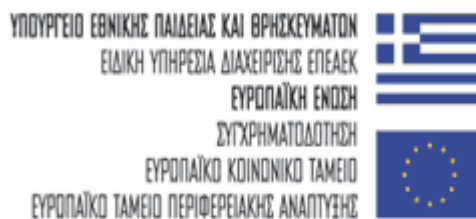


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**



## **ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΠΣ**



### **ΦΑΣΗ Β' – CASE STUDIES ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

**Β.1 Διερεύνηση μέσω CFD της επίδρασης του ύψους τοποθέτησης εσωτερικής κλιματιστικής μονάδας (indoor unit) στην κατανομή θερμοκρασιών χώρου**

**Συντάκτης: Δημήτρης Τζιουρτζιούμης**

**ΒΟΛΟΣ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2007**

## 1 Εισαγωγή

Τοπικός αντιπρόσωπος κλιματιστικών συσκευών, έθεσε το εξής ερώτημα στο Πανεπιστήμιο: Οι οδηγίες του κατασκευαστή των κλιματιστικών συσκευών διαιρούμενου τύπου (split units), προδιαγράφουν την τοποθέτηση της εσωτερικής μονάδας (indoor unit) σε ύψος 2.20 m από το δάπεδο.

Κάποιοι πελάτες όμως θέτουν επίμονα το ερώτημα, πόσο δυσμενέστερη είναι η περίπτωση τοποθέτησης της εσωτερικής μονάδας σε μεγαλύτερο ύψος (για αισθητικούς λόγους), πχ μέχρι και ακριβώς κάτω από την οροφή του δωματίου.

Το συγκεκριμένο ερώτημα επελέγη να μελετηθεί μέσω εμπορικού κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD), από προπτυχιακό φοιτητή του Τμήματος, ως μελέτη περίπτωσης στα πλαίσια της Αναμόρφωσης του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών μας.





**Εικόνα 1** Εσωτερική μονάδα (indoor unit) κλιματιστικού διαιρούμενου τύπου

## 2 Διατύπωση του προβλήματος

Για την μοντελοποίηση του προβλήματός μας έγιναν οι ακόλουθες απλοποιητικές παραδοχές:

- Θεωρήσαμε το k-Epsilon(κ-ε) μοντέλο τύρβης. Μοντέλο το οποίο εξασφαλίζει καλές προβλέψεις για τις περισσότερες ροές μηχανολογικού ενδιαφέροντος.
- Η ροή του αέρα είναι σταθερή ως προς το χρόνο(steady state)
- Ο αέρας θεωρήθηκε ιδανικό αέριο

Αρχικά δεν είχε τεθεί η τιμή για την παράμετρο της βαρύτητας (gravity, g), όπως και η παραγωγή τύρβης (turbulence production), και διαπιστώθηκε ότι το πρόγραμμα έπαιρνε by default μηδενικές τιμές, πράγμα που είχε σαν αποτέλεσμα να παράγονται μη ρεαλιστικά αποτελέσματα (πχ οι γραμμές ροής είχαν μια πορεία η οποία απήχε αρκετά από την πραγματική)

## 3 Διαμόρφωση των αρχείων εισόδου του λογισμικού (ICEM)

### 3.1 Γεωμετρία

Η κλιματιστική μονάδα του προβλήματος (Εικόνα 1) έχει ισχύ 12000 Btu/h και θα τοποθετηθεί σε δυο διαφορετικές θέσεις, πάνω από το παράθυρο και στην οροφή του δωματίου. Σκοπός της άσκησης είναι ο προσδιορισμός της σωστής θέσης της μονάδας. Αυτή θα προκύψει μέσω της μελέτης της ροής και του τρόπου θέρμανσης του δωματίου(κατανομές θερμοκρασιών σε διάφορες θέσεις) .

Με τη βοήθεια του υποπρογράμματος ICEM CFD 4.CFX<sup>1</sup> σχεδιάσαμε το προς μελέτη δωμάτιο, το παράθυρο και την κλιματιστική μονάδα εσωτερικού χώρου(τις

επιφάνειες εισόδου του θερμού αέρα και εξόδου του ψυχρού αέρα) . Οι διαστάσεις αυτών είναι:

### Δωμάτιο

Μήκος: 5 m

Πλάτος: 4 m

Ύψος: 3 m

$$\text{Όγκος δωματίου} = (5m) \times (4m) \times (3m) = 60m^3$$

### Επιφάνεια εισόδου

$$A_{in} = (0.8m) \times (0.15m) = 0.12m^2$$

### Επιφάνεια εξόδου

$$A_{out} = (1.2m) \times (0.1m) = 0.12m^2$$

### Επιφάνεια παραθύρου

$$A_{window} = (1.2m) \times (1.3m) = 1.56m^2$$

Στο σημείο αυτό θα αναφέρουμε κάποια χαρακτηριστικά του κλιματιστικού:

### Ταχύτητα εισόδου αέρα:

$$P = \Delta T \cdot C_{p,air} \cdot \rho_{air} \cdot A_{inlet} \cdot u \Leftrightarrow$$

$$u = \frac{P}{\Delta T \cdot C_{p,air} \cdot \rho_{air} \cdot A_{inlet}} =$$

$$\frac{3.5KW}{(40^{\circ}C - 10^{\circ}C)(1.1kj/kgK)(1.2kg/m^3)(0.8m \cdot 0.15m)} = 0.74m/s$$

**Παροχή μάζας αέρα:**

$$P = \dot{m}_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot \Delta T \Leftrightarrow$$

$$\dot{m}_{air} = \frac{P}{C_{p_{air}} \cdot \Delta T} = \frac{3.6KW}{(1.1kj/kgK)(40^{\circ}C - 10^{\circ}C)} = 0.109kg/sec$$

**Ογκομετρική παροχή αέρα:**

$$Q_{air} = \frac{\dot{m}_{air}}{\rho_{air}} = \frac{0.109kg/sec}{1.2kg/m^3} = 0.09m^3/s$$

**Χρόνος αναπλήρωσης του αέρα του δωματίου:**

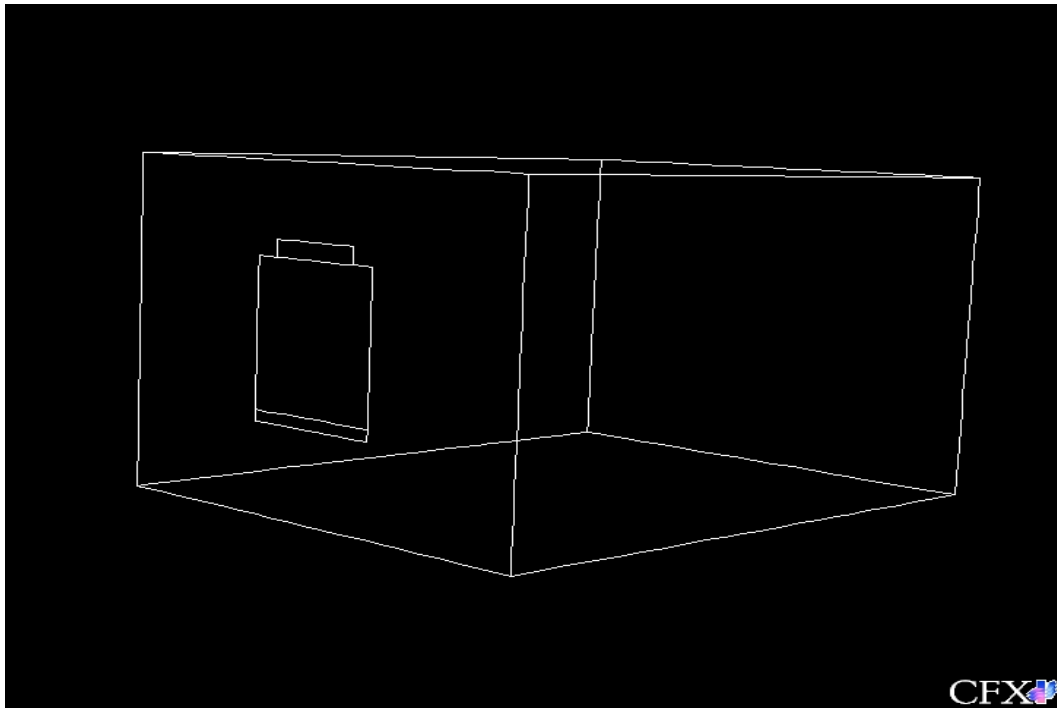
$$t = \left( \frac{Q_{air}}{V_{room}} \right)^{-1} \cdot 60min = \left( \frac{324m^3/hr}{60m^3} \right)^{-1} \cdot 60min = 11min$$

