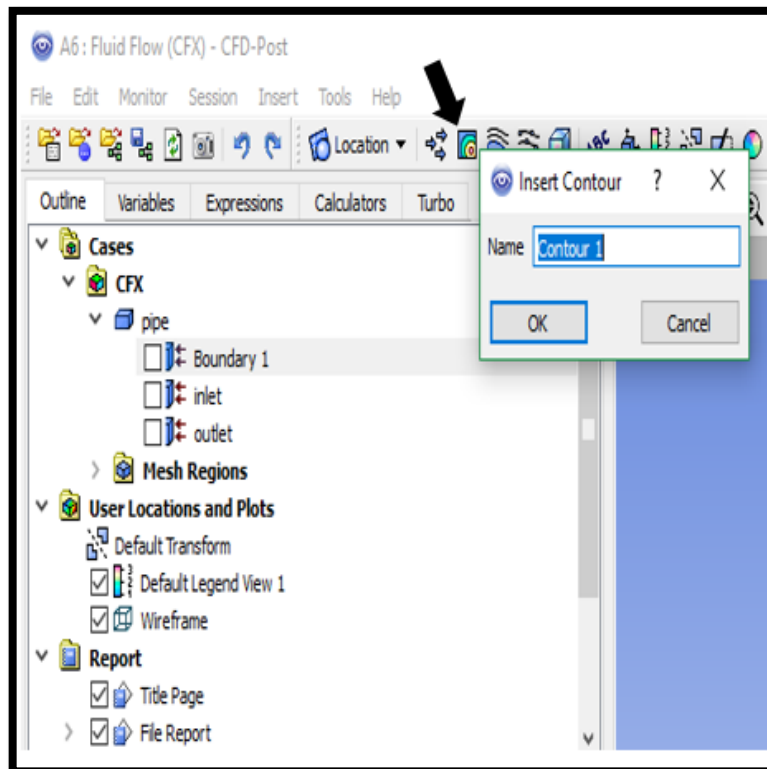




Εικόνα 3.11 Ολοκλήρωση προσομοίωσης.

### Αποτελέσματα προσομοίωσης ροής

Ανοίγοντας το Results, επιλέγουμε από την πρώτη μπάρα εργαλείων το Contour όπως φαίνεται στην εικόνα 3.12 και επιλέγουμε Ok.

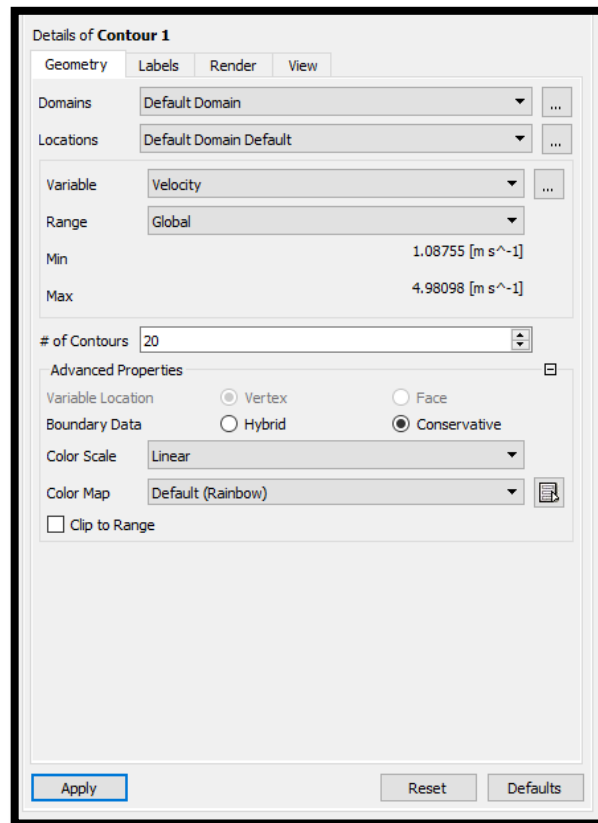


**Εικόνα 3.12** Δημιουργία απεικόνισης με contours.

Η αλλαγές που πρέπει να πραγματοποιήσουμε με σκοπό να δημιουργήσουμε και να ρυθμίσουμε τα Contour έτσι ώστε να μας εξάγει την διακύμανση της ταχύτητας του ρευστού που διαπερνά από τον αγωγό είναι η εξής.

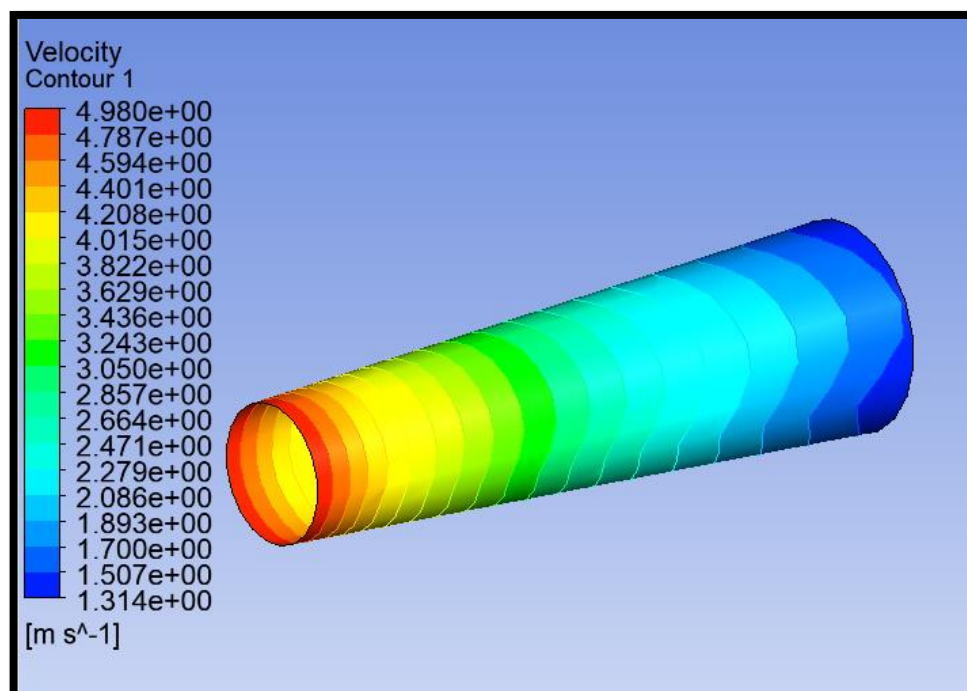
- 1) Στο πλαίσιο Domain θα επιλέξουμε το Pipe
- 2) Στο πλαίσιο Variable θα επιλέξουμε την Ταχύτητα (Velocity)
- 3) Στο πλαίσιο Locations θα επιλέγουμε το Default Domain Default, το οποίο είναι το τείχος του αγωγού) επιλέγουμε Apply.
- 4) Στο # of Contour επιλέγουμε 20.

Επίσης από το Advanced properties επιλέγουμε το Conservative Boundary Data και εφαρμόζουμε της αλλαγές επιλέγοντας το Apply. Η τοποθεσία των πάρα πάνω επιλογών βρίσκονται στο πινακάκι Details of Contour 1 όπως φαίνεται στην εικόνα 3.13.



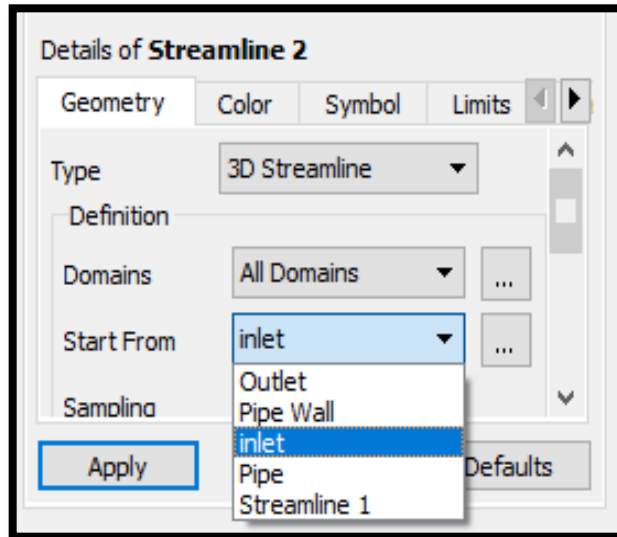
**Εικόνα 3.13** Επιλογή εμφάνισης ταχύτητας σε Contour.

Μόλις πραγματοποιήσουμε τα παραπάνω βήματα θα μας εμφανιστεί ένα Contour όπως φαίνεται στην εικόνα 3.14.



**Εικόνα 3.14** Ταχύτητα νερού κατά την είσοδο και έξοδο από τον αγωγό.

Μια ακόμα δυνατότητα που μας παρέχει το Ansys CFX Workbench Academic είναι η εμφάνιση των ροικών γραμμών (streamlines) στον αγωγό μας, οπότε επιλέγουμε το εικονίδιο (δίπλα από το contour) το streamlines – Ok. Από το πινακάκι του Details of Streamlines εισάγουμε στο κουτάκι του Start from, το Inlet – Apply. Η διαδικασία υποδηλώνεται στην εικόνα 3.15 όπως και το αποτέλεσμα όπως της εικόνας 1.2 του πρώτου κεφαλαίου.

