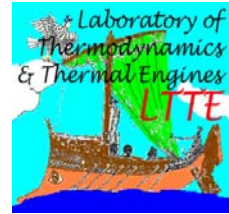




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Λ. Αθηνών - Πεδίον Αρεως, 383 34 ΒΟΛΟΣ
<http://www.mie.uth.gr/labs/ltte/info.htm>



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ & ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ
Διευθυντής: Καθηγητής Α.Μ. Σταματέλλος



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης

ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΠΣ: ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Μοντελοποίηση ροής και μετάδοσης θερμότητας σε αερολέβητα ισχύος 35,000 kcal/h με τη βοήθεια υπέρυθρης θερμογραφίας (ThermaCAM S45) και Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (ANSYS CFX)

Συντάκτης:
Δ. Τζιουρτζιούμης

Βόλος Ιανουάριος 2008

1 Εισαγωγή – Βιβλιογραφική έρευνα

Οι εφαρμογές των εμπορικών κωδίκων υπολογιστικής ρευστοδυναμικής είναι πλατειά διαδεδομένες στη βιομηχανία, μετά από τις σημαντικές βελτιώσεις που έχουν γίνει στα υπολογιστικά εργαλεία την τελευταία 20ετία. Οι εφαρμογές σε βιομηχανικούς λέβητες έχουν αυξηθεί κι αυτές σημαντικά τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα για μελέτη υψηλής ισχύος εξοπλισμού, της τάξης των εκατοντάδων MW [1]. Στις περιπτώσεις αυτές η έμφαση δίδεται κυρίως στην πλευρά του θαλάμου καύσης, και μάλιστα εσχάτως μελετώνται και τα φαινόμενα έναυσης σε δύσκολες τεχνολογίες όπως η καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένες κλίνες.

Από την άλλη πλευρά, παρατηρείται ότι οι δυνατότητες του CFD για υποστήριξη σχεδιασμού μικρότερων μονάδων, δεν αξιοποιούνται ακόμη σε σημαντικό βαθμό, ενδεχόμενα επειδή η διεξόδυση των δεξιοτήτων χρήσης λογισμικού CFD στους μηχανικούς δεν έχει φτάσει ακόμη στον απαιτούμενο βαθμό, και απαιτούνται σημαντικές ανθρωποώρες υπολογιστικής εργασίας που δεν μπορούν να επενδυθούν από μικρότερες κατασκευαστικές επιχειρήσεις.

Το αποτέλεσμα των παραπάνω είναι ότι μικροί λέβητες εξακολουθούν να κατασκευάζονται και να σχεδιάζονται με τον παραδοσιακό τρόπο, με εμπειρικά μόνο βήματα βελτιώσεων. Αυτό όμως ενώ δίνει εν γένει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην περίπτωση των υδραυλικών λεβήτων κεντρικής θέρμανσης, φαίνεται ότι έχει ακόμη σημαντικά περιθώρια βελτίωσης στην περίπτωση των αερολεβήτων.

Η συγκεκριμένη εργασία έγινε μετά από παρακίνηση ενός μικρού κατασκευαστή αερολεβήτων [2], ο οποίος επιθυμεί να βελτιώσει το σχεδιασμό της σειράς μικρών αερολεβήτων που παράγει (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 Ο αερολέβητας ισχύος 35,000 kcal/h (κλειστός)



Εικόνα 2 Ο αερολέβητας 35,000 kcal/h (με αφαίρεση του πρόσθιου καλύμματος του εναλλάκτη και της σχάρας εισόδου του ανεμιστήρα)

Οι επιθυμητές βελτιώσεις επικεντρώνονται στη γεωμετρία του θαλάμου καύσης και των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας μεταξύ καυσαερίων – αέρα αεροθέρμανσης. Συγκεκριμένα, ενδιαφέρει να διερευνηθεί εάν μπορεί να βελτιστοποιηθεί η θέση και οι διαστάσεις του στομίου εξόδου του ανεμιστήρα που παρέχει τον αέρα για την αεροθέρμανση, οι διαστάσεις του αναπτύγματος του κεντρικού θαλάμου καύσης και των αυλών και συλλεκτών μέχρι την καπνοδόχο κτλ.

Επειδή πάντοτε η εφαρμογή του CFD θα πρέπει να υποβοηθείται από κάποιες μετρήσεις αναφοράς, οι οποίες θα απαιτούσαν τον εξοπλισμό ενός πρωτοτύπου με αισθητήρες θερμοκρασίας, πίεσης και ταχύτητας αέρα, μεταξύ άλλων, στη συγκεκριμένη περίπτωση, η πρόοδος της μελέτης καθυστέρησε σημαντικά. Όμως από το τέλος του 2007 αποκτήθηκε πρόσβαση του Εργαστηρίου σε θερμογραφική κάμερα υπέρυθρων, με αποτέλεσμα να είναι δυνατόν να γίνει συγκεκριμένης μορφής πειραματική επιβεβαίωση με μικρή σχετικά επιπλέον κατασκευαστική προσπάθεια.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης, ο συνδυασμός του CFD με την τεχνική της υπέρυθρης θερμογραφίας, στην συγκεκριμένη περίπτωση του αερολέβητα, έδωσε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα και βοήθησε σημαντικά τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των αερολεβήτων της συγκεκριμένης σειράς.

2 Μεθοδολογία επίλυσης του προβλήματος

Εξαιτίας της φύσης του προβλήματος, καταλήξαμε να πραγματοποιηθεί η μελέτη με τα εξής βήματα:

1. Διεξαγωγή μετρήσεων βαθμού απόδοσης και λόγου αέρα στον αερολέβητα, στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας του, σε μόνιμη κατάσταση.
2. Διεξαγωγή μετρήσεων με υπέρυθρη θερμογραφία, ώστε να καταγραφεί το θερμοκρασιακό πεδίο στο τμήμα της επιφανείας εναλλαγής θερμότητας του λέβητα που γίνεται ορατό όταν αφαιρεθεί το πρόσθιο κάλυμμα (Εικόνα 2).
3. Διεξαγωγή μετρήσεων με χαμηλού κόστους ανεμόμετρο θερμού σύρματος σε όλο το εύρος του στομίου εξόδου του αεραγωγού του αερολέβητα, ώστε να υπάρχουν ενδεικτικές τιμές της διακύμανσης της ταχύτητας και θερμοκρασίας αέρα στην έξοδο.
4. Διεξαγωγή μετρήσεων με χαμηλού κόστους ανεμόμετρο θερμού σύρματος σε ένα κάθετο στη ροή επίπεδο στο εσωτερικό του αερολέβητα ώστε να καταγραφεί το πεδίο ταχυτήτων σε αυτή
5. Παραγωγή solid model της περιοχής εναλλαγής θερμότητας του αερολέβητα με βάση σχέδια σε ProEngineer που μας παρέδωσε ο κατασκευαστής (ANSYS ICEM).

6. Παραγωγή κατάλληλου υπολογιστικού πλέγματος στον συνολικό όγκο ελέγχου στον οποίο αναπτύσσεται το ροϊκό πεδίο του αέρα αεροθέρμανσης (ANSYS ICEM).
7. Παραγωγή οριακών συνθηκών ροής και μετάδοσης θερμότητας στα όρια του όγκου ελέγχου (CFX Pre). Όσον αφορά τη μετάδοση θερμότητας από την επιφάνεια εναλλαγής προς τον αέρα αεροθέρμανσης, χρησιμοποιείται στην αρχική αυτή φάση, οριακή συνθήκη σταθερών θερμοκρασιών στα διάφορα τμήματα της επιφάνειας εναλλαγής, που λαμβάνονται από τα θερμογραφήματα. Όσον αφορά την παροχή αέρα εισόδου, αυτή εκτιμάται προσεγγιστικά με βάση τις χαρακτηριστικές του ανεμιστήρα, και διορθώνεται με επαναληπτική προσέγγιση ώστε να επιτευχθεί συμφωνία πειράματος – υπολογισμού όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση στο στόμιο εξόδου του αερολέβητα.
8. Επίλυση των εξισώσεων του τρισδιάστατου ροϊκού πεδίου σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας με το μοντέλο k-ε (CFX Solver).
9. Οπτικοποίηση – παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε μορφή ροϊκών γραμμών και πεδίων κατανομής θερμοκρασιών και ταχυτήτων (CFX Post).
10. Εξαγωγή αρχείων αποτελεσμάτων στις διατομές εισόδου – εξόδου του όγκου ελέγχου, για έλεγχο ισοζυγίων μάζας και ενέργειας (επεξεργασία αρχείων εξόδου του CFX Post).
11. Σε περίπτωση που με διαδοχικές επαναλήψεις βρεθεί συμφωνία πειράματος – υπολογισμού όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση στο στόμιο εξόδου του αερολέβητα, οριστικοποιούμε την παροχή αέρα και πλέον μπορούμε να τρέξουμε ξανά τη συγκεκριμένη περίπτωση, αλλάζοντας μόνο της θέση – διαστάσεις θυρίδας εισόδου αέρα, αλλά ακόμη, σε μικρό βαθμό, και τη γεωμετρία του θαλάμου – αυλών, ώστε να δοκιμάζονται υπολογιστικά διάφορες βελτιώσεις στο σχεδιασμό.

3 Διαδικασία επίλυσης του προβλήματος

3.1 Διεξαγωγή μετρήσεων βαθμού απόδοσης και λόγου αέρα

Στη φάση αυτή έγιναν μετρήσεις βαθμού απόδοσης και λόγου αέρα στον αερολέβητα, στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας του, σε μόνιμη κατάσταση.

Η πειραματική διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε είναι η ακόλουθη: Αρχικά τοποθετούνται στην καπνοδόχο 2 θερμοστοιχεία τύπου K και ο αισθητήρας λ (UEGO) και ενεργοποιείται ο υπολογιστικός κώδικας στο πρόγραμμα LABVIEW. Στη συνέχεια τίθεται σε λειτουργία ο αερολέβητας. Μετά από λίγα λεπτά, αφού έχει σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία λειτουργίας (κατάσταση ισορροπίας) ξεκινάνε οι μετρήσεις **(θερμοκρασίας καυσαερίων, περισσειας αέρα, δείκτη αιθάλης)**. Συνολικά έγιναν 7 μετρήσεις με διαφορετικές ρυθμίσεις, ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη με την οποία και συνεχίστηκαν οι μετρήσεις αξιολόγησης.

Αξίζουν να σημειωθούν τα ακόλουθα: α) ο χρόνος μεταξύ ρύθμισης και μέτρησης είναι 2 λεπτά (2 min) και β) όλες οι μετρήσεις γίνονται έχοντας αφαιρέσει το εξωτερικό μονωτικό τμήμα (καπάκι) του αερολέβητα.

Ο βαθμός απόδοσης του αερολέβητα υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$n = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_B H_u} = \frac{\dot{m}_B H_u - \dot{m}_v \overline{C_p T_v}}{\dot{m}_B H_u} \Leftrightarrow$$

$$n = 1 - \frac{\dot{m}_v \overline{C_p T_v}}{\dot{m}_B H_u} \Leftrightarrow$$

$$n = 1 - \frac{(1 + \lambda L_{\min}) \overline{C_p T_v}}{H_u}$$

Στους πίνακες 1 και 2 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα πρωτόκολλα μετρήσεων και ο βαθμός απόδοσης αντίστοιχα:

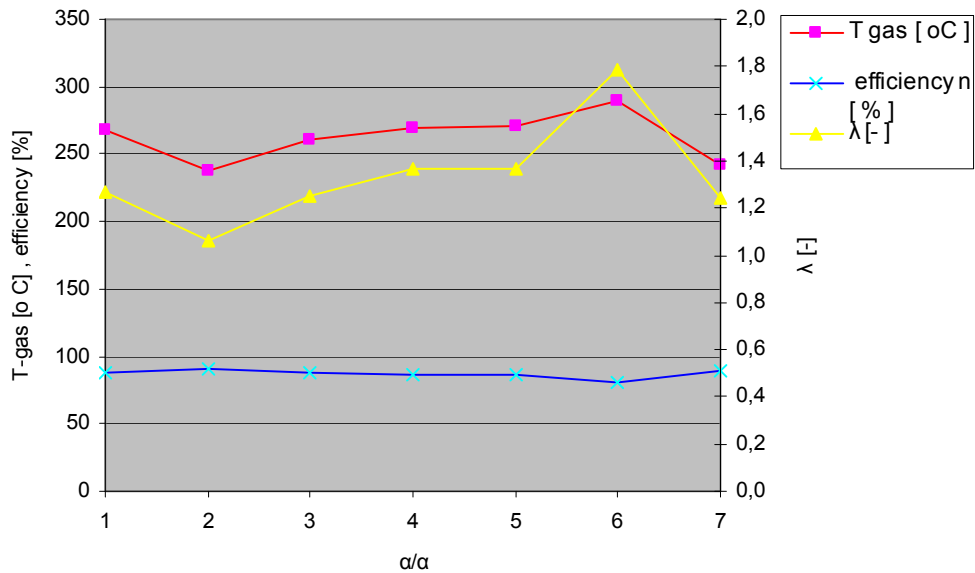
Πίνακας 1 Πρωτόκολλο μετρήσεων

α/α	T gas [°C]	λ [-]
1	268	1,27
2	237	1,07
3	261	1,25
4	270	1,37
5	271	1,37
6	289	1,79
7	242	1,24

Πίνακας 2 Βαθμός απόδοσης efficiency , n [%]

α/α	efficiency , n [%]
1	87,5
2	90,7
3	88,0
4	86,5
5	86,4
6	81,2
7	89,0

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων:



Γράφημα 1 λ , T_{καυσαερίων} , n

Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης εμφανίζεται στη μέτρηση 2 , αλλά το σημείο λειτουργίας δεν είναι αποδεκτό λόγω υψηλής εκπομπής αιθάλης, γι' αυτό επιλέχτηκε τελικά ως βέλτιστο σημείο το σημείο 3, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

max efficiency, η [%]	T gas [oC]	λ [-]
88,0	261	1,25

3.2 Μετρήσεις με υπέρυθρη θερμογραφία

Στο τμήμα αυτό της εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με υπέρυθρη θερμογραφία, ώστε να καταγραφεί το θερμοκρασιακό πεδίο στο τμήμα της επιφανείας εναλλαγής θερμότητας του λέβητα που γίνεται ορατό όταν αφαιρεθεί το κάλυμμα (Εικόνα 2).

Η πειραματική διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε για την θερμογραφία του αερολέβητα είναι η ακόλουθη:

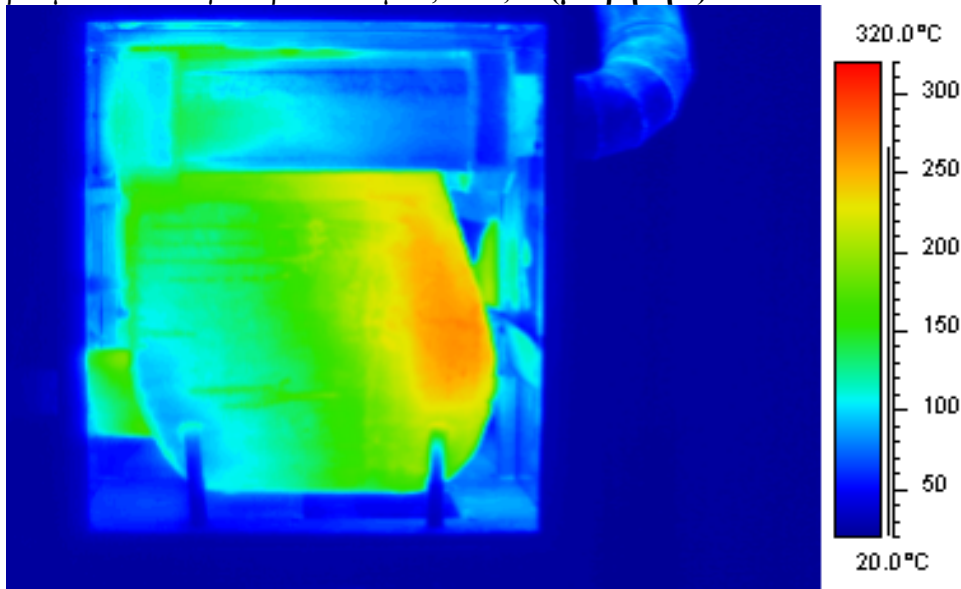
- Αρχικά τίθεται σε λειτουργία η θερμοκάμερα και επιχειρείται η τοποθέτηση της στη βέλτιστη δυνατή θέση, δηλαδή να εστιάζει κατευθείαν πάνω στον αερολέβητα.
- Στη συνέχεια ενεργοποιείται ο ηλεκτρονικός υπολογιστής και συνδέεται η κάμερα σε αυτόν (σύνδεση FIREWIRE).
- Τελικά γίνεται εκκίνηση του αερολέβητα, ο οποίος έχει ρυθμιστεί προηγουμένως (βλ. προηγούμενο κεφάλαιο) στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας του.
- Τέλος, με την εκκίνηση του προγράμματος THERMACAM Researcher εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή η υπέρυθρη εικόνα του αερολέβητα και μπορούν να ληφθούν περιοδικά θερμογραφήματα.