### **3.2 Εναλλακτικές θέσεις τοποθέτησης της εσωτερικής μονάδας**

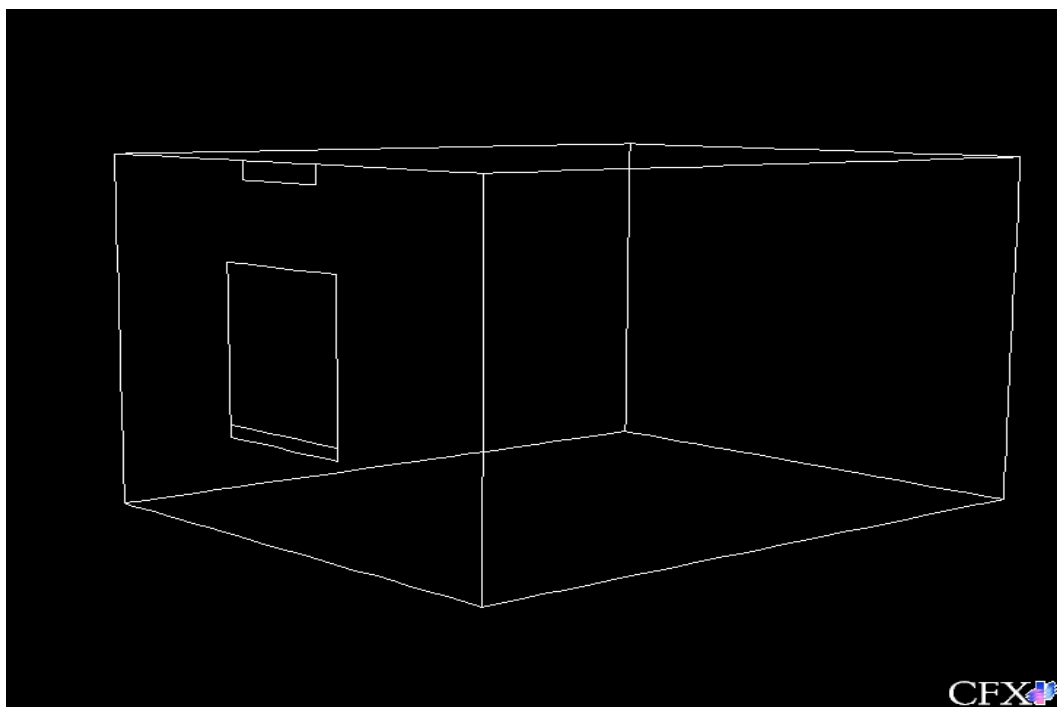
Για να εκτιμήσουμε την επίδραση της θέσης (ύψους τοποθέτησης) της εσωτερικής μονάδας, επιλέγουμε δύο εναλλακτικές γεωμετρίες, οι οποίες διαφέρουν μόνο στο ύψος τοποθέτησης:

- Θέση αναφοράς (ύψος τοποθέτησης – κεντρική γραμμή στα 2.275m)
- Εναλλακτική θέση που εξετάζεται (ύψος τοποθέτησης – κεντρική γραμμή στα 2.925m).

Οι θέσεις αυτές φαίνονται στις Εικόνες 2 και 3 που ακολουθούν.



**Εικόνα 2** Το κλιματιστικό βρίσκεται στη θέση αναφοράς



**Εικόνα 3** Το κλιματιστικό βρίσκεται στην εναλλακτική θέση

### 3.3 Υπολογιστικό πλέγμα

Στη συνέχεια δημιουργήσαμε το υπολογιστικό πλέγμα σύμφωνα με το οποίο έγινε η επίλυση του προβλήματος. Το πλέγμα το οποίο δημιουργήθηκε ικανοποιεί όλες τις υπολογιστικές προϋποθέσεις ώστε τα αποτελέσματα να είναι ακριβή και ορθά.

Αρχικά υπήρξαν προβλήματα με την αυτόματη παραγωγή του πλέγματος. Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε αρχικά ήταν απλή παραγωγή του πλέγματος χωρίς καμία ρύθμιση των παραμέτρων αυτού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση των επιφανειών εισόδου και εξόδου. Συνέπεια, των παραπάνω ήταν η εξαγωγή μη σωστών αποτελεσμάτων. Το επιθυμητό πλέγμα επιτεύχθηκε ρυθμίζοντας τις απαραίτητες παραμέτρους ως εξής:

#### Global MeshSize

- **Global Element Seed Size**

Max Element: 0.2

Natural Size

Size: 0.1

Cells in Gap: 1

Refinement: 20

#### Mesh TetraEdral

- **Tetra Mesher**

Use Smoother

Quality: 0.7

Smooth Transition

Transition Factor: 1.2

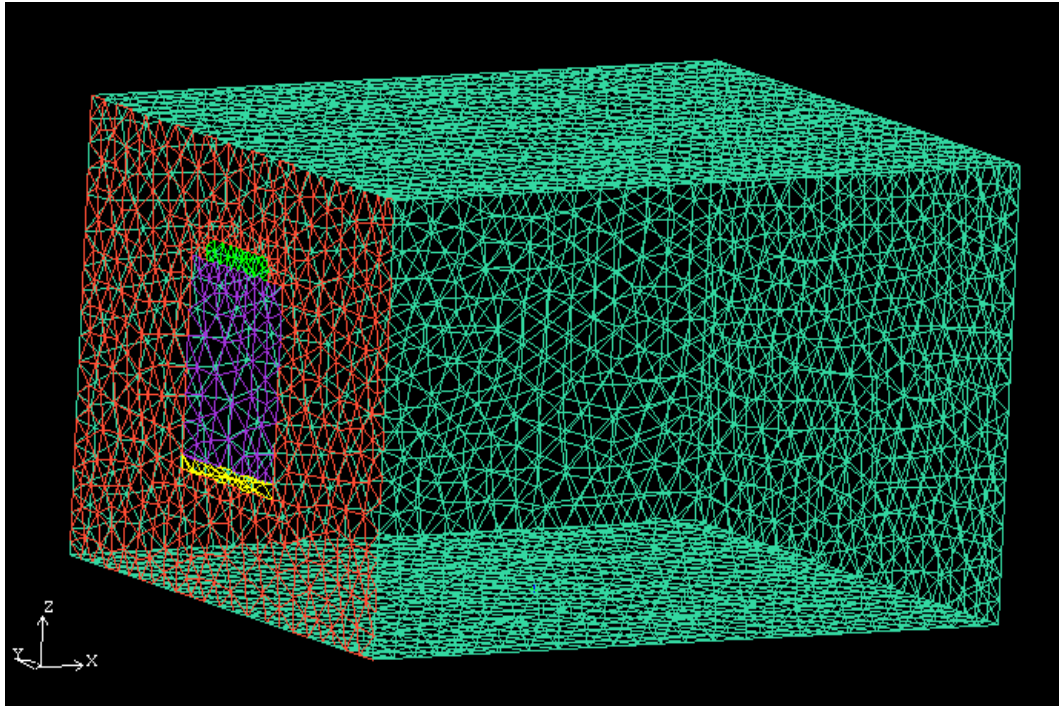
- **Options**

Activate: Save All Triangles

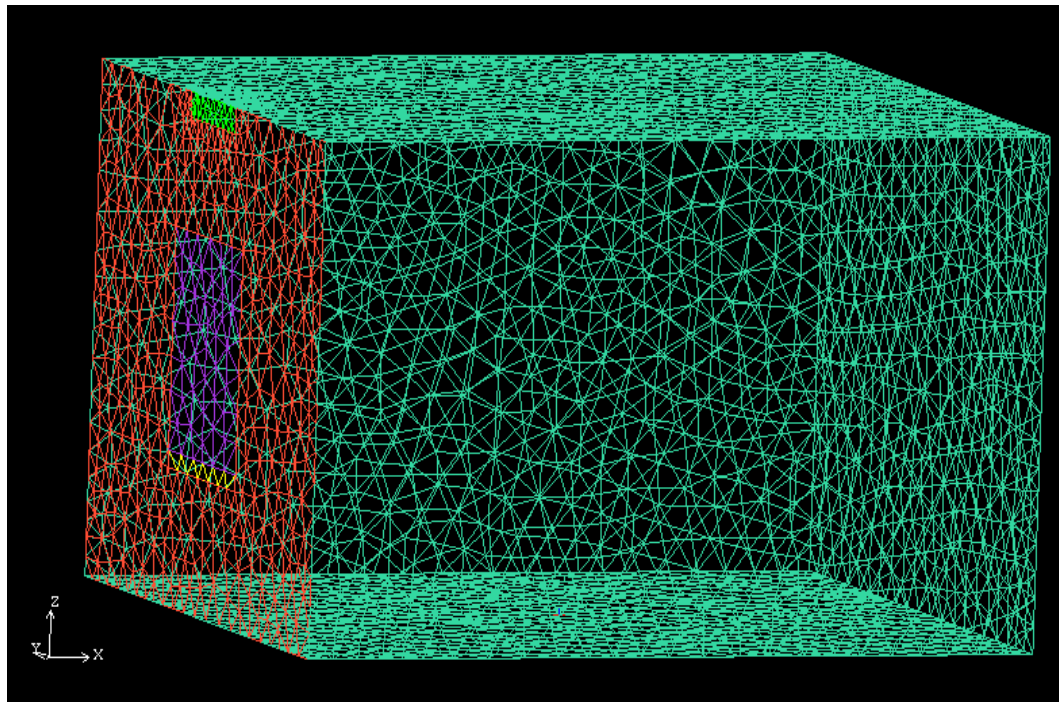
Τα υπολογιστικά πλέγματα φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 4 και Εικόνα 5)

Στην Εικόνα 4 φαίνεται το υπολογιστικό πλέγμα του προβλήματος στο οποίο το κλιματιστικό βρίσκεται στη θέση αναφοράς.

