

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

**«ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΤΥΡΒΩΔΟΥΣ ΡΟΗΣ»**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΚΑΚΛΑΜΑΝΟΥ ΗΛΙΑΝΑ-ΕΛΕΝΗ



ΚΑΛΑΜΑΤΑ

2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

**«ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΤΥΡΒΩΔΟΥΣ ΡΟΗΣ»**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΚΑΚΛΑΜΑΝΟΥ ΗΛΙΑΝΑ-ΕΛΕΝΗ

Εξεταστική Επιτροπή : ΒΑΡΖΑΚΑΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ (επιβλέπων)

ΚΟΥΤΡΟΥΜΠΗΣ ΦΩΤΗΣ (επιβλέπων)

ΖΑΚΥΝΘΙΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (μέλος)

ΚΑΛΑΜΑΤΑ

2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου μελέτης συνέβαλλαν κάποιοι άνθρωποι που χωρίς την πολύτιμη βοήθειά τους δεν θα μπορούσα να την ολοκληρώσω. Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας, τον κ. Βαρζάκα Θεόδωρο, επειδή μου πρότεινε το θέμα της πτυχιακής μου εργασίας και με βοήθησε τόσο στην εκτέλεση του πειραματικού της μέρους όσο και στη συγγραφή της. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Κουτρομπή Φώτιο που μου έδωσε τη δυνατότητα να διεκπεραιώσω το πειραματικό μέρος της πτυχιακής μου, στο εργαστήριο Μηχανικής Επεξεργασίας Τροφίμων δίνοντας μου την ευκαιρία να αποκτήσω πολύτιμες γνώσεις και εμπειρίες αλλά και για την όλη υποστήριξή του, τεχνική και ηθική καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής μου. Τέλος ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένεια και τους φίλους μου για την κατανόηση τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μια αναφορά στη θερμότητα και τους τρόπους με τους οποίους γίνεται η μετάδοση της ώστε να κατανοηθεί πλήρως ο τρόπος λειτουργίας των εναλλακτών θερμότητας. Έπειτα γίνεται αναφορά στους εναλλάκτες θερμότητας και τα βασικά είδη αυτών καθώς επίσης και τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας. Στη συνέχεια παρατίθενται οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι εναλλάκτες στις βιομηχανίες τροφίμων. Επιπροσθέτως παρατίθεται το εγχειρίδιο χρήσης του εναλλάκτη θερμότητας τυρβώδους ροής της εταιρίας EDIBON, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του πειράματος. Στο εγχειρίδιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι πληροφορίες του εναλλάκτη, καθώς και οι υπολογισμοί που μπορούν να γίνουν από τη διεξαγωγή του πειράματος. Επίσης περιγράφεται αναλυτικά η πειραματική διαδικασία, γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων και τέλος των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τα πειραματικά δεδομένα.

ABSTRACT

In this thesis there is a reference to the heat and the ways in which it is transmitted so as to fully understand how heat exchangers perform. Moreover, there is a reference to heat exchangers and the main types of them, as well as the problems encountered when using a heat exchanger. Furthermore, there is a mention to the most commonly used heat exchangers in food industries and also to the user's manual for the turbulent flow heat exchanger , by EDIBON company, which was used to conduct the experiment. This manual presents in details information about the exchanger, and the calculations being made by conducting the experiment. Also there is a detailed description of the experimental process, listing the results, and finally conclusions drawn from the experimental data.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	7
1. ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ	8
2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	10
2.1. Κατηγορίες εναλλακτών	10
2.2. Προβλήματα κατά τη χρήση εναλλακτών	13
2.3. Οι εναλλάκτες θερμότητας στη βιομηχανία τροφίμων.....	13
3. ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΡΒΩΔΟΥΣ ΡΟΗΣ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ EDIBON	15
3.1. Περιγραφή εξοπλισμού.....	15
3.1.1. Εισαγωγή	15
3.1.2. Περιγραφή	16
3.1.3. Πρακτικές εφαρμογές.....	18
3.1.4. Προδιαγραφές.....	19
3.1.5. Πλήρωση της δεξαμενής νερού.....	21
3.1.6. Σύνδεση της μονάδας βάσης με τον εναλλάκτη	21
3.1.7. Περιγραφή των στοιχείων του εξοπλισμού	22
3.1.8. Εξαρτήματα	25
3.1.9. Διαστάσεις και βάρος	25
3.1.10. Απαιτήσεις λειτουργίας	25
3.2. Θεωρητική βάση	26
3.2.1. Εισαγωγή	26

3.2.2.	Μεταφορά θερμότητας σε εναλλάκτες θερμότητας	29
3.2.3.	Παγκόσμιος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	30
3.2.4.	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή (h).....	33
3.2.5.	Αποκτώντας τον αριθμό Nusselt	34
3.2.6.	Κατανομή θερμοκρασίας σε ομόκεντρους εναλλάκτες σωλήνα.....	37
3.2.7.	Ο λογαριθμικός μέσος σε διαφορές θερμοκρασίας.....	38
3.2.8.	Υπολογισμός του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας από το ποσοστό μεταφοράς θερμότητας.....	40
3.2.9.	Μέθοδος NTU-αποτελεσματικότητας για την ανάλυση του εναλλάκτη θερμότητας.....	42
3.3.	Προειδοποιήσεις, κύριες οδηγίες.....	44
4.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	45
4.1.	Υλικά-Μέθοδοι	45
4.2.	Συνδεσμολογία.....	45
4.3.	Πειραματική πορεία.....	47
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ	49
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	71
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	73

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι εναλλάκτες θερμότητας βρίθουν εφαρμογών στις διάφορες βιομηχανίες. Η επιλογή όμως του κατάλληλου εναλλάκτη για το εκάστοτε προϊόν είναι ιδιαίτερα σημαντική ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση στις εκάστοτε εργασίες. Στη θερμική μελέτη ενός εναλλάκτη, στόχος είναι ο υπολογισμός της απαραίτητης επιφάνειας για τη μεταφορά θερμότητας με δεδομένο ρυθμό και για δεδομένες θερμοκρασίες και παροχές ρευστών. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (overall heat-transfer coefficient) U , που βρίσκεται στη θεμελιώδη εξίσωση για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας Q .

Έτσι λοιπόν είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας ώστε να υπολογιστούν τα μεγέθη που χρειάζονται για τη θερμική του μελέτη.

1. ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Θερμότητα ορίζεται η ενέργεια που μεταδίδεται από ένα θερμότερο σώμα σε ένα ψυχρότερο. Με τον όρο θερμότητα, απλοποιείται συχνά ο όρος μεταφορά θερμότητας ή ροή θερμότητας. (Τσίνογλου, 2015)

Η μετάδοση της ενέργειας είναι δυνατή όταν υπάρχει μία θερμοκρασιακή διαφορά και γίνεται πάντοτε από περιοχές υψηλότερων θερμοκρασιών σε περιοχές χαμηλότερων θερμοκρασιών . Κατά την εξέλιξη του φαινομένου της μετάδοσης της θερμότητας παρουσιάζεται πτώση της θερμοκρασίας του θερμότερου σώματος και ανύψωση της θερμοκρασίας του ψυχρότερου σώματος. Η μετάδοση της θερμότητας συνεχίζεται μέχρι να γίνει εξίσωση των θερμοκρασιών , οπότε δεν υπάρχει πλέον θερμοκρασιακή διαφορά που να προκαλεί την μετάδοση της ενέργειας. (Κόντου Γ., 1995)

Ο ρυθμός μετάδοσης της θερμότητας μεταξύ του θερμότερου και του ψυχρότερου ρευστού καθορίζεται από τις φυσικές ιδιότητες των ρευστών , από την ροή τους, τις θερμοκρασίες τους και από την επιφάνεια εναλλαγής της θερμότητας η οποία χωρίζει τα δύο ρευστά. (Τσίνογλου, 2015)

Η θερμότητα μπορεί να διαδοθεί με τρεις τρόπους:

1. Με αγωγή, λαμβάνει χώρα μέσα σε ένα σώμα στερεό, υγρό ή αέριο, χωρίς να συνοδεύεται από αλλαγή φάσης καθώς και στην περίπτωση σωμάτων που βρίσκονται σε επαφή. Οφείλεται σε θερμοκρασιακή διαφορά και μεταβαίνει από μια μάζα υψηλής θερμοκρασίας σε μια μάζα χαμηλής θερμοκρασίας.
2. Με συναγωγή, συμβαίνει μεταξύ των ρευστών σωμάτων, δηλαδή υγρών ή αερίων, που έρχονται σε επαφή και έχουν διαφορετική θερμοκρασία. Ανάλογα με το αίτιο που προκαλεί την κίνηση του ρευστού η συναγωγή διακρίνεται στην εξαναγκασμένη η οποία οφείλεται σε εξωτερικά αίτια και στην ελεύθερη, που οφείλεται σε διαφορές πυκνοτήτων μέσα στο ρευστό λόγω θερμοκρασιακών διαφορών.

3. Με ακτινοβολία, καθώς όλα τα σώματα με θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν ακτινοβολούν θερμότητα. Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία γίνεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Βασίζεται στην ικανότητα αρκετών σωμάτων να απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας που δέχονται και να την επανεκπέμπουν. Σε αντίθεση με τους προαναφερθέντες τρόπους μετάδοσης θερμότητας με αγωγή και συναγωγή στην ακτινοβολία δεν απαιτείται η ύπαρξη υλικού μέσου για να πραγματοποιηθεί η μετάδοση θερμότητας η οποία ενισχύεται στο κενό. (Τσίνογλου, 2015)

Η κατανόηση των μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι ο άνθρωπος χρησιμοποίησε τους μηχανισμούς αυτούς για τη δημιουργία συσκευών που θα είχαν ευρεία εφαρμογή και θα μείωναν την καταναλισκόμενη ενέργεια. Οι συσκευές αυτές ονομάστηκαν εναλλάκτες θερμότητας.

2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Εναλλάκτη θερμότητας καλούμε την συσκευή μεταφοράς θερμότητας (θερμικής ενέργειας) από ένα ρευστό σε ένα άλλο λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς. Θερμική ενέργεια μεταφέρεται από το θερμό ρευστό προς το ψυχρό ρευστό. (Ζουμπούλης Α., κ.α., 2009)

Ο όρος ρευστό, χαρακτηρίζει οποιαδήποτε ουσία μπορεί να παρουσιάσει ροή. Τέτοιες ουσίες είναι τα υγρά, τα αέρια ή ακόμα και τα στερεά που βρίσκονται σε φάση ροής. Οπότε ο όρος ρευστό χαρακτηρίζει συνοπτικά τα υγρά και τα αέρια των οποίων οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων είναι χαλαρές με αποτέλεσμα η μάζα να ολισθαίνει ελεύθερα (περίπτωση υγρών) ή να μετατοπίζεται ανεξάρτητα (περίπτωση αερίων) έτσι ώστε να μπορούν κάθε φορά να καταλαμβάνουν το σχήμα του χώρου που βρίσκονται ή του μέσου δια του οποίου κινούνται. Αντίθετα με το στερεό στο οποίο οι δυνάμεις συνοχής είναι τόσο ισχυρές που δεν του επιτρέπουν να καταλαμβάνει το σχήμα του χώρου στο οποίο βρίσκεται αλλά έχει συγκεκριμένο σχήμα και όγκο. (Λάζος Ε., 2010)

2.1. Κατηγορίες εναλλακτών

Οι εναλλάκτες θερμότητας ανάλογα με τη διαδικασία μεταφοράς θερμότητας μπορούν να διαχωριστούν σε δυο κατηγορίες:

1. Εναλλάκτης άμεσης επαφής, όπου τα δύο διαφορετικά ρευστά έρχονται σε άμεση επαφή, ανταλλάσσουν θερμότητα και διαχωρίζονται πάλι.
2. Εναλλάκτης έμμεσης επαφής, ή αλλιώς αναγεννητές, όπου τα δύο ρευστά δεν αναμειγνύονται αλλά παραμένουν χωρισμένα λόγω μιας επιφάνειας που παρεμβάλλεται ανάμεσά τους και μέσω αυτής μεταφέρεται θερμότητα. (Varzakas T., 2015)

Οι εναλλάκτες θερμότητας ανάλογα με την πυκνότητα των κατασκευαστικών στοιχείων διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

1. Συμπαγείς εναλλάκτες, οι οποίοι παρουσιάζουν μεγάλη επιφανειακή πυκνότητα.

2. Μη συμπαγείς εναλλάκτες, οι οποίοι δεν παρουσιάζουν μεγάλη επιφανειακή πυκνότητα. (Varzakas T., 2015)

Ανάλογα με το είδος της ροής μέσα στους εναλλάκτες, αυτοί διακρίνονται σε:

1. Ομοροής ή παράλληλης ροής (parallel flow), όπου τα δύο ρευστά ρέουν παράλληλα.
2. Αντιροής (counter flow), όπου τα δυο ρευστά ρέουν αντιπαράλληλα δηλαδή στην ίδια κατεύθυνση αλλά με αντίθετη φορά.
3. Σταυροροής (cross flow), όπου τα δύο ρευστά ρέουν σε κάθετες διευθύνσεις.
4. Σύνθετους, όπου έχουμε συνδυασμό των παραπάνω ροών. (Varzakas T., 2015)

Ανάλογα με την κατασκευή τους οι εναλλάκτες διακρίνονται σε:

1. Εναλλάκτες διπλού αυλού ή διπλού σωλήνα (double pipe heat exchangers). Ο τύπος αυτός είναι ο απλούστερος τύπος εναλλάκτη και αποτελείται από δύο ομόκεντρους σωλήνες με το ένα ρευστό να ρέει διαμέσου του μικρότερου σωλήνα και το δεύτερο στο χώρο που παρεμβάλλεται μεταξύ των σωλήνων. (Varzakas T., 2015)
2. Εναλλάκτες κελύφους και αυλών ή δέσμης σωλήνων με διαφράγματα (shell and tube heat exchangers). Αποτελούν επέκταση του εναλλάκτη διπλού σωλήνα, όπου ο εσωτερικός σωλήνας έχει αντικατασταθεί από δέσμη παράλληλων αυλών και ο εξωτερικός από το κέλυφος. Είναι ο συχνότερα χρησιμοποιούμενος εναλλάκτης στη βιομηχανία διεργασιών και αντιπροσωπεύει τουλάχιστον το 60% των εναλλακτών που χρησιμοποιούνται σήμερα. Οι εναλλάκτες του τύπου αυτού διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον αριθμό των κελυφών (εξωτερικές διαδρομές) και των αυλών (εσωτερικές διαδρομές). Στους εναλλάκτες αυτούς τοποθετούνται συνήθως διαφράγματα στο κέλυφος, τα οποία προκαλούν διαταραχές στη ροή και την καθιστούν τυρβώδη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο συντελεστής συναγωγής του ρευστού που ρέει στο κέλυφος.
3. Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας (plate heat exchangers), οι οποίοι

αποτελούνται από μία συστοιχία αυλακωτών μεταλλικών πλακών πιεσμένες μέσα σε ένα πλαίσιο.

4. Σπειροειδείς εναλλάκτες (spiral heat exchangers), στους οποίους τα ρευστά ρέουν σε σπειροειδείς επιφάνειες, οι οποίες διαχωρίζονται από υπερυψωμένες προεξοχές και σφραγίζονται με δύο πλάκες άκρων.
5. Εναλλάκτες αποξεώμενης επιφάνειας (Scraped Surface Heat Exchanger): αποτελούνται από ένα εξωτερικό διπλό σωλήνα μέσα στον οποίο κυκλοφορεί το θερμαντικό μέσο και ένα εσωτερικό άξονα με λεπίδες με τη βοήθεια του οποίου το προϊόν προς θερμική επεξεργασία ωθείται και απλώνεται σε πολύ λεπτή στοιβάδα στα τοιχώματα του σωλήνα.
6. Ανάλογα με τη φύση της εκάστοτε εφαρμογής, χρησιμοποιούνται και άλλου είδους εναλλάκτες όπως οι εναλλάκτες προεκτεταμένης επιφάνειας με πτερύγια, οι εναλλάκτες αερίου-αερίου, οι αερόψυκτοι εναλλάκτες, οι συμπυκνωτές (condensers), οι εξατμιστήρες (evaporators) και οι αναγεννητές (regenerators). Επιπροσθέτως υπάρχουν εναλλάκτες που εντοπίζονται στην καθημερινότητα, όπως οι λέβητες (boilers), οι βραστήρες, τα κλιματιστικά ή τα σώματα καλοριφέρ. (Varzakas T., 2015)

Τέλος ανάλογα με το μηχανισμό μεταφοράς της θερμότητας οι εναλλάκτες διακρίνονται σε:

1. Συναγωγής μιας φάσης και από τις δύο πλευρές.
2. Συναγωγής μιας φάσης από τη μια πλευρά και συναγωγής δύο φάσεων από την άλλη.
3. Συναγωγής δύο φάσεων και από τις δύο πλευρές.
4. Συνδυασμένης συναγωγής και μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία. (Varzakas T., 2015)

2.2. Προβλήματα κατά τη χρήση εναλλακτών

Ο εναλλάκτης όπως προαναφέραμε είναι συσκευή στην οποία έχουμε μεταφορά θερμικής ενέργειας μεταξύ δύο ρευστών. Συχνά τα ρευστά αυτά περιέχουν διάφορες ουσίες που βοηθούν στην ανάπτυξη μικροοργανισμών με αποτέλεσμα μετά από μια χρονική περίοδο λειτουργίας του εναλλάκτη οι επιφάνειες του να καλύπτονται από άλατα ή ακόμα και να διαβρώνονται. (Μπλούκας Ι. Γ. , 2004)

Τα άλατα έχουν συνήθως, πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι ένα λεπτό στρώμα αλάτων μπορεί να προκαλεί μια πρόσθετη αντίσταση στη μετάδοση της θερμότητας, μειώνοντας έτσι τη συνολική απόδοση του εναλλάκτη. Η διαδικασία της εναπόθεσης των αλάτων στις διαχωριστικές επιφάνειες ονομάζεται ρύπανση, ενώ η αντίσταση στη μετάδοση της θερμότητας που προκαλείται από τις αποθέσεις των αλάτων ονομάζεται αντίσταση ρύπανσης. (Μπλούκας Ι. Γ. , 2004)

Για την αντιμετώπιση των εναποθέσεων των αλάτων στους εναλλάκτες θερμότητας το σημαντικότερο βήμα είναι ο σωστός σχεδιασμός τους, ο οποίος πρέπει να περιλαμβάνει, την επιλογή του κατάλληλου τύπου εναλλάκτη θερμότητας, την αναζήτηση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας, όπως για παράδειγμα τη βέλτιστη ταχύτητα ροής των ρευστών και την όσο το δυνατόν καλύτερη κατασκευή του εναλλάκτη. (Βαρζάκας, Φιλιππαίου, 2012)

2.3. Οι εναλλάκτες θερμότητας στη βιομηχανία τροφίμων

Οι εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων κατά την παστερίωση καθώς εξασφαλίζουν ασφατικές συνθήκες επεξεργασίας. Πρόκειται για μια οικονομική μέθοδο παστερίωσης χωρίς να απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας. (Ohlsson, Bengtsson, 2000)

Οι εναλλάκτες διπλού σωλήνα, τυρβώδους ροής, πλακών και κελύφους και αυλών και αποξέομενης επιφάνειας, χρησιμοποιούνται κυρίως για την επεξεργασία χυμών φρούτων, γάλακτος και γαλακτοκομικών προϊόντων. (Βαρζάκας, Φιλιππαίου, 2012)

Αυτοί οι εναλλάκτες θερμότητας ενδείκνυνται για προϊόντα που παρουσιάζουν ευαισθησία στην υψηλές θερμοκρασίες καθώς εξασφαλίζουν υψηλό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας και μικρό χρόνο παραμονής του προϊόντος σε αυτούς. (Ohlsson, Bengtsson, 2000)

Στους εναλλάκτες διπλού σωλήνα το τρόφιμο διέρχεται μεταξύ του κενού χώρου του σωλήνα μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το θερμαντικό μέσο (συνήθως νερό ή ατμός) και με την κυκλοφορία, την κατάλληλη διάταξη, και τη γεωμετρία των σωλήνων επιτυγχάνονται υψηλοί συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και ομοιόμορφη θέρμανση του διερχόμενου προϊόντος σε λιγότερο χρόνο. Το ίδιο συμβαίνει και στους εναλλάκτες τυρβώδους ροής όμως λόγω αυτού του είδους ροής επιτυγχάνεται μεγαλύτερος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας σε ακόμα μικρότερο χρονικό διάστημα. (Ohlsson, Bengtsson, 2000)

Στους εναλλάκτες πλακών το τρόφιμο διέρχεται μεταξύ των κενών χώρων των πλακών μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το θερμαντικό μέσο (συνήθως νερό ή ατμός). Με αυτόν τον τύπο εναλλάκτη επιτυγχάνονται επίσης υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας αλλά συνίστανται στην θερμική επεξεργασία χαμηλού ιξώδους προϊόντων. (Βαρζάκας, Φιλιππαίου, 2012)

Η επεξεργασία στους εναλλάκτες κελύφους και αυλών ενδείκνυται για ρευστά με μέτριο ιξώδες όταν απαιτείται μεγάλη επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας, εξασφαλίζουν επεξεργασία σε συνθήκες υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών χωρίς να εκτίθεται ιδιαίτερα το τρόφιμο. Το κόστος του είναι σχετικά μικρότερο από τους υπόλοιπους εναλλάκτες θερμότητας. (Ohlsson T. ,Bengtsson N. , 2000)

Η επεξεργασία στους εναλλάκτες αποξέωμενης επιφάνειας γίνεται κυρίως για πολύ παχύρρευστα υγρά ή με σύνθεση τέτοια που να ευνοούν επικαθίσεις στα τοιχώματα οπότε οι περιστρεφόμενες λεπίδες του τα απομακρύνουν και επιτρέπουν τη συνεχή λειτουργία του. Μπορεί να τοποθετούνται είτε σε οριζόντια είτε σε κάθετη διάταξη περιορίζοντας την ανάγκη μεγάλης διαθέσιμης επιφάνειας στο εργοστάσιο. (Ohlsson,Bengtsson, 2000)

3. ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΥΡΒΩΔΟΥΣ ΡΟΗΣ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ EDIBON

Στα επόμενα υποκεφάλαια παρατίθεται το εγχειρίδιο χρήσης του εναλλάκτη θερμότητας τυρβώδους ροής (turbulent flow heat exchanger) όπως δόθηκε από την εταιρία Edibon.

3.1. Περιγραφή εξοπλισμού

Στα παρακάτω υποκεφάλαια παρουσιάζεται λεπτομερώς ο παρεχόμενος εξοπλισμός.

3.1.1. Εισαγωγή

Ο εναλλάκτης θερμότητας νερού-νερού τυρβώδους ροής που αναπτύχθηκε από την EDIBON S.A μας επιτρέπει τη μελέτη της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του θερμού νερού που κυκλοφορεί μέσα από ένα εσωτερικό σωλήνα και του κρύου νερού που ρέει διαμέσου της δακτυλιοειδούς ζώνης μεταξύ των εσωτερικών και των εξωτερικών σωλήνων. (Edibon, 2010)

Ο εξοπλισμός αποτελείται από δύο μέρη, τη βασική μονάδα και τον εναλλάκτη θερμότητας ομόκεντρου σωλήνα.

Η βασική μονάδα εκτελεί τις ακόλουθες διεργασίες:

1. Θέρμανση του νερού.
2. Μέτρηση της ροής του θερμού και κρύου νερού.
3. Άντληση ζεστού νερού.
4. Αλλαγή της κατεύθυνσης ροής κρύου νερού.

Ο εναλλάκτης θερμότητας ομόκεντρου σωλήνα μας επιτρέπει να μετρήσουμε τις θερμοκρασίες του κρύου καθώς και του ζεστού νερού σε διάφορα σημεία του εναλλάκτη. (Edibon,2010)

Η μονάδα βάσης και ο εναλλάκτης ενώνονται από εύκαμπτους σωλήνες έτσι ώστε το κρύο και το ζεστό νερό να κυκλοφορούν ελεύθερα μέσα στον εναλλάκτη. (Edibon, 2010)

Οι αισθητήρες μας επιτρέπουν να δούμε τις μετρήσεις που έγιναν σε όλη τη διάρκεια της άσκησης: τις θερμοκρασίες στον εναλλάκτη, τη θερμοκρασία στη δεξαμενή νερού και τις ροές του νερού. (Edibon,2010)

3.1.2. Περιγραφή

3.1.2.1. Κύκλωμα ζεστού νερού

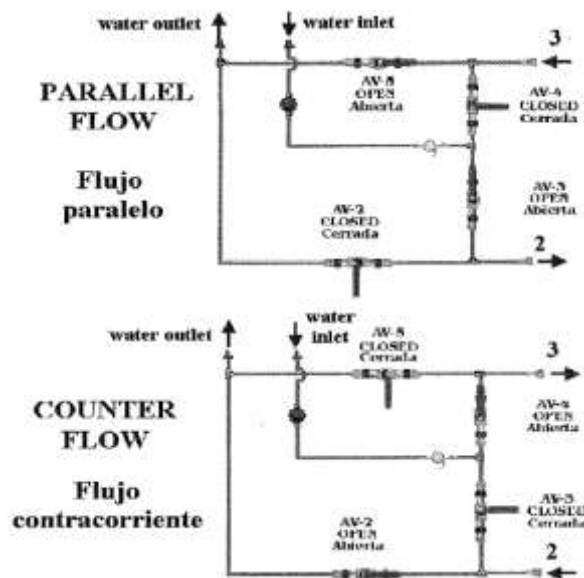
Το ζεστό νερό ρέει μέσω ενός κλειστού κυκλώματος. Ένας ηλεκτρικός αντιστατής (AR-1) βυθισμένος στη δεξαμενή, θερμαίνει το νερό μέχρι μια ορισμένη θερμοκρασία (ST-16). Το νερό μεταφέρεται έξω από τη δεξαμενή με τη βοήθεια μίας αντλίας (AP-1) που το ωθεί. Μέρος του νερού, περνά μέσα από τον εναλλάκτη και ένα άλλο μέρος αυτού γυρίζει πίσω στη δεξαμενή μέσω μιας παράκαμψης. Στη παράκαμψη, υπάρχει μια βαλβίδα για τη ρύθμιση της ροής του ζεστού νερού (AVR-1). Το νερό ψύχεται κατά μήκος του εναλλάκτη και, όταν βγαίνει έξω, περνά μέσα από ένα αισθητήρα ροής (SC-1) για να φθάσει τελικά στη δεξαμενή θέρμανσης και να αρχίσει ένα νέο κύκλο. (Edibon,2010)

Για τον έλεγχο και την αποστράγγιση του ζεστού νερού, το κύκλωμα είναι εξοπλισμένο με 3 σφαιρικές βαλβίδες: 2 στη μονάδα βάσης (AV-1 και AV-6) και 1 στην είσοδο του εναλλάκτη (AV-8). (Edibon,2010)

3.1.2.2. Κύκλωμα κρύου νερού

Το νερό ψύξης προέρχεται από το κύριο δίκτυο, διασχίζει μια βαλβίδα ελέγχου ροής (AVR-2) και αργότερα, περνά μέσα από τον αισθητήρα ροής (SC-2). Στη συνέχεια, το νερό εισέρχεται στον εναλλάκτη, κατά μήκος του οποίου θερμαίνεται. Το νερό εξέρχεται από τον εναλλάκτη και κατευθύνεται προς την αποχέτευση. (Edibon,2010)

Το κρύο νερό μπορεί να εισαχθεί στον εναλλάκτη μέσω και των δύο άκρων, ανάλογα με τη θέση των βαλβίδων (AV-2, AV-3, AV-4 και AV-5), οι οποίες επιτρέπουν να έχουμε ομορροή ή αντιρροή. (Edibon,2010)



Εικόνα 1. Διάταξη βαλβίδων ώστε να επιτευχθεί ομορροή και αντιρροή (Edibon, 2010).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1 για την επίτευξη ομορροής πρέπει οι βαλβίδες AV-3 και AV-5 να είναι σε ανοικτή διάταξη ενώ οι AV-2 και AV-4 σε κλειστή διάταξη.

Όσον αφορά την επίτευξη αντιρροής από το σχήμα 1 φαίνεται ότι οι βαλβίδες AV-3 και AV-5 να είναι σε κλειστή διάταξη, ενώ οι AV-2 και AV-4 σε ανοικτή διάταξη.

