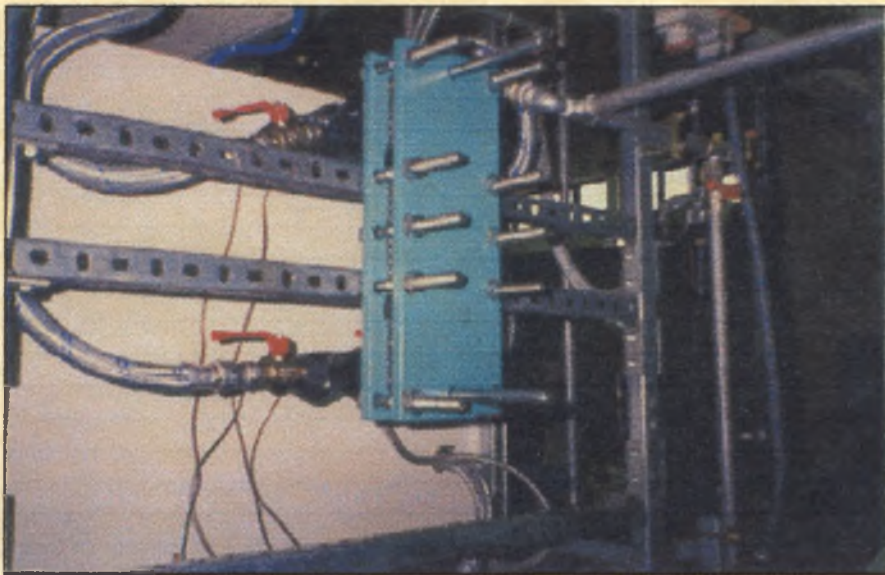


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ & ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:  
‘ΔΙΦΑΣΙΚΗ ΡΟΗ ΝΕΡΟΥ-ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ  
ΠΛΑΚΩΝ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΟΥ’**



**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Dr. Β. ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ**  
**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: Dr. Ν. ΒΛΑΧΟΣ**  
**Dr. Α. ΣΤΑΜΑΤΕΛΜΟΣ**

*ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 1998*

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ & ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:  
‘ΔΙΦΑΣΙΚΗ ΡΟΗ ΝΕΡΟΥ-ΑΕΡΑ ΣΕ  
ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΩΝ ΚΑΙ  
ΠΛΑΙΣΙΟΥ’**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Dr. Β. ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ**  
**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: Dr. Ν. ΒΛΑΧΟΣ**  
**Dr. Α. ΣΤΑΜΑΤΕΛΛΟΣ**

**ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 1998**

*Η φωτογραφία στο εξώφυλλο απεικονίζει τον εναλλάκτη πλακών του Εργαστηρίου Φυσικών & Χημικών Διεργασιών.*



αρ. εισ. III/ΜΑ.....

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000050793

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 945/1

Ημερ. Εισ.: 21-07-1998

Δωρεά:

Ταξιδετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜΒ

1998

ΚΑΡ



---

## I. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Οι εναλλάκτες θερμότητας με πλάκες (plate heat exchangers) χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση ή ψύξη κυρίως υγρών και παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι των σωληνωτών εναλλακτών. Πιο συγκεκριμένα, παρέχουν μεγάλη επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας για συγκεκριμένο όγκο εγκατάστασης και αποσυνδέονται εύκολα για καθαρισμό.

Τα δύο ρευστά ρέουν σε αντιρροή δια μέσου μικρών διακένων μεταξύ των πλακών. Κάθε υγρό κινείται εναλλάξ προς τα πάνω και προς τα κάτω με τυρβώδη ροή, επιτυγχάνοντας υψηλούς συντελεστές μετάδοσης θερμότητας. Οι πλάκες συνδέονται στεγανά μεταξύ τους με **παρεμβύσματα (gaskets)** και συμπιέζονται με τρόπο ανάλογο προς τα διηθητικά πιεστήρια (φιλτροπρέσσα).

Οι πλάκες φέρουν κυματοειδείς αυλακώσεις μέσω των οποίων επιτυγχάνεται έντονη τυρβώδης ροή και υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης θερμότητας. Οι συνολικοί συντελεστές μετάδοσης θερμότητας είναι περίπου διπλάσιοι των αντιστοίχων συντελεστών των σωληνωτών εναλλακτών και κυμαίνονται μεταξύ 5000-10000W/m<sup>2</sup>K. Οι συντελεστές αποθέσεων είναι πολύ υψηλοί (10000-100000W/m<sup>2</sup>K).

Οι εναλλάκτες θερμότητας με πλάκες ενδείκνυνται ιδιαίτερα για τη θέρμανση ευπαθών προϊόντων, λόγω του υψηλού ρυθμού μεταφοράς θερμότητας και του μικρού χρόνου παραμονής. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην παστερίωση του γάλατος, των χυμών φρούτων κ.λ.π. Για κατασκευαστικούς λόγους οι εναλλάκτες αυτοί δεν ενδείκνυνται για ιξώδη ρευστά και αιωρήματα και για λειτουργία σε υψηλή πίεση ή θερμοκρασία.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη ενός εναλλάκτη θερμότητας πλακών-πλαισίου σε συνθήκες διφασικής ροής. Αρχικά, ως θερμαντικό μέσο χρησιμοποιήθηκε **λάδι της SHELL, το THERMIA B**. Το λάδι αυτό, στη συνέχεια, αντικαταστάθηκε με **αποσκληρυμένο νερό**. Ως ψυχρό ρευστό, χρησιμοποιήθηκε **διφασικό μίγμα νερού-αέρα**. Στο σημείο αυτό έγκειται και ο πρωτοποριακός χαρακτήρας αυτής της μελέτης, αφού δεν υπάρχουν ανάλογες διαθέσιμες δημοσιεύσεις.

Για να μελετηθεί μια συσκευή, πρέπει να υπολογιστεί μια ποσότητα που την χαρακτηρίζει, όπως ο βαθμός απόδοσης. Το μέγεθος που χαρακτηρίζει μια συσκευή εναλλαγής θερμότητας είναι ο **συντελεστής μετάδοσης θερμότητας U**. Για τον υπολογισμό του συντελεστή αυτού εκτελέστηκαν αρκετές σειρές πειραμάτων. Ο **συντελεστής μετάδοσης θερμότητας h<sub>1</sub>** από την πλευρά του θερμαντικού ρευστού υπολογίζεται με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου **APLE1 της HTFS** (περιγραφή στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5). Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με βάση παροχές, θερμοκρασίες, πιέσεις και φυσικές ιδιότητες των ρευστών. Οι αποθέσεις θεωρούνται και είναι στην πραγματικότητα αμελητέες.



Από τα παραπάνω, μπορεί να υπολογιστεί ο **συντελεστής μετάδοσης θερμότητας  $h_2$**  από την πλευρά του διφασικού ρεύματος, ως το πηλίκο:

$$h_2 = \frac{h_1 \cdot U}{h_1 - U}$$

Το μέγεθος αυτό αποτελεί το ζητούμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, το ζητούμενο είναι ο συσχετισμός του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $h_2$  από την πλευρά του διφασικού μίγματος, με το είδος της ροής.

Αναφορικά με το είδος της ροής, λήφθηκε ως μοντέλο η διφασική ροή ροή νερού-αέρα σε κατακόρυφο κυλινδρικό σωλήνα. Αυτή ήταν η καλύτερη προσέγγιση που μπορούσε να γίνει με βάση τις υπάρχουσες δημοσιεύσεις και τη βιβλιογραφία. Λόγω πίεσης χρόνου, δεν πάρθηκαν φωτογραφίες της ροής, αφού θα έπρεπε να γίνει κάποια αναπροσαρμογή στην κεφαλή του εναλλάκτη. Μελλοντικά, προβλέπεται να φωτογραφηθεί η ροή, έτσι ώστε να αποκαλυφθεί η πραγματική σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην περιοχή ροής και το συντελεστή  $h_2$  (σχετική πρόταση στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6).

Αναφέρθηκε και προηγουμένως, ότι στην πορεία των πειραμάτων το λάδι της SHELL, το THERMIA B, αντικαταστάθηκε με νερό. Το πρόβλημα που οδήγησε στην αντικατάσταση του λαδιού ήταν ότι η κυρίαρχη αντίσταση στη μετάδοση θερμότητας εμφανιζόταν από την πλευρά του λαδιού. Το αποτέλεσμα ήταν ότι ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας  $h_1$  από την πλευρά του λαδιού έπαιρνε μικρότερες τιμές από τον ολικό συντελεστή  $U$  και συνεπώς (από την προηγούμενη εξίσωση) ο συντελεστής  $h_2$  εμφανιζόταν να έχει αρνητική τιμή.

Φυσικά, αυτές οι μετρήσεις δεν είχαν αξία, αφού καθιστούσαν αδύνατη κάθε περαιτέρω επεξεργασία. Η αντικατάσταση του λαδιού από νερό έδωσε αναμενόμενα αποτελέσματα και οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας  $h_2$  κυμαίνονταν στο αναμενόμενο εύρος. Βέβαια, και εδώ υπήρξαν ελάχιστες εξαιρέσεις, όπου η κυρίαρχη αντίσταση ήταν από την πλευρά του θερμού νερού και συνεπώς ο συντελεστής  $h_2$  εμφανιζόταν να έχει αρνητική τιμή.

Η ανάλυση και η επεξεργασία των μετρήσεων παρουσιάζεται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5, ενώ στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 παρατίθενται όλα τα παραρτήματα με τους πίνακες και όλα τα σχετικά με τα πειράματα.

---

## **II. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

---

1. INDUSTRIAL HEAT EXCHANGERS (L.S. 1991-04, VON KARMAN INSTITUTE).
2. HEAT EXCHANGERS (H. MARTIN).
3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΕΜΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΜΕΣΗΣ ΕΠΑΦΗΣ (Π. ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, 1995)
4. CRYSTALLIZATION FOULING IN PLATE HEAT EXCHANGERS (BANSAL, 1993).
5. UNDERSTAND THE CAPABILITIES OF PLATE-AND-FRAME HEAT EXCHANGERS (CARLSON, 1992).
6. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ (Β. ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ, 1998)
7. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ (Β. ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ, 1998)
8. ΔΙΦΑΣΙΚΗ ΡΟΗ ΑΕΡΑ-ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΑΓΩΓΟ (Κ. ΚΑΡΑΜΑΝΟΣ, 1997)
9. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (Κ. ΠΑΣΠΑΛΑΣ, 1993)
10. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ (Β. ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ, 1995)
11. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ (SMITH, VAN NESS)
12. ΦΥΣΙΚΕΣ & ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ 2, ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ (Β. ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ, 1995)
13. ΟΔΗΓΟΣ ΣΤΗ ΛΙΠΑΝΣΗ (SHELL COMPANY HELLAS, 1982)

---

### **III. ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ**

---

Για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας απαιτήθηκαν δύο εξάμηνα σκληρής εργασίας. Για το αποτέλεσμα της εργασίας αυτής, νιώθω την υποχρέωση να ευχαριστήσω όλους όσους συνετέλεσαν:

- ⇒ Τους γονείς μου, στους οποίους αφιερώνω αυτή τη διπλωματική εργασία.
- ⇒ Τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Β. Μποντόζογλου, που ήταν πάντα στο πλευρό μου με πολύτιμες συμβουλές, θεωρητικές και πρακτικές και εξασφάλισε μία άψογη συνεργασία.
- ⇒ Τους εξεταστές της διπλωματικής εργασίας, καθηγητές κ.κ. Ν. Βλάχο και Α. Σταματέλλο, για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.
- ⇒ Το προσωπικό της γραμματείας του τμήματος και κυρίως την κ. Α. Μαντούδη, για την υποστήριξή τους.
- ⇒ Τον κ. Α. Βέργο, Ε.Δ.Τ.Π. του τμήματος για την υπερπολύτιμη τεχνική υποστήριξη.
- ⇒ Τέλος, τους φίλους μου Αστερή Γιώργο, Παπαγεωργίου Μαριλένα και Σκοτίδα Κύνθια-Κωνσταντίνα για τη βοήθεια τους στη βαθμονόμηση και τις υποδείξεις τους για την εμφάνιση του κειμένου.



---

## **IV. ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

---

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (HEAT EXCHANGERS) .....	2
1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	2
1.1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	2
1.1.2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΡΕΥΣΤΩΝ ΠΟΥ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΥΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ.....	4
1.1.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	5
1.1.3.1 ΣΩΛΗΝΩΤΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ (TUBULAR EXCHANGERS) .....	5
1.1.3.1.1 Εναλλάκτες αυλών και κελύφους (SHELL-AND-TUBE) .....	5
1.1.3.1.2 Εναλλάκτες διπλού σωλήνα (DOUBLE-PIPE) .....	7
1.1.3.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΤΥΠΟΥ ΠΛΑΚΩΝ (PLATE HEAT EXCHANGERS) .....	8
1.1.3.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (EXTENDED SURFACE EXCHANGERS) .....	8
1.1.3.4 ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΕΣ (REGENERATORS) .....	9
1.1.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ.....	10
1.1.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	11
1.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	11
1.3 ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ.....	12
1.4 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ (FOULING) ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ.....	12
1.5 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	15
Κεφάλαιο 2: Ο ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ (PLATE AND FRAME HEAT EXCHANGER).....	17
2. Ο ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΠΛΑΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (PLATE AND FRAME HEAT EXCHANGER).....	18
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	18
2.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ .....	19

2.2.1 ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ .....	20
2.2.2 ΤΑ ΠΑΡΕΜΒΥΣΜΑΤΑ.....	20
2.2.3 ΟΙ ΠΛΑΚΕΣ .....	22
2.2.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ .....	22
2.2.3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ.....	25
2.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	28
2.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ, ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	29
<b>Κεφάλαιο 3: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ .....</b>	<b>32</b>
<b>3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ .....</b>	<b>33</b>
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	33
3.2 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ.....	33
3.3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΑΓΩΓΟ .....	34
3.4 ΧΑΡΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΡΟΗΣ.....	35
3.5 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ.....	36
3.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	36
3.5.2 ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	37
3.5.3 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	38
<b>Κεφάλαιο 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ -ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....</b>	<b>41</b>
<b>4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....</b>	<b>42</b>
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ .....	42
4.1.1 Ο ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	42
4.1.2 ΘΕΡΜΟ ΡΕΥΜΑ.....	43
4.1.3 ΨΥΧΡΟ ΡΕΥΜΑ .....	45
4.1.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	45
4.1.5 ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ .....	47
4.1.6 ΑΝΤΛΙΕΣ .....	48
4.1.7 ΔΙΚΤΥΟ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ.....	49

4.1.8 ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ.....	50
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	54
4.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ .....	54
4.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	55

## Κεφάλαιο 5: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 56

5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	57
5.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ.....	57
5.1.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ PRANDTL (Pr).....	57
5.1.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ .....	57
5.1.3 ΠΑΡΟΧΕΣ .....	59
5.1.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΔΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ.....	60
5.1.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΑΘΗΚΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ U.....	60
5.1.6 ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	61
5.1.7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....	61
5.2 ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ ARLE1 ΤΗΣ HTFS.....	62
5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ARLE1.....	62
5.2.2 ΞΕΚΙΝΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	62
5.2.3 ΤΡΕΞΙΜΟ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	66
5.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	68
5.3.1 ΘΕΡΜΙΚΟ ΚΑΘΗΚΟΝ .....	68
5.3.2 ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	72
5.3.3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ $h_{\delta\phi}$ .....	85

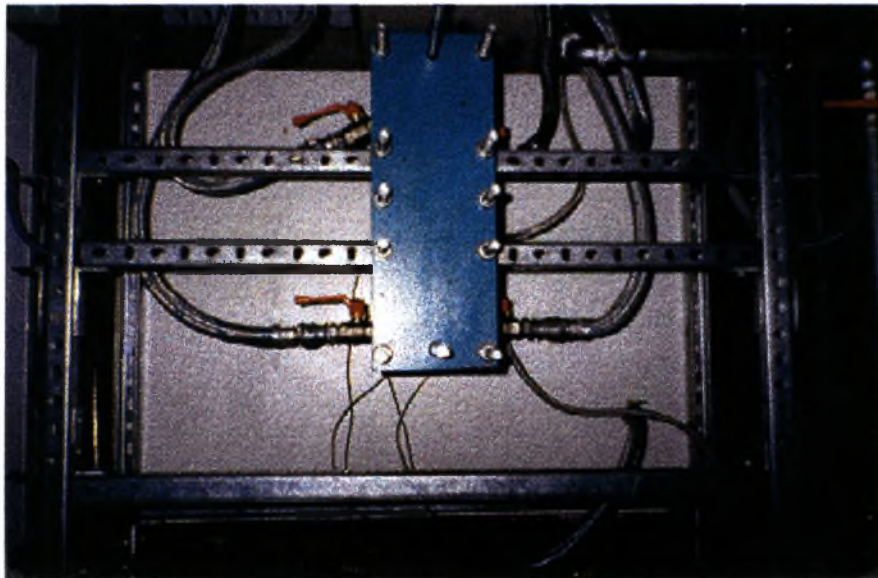
## Κεφάλαιο 6: ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 89

6. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	90
6.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	90
6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΟΜΕΝΕΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	92



Κεφάλαιο 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	94
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	95
7.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΛΑΔΙΟΥ,ΑΕΡΑ,ΝΕΡΟΥ.....	95
7.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ.....	99
7.2.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟΥ.....	99
7.2.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΡΟΟΜΕΤΡΩΝ.....	102
7.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΘΕΡΜΟ ΡΕΥΜΑ ΛΑΔΙ SHELL THERMIA B .....	104
7.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΘΕΡΜΟ ΡΕΥΜΑ ΤΟ ΝΕΡΟ .....	120
7.5 ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ARLE1 ΤΗΣ HTFS ..	148

## Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ



Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί την εισαγωγή στη διπλωματική εργασία με θέμα: **‘ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ’**. Αναφέρεται στην ταξινόμηση των εναλλακτών θερμότητας με βάση ορισμένα σημαντικά κριτήρια, στο πρόβλημα των επικαθήσεων, στα υλικά των εναλλακτών θερμότητας και στα κυριότερα ρευστά που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες εναλλαγής θερμότητας. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται μία σύντομη περίληψη της διπλωματικής εργασίας.

Σχήματα κεφαλαίου:

- HEAT EXCHANGERS (H.MARTIN).
- INDUSTRIAL HEAT EXCHANGERS (L.S. 1991-04, VON KARMAN INSTITUTE).
- CRYSTALLIZATION FOULING IN PLATE HEAT EXCHANGERS (BANSAL, 1993).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (HEAT EXCHANGERS)

---

### 1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές που επιτυγχάνουν τη μεταφορά θερμότητας από ένα θερμό ρεύμα σε ένα άλλο ψυχρότερο.

#### 1.1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η μέθοδος με την οποία επιτυγχάνεται αυτή η μετάδοση θερμότητας αποτελεί το **πρώτο κριτήριο ταξινόμησης** των εναλλακτών θερμότητας σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

1. **Εναλλάκτες έμμεσης επαφής (INDIRECT CONTACT)**, στους οποίους η μεταφορά της θερμότητας επιτυγχάνεται διαμέσου της στερεής επιφάνειας που διαχωρίζει τα δύο ρευστά.
2. **Εναλλάκτες άμεσης επαφής (DIRECT CONTACT)**, όπου τα δύο ρευστά έρχονται κατευθείαν σε επαφή, χωρίς την παρεμβολή κάποιου στερεού τοιχώματος.

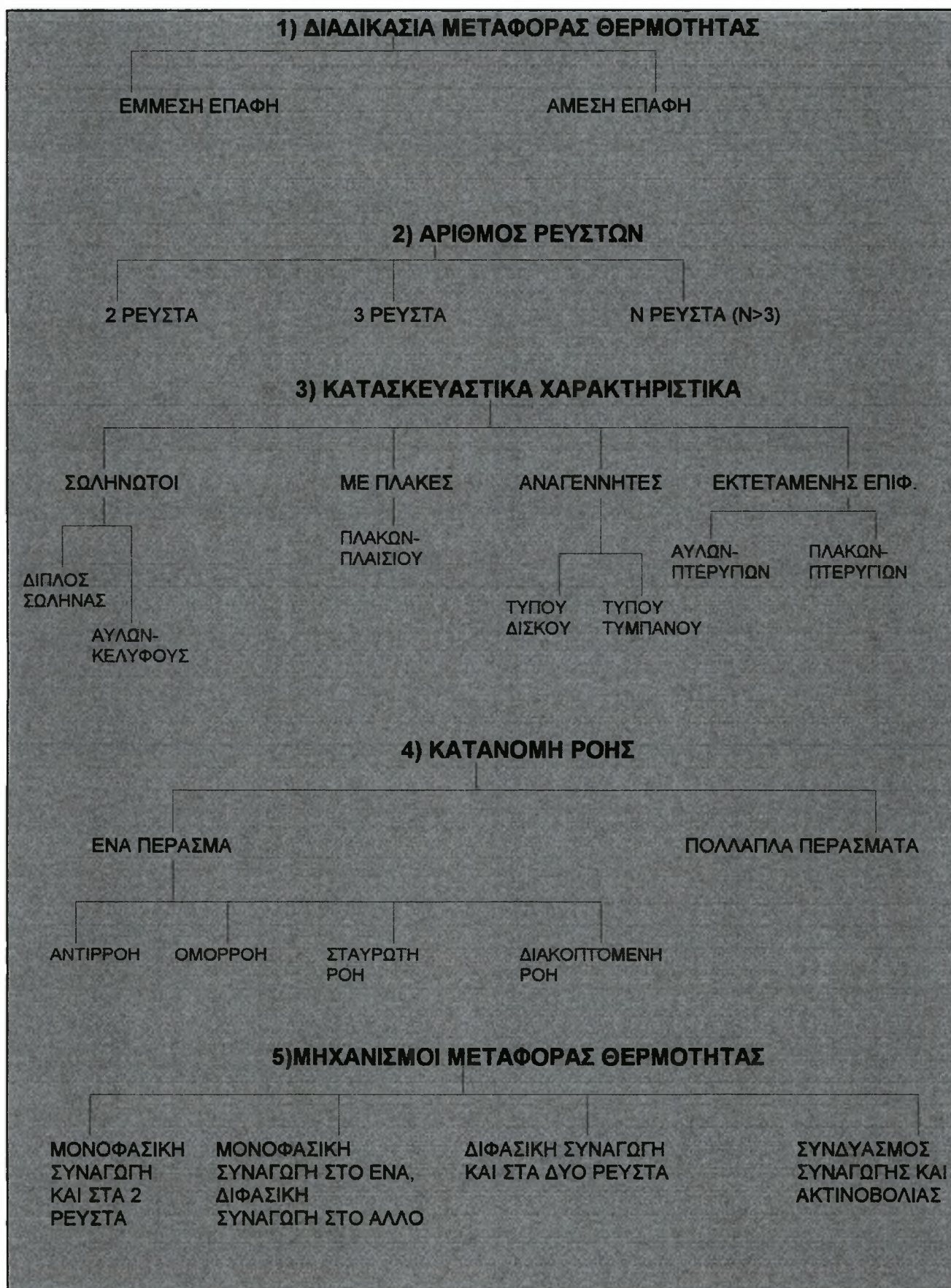
Στη βιομηχανική πρακτική είναι φανερό ότι προτιμούνται οι εναλλάκτες έμμεσης επαφής. Αρκετοί τύποι εναλλακτών θερμότητας έμμεσης επαφής είναι διαθέσιμοι σήμερα και εκτενέστερη αναφορά σχετικά θα γίνει παρακάτω. Εξάλλου, η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί μόνο με εναλλάκτη πλακών-πλαισίου, που ανήκει στην κατηγορία των εναλλακτών έμμεσης επαφής.

Από την άλλη πλευρά, η σχεδίαση των εναλλακτών άμεσης επαφής βασίζεται στην απουσία επιφανειών που υπόκεινται σε διάβρωση και εναπόθεση αλάτων (για τις αποθέσεις θα γίνει λόγος στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.1.4). Οι εναλλάκτες αυτοί χαρακτηρίζονται από τη δημιουργία μεγάλης επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας, που συντελεί στη μεταφορά θερμότητας σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης, έχουν σχετικά απλή κατασκευή και μικρό κόστος.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο εναλλάκτης άμεσης επαφής στήλης ψεκασμού. Αποτελείται από έναν κατακόρυφο σωλήνα που φράσσεται από δύο καπάκια, ένα διασκορπιστή και ένα διανομέα. Ο διασκορπιστής δημιουργεί τις φυσαλίδες ή τις σταγόνες της διασκορπισμένης φάσης και ο διανομέας κατανέμει όσο το δυνατόν ομοιόμορφα τη συνεχή φάση. Το κυριότερο μειονέκτημα αυτού του εναλλάκτη είναι ο περιορισμός ότι τα ρευστά θα πρέπει να μην είναι αναμίξιμα και να μη διαλύονται το ένα στο άλλο.

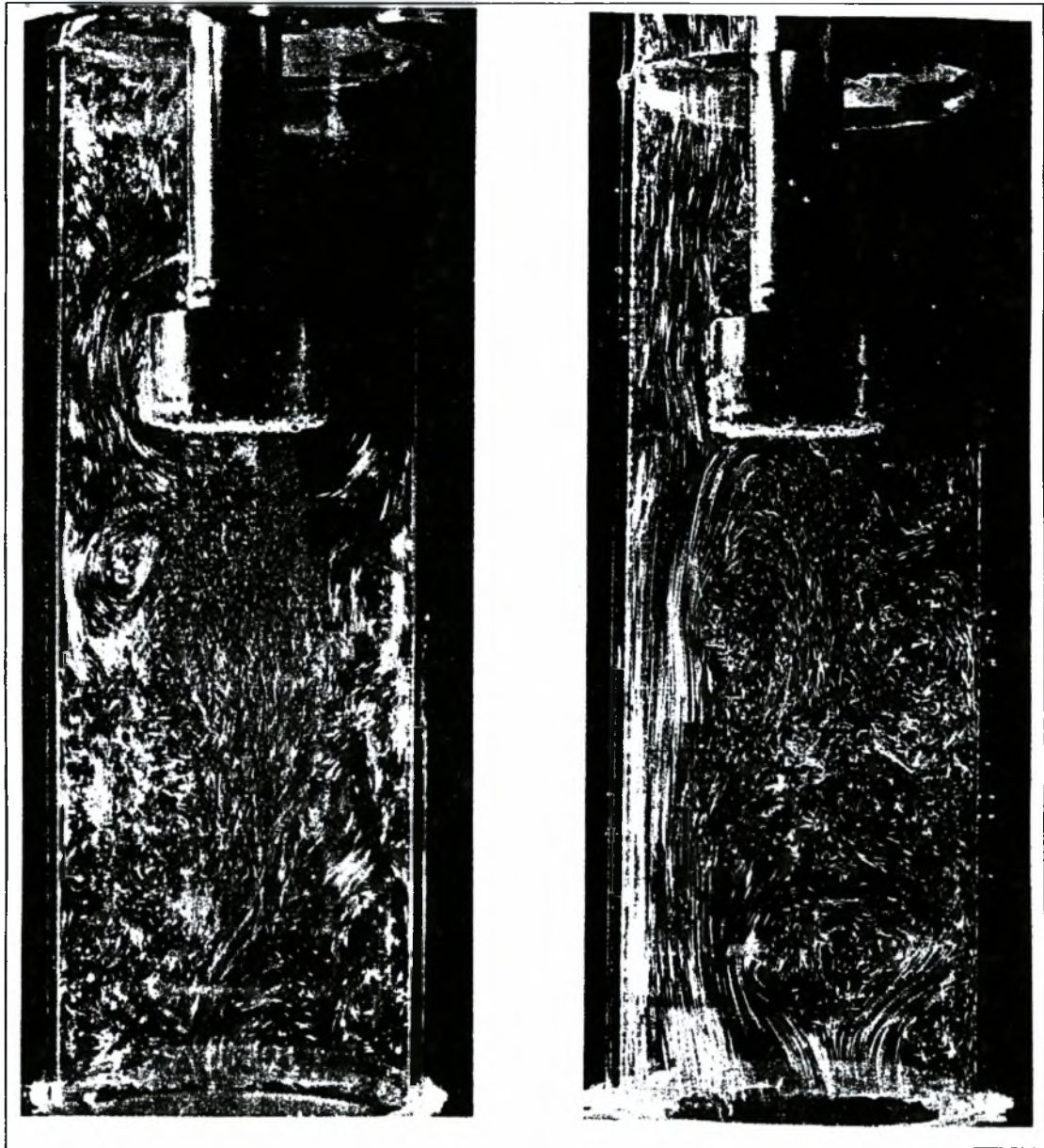


ΣΧΗΜΑ 1-1: Ταξινομήσεις των εναλλακτών θερμότητας





ΣΧΗΜΑ 1-2: Εναλλάκτης στήλης ψεκασμού (α) σε ομορορή (β) σε αντιρροή



### 1.1.2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΡΕΥΣΤΩΝ ΠΟΥ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΥΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Το **δεύτερο κριτήριο ταξινόμησης** είναι ο αριθμός των ρευστών που λαμβάνουν μέρος στην εναλλαγή θερμότητας. Οι περισσότερες διεργασίες θέρμανσης και ψύξης περιλαμβάνουν μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών. Για το λόγο αυτό, οι εναλλάκτες θερμότητας δύο ρευστών είναι οι πλέον συνηθισμένοι. Οι εναλλάκτες θερμότητας τριών ρευστών χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην κρυογενική και σε μερικές χημικές διεργασίες, όπως συστήματα διαχωρισμού αέρα κ.λ.π. Σε μερικές εφαρμογές έχουν χρησιμοποιηθεί εναλλάκτες θερμότητας μέχρι και δώδεκα ρευστών. Ο σχεδιασμός εναλλακτών θερμότητας με τρία και περισσότερα ρεύματα είναι

μια διαδικασία για την οποία χρησιμοποιείται αριθμητική μέθοδος, αφού η αλγεβρική επίλυση είναι πολύ περίπλοκη.

### **1.1.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Ως **τρίτο κριτήριο ταξινόμησης** μπορούν να αναφερθούν τα κατασκευαστικά του εναλλάκτη θερμότητας. Διακρίνονται τέσσερις κύριες κατηγορίες:

#### **1. Εναλλάκτες σωληνωτοί.**

#### **2. Εναλλάκτες τύπου πλακών.**

#### **3. Εναλλάκτες εκτεταμένης επιφάνειας.**

#### **4. Αναγεννητές.**

### **1.1.3.1 ΣΩΛΗΝΩΤΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ (TUBULAR EXCHANGERS)**

Οι σωληνωτοί εναλλάκτες γενικά κατασκευάζονται από κυκλικούς αυλούς. Παρουσιάζουν μεγάλη ευελιξία στο σχεδιασμό, αφού μπορούν να γίνουν διάφοροι συνδυασμοί αλλάζοντας τη διάμετρο, το μήκος και την κατανομή των αυλών. Μπορούν να σχεδιαστούν για μεγάλες πιέσεις σχετικά με την πίεση του περιβάλλοντος, αλλά και για μεγάλες διαφορές πιέσεων μεταξύ των ρευστών. Χρησιμοποιούνται κυρίως για διεργασίες μεταφοράς θερμότητας μεταξύ υγρού-υγρού ή υγρού-διφασικού ρευστού. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές εναλλαγής θερμότητας μεταξύ αερίου-υγρού ή αερίου-αερίου όταν η θερμοκρασία και/ή η πίεση λειτουργίας έχουν πολύ υψηλή τιμή ή όταν υπάρχει κίνδυνος σχηματισμού αποθέσεων τουλάχιστον από τη μία πλευρά (από το ένα ρευστό) και δεν ενδείκνυται η χρήση άλλου τύπου εναλλάκτη. Οι εναλλάκτες αυτοί ταξινομούνται στους ακόλουθους κύριους τύπους:

#### **• Αυλού και κελύφους.**

#### **• Διπλού σωλήνα.**

### **1.1.3.1.1 Εναλλάκτες αυλών και κελύφους (SHELL-AND-TUBE)**

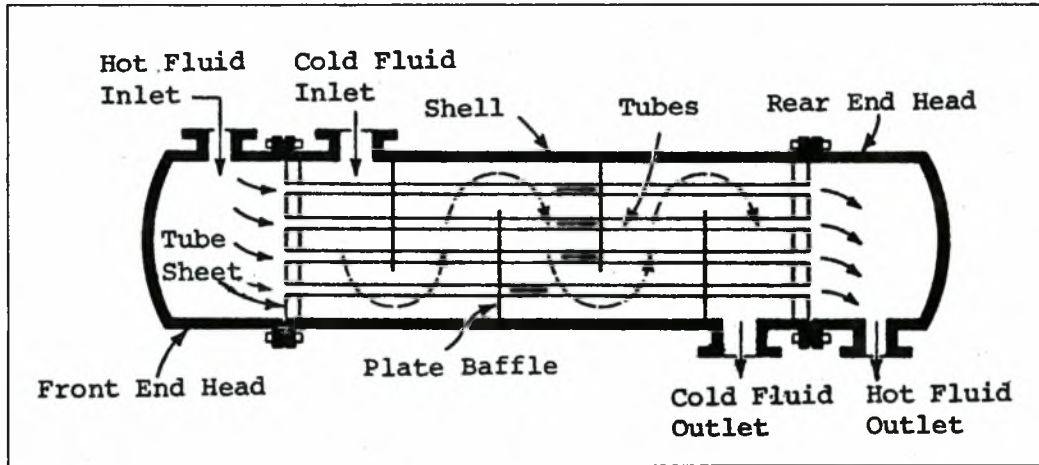
Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται μεγάλη επιφάνεια εναλλαγής. Παρουσιάζουν τα εξής κατασκευαστικά χαρακτηριστικά:

- Στερέωση των αυλών στα μετωπικά ελάσματα (tubesheets).
- Διάταξη αυλών (pitch) -τριγωνική ή τετραγωνική.
- Ανακλαστήρες ροής (baffles) στο κέλυφος.
- Κεφαλή εναλλάκτη σταθερή ή πλωτή.

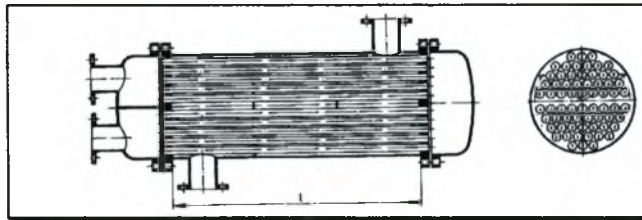


- Δυνατότητα για ένα ή περισσότερα περάσματα αυλών (1-1,1-2,...,1-N) και περισσότερα του ενός περάσματα στο κέλυφος (2-4,3-6,...).

**ΣΧΗΜΑ 1-3: Εναλλάκτης αυλών-κελύφους (1-1), με ένα πέραςμα και στο κέλυφος και στους αυλούς**



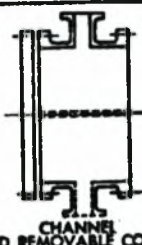
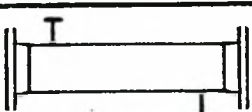
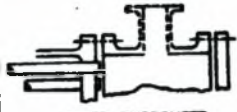
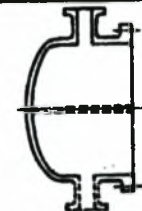
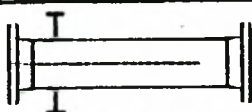
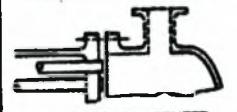
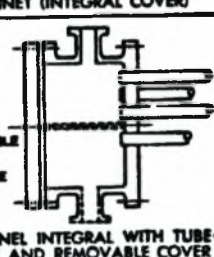
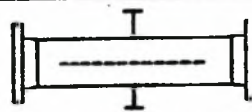
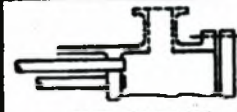
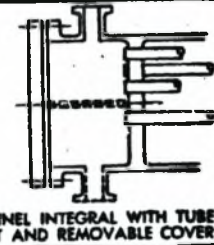
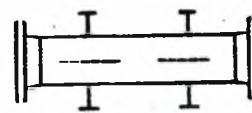
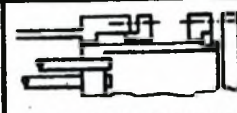
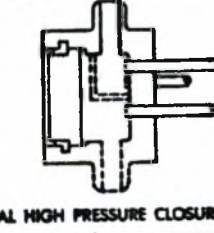
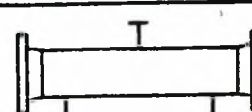
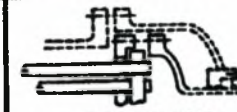
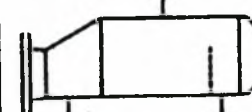
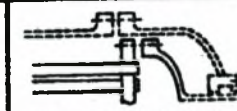
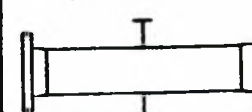
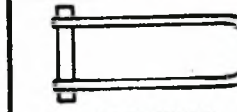
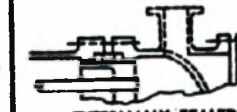
**ΣΧΗΜΑ 1-4: Εναλλάκτης αυλών-κελύφους με δύο περάσματα στους αυλούς και δύο ανακλαστήρες**



Οι εναλλάκτες αυλών-κελύφους αποτελούν το συνηθέστερα απαντώμενο τύπο εναλλάκτη στη χημική βιομηχανία, αφού παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα:

- \* Δυνατότητα λειτουργίας σε οποιοσδήποτε θερμοκρασίες και πιέσεις (και στο κενό).
- \* Μονοφασικές και πολυφασικές διεργασίες.
- \* Κατασκευάζονται σε οποιαδήποτε κλίμακα μεγέθους.
- \* Με κατάλληλο σχεδιασμό των ανακλαστήρων παρέχεται μεγάλη ευελιξία στον καθορισμό της πτώσης πίεσης από την πλευρά του κελύφους.
- \* Κατασκευή στιβαρή, αλλά και βαριά και ογκώδης.
- \* Το κυριότερο πλεονέκτημα είναι η αυστηρή τυποποίηση των εναλλακτικών διατάξεων και εξαρτημάτων (κατά **TEMA**), που διευκολύνει το σχεδιαστή μηχανικό στην επιλογή και διαστασιολόγηση.

ΣΧΗΜΑ 1-5: Η τυποποίηση κατά ΤΕΜΑ των εναλλακτών αυλών-κελύφους

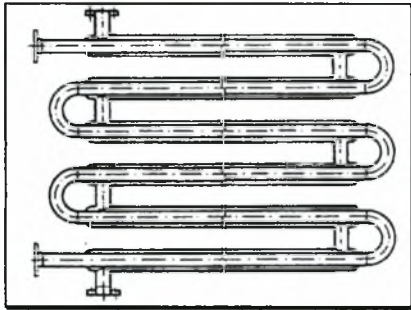
	FRONT END STATIONARY HEAD TYPES	SHELL TYPES	REAR END HEAD TYPES
A	 CHANNEL AND REMOVABLE COVER	E  ONE PASS SHELL	L  FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
B	 BONNET (INTEGRAL COVER)	F  TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	M  FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
C	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER	G  SPLIT FLOW	N  FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
N	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER	H  DOUBLE SPLIT FLOW	P  OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
D	 SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	J  DIVIDED FLOW	S  FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
		K  KETTLE TYPE REBOILER	T  FULL THROUGH FLOATING HEAD
		X  CROSS FLOW	U  U-TUBE BUNDLE
			W  EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

### 1.1.3.1.2 Εναλλάκτες διπλού σωλήνα (DOUBLE-PIPE)

Αυτός ο τύπος εναλλάκτη συνήθως αποτελείται από ομόκεντρους σωλήνες, από τους οποίους ο εσωτερικός είναι απλός ή με πτερύγια. Το ένα ρευστό κυκλοφορεί στον εσωτερικό σωλήνα, ενώ το άλλο κυκλοφορεί στη δακτυλιοειδή διατομή μεταξύ των δύο σωλήνων, συνήθως σε αντιρροή. Αυτός είναι, πιθανότατα, ο απλούστερος τύπος εναλλάκτη θερμότητας, από

κατασκευαστική σκοπιά. Ο εναλλάκτης διπλού σωλήνα είναι κατάλληλος για μικρή επιφάνεια εναλλαγής ( $A < 50\text{m}^2$ ).

**ΣΧΗΜΑ 1-6: Ο εναλλάκτης θερμότητας διπλού σωλήνα**



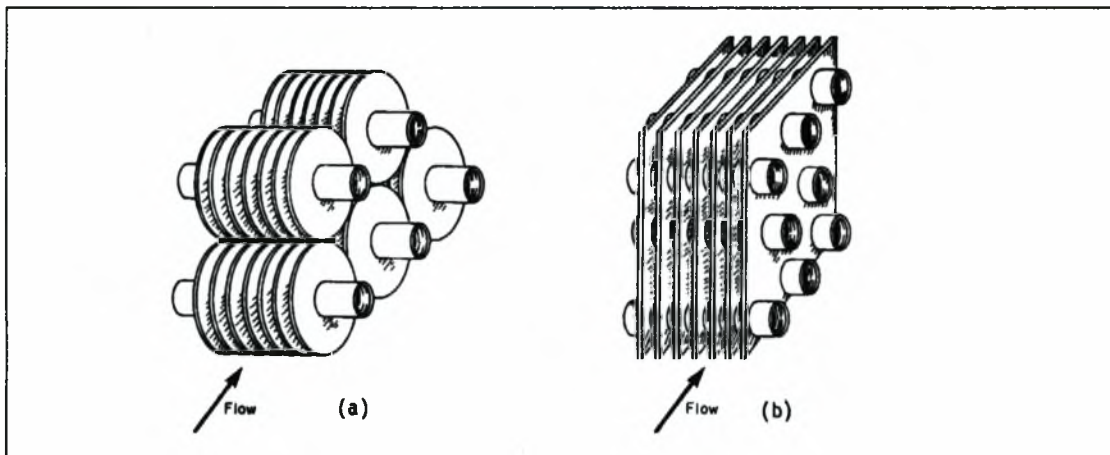
**1.1.3.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΤΥΠΟΥ ΠΛΑΚΩΝ (PLATE HEAT EXCHANGERS)**

Οι εναλλάκτες τύπου πλακών συνήθως κατασκευάζονται από λεπτές πλάκες, λείες ή με πτυχώσεις. Γενικά, αυτοί οι εναλλάκτες δε μπορούν να δεχτούν πολύ μεγάλη πίεση ή πολύ μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας. Λεπτομερέστερη αναφορά θα γίνει στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

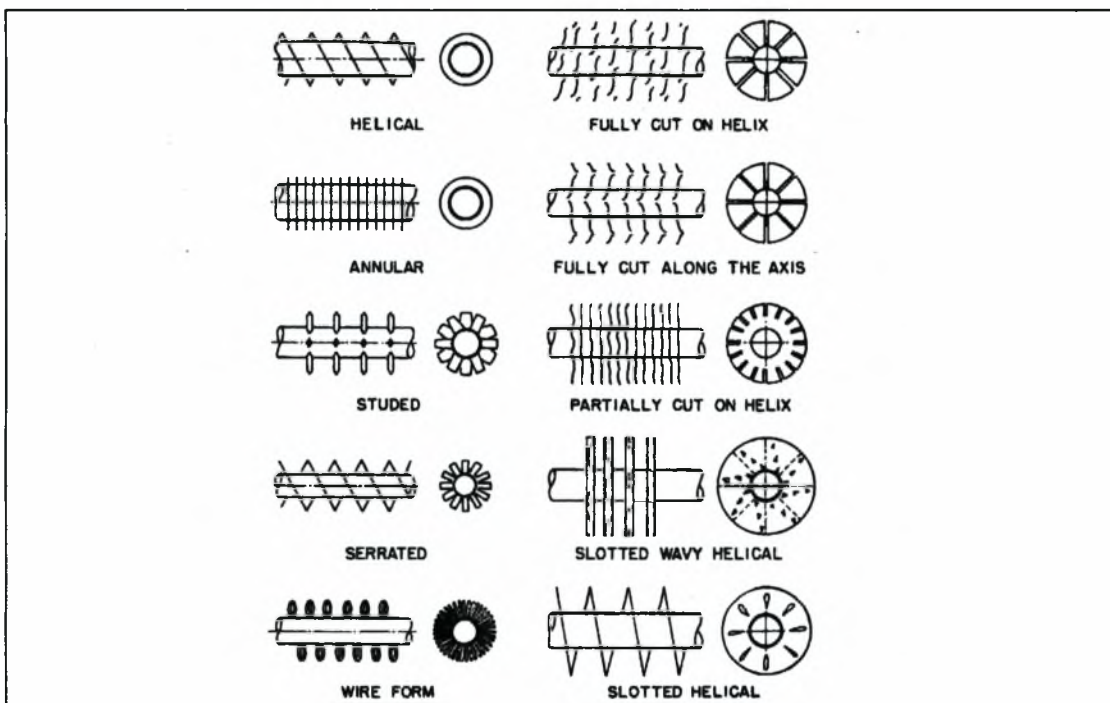
**1.1.3.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (EXTENDED SURFACE EXCHANGERS)**

Οι σωληνωτοί εναλλάκτες και οι εναλλάκτες τύπου πλακών μπορούν να χαρακτηριστούν ως 'απλής επιφάνειας' εναλλάκτες θερμότητας. Σε ένα τέτοιο εναλλάκτη, που λειτουργεί με αέρια ή υγρά, ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας είναι αρκετά μικρός από τη μία ή και από τις δύο πλευρές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση για μεγαλύτερη επιφάνεια εναλλαγής. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως με τη χρήση πτερυγίων, οπότε αυξάνει η πυκνότητα της επιφάνειας εναλλαγής από τη μία ή και από τις δύο πλευρές. Πάντως, ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας μπορεί να είναι μεγαλύτερος ή και μικρότερος από ότι στην αντίστοιχη επιφάνεια εναλλαγής χωρίς πτερύγια, ανάλογα με την τοποθέτηση των πτερυγίων (εσωτερικά ή εξωτερικά) και τη μεταξύ τους απόσταση. Οι πιο κοινί τύποι εναλλακτών θερμότητας εκτεταμένης επιφάνειας είναι οι **σωληνωτοί με πτερύγια** και οι **τύπου πλακών με πτερύγια**.

**ΣΧΗΜΑ 1-7:** (a) Εναλλάκτης σωληνωτός με πτερύγια, όπου ο κάθε αυλός έχει ατομική πτερυγίωση (b) Εναλλάκτης σωληνωτός με πτερύγια, όπου το κάθε πτερύγιο καλύπτει όλους τους αυλούς (τα βελάκια δείχνουν την κατεύθυνση της ροής)



**ΣΧΗΜΑ 1-8: Μορφές αυλών με ατομικά πτερύγια**

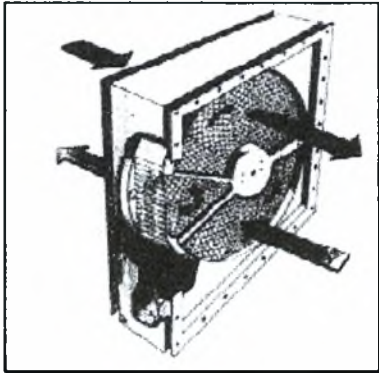


#### 1.1.3.4 ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΕΣ (REGENERATORS)

Οι αναγεννητές είναι εναλλάκτες τύπου αποθήκευσης. Μία συνηθισμένη χρήση τους είναι η προθέρμανση αέρα σε εγκαταστάσεις παραγωγής ισχύος. Διακρίνονται σε περιστροφικούς (**ROTARY**) και περιοδικής ροής (**FIXED-MATRIX** ή **PERIODIC-FLOW**).



**ΣΧΗΜΑ 1-9: Ο περιστροφικός αναγεννητής (προθερμαντής αέρα Ljungstrom)**



**1.1.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ**

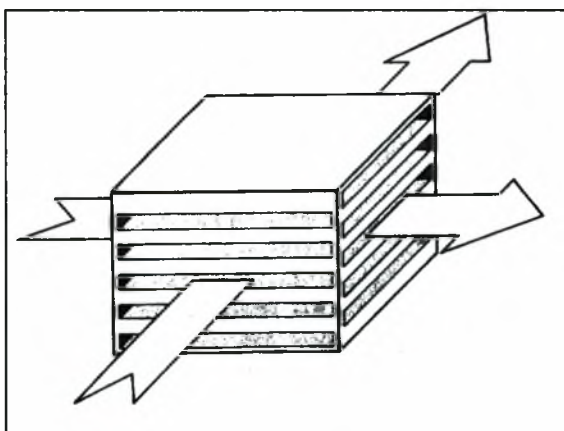
Ως τέταρτο κριτήριο ταξινόμησης μπορεί να αναφερθεί η κατανομή της ροής στο εσωτερικό του εναλλάκτη, ή αλλιώς, ο αριθμός των περασμάτων. Με βάση αυτή την ταξινόμηση, οι εναλλάκτες διακρίνονται σε:

**1. Ενός περάσματος (SINGLE PASS).**

**2. Πολλαπλών περασμάτων (MULTIPASS).**

Οι εναλλάκτες θερμότητας πολλαπλών περασμάτων είναι σύνθετοι εναλλάκτες, στους οποίους τα δύο ρευστά κυκλοφορούν στο εσωτερικό του εναλλάκτη περισσότερο από μία φορά. Οι εναλλάκτες αυτοί είναι συμπαγούς κατασκευής και οι επιτυγχανόμενοι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας είναι σχετικά υψηλοί, λόγω των μεγάλων ταχυτήτων των ρευστών στο εσωτερικό του εναλλάκτη. Από την άλλη πλευρά, στους εναλλάκτες ενός περάσματος τα ρευστά διέρχονται μόνο μία φορά μέσα από τον εναλλάκτη.

**ΣΧΗΜΑ 1-10: Σταυρωτή ροή σε εναλλάκτη πλακών**



Η ροή στο εσωτερικό του εναλλάκτη μπορεί να χαρακτηριστεί ως :

- **Αντιροή (COUNTERFLOW).**



- Ομορορή (PARALLELFLOW).
- Σταυρωτή (CROSSFLOW).
- Διακοπτόμενη (SPLIT FLOW).
- Διαχωριζόμενη (DIVIDED FLOW).

#### 1.1.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ως πέμπτο κριτήριο ταξινόμησης μπορεί να θεωρηθεί ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας. Κατά το κριτήριο αυτό, οι ακόλουθοι κυρίως μηχανισμοί μπορεί να λαμβάνουν χώρα:

1. **Μονοφασική συναγωγή (SINGLE-PHASE CONVECTION)**, ελεύθερη ή εξαναγκασμένη και στα δύο ρεύματα (καλοριφέρ αυτοκινήτου).
2. **Μονοφασική συναγωγή στο ένα ρεύμα και διφασική συναγωγή (TWO-PHASE CONVECTION)** στο άλλο (ατμοπαραγωγό).
3. **Διφασική συναγωγή** και στα δύο ρεύματα (συμπύκνωση στο ένα-εξάτμιση στο άλλο).
4. **Συνδυασμός συναγωγής και ακτινοβολίας (RADIATIVE HEAT TRANSFER)** (κυρίως στους εναλλάκτες όπου ρέουν υγρά μέταλλα).

#### 1.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Κατά κανόνα στους εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται ως κατασκευαστικά υλικά διάφορα μέταλλα και κράματα, τα οποία έχουν υψηλή αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις και τη διάβρωση. Το κυριότερο κατασκευαστικό υλικό είναι ο χάλυβας, που έχει και υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Το κυριότερο μειονέκτημα του χάλυβα είναι η τάση διάβρωσης σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, ιδιαίτερα στα συστήματα νερού και υδατικών διαλυμάτων.

Οι εναλλάκτες θερμότητας των διαβρωτικών ρευστών κατασκευάζονται από διάφορα ανθεκτικά μέταλλα και κράματα, τα κυριότερα από τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

- ανοξείδωτοι χάλυβες (κράμα Fe-Cr-Ni)
- χαλκός και τα κράματά του
- νικέλιο και τα κράματά του
- τιτάνιο
- αλουμίνιο και τα κράματά του

- teflon (σε πολύ διαβρωτικές εφαρμογές)

και άλλα.

Φυσικά, η χρήση των παραπάνω υλικών υπαγορεύεται από διάφορες ανάγκες, αλλά και περιορίζεται από ορισμένες άλλες. Για παράδειγμα, στις βιομηχανίες τροφίμων αποφεύγεται η χρήση χαλκού, γιατί δεν επιτρέπεται η παρουσία ιχνών του μετάλλου στο τελικό προϊόν.

### **1.3 ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ**

Το νερό, υπό τη μορφή υγρού ή ατμού, χρησιμοποιείται ευρύτατα ως θερμαντικό ή ψυκτικό μέσο στους περισσότερους βιομηχανικούς εναλλάκτες θερμότητας. Το νερό προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως το χαμηλό κόστος, οι υψηλές τιμές της ειδικής θερμότητας, της θερμικής αγωγιμότητας και της θερμότητας εξάτμισης, ενώ παρέχει και ασφάλεια λειτουργίας. Δε μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές κάτω των 0°C (πήξη), ενώ σε θερμοκρασίες άνω των 200°C η πίεση του νερού αυξάνει υπερβολικά και η χρήση του ως θερμαντικού μέσου καθίσταται αντισυμβατική και δυσχερής για λόγους ασφάλειας της εγκατάστασης.