Στην Εικόνα 5 φαίνεται το υπολογιστικό πλέγμα του προβλήματος στο οποίο το κλιματιστικό βρίσκεται στην εναλλακτική θέση.



**Εικόνα 4** Υπολογιστικό πλέγμα θέσεως αναφοράς



**Εικόνα 5** Υπολογιστικό πλέγμα εναλλακτικής θέσεως τοποθέτησης

#### **4 Διαδικασία προσδιορισμού οριακών συνθηκών (CFX-Pre)**

Επόμενο στάδιο της επίλυσης του προβλήματος μας ήταν ο προσδιορισμός των οριακών συνθηκών. Αυτό έγινε μέσω του υποπρογράμματος CFX-Pre 5.7<sup>2</sup>. Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε περιγράφεται παρακάτω: Η γεωμετρία και το υπολογιστικό πλέγμα εισήχθησαν στο υποπρόγραμμα. Στη συνέχεια στα parts, τα οποία είχαμε δημιουργήσει, ορίσαμε τις συνθήκες οι οποίες είναι οι ακόλουθες;



## Είσοδος

Type: inlet    Static Temperature = 313 K    Normal Speed = 0.74 m/s

## Έξοδος

Type: outlet    Relative Pressure: P=0 Pa

## Τοίχος στον οποίο βρίσκεται το παράθυρο

Type: wall    Heat Transfer Coefficient = 4 W/ (m<sup>2</sup>K) Outside Temperature: 273 K

## Παράθυρο

Type: wall    Heat Transfer Coefficient = 4 W/ (m<sup>2</sup>K) Outside Temperature: 273 K

## Οι υπόλοιποι τοίχοι, δάπεδο και οροφή

Type: wall    Heat Transfer Coefficient = 4 W/ (m<sup>2</sup>K) Outside Temperature: 288 K

Τέλος, **στο εσωτερικό του δωματίου** επικρατούσαν οι εξής συνθήκες:

Θεωρήσαμε τον αέρα ιδανικό αέριο με πίεση αναφοράς (Ref. Pressure) 1 atm.

## 5 Διαδικασία επίλυσης (CFX-Solver)

Έπειτα, αφού ορίσαμε τις συνοριακές συνθήκες ασχοληθήκαμε με τον προσδιορισμό των σωστών παραμέτρων επίλυσης (solver control). Ο **μέγιστος αριθμός επαναλήψεων (max iterations)** ο οποίος επιλέχθηκε ήταν **50** ενώ το **κριτήριο σύγκλισης (convergence criteria)** ήταν: **residual type: RMS** και **residual target: 10<sup>-4</sup>**.

Επόμενο βήμα ήταν η επίλυση με τη βοήθεια του solver του προγράμματος, CFX-Solver 5.7. Το solver επιστρέφει δυο φύλλα στο ένα φαίνεται διαγραμματικά η σύγκλιση ή όχι της λύσης και στο άλλο φαίνονται αναλυτικά σε κάθε επανάληψη οι τιμές των προς μελέτη μεγεθών. Αξίζει να αναφέρουμε ότι έχουμε σύγκλιση όταν φθάσουμε το κριτήριο σύγκλισης ή όταν οι τιμές των μεγεθών από μια επανάληψη και έπειτα δεν αλλάζουν σημαντικά. Το τελευταίο συνέβη στο δικό μας πρόβλημα. διότι θέσαμε αυστηρό κριτήριο σύγκλισης για να είμαστε σίγουροι ότι θα υπάρξει σύγκλιση και για να δούμε από ποιο σημείο και μετά επιτυγχάνεται αυτή.

Παρατηρώντας τις δυο λύσεις βλέπουμε ότι: στην περίπτωση που το κλιματιστικό βρίσκεται πάνω από το παράθυρο η λύση εμφανίζει σύγκλιση και ευστάθεια ενώ στην περίπτωση που το κλιματιστικό βρίσκεται στην οροφή του δωματίου η λύση εμφανίζει αστάθεια.

Τελευταίο τμήμα της επίλυσης του προβλήματος είναι η απεικόνιση των αποτελεσμάτων χρωματικά και με διάφορους στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή μας. Το υποπρόγραμμα με τη βοήθεια του οποίου συμβαίνει αυτό είναι το CFX-Post 5.7. Το CFX-Solver 5.7 μετά το πέρας της επίλυσης επιστρέφει ένα αρχείο .res το οποίο με τη σειρά του αυτόματα εισάγεται στο τελευταίο τμήμα του προγράμματος. Σε αυτό το σημείο τα αποτελέσματα, τα οποία περιέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τη ροή του αέρα στο δωμάτιο, μπορούν να παρουσιαστούν με ποικίλους τρόπους σε οποιοδήποτε περιοχή, επιφάνεια, του όγκου

ελέγχου μας(δωμάτιο). Οι ποικίλοι τρόποι οι οποίοι αναφέρθηκαν είναι: γραμμές ροής(streamlines), επίπεδα κάθετα στους τρεις άξονες(τομές δηλαδή του δωματίου)(planes), όγκοι οι οποίοι τοποθετούνται στο εσωτερικό του δωματίου και απεικονίζονται πάνω σε αυτούς οι κατανομές των ζητούμενων μεγεθών.

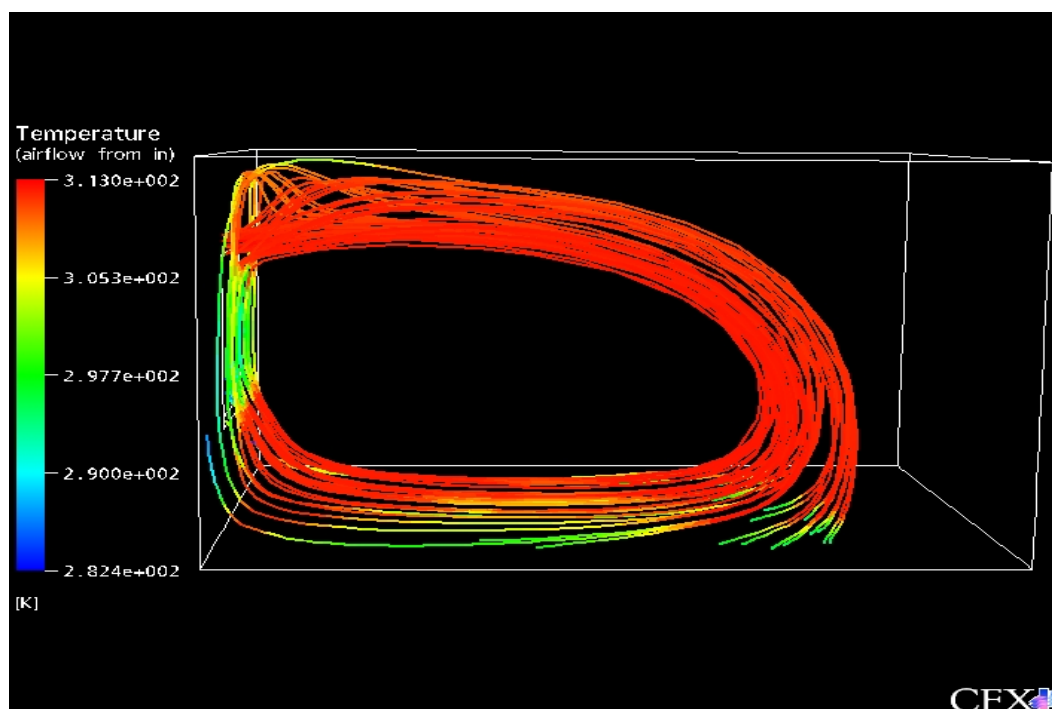
Στο επόμενο τμήμα της έκθεσης γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Πρόκειται για εικόνες(αρχεία output)τα οποία έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει το πρόγραμμα. Αξίζει να αναφέρουμε ότι πέρα από εικόνες το πρόγραμμα σου δίνει τη δυνατότητα να δημιουργήσεις και animation αν θέλεις να παρουσιάσεις την μεταβολή της κατανομής ενός μεγέθους σε μια διεύθυνση.