Η πειραματική διάταξη φαίνεται στην φωτογραφία που ακολουθεί:



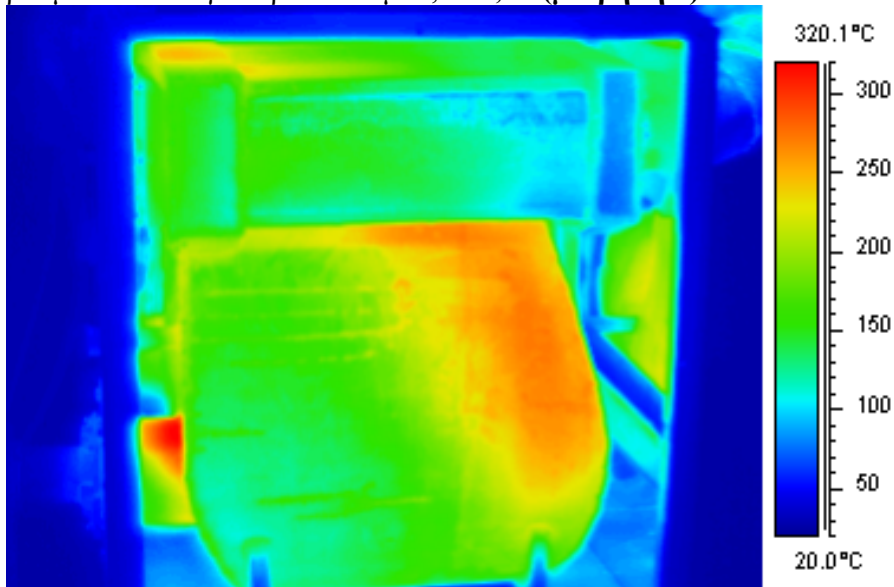
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται κατανομές θερμοκρασιών σε διάφορες περιοχές του αερολέβητα. Στην **Εικόνα 3** φαίνεται η κατανομή θερμοκρασιών σε όλη την επιφάνεια του αερολέβητα. Στις **Εικόνες 4** έως **5** φαίνονται οι κατανομές θερμοκρασιών σε διάφορες περιοχές του εναλλάκτη.

Στην **Εικόνα 3** παρουσιάζεται η κατανομή θερμοκρασιών στον αερολέβητα όταν έχει ρυθμιστεί σε λόγο αέρα καυσίμου, $\lambda=1,37$ (μέτρηση 5)



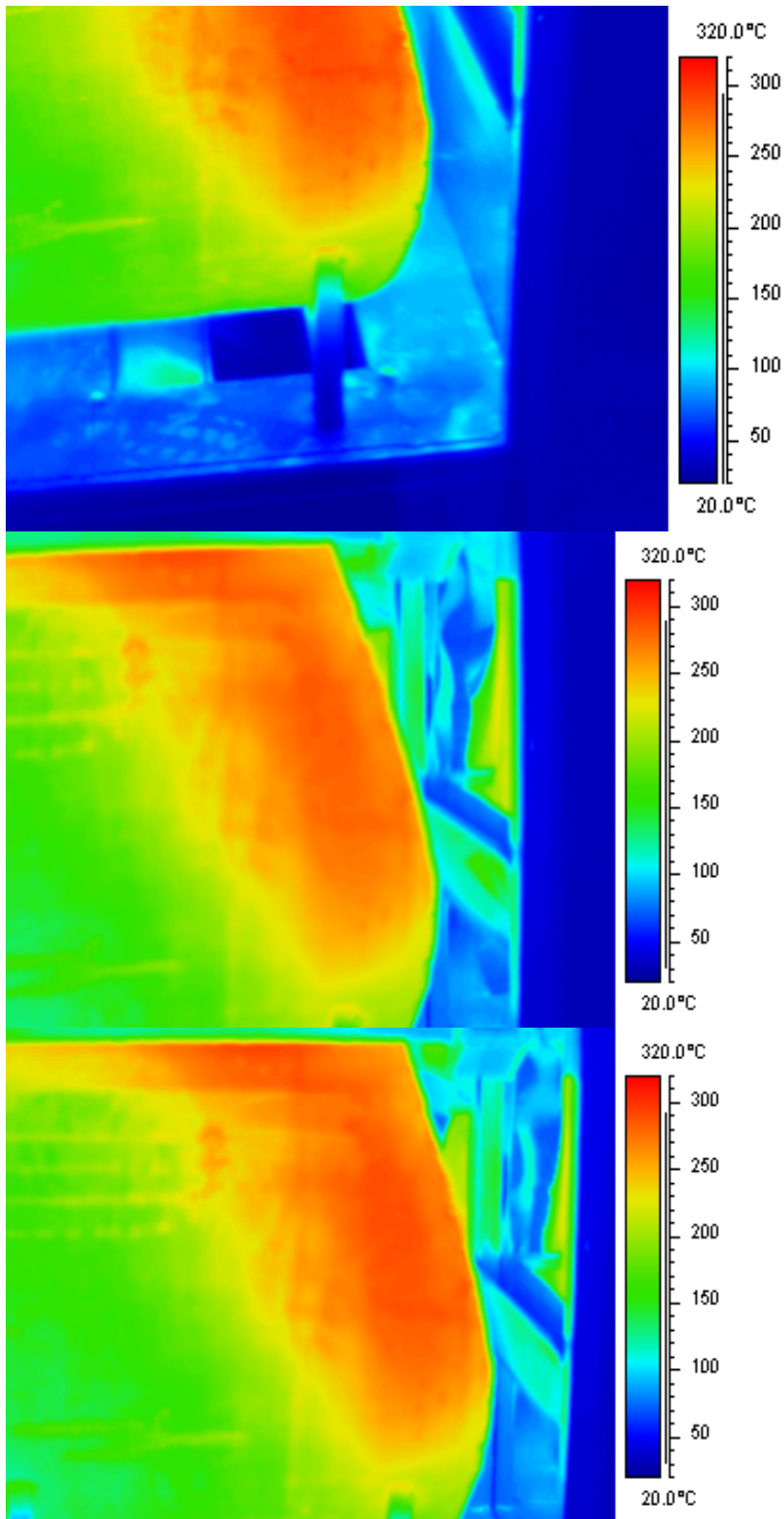
Εικόνα 3 Θερμογράφημα για τη μέτρηση 5

Στην **Εικόνα 4** παρουσιάζεται η κατανομή θερμοκρασιών στον αερολέβητα όταν έχει ρυθμιστεί σε λόγο αέρα καυσίμου, $\lambda=1,79$ (μέτρηση 6)



Εικόνα 4 Θερμογράφημα για τη μέτρηση 6

Στην **Εικόνα 5** παρουσιάζεται η κατανομή θερμοκρασιών στον αερολέβητα όταν έχει ρυθμιστεί σε λόγο αέρα καυσίμου, $\lambda=1,25$ (μέτρηση 7)



Εικόνα 5 Θερμογράφημα για τη μέτρηση 7

Από τις **Εικόνες 3** έως **5** και από την επεξεργασία τους μέσω του προγράμματος Thermacam Researcher [3] προκύπτουν τα ακόλουθα:

Η μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται στην **Εικόνα 4**, δηλαδή για τη μέτρηση 6:

$$T_{\max} = 325^{\circ}\text{C} \quad \text{για} \quad \lambda = 1,79 \quad T_{\text{gas}} = 289^{\circ}\text{C}$$

Η ελάχιστη θερμοκρασία εμφανίζεται στην **Εικόνα 3**, δηλαδή για τη μέτρηση 5:

$$T_{\max} = 270^{\circ}\text{C} \quad \text{για} \quad \lambda = 1,37 \quad T_{\text{gas}} = 271^{\circ}\text{C}$$

Από την επεξεργασία των θερμογραφημάτων επιλέχθηκαν και οι οριακές συνθήκες στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας:

Τούμπο εισόδου καυσαερίων: 160 °C

Εναλλάκτης 4 τούμπων: 140 °C

Τούμπο εξόδου καυσαερίων: 100 °C

Παρατηρώντας τις μετρήσεις (**Πίνακας 2**) συμπεραίνουμε ότι η καλύτερη ρύθμιση που επιτεύχθηκε (λαμβάνοντας υπόψη και το δείκτη αιθάλης) είναι: η 3^η μέτρηση με $\lambda = 1,254$ και θερμοκρασία καυσαερίων 261°C . Γνωρίζουμε ότι ένας λέβητας είναι σωστά ρυθμισμένος όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων του είναι περίπου 180°C με 200°C . Παρ'όλα αυτά δεν επιλέγουμε ως βέλτιστη ρύθμιση κάποια από τις 2 , 7 διότι ο δείκτης αιθάλης τους είναι μεγαλύτερος της μέτρησης 3.

Από τη **γραφική παράσταση 1** προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Οι γραμμές των $T - \text{gas}$ και λ είναι σχεδόν παράλληλες.
- Η θερμοκρασία καυσαερίων αυξάνεται με αύξηση του λ
- Στη μέτρηση 6 εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές των $\lambda = 1,8$ και $T_{\text{gas}} = 289^{\circ}\text{C}$.
- Στη μέτρηση 2 εμφανίζονται οι ελάχιστες τιμές των $\lambda = 1,1$ και $T_{\text{gas}} = 237^{\circ}\text{C}$.
- Η γραμμή του βαθμού απόδοσης είναι σχεδόν ευθεία.

3.3 Μετρήσεις στο στόμιο με ανεμόμετρο θερμού σύρματος

Διεξαγωγή μετρήσεων με χαμηλού κόστους ανεμόμετρο θερμού σύρματος σε όλο το εύρος του στομίου εξόδου του αεραγωγού του αερολέβητα, ώστε να υπάρχουν ενδεικτικές τιμές της διακύμανσης της ταχύτητας και θερμοκρασίας αέρα στην έξοδο.

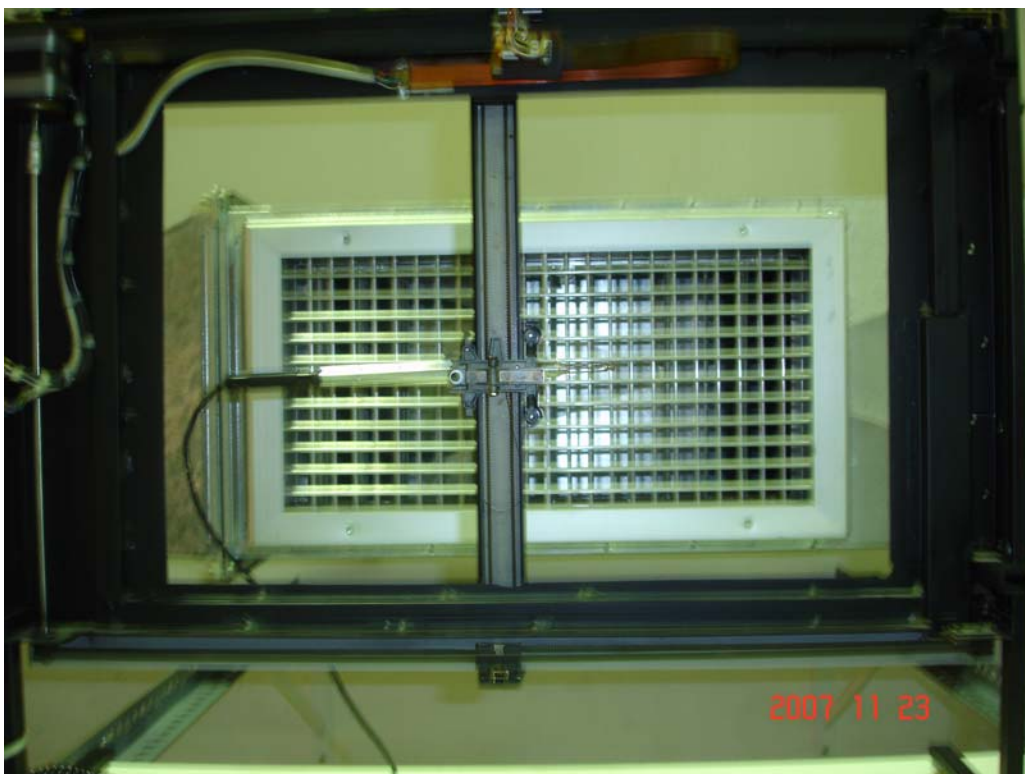
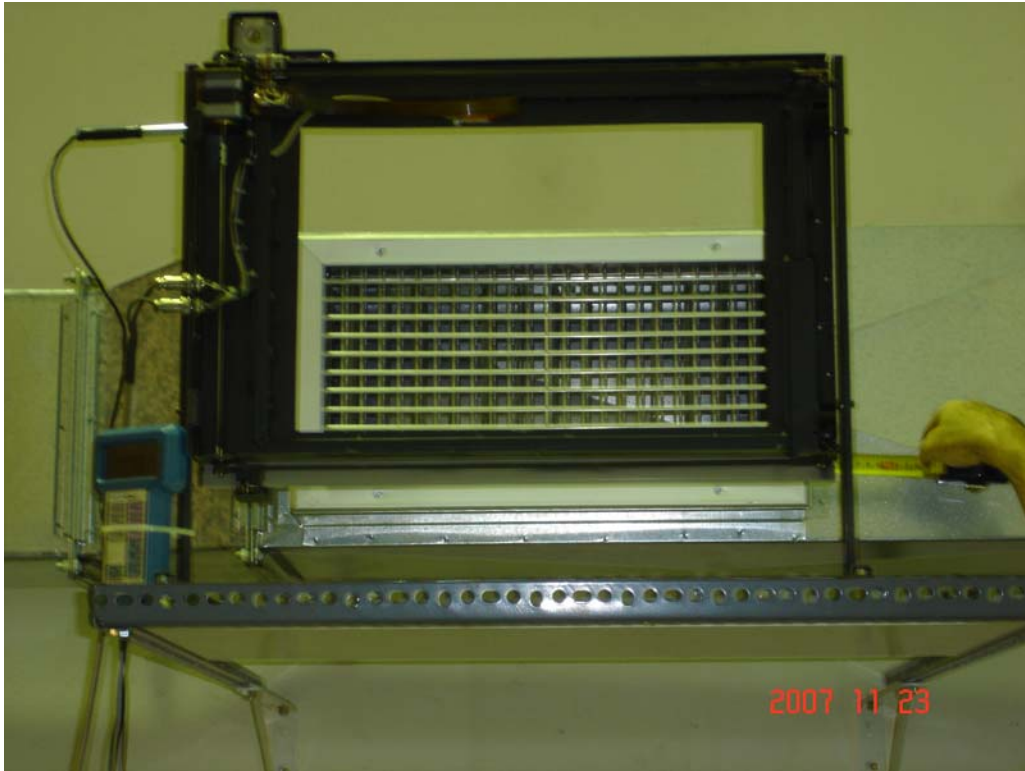
Η πειραματική διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε είναι η ακόλουθη: Αρχικά τίθεται σε λειτουργία μόνο ο φυσητήρας (κρύος αέρας) του αερολέβητα και γίνεται η σάρωση του στομίου κλιματισμού με τη χρήση plotter IP 210. Η μέτρηση της ταχύτητας του κρύου αέρα στο στόμιο γίνεται με hot wire anemometer TSI το οποίο έχει προσαρμοστεί πάνω στο plotter. Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία μόνο που τώρα τίθεται σε λειτουργία ο αερολέβητας (ζεστός αέρας) και μετριέται η ταχύτητα και η θερμοκρασία του ζεστού αέρα στο στόμιο. Συνολικά έγιναν 50 μετρήσεις (25 μετρήσεις με κρύο αέρα και 25 μετρήσεις με ζεστό αέρα).

Αξίζει να αναφερθούν τα ακόλουθα: α) η χρονική σταθερά δειγματοληψίας είναι 10 sec β) όλες οι μετρήσεις γίνονται με αφαιρεμένο το εξωτερικό μονωτικό τμήμα (καπάκι) του αερολέβητα γ) ο χρόνος παραμονής σε μια θέση για να καταγραφεί η μέτρηση είναι 1 min και δ) η κίνηση του plotter γίνεται αυτόματα.

Στις φωτογραφίες που ακολουθούν παρουσιάζονται το hot wire anemometer και το στόμιο στο οποίο διεξήχθησαν οι μετρήσεις αντίστοιχα.



Φωτογραφία 1. Hot Wire Anemometer TSI



Φωτογραφία 2. Διάταξη σάρωσης με αισθητήρα και στόμιο κλιματισμού

Στη συνέχεια στους Πίνακες 3 και 4 παρουσιάζονται τα πρωτόκολλα μετρήσεων (κρύος και θερμός αέρας αντίστοιχα).

