



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ



**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΖΑΛΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου Ιωάννη και Αγγελική καθώς και στις αδερφές μου Μαίρη και Κυριακή για την αδιάκοπη στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

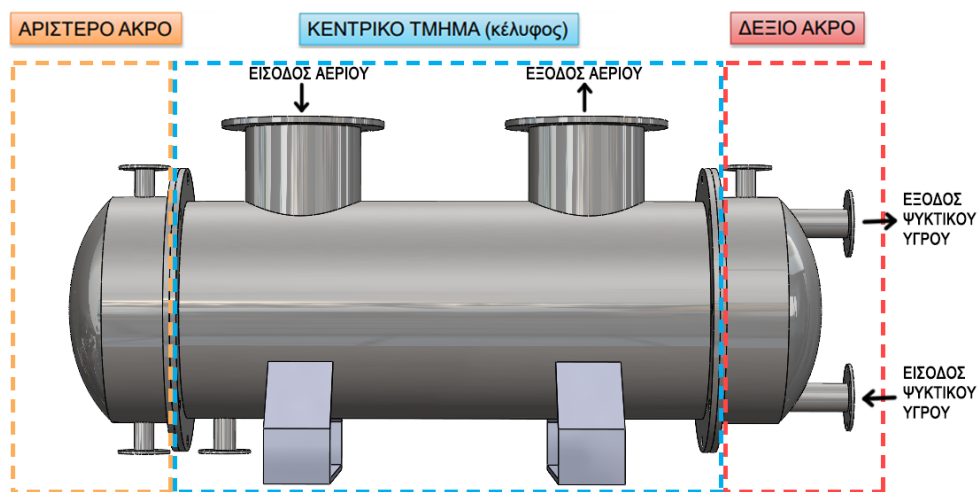
Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Αριστομένη Αντωνιάδη για τις γνώσεις, τις συμβουλές και το χρόνο που αφιέρωσε σε εμένα. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την ευχαρίστηση μου στον υποψήφιο Διδάκτορα Άγγελο Μαρινάκη για την χρήσιμη βοήθεια του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και τους κοντινούς μου φίλους για την συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ-ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	5
2.1 Τρόπος μεταφοράς θερμότητας	6
2.2 Ροή των ρευστών	6
2.3 Κατασκευαστική διάταξη	7
2.4 Μετάδοση θερμότητας	10
2.4.1 Εναλλάκτες πολύπλοκης γεωμετρίας	14
2.4.2 Βαθμός αποτελεσματικότητας εναλλακτών	16
2.4.3 Συντελεστής ρύπανσης	18
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	20
3.1 Σχεδιασμός κεντρικού μέρους	20
3.2 Σχεδιασμός αριστερού άκρου	24
3.3 Σχεδιασμός δεξιού άκρου	27
3.4 Σχεδιασμός εσωτερικού μέρους	29
3.5 Συναρμολόγηση επιμέρους σχεδίων	30
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	32
4.1 Κατασκευή κεντρικού μέρους.....	32
4.2 Κατασκευή αριστερού άκρου	36
4.3 Κατασκευή δεξιού άκρου	38
4.4 Κατασκευή εσωτερικού μέρους.....	39
5. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ	40
6. ΣΥΝΟΨΗ	49
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη σχεδίαση και κατασκευή ενός μοντέλου εναλλάκτη θερμότητας έμμεσης μετάδοσης εκπαιδευτικού ενδιαφέροντος. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη εφαρμόζεται για εναλλάκτη δέσμης σωλήνων - κελύφους μιας εξωτερικής και πολλαπλών εσωτερικών διαδρομών. Το μοντέλο έχει τη μορφή κυλινδρικού λέβητα και απαρτίζεται από τέσσερα βασικά τμήματα, το κεντρικό τμήμα, το δεξί και αριστερό άκρο καθώς και το εσωτερικό μέρος. Το ρευστό που δύναται να ψυχθεί εισέρχεται από το στόμιο εισόδου αερίου και εξέρχεται από το στόμιο εξόδου αερίου. Η διαδικασία ψύξης του ρευστού επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των σωλήνων που διαπερνούν το κεντρικό τμήμα εκ του οποίου ρέει ψυκτικό υγρό. Το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στο κάτω μέρος του δεξιού άκρου του εναλλάκτη, εκτελεί τη διαδρομή εσωτερικά του κεντρικού τμήματος και εξέρχεται από το επάνω μέρος του δεξιού άκρου του εναλλάκτη. Τέλος, στον εναλλάκτη θερμότητας τοποθετήθηκαν τέσσερα στόμια εξαερισμού, δύο στο αριστερό άκρο, ένα στο κεντρικό τμήμα και ένα στο δεξιό άκρο.



Σχήμα 1.1: Συναρμολογημένο σχέδιο εναλλάκτη θερμότητας.



Σχήμα 1.2: Συναρμολογημένη κατασκευή εναλλάκτη θερμότητας.

2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ-ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Σε πολλές εφαρμογές, τόσο στην καθημερινότητα όσο σε βιομηχανικό επίπεδο απαιτείται η μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών. Μεταφορά θερμότητας μέσα σε ένα σώμα ή μεταξύ δύο σωμάτων πραγματοποιείται με τρεις βασικούς τρόπους, την αγωγή, τη συναγωγή και την ακτινοβολία. Στην αγωγή, η μεταφορά θερμότητας οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις των μικροσκοπικών σωματιδίων χωρίς να παρατηρείται μετακίνηση υλικού από τη μία θέση του χώρου στην άλλη. Αντίθετα, στη συναγωγή ο μηχανισμός της μεταφοράς θερμότητας οφείλεται σε μετακίνηση μάζας του ρευστού αφού το ρευστό κατά τη κίνησή του από μια θέση του χώρου από μια θέση σε μια άλλη μεταφέρει μαζί του και την ενέργεια που περιέχει, επηρεάζοντας έτσι το ενεργειακό περιεχόμενο του χώρου στον οποίο καταλήγει. Στην ακτινοβολία η ενέργεια μεταφέρεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία εκπέμπονται και απορροφούνται από κάθε σώμα το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν. Αντίθετα με την αγωγή και τη συναγωγή, η ακτινοβολία δεν απαιτεί την ύπαρξη της ύλης και μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη και στο κενό.

Η διαδικασία αυτή της μεταφοράς θερμότητας μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας (heat exchangers). Εναλλάκτης θερμότητας ορίζεται η συσκευή που στοχεύει στην μετάδοση του θερμικού φορτίου μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας. Τα μέσα στα οποία μεταφέρεται η θερμότητα είναι εφικτό να βρίσκονται σε άμεση επαφή όπου το επιτρέπουν οι συνθήκες ή μπορούν να διαχωριστούν με ένα στερεό υλικό με σκοπό να αποφευχθεί η ανάμειξη των συμβαλλόμενων ρευστών.

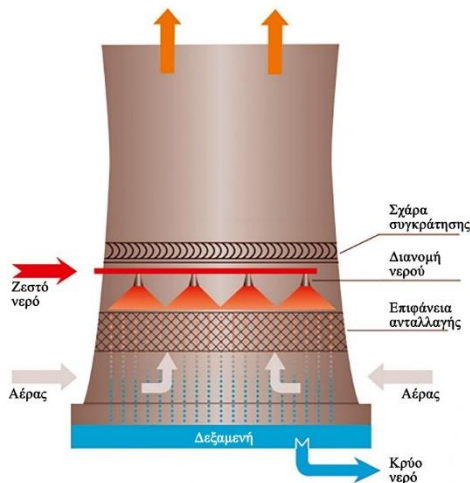
“Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές με τις οποίες επιτυγχάνεται η μεταφορά ενέργειας από ένα ρευστό υψηλής θερμοκρασίας σε ένα άλλο ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας. Το πολύ αυξημένο ενδιαφέρον για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο τις τελευταίες δεκαετίες του 20ου αιώνα σε συνδυασμό με τα οικονομικά κίνητρα που έδωσαν οι περισσότερες κεντρικές κυβερνήσεις σε όλο το κόσμο οδήγησε τις παραγωγικές εταιρείες ανεξαρτήτως μεγέθους να αναπτύξουν τεχνολογίες αποτελεσματικότερης αξιοποίησης της ενέργειας. Σημαντικό ρόλο για την επίτευξη του παραπάνω στόχου έπαιξαν και συνεχίζουν να παίζουν οι συσκευές εναλλαγής θερμότητας [1].”

2.1 Τρόπος μεταφοράς θερμότητας

Με γνώμονα τον τρόπο μεταφοράς της θερμότητας, οι εναλλάκτες διαχωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, τους άμεσης, τους έμμεσης και ημιάμεσης μετάδοσης.

Στους πρώτους, η μεταφορά της θερμότητας πραγματοποιείται από το θερμό ρευστό στο ψυχρό με άμεση επαφή ή ανάμιξη των δύο ρευστών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του συγκεκριμένου τύπου είναι οι πύργοι ψύξης του νερού των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ωστόσο το μεγαλύτερο ποσοστό των εναλλακτών θερμότητας κατατάσσεται στους έμμεσης επαφής ή κλασσικού τύπου, στους οποίους το θερμό και το ψυχρό μέσο ρέουν ταυτόχρονα μέσα στον εναλλάκτη, διαχωρίζοντας τα ενδιάμεσα τοιχώματα που συμβάλουν στην μεταφορά της θερμότητας. Τέτοιου είδους εναλλάκτες καλούνται τα θερμαντικά σώματα, οι συμπυκνωτές και οι ατμολέβητες.



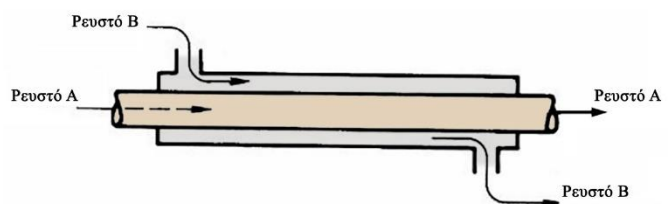
Τέλος, οι εναλλάκτες ημιάμεσης μετάδοσης ή αλλιώς αναγεννητές είναι διατάξεις στις οποίες η ίδια επιφάνεια θέρμανσης εκτίθεται διαδοχικά στο θερμό και στο ψυχρό ρευστό. Όταν το θερμό ρευστό βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια, απάγει και αποθηκεύει θερμότητα από αυτό. Στη συνέχεια διακόπτεται η παραπάνω διαδικασία και ακολουθεί η ροή του ψυχρού ρευστού, μεταδίδοντας σε αυτό την αποθηκευμένη θερμότητα της επιφάνειας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του συγκεκριμένου τύπου είναι οι προθερμαντήρες τύπου Ljungstrom.

Σχήμα 2.1.1: Προθερμαντήρες τύπου Ljungstrom.

2.2 Ροή των ρευστών

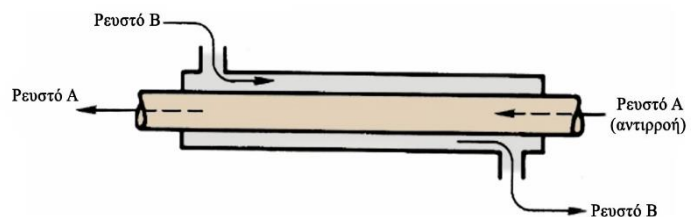
Το δεύτερο κριτήριο διάκρισης των εναλλακτών είναι ο τρόπος ροής των ρευστών. Οι κατηγορίες διαίρεσης των εναλλακτών είναι :

- Εναλλάκτες παράλληλης ροής ή ομοροής (parallel flow), στους οποίους τα δύο ρευστά ρέουν παράλληλα (Σχήμα 2.2.1).



Σχήμα 2.2.1: Εναλλάκτης παράλληλης ροής

- Εναλλάκτες αντιρροής (counter flow), όπου η ροή των συμβαλλόμενων ρευστών βρίσκεται στην ίδια διεύθυνση αλλά με αντίθετη φορά (Σχήμα 2.2.2). Στο συγκεκριμένο

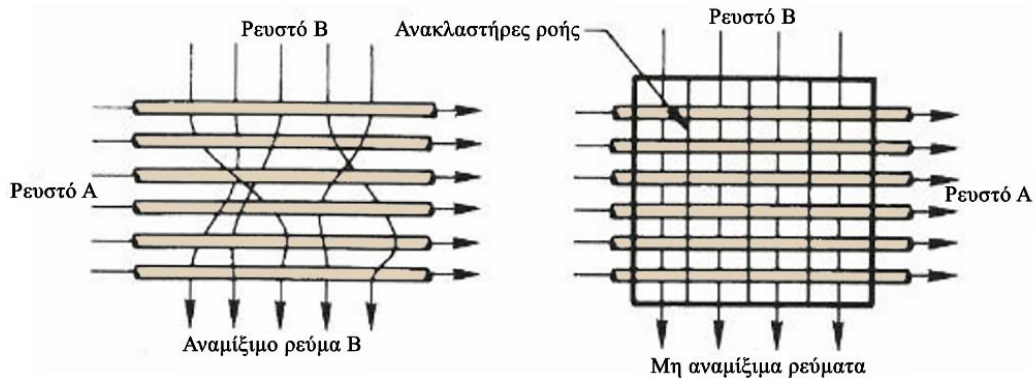


Σχήμα 2.2.2: Εναλλάκτης αντιρροής

παρουσιάζεται η μεγαλύτερη αποδοτικότητα, με αποτέλεσμα να προτιμάται στις

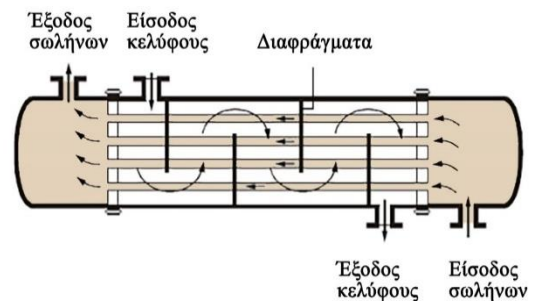
περισσότερες εφαρμογές σε σχέση με τους υπόλοιπους.

- Εναλλάκτες σταυρωτής ροής ή σταυροροής (cross flow), όπου τα δύο ρευστά ρέουν σε κάθετες διευθύνσεις (Σχήμα 2.2.3).



Σχήμα 2.2.3: Εναλλάκτης σταυρωτής ροής

- Εναλλάκτες μικτής ροής, στους οποίους η ροή είναι συνδυασμός των παραπάνω ειδών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του συγκεκριμένου τύπου είναι ο εναλλάκτης δέσμης σωλήνων με διαφράγματα όπου περιλαμβάνει ομοροή, αντιρροή και σταυρωτή ροή (Σχήμα 2.2.4).

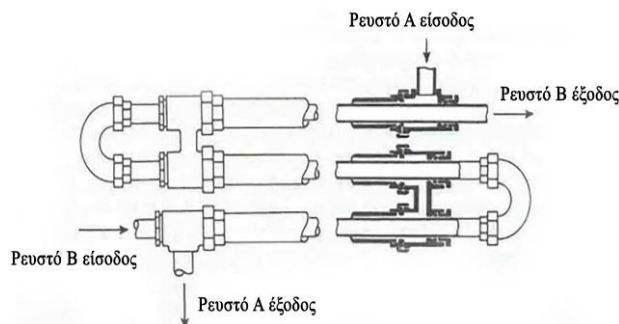


Σχήμα 2.2.4: Εναλλάκτης μικτής ροής

2.3 Κατασκευαστική διάταξη

Ένα ακόμα κριτήριο υποδιαίρεσης των εναλλακτών αφορά την κατασκευαστική διάταξη τους χωρίζοντας τους στους:

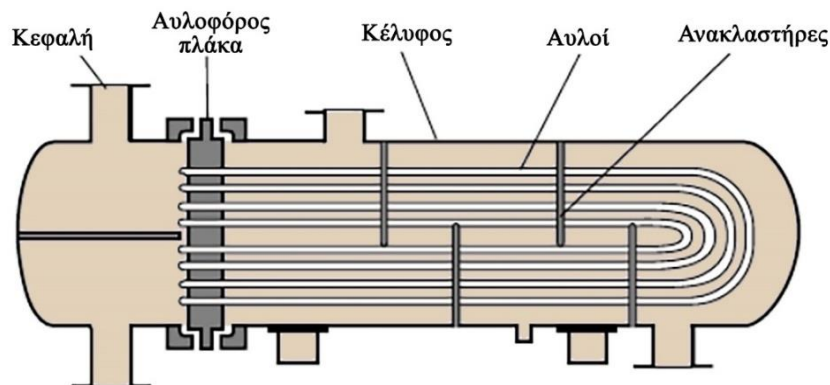
1. Εναλλάκτες διπλού αυλού ή διπλού σωλήνα (double pipe heat exchangers) όπου είναι ο απλούστερος τύπος περιλαμβάνοντας δύο ομόκεντρους σωλήνες, με την κίνηση των ρευστών να πραγματοποιείται είτε ομόρροπα είτε αντίρροπα. Το ένα ρευστό ρέει διαμέσου του μικρότερου σωλήνα και το δεύτερο στο χώρο που παρεμβάλλεται μεταξύ των σωλήνων. Η απλοϊκή κατασκευή του διπλού σωλήνα



Σχήμα 2.3.1.1: Εναλλάκτης διπλού αυλού

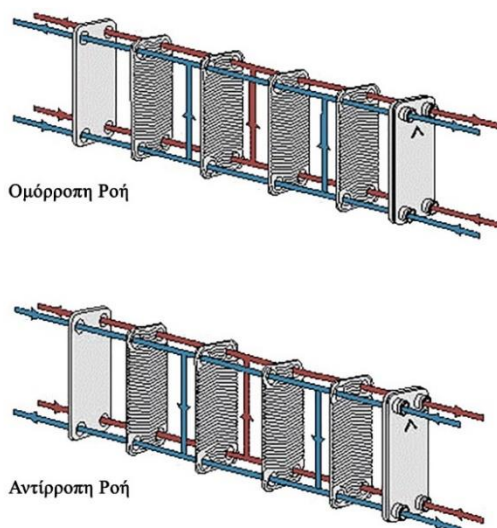
συνεπάγεται με χαμηλό κόστος απόκτησης και συντήρησης, με βασικό τους ελάττωμα την περιορισμένη αποδοτικότητα για τον μεγάλο όγκο που καταλαμβάνουν. Επειδή οι ανάγκες για εκσυγχρόνιση και βελτιστοποίηση των εναλλακτών διαρκώς αυξάνονται, οι βιομηχανίες οδεύουν περισσότερο στους πλακοειδείς εναλλάκτες και εναλλάκτες κελύφους (Σχήμα 2.3.1).

2. Εναλλάκτες κελύφους και αυλών ή δέσμης σωλήνων με διαφράγματα (shell and tube heat exchangers). Σε αυτό τον τύπο εναλλάκτη το ένα ρευστό κυκλοφορεί ανάμεσα στο κέλυφος ακολουθώντας τεθλασμένη διαδρομή την οποία παρεμβάλουν μεταλλικά πλακίδια αλλάζοντας της την προκαθορισμένη κατεύθυνση. Η ροή εξαναγκάζεται να γίνει τυρβώδης με αποτέλεσμα να επιτευχθούν αυξημένοι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας. Ανάλογα με το μέγεθος και τον βαθμό αποδοτικότητάς τους διαφοροποιούνται ως προς τον αριθμό των εξωτερικών και εσωτερικών διαδρομών αντίστοιχα. Επίσης, οι σωλήνες που περιλαμβάνονται εσωτερικά συναντώνται είτε σε ευθεία είτε διαγράφοντας ημικυκλική πορεία τύπου U. Υποβάλλονται σε υψηλές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας οπότε τα υλικά κατασκευής τους είναι συνήθως κράματα χαλκού, κράματα χάλυβα ή από άνθρακα ώστε να επιβραδυνθεί η διάβρωσή τους. Τέλος, όταν πρόκειται για θέρμανση νερού χρήσης ή πισινών οι εναλλάκτες είναι κατασκευασμένοι από ανοξείδωτο χάλυβα.



