



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΩΝ
ΤΕΦΡΑΣ»**

Του Προπτυχιακού Φοιτητή

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΑΛΜΠΑΝΙΔΗ

Επιβλέπων

**ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΚΑΚΚΑΡΑΣ, Καθηγητής, Σχολή
Μηχανολόγων-Μηχανικών Ε.Μ.Π.**

Αθήνα, Οκτώβριος 2007

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στο εργαστήριο Ατμοπαραγωγών και Θερμικών εγκαταστάσεων του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή Δρ.Ε.Κακκαρά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την εργασία αυτή. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υποψήφιο Διδάκτορα Μιχάλη Αγρανιώτη για την ουσιαστική καθοδήγησή του καθώς και τους κυρίους Παναγιώτη Γραμμέλη, Εμμανουήλ Καραμπίνη και Σωτήριο Καρέλλα για την πάντα πρόθυμη βοήθεια που μου παρείχαν. Πολλές ευχαριστίες οφείλω και στους γονείς μου που στάθηκαν αυτά τα χρόνια πολύτιμοι αρωγοί στην προσπάθειά μου.

Δημήτριος Δ. Αλμπανίδης

Οκτώβριος 2007

Περιεχόμενα

1ο Κεφάλαιο	4
1.1 Εισαγωγή –Σκοπός διπλωματικής.....	4
1.2 Περίληψη διπλωματικής -Περιεχόμενα	4
2ο Κεφάλαιο	6
2.1 Περιγραφή γεωμετρικών διατάξεων του εναλλάκτη.....	6
2.2 Θεωρία μετάδοσης θερμότητας στα πτερύγια.....	8
2.3 Εισαγωγή του όρου των επικαθήσεων στις σχέσεις της εργασίας [1]-1 ^η διάταξη	9
2.4 Εισαγωγή του όρου των επικαθήσεων στις σχέσεις της εργασίας [1]-2 ^η διάταξη	11
3 ^ο Κεφάλαιο	14
3.1 Περιγραφή και τρόπος λειτουργίας του υπολογιστικού προγράμματος fluent	14
3.2 Αναλυτική περιγραφή του μοντέλου διακριτής φάσης των σωματιδίων στο fluent –DPM.....	19
3.3 Στοχαστική παρακολούθηση των σωματιδίων.....	21
3.4 Βασικές αρχές του τρόπου μοντελοποίησης του προβλήματός στο fluent	21
3.4.1. Καθορισμός οριακών συνθηκών	28
4ο Κεφάλαιο	29
4.1 Αποτελέσματα των προσομοιώσεων στο fluent για την 1 ^η διάταξη του υπερθερμαντή σε μορφή διαγραμμάτων.	29
4.1.1.Επίδραση των σωματιδίων της τέφρας στην διάταξη ποσοτικά και ποιοτικά.....	39
5ο Κεφάλαιο	42
5.1 Αποτελέσματα των προσομοιώσεων στο fluent για τη 2 ^η διάταξη του υπερθερμαντή-με πτερύγια σε μορφή διαγραμμάτων.....	42
6 ^ο Κεφάλαιο	50
6.1 Σύντομη αποτίμηση της εργασίας.....	50
6.2 Συμπεράσματα- Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	51
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	53
1.Excel worksheet με όλα τα αποτελέσματα για όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν στο fluent-1 ^η διάταξη.....	53
2.Διάγραμμα για τον υπολογισμό του Cp καυσαερίου	57
3. Πίνακας από το κεφάλαιο Od του Wärmetlas για την θερμική αγωγιμότητα k υλικών των επικαθήσεων	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60

1ο Κεφάλαιο

1.1 Εισαγωγή –Σκοπός διπλωματικής

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης αποτελεί η διδιάστατη μοντελοποίηση μεταφοράς θερμότητας σε υπερθερμαντή λέβητα κονιοποιημένου καυσίμου και βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του με στόχο τη μείωση των επικαθήσεων της τέφρας. Αυτό γίνεται εφικτό με την προσομοίωση σε δύο διαστάσεις της ροής καυσαερίου σε υπερθερμαντήρες μέσω ενός εμπορικά διαθέσιμου υπολογιστικού κώδικα. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν αξιολογήθηκαν και έπειτα συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα ενός υπολογιστικού προγράμματος, τα οποία συμπεριλαμβάνονται στην εργασία [1].

Στον κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD), fluent, δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης ενός σημείου λειτουργίας κάθε φορά ανάλογα με τις δεδομένες οριακές συνθήκες, οπότε εμείς έχουμε ως σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτής της προσομοιώσεως με τις ημι-εμπειρικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία [1].

Η μοντελοποίηση αυτή πραγματοποιήθηκε για δύο διατάξεις του εναλλάκτη διαφορετικής γεωμετρίας. Η διαφορά έγκειται στο ότι στη δεύτερη διάταξη περιλαμβάνονται και μεταλλικά ελάσματα μικρού πάχους που συνδέουν τους καθ' ύψος αγωγούς με σκοπό την καλύτερη μετάδοση θερμότητας αλλά και τον αποτελεσματικότερο καθαρισμό από τα σωματίδια της τέφρας που επικάθονται στα ελάσματα και στους σωλήνες του εναλλάκτη.

Από τα αποτελέσματα προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με τις δυο προσεγγίσεις για αυτό το πρόβλημα, που παρουσιάζονται κυρίως μέσα από διαγράμματα.

1.2 Περίληψη διπλωματικής -Περιεχόμενα

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η μοντελοποίηση της ροής καυσαερίου διερχόμενου μέσα από υπερθερμαντή με χρήση εμπορικά διαθέσιμου υπολογιστικού κώδικα σε δύο διαστάσεις. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν με τη σειρά τους να συγκριθούν με τα αντίστοιχα μεγέθη, που έχουν υπολογιστεί με τη βοήθεια ημι-εμπειρικών σχέσεων στο υπολογιστικό περιβάλλον.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται αρχικά μια αναλυτική περιγραφή των δύο διατάξεων του εναλλάκτη, όπου αναφέρονται τα γεωμετρικά μεγέθη των σωλήνων του υπερθερμαντή και

των ελασμάτων για τη δεύτερη διάταξη. Κατόπιν ακολουθεί σύντομη αναφορά στη θεωρία των περυγίων, καθώς τα ελάσματα θεωρήθηκαν ως περύγια μικρού πάχους, η βάση των οποίων είναι στους σωλήνες. Τέλος, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο λήφθηκαν υπ' όψη οι επικαθήσεις των σωματιδίων κατά τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας και για τις δυο διατάξεις του εναλλάκτη, αφού καθορίστηκε το πάχος του στρώματος των επικαθήσεων πάνω στους μεταλλικούς σωλήνες του υπερθερμαντή αλλά και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας k για τις επικαθήσεις.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται η παρουσίαση του κώδικα υπολογιστικής ρευστομηχανικής, και ειδικότερα ο τρόπος επίλυσης των θεμελιωδών εξισώσεων διατήρησης, συνέχειας, ορμής και ενέργειας, καθώς και η επιλογή των παραμέτρων μοντελοποίησης, που προκύπτουν για τις διαφορετικές παραμέτρους του προβλήματός μας όπως π.χ. οριακές συνθήκες, είδος εργαζόμενου μέσου κ.α.. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο μοντέλο διακριτής φάσης DPM, με τις βασικές αρχές του οποίου μοντελοποιείται η συμπεριφορά των σωματιδίων της τέφρας κατά την διέλευση τους μέσα από τον εναλλάκτη. Σχεδιάστηκε πίνακας για όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν και μοντελοποιήθηκαν στον κώδικα. Πολύτιμη είναι και η δυνατότητα παρουσίασης των ιδιοτήτων των σωματιδίων της τέφρας δηλαδή διάμετρος, θερμοκρασία.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται η επίδειξη των αποτελεσμάτων του fluent για την πρώτη διάταξη του εναλλάκτη και ταυτόχρονα η ερμηνεία τους. Τα διαγράμματα των διαφορετικών φυσικών μεγεθών που αναλύονται, δίνουν στον αναγνώστη μια σε βάθος κατανόηση του προβλήματος καθώς εξετάζονται βάσει ποσοτικών και ποιοτικών κριτηρίων και γίνεται προσπάθεια να ερμηνευθούν ως σύνολο τα συμπεράσματα από τα διαγράμματα. Σχεδιάστηκαν διαγράμματα ολικής θερμοροής, ανηγμένης θερμοροής και ποσοστιαίας διαφοράς σε σχέση με την τιμή αναφοράς του υπολογιστικού περιβάλλοντος mathcad (βλ.εργασία[1]) του υπερθερμαντήρα. Ακόμα μελετήθηκε ο τρόπος επικαθήσεώς τους στους σωλήνες του υπερθερμαντή για μεταβλητό πλήθος ψεκασμού σωματιδίων στον υπερθερμαντή.

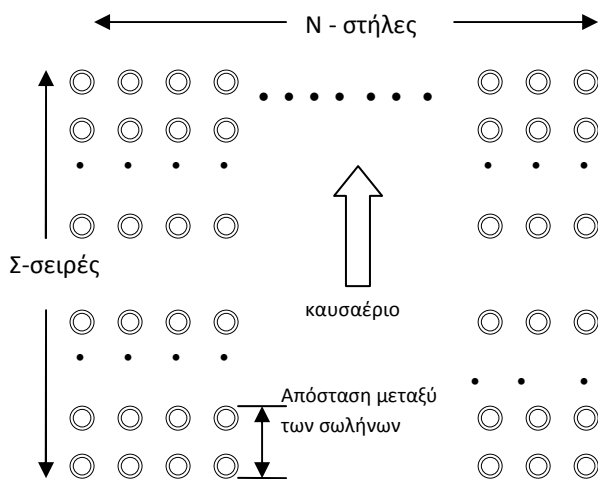
Στο κεφάλαιο 5 περιλαμβάνονται τα ίδια διαγράμματα μεγεθών όπως στο 4^ο κεφάλαιο που αφορούν όμως τη 2^η διάταξη του εναλλάκτη. Συγκρίνονται ακόμα τα αποτελέσματα αυτά και προκύπτει μια συνολική αποτίμηση των μεθόδων μοντελοποίησης με κώδικα CFD και υπολογισμού μέσα από ημι-εμπειρικές σχέσεις που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία και χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία [1].

2ο Κεφάλαιο

2.1 Περιγραφή γεωμετρικών διατάξεων του εναλλάκτη

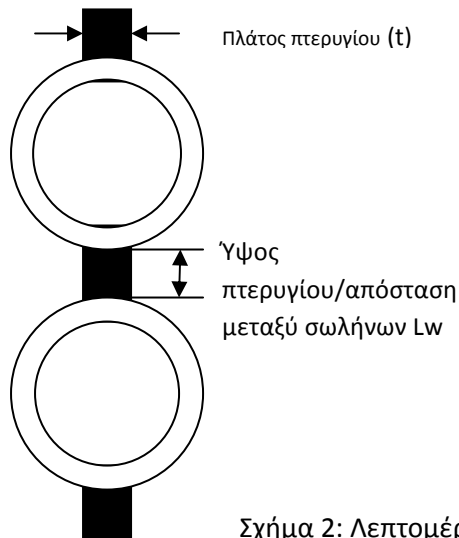
Ο υπερθερμαντήρας ανήκει στη μονάδα 1 του ΑΗΣ Αμυνταίου-Φιλώτα. Αποτελεί την πρώτη διάταξη υπερθέρμανσης που συναντά ο ατμός κατά τη ροή του προς τον στρόβιλο. Σύμφωνα με τα στοιχεία που δόθηκαν από τη ΔΕΗ η διάταξη αποτελείται από 480 αγωγούς, εξωτερικής διαμέτρου $Do=38$ mm, οι οποίοι είναι κατανομημένοι σε 8 σειρές αγωγών, κάθετες στη ροή καυσαερίου, καθεμία από τις οποίες αποτελείται από 60 στήλες αγωγών. Κάθε σειρά αγωγών κάνει και δεύτερο πέρασμα από τον λέβητα. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο θεωρήθηκε καλύτερο, κατά την μοντελοποίηση στον εμπορικό υπολογιστικό κώδικα, να θεωρηθεί ότι ο εναλλάκτης έχει 16 σειρές αγωγών. Η απόσταση μεταξύ των κέντρων των αγωγών της ίδιας σειράς είναι 276 mm ενώ η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών είναι 118 mm.

Για λόγους πληρότητας πρέπει να αναφερθεί εδώ η τιμή της ολικής επιφάνειας του εναλλάκτη, όπως αναφέρεται στο εγχειρίδιο του αμοπαραγωγού, $A_h=1715m^2$.



Σχήμα 1:1η διάταξη εναλλάκτη

Στη δεύτερη διάταξη έχουν τοποθετηθεί μεταξύ των γειτονικών καθ' ύψος αγωγών ελάσματα και, προκειμένου να επιτευχθεί ίδια ολική θερμοροή του εναλλάκτη, συγκεκριμένου πάχους και μήκους.



Σχήμα 2: Λεπτομέρεια 2^{ης} διάταξης εναλλάκτη

Η περιοχή μεταξύ των σωλήνων, όπως σημειώνεται με το αντίστοιχο βέλος, προσδιορίστηκε πειραματικά να εμφανίζει ιδιαίτερα αυξημένη συγκέντρωση επικαθήμενων σωματιδίων, τα οποία με τη σειρά τους δυσχεραίνουν την μετάδοση θερμότητας

Στην εργασία [1] υπολογίσθηκαν διαφορετικά ζεύγη λύσεων της παραμετρικής μελέτης, έτσι ώστε να διατηρείται σταθερή η ολική θερμοροή που παραλαμβάνει ο ατμός, που ρέει στους αυλούς. Τα τρία μεγέθη, αποτέλεσμα της παραμετρικής μελέτης, είναι το πάχος του ελάσματος, ο αριθμός των σειρών και το μήκος του ελάσματος που παρεμβάλλεται μεταξύ των αγωγών. Από το διάγραμμα λύσεων στην σελ.132 της εργασίας [1] μπορεί να λάβει κανείς περισσότερες πληροφορίες για τη διάταξη αυτή. Στην εργασία επιλέχθηκαν και μοντελοποιήθηκαν ενδεικτικά μερικές μόνο περιπτώσεις. Συγκεκριμένα:

Οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν αντιστοιχούν στις λύσεις για $t=0.003m$ και $t=0.005m$ $Lw=0.018m$ και $Lw=0.036m$ αντίστοιχα. Οι 4 αυτές περιπτώσεις μοντελοποιήθηκαν στο fluent και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα μεγέθη όπως ολική θερμοροή κ.α. συγκρίθηκαν με αυτά της κανονικής διάταξης.

Όπως όμως γίνεται κατανοητό, αλλάζει και η συνολική επιφάνεια του εναλλάκτη, αφού με την προσθήκη των ελασμάτων αυξάνει σημαντικά η θερμαινόμενη επιφάνεια αλλά και η διάταξη καθώς ελαττώνεται η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των σωλήνων.

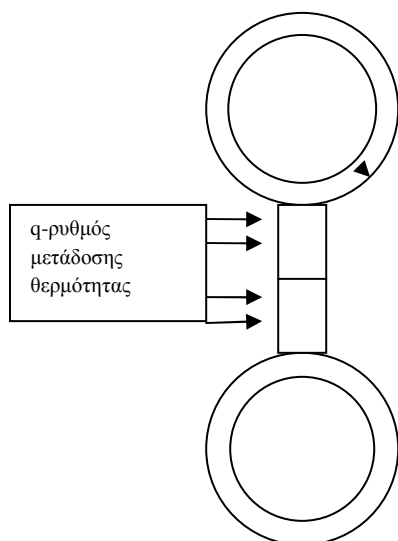
Αυτός είναι και ο κύριος λόγος τοποθέτησης των ελασμάτων, δηλαδή ο καλύτερος συντελεστής μετάδοσης θερμότητας, που επιτυγχάνεται μέσω των περυγίων.

2.2 Θεωρία μετάδοσης θερμότητας στα περύγια

Στο σημείο αυτό απαραίτητο είναι να γίνει μια σύντομη αναφορά στη θεωρία περυγίων.

Με βάση τη θεωρία μετάδοσης θερμότητας, όπως αναλύεται στα [3],[4], η χρήση περυγίου βελτιώνει τον ρυθμό μετάδοσης θερμότητας καθώς αυξάνει την επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας δια συναγωγής σύμφωνα με τη σχέση $q = h \cdot A \cdot (T_s - T^\infty)$ αλλά και αυξάνεται η ειδική συναγωγιμότητα που επηρεάζει την κατανομή της θερμοκρασίας στο περύγιο.

Στην εργασία [1] καθώς και στην παρούσα έγινε η απλουστευτική παραδοχή, ότι τα ελάσματα μεταξύ των κατά σειρά αγωγών, αποτελούν δύο περύγια τα οποία ενώνονται στη βάση τους με τους αντίστοιχους αγωγούς. Θεωρήθηκε λοιπόν ότι η μεταφερόμενη στο περύγιο θερμότητα από το καυσαέριο μεταδίδεται στη βάση καθ' ενός από τους σωλήνες στους οποίους είναι συγκολλημένο το έλασμα. Το παρακάτω σχήμα θα βοηθήσει στην κατανόηση της παραπάνω διαπίστωσης.



Σχήμα 3:Μεταφορά θερμότητας μέσω του περυγίου στους σωλήνες

2.3 Εισαγωγή του όρου των επικαθήσεων στις σχέσεις της εργασίας[1]-1^η διάταξη

Πρόβλημα για τους υπερθερμαντήρες των λιγνιτικών σταθμών της Βορειοδυτικής Ελλάδας συνιστούν οι αυξημένες επικαθήσεις της λιγνιτικής τέφρας στην περιοχή ανάμεσα σε διαδοχικούς κατά την κατεύθυνση του καυσαερίου αγωγούς. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτάθηκε να τοποθετηθεί μια πλάκα που θα ενώνει τους δύο αγωγούς, έτσι ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση των επικαθήσεων στην περιοχή αυτή και να διευκολυνθεί επομένως η λειτουργία του υπερθερμαντήρα. Κατ'αυτόν τον τρόπο αναπτύσσεται στην εργασία [1] μια παραμετρική μεθοδολογία επίλυσης της νέας γεωμετρίας του υπερθερμαντήρα, ώστε αυτή τελικά να έχει την ίδια θερμική συμπεριφορά και κυρίτερα να αποδίδει την ίδια ωφέλιμη ισχύ με την εγκατάσταση στην αρχική της μορφή.

Συνοπτικά στην παραπάνω εργασία υπολογίζονται μεγέθη όπως ολική θερμοροή του εναλλάκτη, ολικός συντελεστής μετάδοσης για δύο πιθανές διατάξεις του εναλλάκτη.