Πίνακας 3 Κρύος Αέρας

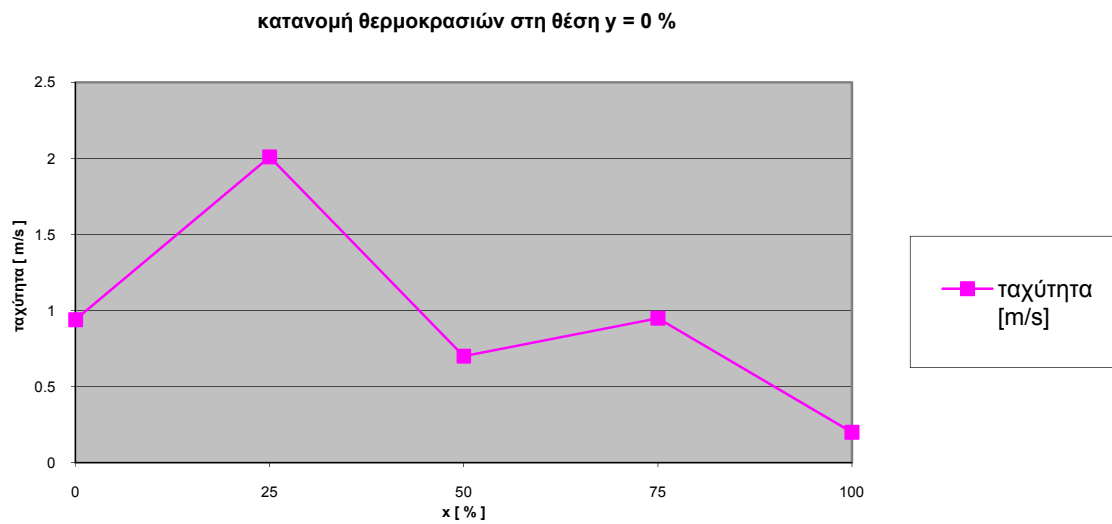
Μέτρηση ταχύτητας αέρα σε στόμια κλιματισμού											
Κρύος αέρας											
Λέβητας: 35000 kcal/hr				ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:23/11/2007							
Καυστήρας:Aren Group				ΩΡΑ:09:35							
Τύπος Καυσίμου: Πετρέλαιο Θέρμανσης				ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ: 1 atm							
							ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ:46%				
							ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ:21,5 °C				
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ											
α/α	x [%]	y [%]	ταχύτητα [m/s]	Μέση ταχύτητα [m/s]	Μέγιστη ταχύτητα [m/s]	Ελάχιστη ταχύτητα [m/s]					
1	0	0	0,94	2,27	5,1	0,08					
2	0,25	0	2,01								
3	0,5	0	0,7								
4	0,75	0	0,95								
5	1	0	0,2								
6	0	0,25	4,4								
7	0,25	0,25	5,05								
8	0,5	0,25	3,75								
9	0,75	0,25	2,6								
10	1	0,25	0,32								
11	0	0,5	4,3								
12	0,25	0,5	5,1								
13	0,5	0,5	4,3								
14	0,75	0,5	2,8								
15	1	0,5	0,31								
16	0	0,75	5								
17	0,25	0,75	4,88								
18	0,5	0,75	4,45								
19	0,75	0,75	2,45								
20	1	0,75	0,27								
21	0	1	0,3								
22	0,25	1	0,9								
23	0,5	1	0,41								
24	0,75	1	0,23								
25	1	1	0,08								

Πίνακας 4 Ζεστός Αέρας

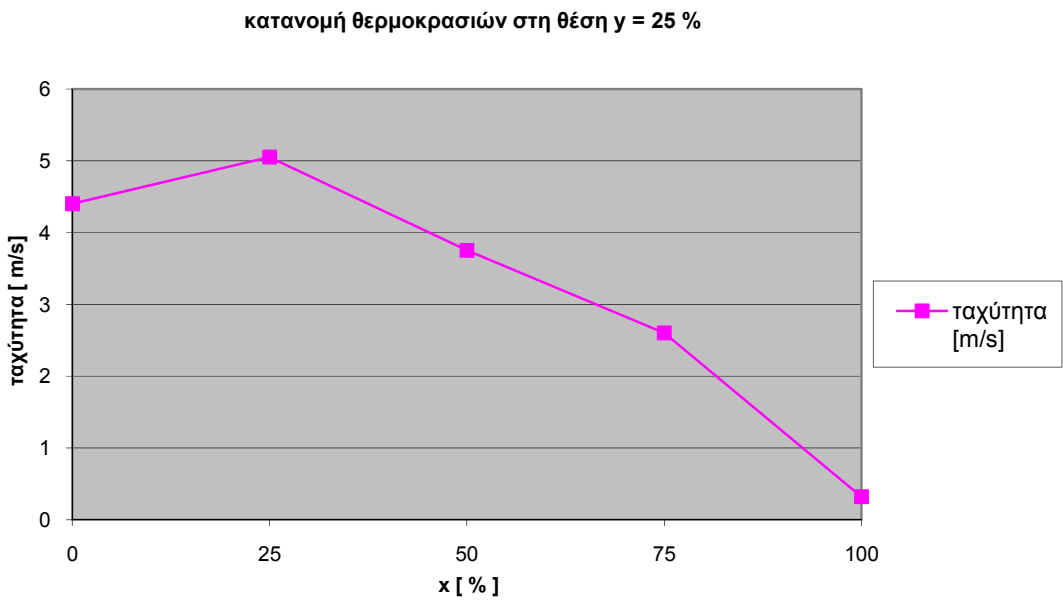
Μέτρηση ταχύτητας αέρα σε στόμια κλιματισμού							
Ζεστός αέρας							
Λέβητας: 35000 kcal/hr					ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:23/11/2007		
Καυστήρας:Aren Group					ΩΡΑ:09'35		
Τύπος Καυσίμου: Πετρέλαιο Θέρμανσης					ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ: 1 atm		
					ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ:46%		
					ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ:21,5 °C		
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ							
α/α	x [%]	y [%]	ταχύτητα [m/s]	Θερμοκρασία [°C]	Μέση ταχύτητα [m/s]	Μέγιστη ταχύτητα [m/s]	Ελάχιστη ταχύτητα [m/s]
1	0	0	0,8	37	2,20	4,65	0,20
2	0,25	0	2,02	40			
3	0,5	0	0,72	39	Μέση Θερμοκρασία [°C]	Μέγιστη Θερμοκρασία [°C]	Ελάχιστη Θερμοκρασία [°C]
4	0,75	0	0,95	37,6			
5	1	0	0,3	36,4			
6	0	0,25	4,33	44			
7	0,25	0,25	4,45	50,4			
8	0,5	0,25	3,22	47,8			
9	0,75	0,25	3,12	46,1			
10	1	0,25	0,52	37,6			
11	0	0,5	4,12	43,2			
12	0,25	0,5	4,25	46			
13	0,5	0,5	3,92	50,6			
14	0,75	0,5	2,94	49,8			
15	1	0,5	0,52	47,2			
16	0	0,75	4,65	45,4			
17	0,25	0,75	4,56	50,6			
18	0,5	0,75	4,09	49,7			
19	0,75	0,75	2,47	46,3			
20	1	0,75	0,42	44			
21	0	1	0,5	42,7			
22	0,25	1	0,96	43,5			
23	0,5	1	0,58	42			
24	0,75	1	0,4	41,5			
25	1	1	0,2	40,8			

Στα **διαγράμματα 1 έως 5** εμφανίζονται οι κατανομές ταχυτήτων στην περίπτωση του κρύου αέρα.

Στα **διαγράμματα 6 έως 10** εμφανίζονται οι κατανομές ταχυτητών και θερμοκρασιών στην περίπτωση του ζεστού αέρα.

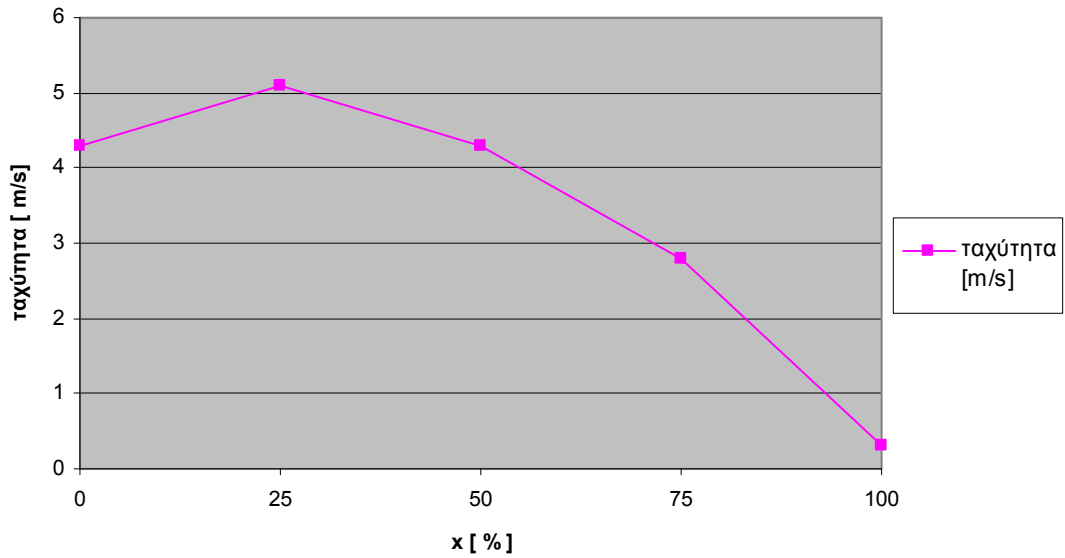


Διάγραμμα 1 Σάρωση στη θέση $y = 0 \%$



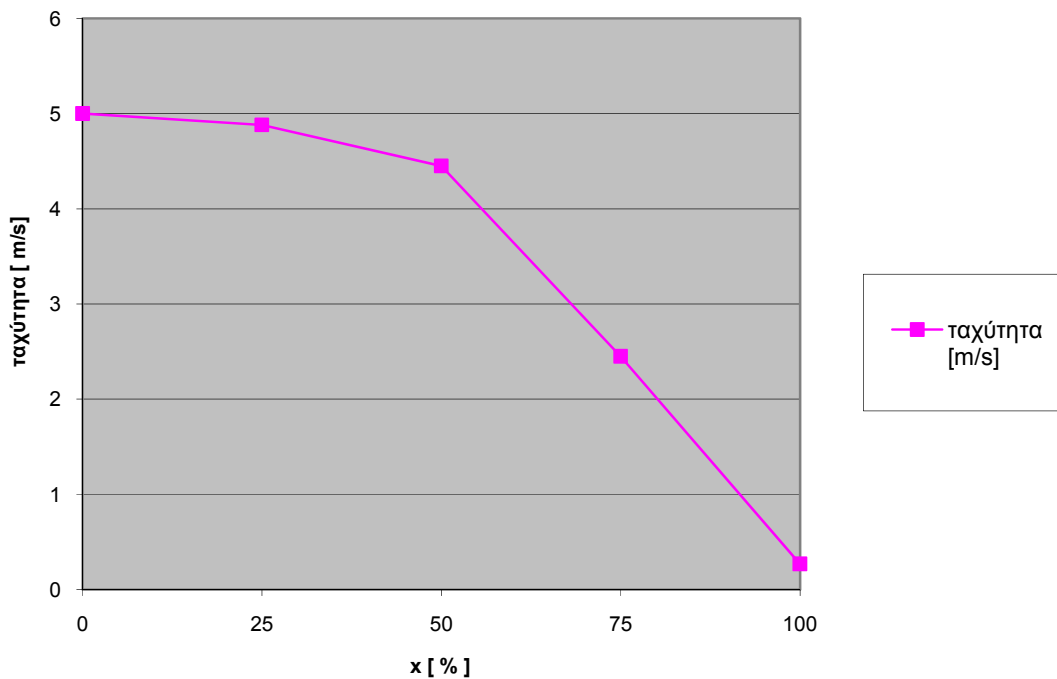
Διάγραμμα 2 Σάρωση στη θέση $y = 25 \%$

κατανομή θερμοκρασιών στη θέση $\gamma = 50\%$

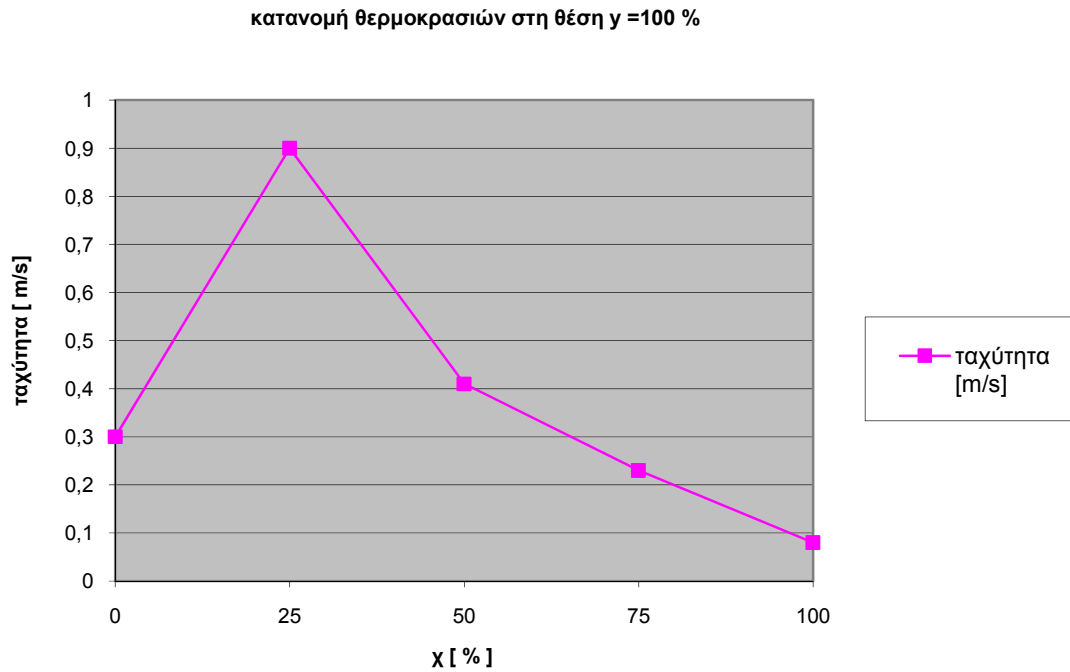


Διάγραμμα 3 Σάρωση στη θέση $\gamma = 50\%$

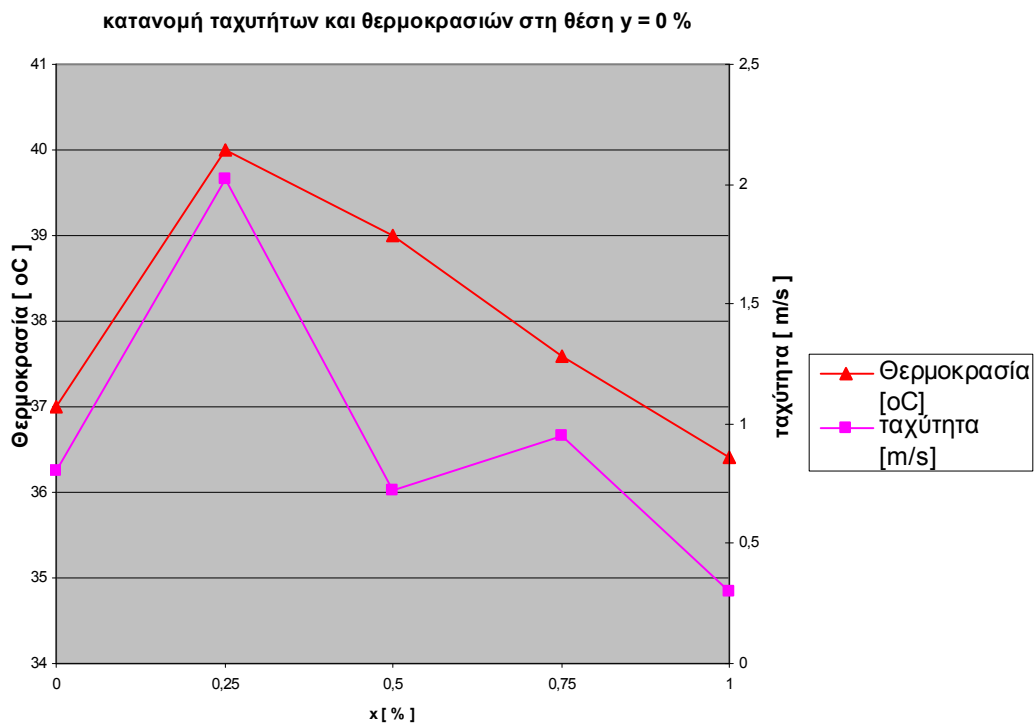
κατανομή θερμοκρασιών στη θέση $\gamma = 75\%$



Διάγραμμα 4 Σάρωση στη θέση $\gamma = 75\%$

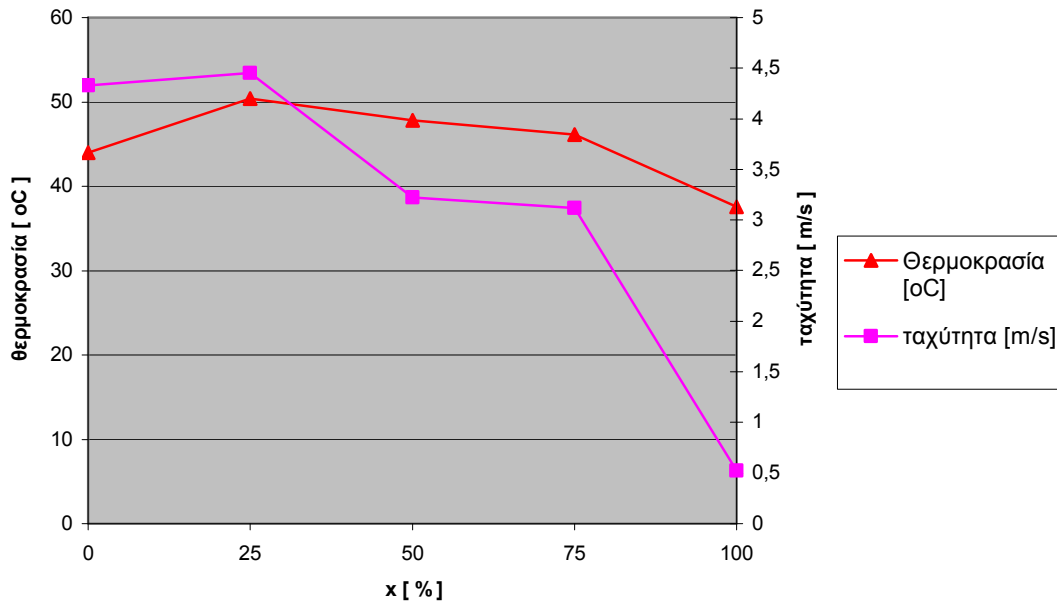


Διάγραμμα 5 Σάρωση στη θέση $\gamma = 100\%$



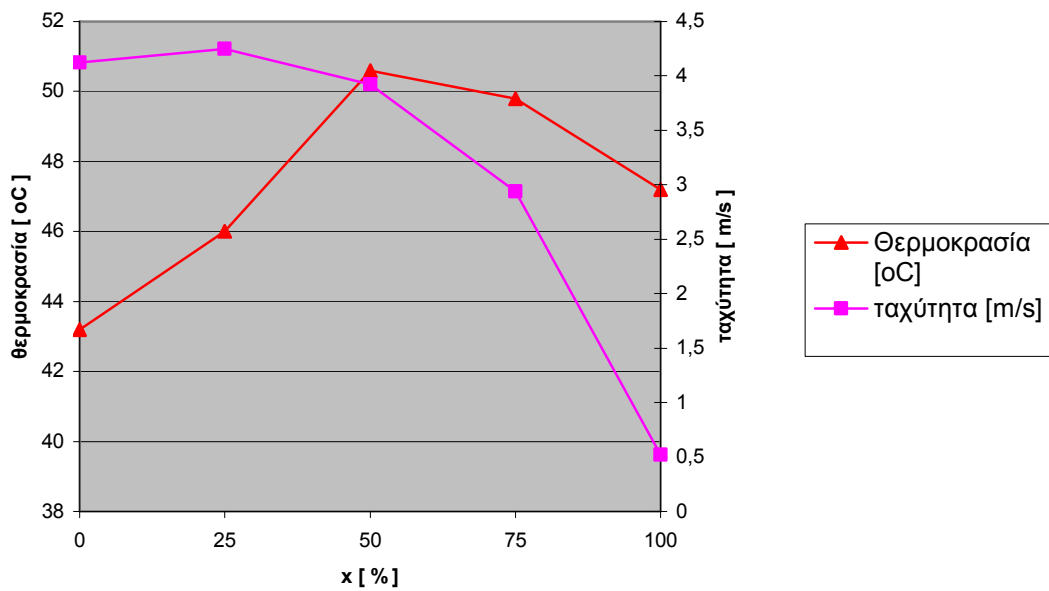
Διάγραμμα 6 Σάρωση στη θέση $\gamma = 0\%$