Σχήμα 2.3.2.1: Εναλλάκτης κελύφους και αυλών

3. Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας (plate heat exchangers). Αποτελούνται από μία συστοιχία μεταλλικών αυλακωτών πλακών ενωμένες μεταξύ τους με συγκόλληση ή σύσφιξη. Οι πλάκες είναι κυρίως κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα ή τιτάνιο



Σχήμα 2.3.3.1: Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας

και οι επιφάνειες τους είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη μεταφορά θερμότητας. Μεταξύ των πλακών υπάρχει ένα διάκενο, ικανό, ώστε να ρέει το ένα εκ των ρευστών. Παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης από τους παραπάνω εναλλάκτες για τον ίδιο όγκο συσκευών αφού τα δύο ρευστά ανταλλάσσουν ενέργεια σε όλες τις πλάκες ταυτόχρονα. Στη πράξη, υπάρχουν τέσσερα στόμια στο μπροστινό μέρος του εναλλάκτη, στα οποία ορίζεται ένα κύκλωμα αριστερά πάνω-κάτω και ακόμα ένα δεξιά πάνω κάτω. Η πολυπλοκότητα όμως, της διάταξης τους, τους καθιστά περισσότερο ευαίσθητους, γεγονός που συνεπάγεται με μεγαλύτερο κόστος

συντήρησης. Είναι κατάλληλοι για εξατμιστήρες και συμπυκνωτές καθώς λαμβάνουν χρήση στις βιομηχανίες τροφίμων και χημικές βιομηχανίες, τόσο για την θέρμανση

όσο για την ψύξη των ρευστών.

4. Σπειροειδείς εναλλάκτες θερμότητας (spiral heat exchangers), στους οποίους η κίνηση των ρευστών πραγματοποιείται σε σπειροειδείς επιφάνειες διαχωρίζοντας τις υπερυψωμένες προεξοχές. Το σφράγισμα των επιφανειών επιτυγχάνεται με δύο πλάκες άκρων. Τα κανάλια που έχουν δημιουργηθεί, απέχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους όπου διατηρείται με καρφιά spacers και συγκολλούνται πριν από την έλαση. Η πορεία που ακολουθείται είναι ελικοειδής που συνεπάγεται με μεγαλύτερη



διαδρομή και κατ' επέκταση μεγαλύτερη απόδοση σε μικρού όγκου εναλλάκτες. Τα εσωτερικά τοιχώματα που εναλλάσσουν τη θερμότητα έχουν συνήθως μεγάλη διατομή, γεγονός που αυξάνει την αντοχή τους στο χρόνο σε απαιτητικές συνθήκες. Τέτοιου είδους εναλλάκτες χρησιμοποιούνται συνήθως ως συμπυκνωτές, στην παστερίωση, σε ανάκτηση θερμότητας και σε προθερμάνσεις.

Σχήμα 2.3.4.1: Σπειροειδής εναλλάκτης θερμότητας

5. Συμπαγείς εναλλάκτες θερμότητας (compact heat exchangers) στους οποίους η ροή είναι εγκάρσια και αντίθετη. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι τα λεπτά περάσματα του ρευστού και ότι εξωτερικά τους υπάρχουν διαμορφωμένα κυματιστά πτερύγια για την αύξηση επιφάνειας με σκοπό την αποτελεσματικότερη θερμοεναλλαγή. Τα υλικά κατασκευής τους είναι συνήθως κράματα αλουμινίου τα οποία αφενός συμβάλλουν στην αυξημένη αποδοτικότητα μεταφοράς θερμότητας σε συνδυασμό με το χαμηλό

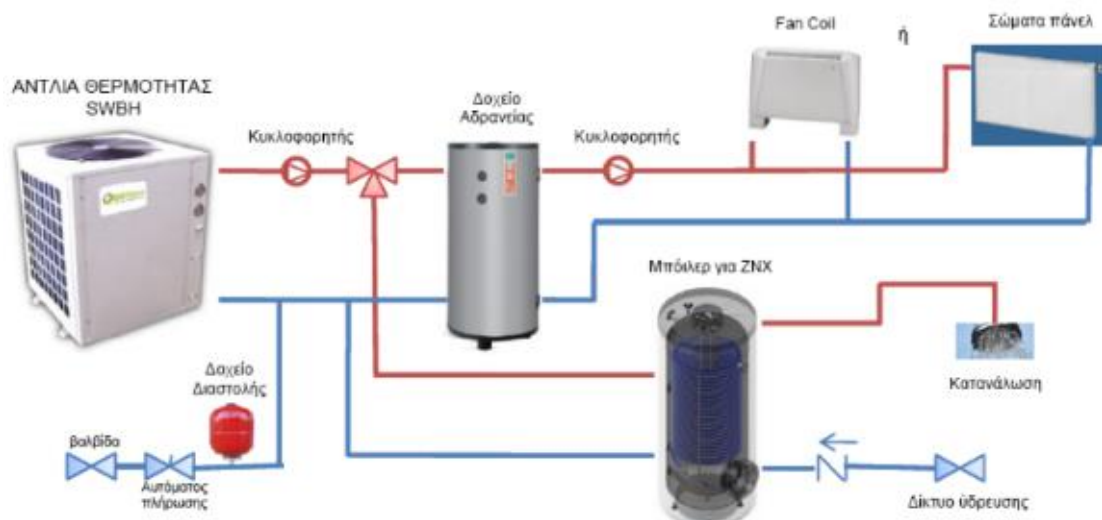


τους βάρος και αφετέρου είναι ευαίσθητα σε φθορές και στον καθαρισμό τους ειδικά όταν το ρευστό που εισέρχεται δεν είναι καλής ποιότητας. Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε εφαρμογές που έχουν ως γνώμονα το χαμηλό βάρος και όγκο με χαρακτηριστικά παραδείγματα τα ψυγεία αυτοκινήτων, τους υαλοκεραμικούς αεροστροβιλικούς εναλλάκτες και τους αναγεννητήρες μηχανών Stirling.

Σχήμα 2.3.5.1: Συμπαγής εναλλάκτης θερμότητας

Ειδικές εφαρμογές εναλλακτών θερμότητας

Όπως προαναφέρθηκε οι εφαρμογές των εναλλακτών εντοπίζονται τόσο στην καθημερινότητα όσο σε βιομηχανικό επίπεδο. Ένας ειδικός τύπος εναλλάκτη θερμότητας είναι ο προεκτεταμένης επιφάνειας με πτερύγια στην μερική ή ολική εναλλαγή αερίου σε υγρό. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα πτερύγια συντελούν στην αύξηση της επιφάνειας συναλλαγής από την πλευρά του αέρα και συνεπώς του συντελεστή συναγωγής. Καλείται συμπυκνωτής και η συμπύκνωση επιτυγχάνεται ή στο κέλυφος ή στους αυλούς. Άλλος ένας τύπος εναλλακτών είναι οι αναβραστήρες που λαμβάνουν χώρα στη μερική ή ολική εξάτμιση των υγρών και διαχωρίζονται σε αυτούς που λειτουργούν με φυσική και σε αυτούς που λειτουργούν με εξαναγκασμένη ροή. Τέτοιου τύπου εναλλάκτες είναι οι θερμοσίφωνες και διακρίνονται στους κάθετους και στους οριζόντιους. Στην πρώτη περίπτωση η εξάτμιση λαμβάνει χώρα στους αυλούς ενώ στην δεύτερη περίπτωση στο κέλυφος. Όσο αφορά την καθημερινότητα, άλλα παραδείγματα είναι ο λέβητες και τα κλιματιστικά, τα οποία είναι αναγκαίες συσκευές για κάθε σπίτι. Ενώ η τεχνολογία εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς, τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να εντάσσονται τα στοιχεία fan coil και η ενδοδαπέδια θέρμανση τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα κτιρίων και βιομηχανιών. Οι μονάδες fan coil αποτελούν τις εσωτερικές τερματικές μονάδες συστημάτων κλιματισμού με πηγή θερμότητας ή ψύξης αντίστοιχα να χρησιμοποιούνται αντλίες θερμότητας, λέβητες και ψύκτες ενώ ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας χρησιμοποιείται το νερό. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα θέρμανσης οικείας με αντλία θερμότητας, fan coil και θερμαντικά σώματα.



Σχήμα 2.3.5.2: Σύστημα θέρμανσης οικείας

2.4 Μετάδοση θερμότητας

Για την θερμική ανάλυση των εναλλακτών θερμότητας είναι αναγκαίος ο υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας για την μετάδοση θερμότητας έχοντας ως δεδομένο το ρυθμό, τις θερμοκρασίες και τις παροχές των ρευστών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τύπος του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας (overall heat-transfer coefficient) U από την θεμελιώδη σχέση του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας :

$$q = UA\overline{\Delta T} \quad (2.4.1)$$

όπου $\overline{\Delta T}$ η μέση θερμοκρασιακή διαφορά για ολόκληρο τον εναλλάκτη και A, η επιφάνεια που είναι κάθετη στη διεύθυνση θερμορροής.

Ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας U ισούται με το αντίστροφο του αθροίσματος των θερμικών αντιστάσεων και διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο του τοιχώματος. Έτσι, για το επίπεδο τοίχωμα ο τύπος διαμορφώνεται :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{L}{k} + 1/h_o} \quad (2.4.2)$$

Οι εξισώσεις κυλινδρικού τοιχώματος διαμορφώνονται ως :

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_o}{r_i h_i} + \frac{r_o \ln(r_o/r_i)}{k} + 1/h_o} \quad (2.4.3\alpha)$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i \ln(r_o/r_i)}{k} + \frac{r_i}{r_o h_o}} \quad (2.4.3\beta)$$

όπου

- r : η ακτίνα του σωλήνα,
- L : το πάχος τοιχώματος,
- k : η θερμική αγωγιμότητα του τοιχώματος
- h : ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας.

Ο δείκτης “i” αναφέρεται στις εσωτερικές επιφάνειες ενώ ο δείκτης “o” στις εξωτερικές.

Στην περίπτωση του κυλινδρικού τοιχώματος η επιφάνεια συναγωγής δεν ταυτίζεται για τα δύο ρευστά, για το λόγο αυτό η επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας και ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας πρέπει να είναι συμβατοί, πιο συγκεκριμένα :

$$q = U_o A_o \overline{\Delta T} = U_i A_i \overline{\Delta T} \quad (2.4.4)$$

Για το αρχικό στάδιο του σχεδιασμού των εναλλακτών θερμότητας συνήθως χρησιμοποιείται η θεωρητική προσέγγιση τιμής του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας από σχετικούς πίνακες με μεγάλο εύρος τιμών. Αυτό το εύρος τιμών είναι αποτέλεσμα διαφορετικών συνθηκών ροής, υλικών κατασκευής και γεωμετρικών διατάξεων. Ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας υπολογίζεται με γνώμονα τον χαμηλότερο συντελεστή συναγωγής αφού συχνά η θερμική αντίσταση του τοιχώματος θεωρείται αμελητέα. Για την μεγιστοποίηση της απόδοσης των εναλλακτών επιλέγεται η πλευρά του ρευστού με τον χαμηλότερο συντελεστή συναγωγής.

Οι προσεγγιστικές τιμές του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας U προέκυψαν αφού λήφθηκαν υπόψιν οι εξής παραδοχές για εναλλάκτες πλακών ομορροής:

1. Ο συντελεστής μετάδοσης U είναι σταθερός σε όλο τον εναλλάκτη.
2. Το σύστημα παρουσιάζει αδιαβατική συμπεριφορά.
3. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται μόνο μεταξύ των δύο ρευστών διαχωρίζοντας τα τέλεια μόνωση των εξωτερικών τοιχωμάτων.
4. Οι θερμοκρασίες και των δύο ρευστών διατηρούνται σταθερές σε κάθε

διατομή.

5. Οι ειδικές θερμοκρασίες διατηρούνται σταθερές.
6. Θεωρείται αμελητέα η θερμική αγωγή κατά μήκος των σωλήνων.
7. Θεωρούνται αμελητέες οι μεταβολές της δυναμικής και κινητικής ενέργειας.

Ρευστό	U	U
	Btu/hr·ft ² · °F	W/m ² · K
Ατμός με :		
υδατικά διαλύματα	100 - 600	567 - 3400
Βαρύ ορυκτέλαιο	10 - 30	57 - 170
Ελαφρύ ορυκτέλαιο	30 - 60	170 - 340
Αέρια	5 - 50	28 - 284
Νερό	175 - 600	993 - 3400
Έλαιο με έλαιο	30 - 55	170 - 312
Οργανικό ρευστό με οργανικό ρευστό	10 - 60	57 - 340
Νερό με:		
Αλκοόλη	50 - 150	284 - 850
Βενζίνη	60 - 90	340 - 510
Πεπιεσμένο αέρα	10 - 30	57 - 170
Οργανικούς διαλύτες	50 - 150	285 - 850
Με λιπαντικό λάδι	20 - 60	113 - 340
νερό	150 - 300	850 - 1700

Πίνακας 2.4.1: Τιμές συντελεστή μετάδοσης θερμότητας U

Το "Btu/hr·ft²·°F" αναφέρεται στις μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας σε αμερικανικά συστήματα μέτρησης. Αναλυτικότερα κάθε μέρος των μονάδων ξεχωριστά είναι:

- **Btu/hr** (British Thermal Units per hour) είναι η μονάδα μέτρησης της ισχύος. Το Btu είναι μια μονάδα μέτρησης της θερμικής ενέργειας και το "Btu/hr" αναφέρεται στην ποσότητα θερμικής ενέργειας που μεταφέρεται ή παράγεται ανά ώρα.
- **ft²** (square feet) είναι η μονάδα μέτρησης της επιφάνειας. Σε αυτήν την περίπτωση, αναφέρεται στην επιφάνεια μέσω της οποίας γίνεται η μετάδοση της θερμότητας.
- **°F** (degrees Fahrenheit) είναι η μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας. Σε αυτήν την περίπτωση, αναφέρεται στη θερμοκρασία διαφορετικών σημείων στον χώρο.

Συνολικά, η μονάδα "Btu/hr·ft²·°F" δηλώνει πόση θερμική ισχύς μεταφέρεται ανά ώρα μέσω μιας επιφάνειας, λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο σημείων.

Αντίστοιχα, το "W/m²·K" αναφέρεται στις μονάδες μέτρησης του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας που χρησιμοποιείται στο διεθνές μετρικό σύστημα μονάδων (SI). Αναλυτικότερα:

- **W** αντιπροσωπεύει την ισχύ (Watts), η οποία είναι μια μονάδα μέτρησης για την ενέργεια που μεταφέρεται ή μετατρέπεται ανά μονάδα χρόνου.
- **m²** συμβολίζει την τετραγωνική μονάδα επιφάνειας (τετραγωνικό μέτρο).
- **K** αναφέρεται στην μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας (Kelvin).

Το "W/m²·K" χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη θερμική αγωγιμότητα των υλικών, καθώς και την ικανότητά τους να μεταδίδουν ή να αντιστέκονται στη μετάδοση θερμότητας. Όσο υψηλότερο είναι το W/m²·K, τόσο καλύτερο είναι το υλικό στη μετάδοση της θερμότητας.

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές η ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ του θερμού και του ψυχρού ρευστού για διαφορετικό μήκος dx δίνεται από τη σχέση:

$$dq = U(T_h - T_c)dA \quad (2.4.5)$$

όπου dA το γινόμενο του μήκους dx με το σταθερό πλάτος. Επίσης, η ενέργεια που λαμβάνει το ψυχρό ρευστό ισούται με αυτή που καταναλώνει το θερμό ρευστό και ισχύει η ισότητα:

$$dq = \dot{m}_c c_c dT_c = - \dot{m}_h c_h dT_h \quad (2.4.6)$$

όπου,

- \dot{m}_c : η παροχή μάζας,
- c : η ειδική θερμότητα,
- δείκτης c : ψυχρό ρευστό,
- δείκτης h : θερμό ρευστό.

Λύνοντας την παραπάνω σχέση ως προς τα θερμοκρασιακά διαφορικά και αφαιρώντας κατά μέλη προκύπτει ότι :

$$d(T_h - T_c) = -\left(\frac{1}{\dot{m}_h c_h} + \frac{1}{\dot{m}_c c_c}\right)dq \quad (2.4.7)$$

απαλείφοντας τον όρο dq στις δύο τελευταίες εξισώσεις και ολοκληρώνοντας προκύπτει :

$$\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = -UA \left(\frac{1}{\dot{m}_h c_h} + \frac{1}{\dot{m}_c c_c} \right) \quad (2.4.8)$$

Από τα ενεργειακά ισοζύγια για κάθε ρευστό ισχύει ότι :

$$\dot{m}_h c_h = \frac{q}{(T_{hi} - T_{ho})} \text{ και } \dot{m}_c c_c = \frac{q}{(T_{co} - T_{ci})}. \quad (2.4.9)$$

Συνεπώς με αντικατάσταση :

$$\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = -UA \frac{(T_{hi} - T_h) + (T_{co} - T_{ci})}{q}. \quad (2.4.10)$$

Εκφρασμένο με όρους διαφορών των τελικών θερμοκρασιών η ισότητα παίρνει τη μορφή :

$$q = UA \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 - \Delta T_1)} \quad (1). \text{ Συνεπώς ισχύει ότι } \overline{\Delta T} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 - \Delta T_1)} \equiv \Delta T_{lm} \quad (2)$$

όπου ΔT_{lm} είναι η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά (long-mean temperature difference, LMTD). Για τους δείκτες 1 και 2 ισχύει ότι αν αντιστραφούν οι θέσεις τους στις παραπάνω σχέσεις, δεν επιφέρει καμία μεταβολή στην τιμή ΔT_{lm} . Επίσης, οι σχέσεις 1 και 2 ισχύουν για όλους τους τύπους εναλλακτών μονής διαδρομής, εξατμιστήρες και συμπυκνωτές ομορροής και αντιρροής με την προϋπόθεση ότι το ένα από τα δύο ρευστά έχει σταθερή θερμοκρασία. Τέλος οι σχέσεις ισχύουν και για τους εναλλάκτες διπλού σωλήνα για την περίπτωση της ομορροής αλλά και αντιρροής αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν γίνει η σύγκριση ομορροής και αντιρροής, με τον ίδιο συντελεστή μετάδοσης θερμότητας και ίδιες θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου, η μέση λογαριθμική

διαφορά στην περίπτωση της αντιρροής είναι μεγαλύτερη. Αυτό συνεπάγεται με μικρότερη επιφάνεια εναλλαγής σε σχέση με την ομορροή.

2.4.1 Εναλλάκτες πολύπλοκης γεωμετρίας

Οι εναλλάκτες με δέσμες σωλήνων, πολλαπλών διαδρομών και σταυρωτής ροής κατατάσσονται στους πολύπλοκους εναλλάκτες θερμότητας όπου ο υπολογισμός της ΔT_{lm} καθίσταται δυσκολότερος. Για το λόγο αυτό καθιερώθηκε η εισαγωγή ενός διορθωτικού συντελεστή F (Correction Factor F) χρησιμοποιείται στον χώρο της θερμοδυναμικής και της θερμικής μετάδοσης για να ληφθούν υπόψη οι πολύπλοκες γεωμετρίες στους εναλλάκτες θερμότητας. Ο συντελεστής F χρησιμοποιείται για να διορθώσει τους υπολογισμούς της απόδοσης των εναλλακτών θερμότητας όταν η γεωμετρία τους είναι πολύπλοκη και δεν ακολουθεί ιδανικές συνθήκες.