Για τη μεταφορά θερμότητας σε υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται ορισμένα θερμαντικά ρευστά, όπως τηγμένα μέταλλα ή άλατα, ορυκτέλαιο και ατμοί οργανικών ουσιών. Τα χρησιμοποιούμενα θερμαντικά ρευστά πρέπει να είναι χημικά καθαρά, να μην αναφλέγονται και να μην προκαλούν διάβρωση στα κατασκευαστικά υλικά.

### **1.4 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ (FOULING) ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ**

Αποθέσεις ή επικαθήσεις είναι υλικά που συσσωρεύονται στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας και προβάλλουν ανεπιθύμητη θερμική αντίσταση. Αυτό το φαινόμενο εξαρτάται από τη φύση των ρευστών και της επιφάνειας και από τις συνθήκες της ροής και υποβαθμίζει σημαντικά τη θερμική απόδοση του εναλλάκτη. Για το λόγο αυτό, πρέπει να προβλέπεται στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των συσκευών.

#### **ΣΧΗΜΑ 1-11: Απεικόνιση αποθέσεων σε αυλό σωληνωτού εναλλάκτη**



Πιο συγκεκριμένα, με αναφορά στο παραπάνω σχήμα:

- $A_c$  (απαιτούμενη επιφάνεια για καθαρό εναλλάκτη)
- $A_f$  (απαιτούμενη επιφάνεια για βρώμικο εναλλάκτη)
- $U_c$  (ολικός συντελεστής συναγωγής της καθαρής επιφάνειας)
- $U_f$  (πραγματικός ολικός συντελεστής συναγωγής)
- $R_R$  (ολική θερμική αντίσταση των αποθέσεων)

Ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$1/U_f = (1/U_c) + R_R$	( 1-1)
$A_f/A_c = 1 + U_c \cdot R_R$	( 1-2)

Ο σχηματισμός αποθέσεων έχει επίπτωση και στην πτώση πίεσης στη συσκευή, κυρίως λόγω μείωσης της διαθέσιμης διατομής ροής.

Ο σχηματισμός αποθέσεων έχει οδυνηρό οικονομικό κόστος, αφού οδηγεί σε:

- ◆ υπερδιαστασιολόγηση εναλλακτών, αντλιών κ.λ.π.
- ◆ αύξηση κόστους συντήρησης (καθαρισμός)
- ◆ θερμικές απώλειες
- ◆ αύξηση της πτώσης πίεσης (στένωση περασμάτων)
- ◆ απρογραμματίστες διακοπές λειτουργίας
- ◆ τοπική υπερθέρμανση του τοιχώματος

Οι αποθέσεις κατατάσσονται σχηματικά στις εξής κύριες κατηγορίες:

- ◇ σωματιδιακές (τέφρα, σκόνη)
- ◇ κρυσταλλικές (ιζήματα αλάτων)
- ◇ προϊόντα διάβρωσης
- ◇ βιολογικές (μικροοργανισμοί)
- ◇ προϊόντα χημικής αντίδρασης (πολυμερισμός)

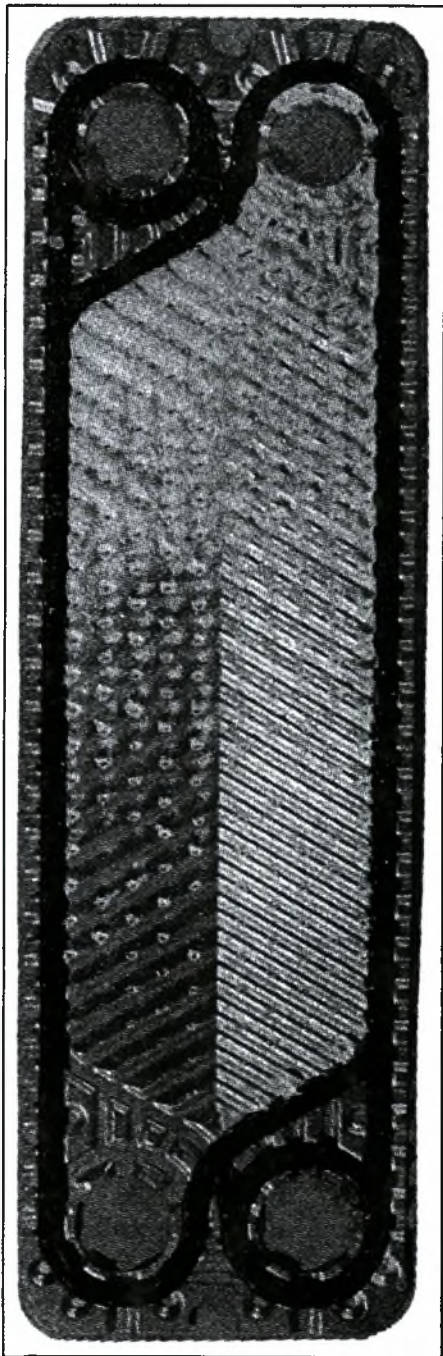
Τα θεμελιώδη στάδια σχηματισμού αποθέσεων είναι τα ακόλουθα:

1. μεταφορά των ρύπων στις επιφάνειες

2. προσκόλληση των ρύπων
3. απομάκρυνση των αποθέσεων

Η μεταφορά μπορεί να ελέγχεται από μηχανισμό διάχυσης (μεταφορά μάζας), κατακάθισης (μεγάλα σωματίδια) ή θερμοφόρησης (μικρά σωματίδια <math><1\mu\text{m}</math>). Ο ρυθμός προσκόλλησης εξαρτάται από δυνάμεις μεταξύ σωματιδίου και επιφάνειας και, επειδή είναι ελάχιστα κατανοητός, αντιμετωπίζεται με στατιστικά μοντέλα. Τέλος, η αποκόλληση προκαλείται από διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται με τη ροή.

**ΣΧΗΜΑ 1-12: Η μορφή των αποθέσεων σε πλάκα εναλλάκτη πλακών-πλαισίου για ταχύτητες ροής 21.9cm/s**



Αν και ο σχηματισμός αποθέσεων είναι δυναμικό φαινόμενο, μόνο μία τιμή του μπορεί να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό. Συνηθισμένη πρακτική είναι να εκτιμώνται εμπειρικά οι τιμές του συντελεστή θερμικής αντίστασης για τα ρευστά του εναλλάκτη, από πίνακες της **TEMA**. Με βάση τις τιμές αυτές, υπολογίζεται χαμηλότερος ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας και αντίστοιχα μεγαλύτερη επιφάνεια εναλλαγής. Η συσκευή λειτουργεί ικανοποιητικά μέχρις ότου αναπτυχθεί η προδιαγεγραμμένη τιμή θερμικής αντίστασης, οπότε απαιτείται καθαρισμός των επικαθήσεων. Η μεθοδολογία αυτή είναι ανεπαρκής, μια και δε λαμβάνονται υπόψη σημαντικοί παράγοντες, όπως οι ταχύτητες ροής, το είδος του εναλλάκτη, κ.λ.π.

Διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση των αποθέσεων. Για παράδειγμα, το ρευστό που έχει μεγαλύτερη τάση να σχηματίζει αποθέσεις τοποθετείται στην πλευρά που καθαρίζεται ευκολότερα. Σε περιπτώσεις ιδιαίτερα έντονων αποθέσεων (όπως σε γεωθερμικά ρευστά) συστήνεται η χρήση εναλλακτών άμεσης επαφής. Τέλος, έχει προφανή σημασία η επιλογή του κατάλληλου συστήματος καθαρισμού των επιφανειών στο στάδιο του σχεδιασμού. Τα συστήματα αυτά εξαρτώνται από τη φύση των αποθέσεων και μπορεί να είναι χημικά, με χρήση υπερήχων και άλλα. Μερικές μέθοδοι καθαρισμού εφαρμόζονται κατά τη λειτουργία (on-line), ενώ άλλες απαιτούν διακοπή λειτουργίας και αποσύνδεση της συσκευής.

### **1.5 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη εναλλάκτη θερμότητας πλακών-πλαισίου σε συνθήκες διφασικής ροής νερού-αέρα. Πιο συγκεκριμένα γίνεται μια προσπάθεια υπολογισμού του **συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $h_2$**  από την πλευρά του διφασικού μίγματος και συσχετισμού της τιμής του με το είδος της ροής.

Τα περιεχόμενα της μελέτης αυτής είναι, σε γενικές γραμμές:

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1** γίνεται μία εισαγωγή στη διπλωματική εργασία, με μία γενική περιγραφή των εναλλακτών θερμότητας.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2** επιχειρείται μία λεπτομερής περιγραφή των χαρακτηριστικών του εναλλάκτη πλακών-πλαισίου.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3** παρουσιάζεται βιβλιογραφική ανασκόπηση της διφασικής ροής νερού-αέρα. Γενικά, τα κεφάλαια 1,2,3 αποτελούν το θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4** περιγράφεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε καθώς και η πειραματική διαδικασία, δηλαδή η μέθοδος λήψης των πειραματικών μετρήσεων.

Το **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5** χωρίζεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος παρατίθενται όλες οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $U$ . Στο δεύτερο μέρος περιγράφεται το υπολογιστικό πρόγραμμα **APLE1** της **HTFS**, με τη χρήση του οποίου

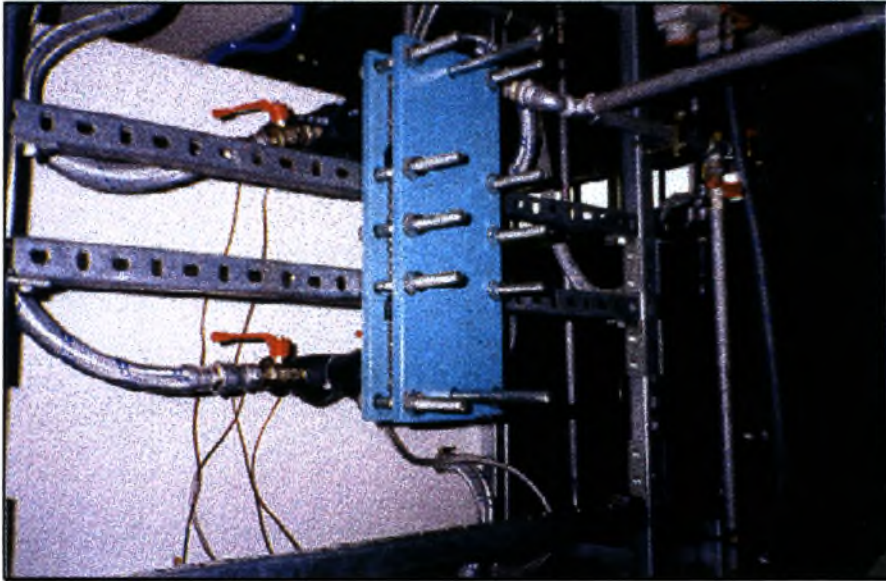


υπολογίζεται ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας  $h_1$  από την πλευρά του θερμού ρευστού. Τέλος, στο τρίτο μέρος επιχειρείται επεξεργασία και σχολιασμός των αποτελεσμάτων, με τη μορφή γραφικών παραστάσεων. Το κεφάλαιο αυτό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το πιο σημαντικό της διπλωματικής εργασίας.

Το **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6** χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που πηγάζουν από την ανάλυση που προηγήθηκε στο κεφάλαιο 5. Στο δεύτερο μέρος διατυπώνονται ορισμένες προτάσεις για συνέχιση αυτής της εργασίας ή για στροφή προς νέα ερευνητικά ενδιαφέροντα σε σχέση με τον εναλλάκτη πλακών-πλαισίου.

Τέλος, στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7** παρατίθενται τα παραρτήματα. Στο πρώτο παράρτημα υπάρχουν οι φυσικές ιδιότητες του λαδιού SHELL THERMIA B, του νερού και του αέρα. Στο δεύτερο παράρτημα δίνεται η βαθμονόμηση των μετρητικών οργάνων της πειραματικής διάταξης. Στο τρίτο παράρτημα παρατίθενται οι αναλυτικοί πίνακες των υπολογισμών, από τις μετρήσεις με θερμαντικό μέσο το λάδι, ενώ στο τέταρτο παράρτημα παρατίθενται οι αντίστοιχοι πίνακες, από τις μετρήσεις με θερμαντικό μέσο το νερό. Τέλος, στο πέμπτο παράρτημα παρέχονται τα φύλλα του προγράμματος της HTFS, APLE1.

## Κεφάλαιο 2: Ο ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ (PLATE AND FRAME HEAT EXCHANGER)



Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται λίγα ιστορικά στοιχεία για τον εναλλάκτη πλακών, τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά και οι κυριότερες συσχετίσεις για τη μεταφορά θερμότητας σε εναλλάκτη πλακών. Το κεφάλαιο κλείνει με τη σύγκριση του εναλλάκτη πλακών με τον εναλλάκτη αυλών-κελύφους, καθώς και με μία σύντομη αναφορά στις ιδιότητες και τις εφαρμογές του εναλλάκτη πλακών.

Σχήματα κεφαλαίου:

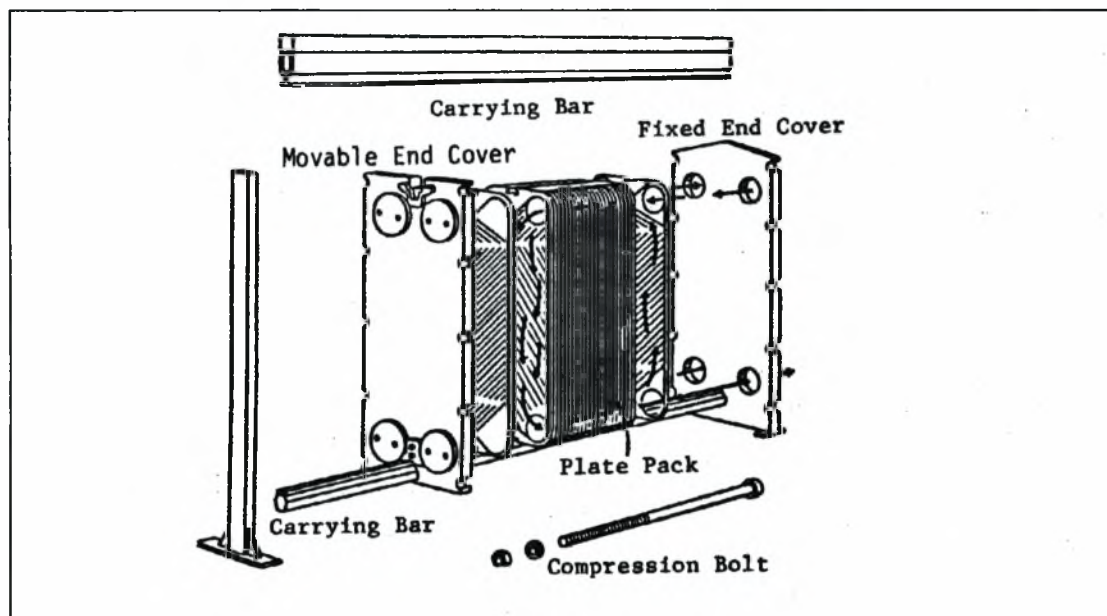
- HEAT EXCHANGERS (H.MARTIN).
- INDUSTRIAL HEAT EXCHANGERS (L.S. 1991-04, VON KARMAN INSTITUTE).
- UNDERSTAND THE CAPABILITIES OF PLATE-AND-FRAME HEAT EXCHANGERS (CARLSON,1992).

## 2. Ο ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΠΛΑΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (PLATE AND FRAME HEAT EXCHANGER)

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ο κλασικός εναλλάκτης αυλών-κελύφους χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά, εδώ και δεκαετίες, ως η κύρια συσκευή εναλλαγής θερμότητας σε όλες τις βιομηχανικές διεργασίες. Ωστόσο, η σημερινή κατάσταση τείνει να αλλάξει αυτήν την εικόνα, αφού όλο και περισσότερες διεργασίες μεταφοράς θερμότητας εκτελούνται πλέον από ένα σύγχρονο τύπο εναλλάκτη θερμότητας, τον εναλλάκτη πλακών και πλαisiού.

**ΣΧΗΜΑ 2-1: Ο εναλλάκτης πλακών-πλαisiού διαιρεμένος στα τμήματα που τον απαρτίζουν**



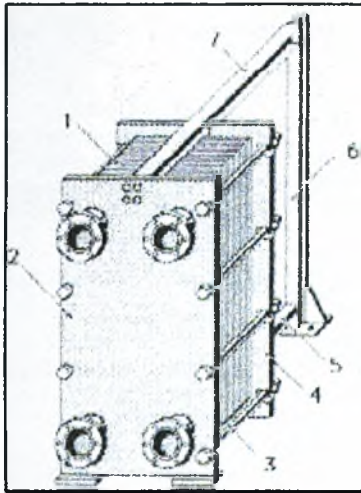
Η ιδέα για τη δημιουργία αυτού του τύπου εναλλακτών θερμότητας τοποθετείται χρονολογικά στις αρχές του αιώνα. Περίπου τότε αποκτήθηκε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας γι' αυτόν τον καινούριο τύπο εναλλάκτη. Ο πρώτος εμπορικά εκμεταλλεύσιμος τύπος παρουσιάστηκε το 1923 από την εταιρία **ALUMINUM PLANT & VESSEL LTD (APV)**. Ο αρχέγονος αυτός εναλλάκτης αποτελούνταν από έναν αριθμό μεταλλικών πλακών κλεισμένων μέσα σε ένα πλαίσιο παρόμοιο με αυτό μίας φιλτρόπρεσσας (διηθητικό πιεστήριο). Το πρώτο μοντέλο της σημερινής του πιο εξελιγμένης μορφής εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1930. Οι πλάκες του πλέον κατασκευάζονται με τη βοήθεια μίας νέας τεχνολογίας αποτύπωσης (πρεσαρίσματος) των συγκεκριμένων γεωμετριών πάνω σε λεπτόπαχη πλάκα ανοξείδωτου ατσαλιού.

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση των εναλλακτών πλακών-πλαisiού έχει εξαπλωθεί σχεδόν σε όλες τις βιομηχανικές διεργασίες.

## 2.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Ο εναλλάκτης πλακών-πλαisiού αποτελείται από έναν **αριθμό ορθογώνιων παραλληλόγραμμων μεταλλικών πλακών (plate pack) 1\*** και από ένα **πλαίσιο (frame)** που συγκρατεί τις πλάκες στις προκαθορισμένες θέσεις τους. Η τοποθέτηση των πλακών γίνεται έτσι, ώστε μεταξύ δύο διαδοχικών πλακών να υπάρχει το κατάλληλο διάκενο που θα εξασφαλίζει την κυκλοφορία των ρευστών μέσα στον εναλλάκτη.

**ΣΧΗΜΑ 2-2: Ονοματολογία του εναλλάκτη πλακών-πλαisiού**



Οι πλάκες είναι λεπτόπαχα μεταλλικά φύλλα, που έχουν υποστεί τύπωση, με αποτέλεσμα η επιφάνειά τους να έχει τη μορφή κυματοειδών πτυχωσεων. Το πλαίσιο αποτελείται από δύο καπάκια, από τα οποία το ένα είναι σταθερό και ονομάζεται **κεφαλή (fixed end cover, headpiece) 2**, ενώ το άλλο είναι κινητό και ονομάζεται **ουρά ή ακόλουθος του εναλλάκτη (movable end cover, follower, tailpiece) 4**. Το πλαίσιο, επίσης, αποτελείται και από δύο δοκούς (**carrying bars**). Η μία από αυτές είναι πακτωμένη στην κεφαλή και ονομάζεται **φέρουσα δοκός 5** και η άλλη είναι αποσπώμενη και ονομάζεται **δευτερεύουσα δοκός 7**. Οι δύο δοκοί στηρίζουν την κατασκευή και εξασφαλίζουν τη σωστή ευθυγράμμιση των πλακών. Η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια **παραμβυσμάτων (gaskets)**, που είναι τσιμούχες, οι οποίες περιβάλλουν τις πλάκες και πιεζόμενες από τη σύσφιξη ενός αριθμού **κοχλιών (compression bolts) 3**, που είναι τοποθετημένοι στην κεφαλή, δίνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τέλος, απαραίτητη είναι και η **έδραση (υποστήριξη, end support) 6** της κατασκευής.

Ακολουθεί η περιγραφή του κάθε στοιχείου της συσκευής ξεχωριστά και με λεπτομέρεια.

\* οι αναφορές αφορούν στο σχήμα 2-2

### **2.2.1 ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

Το πλαίσιο αποτελείται από την κεφαλή, τον ακόλουθο, την άνω και κάτω φέρουσα δοκό και τους κοχλίες συσφίξεως με τα περικόχλια. Τα επιμέρους στοιχεία συναρμολογούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να κρατιέται το πακέτο των πλακών ευθυγραμμισμένο και να επιτυγχάνεται η κατάλληλη συμπίεση των παρεμβυσμάτων. Με τον τρόπο αυτό, και η κατασκευή είναι στιβαρή και ο εναλλάκτης απόλυτα στεγανός.

Η λυόμενη κατασκευή του πλαισίου με την χρησιμοποίηση κοχλιών παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα για εγκατάσταση σε χώρους με περιορισμένη ή ακόμη και προβληματική πρόσβαση, αφού η αποσυναρμολόγηση είναι εύκολη. Παράλληλα, προσφέρεται η δυνατότητα εύκολης και γρήγορης μελλοντικής επέκτασης. Πιο συγκεκριμένα, οι εναλλάκτες αυτού του τύπου κατασκευάζονται με δοκούς και κοχλίες μεγαλύτερου μήκους από το απαιτούμενο, ώστε να εξασφαλίζεται η δυνατότητα επέκτασης και αύξησης του θερμικού καθήκοντος του εναλλάκτη, απλά με την προσθήκη μερικών επιπλέον πλακών. Επιπλέον, η σταθερή δοκός έχει μεγαλύτερο μήκος από την αποσπώμενη, ώστε κατά την αποσυναρμολόγηση της κατασκευής για καθαρισμό ή έλεγχο, οι πλάκες να σύρονται πάνω σ' αυτήν.

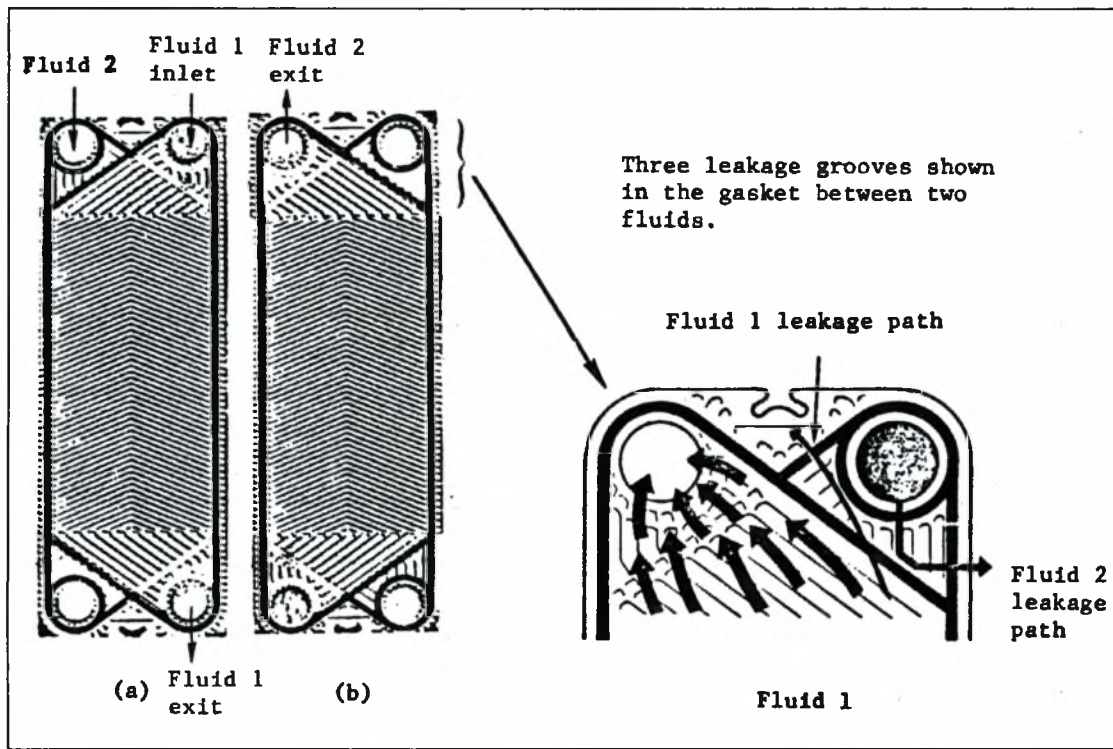
Η κεφαλή αποτελεί το σταθερό μέρος του πλαισίου και τις περισσότερες φορές υπάρχουν πάνω σ' αυτήν και οι τέσσερις φλάντζες για τις παροχές και τις αποχετεύσεις, για έναν εναλλάκτη που λειτουργεί ως απλού περάσματος (1-1). Ο ακόλουθος αποτελεί το κινητό μέρος του πλαισίου, το οποίο συμπιέζει το πακέτο των πλακών πάνω στην κεφαλή. Ο ακόλουθος συγκρατείται από την άνω φέρουσα δοκό και καθοδηγείται από την κάτω. Οι συνδέσεις με το δίκτυο προσαγωγής και απαγωγής των δύο ρευστών μπορεί να είναι διαφόρων μορφών, όπως ακροφύσια με φλάντζα, σωλήνας με οδηγούς, σωλήνας με σπείρωμα ή και στεγανωτικά για απευθείας ένωση με φλάντζες. Τέλος, οι κοχλίες που συμπιέζουν τα παρεμβύσματα μεταξύ των δύο καπακιών είναι τουλάχιστον έξη, έτσι ώστε να έχουμε μικρές εφελκυστικές καταπονήσεις σε αυτούς, αλλά και μικρή τοπική επιφανειακή καταπόνηση των καπακιών.

### **2.2.2 ΤΑ ΠΑΡΕΜΒΥΣΜΑΤΑ**

Η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με τη χρήση παρεμβυσμάτων από ελαστομερή, μικρού πάχους (ως 5mm). Αυτά προσαρμόζονται μέσα σε ειδικά αυλάκια που είναι κατασκευασμένα σε όλο το μήκος της περιμέτρου της πλάκας καθώς και γύρω από τις θύρες εισαγωγής και εξαγωγής. Το περιμετρικό παρέμβυσμα είναι εξωτερικά εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα, οπότε παρέχεται η δυνατότητα άμεσου εντοπισμού τυχούσας διαρροής με απλή οπτική εξέταση. Τα παρεμβύσματα των θυρών είναι τοποθετημένα με τέτοια διάταξη που εξασφαλίζει διπλή στεγανοποίηση, ελαχιστοποιώντας έτσι τον κίνδυνο ανάμιξης των δύο ρευστών. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι τα παρεμβύσματα είναι περαστά στα αυλάκια της πλάκας. Δηλαδή, δε χρησιμοποιείται κόλλα κατά την τοποθέτησή τους, οπότε η αντικατάστασή τους είναι πολύ εύκολη.



ΣΧΗΜΑ 2-3: Ο ρόλος των παρεμβυσμάτων στην κυκλοφορία των ρευστών μέσα στον εναλλάκτη πλακών-πλαισίου



Τυπικά υλικά κατασκευής των παρεμβυσμάτων είναι τα ακόλουθα:

- φυσικό λάστιχο
- SBR (στυρένιο-βουταδιένιο)
- νεοπρένιο
- βουτύλιο (εμπλουτισμένο με ρητίνη)
- EPDM (ελαστικό αιθυλενίου-προπυλενίου)
- ελαστικό σιλικόνης
- VITON (φθοριωμένο ελαστικό)
- συμπιεσμένες ίνες αμιάντου

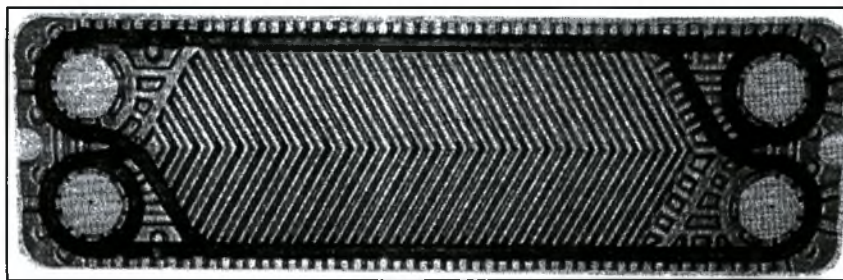
Περίπου το 90% των παρεμβυσμάτων των εναλλακτών θερμότητας πλακών-πλαισίου είναι παρεμβύσματα νιτριλίου, EPDM, VITON, και νιτριλίου υψηλής θερμοκρασίας.

### 2.2.3 ΟΙ ΠΛΑΚΕΣ

#### 2.2.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Το πακέτο των πλακών αποτελεί την καρδιά ενός εναλλάκτη πλακών-πλαισίου και συμπιέζεται μεταξύ της κεφαλής και του ακολούθου. Με τη βοήθεια των παρεμβυσμάτων σχηματίζονται ανάμεσα στις πλάκες διάκενα κατάλληλου μεγέθους, τα οποία αποτελούν τα κανάλια μέσα από τα οποία οδηγούνται τα ρευστά που συμμετέχουν στη διεργασία.

#### **ΣΧΗΜΑ 2-4: Πλάκα εναλλάκτη πλακών-πλαισίου**



Οι πλάκες είναι κυματοειδούς μορφής και κατασκευάζονται από μεταλλικά φύλλα πάχους ελάσματος από 0.5-0.9mm. Η μέγεθος που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της κυματοειδούς γεωμετρίας της επιφάνειας είναι συνήθως τύπωση με μήτρα. Ο κατάλληλος σχεδιασμός της πλάκας και η σωστή επιλογή του πάχους της αποφασίζονται από τον κατασκευαστή, ώστε το πακέτο να αντέχει την πίεση λειτουργίας και τη μέγιστη ονομαστική πίεση για την οποία έχει σχεδιαστεί.

Η συναρμολόγηση των πλακών γίνεται έτσι ώστε οι κυματοειδείς πτυχώσεις των επιφανειών δύο διαδοχικών πλακών να έρχονται σε επαφή, δημιουργώντας στενά, διακοπτόμενα ή ελικοειδή, κανάλια ροής. Η μέση απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πλακών ορίζεται πλήρως από τη γεωμετρία των πτυχώσεων. Η παρουσία των πτυχώσεων αυξάνει τη στιβαρότητα της κατασκευής, αφού δημιουργούνται πολλαπλά σημεία επαφής μεταξύ των πλακών. Επιπλέον, λόγω των πτυχώσεων αυξάνεται και ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας, ενώ ελαττώνεται ο ρυθμός των επικαθήσεων. Οι πλάκες διακρίνονται σε σκληρές ή μαλακές, ανάλογα αν δημιουργούν τύρβη υψηλής ή χαμηλής έντασης.

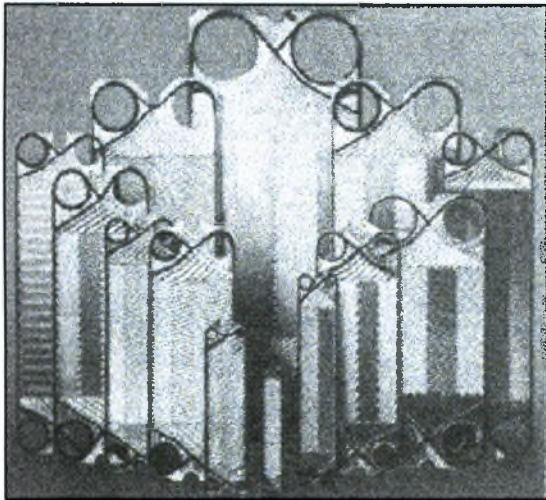
Τα υλικά που επιλέγονται για την κατασκευή των πλακών θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διάβρωση που προκαλείται από την κυκλοφορία των ρευστών. Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα υλικά είναι:

- **εμπορικοί τύποι ανοξειδωτου χάλυβα**

- **ΤΙΤΑΝΙΟ**
- **ΝΙΚΕΛΙΟ**
- **κράματα του νικελίου, για πιο εξειδικευμένες εφαρμογές.**

Σε κάθε πλάκα υπάρχουν τέσσερις θύρες, οι οποίες ανά ζεύγος εξασφαλίζουν την είσοδο και την έξοδο του κάθε ρευστού ανάμεσα από τα ροϊκά κανάλια κάθε πλευράς της πλάκας. Αφού συναρμολογηθούν οι πλάκες, οι γωνιακές θύρες σχηματίζουν κεφαλές διανομής και συλλογής για τα δύο ρευστά, ενώ τα ακροφύσια εισόδου και εξόδου βρίσκονται πάνω στα καπάκια, όπου πραγματοποιούνται και οι συνδέσεις με το δίκτυο προσαγωγής και απαγωγής των ρευστών.

#### **ΣΧΗΜΑ 2-5: Διάφοροι τύποι πλακών (chevron)**



Η περιγραφή της διαδρομής ενός ρευστού στο εσωτερικό του εναλλάκτη έχει ως εξής: Το ρευστό εισέρχεται στη γωνία του ενός άκρου του συμπιεσμένου πακέτου των πλακών διαμέσου του ακροφυσίου εισόδου. Στη συνέχεια διέρχεται μέσα από τα προκαθορισμένα εναλλασσόμενα κανάλια σε σειριακά ή παράλληλα περάσματα. Στη μία ομάδα των καναλιών, το παρεμβύσμα δεν περικλείει τη συγκεκριμένη θύρα, οπότε το ρευστό εισέρχεται και διανέμεται μέσα στα ροϊκά κανάλια της συγκεκριμένης πλάκας και απάγεται από την αντίστοιχη θύρα εξόδου του κάτω διαγώνιου άκρου. Στην ίδια πλευρά της πλάκας, οι άλλες δύο θύρες είναι κλειστές με τη βοήθεια της διάταξης του διπλού παρεμβύσματος. Αυτό έχει ως συνέπεια, το άλλο ρευστό της διεργασίας να μην μπορεί να εισχωρήσει στην ίδια πλευρά της πλάκας. Σε εναλλάκτη πλακών-πλαισίου που λειτουργεί σε αντιρροή και είναι απλού περάσματος (1-1), το αμέσως επόμενο κανάλι έχει τέτοια διάταξη παρεμβυσμάτων, ώστε να επιτρέπει την ακριβώς αντίθετη λειτουργία από πριν. Προκύπτει ότι κάθε πλάκα έχει παρεμβύσματα που εξέχουν από την επιφάνεια της πλάκας μόνο από τη μία πλευρά, τα οποία μάλιστα προσαρμόζονται σε θηλυκά αυλάκια που υπάρχουν στην πίσω πλευρά της προηγούμενης πλάκας.

Συνήθως, οι εναλλάκτες πλακών-πλαισίου λειτουργούν σε αντιρροή και είναι απλού περάσματος (1-1), με όλες τις συνδέσεις με το δίκτυο πάνω στην κεφαλή. Μπλοκάροντας τη ροή από κάποια περάσματα με τη χρήση παρεμβυσμάτων, επιτυγχάνεται λειτουργία με πολλαπλά περάσματα είτε για το ένα είτε και για τα δύο ρευστά. Ακόμη, χρησιμοποιώντας ειδικές ενδιάμεσες συνδετικές πλάκες ή κουτιά που τοποθετούνται μέσα στο πακέτο των πλακών, μπορούν να δημιουργηθούν δύο ή και περισσότεροι εναλλάκτες μέσα στο ίδιο πλαίσιο.

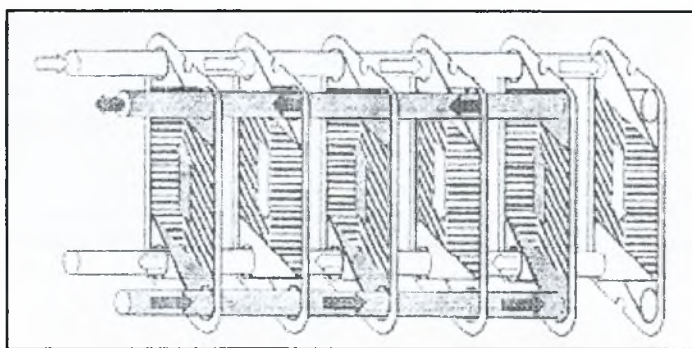
Πρακτικά, η κεφαλή και ο ακόλουθος θεωρούνται αδιαβατικά τοιχώματα εξαιτίας των αμελητέων απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον (λιγότερο από 1%). **Οι πλάκες που είναι σε επαφή με την κεφαλή και τον ακόλουθο δε μεταφέρουν θερμότητα από το ένα ρευστό στο άλλο και δε θεωρούνται θερμικές πλάκες.** Συνεπώς, με τον όρο θερμικές πλάκες περιγράφονται όλες οι υπόλοιπες πλάκες του εναλλάκτη.

Η ροή μέσα στον εναλλάκτη είναι τυρβώδης με υψηλούς αριθμούς Reynolds (Re), από 10 ως 800 σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, υπολογισμένους χρησιμοποιώντας ως χαρακτηριστικό μήκος την υδραυλική διάμετρο. Η τιμή του αδιάστατου αριθμού Re ποικίλει ανάλογα με τη σκληρότητα της πλάκας, που με τη σειρά της εξαρτάται από τη γωνία των πτυχώσεων της επιφάνειας της πλάκας. Με αύξηση αυτής της γωνίας αυξάνεται και η ένταση της τύρβης. Γενικά, στους εναλλάκτες πλακών-πλαισίου παρατηρούνται υψηλοί συντελεστές μετάδοσης θερμότητας και υψηλοί συντελεστές τριβής. Οι υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας οφείλονται στη μικρή υδραυλική διάμετρο που σχηματίζουν τα κανάλια ροής. Η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας ανά μονάδα όγκου ποικίλει μεταξύ  $160-660\text{m}^2/\text{m}^3$ .

Μπορούν να διακριθούν τρεις βασικές διευθετήσεις της ροής στο εσωτερικό του εναλλάκτη:

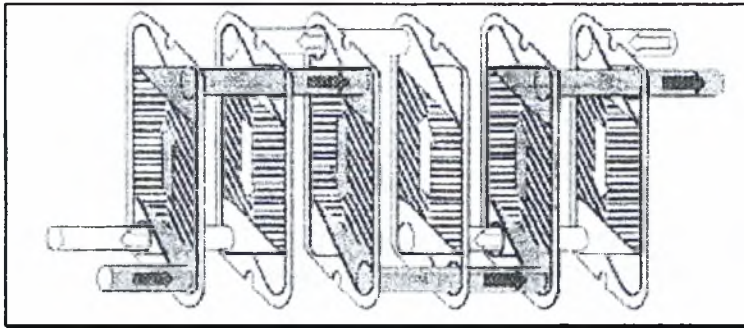
1. σε σειρά
2. σε βρόχο (U,Z)
3. πολυσύνθετη.

**ΣΧΗΜΑ 2-6: Παράλληλη διευθέτηση της ροής**

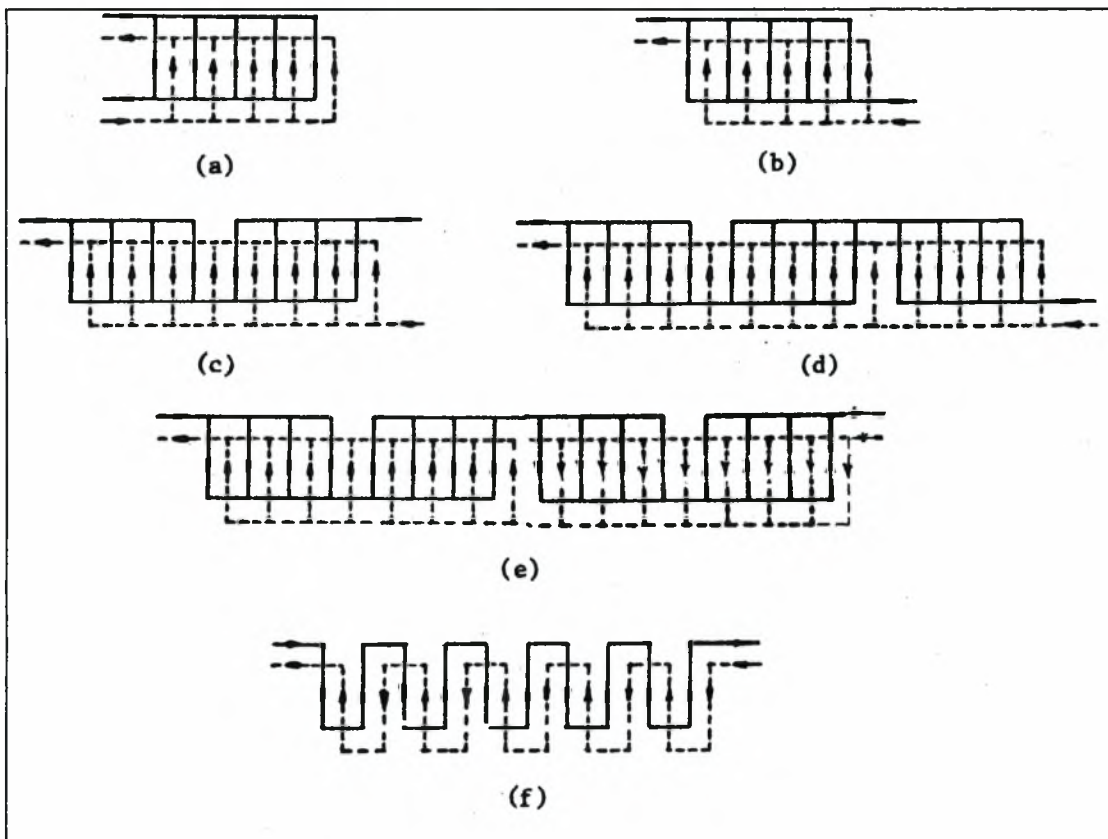




ΣΧΗΜΑ 2-7: Σε σειρά διευθέτηση της ροής



ΣΧΗΜΑ 2-8: n πλάκες: Διευθετήσεις της ροής σε βρόχο (a)U (b) Z  
Διευθετήσεις της ροής με πολλαπλά περάσματα (c) 2-1 (d) 3-1 (e) 4-2  
Διευθετήσεις της ροής σε σειρά (f) n-n

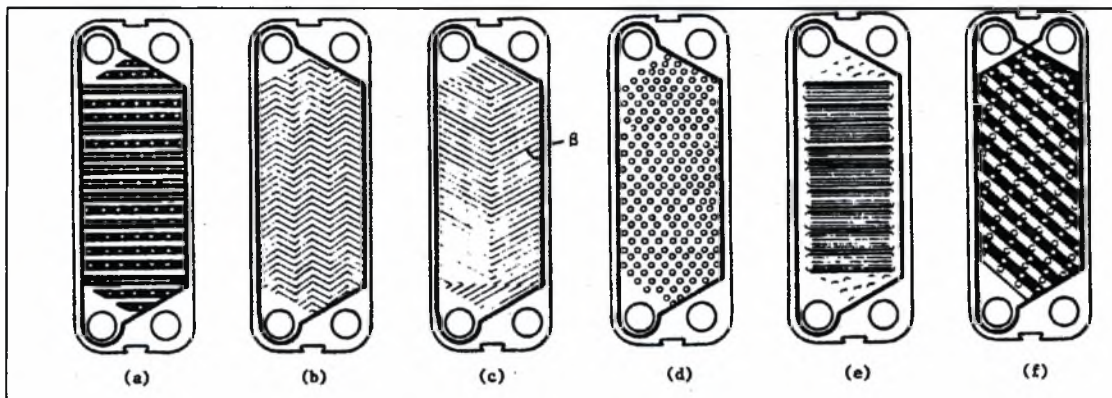


### 2.2.3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Σχετικά με τη γεωμετρία των πλακών, έχουν αναπτυχθεί διεθνώς πάνω από 60 διαφορετικοί τύποι πλακών. Κατά κύριο λόγο δύο είδη πτυχώσεων βρίσκονται σε γενική χρήση:

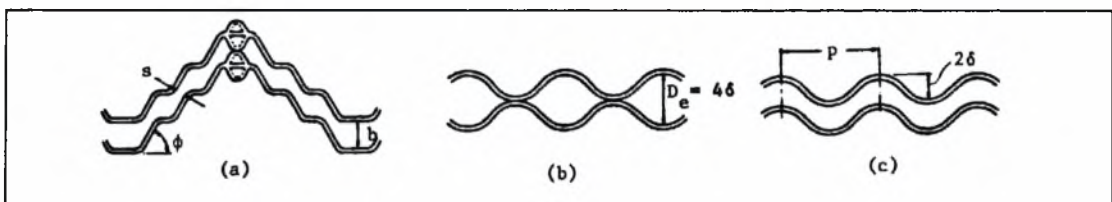
1. πλάκες τύπου **washboard (intermating troughs)**
2. πλάκες τύπου **chevron (herringbone troughs)**

**ΣΧΗΜΑ 2-9: Διάφοροι τύποι πλακών (a) washboard (b) zig-zag (c) chevron (d) προεξοχές και κοιλώματα (e) washboard με δευτερεύουσες αυλακώσεις (f) πλάγιο (λοξό) washboard**



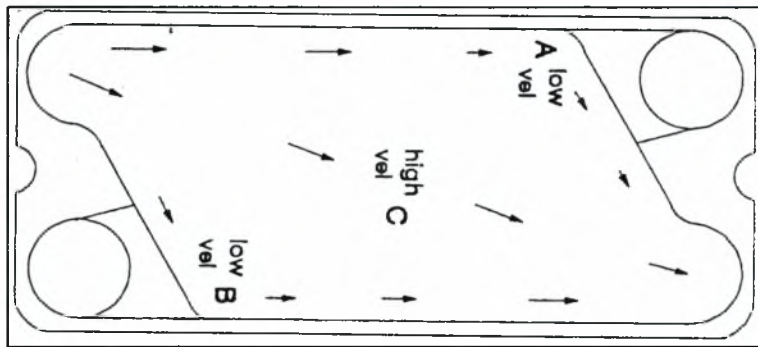
Στις πλάκες τύπου *washboard*, η μορφή της επιφάνειας μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύνολο από κοιλώματα κάθετα στη διεύθυνση της ροής. Αυτές οι κοιλότητες όταν έρθουν σε επαφή με τις αντίστοιχες της επόμενης πλάκας διατηρούν ένα διάκενο χάρη στα εξογκώματα που υπάρχουν στην επιφάνεια των πλακών και σχηματίζουν ένα ταινιοειδές κανάλι ροής. Το μέγιστο διάκενο του καναλιού κυμαίνεται μεταξύ 3-5mm, ενώ το ελάχιστο διάκενο είναι από 1.5-3mm. Τυπικό εύρος των ταχυτήτων υγρού σε τυρβώδη ροή είναι από 0.2-3m/sec, ενώ το ακριβές μέγεθος της ταχύτητας εξαρτάται από την απαιτούμενη πτώση πίεσης.

**ΣΧΗΜΑ 2-10: Τομές δύο γειτονικών πλακών: (a) washboard (intermating troughs), (b), (c) chevron (herringbone troughs)**



Στις πλάκες τύπου *chevron*, οι πτυχώσεις είναι κεκλιμένες ως προς την κύρια διεύθυνση της ροής κατά μία **γωνία β**. Οι αυλακώσεις έχουν βάθος ίσο με το άνοιγμα του καναλιού και η επιφάνειά τους έχει σχηματισμούς της μορφής Λ ή V. Αυτός ο τύπος πλάκας δημιουργεί ροϊκά περάσματα σε πολλά μικρά επιμέρους ελικοειδή ρυάκια υψηλής έντασης τύρβης. Το διάκενο μεταξύ των πλακών κυμαίνεται από 2-6.35mm. Τυπικό εύρος ταχυτήτων υγρού σε τυρβώδη ροή είναι από 0.1-1m/sec.

**ΣΧΗΜΑ 2-11: Κατανομή των ταχυτήτων σε ένα κανάλι ροής εναλλάκτη πλακών-πλασιού**



Η θερμική και υδραυλική απόδοση μιας συγκεκριμένης πλάκας εξαρτάται κυρίως από το σχέδιο της αυλάκωσης. Οι γεωμετρικές παράμετροι που επηρεάζουν αυτή την απόδοση είναι:

1. η γωνία κλίσης των αυλακώσεων  $\beta$  ως προς τη διεύθυνση ροής
2. το βήμα των αυλακώσεων  $\rho$
3. ο συντελεστής αυλακώσεων  $\delta$

Το χαρακτηριστικό μήκος που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς είναι η **υδραυλική διάμετρος ( $D_h$ )**, η οποία για αγωγούς με σταθερή διατομή ορίζεται ως εξής:

$$D_h = 4 \cdot \text{ελάχιστη ελεύθερη επιφάνεια ροής} / \text{περιβρεχόμενη περίμετρος} \quad (2-1)$$

Σε τυρβώδη ροή, και για σωλήνες σταθερής διατομής, όλες οι αδιάστατες χαρακτηριστικές ομάδες για τη μεταφορά θερμότητας και την πτώση πίεσης κυμαίνονται σε ένα στενό πεδίο διακυμάνσεων. Αυτό ισχύει όταν χρησιμοποιείται ως χαρακτηριστικό μήκος η υδραυλική διάμετρος. Για ορθογωνικής διατομής σωλήνα πλάτους  $w$  και ύψους περάσματος  $b_c$ , η υδραυλική διάμετρος δίνεται από τη σχέση:

$$D_h = 2wb_c / (w + b_c) \sim 2b_c, \text{ για } w \gg b_c \quad (2-2)$$

Αν ο ίδιος σωλήνας θεωρηθεί μεταβλητής διατομής, η υδραυλική διάμετρος παίρνει τη μορφή:

$$D_h = 2wb_c / [(w + b_c)\phi] \sim 2b_c / \phi, \text{ για } w \gg b_c \quad (2-3)$$

όπου  $\phi$  είναι η αναλογία της ενεργής (αναπτυχθείσας) περιοχής της επιφάνειας ως προς τη σχεδιασθείσα. Επειδή η παράμετρος  $\phi$  είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί, θα χρησιμοποιείται η σχέση (2-2),  $D_h = 2wb_c / (w + b_c) \sim 2b_c = D_e$ , όπου  $D_e$  η **ισοδύναμη διάμετρος**, όπως ονομάζεται.

### 2.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας σε εξαναγκασμένη κυκλοφορία και για πλήρως αναπτυσσόμενη τυρβώδη ροή υγρού σε εναλλάκτη πλακών, συνήθως έχουν τη μορφή:

$$\mathbf{Nu=c_1 Re^{c_2} Pr^{c_3} (\mu_w/\mu_m)^n} \quad \mathbf{(2-4)}$$

όπου,

- **Nu, Re, Pr** : αδιάστατοι αριθμοί Nusselt, Reynolds, Prandtl του υγρού
- **$\mu_w, \mu_m$**  : ιξώδες του υγρού στη θερμοκρασία του τοιχώματος και ιξώδες του υγρού στη μέση θερμοκρασία του, αντίστοιχα
- **$c_1, c_2, c_3, n$** : εμπειρικές σταθερές. Οι  $c_1, c_2$  εξαρτώνται από τον τύπο της πλάκας και τις γεωμετρικές παραμέτρους. Τυπικές τιμές αναφέρονται από το **Marriott** για μεταβατική και τυρβώδη ροή:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1: Τιμές σταθερών για συσχέτιση του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας**

$c_1$	0.15-0.4
$c_2$	0.65-0.85
$c_3$	0.3-0.45
$n$	-0.05 ως -0.2

Για την επίδραση του αριθμού Pr του ρευστού πάνω στον αριθμό Nu, ειδικά για τους εναλλάκτες πλακών, δεν υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες δημοσιευμένες πληροφορίες. Με βάση τη θεωρητική λύση για το πρόβλημα της περιοχής θερμικής εισόδου (με αναπτυσσόμενο προφίλ ταχύτητας) για νηματώδη ροή, σε αγωγούς σταθερής διατομής γίνεται δεκτό ότι:

$$\mathbf{Nu \text{ ανάλογος του } Pr^{1/3}} \quad \mathbf{(2-5)}$$

Για πλήρως αναπτυσσόμενη τυρβώδη ροή σε αγωγούς σταθερής διατομής ισχύει η σχέση (2-6):

$$\mathbf{Nu \text{ ανάλογος του } Pr^{0.4}} \quad \mathbf{(2-6)}$$

Εφόσον η ροή στα κυματοειδή περάσματα των εναλλακτών πλακών είναι είτε ταυτόχρονα αναπτυσσόμενη νηματώδης είτε τυρβώδης, φαίνεται ότι η πιο κατάλληλη τιμή του εκθέτη του Pr είναι 0.4. Προτείνεται, όμως, συντηρητικά να χρησιμοποιείται η τιμή 1/3.