κατανομή ταχυτήτων και θερμοκρασιών στη θέση $y = 25\%$



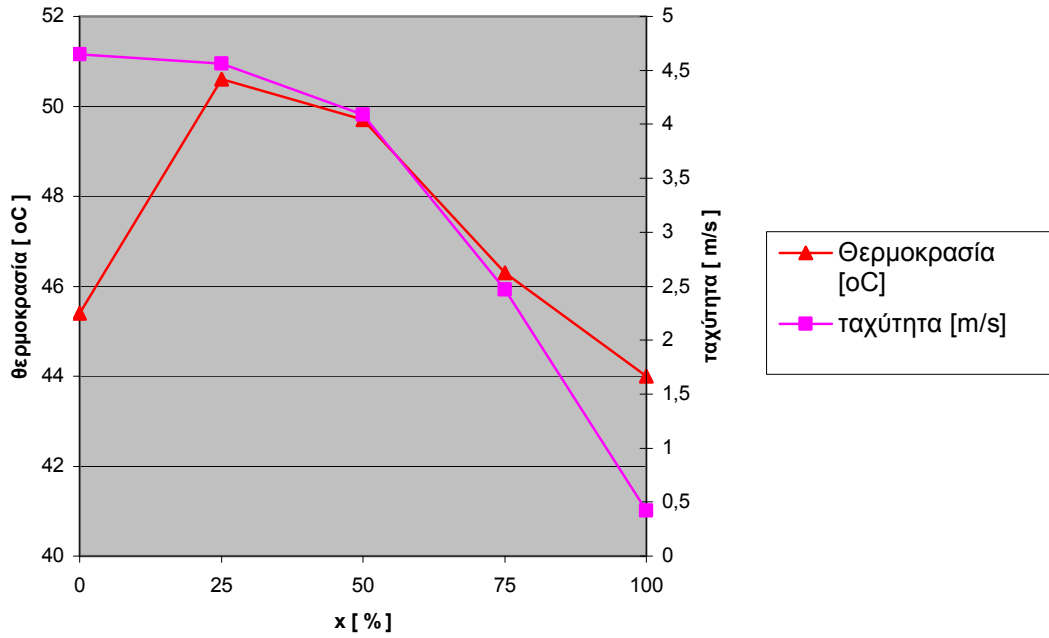
Διάγραμμα 7 Σάρωση στη θέση $y = 25\%$

κατανομή ταχυτήτων και θερμοκρασιών στη θέση $y = 50\%$



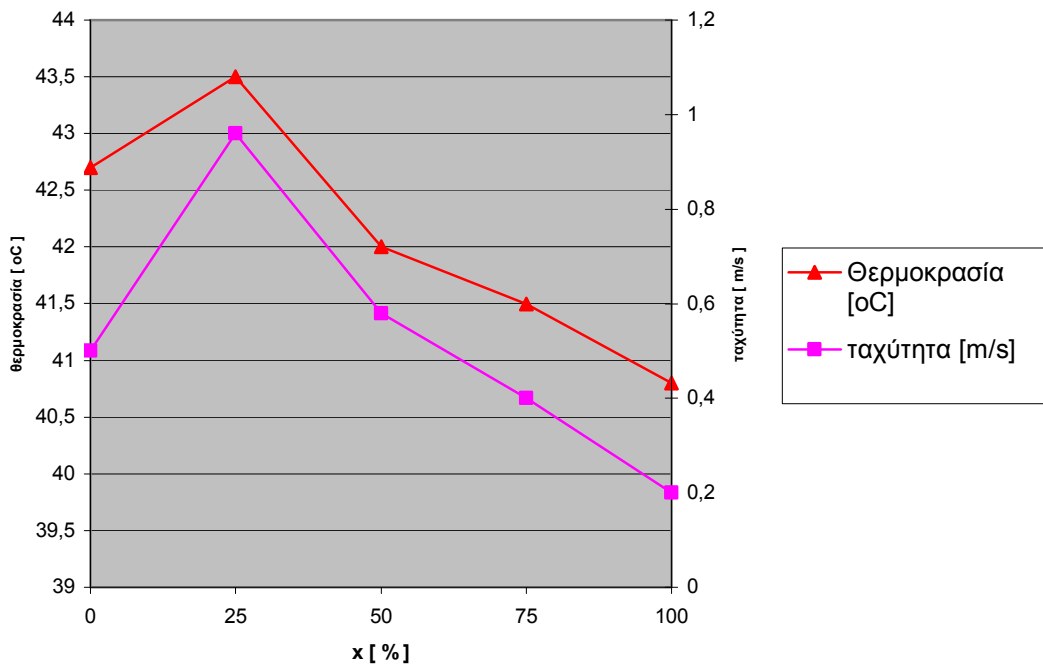
Διάγραμμα 8 Σάρωση στη θέση $y = 50\%$

κατανομή ταχυτήτων και θερμοκρασιών στη θέση $y = 75\%$



Διάγραμμα 9 Σάρωση στη θέση $y = 75\%$

κατανομή ταχυτήτων και θερμοκρασιών στη θέση $y = 100\%$



Διάγραμμα 10 Σάρωση στη θέση $y = 100\%$

Από τις μετρήσεις οι οποίες παρουσιάζονται στους Πίνακες 3 και 4 προκύπτουν τα ακόλουθα:

Κρύος αέρας:

Μέση ταχύτητα [m/s]	Μέγιστη ταχύτητα [m/s]	Ελάχιστη ταχύτητα [m/s]
2,27	5,1	0,08

Ζεστός αέρας:

Μέση ταχύτητα [m/s]	Μέγιστη ταχύτητα [m/s]	Ελάχιστη ταχύτητα [m/s]	Μέση Θερμοκρασία [°C]	Μέγιστη Θερμοκρασία [°C]	Ελάχιστη Θερμοκρασία [°C]
2,20	4,65	0,20	44,0	50,6	36,4

Παρατηρούμε ότι: α) η μέση ταχύτητα αέρα είναι σχεδόν ίδια, β) το προφίλ των ταχυτήτων εξομαλύνεται κάπως στην περίπτωση του θερμού αέρα.

Θέση μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας και θερμοκρασίας

Κρύος αέρας

- Η μέγιστη ταχύτητα εμφανίζεται στη θέση : $x = 25\%$, $y = 50\%$
- Η ελάχιστη ταχύτητα εμφανίζεται στη θέση: $x = 100\%$, $y = 100\%$

Ζεστός αέρας

- Η μέγιστη ταχύτητα εμφανίζεται στη θέση: $x = 0\%$, $y = 75\%$
- Η ελάχιστη ταχύτητα εμφανίζεται στη θέση: $x = 100\%$, $y = 100\%$
- Η μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται στη θέση: $x = 25\%$, $y = 75\%$ και $x = 50\%$, $y = 50\%$
- Η ελάχιστη θερμοκρασία εμφανίζεται στη θέση: $x = 100\%$, $y = 0\%$

Από τα διαγράμματα προκύπτουν τα ακόλουθα:

Κρύος αέρας

Στα άκρα του στομίου ($y = 0\%$, $y = 100\%$) η ροή δεν είναι ευσταθής. Επικρατεί μόνιμη αστάθεια η οποία εμφανίζεται και κατά τη διαδικασία της μέτρησης. Η ταχύτητα μεταβάλλεται συνεχώς. Αυτό οφείλεται στις δίνες (οι οποίες είναι έντονες) και εμφανίζονται σε εκείνη την περιοχή. Τα παραπάνω φαίνονται **στα διαγράμματα 1 και 5:** η ταχύτητα αυξάνεται και μειώνεται κατά τη διάρκεια της σάρωσης.

Αντίθετα, στις άλλες περιοχές σάρωσης η ροή εμφανίζει σταθερότητα. Δεν εμφανίζονται έντονες δίνες και η ταχύτητα μειώνεται διαρκώς.

Η ομαλότερη κατανομή ταχυτήτων παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 4**.

Η ταχύτητα μειώνεται διαρκώς. Αρχικά είναι η μέγιστη δυνατή (της περιοχής αυτής) και μειώνεται μέχρι την ελάχιστη στο τέλος της σάρωσης.

Ζεστός αέρας

Στην περίπτωση του ζεστού αέρα ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις. Η ομαλότερη κατανομή ταχυτήτων παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 9**.

Στο **Διάγραμμα 7** η κατανομή θερμοκρασιών είναι σχεδόν ευθεία γραμμή. Η θερμοκρασία δεν μεταβάλλεται αρκετά κατά τη διάρκεια της σάρωσης.

Από τα **Διαγράμματα 6 έως 10** προκύπτει ότι στη θέση $x = 25 \%$ εμφανίζεται σε κάθε σάρωση (εκτός της 3^{ης} $y = 50 \%$) η μεγαλύτερη θερμοκρασία.

Στο **Διάγραμμα 10** οι γραμμές των κατανομών είναι σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους.

Τέλος, παρατηρώντας όλα τα διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι η μεγαλύτερη ταχύτητα και θερμοκρασία εμφανίζονται μαζί στην ίδια θέση. Η θερμοκρασία είναι λιγότερο ασταθής σε σχέση με την ταχύτητα, που επηρεάζεται από τις δίνες. Αυτό παρατηρείται και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων: η ταχύτητα μεταβάλλεται διαρκώς και για αρκετό χρόνο μέχρι να σταθεροποιηθεί κάπως (εξαρτάται από την περιοχή σάρωσης) σε αντίθεση με τη θερμοκρασία η οποία σε λιγότερο χρόνο ισοροπεί σε μια τιμή.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω (μετρήσεις , υπολογισμούς , διαγράμματα , γραφικές παραστάσεις , θερμογραφήματα) συμπεραίνουμε ότι:

α) η θερμοκρασία των καυσαερίων αυξάνεται με την αύξηση του λ , δηλαδή καθώς το μίγμα αέρα-καυσίμου γίνεται “φτωχό”. Αυτό ισχύει μέχρι μια τιμή του λ , μετά περαιτέρω αύξησή του οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας καυσαερίων. Στις συγκεκριμένες μετρήσεις δεν φτάσαμε μέχρι αυτή την κρίσιμη τιμή του λ , γιατί το ενδιαφέρον μας εστιάστηκε στην περιοχή βέλτιστης απόδοσης του αερολέβητα.

β) η καλύτερη ρύθμιση που επιτεύχθηκε (λαμβάνοντας υπόψη και το δείκτη αιθάλης) είναι: η 3^η μέτρηση με $\lambda = 1,25$ και θερμοκρασία καυσαερίων $261 \text{ }^\circ\text{C}$,

γ) ο μέγιστος βαθμός απόδοσης που μετρήθηκε είναι **88 %**

δ) Με βάση τις μετρήσεις κατανομής ταχυτήτων και θερμοκρασιών στο στόμιο εξόδου, προέκυψε το ισοζύγιο ενέργειας στην έξοδο (παροχή μάζας – μέση θερμοκρασία εξόδου).

3.4 Μετρήσεις στο εσωτερικό του αερολέβητα

Χρησιμοποιήθηκε χαμηλού κόστους ανεμόμετρο θερμού σύρματος για την σάρωση ενός επιπέδου κάθετο στη ροή στο εσωτερικό του αερολέβητα. Η σάρωση έγινε έχοντας απομακρύνει το καπάκι του αερολέβητα. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5**:

Πίνακας 5 Μετρήσεις Ταχύτητων στο εσωτερικό του αερολέβητα

Θέση [cm]	Μέση Ταχύτητα [m/s]
10	0,2
20	1,5 (Εντονες Δίνες)
30	0,8
40	1,5
50	1,5
60	3
70	0,9

Σύμφωνα με τις παραπάνω μετρήσεις η ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό του αερολέβητα σε ορισμένες περιοχές παίρνει τιμές κάτω από 1 m/s σε αντίθεση με άλλες. Χαρακτηριστικές είναι οι θέσεις 10 cm , 40 cm και 70 cm. Σε αυτές η ταχύτητα είναι πολύ μικρή γεγονός το οποίο εξηγείται ως εξής:

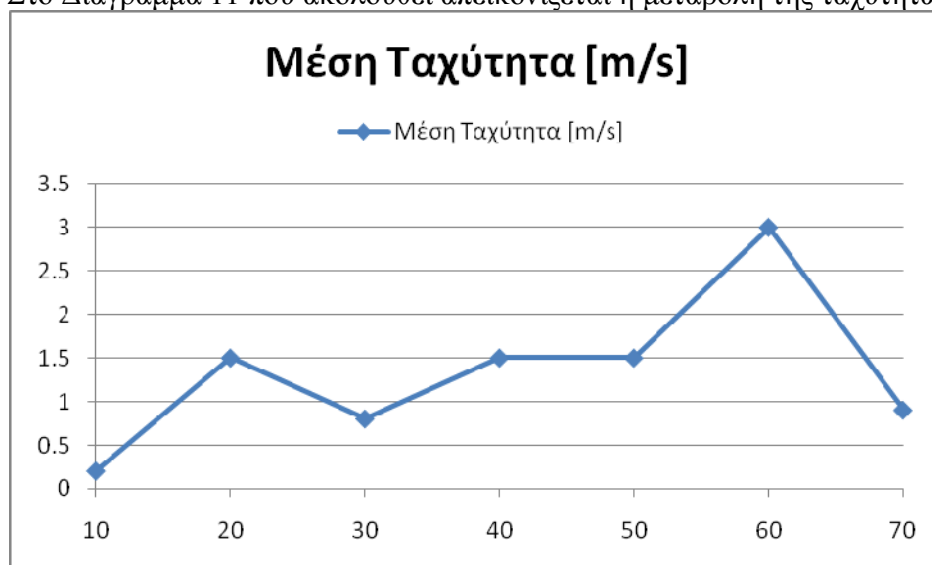
Θέση 10 cm: Η ποσότητα του αέρα η οποία φθάνει σε αυτή την περιοχή του όγκου ελέγχου και η αναπτυσσόμενη ταχύτητα είναι μικρή γεγονός που οφείλεται κυρίως στη θέση και στο μέγεθος της διατομής εισόδου του αέρα.

Θέση 70 cm: Η περιοχή αυτή είναι εκτός του πεδίου ροής

Θέση 30 cm: Σε αυτή τη θέση η ταχύτητα μειώνεται απότομα. Αυτό συμβαίνει διότι οι ροϊκές γραμμές οι οποίες διέρχονται από αυτή την περιοχή είναι λίγες, γεγονός το οποίο οφείλεται στην γεωμετρία του καζανίου αλλά κυρίως στη θέση και τις διαστάσεις της διατομής εισόδου.

Τα παραπάνω συμπεράσματα φαίνονται και στις εικόνες οι οποίες της ενότητας 3.8.

Στο Διάγραμμα 11 που ακολουθεί απεικονίζεται η μεταβολή της ταχύτητας :

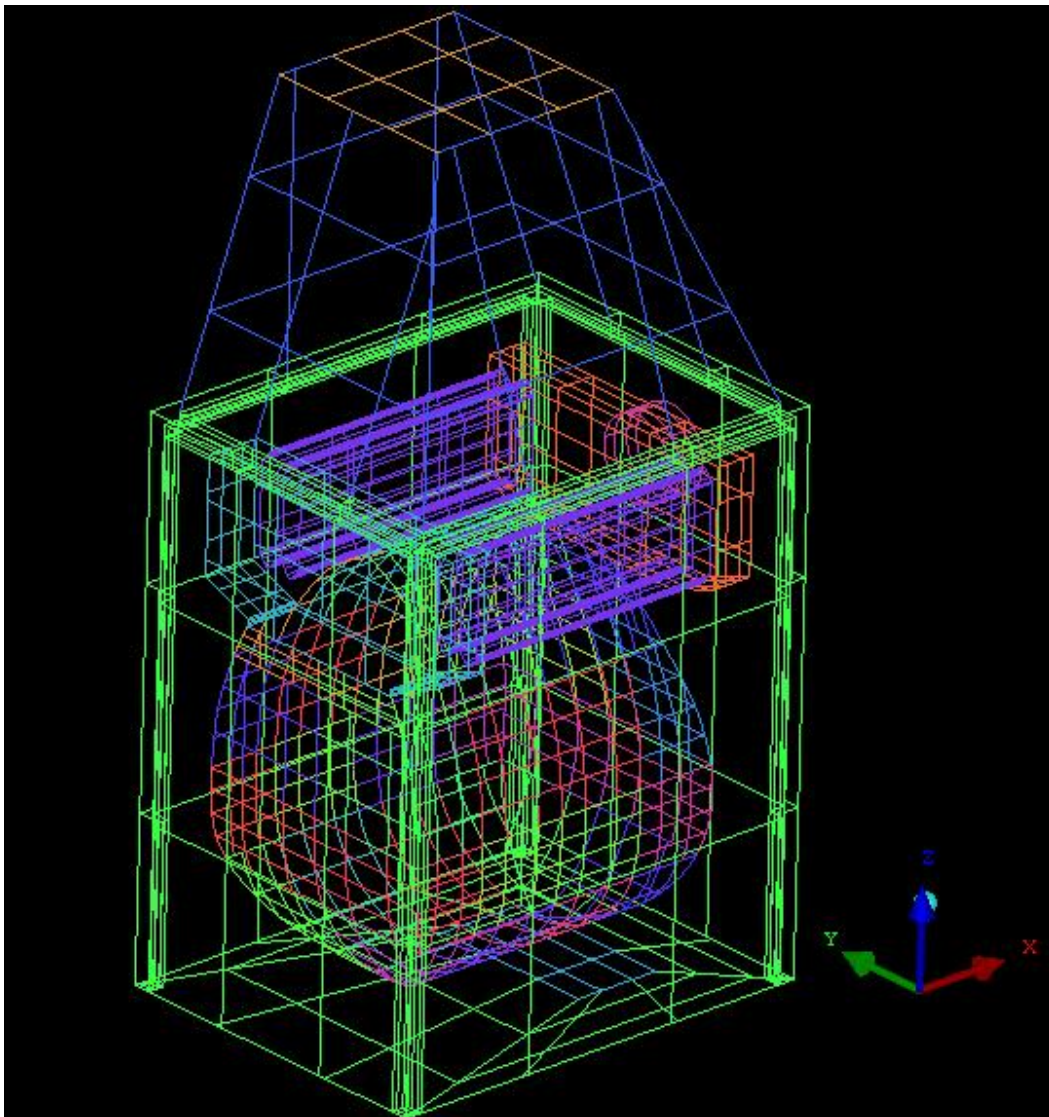


Διάγραμμα 11 Σάρωση στο εσωτερικό του αερολέβητα

3.5 Solid modeling

Παραγωγή solid model της περιοχής εναλλαγής θερμότητας του αερολέβητα με βάση σχέδια σε ProEngineer που μας παρέδωσε ο κατασκευαστής (ANSYS ICEM).