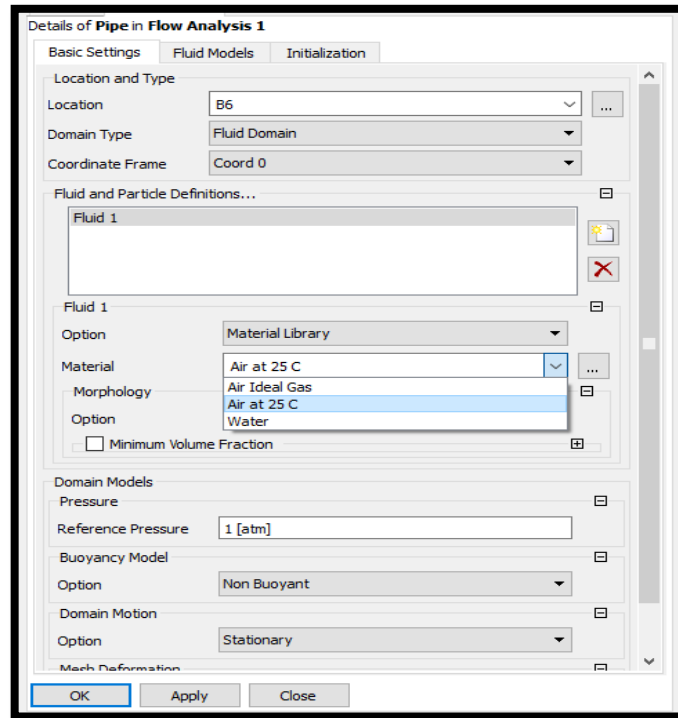


**Εικόνα 3.15** Δημιουργία των ροικών γραμμών (Streamlines)

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα του αγωγού που προσομοιώσαμε συμπεράνουμε ότι όταν το νερό ρέει στο αποκλίνον τμήμα του αγωγού (ο αγωγός είναι αποκλίνον), η ταχύτητα του νερού μειώνεται.

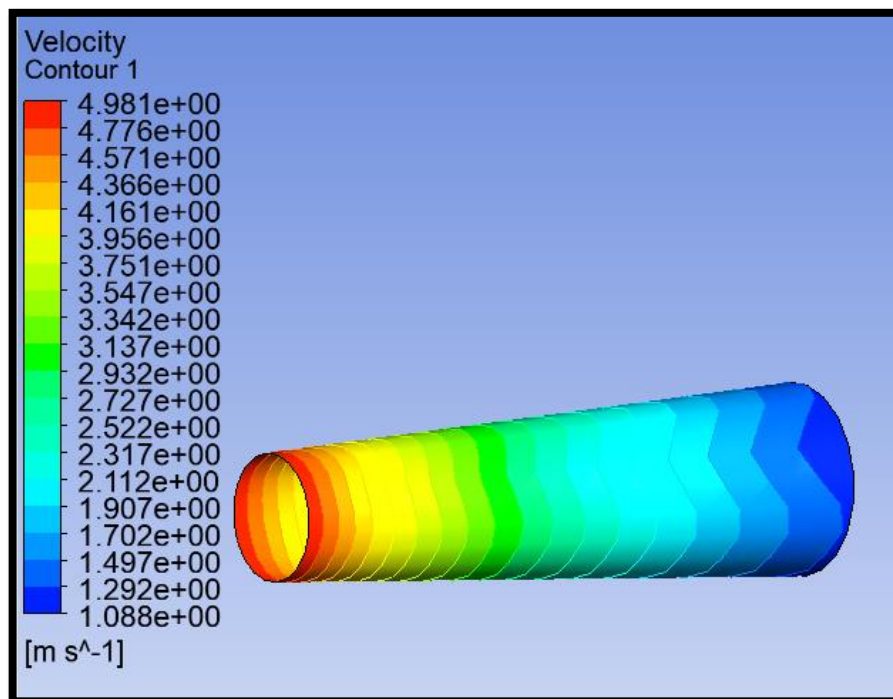
### 3.2 Μελέτη ροής αέρα σε τρισδιάστατο αγωγό

Για να μελετήσουμε έναν αγωγό ίδιας διατομής με αυτόν του κεφαλαίου 3.1, αλλά αυτή τη φορά να διαπερνά από το εσωτερικό του αέρας στους 25 βαθμούς κελσίου, θα επαναλάβουμε την ίδια διαδικασία όπως εξηγήσαμε στο προηγούμενο υπό κεφάλαιο με την μόνη διαφορά, να αλλάξουμε το υλικό που θα διαπερνά των αγωγό σε αέρα στους 25 βαθμούς κελσίου. Η επιλογή ρευστού στον αγωγό απεικονίζεται στην εικόνα 3.16.



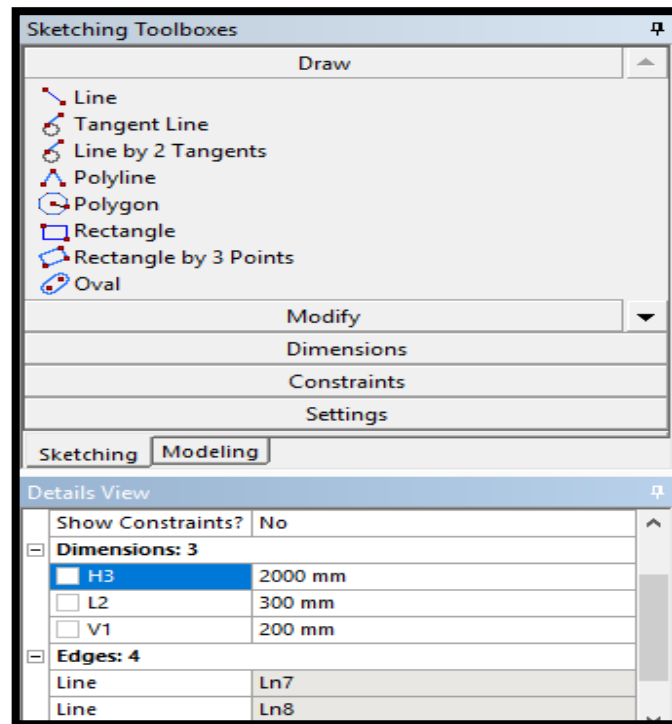
**Εικόνα 3.16** Επιλογή αέρα που θα διαπερνά τον αγωγό.

Ολοκληρώνοντας την υπόλοιπη διαδικασία θα επικεντρώσουμε στο τελικό αποτέλεσμα όπου παρατηρήσουμε ότι με την αλλαγή του ρευστού που διαπερνά τον αγωγό υπάρχει μια διαφορά στην ταχύτητα εξόδου (Outlet). Οι ταχύτητες που προκύπτουν στον αγωγό απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα 3.17.



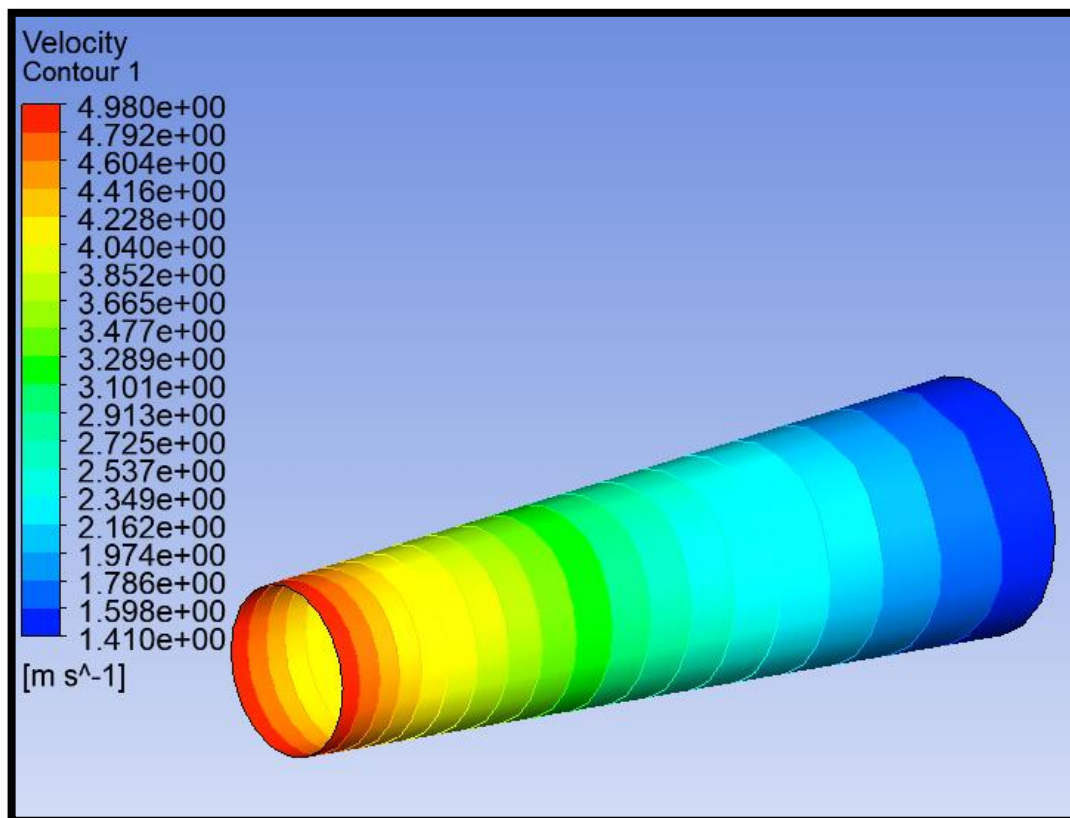
**Εικόνα 3.17** Ταχύτητες αέρα εισόδου-εξόδου αγωγού.