Στην εργασία [1] μελετήθηκε το φαινόμενο της μετάδοσης θερμότητας από το θερμό καυσαέριο στον ατμό, που ρέει μέσα στους αυλούς. Υπολογίστηκαν στο υπολογιστικό περιβάλλον mathcad αντιστάσεις εξωτερικής επιφάνειας-επιφάνεια σωλήνα, θερμική αντίσταση του τοιχώματος και τέλος, αντίσταση εσωτερικής επιφάνειας τοιχώματος-ατμός. Αποφασίστηκε η μοντελοποίηση των επικαθήσεων της τέφρας, που επιδρούν στον ολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας και για τις δύο διατάξεις του εναλλάκτη, να γίνει με βάση το κεφάλαιο Od του [3]. Συγκεκριμένα στο καυσαέριο που διέρχεται από τον εναλλάκτη περιέχονται σωματίδια, οπότε σχηματίζονται περιοχές επικαθήσεων πάνω στους σωλήνες με μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, που προσθέτουν ακόμη έναν όρο θερμικής αντίστασης στην ήδη υπάρχουσα αντίσταση του υλικού του σωλήνα. Το γεγονός αυτό προκαλεί τη μείωση του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας που ορίζεται από τη σχέση:

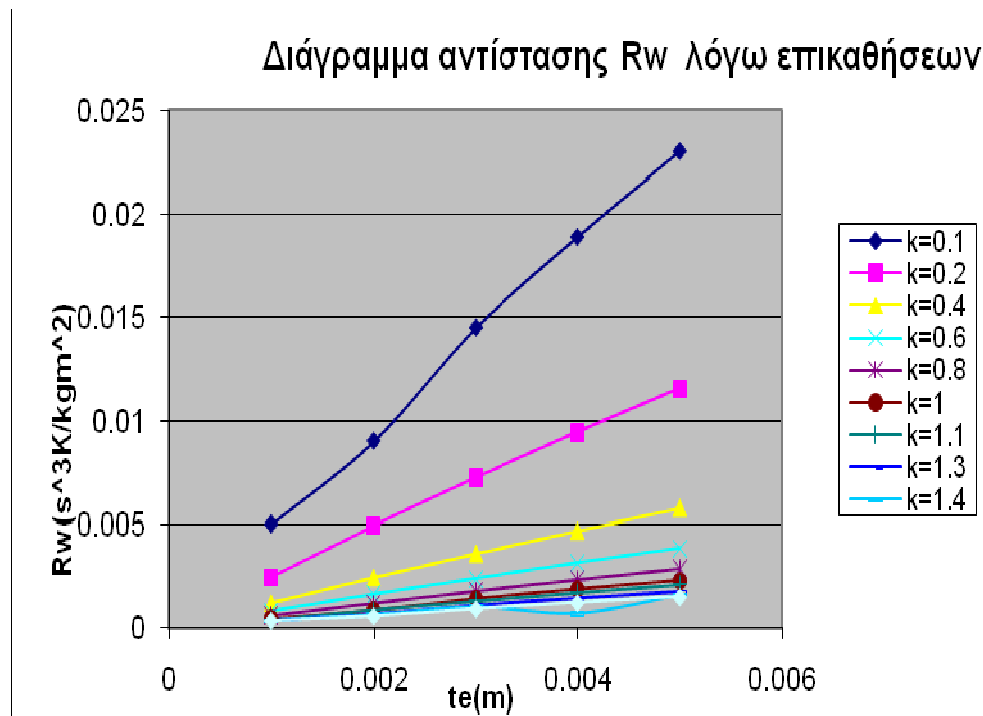
$$Uh = \frac{1}{\frac{Ah}{hcAc} + (Ah \times R_w) + \frac{1}{hh_{out}}}$$

Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται με τον όρο επικαθήσεις (αγγλ. fouling) και το είδος της αντίστασης ως αντίσταση επικαθήσεων.

Ο όρος της θερμικής αντίστασης των τοιχωμάτων εκφράζεται και συναρτήσει του αρχικού πάχους των σωλήνων t . Θεωρήσαμε ότι οι επικαθήσεις των σωματιδίων της τέφρας

στους σωλήνες δημιουργούν ένα πάχος επικαθήσεων t_{ep} , το οποίο αθροίζεται στο πάχος των σωλήνων t . Από το [4] για τη θερμική αγωγιμότητα ανάλογα με το είδος των επικαθήσεων, επιλέχθηκαν διαφορετικές τιμές k και διαφορετικά πάχη επικαθήσεων. Έπειτα υπολογίστηκε η συνολική αντίσταση R αλλά και ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για κάθε μια περίπτωση και σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα.

$$R_{w, tep} = \frac{\ln\left(\frac{D_o + 2t_{ep}}{D_i}\right)}{480 \times 2 \times \pi \times k \times Lm}$$



Διάγραμμα 1

Παρατηρείται ότι για τιμές της θερμικής αγωγιμότητας k από 0.4 έως 1.4 η αντίσταση R_w κυμαίνεται περίπου στις ίδιες τιμές, ενώ για $k=0.2$ και $k=0.1$ η αντίσταση R_w λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές.

2.4 Εισαγωγή του όρου των επικαθήσεων στις σχέσεις της εργασίας [1]-2^η διάταξη

Όσον αφορά στη διάταξη του υπερθερμαντή μετά τη προσθήκη ελασμάτων μεταξύ των καθ' ύψος αγωγών, θεωρήθηκε ότι οι επικαθήσεις των σωματιδίων τέφρας δημιουργούν ένα πρόσθετο πάχος tep στο ήδη υπάρχον πάχος t του ελάσματος. Ο όρος αυτός συμπεριλήφθηκε στην εξίσωση ορισμού για τον βαθμό απόδοσης ελασμάτων που είχε υπολογιστεί στην εργασία [1] στο υπολογιστικό περιβάλλον mathcad. Υπενθυμίζεται ότι η παρακάτω σχέση ορισμού προέκυψε ως σχέση από το [2]. Συνεπώς ο βαθμός απόδοσης για τα πτερύγια – ελάσματα δίνεται από την σχέση:

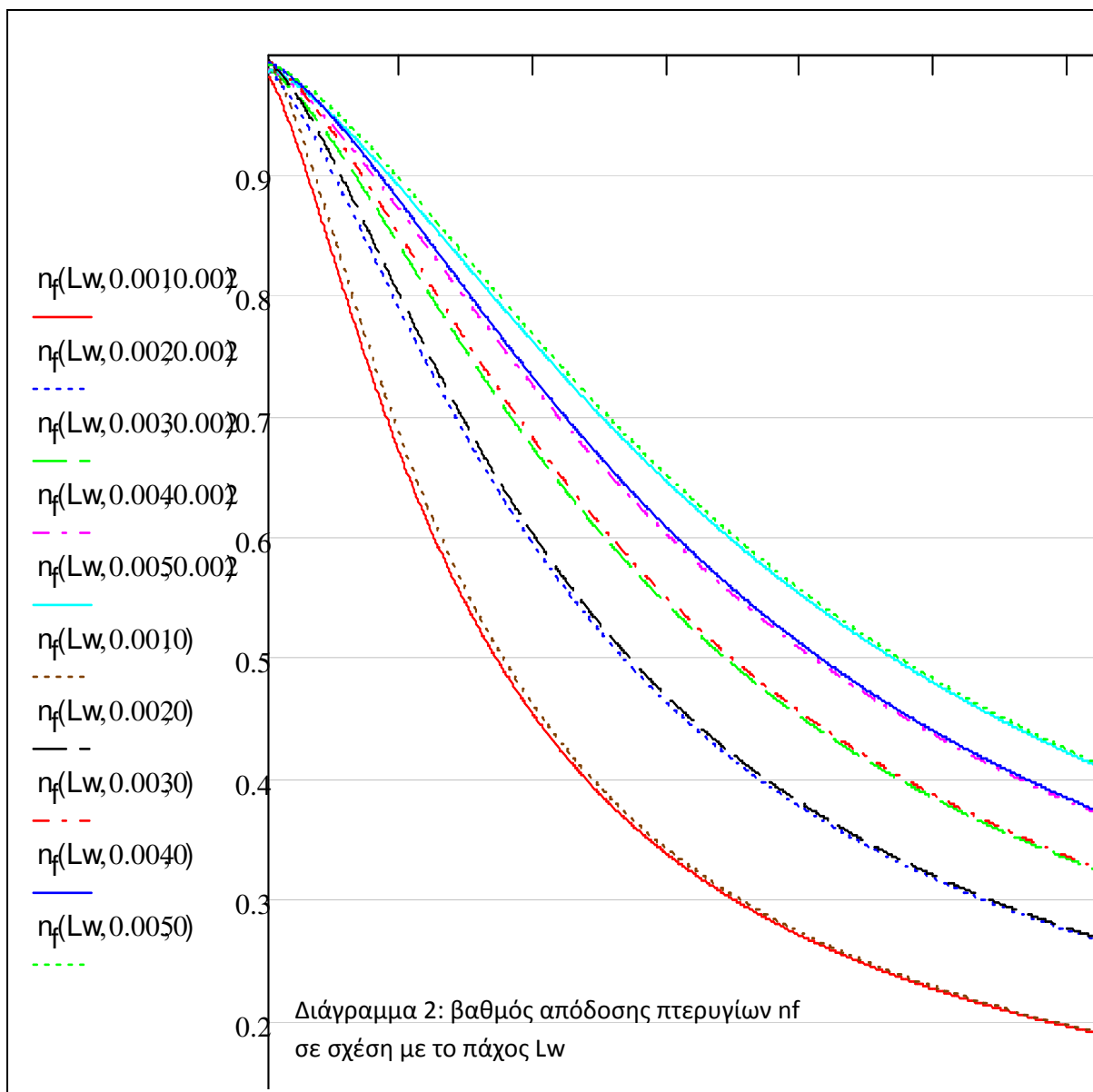
$$nf(Lw, t, tep) = \frac{\tanh \left[mf(Lw, t) \times \frac{Lw \times m + (t + tep)m}{2} \right]}{mf(Lw, t) \times \frac{Lw \times m + (t + tep) \times m}{2}}$$

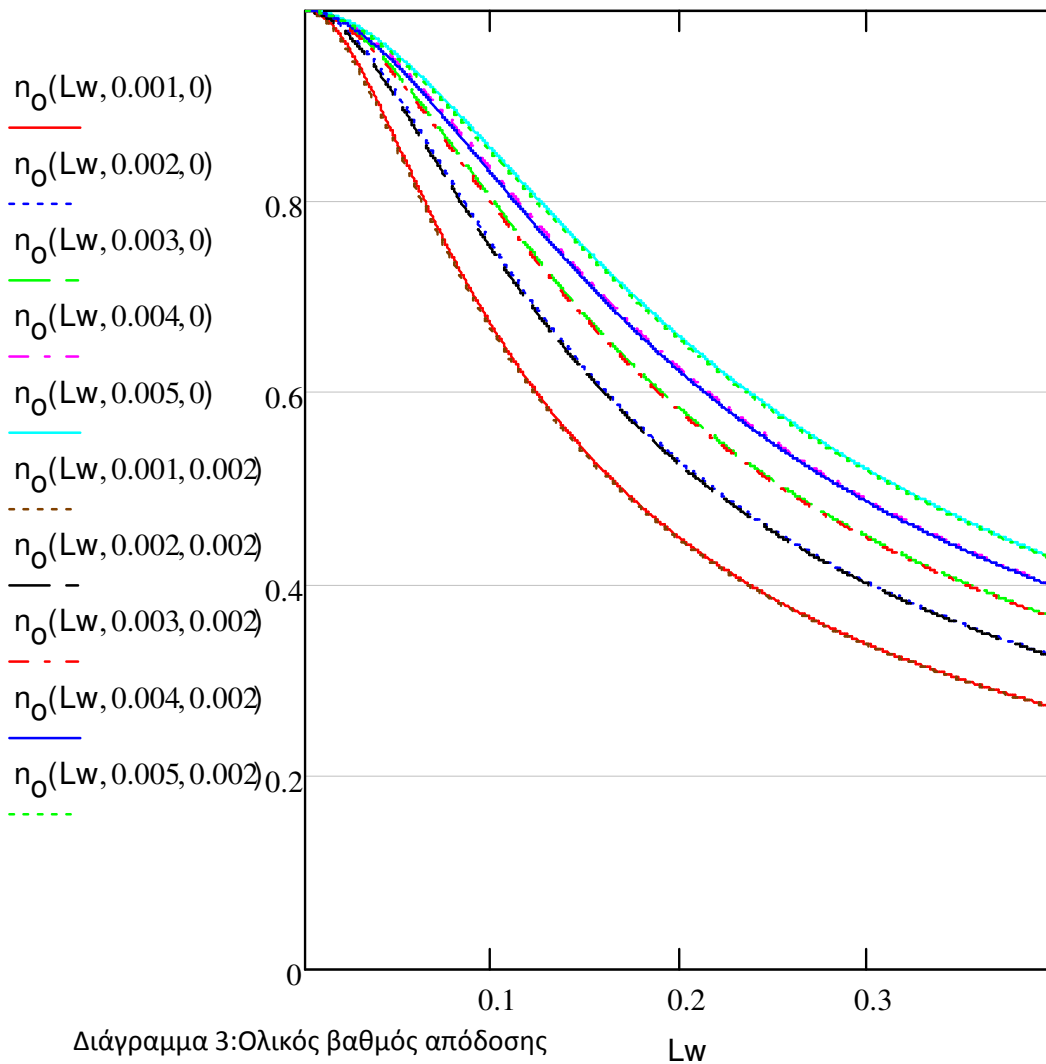
Όπου $tep=0.0001, 0.0002..0.006$ δηλαδή οποιαδήποτε τιμή μέσα στο διάστημα 0.0001 έως 0.006 με όμως βήμα 0.0001.

Η επιφάνεια των πτερυγίων ορίζεται από τη σχέση

$$Af(Lw) = N2 \times (\Sigma - 1) \times Lmw \times Lw \times m$$

Ενώ η ολική απόδοση των πτερυγίων $no(Lw, t, tep) = 1 - \left(\frac{Af(Lw)}{Ah(Lw, t)} \right) \times (1 - nf(Lw, t, tep))$.





Τώρα μπορεί να υπολογιστεί το γινόμενο του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας επί την εξωτερική επιφάνεια του εναλλάκτη. Σύμφωνα με τον τύπο του βιβλίου[2] ισχύει :

$$UAh(Lw, t, tep) = \frac{1}{\left(\frac{1}{n_o(Lw, t, tep)} \times h_{outr}(Lw) \times Ah(Lw, t) \right) + R_w + \frac{1}{h_{int} \times Ac}}$$

Εδώ μπορεί να προστεθεί και ο παράγοντας R_w λόγω επικαθήσεων.

Το γινόμενο αυτό θα ισούται, σύμφωνα με τον ολικό ισολογισμό ενέργειας με το πηλίκο της ολικής θερμοροής προς τη τιμή της μέσης λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας στην δεύτερη διάταξη.

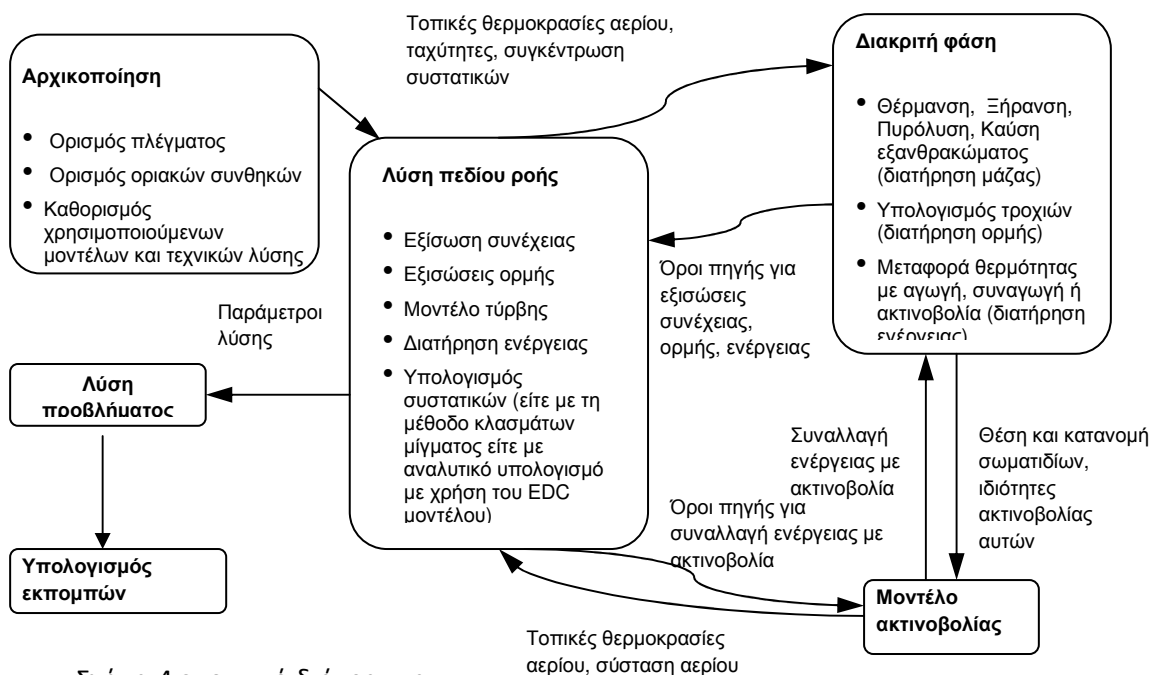
3^ο Κεφάλαιο

3.1 Περιγραφή και τρόπος λειτουργίας του υπολογιστικού προγράμματος fluent

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η μοντελοποίηση του φαινομένου της διερχόμενης ροής καυσαερίου μέσα από εναλλάκτη έγινε με χρήση του εμπορικού υπολογιστικού πακέτου fluent. Εισαγωγικά το FLUENT είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμα για την μοντελοποίηση της ροής ρευστού αλλά και της μεταφοράς θερμότητας σε περίπλοκες γεωμετρίες. Το FLUENT παρέχει δυνατότητα δημιουργίας πλέγματος με διδιάστατα τριγωνικά/τετραγωνικά κελιά. Το πακέτο FLUENT που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει τα παρακάτω 2 βασικά τμήματα:

- FLUENT, ο επιλύτης των εξισώσεων.
- GAMBIT, ο προ-επεξεργαστής για μοντελοποίηση γεωμετρίας και δημιουργία πλέγματος.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται εύκολα οι μονάδες του FLUENT και πως συνεργάζονται κατά την επίλυση ενός πλέγματος.



Σχήμα 4 εποπτικό διάγραμμα
Fluent

Ουσιαστικά ο εμπορικός αυτός υπολογιστικός κώδικας αποτέλεσε ένα πολύτιμο εργαλείο, ώστε να μοντελοποιηθεί το γεωμετρικό πρόβλημα του εναλλάκτη σε δύο διαστάσεις και να επιλυθεί ανάλογα με τις παραμέτρους που του τέθηκαν. Παρακάτω θα αναλυθεί περισσότερο ο τρόπος λειτουργίας του πακέτου υπολογιστικής ρευστομηχανικής fluent.

Μόλις ένα πλέγμα διαβαστεί από το fluent, όλες οι υπόλοιπες διεργασίες γίνονται από τον ίδιο τον κώδικα. Αυτές περιλαμβάνουν τον ορισμό των οριακών συνθηκών, των ιδιοτήτων των υλικών όπως π.χ. του εργαζόμενου μέσου, την εκτέλεση της λύσης και τέλος την προβολή ή και την αποθήκευση των αποτελεσμάτων σε αρχεία του Excel και την μετα-επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Ο επιλύτης του FLUENT αναλαμβάνει τη διαχείριση των αρχείων, την αποθήκευση δεδομένων, τον υπολογισμό του πεδίου ροής. Ακόμα, για ένα δεδομένο πρόβλημα, το FLUENT επιλύει βασικές εξισώσεις, όπως της συνέχειας, και της ορμής, μια λειτουργία που θα αναλυθεί περισσότερο παρακάτω. Για ροές που περιλαμβάνουν μεταφορά θερμότητας ή συμπιεστότητα επιλύεται και η εξίσωση της ενέργειας. Όπως γίνεται αντιληπτό πρόσθετες εξισώσεις μεταφοράς επιλύονται, όταν η ροή είναι τυρβώδης.

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των εξισώσεων που επιλύει το FLUENT

.

1.Εξίσωση της συνέχειας

Η εξίσωση για τη διατήρηση της μάζας ή αλλιώς γνωστή ως εξίσωση της συνέχειας γράφεται:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = S_m$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι γραμμένη σε γενική μορφή και ισχύει τόσο για συμπιεστές όσο και για ασυμπιεστές ροές.

Ο όρος Δm είναι η μάζα που προστίθεται στη συνεχή φάση από τη διακριτή π.χ. λόγω εξάτμισης της υγρασίας.

2. Εξίσωση διατήρησης της ορμής

Η διατήρηση της ορμής δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\bar{\tau}}) + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

Όπου p είναι η στατική πίεση, $\bar{\bar{\tau}}$ είναι ο τανυστής των τάσεων, ρg και \vec{F} είναι οι δυνάμεις βαρύτητας και οι εξωτερικές δυνάμεις αντίστοιχα, που προκύπτουν από τον συνδυασμό με την διακριτή φάση. Ο τανυστής των τάσεων $\bar{\bar{\tau}}$ δίνεται από την σχέση:

$$\bar{\bar{\tau}} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right]$$

όπου μ η μοριακή συνεκτικότητα, I ο μοναδιαίος πίνακας. Ο δεύτερος όρος στο δεξί μέλος της εξίσωσης εκφράζει την επιρροή της διαστολής του όγκου.