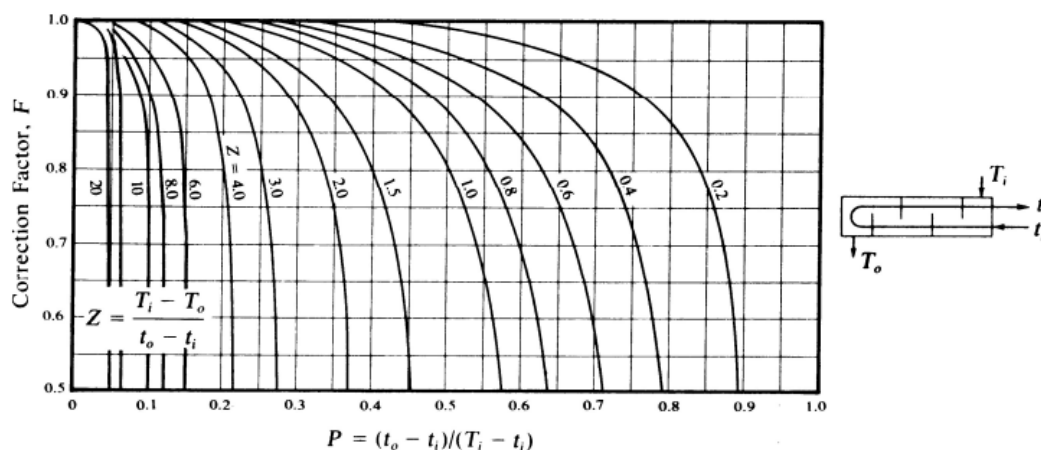
Ο διορθωτικός συντελεστής F υπολογίζεται με βάση τις παραμέτρους του εναλλάκτη θερμότητας και τις συνθήκες λειτουργίας. Ο τύπος υπολογισμού του διορθωτικού συντελεστή F διαφέρει ανάλογα με τον εναλλάκτη, αλλά συνήθως σχετίζεται με τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου, τις ροές, τις επιφάνειες επαφής, και τις θερμικές ιδιότητες των ρευστών που διασχίζουν τον εναλλάκτη.

Η χρήση του διορθωτικού συντελεστή F βοηθά στην προσέγγιση της πραγματικής απόδοσης του εναλλάκτη θερμότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες θερμότητας και τις αντιστάσεις θερμότητας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι ακριβείς υπολογισμοί του διορθωτικού συντελεστή F εξαρτώνται από τις συγκεκριμένες συνθήκες και τη γεωμετρία του εναλλάκτη. Οι μηχανικοί και οι θερμικοί μελετητές χρησιμοποιούν συνήθως ειδικά λογισμικά και εργαλεία προσομοίωσης για τον υπολογισμό του διορθωτικού συντελεστή F σε πρακτικές εφαρμογές. Συνεπώς ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας τροποποιείται ως:

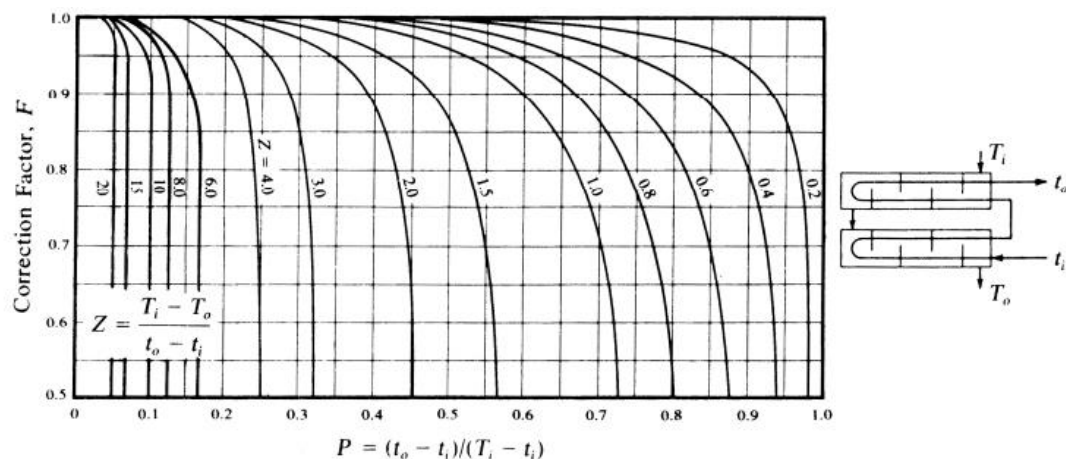
$$q = UAF\Delta T_{lm}, \quad (1.4.1.1)$$

όπου ΔT_{lm} η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά για εναλλάκτη διπλού σωλήνα αντιρροής έχοντας την ίδια θερμοκρασία εισόδου και εξόδου.

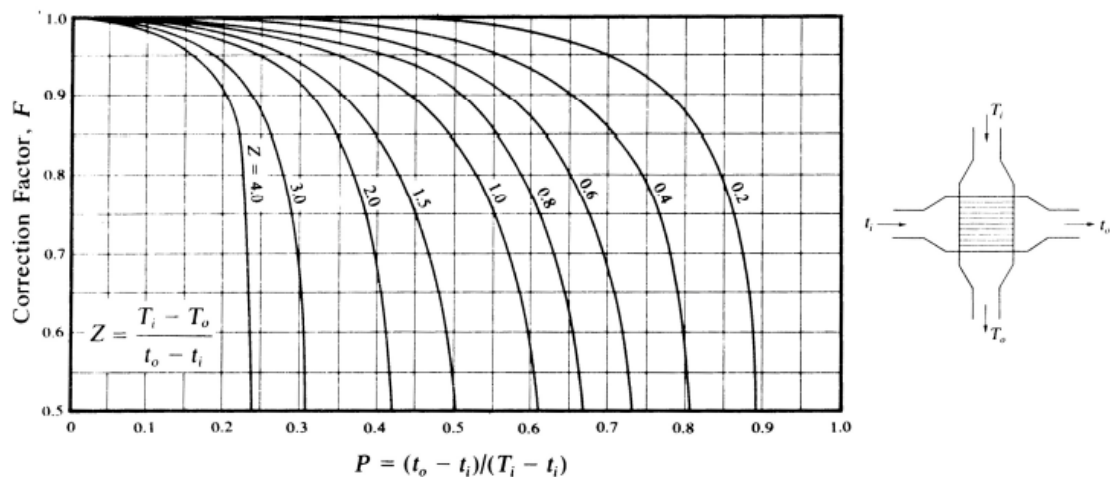
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι πίνακες του διορθωτικού συντελεστή F σε σχέση με τις θερμοκρασίες των δύο ρευμάτων (T, t) χωρίς να έχει σημασία αν το ρευστό ρέει μέσα στο κέλυφος ή στις σωλήνες:



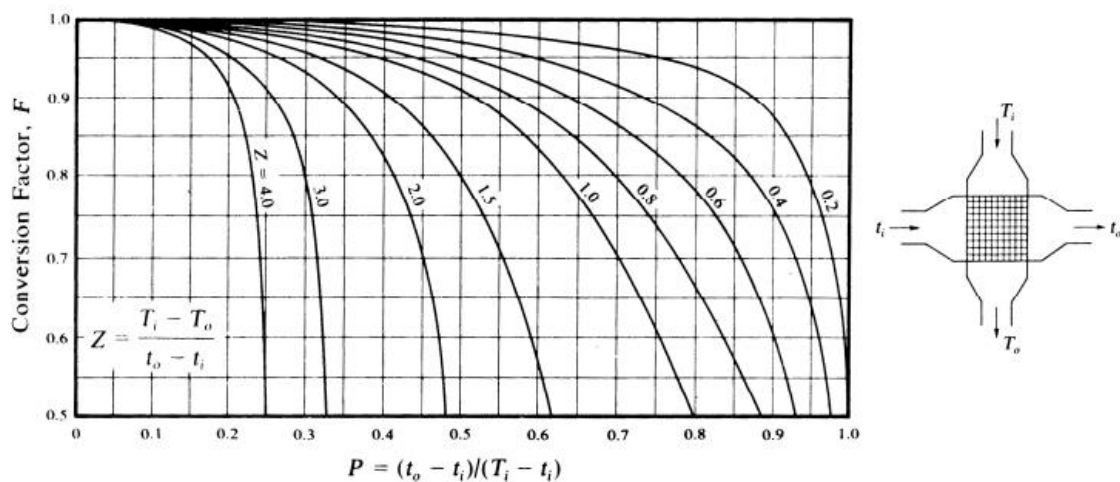
Σχήμα 1.4.1.1: Διορθωτικός συντελεστής για εναλλάκτες μιας διαδρομής στο κέλυφος και άρτιου αριθμού διαδρομών στους σωλήνες.



Σχήμα 1.4.1.2: Διορθωτικός συντελεστής για εναλλάκτες διπλής διαδρομής στο κέλυφος και 2η διαδρομών στους σωλήνες.



Σχήμα 1.4.1.3: Διορθωτικός συντελεστής για εναλλάκτες σταυρωτής ροής με ανάμιξη ενός από τα ρευστά.



Σχήμα 1.4.1.4: Διορθωτικός συντελεστής για εναλλάκτες σταυρωτής ροής χωρίς

ανάμιξη ενός των ρευστών.

2.4.2 Βαθμός αποτελεσματικότητας εναλλακτών

Στην περίπτωση την οποία οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των ρευστών είναι δεδομένες είναι εφικτό να υπολογιστεί ο βαθμός της αποτελεσματικότητας από την μέση λογαριθμική διαφορά της θερμοκρασίας όμως η εφαρμογή της δεν είναι πρακτική στη χρήση λόγω ανάγκης πολλών παραδοχών ή και επαναληπτικών μεθόδων. Όταν είναι δεδομένες μόνο οι θερμοκρασίες εισόδου κρίνεται απαραίτητη η μετάβαση στον υπολογισμό του βαθμού αποδοτικότητας με την μέθοδο αποτελεσματικότητας-αριθμού μονάδων μεταφοράς (ε-NTU: effectiveness-Number of Thermal Units). Στη συγκεκριμένη μέθοδο καθοριστικός παράγοντας είναι η αδιάστατη παράμετρος ϵ που καλείται αποδοτικότητα και ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής ποσότητας θερμορροής στον εναλλάκτη προς τη μέγιστη δυνατή θερμορροή.

$$\epsilon \equiv \frac{\text{πραγματική θερμορροή}}{\text{μέγιστη δυνατή θερμορροή}} = \frac{q_{actual}}{q_{max}} \quad (2.4.2.1)$$

Ωστόσο η αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη ορίζεται με βάση τη μέγιστη θερμορροή η οποία θα ήταν θεωρητικά επιτεύξιμη σε εναλλάκτη αντιρροής και άπειρης επιφάνειας εναλλαγής με αποτέλεσμα να πραγματοποιηθεί η μέγιστη δυνατή μεταβολής της θερμοκρασίας του ρευστού με τον μικρότερο ρυθμό θερμοχωρητικότητας $C=\dot{m}c$. Καθίσταται η αξιοποίηση του βαθμού απόδοσης αποτελεσματικότητας ϵ χωρίς να χρειάζονται δεδομένα για την θερμοκρασία εξόδου του ρευστού και προσδιορίζεται η αποτελεσματικότητα σύμφωνα με τους γνωστούς παραμέτρους: \dot{m}, c, A, U . Η σχέση που ισχύει είναι:

$$q_{actual} = C_h(T_{hi} - T_{ho}) = C_c(T_{co} - T_{ci}). \quad (2.4.2.2)$$

Η παραπάνω σχέση είναι ενδεικτική διότι η ενέργεια που καταναλώνει το θερμό ρευστό μεταφέρεται στο ψυχρό, συνεπώς η μέγιστη εφικτή μετάδοση θερμότητας όταν στο ρευστό με το μικρότερο ρυθμό θερμοχωρητικότητας συμβαίνει η μέγιστη θερμοκρασιακή μεταβολή, δηλαδή όταν:

$$q_{max} = C_{min}(T_{hi} - T_{ci}) \quad (2.4.2.3)$$

Στην περίπτωση την οποία οι θερμοκρασίες εξόδου είναι άγνωστες, με βάση τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει η βασική εξίσωση για τον υπολογισμό του μεταδιδόμενου θερμικού φορτίου σε εναλλάκτες θερμότητας:

$$q_{actual} = \epsilon C_{min}(T_{hi} - T_{ci}) \quad (2.4.1.4)$$

Τέλος, ο βαθμός αποτελεσματικότητας είναι σημαντικός τόσο για τον σχεδιασμό όσο για την αξιολόγηση εναλλακτών θερμότητας, καθώς παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πόσο αποτελεσματικά μεταφέρεται η θερμότητα μεταξύ των μέσων. Η αποτελεσματικότητα χρησιμοποιείται συνήθως για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος θέρμανσης, ψύξης, ή ανταλλαγής θερμότητας και για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού αυτών των συστημάτων. Με βάση τις παραπάνω υποθέσεις ο υπολογισμός της μέσης

λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας γίνεται για έναν απλό εναλλάκτη ομορροής, συνδυάζοντας τις σχέσεις 14,15 προκύπτει ότι:

$$\varepsilon = \frac{C_h(T_{hi}-T_{ho})}{C_{min}(T_{hi}-T_{ci})} = \frac{C_c(T_{co}-T_{ci})}{C_{min}(T_{hi}-T_{ci})}. \quad (2.4.1.5)$$

Οι τιμές που αφορούν την αποτελεσματικότητα για το θερμό ή το ψυχρό ρευστό τα οποία έχουν την ελάχιστη τιμή της C τροποποιούνται ως:

$$\varepsilon_h = \frac{(T_{hi}-T_{ho})}{(T_{hi}-T_{ci})} \text{ όταν } C_h < C_c \text{ και } \varepsilon_c = \frac{(T_{co}-T_{ci})}{(T_{hi}-T_{ci})} \text{ όταν } C_h > C_c \quad (2.4.1.6)$$

όπου οι δείκτες c και h στην αποτελεσματικότητα δείχνουν ποιο ρευστό χαρακτηρίζεται από την ελάχιστη τιμή C. Συνεπώς αν στη σχέση 9 αντικαταστήσουμε με όρους C προκύπτει ότι:

$$\ln \frac{(T_{ho}-T_{co})}{(T_{hi}-T_{ci})} = -UA \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) \quad (2.4.1.7)$$

και πολλαπλασιάζοντας κάθε όρο με e η σχέση γίνεται :

$$\frac{(T_{ho}-T_{co})}{(T_{hi}-T_{ci})} = e^{-UA \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right)}. \quad (2.4.1.8)$$

Από το ισοζύγιο ενέργειας ισχύει ότι :

$$T_{co} = T_{ci} + \frac{C_h}{C_c} (T_{ho} - T_{hi}). \quad (2.4.1.9)$$

Αναλογίζοντας ότι το θερμότερο ρευστό έχει τη μικρότερη τιμή της C και συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω σχέσεις ο τύπος της αποτελεσματικότητας γίνεται:

$$\varepsilon_h = \frac{1 - e^{-\frac{UA}{C_c} \left(1 + \frac{C_h}{C_c} \right)}}{1 + \frac{C_c}{C_h}} \quad (2.4.1.10)$$

ενώ στην περίπτωση όπου η μικρότερη τιμή της C αντιστοιχεί στο ψυχρό ρευστό, η σχέση προσαρμόζεται ως:

$$\varepsilon_c = \frac{1 - e^{-\frac{UA}{C_c} \left(1 + \frac{C_c}{C_h} \right)}}{1 + \frac{C_c}{C_h}} \quad (2.4.1.11)$$

Συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω σχέσεις προκύπτει η γενικά ότι :

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-\frac{UA}{C_{min}}(1 + \frac{C_{min}}{C_{max}})}}{1 + \frac{C_{min}}{C_{max}}} \quad (2.4.1.12)$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει για εναλλάκτες ομορροής και ο λόγος $\frac{UA}{C_{min}}$ καλείται ως αριθμός μονάδων μεταφοράς NTU . Οι τύποι υπολογισμού του βαθμού αποτελεσματικότητας με βάση τη ροή και τη διάταξη των εναλλακτών θερμότητας δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος εναλλάκτη	Βαθμός αποτελεσματικότητας
Ομορροής και μονής διαδρομής	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + C)]}{1 + C}$
Αντιρροής και μονής διαδρομής	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + C)]}{1 - C \exp[-NTU(1 - C)]}$
Αυλών κελύφους μιας διαδρομής στο κέλυφος και άρτιων διαδρομών στους αυλούς	$\varepsilon_1 = \frac{2}{1 + C + \frac{1 + \exp[-NTU(1 + C^2)^{\frac{1}{2}}]}{1 - \exp[-NTU(1 + C^2)^{\frac{1}{2}}]}(1 + C^2)^{\frac{1}{2}}}$
Αυλών κελύφους η διαδρομών στο κέλυφος και 2n, 4n, 6n κτλ διαδρομών στους αυλούς	$\varepsilon_n = \frac{\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C}{1 - \varepsilon_1}\right)^n - 1}{\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C}{1 - \varepsilon_1}\right)^n - C}$
Σταυρωτής ροής χωρίς ανάμιξη ρευμάτων	$\varepsilon \approx 1 - \exp\{C(NTU)^{0.22}[\exp\{-C[(NTU)^{0.78}] - 1\}]\}$
Σταυρωτής ροής με ανάμιξη ρευμάτων	$\varepsilon = NTU \left[\frac{NTU}{1 - \exp(-NTU)} + \frac{(NTU)(C)}{1 - \exp[-(NTU)(C)]} - 1 \right]^{-1}$
Σταυρωτής ροής χωρίς ανάμιξη με C_{min}	$\varepsilon = C\{1 - \exp[C[1 - \exp(-NTU)]]\}$
Σταυρωτής ροής χωρίς ανάμιξη με C_{max}	$\varepsilon = 1 - \exp\{-C[1 - \exp(-NTU)(C)]\}$

Πίνακας 2.4.2.1: Βαθμός αποτελεσματικότητας ανάλογα με τον τύπο εναλλάκτη

2.4.3 Συντελεστής ρύπανσης

Ένας παράγοντας μείωσης της απόδοσης είναι η ρύπανση στις επιφάνειες των εναλλακτών θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, ο συντελεστής ρύπανσης αναφέρεται στον παράγοντα που λαμβάνει υπόψη τον αντίκτυπο της απόθεσης ή του αποθέματος ρύπων το οποίο αναφέρεται συνήθως σε προσκολλημένα στερεά και άλατα πάνω στις επιφάνειες των εναλλακτών θερμότητας. Ο φαινόμενο αυτό καλείται ως "fouling" ή "ακαθαρότητα" και μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση και τη λειτουργία των εναλλακτών θερμότητας.

Ο συντελεστής ρύπανσης εκφράζεται συνήθως σε μονάδες $m^2 \cdot K/W$ και αντιπροσωπεύει τη θερμική αντίσταση που προκύπτει λόγω της ακαθαρότητας στις επιφάνειες του εναλλάκτη

θερμότητας. Ο αυξημένος συντελεστής ρύπανσης οδηγεί σε μειωμένη απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας και αυξημένο κόστος λειτουργίας.