Παρατηρείται ότι η είσοδος του αέρα στον αγωγό γίνεται με ταχύτητα 4.981 m/sec στο στενό άκρο του, ενώ η έξοδος είναι 1.088 m/sec εκεί που αποκλίνει. Θα τροποποιήσουμε τον αγωγό του υπό-κεφαλαίου 3.1, όπως μελετήσαμε στα προηγούμενα υπό κεφάλαια ως προς της διαστάσεις του. Θα δημιουργήσουμε ένα αγωγό ίδιο με των προηγούμενο άλλα με διπλάσιο μήκος και πλάτος και για τα δυο ρευστά που διαπερνούν τον αγωγό (νερό, αέρας) με σκοπό να διαπιστώσουμε την ισχύ της εξίσωσης της συνέχειας, όσον αφορά τις ταχύτητες του ρευστού. Θα ακολουθήσουμε παρόμοια διαδικασία όπως στο προηγούμενο μοντέλο με την μόνη διαφοροποίηση της εισαγωγής των διαστάσεων που θα είναι οι εξής: H3=2000mm, L2=300mm, V1=200mm, σύμφωνα με την εικόνα 3.18

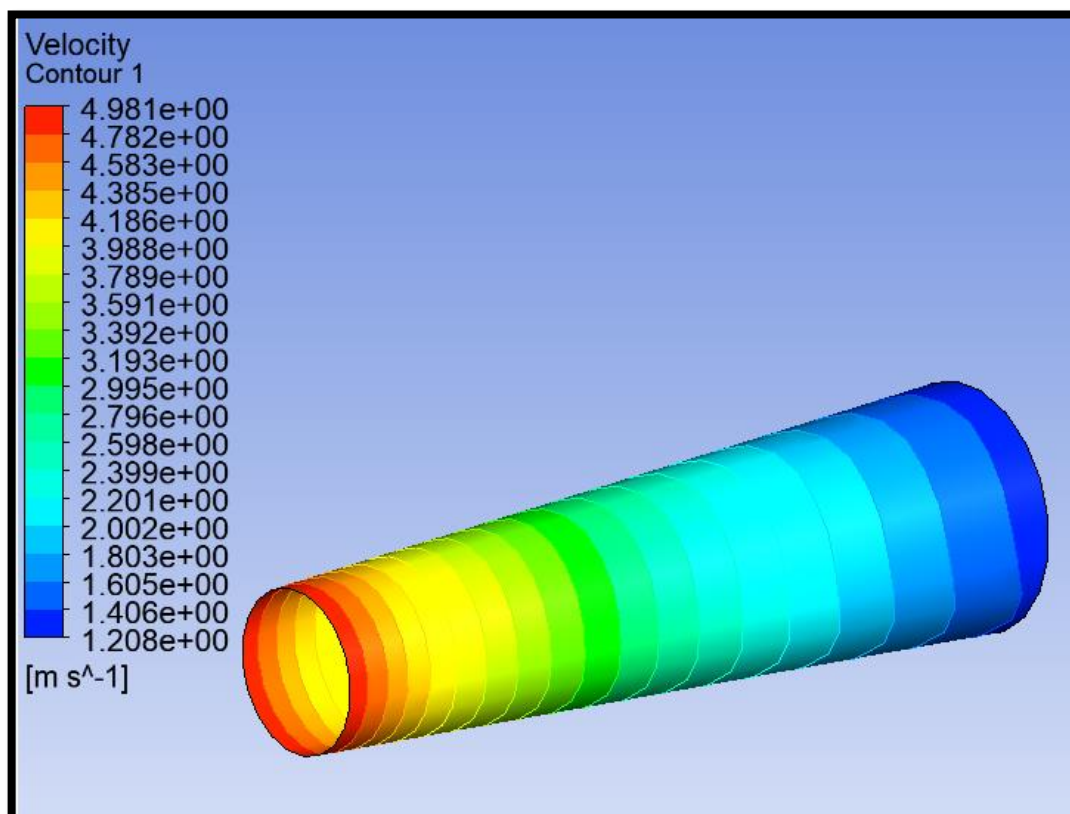


**Εικόνα 3.18** Διαστάσεις αγωγού.

Αφού εκτελέσουμε και τα υπόλοιπα βήματα θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα και των δυο ροών για αέρας και νερό. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην εικόνα 3.19 και 3.20.



Εικόνα 3.19 Ταχύτητες νερού εισόδου-εξόδου αγωγού.



Εικόνα 3.20 Ταχύτητες αέρα εισόδου-εξόδου αγωγού.

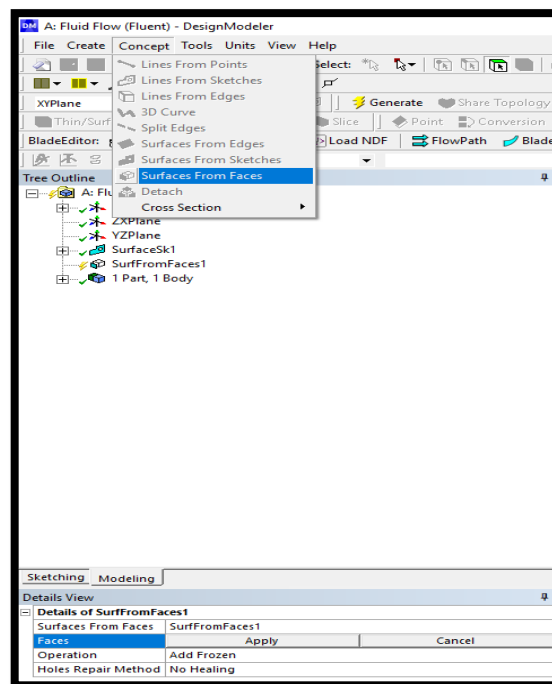
Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν πως ο διπλασιασμός των εμβαδών διατομής εισόδου και εξόδου αφήνει ανεπηρέαστη την ταχύτητα, επιβεβαιώνοντας την εξίσωση της συνέχειας.

### 3.3 Μελέτη ροής νερού σε διδιάστατο αγωγό

Στη συνέχεια θα προσομοιωθεί η πίεση νερού όπου διαπερνά από αγωγό μεταβαλλόμενης διατομής με τη χρήση του Fluent Ansys workbench academic.

- Υπολογιστική σχεδίαση με τον Design Modeler

Η σχεδίαση του θα πραγματοποιηθεί με την βοήθεια του Ansys Fluent workbench academic. Επομένως θα σχεδιάσουμε μια παρόμοια γεωμετρία αγωγού με αυτή του κεφαλαίου 3.1, με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Design Modeler, Στον τομέα του Geometry επιλέγουμε το Concept από την μπάρα εργαλείων που βρίσκετε στο πάνω μέρος του παραθύρου και από το νέο παράθυρο που αναπτύσσεται την εντολή Surfaces from Sketches. Έπειτα θα επιλέξουμε ένα τυχαίο σημείο στην γεωμετρία και από το πινακάκι Detail of SurfaceSk1 επιλέγουμε Apply με σκοπό να εφαρμοσθή η αλλαγή. Η επιλογή εντολής προβάλλεται στην εικόνα 3.21

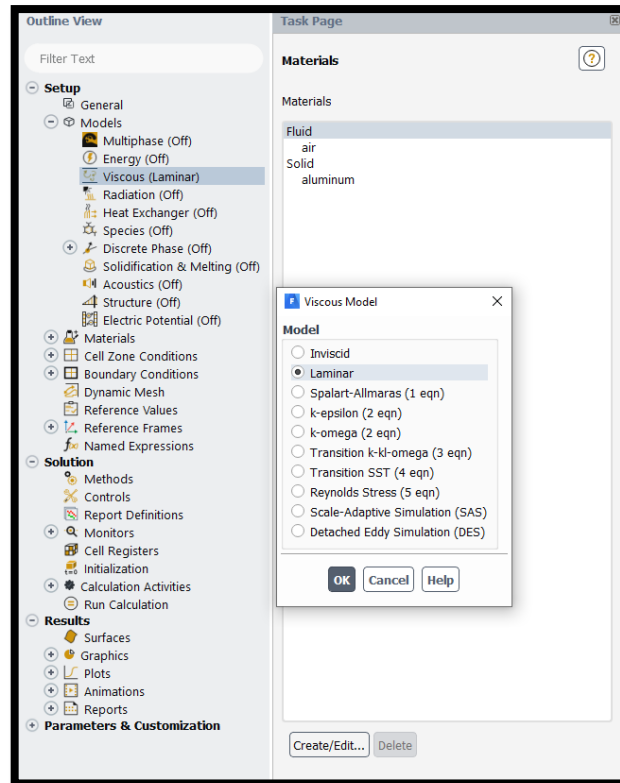


Εικόνα 3.21 Επιλογής εντολής επιφάνειας σχήματος.