3.1.2.3. Εναλλάκτης θερμότητας

Ο εναλλάκτης θερμότητας αποτελείται από δύο ομόκεντρους σωλήνες. Το ζεστό νερό ρέει μέσω του εσωτερικού σωλήνα και το νερό ψύξης κυκλοφορεί διαμέσου του χώρου μεταξύ του εσωτερικού σωλήνα και του εξωτερικού σωλήνα. (Edibon,2010)

Ο εναλλάκτης έχει τρία (3) ίσια κομμάτια, στα οποία λαμβάνει χώρα η μεταφορά θερμότητας, επιτρέποντας μας να μετρήσουμε τις θερμοκρασίες και στα δύο υγρά. (Edibon,2010)

Ο εναλλάκτης έχει 12 αισθητήρες μέτρησης θερμότητας στρατηγικά τοποθετημένους: 5 για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του κρύου νερού (ST-2, 4-ST, ST-6, ST-8, ST-10), 5 για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του ζεστού νερού (ST-1, ST-3, ST-5, ST-7, ST-9), και 2 για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εσωτερικού σωλήνα (ST-11 και ST-12). (Edibon,2010)

Επιπλέον, έχει 2 αποχετεύσεις για να απελευθερώνει τον αέρα που συσσωρεύεται στο κύκλωμα κρύου νερού (AP-2), καθώς και στο κύκλωμα ζεστού νερού (AP-1). (Edibon,2010)

3.1.2.4. Σύστημα ελέγχου

Η θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή ελέγχεται μέσω ενός αντιστάτη που περιορίζει τη θερμοκρασία στους 90 ° C. (Edibon,2010)

Η ροή του κρύου νερού ρυθμίζεται μέσω της βαλβίδας ελέγχου (AVR-2). (Edibon,2010)

Η παροχή του ζεστού νερού ρυθμίζεται μέσω της μεταβολής της ταχύτητας της αντλίας και μέσω της βαλβίδας ρύθμισης που είναι τοποθετημένη στο σημείο της παράκαμψης (AVR-1). (Edibon,2010)

3.1.3. Πρακτικές εφαρμογές

Εφαρμογή 1: Στη μελέτη της παγκόσμιας ενεργειακής ισορροπίας κ της απώλειας

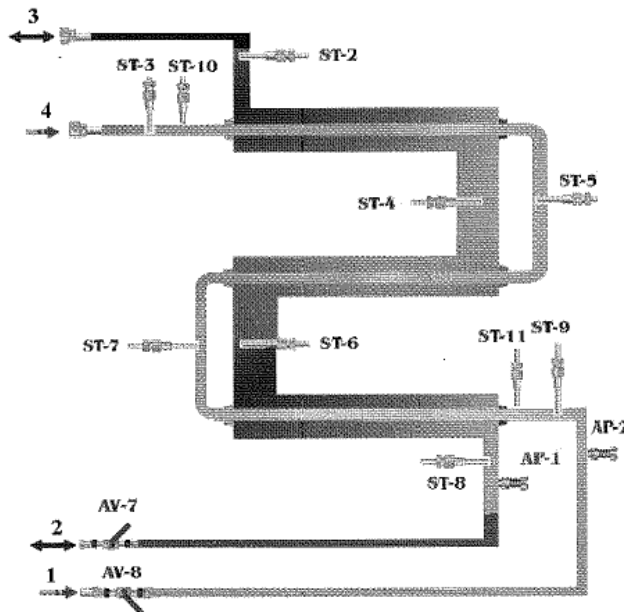
Εφαρμογή 2: Προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας του εναλλάκτη (μέθοδος NTU)

Εφαρμογή 3: Στη μελέτη της μεταφοράς θερμότητας σε συνθήκες ομορροής και αντιρροής.

Εφαρμογή 4: Επίδραση της ροής στην μεταφορά θερμότητας. Υπολογισμός του αριθμού Reynold.

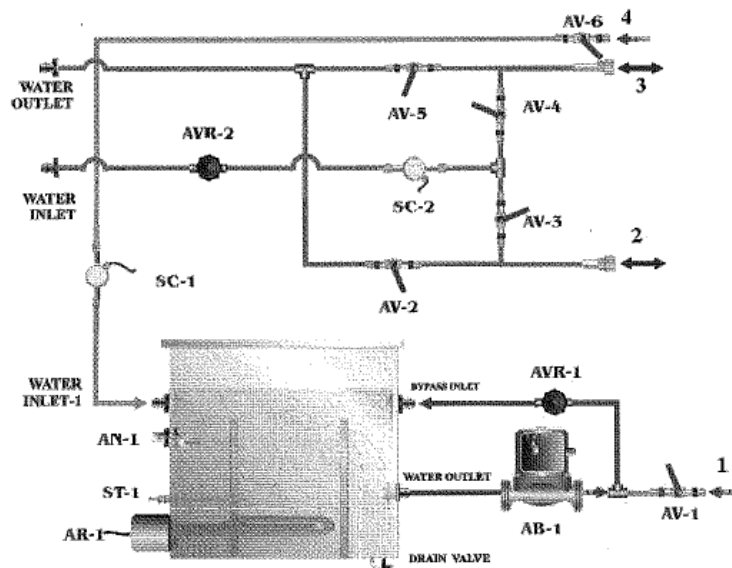
Εφαρμογή 5: Επίτευξη μεταφοράς θερμότητας μέσω διάδοσης θερμότητας. (Edibon, 2010)

3.1.4. Προδιαγραφές



Εικόνα 2. Διάγραμμα του εναλλάκτη. (Edibon, 2010)

Τα σημεία 1, 2, 3 και 4 αντιπροσωπεύουν τις συνδέσεις των εύκαμπτων σωλήνων που ενώνουν τον εναλλάκτη με τη μονάδα βάσης. (Edibon,2010)



Εικόνα 3. Διάγραμμα της μονάδας βάσης του εξοπλισμού. (Edibon, 2010)

Στον παρακάτω πίνακα προσδιορίζονται τα στοιχεία που διατίθενται στην μονάδα TIFT:

Αναγνωριστικά	Περιγραφή
ST-16	Αισθητήρας θερμοκρασίας στη δεξαμενή νερού.
ST-1	Αισθητήρας θερμοκρασίας κρύου νερού στην είσοδο ή στην έξοδο του εναλλάκτη.
ST-2	Αισθητήρας θερμοκρασίας ζεστού νερού στην είσοδο του εναλλάκτη.
ST-3	Αισθητήρας θερμοκρασίας κρύου νερού μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-4	Αισθητήρας θερμοκρασίας ζεστού νερού μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-5	Αισθητήρας θερμοκρασίας κρύου νερού μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-6	Αισθητήρας θερμοκρασίας ζεστού νερού μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-7	Αισθητήρας θερμοκρασίας κρύου νερού μεταξύ του τρίτου και του τελευταίου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-8	Αισθητήρας θερμοκρασίας ζεστού νερού μεταξύ του τρίτου και του τελευταίου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-9	Αισθητήρας θερμοκρασίας κρύου νερού στην είσοδο ή στην έξοδο του εναλλάκτη.
ST-10	Αισθητήρας θερμοκρασίας ζεστού νερού στην έξοδο του εναλλάκτη.
ST-11	Αισθητήρας θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα στην είσοδο του εναλλάκτη.
ST-12	Αισθητήρας θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα στην έξοδο του εναλλάκτη.
SC-1	Αισθητήρας ροής ζεστού νερού.
SC-2	Αισθητήρας ροής κρύου νερού.
AVR-1	Βαλβίδα ρύθμισης της ροής του ζεστού νερού.
AVR-2	Βαλβίδα ρύθμισης της ροής του κρύου νερού.
AN-1	Ράβδος ένδειξης της στάθμης του νερού δεξαμενής.
AR-1	Ηλεκτρική αντίσταση.
AB-1	Φυγόκεντρες αντλίες για την κυκλοφορία θερμού νερού
AP-1	Κύκλωμα απομάκρυνσης κρύου νερού.
AP-2	Κύκλωμα απομάκρυνσης ζεστού νερού.
AV-2, AV-3, AV-4 και AV-5	Βαλβίδες του κυκλώματος του κρύου νερού για να επιτευχθεί ομορροή ή αντιρροή.
AV-1, AV-6, AV-7 και AV-8	Βαλβίδες για την αποστράγγιση των σωλήνων.

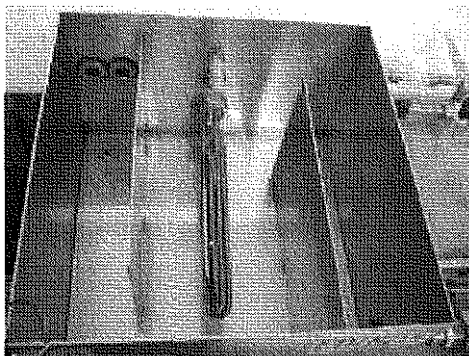
3.1.5. Πλήρωση της δεξαμενής νερού

Πριν προχωρήσουμε στο γέμισμα της δεξαμενής, ελέγχουμε ότι η βαλβίδα αποστράγγισης είναι κλειστή. (Edibon,2010)

Για να γεμίσουμε τη δεξαμενή του ζεστού νερού, εισάγουμε ένα λάστιχο από το δίκτυο ύδρευσης. Για να γίνει αυτό, μπορεί να αφαιρεθεί το κάλυμμα/καπάκι της δεξαμενής, αλλά ακόμα και με το κάλυμμα, ο σωλήνας μπορεί περάσει μέσα απο την τρύπα που βρίσκεται πάνω σε αυτό. (Edibon,2010)

Όταν η στάθμη του νερού φτάσει τον αισθητήρα στάθμης η δεξαμενή μπορεί να θεωρηθεί πλήρης. Αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνεται προσεκτικά. (Edibon,2010)

Σημείωση: Για το νερό που χρησιμοποιείται σε αυτόν τον εξοπλισμό, συνιστάται η χρήση αποιονισμένου ή απεσταγμένου νερού. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγονται τα προβλήματα με άλατα και άσχημα σημάδια. (Edibon,2010)



Εικόνα 4. Το εσωτερικό της δεξαμενής νερού. (Edibon, 2010)

3.1.6. Σύνδεση της μονάδας βάσης με τον εναλλάκτη

Ο εξοπλισμός αποτελείται από δύο κύρια μέρη: τη μονάδα βάσης και τον εναλλάκτη. (Edibon,2010)

Για να συνδέσουμε τα δύο τμήματα μεταξύ τους, υπάρχουν δύο εύκαμπτοι σωλήνες που εξασφαλίζουν τη ροή του νερού κατά μήκος του εξοπλισμού. Αυτοί οι σωλήνες πρέπει να συνδέονται σε μία από τις συνδέσεις της μονάδας βάσης και σε μία από τις συνδέσεις του εναλλάκτη. Η σύνδεση 1 της μονάδας βάσης θα ενωθεί με τη σύνδεση 1

του εναλλάκτη. Προχωρούμε ανάλογα και με τους άλλους τρεις εύκαμπτους σωλήνες. (Edibon,2010)

Για να προσαρμόσουμε μια σύνδεση του εύκαμπτου σωλήνα πρέπει απλά να βιδώσουμε το άκρο του σωλήνα με τη σύνδεση χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο κλειδί. (Edibon, 2010)

3.1.7. Περιγραφή των στοιχείων του εξοπλισμού

3.1.7.1. Εναλλάκτης θερμότητας

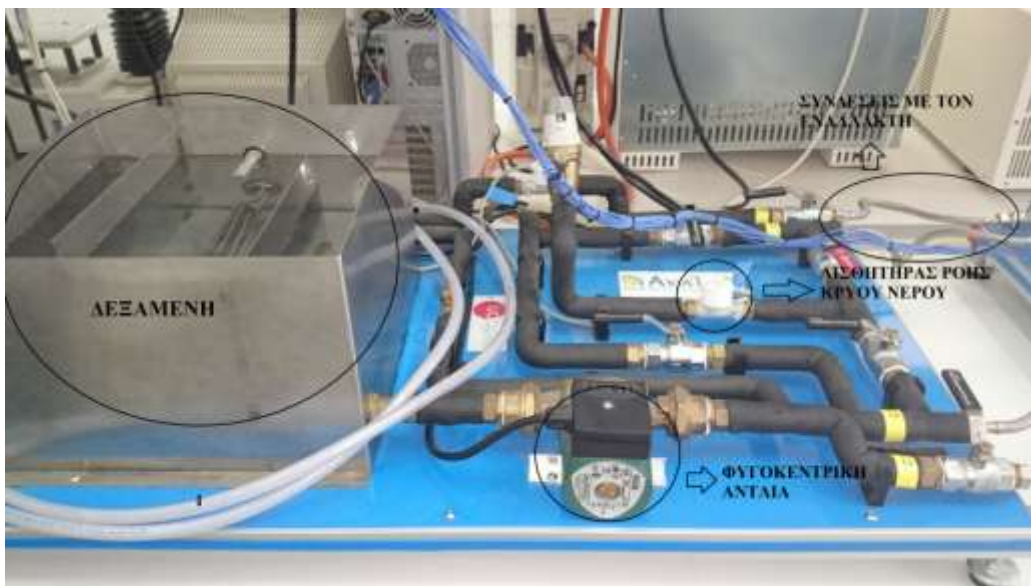
1. Συγκροτείται από δυο ομόκεντρους σωλήνες χαλκού με ζεστό νερό που κυκλοφορεί μέσω του εσωτερικού σωλήνα και κρύου νερού που κυκλοφορεί μέσω του δακτυλιοειδούς χώρου. (Edibon, 2010)
2. Μήκος εναλλάκτη: $L = 3 \times 0,5 = 1,5 \text{ m}$
3. Εσωτερικός σωλήνας:
 - Εσωτερική διάμετρος: $D_{\text{int}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 - Εξωτερική διάμετρος: $D_{\text{ext}} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 - Πάχος = 10^{-3} m
 - Εσωτερική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας: $A_h = 0,0377 \text{ m}^2$
 - Εξωτερική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας: $A_c = 0.0471 \text{ m}^2$
4. Εξωτερικός σωλήνας:
 - Εσωτερική Διάμετρος: $D_{\text{int}} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 - Εξωτερική διάμετρος: $D_{\text{ext}} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 - Πάχος = 10^{-3} m

3.1.7.2. Δεξαμενή θέρμανσης

Η ανοξείδωτη δεξαμενή είναι εξοπλισμένη με:

- Ηλεκτρική αντίσταση (AR-1)
- Αισθητήρα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού (ST-16).

- Διακόπτη στάθμης για τον έλεγχο της στάθμης του νερού της δεξαμενής (AN-1).
- Κάλυμμα από ανοξείδωτο ατσάλι για να αποφεύγεται η επαφή με το ζεστό νερό. Υπάρχει μια τρύπα στο καπάκι για να βλέπουμε τη στάθμη του νερού και μας επιτρέπει να γεμίζουμε τη δεξαμενή.
- Βαλβίδα αποστράγγισης του νερού. Αυτή η βαλβίδα προεξέχει μέσα από μια τρύπα στη δεξαμενή για ευκολία χρήσης. (Edibon, 2010)



Εικόνα 5. Μονάδα βάσης

3.1.7.3. Αντλία (AB-1)

Φυγοκεντρική αντλία με προσαρμογέα ταχύτητας και τρεις θέσεις ισχύος: P1 = 35W, P2 = 55W και P3= 80W. (Edibon, 2010)

3.1.7.4. Αισθητήρες

1. Αισθητήρας ροής:

- Ηλεκτρονικός μετατροπέας ροής που το κυρίως σώμα του είναι φτιαγμένο από το συμπολυμερές ακεταλδεΐδη και έχει αρθρώσεις από συμπιεσμένο ορείχαλκο και στα δύο άκρα.
- Έχει μονάδες: μία για το ζεστό νερό (SC-1) και μια άλλη για το κρύο νερό (SC-2). (Edibon, 2010)

2. Αισθητήρας θερμοκρασίας:

- Θερμοστοιχείο τύπου J μήκους 100mm και διαμέτρου 4 mm.
- 13 μονάδες: μία για τη δεξαμενή νερού (ST-16) και δώδεκα διανέμονται στον εναλλάκτη (ST-1, 2-ST, ST-3, 4-ST, ST5, ST-6, 7-ST, ST8, ST- 9, ST-10, ST-11 και ST-12). (Edibon, 2010)

3.1.7.5. «Διακόπτης» στάθμης

Μια (1) μονάδα για τον έλεγχο της στάθμης του νερού στη δεξαμενή (AN-1). (Edibon, 2010)

3.1.7.6. Σύστημα θέρμανσης

Αντίσταση και θερμοστάτης για τη θέρμανση του νερού στο δοχείο (AR-1). (Edibon, 2010)

3.1.7.7. Έλεγχος ροής

Δύο βαλβίδες ελέγχου με «σώμα» από ορείχαλκο: μία για τον έλεγχο της ροής του κρύου νερού (AVR-2) και μία άλλη για τον έλεγχο της ροής του ζεστού νερού (AVR-1). (Edibon, 2010)

3.1.7.8. Έλεγχος της ροής ψυχρού νερού

Τέσσερις βαλβίδες που, ανάλογα με το πώς θα τις «χειριστούμε», μας επιτρέπουν να έχουμε ομορορή ή αντιρορή στον εναλλάκτη (AV-2, AV-3, AV-4 και AV-5). (Edibon, 2010)

3.1.7.9. Σύστημα αφαίρεσης του αέρα

Δύο πώματα εξαέρωσης με εξαγωνική βίδα τοποθετούνται στον εναλλάκτη: ένα στο κύκλωμα ζεστού νερού (AP-2) και το άλλο στο κύκλωμα ψυχρού ύδατος (AP-1). (Edibon, 2010)

3.1.7.10. Βαλβίδες αποστράγγισης

Τέσσερις βαλβίδες που μας επιτρέπουν την αποστράγγιση των σωλήνων (AV-1, AV-6, AV-7 και AV-8). (Edibon, 2010)

3.1.8. Εξαρτήματα

Τέσσερις εύκαμπτοι σωλήνες για τη σύνδεση του εναλλάκτη θερμότητας με τη μονάδα βάσης, που παρέχονται μαζί με τον εξοπλισμό TIFTC και παράγονται από την εταιρία EDIBON. (Edibon, 2010)

3.1.9. Διαστάσεις και βάρος

1. Μονάδες βάσης

- Καθαρό βάρος: 30kg
- Ύψος: 400 mm
- Πλάτος: 1000 mm
- Βάθος: 500 mm

2. Εναλλάκτης θερμότητας

- Καθαρό βάρος: 20kg
- Ύψος: 200 mm
- Πλάτος: 1000 mm
- Βάθος: 500 mm

3.1.10. Απαιτήσεις λειτουργίας

- Τροφοδοσία: 220V 50Hz (110V 60 Hz). Στην υποδοχή ηλεκτρικής ενέργειας συνιστάται να έχει την κατάλληλη παροχή για την οποία έχει αναπτυχθεί ο εξοπλισμός.
- Παροχή νερού από το δίκτυο.
- Αποχέτευση νερού στο δίκτυο. (Edibon, 2010)

3.2. Θεωρητική βάση

3.2.1. Εισαγωγή

Η θερμότητα είναι η ενέργεια που μεταφέρεται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. Όποτε υπάρχει μία διαφορά θερμοκρασίας, σε δύο ή περισσότερα μέσα, υπάρχει μεταφορά θερμότητας. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας: η αγωγή, η συναγωγή και η ακτινοβολία. (Edibon, 2010)

Αγωγή: Είναι η διαδικασία μεταφοράς θερμότητας μέσω στερεών και στάσιμων υγρών. Ο φυσικός μηχανισμός μεταφοράς, είναι η ενέργεια που προέρχεται από τη διάχυση των μορίων στο μέσο. Η εξίσωση που ποσοτικοποιεί την μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής είναι γνωστή ως νόμος του Fourier. Στην μονοδιάστατη και τη στάσιμη περίπτωση, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μέσω ενός τοιχώματος, θα δίνεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$q = -K \cdot A \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{x} \text{ (Εξίσωση 1)}$$

Όπου: q = ρυθμός μεταφοράς θερμότητας (w)

K = θερμική αγωγιμότητα του τοιχώματος (w/m k)

A = Εμβαδόν διατομής προς την κατεύθυνση της ροής θερμότητας (m^2)

x = Πάχος του τοιχώματος (m)

T_2 = Θερμοκρασία στην ψυχρή επιφάνεια του τοιχώματος (k)

T_1 = Θερμοκρασία στην θερμή επιφάνεια του τοιχώματος (k)

3.2.1.1. Θερμική Αντίσταση

Μια πολύ σημαντική έννοια για να αξιολογηθεί η μεταφορά θερμότητας είναι η δοκιμή της θερμικής αντίστασης. (Edibon, 2010)

Υπάρχει μια αναλογία μεταξύ μεταφοράς θερμότητας και ηλεκτρικού φορτίου. Καθώς έχουμε συνδέσει την ηλεκτρική αντίσταση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, η θερμική αντίσταση μπορεί να είναι συνδεδεμένη με θερμική αγωγιμότητα. (Edibon, 2010)

Όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, ο νόμος του Ohm καθορίζει την αντίσταση ως:

$$R_e = \frac{V_1 - V_2}{I} \quad (\text{Εξίσωση 2})$$

όπου $(V_1 - V_2)$ είναι η διαφορά του ηλεκτρικού δυναμικού και I είναι το ηλεκτρικό ρεύμα.

Στη μεταφορά θερμότητας, μπορούμε να θεωρήσουμε την θερμική αντίσταση ως:

$$R_t = \frac{T_1 - T_2}{q} \quad (\text{Εξίσωση 3})$$

όπου $(T_1 - T_2)$ είναι η διαφορά θερμοκρασίας και q είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας.

Από την εξίσωση 1, μπορούμε να συμπεράνουμε τη θερμική αντίσταση αγωγιμότητας ως:

$$R_{t,cond} = \frac{x}{K \cdot A} \quad (\text{Εξίσωση 4})$$

Συναγωγή: Είναι η διαδικασία μεταφοράς θερμότητας μεταξύ μιας επιφάνειας και ενός ρευστού σε κίνηση σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Είναι ένα αποτέλεσμα της επαλληλίας δυο φυσικών φαινομένων, τη μεταφορά ενέργειας από την τυχαία κίνηση των μορίων (διάχυση) και την ενέργεια που μεταφέρεται από την μακροσκοπική κίνηση του ρευστού (ένας μεγάλος αριθμός μορίων κινούνται μαζί). (Edibon, 2010)

Μπορούμε να κατατάξουμε την μεταφορά θερμότητας με συναγωγή σε εξαναγκασμένη συναγωγή και φυσική συναγωγή. (Edibon, 2010)

Εξαναγκασμένη συναγωγή παράγεται όταν εξωτερικά μέσα, όπως ένας ανεμιστήρας, μία αντλία ή ο ατμοσφαιρικός άνεμος προκαλεί τη ροή. (Edibon, 2010)

Φυσική συναγωγή λαμβάνει χώρα όταν η ροή επάγεται από κυμαινόμενες δυνάμεις, οι οποίες είναι συνέπεια των διαφορών πυκνότητας που προκαλούνται από διαφορές θερμοκρασίας στο ρευστό. (Edibon, 2010)

Ως συνέπεια της αλληλεπίδρασης υγρού-επιφάνειας, μία περιοχή σχηματίζεται στη οποία η ταχύτητα κυμαίνεται από μηδέν στην επιφάνεια σε μια άπειρη τιμή που σχετίζεται με το υγρό. Αυτό είναι το οριακό υδροδυναμικό στρώμα. Επιπλέον, εάν η θερμοκρασία μεταξύ ρευστού και επιφάνειας αλλάξει, ένα οριακό θερμικό στρώμα εμφανίζεται, όπου η θερμοκρασία αλλάζει από τη θερμοκρασία στην επιφάνεια έως την θερμοκρασία του εξωτερικού ρευστού. Το 99% της μεταβίβασης θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας και του υγρού λαμβάνει χώρα σε αυτό το λεπτό στρώμα. (Edibon, 2010)

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή, είναι να καθοριστεί εάν η οριακή στοιβάδα είναι υδροδυναμική ή τυρβώδης, επειδή ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό αυτή την κατάσταση. (Edibon, 2010)

Στη στρωτή/νηματική ροή, η κίνηση του υγρού διατάσσεται με τρόπο τέτοιο ώστε να μπορούν να προσδιοριστούν οι γραμμές ροής στις οποίες κινούνται τα σωματίδια. Αυτή η στρωτή ροή του ρευστού σχετίζεται με χαμηλούς αριθμούς Reynolds, δηλαδή, η αναλογία μεταξύ των αδρανειακών δυνάμεων και του ιξώδους είναι χαμηλή. Με αυτόν τον τρόπο, οι διαταραχές στο υγρό (που προέρχονται από την τραχύτητα της επιφάνειας ή από την ελεύθερη "βούληση" του υγρού) γρήγορα διασκορπίζονται, διατηρώντας διατεταγμένη ροή (στρωτή). (Edibon, 2010)

Εάν ο αριθμός Reynolds είναι υψηλός, οι αδρανειακές δυνάμεις είναι αρκετά μεγάλες ώστε να μεγεθύνει τις διαταραχές που προκαλούνται στη ροή, δημιουργώντας δίνες που υποδεικνύουν μια τυρβώδη ροή στο υγρό. Ακανόνιστη κίνηση και τυχαίες διακυμάνσεις στην ταχύτητα χαρακτηρίζουν την τυρβώδη ροή. (Edibon, 2010)

Λόγω του γεγονότος ότι η διάχυση στην τυρβώδη ροή είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μοριακή διάχυση στη στρωτή ροή, η ταχύτητα και η θερμοκρασία στο οριακό στρώμα είναι πιο ομοιόμορφη στη τυρβώδη ροή, και με αυτό τον τρόπο, οι βαθμίδες θερμοκρασίας και ταχύτητας είναι πολύ μεγαλύτερες. (Edibon, 2010)

Κατά συνέπεια, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι πολύ μεγαλύτερος σε τυρβώδη ροή σε σχέση με τη στρωτή ροή. (Edibon, 2010)

Από την άλλη πλευρά, η υψηλές διαβαθμίσεις της ταχύτητας προκαλούν μεγάλες επιφανειακές εντάσεις, έτσι ώστε να μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι η τυρβώδης ροή

έχει δυσμενή επίδραση για την αύξηση της πίεσης στην κατεύθυνση της ροής. Αυτή η υψηλότερη πίεση θα απαιτήσει πιο ισχυρές αντλίες. (Edibon, 2010)

Αν είμαστε σε μια στρωτή ή τυρβώδης ροή, τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας από συναγωγή μεταξύ μιας επιφάνειας και ένα ρευστού δίνεται από το νόμο ψύξης του Νεύτωνα (Newton's Law of Cooling), που εκφράζεται ως:

$$q = A h (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{Εξίσωση 5})$$

Όπου: q = Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας (w)

h = Συντελεστής μεταφορά θερμότητας με συναγωγή ($w/m^2 \text{ k}$)

A = Περιοχή μεταφοράς θερμότητας (m^2)

T_s = Θερμοκρασία στην επιφάνεια (k)

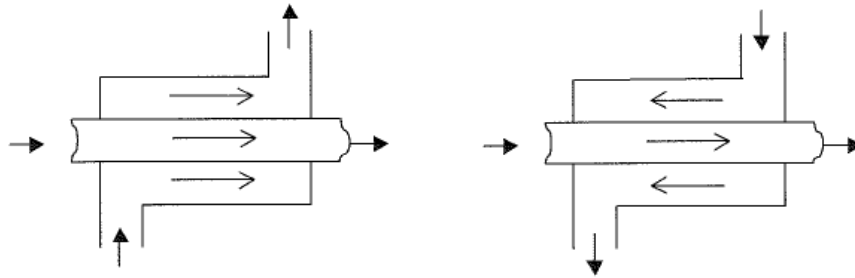
T_{∞} = Θερμοκρασία στο ρευστό (k)

Το οριακό θερμικό στρώμα είναι η λεπτή ζώνη σε επαφή με την επιφάνεια μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η μεταφορά της θερμότητας. Αυτό το στρώμα αντιτίθεται σε μια αντίσταση στη ροή θερμότητας. Με αυτό τον τρόπο, υπάρχει μια αντίσταση συναγωγής ανάλογη με εκείνη της αγωγής:

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_{\infty}}{q} = \frac{1}{h \cdot A} \quad (\text{Εξίσωση 6})$$

3.2.2. Μεταφορά θερμότητας σε εναλλάκτες θερμότητας

Ένας εναλλάκτης θερμότητας είναι μια συσκευή που αναπτύχθηκε από τον άνθρωπο για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών σε διαφορετικές θερμοκρασίες που χωρίζονται από ένα στερεό τοίχωμα. Έχουν πολλές εφαρμογές στη μηχανική και, κατά συνέπεια, υπάρχουν πολλά μοντέλα προσαρμοσμένα σε κάθε απαίτηση. Η απλούστερη μορφή είναι εκείνος που αποτελείται από δύο ομόκεντρους σωλήνες, όπου τα υγρά μπορούν να κινηθούν κατά την ίδια φορά ή με αντίθετη φορά. Στην παράλληλη ροή (ομοροή), το ζεστό και το κρύο νερό εισέρχονται και εξέρχονται από το ίδιο άκρο. Στην αντιροή, τα υγρά εισέρχονται και εξέρχονται από τα αντίθετα άκρα και κυκλοφορούν σε αντίθετη φορά. (Edibon, 2010)



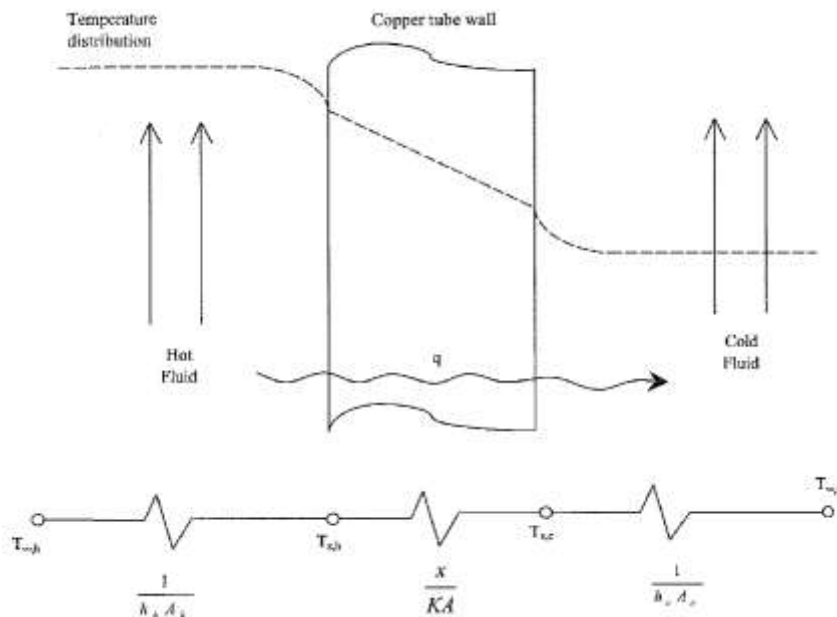
Εικόνα 6. Κίνηση των υγρών σε ομορροή και αντιρροή αντίστοιχα (Edibon, 2010).