Για να αποφευχθεί το φαινόμενο του fouling, είναι σύνηθες να πραγματοποιούνται καθαρισμοί και συντήρηση στους εναλλάκτες θερμότητας. Επίσης, ο σχεδιασμός του εναλλάκτη θερμότητας πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον προβλεπόμενο βαθμό fouling για την καλύτερη λειτουργία του. Ο συντελεστής ρύπανσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον σχεδιασμό και τη λειτουργία των εναλλακτών θερμότητας για να διατηρηθεί η αποδοτικότητα και υπολογίζεται πειραματικά δοκιμάζοντας τον εναλλάκτη τόσο σε καθαρές όσο και σε συνθήκες με αποθέσεις ορίζοντας τον από τη σχέση:

$$R_f = \frac{1}{U_{dirty}} - \frac{1}{U_{clean}} \quad (2.4.3.1)$$

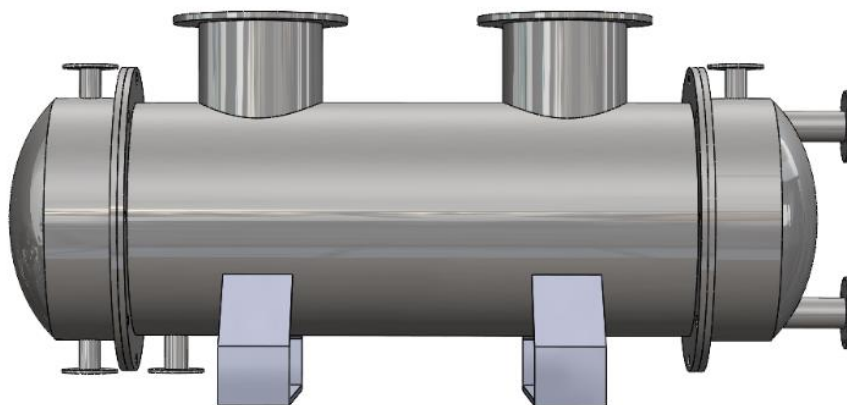
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές για τους συντελεστές ρύπανσης για κάποια κοινά ρευστά:

Ρευστό	R_f $\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} / \text{Btu}$	R_f $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Νερό θαλάσσης(<125 $^\circ\text{F}$)	0.0005	0.00009
Νερό θαλάσσης(>125 $^\circ\text{F}$)	0.001	0.0002
Επεξεργασμένο νερό πλήρωσης βραστήρα(>125 $^\circ\text{F}$)	0.001	0.0002
Ορυκτέλαιο	0.005	0.0007
Λάδι βαφής	0.004	0.00009
Ατμοί αλκοολών	0.0005	0.00009
Ατμός	0.0005	0.00009
Βιομηχανικός αέρας	0.002	0.0004
Ψυκτικό υγρό	0.001	0.0004

Πίνακας 2.4.3.1: Συντελεστής ρύπανσης

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

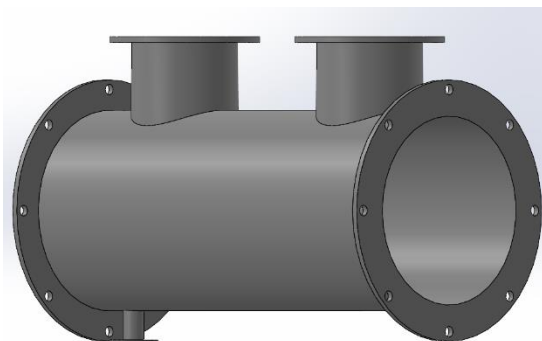
Το μοντέλο που επιλέχθηκε τόσο ως προς την σχεδίαση όσο για την κατασκευή είναι εναλλάκτης έμμεσης μετάδοσης. Πιο συγκεκριμένα υπάγεται στους εναλλάκτες δέσμης σωλήνων - κελύφους μιας εξωτερικής και πολλαπλών εσωτερικών διαδρομών. Η τρισδιάστατη σχεδίαση υλοποιήθηκε με την χρήση της εφαρμογής Solidworks® για κάθε στάδιο ξεχωριστά ενώ πραγματοποιήθηκε η συναρμολόγηση των εξαρτημάτων όπου συνδέθηκε το κεντρικό μέρος με το αριστερό και δεξί άκρο. Στη συνέχεια ενσωματώθηκε το εσωτερικό μέρος του εναλλάκτη που περιλαμβάνει τους σωλήνες μικρής διατομής με τα διαχωριστικά τοιχώματα.



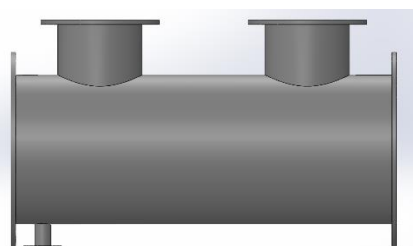
Σχήμα 3.1: Συναρμολογημένος εναλλάκτης

3.1 Σχεδιασμός κεντρικού μέρους

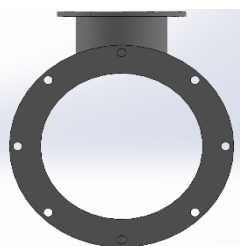
Αρχικά, σχεδιάστηκε το κεντρικό μέρος του εναλλάκτη θερμότητας που αποτελείται από τον κυλινδρικό σωλήνα και τις διάτρητες φλάντζες σύνδεσης στα άκρα του για την συγκράτηση του αριστερού και δεξιού μέρους. Στο επάνω μέρος του κυλίνδρου σχεδιάστηκαν δύο λαιμοί με διάτρητες φλάντζες μικρότερης διατομής από τις προηγούμενες, οι οποίες συνδέονται με τους σωλήνες εισαγωγής αερίου στο αριστερό μέρος και εξαγωγής στο δεξί αντίστοιχα. Τέλος, στο κάτω μέρος του κεντρικού σωλήνα σχεδιάστηκε ένα στόμιο εξαερισμού αποτελούμενο από έναν λαιμό και μια διάτρητη φλάντζα σύνδεσης όπως φαίνεται στο ισομετρικό σχήμα. Παρακάτω φαίνονται οι βασικές όψεις του κεντρικού μέρους:



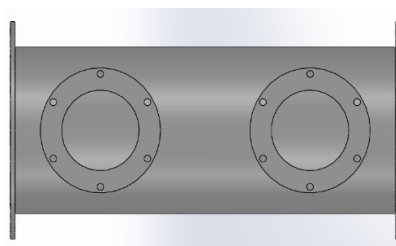
Σχήμα 3.1.1: Κεντρικό μέρος



Σχήμα 3.1.2: Πρόοψη

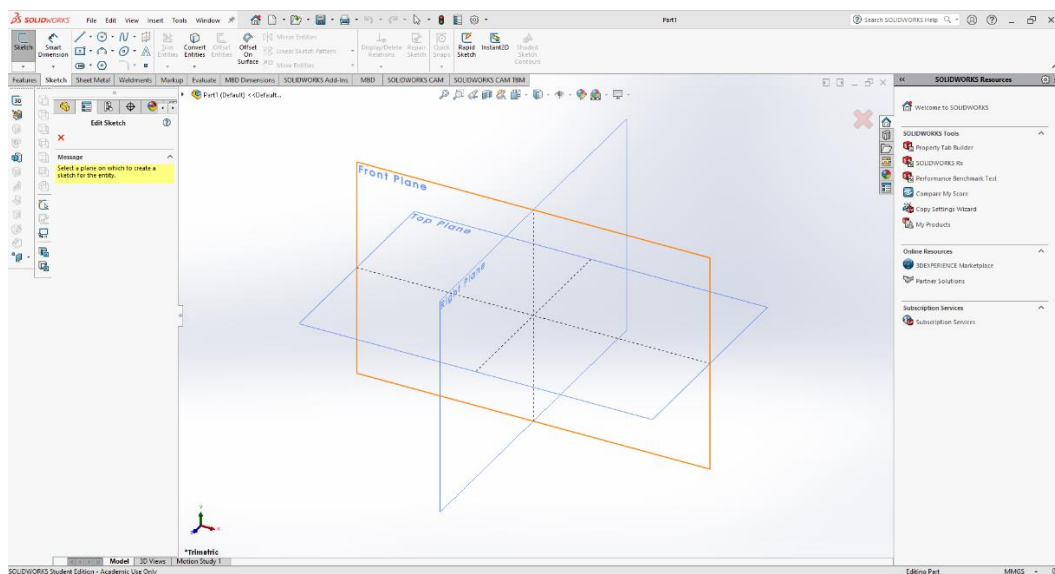


Σχήμα 3.1.3:
Αριστερή πλάγια
όψη



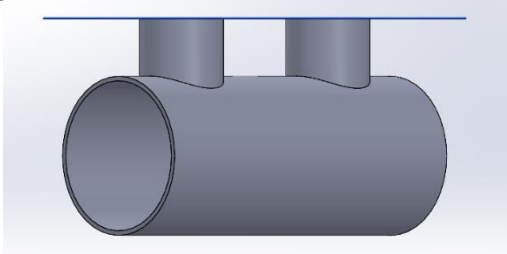
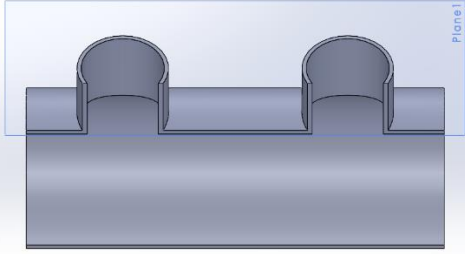
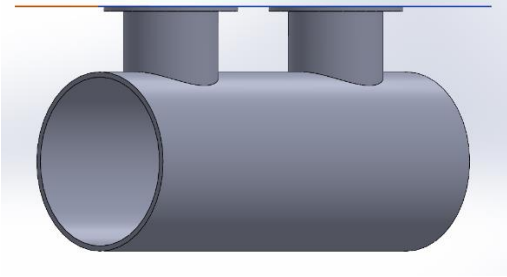
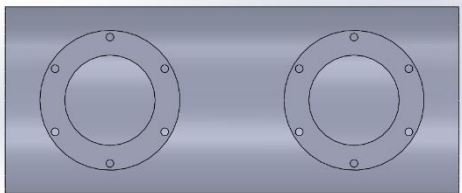
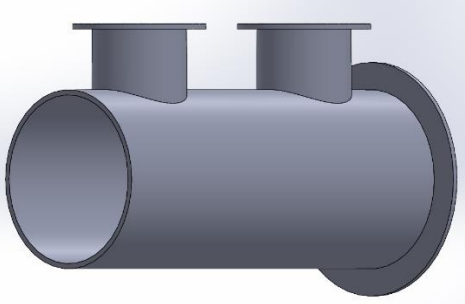
Σχήμα 3.1.4: Κάτοψη

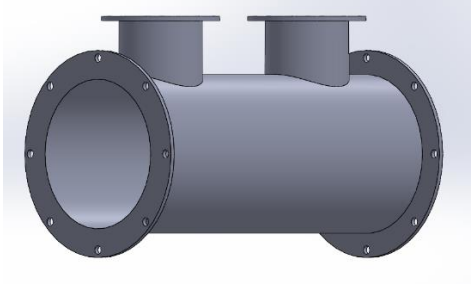
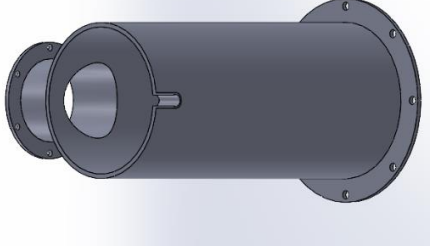


Στην πρώτη εικόνα απεικονίζεται η πρόοψη του κεντρικού μέρους όπου φαίνονται: ο κεντρικός κύλινδρος, οι δύο λαιμοί εισαγωγής και εξαγωγής αερίου καθώς και το στόμιο εξαερισμού του ρευστού. Στη δεύτερη, η οποία είναι η αριστερή πλάγια όψη του σχήματος, παρουσιάζεται η φλάντζα σύνδεσης με το αριστερό μέρος του εναλλάκτη η οποία περιέχει οκτώ οπές. Στην κάτωψη, η οποία είναι η τελευταία κατά σειρά εικόνα φαίνονται οι δύο φλάντζες με έξι οπές η κάθε μία, ενσωματωμένες με τους λαιμούς εισαγωγής και εξαγωγής όπως αντικατοπτρίζεται στην πρόοψη του σχήματος. Παρακάτω παρουσιάζεται σχήμα με το περιβάλλον του λογισμικού Solidworks® που χρησιμοποιήθηκε για τη σχεδίαση του μοντέλου καθώς και ο πίνακας με τα βήματα από την αρχή μέχρι το πέρας της σχεδίασης του κεντρικού τμήματος.



Σχήμα 3.1.1: Επιφάνεια σχεδίασης

Διαδικασία σχεδίασης	Σχεδιασμός
<p>1) Αφού επιλέχθηκε η εντολή sketch και circle σχεδιάστηκε ένας κύκλος $\Phi 195\text{mm}$ και $\Phi 207\text{mm}$. Στη συνέχεια έγινε εξώθηση με την εντολή extrude κατά 502mm ώστε να δημιουργηθεί ο κεντρικός σωλήνας του εναλλάκτη.</p>	
<p>2) Αμέσως μετά τη δημιουργία του κεντρικού σωλήνα σχεδιάστηκε νέο επίπεδο, με την εντολή reference geometry και στη συνέχεια plane, με απόσταση 179.5mm από το κέντρο του ήδη σχεδιασμένου τμήματος, με φορά προς τα επάνω παράλληλα προς τον σωλήνα.</p>	

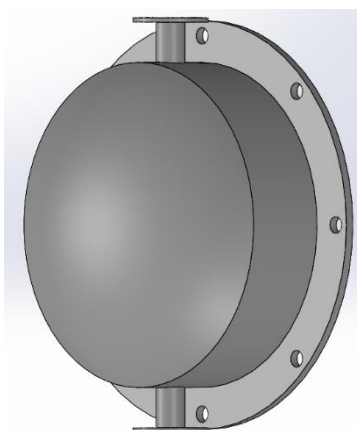
<p>3) Μεταβαίνοντας στο νέο επίπεδο σχεδίασης δημιουργήθηκαν δύο κύκλοι εσωτερικής διαμέτρου 100mm και πάχους 5mm. Οι κύκλοι έχουν απόσταση μεταξύ τους 270mm από κέντρο σε κέντρο και ισαπέχουν από το κέντρο του σωλήνα. Έπειτα πραγματοποιήθηκε εξώθηση των κύκλων μέχρι τον σωλήνα.</p>	
<p>4) Αφού δημιουργήθηκαν οι λαιμοί εισόδου και εξόδου του αερίου, πραγματοποιήθηκε αφαίρεση μέρους του κεντρικού σωλήνα, με την εντολή extruded cut, ώστε να επικοινωνούν οι λαιμοί με το κεντρικό τμήμα για την διέλευση του αερίου.</p>	
<p>5) Παραμένοντας στο ίδιο επίπεδο σχεδίασης δημιουργήθηκαν δύο νέοι ομόκεντροι κύκλοι με αυτούς των λαιμών, Φ155mm. Αφού επιλέχθηκαν αυτοί και η εξωτερικές διαμέτροι των λαιμών πραγματοποιήθηκε εξώθηση 6mm προς τα κάτω για την δημιουργία φλαντζών.</p>	
<p>6) Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένας κύκλος Φ8.5mm με απόσταση 70mm από το κέντρο του αριστερού λαιμού και πραγματοποιήθηκε εξωθημένη κοπή κατά 6mm για την δημιουργία οπής. Με την εντολή circular pattern δημιουργήθηκαν άλλες 5 οπές ίδιας διαμέτρου στο ίδιο επίπεδο. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στην άλλη φλάντζα.</p>	
<p>7) Γυρίζοντας στο επίπεδο σχεδίασης του κεντρικού σωλήνα, σχεδιάστηκε στο ένα άκρο του ένας κύκλος Φ270. Επιλέγοντας αυτή τη διάμετρο και την εξωτερική διάμετρο του σωλήνα επιλέχθηκε εξώθηση κατά 6mm δημιουργώντας τη φλάντζα συγκράτησης με δεξί άκρο.</p>	

<p>8) Πραγματοποιήθηκε η διαδικασία δημιουργίας οπών όμοια με το βήμα 6) με απόσταση από το κέντρο του σωλήνα 250mm, 8 οπές Φ11mm. Με την εντολή mirror δημιουργήθηκε μια ακριβώς ίδια φλάντζα με οπές για την συγκράτηση του αριστερού άκρου του εναλλάκτη.</p>	
<p>9) Δημιουργήθηκε νέο επίπεδο σχεδίασης παράλληλο του βήματος 5) όπου αυτή τη φορά είναι στο κάτω μέρος του εναλλάκτη και απέχει από το κέντρο του σωλήνα 136.5mm. Σχεδιάστηκε κύκλος Φ21mm εξωτερικά 2mm πάχους και απόσταση από το κέντρο του μέχρι την αριστερή φλάντζα του κεντρικού σωλήνα και με εξώθηση και κοπή δημιουργήθηκε ο λαιμός εξαερισμού του αερίου.</p>	
<p>10) Στο ίδιο επίπεδο δημιουργήθηκε η φλάντζα του στομίου, η οποία έχει εξωτερική διάμετρο 50mm και πάχος 3mm.</p>	
<p>11) Τέλος, επάνω στη φλάντζα δημιουργήθηκαν 4 οπές Φ5mm στις οποίες τα κέντρα τους απέχουν 20.5mm από το κέντρο του κύκλου το λαιμού.</p>	

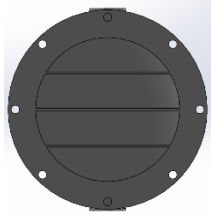
Πίνακας 3.1.2: Βήματα σχεδιασμού κεντρικού τμήματος

3.2 Σχεδιασμός αριστερού άκρου

Έπειτα σχεδιάστηκε το αριστερό μέρος του εναλλάκτη θερμότητας το οποίο κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης θα συνδεθεί στο κεντρικό με κοχλίες συνεχούς σπειρώματος με περικόχλια. Το αριστερό μέρος, αποτελείται από ένα κυλινδρικό έλασμα στο οποίο από τη μία πλευρά σχεδιάστηκε το σφαιρικό κάλυμμα άκρου και από την άλλη η φλάντζα σύνδεσης με το κεντρικό τμήμα του εναλλάκτη. Στο κυλινδρικό τμήμα του αριστερού άκρου σχεδιάστηκαν δύο στόμια εξαερισμού του αερίου που αποτελούνται από έναν κύλινδρο και μία φλάντζα σύνδεσης με οπές, ένα στο πάνω μέρος και ένα στο κάτω όπως φαίνεται στην ισομετρική εικόνα. Όσο αφορά το εσωτερικό τμήμα του αριστερού σκέλους του εναλλάκτη, σχεδιάστηκαν τρία διαχωριστικά τοιχώματα τέτοια ώστε να αλλάζουν την προκαθορισμένη πορεία του ρευστού έχοντας ως συνέπεια αύξηση της αποδοτικότητας του σε μικρό μέγεθος κατασκευής.



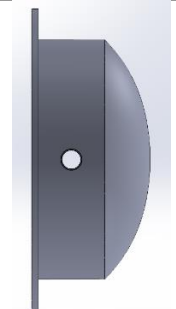
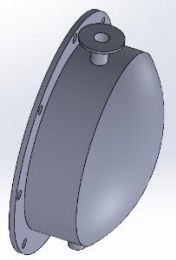
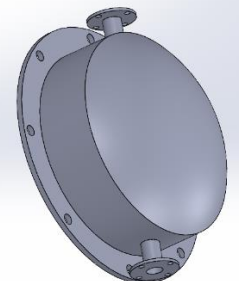
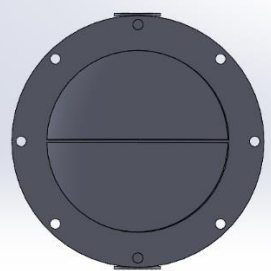
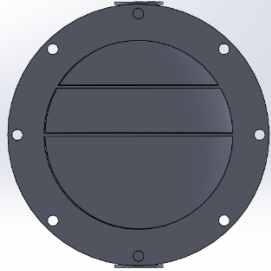
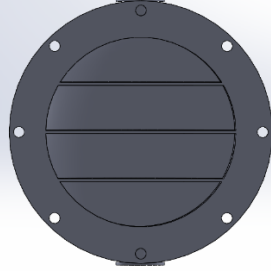
Σχήμα 3.2.1: αριστερό άκρο

<p>Στην πρόοψη του αριστερού τμήματος του εναλλάκτη απεικονίζεται το σφαιρικό καπάκι του εξαρτήματος, το κυλινδρικό έλασμα και τα δύο στόμια εξαερισμού που στα άκρα τους τοποθετήθηκαν φλάντζες με οπές για την επίτευξη της σύνδεσης των στομιών με τις σωλήνες εξαερισμού εξωτερικά του εναλλάκτη.</p>	
<p>Στη δεξιά πλάγια όψη του σχήματος απεικονίζεται η φλάντζα σύνδεσης του αριστερού μέρους με το κέλυφος (κεντρικό μέρος) όπου περιέχονται οκτώ οπές. Στο εσωτερικό μέρος του σχεδίου σχεδιάστηκαν τα τρία διαχωριστικά τοιχώματα παράλληλα με τις φλάντζες εξαερισμού, ένα στο κέντρο και άλλα δύο στο μέσο της απόστασης του εσωτερικού τμήματος του κυλίνδρου.</p>	
<p>Στην κάτωψη του σχήματος φαίνεται η τοποθέτηση της φλάντζας επάνω στον λαιμό εξαερισμού η οποία περιέχει τέσσερις οπές για την σύνδεση της με τον σωλήνα εξαερισμού, εξωτερικά του εναλλάκτη θερμότητας.</p>	

Πίνακας 3.2.1: Όψεις αριστερού άκρου

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα σχεδίασης του αριστερού μέρους του εναλλάκτη με τη σειρά σχεδίασης που εκτελέστηκαν:

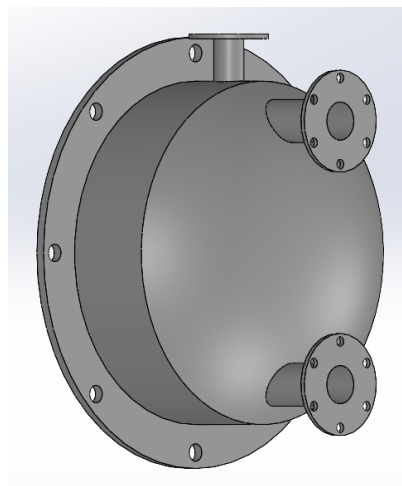
Διαδικασία σχεδίασης	Σχεδιασμός
1) Αρχικά επιλέχθηκε το front plane όσο αφορά το επίπεδο σχεδίασης του αντικειμένου. Η εσωτερική ακτίνα είναι όμοια με αυτή του κεντρικού σωλήνα και αφού δόθηκε το ύψος και η ακτίνα της φλάντζας σύμφωνα με τη φλάντζα του κεντρικού μέρους σχεδιάστηκε το ημισφαιρικό τμήμα με πάχος ελάσματος 10mm.	
2) Επιλέγοντας το σχέδιο που δημιουργήθηκε στο βήμα 1) εκτελέστηκε η εντολή revolve με περιστροφή 360° . Δημιουργήθηκε έτσι η φλάντζα, το κυλινδρικό μέρος και το σφαιρικό κομμάτι του αριστερού μέρους.	
3) Αφού αλλάχτηκε το επίπεδο αναφοράς δημιουργήθηκε ο πρώτος κύκλος ο οποίος έγινε οπή με απόσταση από το κέντρο στο κέντρο της οπής 70mm και διάμετρο 11mm. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι άλλες 7 οπές σύμφωνα με τη φλάντζα συγκράτησης του κεντρικού μέρους.	
4) Έπειτα επιλέχθηκε νέο επίπεδο αναφοράς το οποίο απέχει 137mm από το κέντρο του αριστερού μέρους και είναι κάθετο στη φλάντζα συγκράτησης. Σε αυτό το επίπεδο σχεδιάστηκε και ο κύκλος Φ19 του λαιμού εξαερισμού του ρευστού που δηλώνει την εξωτερική διάμετρο του στομίου.	
5) Στη συνέχεια έγινε κατοπτρισμός του λαιμού, με την εντολή mirror στην απέναντι πλευρά για την δημιουργία ακόμη ενός λαιμού εξαερισμού. Ως κέντρο του κατοπτρισμού επιλέχθηκε το front plane .	