3. Εξίσωση της ενέργειας

Το FLUENT επιλύει την εξίσωση ενέργειας στην ακόλουθη μορφή:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{\text{eff}} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\bar{\bar{\tau}}_{\text{eff}} \cdot \vec{v}) \right) + S_h$$

Όπου k_{eff} είναι η αισθητή αγωγιμότητα $k+k_t$ όπου k_t είναι η θερμική αγωγιμότητα, που ορίζεται ανάλογα με το μοντέλο τύρβης που χρησιμοποιείται), και J_i είναι η ροή διάχυσης των συστατικών j . Οι τρεις πρώτοι όροι στη δεξιά πλευρά της εξίσωσης αφορούν τη μεταφορά ενέργειας δι'αγωγής, διάχυσης συστατικών, καταστροφής ενέργειας λόγω τύρβης. Ο όρος Sh περιλαμβάνει τη θερμότητα χημικής αντίδρασης και οποιαδήποτε άλλη ενέργεια λόγω χημικής αντίδρασης.

Στην παραπάνω εξίσωση ο όρος:

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$$

Όπου η αισθητή ενθαλπία h ορίζεται για τέλεια αέρια

$$h = \sum_j Y_j h_j$$

και για ασυμπίεστες ροές

$$h = \sum_j Y_j h_j + \frac{p}{\rho}$$

Μοντέλο τύρβης

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει αναφορά στη μοντελοποίηση της τύρβης για τη ροή του καυσαερίου. Αναλυτικότερα, το μοντέλο τύρβης που επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο πρόβλημα ήταν το $k-\epsilon$ standard μοντέλο τύρβης. Πρόκειται για ένα ημι-εμπειρικό μοντέλο που βασίζεται στις εξισώσεις μεταφοράς για την κινητική ενέργεια k τύρβης και τον ρυθμό καταστροφής ϵ . Για το παρόν μοντέλο έγινε η υπόθεση ότι η ροή είναι πλήρως τυρβώδης και

τα φαινόμενα μοριακής συνεκτικότητας μπορούν να αμεληθούν. Για αυτόν ακριβώς το λόγο το k-ε μοντέλο ισχύει μόνο για πλήρως τυρβώδεις ροές.

Ακολουθούν οι εξισώσεις μεταφοράς για το παρόν μοντέλο

Η τυρβώδης κινητική ενέργεια, k , και ο ρυθμός καταστροφής, ϵ , απορρέουν από την παρακάτω εξίσωση μεταφοράς:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k$$

και

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon$$

Σε αυτές τις εξισώσεις ο όρος G_k αναπαριστά τη δημιουργία τυρβώδους κινητικής ενέργειας λόγω της μέσης κλίσης ταχυτήτων ο όρος G_b εκφράζει τη δημιουργία τυρβώδους κινητικής ενέργειας λόγω άνωσης. $C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}$ και $C_{3\epsilon}$ είναι σταθερές. $\sigma_k, \sigma_\epsilon$ είναι οι τυρβώδεις αριθμοί Prandtl για το k-ε αντίστοιχα.

Μοντελοποίηση της μοριακής συνεκτικότητας

Η μοριακή συνεκτικότητα υπολογίζεται συνδυάζοντας το k-ε ως ακολούθως:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$$

όπου C_{μ} μια σταθερά.

Οι σταθερές για την εξίσωση μεταφοράς είναι $C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}, C_{\mu}, \sigma_k,$

σ_{ϵ} και έχουν τις ακόλουθες τιμές.

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_{\mu} = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_{\epsilon} = 1.3$$

Οι τιμές αυτές, που έχουν προκύψει από πειράματα με νερό και αέρα, έχει αποδειχθεί ότι δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

3.2 Αναλυτική περιγραφή του μοντέλου διακριτής φάσης των σωματιδίων στο fluent –DPM

Ένα ακόμη μοντέλο στο fluent είναι αυτό της διακριτής φάσης, που συμβολίζεται με DPM(Discrete Phase Model). Το DPM υπολογίζει τροχιές κατά Lagrange για περιπτώσεις σωματιδίων, φυσαλίδων ακόμα και όταν αυτά αλληλεπιδρούν με τη διακριτή φάση. Παρακάτω περιγράφονται οι εξισώσεις που υπάρχουν για το συγκεκριμένο μοντέλο.

Ισορροπία δυνάμεων στο σωματίδιο

Το Fluent υπολογίζει την τροχιά ενός σωματιδίου διακριτή φάσης, ολοκληρώνοντας την ισορροπία δυνάμεων στο σωματίδιο, γραμμένη σε μορφή Lagrange . Η εξίσωση αυτή περιλαμβάνει την ισορροπία δυνάμεων πάνω στο σωματίδιο και γράφεται σε καρτεσιανές συντεταγμένες ως εξής:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x \quad (1)$$

όπου F_g είναι όρος πρόσθετης επιτάχυνσης (δύναμη/μονάδα μάζας),

$F_D(u - u_p)$ είναι ο όρος της οπισθέλκουσας

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D Re}{24} \quad (2)$$

ακόμα, u είναι η ταχύτητα φάσης του ρευστού, u_p είναι η ταχύτητα του σωματιδίου, μ είναι η μοριακή συνεκτικότητα του ρευστού, ρ είναι η πυκνότητα του ρευστού ρ_p είναι η πυκνότητα του σωματιδίου και d_p είναι η διάμετρος του σωματιδίου. Re είναι ο σχετικός αριθμός Reynolds, που ορίζεται ως

$$Re \equiv \frac{\rho d_p |u_p - u|}{\mu} \quad (3)$$

Ενώ η εξίσωση (1) περιλαμβάνει μια δύναμη βαρύτητας πάνω στο σωματίδιο, πρέπει να σημειώσουμε ότι στο fluent η αρχική τιμή για την επιτάχυνση της βαρύτητας είναι 0. .

(4)

Και είναι σημαντική όταν $\rho > \rho_p$. Μια πρόσθετη δύναμη προκύπτει εξ' αιτίας της κλίσης πίεσης στο ρευστό:

$$F_x = \left(\frac{\rho}{\rho_p} \right) u_{p_i} \frac{\partial u}{\partial x_i} \quad (5)$$

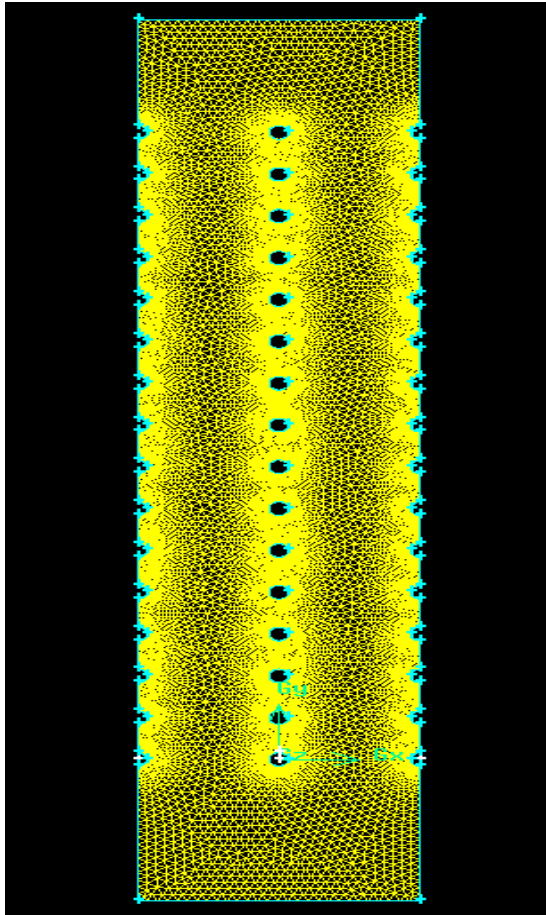
3.3 Στοχαστική παρακολούθηση των σωματιδίων

Στη θεώρηση για στοχαστικό εντοπισμό το fluent προβλέπει τον τυρβώδη διασκορπισμό των σωματιδίων ολοκληρώνοντας την εξίσωση τροχιάς για ξεχωριστά μήκος της διαδρομής χρησιμοποιώντας της μέση ταχύτητα του ρευστού, \bar{u} , στις εξισώσεις των τροχιών. Κατόπιν επιλογής μπορεί να συμπεριληφθεί και η τιμή της κυμαινόμενης ταχύτητας ροής του ρευστού $\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}'$.

Το FLUENT χρησιμοποιεί στοχαστική μέθοδο (random walk model) για να υπολογίσει την ταχύτητα του ρευστού κάθε στιγμή .

3.4 Βασικές αρχές του τρόπου μοντελοποίησης του προβλήματός στο fluent

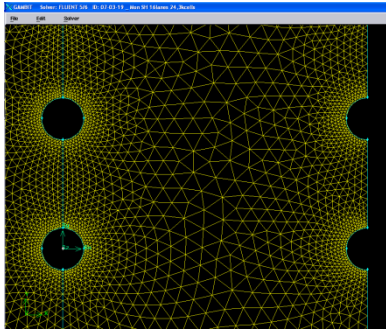
Με σκοπό την μοντελοποίηση των διαφορετικών γεωμετρικών διατάξεων του υπερθερμαντή χρησιμοποιήθηκαν πλέγματα, τα οποία περιλαμβάνουν την 1 σειρά με τις 16 σειρές κατασκευασμένα από το πρόγραμμα gambit διαφορετικού μεγέθους και συγκεκριμένα 24,40,60,100,127,147,139,193,200 χιλιάδων υπολογιστικών κελιών.(βλ.Πίνακας 1) .



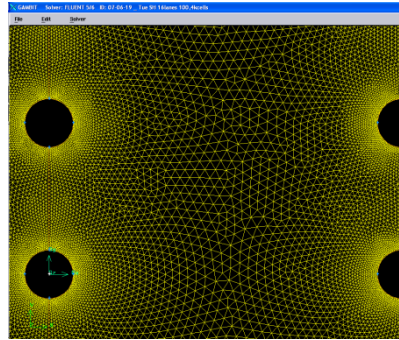
Σχήμα 5: πλέγμα 2 σειρών 16
αγωγών από το gambit

Παρακάτω φαίνονται στα σχήματα οι διαφορές ως προς την πυκνότητα αυτών των πλεγμάτων. Κρίθηκε απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν διαφορετικού μεγέθους πλέγματα, ώστε να ελεγχθεί εάν η συγκλίνουσα λύση που προκύπτει είναι ανεξάρτητη πλέγματος, αλλά και για να δούμε και τη συμπεριφορά της λύσης συναρτήσει του αριθμού κελιών.

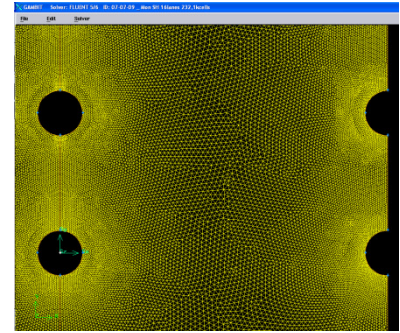
Τα πλέγματα που σημειώνονται με χ^2 kcells σημαίνει ότι μελετήθηκαν 2 σειρές των 16 σωλήνων. Η δημιουργία αυτού του πλέγματος μας διευκόλυνε κατά τη μελέτη των επικαθήσεων των σωματιδίων αλλά και για να δούμε τα αποτελέσματα σε σύγκριση με το κανονικό πλέγμα της 1 σειράς των 16 σωλήνων.



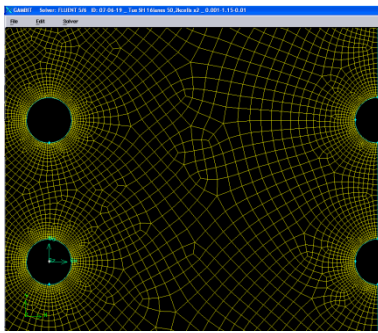
Σχήμα 6: τριγωνικό πλέγμα με 20.000 cells



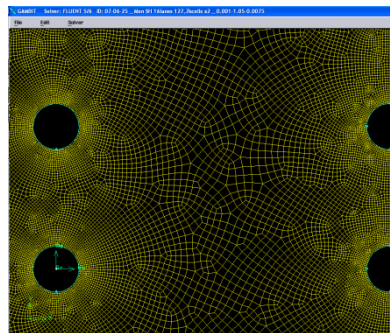
Σχήμα 7: τριγωνικό πλέγμα με 100.000 cells



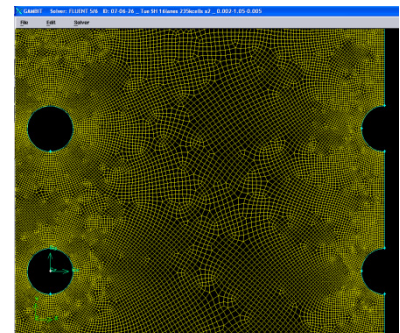
Σχήμα 8: τριγωνικό πλέγμα με 230.000 cells



Σχήμα 9: τετραγωνικό πλέγμα με 20.000 cells



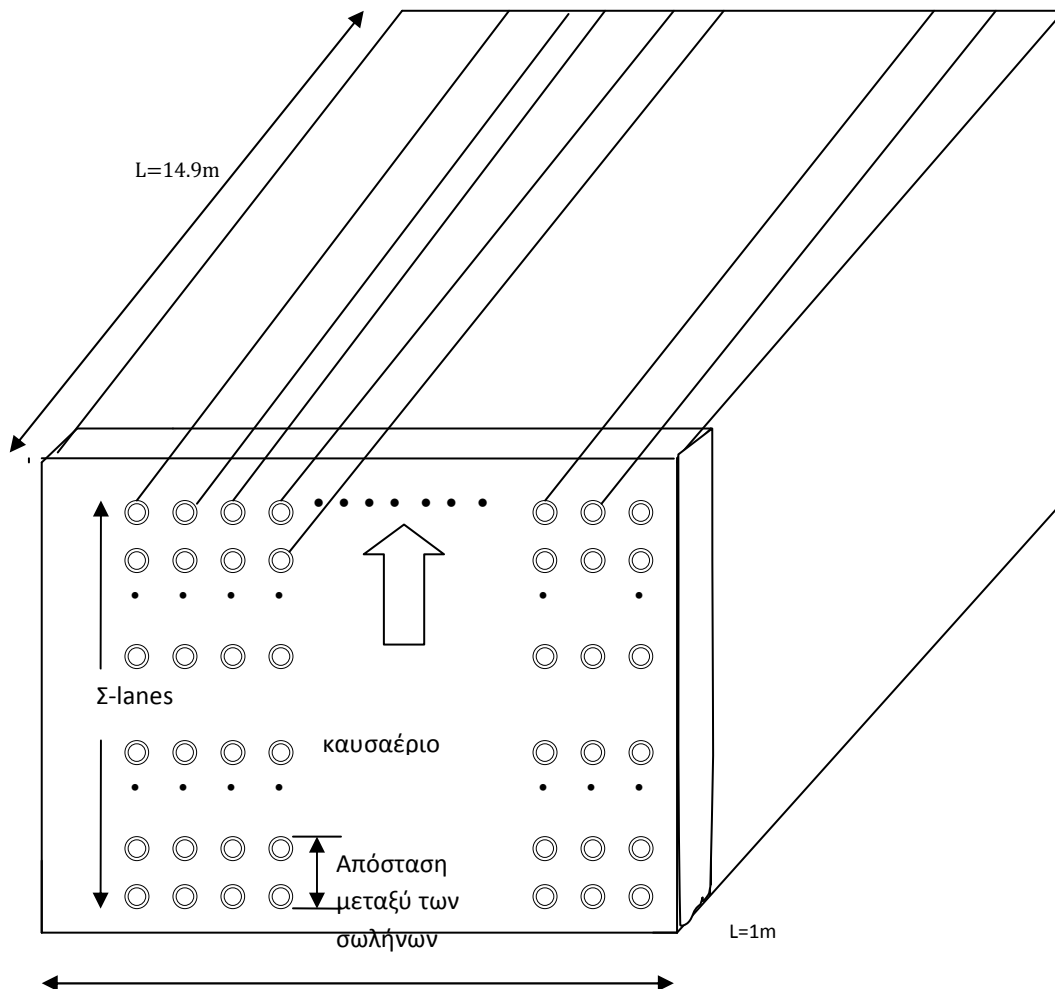
Σχήμα 10: τετραγωνικό πλέγμα με 60.000 cells



Σχήμα 11: τετραγωνικό πλέγμα με 100.000 cells

Όπως μπορεί να διακρίνει κανείς στο σχήμα του εναλλάκτη το μήκος του καθένα από τους 16 σωλήνες βρέθηκε ίσο με 14,99m. Στο Fluent όμως, για καθένα πλέγμα που μοντελοποιήθηκε και επιλύθηκε, ως βάθος ελήφθη το μοναδιαίο δηλαδή 1m. Οπότε κατά τον υπολογισμό της ανηγμένης θερμοροής πρέπει να ληφθεί υπ' όψη αυτή η παράμετρος. Δηλαδή η ολική θερμοροή που υπολογίστηκε από το fluent πρέπει να πολλαπλασιαστεί με το 14,99m αλλά και με $N=60$ που είναι οι σειρές ώστε να προκύψει η ολική θερμοροή.

Το παρακάτω διάγραμμα βοηθά τον αναγνώστη να κατανοήσει τι ακριβώς μοντελοποιήθηκε στο fluent αλλά και πως έγινε η αναγωγή από την ολική θερμοροή που υπολογίζει το fluent στην συνολική θερμοροή του υπό μελέτη υπερθερμαντή.



Σχήμα 12 : Παράσταση της γεωμετρίας του εναλλάκτη σε προοπτική

*Το πλέγμα που υπολογίσαμε στο fluent αποτελεί ουσιαστικά ένα τμήμα του εναλλάκτη όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.με μοναδιαίο βάθος. Γι' αυτόν τον λόγο έπρεπε για την αναγωγή να ληφθεί υπ' όψη και το ολικό βάθος $L=14.9\text{m}$

Στον ακόλουθο πίνακα περιλαμβάνονται όλα τα δεδομένα του υπερθερμαντή, όπως δίνονται από το [5].

Μέγιστη παροχή μάζας Q_{max}	916.9t/h
Πίεση στην είσοδο και έξοδο του υπερθερμαντή αντίστοιχα	178 και 172 bar
Θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του ατμού από τον υπερθερμαντή	482° και 542° σε C
Θερμοκρασία εισόδου και εξόδου καυσαερίου από τον υπερθερμαντή	838° και 780°C
Ολική επιφάνεια υπερθερμαντή	1715m ²
Υλικό αυλών	DIN 17175 13CrMo44
Ονομαστική διάμετρος	38 mm
Οριζόντια απόσταση αυλών	276mm
Κατακόρυφη απόσταση αυλών	80mm

Στη συνέχεια ακολουθεί μια επεξήγηση του τρόπου καθορισμού των οριακών συνθηκών σχετικά με το είδος της ροής, το είδος του εργαζόμενου μέσου αλλά και τη γεωμετρία της διάταξης, στοιχεία που όλα μαζί έχουν σημαντική επίπτωση στην σωστή μοντελοποίηση αλλά και αξιολόγηση του προβλήματός μας όσον αφορά βέβαια την επίλυση του από τον εμπορικό κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι στα δύο είδη πλέγματος, οι σωλήνες του υπέρθερμου ατμού στον εναλλάκτη θεωρήθηκαν ως στερεό όριο (stationary wall) και εφαρμόστηκε η συνθήκη μη ολίσθησης .

Για καθένα από τα παραπάνω πλέγματα επιλύθηκαν οι εξισώσεις διατήρησης, που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για να γίνει αυτό έπρεπε να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά της

ροής του καυσαερίου. Έτσι επιλέχθηκε μόνιμη ροή. Η επίλυση της ροής τερματίζεται, όταν συγκλίνει η λύση με βάση τα κριτήρια που έχουν καθοριστεί για την εξίσωση συνέχειας, την y ταχύτητα κ.α. Επιπροσθέτως, κρίθηκε απαραίτητο να υπολογιστούν οι μέσες τιμές μεγεθών, όπως ταχύτητα και θερμοκρασία, ολική θερμοροή στους σωλήνες σε διάφορες θέσεις του εναλλάκτη για διαφορετικά ύψη. Έτσι, αφού είχε συγκλίνει η λύση, έμενε να παρατηρηθεί η διακύμανση των παραπάνω μεγεθών. Αν δηλαδή είχαν σταθεροποιηθεί, τότε σταματούσαν οι επαναλήψεις και υπολογίζονταν τα απαραίτητα μεγέθη.

Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το μέγεθος, που είναι πρωταρχικός στόχος να υπολογιστεί, αφού έχει συγκλίνει η λύση, είναι η θερμοροή που αναπτύσσεται στη σειρά των 16 σωλήνων και συνεπώς κατόπιν πολλαπλασιασμού σε όλον τον εναλλάκτη. Έτσι, η θερμοροή για κάθε περίπτωση πλέγματος αποτελείται από το άθροισμα των ολικών επιφανειακών θερμοροών και για τους 16 σωλήνες. Συγκεκριμένα στο Fluent χαρακτηρίζεται ως ολική θερμοροή επιφανείας (total surface heat flux).

Είναι δηλαδή η θερμοροή αυτή που μεταφέρεται από το θερμό καυσαέριο στα τοιχώματα των σωλήνων και διακρίνεται σε μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής και ακτινοβολίας.

Γι' αυτόν τον λόγο έχει μεγάλη σημασία με ποιόν τρόπο επιλέχθηκε η θερμοκρασία εισόδου του καυσαερίου, καθώς αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη μετάδοση θερμότητας. Η θερμοκρασία από το manual του ατμοπαραγωγού προκύπτει για την περίπτωση στην εργασία [1] 1111K ή 838°C οπότε μελετήθηκαν ακόμα και οι κοντινές θερμοκρασίες ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά του εναλλάκτη για διαφορετικού μεγέθους πρόσδοση ενέργειας.

Η θερμοκρασία στους αυλούς θεωρήθηκε ομοιόμορφη ίση με 803K ή 530°C στο στερεό όριο κάθε σωλήνα αλλά και για τους 16 σωλήνες της σειράς κάθε πλέγματος που μελετήθηκε στο Fluent. Υπολογίζεται στην εργασία [1] από ενεργειακό ισολογισμό στο εξωτερικό τοίχωμα του εναλλάκτη.

Επιπλέον σημαντική είναι και η σύσταση του καυσαερίου, δηλαδή η κατά βάρος περιεκτικότητα σε CO₂, H₂O, N₂, O₂. Για το συγκεκριμένο ρεύμα καυσαερίου υπολογίστηκε ότι η περιεκτικότητα είναι 0.202, 0.076, 0.679, 0.043 αντίστοιχα. Ακόμα από τη σχέση $m=\rho VA$ καθορίστηκε ως οριακή συνθήκη η ταχύτητα. Η διατομή στην είσοδο του εναλλάκτη είναι γνωστή όπως και η παροχή μάζας του καυσαερίου (δίνεται από το εγχειρίδιο

του Ατμοπαραγωγού). Άρα έμενε να υπολογιστεί η πυκνότητα ρ του καυσαερίου για τις διαφορετικές θερμοκρασίες $T_{in,g}$ εισόδου του.

Για μερικά μεγέθη πλέγματος χρησιμοποιήθηκε ως οριακή συνθήκη και η παροχή μάζας ανηγμένη βέβαια ανά σειρά και ανά μονάδα βάθους, δηλαδή $589,75\text{kg/s}/(60*14,9)=0,679$, οπότε δεν χρειαζόταν ο παραπάνω υπολογισμός. Δεν παρατηρήθηκε όμως σημαντική διαφορά από τις ίδιες περιπτώσεις με οριακή συνθήκη την ταχύτητα, οπότε δεν εφαρμόστηκε για όλα τα πλέγματα και για όλες τις θερμοκρασίες.

Μια επιπλέον παραμετρική εξέταση ήταν η ενεργοποίηση του μοντέλου ακτινοβολίας στο Fluent , το οποίο και αυτό είχε μικρή ποσοστιαία επίδραση στην τιμή της θερμοροής. Επιπροσθέτως , για λόγους ακρίβειας για το πλέγμα των 60 χιλιάδων υπολογιστικών κελιών, επιλέχτηκε να καθοριστεί πολυωνυμική έκφραση για το C_p κάθε συστατικού συναρτήσει της θερμοκρασίας. Η μεγαλύτερη ακρίβεια έγκειται στο ότι καθώς διέρχεται το ρεύμα του καυσαερίου μειώνεται η θερμοκρασία του και συνεπώς αλλάζει και το C_p .Η επιλογή των συντελεστών του πολυωνύμου 6^{ου} βαθμού προέκυψε κατόπιν γραφικής πολυωνυμικής προσέγγισης των γνωστών C_p για δεδομένες θερμοκρασίες π.χ. 900,1000,1100 °K.

Τέλος ένα ενδιαφέρον σημείο είναι το εξής: Αν υπολογιστεί η θερμοροή για καύσιμο λιγνίτη Μεγαλόπολης αντί για λιγνίτη Πτολεμαΐδας για $T_{εισόδου}=1082\text{ K}$ ή 809°C και ταχύτητα καυσαερίου $u=10.91\text{m/s}$ παρατηρείται μια αύξηση στην ολική θερμοροή στον υπερθερμαντή της τάξης του 1%. Η σύσταση του καυσίμου δηλαδή και κατά συνέπεια αυτή του παραγόμενου καυσαερίου δεν επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας. Όλα τα παραπάνω είναι απαραίτητα, ώστε να γίνουν κατανοητά στον αναγνώστη τα μεγέθη, ανηγμένα και μη, που παρουσιάζονται στα διαγράμματα του επόμενου κεφαλαίου.

3.4.1. Καθορισμός οριακών συνθηκών

Στον παρακάτω πίνακα περιλαμβάνονται συνολικά τα πλέγματα που μελετήθηκαν για διάφορες περιπτώσεις συνθηκών.

Πίνακας για τις περιπτώσεις που μοντελοποιήθηκαν στο fluent

Ισχύει Ταυλού=530°C ή 803K

Κells	24	40.3	50x2	60	50.2x2-inj	100	127x2	147	60.2 tri	28.8x2 quad	184	232	137 x2	200x2	139x2	193x2	127x2 inj
Ταυλού= 803K				Cp- pol													
Τετάρτου																	
Καυσαερίου																	
σε Κ																	
Οριακή συνθήκη ταχύτητα καυσαερίου																	
900	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•							
1000	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•							
1111	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1173	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•							•
1111 οριακή συνθήκη παραγωγή μάζας καυσαερίου	•					•		•	•		•						
1000 2220o/44400							•	•									
Σομ.ψεκασμός																	
1111 2220o/44400par=inj							•	•									

4ο Κεφάλαιο

4.1 Αποτελέσματα των προσομοιώσεων στο fluent για την 1^η διάταξη του υπερθερμαντή σε μορφή διαγραμμάτων.

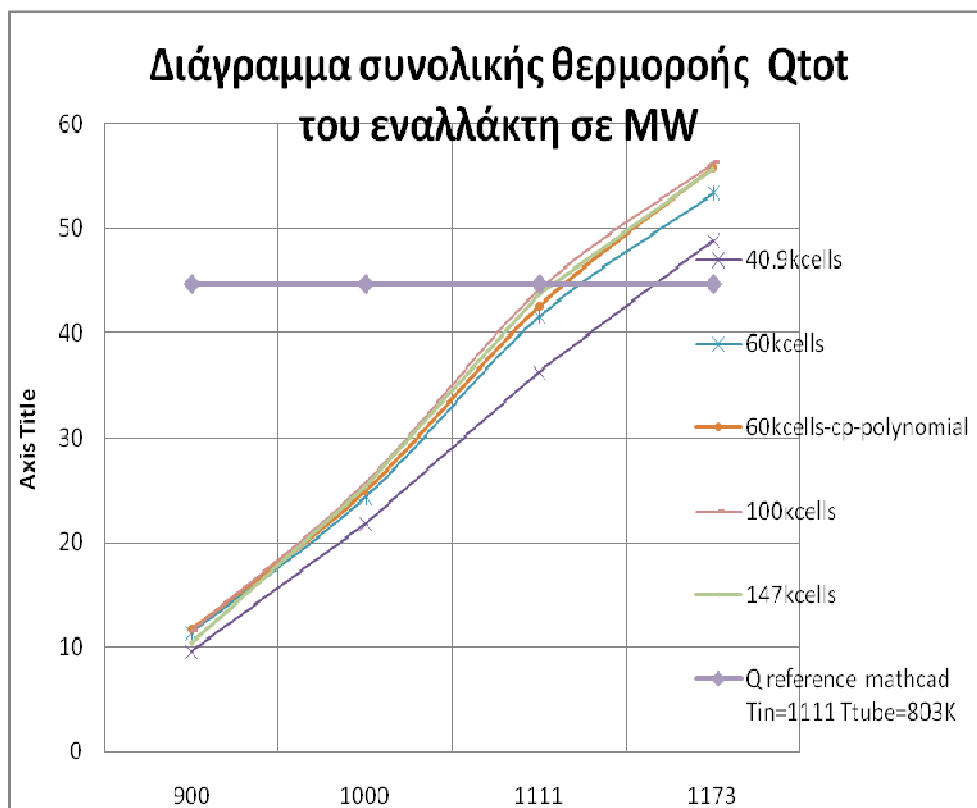
Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιασθούν τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις στο fluent για την πρώτη διάταξη του εναλλάκτη, προτού γίνει δηλαδή η προσθήκη περυγίων. Παρόμοια διαγράμματα θα ακολουθήσουν στο 5^ο Κεφάλαιο που θα λαμβάνουν υπ' όψη τον βελτιωμένο ρυθμό μετάδοσης θερμότητας λόγω περυγίων. Θεωρήθηκε ότι τα μεγέθη τα οποία απεικονίζονται στα διαγράμματα είναι αντιπροσωπευτικά για την αξιολόγηση της απόδοσης εναλλακτών, όπως για παράδειγμα η ολική θερμοροή ανηγμένη ανά συνολική επιφάνεια του εναλλάκτη και η ολική θερμοροή. Στη δική μας περίπτωση θα συμπεριληφθεί και η ολική θερμοροή ανηγμένη ανά μονάδα βάθους και ανά σειρά του εναλλάκτη. Ο αναγνώστης θα κατανοήσει ποιοτικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση των διαγραμμάτων, σε ότι αφορά την προσπάθεια διδιάστατης μεταφοράς θερμότητας και συγκεκριμένα καθ' ύψος του εναλλάκτη.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι στο υπολογιστικό περιβάλλον Mathcad (βλ.[1]) , ο υπολογισμός της ολικής θερμοροής έγινε με ενεργειακό ισολογισμό μεταξύ εισόδου και εξόδου του υπέρθερμου ατμού συμπεριλαμβάνοντας και την ενέργεια που προσδίδει το νερό που ψεκάζεται στον εναλλάκτη. Έτσι προέκυψε για το $Q=6,017 \cdot 10^7 \text{ W}$. Ωστόσο από ισολογισμό ρεύματος καυσαερίου στον ίδιο εναλλάκτη και ιδιότητες του καυσαερίου ,που καθορίζονται από το manual του Υπερθερμαντή, προκύπτει ότι το $Q=4,47 \cdot 10^7 \text{ W}$. Η αιτία της διαφοράς αυτής είναι ότι για τον πρώτο υπολογισμό χρησιμοποιήθηκε ως παροχή ατμού η μέγιστη συνεχής ατμοπαραγωγή που δίνεται από το manual του Υπερθερμαντή συγκεκριμένα $q_{\max}=254,4 \text{ kg/sec}$.

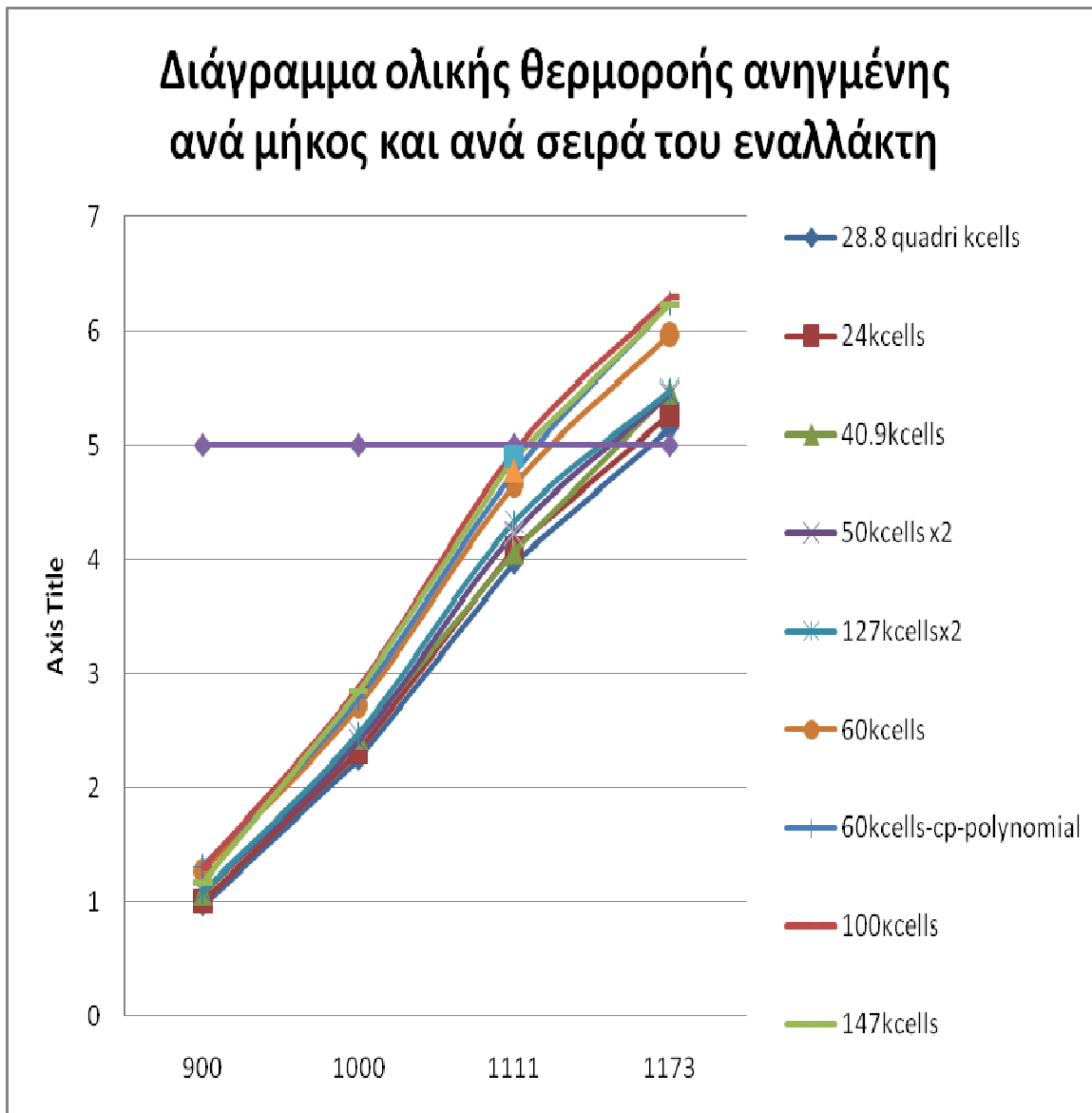
Ως τιμή αναφοράς για συνθήκες $T_{in,g}=838^\circ\text{C}$ και $T_{out,g}=780 \text{ C}^\circ$ και θερμοκρασίες ατμού που βρίσκονται στο manual λαμβάνεται η $Q_{tot}=4,47 \cdot 10^7 \text{ W}$ ή 44.7MW. Η τιμή της συνολικής αυτής θερμοροής ελήφθη ως τιμή αναφοράς, με την οποία θα συγκριθούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με το fluent. Ωστόσο απαιτείται προσοχή, διότι η τιμή αυτή αποτελεί μέγεθος σύγκρισης μόνον για θερμοκρασία εισόδου καυσαερίου 838°C

Για καλύτερη εποπτεία των μεγεθών στα διαγράμματα θερμοροής, έχει ορισθεί και το μέγεθος της ανηγμένης θερμοροής ανά σειρά και ανά μονάδα βάθους του σωλήνα.(βλ. Σχήμα 10 για καλύτερη κατανόηση). Άρα, για τη πρώτη διάταξη όπου $N=60$ και $L=14,9m$ προκύπτει η ανηγμένη θερμοροή $q=5 \cdot 10^4 \text{ W}$. Συμπερασματικά τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις στο fluent για όλες τις περιπτώσεις θερμοκρασίας καυσαερίου, παρουσιάζονται συνοπτικά σε 4 διαγράμματα.

Διάγραμμα 4



Διάγραμμα 5



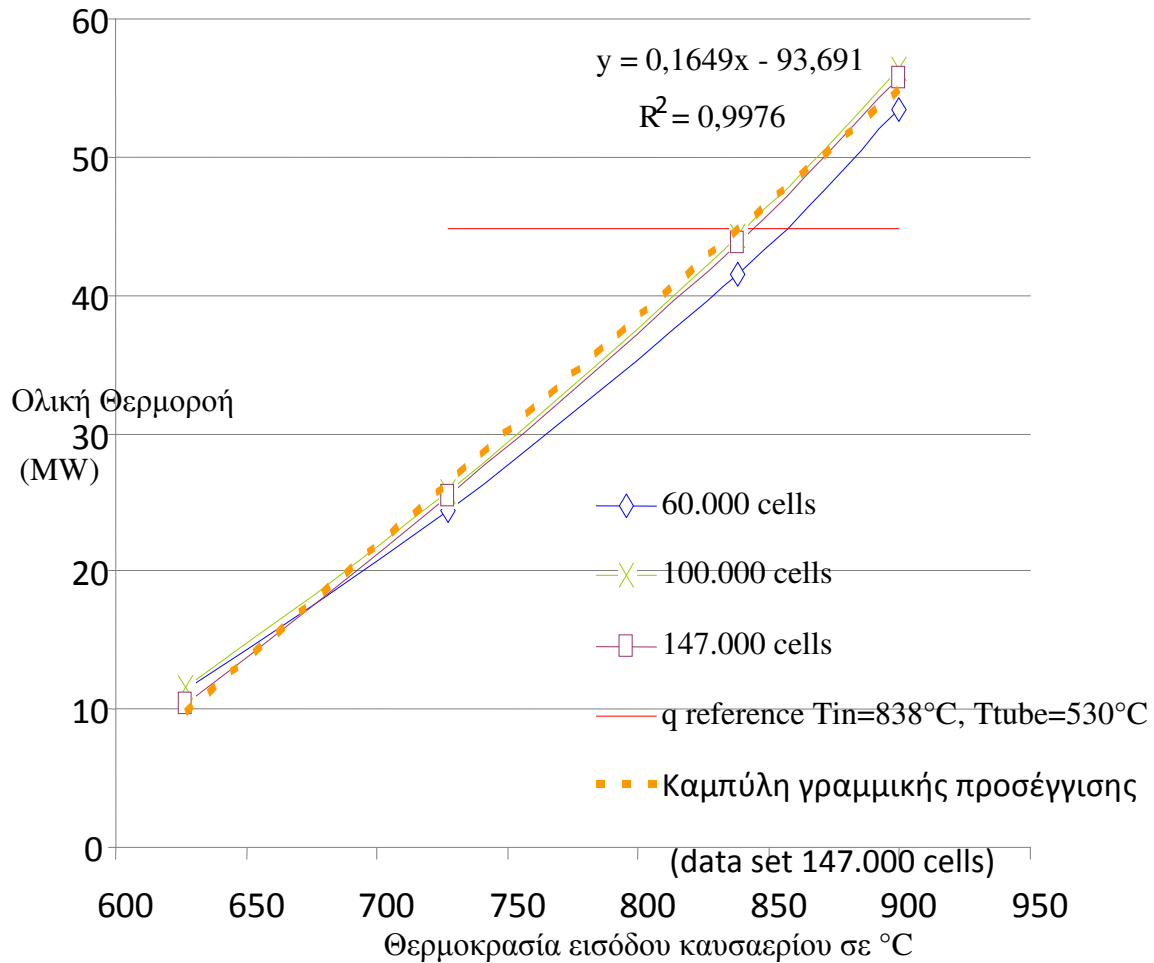
Στο ανωτέρω διάγραμμα φαίνεται η διακύμανση της ολικής θερμοροής στον υπερθερμαντή συναρτήσει της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων αλλά και του μεγέθους του πλέγματος που χρησιμοποιείται. Παρατηρούμε ότι :

-καθώς αυξάνει το μέγεθος του πλέγματος, πλησιάζει η λύση την τιμή αναφοράς που έχει υπολογιστεί στο mathcad

-υπάρχει μια γραμμική συμπεριφορά των λύσεων, όμοια σε όλα τα πλέγματα, σε σχέση με την ταχύτητα εισόδου των καυσαερίων

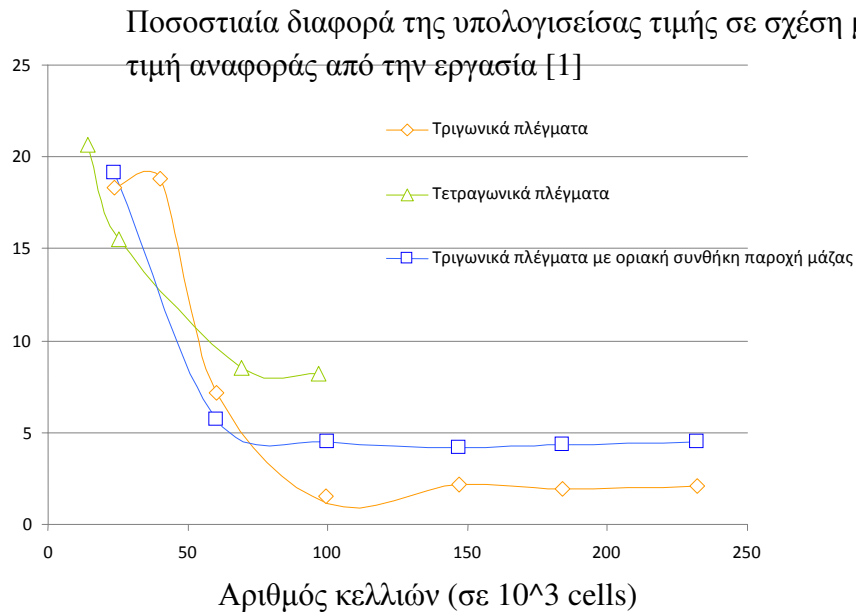
-Η επιλογή cp πολυωνυμικού για τα συστατικά δεν συνεπάγεται και μεταβολή της λύσης σημαντική.