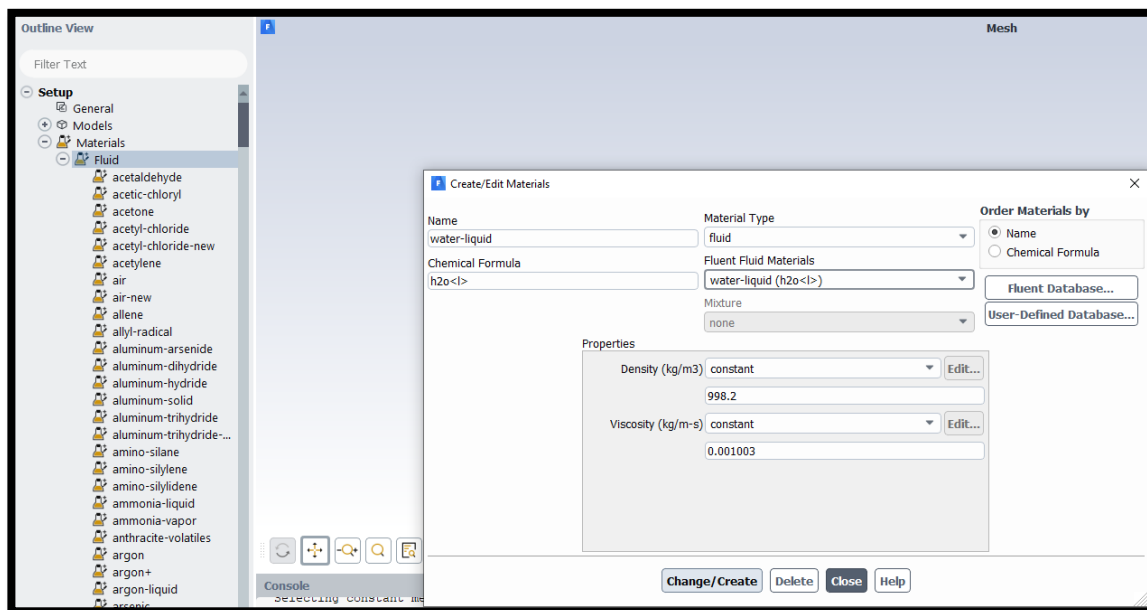
- Μοντελοποίηση ροής

Στον τομέα του Mesh, θα εκτελεστεί με δεξιά κλικ η εντολή Update. Στη συνέχεια, στο τομέα του Setup, επιλέγοντας το Viscous θα εισαχθεί το Laminar, μια στρωτή ροή του ρευστού στον αγωγό, όπως προβάλλεται στην εικόνα 3.22



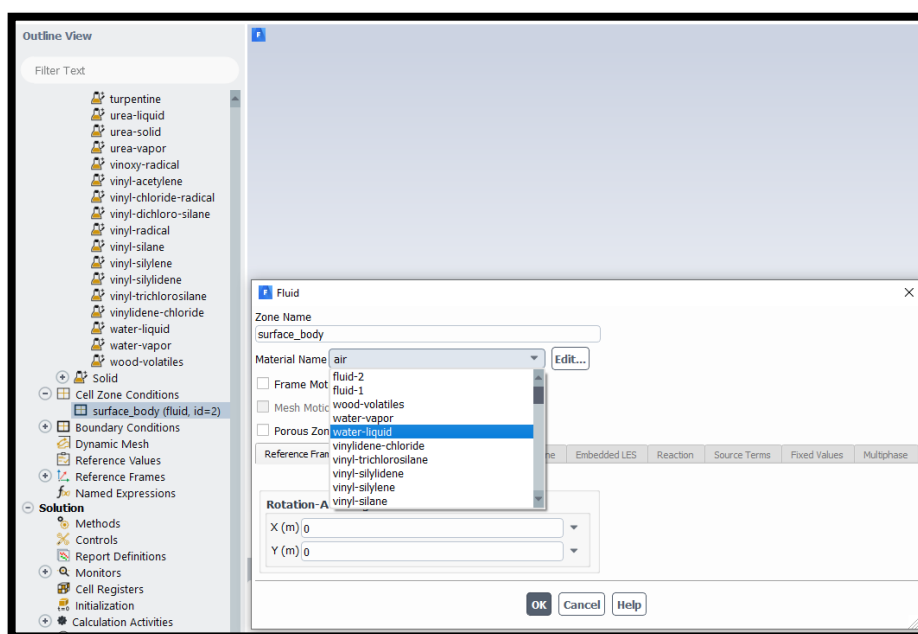
**Εικόνα 3.22** Επιλογή στρωτής ροής ρευστού.

Για να προστεθεί το υλικό που επιθυμούμε να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση του αγωγού, θα ακολουθήσει η εξής διαδικασία. Ανοίγοντας την καρτέλα Materials και συγκεκριμένα το Fluid, εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο το Create/Edit Materials που σε αυτό θα επιλεγεί το Fluent Database. Στο νέο παράθυρο που προκύπτει που είναι το Fluid Fluent Material, θα επιλέξουμε το Water liquid και την επιλογή Change/Create. Η διαδικασία αυτή απεικονίζεται στην εικόνα 3.23.



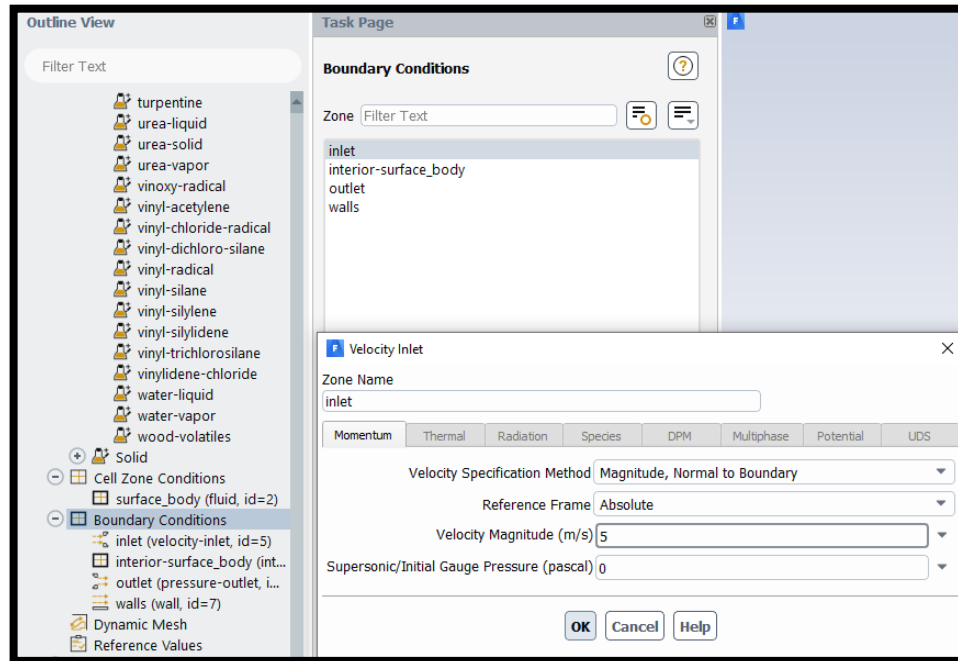
Εικόνα 3.23 Επιλογή ρευστού στην βάση δεδομένων.

Στη συνέχεια θα επιλεγεί το ρευστό το οποίο διαπερνά από το εσωτερικό του αγωγού, ανοίγοντας την εντολή `Surface_body` από το `Cell Zone Conditions`, θα επιλεγεί το `Edit` με σκοπό να βρεθεί από την λίστα που εμφανίζεται το `Water liquid` (νερό). Επιλέγοντας το `OK`, κλείνει το παράθυρο και εφαρμόζονται οι αλλαγές ρευστού. Η διαδικασία απεικονίζεται στην εικόνα 3.24



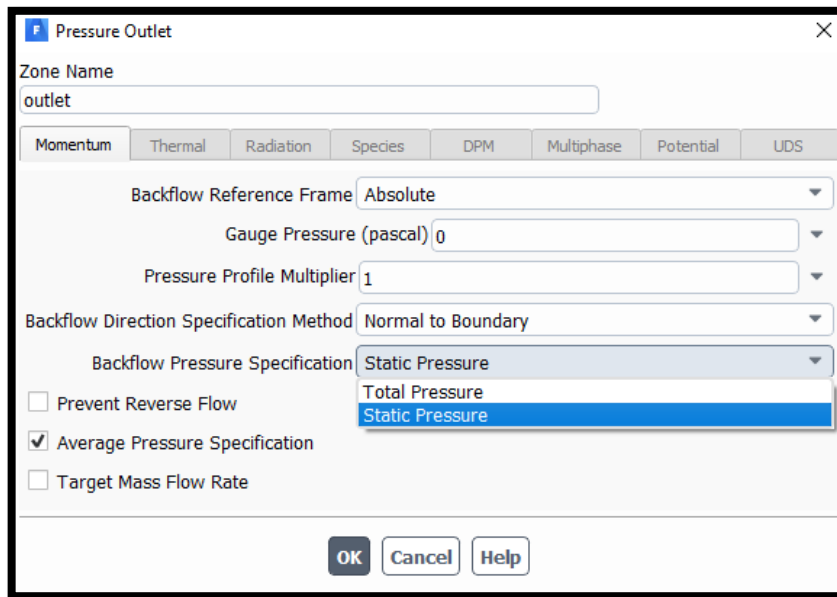
Εικόνα 3.24 Επιλογή ρευστού νερού στο αγωγό.