<p>6) Επιλέχθηκε το επίπεδο σχεδίασης του κύκλου του λαιμού και σχεδιάστηκε ομόκεντρα άλλος ένας κύκλος $\Phi 17\text{mm}$. Αφού επιλέχθηκαν και οι δύο κύκλοι δημιουργήθηκε οπή παράλληλη με το επίπεδο με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τα δύο σωληνάκια εξαερισμού.</p>	
<p>7) Κρατώντας το ίδιο επίπεδο σχεδίασης, σχεδιάζεται ένας κύκλος $\Phi 50\text{mm}$ και αφού επιλεγεί η εξωτερική διάμετρος από το σωληνάκι εξαερισμού γίνεται εξώθηση προς τα μέσα κατά 3mm.</p>	
<p>8) Αφού δημιουργήθηκε η πρώτη φλάντζα του στομίου εξαερισμού σχεδιάστηκε η πρώτη οπή $\Phi 6\text{mm}$. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν άλλες τρεις οπές στην ίδια φλάντζα με την εντολή circular pattern και με την εντολή extruded cut πραγματοποιήθηκαν οι οπές.</p>	
<p>9) Αλλάζοντας επίπεδο σχεδίασης στο top plane μετακινώντας το στο ύψος της φλάντζας συγκράτησης σχεδιάστηκε το κεντρικό εσωτερικό τοίχωμα όπου είναι παράλληλο στις φλάντζες εξαερισμού του ρευστού και έχει πάχος 3mm.</p>	
<p>10) Στη συνέχεια σε απόσταση 49.47mm από το ήδη δημιουργημένο τοίχωμα σχεδιάστηκε ακόμη ένα τοίχωμα πάχους 3mm με extruded boss δημιουργήθηκε το τοίχωμα.</p>	
<p>11) Τέλος με την εντολή mirror, πραγματοποιήθηκε ο κατοπτρισμός του τοιχώματος στο βήμα 10) με άξονα συμμετρίας το κεντρικό τοίχωμα, ως προς την αντίθετη κατεύθυνση.</p>	


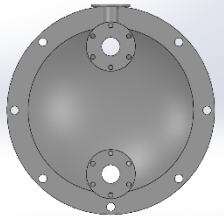
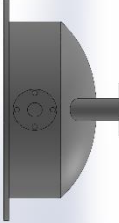
Πίνακας 3.2.2: Βήματα σχεδιασμού αριστερού άκρου

3.3 Σχεδιασμός δεξιού άκρου

Στη συνέχεια σχεδιάστηκε το δεξί μέρος του εναλλάκτη, το οποίο όμοια με το αριστερό θα τοποθετηθεί κατά την συναρμολόγηση επάνω στο κέλυφος του εναλλάκτη, στην προκειμένη περίπτωση δεξιά από αυτό. Το παρόν εξάρτημα αποτελείται από ένα κυλινδρικό έλασμα στο οποίο από τη μία πλευρά σχεδιάστηκε η φλάντζα σύνδεσης με το κεντρικό τμήμα του εναλλάκτη και το σφαιρικό κάλυμμα άκρου από την άλλη. Στο κυλινδρικό έλασμα σχεδιάστηκε ένα στόμιο εξαερισμού εν αντιθέσει με το αριστερό μέρος που δημιουργήθηκαν δύο. Έπειτα σχεδιάστηκαν δύο στόμια πάνω στο σφαιρικό άκρο, εκ των οποίων το ένα συμβάλλει στην είσοδο του ψυκτικού υγρού και το άλλο στην έξοδο.

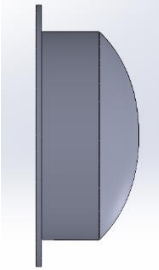
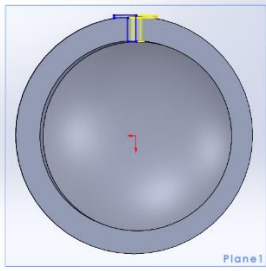
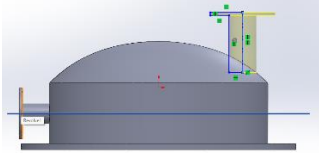
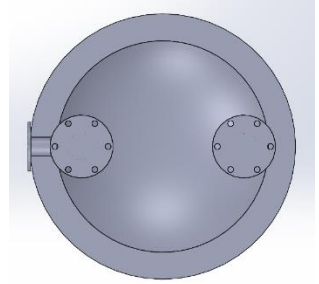
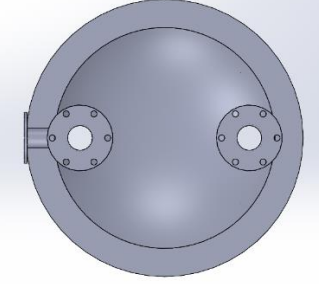
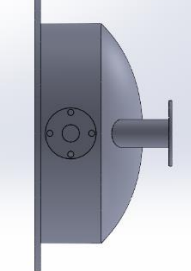


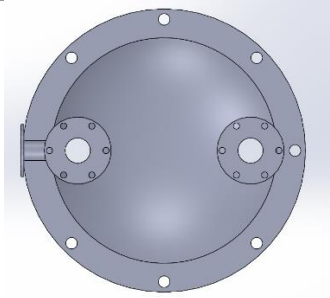
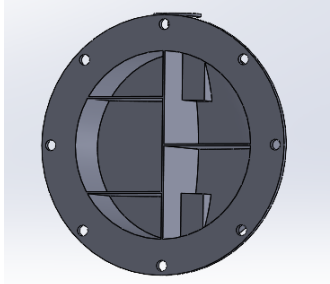
Σχήμα 3.3.1: Δεξιό άκρο

Στην πρόοψη του αριστερού τμήματος του εναλλάκτη απεικονίζεται το σφαιρικό καπάκι του εξαρτήματος, το κυλινδρικό έλασμα και το στόμιο εξαερισμού που στο άκρο τους τοποθετήθηκε φλάντζα με οπές για την επίτευξη της σύνδεσης της με την σωλήνα εξαερισμού εξωτερικά του εναλλάκτη. Τέλος, δημιουργήθηκαν δύο λαιμοί για την είσοδο και έξοδο του ψυκτικού υγρού.	
Στη δεξιά πλάγια όψη φαίνονται οι δύο διάτρητες φλάντζες που ενσωματώθηκαν με τους λαιμούς. Στις φλάντζες δημιουργήθηκαν έξι οπές στην κάθε μία για την συγκράτηση με τους εξωτερικούς σωλήνες.	
Στην κάτοψη του σχήματος φαίνεται η τοποθέτηση της φλάντζας επάνω στον λαιμό εξαερισμού η οποία περιέχει τέσσερις οπές για την σύνδεση της με τον σωλήνα εξαερισμού, εξωτερικά του εναλλάκτη θερμότητας.	

Πίνακας 3.3.1: Όψεις δεξιού άκρου

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά τα βήματα σχεδιασμού του δεξιού μέρους:

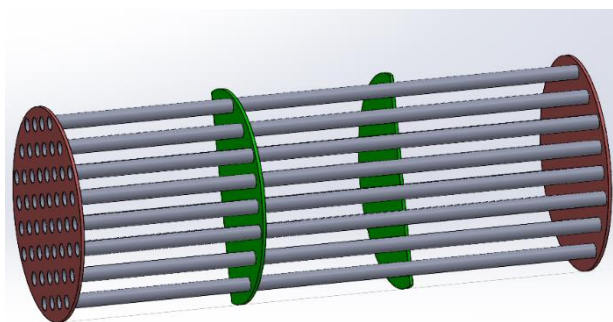
Διαδικασία σχεδίασης	Σχεδιασμός
<p>Τα βήματα 1) και 2) είναι ίδια με αυτά της σχεδίασης του αριστερού άκρου του εναλλάκτη θερμότητας.</p>	
<p>3) Αφού επιλέχθηκε επίπεδο σχεδίασης παράλληλο στη φλάντζα συγκράτησης του δεξιού άκρου, σχεδιάστηκε δισδιάστατη όψη του στομίου με τη φλάντζα εξαερισμού που με την εντολή revolve δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο σχήμα.</p>	
<p>4) Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για την σχεδίαση του στομίου εισόδου ψυκτικού υγρού. Για το συγκεκριμένο σχέδιο αλλάχτηκε το επίπεδο σχεδίασης σε Right plane. Στη συνέχεια περιστράφηκε 360° ώστε να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο σχήμα.</p>	
<p>5) Σχεδιάστηκε η πρώτη οπή και πραγματοποιήθηκε κόψιμο κατά 3mm που είναι φλάντζα. Έπειτα με την εντολή circular pattern έγιναν και οι άλλες 5 οπές. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε στο στόμιο εξόδου του ψυκτικού υγρού.</p>	
<p>6) Πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία για τις οπές Φ6mm. Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν στο επίπεδο Right plane δύο κύκλοι με διάμετρο 24mm. Αφού εκτελέστηκε η εντολή extruded cut δημιουργήθηκαν οι οπές για την εσωτερική διάμετρο του στομίου.</p>	
<p>7) Αφού επιλέχθηκε το Front plane το οποίο είναι κάθετο στην φλάντζα συγκράτησης του δεξιού άκρου, σχεδιάστηκαν και κόπηκαν οι οπές συγκράτησης του σωλήνα εξαερισμού για τη σύνδεση του με τον εξωτερικό σωλήνα.</p>	

<p>8) Στην φλάντζα συγκράτησης του δεξιού άκρου με το κεντρικό μέρος του εναλλάκτη θερμότητας σχεδιάστηκαν και κόπηκαν οι οπές με όμοιο τρόπο με το αριστερό άκρο.</p>	
<p>9) Τέλος, σχεδιάστηκαν τα εσωτερικά τοιχώματα πάχους 2mm με σκοπό την εναλλαγή κατεύθυνσης του ρευστού.</p>	

Πίνακας 3.3.2: Βήματα σχεδιασμού δεξιού άκρου

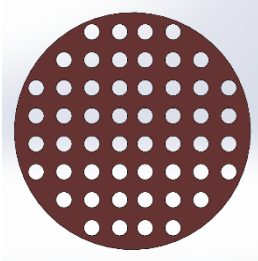
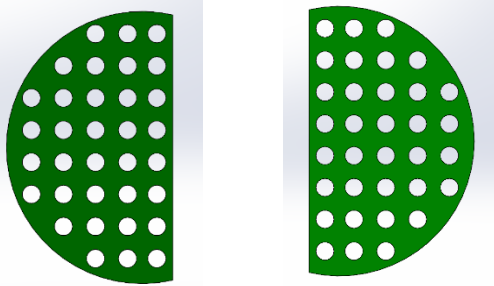
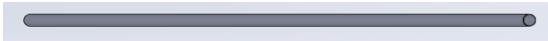
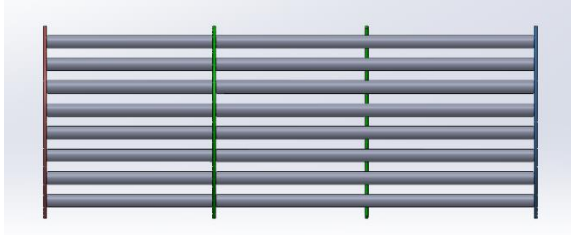
3.4 Σχεδιασμός εσωτερικού μέρους

Ο σχεδιασμός των εξωτερικών μερών του εναλλάκτη θερμότητας όπου περιλαμβάνει το κεντρικό μέρος, το αριστερό και το δεξί άκρο έχει ολοκληρωθεί. Ακολουθεί ο εσωτερικός σχεδιασμός του κελύφους ο οποίος αποτελείται από σωλήνες ίδιας διαμέτρου, πάχους και μήκους οι διαπερνούν τα εσωτερικά τοιχώματα-διαφράγματα. Τα τοιχώματα-διαφράγματα στο σύνολό τους είναι τέσσερα, δύο στρογγυλά και δύο ημιστρόγγυλα τα οποία δημιουργήθηκαν για την αλλαγή της κατεύθυνσης του ρευστού που συνεπάγεται με αύξηση της αποδοτικότητας του εναλλάκτη θερμότητας. Η εξωτερική διάμετρος των στρογγυλών τοιχωμάτων είναι ίδια με την εσωτερική διάμετρο του κεντρικού σωλήνα με σκοπό να επιτευχθεί η στεγανοποίηση μεταξύ αερίου και ψυκτικού υγρού.



Σχήμα 3.4.1: Συναρμολογημένο εσωτερικό μέρος

Διαδικασία σχεδίασης	Σχεδιασμός
----------------------	------------

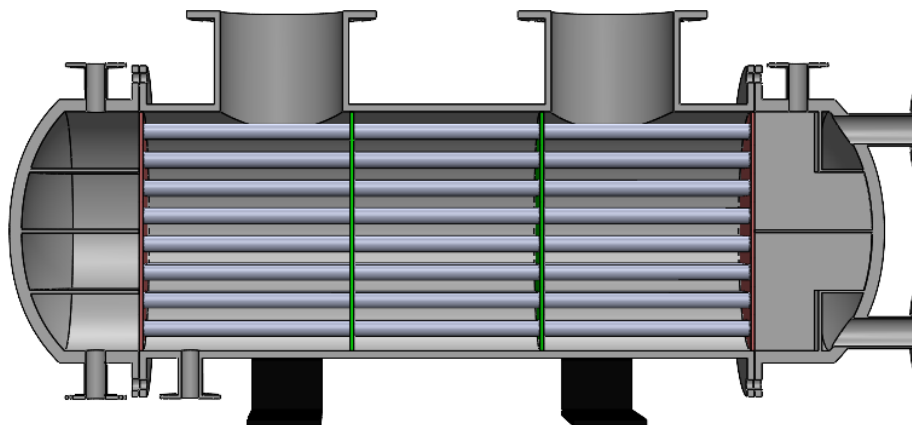
<p>1) Αρχικά σχεδιάστηκε ένας κύκλος $\Phi 195\text{mm}$ και 52 ίδιοι κύκλοι $\Phi 13\text{mm}$ έχοντας απόσταση κέντρο και κέντρο 23mm. Ο σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε με γνώμονα τα τρία εσωτερικά τοιχώματα του αριστερού άκρου ώστε να μην προσπίπτουν με τους κύκλους. Έπειτα έγινε εξώθηση κατά 3mm και δημιουργήθηκε το πρώτο τοίχωμα με τις οπές.</p>	
<p>2) Το ήδη σχεδιασμένο κυκλικό τοίχωμα κόπηκε σε απόσταση 22mm από το κέντρο του κύκλου για να δημιουργηθούν τα εσωτερικά κεντρικά διαφράγματα.</p>	
<p>3) Σχεδιάστηκαν δύο κύκλοι $\Phi 11\text{mm}$ και $\Phi 13\text{mm}$ και στη συνέχεια έγινε εξώθηση κατά 502mm, ώστε να δημιουργηθεί ο σωλήνας</p>	
<p>4) Κατά τη συναρμολόγηση του εσωτερικού τμήματος χρησιμοποιήθηκαν δύο τοιχώματα του βήματος 1) και δύο διαφράγματα του βήματος 2). Τέλος στις οπές των τοιχωμάτων ενσωματώθηκαν 52 σωλήνες του βήματος 3).</p>	

Πίνακας 3.4.1: Μέρη του εσωτερικού τμήματος

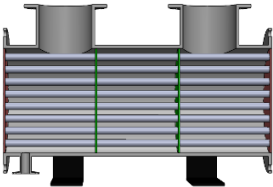
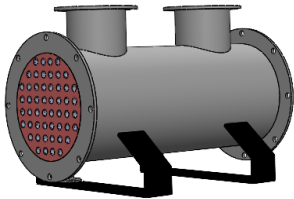
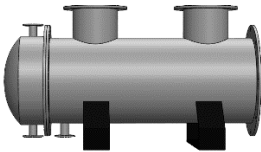

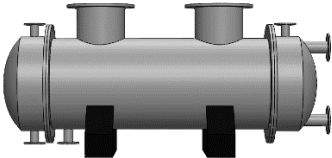
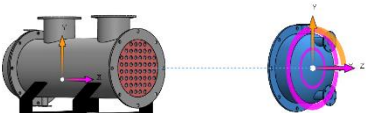
3.5 Συναρμολόγηση επιμέρους σχεδίων

Αφού σχεδιάστηκαν τα τρισδιάστατα σχέδια των μερών του εναλλάκτη θερμότητας, πραγματοποιήθηκε η συναρμολόγηση αυτών. Το αρχικό βήμα της συναρμολόγησης αποτελείται από την ενσωμάτωση του εσωτερικού μέρους στο κέλυφος του εναλλάκτη. Η συναρμολόγηση των τοιχωμάτων-διαφραγμάτων με τους σωλήνες έχει ήδη εκτελεστεί μετά τον σχεδιασμό τους. Έπειτα συνδέθηκε με το κεντρικό μέρος το αριστερό άκρο. Στην αριστερή μεριά του κεντρικού μέρους υπάρχει μια φλάντζα συγκράτησης με οπές όμοια με την φλάντζα του αριστερού άκρου οι οποίες κατά την διαδικασία της συναρμολόγησης συνδέθηκαν μεταξύ τους. Αφού συνδέθηκαν επιλέχθηκαν οι οπές σύνδεσης για την σωστή θέση του αριστερού άκρου και η συναρμολόγηση για το αριστερό μέρος ολοκληρώθηκε. Ακριβώς η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για το δεξιό άκρο με αποτέλεσμα το εναλλάκτης

θερμότητας με όλα τα μέρη του να είναι έτοιμος.



Σχήμα 3.5.1: Τομή στο συναρμολογημένο σχέδιο

Διαδικασία συναρμολόγησης		Συναρμολόγηση
1) Ενσωμάτωση εσωτερικού τμήματος του εναλλάκτη μέσα στο κέλυφος.		
2) Σύνδεση φλάντζας αριστερού άκρου με την φλάντζα του κεντρικού τμήματος.		
3) Σύνδεση φλάντζας δεξιού άκρου με την φλάντζα του κεντρικού τμήματος.		