3.2.3. Παγκόσμιος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας

Για να παρουσιαστεί το παγκόσμιο φαινόμενο της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των υγρών σε έναν εναλλάκτη, θα πρέπει να δούμε τις θερμικές αντιστάσεις που μπορούν να βρεθούν σε κάθε μέσο. (Edibon, 2010)

Η ροή θερμότητας, που πραγματοποιείται από το θερμό υγρό στο ψυχρό υγρό, πρέπει να υπερνικήσει την αντίσταση που προέρχεται από το οριακό στρώμα του θερμού ρευστού, την αντίσταση που προέρχεται από το διαχωριστικό τοίχωμα και την αντίσταση που προέρχεται από το οριακό στρώμα του ψυχρού ρευστού. (Edibon, 2010)

Αυτές οι τρεις αντιστάσεις σε σειρά σχηματίζουν μια συνολική αντίσταση (R), που είναι το άθροισμα της κάθε μίας από αυτές.



Εικόνα 7. Διαμόρφωση συνολικής αντίστασης. (Edibon, 2010)

Όπου: A_h = περιοχή της επιφάνειας του σωλήνα σε επαφή με το θερμό ρευστό (m^2)
 A_c = εμβαδόν της επιφάνειας του σωλήνα σε επαφή με το κρύο υγρό (m^2)
 $T_{\infty,h}$ = μέση θερμοκρασία του θερμού υγρού (k)
 $T_{\infty,c}$ = μέση θερμοκρασία του ψυχρού ρευστού (k)
 $T_{s,h}$ = θερμοκρασία της επιφάνειας του σωλήνα που βρίσκεται σε επαφή με το θερμό υγρό (k)
 $T_{s,c}$ = θερμοκρασία της επιφάνειας του σωλήνα που βρίσκεται σε επαφή με το κρύο υγρό (k)
 h_h = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του θερμού υγρού ($w / m^2 k$)
 h_c = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του ψυχρού ρευστού ($w / m^2 k$)
 K = θερμική αγωγιμότητα του χαλκού ($w / m k$)
 A = μέσο εμβαδόν του σωλήνα χαλκού (m^2)
 x = πάχος του τοιχώματος του χάλκινου σωλήνα (m)

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας θα είναι:

$$q = \frac{T_{\infty,h} - T_{\infty,c}}{R_t} = \frac{T_{\infty,h} - T_{\infty,c}}{\frac{1}{h_h \cdot A_h} + \frac{x}{K \cdot A} + \frac{1}{h_c \cdot A_c}} \quad (\text{Εξίσωση 7})$$

Ο παγκόσμιος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, U , θα πρέπει να οριστεί ως ένας παράγοντας που, για μια δεδομένη γεωμετρική και υδροδυναμική διαμόρφωση, μας δίνει την τιμή της συνολικής θερμότητας που μεταφέρεται, πολλαπλασιάζοντας την με το εμβαδό ανταλλαγής και τη συνολική διαφορά θερμοκρασίας. (Edibon, 2010)

$$q = U \cdot A \cdot (T_{\infty,h} - T_{\infty,c}) \quad (\text{Εξίσωση 8})$$

όπου, σε σύγκριση με την εξίσωση 7, θα πάρουμε:

$$\frac{1}{U \cdot A} = R_t = \frac{1}{h_h \cdot A_h} + \frac{x}{K \cdot A} + \frac{1}{h_c \cdot A_c} \quad (\text{Εξίσωση 9})$$

Για έναν εναλλάκτη ομόκεντρου σωλήνα μήκους L , στην οποία το θερμό υγρό κυκλοφορεί διαμέσου του εσωτερικού σωλήνα και το κρύο υγρό μέσω του χώρου μεταξύ του εσωτερικού σωλήνα και του εξωτερικού σωλήνα, οι επιφάνειες ανταλλαγής θα είναι $A_h = \pi D_{int} L$ και $A_c = \pi D_{ext} L$ όπου D_{int} και D_{ext} οι εσωτερικοί και εξωτερικοί διάμετροι του εναλλάκτη και, λόγω του γεγονότος ότι το τοίχωμα έχει ένα κυλινδρικό σχήμα, η αντίσταση αγωγής θα πρέπει να εκφράζεται σε κυλινδρικές συντεταγμένες. (Edibon, 2010)

$$\frac{1}{U \cdot A} = R_t = \frac{1}{h_h \cdot \pi \cdot D_{int} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot K} + \frac{1}{h_c \cdot \pi \cdot D_{ext} \cdot L} \quad (\text{Εξίσωση 10})$$

Ενώ ο εναλλάκτης λειτουργεί κανονικά, τα υγρά που μεταφέρουν ακαθαρσίες, με το χρόνο, προσκολλώνται στις επιφάνειες, που σχηματίζουν ένα επιπλέον στρώμα που αυξάνει τη συνολική θερμική αντίσταση. Επειδή έχουμε δύο ρευστά, δύο επιπλέον αντιστάσεις δημιουργούνται οι οποίες ονομάζονται αντιστάσεις μόλυνσης. Αυτές οι αντιστάσεις μεταβάλλονται γιατί αυξάνονται με τον χρόνο εργασίας, πηγαίνοντας από μια χαμηλή τιμή όταν ο εναλλάκτης είναι καινούργιος μέχρι μια μέγιστη τιμή στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του. (Edibon, 2010)

Η αντίσταση που παράγεται από το εσωτερικό ρευστό θα ονομάζεται $R_{f,h}$ και η αντίσταση που παράγεται από το εξωτερικό υγρό, $R_{f,c}$. Εισάγοντας αυτές τις αντιστάσεις στο παγκόσμιο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, θα έχουμε:

$$\frac{1}{U \cdot A} = R_t = \frac{1}{h_h \cdot \pi \cdot D_{int} \cdot L} + R_{f,c} + \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot K} + R_{f,h} + \frac{1}{h_c \cdot \pi \cdot D_{ext} \cdot L} \quad (\text{Εξίσωση 11})$$

Οι πιο σημαντικοί όροι στη συνολική θερμική αντίσταση είναι οι όροι συναγωγής. Λόγω του γεγονότος ότι οι διάμετροι είναι καθορισμένοι, θα είναι θεμελιώδους σημασίας ο προσδιορισμός του παγκόσμιου συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή (h), για να υπολογιστεί η ανταλλαγή θερμότητας. (Edibon, 2010)

3.2.4. Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή (h)

Ο εναλλάκτης θερμότητας λειτουργεί με δύο ρευστά να κινούνται σε γνωστές ταχύτητες. Ως εκ τούτου, η συναγωγή θα είναι εξαναγκασμένη. (Edibon, 2010)

Για να επιτευχθεί ο υπολογισμός του συντελεστή h, θα πρέπει να βασιστούν οι υπολογισμοί μας στην τρισδιάστατη ανάλυση των εξισώσεων Navier-Stokes 's της μηχανικής των ρευστών. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αδιάστατη διαφορά θερμοκρασίας είναι μια συνάρτηση του αριθμού Reynolds (Re), του αριθμού Prandtl (Pr), και της αδιάστατης γεωμετρίας. Αν ο αριθμός Nusselt (Nu) ορίζεται ως η αδιάστατη διαφορά της θερμοκρασίας στην επιφάνεια είναι δυνατόν να οριστεί το Nu ως συνάρτηση του Re, Pr, και της αδιάστατης γεωμετρίας. (Edibon, 2010)

$$Nu = f(Re, Pr, \text{αδιάστατη γεωμετρία}) \text{ (Εξίσωση 12)}$$

Όπου $Re_D = \frac{\rho \cdot u \cdot D}{\mu}$ (Εξίσωση 13) και $Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu \cdot C_p}{K_f}$ (Εξίσωση 14)

είναι: ρ = πυκνότητα του ρευστού (kg / m^3)

u = μέση ταχύτητα του ρευστού σε εγκάρσια τομή του σωλήνα (MIS)

D = εσωτερική διάμετρος του ρευστού (m)

μ = δυναμικό ιξώδες του υγρού ($kg / m \cdot s$)

ν = κινητικό ιξώδες του ρευστού (m^2 / s)

α = θερμική διαχυτότητα του ρευστού (m^2 / s)

C_p = θερμοχωρητικότητα του υγρού ($J / kg \cdot k$)

K_f = θερμική αγωγιμότητα του ρευστού ($w / m \cdot k$)

Σημείωση: Λόγω του γεγονότος ότι οι συνθήκες ροής διαφέρουν από σημείο σε σημείο της επιφάνειας, έτσι το h μπορεί να ποικίλει κατά μήκος της επιφάνειας. Ως εκ τούτου, ένας μέσος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με την ενσωμάτωση του τοπικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας σε ολόκληρη την επιφάνεια. Αυτή η μέση τιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ληφθεί ο μέσος αριθμός Nusselt και το μέσο ποσοστό μεταφοράς θερμότητας, οι μεταβλητές που έχουμε λάβει σε αυτή τη μελέτη (Edibon, 2010).

Ωστόσο, από το νόμο του Νεύτωνα ψύξης και την διαστατική ανάλυση, ο αριθμός Nu μπορεί επίσης να σχετίζεται με την ώρα:

$$h = \frac{Nu_D \cdot K_f}{D} \quad (\text{Εξίσωση 15})$$

3.2.5. Αποκτώντας τον αριθμό Nusselt

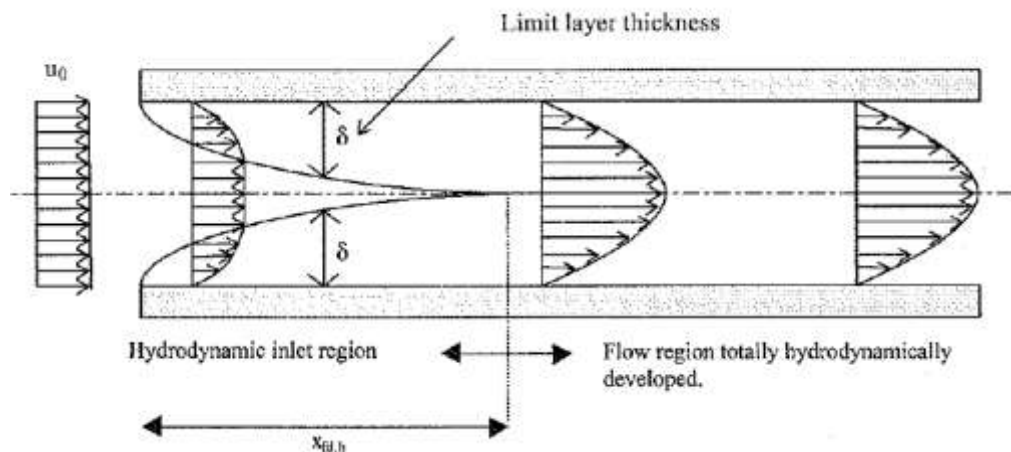
Το κύριο πρόβλημα είναι να βρεθεί η συνάρτηση f της εξίσωσης 12. Ο ευκολότερος τρόπος είναι με τη χρήση εμπειρικών συσχετίσεων, που προκύπτει από μετρήσεις που λαμβάνονται σε εργαστήρια. Αυτοί οι συσχετισμοί έχουν την ακόλουθη αλγεβρική μορφή:

$$Nu_D = C Re_D^m Pr^n \quad (\text{Εξίσωση 16})$$

Οι τιμές C , m , n είναι ανεξάρτητες από την φύση του ρευστού, αλλά μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τη φύση της επιφανειακής γεωμετρίας και του τύπου ροής. (Edibon, 2010)

Για εσωτερική ροή, η οποία είναι η περίπτωση του εναλλάκτη μας, πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά πόσον η ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης, αλλά και η ύπαρξη μίας ζώνης εισαγωγής η οποία είναι εντελώς θερμική καθώς επίσης υδροδυναμικά ανεπτυγμένη. (Edibon, 2010)

Όταν το υγρό εισέρχεται στον σωλήνα, το οριακό στρώμα αρχίζει να αυξάνεται όσο το υγρό κινείται προς τα εμπρός μέσα στο σωλήνα. Μόλις το ολικό εγκάρσιο τμήμα καταλαμβάνεται από το οριακό στρώμα, η υδροδυναμικά αναπτυγμένη περιοχή της ροής μπορεί να γίνει προσβάσιμη. Στην περιοχή αυτή οι ιξώδεις επιδράσεις διαδίδονται σε όλα τα τμήματα και η χαρακτηριστική ταχύτητα δεν αλλάζει καθώς ρέουν κατά μήκος του σωλήνα. Η απόσταση από την είσοδο προς την υδροδυναμικά πλήρως ανεπτυγμένη ζώνη ροής ονομάζεται υδροδυναμικό μήκος εισόδου ($x_{fd, h}$). (Edibon, 2010)



Εικόνα 8. Υδροδυναμικό μήκος εισόδου (Edibon, 2010).

Για να υπολογιστεί η τιμή $x_{fd,h}$ πρέπει να προσδιοριστεί πρώτα αν η ροή είναι τυρβώδης ή στρωτή. Ο κρίσιμος αριθμός Reynolds που αντιστοιχεί στην έναρξη της αναταραχής σε πλήρως ανεπτυγμένες ροές είναι $Re_D, c \approx 2300$ παρόλο που από το $Re_D \approx 1000$ είναι δυνατόν να υπάρξουν πλήρεις τυρβώδεις συνθήκες. (Edibon, 2010)

Προκύπτει ότι:

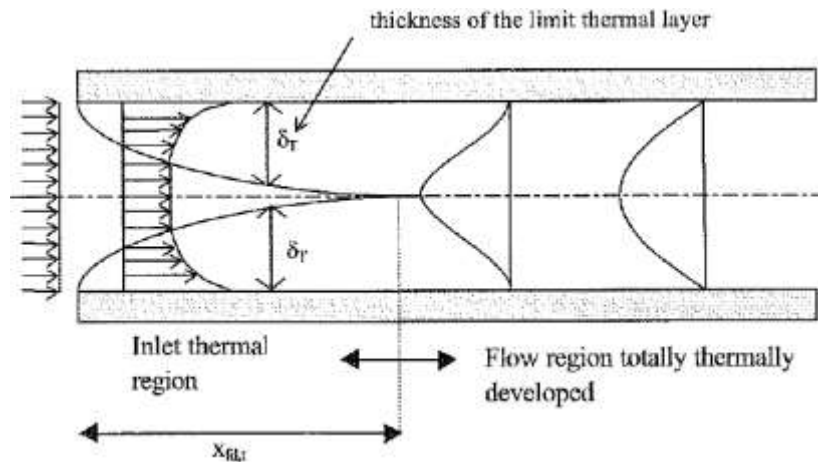
- Στρωτή ροή $\rightarrow x_{fd,h} \approx 0,05 D Re_D$
- Τυρβώδης ροή $\rightarrow 10 D \leq x_{fd,h} \leq 60 D$

Αφού περιγραφούν οι υδροδυναμικές εκτιμήσεις, θα δούμε τις θερμικές επιδράσεις.

Αν η ροή εισόδου σε μία ομοιογενή θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από εκείνη της επιφάνειας του σωλήνα, το οριακό στρώμα αρχίζει να αυξάνεται μέχρι την επίτευξη της θερμικά πλήρως ανεπτυγμένης ροής. Εντός της περιοχής αυτής, τα αποτελέσματα των θερμοκρασιών ποικίλουν κατά μήκος του σωλήνα, αν και η θερμοκρασία της αδιάστατης

παραμέτρου παραμένει σταθερή $\left(\frac{T_s - T}{T_s - T_m} = cte\right)$ (Εξίσωση 17). Όπου T_m είναι η μέση θερμοκρασία στην εγκάρσια τομή του σωλήνα, T_s είναι η θερμοκρασία στην επιφάνεια του σωλήνα και T είναι η θερμοκρασία του ρευστού που ποικίλλει ανάλογα με την απόσταση από την επιφάνεια του σωλήνα. (Edibon, 2010)

Η απόσταση από την είσοδο προς την θερμικά πλήρως ανεπτυγμένη ζώνη ροής ορίζεται ως μήκος της θερμικής εισόδου, $x_{fd,t}$.



Εικόνα 9. Μήκος θερμικής εισόδου (Edibon, 2010)

Οι τιμές για το μήκος της θερμικής εισόδου είναι:

- στρωτή ροή $\rightarrow x_{fd,t} \approx 0.05 D Re_D Pr$
- τυρβώδης ροή $\rightarrow x_{fd,t} \leq 10 D$

Μόλις η ροή οριστεί θερμικά καθώς και υδροδυναμικά, θα είμαστε σε θέση να επιλέξουμε την αντίστοιχη πειραματική συσχέτιση.

Έπειτα, υπάρχουν ορισμένες σημαντικές περιπτώσεις:

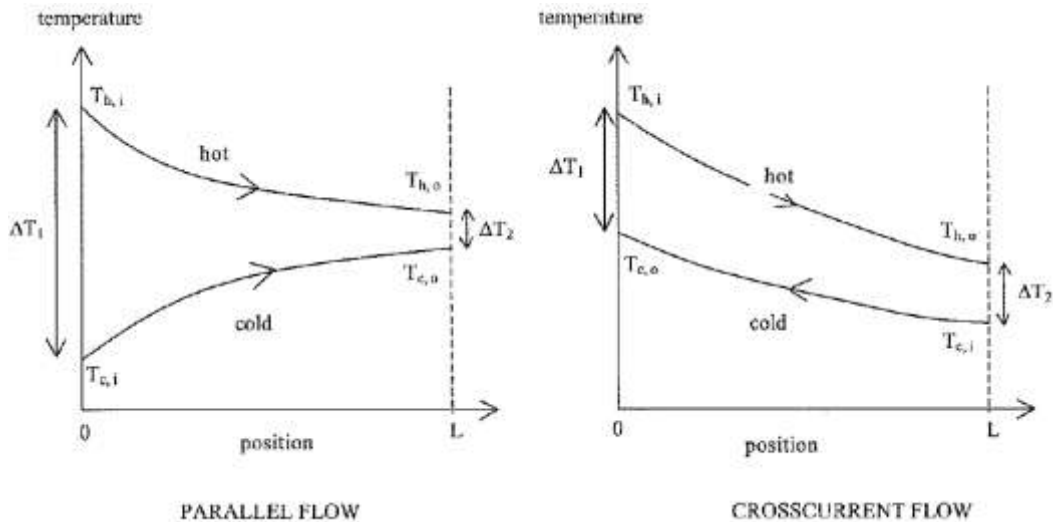
1. Υδροδυναμικά και θερμικά αναπτυγμένες παροχές στρωτής ροής με σταθερή θερμοκρασία στην επιφάνεια, και $Pr < 0,6$: $Nu_D = 3,66$
2. Υδροδυναμικά και θερμικά αναπτυγμένες παροχές στρωτής ροής με σταθερή θερμοκρασία στην επιφάνεια, και $Pr 0.6: Nu_D = 4,36$
3. Υδροδυναμικά και θερμικά πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδης ροή με $0.06 \leq Pr \leq 160$, με τη $Re_D \geq 10000$ και $L/D \geq 10$:

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{0.8} Pr^n \quad (\text{Εξίσωση 18})$$

όπου $n = 0,4$, εάν $T_s > T_m$ (το ρευστό θερμαίνεται) και $n = 0,3$, αν $T_s < T_m$ (το ρευστό ψύχεται).

3.2.6. Κατανομή θερμοκρασίας σε ομόκεντρους εναλλάκτες σωλήνα

Η κατανομή των θερμοκρασιών σε απλούς ομόκεντρους σωληνοειδής εναλλάκτες θερμότητας ομορροής και αντιρροής φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα:



Εικόνα 10. Κατανομή θερμοκρασιών σε ομορροή και αντιρροή (Edibon, 2010)

- $T_{h, in}$ = θερμοκρασία ζεστού υγρού στην είσοδο του εναλλάκτη
- $T_{h, out}$ = θερμοκρασία ζεστού υγρού στην έξοδο του εναλλάκτη
- $T_{c, in}$ = θερμοκρασία κρύου υγρού στην είσοδο του εναλλάκτη
- $T_{c, out}$ = θερμοκρασία κρύου υγρού στην έξοδο του εναλλάκτη

Στον εναλλάκτη ομορροής, η θερμότερη ζώνη του θερμού ρευστού ανταλλάσσει θερμότητα με την ψυχρότερη ζώνη του ψυχρού ρευστού, στην περιοχή εισόδου. (Edibon, 2010)

Στην αρχή, η μεταφορά θερμότητας είναι μεγάλη αφού οι διαφορές θερμοκρασίας είναι στο μέγιστο, αλλά η διαφορά θερμοκρασίας πέφτει γρήγορα κατά μήκος του εναλλάκτη, αδιαβατικά προσεγγίζοντας το μηδέν. (Edibon, 2010)

Θα πρέπει επίσης να τονίσουμε ότι για αυτόν τον τύπο του εναλλάκτη, η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρευστού δεν υπερβαίνει ποτέ τη θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρευστού. (Edibon, 2010)

Σε λειτουργία αντιρροής, η θερμότερη ζώνη των θερμών υγρών ανταλλάσσει θερμότητα με τη θερμότερη ζώνη του ψυχρού ρευστού, και η ψυχρότερη ζώνη του θερμού ρευστού ανταλλάσσει με την ψυχρότερη ζώνη του ψυχρού ρευστού. Αυτή η διαμόρφωση παρέχει μια βέλτιστη μεταφορά θερμότητας κατά μήκος ολόκληρου του εναλλάκτη. Αυτή η διαμόρφωση διατηρεί μια σταθερή διαφορά θερμοκρασίας που επιτυγχάνει συνεπείς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας. Επίσης, η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρευστού μπορεί να υπερβαίνει τη θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρευστού. (Edibon, 2010)

3.2.7. Ο λογαριθμικός μέσος σε διαφορές θερμοκρασίας

Οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ υγρών ποικίλουν κατά μήκος του εναλλάκτη, έτσι μια μέση τιμή είναι το κλειδί. Αυτός ο μέσος όρος αντιπροσωπεύεται από το ΔT_m , και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνολικής ανταλλαγής θερμότητας:

$$q = U A \Delta T_m \text{ (Εξίσωση 18)}$$

Από τις αναλύσεις που έχουν καταγραφεί στα περισσότερα από τα βιβλία που ασχολούνται με τη μεταφορά θερμότητας, μπορούμε να καταλήξουμε ότι η καταλληλότερη μέση διαφορά θερμοκρασίας είναι μια λογαριθμική μέση διαφορά θερμοκρασίας ΔT_{lm} :

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \text{ (Εξίσωση 19)}$$

Όπου: $\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,i}$ και $\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,o}$ στην ομορροή

$\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o}$ και $\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,i}$ στην αντιρροή

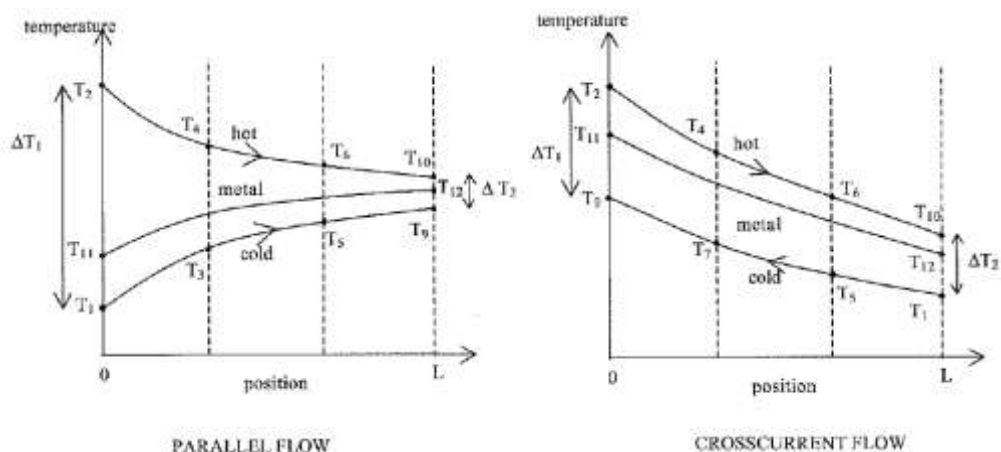
Μπορούμε να δούμε ότι για ίσες θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου το ΔT_{lm} είναι σημαντικότερο για αντιρροής παρότι για ομορροή. Έτσι, η έκταση που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης θερμότητας q είναι μικρότερη για λειτουργία αντιρροής από ό, τι για ομορροής, θεωρώντας την ίδια τιμή U . (Edibon, 2010)

Ο εναλλάκτης του εξοπλισμού αυτού έχει τρία τμήματα που μας επιτρέπουν να μετράμε, εκτός από τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου, δύο ενδιάμεσες θερμοκρασίες στην εξωτερική επιφάνεια του εσωτερικού σωλήνα στην είσοδο αλλά και στην έξοδο. (Edibon, 2010)

Ας εισαγάγουμε την ακόλουθη σημειογραφία των θερμοκρασιών που μπορούν να μετρηθούν στον εναλλάκτη:

T-1	Θερμοκρασία κρύου νερού στην είσοδο ή στην έξοδο του εναλλάκτη.
T-2	Θερμοκρασία ζεστού νερού στην είσοδο του εναλλάκτη.
T-3	Θερμοκρασία κρύου νερού μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου τμήματος του εναλλάκτη.
T-4	Θερμοκρασία ζεστού νερού μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου τμήματος του εναλλάκτη.
T-5	Θερμοκρασία κρύου νερού μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου τμήματος του εναλλάκτη.
T-6	Θερμοκρασία ζεστού νερού μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου τμήματος του εναλλάκτη.
T-7	Θερμοκρασία κρύου νερού μεταξύ του τρίτου και του τελευταίου τμήματος του εναλλάκτη.
T-8	Θερμοκρασία ζεστού νερού μεταξύ του τρίτου και του τελευταίου τμήματος του εναλλάκτη.
T-9	Θερμοκρασία κρύου νερού στην είσοδο ή στην έξοδο του εναλλάκτη.
T-10	Θερμοκρασία ζεστού νερού στην έξοδο του εναλλάκτη.
T-11	Θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα στην είσοδο του εναλλάκτη.
T-12	Θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα στην έξοδο του εναλλάκτη.