Οι **Chisholm** και **Wanniarachchi** καταλήγουν στην εξής συσχέτιση για το συντελεστή μετάδοσης θερμότητας:

$$\mathbf{h=0.724(k/D_e)(\beta/30)^{0.646} Re^{0.683} Pr^{1/3}} \quad \mathbf{(2-7)}$$

όπου,

- **k**: ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας



- $D_e$ : η ισοδύναμη διάμετρος
- $\beta$ : η γωνία κλίσης των πτυχώσεων

Ο **Holger Martin** προτείνει την εξής συσχέτιση:

$$Nu = c Re^a Pr^c \quad (2-8)$$

και οι σταθερές της παραπάνω σχέσης ορίζονται στο επόμενο πίνακάκι:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2: Σταθερές της συσχέτισης Holger Martin**

$\varphi$	71° (H)	29°45' (S)	(H/S)
$\alpha$	0.69	0.72	0.7
$c$	0.274	0.094	0.184

όπου  $\varphi$  η γωνία κλίσης των πτυχώσεων. Οι τιμές αυτές ισχύουν για:

- ♦  $10^2 < Re < 10^4$
- ♦  $2 < Pr < 40$ .

Πρέπει να τονιστεί ότι οι εξισώσεις (2-7), (2-8) θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο ελλείψει άλλων πιο αξιόπιστων συσχετίσεων.

Η ολική συσχέτιση για τη μεταφορά θερμότητας παίρνει τις ακόλουθες μορφές:

$$UA = q / (F \Delta T_{lm}) \quad (2-9)$$

$$1/U = (1/h_\theta) + (1/h_\psi) + (R_w + R_{f,\theta} + R_{f,\psi}) \quad (2-10)$$

όπου

- ♦  $F$ : ο αδιάστατος διορθωτικός συντελεστής της μέσης λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας
- ♦  $A$ : επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας ( $m^2$ )
- ♦  $q$ : θερμικό καθήκον ( $W$ )
- ♦  $\Delta T_{lm}$ : μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας
- ♦  $U$ : ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας ( $W/m^2K$ )
- ♦  $h_\theta, h_\psi$ : συντελεστής μετάδοσης θερμότητας από την πλευρά του θερμού ή του ψυχρού ρευστού ( $W/m^2K$ )
- ♦  $R_w$ : θερμική αντίσταση του τοιχώματος ανά μονάδα επιφάνειας ( $m^2K/W$ )
- ♦  $R_{f,\theta}, R_{f,\psi}$ : αντίσταση των επικαθήσεων ανά μονάδα επιφάνειας από την πλευρά του θερμού ή του ψυχρού ρευστού ( $m^2K/W$ )

#### **2.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ, ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ**

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός εναλλάκτη πλακών-πλαισίου.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3: Τυπικά τεχνικά χαρακτηριστικά ενός εναλλάκτη πλακών-πλαisiού**

<p><b>ΜΟΝΑΔΑ</b>                      μέγιστη επιφάνεια εναλλαγής <b>2500m<sup>2</sup></b>                      αριθμός πλακών <b>3-700</b>                      μέγεθος θυρών ως <b>400mm</b></p>	<p><b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ</b>                      πίεση <b>0.1-2.5Mpa</b>                      θερμοκρασία <b>-40 ως 260<sup>o</sup>C</b>                      μέγιστη ταχύτητα στις θύρες <b>6m/sec</b>                      παροχή καναλιών <b>0.05-12.5m<sup>3</sup>/h</b>                      μέγιστη παροχή λειτουργίας <b>2500m<sup>3</sup>/h</b></p>
<p><b>ΠΛΑΚΕΣ</b>                      πάχος <b>0.5-1.2mm</b>                      μέγεθος <b>0.03-3.6m<sup>2</sup></b>                      απόσταση μεταξύ πλακών <b>1.5-5mm</b>                      πλάτος <b>70-1200mm</b>                      μήκος <b>0.6-5m</b></p>	<p><b>ΑΠΟΔΟΣΗ</b>                      θερμοκρασιακή προσέγγιση <b>~1<sup>o</sup>C</b>                      αποτελεσματικότητα εναλ. ως <b>93%</b>                      συντελ. μεταφ. θερμ. για λειτουργία με νερό και στις δύο πλευρές <b>3000-7000W/m<sup>2</sup>K</b></p>

Στην αρχή αυτού του κεφαλαίου έχει αναφερθεί ότι οι εναλλάκτες πλακών-πλαisiού παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των κλασικών εναλλακτών αυλών-κελύφους, τους οποίους τείνουν να αντικαταστήσουν σε μεγάλο αριθμό διεργασιών μεταφοράς θερμότητας.

Ο εναλλάκτης πλακών-πλαisiού μπορεί να αποσυναρμολογηθεί σε ανεξάρτητα κομμάτια, παρέχοντας τη δυνατότητα ελέγχου, συντήρησης και καθαρισμού τους (επιτόπου, μέθοδος **CIP**). Με τον τρόπο αυτό, είναι εφικτή η πρόσβαση και στις δύο πλευρές εναλλαγής θερμότητας.

Η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας μπορεί να αλλάξει πολύ γρήγορα με την πρόσθεση ή αφαίρεση πλακών κατά τρόπο ώστε ο εναλλάκτης να προσαρμόζεται αμέσως στο νέο απαιτούμενο θερμικό καθήκον. Προσφέρεται έτσι η δυνατότητα επέκτασης της διάταξης, χωρίς να απαιτείται η αγορά νέου εναλλάκτη.

Λόγω της επιτυγχανόμενης υψηλής έντασης τύρβης, ελαττώνεται ο ρυθμός των επικαθήσεων σε ποσοστό 10-25% σε σχέση με εναλλάκτη αυλών-κελύφους. Επιπλέον, οι υψηλοί συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, η απουσία λιμναζόντων ρευμάτων και η επίτευξη πλήρους αντιρροής οδηγούν σε επιφάνεια εναλλαγής που είναι το 1/2 ή το 1/3 της αντίστοιχης απαιτούμενης για το ίδιο θερμικό καθήκον σε εναλλάκτη αυλών-κελύφους. Ως συνέπεια, μειώνεται το κόστος αγοράς του εναλλάκτη.

Παράλληλα, μειώνεται και ο όγκος της συσκευής (που είναι πιο μικρή και συμπαγής), ενώ μειώνεται και ο απαιτούμενος χώρος για την εγκατάσταση. Ακόμη, ο εναλλάκτης πλακών-πλαisiού ζυγίζει πολύ λιγότερο από έναν αντίστοιχο αυλών-κελύφους και έτσι περιορίζονται τα έξοδα για έδραση του εναλλάκτη.

Οι διαρροές μπορούν να γίνουν αμέσως αντιληπτές, λόγω της ειδικής διαμόρφωσης των παρεμβυσμάτων. Ελαχιστοποιείται, με τον τρόπο αυτό, η πιθανότητα ανάμιξης των δύο ρευμάτων.

Ο χρόνος παραμονής κάθε τμήματος του ρευστού στη δεδομένη πλευρά του εναλλάκτη είναι περίπου ο ίδιος. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται η ομοιομορφία της εναλλαγής θερμότητας, που είναι πολύ σημαντική σε εφαρμογές όπως παρασκευή τροφίμων, παστερίωση και αποστείρωση.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των εναλλακτών πλακών-πλαισίου είναι οι υψηλοί βαθμοί θερμικής απόδοσης. Λόγω της υψηλής έντασης τύρβης επιτυγχάνονται υψηλοί συντελεστές μετάδοσης θερμότητας.

Οι εναλλάκτες πλακών-πλαισίου παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Είναι κατάλληλοι για μεταφορά θερμότητας κυρίως μεταξύ δύο υγρών, αν και σήμερα υπάρχουν στην αγορά ειδικές πλάκες που είναι κατάλληλες για χρήση και σε περιβάλλοντα με διφασικά ρευστά, όπως το συμπύκνωμα του ατμού.

Κατά τη διέλευση ρευστών με υψηλό ιξώδες μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα ανισοκατανομής της ροής. Επίσης, οι εναλλάκτες πλακών-πλαισίου είναι ακατάλληλοι για λειτουργία σε διαβρωτικό περιβάλλον, γιατί προξενούνται βλάβες και στις πλάκες αλλά και στα παρεμβύσματα (η ζωή των παρεμβυσμάτων είναι ούτως ή άλλως περιορισμένη).

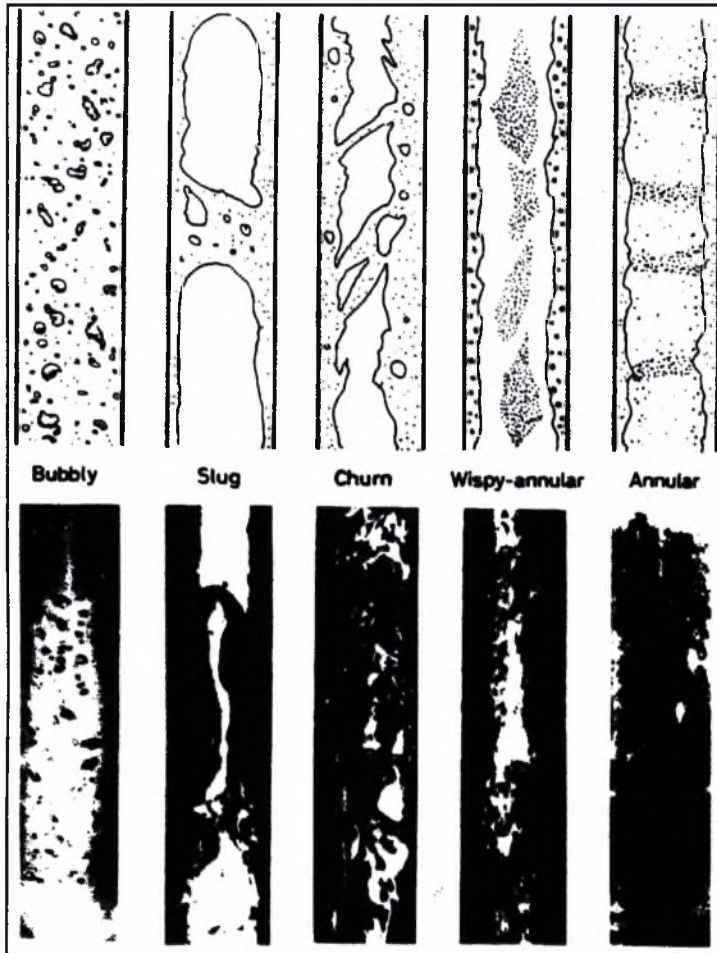
Τόσο η μέγιστη πίεση λειτουργίας τους (μέχρι 2.5 Μρα) όσο και η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους (μέχρι 260°C) είναι περιορισμένες, και όσο αυξάνουν απαιτούνται ακριβότερα υλικά για την κατασκευή των πλακών. Για ισοδύναμες ταχύτητες ροής με έναν αντίστοιχο εναλλάκτη αυλών-κελύφους, η πτώση πίεσης είναι πολύ μεγαλύτερη στον εναλλάκτη πλακών. Γενικά, οι ταχύτητες ροής σε εναλλάκτη πλακών-πλαισίου είναι πολύ μικρές (γύρω στο 1m/sec) και έτσι η πτώση πίεσης κυμαίνεται σε λογικά επίπεδα. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι ο εναλλάκτης πλακών-πλαισίου δε μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά πολύ μεγάλες διαφορές στις παροχές των δύο ρευστών.

Τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί πολλές εξελίξεις στην τεχνολογία των εναλλακτών πλακών-πλαισίου. Σημαντικό στοιχείο είναι η κατασκευή πλακών πιο ανθεκτικών στη διάβρωση, από κατάλληλα κράματα. Πλάκες με μεγάλα διάκενα δημιουργήθηκαν για την αντιμετώπιση ρευστών με υψηλό ιξώδες. Μία νέα ιδέα είναι να δημιουργηθεί εναλλάκτης πλακών-πλαισίου κλεισμένος σε κελυφος, ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία σε υψηλές πιέσεις, όπως και η λειτουργία σε σταυρωτή ροή.

Οι πιο συνηθισμένες χρήσεις των εναλλακτών πλακών-πλαισίου είναι σε βιομηχανίες γαλακτοκομικών, παρασκευής τροφίμων και φαρμάκων. Επίσης, χρησιμοποιούνται ως ψυγεία διεργασιών, θερμαντήρες και κλειστά κυκλώματα ψύξης σε βιομηχανίες παραγωγής συνθετικού λάστιχου, χαρτοποιίας και διυλιστήρια πετρελαίου.

Πάντως, η χρήση των εναλλακτών πλακών-πλαισίου ολοένα και αυξάνεται και επεκτείνεται σε τομείς όπου παλιότερα χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά οι εναλλάκτες αυλών-κελύφους.

## Κεφάλαιο 3: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ



Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση της διφασικής ροής νερού-αέρα. Αναλύονται οι περιοχές της ροής σε κατακόρυφο σωλήνα κυκλικής διατομής για την περίπτωση της ροής προς τα πάνω, παρουσιάζεται ο αντίστοιχος χάρτης περιοχών ροής και αναλύονται τα κυριότερα μοντέλα της διφασικής ροής, το ομογενές και το διαχωρισμένο.

Σχήματα κεφαλαίου:

•ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ (Β. ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ, 1998).



### 3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

---

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της διφασικής ροής σε εναλλάκτη πλακών-πλαισίου. Συγκεκριμένα, γίνεται μία απόπειρα κατανόησης των μηχανισμών της διφασικής ροής νερού-αέρα, που αποτελεί το ψυχρό ρεύμα του εναλλάκτη. Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας, γίνεται υπολογισμός των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας για διάφορες παροχές θερμού και ψυχρού ρεύματος. Στη συνέχεια, γίνεται μία πρώτη προσπάθεια σύνδεσης των συντελεστών αυτών με το είδος της διφασικής ροής.

Η προσπάθεια αυτή στηρίζεται σε ελάχιστα υπαρκτά βιβλιογραφικά δεδομένα. Γίνεται χρήση ενός χάρτη περιοχών ροής, για διφασική ροή νερού-αέρα προς τα πάνω σε κατακόρυφο αγωγό κυκλικής διατομής. Το συγκεκριμένο μοντέλο ασφαλώς και δεν έχει καλή εφαρμογή στην προκειμένη περίπτωση. Ωστόσο, είναι το πιο κοντινό και αντιπροσωπευτικό μοντέλο, μέχρι να γίνουν οι κατάλληλες διαμορφώσεις στη συσκευή\*, οπότε θα φωτογραφηθεί η ροή και θα δημιουργηθεί ο χάρτης περιοχών της ροής για τη συγκεκριμένη γεωμετρία των πλακών. Αυτό αποτελεί, όπως αναφέρεται και στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6, πρόταση για θέμα επόμενης διπλωματικής εργασίας.

Η πρόβλεψη του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας στις συνθήκες διφασικής ροής είναι κατά πολύ δυσκολότερη από τους κλασικούς υπολογισμούς που αφορούν μονοφασική ροή. Η δυσκολία οφείλεται κυρίως στην ελλιπή κατανόηση των φαινομένων ροής του διφασικού μίγματος.

Το κεφάλαιο αυτό έχει ως στόχο του την παρουσίαση των πιο σημαντικών στοιχείων της διφασικής ροής, εστιάζοντας στην κατακόρυφη ροή. Η διφασική ροή αερίου-υγρού σε αγωγούς εμφανίζεται σε πλήθος εφαρμογών, οι οποίες σχετίζονται με διεργασίες μεταφοράς θερμότητας και μάζας. Τα τελευταία χρόνια εντάθηκε το ενδιαφέρον για εύρεση εξισώσεων, που προβλέπουν τις παραμέτρους της διφασικής ροής.

#### 3.2 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Στην περιγραφή της διφασικής ροής χρησιμοποιείται συνήθως η ακόλουθη ονοματολογία:

- $G_l$ =ένταση ροής υγρού (μαζική παροχή υγρού/διατομή σωλήνα) ( $Kg/m^2sec$ )
- $G_g$ =ένταση ροής αερίου (μαζική παροχή αερίου/διατομή σωλήνα) ( $Kg/m^2sec$ )

---

\* βλ. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

- $G$ =ένταση ολικής ροής μάζας (ολική μαζική παροχή/διατομή σωλήνα) ( $\text{Kg/m}^2\text{sec}$ )
- $X$ = ποιότητα διφασικού μίγματος (με βάση τη μάζα)

$$X = G_g / G \quad (3-1)$$

- $v_l$ =φαινομενική ταχύτητα υγρής φάσης
- $v_g$ =φαινομενική ταχύτητα αέριας φάσης

$$v_l = G_l / \rho_l \quad (3-2)$$

$$v_g = G_g / \rho_g \quad (3-3)$$

- $\alpha$ =κλάσμα κενού χώρου, δηλαδή το κλάσμα της διατομής ροής που καταλαμβάνεται από το αέριο.

Αν οι ροές της υγρής και της αέριας φάσης θεωρηθούν εμβολικές (ή, ισοδύναμα, χρησιμοποιηθεί η μέση ταχύτητα), οι πραγματικές ταχύτητες συνδέονται με τις φαινομενικές με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$u_l = v_l / (1 - \alpha) \quad (3-4)$$

$$u_g = v_g / \alpha \quad (3-5)$$

Στη βιβλιογραφία δίνεται κι άλλος ορισμός για την ένταση της ροής:

$$\rho_l j_l^2 = [G(1-X)]^2 / \rho_l \quad [\text{Kg/s}^2\text{m}] \quad (3-6)$$

$$\rho_g j_g^2 = [GX]^2 / \rho_g \quad [\text{Kg/s}^2\text{m}] \quad (3-7)$$

Η σχέση (3-6) αφορά το υγρό της διφασικής ροής, ενώ η (3-7) αφορά το αέριο.

### 3.3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΑΓΩΓΟ

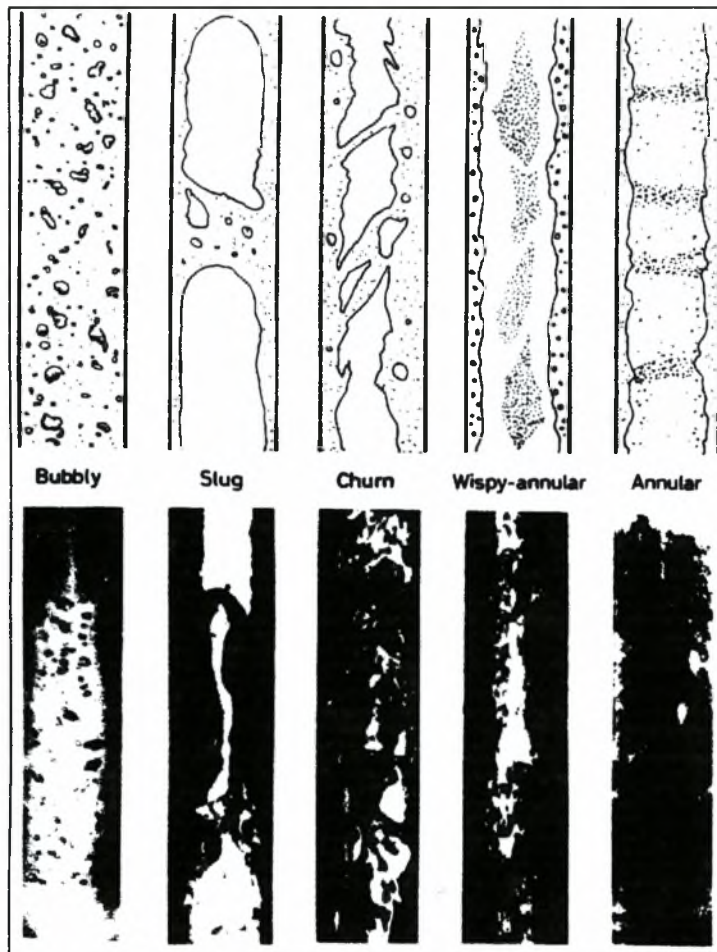
Κατά τη ροή υγρού-αερίου, οι δύο φάσεις παρουσιάζουν διάφορες γεωμετρικές διαμορφώσεις, γνωστές ως περιοχές ή μορφές ροής. Οι μεταπτώσεις από τη μία περιοχή στην άλλη παρατηρούνται με μεταβολή των παροχών.

Στο σχήμα (3-1) φαίνονται οι περιοχές ροής, κατά την ομορροή προς τα πάνω σε σωλήνα κυκλικής διατομής. Η σειρά με την οποία εμφανίζονται, με σταδιακή αύξηση της ποιότητας του μίγματος, είναι η ακόλουθη:

1. **Ροή με φυσαλίδες (bubbly flow)**, όπου το αέριο διασπείρεται σχετικά ομοιόμοφα σε μικρές φυσαλίδες.
2. **Διαλείπουσα ροή (slug ή plug flow)**, όπου το αέριο κινείται σε μεγάλες, σφαιροειδείς μάζες που καταλαμβάνουν σχεδόν όλη τη διατομή του σωλήνα.

3. **Ακανόνιστη ροή (churn flow)**, που είναι ασταθής, παλμική, καθώς το υγρό άλλοτε συμπαρασύρεται από το αέριο προς τα πάνω και άλλοτε, υπό την επίδραση της βαρύτητας ρέει προς τα κάτω.
4. **Δακτυλιοειδής ροή (annular flow)**, όπου ένα μέρος του υγρού καλύπτει ως λεπτός υμένας τα τοιχώματα του σωλήνα, ενώ το υπόλοιπο είναι διεσπαρμένο υπό μορφή σταγονιδίων στην κυρίως αέρια φάση στο κέντρο του σωλήνα.

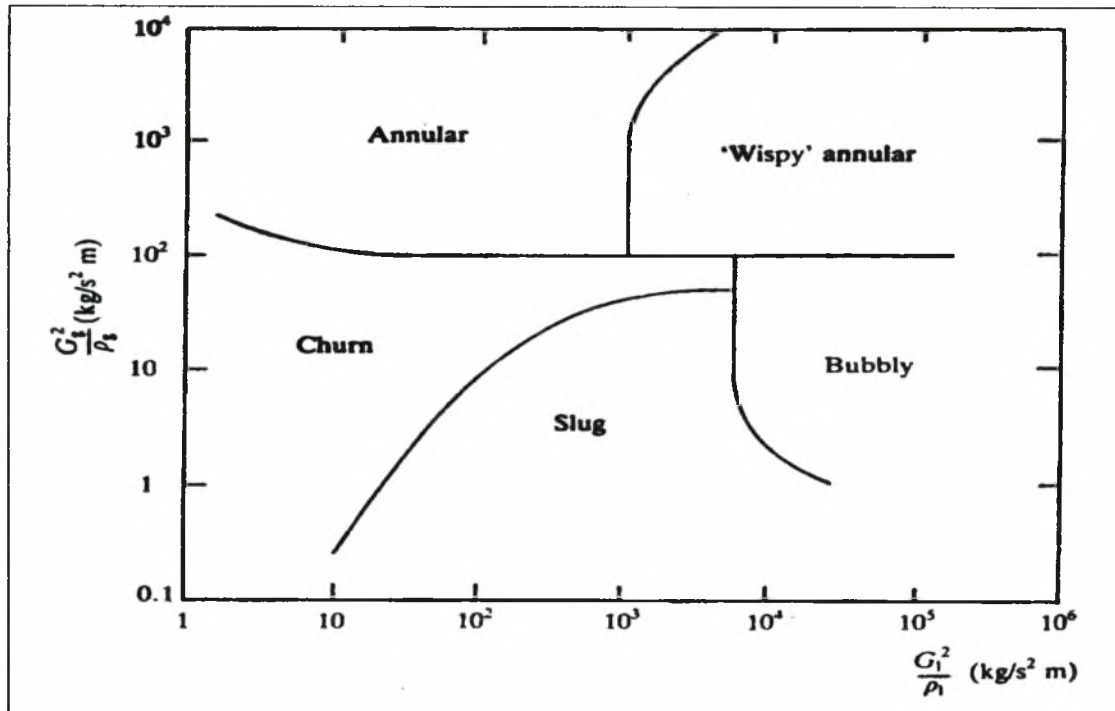
**ΣΧΗΜΑ 3-1: Περιοχές ροής κατά την ομοροή προς τα πάνω σε σωλήνα κυκλικής διατομής**



### 3.4 ΧΑΡΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΡΟΗΣ

Βασικό σχεδιαστικό πρόβλημα της διφασικής ροής αποτελεί η πρόβλεψη της περιοχής ροής που επικρατεί, όταν είναι δεδομένες οι παροχές και οι ιδιότητες των δύο φάσεων. Η απάντηση στο ερώτημα **‘ποια περιοχή ροής επικρατεί για δεδομένες συνθήκες;’** δίνεται με τη βοήθεια **χαρτών περιοχής ροής**. Ο χάρτης για κατακόρυφο σωλήνα παρουσιάζεται στο σχήμα (3-2).

ΣΧΗΜΑ 3-2: Χάρτης περιοχών ροής σε κατακόρυφο σωλήνα



### 3.5 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

#### 3.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Διάφορα μοντέλα έχουν προταθεί για τον υπολογισμό της διφασικής ροής υγρού-αερίου. Η **πτώση πίεσης** και το **κλάσμα κενού** είναι οι παράμετροι των οποίων ο υπολογισμός παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Δύο μοντέλα από αυτά, είναι το **μοντέλο της ομογενούς ροής** και το **μοντέλο της διαχωρισμένης ροής**. Στο ομογενές μοντέλο γίνεται η παραδοχή ότι οι δύο φάσεις αναμιγνύονται καλά και ρέουν με την ίδια πραγματική ταχύτητα,  $u_g = u_l$ . Στο διαχωρισμένο μοντέλο οι δύο φάσεις κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Ωστόσο, και στα δύο μοντέλα, οι δύο φάσεις θεωρούνται σε εμβολική ροή και αγνοούνται φαινόμενα κατανομής ταχυτήτων στη διατομή της ροής. Γίνεται φανερό ότι το ομογενές μοντέλο μπορεί να περιγράψει τη ροή φυσαλίδων ή σταγονιδίων, ενώ το διαχωρισμένο μοντέλο είναι πιο κατάλληλο για την περιγραφή της δακτυλιοειδούς ροής.

Εφαρμόζοντας απλά ισοζύγια μάζας, μπορεί να υπολογιστεί το κλάσμα κενού και για τις δύο φάσεις.

Για την αέρια φάση ισχύει:

$$AG_g = AG_X = \rho_g u_g A_g = \rho_g u_g \alpha A \quad (3-8)$$



Για την υγρή φάση ισχύει:

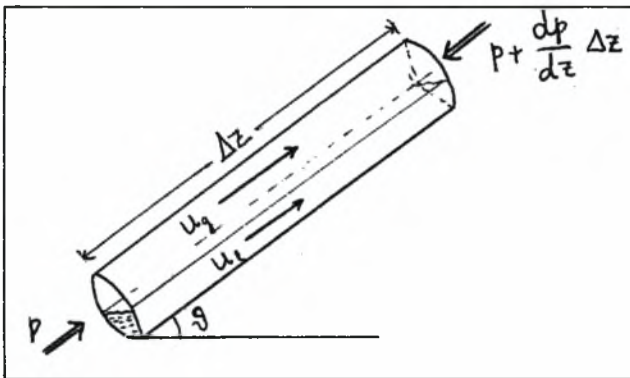
$$AG_i = AG(1-X) = \rho_i u_i A_i = \rho_i u_i (1-\alpha)A \quad (3-9)$$

Διαιρώντας κατά μέλη, προκύπτει:

$$\alpha = 1 / [1 + (u_g/u_l)(\rho_g/\rho_l)(1-X)/X] \quad (3-10)$$

Παρατίθεται σχήμα όπου φαίνεται αντιπροσωπευτικός όγκος ελέγχου για τα ισοζύγια των δύο μοντέλων.

**ΣΧΗΜΑ 3-3: Ο όγκος ελέγχου για το ισοζύγιο ορμής στο ομογενές και το διαχωρισμένο μοντέλο**



Το κλάσμα κενού μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά με διάφορους τρόπους. Μέση τιμή μπορεί να ληφθεί με σύστημα δύο βανών ταχείας απόκρισης, ενώ λεπτομερείς τοπικές τιμές λαμβάνονται με μεθόδους ηλεκτρικής αγωγιμομετρίας ή μέτρησης διαπερατότητας ακτίνων γάμα. Η ολική πτώση πίεσης μετράται με μανόμετρα και η συνεισφορά των τριβών υπολογίζεται αφαιρώντας τις καλύτερες εκτιμήσεις για την πτώση πίεσης λόγω επιτάχυνσης και λόγω βαρύτητας.

### 3.5.2 ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ

Οι βασικές αρχές του ομογενούς μοντέλου είναι οι ακόλουθες:

- ίσες ταχύτητες ροής υγρού-αερίου
- θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ των δύο φάσεων του διφασικού μίγματος
- εύρεση κατάλληλου συντελεστή τριβής για τη διφασική ροή.

Στο ομογενές μοντέλο ισχύει (αφού οι ταχύτητες των δύο φάσεων είναι ίσες):

$$\alpha = 1 / [1 + (\rho_g/\rho_l)(1-X)/X] \quad (3-11)$$

Για μεγάλο λόγο πυκνοτήτων (σύστημα νερού-αέρα σε χαμηλές πιέσεις) το κλάσμα κενού αυξάνεται απότομα με την ποιότητα και πλησιάζει τη μονάδα και για μικρές τιμές της ποιότητας.

Ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης μπορεί να γίνει με ολοκληρωτικό ισοζύγιο ορμής, που έχει την ακόλουθη μορφή\*:

ολική πτώση πίεσης	πτώση πίεσης λόγω τριβών	πτώση πίεσης λόγω βαρύτητας	πτώση πίεσης λόγω επιτάχυνσης
-----------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

$$-(dP/dz)\Delta z(\pi d^2/4) - \tau\Delta z\pi d - (\pi d^2/4)\Delta z\rho g\sin\theta = (d/dz)(G\pi d^2/4)\Delta z \quad (3-12)$$

Το κύριο ερώτημα κατά την εφαρμογή του ομογενούς μοντέλου αφορά την επιλογή της πυκνότητας και του ιξώδους που αναπαριστά το διφασικό μίγμα. Για την πυκνότητα ισχύει:

$$\rho = \rho_g \alpha + \rho_l (1 - \alpha) \quad (3-13)$$

και με αντικατάσταση από τη σχέση (3-11):

$$1/\rho = (X/\rho_g) + [(1-X)/\rho_l] \quad (3-14)$$

Καθαρά εμπειρική είναι η επιλογή του ισοδύναμου ιξώδους. Μία σχέση (που είναι ανάλογη με την εξίσωση για την πυκνότητα) είναι η ακόλουθη:

$$1/\mu = (X/\mu_g) + (1-X)/\mu_l \quad (3-15)$$

Η πτώση πίεσης κατά τη διφασική ροή εκφράζεται ως πολλαπλάσιο της πτώσης πίεσης της αντίστοιχης μονοφασικής ροής. Η επόμενη σχέση δίνει έναν πολλαπλασιαστή:

$$(dP/dz)_F = (dP/dz)_{lo} \Phi_{lo}^2 \quad (3-16)$$

Ο όρος  $(dP/dz)_{lo}$  αναπαριστά την πτώση πίεσης σε μονοφασική ροή ενός υγρού με παροχή ίση με τη συνολική παροχή (**G**) των δύο φάσεων. Ανάλογες σχέσεις προκύπτουν αν ληφθεί ως παροχή αναφοράς, η παροχή μίας ή και των δύο φάσεων σε συνθήκες αερίου ή υγρού. Μία τιμή του πολλαπλασιαστή  $\Phi_{lo}^2$ , για την πτώση πίεσης λόγω τριβής, βρίσκεται με τη χρήση του τύπου του **Blasius** για το συντελεστή τριβής:

$$\Phi_{lo}^2 = [1 - X(1 - (\rho_l/\rho_g))] [1 + X(\mu_l - \mu_g)/\mu_g]^{1/4} \quad \text{-Blasius-} \quad (3-17)$$

Το ομογενές μοντέλο δίνει καλές εκτιμήσεις όταν  $\rho_l/\rho_g < 10$  ή όταν  $G > 2000 \text{ Kg}/(\text{m}^2\text{s})$ . Για παράδειγμα, στο σύστημα νερού-ατμού η πρώτη συνθήκη ικανοποιείται για πιέσεις  $> 120 \text{ bar}$ . Σε χαμηλές πιέσεις, όμως, οι προβλέψεις του μοντέλου μπορεί να είναι πολύ ανακριβείς.

### 3.5.3 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το διαχωρισμένο μοντέλο στηρίζεται στις εξής βασικές αρχές:

\* αφού στο ομογενές μοντέλο το διφασικό μίγμα αντιμετωπίζεται ως ένα ρευστό

- σταθερές αλλά όχι υποχρεωτικά ίσες ταχύτητες για την υγρή και την αέρια φάση
- θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ των φάσεων του διφασικού μίγματος
- χρήση εμπειρικών σχέσεων που συσχετίζουν τους πολλαπλασιαστές ( $\Phi^2$ ) και το κλάσμα κενού ( $\alpha$ ) με τις ανεξάρτητες μεταβλητές της ροής.

Εφόσον οι ταχύτητες των δύο φάσεων είναι διαφορετικές μεταξύ τους, το κλάσμα κενού δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha = 1 / [1 + (u_g/u_l)(\rho_g/\rho_l)(1-X)/X] \quad (3-10)$$

και είναι φανερό ότι σε ένα συγκεκριμένο σύστημα υγρού-αερίου (και με σταθερή ποιότητα) εξαρτάται καθαρά από το λόγο ταχυτήτων  $S=(u_g/u_l)$ . Το κλάσμα  $S$  ορίζεται ως **λόγος ολίσθησης**. Με εφαρμογή του ισοζυγίου ορμής για ολόκληρη τη διατομή, προκύπτει (από το σχήμα που έχει προηγηθεί):

$$-(dP/dz)\Delta z(\pi d^2/4) - \tau \Delta z \pi d - (\pi d^2/4)\Delta z[\alpha \rho_g + (1-\alpha)\rho_l]g \sin\theta = (\pi d^2/4)(d/dz)[\alpha \rho_g u_g^2 + (1-\alpha)\rho_l u_l^2]\Delta z \quad (3-18)$$

Οι επιμέρους ταχύτητες μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

$$u_g = XG/(\alpha \rho_g) \quad (3-19)$$

$$u_l = [(1-X)G]/[(1-\alpha)\rho_l] \quad (3-20)$$

Με αντικατάσταση των παραπάνω σχέσεων, το ισοζύγιο μάζας παίρνει τη μορφή:

$$-(dP/dz) = (4\tau/d) + [\alpha \rho_g + (1-\alpha)\rho_l]g \sin\theta + G^2(d/dz)[(X^2/(\alpha \rho_g)) + (1-X)^2/((1-\alpha)\rho_l)] \quad (3-21)$$

Και πάλι η ολική πτώση πίεσης κατανέμεται στις συνιστώσες τριβής, βαρύτητας και επιτάχυνσης. Ο όρος της επιτάχυνσης στη διαφορική του μορφή μπορεί να περιγράψει μεταβολές της ποιότητας λόγω εξάτμισης ή συμπύκνωσης.

Η πρόβλεψη του κλάσματος κενού απαιτεί στη διαχωρισμένη ροή κάποιο μοντέλο για το λόγο ολίσθησης ( $S$ ). Με βάση την υπόθεση ότι οι δύο φάσεις καταλαμβάνουν τόσο χώρο, ώστε η ολική κινητική ενέργεια να γίνεται ελάχιστη, προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\alpha/(1-\alpha) = [X/(1-X)](\rho_l/\rho_g)^{1/3} \quad (3-22)$$

$$S = (\rho_l/\rho_g)^{1/3} \quad (3-23)$$

που σημαίνει ότι ο λόγος ολίσθησης ( $S$ ) εξαρτάται αποκλειστικά από το λόγο των ταχυτήτων. Μία επιτυχημένη ημιεμπειρική συσχέτιση για το  $S$  είναι:

$$S = [1 - X(1 - (\rho_l/\rho_g))]^{1/2} \quad (3-24)$$

Η πτώση πίεσης υπολογίζεται με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων για τους πολλαπλασιαστές  $\Phi_l^2$ ,  $\Phi_g^2$ . Ο λόγος του **Martinelli** είναι μία παράμετρος, που χρησιμοποιείται συχνά:

$$X^2 = \frac{[(dP/dz)_l]}{[(dP/dz)_g]} \quad \text{-Martinelli-} \quad (3-25)$$

Η συσχέτιση **Lockhart-Martinelli** προβλέπει ικανοποιητικά τους πολλαπλασιαστές, όπως έχει βρεθεί εμπειρικά:

$$\Phi_l^2 = 1 + (C/X) + (1/X^2) \quad \text{-Lockhart-Martinelli-} \quad (3-26)$$

$$\Phi_g^2 = 1 + CX + X^2 \quad \text{-Lockhart-Martinelli-} \quad (3-27)$$

Η σταθερά C λαμβάνει τις τιμές που δίνονται στον επόμενο πίνακα, ανάλογα με το είδος της ροής:

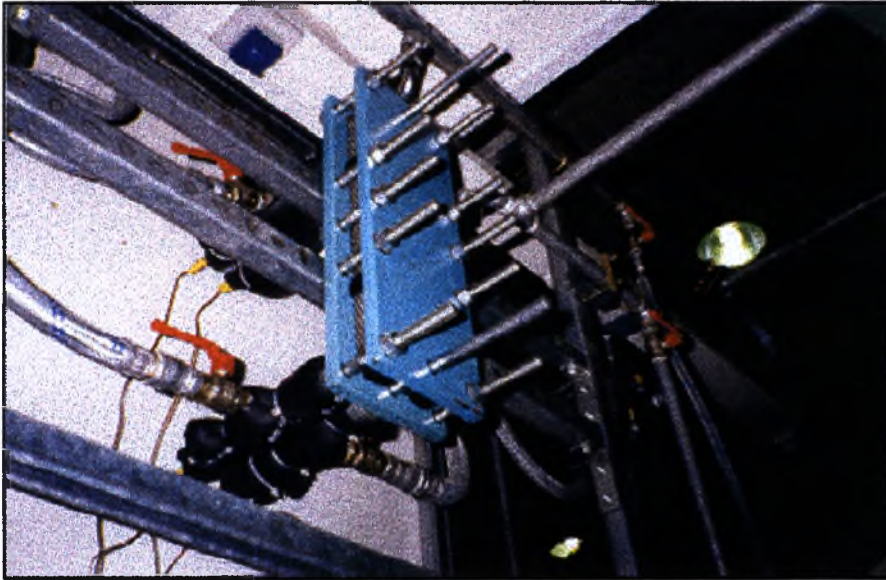
**ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1: Η σταθερά C της συσχέτισης Lockhart-Martinelli**

ροή υγρού	ροή αερίου	τιμή σταθεράς C
τυρβώδης	τυρβώδης	20
στρωτή	τυρβώδης	12
τυρβώδης	στρωτή	10
στρωτή	στρωτή	5

Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο, πρέπει να σημειωθεί ότι είναι απίθανο να γίνουν τελείως ακριβείς προβλέψεις, χωρίς τη χρήση διαφοροποιημένων μεθόδων για κάθε ξεχωριστή περιοχή ροής.



## Κεφάλαιο 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη με λεπτομερειακή αναφορά στα επιμέρους τμήματα από τα οποία αποτελείται. Στο σημείο αυτό δίνεται εξήγηση για την αλλαγή του θερμού ρευστού (το λάδι SHELL THERMIA B αντικαταστάθηκε από νερό). Στο τέλος του κεφαλαίου περιγράφεται η διαδικασία λήψης των μετρήσεων.

Οι φωτογραφίες του κεφαλαίου προέρχονται από το ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ & ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ του τμήματος.

## 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Το κύκλωμα εναλλαγής θερμότητας αποτελείται από τα εξής τμήματα:

1. Εναλλάκτης πλακών-πλαisiού
2. Θερμό ρεύμα (λάδι ή νερό)
3. Ψυχρό ρεύμα (νερό ή αέρας ή συνδυασμός των δύο)
4. Ηλεκτρικό κύκλωμα (ηλεκτρικός πίνακας, καλώδια, ηλεκτρικές αντιστάσεις που εμβαπτίζονται στη δεξαμενή αποθήκευσης του θερμού ρεύματος)
5. Κύκλωμα μέτρησης της θερμοκρασίας (θερμοστοιχεία, θερμόμετρο Cole-Palmer)
6. Δύο αντλίες
7. Δίκτυο σωληνώσεων
8. Μετρητικά όργανα (ροόμετρα, μανόμετρα)

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα σημαντικά τμήματα του κυκλώματος και δίνονται τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

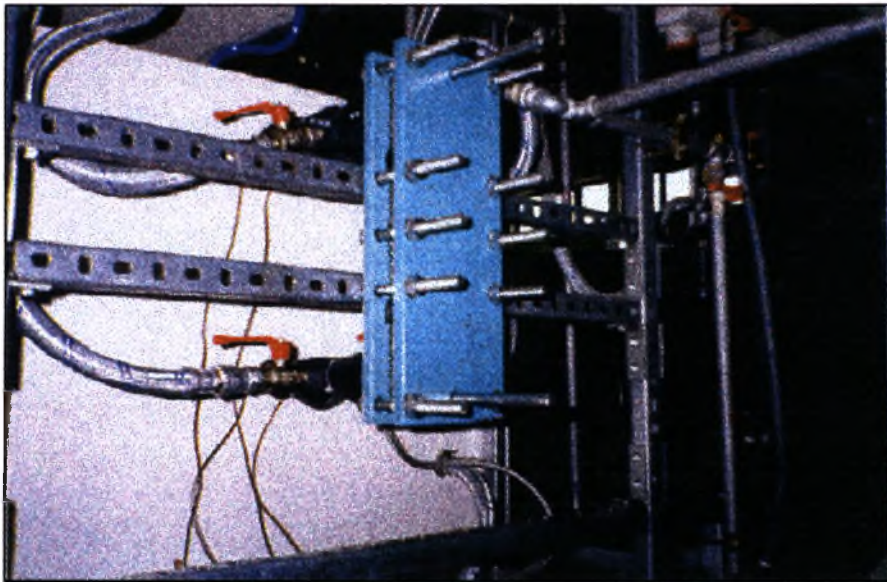
#### 4.1.1 Ο ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Είναι της εταιρίας **ALFA-LAVAL** και έχει τον κωδικό **P-01**. Έχει τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1: Γεωμετρικά στοιχεία του εναλλάκτη P-01**

γωνία κλίσης των πτυχώσεων	60 <sup>0</sup>
μήκος πλάκας	0.43m
πλάτος πλάκας	0.123m
διάκενο μεταξύ των πλακών	0.0024m
πάχος πλάκας	0.0006m
επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας ανά πλάκα	0.032m <sup>2</sup>
πλήθος πλακών	13
αριθμός περασμάτων	1
πλήθος καναλιών ροής ανά ρεύμα	6

ΣΧΗΜΑ 4-1: Ο εναλλάκτης πλακών-πλαισίου του εργαστηρίου Φ.Χ.Δ.



#### 4.1.2 ΘΕΡΜΟ ΡΕΥΜΑ

Ως θερμό ρεύμα χρησιμοποιήθηκε αρχικά το **θερμαντικό λάδι THERMIA B της εταιρίας SHELL**, με το οποίο λήφθηκε το πρώτο σετ των μετρήσεων. Το δεύτερο σετ των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση νερού ως θερμού μέσου. Η επιλογή του λαδιού έγινε με βάση περιορισμούς και απαιτήσεις που αναφέρονται παρακάτω.

- Να μη δημιουργείται αφρισμός κατά την κυκλοφορία του λαδιού διαμέσου της αντλίας λαδιού
- Να είναι ευκολόρευστο, να έχει δηλαδή μικρό ιξώδες, το οποίο να μην παρουσιάζει σημαντική μεταβολή με τη θερμοκρασία στο εύρος (20-50°C) των θερμοκρασιών λειτουργίας
- Να έχει μικρό κόστος αγοράς, αφού η απαιτούμενη ποσότητα (200lt) είναι σχετικά μεγάλη
- Να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής
- Να έχει άριστες ιδιότητες μετάδοσης θερμότητας
- Να μην είναι τοξικό, διαβρωτικό και να μην έχει δυσάρεστη οσμή
- Να είναι γενικά κατάλληλο για εργαστηριακή χρήση

Το θερμαντικό λάδι THERMIA B της SHELL, σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υγρό μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα που η θερμοκρασία λειτουργίας τους φτάνει τους 320°C. Παραμένει υγρό ως τους -18°C, γεγονός που δεν περιορίζει τη χρήση του κατά τη διάρκεια βαρύ χειμώνα με χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ έχει σχετικά χαμηλό ιξώδες και είναι αρκετά σταθερό στις θερμοκρασιακές μεταβολές.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του SHELL THERMIA B**

Κινηματικό ιξώδες (cst), ISO 3104, 0°C	229
Κινηματικό ιξώδες (cst), ISO 3104, 40°C	24.6
Κινηματικό ιξώδες (cst), ISO 3104, 100°C	4.65
Κινηματικό ιξώδες (cst), ISO 3104, 300°C	0.57
Δείκτης ξώδους, ISO 2909	105
Πυκνότητα στους 15°C (Kg/l), ISO 3675	0.871
Σημείο ροής σε °C, ISO 3016	-18
Σημείο ανάφλεξης (κλειστό δοχείο), σε °C, ISO 2719	220
Σημείο ανάφλεξης (ανοικτό δοχείο), σε °C, ISO 2592	232
Σημείο βρασμού, σε °C	355
Σημείο αυτανάφλεξης σε °C, ASTM D 2155	375
Συντελεστής θερμικής διαστολής ανά °C	0.00076

Όπως αναφέρεται και σε άλλο σημείο της μελέτης αυτής (όπου υπάρχει και η αναλυτική ερμηνεία και επεξήγηση) το λάδι SHELL THERMIA B αντικαταστάθηκε με νερό για να ληφθεί ένα δεύτερο σετ μετρήσεων. Το νερό είναι αποσκληρωμένο, χάρη στη χρήση κατάλληλης συσκευής αποσκληρίωσης (ρητίνη) που βρίσκεται στο Εργαστήριο Φ.Χ.Δ., ώστε να μην προκύψουν έντονα προβλήματα επικαθίσεων αλάτων στον εναλλάκτη.

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:

Η μετάβαση από λάδι σε νερό έγινε με πολύ προσεκτικό τρόπο. Προηγήθηκε το άδειασμα της δεξαμενής του λαδιού, η οποία αντικαταστάθηκε από νέα δεξαμενή. Το κύκλωμα αποσυναρμολογήθηκε ώστε να στραγγίσουν τα επιμέρους τμήματά του, ενώ με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα στραγγίσαν ως και τα πιο δύσκολα σημεία του κυκλώματος. Επίσης, αποσυναρμολογήθηκε και ο εναλλάκτης, ο οποίος καθαρίστηκε από λίγες επικαθίσεις αλάτων που αναπόφευκτα είχαν δημιουργηθεί.

Στη συνέχεια, για να διαλυθεί εντελώς το λάδι που είχε απομείνει στην αντλία, στις σωληνώσεις, στα μετρητικά όργανα, στον εναλλάκτη και σε όλα γενικά τα τμήματα του κυκλώματος, κρίθηκε αναγκαία (μετά από πρόταση της SHELL) η κυκλοφορία εξανίου\* στο κύκλωμα. Η κυκλοφορία της βενζίνης έγινε με απόλυτη προσοχή, ώστε να μη συμβεί ανάφλεξη, είχε μικρή χρονική διάρκεια (5-10 λεπτά) και κάθε λίγο λαμβανόταν δείγμα από την έξοδο της βενζίνης από το κύκλωμα. Η διαδικασία σταμάτησε μόλις καθάρισε τελείως το χρώμα της βενζίνης. Χρησιμοποιήθηκαν περίπου 10 lt εξανίου.

\* Καθαρή βενζίνη



Ακολούθησε πάλι λύσιμο του κυκλώματος και χρήση πεπιεσμένου αέρα, ώστε να εξατμιστεί η βενζίνη και να στεγνώσουν τα επιμέρους τμήματα του κυκλώματος. Η εξατμίσση της βενζίνης (που είναι πού πητικό υγρό) συνέβη με απόλυτη ασφάλεια. Το κύκλωμα συναρμολογήθηκε εκ νέου και η νέα δεξαμενή (χωρητικότητας περίπου 550 lt) πληρώθηκε με νερό.

Αξίζει να αναφερθεί ότι αντικαταστάθηκαν και οι αντιστάσεις που χρησιμοποιούνταν για τη θέρμανση του λαδιού. Αυτές ήταν ανοξειδωτες και αντικαταστάθηκαν από χάλκινες, αφού οι τελευταίες παρουσιάζουν καλύτερη αντοχή σε διάβρωση σε περιβάλλον νερού.

---

#### 4.1.3 ΨΥΧΡΟ ΡΕΥΜΑ

Ως ψυχρό ρεύμα χρησιμοποιήθηκε διφασικό μίγμα νερού-αέρα, ενώ έγιναν και ορισμένα πειράματα με χρήση μόνο νερού ή μόνο αέρα. Ομοίως, το νερό είναι αποσκληρμένο και αποθηκεύεται σε κυλινδρική δεξαμενή χωρητικότητας περίπου 550 lt. Ο αέρας παρέχεται από το κύκλωμα πεπιεσμένου αέρα και αναμιγνύεται με το νερό λίγο πριν την είσοδο στον εναλλάκτη. Σημειώνεται ότι το νερό διέρχεται από φίλτρο καθαρισμού πριν εισέλθει στον εναλλάκτη για την κατακράτηση σωματιδίων και την αποτελεσματικότερη προστασία του εναλλάκτη.

---

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:

Τόσο στο θερμό όσο και στο ψυχρό ρεύμα χρησιμοποιείται ρεύμα ανακυκλοφορίας και παράκαμψης (by-pass). Έχει ληφθεί μέριμνα για αποχέτευση των δύο υγρών (άδειασμα των δεξαμενών) αφού έχουν τοποθετηθεί βάνες σε κατάλληλα σημεία.

---

#### 4.1.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

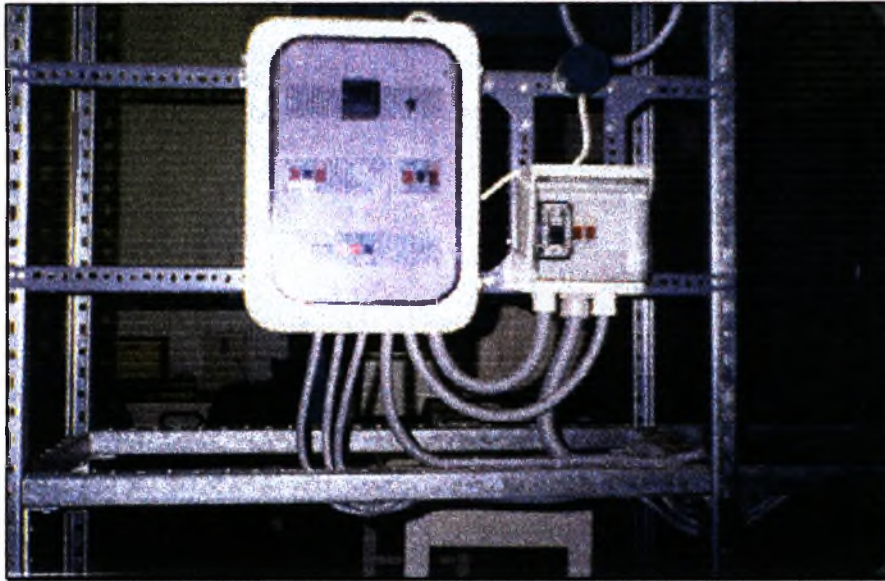
Το ηλεκτρικό κύκλωμα εξασφαλίζει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- θέρμανση μέσω δύο εμβαπτιζομένων αντιστάσεων του θερμού ρευστού (λάδι ή νερό)
- αυτόματος έλεγχος της θερμοκρασίας του θερμού ρευστού
- παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στις δύο αντλίες και σε όλα τα όργανα μετρήσεως και ελέγχου

Η θέρμανση του λαδιού γίνεται με ανοξειδωτες αντιστάσεις, ενώ του νερού (που αντικατέστησε το λάδι ως θερμό μέσο) με χάλκινες. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται δύο αντιστάσεις που τοποθετούνται συμμετρικά στο κάτω

τμήμα της δεξαμενής και αρκετά χαμηλά, ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη θέρμανση.

**ΣΧΗΜΑ 4-2: Ο ηλεκτρικός πίνακας και το σύστημα αυτοματισμού**



Κατά τη λειτουργία με λάδι πρέπει η θέρμανση του λαδιού να είναι ελεγχόμενη. Για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση του λαδιού και η ενδεχόμενη καταστροφή του, πρέπει να μη θερμαίνεται πάνω από τους 60°C, ενώ καλό είναι να αποφεύγονται θερμοκρασίες άνω των 40°C, γιατί αρχίζουν να εμφανίζονται μικρά προβλήματα οσμών. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει σύστημα αυτομάτου ελέγχου της θερμοκρασίας. Χρησιμοποιείται ηλεκτρονικός θερμοστάτης ελέγχου των αντιστάσεων, ο οποίος μετρά τη θερμοκρασία του λαδιού στην έξοδο της αντλίας με ενσωματωμένο θερμοστοιχείο τύπου Pt-100. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας γίνεται με ελεγκτή PID, με συδυασμό, δηλαδή, αναλογικής, ολοκληρωτικής και διαφορικής ανάδρασης. Οι σταθερές του ελεγκτή επιλέγονται αυτόματα με βάση τη θερμική αδράνεια του συστήματος.