Πίνακας 3.5.1: Διαδικασία συναρμολόγησης

4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ



Σχήμα 4.1: Αποδομημένη κατασκευή

Το κατασκευαστικό μέρος του εναλλάκτη θερμότητας πραγματοποιήθηκε σε τέσσερα στάδια. Το κεντρικό μέρος, το αριστερό και δεξί άκρο καθώς και το εσωτερικό τμήμα. Αρχικά κατασκευάστηκε το κεντρικό μέρος το οποίο αποτελείται από έναν σωλήνα κυκλικής διατομής 195mm εσωτερικά όπου συγκολλήθηκαν στα άκρα του δύο κυκλικές φλάντζες εξωτερικής διατομής 270mm με οπές για να επιτευχθεί η εφαρμογή και η συγκράτηση του δεξιού και του αριστερού άκρου. Η συγκράτηση των άκρων στο κεντρικό τμήμα επιτυγχάνεται με την χρήση κοχλιών συνεχούς σπειρώματος με περικόχλια.

4.1 Κατασκευή κεντρικού μέρους


Με την χρήση πριονιού ταινίας μετάλλου αφαιρέθηκε κυλινδρικό μέρος μιας φιάλης οξυγόνου και στη συνέχεια κόπηκαν κυλινδρικοί λαιμοί μικρότερης διατομής όπου προσαρμόστηκαν στο επάνω μέρος του κυλίνδρου αφού δημιουργήθηκαν δύο οπές με τη χρήση πλάσματος χειρός. Έπειτα στα δύο άκρα του κυλίνδρου συγκολλήθηκαν οι δύο στρογγυλές φλάντζες, οι οποίες σχεδιάστηκαν και κόπηκαν σε αυτόματη μηχανή κοπής πλάσματος. Το πλάσμα είναι ένα θερμό, ιονισμένο αέριο το οποίο αποτελείται από ίσο αριθμό θετικά φορτισμένων ιόντων και αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων. Τέλος, στο κάτω μέρος του κεντρικού τμήματος, ενσωματώθηκε ένας κυλινδρικός λαιμός, αφού προηγήθηκε οπή στο κυλινδρικό κέλυφος με τρυπάνι χειρός, με φλάντζα για τον εξαερισμό του αερίου. Μετά το πέρας της δημιουργίας του κελύφους κατασκευάστηκαν 2 βάσεις που συγκολλήθηκαν επάνω στο κυλινδρικό έλασμα. Στο κάτω μέρος των βάσεων τοποθετήθηκαν τέσσερις ρόδες αφού δημιουργήθηκαν πρώτα δεκαέξι οπές σε σταθερό τρυπάνι, τέσσερις για κάθε ρόδα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με φωτογραφίες και τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κελύφους:



Σχήμα 4.1.1: Κεντρικό μέρος

Διαδικασία	Εργαλεία	Επεξεργασία
------------	----------	-------------

<p>Αφαίρεση κομματιού κυλινδρικού μέρους μιας φιάλης οξυγόνου για την δημιουργία του κεντρικού τμήματος του κελύφους με τη βοήθεια πριονιού ταινίας μετάλλου.</p>		
<p>Αφαίρεση ελάσματος από το κέλυφος σε κυκλικό σχήμα με τη χρήση πλάσματος χειρός ώστε να συγκολληθούν οι λαιμοί εισόδου και εξόδου του αερίου.</p>		
<p>Ευθυγράμμιση με αλφάδι και ποντάρισμα των λαιμών επάνω στο κυλινδρικό έλασμα με ηλεκτροκόλληση σύρματος (MIG) και χρήση αδρανούς αερίου Argon.</p>		
<p>Κοπή στρογγυλών φλαντζών συγκράτησης, με οπές για την συγκόλληση τους στο κέλυφος και στα στόμια εισόδου και εξόδου του αερίου. Η κοπή πραγματοποιήθηκε με την χρήση πλάσματος σε εργαλειομηχανή ελεγχόμενη με ψηφιακό υπολογιστή (cnc plasma).</p>		
<p>Δημιουργία οπών σε στρογγυλή φλάντζα με τη χρήση υδραυλικού ζουμπά διάτρησης.</p>		

<p>Βαφή της ολοκληρωμένης κατασκευής με τη χρήση πιστολιού βαφής αέρος με συμπιεστή (compressor).</p>		
---	---	--

Πίνακας 4.1.1: Διαδικασία κατασκευής

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κεντρικού μέρους είναι αποκλειστικά για την κοπή και επεξεργασία μεταλλικών υλικών. Αυτά κατατάσσονται κυρίως στον χάλυβα και τον ανοξείδωτο χάλυβα, όπου χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου, στο αλουμίνιο και στον ορείχαλκο. Κατά την διάρκεια όλων των διεργασιών λήφθηκαν όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας. Τα μέτρα προστασίας που χρησιμοποιήθηκαν ανάλογα με την επικινδυνότητα των εργασιών ήταν τα γάντια προστασίας, μάσκα ηλεκτροσυγκόλλησης, διάφανα γυαλιά προστασίας και κατάλληλη για τις συνθήκες ένδυση. Παρακάτω αναλύονται τα εργαλεία-εργαλειομηχανές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή του εναλλάκτη θερμότητας:

- Η πρώτη εργαλειομηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι το **πριόνι ταινίας μετάλλου**. Το πριόνι αυτό είναι κατάλληλο για την κοπή μεταλλικών υλικών και χαρακτηρίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα σε σχέση με πιο απλά εργαλεία κοπής όπως είναι ο τροχός χειρός. Το πριόνι αυτό διαθέτει δύο τροχούς εκ των οποίων ο ένας κινείται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Γύρω από τους δύο τροχούς υπάρχει μία συνεχής λωρίδα μετάλλου που διαγράφει κυκλική πορεία, παίρνοντας κίνηση από τον κινούμενο τροχό. Σημαντική παράμετρος είναι οι οδοντώσεις που υπάρχουν επάνω στην λωρίδα από την μεριά που έρχονται σε επαφή με το υλικό κατεργασίας. Ανάλογα με τον τύπο και τη σκληρότητα του υλικού χρησιμοποιείται ο κατάλληλος τύπος οδοντώσεων. Αφού τοποθετήθηκε η φιάλη επάνω στην πλατφόρμα κατεργασίας πραγματοποιήθηκαν τα εξής βήματα:
 - 1) **Επιλέχθηκε η θέση κοπής.** Καθορίστηκε το σημείο κοπής της φιάλης αφού πρώτα μετρήθηκε και σημαδεύτηκε με έναν μαρκαδόρο.
 - 2) **Σύσφιξη τεμαχίου.** Συγκρατήθηκε η φιάλη με έναν κοχλία σύσφιξης που περιλαμβάνεται στην πλατφόρμα κατεργασίας.
 - 3) **Εκκίνηση του πριονιού.** Ενεργοποιήθηκε η κοπή του πριονιού και άρχισε η κοπή του σωλήνα. Με την εκκίνηση του πριονιού ενεργοποιήθηκε και η ρίψη ψυκτικού υγρού στον σωλήνα.
 - 4) **Ολοκλήρωση του κοψίματος.** Όταν ολοκληρώθηκε το κόψιμο, απενεργοποιήθηκε αυτόματα η κίνηση του πριονιού και αφαιρέθηκε το κατεργαζόμενο υλικό από την πλατφόρμα κατεργασίας.
 - **Το plasma χειρός και cnc.** Το plasma χειρός είναι ένα φορητό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την κοπή μετάλλων και άλλων υλικών με τη χρήση πλάσματος. Η μηχανή κοπής διοχετεύει από μία μικρή τρύπα στο ακροφύσιο της με μεγάλη ταχύτητα ένα πολύ θερμό συμπιεσμένο αέριο το οποίο μετατρέπεται σε πλάσμα προς το μέταλλο που θα κοπεί. Μέσα στο αέριο που αποτελείται κατά κύριο λόγο από οξυγόνο και άζωτο

δημιουργείται ένα ηλεκτρικό τόξο , μεταξύ ενός ηλεκτρόδιο στην άκρη της μηχανής και της επιφάνειας προς κοπή. Αυτό το αέριο είναι αυτό που ιονίζει και μετατρέπεται σε πλάσμα. Αποτέλεσμα της μεγάλης θερμοκρασίας του είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που διαπερνά το αέριο. Λόγω της υπερβολικής θερμοκρασίας και της μεγάλης ταχύτητας που αναπτύσσεται απομακρύνεται το λιωμένο μέταλλο από το σημείο κατεργασίας. Η ίδια διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί και σε εργαλειομηχανή ελεγχόμενη με ψηφιακό υπολογιστή (cnc).

- **Η ηλεκτροσυγκόλληση τύπου M.I.G.(Metal Inert Gas).** Στη συγκεκριμένη μέθοδο συγκόλλησης μετάλλων χρησιμοποιείται ένα μεταλλικό σύρμα ως ηλεκτρόδιο για την δημιουργία ηλεκτρικού τόξου αλλά και ως υλικό πλήρωσης. Επίσης χρησιμοποιείται το αδρανές αέριο Αργό ή μείγμα Αργού. Το αδρανές αέριο εκτοξεύεται από μία φιάλη προκειμένου να διώχνει τον ατμοσφαιρικό αέρα και κατά συνέπεια να προστατεύει το τελικό προϊόν της κατεργασίας από διάφορες ανωμαλίες και οξείδωση.
- **Ο υδραυλικός ζουμπάς διάτρησης.** Είναι μία εξειδικευμένη μηχανή που χρησιμοποιείται για την διάνοιξη οπών σε διάφορα υλικά, κυρίως σε μέταλλα. Η βασική διαφορά μεταξύ του υδραυλικού ζουμπά και άλλων τύπων διατρητικών μηχανών είναι ο τρόπος λειτουργίας του, ο οποίος βασίζεται στη χρήση υδραυλικής πίεσης. Ο συγκεκριμένος τύπος μηχανής είναι πολύ αποτελεσματικός αφού χαρακτηρίζεται από την ποικιλία οπών και την διάτρηση υλικών σε ελάχιστο χρόνο σε σχέση με άλλους μεθόδους. Τα κοπτικό εργαλείο ονομάζεται ζουμπάς-μήτρα και διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο με και μέγεθος της οπής που δύναται να δημιουργηθεί. Ο χειριστής προσαρμόζει από το κοντρόλ τις παραμέτρους του βάθους κοπής και του ρυθμού διάτρησης για να επιτύχει το βέλτιστο αποτέλεσμα.
- **Το πιστόλι βαφής αέρος.** Είναι το εργαλείο που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή βαφής σε επιφάνειες. Αφού προετοιμαστεί το χρώμα όπου συνήθως απαιτείται αραίωση με διαλυτικό πριν τη χρήση, φορτώνεται στο δοχείο του πιστολιού αέρος. Το πιστόλι βαφής αέρος λειτουργεί με έναν συμπιεστικό αέρος που λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα. Στη συνέχεια ρυθμίζεται η πίεση και η ροή του αέρα ανάλογα με το υλικό πλήρωσης και την επιφάνεια βαφής με τη βοήθεια ενός ρυθμιστή πίεσης που βρίσκεται πάνω στο πιστόλι και η διαδικασία είναι έτοιμη να ξεκινήσει. Η έναρξη και η λήξη της ροής ρυθμίζεται με την σκανδάλη που περιλαμβάνει το πιστόλι.

4.2 Κατασκευή αριστερού άκρου

Το αριστερό άκρο αποτελείται από μια φλάντζα σύνδεσης με το κεντρικό τμήμα στην οποία έχει συγκολληθεί ένας κύλινδρος με το σφαιρικό κάλυμμα άκρου. Στο επάνω και κάτω μέρος του άκρου έχουν ενσωματωθεί δύο στόμια εξαερισμού με φλάντζες οι οποίες περιέχουν οπές. Στο εσωτερικό μέρος του αριστερού άκρου τοποθετήθηκαν τρία τοιχώματα με σκοπό την αλλαγή της κατεύθυνσης της πορείας του ρευστού.





Η διαδικασία κατασκευής του αριστερού μέρους ξεκίνησε από την αφαίρεση του σφαιρικού τμήματος από φιάλη οξυγόνου μαζί με ένα τμήμα από το κυλινδρικό μέρος σχήμα 4.2.2. Οι οπές για τα στόμια εξαερισμού σε αυτή την περίπτωση δημιουργήθηκαν με φλόγιστρο και χρήση αερίου οξυγόνου και ασετιλίνης. Αυτή η μέθοδος είναι αποτελεσματικότερη σε μεγάλα πάχη ελάσματος με βασικό μειονέκτημα την μικρότερη ακρίβεια κοπής. Έπειτα κατασκευάστηκαν τα εσωτερικά τοιχώματα του αριστερού άκρου. Για να βρεθεί η ακριβής καμπυλότητα των τοιχωμάτων χρησιμοποιήθηκε πατρόν από χαρτόνι και αφού τοποθετήθηκε πάνω στο έλασμα κόπηκε με την χρήση τροχού χειρός και στη συνέχεια συγκολλήθηκε. Στη συνέχεια συγκολλήθηκε με ηλεκτροκόλληση σύρματος στρογγυλή φλάντζα με οπές, όμοια με αυτή του κελύφους η οποία κόπηκε με χρήση cnc πλάσματος. Συγκολλήθηκαν, επίσης, τα στόμια εξαερισμού με τις φλάντζες αφού πρώτα ευθυγραμμίστηκαν και πονταρίστηκαν σε σωστή θέση ελέγχοντας την καθετότητα και την παραλληλία ως προς το βασικό τμήμα του αριστερού άκρου. Τέλος, τροχίστηκε με τροχό χειρός και βάφτηκε με πιστόλι αέρος με αποτέλεσμα να έρθει στην τελική του μορφή. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τις νέες μεθόδους κατεργασίας που ακολουθήθηκαν για να φτάσει στο επιθυμητή μορφή.



Σχήμα 4.2.1: αριστερό άκρο



Σχήμα 4.2.2: Κοπή με πριόνι μετάλλου

Διαδικασία	εργαλεία	Επεξεργασία
Δημιουργία οπών με φλόγιστρο και χρήση φιάλης οξυγόνου και ασετιλίνης.		
Δημιουργία καμπυλότητας και λείανση διαχωριστικών τοιχωμάτων με χρήση τροχού χειρός.		

<p>Κοπή λάμας από έλασμα χάλυβα πάχους 3mm με χρήση υδραυλικού ψαλιδιού.</p>		
--	---	---

Πίνακας 4.2.1: Διαδικασία κατασκευής

Τα επιπλέον εργαλεία-εργαλειομηχανές που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του αριστερού μέρους του εναλλάκτη θερμότητας είναι:

- **Το φλόγιστρο με χρήση αερίου Οξυγόνου και Ασετυλίνης.** Η κοπή με χρήση οξυγόνου και ασετιλίνης είναι γνωστή ως οξυγονοκοπή και είναι μια διαδικασία κοπής με χρήση δύο αερίων, του οξυγόνου και της ασετιλίνης που συνδυάζονται και καταναλώνονται σε ένα καύσιμο μείγμα. Τα βήματα λειτουργίας αυτής της μεθόδου είναι:

 - 1) **Σύνδεση των αερίων.** Μεταξύ των φιαλών και του φλογίστρου συνδέονται μετρητές και οι αρμόδιοι σωλήνες σύνδεσης.
 - 2) **Προετοιμασία κοπής.** Καθαρίζεται ο χάλυβας από ρίπους και σημαδεύεται εκεί στο σημείο κοπής.
 - 3) **Ρύθμιση φλόγας.** Αφού ανοιχτεί πρώτα το αερίο ασετυλίνης ανοίγει και το αξυγόνο έως ότου να υπάρξει η επιθυμητή αναλογία αερίων στο φλόγιστρο, κατάλληλη για την κοπή.
 - 4) **Έναρξη κοπής.** Πρώτα θερμαίνεται ο χάλυβας και στη συνέχεια με περίσσεια οξυγόνου πραγματοποιείται η κοπή.
 - 5) **Λήξη κοπής.** Μετά το πέρας της κατεργασίας κλείνει ο ρυθμιστής της ασετυλίνης και στη συνέχεια ο ρυθμιστής του οξυγόνου.
- **Ο τροχός χειρός.** Ο τροχός είναι ένα ηλεκτρικό εργαλείο που χρησιμοποιείται στην προκειμένη κατασκευή για την κοπή, λείανση και σχηματοποίηση των μεταλλικών εξαρτημάτων. Αποτελείται από τον κινητήρα που παρέχει κίνηση στους περιστρεφόμενους δίσκους οι οποίοι πικοίλουν ανάλογα με την φύση της εργασίας που θα πραγματοποιηθεί. Επίσης, συνήθως στο πλάι του εργαλείου είναι τοποθετημένο το χειριστήριο ενεργοποίησης-απενεργοποίησης σε εργονομική θέση για την μεγαλύτερη ευκολία του χειρισμού. Σε κάποιους τροχούς συναντώνται και ρυθμιστές των στροφών για την επίτευξη της παραμετροποίησης της ταχύτητας ανάλογα με τη διεργασία.
- **Το υδραυλικό ψαλίδι κοπής.** Το ψαλίδι κοπής μετάλλου είναι αρμόδιο για την κοπή ελασμάτων σε ευθεία τμήματα με μεγάλη ακρίβεια σε μικρό χρόνο. Για την κοπή των ελασμάτων χρησιμοποιεί μία λεπίδα της οποίας η κλίση ρυθμίζεται ανάλογα με το πάχος του κατεργαζόμενου τεμαχίου ενώ η κίνηση της λεπίδας πραγματοποιείται υδραυλικά. Τέλος, πριν την κοπή του κατεργαζόμενου τεμαχίου απαραίτητη καθίσταται η ρύθμιση του διάκενου της λεπίδας ανάλογα με το πάχος και τη σκληρότητα του υλικού.


4.3 Κατασκευή δεξιού άκρου

Το δεξί άκρο, ομοίως με το αριστερό αποτελείται από μια φλάντζα σύνδεσης με το κεντρικό τμήμα, έναν κύλινδρο και το σφαιρικό κάλυμμα άκρου. Στο κυλινδρικό περίβλημα τοποθετήθηκε ένα στόμιο εξαερισμού όπου στο άκρο του ενσωματώθηκε φλάντζα με οπές. Εν αντιθέσει με το αριστερό άκρο, το σφαιρικό κάλυμμα άκρου περιέχει δύο στόμια με φλάντζες, τα οποία συντελούν στην εισαγωγή και εξαγωγή του ψυκτικού μέσου αντίστοιχα. Η διαδικασία κατασκευής του δεξιού άκρου από την αρχή μέχρι το πέρας της είναι:



Σχήμα 4.3.1: Δεξί άκρο

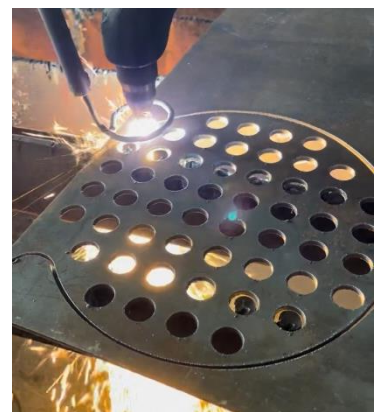
Διαδικασία	Επεξεργασία
1) Αφαίρεση κυλινδρικού και σφαιρικού ελάσματος από φιάλη οξυγόνου με πριόνι ταινίας μετάλλου.	
2) Κοπή κυλινδρικής φλάντζας με cnc πλάσμα.	
3) Δημιουργία οπών στο σφαιρικό τμήμα, με χρήση φλογίστρου οξυγόνου και ασετιλίνης για την διακίνηση του ψυκτικού μέσου. 4) Δημιουργία οπής για τον εξαερισμό του ρευστού στο κυλινδρικό τμήμα.	
5) Δημιουργία οπών στις φλάντζες εισόδου και εξόδου ψυκτικού μέσου και εξαερισμού με υδραυλικό ζουμπά. 6) Ποντάρισμα, ραφή λαιμών και φλαντζών επάνω στο κύριο τμήμα του δεξιού άκρου	
7) Δημιουργία διαχωρισκού μέρους του ρευστού με ελάσματα χάλυβα, ποντάρισμα και ραφή των τοιχωμάτων.	