## 6 Διαδικασία απεικόνισης αποτελεσμάτων (CFX-Post)

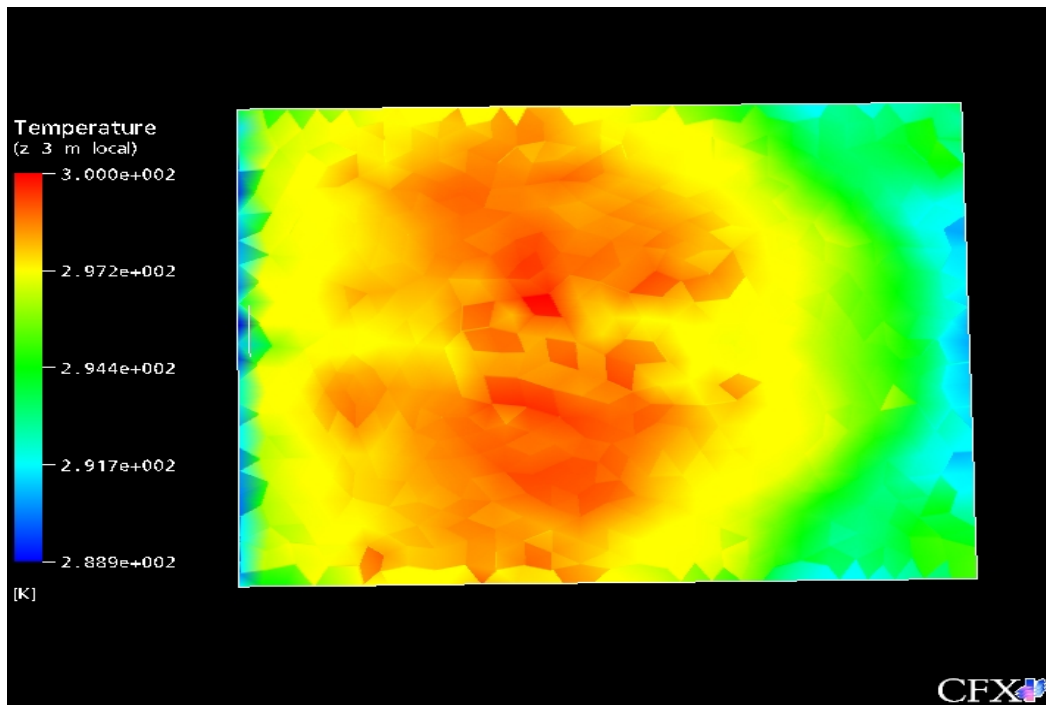
Αρχικά, παρατίθενται εικόνες στις οποίες η κλιματιστική μονάδα βρίσκεται πάνω από το παράθυρο και στη συνέχεια εικόνες στις οποίες η κλιματιστική μονάδα βρίσκεται στην οροφή του δωματίου.

### 6.1 Κλιματιστική μονάδα τοποθετημένη πάνω από το παράθυρο

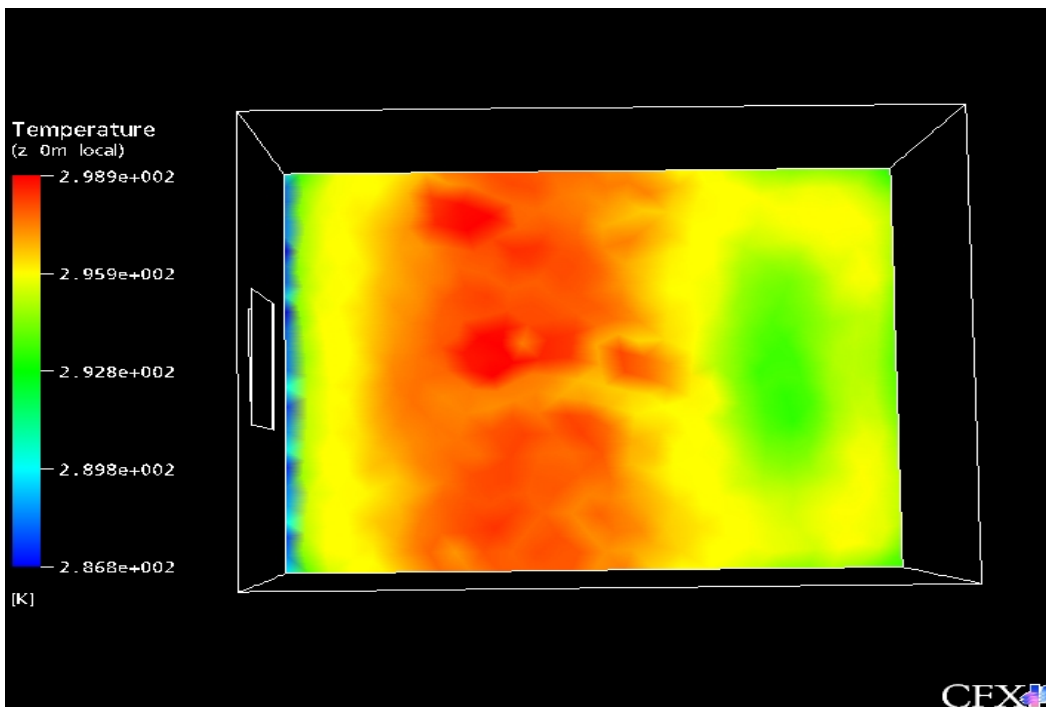
Στην Εικόνα φαίνονται οι κύριες γραμμές ροής της δέσμης μέσα στο δωμάτιο. Στις Εικόνες 7 και 8 παρουσιάζονται το θερμοκρασιακό πεδίο του αέρα στην οροφή και στο πάτωμα του δωματίου αντίστοιχα. Στις Εικόνες 9 και 10 μπορούμε να δούμε τη μεταβολή των θερμοκρασιών στην Z και στη X κατεύθυνση αντίστοιχα. Στην Εικόνα 11 φαίνεται το το προφίλ ταχυτήτων στο επίπεδο  $Y=0$  m.



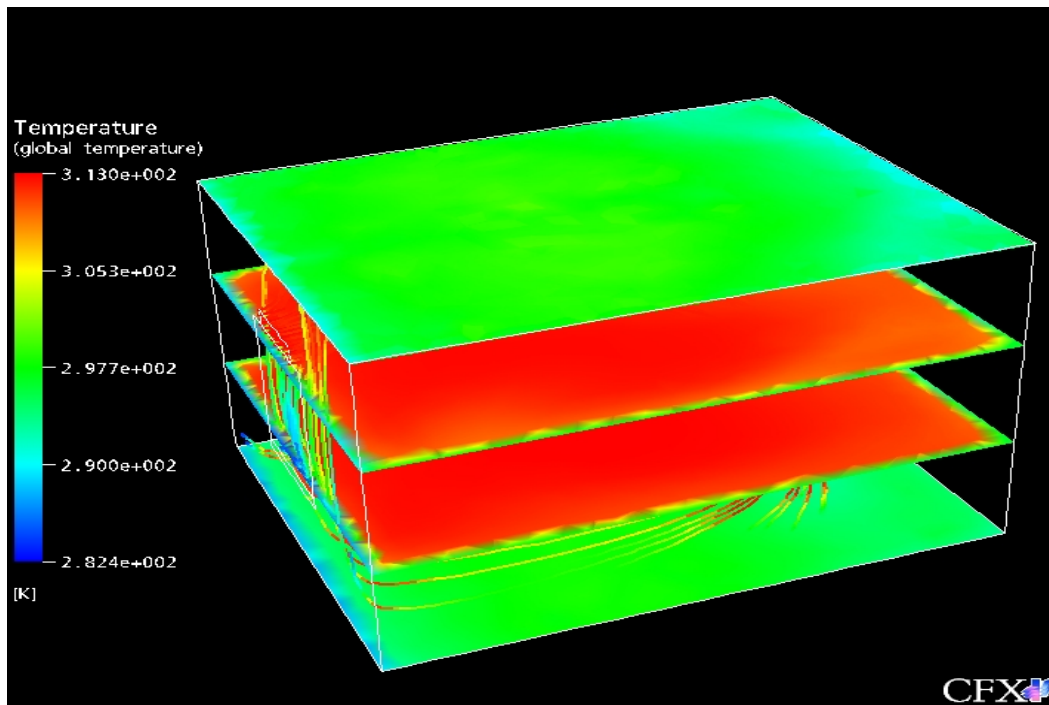
Εικόνα 6 Ροή του αέρα στο δωμάτιο



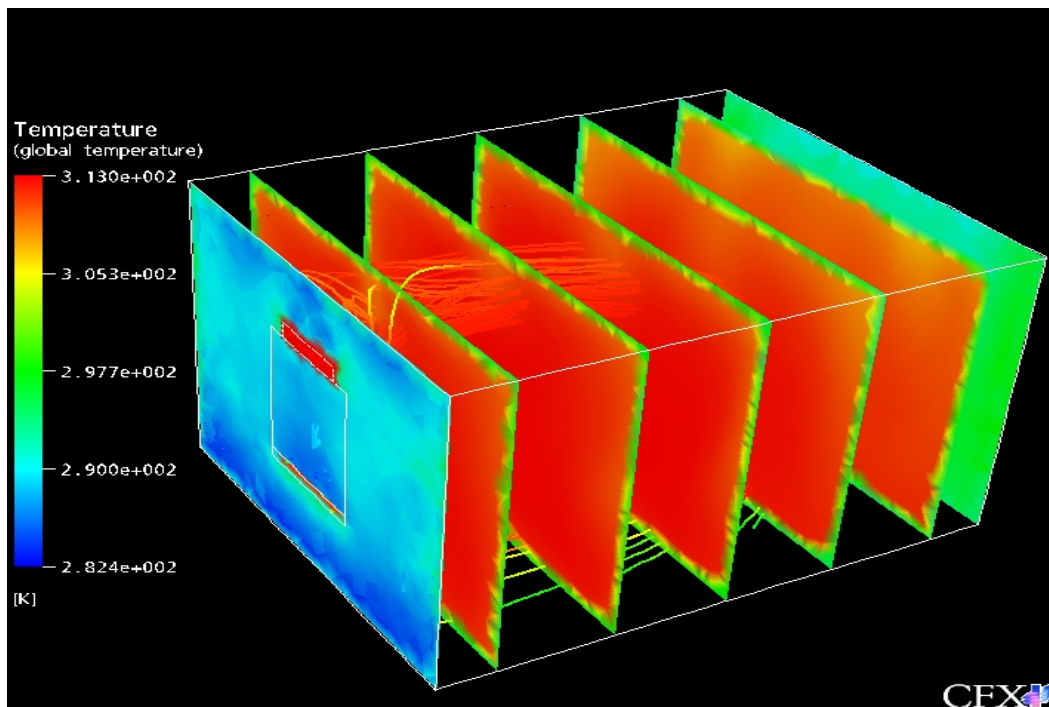
**Εικόνα 7** Κατανομή θερμοκρασίας στην οροφή του δωματίου(τοπικά)