Συνεχίζοντας στο Boundary Conditions, θα επιλεχθεί η ταχύτητα εισόδου ρευστού στον αγωγό επιλέγοντας με δεξί κλικ στο Inlet το Edit και στην στήλη του Velocity Magnitude (m/s) εισάγουμε την ταχύτητα 5(m/s) - Ok, όπως εμφανίζεται στην εικόνα 3.25



**Εικόνα 3.25** Επιλογή ταχύτητας εισόδου ρευστού στο αγωγό.

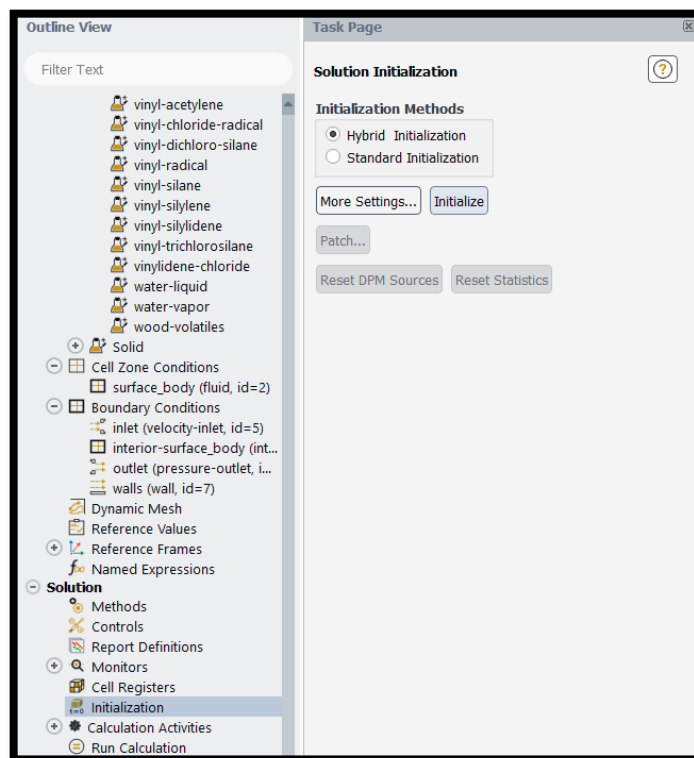
Ανοίγοντας την έξοδο του αγωγού (Outlet), εισάγουμε στη στήλη του Gauge Pressure την τιμή 0 (Pascal). Επίσης στην στήλη Backflow Pressure Specification, επιλέγουμε την εντολή Static Pressure, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.26.



Εικόνα 3.26 Ορισμός πίεσης εξόδου ρευστού από τον αγωγό.

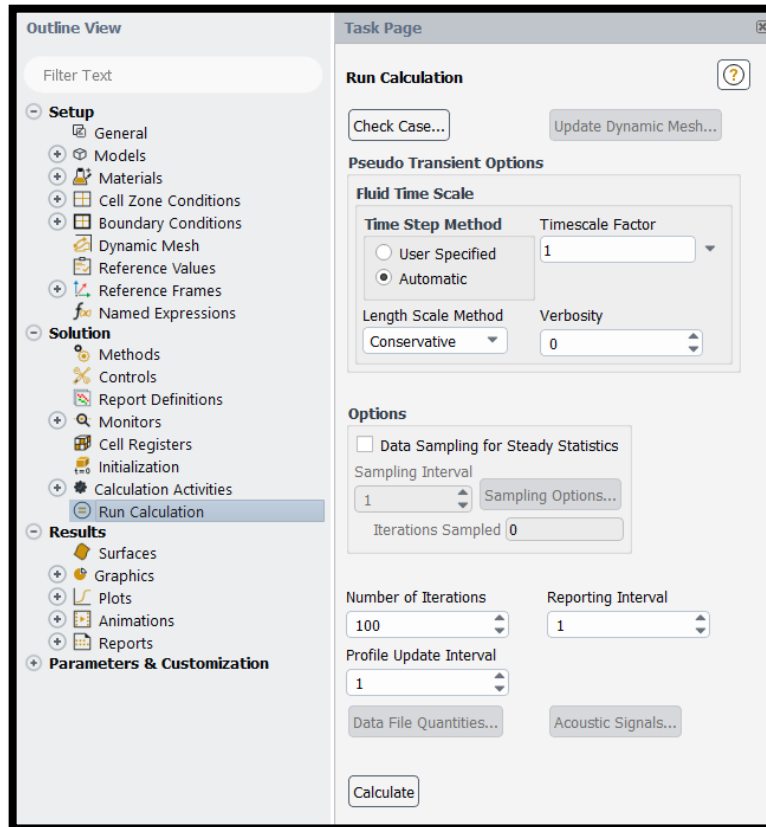
- Προσομοίωση ροής

Στο πλαίσιο του Initialization, θα επιλέξουμε το Hybrid Initialization και μετά το Initialize, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.27



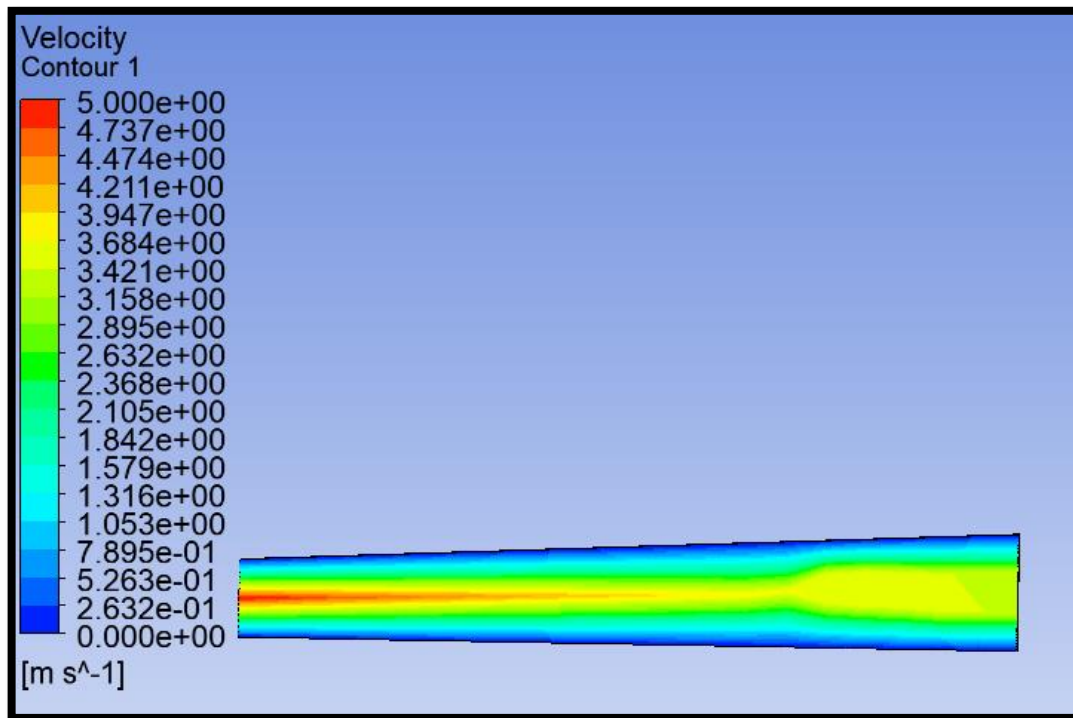
Εικόνα 3.27 Αρχικοποίηση της λύσης.

Από το Run Calculation, θα εισάγουμε στο Number of Iterations (αριθμό επαναλήψεων) την τιμή 100 για να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια. Έπειτα, θα επιλέξουμε το Calculate, όπως στην εικόνα 3.28.



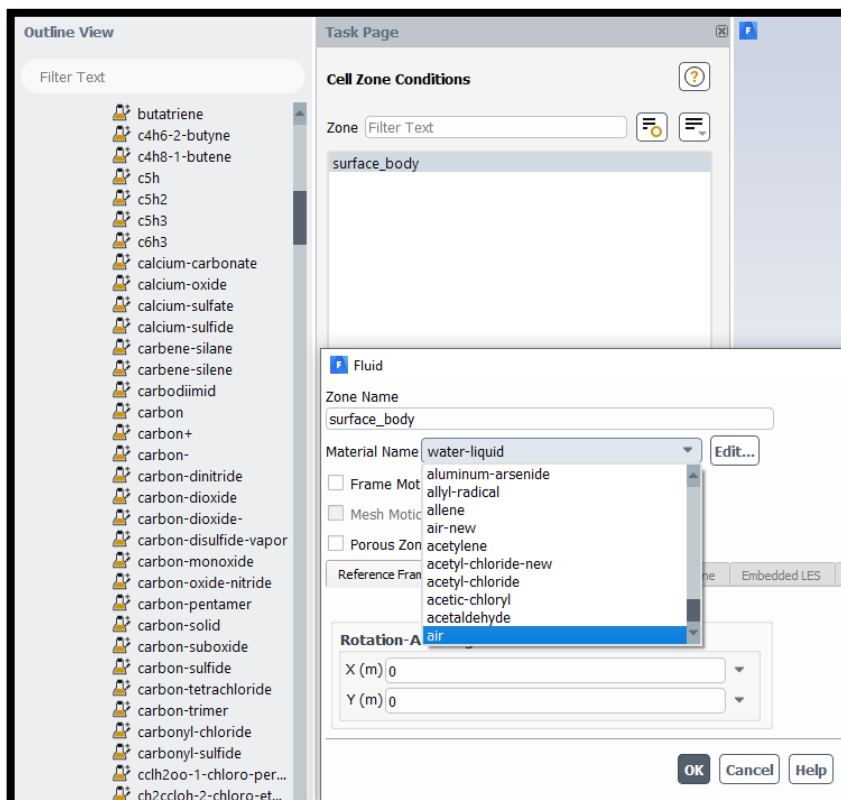
Εικόνα 3.28 Εκτέλεση υπολογισμού.