Οι αντιστάσεις είναι μεγάλης ισχύος και για την προστασία του θερμοστάτη χρησιμοποιούνται και εξωτερικές διατάξεις RL ισχύος. Ο ηλεκτρικός πίνακας διαθέτει τρεις ισχυρές μονοφασικές παροχές ρεύματος και συνδέεται με τριφασικό ρεύμα. Η κεντρική ασφάλεια είναι 40 A και οι ασφάλειες των αντιστάσεων είναι 20 A. Το τριφασικό καλώδιο είναι τύπου NYY 4\*6 (τρεις φάσεις και ένας ουδέτερος). Τα καλώδια των αντιστάσεων είναι ίδιου τύπου με διατομή 3\*2,5, ενώ τα υπόλοιπα καλώδια είναι NYY 3\*1,5.

**ΣΧΗΜΑ 4-3: Οι αντιστάσεις που εφαρμόζονται στη δεξαμενή του θερμού νερού**



**4.1.5 ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ**

Για τη μέτρηση των θερμοκρασιών που μας ενδιαφέρουν χρησιμοποιήθηκε το θερμόμετρο 12 καναλιών SCANNING THERMOCOUPLE THERMOMETER της COLE-PALMER INSTRUMENT CO. Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν 5 θερμοκρασίες για κάθε συσχετισμό μεταξύ των παροχών θερμού και ψυχρού ρεύματος, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω:

- είσοδος θερμού ρεύματος στον εναλλάκτη
- έξοδος θερμού ρεύματος από τον εναλλάκτη
- είσοδος ψυχρού ρεύματος στον εναλλάκτη
- έξοδος ψυχρού ρεύματος από τον εναλλάκτη
- θερμοκρασία τοιχώματος στην έξοδο του ψυχρού ρεύματος από τον εναλλάκτη.

**Τα θερμοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου K<sup>\*</sup>**. Ο χρόνος απόκρισης των θερμοστοιχείων είναι πολύ μικρός, λιγότερο από 10 sec και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θερμοκρασίες ως 650<sup>o</sup>C. Τα θερμοστοιχεία είναι εμβαπτισμένα μέσα στο κύκλωμα, προσαρμοσμένα πάνω σε τάπες PVC σπειρώματος ½'' και καλά στεγανοποιημένα, λόγω της χρήσης ειδικής κόλλας για PVC, καθώς και λόγω των μικρών ανοχών. Το θερμοστοιχείο που αντιστοιχεί στο κανάλι 5 του θερμομέτρου είναι εξωτερικών επιφανειών και για καλύτερη ακρίβεια αλείφθηκε με ειδικό θερμοαγώγιμο υλικό (σιλικόνη).

#### ΣΧΗΜΑ 4-4: Το θερμόμετρο της COLE-PALMER



Με τη χρήση κατάλληλων καλωδίων, οδηγείται το ηλεκτρικό σήμα από τα θερμοστοιχεία στο ηλεκτρονικό θερμόμετρο COLE-PALMER. Το θερμόμετρο αυτό παρέχει, μεταξύ άλλων, τις εξής κυρίως δυνατότητες:

- ταυτόχρονη παρακολούθηση μέχρι και 12 θερμοστοιχείων του ίδιου τύπου
- μεγάλη ακρίβεια (τάξης  $0,1^{\circ}\text{C}$ )
- αποθήκευση μέχρι και 255 μετρήσεων ανά κανάλι
- εκτύπωση των μετρήσεων μέσω εξόδου RS-232 και σειριακού εκτυπωτή
- ρύθμιση του χρόνου δειγματοληψίας και του χρόνου εκτύπωσης
- στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων

Όπως γίνεται αντιληπτό, έπρεπε να χρησιμοποιηθούν 5 κανάλια του θερμομέτρου και να αποδώσουν με ακρίβεια τις θερμοκρασίες που επικρατούν, αφού από την ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται και η ακρίβεια των πειραματικών αποτελεσμάτων. Η βαθμονόμηση του θερμομέτρου περιγράφεται στο παράρτημα.

#### 4.1.6 ΑΝΤΛΙΕΣ

Χρησιμοποιήθηκαν δύο αντλίες φυγοκεντρικές, κατάλληλες τόσο για νερό όσο και για λάδι. Ακολουθούν τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

---

\* (Ni-Cr/Ni-Al)



ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλιών

GRUNDFOS (FRANCE) (ΘΕΡΜΟ ΛΑΔΙ Η ΝΕΡΟ)		SOTRAPO (ITALY) electropompa monofase (ΨΥΧΡΟ ΝΕΡΟ)	
ΤΥΠΟΣ	JPS CF-A-CVVRP	ΤΥΠΟΣ	AM 50/10
ΜΟΝΤΕΛΟ	B012121	ΜΟΝΤΕΛΟ	4250
ΤΑΣΗ U (V)	220-240	ΤΑΣΗ U (V)	220
ΕΝΤΑΣΗ I (A)	6	ΕΝΤΑΣΗ I (A)	4,5
ΙΣΧΥΣ P (W)	1400	ΙΣΧΥΣ P (W)	750
ΣΥΧΝΟΤ. ~ (Hz)	50	ΣΥΧΝΟΤ. ~ (Hz)	50
ΠΑΡΟΧΗ Q (m <sup>3</sup> /h)	4	ΠΑΡΟΧΗ Q (l/min)	10-50
ΥΨΟΣ H (m)	23	ΥΨΟΣ H (m)	20-48
Hmax (m)	52	RPM	2850
IP44	6bar max, 40°C max		

ΣΧΗΜΑ 4-5: Οι δύο αντλίες της πειραματικής διάταξης



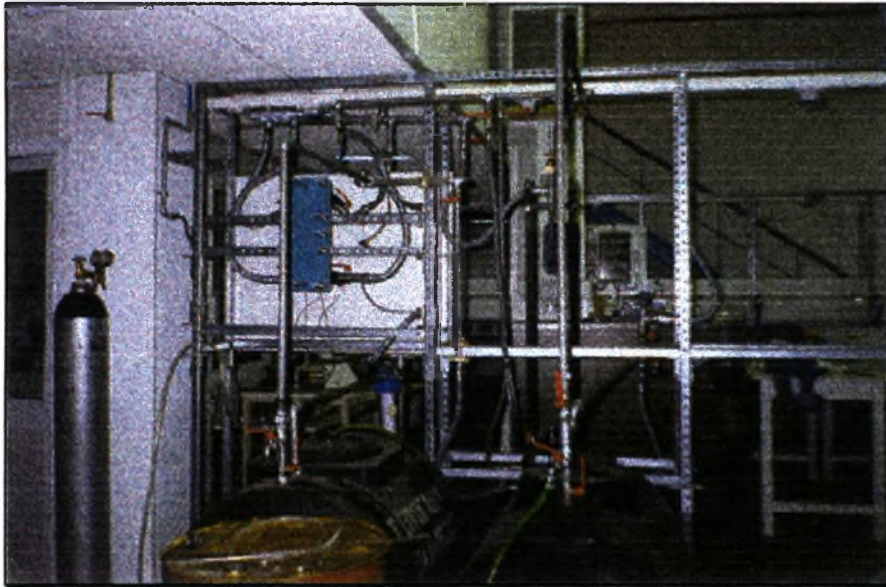
#### 4.1.7 ΔΙΚΤΥΟ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ

Το δίκτυο σωληνώσεων αποτελείται από σταθερές συνδέσεις σωληνώσεων και εύκαμπτες σωληνώσεις διαμέτρου 3/4". Το υλικό κατασκευής των σταθερών συνδέσεων είναι σωλήνα γαλβανισμένα μεσαίου τύπου, ενώ οι εύκαμπτες σωλήνες είναι επενδεδυμένες με ανοξειδωτο υλικό (inox). Κατά την προσαρμογή των εύκαμπτων σωληνώσεων χρησιμοποιούνται ειδικοί ελαστικοί δακτύλιοι στεγανοποίησης. Οι εύκαμπτες σωληνώσεις χρησιμοποιούνται στη σύνδεση των δύο αντλιών και του εναλλάκτη (λόγω του περιορισμένου χώρου) με το υπόλοιπο κύκλωμα. Για τη σύνδεση των αντλιών χρησιμοποιούνται και ειδικές κωνικές προσαρμογές, που προσδίδουν καλή συναρμογή, με αποτέλεσμα την αποφυγή των διαρροών και της αναρρόφησης αέρα από τις αντλίες. Η στεγανοποίηση γίνεται με χρήση ταινίας teflon ή καναβιού εμποτισμένου με χρώμα για βαφή σωληνώσεων. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η στεγανοποίηση

\* οι συνδέσεις στην είσοδο και την έξοδο του εναλλάκτη είναι μονωμένες, ώστε να περιορίζονται οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον

του κυκλώματος αποδεικνύεται πολύ δύσκολη, αφού κατά διαστήματα παρατηρούνται μικρές ή και μεγαλύτερες διαρροές από διάφορα σημεία.

**ΣΧΗΜΑ 4-6: Γενική άποψη του δικτύου σωληνώσεων**



Παράλληλα, με τη χρήση πολλών κωνικών λυόμενων συνδέσεων δίνεται η δυνατότητα αυτόνομης απομάκρυνσης κάθε τμήματος του κυκλώματος. Αυτό σημαίνει ότι για την αποσύνδεση ενός τμήματος δεν είναι απαραίτητη η αποσυναρμολόγηση όλου του κυκλώματος. Επίσης, έχει ληφθεί μέριμνα για μελλοντικές επεκτάσεις και για την εκκένωση των δεξαμενών. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια σφραγισμένων οπών και την κατάλληλη τοποθέτηση βανών και βρυσών στο κύκλωμα επιστροφής. Παρέχεται και δυνατότητα αποχέτευσης από υψηλό σημείο του τμήματος των σταθερών σωληνώσεων.

Εξάλλου, το κύκλωμα έχει συνδεθεί και με το κύκλωμα πεπιεσμένου αέρα με τη χρήση χάλκινων (DN15mm) και εύκαμπτων ελαστικών σωληνώσεων, όπου η ροή ρυθμίζεται με κατάλληλα τοποθετημένες βάνες. Ο αέρας αναμιγνύεται με το νερό στο σταθερό τμήμα των σωληνώσεων, λίγο πριν την είσοδο στο εύκαμπτο τμήμα των σωληνώσεων που συνδέεται με την είσοδο του εναλλάκτη. Αυτό συμβαίνει, ώστε να επαρκεί ο χρόνος για τη δημιουργία διφασικού μίγματος νερού-αέρα. Αν ο χρόνος δεν είναι αρκετός, το ρευστό που εισέρχεται σε μεγαλύτερη αναλογία παρεμποδίζει την είσοδο του άλλου ρευστού και αλλοιώνεται η αξία του πειράματος και των μετρήσεων και των συμπερασμάτων.

**4.1.8 ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ**

Χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα μετρητικά όργανα:

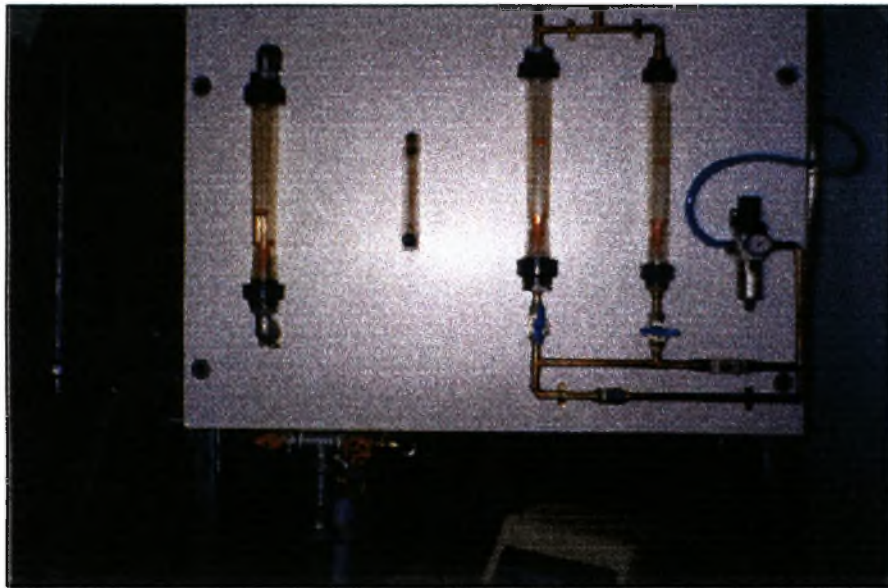
•**Μανόμετρα.** Στο κύκλωμα υπάρχουν δύο μανόμετρα, από τα οποία το ένα μετρά την υπερπίεση (bar) του θερμού ρευστού πριν εισέλθει στον εναλλάκτη, ενώ το



άλλο μετρά την υπερπίεση (bar) του αέρα (τύπου WIKA) που εισέρχεται στον εναλλάκτη.\*

•Ροόμετρα. Στο κύκλωμα υπάρχει ένα ροόμετρο (τύπου GPI electronic digital meter) που είναι συνδεδεμένο στο τμήμα του θερμού ρευστού και έχει ένδειξη γαλόνια ανά λεπτό (gpm). Επίσης, υπάρχουν δύο ροόμετρα για το ψυχρό νερό, ένα που μετρά μεγάλες παροχές (lt/hr) και ένα (τύπου KING) που μετρά μικρότερες παροχές (gpm). Τέλος, υπάρχουν και δύο ροόμετρα για τον αέρα, ένα για τις μεγάλες ( $m^3/hr$ ) και ένα για τις μικρές παροχές ( $m^3/hr$ ).

**ΣΧΗΜΑ 4-7: Αριστερά τα δύο ροόμετρα του ψυχρού νερού και δεξιά τα δύο ροόμετρα του αέρα και το ρυθμιστικό πίεσης του αέρα**



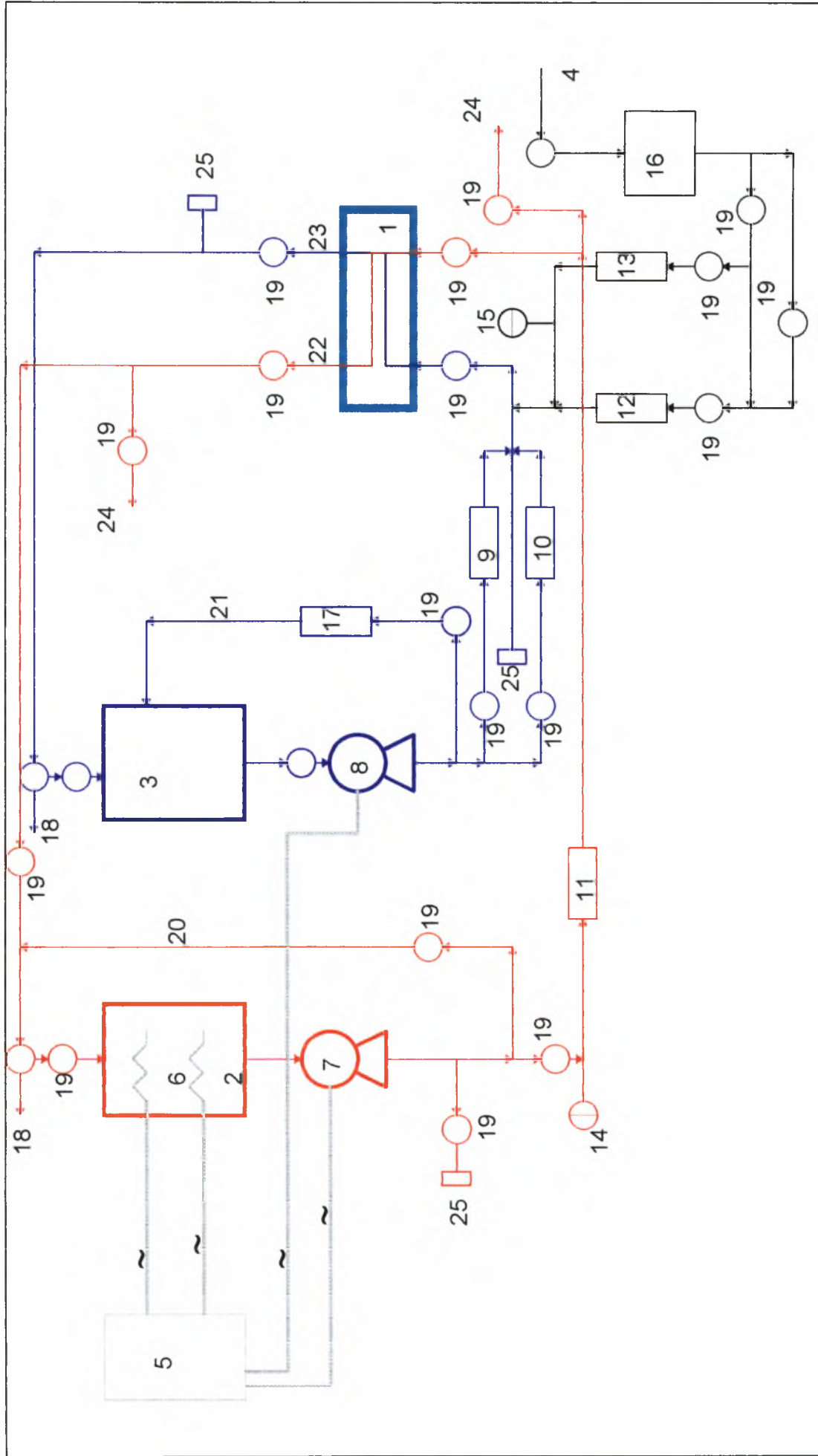
Η βαθμονόμηση των ροομέτρων περιγράφεται στο παράρτημα.

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται το διάγραμμα της πειραματικής διάταξης, με την επεξήγηση των επιμέρους τμημάτων που την απαρτίζουν.

---

\* ένα ρυθμιστικό πίεσης (FILTER REGULATION SMC, MODEL EAW 3000) ρυθμίζει την πίεση του αέρα προτού διέλθει από το ροόμετρο

ΣΧΗΜΑ 4-8: Το διάγραμμα της πειραματικής διάταξης

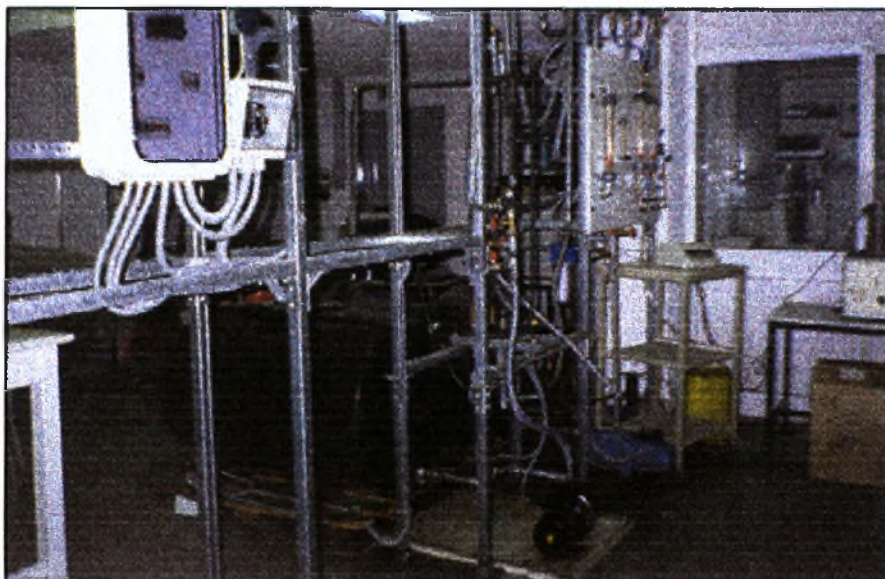




**ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4:** Περιγραφή του διαγράμματος της πειραματικής διάταξης

Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	εναλλάκτης πλακών-πλασίου
2	δεξαμενή θερμού ρευστού
3	δεξαμενή ψυχρού νερού
4	κύκλωμα πεπιεσμένου αέρα
5	ηλεκτρικός πίνακας
6	ωμικές αντιστάσεις
7	αντλία GRUNDFOS
8	αντλία SOTRAPH
9	ροόμετρο μικρών παροχών ψυχρού νερού
10	ροόμετρο μεγάλων παροχών ψυχρού νερού
11	ροόμετρο θερμού ρευστού
12	ροόμετρο μεγάλων παροχών αέρα
13	ροόμετρο μικρών παροχών αέρα
14	μανόμετρο θερμού ρευστού
15	μανόμετρο αέρα
16	ρυθμιστικό πίεσης αέρα
17	φίλτρο νερού
18	βρύσες εκκένωσης δεξαμενών
19	βάνες
20	by-pass θερμού ρεύματος
21	by-pass ψυχρού ρεύματος
22	ανακύκλωση θερμού ρεύματος
23	ανακύκλωση ψυχρού ρεύματος
24	εκκένωση θερμού ρεύματος
25	τάπες

**ΣΧΗΜΑ 4-9:** Γενική άποψη της πειραματικής διάταξης



## 4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

### 4.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των χαρακτηριστικών της διφασικής ροής νερού-αέρα σε εναλλάκτη πλακών-πλαίσιου. Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος είναι ο υπολογισμός του συντελεστή μεταδόσης θερμότητας  $h_2$ , από την πλευρά του διφασικού μίγματος νερού-αέρα. Για το σκοπό αυτό, εκτελέστηκε μια σειρά πειραμάτων, κατά τα οποία μετρήθηκαν τα ακόλουθα μεγέθη:

- Παροχές: Για κάθε πείραμα που εκτελέστηκε, μετρήθηκαν η παροχή του θερμού ρεύματος (λάδι SHELL THERMIA B ή νερό), η παροχή του ψυχρού ρεύματος (νερό) και η παροχή του αέρα.
- Θερμοκρασίες: Ομοίως, μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου από τον εναλλάκτη τόσο για το θερμό όσο και για το ψυχρό ρεύμα. Επιπλέον, μετρήθηκε και η θερμοκρασία του τοιχώματος στο σημείο εξόδου του διφασικού μίγματος. Αυτό έγινε για να διαπιστωθεί αν υπάρχουν σημαντικές απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας του διφασικού μίγματος προς το τοίχωμα, κυρίως σε μεγάλες παροχές αέρα.
- Πιέσεις: Μετρήθηκε η πίεση του θερμού ρεύματος στην έξοδο της αντλίας, καθώς και η πίεση του αέρα πριν την ανάμιξη με το νερό και την είσοδο στον εναλλάκτη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις έγιναν στο θερμοκρασιακό εύρος 15-30°C. Λήφθηκαν αρκετά σετ μετρήσεων, με την έννοια ότι κάθε σετ αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη και σταθερή παροχή θερμού νερού. Ένα σετ μετρήσεων αντιστοιχεί στην υψηλότερη δυνατή παροχή θερμού ρεύματος, ένα άλλο σετ σε μεσαίες παροχές θερμού ρεύματος και ένα άλλο σετ σε πολύ μικρές παροχές θερμού ρεύματος. Κάθε σετ μετρήσεων περιλαμβάνει αρκετές μετρήσεις, ώστε να μελετηθούν όσο το δυνατόν περισσότεροι συνδυασμοί παροχών ψυχρού νερού και αέρα που απαρτίζουν το διφασικό μίγμα. Επιπλέον, λήφθηκε και ένας μικρότερος αριθμός μετρήσεων, στις οποίες το ψυχρό ρεύμα είναι είτε νερό είτε αέρας και όχι διφασικό μίγμα αυτών των δύο.

Οι μετρήσεις που έγιναν καλύπτουν όλο το εύρος των δυνατών συνδυασμών, που περιορίζονται από ανεπάρκεια των αντλιών για μεγαλύτερες παροχές. Ήταν αδύνατο να εκτελεστούν πειράματα με υψηλή παροχή και των δύο συστατικών του διφασικού μίγματος. Η μέγιστη παροχή αέρα ήταν 25m<sup>3</sup>/hr (υπερπίεση 1,6 bar), ενώ με την προσθήκη λίγου ψυχρού νερού η παροχή αυτή μειωνόταν σημαντικά. Πάντως, παρά τις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν λήφθηκαν αντιπροσωπευτικές μετρήσεις και η ανάλυση-επεξεργασία τους οδήγησε σε αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι μετρήσεις, η επεξεργασία τους και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο και στο παράρτημα υπό μορφή πινάκων και διαγραμμάτων.

#### **4.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ**

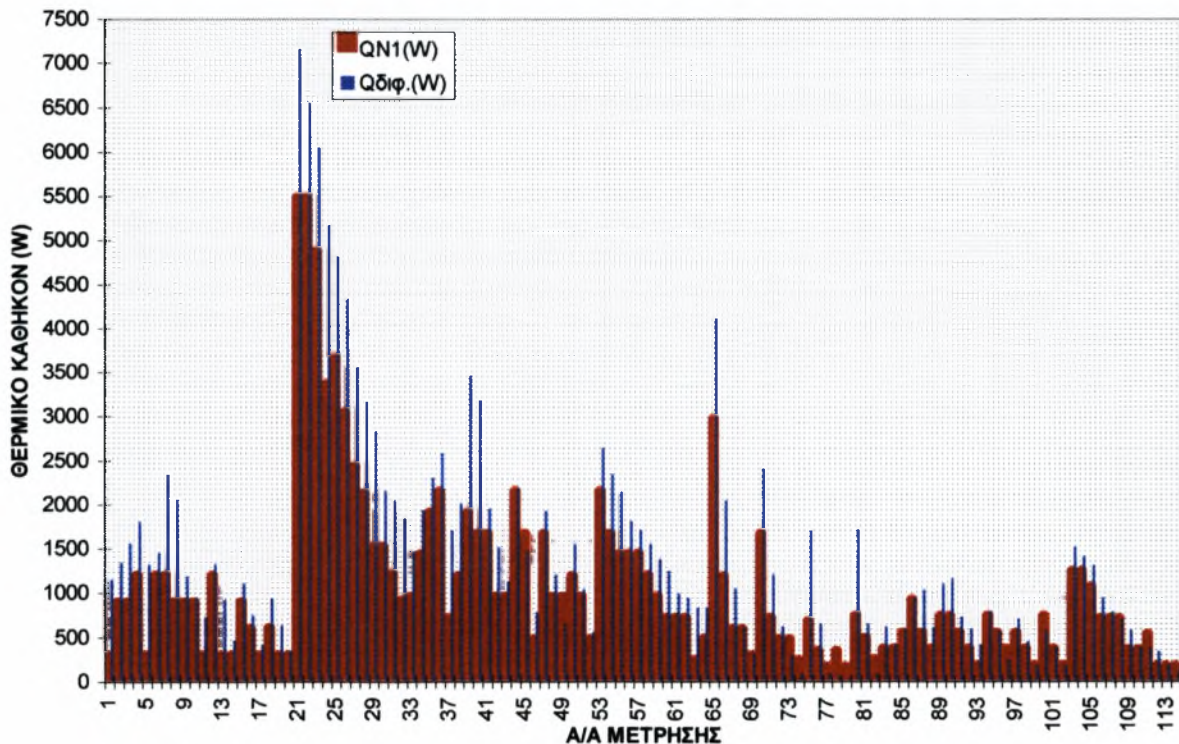
Ο αυτόματος ελεγκτής, οι αντιστάσεις που θερμαίνουν το θερμό ρεύμα και οι δύο αντλίες τροφοδοτούνται με ρεύμα από τον ηλεκτρικό πίνακα. Με τελείως κλειστό το by-pass επιτυγχάνονται μεγάλες παροχές, ενώ όσο ανοίγει το by-pass, τόσο πιο πολύ στραγγαλίζεται η ροή. Για να αρχίσει η διαδικασία λήψης μετρήσεων, είναι απαραίτητη η αναμονή μερικών λεπτών, ώστε οι ωμικές αντιστάσεις να θερμάνουν το θερμό ρεύμα στην επιθυμητή θερμοκρασία, κοντά στην οποία αναλαμβάνει να το διατηρήσει το σύστημα αυτομάτου ελέγχου.

Σχετικά με το διφασικό μίγμα, πρώτα ρυθμίζεται η παροχή του αέρα στο επιθυμητό σημείο από το ρυθμιστικό πίεσης. Στη συνέχεια, αργά και προσεκτικά ρυθμίζεται και η παροχή του ψυχρού νερού στην επιθυμητή τιμή. Αυτό γίνεται προσέχοντας μη μεταβληθεί η παροχή του αέρα. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παροχές που παρουσιάζονται στις μετρήσεις δεν είναι τελείως ακριβείς, αφού οι ενδείξεις των ροομέτρων 'έπαιζαν' γύρω από μία μέση τιμή, η οποία και καταγράφεται. Οι παροχές και οι πιέσεις που δείχνουν τα ροόμετρα και τα μανόμετρα καταγράφονται και στη συνέχεια σημειώνονται και οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των δύο ρευμάτων, αφού βέβαια πρώτα σταθεροποιηθούν οι ενδείξεις του θερμομέτρου που χρησιμοποιείται. Στη συνέχεια, με τη χρήση θερμοστοιχείου εξωτερικών επιφανειών τύπου K, μετρείται και η θερμοκρασία του τοιχώματος στο σημείο εξόδου του διφασικού μίγματος και όταν σταθεροποιηθεί, καταγράφεται και αυτή.

Η διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω επαναλαμβάνεται για κάθε μέτρηση και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παράρτημα.



## Κεφάλαιο 5: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε τρία μέρη:

1. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των μετρήσεων.

2. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται το υπολογιστικό πακέτο APLE1 της HTFS, που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του συντελεστή  $h_1$  από την πλευρά του θερμού νερού.

3. Στο τρίτο μέρος παρουσιάζεται το τελικό αποτέλεσμα, ο συντελεστής  $h_2$  από την πλευρά του διασπαστικού ρεύματος νερού-αέρα. Ακολουθεί ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.



## 5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η ανάλυση και η επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων.

### 5.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Στο τμήμα αυτό θα γίνει η παρουσίαση των σχέσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων.

#### 5.1.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ PRANDTL ( $Pr$ )

Οι τιμές των φυσικών ιδιοτήτων που παρουσιάζονται παρακάτω, είναι υπολογισμένες με προσέγγιση από πίνακες της βιβλιογραφίας (για νερό και αέρα) ή από δεδομένα της εταιρίας SHELL (για το λάδι THERMIA B). Η διεξαγωγή των σχέσεων αυτών φαίνεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.1). Στο σημείο αυτό, η παρουσίαση των σχέσεων αυτών γίνεται στον ΠΙΝΑΚΑ 5.1, συνολικά και για τα τρία ρευστά.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα γράμματα  $T, P$  συμβολίζουν τη θερμοκρασία και την πίεση αντίστοιχα, ενώ οι δείκτες  $v, a, l$  συμβολίζουν το νερό, τον αέρα και το λάδι αντίστοιχα. Ο δείκτης  $\mu$  υποδεικνύει ότι οι ιδιότητες είναι υπολογισμένες στη μέση θερμοκρασία του ρευστού. Η σχέση (5-2) προέρχεται από την εφαρμογή της καταστατικής εξίσωσης  $PV=nRT$ . Με αντικατάσταση προκύπτει  $\rho=(P*MB)/(R*T)$ , όπου  $MB_{\text{αέρα}}=28.96$  και  $R=0.082$ , όταν η πίεση εκφράζεται σε **atm** και η θερμοκρασία σε **Kelvin**. Η παραδοχή ότι ο αέρας συμπεριφέρεται ως ιδανικό αέριο είναι αρκετά ικανοποιητική, αφού η πίεση του αέρα είναι αρκετά χαμηλή.

#### 5.1.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μετρούνται 5 θερμοκρασίες, οι ακόλουθες:

- $T_1$ , είσοδος θερμού νερού ή λαδιού.
- $T_2$ , έξοδος θερμού νερού ή λαδιού.
- $T_3$ , είσοδος διφασικού ρεύματος νερού-αέρα.
- $T_4$ , έξοδος διφασικού ρεύματος νερού-αέρα.
- $T_5$ , θερμοκρασία τοιχώματος στην έξοδο του διφασικού ρεύματος νερού-αέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1: Φυσικές ιδιότητες νερού, αέρα, λαδιού SHELL THERMIA B

Φυσικές ιδιότητες	Μονάδες	Νερό	Αέρας	Λαδι SHELL THERMIA B
Πυκνότητα ρ	[Kg/m <sup>3</sup> ]	$-0.251[\Gamma_{\sigma, \lambda}] + 1002.9$ (5-1)	$(P^* 28.96)/(0.082^* \Gamma_{\sigma, \lambda})$ (5-2)	$860 - \Gamma_{\sigma, \lambda}/2$ (5-3)
Επίσημη θερμότητα c <sub>p</sub>	[KJ/KgK]	$-0.0004[\Gamma_{\sigma, \lambda}] + 4.1935$ (5-4)	$0.287085(3.355 + 0.0000576[\Gamma_{\sigma, \lambda}] + 273.15)$ $0.016^* 10^5 / [\Gamma_{\sigma, \lambda}] + 273.15$ <sup>2</sup> (5-5)	$1.8 + (0.15/40)[\Gamma_{\sigma, \lambda}]$ (5-6)
Θερμική αγωγιμότητα κ	[W/m <sup>2</sup> °C]	$(1.49[\Gamma_{\sigma, \lambda}] + 573)/1000$ (5-7)	$7 \cdot 10^{-5} \Gamma_{\sigma, \lambda} + 0.0245$ (5-8)	$0.13444 - 8 \cdot 10^{-5} \Gamma_{\sigma, \lambda}$ (5-9)
Κινηματικό ιξώδες ν	[m <sup>2</sup> /s]	$10^{-6} (0.0004[\Gamma_{\sigma, \lambda}]^2 + 0.0408[\Gamma_{\sigma, \lambda}] + 1.667)$ (5-10)	$\mu/\rho$ (5-11)	$10^{-6} [(175.53e^{-0.0391[\Gamma_{\sigma, \lambda}]})]$ (5-12)
Δυναμικό ιξώδες μ	[Pa*s]	$10^{-3} (0.385[\Gamma_{\sigma, \lambda}]^2 + 40.75[\Gamma_{\sigma, \lambda}] + 1697)$ (5-13)	$4 \cdot 10^{-3} [\Gamma_{\sigma, \lambda}] + 2 \cdot 10^{-5}$ (5-14)	$\rho^* \nu$ (5-15)
Αριθμός Pr	[απόστασιος]	$0.0031[\Gamma_{\sigma, \lambda}]^2 + 0.3212[\Gamma_{\sigma, \lambda}] + 12.163$ (5-16)	$-0.0003^* [\Gamma_{\sigma, \lambda}] + 0.7011$ (5-17)	$\rho^* \nu^* c_p/k$ (5-18)



Παρακάτω αναπτύσσονται οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2: Εξισώσεις σχετικές με τις θερμοκρασίες

Όνομασία	Σύμβολο	Μονάδες	Εξίσωση
Μέση θερμοκρασία θερμού νερού	$T_{\nu\mu}$	[°C]	$(T_1+T_2)/2$ ( 5-19)
Μέση θερμοκρασία διφασικού ρεύμ.	$T_{\delta\mu}$	[°C]	$(T_3+T_4)/2$ ( 5-20)
Διαφορά θερμοκρασίας θερμού νερού	$\Delta T_N$	[°C]	$T_1-T_2$ ( 5-21)
Διαφορά θερμοκρασίας διφασικού ρεύμ.	$\Delta T_M$	[°C]	$T_4-T_3$ ( 5-22)
Διαφορά θερμοκρασίας από τη μία πλευρά του εναλλάκτη	$\Delta T_1$	[°C]	$T_1-T_4$ ( 5-23)
Διαφορά θερμοκρασίας από την άλλη πλευρά του εναλλάκτη	$\Delta T_2$	[°C]	$T_2-T_3$ ( 5-24)
Λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας	$\Delta T_{\ln}$	[°C]	$(\Delta T_1-\Delta T_2)/ \ln(\Delta T_1/ \Delta T_2)$ ( 5-25)

Πρέπει να αναφερθεί ότι η θερμοκρασία  $T_5$  του τοιχώματος μετράται με σκοπό να εκτιμηθεί ο ρόλος της ακτινοβολίας του αέρα προς τα τοιχώματα. Η διαφορά  $T_4-T_5$  δείχνει αν είναι σημαντικός ο ρόλος της ακτινοβολίας και αν πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τους υπολογισμούς. Αποδεικνύεται ότι οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας είναι ασήμαντες, αφού στις περισσότερες πειραματικές μετρήσεις η διαφορά  $T_4-T_5$  είναι της τάξης του 1°C. Συνεπώς δεν κρίθηκε απαραίτητο να γίνει διόρθωση στη θερμοκρασία  $T_4$  και νέος υπολογισμός του συντελεστή  $h_1$  με βάση επαναληπτική διαδικασία.

### 5.1.3 ΠΑΡΟΧΕΣ

Οι σχέσεις που παρατίθενται παρακάτω προέκυψαν μετά τη βαθμονόμηση των ροομέτρων.

Η παροχή του θερμού νερού δίνεται από την εξίσωση:

$$Q[\text{Kg/s}] = 0.0585Q[\text{GPM}] + 0.0854 \quad (5-26)$$

Η παροχή του ψυχρού νερού δίνεται από τις εξισώσεις:

$$Q[\text{Kg/s}] = 0.0643Q[\text{GPM}] - 0.0008 \quad (5-27)$$

$$Q[\text{Kg/s}] = 0.0003Q[\text{t/hr}] + 0.0334 \quad (5-28)$$

Η παροχή του αέρα δίνεται από την εξίσωση:

$$Q'[\text{Kg/s}] = Q'[\text{m}^3/\text{s}] \cdot \rho'[\text{Kg/m}^3] \quad (5-29)$$

$$Q[\text{Kg/s}] = Q'[\text{Kg/s}] \cdot (\rho'[\text{Kg/m}^3] / 1.2[\text{Kg/m}^3])^{1/2} \quad (5-30)$$

Η διόρθωση στην εξίσωση (5-30) γίνεται με βάση την πυκνότητα του αέρα σε συνθήκες περιβάλλοντος (20°C, 1atm)  $\rho = 1.2 \text{Kg/m}^3$ . Στο σημείο αυτό γίνεται μία αναγωγή στις συνθήκες περιβάλλοντος, αφού η ένδειξη  $Q'$  του ροομέτρου του αέρα δεν ισχύει για πυκνότητα  $\rho = 1.2 \text{Kg/m}^3$ . Στις συνθήκες του πειράματος η πίεση είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής, άρα διαφορετική είναι και η πυκνότητα του αέρα. Η τιμή  $Q$  της παροχής του αέρα είναι διορθωμένη τιμή με βάση τις πραγματικές συνθήκες του πειράματος και αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους επόμενους υπολογισμούς. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αέρας είναι ρευστό **συμπιεστό**.

#### 5.1.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΔΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων γίνεται η παραδοχή ότι ο αέρας του διφασικού μίγματος είναι κορεσμένος σε νερό τόσο στην είσοδο του εναλλάκτη όσο και στην έξοδό του. Με βάση τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του διφασικού μίγματος, αλλά και με αξιοποίηση της παραπάνω παραδοχής μπορεί να πραγματοποιηθεί μία προσέγγιση στο ψυχομετρικό διάγραμμα. Οι παρακάτω σχέσεις προκύπτουν από την προσέγγιση που πραγματοποιήθηκε και παρουσιάζεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.1):

$$H_{\text{εισόδου}}[\text{J/Kg}] = 59.773T_3^2 + 1133.7T_3 + 11463 \quad (5-31)$$

$$H_{\text{εξόδου}}[\text{J/Kg}] = 59.773T_4^2 + 1133.7T_4 + 11463 \quad (5-32)$$

$$\Delta H_{\text{αέρα}}[\text{J/Kg}] = H_{\text{εξόδου}} - H_{\text{εισόδου}} \quad (5-33)$$

#### 5.1.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΑΘΗΚΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ U

Η θερμοροή (θερμικό καθήκον) του ζεστού και του ψυχρού νερού δίνεται από τις εξισώσεις:

$$Q_N[\text{W}] = Q[\text{Kg/s}] \cdot c_p[\text{J/Kg}^\circ\text{C}] \cdot \Delta T_N[^\circ\text{C}] \quad (5-34)$$



Το θερμικό καθήκον που επιτελείται από τον αέρα δίνεται από την εξίσωση:

$$Q_A[W]=Q[Kg/s]*\Delta H[J/Kg] \quad (5-35)$$

Το θερμικό καθήκον που επιτελείται συνολικά από το διφασικό μίγμα δίνεται από την εξίσωση:

$$Q_M[W]=Q_N[W]+Q_A[W] \quad (5-36)$$

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας **U** δίνεται από την εξίσωση:

$$U[W/m^2C]=Q_{\max\Delta T}[W]/(A[m^2]*\Delta T_m[^\circ C]) \quad (5-37)$$

όπου:

- $Q_{\max\Delta T}$  είναι το θερμικό καθήκον που αντιστοιχεί στο ρεύμα που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μεταβολή της θερμοκρασίας ( $\max\Delta T$ ). Η χρήση της τιμής αυτής θεωρείται πιο αξιόπιστη για τους περαιτέρω υπολογισμούς.
- $A=11*0.032m^2$ , όπου 11 ο αριθμός των θερμικών πλακών (13 συνολικά οι πλάκες, οι δύο ακραίες δε συμμετέχουν στη διαδικασία της εναλλαγής της θερμότητας) και  $0.032m^2$  είναι η επιφάνεια εναλλαγής της κάθε πλάκας.

#### 5.1.6 ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι αδιάστατοι αριθμοί που ενδιαφέρουν για τους υπολογισμούς είναι οι **Reynolds (Re)**, **Prandtl (Pr)**, **Nusselt (Nu)**. Οι εξισώσεις που παρέχουν τους αριθμούς αυτούς είναι:

$$Re=Q[Kg/s]*2b_c[m]/(6*A_f[m^2]*\mu[Pa*s]) \quad (5-38)$$

$$Pr=0.0031[T_{v,m}]^2-0.3212[T_{v,m}]+12.163 \quad (5-39)$$

$$Nu=U[W/m^2C]*2b_c[m]/k[W/mC] \quad (5-40)$$

όπου:

- $b_c=0.024m$ , το διάκενο ροής μεταξύ των πλακών.
- $A_f=0.123*0.024m^2$ , η χαρακτηριστική επιφάνεια ροής (πλάτος\*διάκενο ροής μεταξύ των πλακών).
- **6**, τα κανάλια ροής του θερμού νερού.

#### 5.1.7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Υπολογίζονται τρεις συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, οι ακόλουθοι:

1. **Ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U** (έχει ήδη υπολογιστεί στην παράγραφο 5.1.5).

$$U[W/m^2C]=Q_{\max\Delta T}[W]/(A[m^2]*\Delta T_m[^\circ C]) \quad (5-41)$$

2. Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από την πλευρά του θερμού νερού  $h_1$ . Ο υπολογισμός του συντελεστή αυτού γίνεται με βάση το πρόγραμμα **APLE-1** της **HTFS**. Αυτό το υπολογιστικό πακέτο περιγράφεται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.2.
3. Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από την πλευρά του διφασικού ρεύματος  $h_2$ . Αυτό αποτελεί και το ζητούμενο της διπλωματικής εργασίας. Ο συντελεστής αυτός δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί απευθείας (με βάση τις ιδιότητες του μίγματος) και για το λόγο αυτό υπολογίζεται ως συνάρτηση των  $U$ ,  $h_1$ . Με την παραδοχή ότι δεν υπάρχουν άλλες αντιστάσεις στη μεταφορά της θερμότητας (ο εναλλάκτης είναι καθαρός) ισχύει:

$$h_2 [W/m^2C] = U \cdot h_1 / (h_1 - U) \quad (5-42)$$

## 5.2 ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ APLE1 ΤΗΣ HTFS

### 5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ APLE1

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από την πλευρά του θερμού νερού  $h_1$  υπολογίζεται με τη χρήση του προγράμματος **APLE1** της **HTFS (Heat Transfer and Fluid Flow Service)**. Η εταιρία **HTFS** ειδικεύεται στο χώρο των εναλλακτών θερμότητας και έχει εκδώσει και άλλα πακέτα υπολογιστικά, ένα από τα οποία υπολογίζει εναλλάκτες αυλών-κελύφους. Το πρόγραμμα **APLE1** λειτουργεί σε περιβάλλον **DOS**. Η έκδοση του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε είναι η πιο σύγχρονη, αυτή του 1996.

Το **APLE1** κατέχει καθαρά βοηθητικό ρόλο στη συγκεκριμένη εργασία. Με άλλα λόγια, δεν ήταν αυτοσκοπός η εκμάθηση και η χρήση του προγράμματος για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε με κάποιο τρικ, αφού δεν έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει διφασική ροή. Για να δουλέψει το πρόγραμμα, έγινε η υπόθεση ότι το ψυχρό ρευστό της διεργασίας εναλλαγής θερμότητας είναι μονοφασικό ρευστό (νερό).

Με βάση την παραδοχή αυτή, έγινε δυνατό να υπολογιστεί ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από την πλευρά του θερμού νερού  $h_1$ , για κάθε ένα από τα τέσσερα σετ μετρήσεων που διεξήχθησαν. Η μοναδική τιμή που λαμβάνεται υπόψη από τα αποτελέσματα του **APLE1** είναι ο συντελεστής  $h_1$ , ο οποίος στη συνέχεια (με βάση την παράγραφο 5.1.7) συνεισφέρει στον υπολογισμό του ζητούμενου αυτής της εργασίας, του **συντελεστή  $h_2$** .

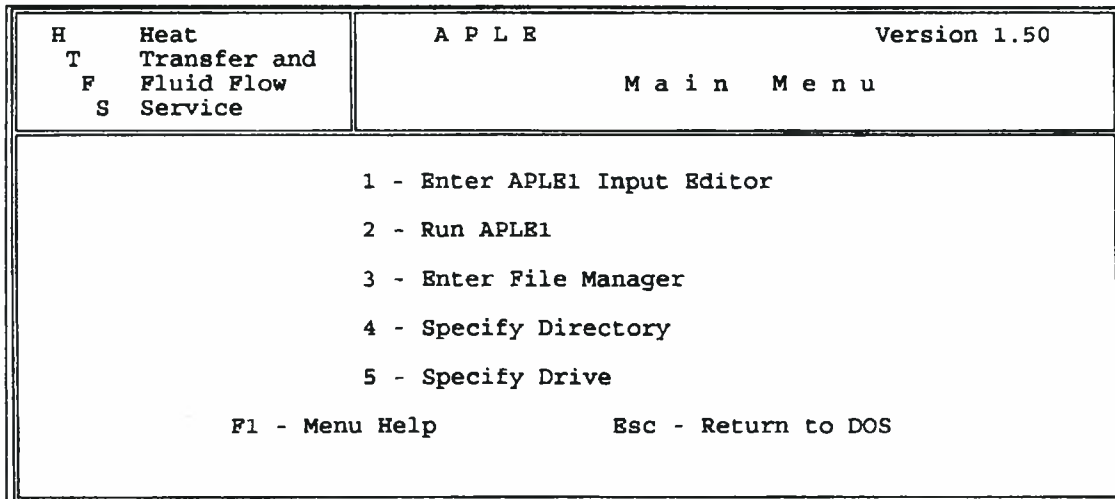
### 5.2.2 ΞΕΚΙΝΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το πρόγραμμα (όπως έχει ήδη αναφερθεί) δουλεύει σε περιβάλλον **DOS**. Για να ξεκινήσει η λειτουργία του, πρέπει ο χρήστης του προγράμματος να μπει στον κατάλογο **HTFS\MAPLESYS** και να πληκτρολογήσει **MAPLE** (το executable αρχείο του καταλόγου). Τώρα ο χρήστης του **APLE1** βρίσκεται

στην πρώτη σελίδα του προγράμματος (MAIN MENU), όπου του προσφέρονται ορισμένες επιλογές. Συνοπτικά, οι δυνατότητες που του προσφέρονται αναλύονται παρακάτω:

1. Να εισχωρήσει στον EDITOR του προγράμματος.
2. Να τρέξει κάποιο αρχείο που έχει δημιουργήσει ή που ήδη υπάρχει.
3. Να πάρει δεδομένα από άλλο κατάλογο ή από άλλο δίσκο.

**ΣΧΗΜΑ 5-1: Το MAIN MENU του προγράμματος APLE1**



Αν κάποιος μπει στον EDITOR του προγράμματος, τότε του προσφέρονται ορισμένες νέες δυνατότητες:

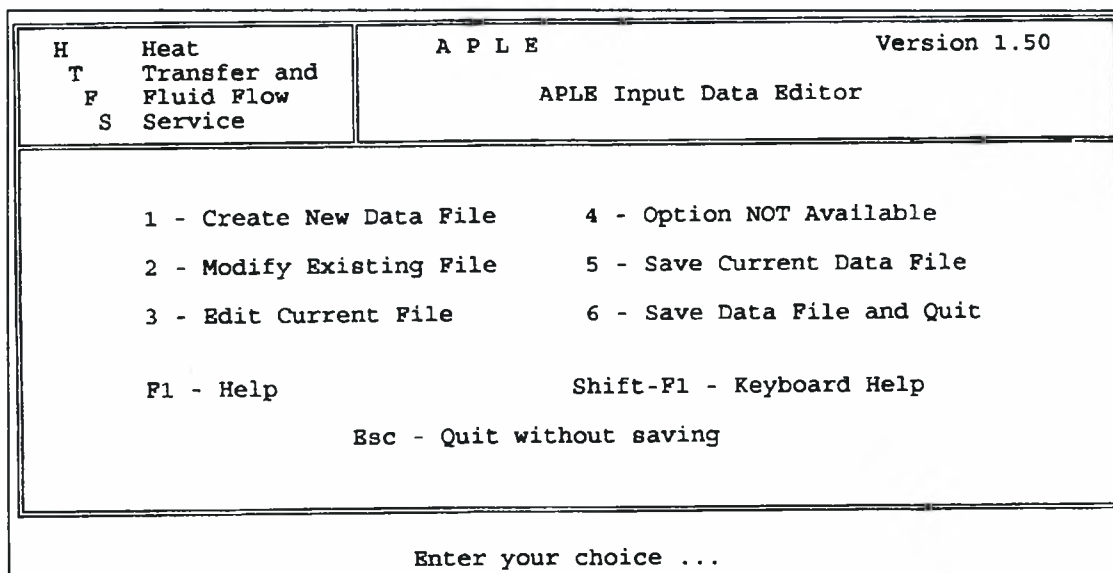
1. Να δημιουργήσει καινούριο αρχείο δεδομένων.
2. Να τροποποιήσει ένα υπάρχον αρχείο.
3. Να ανοίξει ένα υπάρχον αρχείο (για να το διαβάσει, να το ελέγξει ή και να το αλλάξει).
4. Να αποθηκεύσει το αρχείο που δημιούργησε.

Αυτό που ενδιαφέρει το χρήστη του πακέτου είναι να έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα νέο αρχείο από την αρχή. Επιλέγοντας την αντίστοιχη δυνατότητα, ο προγραμματιστής θα βρεθεί μπροστά από έναν αριθμό ερωτήσεων που θα του υποβάλει το APLE1, οι οποίες θα παρουσιαστούν παρακάτω συνοπτικά, ώστε να μην κουραστεί ο αναγνώστης.

Το πρώτο ερώτημα που θέτει το πρόγραμμα είναι τι είδους εργασία πρέπει να εκτελεστεί. Το APLE1 παρέχει τρεις δυνατότητες προς την κατεύθυνση αυτή:

- **SIMULATION**, όπου υπολογίζεται η απόδοση ενός συγκεκριμένου εναλλάκτη πλακών σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας.
- **CHECK**, όπου ελέγχεται η λειτουργία ενός εναλλάκτη πλακών. Αυτό που ενδιαφέρει στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι αν ο συγκεκριμένος εναλλάκτης είναι επαρκής ή όχι, για να εκτελέσει μία συγκεκριμένη διεργασία εναλλαγής θερμότητας.
- **DESIGN**, όπου σχεδιάζεται από την αρχή ένας εναλλάκτης πλακών, ώστε να μπορεί να επιτελέσει μία συγκεκριμένη διεργασία.