Στο παρακάτω διάγραμμα περιλαμβάνεται η ολική θερμοροή για τρεις περιπτώσεις πλέγματος καθώς και μια καμπύλη προσέγγισης για τα σημεία που προέκυψαν από το fluent για την μοντελοποίηση του πλέγματος των 140.000kcells. Παρατηρούμε ότι η καμπύλη αυτή παρουσιάζει μια ελαφρά γραμμική μορφή



Διάγραμμα 6 –Ολικής Θερμοροής

Διάγραμμα 7



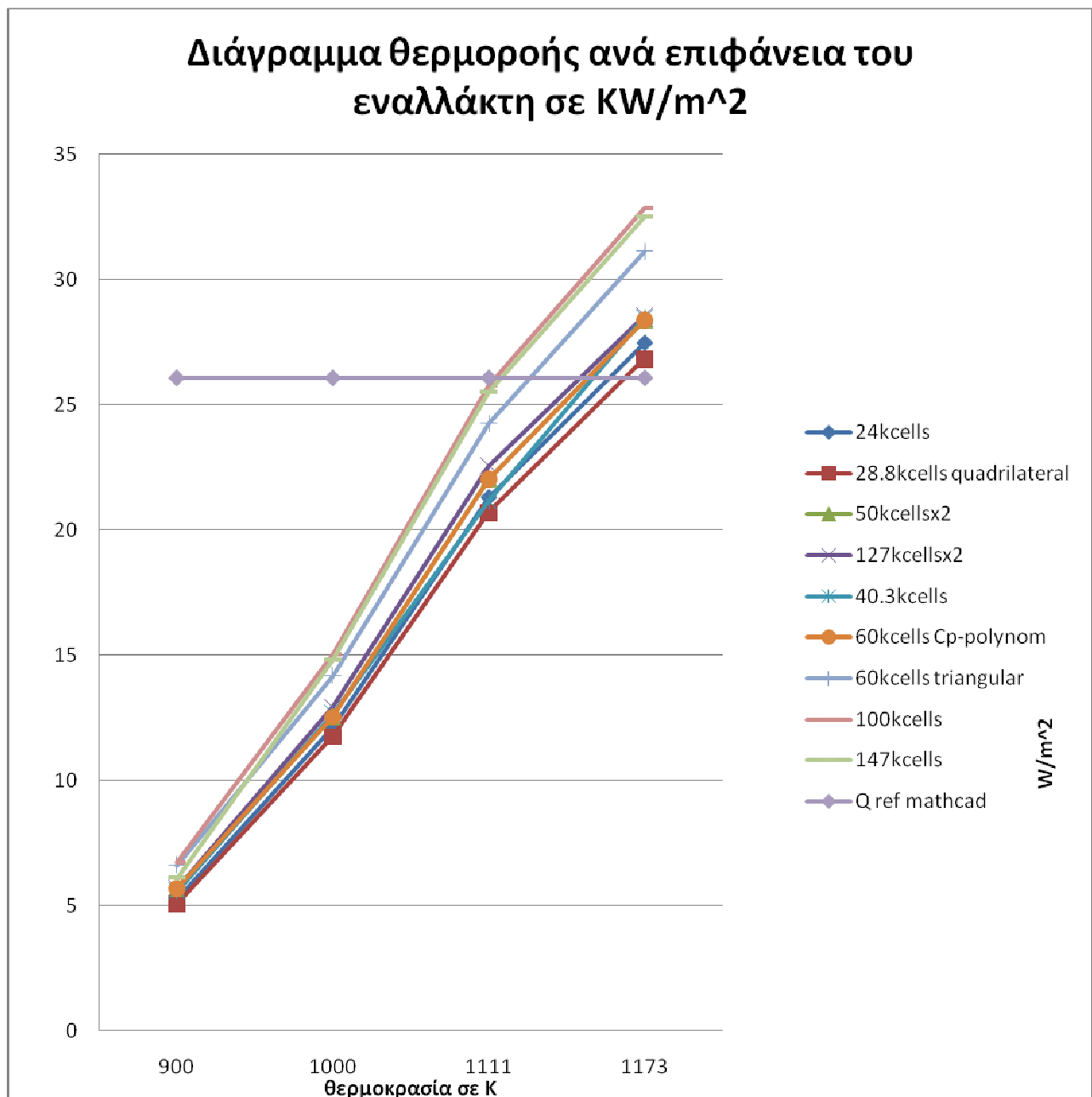
Στο παραπάνω διάγραμμα έχουν υπολογιστεί οι ποσοστιαίες διαφορές για $T_{in,g}=1111K$ ή $838^{\circ}C$ και για διαφορετικές περιπτώσεις οριακών συνθηκών, συναρτήσει του αριθμού κελιών του πλέγματος.

Όπως παρατηρούμε το πιο ομαλό διάγραμμα είναι αυτό με οριακή συνθήκη στην είσοδο την παροχή. Φαίνεται επίσης ότι η χρήση οριακής συνθήκης στην είσοδο παροχής επιφέρει μια μείωση της τάξης του 1%.

Ωστόσο για το πλέγμα των 100kcells έχουμε την μικρότερη ποσοστιαία διαφορά σε σχέση με την τιμή αναφοράς, που έχει υπολογιστεί στην εργασία[1].

Το διάγραμμα της ανηγμένης θερμοροής είναι το ίδιο με αυτό της ολικής θερμοροής με τη διαφορά ότι τα υπολογισμένα μεγέθη είναι ανηγμένα ανά σειρά σωλήνων και ανά 1m βάθους. Ο λόγος είναι η απευθείας εισαγωγή των υπολογισμένων στο fluent τιμών της ολικής θερμοροής στο διάγραμμα χωρίς περαιτέρω αναγωγή.

Διάγραμμα 8

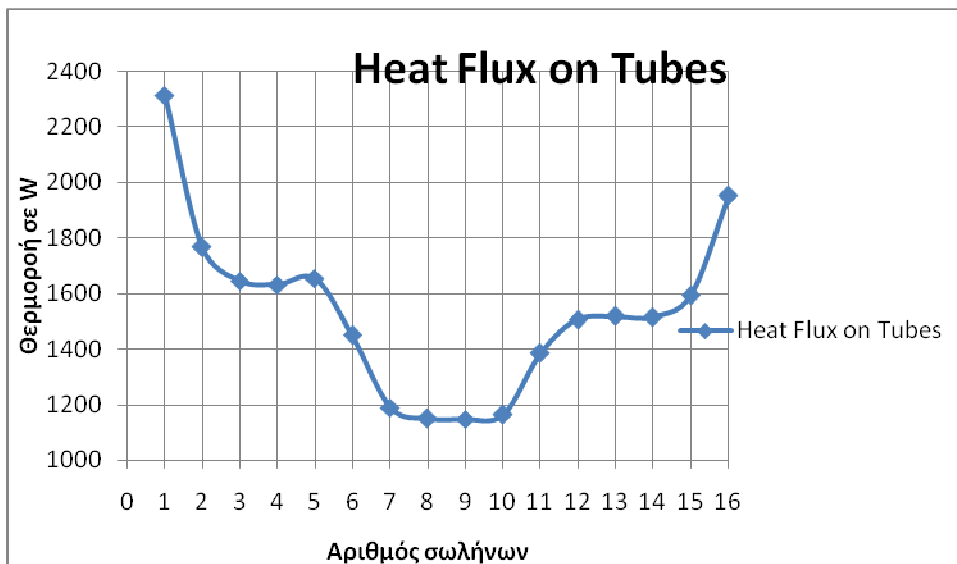


Το παραπάνω διάγραμμα δίνει την συνολική θερμοροή στον εναλλάκτη ανηγμένη ανά επιφάνεια του εναλλάκτη.

Στις παραπάνω περιπτώσεις είπαμε ότι οριακή συνθήκη είναι για τους αυλούς $T=803\text{K}$ ή 530°C . Για μια περίπτωση πλέγματος σχεδιάσαμε το διάγραμμα θερμοροής συναρτήσει του μήκους του σωλήνα αλλά και το διάγραμμα για τη μέση θερμοροή που υπολογίζει το fluent σε κάθε σωλήνα. Η περίπτωση αυτή παρουσιάζεται παρακάτω.

Διάγραμμα 9

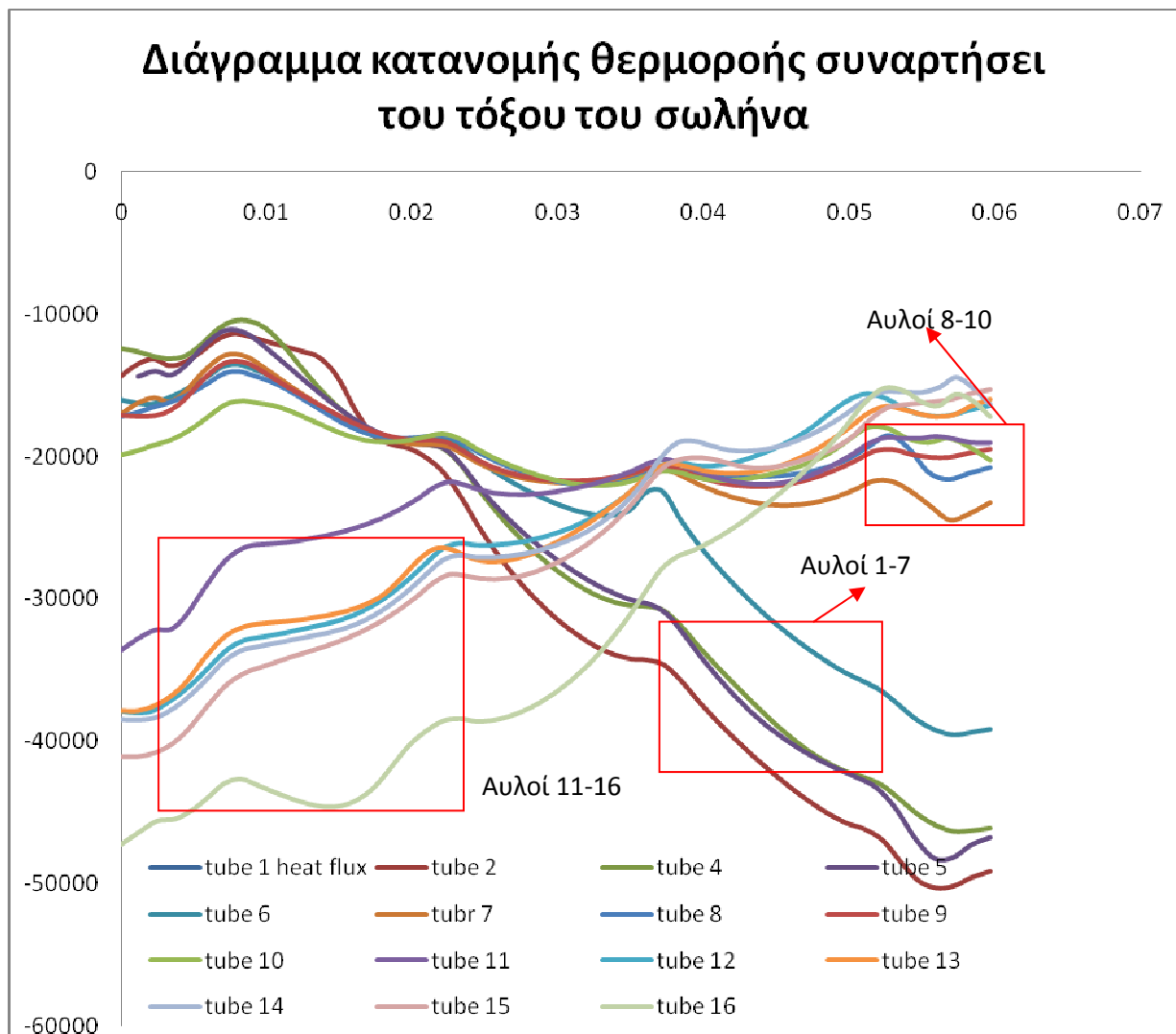
- Για σταθερή θερμοκρασία αυλού υπολογίζεται στο fluent και σχεδιάζεται το διάγραμμα της θερμοροής συναρτήσει του αριθμού των σωλήνων.



Παρατηρείται κατ'αρχήν συμμετρία ως προς το μέσον των σειρών του εναλλάκτη, δηλαδή τον σωλήνα 8. Έπειτα η μέγιστη θερμοροή εμφανίζεται στον σωλήνα 1 και η ελάχιστη στους σωλήνες 7 έως 10. Η εξήγηση της αύξησης μετά τον αυλό 8, ίσως να είναι η εμφάνιση τύρβης που αυξάνει τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας από το καυσαέριο στους σωλήνες

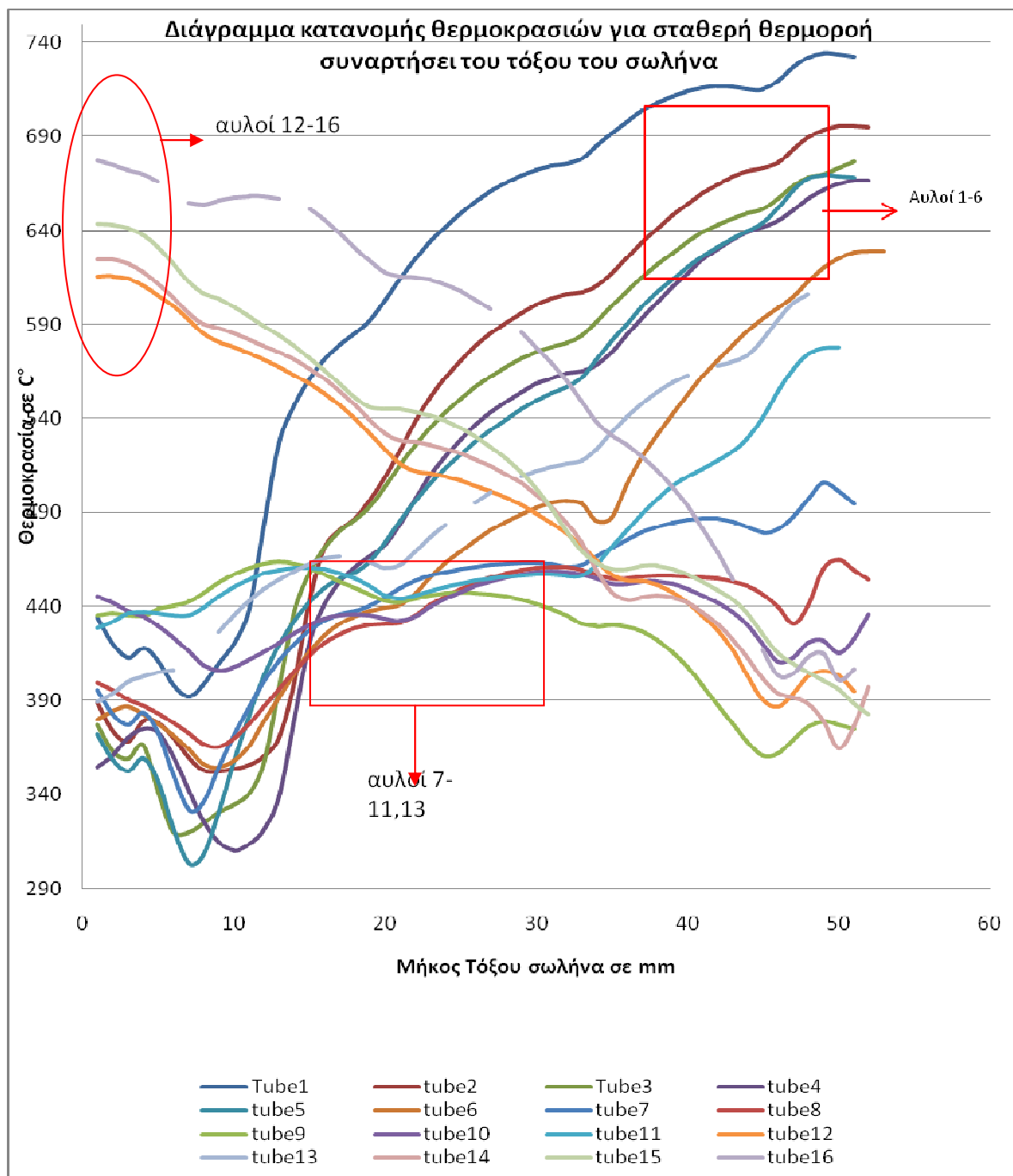
Διάγραμμα 10

Εδώ σχεδιάζεται για σταθερή θερμοκρασία στους αυλούς ίση με 803K , η κατανομή της θερμοροής συναρτήσει του τόξου του σωλήνα. Όπως και στο διάγραμμα 9, η τιμή στον άξονα των τετμημένων αντιστοιχεί στο κατώτατο σημείο του κάθε σωλήνα.

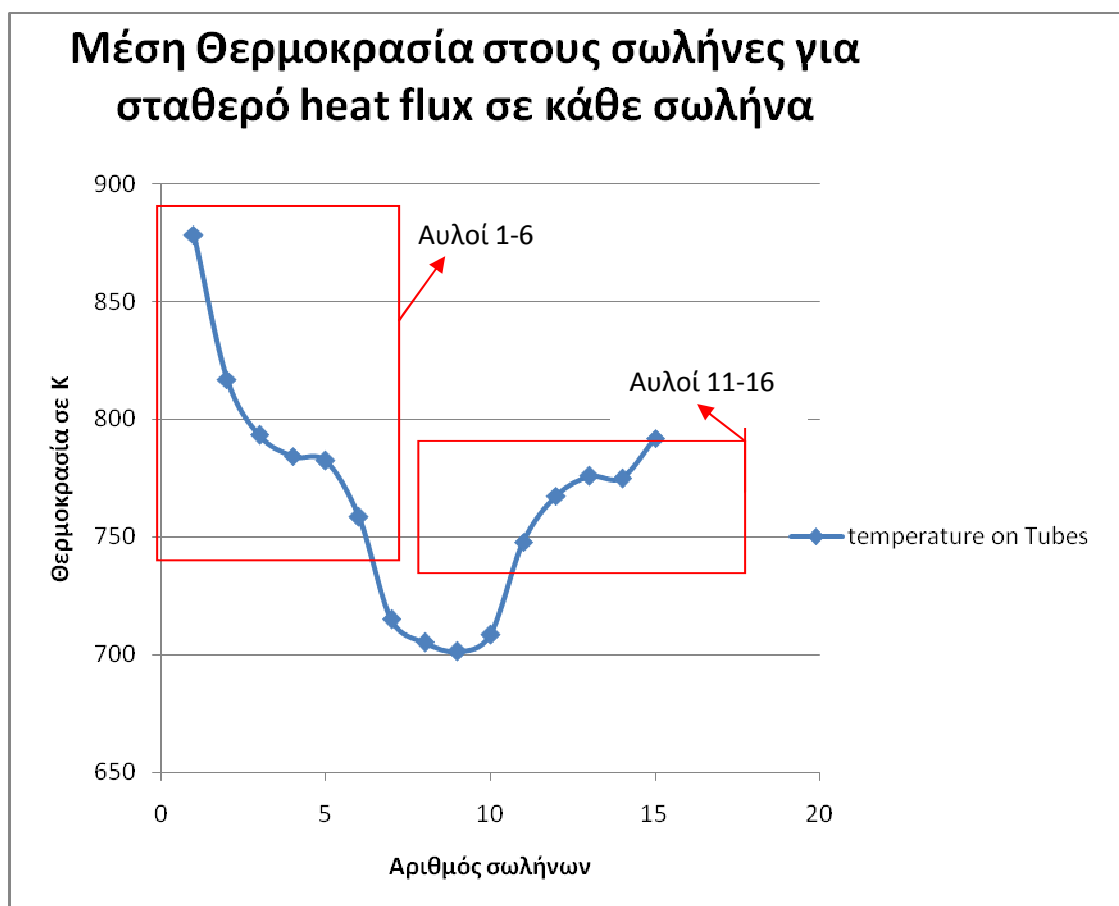


Ακόμη για τη περίπτωση της οριακής συνθήκης στους αυλούς heat flux σχεδιάσαμε για μια τιμή πλέγματος την μέση θερμοκρασία στους 16 αυλούς αλλά και την κατανομή της θερμοκρασίας κατά μήκος του τόξου για καθέναν από τους 16 σωλήνες.