Το σχέδιο της περιοχής εναλλαγής θερμότητας του αερολέβητα εισάγεται στο πρόγραμμα ANSYS ICEM και ακολουθώντας μια συγκεκριμένη διαδικασία η γεωμετρία μας αποκτά την τελική της μορφή, δηλαδή δημιουργούνται όλα τα απαραίτητα parts στα οποία στη συνέχεια της επίλυσης θα εφαρμοσθούν οι συνοριακές συνθήκες. Η μορφή αυτή απεικονίζεται στην **Εικόνα 6**.



Εικόνα 6 Ο αερολέβητας και ο όγκος ελέγχου

3.6 Υπολογιστικό πλέγμα

Στη συνέχεια δημιουργήσαμε το υπολογιστικό πλέγμα στον συνολικό όγκο ελέγχου στον οποίο αναπτύσσεται το ροϊκό πεδίο του αέρα αεροθέρμανσης σύμφωνα με το οποίο γίνεται η επίλυση του προβλήματος. Το επιθυμητό πλέγμα δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος ANSYS ICEM και παρουσιάζεται στην **Εικόνα 7**. Οι παράμετροι του πλεγματος παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Global MeshSize

- **Global Element Seed Size**

Max Element: 0.2

Natural Size

Size: 0.1

Cells in Gap: 1

Refinement: 20

Mesh TetraHedral

- **Tetra Mesher**

Use Smoother

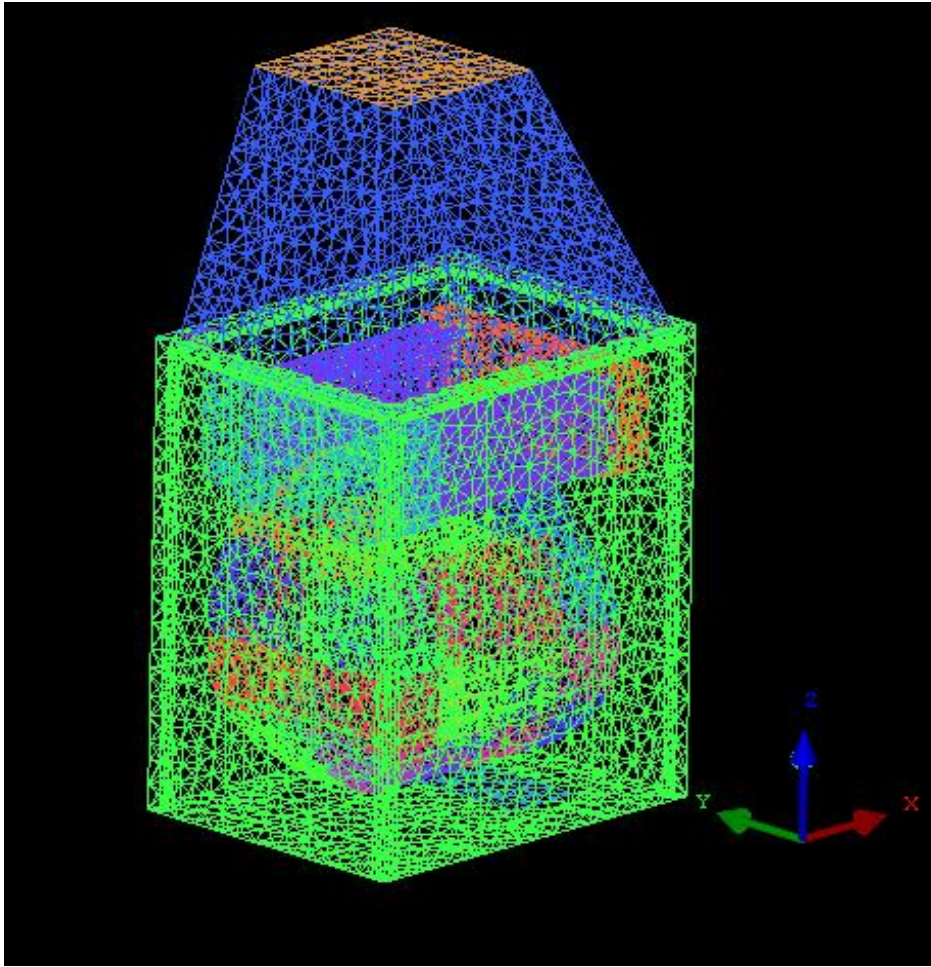
Quality: 0.7

Smooth Transition

Transition Factor: 1.2

- **Options**

Activate: Save All Triangles



Εικόνα 7 Υπολογιστικό πλέγμα συνολικού όγκου ελέγχου

3.7 Διαδικασία προσδιορισμού οριακών συνθηκών (CFX-Pre)

3.7.1 Οριακές συνθήκες εισόδου , εξόδου , plenum , cover και εναλλάκτη θερμότητας

Επόμενο στάδιο της επίλυσης είναι ο προσδιορισμός των οριακών συνθηκών. Αυτό γίνεται μέσω του υποπρογράμματος CFX-Pre. Η διαδικασία η οποία ακολουθείται περιγράφεται παρακάτω: Η γεωμετρία και το υπολογιστικό πλέγμα εισάγεται στο υποπρόγραμμα. Στη συνέχεια στα parts, τα οποία έχουμε δημιουργήσει, θέτουμε τις συνθήκες οι οποίες είναι οι ακόλουθες;

Είσοδος

Type: inlet Static Temperature: $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ Mass Flow Rate : $u=0.8\text{ kg/s}$

Έξοδος

Type: outlet Relative Pressure: $P=60\text{ Pa}$

Εναλλάκτης Θερμότητας

Type: wall Fixed Temperature: $T=140\text{ }^{\circ}\text{C}$

Toumpo in

Type: wall Fixed Temperature: $T=160\text{ }^{\circ}\text{C}$

Toumpo out

Type: wall Fixed Temperature: $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Plenum

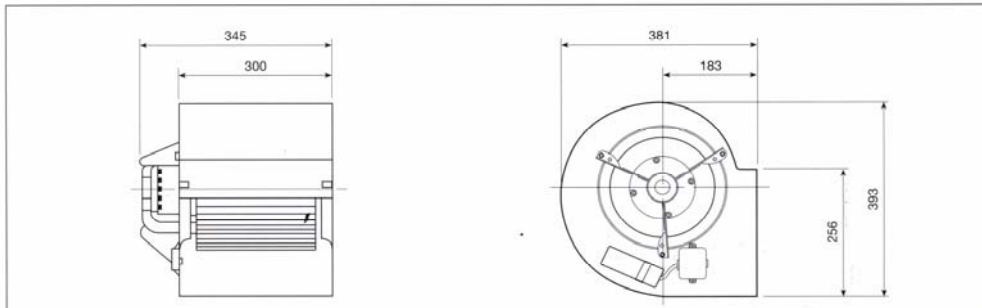
Type: wall Heat Transfer Coefficient: $U=6\text{ W/m}^2\text{K}$ Outside Temperature: $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Θεωρήσαμε τον αέρα ιδανικό αέριο με πίεση αναφοράς (Ref. Pressure) 1 atm.

Cover

Type: wall Heat Transfer: Adiabatic

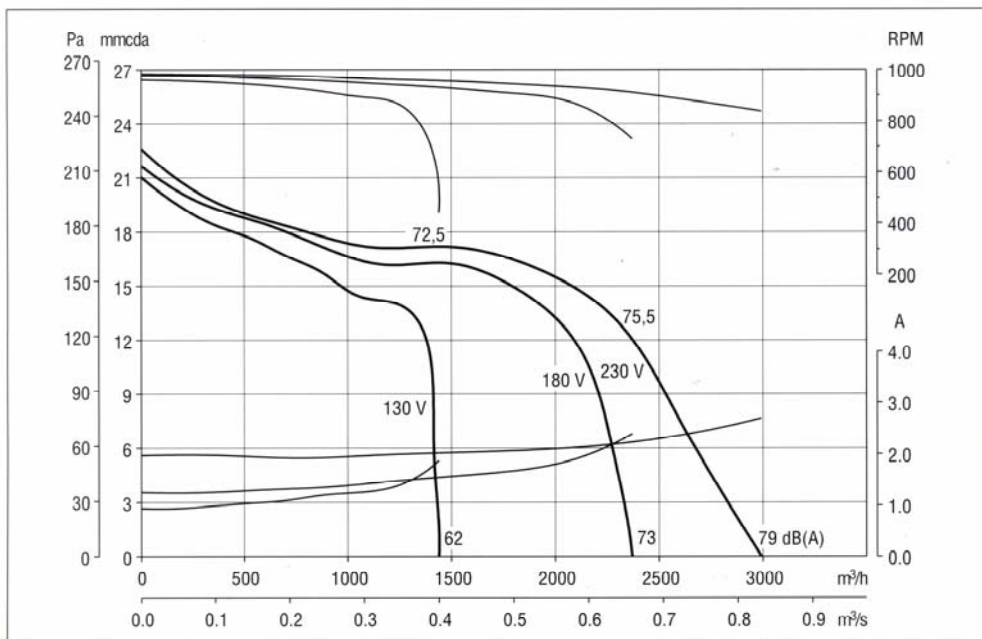
Η συνοριακή συνθήκη της εισόδου ορίζεται σύμφωνα με την χαρακτηριστική του φυσητήρα η οποία παρατίθεται παρακάτω. Ο φυσητήρας είναι της ισπανικής εταιρείας tecnifan και έχει ισχύ 1/3 hp (250 W).

CBM-240/240 (9/9) - 1/3 CV (250 W)



Tension Voltage	Monofásica 230 V Single-phase 230 V	Velocidad media Mean speed	900 RPM
Potencia motor Motor power	250 W	Tipo motor Motor type	IP10, clase B IP10, class B
Intensidad absorbida máxima Maximum absorbed current	2,7 A	Condensador Capacitor	10 µF/ 450 V
Temperatura del aire Air temperature	-20°C<T<+40°C	Peso Weight	17,0 kg

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LwA dB(A)	29	20	12	7	4	6	12	19

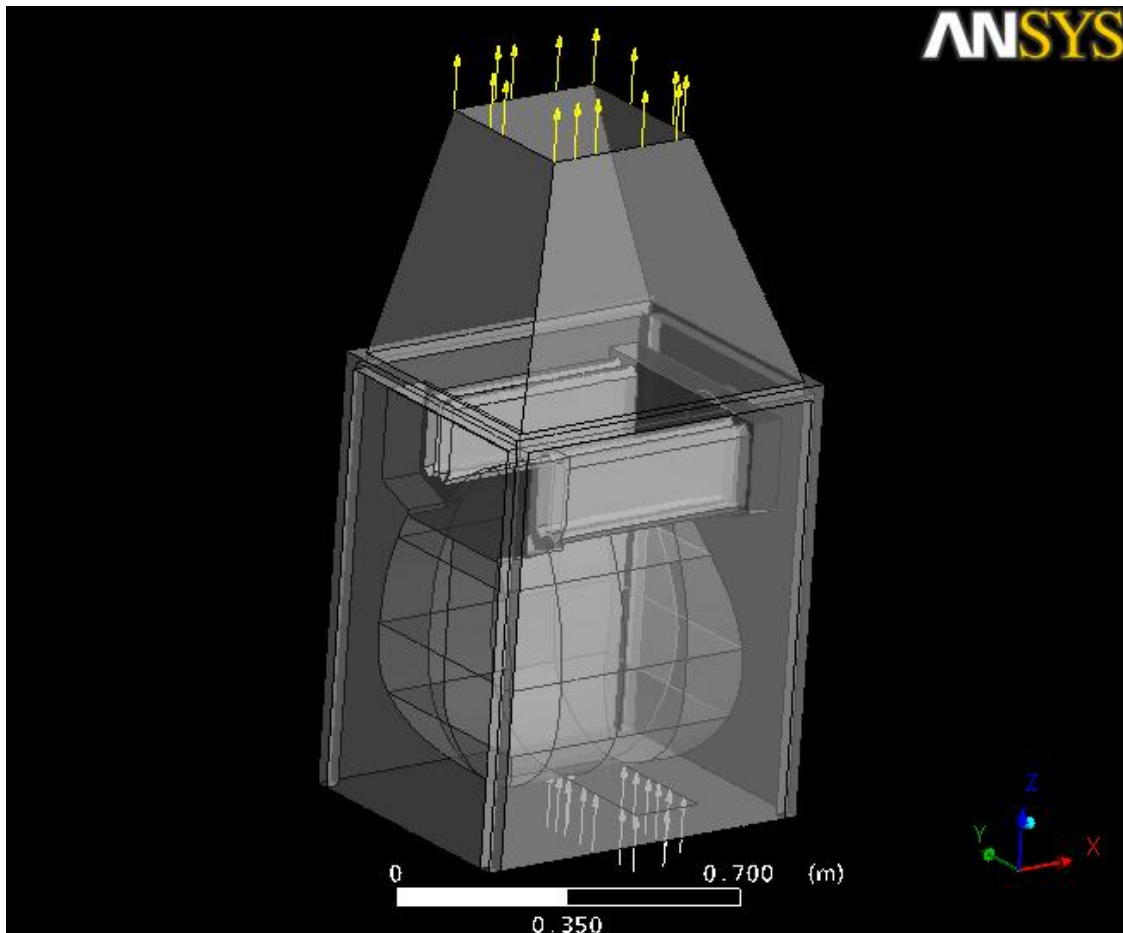


Χαρακτηριστική φουσητήρα

3.7.2 Οριακές συνθήκες καζανιού

Η διαδικασία η οποία ακολουθείται είναι αυτή που περιγράφεται στην ενότητα 3.1. Στην μοντελοποίηση μας το καζάνι έχει χωριστεί σε περιοχές στις οποίες ορίζεται οριακή συνθήκη σταθερής θερμοκρασίας (Fixed Temperature). Η μέση θερμοκρασία σε κάθε περιοχή του καζανιού υπολογίζεται έπειτα από επεξεργασία θερμογραφήματος του αερολέβητα στο πρόγραμμα της θερμοκάμερας[3].

Το καζάνι (θάλαμος καύσης) έχει χωριστεί σε περιοχές θερμοκρασιακής κατανομής με σκοπό την ικανοποιητική μοντελοποίηση της μετάδοσης θερμότητας. Στην **Εικόνα 8** , η οποία προέρχεται από το υποπρόγραμμα CFX-Pre, που ακολουθεί φαίνονται αυτές οι περιοχές του καζανιού.



Εικόνα 8 Χωρισμός του εναλλάκτη σε τμήματα με διαφορετικές οριακές συνθήκες θερμοκρασίας

3.8 Επίλυση των εξισώσεων

Επίλυση των εξισώσεων του τρισδιάστατου ροϊκού πεδίου σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας με το μοντέλο k-ε (CFX Solver)

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

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 **60** ενώ το **κριτήριο σύγκλισης (convergence criteria)** ήταν: **residual type: RMS** και **residual target: 10^{-4}** .

Επόμενο βήμα ήταν η επίλυση με τη βοήθεια του solver του προγράμματος, CFX-Solver 5.7. Ο solver επιστρέφει δυο τμήματα οθόνης: 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.

Τελευταίο τμήμα της επίλυσης του προβλήματος είναι η απεικόνιση των αποτελεσμάτων χρωματικά και με διάφορους τρόπους 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 γύρω από τον αερολέβητα μπορούν να παρουσιαστούν με ποικίλους τρόπους σε οποιαδήποτε περιοχή , επιφάνεια, του όγκου ελέγχου μας. Οι ποικίλοι τρόποι οι οποίοι αναφέρθηκαν είναι: γραμμές ροής (streamlines), επίπεδα κάθετα στους τρεις άξονες (planes), όγκοι οι οποίοι τοποθετούνται στο εσωτερικό του όγκου ελέγχου (περιοχή μετάδοσης θερμότητας) 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.