Τέλος, από τα αποτελέσματα (Results), δημιουργείται ένα Contour το οποίο εμφανίζει την ταχύτητα (Velocity) του νερού κατά την είσοδο και έξοδο του αγωγού. Στην εικόνα 3.29, εμφανίζονται οι τιμές διαφοράς δυναμικού του νερού όπου εισέρχεται από το συγκλίνων μέρος του αγωγού ως προς το αποκλίνων.



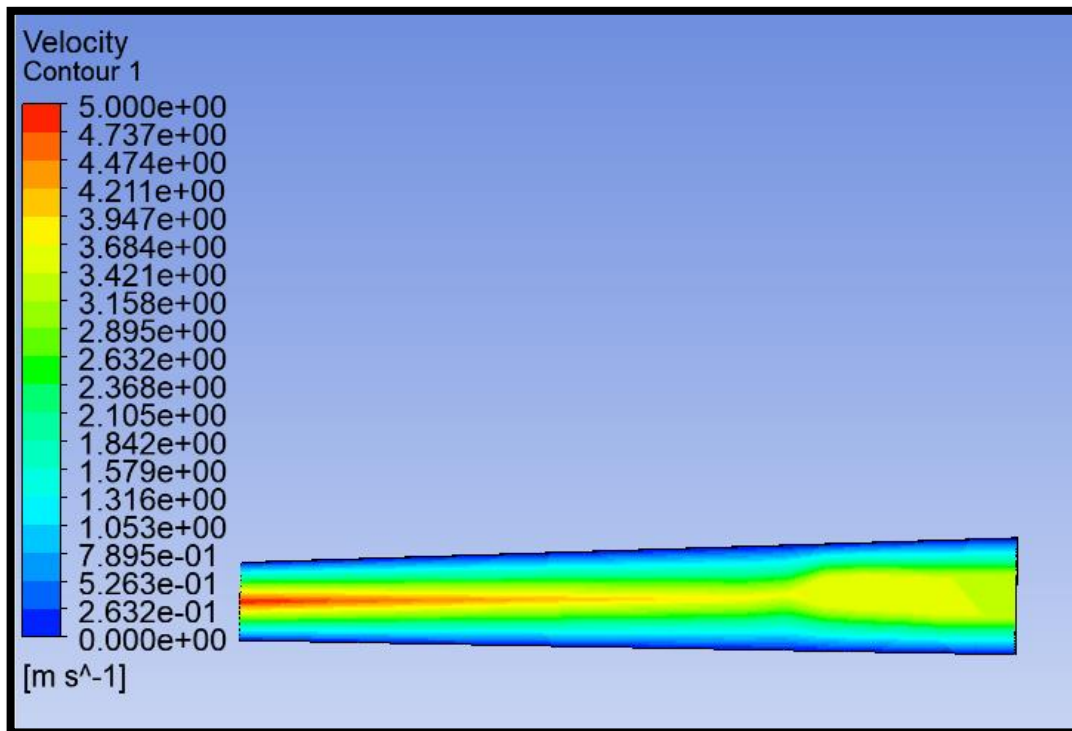
**Εικόνα 3.29** Γράφημα απεικόνισης διαφοράς δυναμικού ταχύτητας νερού κατά τον αγωγό.

Για να προσομοιώσουμε την πίεση και την ταχύτητα αέρα σε αγωγό μεταβαλλόμενης διατομής θα ακολουθήσουμε παρόμοια διαδικασία με αυτή του κεφαλαίου 3.3, με την διαφορά ότι στο στάδιο επιλογής του υλικού που είναι το Cell Zone Conditions επιλέγουμε το Edit και από την λίστα που εμφανίζεται το air (αέρας), κλείνουμε το παράθυρο και εφαρμόζουμε την αλλαγή ρευστού με το OK, η διαδικασία απεικονίζεται στην εικόνα 3.30.



**Εικόνα 3.30** Επιλογή αέρα που διαπερνά από τον αγωγό.

Ακολουθώντας την υπόλοιπη διαδικασία προσομοίωσης, φτάνουμε στα αποτελέσματα (Results). Δημιουργώντας ένα Contour το οποίο θα εμφανίζει την ταχύτητα (Velocity) του αέρα που διαπερνά τον αγωγό, προκύπτουν οι τιμές διαφοράς δυναμικού ταχύτητας αέρα στην εικόνα 3.31.



**Εικόνα 3.31** Γράφημα απεικόνισης διαφοράς δυναμικού ταχύτητας αέρα κατά τον αγωγό.

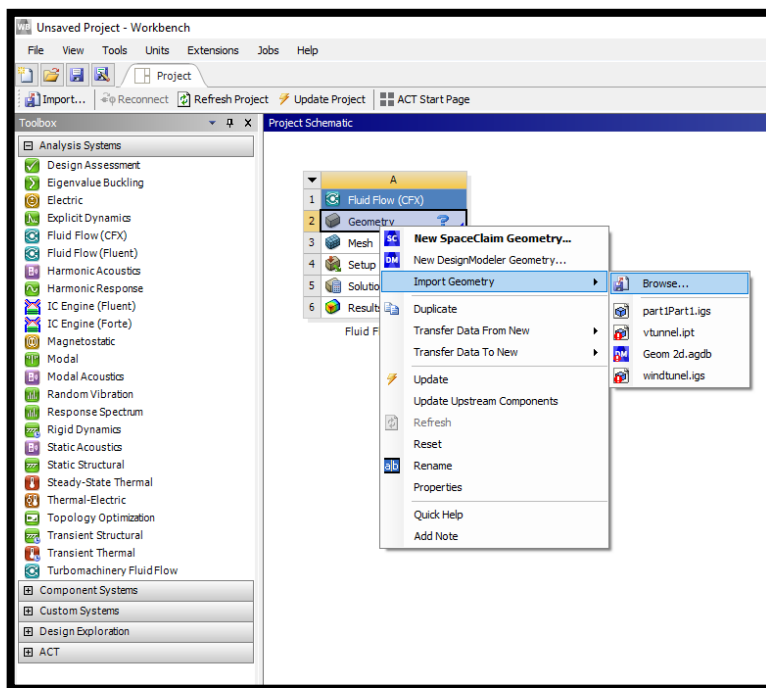
### 3.4 Προσομοίωση ταχύτητας αέρα σε αγωγό τύπου Venturi

Η σχεδίαση του συγκεκριμένου αγωγού έχει θα πραγματοποιηθεί με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Autodesk Inventor. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα εξηγήσουμε με ποιόν τρόπο πραγματοποιείται η εισαγωγή μιας έτοιμης γεωμετρίας στο Ansys CFX Workbench Academic. Επίσης θα προσομοιωθεί η ταχύτητα και η πίεση ροής αέρα σε αγωγό μορφής ανάποδου venturi.

Αρχικά επιλέγουμε το CFX, έπειτα στον τομέα του Geometry επιλέγουμε δεξί κλικ στην εντολή Import Geometry και στη συνέχεια στο Browse. Από το παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε την γεωμετρία που επιθυμούμε μέσα από τα αρχεία του υπολογιστή μας, ώστε να την εισάγουμε στο Ansys Workbench. Η διαδικασία εμφανίζεται στην εικόνα 3.32.

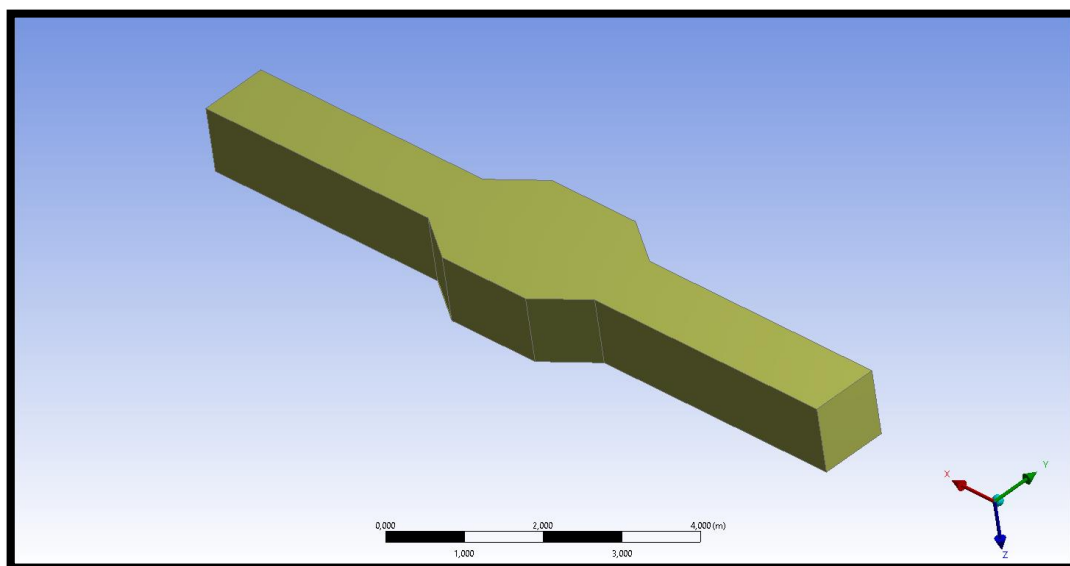
Θα εξηγήσουμε με ποιόν τρόπο πραγματοποιείται η εισαγωγή μιας έτοιμης γεωμετρίας στο Ansys CFX Workbench Academic





Εικόνα 3.32 Εισαγωγή γεωμετρίας στο Ansys Workbench.