Η κατανομή της θερμοκρασίας θα είναι:



Εικόνα 11. Κατανομή θερμοκρασίας (Edibon, 2010)

Ο λογαριθμικός μέσος της μέσης θερμοκρασίας θα είναι:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(T_3 - T_2) - (T_9 - T_8)}{\ln\left(\frac{T_3 - T_2}{T_9 - T_8}\right)} \quad (\text{Εξίσωση 20})$$

3.2.8. Υπολογισμός του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας από το ποσοστό μεταφοράς θερμότητας

Δύο σημαντικές σχέσεις για την ανάλυση του εναλλάκτη θερμότητας είναι η παγκόσμια ενεργειακή ισοστάθμιση τόσο για τα ζεστά όσο και για τα κρύα υγρά. Αγνοώντας τη δυναμική και τη κινητική ενέργεια που αλλάζει κατά μήκος του εναλλάκτη, θα λάβουμε:

- Γενικά ρυθμό μετάδοσης θερμότητας από το θερμό ρευστό:

$$q_h = m_h C_{p_h} (T_3 - T_9) \quad (\text{Εξίσωση 21})$$

- Γενικά ρυθμό μετάδοσης θερμότητας από το κρύο υγρό:

$$q_c = m_c C_{p_c} (T_8 - T_2) \quad (\text{Εξίσωση 22})$$

όπου m_h και m_c είναι οι μαζικές ροές (kg / s), και C_{p_h} και το C_{p_c} είναι οι ειδικές θερμότητες των ζεστών και των κρύων υγρών.

Σημείωση: Θεωρητικά το q_h θα πρέπει να ισούται με το q_c , αλλά λόγω των περιβαλλοντικών απωλειών ενέργειας και, επίσης, λόγω των ενόργανών και παρατηρητικών σφαλμάτων στις μετρήσεις, δεν είναι πάντα ίσα. (Edibon, 2010)

Έχουμε ήδη αποκτήσει άλλη σημαντική έκφραση για τη μεταφορά θερμότητας που αντλείται από το νόμο ψύξης του Νεύτωνα με τη χρήση U αντί του h :

$$q = U A \Delta T_{lm} \quad (\text{Εξίσωση 23})$$

Αν ληφθεί q από την εξίσωση 21 ή 22 (η εξίσωση 21 μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφού η επίδραση της απώλειας του θερμού ρευστού στο περιβάλλον είναι λιγότερη. Το θερμό ρευστό περιβάλλεται από το κρύο υγρό, ενώ το τελευταίο είναι σε επαφή με την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα), ο παγκόσμιος συντελεστής μετάδοσης θερμότητας πολλαπλασιαζόμενος με την επιφάνεια μεταφοράς θα είναι:

$$U \cdot A = \frac{q_h}{\Delta T_{lm}} = \frac{q_h}{\frac{(T_3 - T_2) - (T_9 - T_8)}{\ln\left(\frac{T_3 - T_2}{T_9 - T_8}\right)}} \quad (\text{Εξίσωση 24})$$

Σημείωση: Το U μπορεί να υπολογιστεί με τη λήψη μίας μέσης τιμής της περιοχής

μεταφοράς θερμότητας, $A_m = \pi \cdot L \cdot \frac{D_{int} + D_{ext}}{2}$ (Εξίσωση 25) , όπου D_{int} και D_{ext} είναι οι εσωτερικές και εξωτερικές διαμέτροι του εσωτερικού σωλήνα και L είναι το μήκος του εναλλάκτη. (Edibon, 2010)

Το μέτρο των θερμοκρασιών στην εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα θα μας δώσει τη δυνατότητα να αξιολογήσουμε τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή μεταξύ του ψυχρού ρευστού και της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα (h_c) και τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με μεταγωγή μεταξύ του θερμού ρευστού και της εσωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα (h_h). (Edibon, 2010)

Επιπλέον, μπορούμε να ορίσουμε τη μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του ψυχρού και του θερμού υγρού και της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα $(\Delta T_{lm})_{cold}$ και της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα $(\Delta T_{lm})_{hot}$. (Edibon, 2010)

$$(\Delta T_{lm})_{cold} = \frac{(T_{11} - T_{c,o}) - (T_{12} - T_{c,i})}{\ln\left(\frac{T_{12} - T_{c,o}}{T_{11} - T_{c,i}}\right)} \quad (\text{Εξίσωση 26})$$

$$(\Delta T_{lm})_{hot} = \frac{(T_2 - T_{11}) - (T_{10} - T_{12})}{\ln\left(\frac{T_2 - T_{11}}{T_{10} - T_{12}}\right)} \quad (\text{Εξίσωση 27})$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με μεταγωγή μεταξύ του ψυχρού ρευστού και της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα (h_c):

$$h_c = \frac{q_h}{A_c \cdot (\Delta T_{lm})_{cold}} \quad (\text{Εξίσωση 28})$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με μεταγωγή μεταξύ του θερμού υγρού και της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα (h_h):

$$h_c = \frac{1}{A_h \cdot \left(\frac{(\Delta T_{lm})_{hot}}{q_h} - \frac{x}{K \cdot A_m} \right)} \quad (\text{Εξίσωση 29})$$

Αν δεν λάβουμε υπόψη την αντίσταση της αγωγιμότητας του τοιχώματος του εσωτερικού σωλήνα ενάντια στην αντίσταση της μεταφοράς, ο συντελεστής θα απλοποιηθεί σε:

$$h_h = \frac{q_h}{A_h \cdot (\Delta T_{lm})_{hot}} \quad (\text{Εξίσωση 30})$$

3.2.9. Μέθοδος NTU-αποτελεσματικότητας για την ανάλυση του εναλλάκτη θερμότητας.

Εάν οι θερμοκρασίες εξόδου του εναλλάκτη θερμότητας είναι άγνωστες, για να υπολογιστεί ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας από τη λογαριθμική μέση διαφορά θερμοκρασίας θα πρέπει να λυθεί το πρόβλημα με επαναληψιμότητα, ξεκινώντας από μια κατά προσέγγιση τιμή μιας από τις θερμοκρασίες. Αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι αργή και δαπανηρή. Χρησιμοποιώντας όμως τη μέθοδο NTU-αποτελεσματικότητας μπορεί να αποδειχθεί αρκετά πιο βολική. (Edibon, 2010)

Πρώτα μπορούμε να ορίσουμε την αποτελεσματικότητα ως τον συντελεστή που ανταλλάσσεται μεταξύ της θερμότητας στην πραγματικότητα και το μέγιστο που μπορεί να μεταφερθεί σε μια περιοχή του εναλλάκτη της αντιρροής.

$$\varepsilon = \frac{q_{real}}{q_{maximum}} \quad (\text{Εξίσωση 31})$$

όπου $q_{\max} = m_h C_{p_h} (T_{h,i} - T_{c,i})$ όταν $m_h C_{p_h} < m_c C_{p_c}$ επειδή το ζεστό υγρό μπορεί να εμφανίσει τη μεγαλύτερη αλλαγή στη θερμοκρασία και $q_{\max} = m_c C_{p_c} (T_{h,i} - T_{c,i})$ όταν $m_c C_{p_c} < m_h C_{p_h}$ επειδή το κρύο υγρό μπορεί να εμφανίσει την υψηλότερη μεταβολή της θερμοκρασίας, που είναι $(T_{h,i} - T_{c,i})$ η υψηλότερη δυνατή διαφορά θερμοκρασίας που μπορεί να εμφανίσει ένα από αυτά τα ρευστά. (Edibon, 2010)

Ως εκ τούτου, η αποτελεσματικότητα μπορεί να είναι:

$$\varepsilon = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \text{ if } m_h C_{p_h} < m_c C_{p_c} \quad (\text{Εξίσωση 32})$$

$$\varepsilon = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \text{ if } m_c C_{p_c} < m_h C_{p_h} \quad (\text{Εξίσωση 33})$$

Ο αριθμός των μονάδων μετάδοσης (NTU) είναι μία αδιάστατη παράμετρος που χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση εναλλακτών θερμότητας που ορίζεται ως:

$$NTU = \frac{U \cdot A}{(m \cdot Cp)_{\min}} \quad (\text{Εξίσωση 34})$$

από την άλλη πλευρά, μπορούμε να ορίσουμε το συντελεστή δυναμικότητας (C_R) ως εξής:

$$C_R = \frac{(m \cdot Cp)_{\min}}{(m \cdot Cp)_{\max}} \quad (\text{Εξίσωση 35})$$

το ε μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση του C_r και του NTU:

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NTU \cdot (1 + C_r)}}{1 + C_R} \quad (\text{Εξίσωση 36}), \text{ για εναλλάκτη θερμότητας ομοροής.}$$

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NTU \cdot (1 - C_r)}}{1 - C_R \cdot e^{-NTU \cdot (1 - C_r)}} \quad (\text{Εξίσωση 37}), \text{ για εναλλάκτη θερμότητας αντιρροής.}$$

Αφού υπολογιστεί η αποτελεσματικότητα, οι θερμοκρασίες στην έξοδο του εναλλάκτη θα είναι:

$$\left. \begin{aligned} T_{h,o} &= T_{h,i} - \varepsilon (T_{h,i} - T_{c,i}) \\ T_{c,o} &= T_{c,i} + C_R (T_{h,i} - T_{h,o}) \end{aligned} \right\} \text{ if } m_h C_{p_h} < m_c C_{p_c} \quad (\text{Εξίσωση 38})$$

$$\left. \begin{aligned} T_{c,o} &= T_{c,i} + \varepsilon (T_{h,i} - T_{c,i}) \\ T_{h,o} &= T_{h,i} - C_R (T_{c,o} - T_{c,i}) \end{aligned} \right\} \text{ if } m_c C_{p_c} < m_h C_{p_h} \quad (\text{Εξίσωση 39})$$

3.3. Προειδοποιήσεις, κύριες οδηγίες

- Αποφεύγετε την επαφή με την δεξαμενή θέρμανσης επειδή μπορεί να πιάσει θερμοκρασίες άνω των 70 ° C.
- Μην ανοίγετε τη βαλβίδα της δεξαμενής θέρμανσης αποστράγγισης όταν η δεξαμενή είναι γεμάτη.
- Γεμίστε τη δεξαμενή νερού πάνω από το διακόπτη στάθμης.
- Μην αφαιρείτε την τάπα από τη δεξαμενή κατά την εκτέλεση του πειράματος.
- Επιβεβαιώστε τη σωστή θέση των βαλβίδων πριν από την έναρξη κάθε πειραματικής διαδικασίας.
- Βεβαιωθείτε ότι ο υπολογιστής και οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι με τις σωστές διασυνδέσεις . Εκτελέστε και το πρόγραμμα SCADA. (Edibon, 2010)

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η πειραματική διαδικασία, καθώς επίσης παρατίθενται και επεξεργάζονται τα αποτελέσματα έπειτα από τη διεξαγωγή του πειράματος.

4.1. Υλικά-Μέθοδοι

- Απιονισμένο νερό
- 30lt νέκταρ χυμού πορτοκαλιού
- Συσκευή άντλησης (αντλία)
- Πλαστικοί σωλήνες
- Πλαστικός περιέκτης
- Βασική μονάδα εναλλάκτη θερμότητας της εταιρείας Edibon
- Εναλλάκτης θερμότητας της εταιρείας Edibon
- Ηλεκτρονικός υπολογιστής
- Σύστημα ελέγχου εναλλάκτη θερμότητας της Edibon συνδεδεμένο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή
- Λογισμικό ελέγχου που παρέχεται από την εταιρεία Edibon

4.2. Συνδεσμολογία

Η βασική μονάδα συνδέεται με τον εναλλάκτη θερμότητας με τη βοήθεια τεσσάρων εύκαμπτων σωλήνων που περιλαμβάνονται στο σετ εξοπλισμού της Edibon .

Για την επίτευξη αντιρροής, οι βαλβίδες στη βασική μονάδα διατάσσονται όπως φαίνονται στον πίνακα 1:

Πίνακας 1. Κατάσταση βαλβίδων για επίτευξη αντιρροής.

ΒΑΛΒΙΔΑ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
AV-1	ΑΝΟΙΧΤΗ
AV-2	ΑΝΟΙΧΤΗ
AV-3	ΚΛΕΙΣΤΗ
AV-4	ΑΝΟΙΧΤΗ
AV-5	ΚΛΕΙΣΤΗ
AV-6	ΑΝΟΙΧΤΗ

Οι αισθητήρες συνδέθηκαν στις αντίστοιχες υποδοχές του συστήματος ελέγχου του εναλλάκτη και λόγω συνδεσμολογίας παίρνουν τις παρακάτω μετρήσεις όπως φαίνεται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Μετρήσεις αισθητήρων

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ	ΜΕΤΡΗΣΗ
ST-16	Θερμοκρασία νερού δεξιάμενης.
ST-1	Θερμοκρασία χυμού στην έξοδο του εναλλάκτη.
ST-2	Θερμοκρασία νερού στην είσοδο του εναλλάκτη.
ST-3	Θερμοκρασία χυμού μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-4	Θερμοκρασία νερού μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-5	Θερμοκρασία χυμού μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-6	Θερμοκρασία νερού μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-7	Θερμοκρασία χυμού μεταξύ του τρίτου και του τελευταίου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-8	Θερμοκρασία νερού μεταξύ του τρίτου και του τελευταίου τμήματος του εναλλάκτη.
ST-9	Θερμοκρασία χυμού στην είσοδο του εναλλάκτη.
ST-10	Θερμοκρασία νερού στην έξοδο του εναλλάκτη.
ST-11	Θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα στην είσοδο του εναλλάκτη.
ST-12	Θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα στην έξοδο του εναλλάκτη.
SC-1	Ροή νερού.
SC-2	Ροή χυμού.

Οι πλαστικοί σωλήνες που βρίσκονται συνδεδεμένοι στη βασική μονάδα του εναλλάκτη τοποθετήθηκαν μέσα στον πλαστικό περιέκτη, ο οποίος εμπεριέχει τη συσκευή άντλησης χυμού, με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθεί κλειστό κύκλωμα στον εναλλάκτη θερμότητας.

4.3. Πειραματική πορεία

Για τον έλεγχο της λειτουργίας του εναλλάκτη θερμότητας, έγινε δοκιμή με απιονισμένο νερό.

- Σύνδεση του εναλλάκτη (σε κλειστή διάταξη βαλβίδων), με τη βασική μονάδα (σε διάταξη αντιπαράλληλης ροής όπως φαίνεται στον πίνακα).
- Πλήρωση της δεξαμενής της βασικής μονάδας του εναλλάκτη με απιονισμένο νερό.
- Έναρξη λειτουργίας του ηλεκτρονικού υπολογιστή και του συστήματος ελέγχου της Edibon.
- Μέσω του προγράμματος της Edibon στον ηλεκτρονικό υπολογιστή γίνεται:
 1. Ρύθμιση της θερμοκρασίας νερού στους 70°C.
 2. Ρύθμιση της ροής της αντλίας στην επιθυμητή ταχύτητα (ταχύτητες 1 έως 4).
 3. Ρύθμιση λήψης μετρήσεων ανά 2 δευτερόλεπτα για 4 λεπτά συνολικά.
- Αναμονή έως ότου η θερμοκρασία νερού της δεξαμενής πλησιάσει την επιθυμητή.
- Πλήρωση του πλαστικού περιέκτη με 30 lt απιονισμένο νερό.
- Τοποθέτηση της αντλίας στον πλαστικό περιέκτη.
- Ρύθμιση των βαλβίδων σε ανοιχτή διάταξη.

- Έναρξη της δοκιμής.
- Λήψη αποτελεσμάτων δοκιμής.
- Καθαρισμός-αποστράγγιση.

Η ανωτέρω διαδικασία επαναλήφθηκε 4 φορές, μία για κάθε διαφορετική ταχύτητα ροής της αντλίας. Το πείραμα διεξήχθη για τις ταχύτητες 1 έως 4 διότι στις ταχύτητες 5-10, λόγω σφάλματος του εναλλάκτη, δεν λαμβάνονταν οι απαιτούμενες μετρήσεις. Η μόνη διαφορά είναι ότι στον πλαστικό περιέκτη τοποθετήθηκαν 30 lt νέκταρ χυμού πορτοκαλιού.

Έπειτα από τη λήψη των αποτελεσμάτων απαιτείται άδειασμα και καθαρισμός του εναλλάκτη από το νέκταρ χυμού πορτοκαλιού για την αποφυγή επικαθίσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με πέρασμα απιονισμένου νερού μέσα στον εναλλάκτη.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Πίνακας 3. Ενδείξεις αισθητήρων στην πρώτη ταχύτητα ροής.

Time(s)	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-9	ST-10	ST-11	ST-12	ST-16	SC-1	SC-2
0	51,87611	48,01356	43,27015	40,28845	38,46969	28,95876	29,5214	29,8251	29,70334	30,00078	28,591	31,04289	69,64744	0,900996	0,583565
15	51,82334	50,10025	44,6367	41,10669	38,49098	30,04663	32,04336	32,93508	33,44337	33,49677	30,35313	32,57963	69,71545	0,917392	0,579767
30	52,2106	50,92361	45,85106	42,82382	40,55148	30,63648	32,98649	34,29448	35,00642	35,27264	31,24824	34,41522	69,59358	0,91351	0,580821
45	52,53861	51,23142	46,2422	43,34443	41,25465	31,10023	33,38992	34,77331	35,5316	35,85141	31,63307	35,22624	69,24663	0,910125	0,578157
60	52,74236	51,34978	46,51263	43,6872	41,70221	31,95306	34,16588	35,48719	36,20875	36,46565	32,37202	35,81052	69,23077	0,91707	0,577452
75	52,90777	51,59595	46,91295	44,20765	42,2743	32,92801	35,16065	36,33513	37,01595	37,30973	33,26514	36,52772	69,26907	0,913748	0,58036
90	53,06347	51,85348	47,30444	44,7346	42,86367	34,06851	36,11231	37,30459	37,91318	38,14222	34,27308	37,29294	69,25787	0,917451	0,581101
105	53,1952	51,99729	47,64564	45,24336	43,44737	35,00772	37,06403	38,1597	38,75211	38,92709	35,18227	38,04142	69,21584	0,921756	0,682823
120	53,29494	52,17201	47,91946	45,63254	43,93706	35,78985	37,76316	38,83151	39,45519	39,56616	35,95902	38,69226	69,40449	0,923004	0,582314
135	53,39103	52,33632	48,28026	46,03869	44,36612	36,58067	38,49225	39,52092	40,11624	40,1823	36,71516	39,3354	69,52676	0,912184	0,577979
150	53,45114	52,5772	48,53058	46,45791	44,86012	37,31885	39,18072	40,19159	40,66596	40,78816	37,40863	39,93534	69,59421	0,916918	0,582036
165	53,57537	52,79453	48,89156	46,85989	45,34095	38,13021	39,86602	40,77582	41,31635	41,37234	38,1341	40,58481	69,55418	0,920024	0,582412
180	53,66597	53,09996	49,19823	47,32338	45,82947	38,84544	40,58027	41,51362	41,96225	42,0014	38,89545	41,30243	69,4501	0,926037	0,583545
195	53,78162	53,37427	49,58739	47,79108	46,33059	39,57516	41,23827	42,07624	42,5774	42,63222	39,53811	41,96306	69,32484	0,917907	0,720948
210	53,81197	53,62346	49,951	48,18569	46,77273	40,27263	41,86153	42,70342	43,21236	43,16394	40,17753	42,52464	69,2713	0,914415	0,79843
225	53,93017	53,84592	50,25803	48,508	47,21832	40,83421	42,44811	43,31378	43,71595	43,71092	40,75403	43,12564	69,40201	0,93131	1,108186
240	54,03276	54,11865	50,598	48,93986	47,65834	41,51066	43,02002	43,87051	44,20027	44,19774	41,35191	43,72677	69,50646	0,923681	1,135938

Πίνακας 4. Ενδείξεις αισθητήρων στη δεύτερη ταχύτητα της αντλίας.

Time(s)	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-9	ST-10	ST-11	ST-12	ST-16	SC-1	SC-2
0	54,00605	53,8387	50,46416	48,96312	47,84094	42,3303	42,94858	43,50315	43,64505	43,61441	41,77871	43,63848	69,59635	0,022557	1,398565
15	54,05321	54,05714	50,83667	49,03694	47,60185	42,86413	44,29078	44,76498	45,00454	44,64003	42,6331	43,88565	69,46635	1,163673	1,613324
30	54,13727	54,88828	51,95843	50,35411	49,2183	43,48369	44,94788	45,83039	46,19465	46,107	43,31898	45,48253	69,59612	1,170362	1,620396
45	54,31366	55,30894	52,40455	50,91149	49,86961	43,7486	45,30315	46,17138	46,68375	46,67574	43,58867	46,17616	69,32048	1,174568	1,681751
60	54,40549	55,58886	52,74574	51,265	50,21395	44,24854	45,81061	46,65667	47,08721	47,02531	44,06097	46,60077	69,26183	1,161343	1,954344
75	54,46576	55,75299	53,05227	51,62606	50,60571	44,87323	46,29912	47,17353	47,52169	47,49584	44,63078	47,07355	69,39014	1,164969	2,03738
90	54,51478	55,91779	53,34145	51,94751	50,98559	45,4301	46,77642	47,66091	47,99581	47,8968	45,17678	47,51605	69,42725	1,177024	2,127931
105	54,55218	56,07603	53,53439	52,26751	51,28798	46,01024	47,33296	48,12431	48,44227	48,40709	45,69737	47,92753	69,44295	1,176461	2,175095
120	54,63987	56,26082	53,84909	52,57391	51,67527	46,60359	47,81662	48,62817	48,91662	48,77712	46,25148	48,40942	69,41499	1,169769	2,255568
135	54,71925	56,43566	54,04224	52,92839	52,06784	47,04824	48,34061	48,99308	49,38696	49,23366	46,68407	48,86541	69,38384	1,182805	2,355804
150	54,80741	56,64301	54,36858	53,16826	52,33541	47,41898	48,6928	49,38555	49,67121	49,5084	47,04121	49,21863	69,41759	1,174497	2,434488
165	54,90329	56,88051	54,57431	53,50165	52,64093	47,86368	49,13453	49,74248	50,0697	49,90573	47,48292	49,53291	69,38387	1,175974	2,62241
180	54,91855	57,0533	54,84565	53,80611	52,95107	48,34129	49,47417	50,20268	50,48739	50,30593	47,90396	49,86869	69,38486	1,184809	2,636241
195	55,00863	57,20131	55,07641	54,03086	53,25696	48,7775	49,9089	50,57146	50,79667	50,66955	48,32011	50,25198	69,42994	1,172407	2,63091
210	55,0664	57,38343	55,31537	54,33135	53,56321	49,17918	50,32692	50,90496	51,18001	50,96558	48,7094	50,63475	69,39101	1,180879	2,862321
225	55,0863	57,59873	55,55598	54,55287	53,82979	49,56136	50,70087	51,27105	51,50382	51,30865	49,08477	50,8472	69,49044	1,174549	2,829286
240	55,18935	57,72493	55,8048	54,82299	54,10859	49,92857	51,01409	51,61488	51,82568	51,65919	49,42061	51,265	69,47058	1,178871	3,031127

Πίνακας 5. Ενδείξεις αισθητήρων στην τρίτη ταχύτητα της αντλίας.

Time(s)	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-9	ST-10	ST-11	ST-12	ST-16	SC-1	SC-2
0	55,46975	58,04903	56,37585	55,76773	55,40305	52,4355	52,5429	52,7926	52,71552	52,52589	51,59111	52,49505	69,23566	0,335757	3,057725
15	55,50475	58,39721	56,72848	55,84978	55,31177	52,35717	53,03914	53,40404	53,41224	53,1101	51,80333	52,48843	69,04401	1,398516	3,096564
30	55,63121	58,91842	57,34931	56,6606	56,0926	52,56808	53,40574	53,90677	54,09348	53,84647	51,97348	53,33323	69,05607	1,403713	3,123736
45	55,71047	59,22416	57,63744	56,981	56,39142	52,68259	53,62194	54,18096	54,34261	54,09286	52,11577	53,72292	69,27018	1,409484	3,125816
60	55,7582	59,26364	57,71825	57,07296	56,49624	52,83068	53,68124	54,27828	54,43144	54,24451	52,27377	53,8349	69,4109	1,399946	3,116053
75	55,76386	59,24921	57,76417	57,08905	56,55787	53,01199	53,92553	54,43952	54,60107	54,40327	52,46932	54,00112	69,66357	1,403396	3,117776
90	55,81229	59,2964	57,8422	57,22912	56,70862	53,2444	54,10059	54,6177	54,76942	54,56447	52,70997	54,21534	69,82771	1,398976	3,123468
105	55,87109	59,31592	57,91988	57,31253	56,85224	53,42856	54,27079	54,74411	54,80739	54,66584	52,88601	54,35506	69,69698	1,394109	3,146638
120	56,08727	59,67897	58,21372	57,65767	57,12511	53,84692	54,61434	55,12971	55,26258	55,07143	53,2767	54,63825	69,31618	1,404361	3,124888
135	56,17476	59,86583	58,43969	57,888	57,36958	54,05247	54,82909	55,33363	55,49715	55,3201	53,54137	54,89959	69,33109	1,406745	3,121517
150	56,11033	59,91075	58,49799	57,97462	57,45246	54,18378	54,95983	55,4794	55,618	55,37167	53,65596	54,98202	69,65786	1,407288	3,10352
165	56,20475	60,10731	58,71411	58,18116	57,61638	54,36041	55,16079	55,71124	55,82436	55,59632	53,81718	55,19237	69,8008	1,413507	3,099275
180	56,38119	60,19867	58,85108	58,28687	57,83914	54,56882	55,37465	55,89579	55,99979	55,79256	54,02227	55,4176	69,63006	1,397555	3,099546
195	56,45931	60,31575	58,94869	58,45873	57,99568	54,85265	55,57351	56,03713	56,17024	55,98612	54,29359	55,62958	69,52147	1,406921	3,112425
210	56,54264	60,41015	59,11134	58,63418	58,13107	55,04068	55,84285	56,27682	56,37374	56,13629	54,44425	55,8065	69,65222	1,400256	3,104996
225	56,65567	60,5319	59,30154	58,82668	58,27953	55,32204	56,0123	56,49065	56,58509	56,33281	54,71926	56,03397	69,51969	1,403513	3,095155
240	56,73778	60,69983	59,43945	58,95353	58,46625	55,5038	56,26223	56,70037	56,7518	56,49394	54,90018	56,14978	69,50079	1,396249	3,070636

Πίνακας 6. Ενδείξεις αισθητήρων στην τέταρτη ταχύτητα της αντλίας.

Time(s)	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-9	ST-10	ST-11	ST-12	ST-16	SC-1	SC-2
0	56,76926	60,37971	59,00096	58,53494	58,09848	55,79923	56,05323	56,31096	56,23924	56,05857	54,9911	55,91179	69,56698	0,022238	3,029049
15	56,80441	60,60243	59,37724	58,76046	58,28125	56,01626	56,55273	56,83999	56,80893	56,44823	55,29563	55,94697	69,58863	1,625193	3,076442
30	56,89831	60,99834	59,81926	59,42019	59,03453	56,12147	56,82021	57,1628	57,33017	57,10393	55,5191	56,62574	69,54196	1,618978	3,067967
45	56,92754	61,26363	60,03307	59,62432	59,31096	56,11743	56,89344	57,40944	57,48196	57,24503	55,51114	56,85385	69,54959	1,636245	3,067958
60	57,07865	61,32383	60,17836	59,72989	59,39502	56,27827	57,00008	57,50672	57,58736	57,37285	55,66943	57,01436	69,54491	1,634106	3,086975
75	57,13161	61,39127	60,29605	59,90665	59,52182	56,44944	57,24032	57,56432	57,75617	57,50995	55,85238	57,13717	69,44494	1,632049	3,098343
90	57,20901	61,53096	60,35629	60,0227	59,58529	56,71157	57,39753	57,81419	57,92844	57,65157	56,05761	57,26978	69,44978	1,632742	3,100752
105	57,29563	61,60365	60,53632	60,11121	59,73901	56,91625	57,60301	58,01627	58,04414	57,80544	56,21179	57,48635	69,49093	1,623223	3,073055
120	57,34385	61,67245	60,58891	60,18007	59,92716	57,06041	57,73797	58,13758	58,22642	57,99197	56,36349	57,6242	69,54676	1,635875	3,078862
135	57,41019	61,79314	60,69036	60,4142	60,08388	57,27834	57,92442	58,28687	58,32607	58,10793	56,58235	57,75452	69,66333	1,630474	3,07288
150	57,44119	61,89048	60,83933	60,48763	60,16222	57,35566	58,01835	58,4776	58,48781	58,2467	56,73827	57,85368	69,64418	1,633604	3,07952
165	57,56307	61,91856	60,80509	60,48603	60,23234	57,35964	58,04632	58,4371	58,49817	58,25745	56,74133	57,99103	69,5991	1,636021	3,076946
180	57,65123	61,9706	60,98492	60,56451	60,25255	57,37494	58,06483	58,55352	58,51964	58,34499	56,7863	58,0319	69,51602	1,632357	3,092634
195	57,69171	61,95281	61,00471	60,61656	60,27145	57,41912	58,00662	58,54784	58,61502	58,38121	56,80702	58,10598	69,4661	1,63533	3,070323
210	57,77395	62,07893	61,0886	60,67279	60,33818	57,55448	58,23921	58,6583	58,6466	58,48388	56,96295	58,19421	69,42931	1,632901	3,077857
225	57,801	62,17204	61,21761	60,79919	60,49761	57,62297	58,38214	58,77881	58,8401	58,61262	57,09497	58,27119	69,48093	1,626001	3,059594
240	57,8605	62,17271	61,26028	60,90233	60,56593	57,84309	58,47595	58,90176	58,95012	58,65655	57,2359	58,44029	69,62048	1,632939	3,064004

Στους πίνακες 3, 4, 5, 6 φαίνονται οι τιμές θερμοκρασίας του νερού (ST-2, ST-4, ST-6, ST-8, ST-10), οι τιμές της θερμοκρασίας του χυμού (ST-1, ST-3, ST-5, ST-7, ST-9), η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα στην είσοδο και στην έξοδο του εναλλάκτη (ST-11 και ST-12 αντίστοιχα), η τιμή θερμοκρασίας του νερού στη δεξαμενή (ST-16) και τέλος η ταχύτητα ροής της αντλίας του νερού (SC-1) και του χυμού (SC-2).