Διάγραμμα 11



Διάγραμμα 12



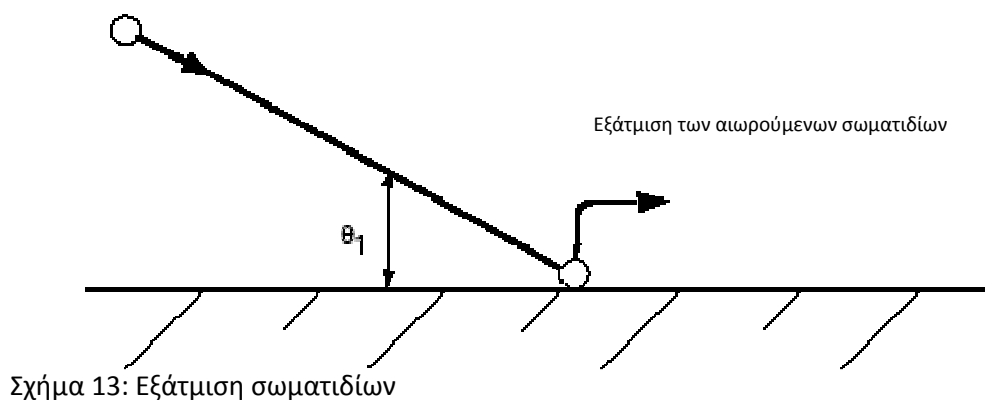
Η μορφή του διαγράμματος είναι όμοια με το διάγραμμα της μέσης θερμοροής ανά σωλήνα, πράγμα που αποδεικνύει άμεσα την σχέση μεταξύ θερμοκρασίας στους σωλήνες και μεταφερόμενης θερμότητας από το καυσαέριο. Ο σωλήνας 8 αποτελεί πάλι σημείο συμμετρίας και σ'εκείνον εμφανίζεται η ελάχιστη μέση θερμοκρασία. Στους επόμενους σωλήνες η τιμή της μέσης θερμοκρασίας αυξάνει. Ακόμα, βλέπουμε ότι στα διαγράμματα 9 και 10 διακρίνονται τρεις θερμικές συμπεριφορές των σωλήνων. Πρέπει να αποσαφηνιστεί ότι οι περιπτώσεις οριακών συνθηκών, δηλαδή θερμοροή σταθερή για όλους τους σωλήνες είναι ακραίες, για αυτόν τον λόγο εμφανίζονται τόσο χαμηλές θερμοκρασίες στους σωλήνες 7,8,9. Στο σημείο αυτό πρέπει να αποσαφηνιστεί ο τρόπος υπολογισμού της ολικής θερμοροής ανά σωλήνα. Το μέγεθος αυτό προέκυψε από την ολική θερμοροή των 44.7 MW διαιρεμένη με τον αριθμό των σωλήνων $\Sigma=16$ και τον αριθμό των σειρών $N=60$. Συνεπώς, η τιμή της ολικής θερμοροής που χρησιμοποιήθηκε ως οριακή συνθήκη για την επίλυση του πλέγματος του παραπάνω σχήματος είναι 25.412KW.

4.1.1.Επίδραση των σωματιδίων της τέφρας στην διάταξη ποσοτικά και ποιοτικά

Σκοπός μας είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά των σωματιδίων της τέφρας από τη στιγμή που εισέρχονται με το ρεύμα του καυσαερίου στον εναλλάκτη έως τη στιγμή που εξέρχονται από αυτόν. Όπως γίνεται αντιληπτό μεγάλη σημασία έχει η μοντελοποίηση της ροής των σωματιδίων καθώς διέρχονται μέσα από τον εναλλάκτη και κυρίως, πως αντιδρούν όταν έλθουν σε επαφή με τα στερεά τοιχώματα. Με βάση τις επιλογές που παρέχει το Fluent, δηλαδή παγιδευμένα, διαφυγόντα, ανακλώμενα σωματίδια επιλέχθηκε η περίπτωση των παγιδευμένων. Έτσι υπολογίζονται πόσα σωματίδια επικάθονται στους σωλήνες του εναλλάκτη θεωρώντας ότι η απλή επαφή του σωματιδίου στο στερεό τοίχωμα οδηγεί στη συγκράτησή του και επιπλέον με ποια συχνότητα συμβαίνει αυτό για παράδειγμα: 30 στον 1^ο σωλήνα, 25 στον δεύτερο, 22 στον τρίτο κ.ο.κ

Παρακάτω θα αναφερθούν περισσότερα στην επιλογή παγιδευμένα (trapped) από το [6].

Οι υπολογισμοί τροχιάς τερματίζονται και το σωματίδιο θεωρείται ως παγιδευμένο (trapped). Για τις περιπτώσεις σωματιδίων που εξατμίζονται, η συνολική τους μάζα περνάει στιγμιαία στην ατμώδη φάση. Αυτό φαίνεται καλύτερα στο παρακάτω σχήμα .



Οριακή συνθήκη "Trap" κατά την μοντελοποίηση της διακριτής φάσης

Θα υπολογιστεί, με βάση την επιλογή της παραμέτρου trapped, δηλαδή παγιδευμένων, στο fluent, πόσα από αυτά επικάθονται στους σωλήνες του υπερθερμαντή. Υπενθυμίζεται στο σημείο αυτό, ότι έχει ήδη υπολογιστεί στο mathcad (βλ. Κεφ 2), η συμβολή των σωματιδίων

στην αύξηση της ολικής αντίστασης για διαφορετικά πάχη επικαθήσεων στους αυλούς. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι δεν ήταν δυνατή η παρουσίαση των τροχιών των σωματιδίων, επειδή λόγω του μεγάλου πλήθους αυτών δεν ήταν δυνατόν να συναχθεί ασφαλές συμπέρασμα για τον τρόπο με τον οποίο κινούνται τα σωματίδια αυτά μέσα στον υπερθερμαντή. Πάντως μεγάλη σημασία έχει και το είδος της οριακής συνθήκης από τις παραπάνω που θα καθοριστεί.

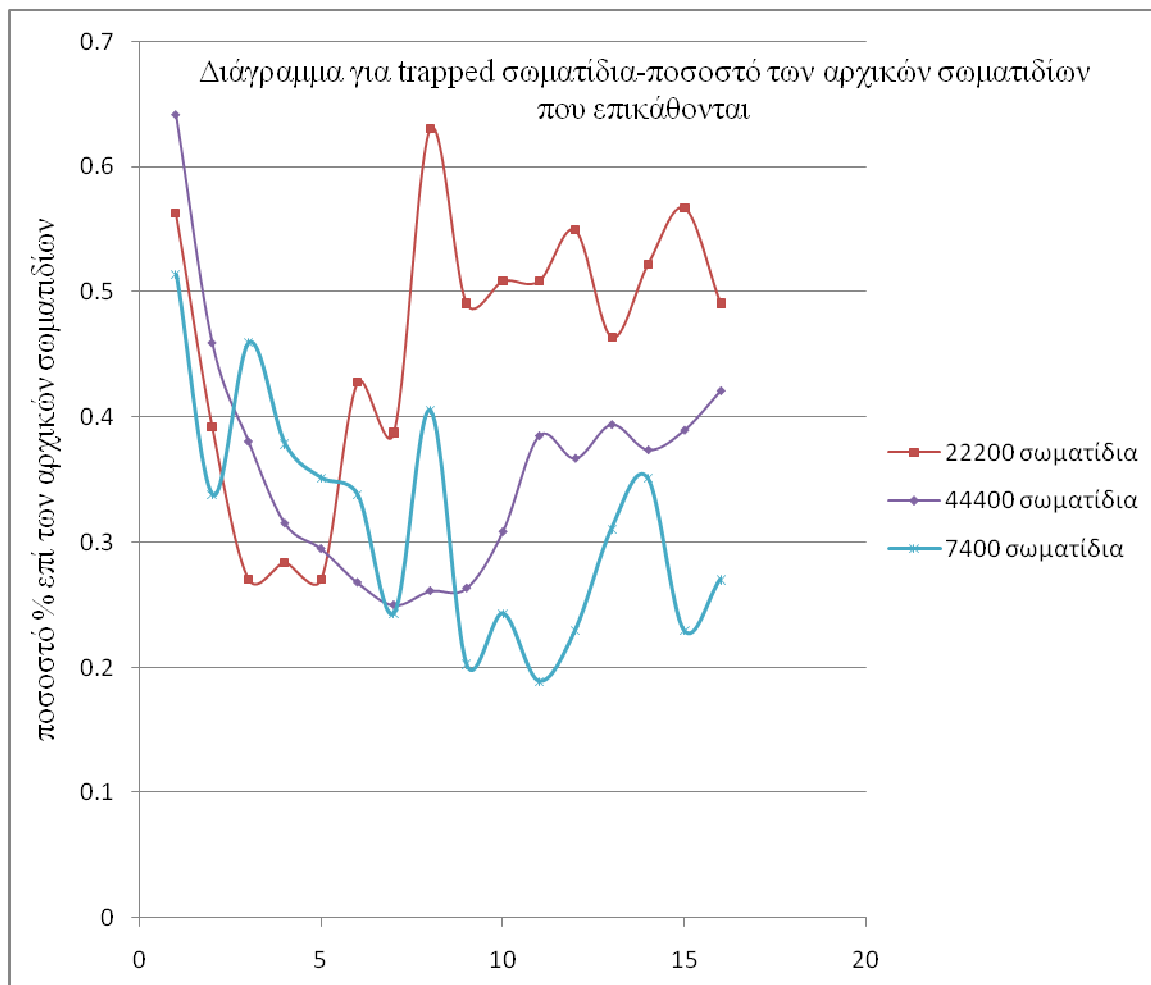
Από το μοντέλο που καθορίζει το είδος των σωματιδίων στο fluent καθορίζουμε τις ιδιότητες των σωματιδίων στην είσοδο του χωρίου και συγκεκριμένα τη διάμετρο D των σωματιδίων, τη θερμοκρασία εισόδου τους που ταυτίζεται με την θερμοκρασία εισόδου του καυσαερίου στον εναλλάκτη, και φυσικά το πλήθος τους, δηλαδή 7400,22200 και τέλος 44400 σωματίδια. Στον άξονα των τεταγμένων είναι το ποσοστό των σωματιδίων που παγιδεύονται στους σωλήνες από τα σωματίδια που ψεκάστηκαν συνολικά.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΤΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΣΤΗΝ ΟΛΙΚΗ ΘΕΡΜΟΡΟΗ

Στο καυσαέριο που διέρχεται μέσα από τον εναλλάκτη υπάρχουν σωματίδια τέφρας με διάμετρο 1 έως 100 μm . Τα σωματίδια αυτά συνεισφέρουν στην αύξηση της θερμοροής πάνω στους σωλήνες του υπερθερμαντή, λόγω του ότι ακτινοβολούν θερμότητα.

Αναλυτικότερα, στο διάγραμμα αυτό της ολικής θερμοροής ανημένη ανά σειρά και ανά μονάδα βάθους έχει συμπεριληφθεί και η μοντελοποίηση διακριτής φάσης. Στη διακριτή φάση λαμβάνονται υπ' όψη και τα σωματίδια της τέφρας του καυσίμου που συμπαρασύρονται από το ρεύμα του καυσαερίου και διέρχονται από τον εναλλάκτη. Έτσι για δύο διαφορετικές περιπτώσεις πλήθους σωματιδίων και συγκεκριμένα 22200 και 44400 υπολογίζουμε τις τιμές της ανηγμένης θερμοροής. Η παροχή μάζας των σωματιδίων της τέφρας υπολογίστηκε με βάση την κατά βάρος περιεκτικότητα των καυσαερίων σε τέφρα(βλ.[1])

Διάγραμμα 13

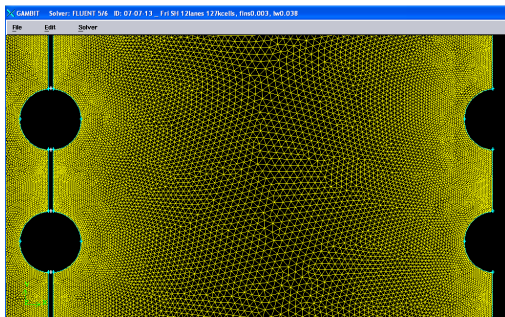


Παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα ότι στους 2 πρώτους σωλήνες επικάθονται τα περισσότερα σωματίδια τέφρας. Ακόμα όσο αυξάνεται το πλήθος των σωματιδίων δείχνει να ομαλοποιείται η καμπύλη και να εμφανίζεται η ελάχιστη συγκέντρωση σωματιδίων στον 5^ο και 6^ο σωλήνα. Στους επόμενους σωλήνες αυξάνεται σταδιακά η συγκέντρωση των σωματιδίων πάνω στους σωλήνες του υπερθερμαντή.

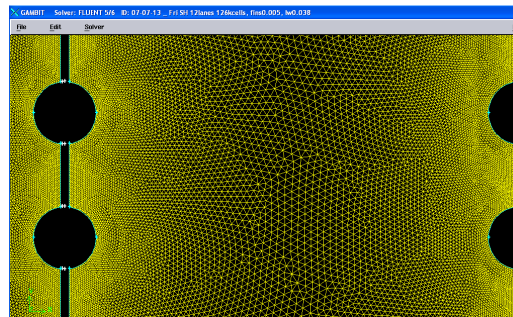
5ο Κεφάλαιο

5.1 Αποτελέσματα των προσομοιώσεων στο fluent για τη 2^η διάταξη του υπερθερμαντή-με πτερύγια σε μορφή διαγραμμάτων

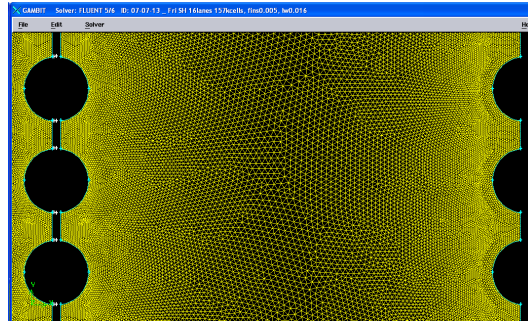
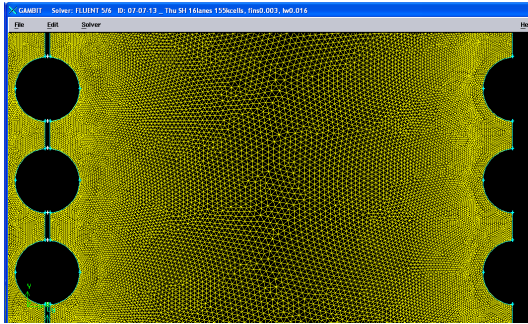
Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για την δεύτερη διάταξη(βλ.Κεφάλαιο 2.1).Υπενθυμίζουμε ότι στην δεύτερη διάταξη έχουν τοποθετηθεί μεταξύ των γειτονικών καθ' ύψος αγωγών κατά σειρά ελάσματα και όπως συνεπάγεται από την επίτευξη ίδιας θερμικής συμπεριφοράς του εναλλάκτη (ίδιο Q_{tot}), μεταβλητού πάχους και μεταβλητού μήκους. Χρησιμοποιήθηκε ένα πλέγμα για κάθε γεωμετρική διάταξη. Η επιφάνεια των πτερυγίων μοντελοποιήθηκε και αυτή ως στερεό όριο, ακριβώς όπως και ο σωλήνας, δηλαδή υπήρξε και σε αυτό το σημείο το πρόβλημα επιλογής οριακής συνθήκης. Έτσι για λόγους απλότητας αποφασίστηκε να δοθεί μια ενιαία, ομοιόμορφη θερμοκρασία ίση με 803K και στους 16 σωλήνες και στα 15 πτερύγια. Η υπόθεση αυτή δεν είναι απαραίτητα ακριβής, καθώς δεν υπάρχει κλίση θερμοκρασίας, ώστε να γίνει μεταφορά θερμότητας από το μέσον προς τη βάση του κάθε πτερυγίου.



Σχήμα 14: τροποποιημένο πλέγμα 12 αυλοί, 3mm πάχος πτερυγίου



Σχήμα 15: τροποποιημένο πλέγμα, 12 αυλοί, 5mm πάχος πτερυγίου



Σχήμα 16: τροποποιημένο πλέγμα, 16 αυλοί, 3mm πάχος πτερυγίου

Σχήμα 17: τροποποιημένο πλέγμα, 16 αυλοί 5mm πάχος πτερυγίου

Ακολουθούν δηλαδή 6 διαγράμματα, αντίστοιχα του 4^{ου} κεφαλαίου και συγκεκριμένα :

-διάγραμμα ολικής θερμοροής/επιφάνειας του εναλλάκτη. Εδώ το σημείο θέλει ιδιαίτερη προσοχή καθώς, ανάλογα με την εισαγωγή των πτερυγίων, μεταβλήθηκε και η επιφάνεια του εναλλάκτη.

-διάγραμμα ολικής θερμοροής ανηγμένης ανά σειρά και ανά μονάδα βάθους του εναλλάκτη.