Ανοίγοντας το Geometry, επιλέγουμε το Generate με σκοπό να εμφανιστεί ο αγωγός ο οποίος έχει την μορφή ενός ανάποδου venturi όπως απεικονίζεται στην εικόνας 3.33.

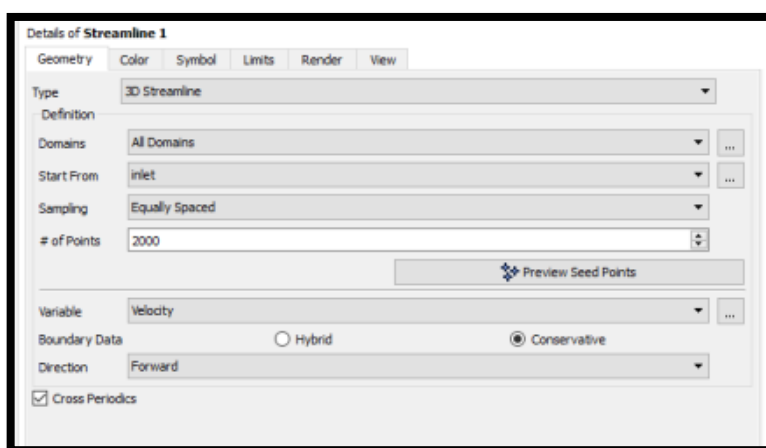


Εικόνα 3.33 Αγωγός μελέτης.

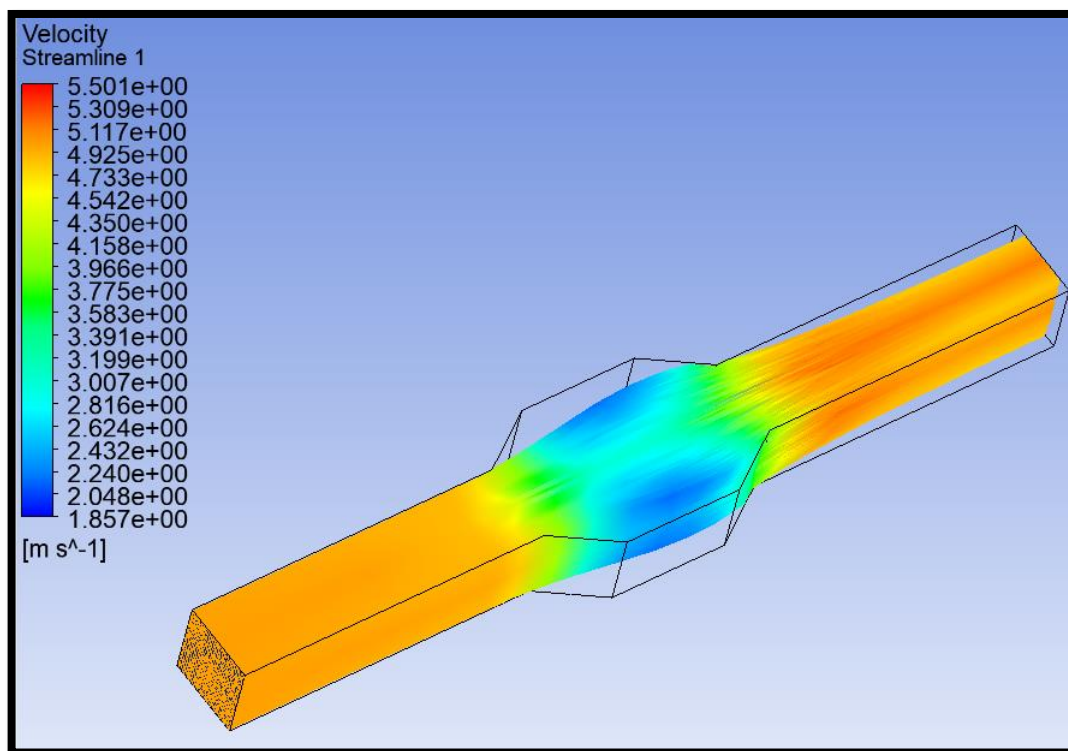
Συνεχίζουμε παρόμοια διαδικασία μοντελοποίησης όπως έχουμε ήδη δείξει. Στον τομέα του setup, θα ονομάσουμε την ίδιες ταχύτητες εισόδου με τα προηγούμενα test cases, όπου θα έχει την τιμή 5 m/s, αντίστοιχα και της τιμής στατικής πίεσης εξόδου που θα είναι 0 Pa.

Έπειτα θα ορίσουμε το υλικό που θα διαρρέει τον αγωγό μας το οποίο θα είναι αέρας στους 25 βαθμούς κελσίου.

Από τον τομέα των αποτελεσμάτων δημιουργούμε από την εντολή Streamlines ροϊκές γραμμές όπως έχουμε αναφέρει και ορίζουμε να ξεκινάνε από το inlet (την είσοδο του αγωγού), όπως και στα # of Contour την τιμή 20000. Η ρυθμίσεις δημιουργίας των ροϊκών γραμμών παρουσιάζονται στην εικόνα 3.34, αντίστοιχα η εμφάνιση ροϊκών γραμμών στον αγωγό απεικονίζεται στην εικόνα 3.35.

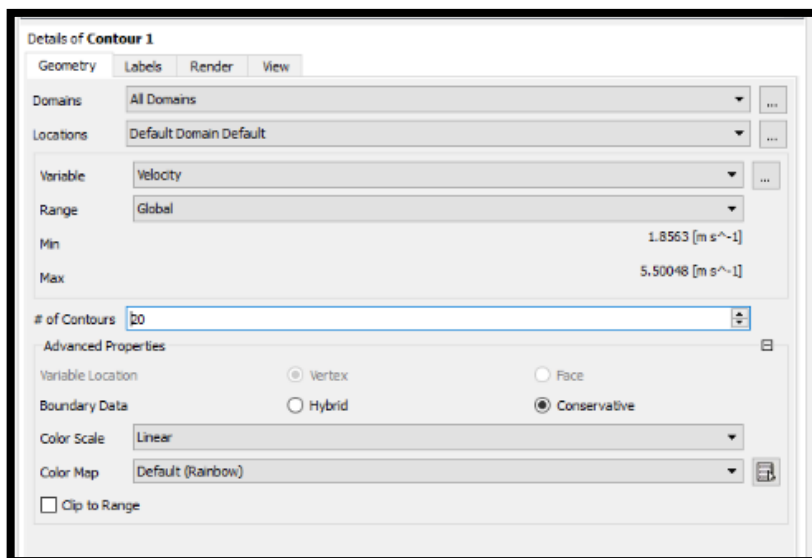


Εικόνα 3.34 Δημιουργία των Streamlines.

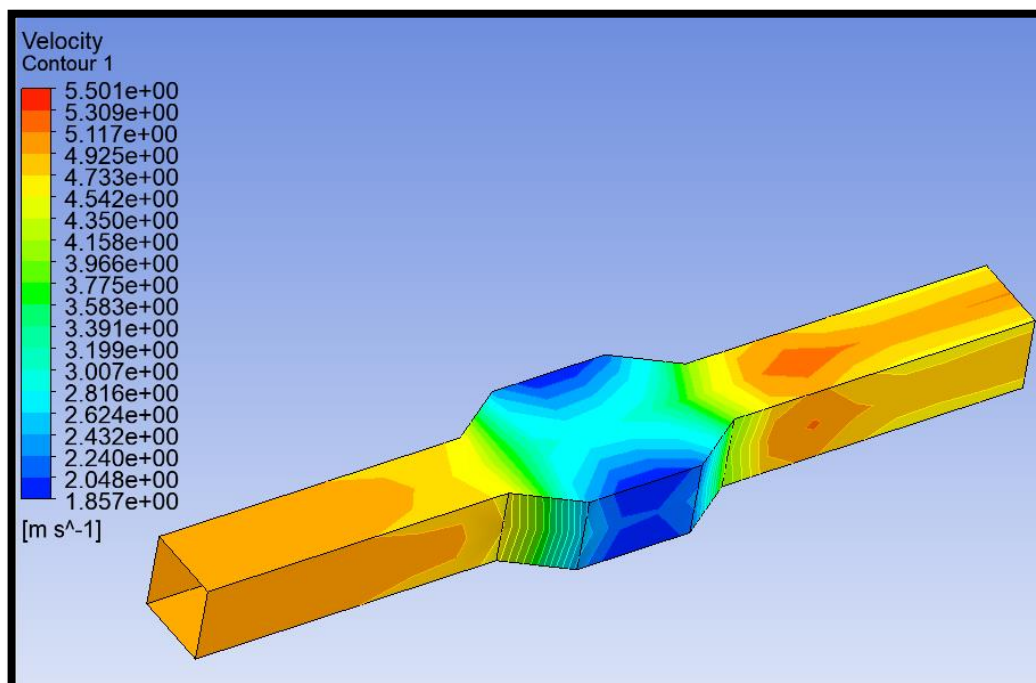


Εικόνα 3.35 Εμφάνιση ροϊκών γραμμών.