3.9 Παρουσίαση αποτελεσμάτων υπολογισμών

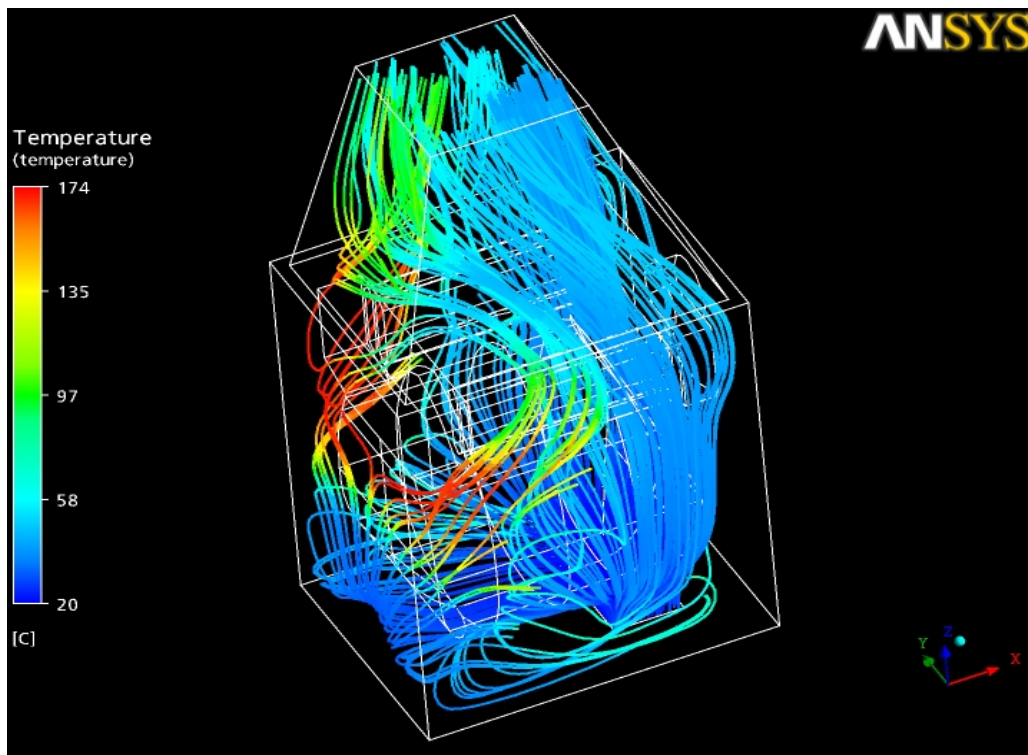
Οπτικοποίηση – παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε μορφή ροϊκών γραμμών και πεδίων κατανομής θερμοκρασιών και ταχυτήτων (CFX Post).

Στην **Εικόνα 9** φαίνονται οι κύριες γραμμές ροής γύρω από τον αερολέβητα

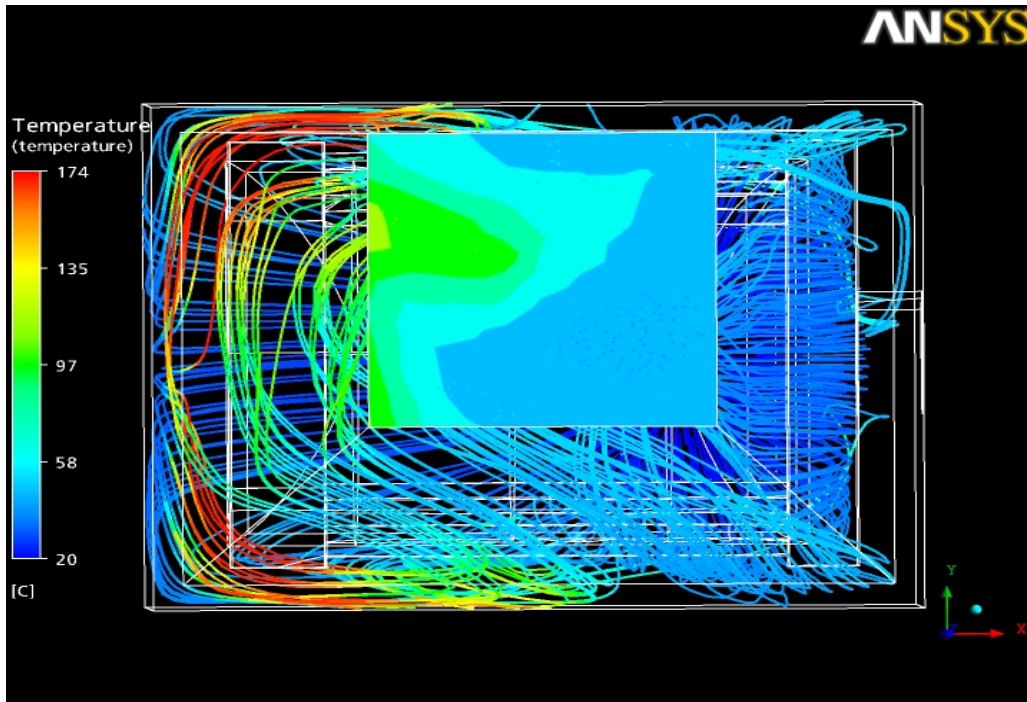
Στην **Εικόνα 10** παρουσιάζεται το θερμοκρασιακό πεδίο του αέρα στην έξοδο του όγκου ελέγχου (στο plenum)

Στην **Εικόνα 11** παρουσιάζεται το θερμοκρασιακό πεδίο του αέρα στην έξοδο του όγκου ελέγχου (στο plenum)

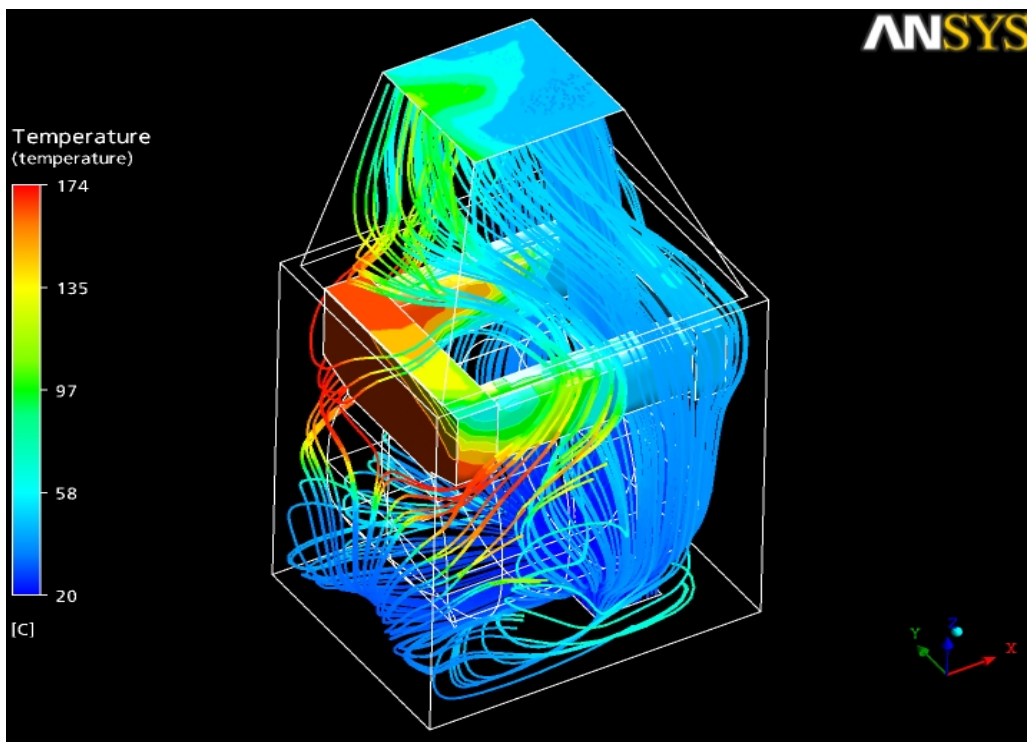
Στην **Εικόνα 12** φαίνεται το προφίλ ταχυτήτων



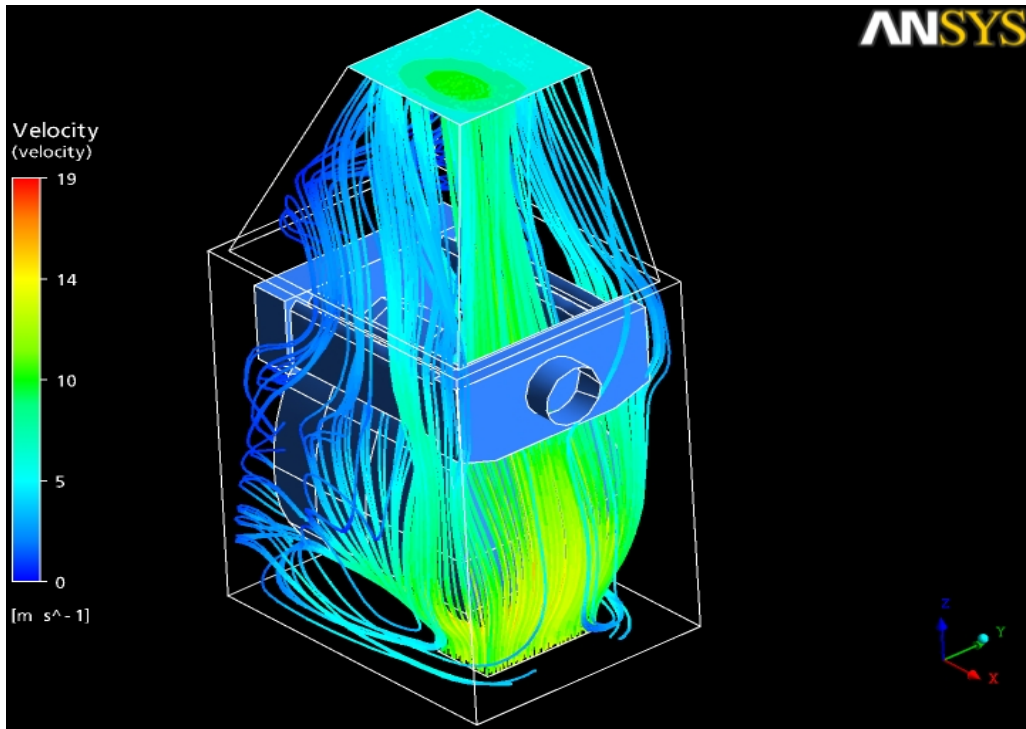
Εικόνα 9 Ροή του αέρα στον όγκο ελέγχου



Εικόνα 10 Κατανομή θερμοκρασίας στην έξοδο του plenum



Εικόνα 11 Κατανομή θερμοκρασίας στην έξοδο του plenum και στον εναλλάκτη θερμότητας



Εικόνα 12 Προφίλ ταχυτήτων

3.10 Ισοζύγια μάζας και ενέργειας

Εξαγωγή αρχείων αποτελεσμάτων στις διατομές εισόδου – εξόδου του όγκου ελέγχου, για έλεγχο ισοζυγίων μάζας και ενέργειας (επεξεργασία αρχείων εξόδου του CFX Post).

Το υποπρόγραμμα CFX Post παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής αρχείων .dat τα οποία μπορούν να περιέχουν τις τιμές οποιουδήποτε θερμοδυναμικού μεγέθους και όχι μόνο θελήσει ο χρήστης με σκοπό την επεξεργασία αυτών. Αυτό κάναμε και εμείς για τον έλεγχο των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας.

Για τον έλεγχο του ισοζυγίου μάζας προχωρήσαμε στην εξαγωγή 2 αρχείων .dat ένα για την είσοδο και ένα για την έξοδο. Στα αρχεία αυτά περιέχονται οι τιμές της μαζικής παροχής (mass flow rate , kg/s) τις οποίες υπολογίζει μόνο του το πρόγραμμα λαμβάνοντας υπ' όψη του την τις διαστάσεις των διατομών εισόδου , εξόδου αλλά και τις οριακές συνθήκες στις περιοχές αυτές.

Στη συνέχεια προχωρήσαμε σε επεξεργασία αυτών των αρχείων στο Microsoft Excel με σκοπό τον υπολογισμό της μαζικής παροχής και ισοζυγίων ενέργειας.

Τελικά, ικανοποιήθηκε το ισοζύγιο μάζας , $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = 0,8 \text{ kg / s}$

Τα ισοζύγια ενέργειας στις διατομές εισόδου / εξόδου καθώς και η ωφέλιμη ισχύς και βαθμός απόδοσης του αερολέβητα φαίνονται παρακάτω

Outlet			Cp [kJ/kg K]				1.06		Inlet					
X [m]	Y [m]	Z [m]	Mass Flow [kg	Temp [K]	Temp [oC]	m*Cp*Tout	X [m]	Y [m]	Z [m]	Mass Flow [kg	Temp [K]	Temp [oC]	m*Cp*Tin	
-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.05E-02	319.30	46.15	-5.14E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	1.80E-02	2.90E+02	1.69E+01	3.21E-01	
-1.19E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-3.22E-03	322.52	49.37	-1.69E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	2.40E-02	2.90E+02	1.69E+01	4.29E-01	
-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-5.67E-03	320.41	47.26	-2.84E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	4.70E-03	3.00E+02	2.69E+01	1.34E-01	
-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.53E-02	315.70	42.55	-6.88E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	4.70E-03	3.00E+02	2.69E+01	1.34E-01	
-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-2.02E-02	314.45	41.30	-8.86E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	5.60E-03	3.00E+02	2.69E+01	1.59E-01	
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.69E-02	327.48	54.33	-9.72E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	1.40E-02	3.00E+02	2.69E+01	3.98E-01	
-1.19E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-5.46E-03	325.87	52.72	-3.05E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.70E-02	3.10E+02	3.69E+01	6.64E-01	
-1.20E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-6.89E-03	325.97	52.82	-3.86E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	2.10E-02	3.00E+02	2.69E+01	5.98E-01	
-1.20E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-4.69E-03	325.27	52.12	-2.59E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	4.20E-02	2.90E+02	1.69E+01	7.50E-01	
-1.20E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.45E-02	326.71	53.56	-8.25E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	2.30E-02	2.90E+02	1.69E+01	4.11E-01	
-1.21E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.67E-02	339.49	66.34	-1.17E+00	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	3.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	6.25E-01	
-1.21E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-7.14E-03	326.91	53.76	-4.07E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	7.80E-03	3.00E+02	2.69E+01	2.22E-01	
-1.22E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-6.18E-03	330.85	57.70	-3.78E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	1.60E-02	3.00E+02	2.69E+01	4.55E-01	
-1.21E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.42E-02	327.64	54.49	-8.18E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	1.00E-02	3.10E+02	3.69E+01	3.91E-01	
-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.20E-02	319.55	46.40	-5.91E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	4.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	8.04E-01	
-1.20E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-3.99E-03	323.70	50.55	-2.14E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	4.20E-02	2.90E+02	1.69E+01	7.50E-01	
-1.20E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-4.22E-03	322.77	49.62	-2.22E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	3.70E-02	2.90E+02	1.69E+01	6.61E-01	
-1.21E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-1.71E-03	325.87	52.72	-9.55E-02	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	2.80E-02	2.90E+02	1.69E+01	5.00E-01	
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.08E-02	322.77	49.62	-5.67E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	4.40E-02	2.90E+02	1.69E+01	7.86E-01	
-1.21E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-4.31E-03	327.84	54.69	-2.50E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.80E-02	3.00E+02	2.69E+01	5.12E-01	
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.29E-02	325.44	52.29	-7.13E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	4.10E-02	2.90E+02	1.69E+01	7.32E-01	
-1.22E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-4.05E-03	345.66	72.51	-3.11E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	3.40E-02	2.90E+02	1.69E+01	6.07E-01	
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.35E-02	329.99	56.84	-8.11E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.90E-02	2.90E+02	1.69E+01	3.39E-01	
-1.21E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.50E-02	350.30	77.15	-1.23E+00	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	2.10E-02	2.90E+02	1.69E+01	3.75E-01	
-1.21E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.19E-02	349.04	75.89	-9.59E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	3.00E-02	2.90E+02	1.69E+01	5.36E-01	
-1.21E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.11E-02	375.75	102.60	-1.21E+00	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.30E-02	3.00E+02	2.69E+01	3.70E-01	
-1.22E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.21E-02	371.89	98.74	-1.27E+00	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	5.30E-02	2.90E+02	1.69E+01	9.47E-01	
-1.22E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-7.12E-03	346.68	73.53	-5.55E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	4.00E-02	2.90E+02	1.69E+01	7.14E-01	
-1.22E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.24E-02	332.64	59.49	-7.81E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	8.20E-03	3.00E+02	2.69E+01	2.33E-01	
-1.20E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.88E-02	319.68	46.53	-9.28E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	5.70E-02	2.90E+02	1.69E+01	1.02E+00	
-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-2.01E-02	313.79	40.64	-8.66E-01	-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.20E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.14E-01	
-1.20E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.48E-02	316.99	43.84	-6.89E-01	-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	2.00E-02	3.00E+02	2.69E+01	5.69E-01	
-1.19E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-2.00E-02	317.12	43.97	-9.30E-01				Total mfr	8.00E-01 [kg/s]	Total Enthalp	1.62E+01	
-1.20E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.62E-02	324.56	51.41	-8.80E-01								
-1.19E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-2.59E-02	313.27	40.12	-1.10E+00								
-1.20E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.28E-02	337.37	64.22	-8.71E-01								
-1.20E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.25E-02	345.03	71.88	-9.54E-01								
-1.21E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-8.66E-03	367.83	94.68	-8.69E-01								
-1.21E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.54E-02	320.56	47.41	-7.72E-01								
-1.20E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.07E-02	332.42	59.27	-6.74E-01								

-1.22E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-8.81E-03	337.93	64.78	-6.05E-01
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-9.84E-03	323.63	50.48	-5.27E-01
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.80E-02	319.25	46.10	-8.82E-01
-1.22E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-5.83E-03	351.48	78.33	-4.84E-01
-1.22E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-3.17E-03	376.79	103.64	-3.48E-01
-1.22E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-2.00E-03	380.60	107.45	-2.28E-01
-1.20E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-5.83E-03	324.42	51.27	-3.17E-01
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.53E-02	318.91	45.76	-7.42E-01
-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-9.07E-03	320.81	47.66	-4.58E-01
-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-2.07E-02	315.30	42.15	-9.25E-01
-1.22E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-3.96E-03	365.97	92.82	-3.90E-01
-1.22E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-3.92E-03	359.94	86.79	-3.60E-01
-1.22E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-2.16E-03	381.17	108.02	-2.47E-01
-1.22E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-4.50E-03	385.22	112.07	-5.34E-01
-1.22E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.14E-02	372.66	99.51	-1.21E+00
-1.22E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-3.75E-03	355.34	82.19	-3.27E-01
-1.20E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.51E-02	330.25	57.10	-9.14E-01
-1.21E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.61E-02	353.37	80.22	-1.37E+00
-1.20E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.97E-02	330.45	57.30	-1.20E+00
-1.20E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-9.64E-03	325.16	52.01	-5.32E-01
-1.21E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-9.88E-03	372.93	99.78	-1.05E+00
-1.22E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-8.16E-03	343.13	69.98	-6.06E-01
-1.22E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-2.82E-03	343.87	70.72	-2.11E-01
-1.22E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-4.33E-03	366.68	93.53	-4.29E-01
-1.19E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-2.63E-03	325.55	52.40	-1.46E-01
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-6.95E-03	326.15	53.00	-3.90E-01
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-3.12E-03	324.94	51.79	-1.71E-01
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.80E-02	324.94	51.79	-9.86E-01
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-9.69E-03	324.40	51.25	-5.26E-01
-1.20E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-1.89E-03	324.68	51.53	-1.03E-01
-1.21E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-4.49E-03	324.90	51.75	-2.46E-01
-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-2.46E-03	316.91	43.76	-1.14E-01
-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-7.57E-03	314.61	41.46	-3.33E-01
-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-3.12E-03	320.53	47.38	-1.57E-01
-1.19E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-9.93E-03	314.43	41.28	-4.34E-01
-1.19E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.02E-02	317.51	44.36	-4.81E-01
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-2.03E-03	321.51	48.36	-1.04E-01
-1.19E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-1.73E-03	323.08	49.93	-9.14E-02
-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.38E-02	314.84	41.69	-6.08E-01
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.66E-02	315.94	42.79	-7.51E-01
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.17E-02	323.12	49.97	-6.20E-01
Total mfr			-8.00E-01 [kg/s]	Total Enthalpy	-4.85E+01 KW	

Reference Case

Enthalpy Out / sec	48.507 KW
Enthalpy In/ sec	16.227 KW
Ωφέλιμη Ισχύς	32.280 KW
Ονομαστική Ισχύς	40.705 KW
Βαθμός Απόδοσης	0.793

4 Σύγκριση μετρήσεων και υπολογισμών - Επαναληπτική διαδικασία προσδιορισμού παροχής αέρα

Μετά από έναν έλεγχο με διαδοχικές επαναλήψεις, με μικρές μεταβολές στην παροχή αέρα, βρέθηκε συμφωνία πειράματος – υπολογισμού όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση στο στόμιο εξόδου του αερολέβητα, για την τιμή παροχής αέρα 0.8 kg/s. Η τιμή αυτή συμφωνεί με τις χαρακτηριστικές του κατασκευαστή του ανεμιστήρα, και επομένως οριστικοποιείται για τις επόμενες υπολογιστικές διερευνήσεις.