<p>8) Λείανση των επιφανειών στα σημεία συγκόλλησης.</p> <p>9) Βαφή με τη χρήση πιστολιού αέρος.</p>	
--	--

Πίνακας 4.3.1: Βήματα κατασκευής

4.4 Κατασκευή εσωτερικού μέρους

Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα, οι οποίες ονομάζονται αυλοφόρες πλάκες, εσωτερικά του κελύφους που αποτελούνται από δύο ελάσματα χάλυβα σε στρογγυλό σχήμα και δύο ελάσματα σε ημιστρόγγυλο. Στα τοιχώματα δημιουργήθηκαν οπές με CNC πλάσμα ώστε να τα διαπεράσουν οι σωλήνες με το ψυκτικό υγρό. Τα δύο στρογγυλά ελάσματα τοποθετούνται το ένα στο αριστερό άκρο του κελύφους ενώ το άλλο στο δεξί στεγανοποιώντας και διαχωρίζοντας με αυτό τον τρόπο το αέριο με το ψυκτικό υγρό. Τα ημιστρόγγυλα τοιχώματα τοποθετούνται το ένα ακριβώς δεξιά από το λαιμό εισαγωγής του αερίου, εσωτερικά του κελύφους και το άλλο ακριβώς αριστερά από το λαιμό εξαγωγής του αερίου. Η γεωμετρία των δύο κεντρικών ελασμάτων προσανατολίζει το αέριο να κινηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε η απόδοση του εναλλάκτη να μεγιστοποιηθεί.



Σχήμα 4.4.1: Κοπή με plasma



Σχήμα 4.2.2: αυλοφόρες πλάκες

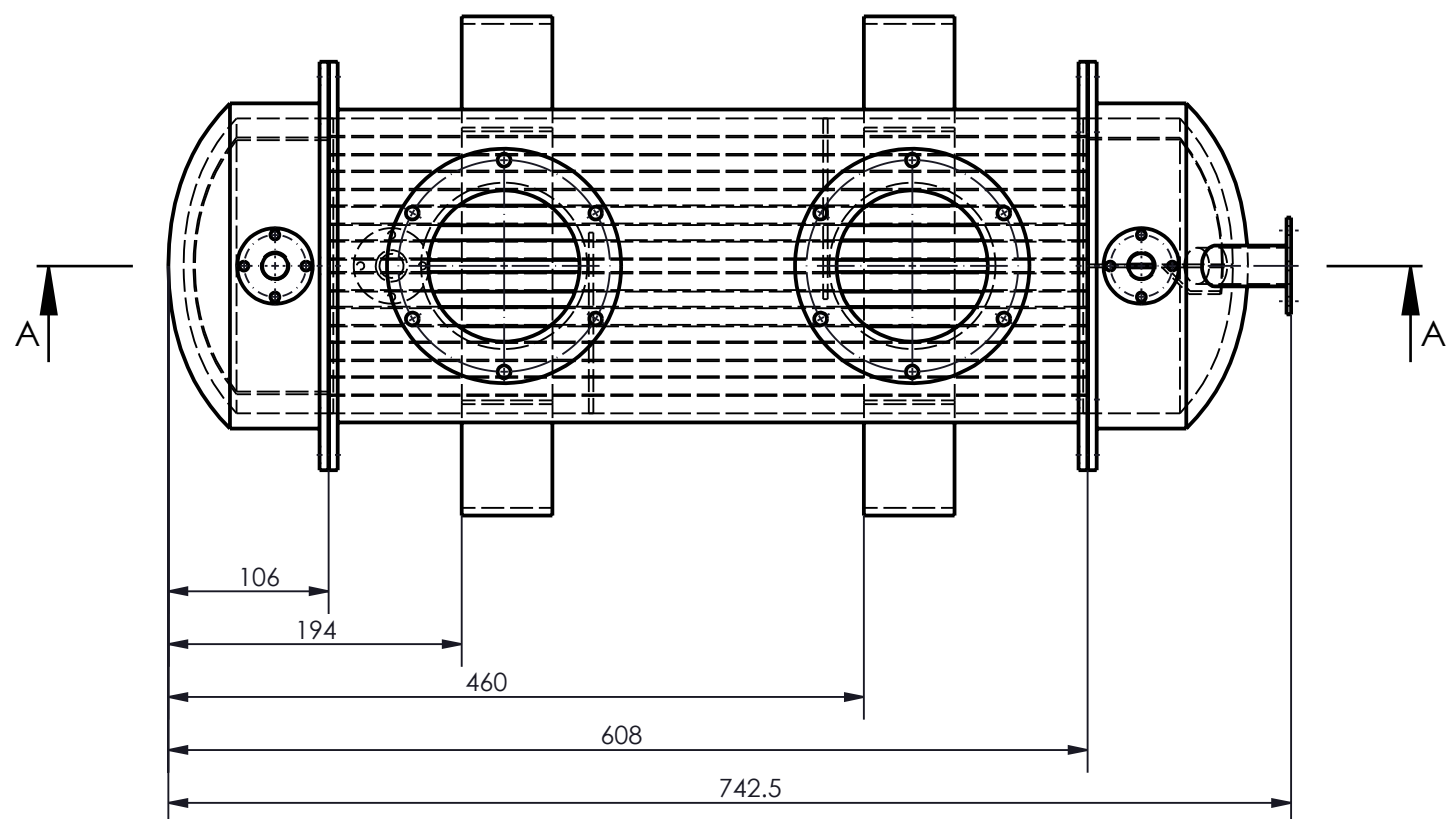
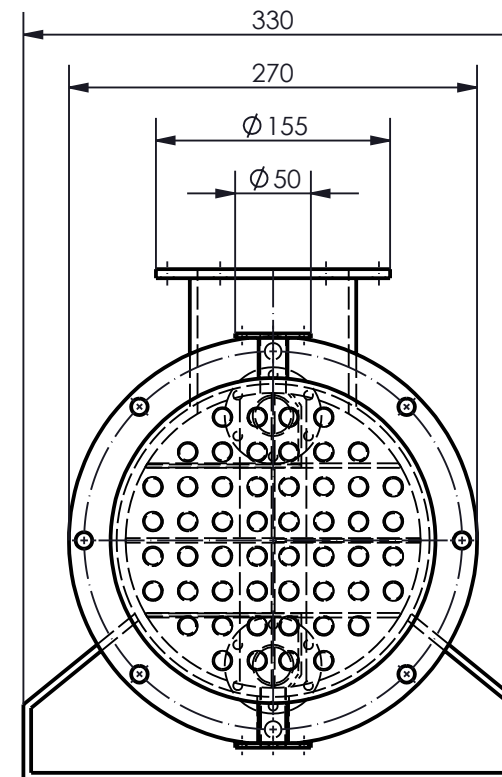
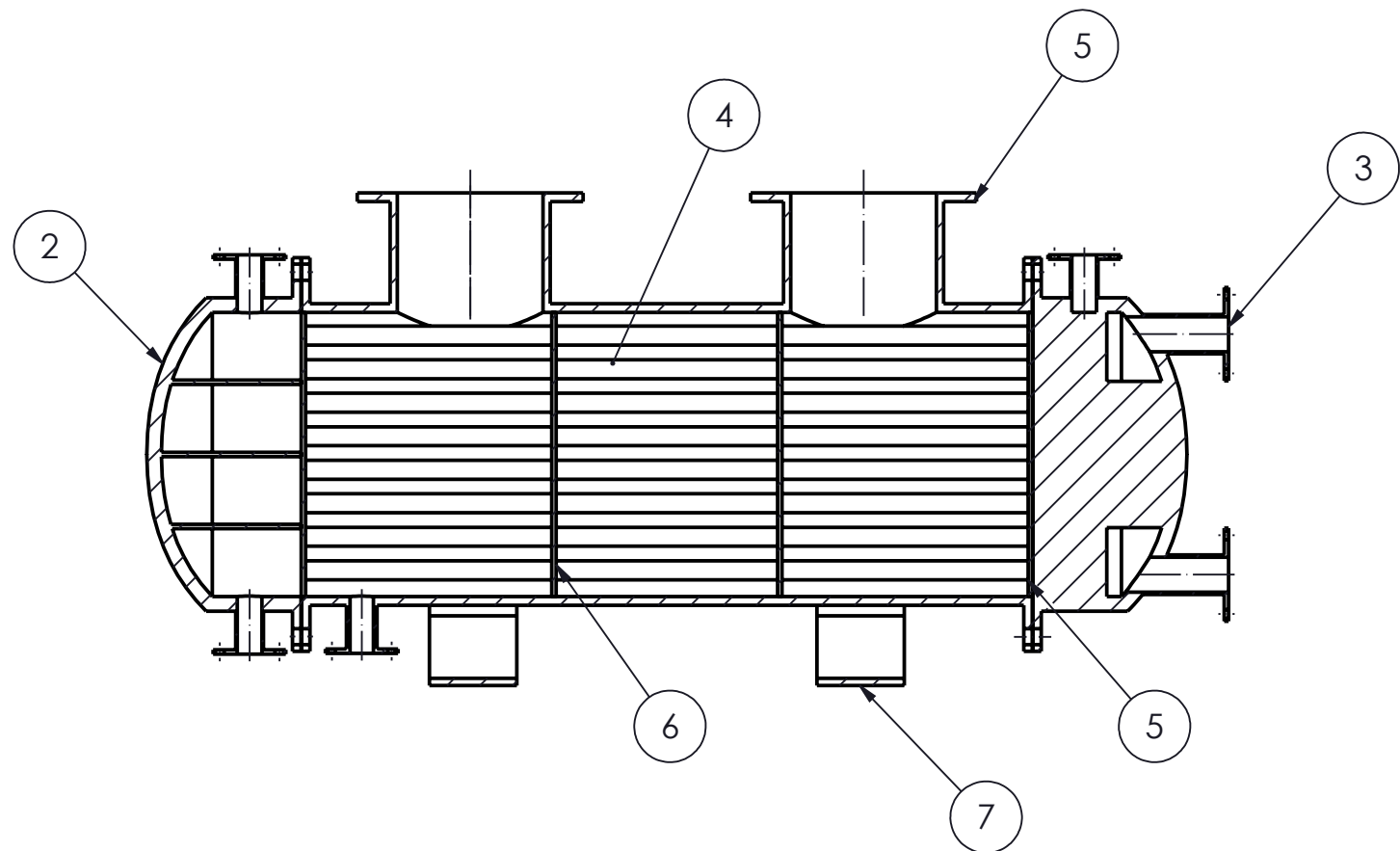
Τέλος, τοποθετήθηκαν οι σωλήνες στις οπές των αυλοφόρων πλακών και στη συνέχεια το συναρμολογημένο εσωτερικό μέρος ενσωματώθηκε στο κέλυφος του εναλλάκτη θερμότητας. Οι αυλοί μήκους 520mm τοποθετήθηκαν στις οπές και το εσωτερικό μέρος του κελύφους ολοκληρώθηκε.

5. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν με χρονολογική σειρά τα μηχανολογικά σχέδια των επιμέρους τμημάτων του εναλλάκτη θερμότητας με σκοπό να αποτελέσουν βάση για εκπαιδευτικό υλικό.

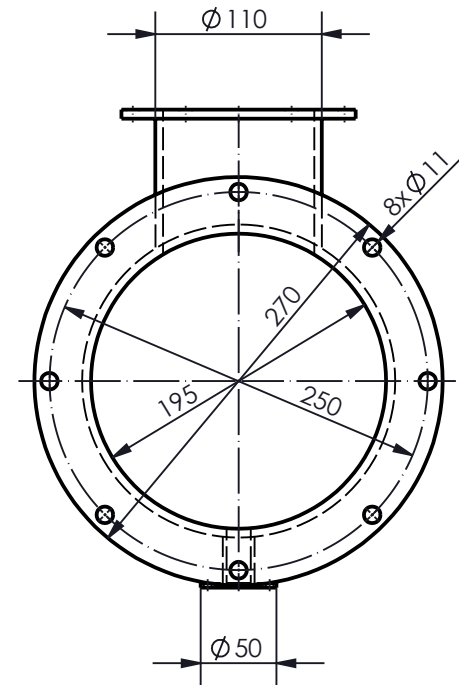
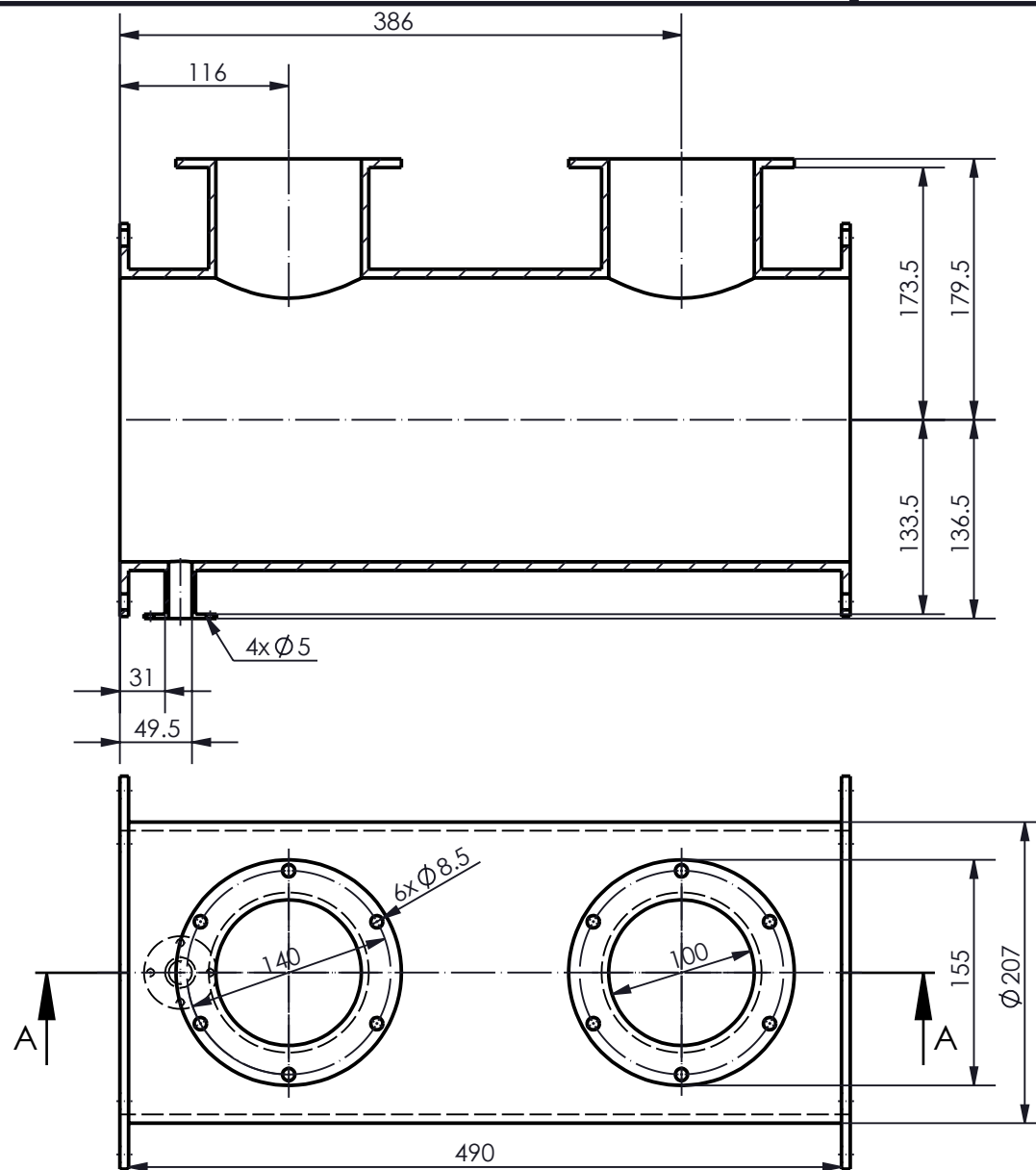
α/α	Σχέδιο	Όνομα
1		Εναλλάκτης θερμότητας zls-100-000
2		Κεντρικό μέρος zls-100-001
3		Αριστερό άκρο zls-100-002
4		Δεξί άκρο zls-100-003
5		Σωλήνας zls -100-004
6		Αυλοφόρος πλάκα zls-100-005
7		Αυλοφόρο διάφραγμα zls-100-006
8		Βάση στήριξης zls-100-007

Πίνακας 5.1: Μηχανολογικά σχέδια

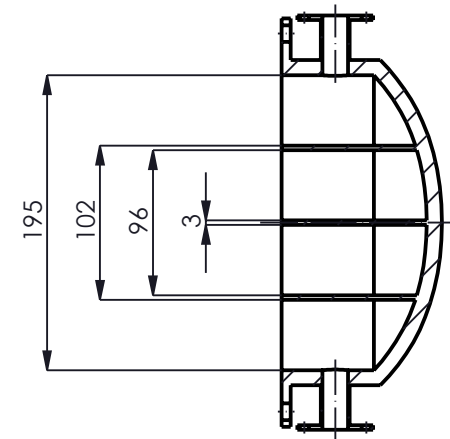
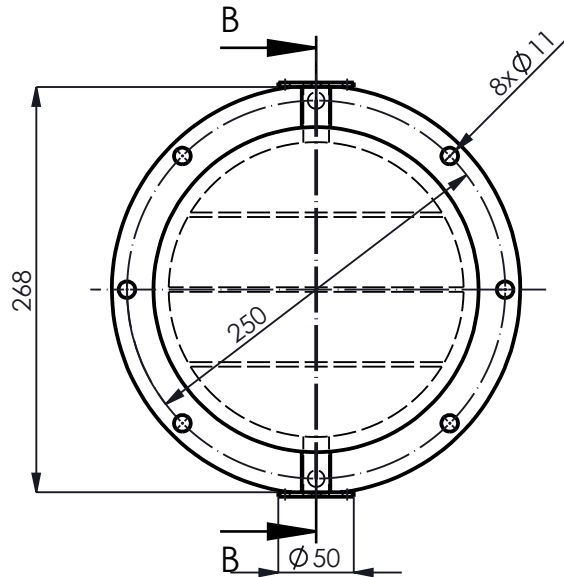
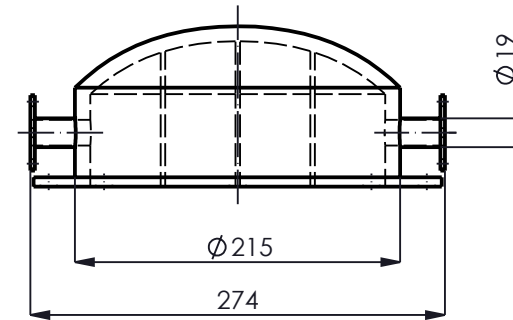
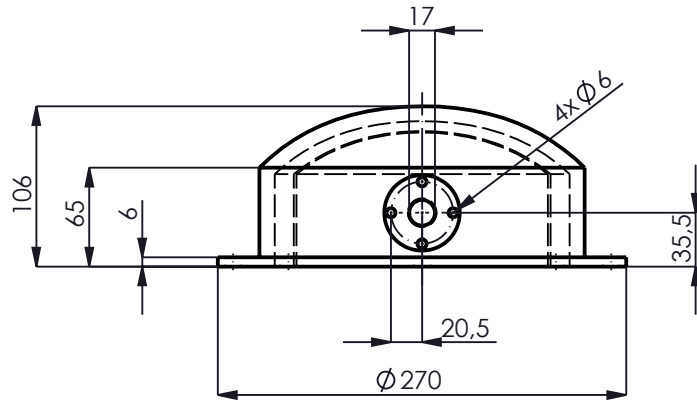


α/α	Ποσότητα	Μονάδα	Αριθμός Σχεδίου	Παρατηρήσεις
1	1	TMX	zls-100-001	
2	1	TMX	zls-100-002	
3	1	TMX	zls-100-003	
4	52	TMX	zls-100-004	
5	2	TMX	zls-100-005	
6	2	TMX	zls-100-006	
7	2	TMX	zls-100-007	

 www.m3.tuc.gr	Σχεδίαση: Κωνσταντίνος Ζάλης	Ανοχές:			
	Τίτλος: Ενναλάκτης θερμότητας	Αριθμός: zls-100-000			
		Κλίμ. 1:5	Ημερομηνία 25/10/2023	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 0/8



Σχεδίαση: Κωνσταντίνος Ζάλης		Ανοχές:			
Τίτλος: Κεντρικό μέρος		Αριθμός: zls-100-001			
Κλιμ. 1:5	Ημερομηνία 11/10/2023	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1/7		