Επίσης θα δημιουργήσουμε ένα Contour όπου θα εισάγουμε από τη γραμμή Variable τη ταχύτητα Velocity και στο # of Contours θα εισάγουμε τον αριθμό 20, εφαρμόζουμε της αλλαγές με το Apply η διαδικασία δημιουργίας του Contour υποδηλώνεται στην εικόνα 3.36, καθώς και το γράφημα διαφοράς δυναμικού ταχύτητας του αέρα από τον αγωγό στην εικόνα 3.37.



Εικόνα 3.36 Δημιουργία Contour.



Εικόνα 3.37 Γράφημα ταχύτητας του νερού από τον αγωγό.

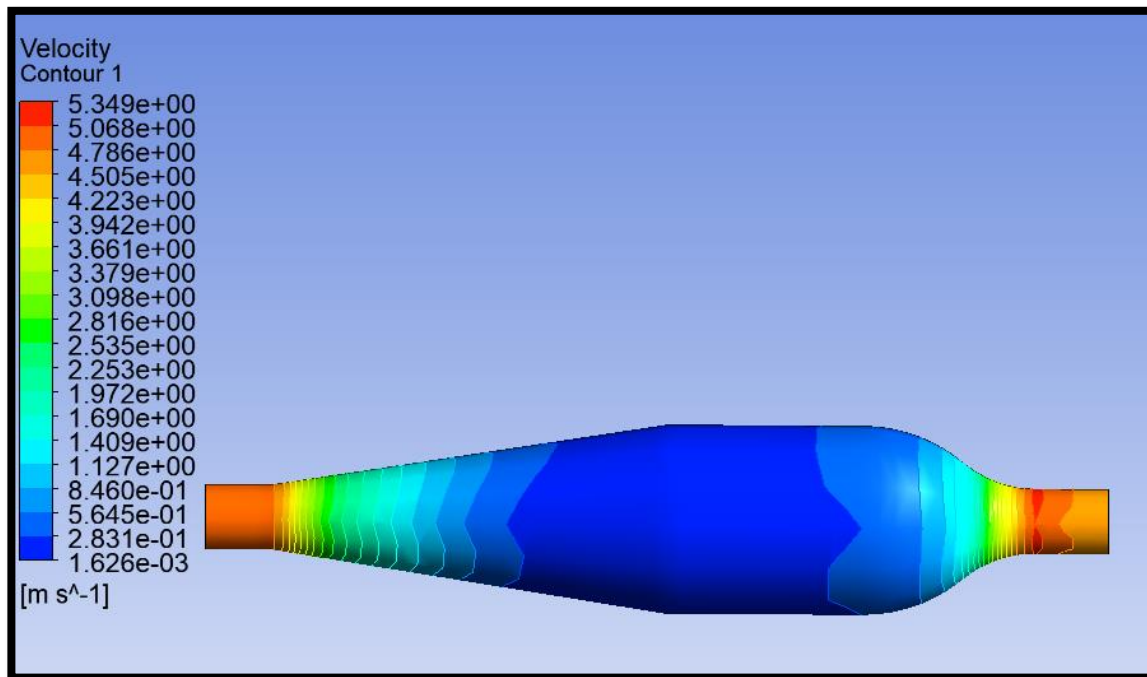
Όπως παρατηρούμε επαληθεύεται ο νόμος του Bernoulli, διότι στα σημεία του αγωγού όπου υπάρχει στένωση της διατομής έχουμε υψηλότερη ταχύτητα σε σχέση με τα σημεία μεγαλύτερης διατομής. Το αντίστροφο φαινόμενο ισχύει και για την στατική πίεση δηλαδή όπου υπάρχει μεγάλη ταχύτητα υπάρχει μικρή πίεση και το αντίστροφο.

### **3.6.Εφαρμογές μελέτης ροής σε τρισδιάστατο μοντέλο αεροσύραγγας**

Με την χρήση του Ansys CFX Workbench Academic θα πραγματοποιήσουμε την προσομοίωση ροής αέρα ως προς την ταχύτητα και την πίεση που διαπερνά από το εσωτερικό της αεροσύραγγας. Η γεωμετρία αυτής είναι παρόμοια με αυτή που διαθέτει το τμήμα μηχανικών φυσικών πόρων και περιβάλλοντος του ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.

Η διαδικασία πραγματοποίησης αυτό του test cases είναι παρόμοια με τα προηγούμενα. Η γεωμετρία η οποία θα χρησιμοποιήσουμε είναι αυτή που δημιουργήθηκε στο κεφάλαιο 2.1 με το σχεδιαστικό πρόγραμμα Autodesk Inventor. Η διαδικασία εισαγωγής της γεωμετρίας στο Workbench του Ansys θα πραγματοποιηθεί όπως δείξαμε στο κεφάλαιο 3.5. Επαναλαμβάνοντας τα υπόλοιπα βήματα και φτάνοντας στην εισαγωγή ταχύτητας αέρα και εξαγωγή πίεσης από την διατομή της αεροσύραγγας θα εισάγουμε της ίδιες τιμές όπως και στα προηγούμενα test cases.

Πραγματοποιώντας τα υπόλοιπα βήματα και φτάνοντας στο τελευταίο βήμα το οποίο είναι τα αποτελέσματα και δημιουργώντας ένα contour, το οποίο να εμφανίζει την ταχύτητα του αέρα κατά την διατομή της αεροσύραγγας, εμφανίζεται η ταχύτητα αέρα στην εικόνα 3.38.



**Εικόνα 3.38** Απεικόνιση ταχύτητας αέρα την αεροσήραγγα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εικόνα 3.42 παρατηρούμε πως ισχύει και πάλι η εξίσωση της συνέχειας και οι αναλυτικές εξισώσεις του Bernoulli και σε αυτή την γεωμετρία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Συμπεράσματα

Καταλήγουμε ότι για να πραγματοποιηθεί μια αποτελεσματική και γρήγορη προσομοίωση ρευστών, τα οποία διαπερνούν από αγωγούς είναι απαραίτητη η χρήση υπολογιστών και πόσο μάλλον η χρήση του προγράμματος προσομοίωσης CFX και FLUENT Ansys Workbench Academic. Η χρήση των προγραμμάτων σχεδίασης CAD είναι επίσης καθοριστικής σημασίας διότι με την βοήθεια αυτού μπορούμε να δημιουργήσουμε περίπλοκες και σύνθετες γεωμετρίες με σκοπό την απώτερη προσομοίωσή τους.

Μπορούμε να συμπεράνουμε από τις λύσεις των παραπάνω Test Cases ότι στα δισδιάστατα μοντέλα η διαδικασία προσομοίωσης έχει το πλεονέκτημα ότι είναι σαφώς λιγότερο περίπλοκη και γρήγορη αλλά παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι μπορεί να προσομοιώσει μόνο συμμετρικά μοντέλα το οποίο το καθιστά μη ικανό να προσομοιώσει μη συμμετρικά μοντέλα.

Το κύριο μειονέκτημα στη προσομοίωση των τρισδιάστατων μοντέλων είναι ότι απαιτούν αρκετό χρόνο όπως και περισσότερες ρυθμίσεις για την ολοκλήρωσή τους αλλά το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι εμφανίζουν την λύση σε τρισδιάστατη μορφή και μας παρέχουν τη δυνατότητα μελέτης του μοντέλου προσομοίωσης με μεγάλη ανάλυση όπως και στην δυνατότητα μοντελοποίησης μοντέλων τα οποία έχουν μη συμμετρικές γεωμετρίες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Βιβλιογραφία

- [1] <https://www.ansys.com/academic>(Ενεργό 09-10-2019)
- [2][https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CF%84%CF%89%CE%BD\\_%CF%81%CE%B5%CF%85%CF%83%CF%84%CF%8E%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CF%84%CF%89%CE%BD_%CF%81%CE%B5%CF%85%CF%83%CF%84%CF%8E%CE%BD) (Ενεργό 09-10-2019)
- [2]<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%B4%CF%85%CE%BD%CE%B1%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE>(Ενεργό 09-10-2019)
- [3] Φυσική (Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης).
- [4] Μηχανική Ρευστών στο Περιβάλλον, Αν. Καθ. Β. Δημητρίου, ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ
- [5] Μελέτη πτέρυγας. Ολκός και απεικόνιση πεδίου Ταχυτήτων Δρ. Παντελής Σ. Αποστολόπουλος (Επίκουρος Καθηγητής).
- [6] <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-CFD-and-CFX> (Ενεργό 09-10-2019)
- [7] <https://www.ansys.com/de-de/products/fluids/ansys-cfx>(Ενεργό 09-10-2019)
- [8] ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ ΠΡΟΤΥΠΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΡΟΗΣ Λαμπάδας Γεώργιος (ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ).
- [9] ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Γεώργιος Καρακιόζογλου 2004
- [10] <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview> (Ενεργό 09-10-2019)
- [11] <https://www.flowmaxx.com/venturi.htm> (Ενεργό 09-10-2019)