Γενικά, μπορούν να γίνουν οι παρακάτω συνοπτικές παρατηρήσεις όσον αφορά τη σύγκριση μετρημένων – υπολογισμένων πεδίων ταχυτήτων – θερμοκρασιών:

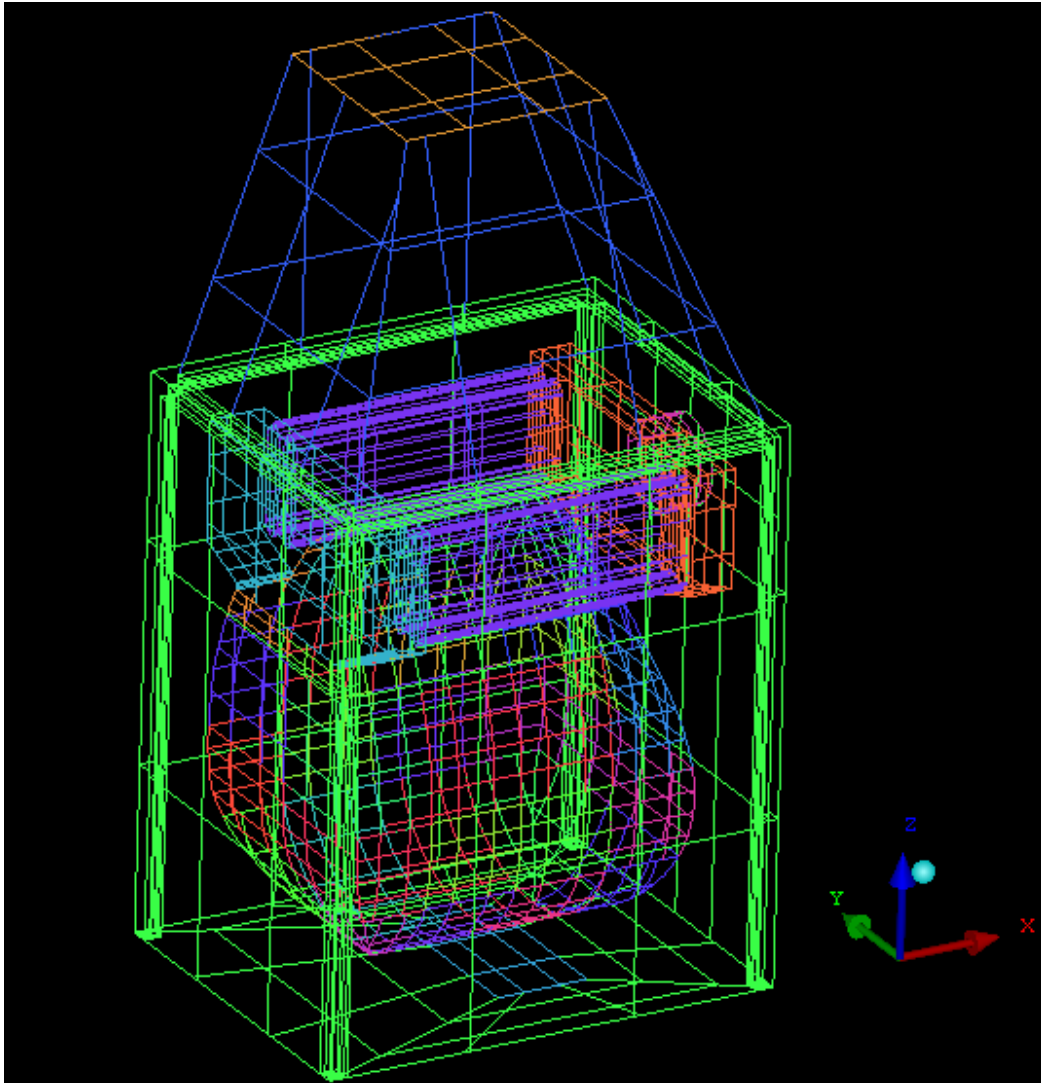
Το προφίλ ταχύτητας αέρα στην είσοδο του plenum εξόδου προς τον αεραγωγό (αμέσως μετά τα τούμπα), που μετρήθηκε με το ανεμόμετρο TSI (Διάγραμμα 11), επιβεβαιώνει σε γενικές γραμμές το ροϊκό πεδίο που υπολογίζει ο κώδικας (Εικόνα 9).

Από το σημείο αυτό και μετά, μπορούμε να τρέξουμε ξανά τη συγκεκριμένη περίπτωση, αλλάζοντας μόνο της θέση – διαστάσεις θυρίδας εισόδου αέρα, αλλά ακόμη, σε μικρό βαθμό, και τη γεωμετρία του θαλάμου – αυλών, ώστε να δοκιμάζονται υπολογιστικά διάφορες βελτιώσεις στο σχεδιασμό.

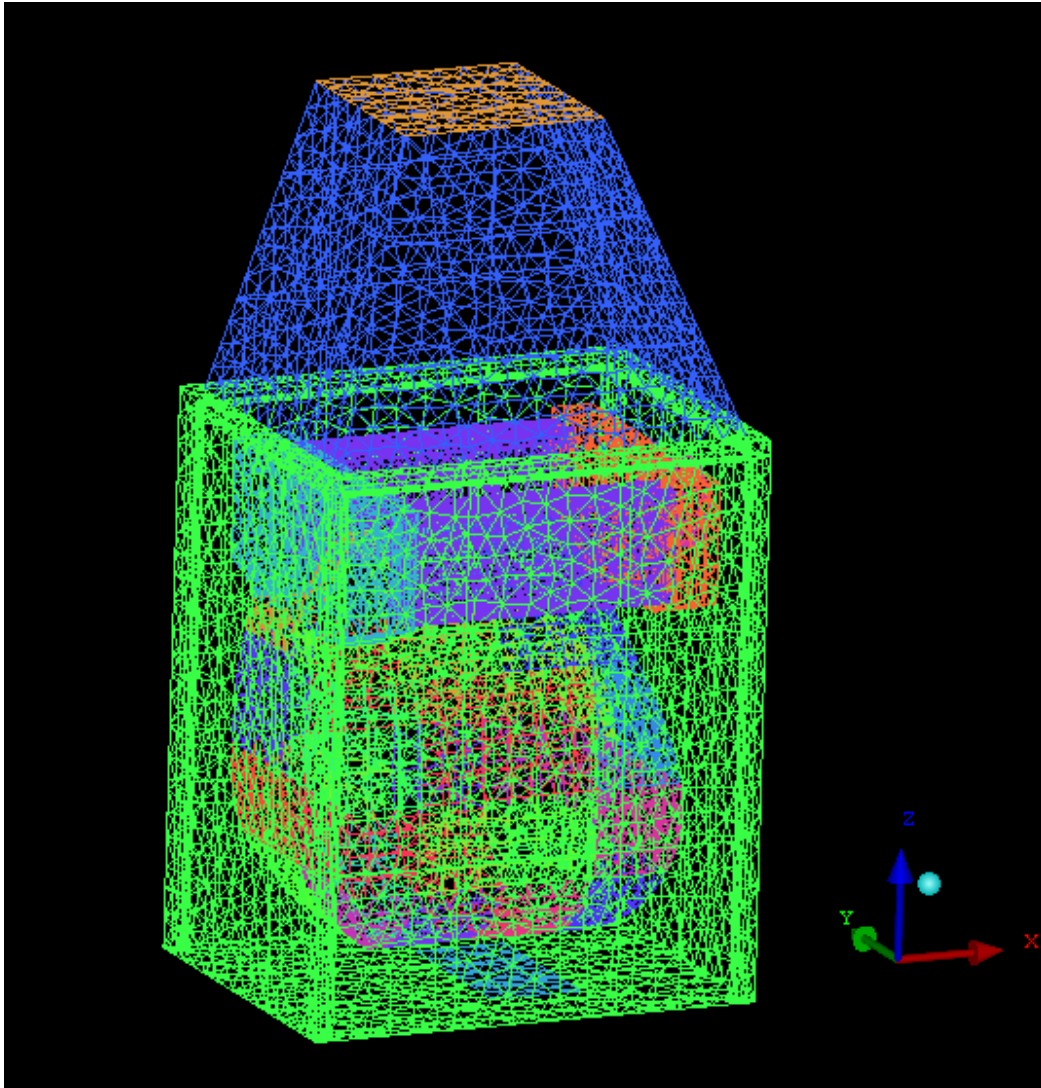
5 Έλεγχος πιθανών σχεδιαστικών βελτιώσεων

Η γεωμετρία της εισόδου του αέρα στον όγκο ελέγχου παρουσιάζεται στην **Εικόνα 13** που ακολουθεί. Στη συνέχεια προχωρήσαμε σε αλλαγή της θέσης εισόδου. Την μετατοπίσαμε κατά 10 cm αριστερά από την αρχική της θέση.

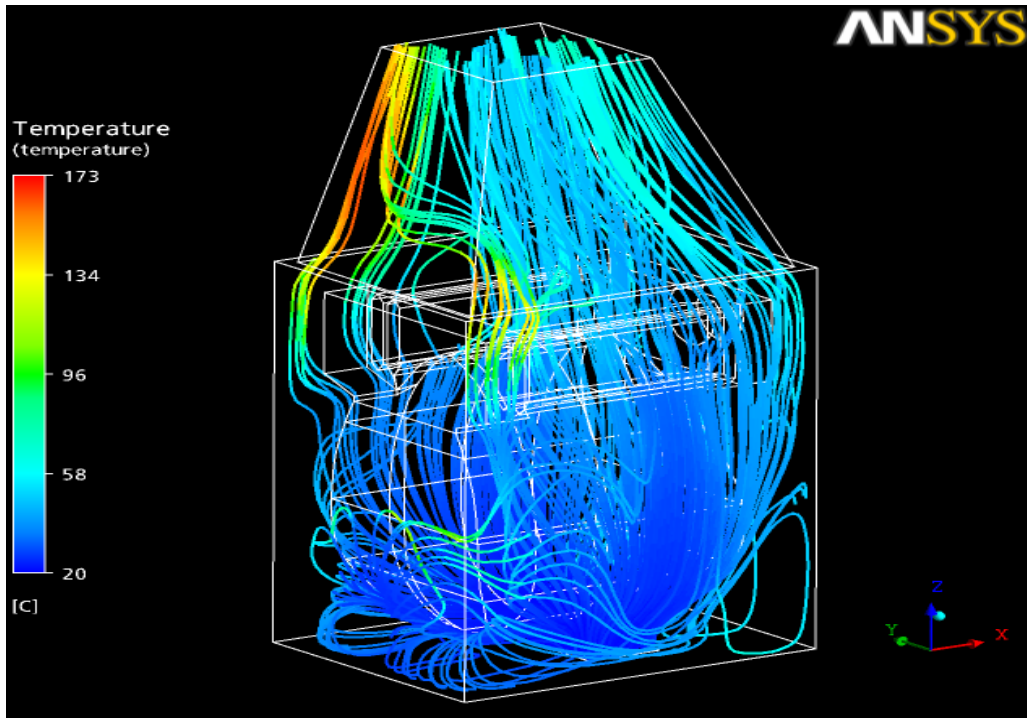
Η διαδικασία η οποία πραγματοποιήθηκε είναι ίδια με αυτή που παρουσιάστηκε στα τμήματα 3.5 έως 3.9 της παρούσας έκθεσης. Στη συνέχεια παρατίθενται **Εικόνες** στις οποίες φαίνονται ο όγκος ελέγχου, υπολογιστικό πλέγμα, και τα αποτελέσματα της τελευταίας επίλυσης.



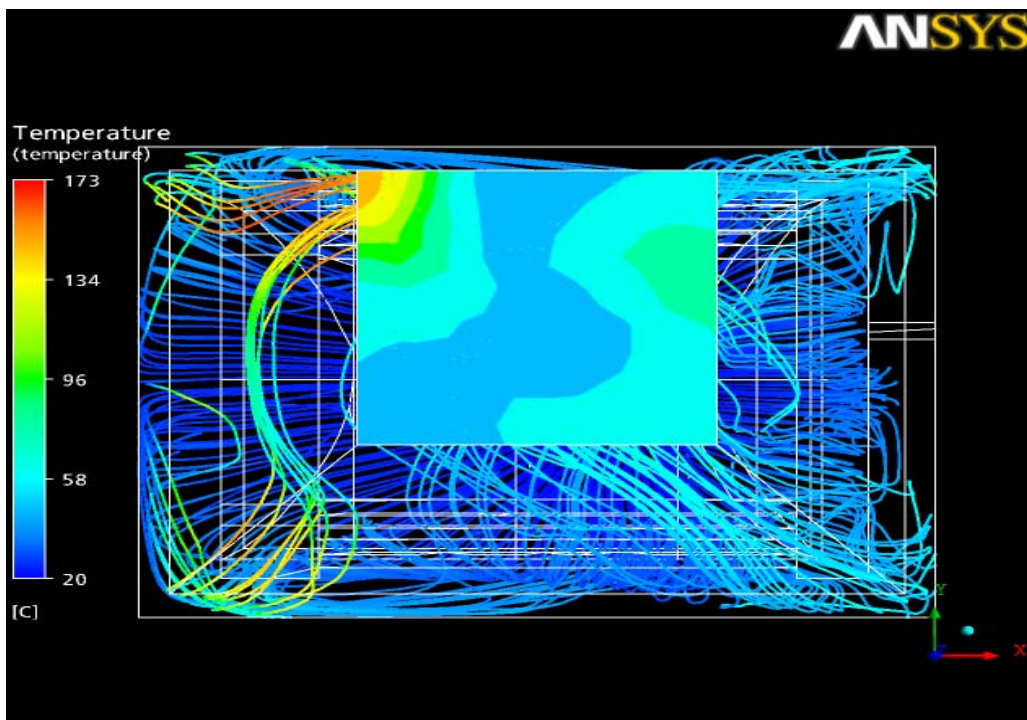
Εικόνα 13 Ο αερολέβητας και ο όγκος ελέγχου