**ΣΧΗΜΑ 5-2: Ο EDITOR του APLE1**



Στη συγκεκριμένη εργασία, το ενδιαφέρον εστιάζεται στον υπολογισμό της απόδοσης του εναλλάκτη πλακών-πλαισίου του εργαστηρίου Φ.Χ.Δ. Για το λόγο αυτό, η επιλογή είναι το **SIMULATION MODE**. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα ρωτά ορισμένα άλλα διαδικαστικά θέματα, όπως το σύστημα μονάδων που επιθυμεί ο προγραμματιστής (π.χ. S.I.). Ο χρήστης του προγράμματος μπορεί στο σημείο αυτό να πληκτρολογήσει ορισμένα βοηθητικά σχόλια, που θα καταστήσουν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια, το πρόγραμμα ενδιαφέρεται να πληροφορηθεί για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εναλλάκτη. Ο προγραμματιστής έχει δύο δυνατότητες. Η πρώτη (και η πιο εύκολη) είναι να χρησιμοποιήσει μία λίστα από εναλλάκτες που υπάρχει στο πρόγραμμα (**PLATE DATABANK CODES**). Αυτή η τράπεζα πληροφοριών περιέχει 70-80 εμπορικούς τύπους εναλλακτών πλακών. Αν ο εναλλάκτης που ενδιαφέρει τον προγραμματιστή περιέχεται στη λίστα, μπορεί να το δηλώσει και το πρόγραμμα θα ανασύρει από μόνο του τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά.

Αν όμως ο εναλλάκτης του προγραμματιστή δε συμπεριλαμβάνεται στη λίστα, τότε πρέπει να δηλωθούν αναλυτικά τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά. Το πρόγραμμα ζητά να πληροφορηθεί τα εξής:



- Αριθμός πλακών.
- Επιφάνεια εναλλαγής ανά πλάκα.
- Αριθμός περασμάτων κάθε ρευστού.
- Σημεία (θύρες) εισόδου και εξόδου κάθε ρευστού.
- Διάμετρος των θυρών.
- Μήκος, πλάτος και πάχος των πλακών.
- Διάκενο μεταξύ των πλακών.
- Γωνία κλίσης των πτυχώσεων.
- Τύπος πλακών (chevron-washboard).
- Υλικό κατασκευής του εναλλάκτη.

**ΣΧΗΜΑ 5-3: Η λίστα των εναλλακτών του προγράμματος (PLATE DATABANK CODES)**

H T F S		Heat Transfer and Fluid Flow Service		A P L E			Version 1.50
Plate Databank Codes							
H12/60	LR9GL/45	N35/60	SR14AD/45	SR23HD/42	SR9/65		
H17/30	LR9GN/45	N50/30	SR14AG/45	SR23HV/42	T4/30		
H17/60	M107/30	N50/60	SR14AH/45	SR23OA/42	TR1/30		
JUNIOR/30	M107/60	P105/30	SR14AN/45	SR23PD/42	TR9AL/45		
K34/30	M185/30	P105/60	SR14AP/45	SR23PV/42	TR9AV/45		
K34/60	M185/60	P190/30	SR14GD/45	SR23VA/42	TR9GL/45		
K55/30	M60/30	P190/60	SR14PP/45	SR23VN/42	TR9GN/45		
K55/60	M60/60	R40/30	SR2/30	SR23VO/42	U2/30		
K71/30	M92/30	R55/30	SR2/45	SR3/50			
K71/60	M92/60	R55/60	SR2/67	SR6AA/50			
LR4/30	N25/30	R8AH/52	SR2/67	SR6AG/50			
LR9AL/45	N25/60	R8GI/52	SR23AN/42	SR6GH/50			
LR9AV/45	N35/30	SR1/30	SR23AO/42	SR6GL/50			

Press any key to continue - Esc to EXIT...

Αφού ξεκαθαριστούν τα σχετικά με τη γεωμετρία του εναλλάκτη πλακών, ο χρήστης του προγράμματος πρέπει να το ενημερώσει για τις λεπτομέρειες της διεργασίας. Το πρώτο σημείο που απασχολεί το πρόγραμμα είναι ποια ρευστά συμμετέχουν στη διεργασία. Το πρόγραμμα, για να διευκολύνει τον προγραμματιστή, διαθέτει τράπεζα δεδομένων (NEL) που περιέχει 40 γνωστά ρευστά, που συνήθως συμμετέχουν σε διεργασίες εναλλαγής θερμότητας. Αν όμως κάποιος από τα ρευστά της διεργασίας δεν αναφέρεται στη λίστα, τότε ο προγραμματιστής πρέπει να δώσει τιμές των φυσικών του ιδιοτήτων σε διάφορες θερμοκρασίες. Με τον τρόπο αυτό, θα μπορέσει το πρόγραμμα να προχωρήσει στους υπολογισμούς του.

**ΣΧΗΜΑ 5-4: Η λίστα των ρευστών του προγράμματος (NEL COMPOUND NUMBERS)**

H Heat T Transfer and F Fluid Flow S Service		A P L E NEL Compound Numbers		Version 1.50
1 Water	13 CO2	25 Decane	37 R-13	
2 Air	14 SO2	26 Ethylene	38 R-22	
3 Hydrogen	15 Methane	27 Propene	39 R-113	
4 Helium-4	16 Ethane	28 But-1-ene	40 R-114	
5 Nitrogen	17 Propane	29 B-1,3-diene		
6 Oxygen	18 Butane	30 Cyclohexane		
7 Chlorine	19 Isobutane	31 Benzene		
8 Argon	20 Pentane	32 Toluene		
9 Ammonia	21 Hexane	33 Methanol		
10 HCL	22 Heptane	34 Ethanol		
11 H2S	23 Octane	35 Ethylene Gly		
12 CO	24 Nonane	36 R-12		

Press any key to continue - Esc to EXIT...

Αφού δηλωθούν τα ρευστά της διεργασίας και η φάση στην οποία βρίσκονται, το πρόγραμμα ζητά να μάθει τα εξής:

- Παροχές των ρευμάτων.
- Θερμοκρασίες εισόδου ρευμάτων.
- Εκτιμήσεις για τις θερμοκρασίες εξόδου των ρευμάτων.
- Πιέσεις των ρευμάτων.
- Εκτιμήσεις για την πτώση πίεσης στον εναλλάκτη πλακών.
- Εκτίμηση για το συντελεστή αποθέσεων.

Από τη στιγμή που έχουν δηλωθεί όλα τα παραπάνω δεδομένα, το αρχείο είναι πλέον έτοιμο για να τρέξει και να δώσει αποτελέσματα.

**5.2.3 ΤΡΕΞΙΜΟ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Ο προγραμματιστής επιστρέφει στην αρχική σελίδα του EDITOR, όπου αποθηκεύει τη δουλειά του και βγαίνει στη συνέχεια στο MAIN MENU. Εκεί επιλέγει την εντολή **RUN APLE1** και το πρόγραμμα τρέχει το αρχείο που έχει επιλεγεί.

Φυσικά, υπάρχει το ενδεχόμενο να αποτύχει η προσπάθεια να τρέξει το πρόγραμμα. Στην περίπτωση αυτή, αντί των αποτελεσμάτων, το πρόγραμμα θα εμφανίσει μηνύματα προειδοποιητικά (**warning messages**) και μηνύματα λάθους (**error messages**). Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν δεν κλείνει το ισοζύγιο ενέργειας, ή, με άλλα λόγια, όταν τα θερμικά καθήκοντα των δύο

ρευστών διαφέρουν περισσότερο από 10%. Επίσης, άλλες πιθανές αιτίες είναι λάθος εκτίμηση της θερμοκρασίας εξόδου των ρευμάτων ή της πτώσης πίεσης ή και λάθος δήλωση των γεωμετρικών στοιχείων του εναλλάκτη πλακών.

Αν ο προγραμματιστής φροντίσει να καταχωρήσει σωστά τα δεδομένα του στο πρόγραμμα, τότε το αρχείο θα τρέξει χωρίς προβλήματα και στην οθόνη θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα. Ο τρόπος εμφάνισης των αποτελεσμάτων (αναλυτικός ή συνοπτικός) είναι επιλογή του προγραμματιστή. Σε κάθε περίπτωση, εμφανίζονται πρώτα τα δεδομένα (γεωμετρικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες της διεργασίας). Ακολούθως, παρατίθενται τα αποτελέσματα που εξήγαγε το πρόγραμμα. Αυτά είναι τα εξής:

**ΣΧΗΜΑ 5-5: Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του προγράμματος**

```

HTFS APLE VERSION 1.50 - SIMULATION - FOR JOB NUMBER:- 1
0 WARNING MESSAGES 0 ERROR MESSAGES

      GEOMETRIC DETAILS - S. I. UNITS
TOTAL PLATES / EXCHANGERS / AREA .....      13 /          1 /          .35
PASSES : CHANNELS      STR1/STR2 .....      1 :  6 /          1 :  6
INLET : OUTLET POINT   STR1/STR2 .....      3 :  1 /          2 :  4
PLATE LENGTH / WIDTH / PORT DIAMETER ...      346.2 /          173.0 /          30.0
PLATE PITCH / THICKNESS / CHEV. ANGLE ..      2.40 /          .600 /          60.0
      PROCESS DETAILS - S. I. UNITS
TOTAL MASS FLOW RATE   STR1/STR2 .....      2635. /          2635.
INLET TEMPERATURE     STR1/STR2 .....      27.50 /          20.00
OUTLET TEMPERATURE    STR1/STR2 .....      25.35 /          22.15
      RESULTS - S. I. UNITS
TOTAL PRESSURE DROP    STR1/STR2 .....          .08 /          .09
MAX PLATE:PORT VELOCITY STR1/STR2 .....      .55 : 1.04 /          .55 : 1.04
COEFFICIENT           STR1/STR2/WALL .....      8313. /          7987. /          25940.
FOULING RESISTANCE    STR1/STR2 .....          ---- /          ----
OVERALL COEFF. CLEAN/DIRTY/+MARGIN .....      3521. /          3521. /          3521.
HEAT DUTY / EFF WTD MTD / 1 PASS MTD ...      6.6 /          5.4 /          5.4
AREA RATIO - ACTUAL/REQD .....          1.001

File: C:\HTFS\DATA\G1.APV
F1-Help  F2-Search  F5-Editor  F6-Output  F7-Diagram  PgUp/PgDn  Esc
    
```

- Θερμοκρασίες εξόδου των ρευμάτων.
- Ολική πτώση πίεσης και για τα δύο ρεύματα.
- Μέγιστη ταχύτητα στις πλάκες και τις θύρες και για τα δύο ρευστά.
- Συντελεστές μετάδοσης θερμότητας και για τα δύο ρευστά και αντίσταση τοιχώματος.
- Αντίσταση αποθέσεων.
- Συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για καθαρό και για βρώμικο εναλλάκτη.
- Θερμικό καθήκον που επιτυγχάνεται.

- Αναλογία υπάρχουσας επιφάνειας εναλλαγής προς την απαιτούμενη επιφάνεια για την επίτευξη του θερμικού καθήκοντος.

Αναφέρθηκε και προηγουμένως, ότι από όλα αυτά τα αποτελέσματα, εκείνο που ενδιαφέρει την παρούσα εργασία είναι ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας  $h_1$ . Με τη μεθοδολογία της παραγράφου 5.1.7 υπολογίζεται το ζητούμενο, που είναι ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας  $h_2$ . Στο τρίτο μέρος αυτού του κεφαλαίου (5.3) θα γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και ο σχολιασμός τους.

### **5.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

#### **5.3.1 ΘΕΡΜΙΚΟ ΚΑΘΗΚΟΝ**

Πρέπει να σημειωθεί ότι διεξήχθησαν **4 σετ μετρήσεων**, αλλάζοντας σε κάθε σετ την παροχή του θερμού νερού. Σε κάθε σετ μετρήσεων έγιναν ακριβώς οι ίδιες μετρήσεις, όσον αφορά τις παροχές των συστατικών του διφασικού μίγματος. Με άλλα λόγια, η παράμετρος που αλλάζει από σετ σε σετ είναι η παροχή του θερμού νερού. Αυτά τα σετ μετρήσεων είναι τα εξής:

- **1ο σετ (μετρήσεις 1-32), πολύ μεγάλες παροχές θερμού νερού.**
- **2ο σετ (μετρήσεις 33-64), μεγάλες παροχές θερμού νερού.**
- **3ο σετ (μετρήσεις 83-114), μέτριες παροχές θερμού νερού.**
- **4ο σετ (μετρήσεις 115-146), πολύ μικρές παροχές θερμού νερού.**
- **Μετρήσεις 65-74, νερό-νερό, απουσία αέρα.**
- **Μετρήσεις 75-82, νερό-αέρας, απουσία ψυχρού νερού.**

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι μετρήσεις 1,33,83,115 είναι αντίστοιχες μεταξύ τους και η μόνη τους διαφορά εντοπίζεται στην παροχή του θερμού νερού. Ομοίως για τις μετρήσεις 32,64,114,146 και ούτω καθεξής. Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες των αποτελεσμάτων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3: Οι θερμοροές των ρευμάτων που λαμβάνουν μέρος στη διεργασία (N1: θερμό νερό, N2: ψυχρό νερό, α: αέρας, διφ: διφασικό μίγμα)**

<b>A/A</b>	<b>QN1(W)</b>	<b>QN2(W)</b>	<b>Qα(W)</b>	<b>Qδιφ.(W)</b>
1	299.97	587.98	553.94	1141.9
2	903.59	852.59	480.22	1332.8
3	899.93	1131	422.35	1553.3
4	1199.9	1381.5	416.59	1798.1
5	299.98	502.87	810.41	1313.3
6	1199.9	734.52	707.99	1442.5
7	1199.9	2040.8	286.74	2327.5
8	899.95	1859.3	181.33	2040.7



**Κεφάλαιο 5: Επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων**

9	899.95	1009.5	168.54	1178
10	899.95	773.77	172.82	946.59
11	301.2	537.73	181.33	719.07
12	1204.8	1280.4	39.597	1320
13	301.2	876.61	35.889	912.5
14	301.2	419.67	34.752	454.42
15	903.6	1080.3	21.09	1101.4
16	602.4	717.21	21.09	738.3
17	301.2	380.32	22.664	402.98
18	604.85	920.27	10.819	931.08
19	301.2	610.94	10.844	621.78
20	302.42	327.85	11.793	339.64
21	5488.3	7025.8	120.43	7146.2
22	5488.2	6470.7	72.677	6543.4
23	4878.3	6008.2	28.499	6036.7
24	3367.1	5064.7	98.605	5163.3
25	3658.5	4757.6	56.328	4813.9
26	3048.7	4297	25.413	4322.4
27	2438.9	3479.3	73.941	3553.2
28	2134	3113	44.596	3157.6
29	1524.3	2807.7	21.282	2829
30	1524.3	2086.1	56.581	2142.6
31	1219.4	1995.3	33.992	2029.3
32	914.59	1813.9	16.131	1830
33	956.18	758.28	696.25	1454.5
34	1434.3	1246.3	682.47	1928.7
35	1912.4	1686.8	612.24	2299
36	2151.5	1992.8	582.75	2575.6
37	717.15	657.66	1038.2	1695.8
38	1195.3	1036.3	973.47	2009.8
39	1912.4	3038.8	416.77	3455.6
40	1673.4	2902.7	276.11	3178.8
41	1673.4	1673.8	272.74	1946.6
42	956.21	1230.2	268.68	1498.9
43	956.19	839.47	277.49	1117
44	2151.5	2121	64.131	2185.1
45	1673.4	1408	56.56	1464.6
46	478.09	708.27	57.572	765.84
47	1673.4	1880.8	36.033	1916.8
48	956.2	1168.9	33.83	1202.7
49	956.19	603.31	35.385	638.69
50	1195.3	1520.6	17.587	1538.1
51	956.21	1009.5	17.629	1027.1
52	478.09	524.61	18.522	543.13
53	2151.5	2587.5	48.143	2635.7
54	1673.4	2310.2	27.828	2338.1
55	1434.3	2125.4	10.718	2136.1
56	1441.6	1764.5	36.162	1800.7
57	1441.6	1687.8	19.67	1707.5
58	1201.4	1534.3	9.4332	1543.8

**Κεφάλαιο 5: Επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων**

59	961.07	1342.7	27.729	1370.4
60	720.81	1220.6	15.831	1236.4
61	720.81	976.46	7.6085	984.06
62	720.81	906.86	25.253	932.11
63	240.27	816.17	14.273	830.44
64	480.53	816.17	8.5638	824.73
65	2975.3	4100.5		4100.5
66	1185.2	2032.9		2032.9
67	592.6	1037.5		1037.5
68	592.6	600.14		600.14
69	296.29	292.17		292.17
70	1673.4	2391.8		2391.8
71	717.15	1201.2		1201.2
72	478.09	610.27		610.27
73	478.09	280.05		280.05
74	239.04	79.677		79.677
75	683.11		1690.8	1690.8
76	341.55		647.51	647.51
77	170.78		79.684	79.684
78	341.55		45.827	45.827
79	170.77		23.799	23.799
80	739.15		1704.5	1704.5
81	492.76		643.12	643.12
82	246.38		76.384	76.384
83	368.48	309.41	302.01	611.42
84	368.47	262.28	154.53	416.81
85	552.71	416.6	162.49	579.08
86	921.19	717.2	223.05	940.25
87	552.71	386.78	638.94	1025.7
88	368.47	301.62	302.11	603.73
89	736.95	952.22	138.12	1090.3
90	736.95	1042.9	104.17	1147.1
91	552.71	610.94	104.17	715.11
92	368.47	476.12	108.85	584.97
93	184.24	301.62	104.41	406.03
94	736.95	760.18	24.012	784.19
95	552.71	531.23	22.163	553.4
96	368.47	222.93	18.889	241.82
97	552.71	680.16	13.492	693.65
98	368.47	424.98	12.71	437.69
99	184.23	157.35	9.6089	166.96
100	736.93	560.11	6.7145	566.83
101	368.46	371.84	6.7296	378.57
102	184.23	157.35	5.7912	163.14
103	1246.9	1478.5	27.947	1506.4
104	1246.9	1386.1	16.929	1403
105	1068.7	1293.6	6.6389	1300.3
106	712.49	920.57	19.099	939.67
107	712.49	767.14	9.608	776.74
108	712.49	690.41	4.2965	694.71

109	356.24	549.24	12.172	561.41
110	356.24	366.15	5.4783	371.63
111	534.36	366.15	2.8912	369.04
112	178.12	317.38	8.9801	326.36
113	178.12	181.35	3.2323	184.59
114	178.11	90.675	0.9735	91.648
115	1171.5	820.29	726.35	1546.6
116	1562.1	1246.5	651.85	1898.3
117	2008.5	1746.6	603.56	2350.2
118	1921.9	1993.1	555.43	2548.6
119	594.78	433.23	623.23	1056.5
120	780.99	616.46	527.72	1144.2
121	1921.9	3266.3	435.09	3701.4
122	2013.5	3084.8	277.25	3362.1
123	2510.8	1647.6	253.77	1901.3
124	1784.6	1270.2	264.21	1534.4
125	1841.1	878.95	279.39	1158.3
126	2150.8	1961.3	56.142	2017.4
127	1830.4	1434.9	54.873	1489.7
128	1326.9	747.72	58.646	806.36
129	1876.1	1721	31.245	1752.3
130	1647.3	1275.4	35.24	1310.6
131	1338.9	668.98	37.808	706.79
132	1952.8	1600.9	17.584	1618.5
133	1841.1	1142.5	19.136	1161.6
134	1227.3	616.49	21.095	637.59
135	2175.9	2588	45.829	2633.9
136	2312.5	2310.7	22.415	2333.1
137	1841.1	2125.8	10.261	2136
138	1372.7	1918.3	37.664	1956
139	1235.4	1918.3	22.865	1941.1
140	1189.7	1841.5	10.909	1852.4
141	1052.4	1648.1	28.764	1676.8
142	1052.4	1648	20.595	1668.6
143	960.86	1587	11.94	1598.9
144	732.07	1360.5	32.332	1392.8
145	777.81	1269.8	21.595	1291.3
146	640.55	1269.7	12.988	1282.7

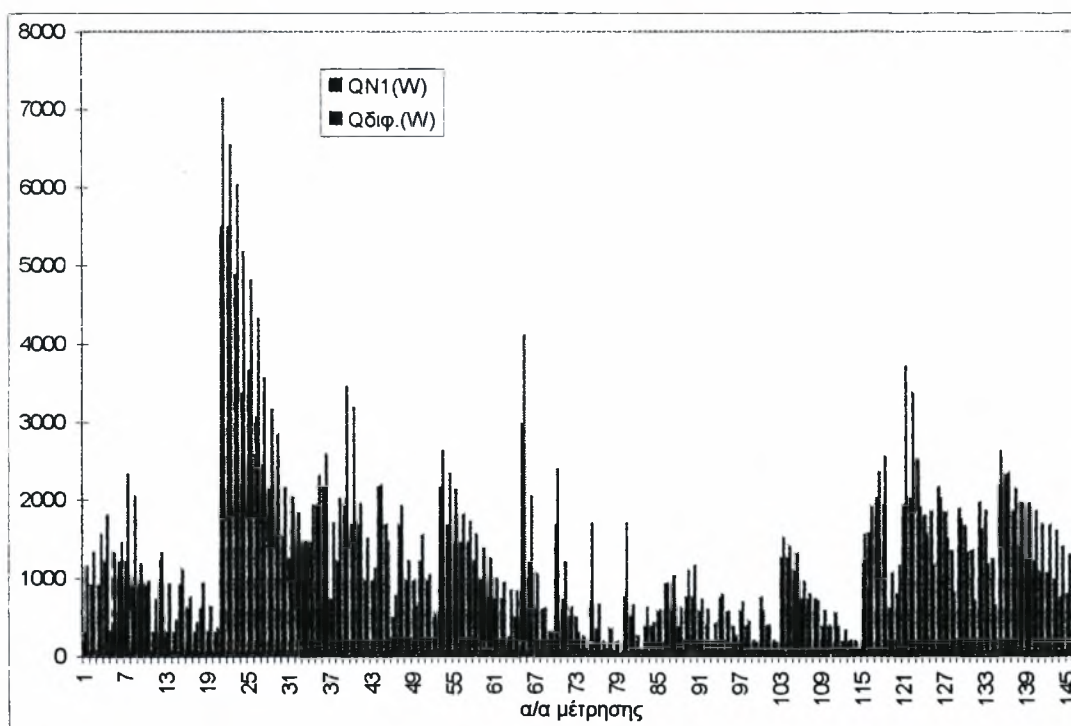
Φαίνεται, τόσο από τον πίνακα όσο και από τη γραφική παράσταση που ακολουθεί, ότι υπάρχει ένα **συστηματικό σφάλμα**, από την πλευρά του διφασικού μίγματος. Αυτό είναι και το **μοναδικό σημαντικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε** κατά την εκτέλεση των πειραμάτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις το θερμικό καθήκον του διφασικού μίγματος είναι αρκετά μεγαλύτερο από το θερμικό καθήκον του θερμού νερού. Το πρόβλημα αυτό είναι πιο έντονο στις μετρήσεις που το διφασικό μίγμα αποτελείται κυρίως από αέρα και από λίγο νερό.



Η μοναδική εκτίμηση που μπορεί να γίνει για την αιτία αυτού του σφάλματος είναι ότι δεν είναι ακριβής ο υπολογισμός του θερμικού καθήκοντος του αέρα. Αυτός ο υπολογισμός εξηγείται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.1 και γίνεται με βάση τη μεταβολή της ενθαλπίας του αέρα, από προσέγγιση στο ψυχομετρικό διάγραμμα. Στο σημείο αυτό γίνεται η παραδοχή ότι ο αέρας εισέρχεται στον εναλλάκτη και εξέρχεται από αυτόν κορεσμένος σε νερό. Λόγω της έλλειψης μετρητικών οργάνων για την υγρασία του αέρα δε στάθηκε δυνατό να ελεγχθεί η ακρίβεια αυτής της παραδοχής.

Από τη γραφική παράσταση, γίνεται σαφές ότι στα πρώτα σειτ μετρήσεων (ψηλές παροχές θερμού νερού) το θερμικό καθήκον είναι μεγαλύτερο. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε σειτ μετρήσεων εμφανίζεται μία 'αιχμή'. Είναι μία περιοχή των μετρήσεων, που αντιστοιχεί σε μεγάλες παροχές ψυχρού νερού και μικρές παροχές αέρα.

**ΣΧΗΜΑ 5-6: Απεικόνιση της συσχέτισης του θερμικού καθήκοντος των δύο ρευμάτων του εναλλάκτη ανά μέτρηση**



### 5.3.2 ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.2 περιγράφεται ο υπολογισμός των αδιάστατων αριθμών, ενώ εδώ παρατίθενται οι τιμές τους. Η τιμή του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $h_1$  από την πλευρά του θερμού νερού υπολογίζεται ανά σειτ μετρήσεων από το πρόγραμμα APLE1. Η τιμή του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας από την πλευρά του διφασικού ρεύματος υπολογίζεται με βάση την τιμή του  $h_1$ , όπως προκύπτει από το πρόγραμμα.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4: Αδιάστατοι αριθμοί θερμού νερού και συντελεστές μετάδοσης θερμότητας**

A/A	ReN	PrN	NuN	hN(W/m <sup>2</sup> C)	U(W/m <sup>2</sup> C)	hδιφ(W/m <sup>2</sup> C)
1	2317.956	5.68	93.769	8313	1199.27	1401.45
2	2321.967	5.7	133.89	8313	1712.038	2156.07
3	2307.12	5.71	157.78	8313	2016.951	2663.09
4	2293.6	5.75	236	8313	3015.107	4731.05
5	2307.12	5.71	112.03	8313	1432.158	1730.24
6	2299.005	5.74	162.75	8313	2079.797	2773.75
7	2293.6	5.75	339.02	8313	4331.156	9042.27
8	2296.302	5.74	312.23	8313	3989.449	7670.61
9	2296.302	5.74	190.01	8313	2427.735	3429.2
10	2296.302	5.74	149.95	8313	1916	2489.87
11	2311.096	5.73	106.4	8313	1359.79	1625.71
12	2308.381	5.74	244.77	8313	3127.813	5014.58
13	2311.096	5.73	221.63	8313	2832.542	4296.53
14	2321.967	5.7	70.644	8313	903.2905	1013.41
15	2316.53	5.71	224.09	8313	2864.669	4370.88
16	2313.812	5.72	170.84	8313	2183.597	2961.5
17	2316.53	5.71	107.7	8313	1376.777	1650.05
18	2323.211	5.72	240.68	8313	3076.341	4883.58
19	2316.53	5.71	196.94	8313	2517.557	3611.19
20	2331.399	5.7	101.21	8313	1294.11	1532.71
21	2276.365	5.91	420.62	8313	5360.619	15093.9
22	2292.705	5.86	419.5	8313	5350.231	15011.8
23	2303.626	5.83	412.55	8313	5264.207	14353.7
24	2343.128	5.74	390.7	8313	4992.088	12496.3
25	2336.51	5.74	402.46	8313	5142.969	13486.8
26	2347.509	5.7	377.95	8313	4832.029	11539.5
27	2358.525	5.67	383.24	8313	4902.04	11947
28	2355.77	5.68	363.82	8313	4653.141	10569.1
29	2355.77	5.68	370.96	8313	4744.465	11052.4
30	2355.77	5.68	280.96	8313	3593.391	6329.31
31	2358.525	5.67	270.19	8313	3456.06	5915.29
32	2355.77	5.68	284.58	8313	3639.669	6474.31
33	1849.334	5.67	87.483	6970	1119.002	1333.01
34	1853.658	5.66	126	6970	1612.055	2097.08
35	1840.696	5.7	156.79	6970	2004.547	2813.78
36	1825.613	5.76	193.07	6970	2466.269	3816.81
37	1838.539	5.71	116.86	6970	1493.923	1901.48
38	1834.227	5.73	156.38	6970	1998.58	2802.04
39	1827.765	5.75	310.32	6970	3964.478	9193.88
40	1825.613	5.76	312.27	6970	3988.911	9326.36
41	1829.918	5.74	193.33	6970	2470.161	3826.14
42	1836.382	5.72	145.54	6970	1860.211	2537.42
43	1845.014	5.69	99.168	6970	1268.165	1550.22
44	1834.227	5.73	219.23	6970	2801.782	4685.08
45	1838.539	5.71	164.33	6970	2100.635	3006.85
46	1845.014	5.69	86.345	6970	1104.178	1312.03
47	1838.539	5.71	233.99	6970	2991.209	5239.96



**Κεφάλαιο 5: Επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων**

48	1840.696	5.7	160.21	6970	2048.277	2900.71
49	1845.014	5.69	82.509	6970	1055.135	1243.36
50	1834.227	5.73	230.49	6970	2945.767	5102.09
51	1836.382	5.72	168.68	6970	2156.049	3121.69
52	1845.014	5.69	74.661	6970	954.7683	1106.31
53	1825.613	5.76	375.27	6970	4793.689	15352.6
54	1825.613	5.76	400.47	6970	5115.607	19227.7
55	1827.765	5.75	375.46	6970	4796.75	15384
56	1845.781	5.72	348.81	6970	4458.437	12372.9
57	1845.781	5.72	381.74	6970	4879.372	16267.5
58	1852.286	5.7	317	6970	4053.282	9686.02
59	1858.799	5.67	329.03	6970	4208.711	10623.6
60	1856.627	5.68	363.7	6970	4651.614	13984.6
61	1856.627	5.68	281.47	6970	3599.871	7445.15
62	1856.627	5.68	274.19	6970	3506.787	7057.7
63	1860.972	5.67	244.22	6970	3124.271	5662.43
64	1863.145	5.66	211.26	6970	2702.967	4415.17
65	2285.618	5.72	227.59	8284	2909	4483.38
66	2281.567	5.7	171.53	8291	2193	2981.66
67	2286.918	5.69	145.6	8274	1862	2402.71
68	2292.274	5.67	120.63	8271	1543	1896.87
69	2300.315	5.65	100.74	8276	1289	1526.8
70	1834.227	5.73	214.55	7057	2742	4484.43
71	1838.539	5.71	163.42	7064	2089	2966.17
72	1845.014	5.69	140.13	7057	1792	2401.93
73	1849.334	5.67	117.11	7060	1498	1901.45
74	1855.821	5.65	98.157	7062	1256	1527.71
75	1324.303	5.66	65.865	8426.9593	842.6959	936.329
76	1327.395	5.64	25.704	3289.4566	328.9457	365.495
77	1328.941	5.64	6.5385	836.86109	83.68611	92.9846
78	1330.488	5.63	4.01	513.29593	51.32959	57.0329
79	1335.132	5.61	2.1323	273.03989	27.30399	30.3378
80	1908.349	5.67	67.272	8605.902	860.5902	956.211
81	1910.578	5.66	26.894	3440.8591	344.0859	382.318
82	1917.269	5.64	5.7069	730.42305	73.04231	81.1581
83	1421.994	5.69	76.914	5745	983.5778	1186.76
84	1425.324	5.67	87.675	5745	1121.458	1393.47
85	1423.659	5.68	139.06	5745	1778.481	2575.9
86	1423.659	5.68	160.1	5745	2047.564	3181.46
87	1426.99	5.67	105.58	5745	1350.678	1765.83
88	1425.324	5.67	117.01	5745	1496.73	2024.05
89	1425.324	5.67	236.21	5745	3021.427	6373.28
90	1425.324	5.67	210.33	5745	2690.417	5060.08
91	1423.659	5.68	142.31	5745	1820.031	2663.99
92	1425.324	5.67	125.21	5745	1601.607	2220.7
93	1426.99	5.67	86.9	5745	1111.681	1378.41
94	1425.324	5.67	208.05	5745	2661.152	4957.54
95	1426.99	5.67	137.14	5745	1754.444	2525.78
96	1428.657	5.66	64.138	5745	820.5967	957.34
97	1426.99	5.67	190.86	5745	2441.568	4246.13



**Κεφάλαιο 5: Επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων**

98	1428.657	5.66	120.41	5745	1540.614	2105.14
99	1433.66	5.64	63.062	5745	807.1282	939.059
100	1431.991	5.64	184.51	5745	2361.241	4008.95
101	1435.329	5.63	136.25	5745	1744.002	2504.2
102	1436.998	5.62	81.783	5745	1046.981	1280.31
103	1366.744	5.73	307.58	5745	3930.955	12449.2
104	1369.957	5.71	297.03	5745	3797.112	11199
105	1371.565	5.7	345.09	5745	4411.962	19014.2
106	1374.782	5.69	249.33	5745	3188.447	7164.97
107	1374.782	5.69	226.76	5745	2899.763	5855.1
108	1374.782	5.69	250.31	5745	3200.914	7228.24
109	1378.001	5.67	214.46	5745	2743.191	5250.05
110	1378.001	5.67	226.69	5745	2899.684	5854.77
111	1379.612	5.67	250.31	5745	3202.139	7234.49
112	1382.835	5.65	234.99	5745	3006.909	6309.03
113	1386.06	5.64	189.33	5745	2423.199	4190.88
114	1389.288	5.62	140.97	5745	1804.71	2631.29
115	423.0055	5.8	70.64	2514	901.6993	1405.99
116	418.5086	5.88	90.448	2514	1153.288	2130.77
117	415.522	5.92	113.36	2514	1444.391	3394.88
118	335.9205	6.02	141.31	2514	1797.873	6311.52
119	349.4006	5.76	91.124	2514	1164.023	2167.71
120	425.5121	5.77	112.49	2514	1436.742	3352.93
121	335.1114	6.04	217.27	2514	2763.646	-27830.6
122	334.3032	6.05	210.6	2514	2678.117	-41024.4
123	407.1141	6.06	125.72	2514	1598.553	4389.95
124	335.5158	6.03	107.47	2514	1367.184	2997.08
125	414.0323	5.95	80.616	2514	1026.786	1735.69
126	333.8995	6.06	155.49	2514	1977.097	9257.57
127	335.9205	6.02	121.37	2514	1544.23	4003.21
128	342.0191	5.9	62.483	2514	796.4223	1165.71
129	336.3255	6.01	144.96	2514	1844.577	6927.26
130	337.5417	5.99	119.33	2514	1518.961	3837.71
131	417.512	5.89	62.685	2514	799.0934	1171.45
132	411.0604	6	147.97	2514	1883.291	7506.78
133	415.0251	5.93	109.53	2514	1395.439	3136.29
134	419.5062	5.86	60.935	2514	777.1581	1124.9
135	411.0604	6	220.32	2514	2804.151	-24296.5
136	487.9595	5.98	263.61	2514	3355.885	-10021.2
137	412.0499	5.98	234.42	2514	2984.257	-15953.9
138	340.7953	5.92	166.46	2514	2120.957	13566.2
139	342.0191	5.9	162.16	2514	2066.94	11623.2
140	342.4275	5.89	165.92	2514	2115.091	13329.7
141	343.6538	5.87	234.7	2514	2992.971	-15709.4
142	344.4724	5.85	233.5	2514	2978.363	-16124.5
143	344.4724	5.85	248.07	2514	3164.294	-12233
144	346.5225	5.81	224.01	2514	2859.073	-20829.6
145	347.7548	5.79	193.8	2514	2474.428	157199
146	347.3438	5.8	224	2514	2859.619	-20800.6

Από τον πίνακα συνάγεται ότι τα παραπάνω μεγέθη κυμαίνονται στα ακόλουθα εύρη τιμών ανά σετ:

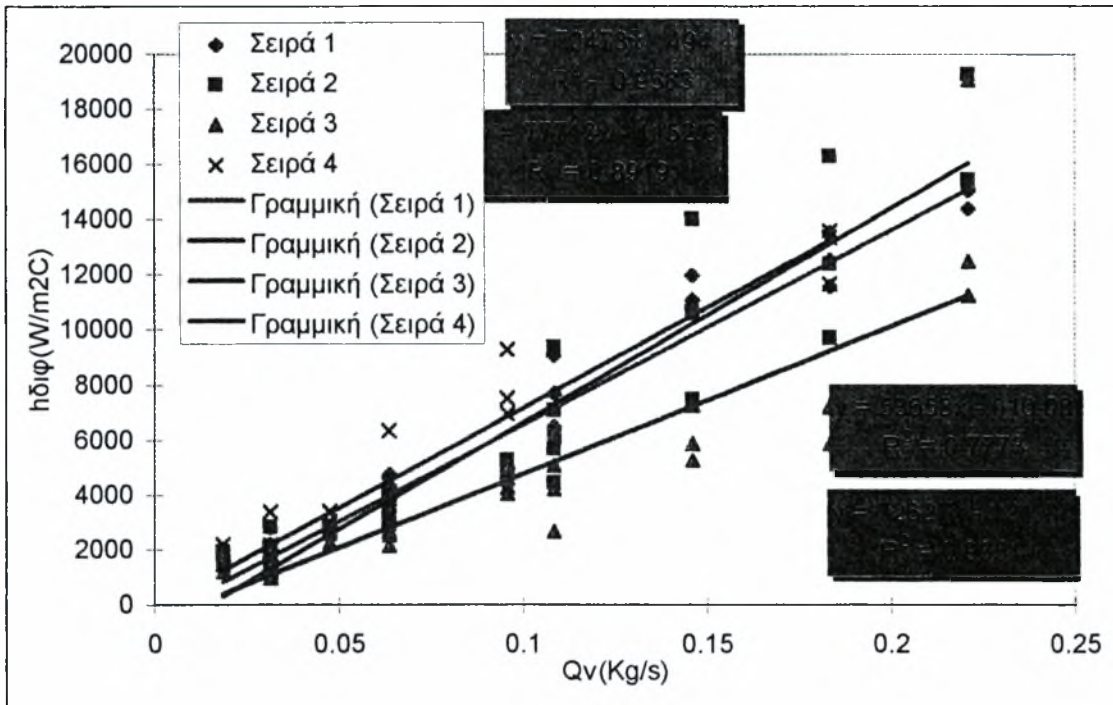
**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-5: Εύρος τιμών των μεγεθών του προηγούμενου πίνακα**

Σετ	$Re_N$	$Pr_N$	$Nu_N$	$h_1$	U	$h_2$
1	2300	5.5-6	70-420	8300	900-5350	1000-15000
2	1850	5.5-6	74-440	7000	950-5200	1100-19300
3	1400	5.5	63-345	5750	800-4500	950-19000
4	400	5.5-6	62-263	2500	800-3500	1100-13500

- Μία σημαντική διαπίστωση είναι ότι οι τιμές των αντίστοιχων μετρήσεων ανά σετ (π.χ. 1,33,83,115) ταιριάζουν αρκετά καλά, γεγονός που αποδεικνύει την αξιοπιστία των μετρήσεων, αφού διακρίνονται από επαναληψιμότητα.
- Η σταδιακή μείωση των μεγεθών του θερμού νερού ανά σετ μέτρησης δικαιολογείται από τη σταδιακή μείωση της παροχής του θερμού νερού.
- Η σταθερότητα του  $P_r$  οφείλεται στο γεγονός ότι εξαρτάται αποκλειστικά από τη θερμοκρασία (και ελάχιστα από την πίεση), η οποία δε μεταβάλλεται αισθητά κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Ο  $P_r$  δεν επηρεάζεται από μεταβολές της παροχής.
- Πρέπει να σημειωθεί ότι το εύρος των τιμών του ολικού συντελεστή U και του συντελεστή  $h_2$  του διφασικού μίγματος μπορούν να θεωρηθούν πρακτικά αμετάβλητα από σετ σε σετ.
- Οι αρνητικές τιμές του συντελεστή  $h_2$  του διφασικού μίγματος σε ορισμένες μετρήσεις του 4ου σετ οφείλονται στο γεγονός ότι η κυρίαρχη αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας εμφανίζεται από την πλευρά του θερμού νερού. Λόγω του γεγονότος αυτού  $h_1 < U$ , συνεπώς  $h_2 < 0$ . Το πρόβλημα αυτό εμφανίστηκε σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό κατά τη χρήση του λαδιού ως θερμού ρευστού και περιγράφεται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.
- Είναι φανερό ότι οι μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή  $h_2$  του διφασικού μίγματος εμφανίζονται όταν το διφασικό μίγμα αποτελείται από πολύ νερό και λίγο αέρα.

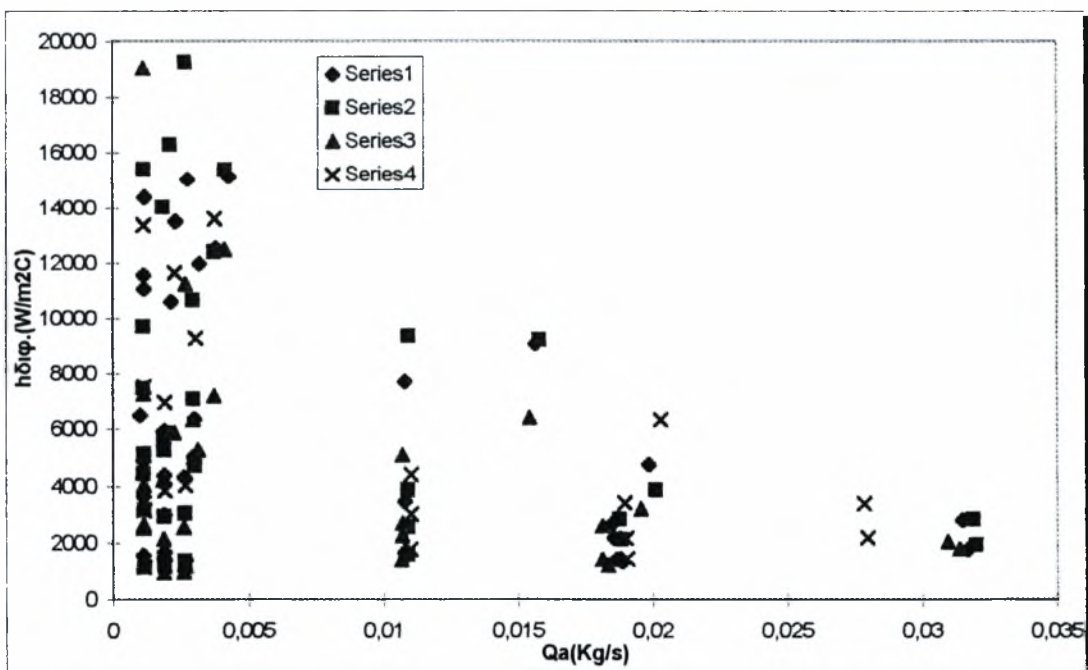


**ΣΧΗΜΑ 5-7:** Ο συντελεστής  $h_2$  του διφασικού μίγματος σε συνάρτηση με την παροχή του ψυχρού νερού για κάθε ένα από τα 4 σετ μετρήσεων



Είναι φανερό ότι τα σετ 1,2,4 ταιριάζουν αρκετά ικανοποιητικά μεταξύ τους ως προς τις τιμές του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας του διφασικού μίγματος. Ωστόσο, το 3ο σετ παρεκκλίνει, αφήνοντας κάποια ερωτηματικά. Θα έπρεπε οι 4 γραμμές να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά η μία στην άλλη.

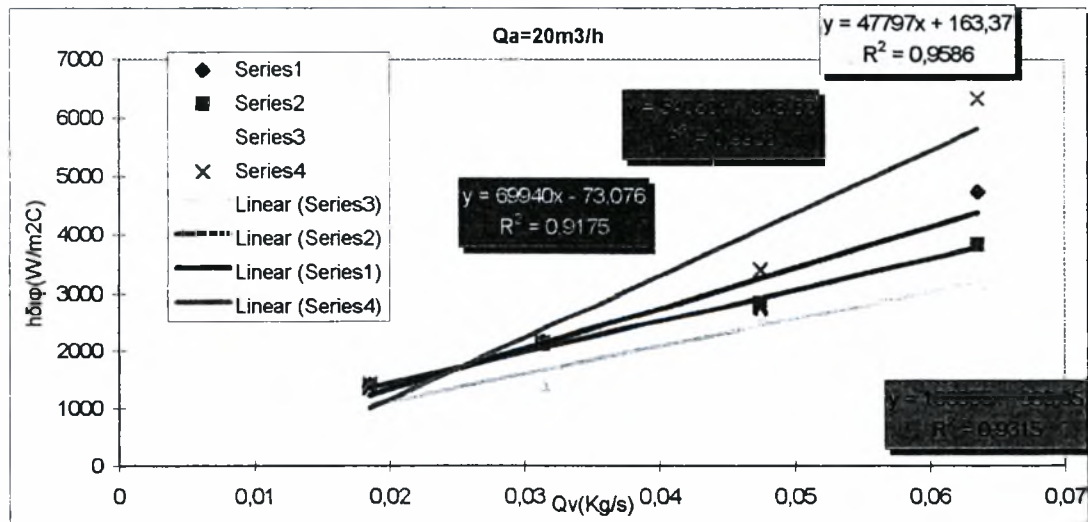
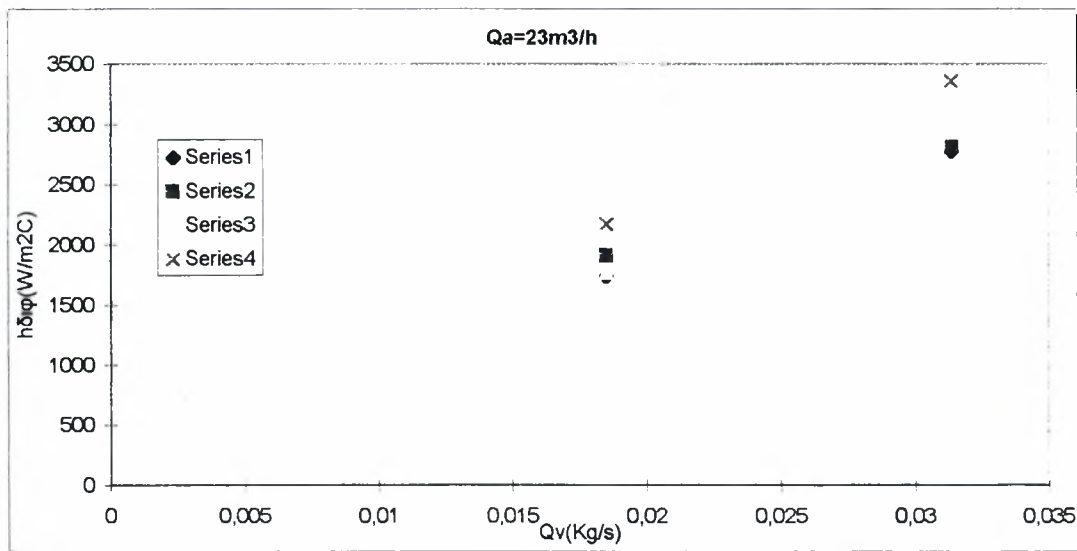
**ΣΧΗΜΑ 5-8:** Ο συντελεστής  $h_2$  του διφασικού μίγματος σε συνάρτηση με την παροχή του αέρα για κάθε ένα από τα 4 σετ μετρήσεων

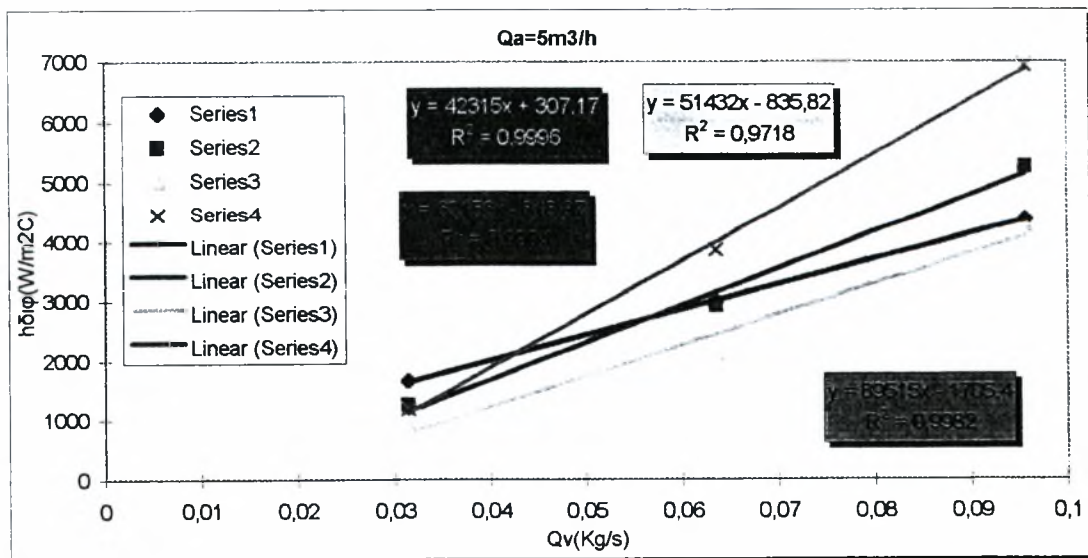
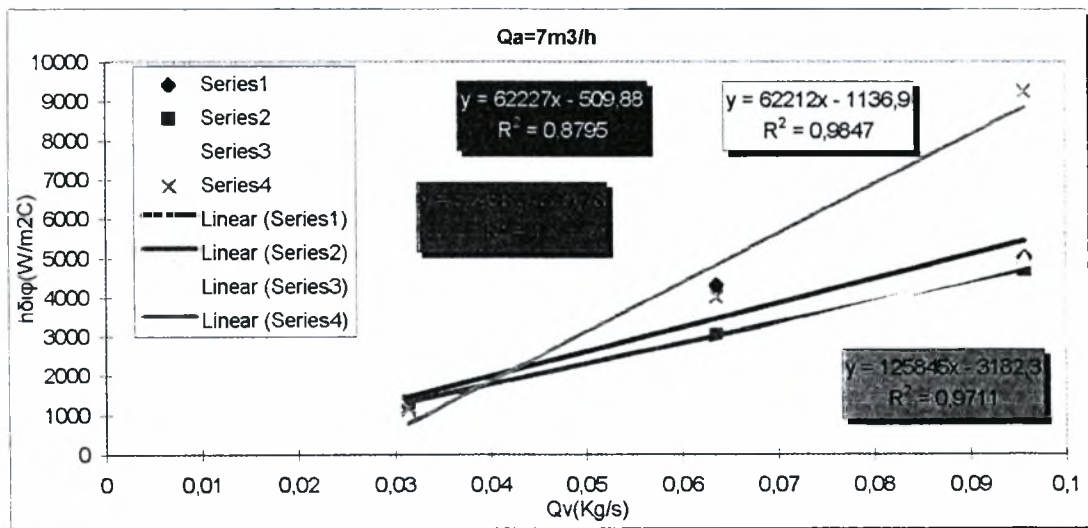
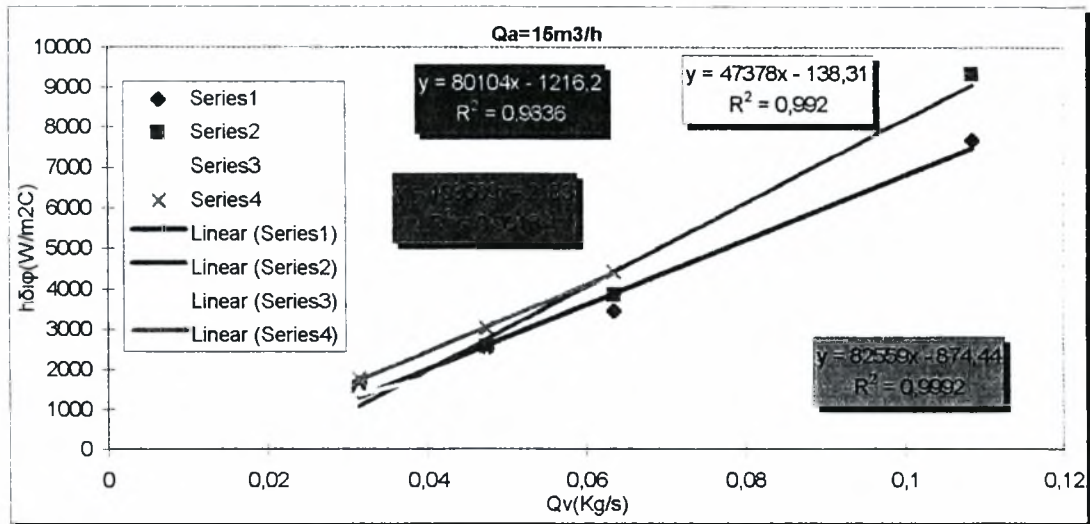


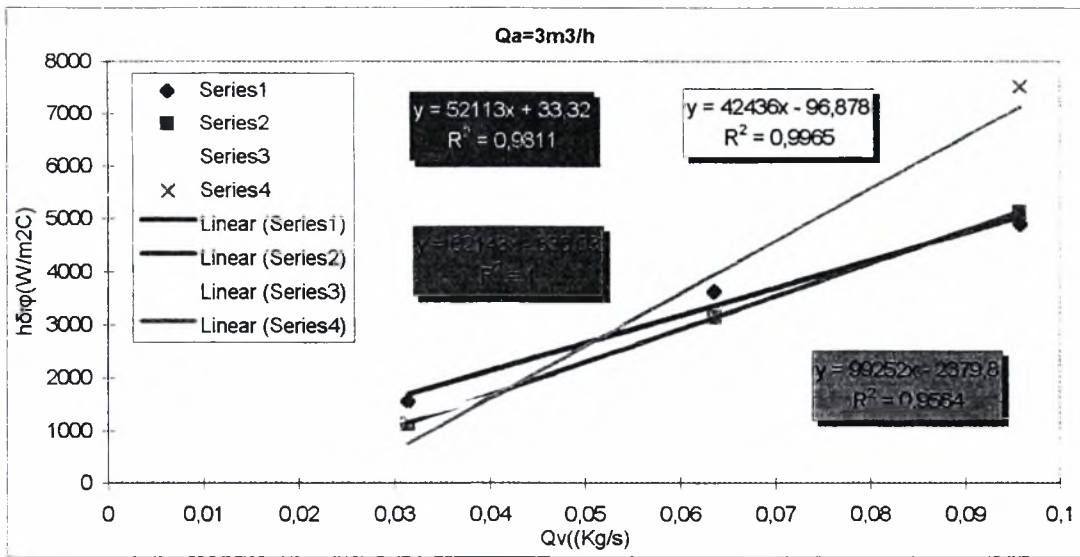
Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται πως δε μπορεί να βγει χρήσιμο συμπέρασμα όσον αφορά την επίδραση της παροχής του αέρα στο συντελεστή  $h_2$ . Συνεπώς, η ανάλυση θα προχωρήσει με βάση την επιρροή της παροχής του ψυχρού νερού στο συντελεστή  $h_2$ .