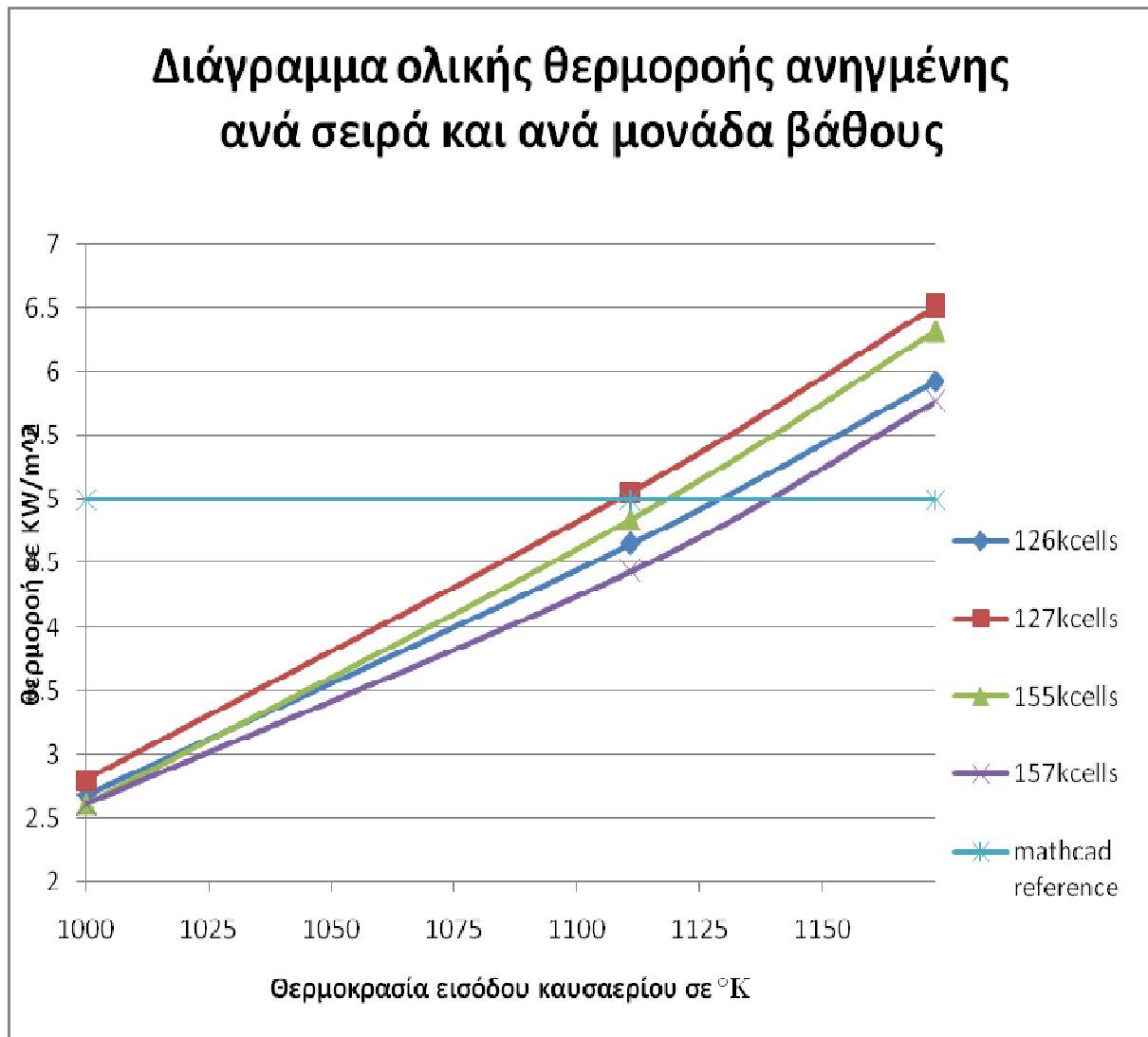
-Διάγραμμα θερμοροής στους σωλήνες για σταθερή θερμοκρασία σε αυλούς και πτερύγια $T=803K$ και για μέγεθος πλέγματος 155 kcells

-Διάγραμμα τιμών θερμοροής συναρτήσει του τόξου του κάθε σωλήνα.

-Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας για τους σωλήνες και τα πτερύγια στην περίπτωση της οριακής συνθήκης θερμοροής. Ουσιαστικά πρόκειται για την αντίστροφη περίπτωση των διαγραμμάτων 15 και 16. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε εδώ ήταν η εξής: Πρώτα επιλύθηκε το συγκεκριμένο πλέγμα με οριακή συνθήκη στους αυλούς $T=803K$. Έπειτα, όταν υπήρξε σύγκλιση της λύση, υπολογίσαμε τη μέση θερμοροή στα πτερύγια.

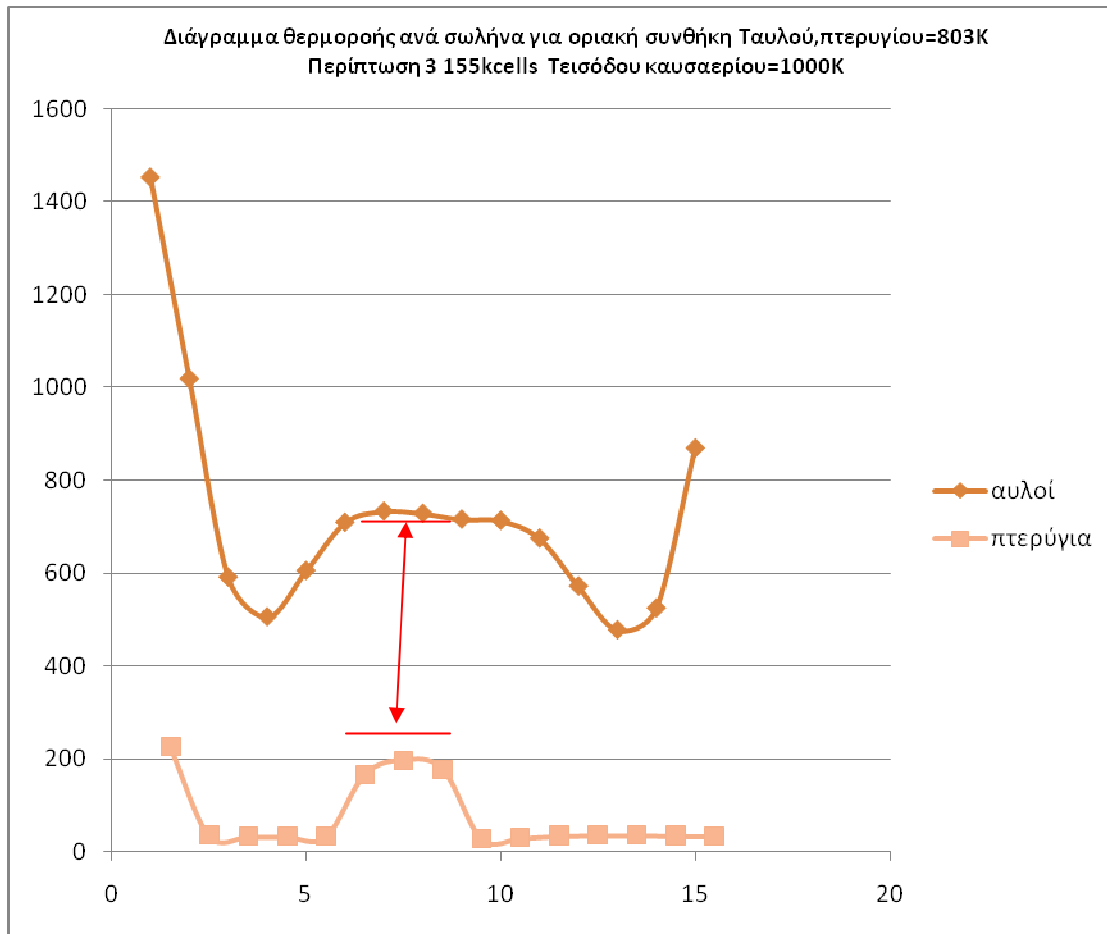
-Διάγραμμα θερμοκρασιών στους αυλούς και στα πτερύγια συναρτήσει του μήκους τόξου των αυλών ή των πτερυγίων αντίστοιχα.

Διάγραμμα14



Παρατηρούμε μια γραμμική συμπεριφορά των λύσεων και για τις 4 γεωμετρίες. Για μέγεθος πλέγματος 127 kcells η λύση συμπίπτει ακριβώς με την θερμοροή αναφοράς που έχει υπολογιστεί στην εργασία 1.

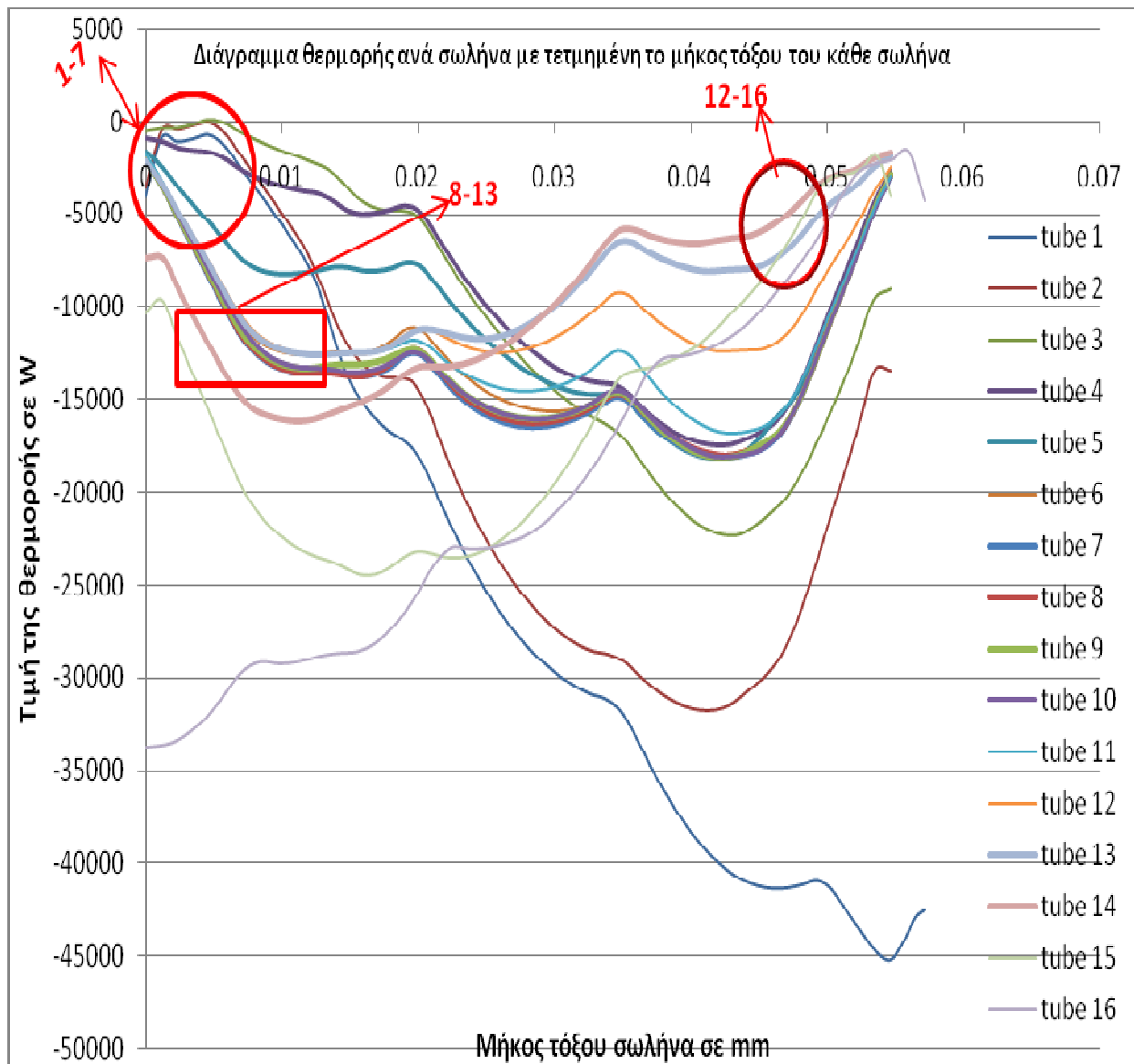
Διάγραμμα 15



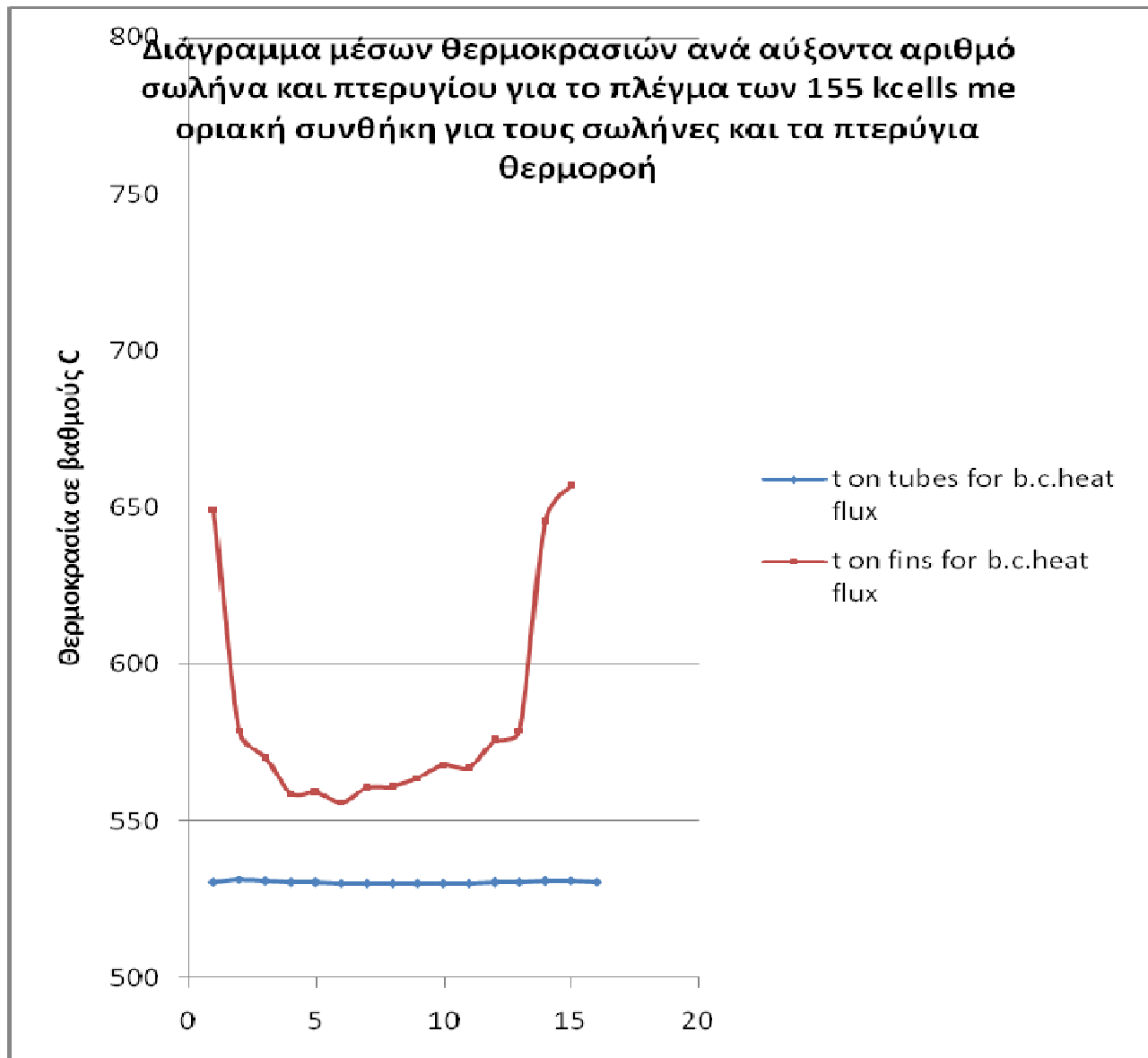
Εδώ όπως και στο διάγραμμα 9, η τιμή στον άξονα των τετμημένων αντιστοιχεί στο κατώτατο σημείο του κάθε σωλήνα.

Είναι προφανές από το παραπάνω διάγραμμα η μικρή συνεισφορά των πτερυγίων στην συνολική θερμοροή του εναλλάκτη. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στα πτερύγια 6,7,8 παρατηρείται η μέγιστη θερμοροή, ενώ η αντίστοιχη πάνω στους σωλήνες είχε υπολογιστεί ως μέση.

Διάγραμμα 16

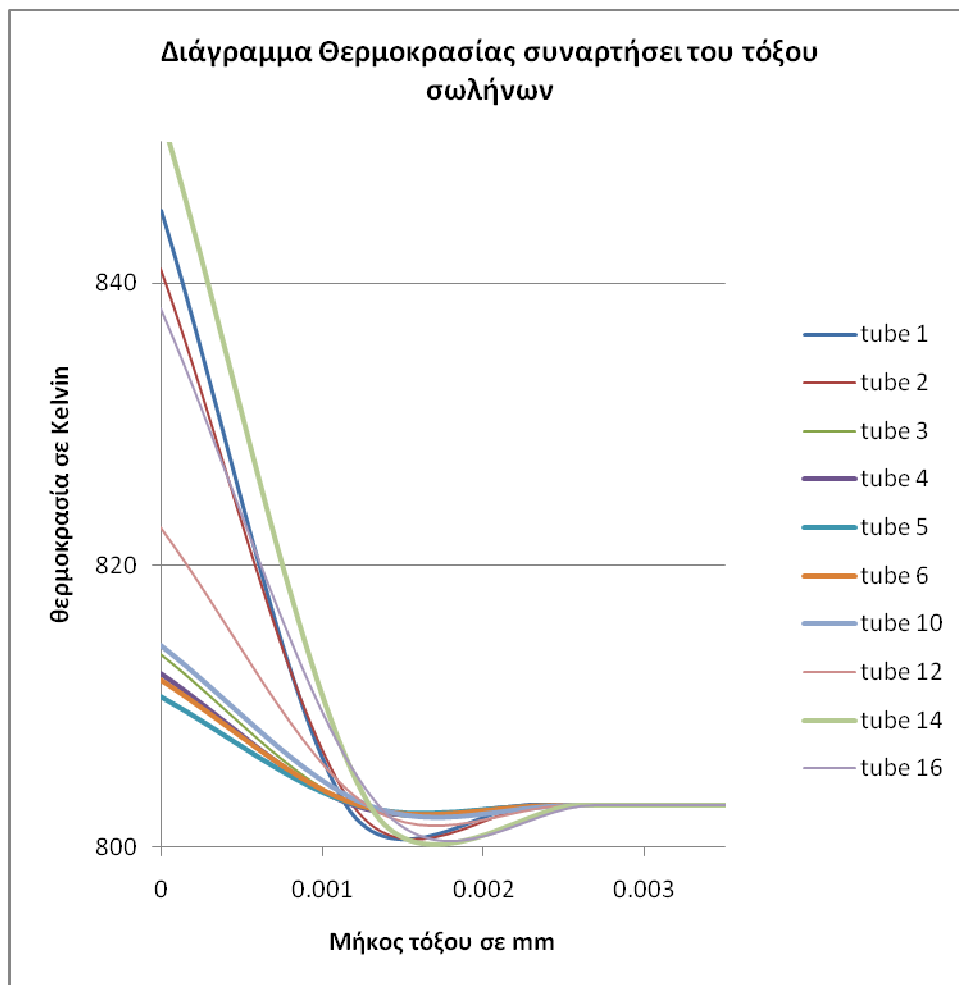


Διάγραμμα 17



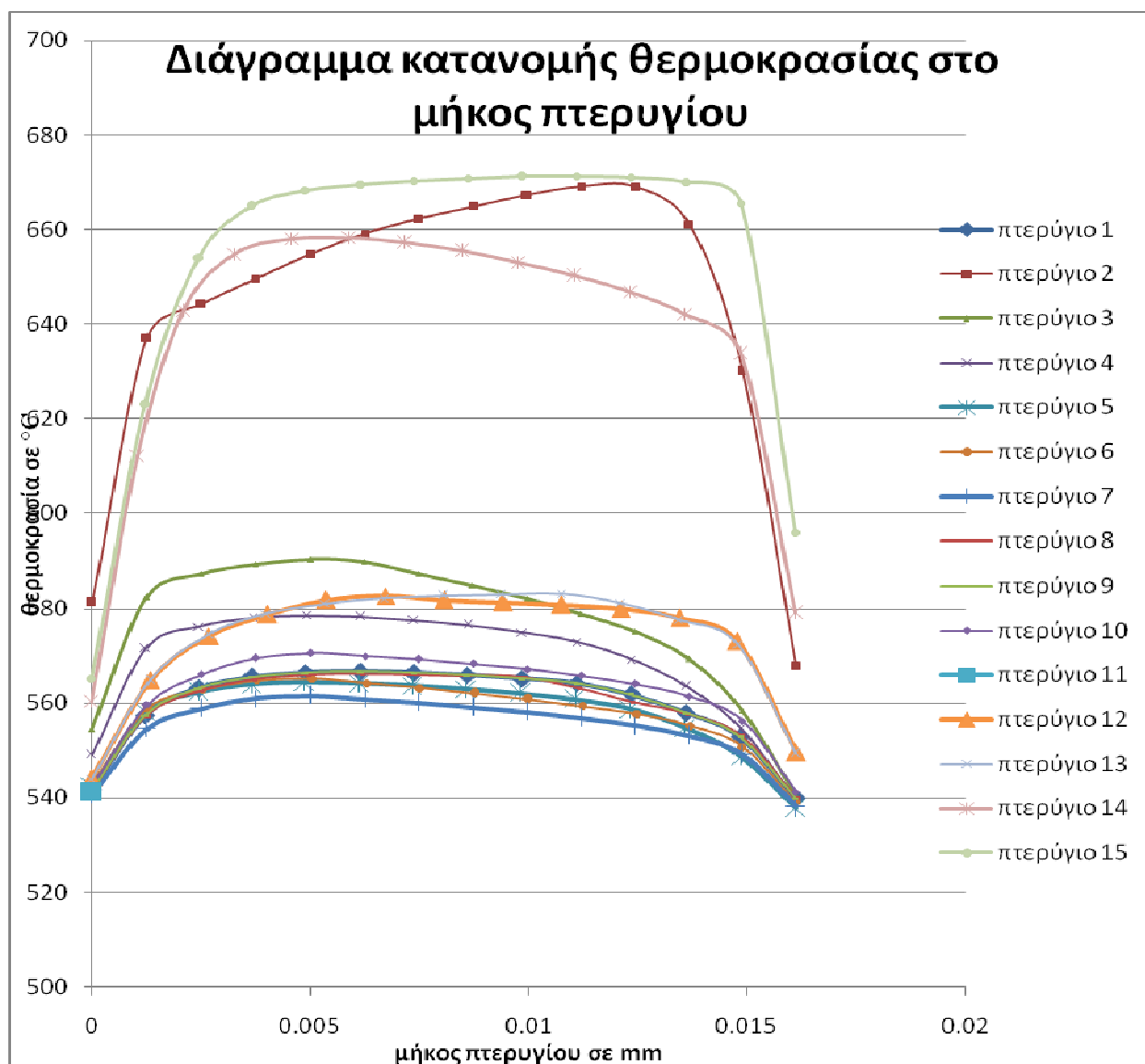
Παρατηρήθηκε ότι για τους 16 σωλήνες η θερμοκρασία κυμαίνεται γύρω στους 803 K, πράγμα απολύτως λογικό, αφού η τιμή της θερμοροής που επιλέχθηκε για οριακή συνθήκη, υπολογίστηκε από το fluent για την περίπτωση όπου η Ταυλών,πτερυγίων=803K. Ακόμα φαίνεται ότι τα υπ' αριθμόν 1,14 και 15 πτερύγια, δηλαδή αυτά που βρίσκονται στην αρχή και το τέλος του εναλλάκτη, έχουν την μεγαλύτερη θερμοκρασία.