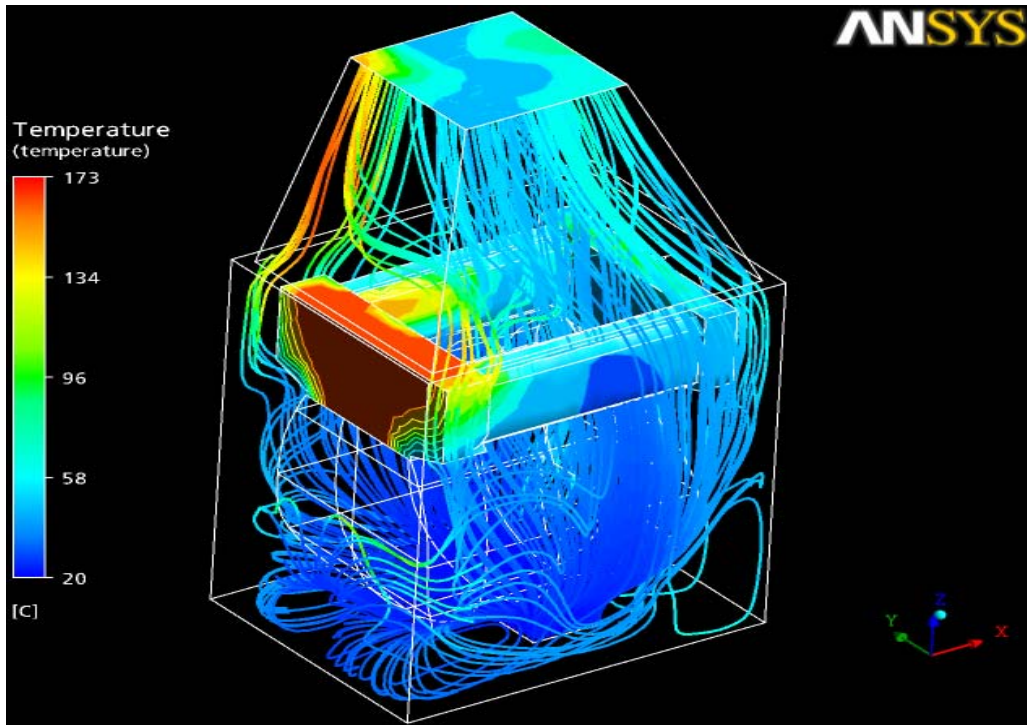
Εικόνα 14 Υπολογιστικό πλέγμα



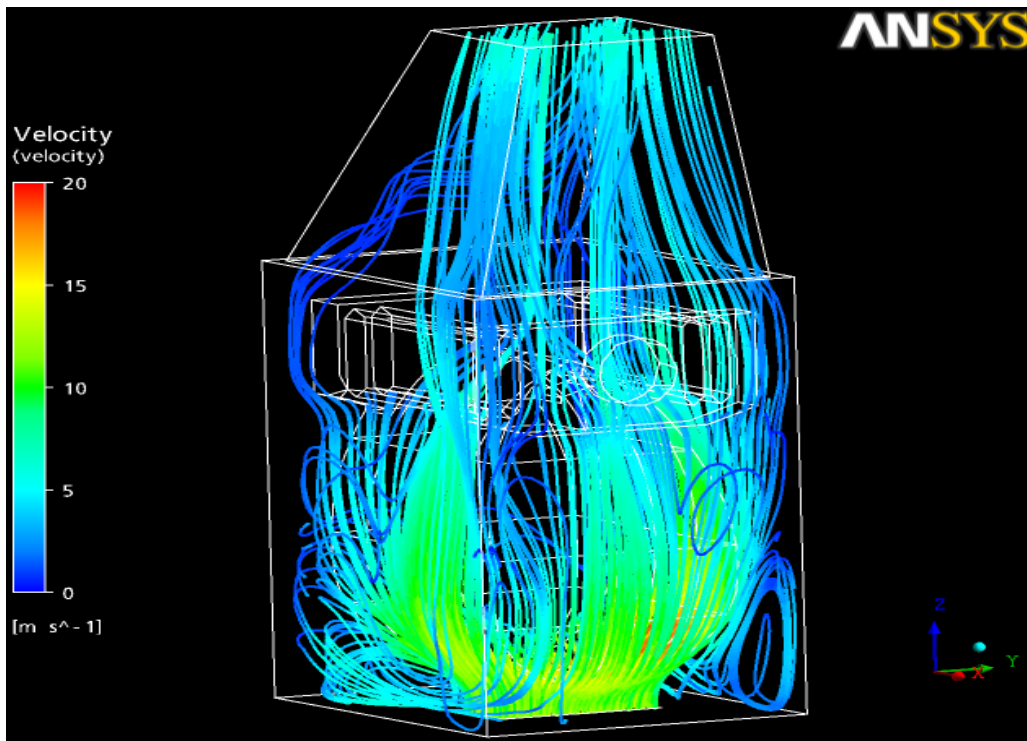
Εικόνα 15 Ροή του αέρα στον όγκο ελέγχου



Εικόνα 16 Κατανομή θερμοκρασίας στην έξοδο του plenum



Εικόνα 17 Κατανομή θερμοκρασίας στην έξοδο του plenum και στον εναλλάκτη θερμότητας



Εικόνα 18 Προφίλ ταχυτήτων

Inlet			Cp				1.06 KJ/kg K		Outlet					
X [m]	Y [m]	Z [m]	Mass Flow [k	Temp [K]	Temp [oC]	m*Cp*Tin	X [m]	Y [m]	Z [m]	Mass Flow[k	Temp [K]	Temp [oC]	m*Cp*Tout	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	5.60E-03	3.00E+02	2.69E+01	1.59E-01	-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-9.24E-03	3.39E+02	6.54E+01	-6.40E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	1.20E-02	3.00E+02	2.69E+01	3.42E-01	-1.19E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-3.54E-03	3.39E+02	6.57E+01	-2.47E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	2.70E-02	2.90E+02	1.69E+01	4.82E-01	-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-5.34E-03	3.40E+02	6.68E+01	-3.78E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	1.60E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.86E-01	-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.15E-02	3.39E+02	6.55E+01	-7.99E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	4.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	8.04E-01	-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.46E-02	3.31E+02	5.82E+01	-9.01E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	9.30E-03	2.90E+02	1.69E+01	1.66E-01	-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.93E-02	3.40E+02	6.69E+01	-1.37E+00	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	3.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	6.25E-01	-1.19E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-6.24E-03	3.29E+02	5.54E+01	-3.66E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	1.20E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.14E-01	-1.20E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-8.29E-03	3.24E+02	5.13E+01	-4.51E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	1.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.68E-01	-1.20E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-5.87E-03	3.17E+02	4.42E+01	-2.75E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	3.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	6.25E-01	-1.20E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.75E-02	3.27E+02	5.38E+01	-9.95E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	4.20E-02	2.90E+02	1.69E+01	7.50E-01	-1.21E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.86E-02	3.51E+02	7.76E+01	-1.53E+00	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	2.20E-02	2.90E+02	1.69E+01	3.93E-01	-1.21E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-8.34E-03	3.32E+02	5.90E+01	-5.22E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	3.00E-02	2.90E+02	1.69E+01	5.36E-01	-1.22E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-5.94E-03	3.97E+02	1.24E+02	-7.82E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	2.30E-02	2.90E+02	1.69E+01	4.11E-01	-1.21E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.75E-02	3.17E+02	4.35E+01	-8.10E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.50E-02	3.00E+02	2.69E+01	4.27E-01	-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.06E-02	3.35E+02	6.19E+01	-6.96E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	3.10E-02	2.90E+02	1.69E+01	5.54E-01	-1.20E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-4.55E-03	3.35E+02	6.19E+01	-2.99E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	2.70E-02	2.90E+02	1.69E+01	4.82E-01	-1.20E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-4.65E-03	3.37E+02	6.41E+01	-3.16E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	2.90E-02	2.90E+02	1.69E+01	5.18E-01	-1.21E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-2.16E-03	3.27E+02	5.37E+01	-1.23E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.60E-02	3.00E+02	2.69E+01	4.55E-01	-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.13E-02	3.27E+02	5.36E+01	-6.40E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.10E-02	3.00E+02	2.69E+01	3.13E-01	-1.21E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-5.50E-03	3.22E+02	4.90E+01	-2.86E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	2.00E-02	2.90E+02	1.69E+01	3.57E-01	-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.41E-02	3.23E+02	4.94E+01	-7.41E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	3.30E-02	2.90E+02	1.69E+01	5.89E-01	-1.22E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-5.50E-03	3.19E+02	4.59E+01	-2.68E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	3.00E-02	2.90E+02	1.69E+01	5.36E-01	-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.28E-02	3.24E+02	5.05E+01	-6.85E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	2.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	4.47E-01	-1.21E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.58E-02	3.23E+02	5.03E+01	-8.44E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.90E-02	2.90E+02	1.69E+01	3.39E-01	-1.21E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.37E-02	3.30E+02	5.71E+01	-8.26E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.20E-02	3.00E+02	2.69E+01	3.42E-01	-1.21E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.36E-02	3.38E+02	6.46E+01	-9.31E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.30E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.32E-01	-1.22E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.42E-02	3.45E+02	7.19E+01	-1.09E+00	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.30E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.32E-01	-1.22E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-8.40E-03	3.30E+02	5.68E+01	-5.06E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.20E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.14E-01	-1.22E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.35E-02	3.25E+02	5.19E+01	-7.40E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.00E-02	3.00E+02	2.69E+01	2.85E-01	-1.20E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.64E-02	3.19E+02	4.62E+01	-8.03E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	1.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.68E-01	-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.50E-02	3.21E+02	4.83E+01	-7.70E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.68E-01	-1.20E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.18E-02	3.26E+02	5.29E+01	-6.63E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	2.30E-02	2.90E+02	1.69E+01	4.11E-01	-1.19E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.62E-02	3.45E+02	7.17E+01	-1.23E+00	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	4.10E-03	3.00E+02	2.69E+01	1.17E-01	-1.20E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.52E-02	3.33E+02	5.94E+01	-9.59E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	8.00E-03	3.00E+02	2.69E+01	2.28E-01	-1.19E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.84E-02	3.35E+02	6.17E+01	-1.20E+00	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	1.20E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.14E-01	-1.20E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.32E-02	3.20E+02	4.73E+01	-6.63E-01	
-1.20E+01	1.30E+01	-6.40E+00	3.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	6.25E-01	-1.20E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.51E-02	3.24E+02	5.11E+01	-8.17E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	2.90E-02	2.90E+02	1.69E+01	5.18E-01	-1.21E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.06E-02	3.25E+02	5.22E+01	-5.88E-01	
-1.20E+01	1.20E+01	-6.40E+00	1.50E-02	2.90E+02	1.69E+01	2.68E-01	-1.21E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.28E-02	3.19E+02	4.61E+01	-6.26E-01	
		Total mfr	8.01E-01		Total Enthalpy	1.53E+01	-1.20E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-1.15E-02	3.24E+02	5.10E+01	-6.22E-01	

Shifted Case

Enthalpy Out / sec 50.891 KW
 Enthalpy In/ sec 15.300 KW
Ωφέλιμη Ισχύς 35.591 KW
 Ονομαστική Ισχύς 40.705 KW
 Βαθμός Απόδοσης 0.874

-1.22E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.01E-02	3.22E+02	4.91E+01	-5.26E-01
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-9.43E-03	3.24E+02	5.10E+01	-5.10E-01
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.52E-02	3.25E+02	5.18E+01	-8.34E-01
-1.22E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-7.62E-03	3.20E+02	4.71E+01	-3.80E-01
-1.22E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-4.28E-03	3.23E+02	4.95E+01	-2.24E-01
-1.22E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-2.92E-03	3.20E+02	4.72E+01	-1.46E-01
-1.20E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-6.61E-03	3.31E+02	5.75E+01	-4.03E-01
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.30E-02	3.28E+02	5.52E+01	-7.63E-01
-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-8.53E-03	3.32E+02	5.90E+01	-5.34E-01
-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.57E-02	3.25E+02	5.18E+01	-8.60E-01
-1.22E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-4.75E-03	3.33E+02	5.94E+01	-2.99E-01
-1.22E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-4.72E-03	3.29E+02	5.59E+01	-2.80E-01
-1.22E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-2.18E-03	3.84E+02	1.11E+02	-2.56E-01
-1.22E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-5.05E-03	3.50E+02	7.70E+01	-4.12E-01
-1.22E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.19E-02	3.83E+02	1.10E+02	-1.38E+00
-1.22E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-3.46E-03	4.16E+02	1.43E+02	-5.25E-01
-1.20E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.84E-02	3.22E+02	4.87E+01	-9.49E-01
-1.21E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-2.02E-02	3.24E+02	5.11E+01	-1.09E+00
-1.20E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-2.17E-02	3.39E+02	6.54E+01	-1.51E+00
-1.20E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-1.21E-02	3.15E+02	4.22E+01	-5.39E-01
-1.21E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.17E-02	3.50E+02	7.68E+01	-9.51E-01
-1.22E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-7.68E-03	4.05E+02	1.32E+02	-1.07E+00
-1.22E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-2.52E-03	4.26E+02	1.53E+02	-4.09E-01
-1.22E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-5.33E-03	3.26E+02	5.28E+01	-2.99E-01
-1.19E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-2.87E-03	3.30E+02	5.68E+01	-1.73E-01
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-7.93E-03	3.36E+02	6.24E+01	-5.25E-01
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-3.62E-03	3.35E+02	6.18E+01	-2.37E-01
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.78E-02	3.50E+02	7.68E+01	-1.45E+00
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-1.07E-02	3.46E+02	7.32E+01	-8.31E-01
-1.20E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-2.39E-03	3.14E+02	4.05E+01	-1.02E-01
-1.21E+01	1.28E+01	-4.97E+00	-5.62E-03	3.14E+02	4.09E+01	-2.44E-01
-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-2.01E-03	3.40E+02	6.69E+01	-1.42E-01
-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-5.79E-03	3.40E+02	6.71E+01	-4.12E-01
-1.19E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-2.84E-03	3.41E+02	6.75E+01	-2.03E-01
-1.19E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-8.09E-03	3.46E+02	7.28E+01	-6.24E-01
-1.19E+01	1.26E+01	-4.97E+00	-9.82E-03	3.53E+02	7.95E+01	-8.27E-01
-1.19E+01	1.27E+01	-4.97E+00	-2.30E-03	3.47E+02	7.37E+01	-1.79E-01
-1.19E+01	1.24E+01	-4.97E+00	-1.88E-03	3.40E+02	6.71E+01	-1.34E-01
-1.20E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.06E-02	3.19E+02	4.61E+01	-5.18E-01
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-1.25E-02	3.22E+02	4.86E+01	-6.42E-01
-1.21E+01	1.25E+01	-4.97E+00	-9.68E-03	3.21E+02	4.83E+01	-4.95E-01
		Total mfr	-8.00E-01		Total Enthalpy	-5.09E+01

Η οπτική παρατήρηση – σύγκριση των εικόνων 16 και 10, δείχνει σημαντικές διαφορές στην κατανομή θερμοκρασιών τόσο στις γραμμές ροής, όσο και (περισσότερο εμφανώς), στην διατομή εξόδου του plenum. Η επεξεργασία των αρχείων εξόδου με τα ισοζύγια ενέργειας που φαίνεται στις 2 προηγούμενες σελίδες, έδειξε μία σημαντική αναμενόμενη βελτίωση στην ωφέλιμη ισχύ του λέβητα (από 32.280 σε 35.591 KW). Με αποτέλεσμα και ο βαθμός απόδοσης να βελτιώνεται σημαντικά (από 0,793 σε 0,874) με την προτεινόμενη σχεδιαστική τροποποίηση. Προφανώς η θέση εισόδου δεν έχει βελτιστοποιηθεί επαρκώς από τον κατασκευαστή του αερολέβητα.

6 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, συνδυάστηκε με επιτυχία η χρήση εμπορικού κώδικα CFD με τεχνική υπέρυθρης θερμογραφίας, με απώτερο στόχο την υποστήριξη βελτιώσεων στο σχεδιασμό μικρού αερολέβητα. Αποδείχτηκε ότι είναι εφικτή η εκτίμηση των αναμενόμενων βελτιώσεων της απόδοσης του εναλλάκτη, για μικρές μεταβολές στο σχεδιασμό του.

7 Προτάσεις σχετικά με το λογισμικό στο ΠΠΣ

Η συγκεκριμένη εργασία έγινε στα πλαίσια της Αναμόρφωσης του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, και ξεκίνησε στις αρχές Δεκεμβρίου 2007. Οι γνώσεις μου περιελάμβαναν τα βασικά μαθήματα του Τμήματος και του Τομέα Ενέργειας μέχρι το 9^ο εξάμηνο, που ήταν το τρέχον.

Οι βασικές δυσκολίες που συνάντησα κατανέμονται σε δυο κατηγορίες:

Δημιουργία γεωμετρίας και υπολογιστικού πλέγματος: Το πρόβλημα που αντιμετώπισα ήταν στην εισαγωγή της γεωμετρίας του όγκο ελέγχου στο ANSYS ICEM. Η λύση τελικά ήταν η επεξεργασία των ήδη υπαρχόντων σχεδίων του κατασκευαστή [2] στο ProEngineer. Επόμενο πρόβλημα ήταν η δημιουργία του σωστού υπολογιστικού πλέγματος. Αρκετά πράγματα για αυτό το θέμα αναφέρθηκαν στην ενότητα 3,6 εν συντομία αναφέρω ότι το πρόβλημα λύθηκε δημιουργώντας πυκνό πλέγμα 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 εναλλαγής θερμότητας. Το πρόβλημα λύθηκε έπειτα από την επεξεργασία των θερμογραφημάτων, ενότητα 3.2.

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

Δημιουργία γεωμετρίας: 40 ώρες

Δημιουργία υπολογιστικού πλέγματος: 20 ώρες

Ορισμός οριακών συνθηκών: 10 ώρες

Τρεξίματα – βελτιώσεις – λήψη – επεξεργασία αποτελεσμάτων: 15 ώρες

Πρόκειται για ελεύθερο χρόνο που μου απέμενε απογεύματα και βράδια.

8 Βιβλιογραφία

1. Asotani, T., et al., *Prediction of ignition behavior in a tangentially fired pulverized coal boiler using CFD*. Fuel, 2008. **87**(4-5): p. 482-490.
2. Ποντικάκης, Γ., *Σχεδιομελέτη αερολέβητα 35,000 kcal/h*. 2006: Θεσσαλονίκη.
3. Flir, *ThermaCam Researcher Professional 2.8 SR-3*. 2007.

Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες οφείλονται στον καθηγητή κ. Ερρίκο Σταπουντζή του Εργαστηρίου Ρευστομηχανικής & Στροβιλομηχανών για την παροχή διευκολύνσεων με τον υπολογιστικό εξοπλισμό και την άδεια χρήσης του λογισμικού ANSYS 8 -CFX 5.7, καθώς και για τις πολύτιμες υποδείξεις του στην πειραματική διάταξη και στην ερμηνεία και βελτιώσεις των αποτελεσμάτων των ρευστομηχανικών υπολογισμών.

Επίσης, ευχαριστούμε τον Δρα Γ. Ποντικάκη για την παραχώρηση του πρωτοτύπου και των κατασκευαστικών σχεδίων του αερολέβητα και εν γένει συνεργασία στην βελτιστοποίηση, καθώς και τον συνάδελφο Λ. Δημητριάδη για την πολύτιμη συμβολή του στο εργαστηριακό μέρος.