Παρακάτω, γίνεται μια πιο λεπτομερής ανάλυση με την παρουσίαση διαγραμμάτων  $h_2=f(Q_{\text{νερού}})$ , με παράμετρο μία σταθερή παροχή αέρα κάθε φορά και για κάθε σετ μέτρησης χωριστά.

**ΣΧΗΜΑ 5-9: Διαγράμματα του  $h_2$  σε συνάρτηση με την παροχή του ψυχρού νερού και για σταθερή παροχή αέρα**

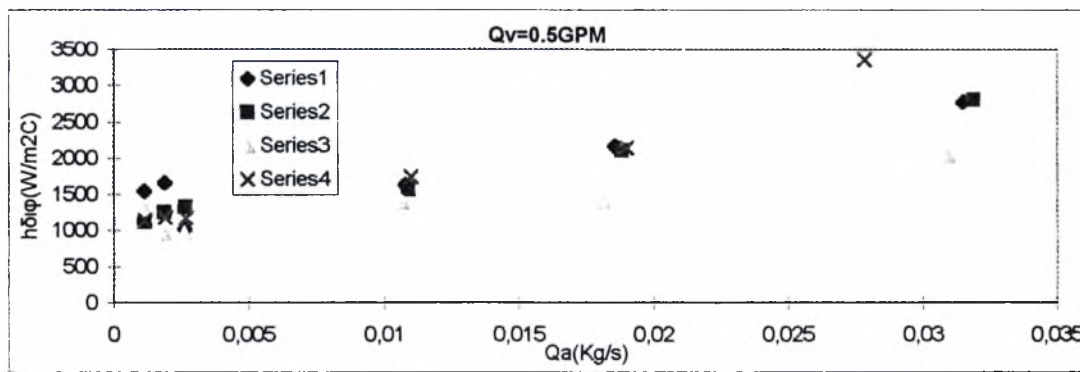
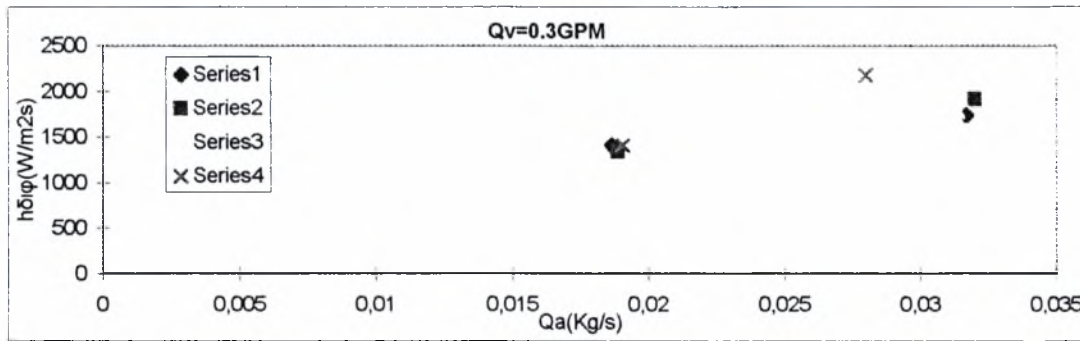






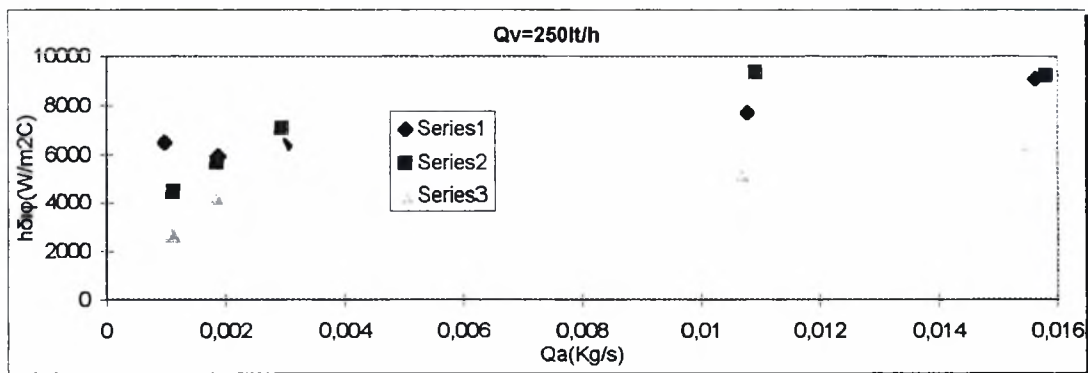
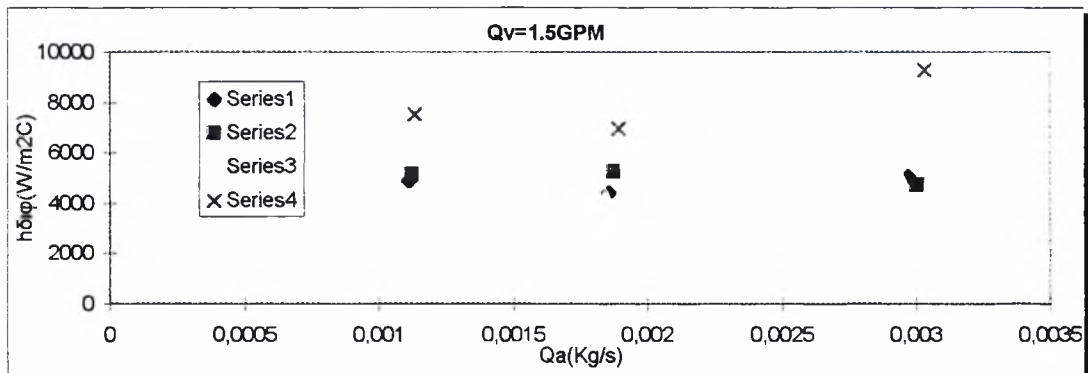
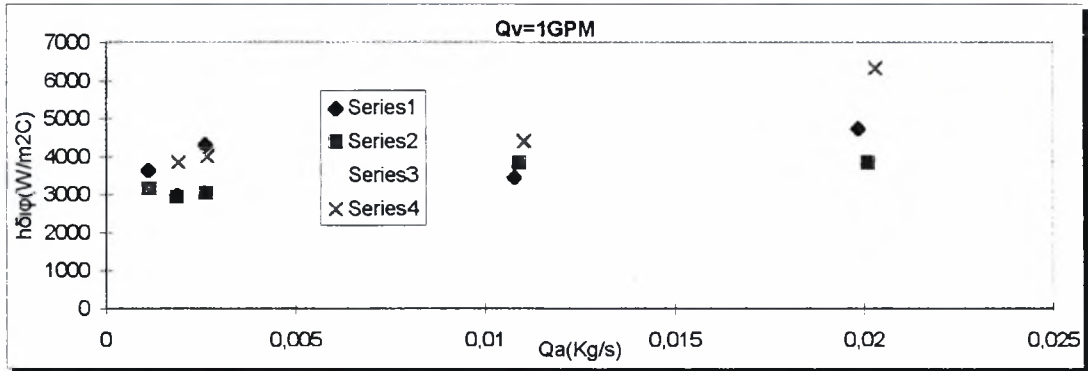
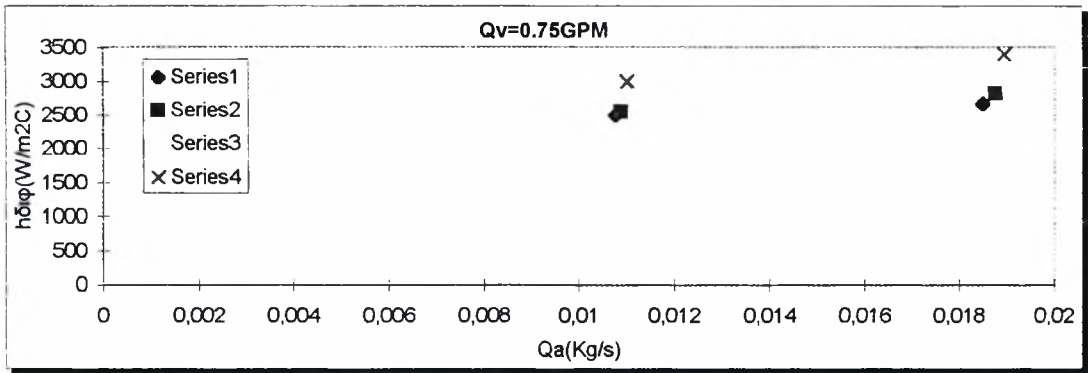
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα  $h_2=f(Q_{αέρα})$ , με παράμετρο μία σταθερή παροχή νερού κάθε φορά και για κάθε σετ μέτρησης χωριστά. Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι η εξαγωγή γραμμής τάσης δεν είναι εύκολη.

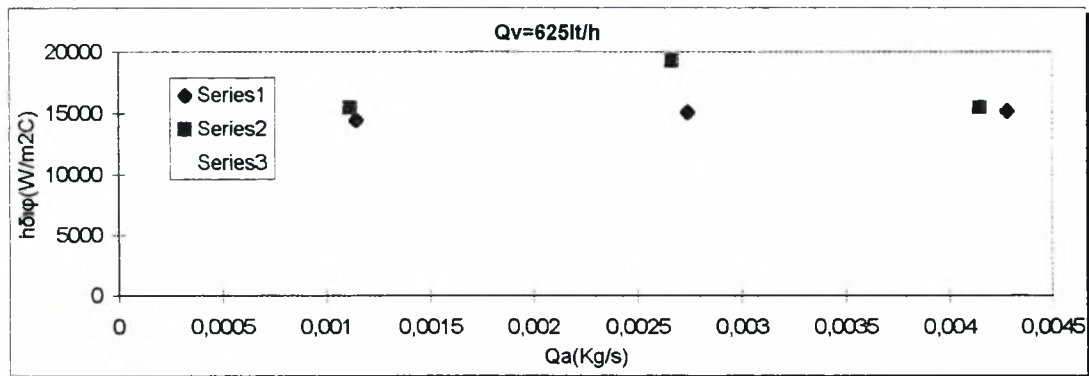
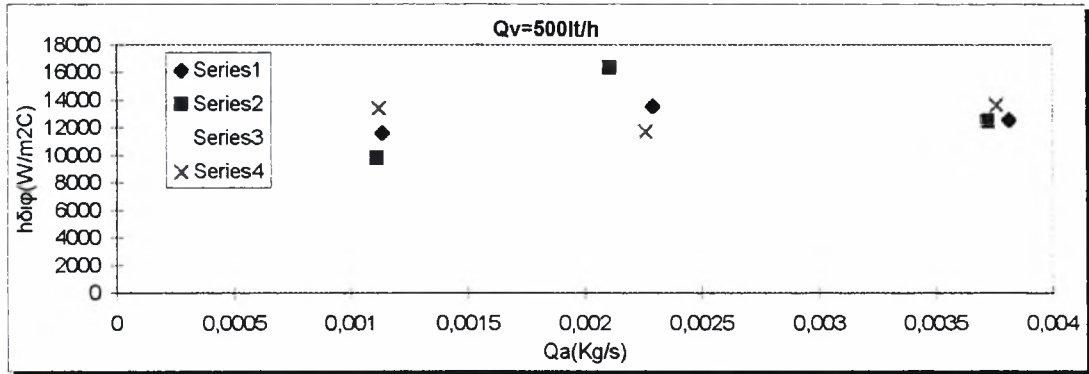
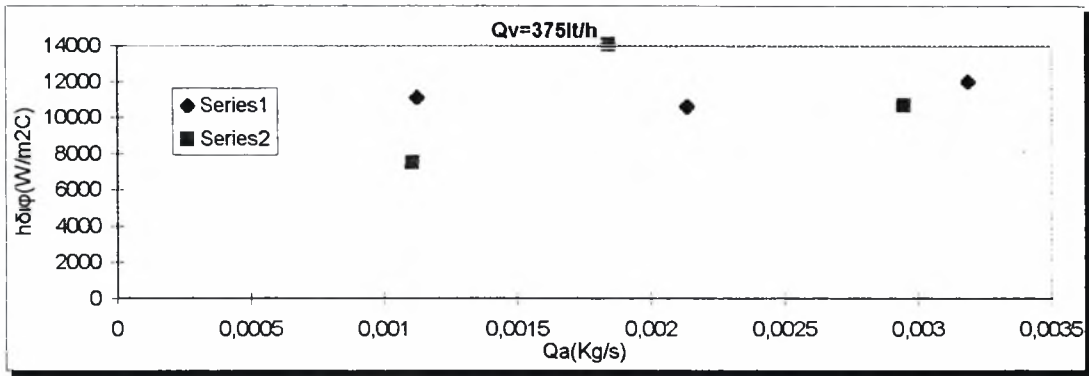
**ΣΧΗΜΑ 5-10:** Διαγράμματα του  $h_2$  σε συνάρτηση με την παροχή του αέρα και για σταθερή παροχή νερού





**Κεφάλαιο 5: Επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων**

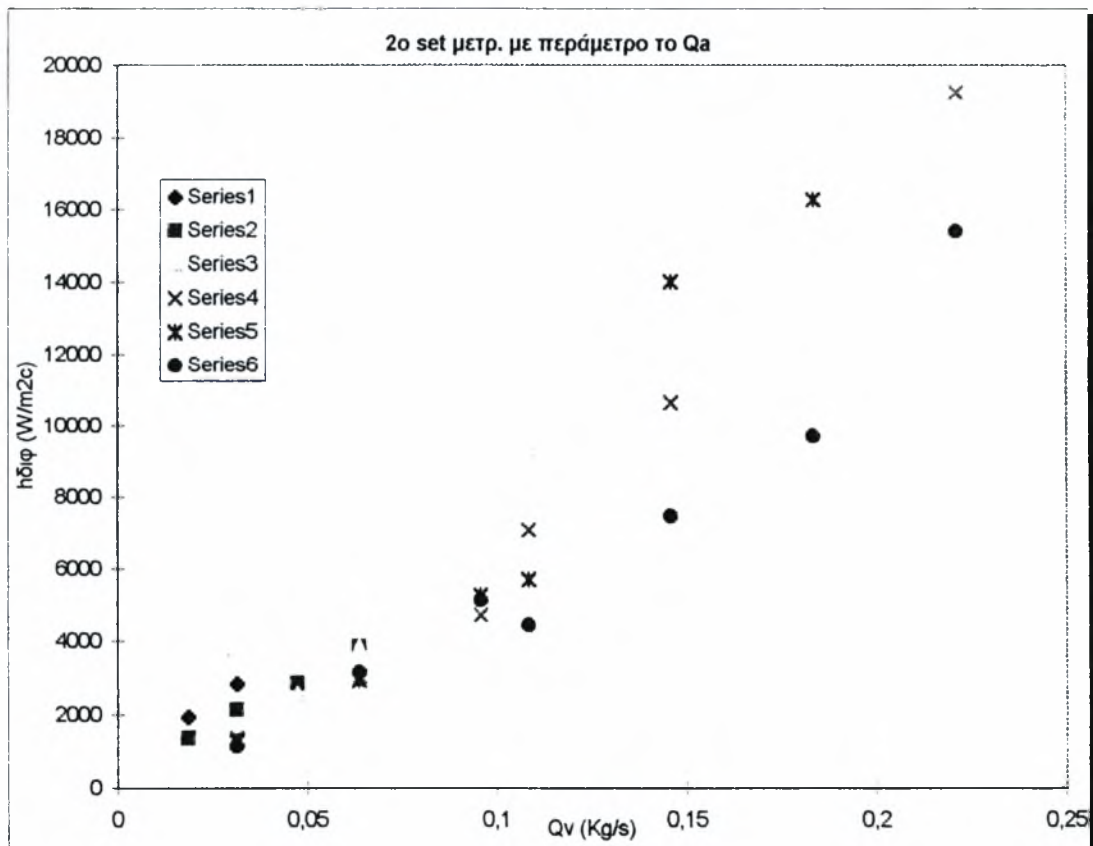
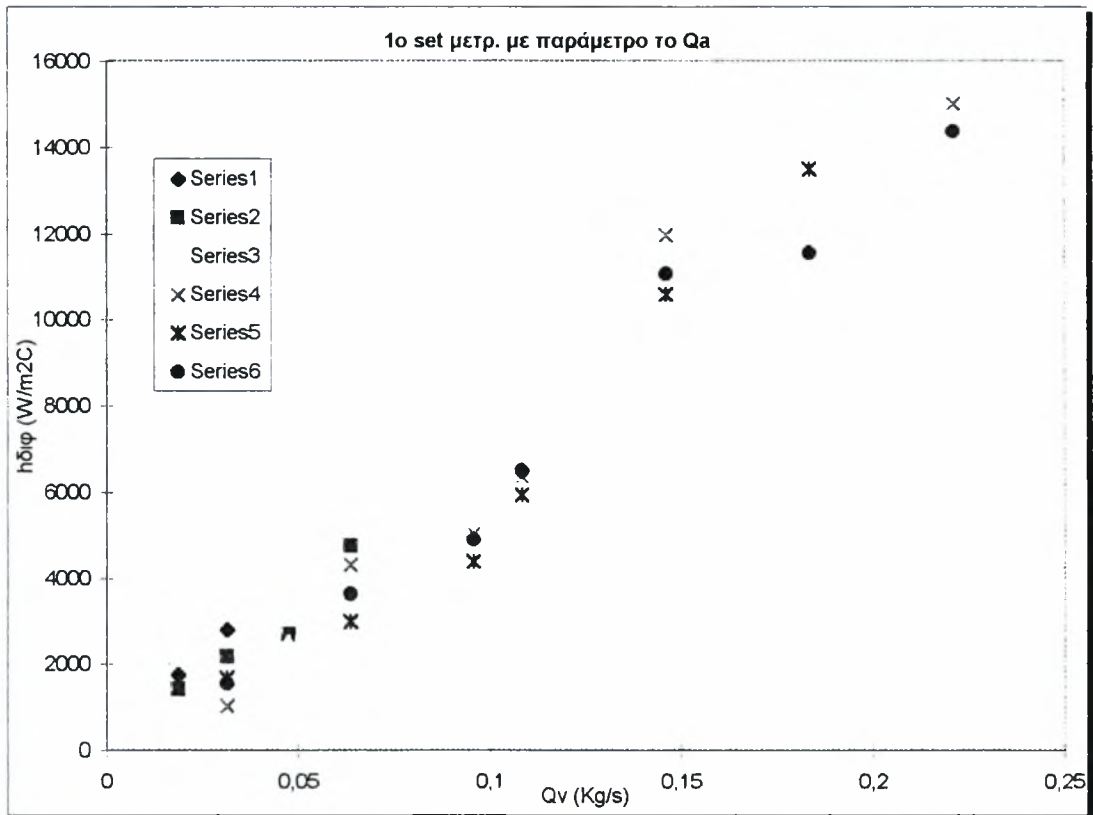


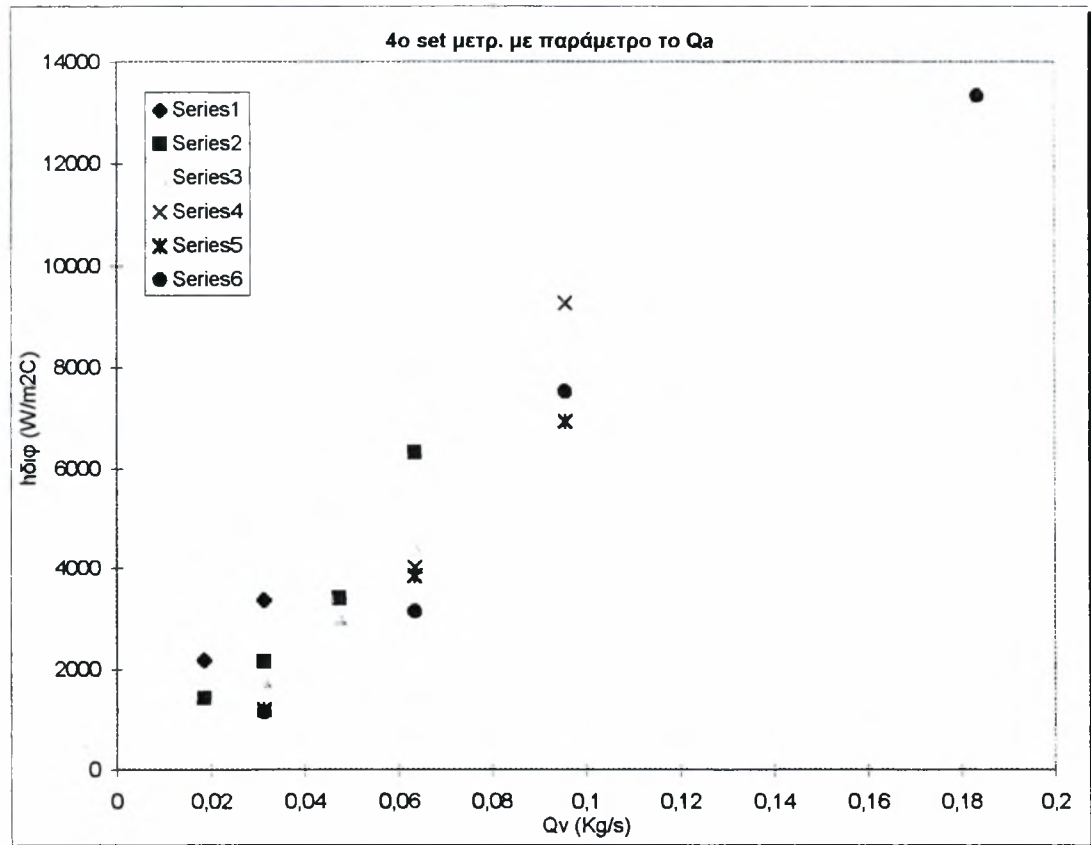
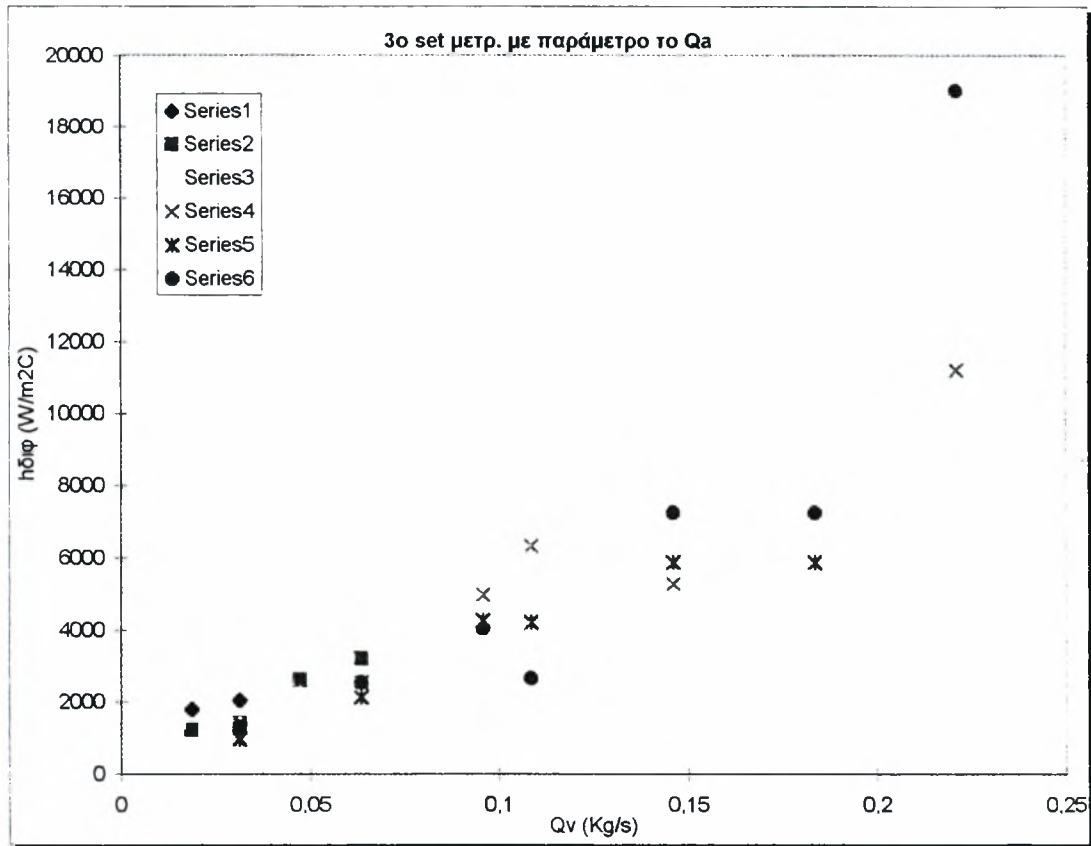


Στις μικρές παροχές του νερού η τάση εμφανίζεται αυξητική, αλλά αυτή η τάση γίνεται λιγότερο έντονη όσο αυξάνει η παροχή του νερού. Πιο συγκεκριμένα, η επίδραση του αέρα είναι ισχυρή στις χαμηλές παροχές του νερού και ασθενής στις υψηλές παροχές του νερού. Με πρόβλεψη του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας για μονοφασική ροή νερού μπορεί να ελεγχθεί η συμβατότητα στο όριο της μηδενικής παροχής του αέρα.

Προχωρώντας ένα επιπλέον βήμα στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, γίνεται δυνατή η δημιουργία των παρακάτω γραφικών παραστάσεων:

ΣΧΗΜΑ 5-11: Ο συντελεστής  $h_{\delta\varphi}$  (ή  $h_2$ ) ως συνάρτηση της παροχής του ψυχρού νερού για κάθε σείτ μέτρησης, με παράμετρο την παροχή του αέρα (Series 1:  $23\text{m}^3/\text{h}$ , Series 2:  $20\text{m}^3/\text{h}$ , Series 3:  $15\text{m}^3/\text{h}$ , Series 4:  $7\text{m}^3/\text{h}$ , Series 5:  $5\text{m}^3/\text{h}$ , Series 6:  $3\text{m}^3/\text{h}$ )





Αν εξαιρέσει κανείς τα series 1,2, όπου η σειρά των σημείων στο γράφημα είναι η λογική και αναμενόμενη σε όλα τα set μετρήσεων (πιο ψηλά οι μεγαλύτερες παροχές), στα series 3-6 υπάρχει ένα ανακάτεμα των σημείων



κατά τρόπο μη προβλέψιμο. Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψιν ότι όλες αυτές οι παροχές βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και για το λόγο αυτό δε μπορούν να βγουν ασφαλή συμπεράσματα.

Δυστυχώς, δε στάθηκε δυνατό να γίνουν πειράματα σε μεγαλύτερες παροχές, λόγω τεχνικών προβλημάτων (κλίμακα εναλλάκτη και μέγεθος σωληνώσεων κυρίως).

Στα διαγράμματα αυτά παρατηρείται μία αυξητική τάση (που προσεγγίζει τη γραμμικότητα) καθώς αυξάνει η παροχή του ψυχρού νερού. Σχεδόν σε όλα τα διαγράμματα του σχήματος 5.11 παρατηρείται μία **μη μονοτονική εξάρτηση του συντελεστή  $h_{\delta\phi}$  από την παροχή του αέρα**. Θα πρέπει στο μέλλον να διερευνηθεί αν αυτό αποτελεί μία πιθανή επίπτωση αλλαγής περιοχής ροής, κάτι που μάλλον δεν ισχύει, αφού τα αποτελέσματα εμφανίζονται αντικρουόμενα.

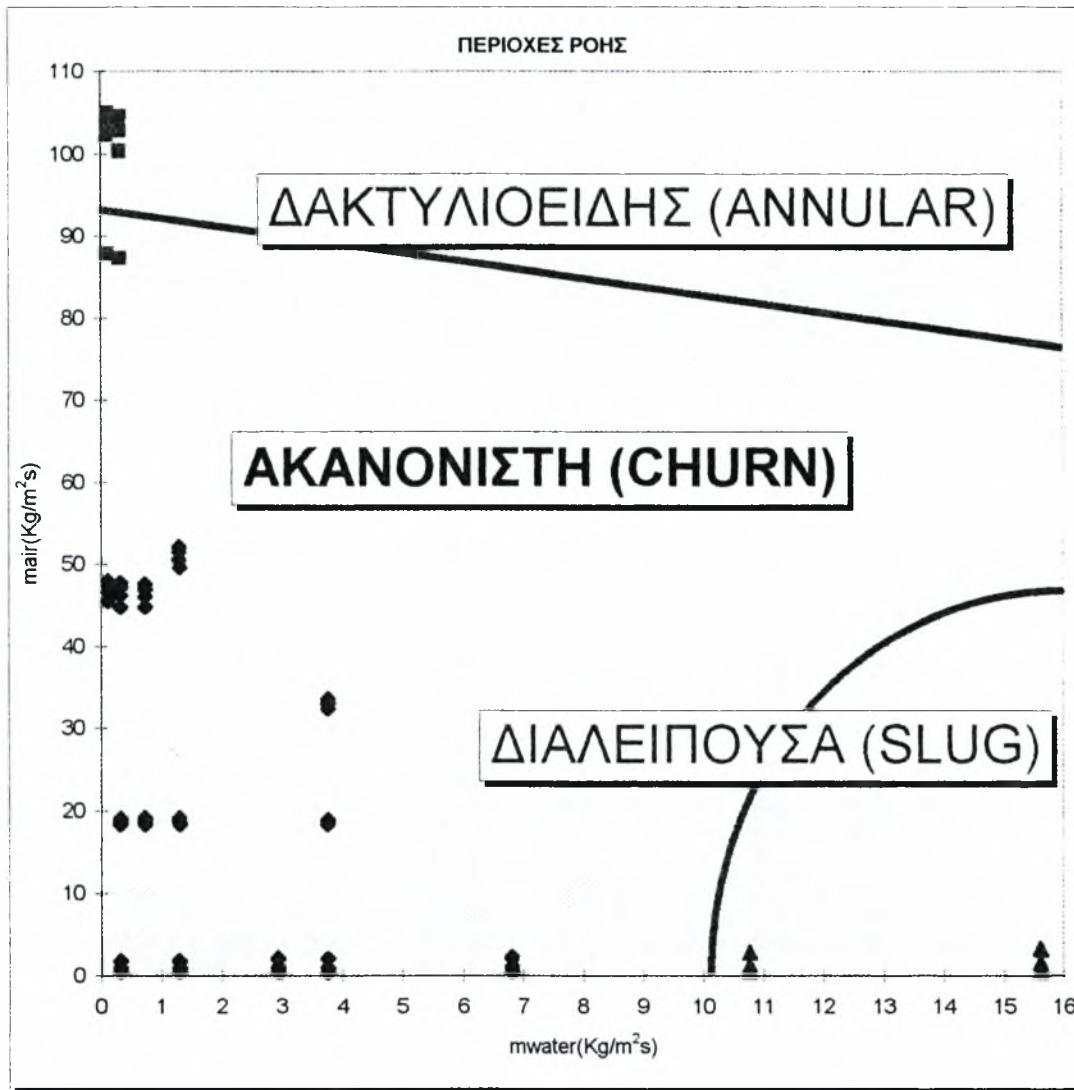
### 5.3.3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ $h_{\delta\phi}$

Μία πρώτη προσπάθεια που έγινε στη διπλωματική αυτή είναι να συσχετιστεί το είδος της ροής με το συντελεστή μετάδοσης θερμότητας που του αντιστοιχεί. Γίνεται χρήση του μοντέλου διφασικής ροής νερού-αέρα προς τα πάνω σε κατακόρυφο αγωγό κυκλικής διατομής. Και στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, έχει αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο μοντέλο δεν έχει καλή εφαρμογή στην προκειμένη περίπτωση. Ωστόσο, είναι το πιο κοντινό και αντιπροσωπευτικό μοντέλο.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 διατυπώνεται μία πρόταση, που απαιτεί μερικές κατασκευαστικές διαμορφώσεις επάνω στον εναλλάκτη. Με την υλοποίηση αυτών των αλλαγών θα καταστεί δυνατή η κατασκευή χάρτη περιοχών ροής για τη συγκεκριμένη γεωμετρία των πλακών του εναλλάκτη.

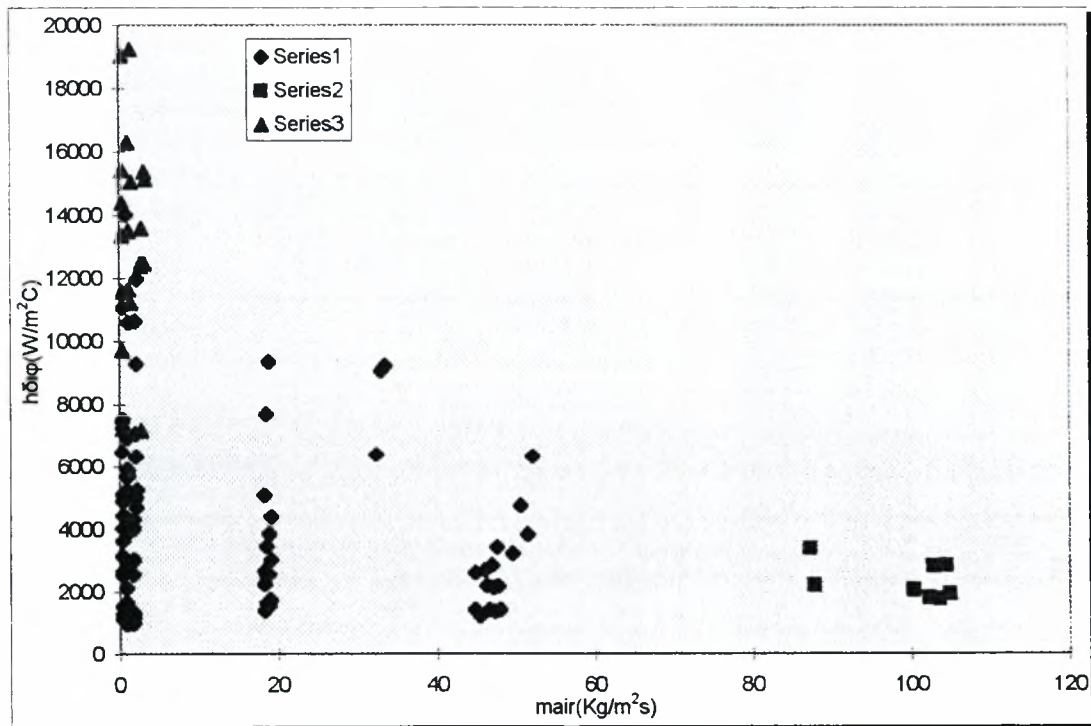
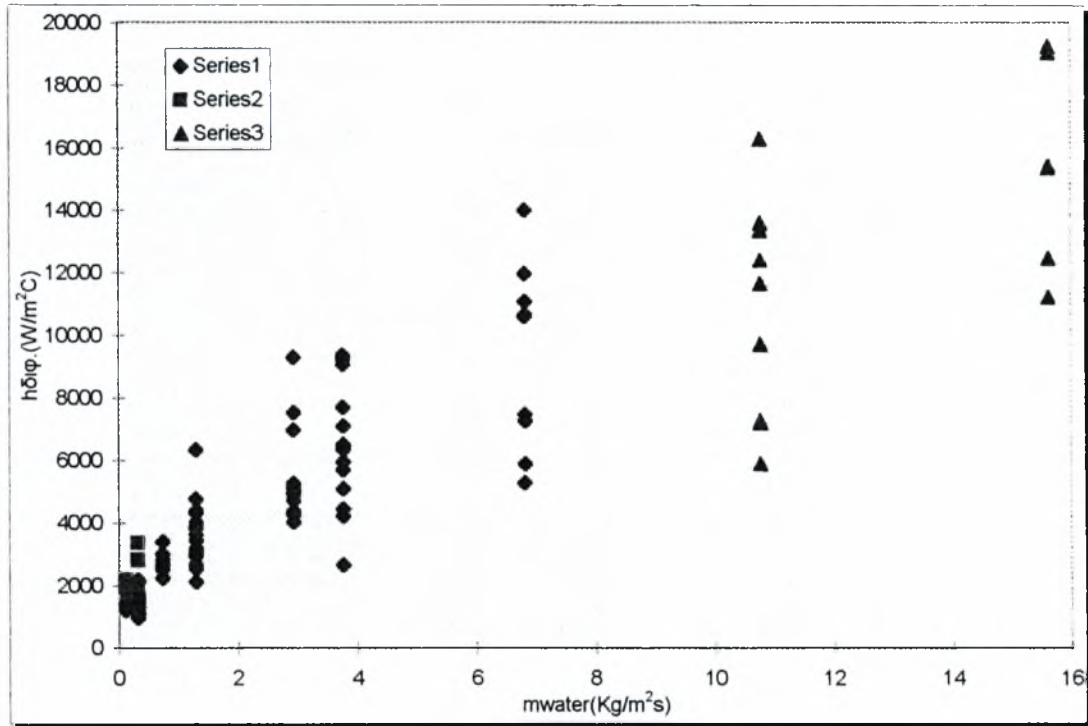
Ακολουθεί ο χάρτης περιοχών ροής που στηρίζεται στο μοντέλο αναφοράς.

ΣΧΗΜΑ 5-12: Χάρτης περιοχών ροής με βάση μοντέλο αναφοράς



Ακολουθούν γραφικές παραστάσεις, όπου απεικονίζεται η σχέση του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας με την περιοχή ροής.

ΣΧΗΜΑ 5-13: Ο συντελεστής  $h_{\delta\varphi}$  σε συνάρτηση α) με τη μαζική παροχή του νερού β) με τη μαζική παροχή του αέρα και με παράμετρο το είδος ροής

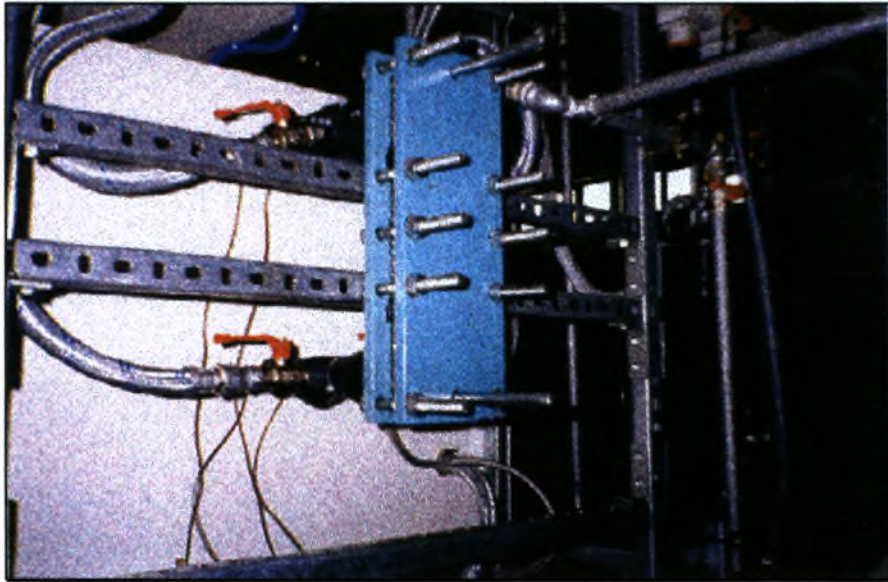


Από τα γραφήματα συνάγεται ότι οι μεγαλύτεροι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας απαντώνται στη διαλείπουσα, μετά στην ακανόνιστη

και οι μικρότεροι στη δακτυλιοειδή ροή. Το συμπέρασμα και πάλι είναι ότι οι μεγαλύτερες τιμές του  $h_{δφ}$  ισχύουν για μεγάλες παροχές νερού και μικρές παροχές αέρα.



## Κεφάλαιο 6: ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ



Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί την ανακεφαλαίωση της διπλωματικής εργασίας. Τα περιεχόμενά του είναι τα ακόλουθα:

1. Προβλήματα κατά την εκπόνηση της εργασίας.
2. Γενικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα.
3. Προτάσεις για επόμενες διπλωματικές.

## 6. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 6.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κεφάλαιο αυτό συνοψίζει όλη την ύλη της διπλωματικής εργασίας και επισημαίνει τα κυριότερα σημεία της. Κρίνεται σκόπιμο, η ανασκόπηση αυτή να ξεκινήσει από μία αναφορά στα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας.

- Η εργασία ξεκίνησε χρησιμοποιώντας ως θερμό ρευστό (μέσο θέρμανσης) το λάδι **SHELL THERMIA B**, με το οποίο είχαν γίνει πειράματα (με καθαρό νερό στο ρόλο του ψυχρού ρευστού) σε διπλωματική που είχε προηγηθεί (Αργυρόπουλος, 1995). Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας  $h_1$  από την πλευρά του λαδιού έπαιρνε μικρότερες τιμές από τον ολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $U$ , με αποτέλεσμα ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας  $h_2$  από την πλευρά του διφασικού μίγματος νερού-αέρα να παίρνει αρνητικές τιμές (αναλυτική εξήγηση σε προηγούμενο κεφάλαιο). Το γεγονός αυτό κατέστησε επιτακτική την αντικατάσταση του λαδιού από ένα άλλο θερμαντικό ρευστό. Επιλέχθηκε το νερό, για πολλούς λόγους (ευκολία στην εύρεση και τη χρήση, καθαρό, καλές θερμικές ιδιότητες κ.α.). Εν συνεχεία, ακολούθησαν τα πειράματα με τη χρήση του νερού ως θερμού ρευστού, που οδήγησαν σε καλά αποτελέσματα, σε γενικές γραμμές. Το φαινόμενο που παρατηρήθηκε με το λάδι, έκανε την εμφάνισή του και έδω, όμως σε πολύ μικρότερη κλίμακα.

- Παρατηρήθηκε μία ασυμφωνία στο θερμικό καθήκον των ρευστών που λαμβάνουν μέρος στη διεργασία. Πιο συγκεκριμένα, η θερμορροή από την πλευρά του ψυχρού ρευστού -του διφασικού μίγματος- ήταν στις πιο πολλές μετρήσεις αρκετά μεγαλύτερη από τη θερμορροή του θερμού ρευστού (είτε πρόκειται για το λάδι είτε για το νερό). Παράλληλα, σε όλες σχεδόν τις μετρήσεις η μεταβολή της θερμοκρασίας του θερμού νερού ήταν μικρότερη από  $1^{\circ}\text{C}$ , ενώ η θερμοκρασιακή μεταβολή του διφασικού μίγματος ήταν σημαντικά μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό, αφού (όπως εξηγείται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.1) για τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή  $U$  χρησιμοποιείται το θερμικό καθήκον (σε Watt) του ρεύματος με τη μεγαλύτερη μεταβολή της θερμοκρασίας. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις το ρεύμα αυτό ήταν το ίδιο, δηλαδή το διφασικό μίγμα, γεγονός που δεν αφήνει περιθώρια συγκρίσεων. Στις μετρήσεις 65-74, οι οποίες έγιναν απουσία αέρα, οι τιμές των θερμορροών ήταν πιο κοντινές, γεγονός που σημαίνει ότι υπάρχει πρόβλημα στον υπολογισμό του θερμικού καθήκοντος του αέρα. Για τον υπολογισμό αυτό έγινε η απλοποιητική παραδοχή ότι ο αέρας εισέρχεται και εξέρχεται από τον εναλλάκτη κορεσμένος σε νερό. Δυστυχώς, λόγω έλλειψης κατάλληλου εξοπλισμού στάθηκε αδύνατος ο έλεγχος της ορθότητας αυτής της παραδοχής.

- Για πρώτη φορά έγινε μία προσπάθεια να συσχετιστεί ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του διφασικού μίγματος με το είδος της ροής. Χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης περιοχών ροής που αντιστοιχεί στην κατακόρυφη

προς τα πάνω ροή στο εσωτερικό σωλήνα κυκλικής διατομής, λόγω της έλλειψης πλησιέστερου μοντέλου στη βιβλιογραφία. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα της συσχέτισης αυτής δε μπορούν να χαρακτηριστούν αξιόπιστα, με βεβαιότητα. Δυστυχώς, λόγω πίεσης χρόνου δε στάθηκε δυνατό να γίνει ειδική διαμόρφωση στον εναλλάκτη, ώστε να καταστεί δυνατή η φωτογράφιση της ροής για διάφορες παροχές. Κάτι τέτοιο θα επέτρεπε την κατασκευή του χάρτη περιοχών ροής για τη συγκεκριμένη γεωμετρία των πλακών του εναλλάκτη, με τις αυλακώσεις και τα στενά διάκενα.

Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών προτείνονται συγκεκριμένες λύσεις στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου. Επίσης, προτείνονται και ορισμένα άλλα ερευνητικά ενδιαφέροντα που έχουν σχέση με τον εναλλάκτη πλακών και πλαισίου.

Παρά τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν η διπλωματική εργασία προχώρησε ικανοποιητικά και έδωσε αποτελέσματα μέσα σε αναμενόμενα όρια για το συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $h_2$  του μίγματος. Τα κυριότερα συμπεράσματα, αλλά και χρήσιμες παρατηρήσεις αναφέρονται επιγραμματικά παρακάτω:

1. Ο συντελεστής  $h_2$  του διφασικού μίγματος κυμαίνεται στα  $10000\text{W/m}^2\text{C}$ , αρκετά υψηλότερος των συντελεστών που παρατηρούνται σε εναλλάκτες αυλών και κελύφους, για λειτουργία σε μονοφασική ροή. Δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες στη βιβλιογραφία για διφασική ροή, ώστε να γίνουν συγκρίσεις.
2. Από την ανάλυση που προηγήθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.3 εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι μεγαλύτερες τιμές του  $h_2$  παρατηρούνται για μεγάλες παροχές του διφασικού νερού και μικρές παροχές του αέρα. Το  $h_2$  εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την παροχή του νερού. Εξάλλου, όπως φαίνεται από τις μετρήσεις με καθαρό νερό ως ψυχρό μέσο (μετρήσεις 65-74), ο συντελεστής είναι της τάξης μερικών χιλιάδων. Από την άλλη πλευρά, στις μετρήσεις με καθαρό αέρα ως ψυχρό μέσο (μετρήσεις 75-82), ο συντελεστής είναι της τάξης του 100 και μικρότερος στις περισσότερες από αυτές.
3. Για σταθερή παροχή του θερμού νερού και διατηρώντας σταθερή και την παροχή του αέρα, όσο αυξάνεται η παροχή του ψυχρού νερού, παρατηρείται μία αύξηση του συντελεστή  $h_2$  κατά τρόπο που προσεγγίζει τη γραμμική συμπεριφορά. Δεν παρατηρείται τόσο καλή γραμμική συμπεριφορά όταν διατηρείται σταθερή η παροχή του νερού και αυξάνει η παροχή του αέρα. Η επίδραση του αέρα είναι ισχυρή (αυξητική) σε χαμηλές παροχές νερού και ασθενής σε υψηλές παροχές νερού.
4. Οι μετρήσεις για το διφασικό μίγμα πραγματοποιήθηκαν σε στενά όρια θερμοκρασίας ( $10\text{-}28^\circ\text{C}$ ) και πιέσεων (1-2.5 bar). Τα αποτελέσματα αφορούν αυτές τις συνθήκες και θα ήταν παρακινδυνευμένο να επεκταθούν σε υψηλότερες πιέσεις.

5. Μπορεί να δημιουργηθεί στον αναγνώστη η απορία γιατί δε λήφθηκαν μετρήσεις με περισσότερους συνδυασμούς παροχών, όπως πολύ περισσότερο νερό με πολύ περισσότερο αέρα. Λόγω τεχνικών προβλημάτων (κυρίως λόγω της κλίμακας του εναλλάκτη που δεν αντέχει πολύ μεγάλη πτώση πίεσης) αυτό στάθηκε αδύνατο. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπήρχαν ορισμένα όρια πέρα από τα οποία δεν ανέβαινε άλλο η παροχή του αέρα και του νερού. Για παράδειγμα, σε πολύ μικρές παροχές του ψυχρού νερού ο αέρας μόλις που έφτανε ως τα  $23\text{m}^3/\text{h}$ . Η παροχή αυτή σιγά-σιγά μειωνόταν, όσο αυξανόταν η παροχή του ψυχρού νερού. Αντίστοιχα, υπήρχαν κάποια όρια και για το ψυχρό νερό.
6. Είχε αναφερθεί και σε προηγούμενο σημείο ότι παράλληλα με τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των ρευμάτων γινόταν μία ακόμη μέτρηση θερμοκρασίας, αυτή του εξωτερικού τμήματος του τοιχώματος του σωλήνα στην έξοδο του διαφασικού μίγματος από τον εναλλάκτη. Η λογική ήταν να φανεί ο ρόλος της ακτινοβολίας του αέρα προς το τοίχωμα, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις. Αποδείχτηκε, όμως, ότι δεν υπήρχε σημαντική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ρευστού και τοιχώματος (λιγότερο του  $1^\circ\text{C}$ ) οπότε δε χρειάστηκε διόρθωση.
7. Σύμφωνα με το μοντέλο που λήφθηκε ως πρότυπο, τα πειράματα που διεξήχθησαν αντιστοιχούν σε τρεις περιοχές ροής: **α) ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΗΣ (ANNULAR) β) ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΗ (CHURN) γ) ΔΙΑΛΕΙΠΟΥΣΑ (SLUG)**. Η σειρά κατά την οποία αυξάνει προοδευτικά ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας είναι η ακόλουθη: 1) ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΗΣ 2) ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΗ 3) ΔΙΑΛΕΙΠΟΥΣΑ, δηλαδή καθώς αυξάνει η μαζική παροχή του νερού, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

## 6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΟΜΕΝΕΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

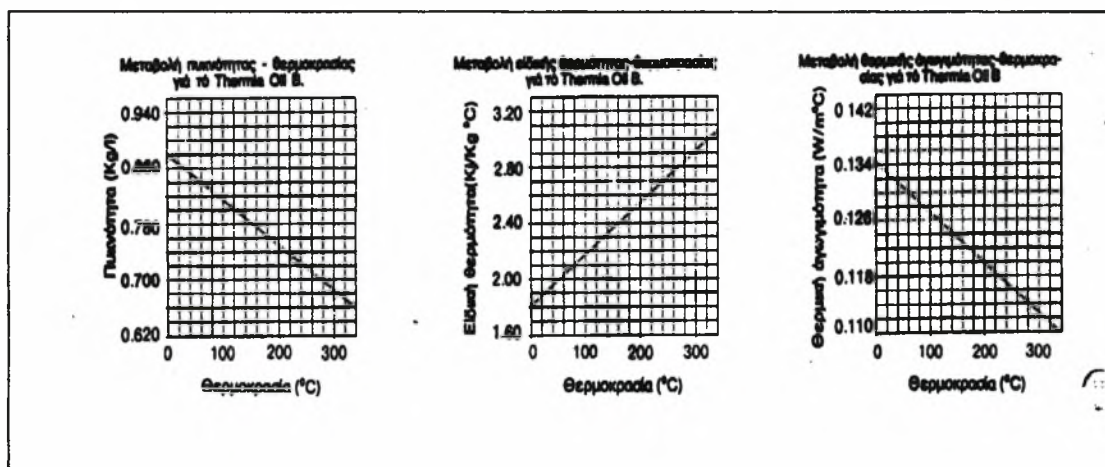
Στα πλαίσια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας παρατηρήθηκαν ορισμένα προβλήματα, τα οποία αναπτύχθηκαν στην αρχή αυτού του κεφαλαίου. Λόγω πίεσης χρόνου στάθηκε αδύνατο να επιλυθούν άμεσα τα προβλήματα αυτά, όμως θα αντιμετωπιστούν κατάλληλα στο άμεσο μέλλον. Με οδηγό τις προτάσεις που ακολουθούν, θα γίνει δυνατή η διεξαγωγή πιο έγκυρων και αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

- Αρχικά, πρέπει να τοποθετηθούν μετρητικά της υγρασίας του αέρα στην είσοδο και την έξοδο του από τον εναλλάκτη, ώστε να υπολογίζεται με ακρίβεια η μεταβολή της ενθαλπίας του και το θερμικό καθήκον.
- Κατά δεύτερο λόγο, πρέπει να αντικατασταθεί ο ακόλουθος του εναλλάκτη (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2) με διαφανές κομμάτι plexi-glass των ίδιων διαστάσεων, η εσωτερική πλευρά του οποίου πρέπει να υποστεί θερμική τύπωση, ώστε να αποκτήσει τις πτυχώσεις που φέρουν οι πλάκες του συγκεκριμένου εναλλάκτη. Με τον τρόπο αυτό θα δημιουργηθούν τα κατάλληλα διάκενα για τη διευθέτηση της ροής και θα ληφθούν φωτογραφίες της ροής σε διάφορες παροχές, ώστε να σχεδιαστεί ο χάρτης των περιοχών της ροής για τη συγκεκριμένη γεωμετρία.