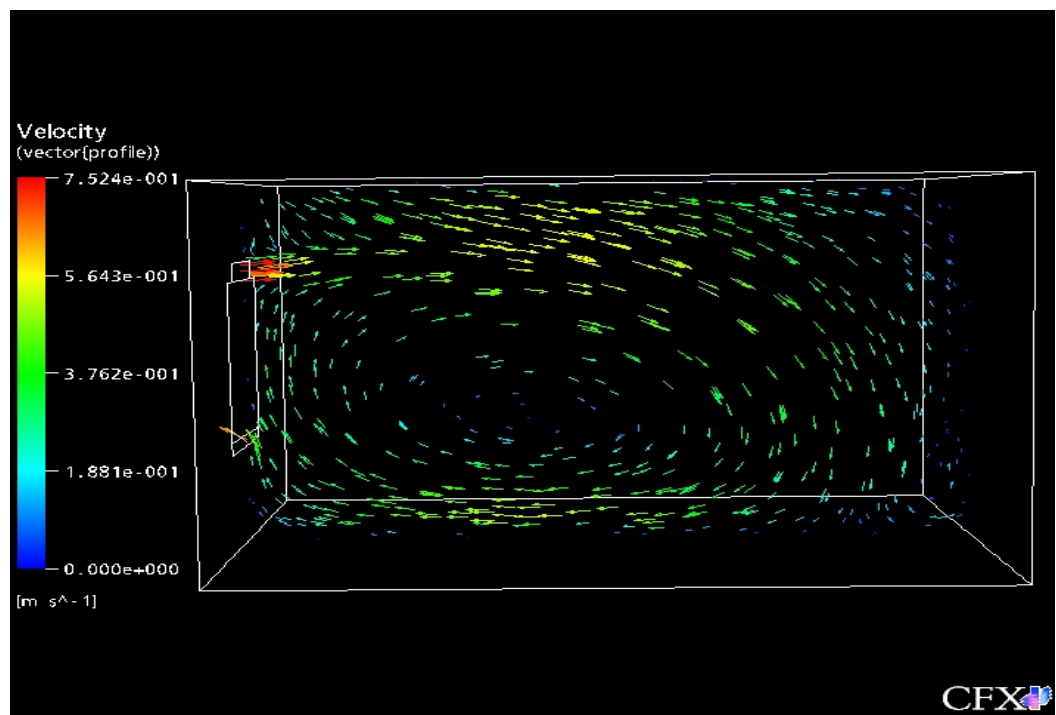
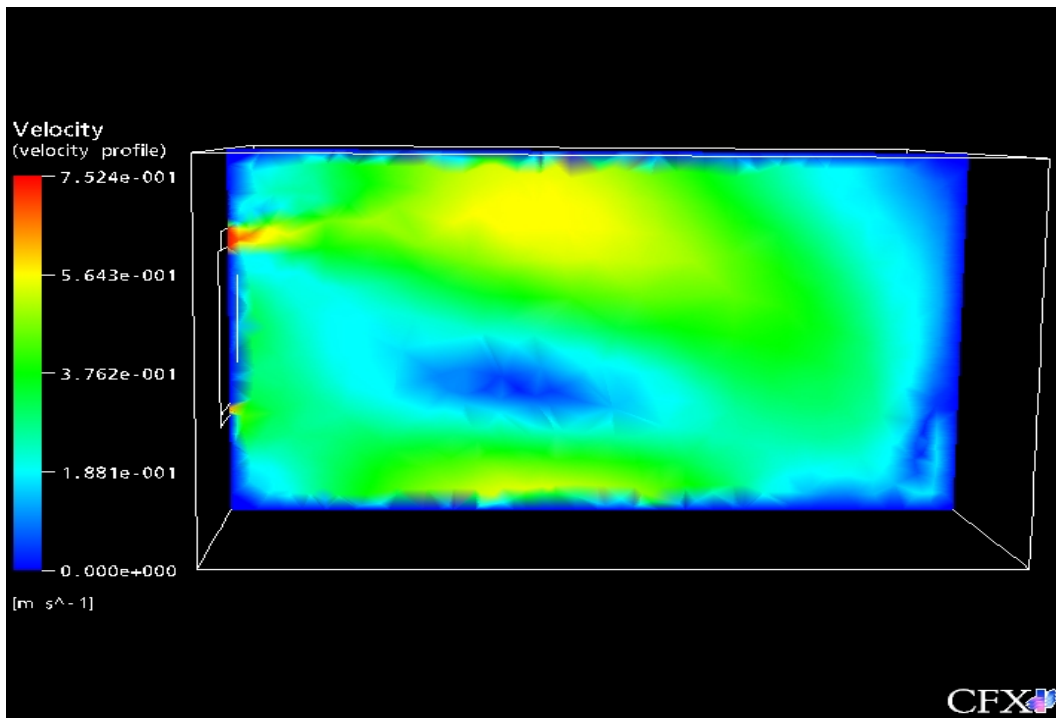
**Εικόνα 8** Κατανομή θερμοκρασίας στο δάπεδο του δωματίου(τοπικά)