Διάγραμμα 18



Είναι απαραίτητο μετά το τέλος των αποτελεσμάτων να επισημανθούν οι παραδοχές που έχουν γίνει σχετικά με τη διάταξη. Συγκεκριμένα, από τις δύο περιπτώσεις που μελετήθηκαν και σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα, η μια για Ταυλού, πτερυγίου=803K και η άλλη για Qαυλού1-16, Qπτερυγίου1-15, μεγέθη υπολογισμένα από την προηγούμενη περίπτωση, δεν αποτελούν τις πραγματικές οριακές συνθήκες της συγκεκριμένης διάταξης. Ο λόγος είναι ότι δεν ήταν εφικτό να καθοριστούν επαρκώς και με αξιοπιστία οι οριακές συνθήκες για τα πτερύγια.

Διάγραμμα 19



Είναι φανερό ότι και για τα 15 πτερύγια η μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται μακριά από τα άκρα τους, όπου και ενώνονται με τους σωλήνες. Με βάση αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να θεμελιωθεί η ορθότητα της υπόθεσης ότι κάθε έλασμα μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός 2 πτερυγίων. Φαίνεται δηλαδή ότι υπάρχει κλίση θερμοκρασίας που επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας προς τα άκρα του ελάσματος, ήτοι στους αυλούς.

6^ο Κεφάλαιο

6.1 Σύντομη αποτίμηση της εργασίας

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή (Κεφ.1.2) κύριος στόχος για την παρούσα εργασία ήταν να γίνει σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων και της μεθόδου στο Fluent με τη μέθοδο που ακολουθήθηκε στην εργασία [1]. Προς την κατεύθυνση αυτή θα συνεισφέρει ο παρακάτω περιληπτικός πίνακας.

Mathcad –ΕΡΓΑΣΙΑ [1]	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ FLUENT
Χρήση ημιεμπειρικών σχέσεων για τον υπολογισμό των συντελεστών μετάδοσης θερμότητας.	Μοντελοποίηση της ροής καυσαερίου και υπολογισμός της ολικής θερμοροής μέσα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης
$Q_{tot}=6.017 \cdot 10^7$ -ολική θερμοροή	$Q_{tot}=4.47 \cdot 10^7$ -ολική θερμοροή
1 μέση θερμοκρασία αυλών $T=530^{\circ}\text{C}$	1 μέση θερμοκρασία αυλών
1 θερμοκρασία εισόδου του καυσαερίου $T=838^{\circ}\text{C}$	1 θερμοροή στους 16 σωλήνες 4 θερμοκρασίες εισόδου του καυσαερίου
Παραμετρική μελέτη για την διάταξη ώστε $Q_{tot}=ct$	Μοντελοποίηση 4 περιπτώσεων και υπολογισμός ολικής θερμοροής/επιφάνεια

6.2 Συμπεράσματα- Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η χρήση εμπορικού υπολογιστικού κώδικα αποτελεί ένα όλο και δημοφιλέστερο εργαλείο στην ανάλυση, στον σχεδιασμό και στη βελτιστοποίηση των εναλλακτών θερμότητας. Τα CFD έχουν τη δυνατότητα να συμπληρώσουν την εικόνα μιας εγκατάστασης, όπως προκύπτει από πειραματικές μετρήσεις, έχοντας ως πλεονεκτήματα την ταχύτερη ανάλυση και παρακολούθηση μεγεθών, που δεν είναι εύκολο να προσδιορισθούν πειραματικά.

Με την παρούσα εργασία επιχειρείται μια πρώτη προσέγγιση στο θέμα της μοντελοποίησης ροής καυσαερίου μέσα από υπερθερμαντή ατμού. Σκοπός ήταν να γίνουν καλύτερα κατανοητές βασικές παράμετροι του προβλήματος, ώστε να ακολουθήσει μια ευρύτερη παραμετρική μελέτη τόσο στη συνεχή φάση όσο και στη διακριτή. Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας θα βοηθήσουν προς αυτήν την κατεύθυνση, αφού αναδείχθηκε η ανάγκη για ακριβέστερο προσδιορισμό των οριακών συνθηκών, τόσο στην 1^η αλλά κυρίως στη δεύτερη διάταξη, όπως για παράδειγμα επιλογή κατάλληλης θερμοκρασίας στους αυλούς αλλά και στα ελάσματα του υπερθερμαντή.

Όσον αφορά στους υπολογισμούς της συνεχούς φάσης προτείνεται:

- η χρήση σχημάτων μεγαλύτερης τάξης (2^{15} ή και 3^{15}) και
- η διερεύνηση της επίδρασης των σχημάτων διακριτοποίησης στα αριθμητικά αποτελέσματα

Πέρα από τις εξισώσεις διατήρησης, το μαθηματικό μοντέλο τέτοιων κωδικών υπολογιστικής ρευστομηχανικής περιλαμβάνει υπομοντέλα που περιγράφουν τους υπολογισμούς σε διακριτή φάση. Αναλυτικότερα, ανάλογα με τις παραμέτρους που έχουν τεθεί, δηλαδή:

- διάμετρος του σωματιδίου
- πλήθος των σωματιδίων που εισέρχονται και
- θερμοκρασία τους

δύναται το υπολογιστικό πακέτο fluent να υπολογίσει:

- την τροχιά ψεκαζόμενων σωματιδίων

- την συμπεριφορά τους ως προς τις επικαθήσεις πάνω στους αυλούς του υπερθερμαντή και
- τη διερεύνηση της ακριβούς επίδρασης κάθε μιας από τις παραπάνω παραμέτρους στην ολική απορροφούμενη θερμοροή στον εναλλάκτη λόγω της ακτινοβολούμενης θερμότητας από τα σωματίδια .

Επιπλέον θα μπορούσε να μελετηθεί η επίδραση των σωματιδίων της τέφρας και για την δεύτερη διάταξη του εναλλάκτη, ώστε να προσδιορισθεί:

- η συχνότητα επικαθήσεως των σωματιδίων στα πτερύγια του εναλλάκτη και
- η επίδραση των σωματιδίων στην ολική θερμοροή του εναλλάκτη.

Τέλος, η παρούσα εργασία περιέχει μια συμπυκνωμένη μέθοδο βασικής μοντελοποίησης της ροής καυσαερίου μέσα από τον υπερθερμαντή, όπως επίσης και στοιχεία παραμετρικής επεξεργασίας . Τα συμπεράσματα από την εργασία αυτή, μπορεί να αποτελέσουν τη βάση για περαιτέρω παραμετρική μελέτη τόσο στην μέθοδο μοντελοποίησης της βασικής γεωμετρικής διάταξης του εναλλάκτη, όσο και στην δεύτερη διάταξη που είναι και πιο περίπλοκη λόγω της δυσκολίας καθορισμού ακριβών οριακών συνθηκών πάνω στους σωλήνες και στα πτερύγια.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1.Excel worksheet με όλα τα αποτελέσματα για όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν στο fluent-1^η διάταξη

T σε K	Ttube=803	10 ⁵ W	KW/m ²	Qre=6,73*10 ⁴ (old calculation)		
900		3.06	12.9	2.0536913	24kcells	
1000		7.06	24.6	4.738255		
1111		12.43	43.48	8.3422819		
1173		16.0327	56.09	10.760201		
					40,3kcells	
900		3.26	11.42	2.1879195		
1000		7.4	25.9	4.966443		
1111		12.4	43.38	8.3221477		
1173		16.69	58.39	11.201342		
900		4.896	17.08704	3.285906	50kcells x2	
1000		11.17	38.9833	7.4966443		
1111		19.76	68.9624	13.261745		
1173		25.2	87.948	16.912752		
					60kcells	
900		3.93	13.7157	2.6375839	cp-polyn	
1000		8.74	30.5026	5.8657718		
1111		14.336	50.03264	9.6214765		
1173		18.52	64.6348	12.42953		
900					50.2kcel x2inj	
1111						
900		3.8895	13.574355	2.6104027	100kcells	
1000		8.68	30.2932	5.8255034		
1111		14.9	52.001	10		
1173		18.98	66.2402	12.738255		
				0	127kcellsx2	
900		5	17.45	3.3557047		
1000		11.37	39.6813	7.6308725		
1111		19.85	69.2765	13.322148		
1173		25.12	87.6688	16.85906		
900		3.546		2.3798658	147kcells	
1000						
1111						
1173						
900		3.82	13.3318	2.5637584	60.2kcells	
1000		8.196	28.60404	5.5006711	Tri	
1111		14.06	49.9	9.4362416		

1173		17.979	62.746	12.066443		
900		4.626	16.14	3.104698		
1000		13.076	45.63	8.7758389	28.8kcell x2	
1111		18.9	66.08	12.684564	Quad	
1173		24.5	85.505	16.442953		
	Ανηγμένη θερμοροή ανά επιφάνεια του εναλλάκτη	Ανηγμένη θερμοροή ανά σειρά για οριακή συνθήκη ταχύτητα καυσαερίου	Μετατροπή σε μονή σειρά-μόνο για χ2 πλέγματα	Ολική θερμοροή	Ανηγμένη θερμοροή ανά σειρά για οριακή συνθήκη παροχή μάζας καυσαερίου	
24kcells	KW/m ²	B.C vel		Qtotal		
900	5.2321155	1.0037		8.973078	44.7	
1000	12.089069	2.3191		20.732754	44.7	
1111 1173	21.278764	4.082		36.49308	44.7	4.0425
40,3kcells	27.446582	5.2652		47.070888	44.7	
900						
1000	5.5683429	1.0682		9.549708		
1111 1173	12.663002	2.4292	2.4292	21.717048		
	21.154699	4.0582		36.280308		
	28.484456	5.4643		48.850842		
50kcells x2						
900	5.6793761	2.179	1.0895	9.74013		
1000	12.531378	4.8079	2.40395	21.491313		
1111 1173	22.020289	8.4485	4.22425	37.764795		
60kcells	28.36404	10.8824	5.4412	48.644328		
cp-polyn						
900	6.8027405	1.305		11.6667		
1000	14.522417	2.7859		24.905946		
1111 1173	24.809412	4.7593		42.548142		
	32.549941	6.2442		55.823148		
50.2kcel x2inj						
900	17.477048	3.3527	1.676	29.973138		
1000						
1111 1173	33.536729	12.867	6.4335	57.51549		5.884
100kcells				0		
900	6.7208991	1.2893		11.526342		
1000	15.007732	2.879		25.73826		

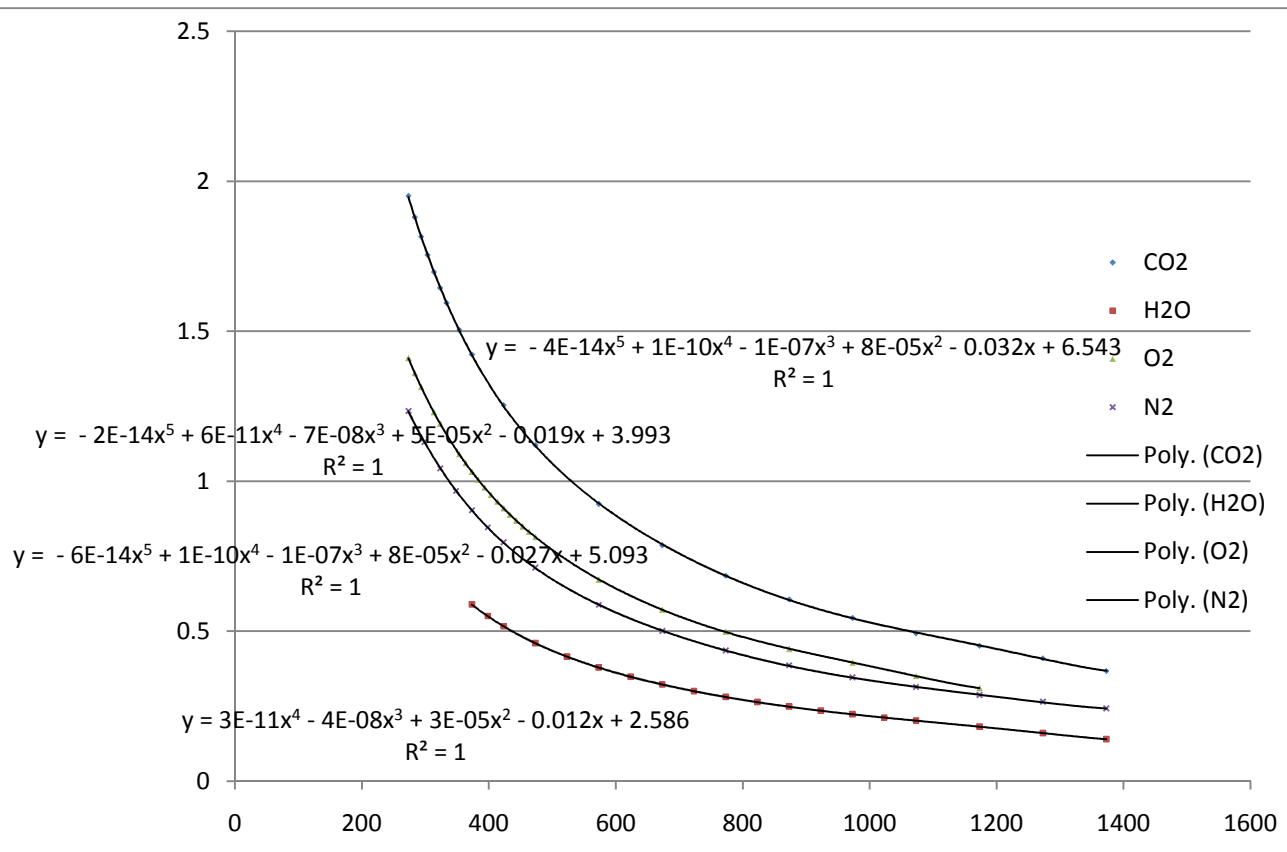
1111 1173						
127kcellsx2	32.839774	6.2998		56.320212		
900	0			0		
1000	5.6806793	2.178	1.08975	9.742365		
1111 1173	12.921037	4.9574	2.4787	22.159578		
	22.564508	8.6573	4.32865	38.698131		
	28.548313	10.9531	5.47655	48.960357		
147kcells	0			0		
	6.095881	1.1694		10.454436		1.2647
	14.800261	2.8392		25.382448		
	25.482388	4.8884		43.702296		4.7895
	32.486344	6.232		55.71408		6.2759
60.2kcells		B.C vel		0		
Tri	6.6135149	1.2687		11.342178		
	14.17957	2.72013		24.317962		
	24.241214	4.6503		41.573682		4.7137
	31.112764	5.9685		53.35839		
	0			0		
28.8kcell x2	5.0538367	1.939	0.9695	8.66733		
Quad	11.744501	4.506	2.253	20.14182		
	20.688672	7.9376	3.9688	35.481072		
	26.835899	10.965	5.14805	46.023567		
		inj-44400	inj-22200			
7.9376				B.C vel		
127kcells	1111	7.7009	7.7012	6.3085		
	1173	6.6224	6.6939	7.8905		

T σε
Kelvin

1111 8.6596 4.3298 127kcellsx2 2.6736
 21.91
1173 10.955 injection

flow

				Θερμοροή για οριακή συνθήκη παροχή μάζας καυσαερίο υ
	Θερμορο ή για οριακή συνθήκη ταχύτητα	Μέγεθος πλέγματος	% διαφορά	
1111	4.9016	184kcells	-1.968	4.7828
1111	4.7696	232kcells	-4.608	B.C.mass flow 4.6622
1111	4.2205	137x2kcells	-15.59	
1111	4.22304	200x2kcells	-15.5392	
1111	4.57	139kcellsx2		
1111	4.59	193x2 tri kcells	-8.2	



για τον υπολογισμό του C_p καυσαερίου

Το παρακάτω γραμμάκι απεικονίζονται οι καμπύλες προσέγγισης (πολυωνυμικές κατάλληλου βαθμού), που προσεγγίζουν τις τιμές της θερμοχωρητικότητας C_p για τα τέσσερα συστατικά, από τα οποία αποτελείται το καυσαέριο, που διεργάζεται στην μελετήθηκε. Οι συντελεστές κάθε πολυωνύμου αντικαταστάθηκαν στο Fluent, στο πάνελ που ορίζεται για τον υπολογισμό του C_p .

3. Πίνακας από το κεφάλαιο Od του Wärmetlas για την θερμική αγωγιμότητα k υλικών των επικαθίσεων.

Είδος επικάθησης	Ειδική θερμική αγωγιμότητα $k^{W/m \times K}$
Asche (Kohle)	0,02 bis 1,9
Asche (Öl)	0,05 bis 1,9
Biofilm	0,5 bis 0,7
Calciumcarbonat (porös)	0,35
Calciumcarbonat (Dampferzeuger)	0,9
Calciumcarbonat (Aragonit)	1,7
Calciumcarbonat	1,5 bis 2,9
Calciumphosphat	2,6
Calciumsulfat	0,6 bis 2,3
Calciumsulfat (Dampferzeuger)	0,8 bis 2,2
Eisensulfid-Ablagerung	1,2
Flugzeugbenzin-Ablagerungen	0,12
Gasöl-Ablagerungen	0,3 bis 1,1

Hämatit (Dampferzeuger) 0,6

Koks 0,3 bis 0,9

Korrosionsprodukte (BWR) 0,7 bis 0,8

Korrosionsprodukte (LMFBR) 0,1 bis 0,3

Kühlwasser-Ablagerungen 1,4 bis 3,2

Magnesiumphosphat 2,3

Magnetit, $e = 0$, kein Sieden 3,0 bis 5,1

Magnetit, $e = 0$, Sieden 18,3 bis 24,2

Magnetit, $e = 0,38$, 1,5 bis 3,5

überkritisches

Sieden

Magnetit, $e = 0,65$, 1,3 bis 2,6

überkritisches Sieden

Magnetit, $e = 0,7$ bis $0,77$, 1,0 bis 2,0

Sieden

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Γεώργιος Κακκαβάς, « Βελτιστοποίηση σχεδιασμού εναλλακτών για τη μείωση των επικαθήσεων της τέφρας», Αθήνα Οκτώβριος 2006
- [2]. Frank P. Incropera , David P. De Witt, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, John Wiley and Sons, 5th Edition 2002
- [3]. VDI Wärmeatlas
- [4]. Ν. Παπαγεωργίου, «Ατμοπαραγωγί 1»
- [5]. LIGPOWER MANUAL
- [6]. FLUENT DOCUMENTATION
- [7]. Ξενοφών Κακάτσιος, «Μετάδοση Θερμότητας», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2002