- Εξάλλου, πρέπει να αντικατασταθεί το ροόμετρο του θερμού νερού (GPI electronic digital meter), το οποίο αποδείχθηκε ασταθές (η ένδειξη 'έπαιζε' πολύ) . Προτείνεται η χρήση ενός κοινού ροτάμετρου.
- Παράλληλα, προτείνεται η αγορά και τοποθέτηση επιπλέον πλακών ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο αξιόπιστα. Ο εναλλάκτης του εργαστηρίου αποτελείται από 13 πλάκες, από τις οποίες οι δύο ακραίες δε συμμετέχουν στη διεργασία (δεν έχουν θύρες, δεν επιτρέπουν τη διέλευση των ρευστών, απλά αποτελούν ένα σύνορο). Δηλαδή, μόνο 11 πλάκες αποτελούν την επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας, είναι 'θερμικές', όπως αποκαλούνται. Με την τοποθέτηση επιπλέον πλακών θα αυξηθεί η επιφάνεια εναλλαγής και οι υπολογισμοί θα γίνουν πιο ακριβείς.
- Επίσης, θα ήταν ενδιαφέρον να τοποθετηθούν στον εναλλάκτη πλάκες με διαφορετική γωνία κλίσης πτυχώσεων ( $60^{\circ}$  στον εναλλάκτη του εργαστηρίου), για να βρεθεί η επιρροή της στο συντελεστή μετάδοσης θερμότητας. Κατά αντιστοιχία, θα μπορούσαν να τοποθετηθούν πλάκες διαφορετικής γεωμετρίας ή και διαφορετικού υλικού για να βγουν τα αντίστοιχα συμπεράσματα.
- Στο κύκλωμα πεπιεσμένου αέρα θα πρέπει να τοποθετηθεί ισχυρότερος συμπιεστής, ώστε να μπορούν να γίνουν πειράματα σε υψηλότερες παροχές αέρα (σε υψηλότερες πιέσεις). Αυτό θα δημιουργήσει και απαίτηση για μερική ανακατασκευή του δικτύου σωληνώσεων, ώστε να αντέχει σε μεγαλύτερες πιέσεις.
- Εξάλλου, ένα άλλο ερευνητικό θέμα είναι η μελέτη των αποθέσεων στον εναλλάκτη πλακών του εργαστηρίου. Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 έχει γίνει αναφορά στη σημασία των επικαθήσεων στη βιομηχανία και στην προσπάθεια αντιμετώπισής τους.

## Κεφάλαιο 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ



Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα παραρτήματα, με την ακόλουθη σειρά:

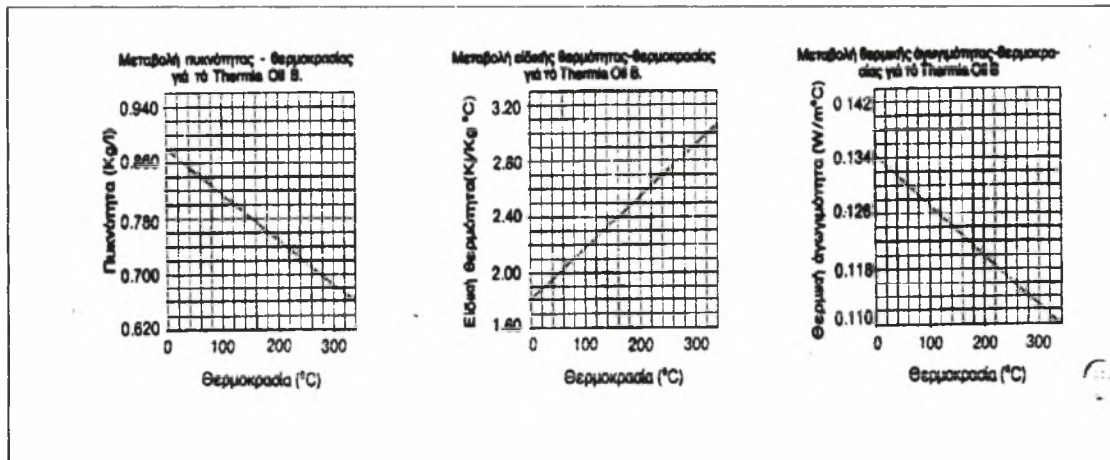
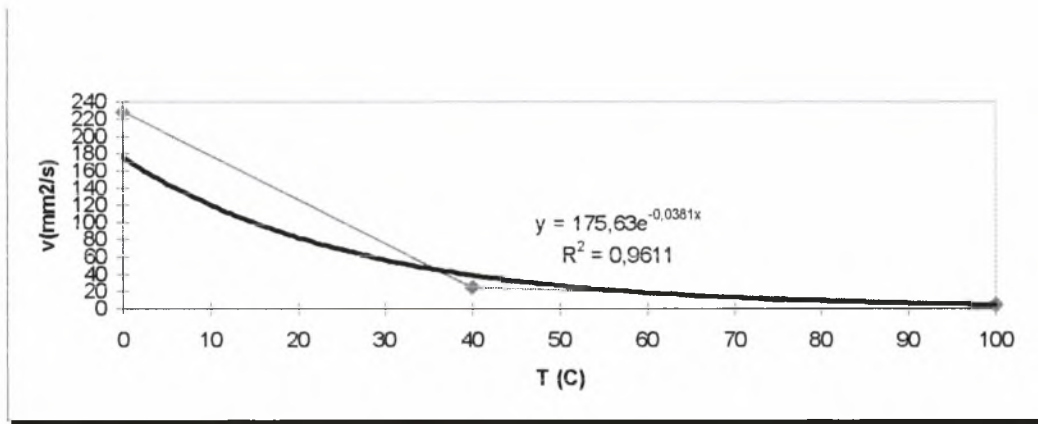
1. Προσέγγιση των ιδιοτήτων των ρευστών της διεργασίας.
2. Βαθμονόμηση των μετρητικών οργάνων της πειραματικής διάταξης.
3. Παρουσίαση των πειραματικών μετρήσεων με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B.
4. Παρουσίαση των πειραματικών μετρήσεων με θερμό ρεύμα το νερό.
5. Αποτελέσματα του προγράμματος APLE1 της HTFS.

## 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

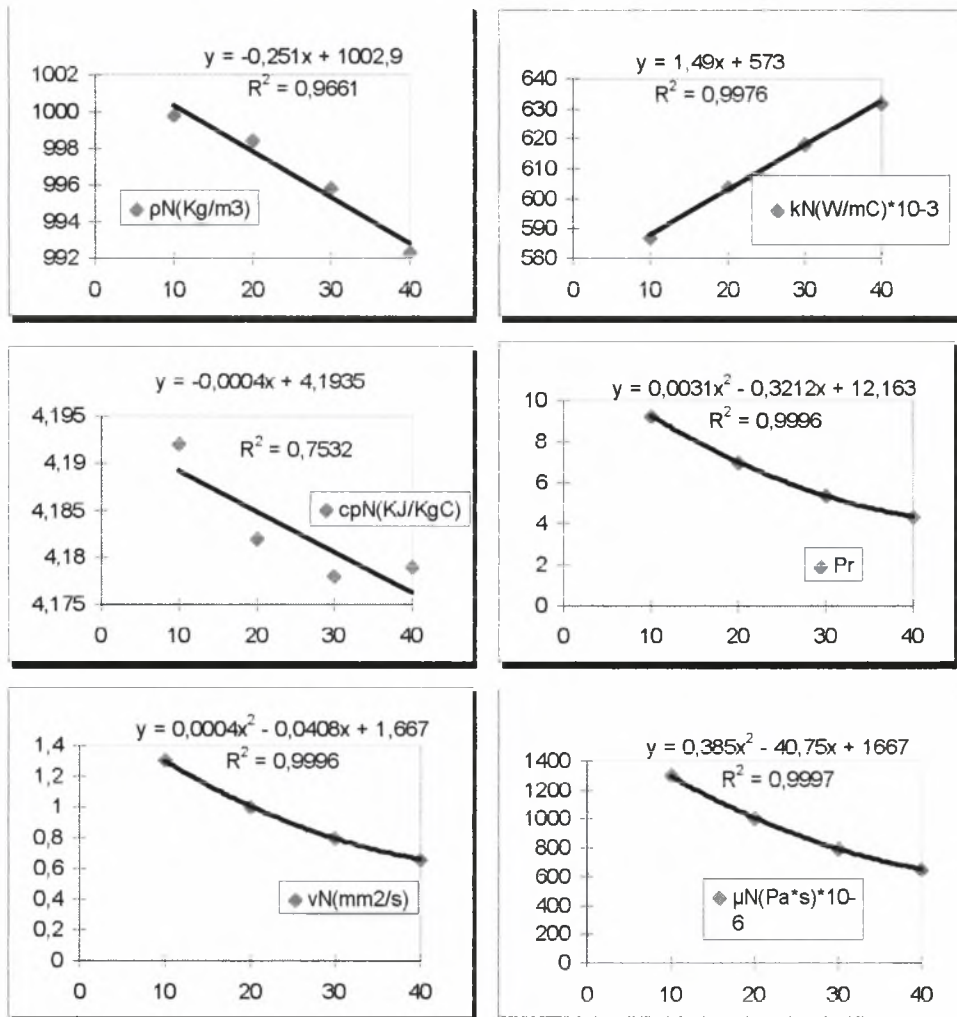
### 7.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΛΑΔΙΟΥ, ΑΕΡΑ, ΝΕΡΟΥ

Ακολουθούν διαγράμματα που παρουσιάζουν την προσέγγιση στις ιδιότητες (φυσικές κυρίως) του λαδιού, του αέρα και του νερού.

ΣΧΗΜΑ 7-1: Προσέγγιση φυσικών ιδιοτήτων λαδιού

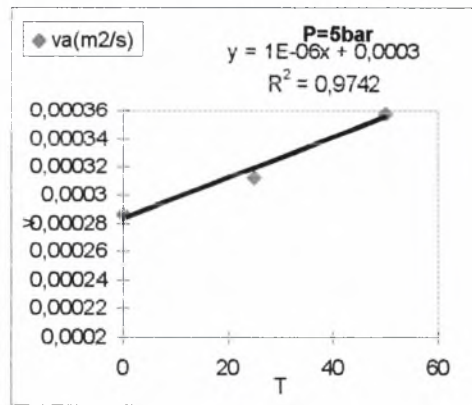
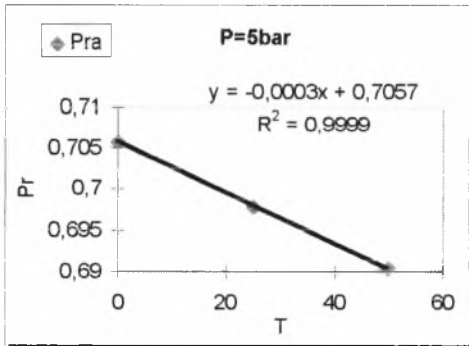
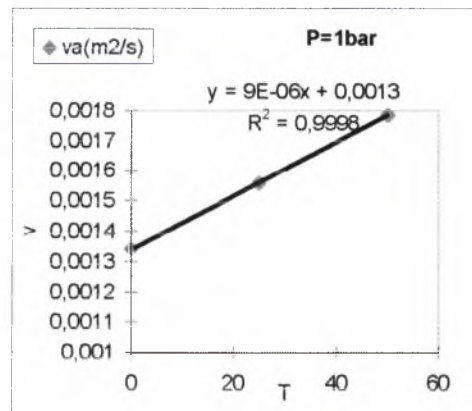
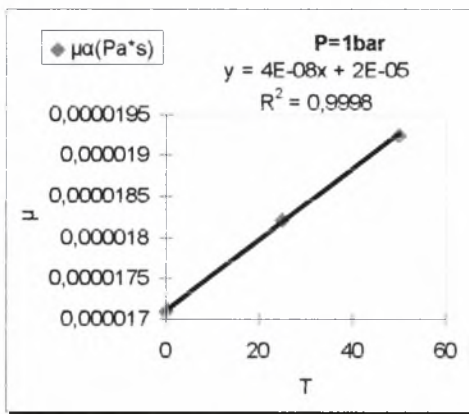
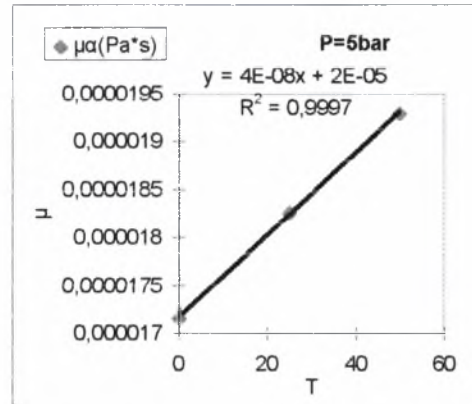
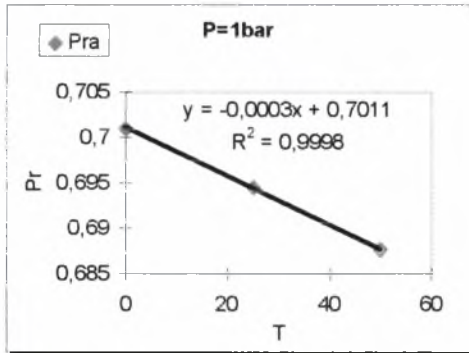
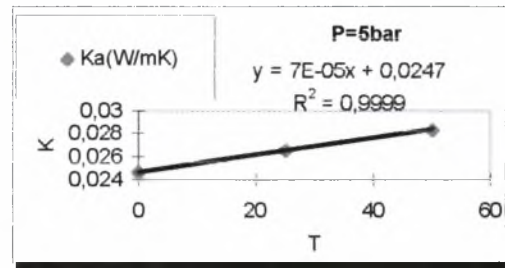
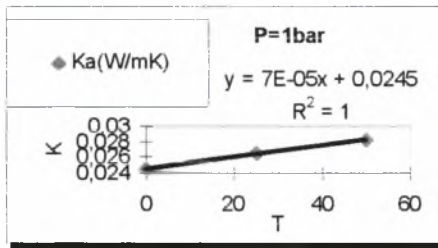


ΣΧΗΜΑ 7-2: Προσέγγιση φυσικών ιδιοτήτων νερού σε P=1bar

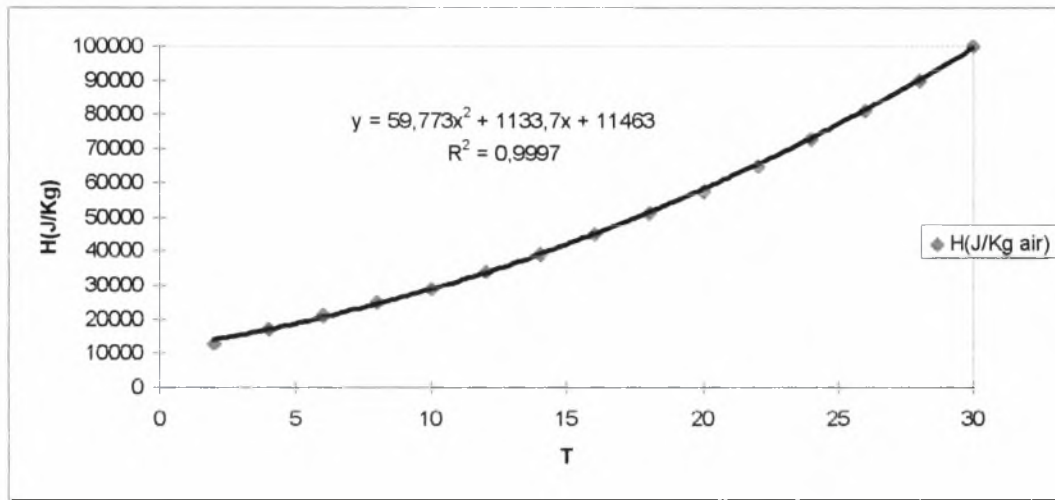




ΣΧΗΜΑ 7-3: Προσέγγιση φυσικών ιδιοτήτων αέρα



ΣΧΗΜΑ 7-4: Προσέγγιση μεταβολής ενθαλπίας αέρα με βάση το ψυχομετρικό διάγραμμα



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Οι φυσικές ιδιότητες του λαδιού προέρχονται από κατάλογο της SHELL, ενώ οι ιδιότητες του νερού και του αέρα από το βιβλίο 'ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ', Κ.ΠΑΣΠΑΛΑΣ. Οι ιδιότητες του νερού προσεγγίστηκαν στην πίεση του 1 bar, αφού η επίδραση της πίεσης (στην περιοχή 1-5 bar, όπου λαμβάνονται οι μετρήσεις) είναι αμελητέα και οι φυσικές ιδιότητες εξαρτώνται αποκλειστικά από τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Αναφορικά με τον αέρα, όλες οι ιδιότητές του είναι ανεξάρτητες της πίεσης στην περιοχή 1-5 bar, εκτός από το κινηματικό ιξώδες  $\nu$ . Το μέγεθος αυτό υπολογίζεται ως το πηλίκο  $\mu/\rho$  (δυναμικό ιξώδες/πυκνότητα).

## 7.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

### 7.2.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟΥ

Όπως κάθε μετρητική συσκευή, έτσι και το συγκεκριμένο θερμόμετρο απαιτεί βαθμονόμηση, για μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων του πειράματος. Η βαθμονόμηση έγινε για τα 5 πρώτα κανάλια του θερμομέτρου, με θερμοστοιχεία Κ.

#### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:

Τα 5 θερμοστοιχεία τύπου Κ που αντιστοιχούν στα κανάλια 1-5 του θερμομέτρου βουτήχτηκαν σε νερό στο βραστήρα **TECHNE**. Σαν πρότυπη θερμοκρασία του νερού (θερμοκρασία περιβάλλοντος) λήφθηκε η ένδειξη του πολυμέτρου **CONSORT C832 MULTI-CHANNEL ANALYSER**, το οποίο έχει ένδειξη θερμοκρασίας και pH. Το θερμοκρασιακό εύρος, όπως θα δειχθεί και παρακάτω, είναι **11-34°C** και επιλέχθηκε στην περιοχή, φυσικά, που ενδιαφέρει την πειραματική διαδικασία, αφού όπως θα φανεί και από τις μετρήσεις οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μέσα στην περιοχή αυτή. Σαν ένα πρώτο σχόλιο μπορεί να αναφερθεί η γρήγορη απόκριση των θερμοστοιχείων στις μετρήσεις.

Παρακάτω ακολουθεί πίνακας με τις μετρήσεις που έγιναν για τη βαθμονόμηση του θερμομέτρου καθώς και οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις, η εξαγωγή της γραμμής τάσης για κάθε κανάλι και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

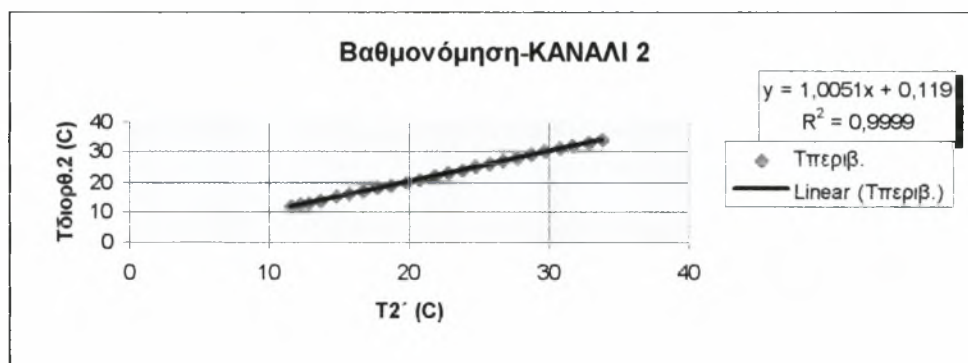
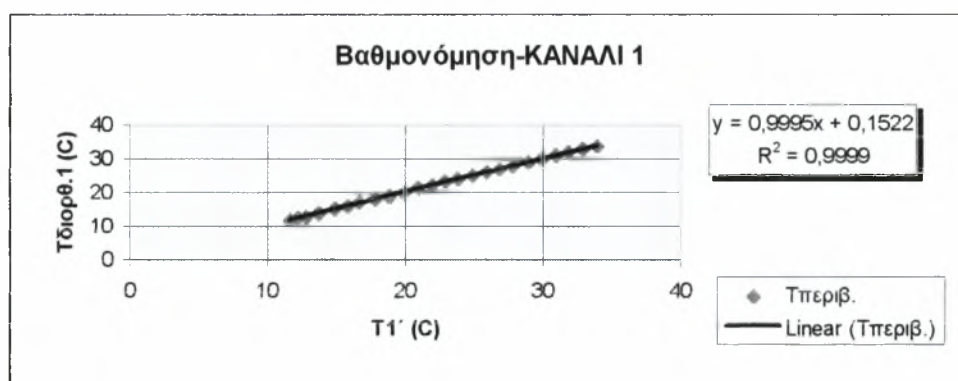
**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-1: Μετρήσεις για τη βαθμονόμηση του θερμομέτρου**

	T1'	T2'	T3'	T4'	T5'	Tπεριβ.
1	11,6	11,6	11,6	11,7	11,7	11,7
2	12,2	12,2	12,3	12,4	12,3	12,4
3	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,9
4	13,7	13,7	13,8	13,9	13,9	13,9
5	14,9	14,8	14,9	15	14,9	15,1
6	15,8	15,7	15,8	15,9	15,7	15,9
7	16,7	16,7	16,8	16,9	16,7	16,9
8	17,8	17,7	17,8	17,9	17,7	17,9
9	18,8	18,7	18,8	18,9	18,7	18,9
10	19,9	19,8	19,9	19,9	19,7	20
11	20,9	20,8	20,9	21	20,7	21
12	21,9	21,8	21,9	21,9	21,8	22
13	22,9	22,8	23	23	22,8	23,1
14	23,8	23,8	23,8	23,9	23,7	24
15	24,9	24,7	24,8	24,9	24,6	25,1
16	25,9	25,7	25,7	25,8	25,6	26
17	26,8	26,7	26,7	26,9	26,6	27

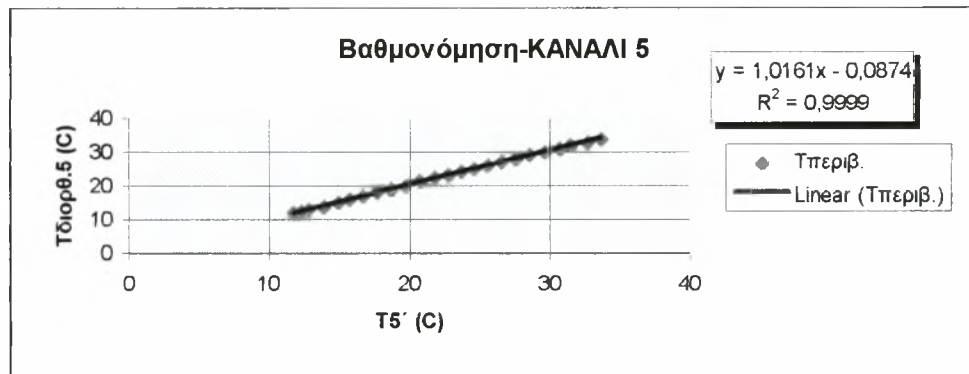
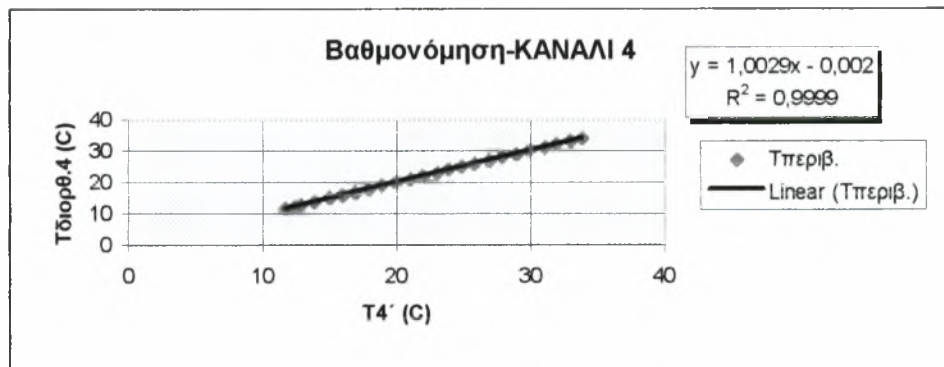
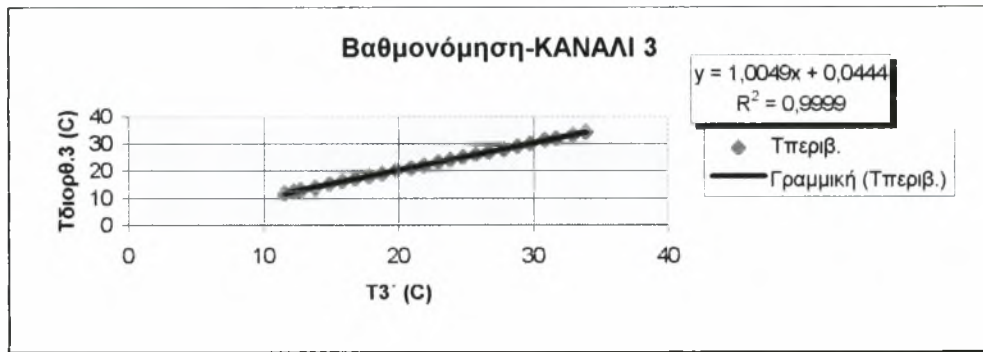
18	27,8	27,7	27,8	27,9	27,6	27,9
19	28,9	28,7	28,8	28,9	28,6	29
20	29,9	29,7	29,8	29,9	29,6	30
21	30,9	30,8	30,9	31,1	30,7	31,1
22	31,8	31,7	31,7	31,9	31,5	32
23	32,9	32,8	32,9	33	32,7	33
24	33,9	33,8	33,9	33,9	33,7	34

**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:** Η βαθμονόμηση που περιγράφεται στο σημείο αυτό ισχύει μόνο για το πρώτο σετ μετρήσεων, που λήφθηκε με τη χρήση λαδιού. Η βαθμονόμηση του οργάνου για το δεύτερο σετ μετρήσεων (με νερό) έγινε μηχανικά, αλλάζοντας κατάλληλα το setup του θερμομέτρου, ώστε να προσεγγίζουν τα κανάλια του με μεγάλη ακρίβεια τις θερμοκρασίες που ενδιαφέρουν, δηλαδή η βαθμονόμηση έγινε στους 25<sup>0</sup>C.

**ΣΧΗΜΑ 7-5:** Γραφικές παραστάσεις των 5 καναλιών του θερμομέτρου (βαθμονόμηση)







**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:**

**1. ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ**

$$T_1 (\text{διόρθωση}) = (0,9995) T_1 (\text{ένδειξη}) + 0,1522$$

$$T_2 (\text{διόρθωση}) = (1,0051) T_2 (\text{ένδειξη}) + 0,119$$

$$T_3 (\text{διόρθωση}) = (1,0049) T_3 (\text{ένδειξη}) + 0,0444$$

$$T_4 (\text{διόρθωση}) = (1,0029) T_4 (\text{ένδειξη}) - 0,002$$

$$T_5 (\text{διόρθωση}) = (1,0161) T_5 (\text{ένδειξη}) - 0,0874$$

**2. ΣΧΟΛΙΑ**

• Στο κανάλι 5 χρησιμοποιήθηκε θερμοστοιχείο εξωτερικών επιφανειών, ενώ στα άλλα 4 κανάλια τα θερμοστοιχεία ήταν εσωτερικά (βυθιζόμενα). Παρατηρήθηκε ότι το κανάλι 5 είχε πιο αργή απόκριση. Επίσης, από τη γραμμή τάσης φαίνεται ότι το κανάλι 5 απέχει περισσότερο από την 'πραγματική' θερμοκρασία περιβάλλοντος.

- Η συσχέτιση που επιτεύχθη ήταν πολύ υψηλή για όλα τα κανάλια, αφού υπολογίστηκε ο **συντελεστής  $R^2=0,9999 \approx 1$** . Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι οι εξισώσεις των γραμμών τάσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς φόβο σφάλματος.
- Όπως φαίνεται από τις γραμμές τάσεων τα κανάλια δίνουν μετρήσεις πολύ κοντά στις αναμενόμενες, γεγονός που δείχνει ότι το θερμόμετρο λειτουργεί πολύ καλά και ότι οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν (με βάση την κάθε γραμμή τάσης για τις θερμοκρασίες που δείχνει το κάθε κανάλι) είναι πολύ μικρές.

### 7.2.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΡΟΟΜΕΤΡΩΝ

Για τη βαθμονόμηση των ροομέτρων χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακή ζυγαριά ακριβείας 5 gr και ένδειξης 3 χιλιοστών του Kg. Παρακάτω παρουσιάζονται όλες οι μετρήσεις υπό μορφή πινάκων, καθώς και οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 7-2: Μικρό ροόμετρο ψυχρού νερού

A/A	ένδειξη (gpm)	χρόνος (s)	ένδειξη ζυγού (Kg)	kg/s
1	1,5	10	0,945	0,0945
2	1	10	0,665	0,0665
3	0,75	10	0,47	0,047
4	0,5	10	0,3	0,03
5	0,3	10	0,175	0,0175
6	0	10	0	0

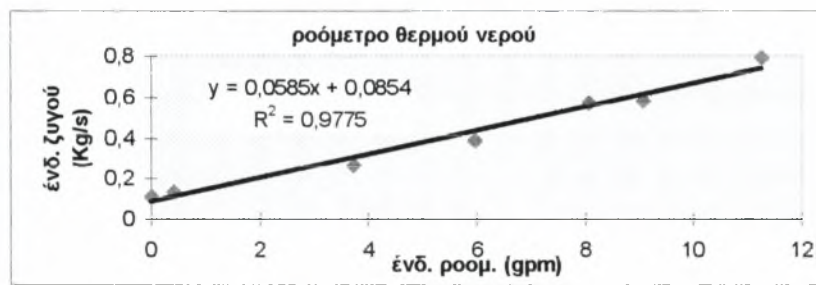
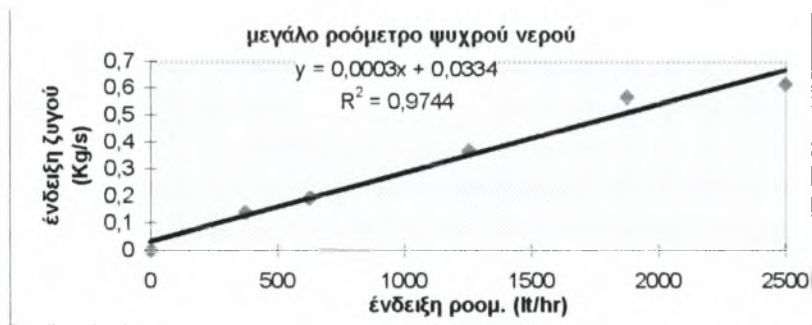
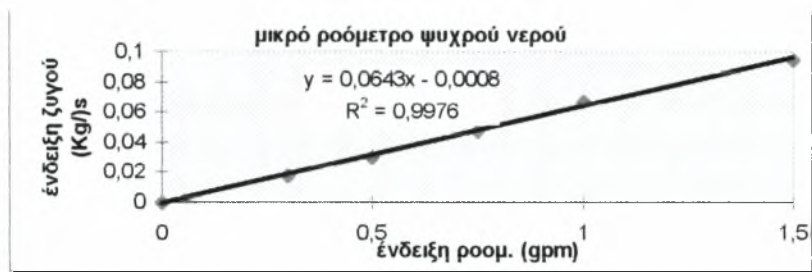
#### ΠΙΝΑΚΑΣ 7-3: Μεγάλο ροόμετρο ψυχρού νερού

A/A	ένδειξη (lt/hr)	χρόνος (s)	ένδειξη ζυγού (Kg)	kg/s
1	2500	10	6,12	0,612
2	1875	10	5,64	0,564
3	1250	10	3,68	0,368
4	625	10	1,925	0,1925
5	375	10	1,39	0,139
6	0	10	0	0

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 7-4: Ροόμετρο θερμού νερού

A/A	ένδειξη (gpm)	χρόνος (s)	ένδειξη ζυγού (Kg)	kg/s
1	11,25	10	7,96	0,796
2	9,06	10	5,825	0,5825
3	8,06	10	5,7	0,57
4	5,97	10	3,9	0,39
5	3,73	10	2,645	0,2645
6	0,41	10	1,36	0,136
7	0	10	1,095	0,1095

**ΣΧΗΜΑ 7-6: Γραφικές παραστάσεις των βαθμονομήσεων των ροομέτρων**



**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:**

**1. ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΑΣΗΣ ΡΟΟΜΕΤΡΩΝ**

- |                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| • μικρό ροόμετρο ψυχρού νερού  | $m(Kg/s)=0,0643*Q(GPM)-0,0008$   |
| • μεγάλο ροόμετρο ψυχρού νερού | $m(Kg/s)=0,0003*Q(lt/hr)+0,0334$ |
| • ροόμετρο θερμού νερού        | $m(Kg/s)=0,0585*Q(GPM)+0,0854$   |

2. Οι μετρήσεις της βαθμονόμησης λήφθηκαν στις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας των πειραμάτων.

**7.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΘΕΡΜΟ ΡΕΥΜΑ ΛΑΔΙ SHELL THERMIA B**

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται οι πίνακες που περιέχουν όλα τα μεγέθη που αντιστοιχούν στις μετρήσεις που έλαβαν χώρα με θερμό μέσο το λάδι **SHELL THERMIA B**.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-5: Μετρήσεις θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου των ρευστών και μέσες θερμοκρασίες\***

Α/Α	Τ1' ΕΙΣΛ	Τ1 ΕΙΣΛ	Τ2' ΕΞΛ	Τ2 ΕΞΛ	Τ3' ΕΙΣΔ	Τ3 ΕΙΣΔ	Τ4' ΕΞΔ	Τ4 ΕΞΔ	Τ5' ΤΟΙΧ	Τ5 ΤΟΙΧ	Τλμ	Τδμ
1	26,6	26,7389	25,7	25,95007	18,7	18,83603	21,7	21,76093	20,9	21,14909	26,34449	20,29848
2	34,9	35,03475	33,2	33,48832	19,9	20,04191	25,3	25,37137	24	24,299	34,26154	22,70664
3	39,1	39,23265	36,4	36,70464	20,6	20,74534	26,3	26,37427	25,3	25,61993	37,96865	23,55981
4	39,4	39,5325	36,6	36,90566	21,1	21,24779	25,7	25,77253	25,3	25,61993	38,21908	23,51016
5	39	39,1327	37,1	37,40821	19,2	19,33848	26,9	26,97601	26,1	26,43281	38,27046	23,15725
6	38,4	38,533	36,6	36,90566	20,6	20,74534	27	27,0763	26,4	26,73764	37,71933	23,91082
7	38,7	38,83285	36,2	36,50362	22,2	22,35318	26	26,0734	25,9	26,22959	37,66824	24,21329
8	38,7	38,83285	36,2	36,50362	23,4	23,55906	27,4	27,47746	27,1	27,44891	37,66824	25,51826
9	38,8	38,9328	36,4	36,70464	23,7	23,86053	27,7	27,77833	27,4	27,75374	37,81872	25,81943
10	38,8	38,9328	36,5	36,80515	23,4	23,55906	28,7	28,78123	28,9	29,27789	37,86898	26,17015
11	38,7	38,83285	36,9	37,20719	23,4	23,55906	30,3	30,38587	28,8	29,17628	38,02002	26,97247
12	40,2	40,3321	37	37,3077	20,6	20,74534	24,7	24,76963	24,2	24,50222	38,8199	22,75749
13	39,4	39,5325	36,6	36,90566	20,9	21,04681	26,1	26,17369	25,4	25,72154	38,21908	23,61025
14	39,2	39,3326	37,1	37,40821	21,1	21,24779	30,3	30,38587	26,6	26,94086	38,37041	25,81683
15	39,1	39,23265	36,3	36,60413	21,9	22,05171	25,5	25,57195	25,1	25,41671	37,91839	23,81183
16	39	39,1327	36,4	36,70464	22,1	22,25269	26,8	26,87572	26,4	26,73764	37,91867	24,56421
17	39,2	39,3326	37,2	37,50872	22	22,1522	30,7	30,78703	28,2	28,56662	38,42066	26,46962
18	39,2	39,3326	36,5	36,80515	22,7	22,85563	26,1	26,17369	25,7	26,02637	38,06888	24,51466
19	38,9	39,03275	36,5	36,80515	22,9	23,05661	27,4	27,47746	26,8	27,14408	37,91895	25,26704
20	39,1	39,23265	37,2	37,50872	22,9	23,05661	30,6	30,68674	28,8	29,17628	38,37069	26,87168
21	39	39,1327	36,2	36,50362	23,7	23,86053	25,5	25,57195	24,8	25,11188	37,81816	24,71624
22	39,2	39,3326	36,4	36,70464	24,2	24,36298	26	26,0734	25,3	25,61993	38,01862	25,21819
23	39,3	39,43255	36,5	36,80515	24,4	24,56396	26,3	26,37427	25,7	26,02637	38,11885	25,46912
24	39,2	39,3326	36,4	36,70464	24,7	24,86543	26,8	26,87572	26,4	26,73764	38,01862	25,87058
25	39,1	39,23265	36,4	36,70464	24,9	25,06641	26,9	26,97601	26,4	26,73764	37,96865	26,02121
26	39,1	39,23265	36,5	36,80515	25,3	25,46837	27,3	27,37717	26,7	27,04247	38,0189	26,42277
27	39,7	39,83235	36,4	36,70464	21,2	21,34828	24,7	24,76963	23,9	24,19739	38,2685	23,05896
28	39,4	39,5325	36,4	36,70464	21,6	21,75024	24,8	24,86992	23,8	24,09578	38,11857	23,31008
29	39,4	39,5325	36,4	36,70464	21,8	21,95122	25,1	25,17079	24,5	24,80705	38,11857	23,56101
30	39,4	39,5325	36,5	36,80515	21,9	22,05171	26,4	26,47456	25,6	25,92476	38,16883	24,26314
31	39,3	39,43255	36,6	36,90566	22,2	22,35318	26,7	26,77543	25,8	26,12798	38,16911	24,56431
32	39,1	39,23265	36,4	36,70464	22,6	22,75514	26,8	26,87572	26,2	26,53442	37,96865	24,81543
33	28,4	28,538	26,9	27,15619	17,9	18,03211	21,6	21,66064	20,8	21,04748	27,8471	19,84638
34	28,4	28,538	26,9	27,15619	18,8	18,93652	21,4	21,46006	21,4	21,65714	27,8471	20,19829
35	28,6	28,7379	27	27,2567	19,3	19,43897	21,4	21,46006	21,4	21,65714	27,9973	20,44952
36	28,6	28,7379	26,9	27,15619	19,8	19,94142	21,3	21,35977	21,6	21,86036	27,94705	20,6506

\* Λ=λάδι, Δ=διφ.μίγμα. Με τόνο συμβολίζονται οι αρχικές μετρήσεις, χωρίς τόνο οι διορθώσεις μετά τη βαθμονόμηση.



**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

37	28,7	28,83785	27,2	27,45772	17,7	17,83113	21,1	21,15919	21,8	22,06358	28,14779	19,49516
38	28,8	28,9378	27,2	27,45772	18,9	19,03701	21,3	21,35977	21,9	22,16519	28,19776	20,19839
39	28,8	28,9378	27,2	27,45772	20,1	20,24289	21,4	21,46006	22,3	22,57163	28,19776	20,85148
40	28,9	29,03775	27,2	27,45772	20,4	20,54436	21,8	21,86122	22,1	22,36841	28,24774	21,20279
41	29,1	29,23765	27,3	27,55823	20,6	20,74534	22,1	22,16209	21,9	22,16519	28,39794	21,45372
42	29,2	29,3376	27,4	27,65874	20,4	20,54436	22,4	22,46296	22,4	22,67324	28,49817	21,50366
43	29,3	29,43755	27,7	27,96027	20,2	20,34338	23	23,0647	22,6	22,87646	28,69891	21,70404
44	29,4	29,5375	27,5	27,75925	21,3	21,44877	22,3	22,36267	22,3	22,57163	28,64838	21,90572
45	29,5	29,63745	27,6	27,85976	21,2	21,34828	22,8	22,86412	22,7	22,97807	28,74861	22,1062
46	29,7	29,83735	28,1	28,36231	21	21,1473	24,2	24,26818	23,7	23,99417	29,09983	22,70774
47	29,7	29,83735	27,8	28,06078	21,6	21,75024	22,6	22,66354	23,2	23,48612	28,94907	22,20689
48	29,8	29,9373	27,9	28,16129	21,6	21,75024	23,2	23,26528	23,2	23,48612	29,0493	22,50776
49	29,8	29,9373	28,3	28,56333	21,4	21,54926	24,4	24,46876	23,8	24,09578	29,25032	23,00901
50	29,9	30,03725	28,1	28,36231	21,8	21,95122	22,9	22,96441	23,3	23,58773	29,19978	22,45782
51	29,9	30,03725	28,2	28,46282	21,9	22,05171	23,6	23,66644	23,8	24,09578	29,25004	22,85908
52	30,1	30,23715	28,6	28,86486	21,8	21,95122	24,7	24,76963	24,1	24,40061	29,55101	23,36043
53	30,1	30,23715	28,1	28,36231	22,2	22,35318	22,8	22,86412	23,2	23,48612	29,29973	22,60865
54	30,2	30,3371	28,2	28,46282	22,2	22,35318	22,9	22,96441	23,1	23,38451	29,39996	22,6588
55	30,2	30,3371	28,2	28,46282	22,4	22,55416	23	23,0647	23,4	23,68934	29,39996	22,80943
56	30,3	30,43705	28,3	28,56333	22,4	22,55416	23,2	23,26528	23,6	23,89256	29,50019	22,90972
57	30,2	30,3371	28,3	28,56333	22,5	22,65465	23,3	23,36557	23,6	23,89256	29,45022	23,01011
58	30,3	30,43705	28,4	28,66384	22,7	22,85563	23,4	23,46586	23,5	23,79095	29,55045	23,16075
59	30,4	30,537	28,6	28,86486	22,7	22,85563	23,7	23,76673	23,7	23,99417	29,70093	23,31118
60	30,5	30,63695	28,6	28,86486	22,8	22,95612	23,7	23,76673	23,7	23,99417	29,75091	23,36143
61	30,5	30,63695	28,7	28,96537	22,9	23,05661	23,9	23,96731	24,1	24,40061	29,80116	23,51196
62	30,6	30,7369	28,9	29,16639	22,9	23,05661	24,3	24,36847	24,1	24,40061	29,95165	23,71254
63	30,7	30,83685	28,9	29,16639	23,1	23,25759	24,4	24,46876	24,3	24,60383	30,00162	23,86318
64	30,7	30,83685	29,1	29,36741	23,2	23,35808	24,5	24,56905	24,6	24,90866	30,10213	23,96357
65	40,7	40,83185	36,7	37,00617	18,6	18,73554	20	20,056	19,9	20,13299	38,91901	19,39577
66	40,9	41,03175	37,2	37,50872	19	19,1375	21,6	21,66064	21,4	21,65714	39,27024	20,39907
67	40,2	40,3321	36,9	37,20719	19,3	19,43897	23,2	23,26528	23,1	23,38451	38,76965	21,35213
68	39,5	39,63245	36,4	36,70464	19,7	19,84093	23,5	23,56615	23,3	23,58773	38,16855	21,70354
69	39,9	40,03225	36,9	37,20719	19,9	20,04191	25,2	25,27108	24,7	25,01027	38,61972	22,6565
70	30,7	30,83685	28,9	29,16639	23,4	23,55906	23,7	23,76673	23,9	24,19739	30,00162	23,6629
71	30,8	30,9368	28,9	29,16639	23,4	23,55906	24,2	24,26818	24,1	24,40061	30,0516	23,91362
72	30,8	30,9368	29,1	29,36741	23,4	23,55906	24,5	24,56905	24,5	24,80705	30,15211	24,06406
73	30,9	31,03675	29,3	29,56843	23,6	23,76004	24,7	24,76963	24,4	24,70544	30,30259	24,26484
74	30,9	31,03675	29,4	29,66894	23,7	23,86053	25,3	25,37137	24,9	25,21349	30,35285	24,61595
75	40,3	40,43205	39,8	40,12198	21,8	21,95122	36,7	36,80443	33,7	34,15517	40,27702	29,37783
76	39,7	39,83235	39	39,3179	10,4	10,49536	31,6	31,68964	23,1	23,38451	39,57513	21,0925
77	39,8	39,9323	39,4	39,71994	12,2	12,30418	31,1	31,18819	24,4	24,70544	39,82612	21,74619
78	39,9	40,03225	39,4	39,71994	12,9	13,00761	31,6	31,68964	24,4	24,70544	39,8761	22,34863
79	39,8	39,9323	39,6	39,92096	13,9	14,01251	31,6	31,68964	24,8	25,11188	39,92663	22,85108
80	31,3	31,43655	30,1	30,37251	10,7	10,79683	19,6	19,65484	20,8	21,04748	30,90453	15,22584
81	33,7	33,83535	33	33,2873	11,3	11,39977	26,4	26,47456	19,8	20,03138	33,56133	18,93717

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-6: Ροές μάζας των ρευστών\***

A/A	Q <sub>L</sub> (GPM)	Q <sub>L</sub> (Kg/s)	Q <sub>N</sub> (GPM)	Q <sub>N</sub> (lit/hr)	Q <sub>N</sub> (Kg/s)	Q <sub>a</sub> '(m <sup>3</sup> /hr)	Q <sub>a</sub> '(Kg/s)	Q <sub>a</sub> (Kg/s)
-----	----------------------	-----------------------	----------------------	-------------------------	-----------------------	--------------------------------------	------------------------	-----------------------

\* Η διόρθωση στην παροχή του αέρα γίνεται με βάση τη σχέση  $Q=Q_0 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$

**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

1	3,38	0,180582	0,3		0,01889	20	0,013264	0,01871
2	3,78	0,201008	0,5		0,03146	20	0,013209	0,01859
3	4,03	0,213831	0,75		0,04718	20	0,013177	0,01853
4	4,08	0,216452	1		0,0629	20	0,013155	0,01848
5	4,08	0,216445	0,3		0,01887	25	0,024827	0,04285
6	4,08	0,216516	0,5		0,03145	25	0,024708	0,04254
7	4,08	0,216523		250	0,06922	20	0,014416	0,0212
8	4,08	0,216523		250	0,0692	15	0,008321	0,01073
9	4,08	0,216503	1		0,06286	15	0,008313	0,01072
10	4,08	0,216497	0,75		0,04714	15	0,008321	0,01073
11	4,08	0,216478	0,5		0,03142	15	0,008321	0,01073
12	4,03	0,213723	1,5		0,09437	7	0,002883	0,0032
13	4,03	0,213799	1		0,0629	7	0,002534	0,00264
14	4,03	0,21378	0,5		0,03143	7	0,002532	0,00264
15	4,03	0,213838	1,5		0,09434	5	0,001804	0,00188
16	4,03	0,213838	1		0,06288	5	0,001803	0,00187
17	4,03	0,213774	0,5		0,03143	5	0,001803	0,00188
18	4,03	0,213818	1,5		0,09433	3	0,000981	0,00097
19	4,03	0,213838	1		0,06287	3	0,000981	0,00097
20	4,03	0,21378	0,5		0,03142	3	0,000981	0,00097
21	4,03	0,21385		625	0,17304	7	0,003423	0,00415
22	4,03	0,213825		625	0,17302	5	0,002278	0,00266
23	4,03	0,213812		625	0,173	3	0,001073	0,00111
24	4,03	0,213825		500	0,13839	7	0,003411	0,00412
25	4,03	0,213831		500	0,13838	5	0,002029	0,00224
26	4,03	0,213825		500	0,13837	3	0,00107	0,00111
27	3,98	0,211141		375	0,10387	7	0,002877	0,00319
28	3,98	0,211159		375	0,10386	5	0,001806	0,00188
29	3,98	0,211159		375	0,10385	3	0,000984	0,00098
30	3,98	0,211153		250	0,06922	7	0,002525	0,00263
31	3,98	0,211153		250	0,06922	5	0,001638	0,00162
32	3,98	0,211178		250	0,06921	3	0,000982	0,00097
33	2,27	0,121171	0,3		0,01889	20	0,013965	0,02021
34	2,27	0,121171	0,5		0,03148	20	0,013922	0,02012
35	2,27	0,12116	0,75		0,04721	20	0,013898	0,02007
36	2,27	0,121163	1		0,06295	20	0,014535	0,02146
37	2,27	0,121149	0,3		0,01889	25	0,024955	0,04319
38	2,27	0,121146	0,5		0,03148	25	0,024852	0,04292
39	2,27	0,121146		250	0,06928	20	0,01452	0,02143
40	2,32	0,12381		250	0,06928	15	0,008406	0,0109
41	2,32	0,123799	1		0,06293	15	0,008401	0,01089
42	2,32	0,123792	0,75		0,0472	15	0,008406	0,0109
43	2,32	0,123777	0,5		0,03146	15	0,007917	0,00996
44	2,32	0,123781	1,5		0,09439	7	0,002531	0,00264
45	2,32	0,123774	1		0,06292	7	0,002531	0,00264
46	2,37	0,126415	0,5		0,03146	7	0,002533	0,00264
47	2,37	0,126426	1,5		0,09438	5	0,001642	0,00163
48	2,37	0,126419	1		0,06292	5	0,001642	0,00163
49	2,37	0,126404	0,5		0,03145	5	0,001643	0,00163
50	2,37	0,126407	1,5		0,09438	3	0,000984	0,00098
51	2,37	0,126404	1		0,06291	3	0,000984	0,00098
52	2,37	0,126381	0,5		0,03145	3	0,000984	0,00098
53	2,37	0,1264		625	0,17313	7	0,00344	0,00418
54	2,37	0,126392		625	0,17313	5	0,002294	0,00269
55	2,37	0,126392		625	0,17312	3	0,00108	0,00112
56	2,37	0,126385		500	0,13849	7	0,003209	0,00376
57	2,37	0,126389		500	0,13849	5	0,002046	0,00227
58	2,43	0,129581		500	0,13848	3	0,001079	0,00112

**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

59	2,37	0,12637		375	0,10386	7	0,002862	0,00317
60	2,37	0,126366		375	0,10386	5	0,001798	0,00187
61	2,43	0,129562		375	0,10385	3	0,000981	0,00097
62	2,43	0,12955		250	0,06923	7	0,002517	0,00261
63	2,43	0,129546		250	0,06923	5	0,001633	0,00162
64	2,43	0,129538		250	0,06923	3	0,00098	0,00097
65	4,03	0,21371		1250	0,34654			
66	4,08	0,216317		625	0,17323			
67	4,03	0,213729		375	0,10391			
68	3,98	0,211153	1,5		0,09439			
69	4,03	0,213748	1		0,06291			
70	2,43	0,129546		1250	0,34617			
71	2,43	0,129542		625	0,17307			
72	2,43	0,129535		375	0,10384			
73	2,43	0,129523	1,5		0,09433			
74	2,43	0,129519	1		0,06288			
75	4,08	0,216187				25	0,024607	0,04228
76	4,08	0,216277				20	0,013654	0,01954
77	4,08	0,216245				7	0,002374	0,00239
78	4,08	0,216239				5	0,001692	0,0017
79	4,08	0,216232				3	0,001011	0,00102
80	2,48	0,132141				25	0,025573	0,0448
81	2,63	0,139913				20	0,01361	0,01945

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-7: Φυσικές ιδιότητες του λαδιού SHELL THERMIA B**

A/A	$\rho(\text{Kg/m}^3)$	$c_p(\text{J/KgC})$	$k(\text{W/mC})$	$\nu(\text{m}^2/\text{s})$	$\mu(\text{Pa}\cdot\text{s})$	Pr
1	846,8277575	1898,791819	0,132332441	6,43704E-05	0,054510681	782,1546613
2	842,8692325	1928,480756	0,131699077	4,76087E-05	0,040127889	587,5960773
3	841,0156775	1942,382419	0,131402508	4,13377E-05	0,034765627	513,9029894
4	840,89046	1943,32155	0,131382474	4,09451E-05	0,034430358	509,2707988
5	840,8647725	1943,514206	0,131378364	4,0865E-05	0,034361981	508,3256961
6	841,140335	1941,447488	0,131422454	4,17322E-05	0,035102638	518,5561944
7	841,1658825	1941,255881	0,131426541	4,18135E-05	0,035172107	519,5150044
8	841,1658825	1941,255881	0,131426541	4,18135E-05	0,035172107	519,5150044
9	841,09064	1941,8202	0,131414502	4,15745E-05	0,034967898	516,6961687
10	841,0655125	1942,008656	0,131410482	4,14949E-05	0,034899965	515,7582097
11	840,98999	1942,575075	0,131398398	4,12568E-05	0,034696584	512,9493148
12	840,59005	1945,574625	0,131334408	4,00185E-05	0,033639135	498,326743
13	840,89046	1943,32155	0,131382474	4,09451E-05	0,034430358	509,2707988
14	840,8147975	1943,889019	0,131370368	4,07097E-05	0,034229342	506,4920083
15	841,040805	1942,193963	0,131406529	4,14169E-05	0,034833297	514,8375841
16	841,040665	1942,195013	0,131406506	4,14165E-05	0,03483292	514,8323722
17	840,78967	1944,077475	0,131366347	4,06319E-05	0,034162844	505,572521
18	840,9655625	1942,758281	0,13139449	4,11801E-05	0,034631054	512,0440561
19	841,040525	1942,196063	0,131406484	4,1416E-05	0,034832543	514,8271604
20	840,8146575	1943,890069	0,131370345	4,07093E-05	0,034228971	506,4868807
21	841,09092	1941,8181	0,131414547	4,15754E-05	0,034968655	516,7066301
22	840,99069	1942,569825	0,13139851	4,1259E-05	0,034698463	512,9752796
23	840,940575	1942,945688	0,131390492	4,11018E-05	0,034564151	511,1196926
24	840,99069	1942,569825	0,13139851	4,1259E-05	0,034698463	512,9752796
25	841,0156775	1942,382419	0,131402508	4,13377E-05	0,034765627	513,9029894
26	840,99055	1942,570875	0,131398488	4,12586E-05	0,034698087	512,9700866
27	840,8657525	1943,506856	0,13137852	4,08681E-05	0,034364587	508,3617205
28	840,940715	1942,944638	0,131390514	4,11022E-05	0,034564525	511,124867