**Εικόνα 9** Κατανομή θερμοκρασίας στο δωμάτιο στη κατεύθυνση Z



**Εικόνα 10** Κατανομή θερμοκρασίας στο δωμάτιο στη κατεύθυνση X

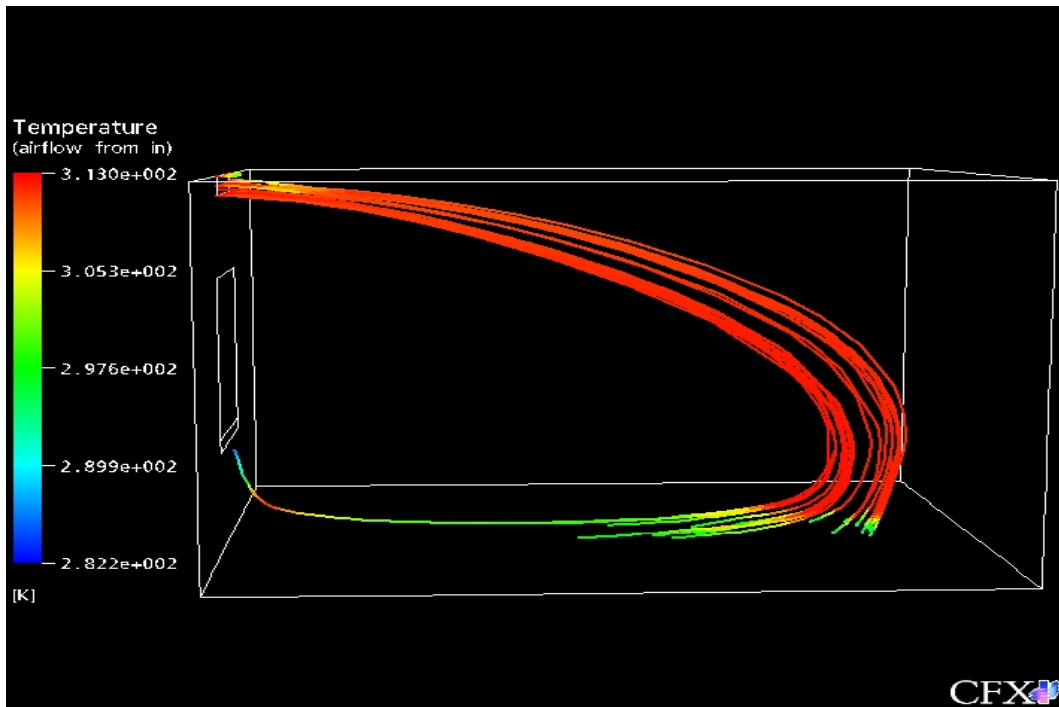


**Εικόνα 11** Προφίλ ταχυτήτων

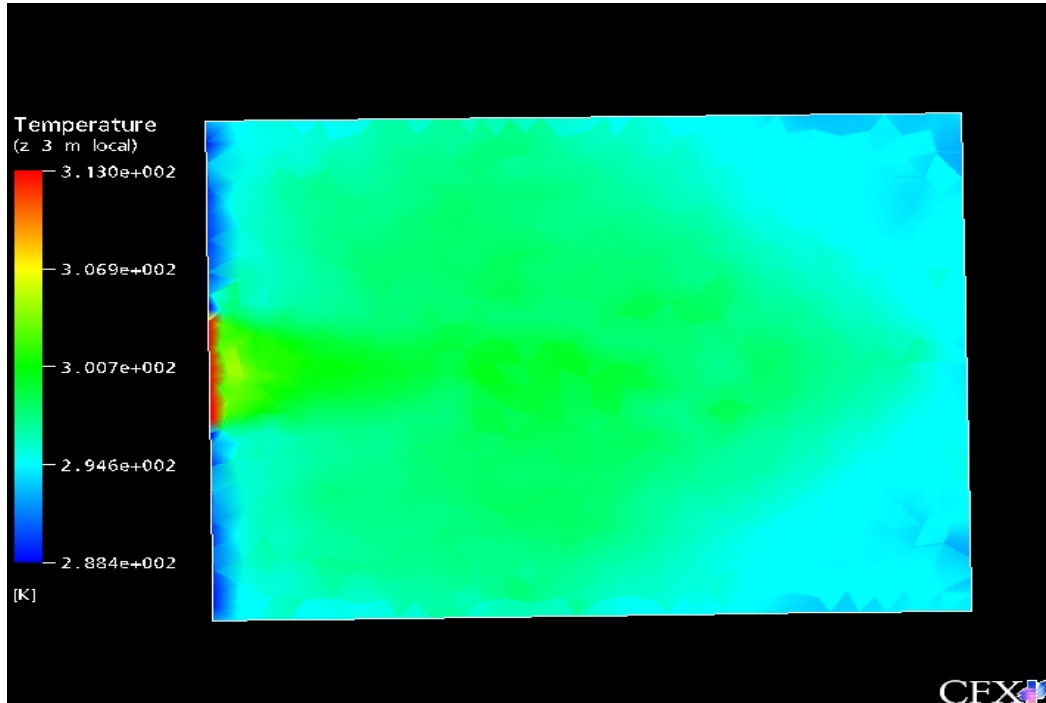
## **6.2 Η κλιματιστική μονάδα είναι τοποθετημένη στην οροφή του δωματίου**

Στην Εικόνα φαίνονται οι κύριες γραμμές ροής της δέσμης μέσα στο δωμάτιο. Στις Εικόνες 12 και 13 παρουσιάζονται το θερμοκρασιακό πεδίο του αέρα στην οροφή και στο πάτωμα του δωματίου αντίστοιχα. Στις Εικόνες 14 και 15 μπορούμε να δούμε τη μεταβολή των θερμοκρασιών στην Z και στη X κατεύθυνση αντίστοιχα.

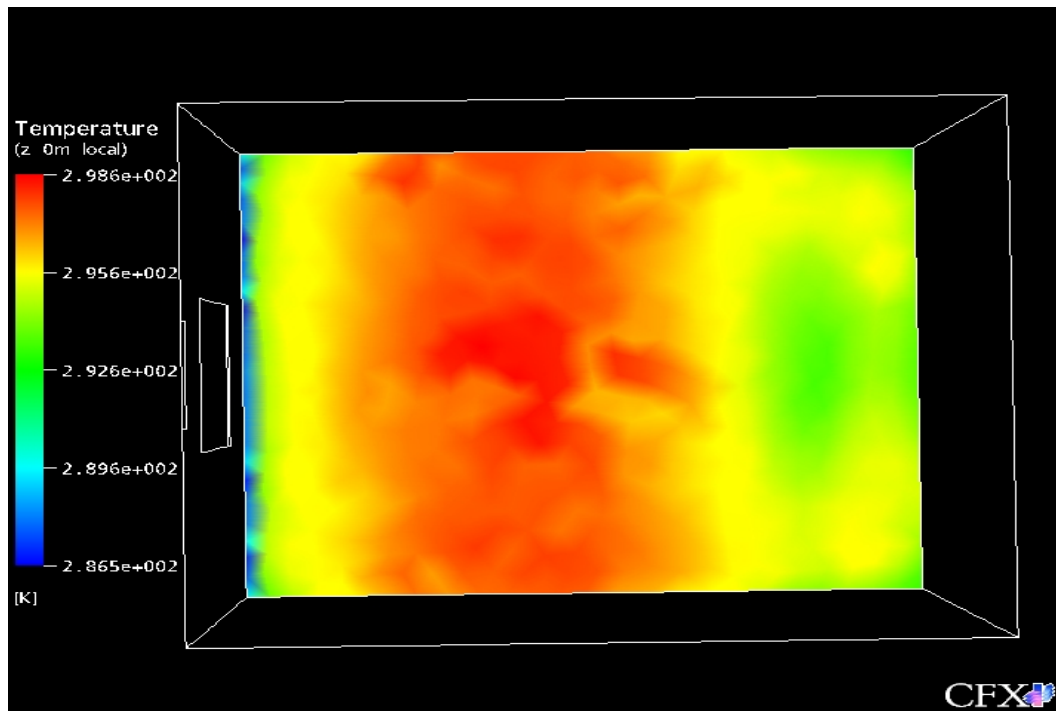
Στην Εικόνα 16 φαίνεται το το προφίλ ταχυτήτων στο επίπεδο  $Y=0$  m.



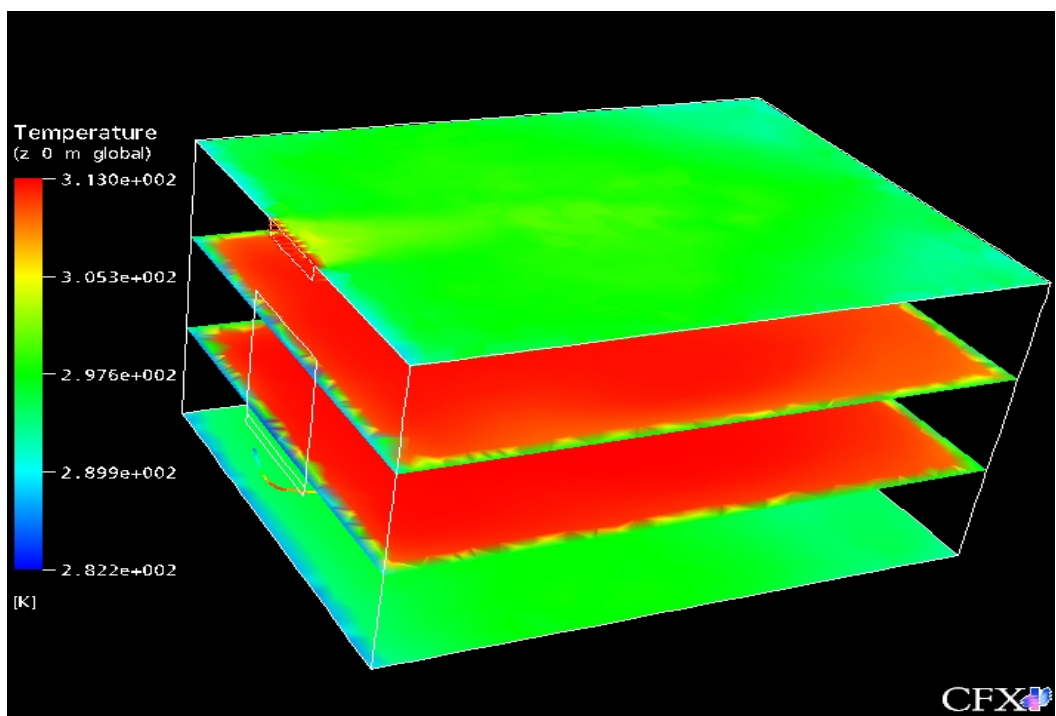
**Εικόνα 12** Ροή του αέρα στο δωμάτιο



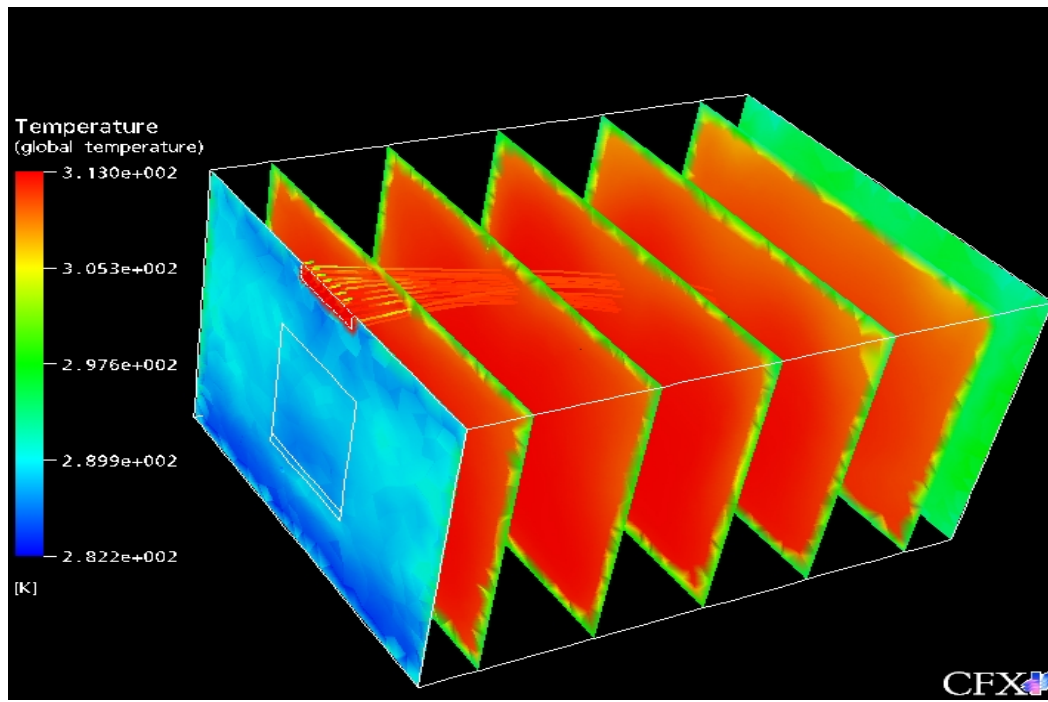
**Εικόνα 13** Κατανομή θερμοκρασίας στην οροφή του δωματίου(τοπικά)