Όπως ήταν αναμενόμενο το νερό έχει υψηλότερη θερμοκρασία στην είσοδο του εναλλάκτη (ST-2) από ότι στην έξοδο του από αυτόν (ST-10). Αυτό απορρέει λογικά αφού το νερό μέχρι την έξοδο του μεταδίδει θερμότητα στο χυμό, ο οποίος στην είσοδό του στον εναλλάκτη (ST-9) έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από ότι στην έξοδο του (ST-1) καθώς μέχρι την έξοδο του μεταφέρεται συνεχώς θερμότητα από το νερό στο χυμό έως ότου πλησιάσει την επιθυμητή θερμοκρασία. Μεταξύ των ενδιάμεσων θέσεων του εναλλάκτη (ST-3, ST-5, ST-7) η θερμοκρασία του χυμού παρουσιάζει μικρές διαφορές καθώς κλιμακώνεται μέχρι να φτάσει τη θερμοκρασία εξόδου (ST-1).

Όσον αφορά τη θερμοκρασία του νερού δεξαμενής, αυτή φαίνεται να είναι σχεδόν σταθερή κοντά σε αυτή που έχει ρυθμιστεί και αυτό δείχνει ότι δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απώλειες.

Στους πίνακες 7, 8, 9, 10 που ακολουθούν δίνονται τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς όπως έγιναν αυτομάτως από το πρόγραμμα της Edibon. Έτσι έχουμε:

- Time : χρόνος (s)
- Sp,h, Sp,c : θερμοαντική ικανότητα νερού και χυμού αντίστοιχα (J/KgK)
- μ,h, μ,c : δυναμικό ιξώδες νερού και χυμού αντίστοιχα (Kg/ms)
- ρ,h, ρ,c : πυκνότητα νερού και χυμού αντίστοιχα (Kg/m³)
- Qh : ρυθμός μετάδοσης θερμότητας νερού (W)
- Qc : ρυθμός μετάδοσης θερμότητας χυμού (W)
- Ql : ρυθμός μετάδοσης θερμότητας (W)
- T_{Im} : μέγιστη μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασιών (K)

- U : ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/Km^2)
- NTU : μονάδες NTU
- effNTU : αποτελεσματικότητα NTU
- Redh : αριθμός Reynolds
- Tho,t, Tco,t : μέγιστη δυνατή θερμοκρασία νερού και χυμού αντίστοιχα
- Kh, Kc : θερμική αγωγιμότητα νερού και χυμού αντίστοιχα (W/mK)

Το αρνητικό πρόσημο στο Qc σύμφωνα με το νόμο του Fourier, σημαίνει ότι η μετάδοση θερμότητας συνοδεύεται από πτώση της θερμοκρασίας. Το αρνητικό πρόσημο στο Ql δηλώνει ότι δεν μεταφέρεται θερμότητα πλέον από το νερό στο χυμό γιατί το σύστημα τείνει να ισοροπήσει (Edibon, 2010)

Πίνακας 7. Αποτελέσματα στην πρώτη ταχύτητα της αντλίας.

Time(s)	$Sp,h(J/KgK)$	$Sp,c(J/KgK)$	$mu,h(Kg/ms)$	$mu,c(Kg/ms)$	$rho,h(Kg/m3)$	$rho,c(Kg/m3)$	$Qh(W)$	$Qc(W)$	$Ql(W)$	$Tm(K)$	$U(W/Km2)$	NTU	effNTU	Redh	$Tho,t(1C)$	$Tco,t(1C)$	$Kh(W/mK)$	$Kc(W/mK)$
0	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	828,42	40,912	787,51	14,5495	1342,8772	1,418	0,6478	3071,4	52,51601	44,14824	0,64	0,62
2	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	881,54	37,427	844,11	13,8933	1496,4677	1,585	0,6815	3108,1	52,38575	44,85505	0,64	0,62
4	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	908,11	42,155	865,96	13,126	1631,7094	1,732	0,7061	3089,9	52,37428	45,41127	0,64	0,62
6	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	947,05	56,455	890,59	12,3546	1807,906	1,914	0,7349	3128,3	52,60162	46,16309	0,64	0,62
8	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	942,61	78,654	863,95	11,7841	1886,5482	1,973	0,7413	3124	52,93814	46,45474	0,64	0,62
10	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	911,41	101,19	810,23	11,5123	1867,1785	1,96	0,7394	3109,9	53,29726	46,59178	0,64	0,62
12	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	879,28	119,69	759,59	11,3703	1823,8447	1,923	0,7344	3099,8	53,65691	46,7081	0,64	0,62
14	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	847,99	133,47	714,51	11,3782	1757,7223	1,866	0,7268	3093,4	53,93347	46,73649	0,64	0,62
16	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	829,44	144,53	684,91	11,382	1718,7036	1,824	0,7223	3135,2	54,12196	46,81133	0,64	0,62
18	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	809,84	151,58	658,25	11,4666	1665,7023	1,769	0,7138	3133,1	54,3242	46,80169	0,64	0,62
20	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	790,65	160,74	629,91	11,4798	1624,3575	1,728	0,7079	3141,5	54,4907	46,81213	0,64	0,62
22	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	762,39	168,17	594,21	11,5088	1562,3619	1,663	0,6948	3083,7	54,72659	46,70736	0,64	0,62
24	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	748,12	172,82	575,3	11,5174	1531,9686	1,632	0,69	3089,9	54,81407	46,70631	0,64	0,62
26	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	749,25	178,5	570,75	11,477	1539,7009	1,635	0,6912	3119,1	54,93334	46,82514	0,64	0,62
28	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	732,51	181,43	551,08	11,5407	1496,9725	1,602	0,6853	3093,1	55,04836	46,79899	0,64	0,62
30	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	732,48	184,33	548,15	11,5633	1494,0029	1,59	0,6832	3113	55,1246	46,82824	0,64	0,62
32	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	725,86	188,09	537,76	11,5898	1477,1022	1,565	0,6786	3121,3	55,23809	46,84263	0,64	0,62
34	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	717,08	187,16	529,91	11,6016	1457,7454	1,554	0,6762	3094,1	55,28551	46,84549	0,64	0,62
36	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	713,51	187,3	526,21	11,6257	1447,4746	1,545	0,6748	3098,3	55,3305	46,87965	0,64	0,62
38	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	709,36	193,06	516,3	11,6108	1440,9194	1,532	0,6716	3089,4	55,45911	46,87735	0,64	0,62
40	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	710,68	189,58	521,1	11,6398	1440,0049	1,53	0,6715	3102	55,45995	46,93308	0,64	0,62
42	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	711,75	191,29	520,46	11,6688	1438,595	1,53	0,6729	3130,6	55,45136	46,96516	0,64	0,62
44	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	705,05	192,23	512,82	11,6291	1429,897	1,516	0,6685	3096	55,58663	46,98586	0,64	0,62
46	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	707,49	191,87	515,62	11,6142	1436,7043	1,526	0,6711	3108,3	55,60768	47,07366	0,64	0,62
48	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	706,52	187,94	518,57	11,5585	1441,6351	1,532	0,6722	3109,4	55,55209	47,11089	0,64	0,62
50	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	703,05	187,33	515,73	11,5201	1439,3457	1,531	0,6724	3110,7	55,55637	47,15336	0,64	0,62

52	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	702,91	186,13	516,78	11,5	1441,5796	1,538	0,674	3111,5	55,60729	47,25707	0,64	0,62
54	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	701,13	182,21	518,92	11,4662	1442,1505	1,539	0,6737	3100,5	55,58231	47,27705	0,64	0,62
56	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	698,93	182,53	516,4	11,3666	1450,2354	1,545	0,6748	3105,1	55,60326	47,35384	0,64	0,62
58	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	705,89	179,47	526,43	11,3394	1468,1891	1,565	0,6799	3140,7	55,54312	47,46398	0,64	0,62
60	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	696,56	179,47	517,09	11,2905	1455,0647	1,554	0,6774	3125,1	55,57827	47,47992	0,64	0,62
62	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	687,3	180,93	506,37	11,2044	1446,7466	1,536	0,6725	3102,1	55,63199	47,44995	0,64	0,62
64	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	684,97	178,76	506,21	11,1379	1450,4495	1,55	0,6758	3098,1	55,63702	47,55971	0,64	0,62
66	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	687,15	177,2	509,96	11,0492	1466,7572	1,559	0,6773	3108,4	55,63706	47,63723	0,64	0,62
68	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	690,03	176,42	513,6	11,0073	1478,4973	1,567	0,6802	3152,9	55,59925	47,73303	0,64	0,62
70	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	682,78	173,98	508,8	10,972	1467,6744	1,565	0,6793	3122,6	55,63519	47,77511	0,64	0,62
72	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	676,38	174,08	502,3	10,8302	1472,9608	1,56	0,6776	3125,5	55,58104	47,75724	0,64	0,62
74	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	672,11	172,43	499,68	10,7922	1468,8098	1,562	0,6782	3118	55,62719	47,8503	0,64	0,62
76	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	665,09	169,44	495,64	10,7995	1452,4728	1,539	0,6734	3110,5	55,59106	47,78908	0,64	0,62
78	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	666,19	171,05	495,14	10,7062	1467,5529	1,556	0,6771	3128	55,61276	47,89857	0,64	0,62
80	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	667,53	167,91	499,62	10,5797	1488,098	1,583	0,6825	3126,8	55,64288	48,08381	0,64	0,62
82	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	659,04	166,69	492,35	10,5408	1474,5923	1,567	0,6789	3111,7	55,64642	48,0639	0,64	0,62
84	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	660,06	164,82	495,24	10,4691	1486,9865	1,58	0,6826	3145,8	55,58363	48,15421	0,64	0,62
86	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	653,45	162,89	490,56	10,4211	1478,8706	1,581	0,6829	3131,7	55,59822	48,21633	0,64	0,62
88	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	648,41	162,26	486,15	10,3411	1478,8221	1,582	0,6825	3117,1	55,61363	48,25151	0,64	0,62
90	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	640,02	162,92	477,1	10,2563	1471,765	1,564	0,6782	3109,3	55,64294	48,24595	0,64	0,62
92	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	634,96	162,09	472,87	10,213	1466,3145	1,562	0,6774	3088,7	55,69461	48,29623	0,64	0,62
94	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	639,37	161,72	477,65	10,159	1484,3622	1,582	0,6831	3141,2	55,65804	48,42978	0,64	0,62
96	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	628,64	163,32	465,32	10,0954	1468,6224	1,567	0,6796	3116,3	55,70348	48,42005	0,64	0,62
98	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	625,25	179,76	445,48	10,0014	1474,4318	1,401	0,6334	3110,8	55,99097	47,79578	0,64	0,62
100	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	629,89	299,5	330,38	9,96081	1491,4275	0,841	0,4375	3135	46,82188	50,48128	0,64	0,62
102	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	624,56	192,53	432,03	9,90297	1487,4498	1,311	0,6061	3130,3	56,22564	47,49991	0,64	0,62
104	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	617	238,07	378,93	9,84854	1477,5753	1,04	0,5154	3116,7	56,97632	46,2482	0,64	0,62
106	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	619,54	195,97	423,57	9,77695	1494,5066	1,267	0,5925	3145,1	56,28156	47,39024	0,64	0,62
108	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	612,67	171,57	441,1	9,74915	1482,1536	1,43	0,642	3133,8	55,9314	48,14647	0,64	0,62
110	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	600,33	166,43	433,9	9,73826	1453,9207	1,434	0,6432	3076,2	55,90735	48,1751	0,64	0,62
112	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	601,41	153,44	447,97	9,66977	1466,8568	1,554	0,6761	3108,9	55,67998	48,68432	0,64	0,62
114	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	602,7	158,09	444,61	9,59273	1481,8063	1,51	0,6641	3136,1	55,73688	48,5538	0,64	0,62
116	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	596,9	179,18	417,72	9,53244	1476,8274	1,315	0,6075	3107,5	56,14229	47,82848	0,64	0,62
118	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	594,74	155,26	439,48	9,52543	1472,5801	1,549	0,675	3131,8	55,70856	48,76912	0,64	0,62
120	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	595,89	151	444,89	9,46091	1485,4878	1,577	0,6819	3148,5	55,66678	48,92119	0,64	0,62
122	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	585,12	148,33	436,79	9,421	1464,8087	1,535	0,6711	3105,6	55,64208	48,7687	0,64	0,62
124	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	586,85	153,39	433,46	9,36765	1477,5024	1,554	0,6762	3137,7	55,72764	48,91195	0,64	0,62
126	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	588,02	146,78	441,24	9,26464	1496,9133	1,584	0,6827	3148,1	55,62046	49,02287	0,64	0,62
128	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	580,3	145,71	434,6	9,29088	1473,0969	1,569	0,6803	3132,5	55,63239	49,01706	0,64	0,62
130	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	577,29	145,38	431,91	9,1477	1488,3892	1,584	0,6824	3116	55,65662	49,10012	0,64	0,62
132	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	576,09	144,19	431,9	9,14748	1485,3262	1,575	0,6813	3144,2	55,60347	49,09195	0,64	0,62
134	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	564,01	142,67	421,33	9,07553	1465,7031	1,563	0,6782	3100,9	55,61258	49,08507	0,64	0,62
136	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	568,83	142,62	426,2	9,07495	1478,3221	1,573	0,6811	3140,8	55,62701	49,17597	0,64	0,62
138	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	560,77	145,35	415,42	9,06565	1458,8884	1,504	0,6634	3111	55,6969	48,95606	0,64	0,62
140	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	555,88	143,15	412,73	8,93571	1467,1792	1,551	0,6756	3120,1	55,63245	49,15797	0,64	0,62
142	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	556,95	141,66	415,3	8,94262	1468,8901	1,547	0,6747	3129,4	55,65591	49,19482	0,64	0,62
144	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	557,56	137,34	420,22	8,90403	1476,8562	1,571	0,681	3142,5	55,60172	49,30997	0,64	0,62
146	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	545,61	139,49	406,12	8,84919	1454,1685	1,543	0,6747	3122,2	55,62298	49,25231	0,64	0,62
148	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	538,09	139,26	398,82	8,78364	1444,8152	1,534	0,6723	3098,1	55,62753	49,24236	0,64	0,62
150	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	540,08	139,63	400,45	8,77383	1451,7749	1,538	0,6731	3113,7	55,6715	49,308	0,64	0,62

152	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	535,95	134,87	401,09	8,71627	1450,2092	1,547	0,6755	3111,8	55,59906	49,36165	0,64	0,62
154	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	536,16	141,06	395,1	8,68885	1455,3459	1,508	0,6655	3130,9	55,69468	49,27122	0,64	0,62
156	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	529,37	133,08	396,29	8,65012	1443,3514	1,533	0,6726	3113,7	55,5728	49,36721	0,64	0,62
158	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	530,96	134,89	396,07	8,56429	1462,192	1,551	0,6765	3128,9	55,63088	49,48634	0,64	0,62
160	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	528,22	134,49	393,73	8,55023	1457,0417	1,543	0,6747	3130,7	55,64321	49,49843	0,64	0,62
162	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	532,04	131,64	400,4	8,45179	1484,6813	1,581	0,6835	3163,1	55,58471	49,64201	0,64	0,62
164	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	516,82	136,32	380,5	8,47764	1437,7986	1,476	0,6577	3116,3	55,6927	49,34973	0,64	0,62
166	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	514,91	131,19	383,71	8,36264	1452,1769	1,546	0,6756	3120,5	55,6027	49,60273	0,64	0,62
168	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	517,73	135,32	382,41	8,3072	1469,8812	1,502	0,6663	3135,3	55,68504	49,48981	0,64	0,62
170	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	511,27	130,69	380,59	8,28836	1454,8569	1,553	0,6772	3124,7	55,65072	49,71685	0,64	0,62
172	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	507,32	131,52	375,8	8,27607	1445,7446	1,513	0,6677	3130,9	55,65987	49,62166	0,64	0,62
174	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	503,87	130,79	373,09	8,21256	1447,0289	1,536	0,6745	3148,6	55,60622	49,7151	0,64	0,62
176	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	502,55	132,76	369,79	8,18741	1447,6749	1,467	0,6546	3118,3	55,74035	49,54785	0,64	0,62
178	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	497,85	146,47	351,38	8,15389	1440,02	1,31	0,6104	3145,1	55,91732	49,05076	0,64	0,62
180	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	498,1	127,23	370,88	8,14541	1442,2485	1,523	0,6715	3155,3	55,64368	49,81179	0,64	0,62
182	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	493,86	131,97	361,9	8,07352	1442,7089	1,459	0,6538	3148,4	55,74024	49,65448	0,64	0,62
184	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	482,91	125,16	357,74	8,03361	1417,7118	1,509	0,6681	3113,1	55,65538	49,85168	0,64	0,62
186	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	482,64	137,03	345,61	7,97848	1426,7026	1,384	0,6329	3123,5	55,82489	49,4593	0,64	0,62
188	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	477,56	131,78	345,78	7,94288	1418,0208	1,422	0,6448	3129,2	55,74536	49,63546	0,64	0,62
190	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	479,57	147,51	332,06	7,93805	1424,8561	1,249	0,5925	3147,1	56,04808	49,10785	0,64	0,62
192	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	474,24	142,66	331,58	7,90066	1415,6941	1,312	0,6129	3143,9	55,9722	49,37826	0,64	0,62
194	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	468,62	196,03	272,59	7,86778	1404,7628	0,92	0,4757	3113,7	48,42137	50,22298	0,64	0,62
196	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	466,74	138,01	328,73	7,79278	1412,5884	1,305	0,6105	3128,9	55,92113	49,41015	0,64	0,62
198	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	463,15	133,58	329,57	7,79733	1400,9169	1,339	0,6215	3120,7	55,89425	49,57891	0,64	0,62
200	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	465,14	150,28	314,85	7,68978	1426,5918	1,184	0,5709	3135	56,15037	49,05114	0,64	0,62
202	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	461,48	156,21	305,27	7,68485	1416,2988	1,13	0,5533	3139,2	56,26585	48,90596	0,64	0,62
204	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	453,94	156,76	297,18	7,67262	1395,3772	1,121	0,5514	3120,8	56,30293	48,93206	0,64	0,62
206	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	454,65	189,97	264,67	7,62304	1406,6345	0,924	0,4784	3146,5	48,65337	50,28735	0,64	0,62
208	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	449,19	172,98	276,2	7,54005	1405,0348	1,03	0,5186	3140,2	56,53159	48,66129	0,64	0,62
210	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	442,81	154,29	288,52	7,53093	1386,7495	1,094	0,5425	3119,4	56,25227	48,92176	0,64	0,62
212	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	442,36	186,1	256,26	7,53716	1384,21	0,901	0,4702	3123,9	48,83411	50,43208	0,64	0,62
214	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	439,58	182,04	257,54	7,48472	1385,142	0,94	0,4864	3145,4	56,72504	48,44614	0,64	0,62
216	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	434,29	195,88	238,4	7,47752	1369,7825	0,867	0,4579	3124,4	49,05745	50,67545	0,64	0,62
218	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	431,09	195,31	235,78	7,45146	1364,458	0,863	0,4566	3128,5	49,10401	50,67873	0,64	0,62
220	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	432,62	189,5	243,11	7,39762	1379,2529	0,861	0,4551	3144,3	49,13195	50,74978	0,64	0,62
222	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	436,7	185,33	251,37	7,31592	1407,8328	0,89	0,4646	3148,4	49,0924	50,7809	0,64	0,62
224	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	426,28	209,62	216,67	7,33722	1370,2471	0,778	0,4214	3153,5	49,56912	51,47437	0,64	0,62
226	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	422,66	211,1	211,56	7,2298	1378,7797	0,78	0,421	3141	49,6172	51,61425	0,64	0,62
228	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	418,75	210,27	208,49	7,24068	1363,9991	0,772	0,4182	3130,5	49,6997	51,65553	0,64	0,62
230	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	418,41	204,58	213,83	7,21139	1368,4188	0,776	0,4199	3134,2	49,71947	51,65663	0,64	0,62
232	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	413	218,1	194,9	7,17633	1357,3201	0,718	0,3951	3130	49,98179	52,1923	0,64	0,62
234	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	412,96	215,92	197,04	7,16843	1358,689	0,731	0,4012	3150,5	49,98638	52,04478	0,64	0,62
236	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	408,95	205,01	203,93	7,11543	1355,5043	0,755	0,4119	3142,5	49,89248	51,78323	0,64	0,62
238	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	402,48	220,04	182,44	7,08042	1340,6636	0,727	0,4012	3151,2	50,02267	51,93321	0,64	0,62
240	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	404	211,44	192,55	7,08199	1345,4143	0,727	0,4007	3151	50,07234	52,007	0,64	0,62

Πίνακας 8. Αποτελέσματα στη δεύτερη ταχύτητα της αντλίας.

Time(s)	Sp,h(J/KgK)	Sp,c(J/KgK)	mu,h(Kg/ms)	mu,c(Kg/ms)	rho,h(Kg/m3)	rho,c(Kg/m3)	Qh(W)	Qc(W)	Ql(W)	Tlm(K)	U(W/Km2)	NTU	effNTU	Redh	Tho,t(1C)	Tco,t(1C)	Kh(W/mK)	Kc(W/mK)
0	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	0	125,4	-125,4	7,316	1531,691	0,61	0,349	3758,6	50,33694	52,3273	0,64	0,62
2	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	477,1	104,8	372,3	7,346	1531,691	0,61	0,349	3758,6	50,33694	52,3273	0,64	0,62
4	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	370,2	71,32	298,9	7,269	1201,265	0,48	0,281	2812,2	50,99911	55,473	0,64	0,62
6	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	541,7	62,69	478,97	7,079	1804,688	0,72	0,391	3906,9	49,83486	52,4315	0,64	0,62
8	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	556,3	66,16	490,11	6,761	1940,599	0,76	0,4	3915,1	49,74004	52,9328	0,64	0,62
10	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	574,8	84,15	490,64	6,383	2123,845	0,85	0,427	3963,3	49,5693	53,1087	0,64	0,62
12	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	560,4	126,8	433,56	6,208	2128,854	0,85	0,425	3979,6	49,78429	53,3159	0,64	0,62
14	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	533,6	170,4	363,24	6,144	2048,464	0,79	0,407	3987	50,17996	53,5675	0,64	0,62
16	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	505,1	201,5	303,59	6,144	1939,201	0,76	0,399	3987,3	50,38665	53,3296	0,64	0,62
18	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	473	234,9	238,06	6,134	1818,548	0,68	0,372	3957,4	50,73822	53,5512	0,64	0,62
20	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	457,3	238	219,26	6,113	1764,376	0,67	0,369	3971,1	50,84206	53,3334	0,64	0,62
22	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	442,8	258,7	184,12	6,141	1700,673	0,65	0,367	3983	50,9585	53,1109	0,64	0,62
24	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	427,5	272,5	155,01	6,13	1644,881	0,62	0,352	3980,3	51,16364	53,2432	0,64	0,62
26	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	414,5	289,1	125,37	6,116	1598,469	0,59	0,343	3962,1	51,29281	53,3003	0,64	0,62
28	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	403,2	290,7	112,49	6,136	1549,788	0,58	0,34	3970,4	51,38418	53,1338	0,64	0,62
30	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	398,7	290,4	108,25	6,125	1535,18	0,58	0,344	3995,3	51,38139	52,9236	0,64	0,62
32	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	388,2	299	89,155	6,131	1493,307	0,57	0,338	3968,4	51,47714	52,9309	0,64	0,62
34	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	376,7	316,5	60,173	6,144	1446,054	0,54	0,323	3957,5	51,63514	53,0748	0,64	0,62
36	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	378,2	308,8	69,377	6,118	1457,747	0,55	0,329	3979,2	51,61549	52,9838	0,64	0,62
38	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	369,5	319,9	49,545	6,161	1414,292	0,53	0,323	4001,5	51,70255	52,8634	0,64	0,62
40	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	368	334,4	33,687	6,126	1416,949	0,51	0,314	3989,5	51,8361	53,1855	0,64	0,62
42	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	363,9	335	28,88	6,118	1402,603	0,5	0,31	3971,4	51,90878	53,272	0,64	0,62
44	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	355,2	327,2	27,975	6,169	1357,828	0,5	0,312	3958,1	51,89616	52,9706	0,64	0,62
46	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	353	339,5	13,495	6,177	1347,709	0,48	0,303	3999,6	51,97386	53,0484	0,64	0,62
48	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	355,6	351,5	4,0758	6,166	1359,928	0,48	0,297	4010,7	52,10459	53,334	0,64	0,62
50	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	353,8	347,4	6,3228	6,132	1360,573	0,48	0,299	3986,9	52,1238	53,3832	0,64	0,62
52	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	349,3	349,2	0,1673	6,145	1340,812	0,47	0,293	3995,4	52,18496	53,3944	0,64	0,62
54	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	351,3	353,1	-1,828	6,083	1362,169	0,46	0,288	3990,5	52,24317	53,6785	0,64	0,62
56	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	347,2	365,4	-18,22	6,049	1353,799	0,44	0,28	4000,2	52,32468	53,8439	0,64	0,62
58	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	344,2	350,9	-6,695	6,033	1345,617	0,45	0,285	4004,7	52,30938	53,6474	0,64	0,62
60	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	334,9	372,6	-37,77	6,008	1314,482	0,42	0,266	3960,3	52,45449	54,0629	0,64	0,62
62	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	337,9	365,7	-27,82	5,972	1334,411	0,42	0,267	3973,3	52,53814	54,2171	0,64	0,62
64	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	327,7	369,2	-41,51	5,95	1298,935	0,4	0,261	3971,5	52,5413	54,103	0,64	0,62
66	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	323,7	371,8	-48,13	5,933	1286,52	0,4	0,258	3985,6	52,57897	54,0692	0,64	0,62
68	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	321,1	382,1	-60,97	5,909	1281,721	0,38	0,25	3998,5	52,64121	54,2388	0,64	0,62
70	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	320,5	366,8	-46,31	5,848	1292,315	0,4	0,256	3986,2	52,64033	54,1848	0,64	0,62
72	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	321,7	377	-55,31	5,791	1310,366	0,39	0,253	4006,4	52,68508	54,3806	0,64	0,62
74	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	311,7	376,4	-64,63	5,778	1272,439	0,38	0,247	3960,6	52,74323	54,4115	0,64	0,62
76	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	311,1	384,2	-73,15	5,768	1271,893	0,37	0,243	3991,3	52,81862	54,5021	0,64	0,62
78	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	306,2	366,5	-60,39	5,721	1262,112	0,37	0,243	3964,1	52,82607	54,4591	0,64	0,62
80	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	303,8	377,3	-73,45	5,688	1259,7	0,36	0,24	4008,4	52,86746	54,4538	0,64	0,62
82	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	299	377,4	-78,42	5,652	1247,793	0,37	0,24	3972,2	52,89466	54,4682	0,64	0,62
84	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	298,3	368,5	-70,17	5,601	1256,309	0,36	0,238	3968,7	52,92487	54,5956	0,64	0,62
86	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	294,1	364	-69,93	5,555	1248,569	0,37	0,241	4004,8	52,93413	54,3806	0,64	0,62
88	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	288,3	375,5	-87,24	5,539	1227,451	0,36	0,236	3992,5	52,99347	54,4335	0,64	0,62
90	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	290,2	360,6	-70,44	5,546	1233,994	0,36	0,237	4019,2	52,98224	54,3731	0,64	0,62
92	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	282,5	361,7	-79,2	5,481	1215,736	0,35	0,233	3979,6	53,01148	54,4389	0,64	0,62
94	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	279	364,2	-85,25	5,471	1202,462	0,35	0,231	3978,4	53,05743	54,4344	0,64	0,62
96	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	277,5	367,7	-90,21	5,407	1210,333	0,35	0,232	4002,2	53,08211	54,439	0,64	0,62
98	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	277,1	363,8	-86,72	5,442	1200,996	0,35	0,232	3993,5	53,11101	54,4261	0,64	0,62
100	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	269,7	365,9	-96,16	5,367	1185,158	0,34	0,229	3996,3	53,13465	54,3798	0,64	0,62
102	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	269,1	361,3	-92,24	5,33	1190,74	0,34	0,228	3993,8	53,16068	54,4467	0,64	0,62
104	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	266,5	349,1	-82,59	5,293	1187,445	0,34	0,226	3976,7	53,1938	54,5151	0,64	0,62
106	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	260,2	360,3	-100,1	5,28	1162,454	0,33	0,221	3995,1	53,23681	54,4561	0,64	0,62
108	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	252,5	361,5	-109	5,239	1136,857	0,32	0,22	3971,1	53,22283	54,3316	0,64	0,62
110	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	253	349,4	-96,49	5,216	1143,673	0,32	0,222	3984,4	53,26942	54,3759	0,64	0,62
112	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	246,7	350,3	-103,6	5,164	1							