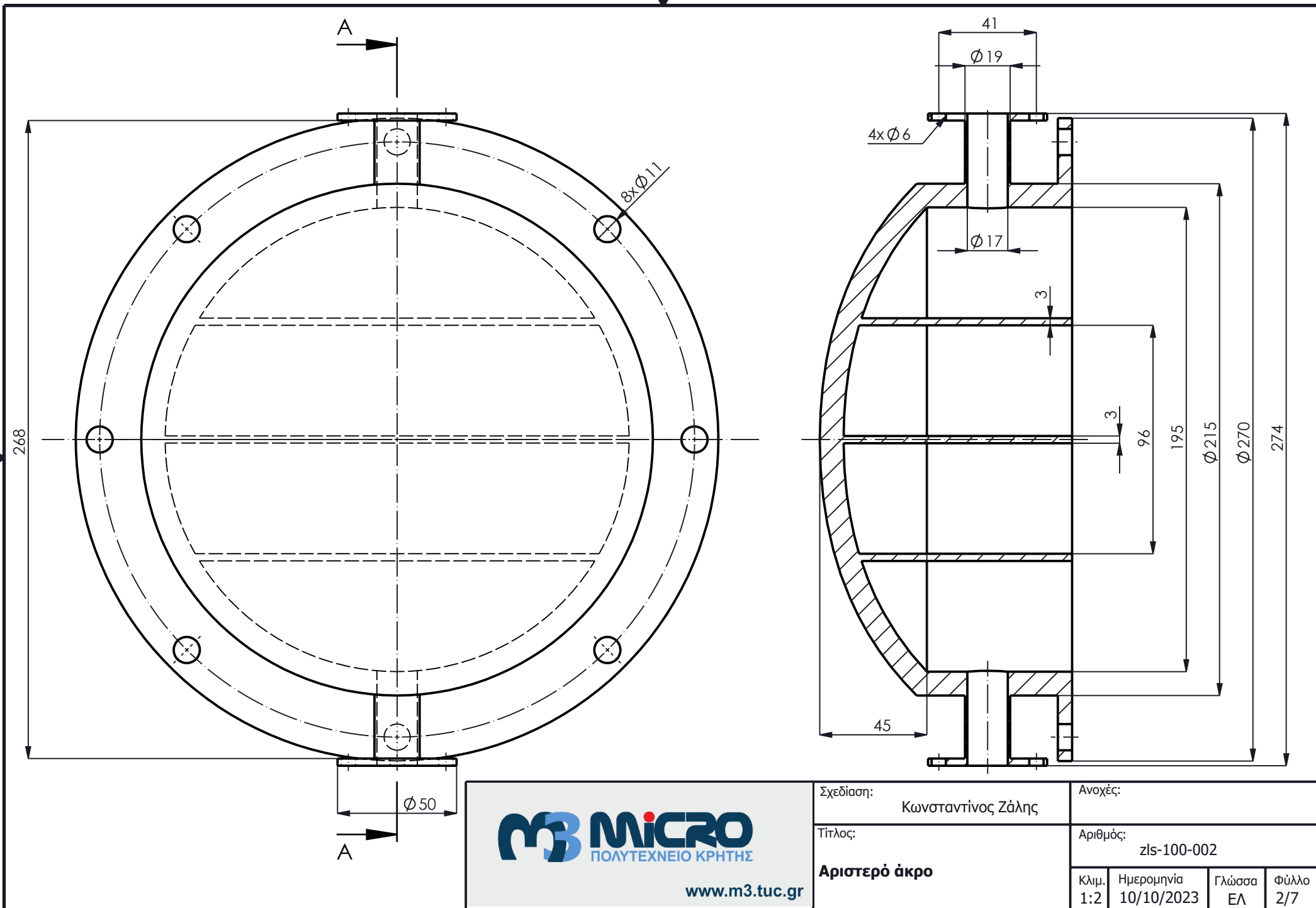


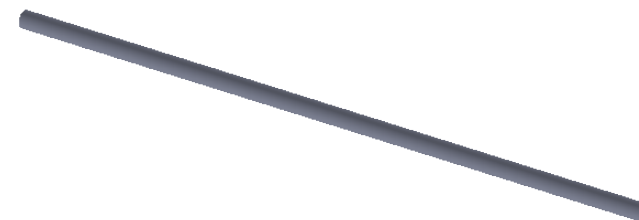
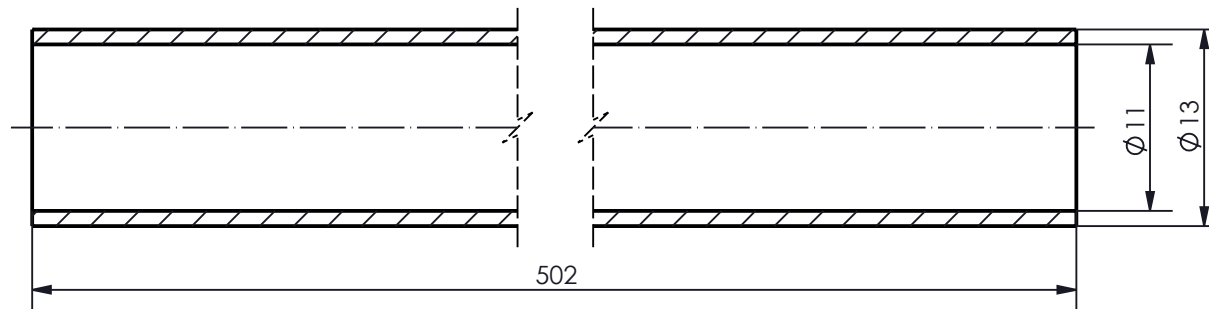
SECTION B-B
SCALE 1 : 5



www.m3.tuc.gr

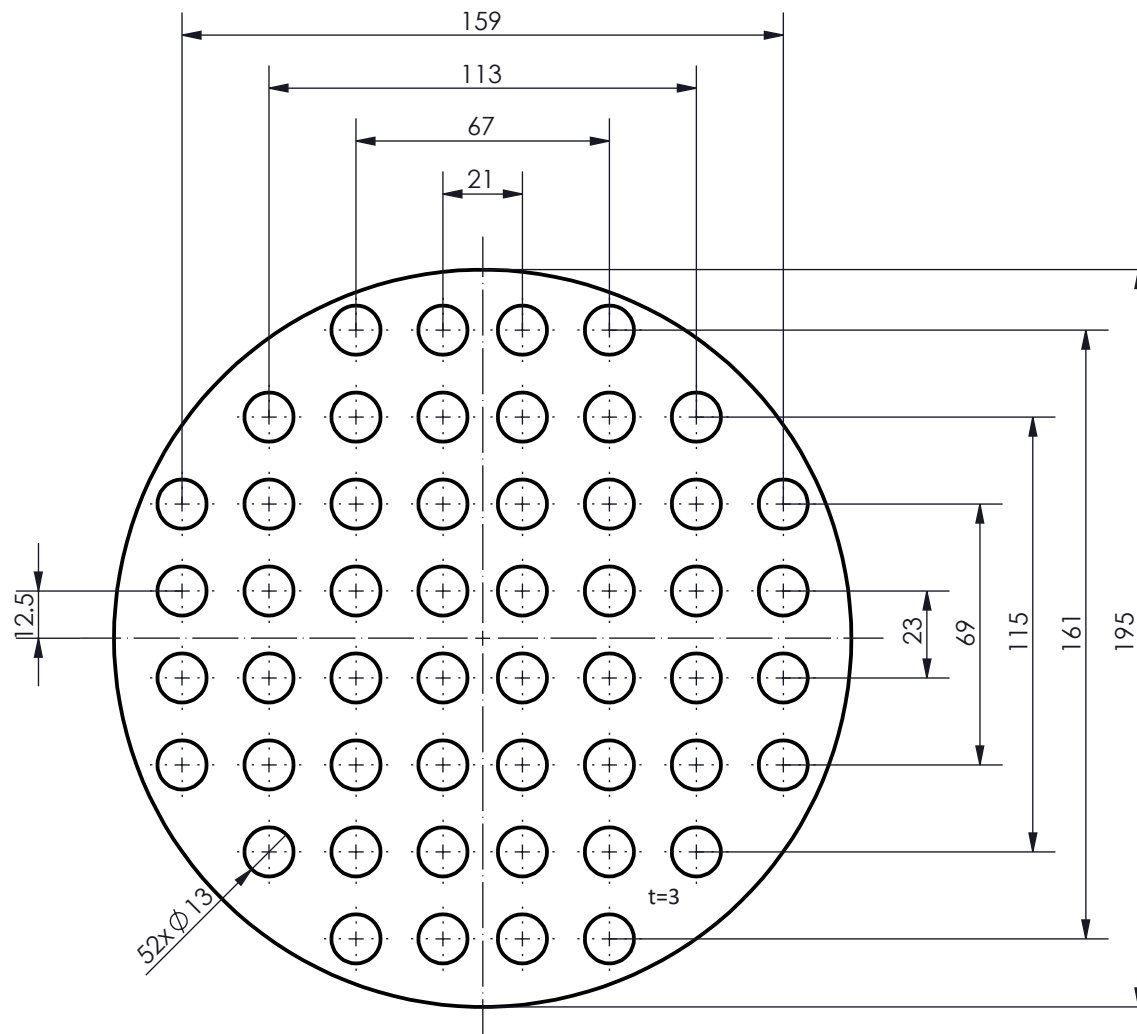
Σχεδίαση:		Κωνσταντίνος Ζάλης		Ανοχές:	
Τίτλος:		Αριστερό άκρο		Αριθμός:	
Κλιμ.	Ημερομηνία	Γλώσσα	Φύλλο		
1:5	10/10/2023	ΕΛ	2/7		





www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση: Κωνσταντίνος Ζάλης		Ανοχές:			
Τίτλος: Σωλήνας		Αριθμός: zls-100-004			
Κλιμ. 2:1	Ημερομηνία 17/10/2023	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 4/7		



www.m3.tuc.gr

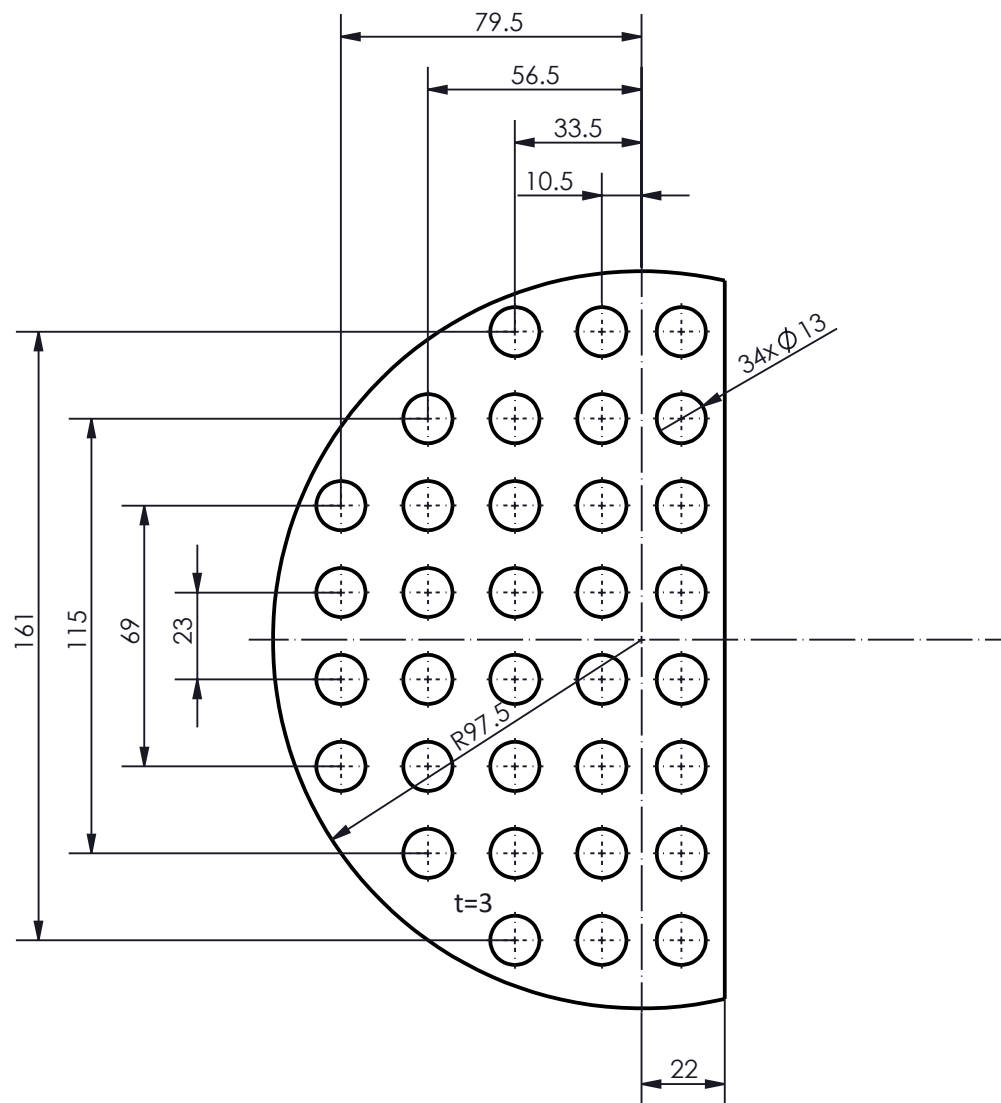
Σχεδίαση:
Κωνσταντίνος Ζάλης

Τίτλος:
Αυλοφόρος πλάκα

Ανοχές:

Αριθμός:
zls-100-005

Κλιμ. 1:2	Ημερομηνία 17/10/2023	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 5/7
--------------	--------------------------	--------------	--------------



www.m3.tuc.gr

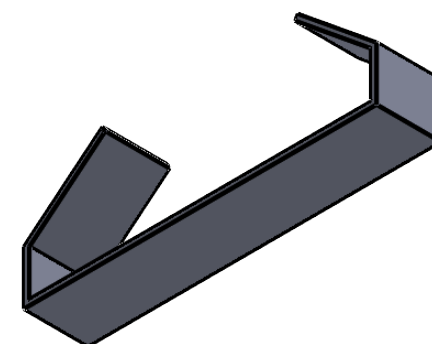
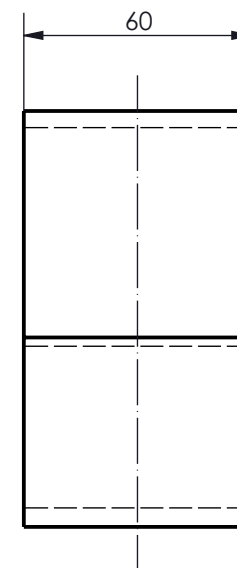
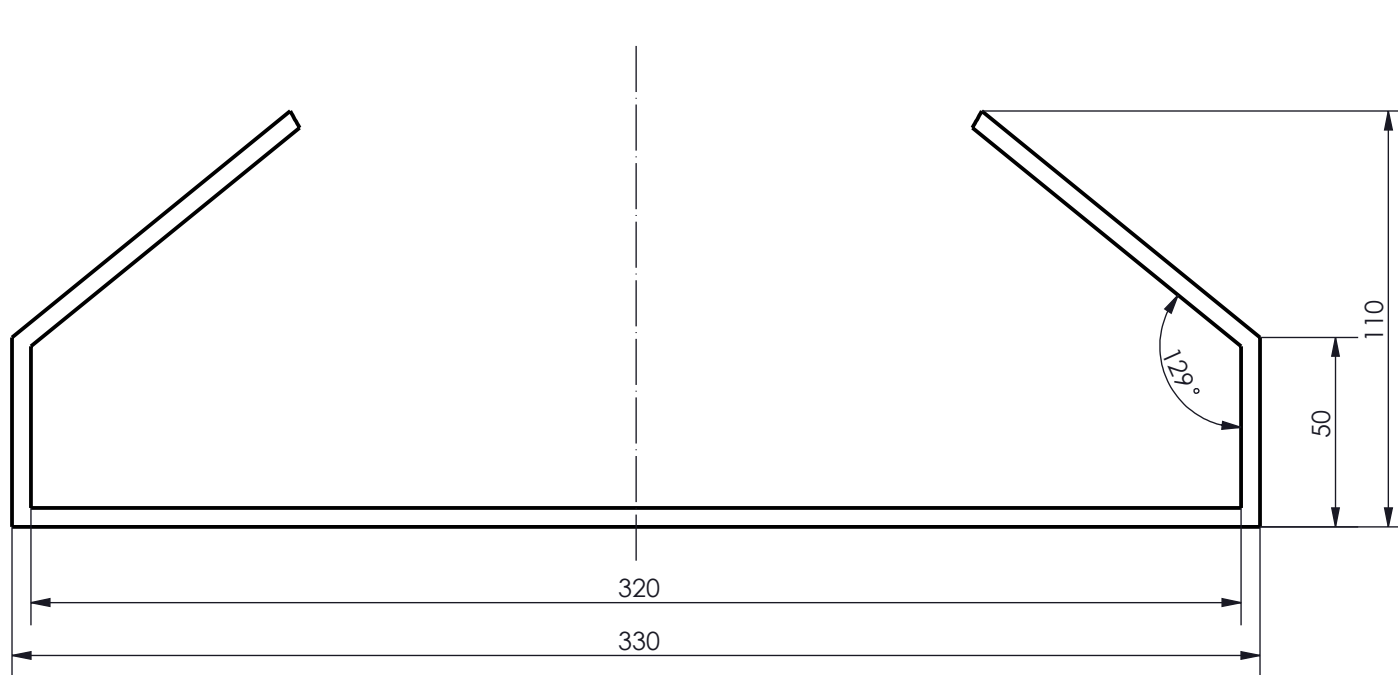
Σχεδίαση:
Κωνσταντίνος Ζάλης

Τίτλος:
αυλοφόρο διάφραγμα

Ανοχές:

Αριθμός:
zls-100-006

Κλιμ. 1:2	Ημερομηνία 18/10/2023	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 6/7
--------------	--------------------------	--------------	--------------



www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Κωνσταντίνος Ζάλης

Τίτλος:
Βάση στήριξης

Ανοχές:

Αριθμός:
zls-100-007

Κλιμ. 1:2	Ημερομηνία 19/10/23	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 7/7
--------------	------------------------	--------------	--------------

6. ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία διεξήχθη με σκοπό την κατασκευή ενός μοντέλου εναλλάκτη θερμότητας που θα αποτελέσει εκπαιδευτικό υλικό. Αναλυτικότερα, αφού παρουσιάστηκε η στάθμη γνώσεων για ποικίλους τύπους εναλλακτών θερμότητας υλοποιήθηκε η σχεδίαση ενός εναλλάκτη θερμότητας έμμεσης μετάδοσης μιας εξωτερικής και πολλαπλών εσωτερικών διαδρομών. Ο συγκεκριμένος εναλλάκτης θερμότητας αποτελείται από τέσσερα βασικά σκέλη, το κεντρικό μέρος, το αριστερό και δεξί άκρο καθώς και το εσωτερικό μέρος. Κατά τον τρισδιάστατο σχεδιασμό του μοντέλου έγινε περιγραφή των επιμέρους τμημάτων της κάθε κατασκευής και αναφέρθηκαν οι βασικές διαστάσεις αυτών. Στην συνέχεια έγινε περιγραφή φάσεων κατασκευής του μοντέλου και εξηγήθηκαν τα εργαλεία-εργαλειομηχανές που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος, δημιουργήθηκαν τα μηχανολογικά σχέδια του συναρμολογημένου εναλλάκτη θερμότητας και των επιμέρους σχεδίων.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Sadik Kakaç and Hongtan Liu, 2002. Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design (2nd ed.). CRC Press
- [2] Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, Μηχανολογικό Σχέδιο, 2006
- [3] Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, Μηχανολογική Τεχνολογία, 2017
- [4] Γεώργιος Α. Αραμπατζής, Διονύσης Κ. Ασημακόπουλος, Βασιλική Ι. Λυγερού, Μεταφορά θερμότητας και μάζας
- [5] https://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/heat_exchangers/ch05_enallaktes_A4.pdf
- [6] <https://fractory.com/plasma-cutting/>
- [7] <https://unimig.com.au>