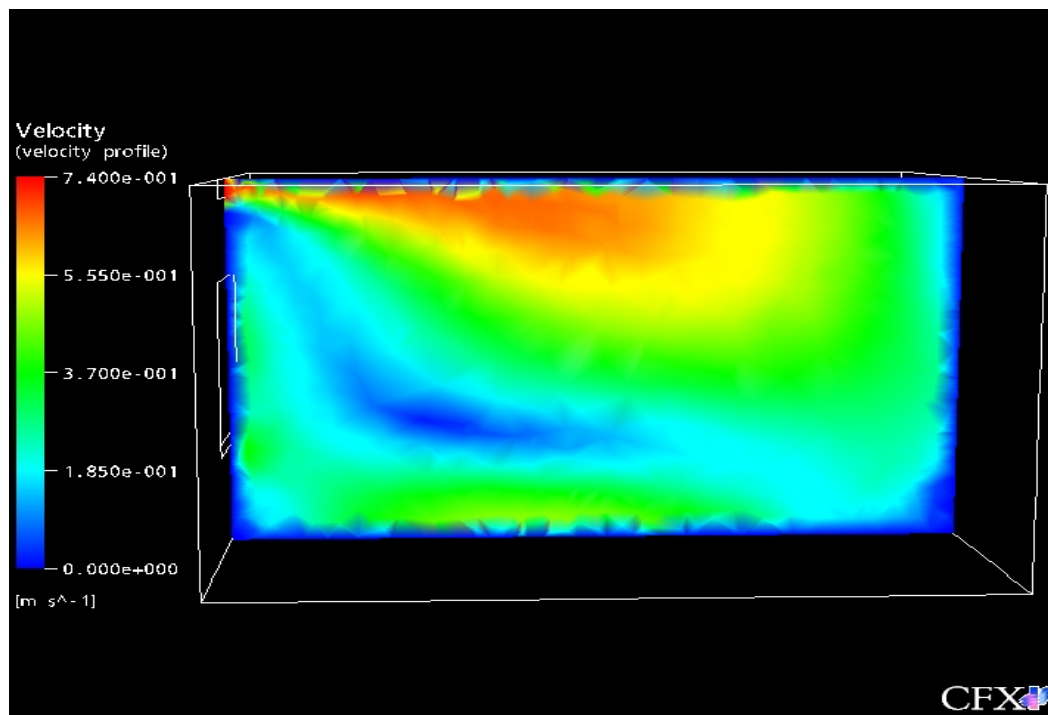
**Εικόνα 14** Κατανομή θερμοκρασίας στο δάπεδο του δωματίου(τοπικά)



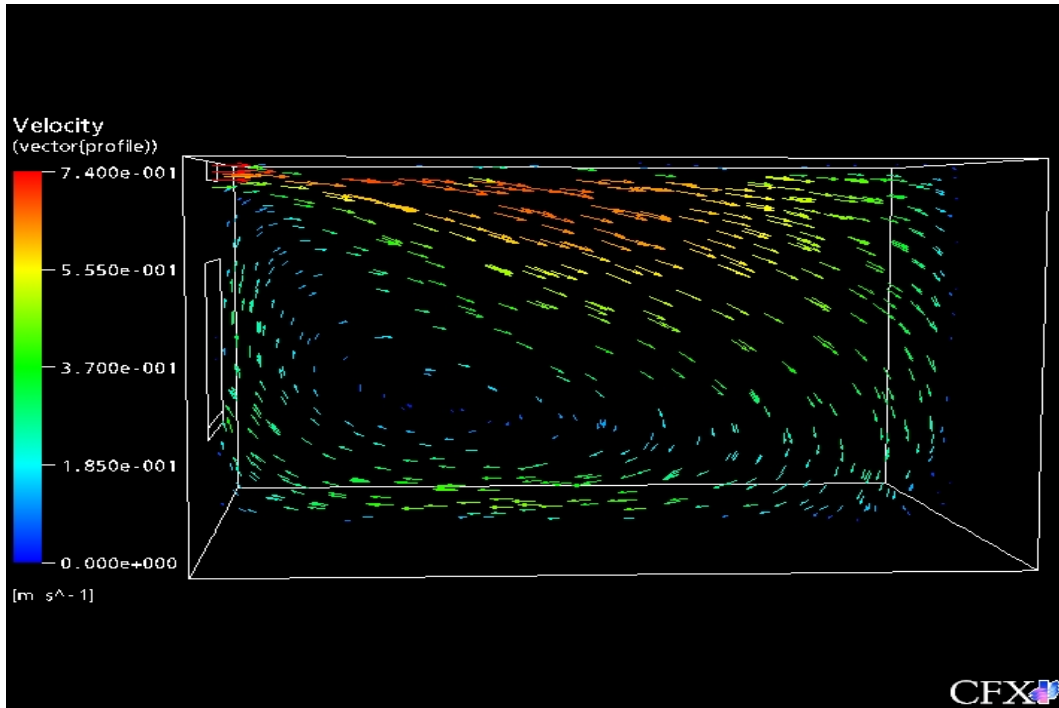
**Εικόνα 15** Κατανομή θερμοκρασίας στο δωμάτιο στη κατεύθυνση Z