122	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	239,5	342	-102,5	4,973	1135,876	0,32	0,216	4029	53,40807	54,4168	0,64	0,62
124	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	228,4	350,9	-122,6	4,966	1084,553	0,29	0,203	3997,2	53,50292	54,5046	0,64	0,62
126	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	228,5	348,1	-119,7	4,948	1088,857	0,3	0,206	3990	53,51479	54,4828	0,64	0,62
128	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	226,4	339,7	-113,3	4,897	1090,406	0,3	0,206	3992,5	53,51555	54,471	0,64	0,62
130	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	221	344,4	-123,5	4,897	1064,145	0,29	0,205	4009,4	53,55554	54,3333	0,64	0,62
132	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	216,3	331,7	-115,4	4,865	1048,463	0,29	0,203	3981,1	53,57484	54,3103	0,64	0,62
134	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	217,7	354,9	-137,1	4,833	1062,656	0,28	0,198	3987	53,64832	54,6175	0,64	0,62
136	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	217,3	343,6	-126,4	4,792	1069,463	0,29	0,2	4019	53,6354	54,5067	0,64	0,62
138	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	213,6	355,5	-141,9	4,782	1053,682	0,28	0,194	4008,6	53,66139	54,5869	0,64	0,62
140	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	209,7	351,8	-142,1	4,782	1034,203	0,27	0,19	4010,2	53,72847	54,6061	0,64	0,62
142	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	211,3	364,9	-153,6	4,74	1051,606	0,27	0,188	4024,2	53,74747	54,768	0,64	0,62
144	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	205,2	364,9	-159,7	4,729	1023,393	0,26	0,188	3992,3	53,7734	54,6622	0,64	0,62
146	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	197	363,1	-166,1	4,731	981,9178	0,25	0,179	3990,4	53,7915	54,5755	0,64	0,62
148	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	195,1	364,8	-169,6	4,741	970,7022	0,24	0,176	3972,1	53,83706	54,6415	0,64	0,62
150	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	195,6	356,3	-160,8	4,746	971,6948	0,25	0,177	3997,8	53,88617	54,604	0,64	0,62
152	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	194,2	359,2	-165,1	4,71	972,2405	0,24	0,176	4002,7	53,91302	54,6517	0,64	0,62
154	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	192,5	355,8	-163,2	4,691	968,0863	0,24	0,173	4004,3	53,94185	54,7125	0,64	0,62
156	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	190,6	362,6	-172,1	4,636	969,4307	0,24	0,175	3980,4	53,94418	54,7404	0,64	0,62
158	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	192,7	363,3	-170,6	4,586	990,9672	0,24	0,174	4032,3	53,976	54,8587	0,64	0,62
160	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	187,6	361,7	-174,1	4,577	966,6216	0,23	0,17	4004,8	54,00184	54,8274	0,64	0,62
162	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	181,3	364,6	-183,3	4,59	931,2874	0,22	0,165	3995,7	54,04384	54,7561	0,64	0,62
164	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	179,2	364,4	-185,2	4,542	930,6911	0,22	0,162	3999,2	54,07	54,8467	0,64	0,62
166	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	184,2	355,7	-171,5	4,53	958,9207	0,23	0,166	4032,9	54,08917	54,8853	0,64	0,62
168	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	176,2	361,9	-185,6	4,505	922,607	0,22	0,162	4023,2	54,12744	54,7932	0,64	0,62
170	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	174,4	358,3	-183,9	4,454	923,6995	0,22	0,161	4007,1	54,1471	54,8471	0,64	0,62
172	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	167,8	354,7	-186,9	4,457	887,6755	0,21	0,156	4018,7	54,16481	54,6933	0,64	0,62
174	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	166,5	357,2	-190,7	4,427	886,9052	0,21	0,156	3982,7	54,18478	54,7663	0,64	0,62
176	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	161,7	349,7	-188,1	4,36	874,4082	0,21	0,155	3987,4	54,18207	54,6838	0,64	0,62
178	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	164,8	362,2	-197,4	4,361	891,4399	0,21	0,155	4006	54,22389	54,845	0,64	0,62
180	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	160,3	354,5	-194,2	4,324	874,4528	0,2	0,153	4030	54,23635	54,7049	0,64	0,62
182	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	162,7	345,1	-182,4	4,299	892,4924	0,21	0,155	4018,8	54,24147	54,8051	0,64	0,62
184	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	154,4	355,2	-200,8	4,293	848,2806	0,2	0,149	4004,4	54,28591	54,7016	0,64	0,62
186	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	154,1	356,3	-202,3	4,218	861,4766	0,2	0,151	3981,1	54,31205	54,8266	0,64	0,62
188	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	147,5	338,5	-191	4,233	821,7526	0,19	0,145	3983,7	54,34566	54,6609	0,64	0,62
190	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	153,2	349,9	-196,7	4,218	856,6613	0,2	0,149	4015,8	54,35166	54,799	0,64	0,62
192	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	144,6	345,9	-201,4	4,203	811,2112	0,19	0,143	3988	54,39898	54,7011	0,64	0,62
194	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	142,3	343,5	-201,3	4,182	802,2448	0,19	0,143	4014,3	54,3849	54,5738	0,64	0,62
196	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	141,1	334,6	-193,4	4,153	801,5551	0,19	0,142	4010,2	54,38631	54,5776	0,64	0,62
198	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	133,9	341,6	-207,7	4,1	770,1718	0,18	0,138	3998,2	54,41268	54,5002	0,64	0,62
200	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	129,2	343,3	-214,2	4,125	738,5427	0,17	0,134	4010,6	54,4241	54,3478	0,64	0,62
202	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	131,8	352,6	-220,8	4,069	764,1901	0,17	0,135	3992,2	54,47267	54,6134	0,64	0,62
204	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	128,9	347,8	-218,8	4,077	745,7496	0,17	0,134	4017,2	54,50725	54,5048	0,64	0,62
206	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	126,9	327,1	-200,2	4,028	743,0093	0,17	0,133	4008,5	54,48099	54,4587	0,64	0,62
208	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	119,9	339,5	-219,6	4,023	702,9192	0,16	0,126	3967,8	54,52427	54,4348	0,64	0,62
210	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	121	358,7	-237,7	4,03	707,9198	0,15	0,119	4015,3	54,58379	54,6389	0,64	0,62
212	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	114,2	335,6	-221,3	3,996	674,3724	0,15	0,12	4014,3	54,5509	54,3092	0,64	0,62
214	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	114,6	340,1	-225,5	3,983	678,4823	0,15	0,119	4023,6	54,59347	54,3925	0,64	0,62
216	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	112,6	334,5	-221,8	3,933	675,3888	0,15	0,12	4025,8	54,59015	54,3515	0,64	0,62
218	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	105,2	338,8	-233,6	3,918	633,5114	0,14	0,114	4002,4	54,58778	54,2169	0,64	0,62
220	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	106,7	344,5	-237,8	3,911	643,2222	0,14	0,115	3994,1	54,63696	54,3354	0,64	0,62
222	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	102,9	327,2	-224,3	3,886	624,7634	0,14	0,111	3995	54,65519	54,2764	0,64	0,62
224	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	102,9	320,7	-217,8	3,845	631,344	0,14	0,112	3982,3	54,64786	54,3103	0,64	0,62
226	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	100,3	350,4	-250	3,826	618,4007	0,13	0,107	4004,9	54,71969	54,4128	0,64	0,62
228	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	93,91	354,5	-260,6	3,835	577,6227	0,12	0,103	4018,4	54,71699	54,1966	0,64	0,62
230	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	94,95	353,9	-258,9	3,802	589,074	0,12	0,102	3982	54,76192	54,3925	0,64	0,62
232	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	94,13	372,1	-278	3,782	587,005	0,12	0,101	4059,1	54,78308	54,3638	0,64	0,62
234	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	94,56	351,3	-256,7	3,751	594,527	0,12	0,099	3991,9	54,81727	54,5349	0,64	0,62
236	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	87,29	354,9	-267,6	3,751	548,8573	0,11	0,095	4008,6</				

Πίνακας 9. Αποτελέσματα στην τρίτη ταχύτητα της αντλίας.

Time(s)	Sp,h(J/KgK)	Sp,c(J/KgK)	mu,h(Kg/ms)	mu,c(Kg/ms)	rho,h(Kg/m3)	rho,c(Kg/m3)	Qh(W)	Qc(W)	Ql(W)	Tlm(K)	U(W/Km2)	NTU	effNTU	Redh	Tho,t(1C)	Tco,t(1C)	Kh(W/mK)	Kc(W/mK)
0	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	0,62	19,01	-18,39	2,964	4,935372	0	0,001	740,03	55,45803	53,106	0,64	0,62
2	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	15,21	-14,25	0,965	2,995	119,7856	0,02	0,0228	4718	55,39309	52,7147	0,64	0,62
4	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	31,88	-32,24	-0,362	2,964	253,6018	0,05	0,0467	4808,6	55,30472	52,9696	0,64	0,62
6	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	51,37	-43,34	8,028	2,843	426,1295	0,08	0,0742	4792,6	55,21129	53,4131	0,64	0,62
8	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	69	-21,5	47,5	2,758	590,0767	0,12	0,0983	4812,2	55,13907	53,8428	0,64	0,62
10	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	62,5	25,62	36,88	2,673	551,4288	0,11	0,0931	4803,5	55,17937	53,9195	0,64	0,62
12	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	42,99	85,51	-42,52	2,627	385,8992	0,08	0,0683	4759,3	55,28695	53,789	0,64	0,62
14	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	29,13	119,9	-90,81	2,607	263,5444	0,05	0,0482	4795,5	55,36279	53,647	0,64	0,62
16	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	12,46	156	-143,5	2,639	111,3277	0,02	0,0213	4748,2	55,45222	53,4296	0,64	0,62
18	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-3,818	199,4	-195,6	2,624	-34,31941	-0,01	-0,007	4764,7	55,52919	53,2606	0,64	0,62
20	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-8,701	216,1	-207,4	2,622	-78,26004	-0,02	-0,016	4748,8	55,58423	53,2504	0,64	0,62
22	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-19,65	234,2	-214,6	2,647	-175,0605	-0,03	-0,037	4791,6	55,66736	53,1231	0,64	0,62
24	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-27,74	250,6	-222,9	2,605	-251,1404	-0,05	-0,054	4716,8	55,6878	53,0341	0,64	0,62
26	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-33,98	261,3	-227,4	2,604	-307,8575	-0,06	-0,068	4739,5	55,72243	52,9639	0,64	0,62
28	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-41,62	272	-230,4	2,626	-373,8085	-0,07	-0,084	4764,8	55,75269	52,8361	0,64	0,62
30	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-45,24	273,4	-228,1	2,641	-404,05	-0,08	-0,091	4769,1	55,78819	52,7861	0,64	0,62
32	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-50,2	285,4	-235,2	2,6	-455,4102	-0,09	-0,105	4743,6	55,79751	52,7442	0,64	0,62
34	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-52,88	290	-237,1	2,612	-477,4889	-0,09	-0,111	4777,7	55,8387	52,743	0,64	0,62
36	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-53,45	293,3	-239,9	2,563	-491,7694	-0,1	-0,115	4776,2	55,83748	52,7873	0,64	0,62
38	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-61,91	286,9	-225	2,645	-552,1511	-0,11	-0,132	4782,3	55,89527	52,5802	0,64	0,62
40	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-61,87	315,9	-254	2,62	-556,9426	-0,11	-0,134	4757,5	55,90904	52,6736	0,64	0,62
42	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-62,78	304,5	-241,7	2,622	-564,6166	-0,11	-0,136	4762,8	55,92604	52,649	0,64	0,62
44	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-66,24	313,9	-247,6	2,64	-591,7871	-0,12	-0,144	4756,2	55,93694	52,5905	0,64	0,62
46	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-66,66	318,6	-251,9	2,634	-596,7659	-0,12	-0,145	4768,8	55,96272	52,625	0,64	0,62
48	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-67,21	310,2	-243	2,641	-600,1388	-0,12	-0,146	4758,9	55,98397	52,5992	0,64	0,62
50	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-71,45	325,3	-253,8	2,64	-638,361	-0,13	-0,158	4782,5	55,97229	52,5542	0,64	0,62
52	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-66,44	307,8	-241,3	2,62	-598,0877	-0,12	-0,146	4775,1	55,98201	52,6423	0,64	0,62
54	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-68,09	325,6	-257,5	2,627	-611,2473	-0,12	-0,149	4764,5	55,99824	52,6501	0,64	0,62
56	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-72,82	315,1	-242,3	2,618	-656,0248	-0,13	-0,164	4762,8	56,01144	52,5533	0,64	0,62
58	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-68,93	304,5	-235,2	2,622	-620,1134	-0,12	-0,153	4742,8	56,04215	52,6309	0,64	0,62
60	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-74,05	303,3	-229,3	2,591	-673,9552	-0,13	-0,17	4768,2	56,04976	52,5702	0,64	0,62
62	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-74,77	300,8	-226,1	2,581	-683,3388	-0,14	-0,173	4770,7	56,02292	52,5391	0,64	0,62
64	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-74,15	296,4	-222,2	2,539	-688,7135	-0,14	-0,175	4779,5	56,01661	52,5827	0,64	0,62
66	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-71,8	295,8	-224	2,494	-679,0164	-0,13	-0,171	4731,9	56,04284	52,6596	0,64	0,62
68	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-77,9	300,4	-222,5	2,485	-739,3715	-0,15	-0,19	4762,4	56,03926	52,5637	0,64	0,62
70	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-78,69	301,6	-222,9	2,54	-730,6509	-0,14	-0,188	4766,4	56,04657	52,5113	0,64	0,62
72	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-77,34	287	-209,7	2,479	-735,9124	-0,15	-0,189	4770,8	56,06376	52,5845	0,64	0,62
74	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-80,74	292,1	-211,3	2,465	-772,3766	-0,15	-0,201	4769,6	56,03417	52,5076	0,64	0,62
76	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-74,5	285,9	-211,4	2,428	-723,649	-0,14	-0,185	4753	56,04755	52,6667	0,64	0,62
78	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-85,73	296,8	-211,1	2,431	-831,718	-0,16	-0,223	4773,1	56,04092	52,4745	0,64	0,62
80	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-80,01	278,2	-198,2	2,387	-790,5151	-0,16	-0,209	4785,3	56,06179	52,6212	0,64	0,62
82	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-88,4	297,5	-209,1	2,39	-872,3601	-0,17	-0,237	4797,3	56,03964	52,4697	0,64	0,62
84	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-86,03	282,5	-196,4	2,38	-852,571	-0,17	-0,23	4757,6	56,07054	52,493	0,64	0,62
86	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-86,3	278,5	-192,2	2,385	-853,2598	-0,17	-0,23	4791,2	56,12671	52,552	0,64	0,62
88	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-89,2	293,3	-204,1	2,345	-897,0997	-0,18	-0,247	4774,8	56,06493	52,5005	0,64	0,62
90	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-85,34	277,9	-192,6	2,37	-849,207	-0,17	-0,229	4768,5	56,13228	52,5738	0,64	0,62
92	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-90,53	274,8	-184,3	2,347	-909,7104	-0,18	-0,25	4751,7	56,12777	52,4455	0,64	0,62
94	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-91,14	289,5	-198,3	2,369	-907,3462	-0,18	-0,25	4811,2	56,15685	52,5413	0,64	0,62
96	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-95,8	302,8	-207	2,376	-950,9048	-0,19	-0,267	4802	56,14135	52,4484	0,64	0,62
98	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-86,94	273,7	-186,8	2,332	-879,3903	-0,17	-0,239	4769,8	56,18196	52,6141	0,64	0,62
100	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-91,18	278,3	-187,1	2,301	-934,5733	-0,18	-0,26	4763,2	56,16284	52,5441	0,64	0,62
102	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-91,07	268,4	-177,3	2,276	-943,8586	-0,19	-0,263	4775,7	56,16824	52,5511	0,64	0,62
104	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-86,84	274,2	-187,4	2,291	-893,9911	-0,18	-0,243	4785,3	56,16511	52,6411	0,64	0,62
106	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-88,54	277,7	-189,1	2,29	-911,9037	-0,18	-0,25	4782,9	56,18504	52,6375	0,64	0,62
108	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-98,17	277,7	-179,5	2,254	-1027,103	-0,2	-0,299	4765,8	56,22554	52,5145	0,64	0,62
110	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-93,75	269,1	-175,3	2,264	-976,5695	-0,19	-0,276	4795,1	56,3181	52,6782	0,64	0,62
112	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-91,26	267,1	-175,8	2,227	-966,4348	-0,19	-0,273					

122	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-105,9	269,7	-163,8	2,161	-1155,184	-0,23	-0,356	4819,3	56,43286	52,6891	0,64	0,62
124	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-105,1	256,7	-151,6	2,136	-1160,513	-0,23	-0,359	4779,9	56,4645	52,6858	0,64	0,62
126	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-111,7	264,7	-153	2,127	-1238,281	-0,24	-0,398	4790,1	56,46876	52,5971	0,64	0,62
128	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-112,6	260,9	-148,3	2,114	-1256,136	-0,25	-0,409	4767,1	56,48763	52,5771	0,64	0,62
130	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-113	261,5	-148,4	2,122	-1256,573	-0,25	-0,409	4779,6	56,51544	52,6074	0,64	0,62
132	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-119,8	268,9	-149,1	2,072	-1363,897	-0,27	-0,467	4814,5	56,49735	52,5592	0,64	0,62
134	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-117,6	259,8	-142,2	2,094	-1324,581	-0,26	-0,447	4757,5	56,5314	52,53	0,64	0,62
136	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-116,9	265	-148,1	2,054	-1341,653	-0,27	-0,458	4744,3	56,52267	52,5886	0,64	0,62
138	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-117,4	277,2	-159,7	2,099	-1319,387	-0,26	-0,443	4758,8	56,54745	52,5952	0,64	0,62
140	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-120,8	254,5	-133,6	2,042	-1395,463	-0,28	-0,489	4782,8	56,52651	52,526	0,64	0,62
142	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-122,4	264,7	-142,3	2,049	-1408,441	-0,28	-0,497	4757,4	56,53141	52,4919	0,64	0,62
144	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-125,9	254,3	-128,4	1,974	-1503,827	-0,3	-0,565	4794,2	56,48758	52,4973	0,64	0,62
146	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-127,5	255,3	-127,7	2,02	-1489,059	-0,29	-0,549	4801,3	56,53741	52,4425	0,64	0,62
148	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-128,2	259	-130,9	2,018	-1497,945	-0,3	-0,559	4788,2	56,5582	52,468	0,64	0,62
150	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-129,1	252,2	-123,1	2,021	-1506,478	-0,3	-0,562	4804,4	56,55633	52,4254	0,64	0,62
152	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-127,9	255,2	-127,3	2,002	-1506,376	-0,3	-0,567	4783,1	56,57501	52,4985	0,64	0,62
154	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-128,3	249,3	-121	1,996	-1515,536	-0,3	-0,57	4779,4	56,609	52,4895	0,64	0,62
156	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-130,4	248,5	-118	1,966	-1564,961	-0,31	-0,606	4770,1	56,593	52,4458	0,64	0,62
158	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-135,1	261	-125,9	1,977	-1612,072	-0,32	-0,642	4778,8	56,59615	52,3971	0,64	0,62
160	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-138,7	258,1	-119,3	1,957	-1671,914	-0,33	-0,691	4793,9	56,61364	52,3762	0,64	0,62
162	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-138,2	252,4	-114,2	1,977	-1649,02	-0,33	-0,672	4792,5	56,6587	52,3827	0,64	0,62
164	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-132,9	263,8	-130,9	1,962	-1598,464	-0,32	-0,635	4787,2	56,67989	52,583	0,64	0,62
166	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-140,4	272,6	-132,3	1,996	-1658,744	-0,33	-0,684	4783,2	56,65787	52,3973	0,64	0,62
168	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-137	257,2	-120,2	1,963	-1646,064	-0,33	-0,672	4761,2	56,74942	52,4975	0,64	0,62
170	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-142	264,2	-122,2	1,905	-1757,834	-0,35	-0,766	4802,8	56,70433	52,497	0,64	0,62
172	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-138,5	259,8	-121,3	1,936	-1687,579	-0,34	-0,709	4783,4	56,74938	52,5511	0,64	0,62
174	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-138,4	257,7	-119,3	1,894	-1723,929	-0,34	-0,736	4783,5	56,72005	52,5462	0,64	0,62
176	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-138,7	255,2	-116,5	1,945	-1682,552	-0,33	-0,704	4756	56,79715	52,5199	0,64	0,62
178	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-140,2	240,8	-100,6	1,89	-1749,132	-0,35	-0,762	4792,5	56,81212	52,5565	0,64	0,62
180	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-142,1	257,3	-115,3	1,919	-1746,572	-0,35	-0,763	4754,8	56,82504	52,5179	0,64	0,62
182	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-144,7	254	-109,3	1,897	-1799,062	-0,36	-0,808	4767,4	56,8462	52,4961	0,64	0,62
184	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-146,9	244,4	-97,45	1,868	-1855,337	-0,37	-0,865	4785,4	56,88506	52,5058	0,64	0,62
186	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-143	236,7	-93,66	1,879	-1794,994	-0,36	-0,81	4759,1	56,93646	52,5725	0,64	0,62
188	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-143,6	231,3	-87,72	1,89	-1791,666	-0,36	-0,806	4772,6	56,94495	52,5501	0,64	0,62
190	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-143	232,1	-89,15	1,821	-1851,524	-0,37	-0,859	4800,9	56,92317	52,652	0,64	0,62
192	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-147,4	244,5	-97,01	1,828	-1902,707	-0,38	-0,918	4791	56,92288	52,5978	0,64	0,62
194	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-143,7	236	-92,34	1,85	-1832,2	-0,36	-0,844	4775,1	56,95999	52,6291	0,64	0,62
196	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-148,8	235,7	-86,89	1,815	-1934,123	-0,38	-0,954	4791,6	56,95272	52,5685	0,64	0,62
198	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-147,6	239,3	-91,71	1,809	-1924,074	-0,38	-0,939	4775,5	56,9673	52,601	0,64	0,62
200	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-150,8	235,6	-84,82	1,756	-2025,376	-0,4	-1,074	4814,6	56,95134	52,6479	0,64	0,62
202	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-154,1	232,4	-78,37	1,751	-2074,993	-0,41	-1,155	4782,3	56,97411	52,5552	0,64	0,62
204	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-153,1	240,6	-87,55	1,749	-2064,697	-0,41	-1,139	4790,3	56,98371	52,6469	0,64	0,62
206	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-155,7	232,4	-76,67	1,737	-2114,666	-0,42	-1,209	4786,6	56,99793	52,5554	0,64	0,62
208	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-152,6	224,8	-72,19	1,74	-2068,515	-0,41	-1,132	4783,8	57,0522	52,6128	0,64	0,62
210	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-151,7	235	-83,35	1,735	-2062,5	-0,41	-1,133	4777,4	57,01064	52,6642	0,64	0,62
212	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-153,5	232,5	-78,92	1,711	-2115,915	-0,42	-1,208	4777,4	57,05157	52,6673	0,64	0,62
214	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-156,9	200,8	-43,87	1,717	-2156,208	-0,43	-1,312	4754,2	57,13815	52,5053	0,64	0,62
216	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-159,2	224,6	-65,34	1,667	-2252,236	-0,45	-1,477	4796,7	57,07235	52,6518	0,64	0,62
218	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-157,7	215,8	-58,05	1,692	-2198,345	-0,44	-1,376	4765,3	57,14112	52,6122	0,64	0,62
220	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-159,1	219,5	-60,44	1,653	-2269,647	-0,45	-1,527	4754,6	57,1462	52,655	0,64	0,62
222	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-167,5	220,4	-52,98	1,669	-2366,733	-0,47	-1,726	4811,3	57,1423	52,5181	0,64	0,62
224	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-161,8	222,6	-60,74	1,655	-2306,583	-0,46	-1,589	4788,7	57,17107	52,675	0,64	0,62
226	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-163	220,4	-57,37	1,629	-2359,664	-0,47	-1,748	4754,5	57,16095	52,6311	0,64	0,62
228	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-163,3	215,6	-52,31	1,635	-2355,492	-0,47	-1,732	4786,8	57,20607	52,6851	0,64	0,62
230	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-163,4	204	-40,64	1,622	-2375,355	-0,47	-1,782	4764,7	57,27882	52,6395	0,64	0,62
232	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-161,8	211,9	-50,1	1,622	-2353,11	-0,47	-1,708	4788,9	57,26591	52,7518	0,64	0,62
234	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-163,9	212,5	-48,61	1,61	-2400,827	-0,48	-1,873	4748,8	57,25345	52,6746	0,64	0,62
236	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-166,7	221,1	-54,34	1,557	-2525,637	-0,51	-2,269	4776,6	57			

Πίνακας 10. Αποτελέσματα στην τέταρτη ταχύτητα της αντλίας.

Time(s)	Sp,h(J/KgK)	Sp,c(J/KgK)	mu,h(Kg/ms)	mu,c(Kg/ms)	rho,h(Kg/m3)	rho,c(Kg/m3)	Qh(W)	Qc(W)	Ql(W)	Tlm(K)	U(W/Km2)	NTU	effNTU	Redh	Tho,t(1C)	Tco,t(1C)	Kh(W/mK)	Kc(W/mK)
0	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	0	49,893	-49,9	1,4178	0	0 NaN	0 NaN	0 NaN	NaN	NaN	0,64	0,62
2	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-122,7	4,5534	118,1	1,428	-2026,583	-0,41	-1,076	4931,1	57,7422	53,3058	0,64	0,62
4	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-131,46	-23,26	108,2	1,372	-2259,835	-0,45	-1,267	5531,6	57,9118	53,558	0,64	0,62
6	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-118,48	-40,24	78,24	1,3882	-2012,978	-0,4	-0,939	5552,1	57,755	53,7255	0,64	0,62
8	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-106,36	-19,97	86,38	1,3333	-1881,308	-0,38	-0,813	5543,3	57,5562	53,9969	0,64	0,62
10	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-120,91	-7,286	113,6	1,3171	-2165,16	-0,43	-1,119	5551,5	57,783	53,891	0,64	0,62
12	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-137,75	24,437	113,3	1,2469	-2605,505	-0,52	-2,004	5527,7	58,0769	53,7766	0,64	0,62
14	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-160,73	76,568	84,17	1,2757	-2971,653	-0,6	-3,674	5558,6	58,4565	53,6531	0,64	0,62
16	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-176,04	97,435	78,6	1,2502	-3320,89	-0,67	-9,947	5543,5	59,9408	53,5237	0,64	0,62
18	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-191,41	135,89	55,52	1,1958	-3775,021	-0,76	13,181	5531,5	55,5206	53,4476	0,64	0,62
20	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-206,15	160,69	45,46	1,2792	-3800,67	-0,76	11,373	5507,4	56,2548	53,2367	0,64	0,62
22	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-210,11	160,74	49,37	1,2661	-3914,035	-0,79	7,8448	5492,2	56,6946	53,231	0,64	0,62
24	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-223,3	188,29	35,01	1,282	-4107,818	-0,83	5,4684	5514	57,3543	53,1625	0,64	0,62
26	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-228,22	193,49	34,73	1,2596	-4273,412	-0,86	4,4671	5533	57,5011	53,1615	0,64	0,62
28	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-229,76	193,02	36,74	1,2531	-4324,299	-0,87	4,1265	5504,4	57,5262	53,1351	0,64	0,62
30	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-234,2	207,29	26,91	1,2837	-4302,953	-0,87	4,2505	5508,4	57,6908	53,1113	0,64	0,62
32	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-243,84	206,48	37,36	1,2596	-4565,872	-0,92	3,3744	5520,7	57,6819	52,995	0,64	0,62
34	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-247,03	209,68	37,35	1,268	-4594,813	-0,93	3,3156	5539,4	57,7171	53,0048	0,64	0,62
36	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-248,28	202,93	45,35	1,3038	-4491,185	-0,9	3,6109	5544,3	57,6353	52,9687	0,64	0,62
38	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-255,47	224,12	31,34	1,2958	-4649,881	-0,94	3,1811	5535,1	57,8445	52,9171	0,64	0,62
40	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-257,43	238,42	19,01	1,2874	-4715,963	-0,95	3,0856	5559,3	57,9886	52,9668	0,64	0,62
42	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-254,54	225,69	28,85	1,302	-4610,662	-0,93	3,3039	5559,2	57,8865	52,9926	0,64	0,62
44	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-258,01	234,9	23,11	1,3383	-4546,952	-0,91	3,4648	5538,7	57,9819	52,915	0,64	0,62
46	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-253,84	227,37	26,47	1,3503	-4433,46	-0,89	3,7847	5537,3	57,9111	52,9678	0,64	0,62
48	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-251,64	230,88	20,76	1,3581	-4369,873	-0,88	4,0585	5555,9	57,9693	53,046	0,64	0,62
50	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-256,3	245,18	11,12	1,3705	-4410,595	-0,89	3,935	5575	58,1032	53,0321	0,64	0,62
52	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-256,44	224,51	31,93	1,3399	-4513,818	-0,91	3,5487	5545,5	57,9152	52,9742	0,64	0,62
54	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-257,2	242,34	14,87	1,3449	-4510,284	-0,91	3,5664	5553,4	58,1259	53,0522	0,64	0,62
56	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-257,12	234,64	22,48	1,3486	-4496,714	-0,91	3,6615	5592,7	58,0322	53,0843	0,64	0,62
58	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-261,28	230,2	31,08	1,3361	-4612,295	-0,93	3,3017	5559,1	58,0162	53,0012	0,64	0,62
60	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-256,08	234,43	21,64	1,3212	-4571,325	-0,91	3,4321	5553,4	58,0878	53,0636	0,64	0,62
62	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-255,5	235,37	20,12	1,3477	-4471,255	-0,89	3,7726	5558,3	58,0943	53,0422	0,64	0,62
64	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-251,76	233,49	18,27	1,3028	-4557,527	-0,91	3,4493	5533,5	58,1197	53,1182	0,64	0,62
66	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-261,91	219,8	42,1	1,2918	-4781,766	-0,95	2,9577	5542,2	57,9862	52,9756	0,64	0,62
68	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-263,61	217,39	46,22	1,2854	-4836,723	-0,97	2,8617	5541,9	57,9602	52,9429	0,64	0,62
70	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-255,3	214,13	41,17	1,2397	-4857,229	-0,97	2,8069	5518,1	58,0056	53,0869	0,64	0,62
72	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-266,02	214,67	51,35	1,1967	-5242,737	-1,05	2,3686	5562	58,0124	53,0288	0,64	0,62
74	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-271,53	224	47,53	1,1914	-5375,292	-1,07	2,2628	5578	58,0452	52,9687	0,64	0,62
76	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-263,65	222,37	41,28	1,2105	-5137,024	-1,02	2,4828	5566,9	58,1013	53,1092	0,64	0,62
78	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-268,77	220,81	47,96	1,211	-5234,428	-1,05	2,4097	5613,3	58,0933	53,1239	0,64	0,62
80	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-273,67	228,11	45,57	1,1465	-5629,971	-1,13	2,0572	5538,8	58,1236	52,977	0,64	0,62
82	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-268,77	220,36	48,41	1,1478	-5522,443	-1,1	2,1381	5556,4	58,1156	53,0817	0,64	0,62
84	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-267,23	221,58	45,65	1,1604	-5431,55	-1,08	2,1799	5511,9	58,1577	53,0612	0,64	0,62
86	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-270,67	192,07	78,6	1,0957	-5826,328	-1,17	1,951	5547,1	58,0009	53,0504	0,64	0,62
88	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-261,07	208,36	52,7	1,0797	-5702,925	-1,14	2,019	5551,5	58,1298	53,2833	0,64	0,62
90	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-264,64	199,31	65,32	1,0897	-5727,559	-1,14	2,0157	5565,6	58,0685	53,1938	0,64	0,62
92	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-273,79	210,64	63,15	1,0938	-5903,281	-1,18	1,9312	5586,4	58,1801	53,1731	0,64	0,62
94	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-273,84	200,04	71,08	1,0408	-6205,642	-1,24	1,7839	5540,4	58,1052	53,0778	0,64	0,62
96	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-278,79	188,32	90,47	1,0175	-6462,152	-1,29	1,7064	5572	58,0302	53,0223	0,64	0,62
98	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-272,51	179,42	93,09	1,0695	-6009,571	-1,2	1,8755	5575,4	58,0083	53,1193	0,64	0,62
100	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-279,44	194,78	84,66	0,9959	-6617,968	-1,32	1,6621	5578,9	58,1071	53,0947	0,64	0,62
102	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-276,74	215,29	61,45	1,032	-6324,724	-1,26	1,7393	5535,4	58,2388	53,1311	0,64	0,62
104	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-275,07	183,42	91,64	0,9578	-6773,454	-1,36	1,6083	5537	58,0802	53,1225	0,64	0,62
106	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-277,58	204,11	73,47	0,9812	-6672,389	-1,34	1,63	5521,2	58,2291	53,1493	0,64	0,62
108	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-277,12	187,17	89,95	0,9319	-7013,471	-1,4	1,5533	5537,8	58,1458	53,1472	0,64	0,62
110	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-280,63	195,77	84,86	0,9209	-7186,997	-1,44	1,5166	5535	58,2285	53,1835	0,64	0,62
112	417800	4178																

122	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-292,8	203,55	89,25	0,8531	-8095,102	-1,63	1,384	5572,4	58,2735	53,1279	0,64	0,62
124	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-295,4	205,04	90,35	0,8449	-8245,418	-1,66	1,3673	5579,7	58,2877	53,12	0,64	0,62
126	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-298,85	196,72	102,1	0,8521	-8271,939	-1,66	1,3581	5543,5	58,2588	52,9702	0,64	0,62
128	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-295,09	181,85	113,2	0,7192	-9677,024	-1,94	1,2383	5541,7	58,2451	53,0943	0,64	0,62
130	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-309,21	188,08	121,1	0,5574	-13084,36	-2,64	1,106	5543,7	58,1893	52,9082	0,64	0,62
132	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-295,92	182,98	112,9	0,7593	-9191,728	-1,85	1,2762	5569,1	58,2792	53,1541	0,64	0,62
134	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-301,53	175,41	126,1	0,6503	-10936,15	-2,19	1,175	5563,8	58,2115	53,0347	0,64	0,62
136	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-298,57	179,37	119,2	0,6441	-10932,62	-2,2	1,1724	5533,7	58,2498	53,0823	0,64	0,62
138	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-297,73	182,31	115,4	0,611	-11491,87	-2,31	1,153	5561,6	58,2983	53,1898	0,64	0,62
140	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-301,62	176,57	125,1	0,5683	-12517,96	-2,52	1,1192	5532,2	58,2795	53,0993	0,64	0,62
142	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-300,61	178,79	121,8	0,5772	-12283,21	-2,47	1,1264	5542,7	58,2784	53,123	0,64	0,62
144	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-302,68	181,6	121,1	0,6106	-11690,89	-2,34	1,1451	5552,1	58,3111	53,0987	0,64	0,62
146	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-297,95	188,09	109,9	0,6234	-11271,83	-2,27	1,1577	5523,1	58,3831	53,2012	0,64	0,62
148	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-302,64	183,08	119,6	0,6418	-11121,11	-2,23	1,1674	5563,4	58,3671	53,1747	0,64	0,62
150	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-308,81	190,5	118,3	0,5858	-12432,97	-2,49	1,1234	5562,8	58,347	53,0658	0,64	0,62
152	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-294,74	171,34	123,4	0,6668	-10424,63	-2,09	1,1977	5558,7	58,313	53,2166	0,64	0,62
154	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-296,95	185,25	111,7	0,6815	-10277,24	-2,06	1,2015	5524,7	58,3944	53,1871	0,64	0,62
156	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-307,45	187,61	119,8	0,6587	-11007,95	-2,2	1,1716	5565	58,3895	53,0859	0,64	0,62
158	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-302,03	192,35	109,7	0,6724	-10593,9	-2,12	1,1892	5555,4	58,4346	53,1976	0,64	0,62
160	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-301,9	201,05	100,9	0,7225	-9855,576	-1,97	1,2298	5564	58,4761	53,2301	0,64	0,62
162	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-300,43	199,03	101,4	0,726	-9760,267	-1,96	1,2338	5548	58,4663	53,2268	0,64	0,62
164	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-300,86	201,29	99,56	0,7367	-9631,393	-1,92	1,2445	5570,6	58,4783	53,2383	0,64	0,62
166	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-308,99	205,01	104	0,7268	-10026,41	-2	1,2181	5551,2	58,4923	53,0994	0,64	0,62
168	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-299,19	190,41	108,8	0,7179	-9829,074	-1,97	1,2295	5549,2	58,4765	53,2548	0,64	0,62
170	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-301	198,77	102,2	0,7983	-8892,789	-1,78	1,2964	5540,6	58,5024	53,1961	0,64	0,62
172	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-296,83	195,26	101,6	0,7709	-9081,519	-1,81	1,2803	5539,5	58,5008	53,2547	0,64	0,62
174	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-293,42	184,73	108,7	0,7965	-8688,238	-1,74	1,3202	5576,1	58,4754	53,3515	0,64	0,62
176	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-298,62	198,07	100,6	0,7983	-8822,595	-1,77	1,3066	5567,8	58,5355	53,3121	0,64	0,62
178	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-290,64	184,12	106,5	0,7848	-8733,671	-1,74	1,312	5551,5	58,4633	53,3269	0,64	0,62
180	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-289,94	203,04	86,9	0,8403	-8137,812	-1,63	1,3772	5563,8	58,606	53,468	0,64	0,62
182	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-293,64	213,08	80,56	0,8297	-8346,939	-1,66	1,3513	5553,2	58,6605	53,4348	0,64	0,62
184	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-293,21	192,92	100,3	0,8529	-8108,12	-1,62	1,3821	5571,1	58,5798	53,423	0,64	0,62
186	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-297,61	214,22	83,39	0,8919	-7869,507	-1,57	1,4094	5551,3	58,6426	53,3174	0,64	0,62
188	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-286,7	197,26	89,44	0,7985	-8468,388	-1,69	1,3341	5527,1	58,5814	53,4551	0,64	0,62
190	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-294,59	206,17	88,42	0,8315	-8355,751	-1,67	1,352	5562,5	58,6474	53,4452	0,64	0,62
192	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-295,31	192,09	103,2	0,8238	-8454,199	-1,69	1,3468	5595,4	58,5916	53,4447	0,64	0,62
194	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-294,52	202,29	92,22	0,8124	-8549,949	-1,71	1,3309	5558,6	58,6264	53,4241	0,64	0,62
196	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-289,95	193,1	96,85	0,7973	-8577,101	-1,72	1,3275	5552,8	58,6126	53,5184	0,64	0,62
198	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-286,13	182,95	103,2	0,7988	-8448,699	-1,7	1,3419	5561,2	58,5862	53,5801	0,64	0,62
200	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-293,18	174,51	118,7	0,7415	-9324,66	-1,88	1,2653	5559,9	58,521	53,4634	0,64	0,62
202	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-292,49	192,47	100	0,7841	-8797,872	-1,77	1,3098	5572,5	58,6445	53,5626	0,64	0,62
204	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-294,51	199,2	95,31	0,8071	-8605,746	-1,73	1,3265	5564,4	58,6718	53,511	0,64	0,62
206	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-295,77	193,06	102,7	0,7531	-9263,387	-1,86	1,275	5601,3	58,6624	53,5794	0,64	0,62
208	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-288,13	176,35	111,8	0,7636	-8898,815	-1,78	1,2928	5520,1	58,6159	53,5134	0,64	0,62
210	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-286,48	197,11	89,37	0,7595	-8896,312	-1,78	1,2977	5551,3	58,7138	53,6749	0,64	0,62
212	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-296,2	196	100,2	0,7399	-9442,021	-1,9	1,2588	5577	58,7272	53,6124	0,64	0,62
214	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-293,63	188,38	105,3	0,734	-9434,648	-1,89	1,2565	5556,9	58,7003	53,5862	0,64	0,62
216	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-293,25	172,64	120,6	0,6617	-10452,29	-2,1	1,1987	5576,9	58,6433	53,6226	0,64	0,62
218	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-294,4	188,3	106,1	0,6317	-10992,05	-2,2	1,1664	5501,2	58,7081	53,5287	0,64	0,62
220	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-299,17	180,01	119,2	0,5952	-11853,8	-2,39	1,142	5571,3	58,6921	53,6113	0,64	0,62
222	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-298,35	189,14	109,2	0,6891	-10211,5	-2,05	1,209	5557,9	58,7345	53,5768	0,64	0,62
224	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-298,84	170,69	128,1	0,5482	-12857,01	-2,59	1,1139	5579,5	58,6718	53,625	0,64	0,62
226	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-292,69	177,91	114,8	0,5854	-11791,52	-2,38	1,1403	5528,5	58,7304	53,6806	0,64	0,62
228	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-304,32	197,7	106,6	0,5394	-13307,15	-2,67	1,1018	5559,4	58,7683	53,5801	0,64	0,62
230	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-307,12	197,88	109,2	0,5664	-12788,65	-2,57	1,1137	5553,5	58,7754	53,5273	0,64	0,62
232	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-300,16	184,87	115,3	0,5417	-13069,46	-2,63	1,1069	5554,6	58,7683	53,6468	0,64	0,62
234	417800	4178	0,000769	0,000769	987,099976	987,099976	-303,04	185,73	117,3	0,5615	-12727,93	-2,56	1,1146	5544,4	58,759	53,5733	0,64	0

Στον πίνακα 11 φαίνονται οι μέσοι όροι των ενδείξεων των αισθητήρων σε κάθε ταχύτητα της αντλίας αλλά και ο μέσος όρος όλων των ενδείξεων των ταχυτήτων των αντλιών.

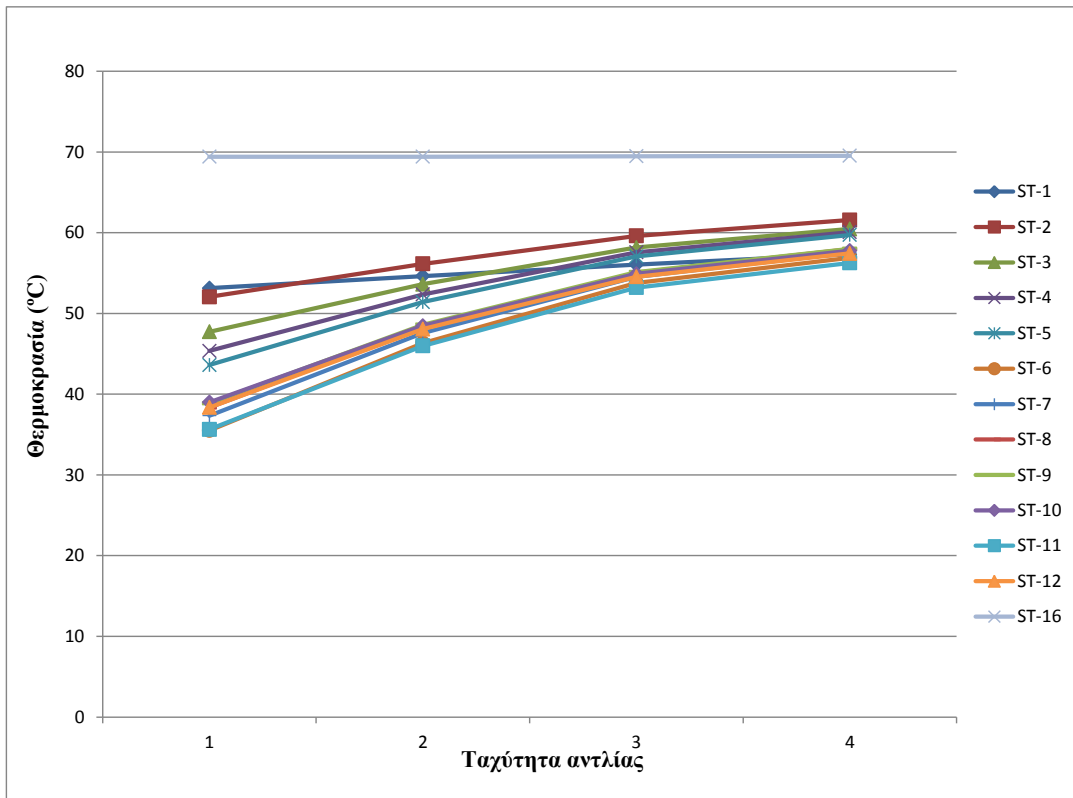
Πίνακας 11. Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων όρων των ενδείξεων των θερμομέτρων.

	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ														
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΤΛΙΑΣ	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-9	ST-10	ST-11	ST-12	ST-16	SC-1	SC-2
1	53,135	52,059	47,741	45,363	43,61	35,503	37,347	38,348	38,87	39,005	35,638	38,36	69,424	0,918	0,672
2	54,635	56,154	53,634	52,358	51,415	46,336	47,595	48,306	48,613	48,482	45,987	48,07	69,428	1,106	2,251
3	56,051	59,614	58,168	57,578	57,064	53,782	54,542	55,025	55,133	54,915	53,206	54,541	69,479	1,34	3,108
4	57,332	61,572	60,475	60,073	59,723	56,899	57,556	57,965	58,017	57,781	56,26	57,442	69,538	1,536	3,075
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	55,288	57,35	55,004	53,843	52,953	48,13	49,26	49,911	50,158	50,046	47,773	49,603	69,467	1,225	2,276

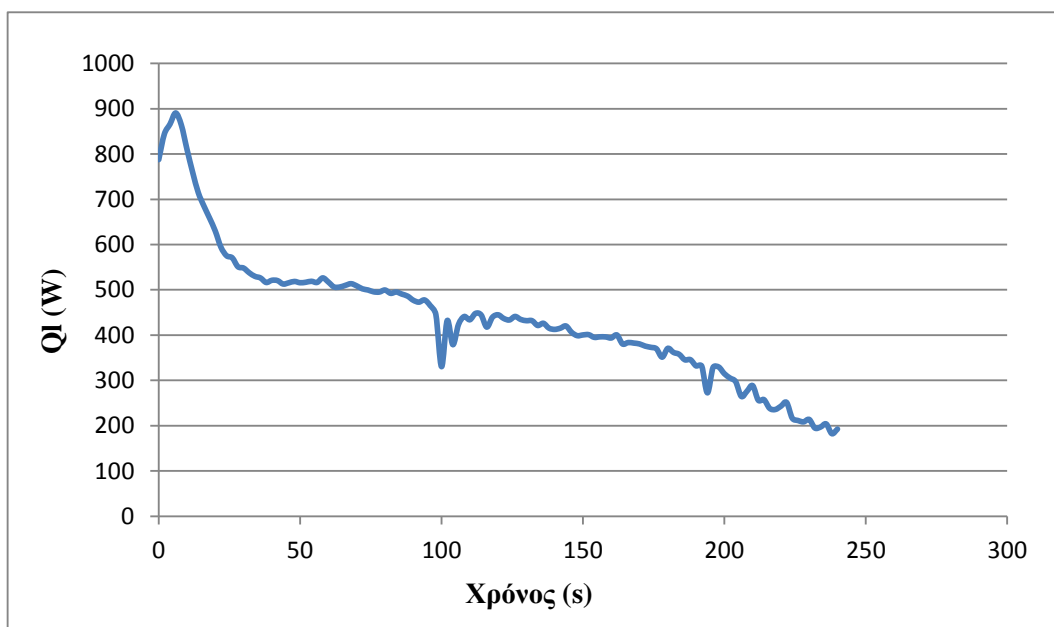
Καθώς τρέχει το πείραμα η ταχύτητα αντλίας 1 αντιστοιχεί στα 4 λεπτά, η 2 στα 8, η 3 σε 12 και η 4 στα 16 του πειράματος.

Σύμφωνα με τον πίνακα αυτό αποδεικνύεται ότι ο εναλλάκτης είναι σε λειτουργία αντιρροής. Παίρνοντας τις τιμές του συνολικού μέσου όρου και σύμφωνα με τη θεωρία (Edibon, 2010) πρέπει η διαφορά θερμοκρασίας $\Delta T_1 = T_{\text{νερού στην έξοδο}} - T_{\text{χυμού στην είσοδο}}$ να είναι μικρότερη από $\Delta T_2 = T_{\text{νερού στην είσοδο}} - T_{\text{χυμού στην έξοδο}}$, και η κατεύθυνση θερμοκρασίας των δύο ρευστών να κινείται αντίθετα, $T_{\text{νερού στην είσοδο}} > T_{\text{νερού στην έξοδο}}$ ενώ $T_{\text{χυμού στην έξοδο}} < T_{\text{χυμού στην είσοδο}}$. $\Delta T_1 = 50,046 - 50,158 = -0,112$ και $\Delta T_2 = 57,35 - 55,288 = 2,062$ άρα $\Delta T_1 < \Delta T_2$ και $T_{\text{νερού στην είσοδο}} (57,35) > T_{\text{νερού στην έξοδο}} (50,046)$ ενώ $T_{\text{χυμού στην έξοδο}} (55,288) < T_{\text{χυμού στην είσοδο}} (50,158)$.

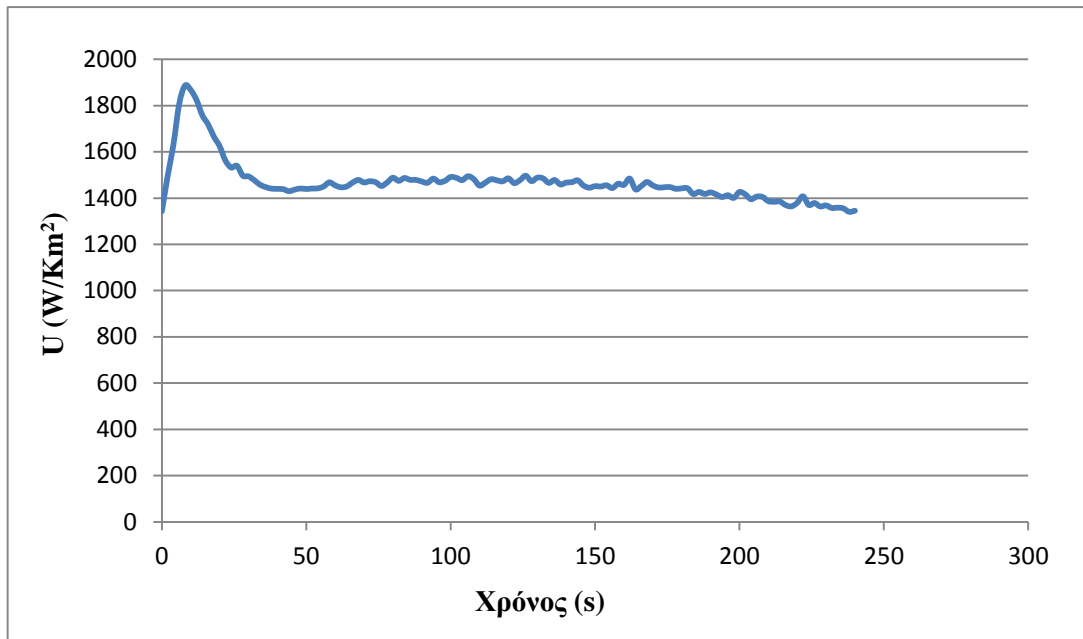
Τέλος στο διάγραμμα 1 φαίνεται ότι με το πέρας του χρόνου οι θερμοκρασίες των θερμομέτρων πλησιάζουν όλο και περισσότερο μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τα ποσά θερμότητας που μεταφέρονται από το νερό στο χυμό να μειώνονται.



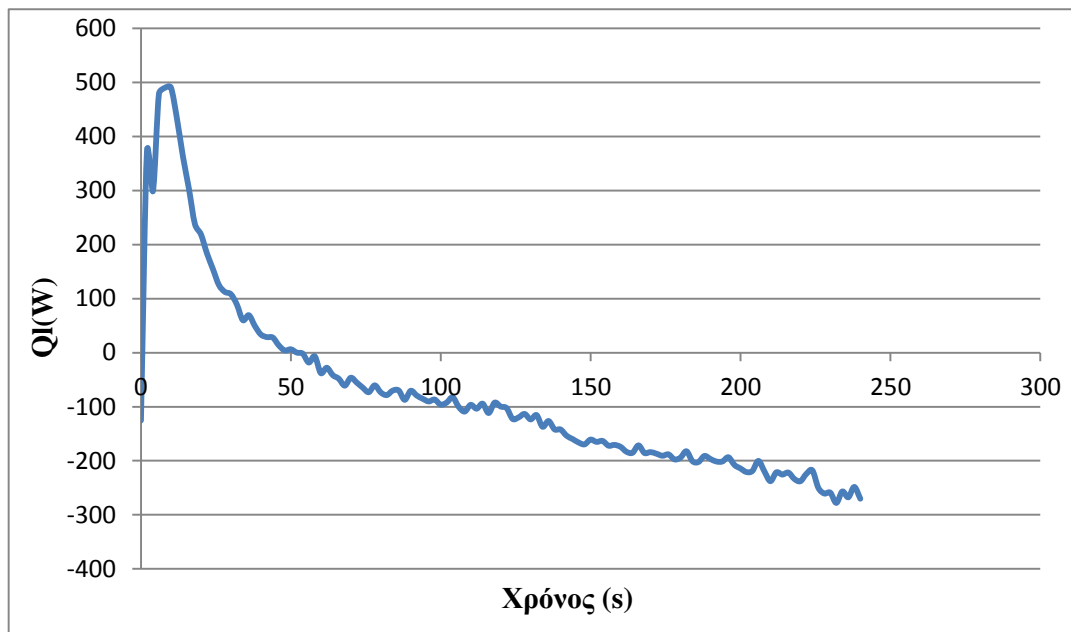
Διάγραμμα 1. Μέση μεταβολή των θερμοκρασιών των θερμομέτρων σε σχέση με την ταχύτητα της αντλίας.



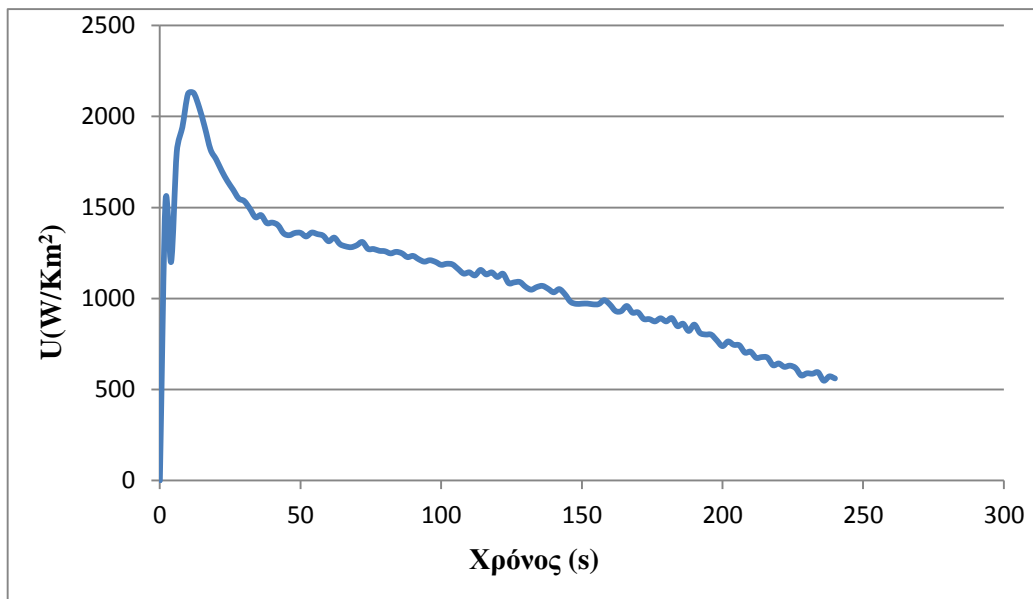
Διάγραμμα 2. Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας (QI) με το χρόνο στην πρώτη ταχύτητα ροής.