**Εικόνα 16** Κατανομή θερμοκρασίας στο δωμάτιο στη κατεύθυνση X



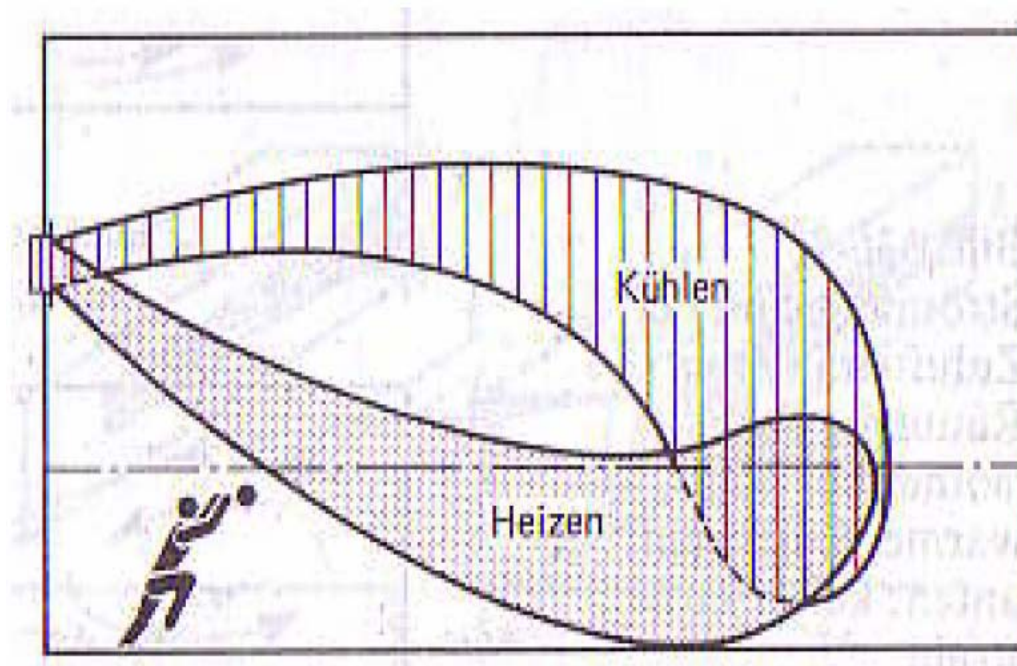


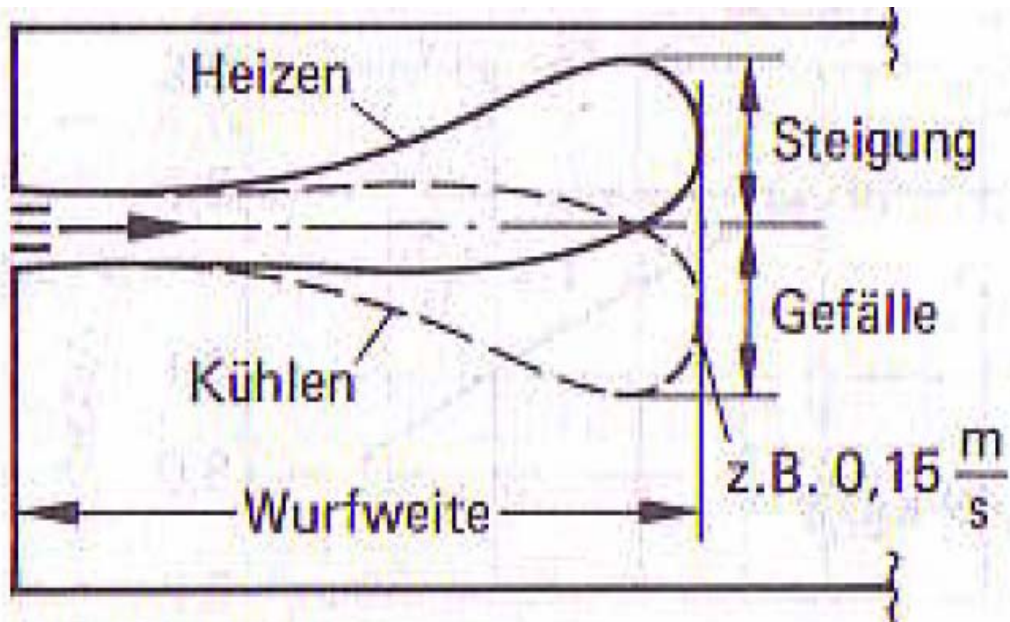


**Εικόνα 17** Προφίλ ταχυτήτων

## 7 Συζήτηση αποτελεσμάτων – διασταύρωση με προβλέψεις εμπειρικών σχέσεων

Στην ενότητα αυτή γίνεται διασταύρωση με τα αποτελέσματα εμπειρικών υπολογισμών με βάση τις γνώσεις του Κλιματισμού<sup>3</sup>. Ακολουθούν κάποιες εικόνες στις οποίες φαίνεται το σωστό προφίλ ταχυτήτων του αέρα κατά τη θέρμανση ενός δωματίου. Στην Εικόνα 19 απεικονίζεται μια σχέση, με την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε την ανύψωση της δέσμης αέρα σε οποιαδήποτε απόσταση X από την είσοδο.





**Εικόνα 18** Προφίλ ταχυτήτων αέρα

$$\text{ebener Strahl: } \frac{Y}{h} = \frac{X}{h} \cdot \text{tg}\alpha \pm 0,4 \cdot \sqrt{m} \cdot \text{Ar} \left( \frac{X}{h \cdot \text{cosa}} \right)^{2,5} = \pm 0,006 \frac{\Delta t \cdot h}{v_0^2} \cdot \left( \frac{X}{h} \right)^{2,5}$$

allgemein Raum 20 °C; m = 0,2; α = 0°

**Εικόνα 19** Σχέση προσδιορισμού της ανύψωσης

Από τις Εικόνες 6 και 12 προκύπτουν τα ακόλουθα: Στην 1<sup>η</sup> περίπτωση επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του αέρα στο δωμάτιο ενώ στη 2<sup>η</sup> περίπτωση όχι.. Παρατηρώντας αυτές τις εικόνες βλέπουμε ότι οι γραμμές ροής οι οποίες κυκλοφορούν στο δωμάτιο και καταλήγουν στην έξοδο είναι περισσότερες όταν το κλιματιστικό βρίσκεται πάνω από το παράθυρο και όχι όταν αυτό είναι τοποθετημένο στην οροφή του δωματίου.

Ακόμη, σύμφωνα με τις Εικόνες 7 και 13 ο αέρας κοντά στην οροφή του δωματίου θερμαίνεται περισσότερο όταν το κλιματιστικό βρίσκεται τοποθετημένο στην εναλλακτική θέση ενώ σύμφωνα με τις Εικόνες 8 και 14 ο αέρας κοντά στο πάτωμα θερμαίνεται περισσότερο όταν το κλιματιστικό βρίσκεται πάνω από το παράθυρο. Τα αποτελέσματα αυτά τα περιμέναμε διότι τοποθετώντας την κλιματιστική μονάδα στην οροφή του δωματίου εμποδίζεται η ροή της δέσμης εισόδου και αναγκάζεται να κινηθεί παράλληλα με την οροφή μέχρι να συναντήσει τον απέναντι τοίχο και να επιχειρήσει τότε να κυκλοφορήσει στο δωμάτιο. Κυκλοφορία αέρα δεν υπάρχει με συνέπεια ο αέρας να θερμαίνεται τοπικά σε μία περιοχή κοντά στην οροφή και όχι ομοιόμορφα σε όλο το δωμάτιο. Από την άλλη τοποθετώντας τη μονάδα πάνω από το παράθυρο, επιτρέπουμε στον αέρα να ακολουθήσει την επιθυμητή πορεία η οποία φαίνεται στην Εικόνα 18. Ο αέρας εισέρχεται στο δωμάτιο και ανυψώνεται σύμφωνα με τη σχέση στην Εικόνα 19. Στο μέσο του δωματίου έρχεται σε επαφή με την οροφή αυτού (προκύπτει από την σχέση στην Εικόνα 19) και στη συνέχεια κατευθύνεται προς τον απέναντι τοίχο, το πάτωμα και τελικά την έξοδο. Υπάρχει κυκλοφορία αέρα μέσα στο δωμάτιο. Με το τρόπο αυτό ο αέρας του δωματίου θερμαίνεται ομοιόμορφα

## 8 Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το κλιματιστικό πρέπει να τοποθετείται πάνω από το παράθυρο και όχι στην οροφή του δωματίου διότι τότε μόνο ο αέρας κυκλοφορεί μέσα στο δωμάτιο και θερμαίνεται ομοιόμορφα.

## 9 Προτάσεις σχετικά με την εισαγωγή εμπορικού λογισμικού στα Προπτυχιακά

Η συγκεκριμένη εργασία έγινε στα πλαίσια της Αναμόρφωσης του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, και ξεκίνησε στις αρχές Δεκεμβρίου 2006. Οι γνώσεις μου περιελάμβαναν τα βασικά μαθήματα του Τμήματος και του Τομέα Ενέργειας μέχρι το 7<sup>ο</sup> εξάμηνο, που ήταν το τρέχον. Στο τρέχον εξάμηνο είχε σχεδόν ολοκληρωθεί η διδασκαλία του μαθήματος Υπολογιστικές Μέθοδοι στην Ενεργειακή Περιοχή (MM710), όπου είχα εισαχθεί στις βασικές αρχές.

Οι βασικές δυσκολίες που συνάντησα κατανέμονται σε δυο κατηγορίες:

**Δημιουργία γεωμετρίας και υπολογιστικού πλέγματος:** Το πρόβλημα που αντιμετώπισα ήταν στον ορισμό της επιφάνειας walls1 (αυτός είναι ο τοίχος στον οποίο βρίσκονται το παράθυρο και οι διατομές εισόδου και εξόδου). Η λύση τελικά ήταν ο ορισμός της επιφάνειας χωρίς να συμπεριλάβεις σε αυτή τις προαναφερθείσες διατομές. Επόμενο πρόβλημα ήταν η δημιουργία του σωστού υπολογιστικού πλέγματος. Αρκέτα πράγματα για αυτό το θέμα αναφέρθηκαν στην ενότητα 3.3, εν συντομία αναφέρω ότι το πρόβλημα λύθηκε δημιουργώντας πυκνό πλέγμά δίνοντας δηλαδή μικρές διαστάσεις στα elements που το απαρτίζουν.

**Ορισμός Οριακών Συνθηκών:** Το τελευταίο πρόβλημα το οποίο είχα να αντιμετωπίσω ήταν ο ορισμός των οριακών συνθηκών στις επιφάνειες του δωματίου.

Ο χρόνος ενασχόλησης που χρειάστηκε για να φτάσω στο σημείο να φέρω εις πέρας τη συγκεκριμένη μελέτη κατανέμεται ως εξής:

Δημιουργία γεωμετρίας: 18 ώρες

Δημιουργία υπολογιστικού πλέγματος: 72 ώρες

Ορισμός οριακών συνθηκών: 72 ώρες

Και ήταν ελεύθερος χρόνος που μου απέμενε απογεύματα και βράδια..

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρω ότι για να φθάσω στο σημείο να ασχοληθώ με αυτό το πρόβλημα, προηγουμένως είχα επιλύσει κάποια tutorials του προγράμματος τα οποία συνέβαλαν στην εξοικείωσή μου με το περιβάλλον αυτού.

## 10 Βιβλιογραφία

---

<sup>1</sup> Tutorial Manual ICEM CFD 4

<sup>2</sup> Tutorials CFX 5.7

<sup>3</sup> Recknagel, Sprenger: Heizung + Klima Technik Oldenbourg Verlag 1995.