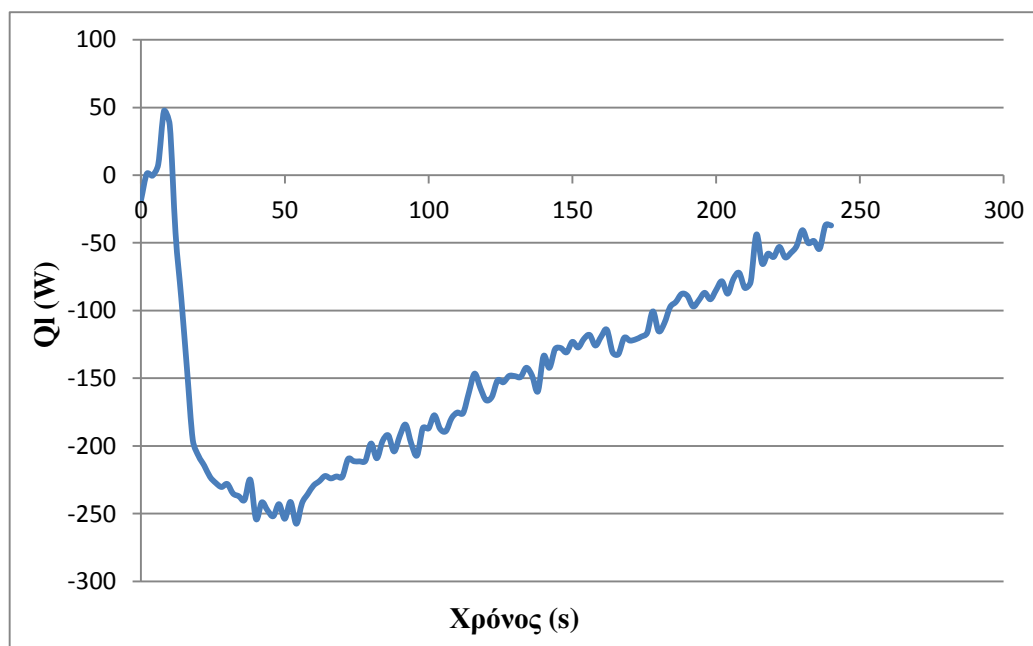
Διάγραμμα 3. Μεταβολή του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας (U) με το χρόνο στη πρώτη ταχύτητα ροής.



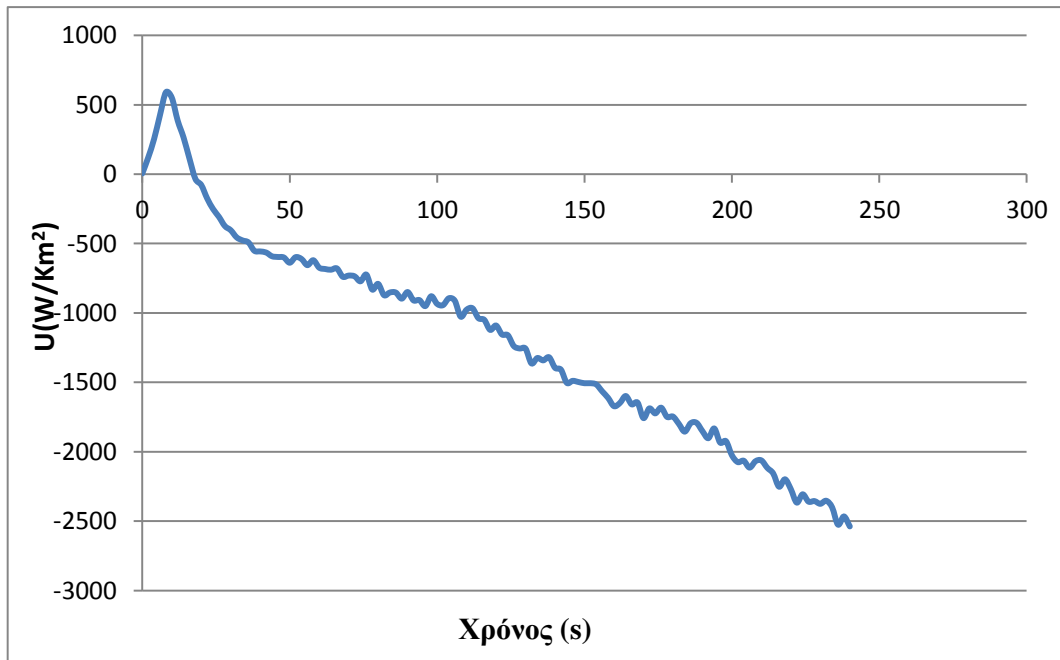
Διάγραμμα 4. Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας (QI) με το χρόνο στη δεύτερη ταχύτητα ροής.



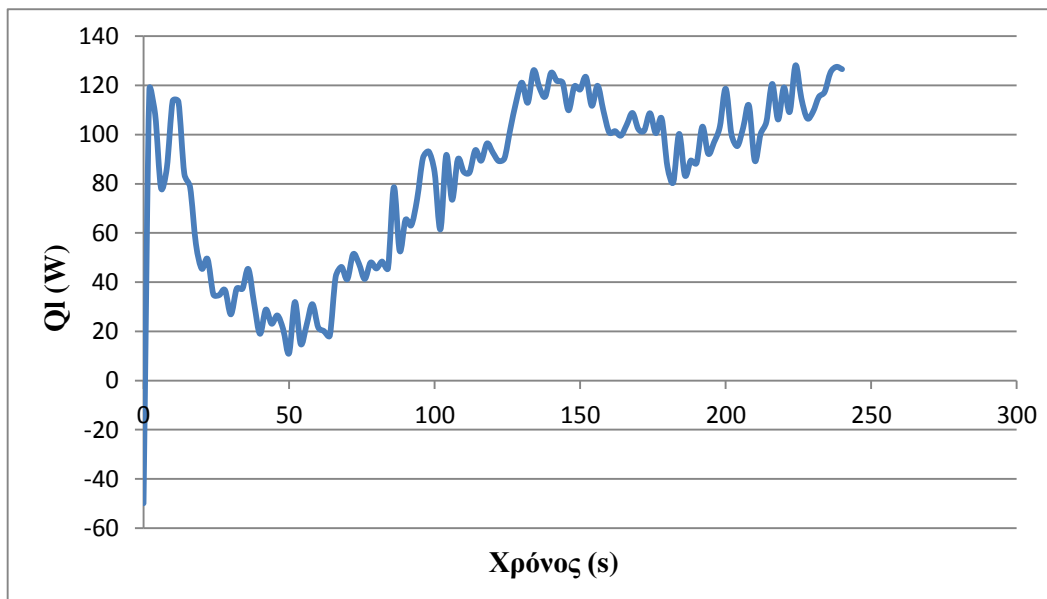
Διάγραμμα 5. Μεταβολή του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας (U) με το χρόνο στη δεύτερη ταχύτητα ροής.



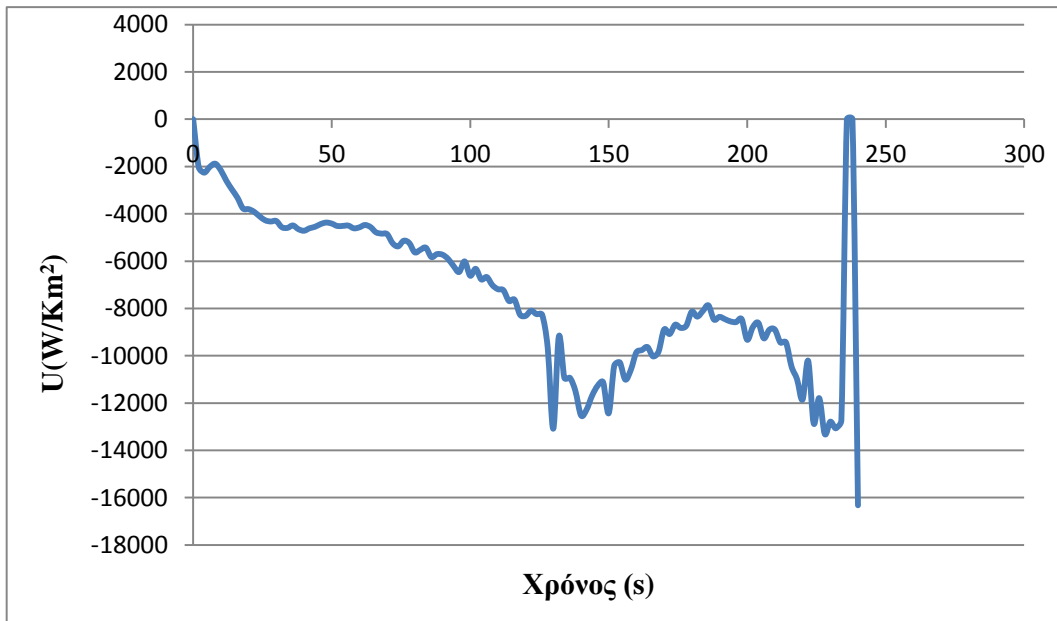
Διάγραμμα 6. Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας (QI) με το χρόνο στην τρίτη ταχύτητα ροής.



Διάγραμμα 7. Μεταβολή του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας (U) με το χρόνο στην τρίτη ταχύτητα ροής.



Διάγραμμα 8. Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας (QI) με το χρόνο στην τέταρτη ταχύτητα ροής.



Διάγραμμα 9. Μεταβολή του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας (U) με το χρόνο στην τέταρτη ταχύτητα ροής.

Στο διάγραμμα 2 ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας ξεκινά από μια υψηλή τιμή και στη συνέχεια πέφτει σταδιακά. Αυτό συμβαίνει καθώς η θερμοκρασία του χυμού αυξάνεται και τείνει να ισορροπήσει με αυτή του νερού συνεπώς το απαιτούμενο ποσοστό θερμότητας μειώνεται.

Στο διάγραμμα 3 παρατηρείται ότι ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ξεκινά από μια υψηλή τιμή και καθώς μεταφέρεται θερμότητα από το νερό στο χυμό ξεκινά η πτώση του μέχρι που αρχίζει να σταθεροποιείται καθώς περνά ο χρόνος και το σύστημα τείνει να ισορροπήσει.

Στο διάγραμμα 4 ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας ξεκινά από υψηλές τιμές με μικρή ανοδική πορεία τα είκοσι περίπου πρώτα δευτερόλεπτα και στη συνέχεια πέφτει σταδιακά και φτάνει αρνητικές τιμές. Αυτό συμβαίνει καθώς η θερμοκρασία του χυμού έχει σχεδόν ισορροπήσει με αυτή του νερού συνεπώς και δεν υπάρχει κάποιο ποσοστό μετάδοσης θερμότητας που να απαιτείται πλέον.

Στο διάγραμμα 5 παρατηρείται ότι ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ξεκινά από υψηλές τιμές με μικρή ανοδική πορεία τα είκοσι περίπου πρώτα δευτερόλεπτα και καθώς μεταφέρεται θερμότητα από το νερό στο χυμό ξεκινά η πτώση του καθώς περνά ο χρόνος και το σύστημα τείνει να ισορροπήσει.

Στο διάγραμμα 6 ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας ξεκινά από πολύ χαμηλές τιμές με μικρή ανοδική πορεία τα δέκα περίπου πρώτα δευτερόλεπτα και στη συνέχεια πέφτει σταδιακά μέχρι που φτάνει αρνητικές τιμές. Αυτό συμβαίνει καθώς η θερμοκρασία του χυμού έχει σχεδόν ισορροπήσει με αυτή του νερού συνεπώς και δεν υπάρχει κάποιο ποσοστό μετάδοσης θερμότητας που να απαιτείται πλέον.

Στο διάγραμμα 7 παρατηρείται ότι ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ξεκινά από πολύ χαμηλές τιμές με μικρή ανοδική πορεία τα δέκα περίπου πρώτα δευτερόλεπτα και καθώς μεταφέρεται θερμότητα από το νερό στο χυμό ξεκινά η πτώση του μέχρι που φτάνει αρνητικές τιμές καθώς περνά ο χρόνος και το σύστημα έχει σχεδόν ισορροπήσει.

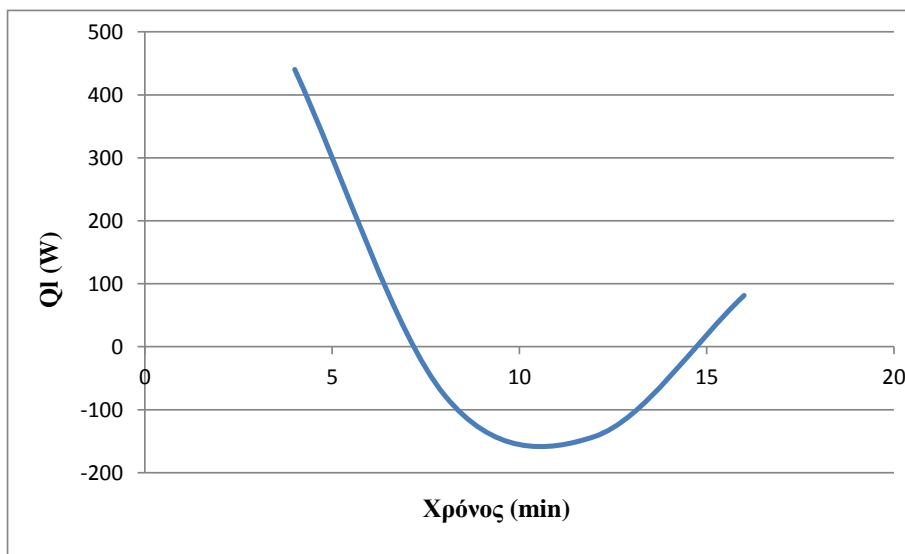
Στο διάγραμμα 8 ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας ξεκινά από χαμηλές τιμές με ανοδική πορεία τα είκοσι περίπου πρώτα δευτερόλεπτα και στη συνέχεια πέφτει σταδιακά μέχρι τα πενήντα δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας εμφανίζει πάλι ανοδική πορεία μέχρι τα εκατόν πενήντα δευτερόλεπτα μέχρι που αρχίζει να σταθεροποιείται. Αυτό συμβαίνει καθώς η θερμοκρασία του χυμού αυξάνεται όλο και πιο πολύ και βρίσκεται σε θέση να ισορροπήσει με αυτή του νερού.

Στο διάγραμμα 9 παρατηρείται ότι ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ξεκινά από αρνητικές τιμές με μικρή πτώση μέχρι που αρχίζει να σταθεροποιείται. Αυτό συμβαίνει καθώς η θερμοκρασία του χυμού έχει σχεδόν ισορροπήσει με αυτή του νερού συνεπώς και δεν υπάρχει κάποιο ποσοστό μετάδοσης θερμότητας που να απαιτείται πλέον.

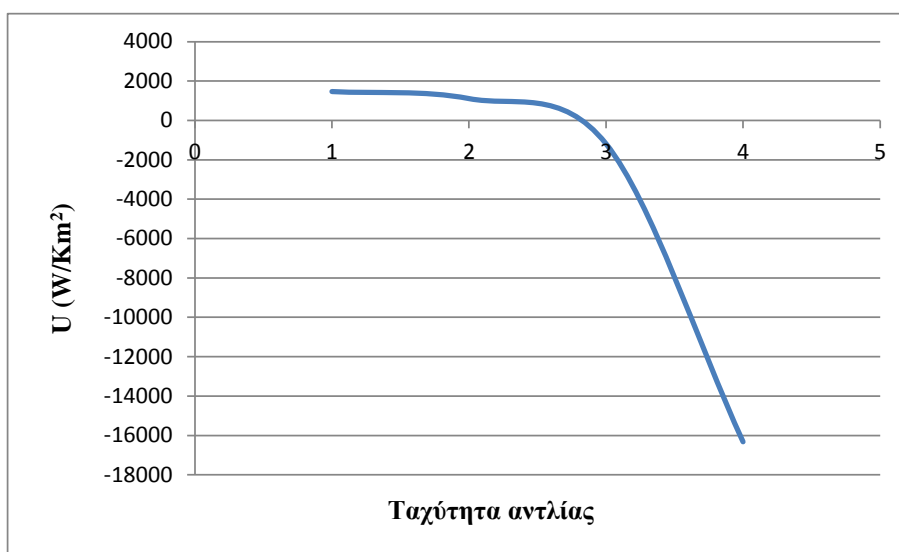
Πίνακας 12. Συγκεντρωτικός πίνακας των μέσων όρων των αποτελεσμάτων.

TAXYTHTA ANTLIAS	Qh (W)	Qc (W)	Ql (W)	Tlm (K)	U (W/ Km2)	NTU	effNTU
1	601,5403	161,3158	440,2245	9,6009	1468,9529	1,4197	0,6311
2	252,753	329,6721	-76,9191	5,1288	1111,2576	0,3344	0,2191
3	-98,6153	244,7695	-142,785	2,1957	-1182,0559	-0,235	-0,552
4	-268,087	185,1774	81,40957	0,443	-16322,552	-3,285	1,0547

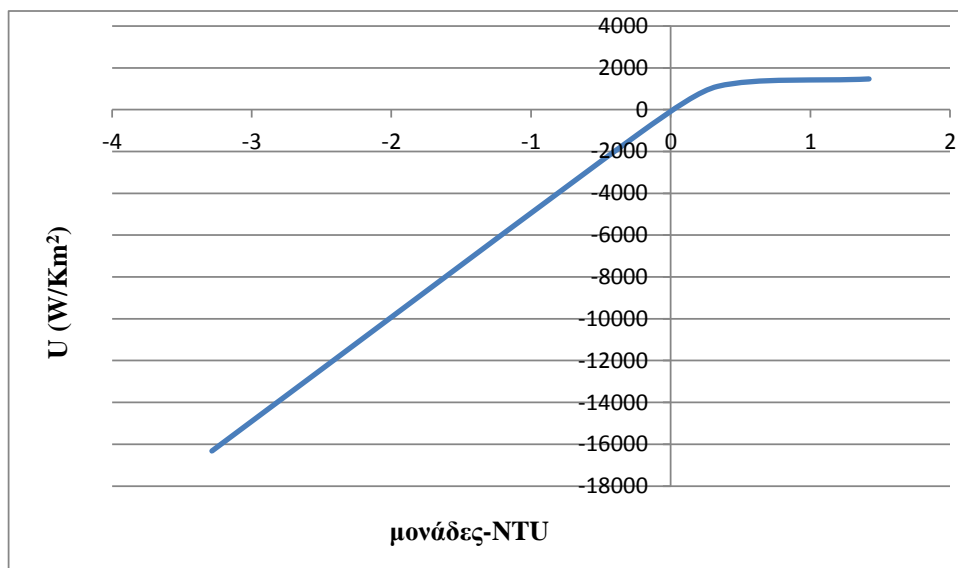
Από τις τιμές του πίνακα 12 δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 10. Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας σύμφωνα με το χρόνο.



Διάγραμμα 11. Μεταβολή του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας σύμφωνα με την ταχύτητα της αντλίας.



Διάγραμμα 12. Μεταβολή του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας σύμφωνα με τις μονάδες NTU

Στο διάγραμμα 10 φαίνεται η σχέση που έχει ο χρόνος με τον ρυθμό μετάδοσης θερμότητας. Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας μειώνεται σταδιακά με το πέρασ του χρόνου και μάλιστα καταλήγει σε αρνητική τιμή. Αυτό συμβαίνει διότι στη αρχή οι θερμοκρασιακές διαφορές είναι μεγάλες και καθώς γίνεται προσπάθεια να ισοροπήσει το σύστημα αυτές μειώνονται έως ότου φτάσουν μια αρνητική τιμή. Αυτό δηλώνει ότι η θερμοκρασία νερού και η θερμοκρασία χυμού έχουν πλησιάσει πολύ συνεπώς δεν υπάρχει να μεταδοθεί άλλη θερμότητα από το θερμό στο ψυχρό.

Στο διάγραμμα 11 φαίνεται η μεταβολή του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας με την ταχύτητα της αντλίας. Ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας επηρεάζεται από τις συνθήκες ροής. Αφού η ταχύτητα ροής επηρεάζεται λόγω τριβής, ο συντελεστής αυτός διαμορφώνεται διαφορετικά σε κάθε διαφορετική ταχύτητα αντλίας. Γενικότερα οι υψηλές ταχύτητες στην αντλία βελτιστοποιούν τον συντελεστή αυτό. Έχοντας όμως πιάσει μια θερμοκρασία το σύστημα και λόγω τριβής, οι πολύ υψηλές ταχύτητες δεν επιτρέπουν τη βέλτιστη μετάδοση θερμότητας με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας.

Στο διάγραμμα 12 φαίνεται η σχέση των μονάδων NTU με τον ολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Οι μονάδες NTU είναι ανάλογες με τον συντελεστή μετάδοσης θερμότητας. Δηλαδή οι μονάδες αυτές συμπεριφέρονται όπως ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας όπως φαίνεται στο διάγραμμα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως φαίνεται από τις ενδείξεις των θερμομέτρων η θερμοκρασία νερού δεξαμενής είναι σε όλο το διάστημα της διεξαγωγής του πειράματος σταθερή και αγγίζει τη θερμοκρασία που έχει ρυθμιστεί από το λογισμικό. Συνεπώς η θερμική μόνωση της δεξαμενής της αντλίας είναι πολύ καλή καθώς δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον. Όσον αφορά τις θερμοκρασίες του νερού οι θερμοκρασίες διαμορφώνονται ανάλογα με την ταχύτητα και κατεύθυνση ροής του.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα των τεσσάρων διαγραμμάτων (Διάγραμμα 2, 4, 6 και 8) φαίνεται ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας να ξεκινά από μια υψηλή τιμή και στη συνέχεια να πέφτει σταδιακά. Αυτό γίνεται επειδή η θερμοκρασία του χυμού αυξάνεται και τείνει να ισορροπήσει με αυτή του νερού. Άρα όσο περνάει ο χρόνος χρήσης του εναλλάκτη υπάρχει μείωση του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας.

Ακόμα, όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 1, όσο περνάει ο χρόνος οι θερμοκρασίες των θερμομέτρων πλησιάζουν όλο και περισσότερο μεταξύ τους με αποτέλεσμα στο διάστημα των υψηλών ροών (σε χρόνο 12-16 λεπτά) τα θερμομέτρα να έχουν παρόμοιες θερμοκρασίες μεταξύ τους. Έτσι επεξηγείται ότι από ένα σημείο και μετά, αφού μεταδοθεί η περισσότερη θερμότητα που είναι δυνατόν, δεν θα υπάρχει πλέον μεταφορά θερμότητας.

Ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας επηρεάζεται από τις συνθήκες ροής. Αφού η ταχύτητα ροής επηρεάζεται λόγω τριβής, ο συντελεστής αυτός διαμορφώνεται διαφορετικά σε κάθε διαφορετική ταχύτητα ροής. Γενικότερα οι υψηλές ταχύτητες βελτιστοποιούν τον συντελεστή U (W/Km^2). Έχοντας όμως πιάσει μια θερμοκρασία αρκετά γρήγορα το σύστημα (λόγω μεγέθους) και λόγω τριβής, οι πολύ υψηλές ταχύτητες δεν επιτρέπουν την σωστή μετάδοση θερμότητας με αποτέλεσμα ο συντελεστής να μειώνεται.

Σύμφωνα με τη θεωρία οι μονάδες NTU είναι ανάλογες με τον συντελεστή μετάδοσης θερμότητας πράγμα το οποίο σημαίνει ότι τα ποσά τους είναι ανάλογα. (Edibon, 2010) Άρα οι μονάδες αυτές συμπεριφέρονται σχετικά όμοια με το συντελεστή μετάδοσης θερμότητας όπως παραθέεται παραπάνω στα αποτελέσματα.

Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι για την καλύτερη μετάδοση θερμότητας η ροή δεν πρέπει να είναι ιδιαίτερα υψηλή γιατί δεν προλαβαίνει να μεταφερθεί η επιθυμητή ποσότητα θερμότητας στο ρευστό (χυμός). Όσον αφορά τον ολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας (U) φαίνεται στα αποτελέσματα να αυξάνεται λίγο κ έπειτα να μειώνεται έως ότου σταθεροποιηθεί στην πρώτη ταχύτητα ροής, να εμφανίζει έντονη μείωση στη δεύτερη ταχύτητα και ύστερα να πέφτει σε αρνητικές τιμές στην τρίτη και τέταρτη ταχύτητα ροής. Αυτό συμβαίνει επειδή ο χυμός λόγω της τυρβώδους ροής έχει αποκτήσει υψηλή ροή και έτσι διέρχεται μέσα από τον εναλλάκτη γρήγορα. Επίσης ο εναλλάκτης μετά την δεύτερη ταχύτητα ροής δεν προλαβαίνει να μεταδώσει το ίδιο ποσοστό θερμοκρασίας. Τέλος η κατεύθυνση της ροής είναι αντίθετη (αντιρροή).

Γενικότερα στην βιομηχανία τροφίμων (καθώς και του πετρελαίου) παρατηρήθηκε κατά την έρευνα πληροφοριών ότι προτιμώνται οι εναλλάκτες σε διάταξη αντιρροής. Αυτό συμβαίνει γιατί η διάταξη αντιρροής είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα και η διαφορά θερμοκρασιών στις επιφάνειες των τοιχωμάτων του εναλλάκτη είναι μικρή, πράγμα που δεν ευνοεί την απόθεση αλάτων (Βαρζάκας, Φιλιππαίου, 2012). Ακόμα επειδή το θερμό ρευστό πραγματοποιεί καλύτερη μετάδοση θερμότητας στην μέση του σωλήνα του ψυχρού ρευστού, λόγω της αντίθετης κατεύθυνσης, έχουμε ως αποτέλεσμα την καλύτερη αγωγιμότητα και την γρηγορότερη αύξηση της θερμοκρασίας. Δηλαδή σε γενικές γραμμές οι εναλλάκτες σε διάταξη αντιρροής έχουν μεγαλύτερη απόδοση όποτε και οι μετρήσεις του συνολικού συντελεστή αν και φθίνουν είναι αξιόλογες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία:

- Βαρζάκας Θ. , Φιλιππαίου Γ. (2012) . Σημειώσεις εργαστηρίου μηχανικής τροφίμων. Καλαμάτα, ΑΤΕΙ Καλαμάτας, Τμήμα τεχνολογίας τροφίμων., σελίδες 139-156, 191-194
Αναφορά μέσα στο κείμενο: (Βαρζάκας, Φιλιππαίου, 2012)
- Ζουμπούλης Α. , Καραπάντσιος Θ. , Μάτης Κ. , Μαύρος Π. (2013) . Στοιχεία φυσικών διεργασιών . Αθήνα : Εκδόσεις Τζιόλα . Κεφάλαιο 5 , σελίδες: 85-95
Αναφορά μέσα στο κείμενο: (Ζουμπούλης Α., κ.α, 2009)
- Κόντου Γ. (1995) . Μηχανολογικός εξοπλισμός επεξεργασίας τροφίμων κονσερβοποιίας . Αθήνα : Οργανισμός Εκδόσεων διαδικτυακών βιβλίων Κεφάλαιο 2 ,σελίδες: 65-68
Αναφορά μέσα στο κείμενο : (Κόντου Γ., 1995)
- Λάζος Ε. (2010) . Επεξεργασία Τροφίμων . Τόμος 1 . Αθήνα : Εκδοτικός Οίκος Interbooks . Μέρος 2 , σελίδες: 50-106, 162-233
Αναφορά μέσα στο κείμενο: (Λάζος Ε., 2010)
- Μπλούκας Ι. Γ. (2004) . Επεξεργασία & Συντήρηση Τροφίμων . Αθήνα : Εκδόσεις Σταμούλη Α. Ε. Κεφάλαια 2 & 4
Αναφορά μέσα στο κείμενο: (Μπλούκας Ι. Γ. , 2004)
- Τσίνογλου Δ., (2015), Μετάδοση Θερμότητας), διαθέσιμο στη σελίδα <http://teiserron.gr/index.php?action=dlattach;topic=747.0;attach=615>, Τελευταία επίσκεψη 16-11-15
Αναφορά μέσα στο κείμενο: (Τσίνογλου, 2015)

Αγγλική βιβλιογραφία:

- Edibon. (2010). TIFT Manual Madrid
Αναφορά μέσα στο κείμενο: (Edibon, 2010)
- Ohlsson T. , Bengtsson N. (2000) . Minimal processing technologies in the food industry. America : CRC Press LLC 2nd edition CRC order number WP1454, Chapter 2 , pages: 4-12
Αναφορά μέσα στο κείμενο: (Ohlsson T. ,Bengtsson N. , 2000)
- Varzakas T. (2015), Food engineering handbook:Food engineering fundamentals:, Athens, CRC Press(Chapter Heat exchangers)
Αναφορά μέσα στο κείμενο: (Varzakas T., 2015)