**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

29	840,940715	1942,944638	0,131390514	4,11022E-05	0,034564525	511,124867
30	840,9155875	1943,133094	0,131386494	4,10236E-05	0,034497377	510,1969931
31	840,9154475	1943,134144	0,131386472	4,10232E-05	0,034497003	510,191828
32	841,0156775	1942,382419	0,131402508	4,13377E-05	0,034765627	513,9029894
33	846,0764525	1904,426606	0,132212232	6,07888E-05	0,051431953	740,8420401
34	846,0764525	1904,426606	0,132212232	6,07888E-05	0,051431953	740,8420401
35	846,00135	1904,989875	0,132200216	6,04419E-05	0,051133919	736,8338804
36	846,0264775	1904,801419	0,132204236	6,05577E-05	0,051233441	738,1725022
37	845,9261075	1905,554194	0,132188177	6,00963E-05	0,050837061	732,8399309
38	845,90112	1905,7416	0,132184179	5,9982E-05	0,050738858	731,5183488
39	845,90112	1905,7416	0,132184179	5,9982E-05	0,050738858	731,5183488
40	845,8761325	1905,929006	0,132180181	5,98679E-05	0,050640845	730,1991429
41	845,80103	1906,492275	0,132168165	5,95263E-05	0,050347394	726,2483957
42	845,750915	1906,868138	0,132160146	5,92994E-05	0,050152524	723,6239722
43	845,650545	1907,620913	0,132144087	5,88476E-05	0,049764504	718,3961936
44	845,6758125	1907,431406	0,13214813	5,8961E-05	0,049861902	719,7086957
45	845,6256975	1907,807269	0,132140112	5,87363E-05	0,049668911	717,1078354
46	845,450085	1909,124363	0,132112014	5,79555E-05	0,048998507	708,0676602
47	845,5254675	1908,558994	0,132124075	5,82894E-05	0,049285166	711,9341948
48	845,4753525	1908,934856	0,132116056	5,80672E-05	0,049094406	709,3613475
49	845,3748425	1909,688681	0,132099975	5,76242E-05	0,048714044	704,229186
50	845,40011	1909,499175	0,132104018	5,77352E-05	0,048809386	705,5158807
51	845,3749825	1909,687631	0,132099997	5,76248E-05	0,048714571	704,2363087
52	845,2244975	1910,816269	0,13207592	5,69678E-05	0,048150581	696,6214148
53	845,350135	1909,873988	0,132096022	5,75158E-05	0,048620994	702,9732706
54	845,30002	1910,24985	0,132088003	5,72966E-05	0,048432805	700,4327124
55	845,30002	1910,24985	0,132088003	5,72966E-05	0,048432805	700,4327124
56	845,249905	1910,625713	0,132079985	5,70782E-05	0,048245344	697,901309
57	845,2748925	1910,438306	0,132083983	5,7187E-05	0,048338722	699,1623326
58	845,2247775	1910,814169	0,132075964	5,6969E-05	0,048151625	696,635507
59	845,149535	1911,378488	0,132063926	5,66433E-05	0,047872076	692,8588268
60	845,1245475	1911,565894	0,132059928	5,65356E-05	0,0477796	691,6091391
61	845,09942	1911,75435	0,132055907	5,64274E-05	0,047686785	690,354716
62	845,0241775	1912,318669	0,132043868	5,61048E-05	0,047409934	686,6119868
63	844,99919	1912,506075	0,13203987	5,59981E-05	0,04731835	685,3735334
64	844,948935	1912,882988	0,13203183	5,57841E-05	0,047134691	682,8894894
65	840,540495	1945,946288	0,131326479	3,98677E-05	0,033510375	496,5441049
66	840,3648825	1947,263381	0,131298381	3,93377E-05	0,033058029	490,2778532
67	840,6151775	1945,386169	0,131338428	4,00952E-05	0,033704614	499,2330894
68	840,9157275	1943,132044	0,131386516	4,1024E-05	0,03449775	510,2021581
69	840,69014	1944,82395	0,131350422	4,03249E-05	0,033900713	501,9467579
70	844,99919	1912,506075	0,13203987	5,59981E-05	0,04731835	685,3735334
71	844,9742025	1912,693481	0,132035872	5,58916E-05	0,047226943	684,1373074
72	844,9239475	1913,070394	0,132027832	5,5678E-05	0,047043639	681,6577308
73	844,848705	1913,634713	0,132015793	5,53596E-05	0,046770521	677,9620148
74	844,8236775	1913,823169	0,132011772	5,52537E-05	0,046679666	676,7322727
75	839,8614925	1951,038806	0,131217839	3,78574E-05	0,031794933	472,7493556
76	840,2124375	1948,406719	0,13127399	3,88834E-05	0,03267031	484,9022451
77	840,08694	1949,34795	0,13125391	3,85133E-05	0,032354543	480,5210142
78	840,0619525	1949,535356	0,131249912	3,84401E-05	0,032292037	479,6534017
79	840,036685	1949,724863	0,13124587	3,83661E-05	0,032228952	478,7776556



**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

80	844,547735	1915,891988	0,131967638	5,41045E-05	0,045693813	663,3778629
81	843,2193375	1925,854969	0,131755094	4,88959E-05	0,041229947	602,6552424

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-8: Φυσικές ιδιότητες νερού**

A/A	$\rho(\text{Kg/m}^3)$	$c_p(\text{KJ/KgC})$	$k(\text{W/mC})$	$\nu(\text{m}^2/\text{s})$	$\mu(\text{Pa}\cdot\text{s})$	Pr
1	997,805082	4,185380608	0,603244735	1,00363E-06	0,000998468	6,9204159
2	997,200633	4,184417344	0,606832894	9,46806E-07	0,000940207	6,4679609
3	996,986489	4,184076078	0,608104109	9,27786E-07	0,000920638	6,3162903
4	996,99895	4,184095936	0,608030138	9,28877E-07	0,000921761	6,3249922
5	997,087532	4,184237102	0,607504295	9,36688E-07	0,000929802	6,3872927
6	996,898384	4,183935672	0,608627122	9,20129E-07	0,000912749	6,2551993
7	996,822464	4,183814684	0,609077802	9,13611E-07	0,000906028	6,2031698
8	996,494917	4,183292696	0,611022207	8,86328E-07	0,000877836	5,9851978
9	996,419323	4,183172228	0,611470951	8,80224E-07	0,000871516	5,9363923
10	996,331294	4,183031942	0,611993516	8,73209E-07	0,000864244	5,8802665
11	996,129911	4,182711014	0,613188973	8,57529E-07	0,000847965	5,7547372
12	997,187871	4,184397006	0,606908653	9,45656E-07	0,000939025	6,4587955
13	996,973827	4,1840559	0,608179273	9,26679E-07	0,000919498	6,3074638
14	996,419976	4,183173268	0,611467077	8,80277E-07	0,00087157	5,9368112
15	996,923231	4,183975268	0,608479627	9,22279E-07	0,000914964	6,2723503
16	996,734385	4,183674318	0,609600665	9,06141E-07	0,000898318	6,1435179
17	996,256127	4,182912154	0,612439726	8,67296E-07	0,00085811	5,8329453
18	996,74682	4,183694136	0,609526843	9,07189E-07	0,0008994	6,1518937
19	996,557974	4,183393186	0,610647882	8,91474E-07	0,000883161	6,0263398
20	996,15521	4,18275133	0,613038796	8,5947E-07	0,000849983	5,7702874
21	996,696224	4,183613504	0,609827198	9,02934E-07	0,000895007	6,1179105
22	996,570234	4,183412724	0,610575103	8,92481E-07	0,000884202	6,0343844
23	996,507252	4,183312354	0,610948981	8,8733E-07	0,000878874	5,9932153
24	996,406486	4,18315177	0,611547157	8,79195E-07	0,000870449	5,9281599
25	996,368676	4,183091516	0,611771603	8,76176E-07	0,00086732	5,9040078
26	996,267885	4,182930892	0,612369927	8,68216E-07	0,000859065	5,8403109
27	997,112202	4,184276418	0,607357843	9,38881E-07	0,000932058	6,4047814
28	997,04917	4,184175968	0,607732019	9,33293E-07	0,000926308	6,3602178
29	996,986188	4,184075598	0,608105897	9,27759E-07	0,000920611	6,3160802
30	996,809953	4,183794746	0,609152071	9,12544E-07	0,000904927	6,1946502
31	996,734359	4,183674278	0,609600814	9,06138E-07	0,000898316	6,143501
32	996,671327	4,183573828	0,609974991	9,00853E-07	0,000892856	6,1012811
33	997,91856	4,18556145	0,602571099	1,01482E-06	0,001009903	7,009368
34	997,830229	4,185420684	0,603095452	1,0061E-06	0,001000988	6,9400191
35	997,767172	4,185320194	0,603469777	9,99933E-07	0,000994683	6,890982
36	997,716701	4,185239762	0,603769387	9,95035E-07	0,00098967	6,8520148
37	998,006715	4,185701936	0,602047788	1,02362E-06	0,001018896	7,0793445
38	997,830204	4,185420644	0,603095601	1,0061E-06	0,001000986	6,9399995
39	997,66628	4,18515941	0,604068698	9,90173E-07	0,000984694	6,8133367
40	997,5781	4,185018884	0,604592157	9,81749E-07	0,000976066	6,7462946
41	997,515118	4,184918514	0,604966035	9,75793E-07	0,000969962	6,6988786
42	997,502581	4,184898536	0,605040453	9,74614E-07	0,000968753	6,6894873
43	997,452286	4,184818384	0,60533902	9,69901E-07	0,000963921	6,6519649
44	997,401664	4,184737712	0,605639523	9,65191E-07	0,000959088	6,6144505
45	997,351344	4,18465752	0,605938236	9,60541E-07	0,000954316	6,5774092
46	997,200357	4,184418904	0,606834533	9,46781E-07	0,000940182	6,4677624

**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

47	997,326071	4,184617244	0,606088266	9,58217E-07	0,00095193	6,5588994
48	997,250552	4,184496896	0,606536562	9,51323E-07	0,000944849	6,5039652
49	997,124738	4,184296396	0,607283425	9,39998E-07	0,000933207	6,4136911
50	997,263088	4,184516874	0,606462144	9,52463E-07	0,00094602	6,5130455
51	997,162372	4,18435637	0,607060022	9,43365E-07	0,00093667	6,4405308
52	997,036533	4,18415583	0,607807033	9,32178E-07	0,000925161	6,3513308
53	997,225229	4,18445654	0,606686889	9,49028E-07	0,000942491	6,4856699
54	997,212642	4,184436482	0,606761605	9,4789E-07	0,000941321	6,4766001
55	997,174833	4,184376228	0,606986051	9,44483E-07	0,00093782	6,4494484
56	997,14966	4,184336112	0,607135483	9,42226E-07	0,000935498	6,4314493
57	997,124462	4,184295956	0,607285064	9,39974E-07	0,000933182	6,4134947
58	997,086653	4,184235702	0,60750951	9,3661E-07	0,000929721	6,386671
59	997,048894	4,184175528	0,607733658	9,33268E-07	0,000926283	6,3600234
60	997,036282	4,18415543	0,607808523	9,32156E-07	0,000925138	6,3511544
61	996,998498	4,184095216	0,60803282	9,28837E-07	0,00092172	6,3246765
62	996,948152	4,184014984	0,608331685	9,24442E-07	0,000917194	6,2896143
63	996,910343	4,18395473	0,608556131	9,21163E-07	0,000913814	6,2634467
64	996,885145	4,183914574	0,608705712	9,18988E-07	0,000911572	6,2460855
65	998,031662	4,185741692	0,601899697	1,02613E-06	0,001021458	7,0992859
66	997,779833	4,185340372	0,603394614	1,00117E-06	0,000995945	6,9007971
67	997,540617	4,18495915	0,604814666	9,78199E-07	0,000972428	6,7180285
68	997,452411	4,184818584	0,605338275	9,69913E-07	0,000963933	6,6520583
69	997,21322	4,184437402	0,606758178	9,47942E-07	0,000941375	6,4770158
70	996,960613	4,184034842	0,608257714	9,25527E-07	0,000918311	6,2982692
71	996,897681	4,183934552	0,608631294	9,20069E-07	0,000912687	6,254715
72	996,859922	4,183874378	0,608855442	9,16818E-07	0,000909335	6,2287696
73	996,809526	4,183794066	0,609154604	9,12508E-07	0,000904889	6,1943599
74	996,721397	4,18365362	0,609677766	9,05047E-07	0,000897189	6,1347863
75						
76						
77						
78						
79						
80						
81						

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-9: Φυσικές ιδιότητες αέρα**

A/A	P(bar)	ρ(Kg/m <sup>3</sup> )	cp(KJ/KgC)	k(W/mC)	v(m2/s)	μ(Pa*s)	Pr
1	2	2,387458866	1,006280189	0,025920894	8,71719E-06	2,0812E-05	0,69501046
2	2	2,377639397	1,006764198	0,026089465	8,79371E-06	2,0908E-05	0,69428801
3	2	2,371948586	1,006935169	0,026149186	8,82919E-06	2,0942E-05	0,69403206
4	2	2,367900371	1,006925227	0,026145711	8,84345E-06	2,094E-05	0,69404695
5	3	3,575036371	1,00685453	0,026121007	5,85345E-06	2,0926E-05	0,69415283
6	3	3,557922879	1,007005436	0,026173757	5,89008E-06	2,0956E-05	0,69392675
7	2,2	2,594947031	1,00706595	0,02619493	8,08052E-06	2,0969E-05	0,69383601
8	1,7	1,997036898	1,007326662	0,026286278	1,0526E-05	2,1021E-05	0,69344452
9	1,7	1,995009876	1,007386746	0,02630736	1,05427E-05	2,1033E-05	0,69335417
10	1,7	1,997036898	1,007456676	0,02633191	1,0539E-05	2,1047E-05	0,69324896
11	1,7	1,997036898	1,007616494	0,026388073	1,05551E-05	2,1079E-05	0,69300826
12	1,25	1,482467866	1,006774394	0,026093024	1,41051E-05	2,091E-05	0,69427275
13	1,1	1,303234899	1,00694527	0,026152718	1,60711E-05	2,0944E-05	0,69401693

**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

14	1,1	1,302345204	1,007386228	0,026307178	1,61498E-05	2,1033E-05	0,69335495
15	1,1	1,29879854	1,006985624	0,026166828	1,61322E-05	2,0952E-05	0,69395645
16	1,1	1,29791489	1,007136115	0,026219494	1,61664E-05	2,0983E-05	0,69373074
17	1,1	1,298356564	1,007516355	0,026352873	1,62196E-05	2,1059E-05	0,69315912
18	1	1,177519218	1,007126211	0,026216026	1,78176E-05	2,0981E-05	0,6937456
19	1	1,176720256	1,007276517	0,026268692	1,78553E-05	2,1011E-05	0,69351989
20	1	1,176720256	1,007596429	0,026381017	1,79098E-05	2,1075E-05	0,6930385
21	1,5	1,760302832	1,007166501	0,026230137	1,19233E-05	2,0989E-05	0,69368513
22	1,4	1,640174641	1,007266765	0,026265273	1,28088E-05	2,1009E-05	0,69353454
23	1,1	1,287838669	1,007316854	0,026282838	1,6321E-05	2,1019E-05	0,69345927
24	1,5	1,754367138	1,007396947	0,02631094	1,199E-05	2,1035E-05	0,69333883
25	1,25	1,460987333	1,007426985	0,026321485	1,44018E-05	2,1041E-05	0,69329364
26	1,1	1,283938258	1,007507022	0,026349594	1,64003E-05	2,1057E-05	0,69317317
27	1,25	1,479432741	1,006834832	0,026114127	1,41421E-05	2,0922E-05	0,69418231
28	1,1	1,300126273	1,006885152	0,026131706	1,61003E-05	2,0932E-05	0,69410698
29	1	1,181128014	1,006935409	0,02614927	1,77309E-05	2,0942E-05	0,6940317
30	1,1	1,29879854	1,007075919	0,026198419	1,61461E-05	2,0971E-05	0,69382106
31	1	1,179521378	1,007136135	0,026219501	1,77891E-05	2,0983E-05	0,69373071
32	1	1,177919106	1,007186321	0,02623708	1,78218E-05	2,0993E-05	0,69365537
33	2,1	2,513752881	1,006189084	0,025889246	8,27204E-06	2,0794E-05	0,69514609
34	2,1	2,505969354	1,006260006	0,02591388	8,30335E-06	2,0808E-05	0,69504051
35	2,1	2,501665965	1,006310608	0,025931466	8,32165E-06	2,0818E-05	0,69496515
36	2,2	2,61630006	1,006351092	0,025945542	7,96011E-06	2,0826E-05	0,69490482
37	3	3,593555892	1,006118256	0,025864661	5,78252E-06	2,078E-05	0,69525145
38	3	3,578724989	1,006260026	0,025913887	5,81434E-06	2,0808E-05	0,69504048
39	2,2	2,613611733	1,006391522	0,025959603	7,97137E-06	2,0834E-05	0,69484456
40	1,7	2,017535988	1,006462193	0,025984195	1,03335E-05	2,0848E-05	0,69473916
41	1,7	2,016156298	1,006512641	0,02600176	1,03455E-05	2,0858E-05	0,69466389
42	1,7	2,017535988	1,00652268	0,026005256	1,03394E-05	2,086E-05	0,6946489
43	1,6	1,90015771	1,006562946	0,026019283	1,09823E-05	2,0868E-05	0,69458879
44	1,1	1,301456723	1,006603458	0,0260334	1,60407E-05	2,0876E-05	0,69452828
45	1,1	1,301900812	1,006643715	0,026047434	1,60414E-05	2,0884E-05	0,69446814
46	1,1	1,302789899	1,006764418	0,026089542	1,60489E-05	2,0908E-05	0,69428768
47	1	1,181932975	1,006663928	0,026054482	1,7673E-05	2,0888E-05	0,69443793
48	1	1,181932975	1,006724306	0,026075543	1,76832E-05	2,09E-05	0,69434767
49	1	1,182739034	1,006824821	0,026110631	1,76881E-05	2,092E-05	0,6941973
50	1	1,181128014	1,006714285	0,026072047	1,76935E-05	2,0898E-05	0,69436266
51	1	1,180725945	1,006794764	0,026100135	1,77131E-05	2,0914E-05	0,69424228
52	1	1,181128014	1,006895237	0,02613523	1,77241E-05	2,0934E-05	0,69409187
53	1,5	1,769282067	1,006744544	0,026082606	1,18152E-05	2,0904E-05	0,69431741
54	1,4	1,651329929	1,006754602	0,026086116	1,26603E-05	2,0906E-05	0,69430236
55	1,1	1,296591667	1,00678481	0,02609666	1,61287E-05	2,0912E-05	0,69425717
56	1,4	1,650207577	1,006804918	0,02610368	1,2675E-05	2,0916E-05	0,69422708
57	1,25	1,472899082	1,006825042	0,026110708	1,42036E-05	2,092E-05	0,69419697
58	1,1	1,29527114	1,006855231	0,026121252	1,6156E-05	2,0926E-05	0,69415178
59	1,25	1,471899023	1,006885372	0,026131783	1,42214E-05	2,0932E-05	0,69410665
60	1,1	1,294831562	1,006895437	0,0261353	1,61677E-05	2,0934E-05	0,69409157
61	1	1,176720256	1,006925588	0,026145837	1,77956E-05	2,094E-05	0,69404641
62	1,1	1,294392282	1,006965749	0,026159878	1,6184E-05	2,0949E-05	0,69398624
63	1	1,175922378	1,006995901	0,026170422	1,78197E-05	2,0955E-05	0,69394105
64	1	1,175523844	1,00701599	0,02617745	1,78291E-05	2,0959E-05	0,69391093



**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							
73							
74							
75	3	3,543384043	1,008094327	0,026556448	5,97596E-06	2,1175E-05	0,69228665
76	2	2,457662752	1,006440011	0,025976475	8,48111E-06	2,0844E-05	0,69477225
77	1	1,221044716	1,006571413	0,026022233	1,70918E-05	2,087E-05	0,69457614
78	1	1,218043155	1,006692375	0,026064404	1,71537E-05	2,0894E-05	0,69439541
79	1	1,21378072	1,00679316	0,026099575	1,72305E-05	2,0914E-05	0,69424468
80	3	3,68258013	1,005253514	0,025565808	5,59636E-06	2,0609E-05	0,69653225
81	2	2,449851343	1,006005633	0,025825602	8,47296E-06	2,0757E-05	0,69541885

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-10: Υπολογισμός λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας**

A/A	ΔΤ1(C)	ΔΤΜ(C)	ΔΤ1 (T1-T4)	ΔΤ2 (T2-T3)	ΔΤln
1	0,78883	2,9249	4,97797	7,11404	5,982583
2	1,54643	5,32946	9,66338	13,44641	11,45093
3	2,52801	5,62893	12,85838	15,9593	14,35305
4	2,62684	4,52474	13,75997	15,65787	14,68849
5	1,72449	7,63753	12,15669	18,06973	14,91841
6	1,62734	6,33096	11,4567	16,16032	13,67394
7	2,32923	3,72022	12,75945	14,15044	13,44295
8	2,32923	3,9184	11,35539	12,94456	12,13263
9	2,22816	3,9178	11,15447	12,84411	11,97944
10	2,12765	5,22217	10,15157	13,24609	11,6303
11	1,62566	6,82681	8,44698	13,64813	10,84039
12	3,0244	4,02429	15,56247	16,56236	16,05723
13	2,62684	5,12688	13,35881	15,85885	14,57311
14	1,92439	9,13808	8,94673	16,16042	12,20019
15	2,62852	3,52024	13,6607	14,55242	14,10186
16	2,42806	4,62303	12,25698	14,45195	13,32435
17	1,82388	8,63483	8,54557	15,35652	11,62026
18	2,52745	3,31806	13,15891	13,94952	13,55037
19	2,2276	4,42085	11,55529	13,74854	12,62017
20	1,72393	7,63013	8,54591	14,45211	11,2416
21	2,62908	1,71142	13,56075	12,64309	13,09656
22	2,62796	1,71042	13,2592	12,34166	12,79495
23	2,6274	1,81031	13,05828	12,24119	12,64534
24	2,62796	2,01029	12,45688	11,83921	12,14543
25	2,52801	1,9096	12,25664	11,63823	11,94477
26	2,4275	1,9088	11,85548	11,33678	11,5942
27	3,12771	3,42135	15,06272	15,35636	15,20907
28	2,82786	3,11968	14,66258	14,9544	14,80801
29	2,82786	3,21957	14,36171	14,75342	14,55669
30	2,72735	4,42285	13,05794	14,75344	13,88845



**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

31	2,52689	4,42225	12,65712	14,55248	13,58277
32	2,52801	4,12058	12,35693	13,9495	13,13713
33	1,38181	3,62853	6,87736	9,12408	7,947865
34	1,38181	2,52354	7,07794	8,21967	7,634582
35	1,4812	2,02109	7,27784	7,81773	7,544566
36	1,58171	1,41835	7,37813	7,21477	7,296145
37	1,38013	3,32806	7,67866	9,62659	8,615957
38	1,48008	2,32276	7,57803	8,42071	7,991967
39	1,48008	1,21717	7,47774	7,21483	7,345501
40	1,58003	1,31686	7,17653	6,91336	7,044126
41	1,67942	1,41675	7,07556	6,81289	6,943397
42	1,67886	1,9186	6,87464	7,11438	6,993825
43	1,47728	2,72132	6,37285	7,61689	6,976393
44	1,77825	0,9139	7,17483	6,31048	6,733411
45	1,77769	1,51584	6,77333	6,51148	6,641545
46	1,47504	3,12088	5,56917	7,21501	6,356618
47	1,77657	0,9133	7,17381	6,31054	6,732954
48	1,77601	1,51504	6,67202	6,41105	6,540667
49	1,37397	2,9195	5,46854	7,01407	6,20928
50	1,67494	1,01319	7,07284	6,41109	6,736549
51	1,57443	1,61473	6,37081	6,41111	6,390939
52	1,37229	2,81841	5,46752	6,91364	6,162326
53	1,87484	0,51094	7,37303	6,00913	6,667848
54	1,87428	0,61123	7,37269	6,10964	6,721398
55	1,87428	0,51054	7,2724	5,90866	6,566947
56	1,87372	0,71112	7,17177	6,00917	6,573344
57	1,77377	0,71092	6,97153	5,90868	6,425461
58	1,77321	0,61023	6,97119	5,80821	6,372022
59	1,67214	0,9111	6,77027	6,00923	6,382189
60	1,77209	0,81061	6,87022	5,90874	6,377405
61	1,67158	0,9107	6,66964	5,90876	6,281521
62	1,57051	1,31186	6,36843	6,10978	6,238211
63	1,67046	1,21117	6,36809	5,9088	6,13558
64	1,46944	1,21097	6,2678	6,00933	6,137658
65	3,82568	1,32046	20,77585	18,27063	19,49642
66	3,52303	2,52314	19,37111	18,37122	18,86675
67	3,12491	3,82631	17,06682	17,76822	17,41517
68	2,92781	3,72522	16,0663	16,86371	16,46179
69	2,82506	5,22917	14,76117	17,16528	15,93301
70	1,67046	0,20767	7,07012	5,60733	6,310494
71	1,77041	0,70912	6,66862	5,60733	6,122652
72	1,56939	1,00999	6,36775	5,80835	6,083764
73	1,46832	1,00959	6,26712	5,80839	6,034849
74	1,36781	1,51084	5,66538	5,80841	5,736598
75	0,31007	14,85321	3,62762	18,17076	9,026072
76	0,51445	21,19428	8,14271	28,82254	16,36018
77	0,21236	18,88401	8,74411	27,41576	16,3394
78	0,31231	18,68203	8,34261	26,71233	15,78495
79	0,01134	17,67713	8,24266	25,90845	15,42532
80	1,06404	8,85801	11,78171	19,57568	15,35033
81	0,54805	15,07479	7,36079	21,88753	13,33034

ΠΙΝΑΚΑΣ 7-11: Θερμορροές και ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας

A/A	Q <sub>λ</sub> (W)	Q <sub>Ν</sub> (W)	ΔH αερ.	Q <sub>α</sub> (W)	Q <sub>διφ.</sub> (W)	maxΔT (C)	ΔT <sub>in</sub>	Q <sub>max</sub> ΔT (W)	U(W/m <sup>2</sup> C)
1	270,47957	231,19309	10413,528	194,822266	426,0153564	2,9249	5,982583	426,0153564	122,39686
2	599,45899	701,50804	20508,764	381,325054	1082,833097	5,32946	11,45093	1082,833097	162,53779
3	1049,9886	1111,0609	22235,289	411,943412	1523,004303	5,62893	14,35305	1523,004303	182,38559
4	1104,9428	1190,8358	17846,686	329,791598	1520,627358	4,52474	14,68849	1520,627358	177,94238
5	725,43186	603,09491	29802,07	1277,06796	1880,162867	7,63753	14,91841	1880,162867	216,62402
6	684,06044	832,98536	25274,097	1075,2695	1908,25486	6,33096	13,67394	1908,25486	239,87021
7	979,03648	1077,4482	14986,17	317,702227	1395,150397	3,72022	13,44295	1395,150397	178,38572
8	979,03648	1134,3305	16395,784	175,998702	1310,329218	3,9184	12,13263	1310,329218	185,63467
9	936,74257	1030,2724	16534,329	177,215736	1207,488105	3,9178	11,97944	1207,488105	173,25278
10	894,54716	1029,8385	22258,122	238,927304	1268,765808	5,22217	11,6303	1268,765808	187,51
11	683,62892	897,27086	29752,264	319,372331	1216,643195	6,82681	10,84039	1216,643195	192,90878
12	1257,5878	1589,1039	15510,685	49,6951306	1638,799065	4,02429	16,05723	1638,799065	175,42396
13	1091,4018	1349,262	20283,019	53,5638223	1402,825831	5,12688	14,57311	1402,825831	165,45708
14	799,70876	1201,5315	38562,686	101,732887	1303,264338	9,13808	12,20019	1303,264338	183,61144
15	1091,6613	1389,5567	14011,643	26,2953305	1415,851995	3,52024	14,10186	1415,851995	172,57392
16	1008,4078	1216,2586	18816,899	35,2772125	1251,535816	4,62303	13,32435	1251,535816	161,44742
17	757,99117	1135,1035	37112,815	69,6132241	1204,716689	8,63483	11,62026	1204,716689	178,19799
18	1049,8965	1309,4297	13485,689	13,1085087	1322,538198	3,31806	13,55037	1322,538198	167,76091
19	925,15426	1162,7837	18365,418	17,8335903	1180,617295	4,42085	12,62017	1180,617295	160,79694
20	716,40491	1002,8891	33161,318	32,2010292	1035,090109	7,63013	11,2416	1035,090109	158,26453
21	1091,7476	1238,9349	6997,0168	29,0067395	1267,941644	2,62908	13,09656	1091,747588	143,28432
22	1091,5749	1237,995	7095,564	18,8972646	1256,892312	2,62796	12,79495	1091,574866	146,63876
23	1091,4884	1310,1808	7564,2551	8,40981591	1318,590595	2,6274	12,64534	1091,488374	148,36194
24	1091,5749	1163,7679	8496,3374	35,0443003	1198,812225	2,62796	12,14543	1091,574866	154,48079
25	1049,9886	1105,4201	8105,1665	18,1471529	1123,567213	2,52801	11,94477	1049,988561	151,09171
26	1008,3102	1104,8028	8193,4027	9,0679401	1113,870699	2,4275	11,5942	1008,31024	149,48144
27	1283,4655	1486,9305	13310,098	42,5137098	1529,444207	3,42135	15,20907	1529,444207	172,84817
28	1160,1888	1355,7054	12230,165	22,9872757	1378,692697	3,11968	14,80801	1378,692697	160,03114
29	1160,1888	1398,9922	12718,344	12,4195015	1411,411734	3,21957	14,55669	1411,411734	166,65753
30	1119,0276	1280,9213	17842,93	46,8795871	1327,800908	4,42285	13,88845	1327,800908	164,32857
31	1036,7796	1280,6136	17999,727	29,2348936	1309,848444	4,42225	13,58277	1309,848444	165,75496
32	1036,9614	1193,1506	16895,554	16,4313697	1209,581959	4,12058	13,13713	1209,581959	158,25904
33	318,86727	286,85518	12722,551	257,154974	544,0101553	3,62853	7,947865	544,0101553	117,64956
34	318,86727	332,45883	8954,3395	180,149915	512,608747	2,52354	7,634582	512,608747	115,40763
35	341,87331	399,36198	7232,183	145,127682	544,4896654	2,02109	7,544566	544,4896654	124,04782
36	365,04658	373,65681	5109,4584	109,658693	483,3155034	1,58171	7,296145	365,0465788	85,998042
37	318,61153	263,13346	11529,293	497,893172	761,026627	3,32806	8,615957	761,026627	151,82039
38	341,70912	306,00745	8241,9346	353,727267	659,7347209	2,32276	7,991967	659,7347209	141,88922
39	341,70912	352,92794	4413,958	94,5859594	447,5139032	1,48008	7,345501	341,7091166	79,959285
40	372,84533	381,78727	4830,7807	52,6559431	434,4432119	1,58003	7,044126	372,8453341	90,977786
41	396,38067	373,13125	5239,7164	57,0548036	430,1860491	1,67942	6,943397	396,3806718	98,123769
42	396,30314	378,97152	7107,2168	77,4693007	456,4408164	1,9186	6,993825	456,4408164	112,1769
43	348,81545	358,32761	10145,982	101,082669	459,4102744	2,72132	6,976393	459,4102744	113,18881
44	419,85134	360,98584	3429,356	9,03778668	370,023631	1,77825	6,733411	419,8513412	107,17516
45	419,77695	399,13826	5724,43	15,0939883	414,2322529	1,77769	6,641545	419,7769519	108,63837
46	355,98872	410,79614	12010,143	31,7003955	442,4965333	3,12088	6,356618	442,4965333	119,65132
47	428,67174	360,71112	3459,9867	5,63690329	366,3480251	1,77657	6,732954	428,6717423	109,43418

**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

48	428,59561	398,87199	5794,1382	9,43963068	408,3116197	1,77601	6,540667	428,5956081	112,63138
49	331,66481	384,24862	11340,316	18,4941956	402,7428183	2,9195	6,20928	402,7428183	111,48599
50	404,2884	400,12817	3868,8072	3,77790188	403,9060704	1,67494	6,736549	404,288399	103,15436
51	380,05402	425,066	6243,2098	6,09340045	431,1593977	1,61473	6,390939	431,1593977	115,95966
52	331,39592	370,89844	11066,051	10,8060322	381,7044682	2,81841	6,162326	381,7044682	106,46733
53	452,6013	370,15169	1960,2079	8,18846799	378,3401601	1,87484	6,667848	452,601304	116,67126
54	452,52833	442,79931	2348,6319	6,31891648	449,118225	1,87428	6,721398	452,5283318	115,72306
55	452,52833	369,83612	1970,9275	2,21362278	372,0497442	1,87428	6,566947	452,5283318	118,44481
56	452,45531	412,09496	2753,7876	10,3619912	422,4569529	1,87372	6,573344	452,4553119	118,31045
57	428,2906	411,9647	2761,545	6,2587628	418,2234601	1,77377	6,425461	428,2905995	114,56923
58	439,0551	353,59825	2381,407	2,67056273	356,2688084	1,77321	6,372022	439,055096	118,43377
59	403,89003	395,93251	3571,9296	11,3220438	407,2545552	1,67214	6,382189	403,8900337	108,77453
60	428,06135	352,25689	3182,8317	5,94580243	358,2026918	1,77209	6,377405	428,0613478	115,37076
61	414,03326	395,73109	3592,2204	3,48819659	399,2192824	1,67158	6,281521	414,0332644	113,29328
62	389,07944	380,0063	5206,0368	13,6085239	393,6148287	1,57051	6,238211	389,0794413	107,20424
63	413,86945	350,82109	4828,2652	7,80613352	358,627222	1,67046	6,13558	413,8694543	115,94219
64	364,11528	350,75093	4842,001	4,69461702	355,4455423	1,46944	6,137658	364,1152789	101,96942
65	1590,9813	1915,356			1915,355994	3,82568	19,49642	1590,981321	140,26326
66	1483,9901	1829,2976			1829,297622	3,52303	18,86675	1483,990091	135,19719
67	1299,2942	1663,9134			1663,913444	3,82631	17,41517	1663,913444	164,22409
68	1201,2756	1471,5462			1471,546227	3,72522	16,46179	1471,546227	153,64934
69	1174,386	1376,638			1376,638045	5,22917	15,93301	1376,638045	148,51002
70	413,86945	300,78389			300,7838879	1,67046	6,310494	413,8694543	112,72851
71	438,66285	513,49086			513,4908618	1,77041	6,122652	438,6628535	123,14733
72	388,90867	438,79191			438,7919111	1,56939	6,083764	388,9086734	109,87756
73	363,93756	398,45629			398,4562863	1,46832	6,034849	363,9375567	103,65594
74	339,04847	397,47506			397,4750571	1,51084	5,736598	397,4750571	119,09382
75	130,78423		69003,579	2917,73498	2917,734983	14,85321	9,026072	2917,734983	555,62376
76	216,78736		77469,841	1513,74586	1513,745858	21,19428	16,36018	1513,745858	159,03721
77	89,51759		70500,986	168,848598	168,8485976	18,88401	16,3394	168,8485976	17,762131
78	131,65895		71092,386	121,169687	121,1696869	18,68203	15,78495	121,1696869	13,194246
79	4,7808675		68330,144	69,5105647	69,51056472	17,67713	15,42532	69,51056472	7,7455152
80	269,38088		26165,567	1172,20977	1172,209767	8,85801	15,35033	1172,209767	131,25669
81	147,6733		51217,539	996,013382	996,0133819	15,07479	13,33034	996,0133819	128,42736

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-12: Αδιάστατοι αριθμοί λαδιού (Pr,Re,Nu) και συντελεστές μεταφοράς θερμότητας από την πλευρά του λαδιού και από την πλευρά του διφασικού μίγματος**

A/A	Reλ	Prλ	Nuλ	h λ (W/m2C)	U(W/m2 C)	hδιφ.(W/m2C)
1	8,977712902	782,1546613	4,43961371	2,410288408	122,3968584	-2,458706245
2	13,57504346	587,5960773	5,923969962	2,551884047	162,537787	-2,592588334
3	16,66842689	513,9029894	6,662360254	2,632572248	182,3855936	-2,671127575
4	17,03701807	509,2707988	6,501045378	2,646148463	177,9423797	-2,686092857
5	17,07039878	508,3256961	7,914509363	2,646397133	216,6240185	-2,679126807
6	16,71569395	518,5561944	8,760885129	2,643730162	239,8702124	-2,673192763
7	16,68318483	519,5150044	6,515057544	2,643482977	178,3857247	-2,683245769
8	16,68318483	519,5150044	6,779805637	2,643482977	185,6346677	-2,681670621
9	16,77911225	516,6961687	6,328170101	2,644211021	173,252776	-2,685192855
10	16,81127025	515,7582097	6,849133876	2,644454177	187,5099966	-2,682282415
11	16,90829491	512,9493148	7,046981925	2,645185069	192,9087789	-2,681960387



**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

12	17,21789311	498,326743	6,411381694	2,636673891	175,4239623	-2,676908618
13	16,82823109	509,2707988	6,044900416	2,633778586	165,4570769	-2,676381762
14	16,92553419	506,4920083	6,70877997	2,634507654	183,6114356	-2,672858567
15	16,63654213	514,8375841	6,303756919	2,632330205	172,5739198	-2,673103993
16	16,63671961	514,8323722	5,897330691	2,632331554	161,4474215	-2,675961976
17	16,95797282	505,572521	6,511183157	2,6347498	178,197989	-2,674290575
18	16,73220135	512,0440561	6,128509523	2,633055018	167,7609132	-2,675040537
19	16,63689709	514,8271604	5,873570915	2,632332902	160,796938	-2,676142808
20	16,92571475	506,4868807	5,782657728	2,634509003	158,2645296	-2,679106039
21	16,57313227	516,7066301	5,23355117	2,631847504	143,2843244	-2,681093855
22	16,7001946	512,9752796	5,356727678	2,632812953	146,6387578	-2,680947799
23	16,76409061	511,1196926	5,42006435	2,633295746	148,36194	-2,680879024
24	16,7001946	512,9752796	5,64319773	2,632812953	154,4807866	-2,678461926
25	16,66842689	513,9029894	5,519226438	2,632572248	151,091708	-2,679254701
26	16,70037276	512,9700866	5,460572117	2,632814301	149,4814416	-2,680017406
27	16,65076319	508,3617205	6,315120887	2,621550124	172,8481746	-2,661922921
28	16,55592279	511,124867	5,846308463	2,620831289	160,0311409	-2,664467292
29	16,55592279	511,124867	6,088385787	2,620831289	166,6575293	-2,662704582
30	16,58765304	510,1969931	6,003487165	2,621072232	164,3285688	-2,663556469
31	16,58783	510,191828	6,055599331	2,621073574	165,7549645	-2,663186385
32	16,46162258	513,9029894	5,781041908	2,620112557	158,2590433	-2,664220993
33	6,384663107	740,8420401	4,271298156	2,077667148	117,6495551	-2,115017933
34	6,384663107	740,8420401	4,189904353	2,077667148	115,4076267	-2,115756818
35	6,421306075	736,8338804	4,503998273	2,078243289	124,0478218	-2,113654538
36	6,409022864	738,1725022	3,122370445	2,078050517	85,99804175	-2,12950779
37	6,45822824	732,8399309	5,512882321	2,078820587	151,8203886	-2,107680275
38	6,470536728	731,5183488	5,152418936	2,079012322	141,8892225	-2,109927748
39	6,470536728	731,5183488	2,903559026	2,079012322	79,95928472	-2,134511514
40	6,625663138	730,1991429	3,303773452	2,096489657	90,97778615	-2,145940656
41	6,663689257	726,2483957	3,563597132	2,09707081	98,12376937	-2,14286751
42	6,689184957	723,6239722	4,074217176	2,097458652	112,1769038	-2,137423723
43	6,740541282	718,3961936	4,111468834	2,098235531	113,1888117	-2,137866187
44	6,727575641	719,7086957	3,892909984	2,098039943	107,1751614	-2,139930809
45	6,753315775	717,1078354	3,946297341	2,098427878	108,638369	-2,139758852
46	6,991800128	708,0676602	4,347268038	2,116870531	119,6513196	-2,154996722
47	6,951753331	711,9341948	3,975687567	2,116282073	109,4341753	-2,158014628
48	6,978351183	709,3613475	4,092088718	2,116673276	112,63138	-2,157213634
49	7,032002603	704,229186	4,050967755	2,117457979	111,4859872	-2,158453578
50	7,018476327	705,5158807	3,748113922	2,117260696	103,1543557	-2,161628489
51	7,031927586	704,2363087	4,21352304	2,117456886	115,9596629	-2,156841433
52	7,113026488	696,6214148	3,869313664	2,118632036	106,4673251	-2,161647445
53	7,045254306	702,9732706	4,239507306	2,117650899	116,6712601	-2,156798032
54	7,072209898	700,4327124	4,205307757	2,118042232	115,7230634	-2,157530829
55	7,072209898	700,4327124	4,304214442	2,118042232	118,4448106	-2,156606898
56	7,099268624	697,901309	4,299592867	2,118433603	118,3104501	-2,157057263
57	7,08576414	699,1623326	4,163504911	2,11823846	114,5692315	-2,158139701
58	7,292947504	696,635507	4,304205354	2,138853797	118,4337652	-2,17819082
59	7,153773374	692,8588268	3,953522701	2,11921755	108,7745266	-2,161325936
60	7,167407474	691,6091391	4,193396747	2,119412739	115,3707648	-2,159075933
61	7,362945285	690,354716	4,118011364	2,139842328	113,2932764	-2,181036963
62	7,405281826	686,6119868	3,897040738	2,14043578	107,2042363	-2,184042287



**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

63	7,419395266	685,3735334	4,214806431	2,14063288	115,9421864	-2,180898667
64	7,447861799	682,8894894	3,70708517	2,141029317	101,9694245	-2,186948182
65	17,28303235	496,5441049	5,126640471	2,637151654	140,263259	-2,687683991
66	17,73318097	490,2778532	4,942532544	2,65123878	135,1971921	-2,70426995
67	17,18495728	499,2330894	6,001865832	2,636431653	164,2240887	-2,679447141
68	16,58747608	510,2021581	5,613337292	2,621070889	153,64934	-2,666559146
69	17,08707418	501,9467579	5,427071342	2,635709055	148,5100236	-2,683331985
70	7,419395266	685,3735334	4,097980923	2,14063288	112,7285146	-2,182068787
71	7,433536605	684,1373074	4,476868056	2,14082999	123,147329	-2,178705253
72	7,462056391	681,6577308	3,994705332	2,141226446	109,8775589	-2,183782662
73	7,504962815	677,9620148	3,768855877	2,141820096	103,6559368	-2,187009804
74	7,519346449	676,7322727	4,330298154	2,142018367	119,0938196	-2,181250278
75	18,42661034	472,7493556	20,32493512	2,656118983	555,6237624	-2,668877357
76	17,94037617	484,9022451	5,815154926	2,652716191	159,0372062	-2,69771364
77	18,11276131	480,5210142	0,649567144	2,653932764	17,76213077	-3,120127284
78	18,14728172	479,6534017	0,482532739	2,654175028	13,19424578	-3,322542939
79	18,18225585	478,7776556	0,283273469	2,654420018	7,745515166	-4,038394472
80	7,837075385	663,3778629	4,774140857	2,160855096	131,2566855	-2,19702431
81	9,196425746	602,6552424	4,678766585	2,220439203	128,4273607	-2,259504812

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-13: Υπολογισμός μεταβολής ενθαλπίας αέρα με βάση το ψυχομετρικό διάγραμμα**

Α/Α	ΤΕΙΣ	ΤΕΞ	Η ΕΙΣ(J/Kg)	Η ΕΞ(J/Kg)	ΔΗ αερ.(J/Kg)
1	18,83603	21,76093	54024,63008	64438,15767	10413,52758
2	20,04191	25,37137	58194,02181	78702,78575	20508,76394
3	20,74534	26,37427	60706,44607	82941,7353	22235,28923
4	21,24779	25,77253	62537,25095	80383,93673	17846,68578
5	19,33848	26,97601	55740,75056	85542,82041	29802,06984
6	20,74534	27,0763	60706,44607	85980,543	25274,09694
7	22,35318	26,0734	66671,25566	81657,4252	14986,16954
8	23,55906	27,47746	71347,67315	87743,45743	16395,78428
9	23,86053	27,77833	72543,93962	89078,26849	16534,32887
10	23,55906	28,78123	71347,67315	93605,79493	22258,12178
11	23,55906	30,38587	71347,67315	101099,9372	29752,26406
12	20,74534	24,76963	60706,44607	76217,1314	15510,68534
13	21,04681	26,17369	61801,30738	82084,32616	20283,01878
14	21,24779	30,38587	62537,25095	101099,9372	38562,68626
15	22,05171	25,57195	65529,31338	79540,95643	14011,64306
16	22,25269	26,87572	66289,40102	85106,30021	18816,89919
17	22,1522	30,78703	65908,7536	103021,5689	37112,81533
18	22,85563	26,17369	68598,63687	82084,32616	13485,68929
19	23,05661	27,47746	69378,03979	87743,45743	18365,41764
20	23,05661	30,68674	69378,03979	102539,3574	33161,3176
21	23,86053	25,57195	72543,93962	79540,95643	6997,016809
22	24,36298	26,0734	74561,86116	81657,4252	7095,564041
23	24,56396	26,37427	75377,4802	82941,7353	7564,255101
24	24,86543	26,87572	76609,96279	85106,30021	8496,337418
25	25,06641	26,97601	77437,65388	85542,82041	8105,166527
26	25,46837	27,37717	79107,5225	87300,92522	8193,402719
27	21,34828	24,76963	62907,03354	76217,1314	13310,09787

**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

28	21,75024	24,86992	64398,23593	76628,40112	12230,16519
29	21,95122	25,17079	65151,08036	77869,42469	12718,34433
30	22,05171	26,47456	65529,31338	83372,24348	17842,9301
31	22,35318	26,77543	66671,25566	84670,98242	17999,72677
32	22,75514	26,87572	68210,74622	85106,30021	16895,55399
33	18,03211	21,66064	51341,61193	64064,16247	12722,55053
34	18,93652	21,46006	54365,43977	63319,77928	8954,339506
35	19,43897	21,46006	56087,59627	63319,77928	7232,183005
36	19,94142	21,35977	57839,93288	62949,39129	5109,458409
37	17,83113	21,15919	50682,92944	62212,22252	11529,29308
38	19,03701	21,35977	54707,45666	62949,39129	8241,934625
39	20,24289	21,46006	58905,82129	63319,77928	4413,957984
40	20,54436	21,86122	59982,57455	64813,35527	4830,780725
41	20,74534	22,16209	60706,44607	65946,1625	5239,716436
42	20,54436	22,46296	59982,57455	67089,79137	7107,216826
43	20,34338	23,0647	59263,53184	69409,51401	10145,98217
44	21,44877	22,36267	63278,02333	66707,37935	3429,356016
45	21,34828	22,86412	62907,03354	68631,46351	5724,429977
46	21,1473	24,26818	62168,67556	74178,81888	12010,14332
47	21,75024	22,66354	64398,23593	67858,22264	3459,986702
48	21,75024	23,26528	64398,23593	70192,37412	5794,138182
49	21,54926	24,46876	63650,22033	74990,53668	11340,31635
50	21,95122	22,96441	65151,08036	69019,88756	3868,807201
51	22,05171	23,66644	65529,31338	71772,52318	6243,209802
52	21,95122	24,76963	65151,08036	76217,1314	11066,05105
53	22,35318	22,86412	66671,25566	68631,46351	1960,207858
54	22,35318	22,96441	66671,25566	69019,88756	2348,631903
55	22,55416	23,0647	67438,58653	69409,51401	1970,927478
56	22,55416	23,26528	67438,58653	70192,37412	2753,787586
57	22,65465	23,36557	67824,06277	70585,60778	2761,545002
58	22,85563	23,46586	68598,63687	70980,04384	2381,406966
59	22,85563	23,76673	68598,63687	72170,56645	3571,929579
60	22,95612	23,76673	68987,73473	72170,56645	3182,831723
61	23,05661	23,96731	69378,03979	72970,26021	3592,220423
62	23,05661	24,36847	69378,03979	74584,07658	5206,036789
63	23,25759	24,46876	70162,27152	74990,53668	4828,265157
64	23,35808	24,56905	70556,1982	75398,19918	4842,000988
65					
66					
67					
68					
69					
70					
71					
72					
73					
74					
75	21,95122	36,80443	65151,08036	134154,6599	69003,57949
76	10,49536	31,68964	29945,73989	107415,5809	77469,84102
77	12,30418	31,18819	34461,45342	104962,4391	70500,98569
78	13,00761	31,68964	36323,1946	107415,5809	71092,38631

**Παράρτημα 3: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το λάδι SHELL THERMIA B**

---

79	14,01251	31,68964	39085,43723	107415,5809	68330,14368
80	10,79683	19,65484	30671,19671	56836,76324	26165,56653
81	11,39977	26,47456	32154,70488	83372,24348	51217,53859

7.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΘΕΡΜΟ ΡΕΥΜΑ ΤΟ ΝΕΡΟ

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται όλοι οι πίνακες που δημιουργήθηκαν για την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη χρήση του νερού ως θερμαντικού ρευστού.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-14: Παροχές θερμού νερού (N), ψυχρού νερού (v) και αέρα (a), με έντονα γράμματα σημειώνονται οι τελικές τιμές μετά τη βαθμονόμηση**

A/A	QN(GPM)	QN(Kg/s)	Qv(GPM)	Qv(lt/h)	Qv(Kg/s)	Qa'(m3/s)	Qa'(Kg/s)	Qa(Kg/s)
1	10.8	<b>0.7172</b>	0.3		<b>0.01849</b>	0.005555556	0.013238091	<b>0.018654503</b>
2	10.85	<b>0.720125</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.005555556	0.013184012	<b>0.018540311</b>
3	10.8	<b>0.7172</b>	0.75		<b>0.047425</b>	0.005555556	0.013157138	<b>0.018483651</b>
4	10.8	<b>0.7172</b>	1		<b>0.0635</b>	0.005555556	0.013791568	<b>0.019836547</b>
5	10.8	<b>0.7172</b>	0.3		<b>0.01849</b>	0.006388889	0.019736974	<b>0.031667776</b>
6	10.8	<b>0.7172</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.006388889	0.019663241	<b>0.031490486</b>
7	10.8	<b>0.7172</b>		250	<b>0.1084</b>	0.004722222	0.011138159	<b>0.015615515</b>
8	10.8	<b>0.7172</b>		250	<b>0.1084</b>	0.004166667	0.008342329	<b>0.010775712</b>
9	10.8	<b>0.7172</b>	1		<b>0.0635</b>	0.004166667	0.008333881	<b>0.010759348</b>
10	10.8	<b>0.7172</b>	0.75		<b>0.047425</b>	0.004166667	0.008336695	<b>0.010764798</b>
11	10.85	<b>0.720125</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.004166667	0.008342329	<b>0.010775712</b>
12	10.85	<b>0.720125</b>	1.5		<b>0.09565</b>	0.001944444	0.002738807	<b>0.002967247</b>
13	10.85	<b>0.720125</b>	1		<b>0.0635</b>	0.001944444	0.002510573	<b>0.002604179</b>
14	10.85	<b>0.720125</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.001944444	0.002510573	<b>0.002604179</b>
15	10.85	<b>0.720125</b>	1.5		<b>0.09565</b>	0.001388889	0.00178965	<b>0.001854505</b>
16	10.85	<b>0.720125</b>	1		<b>0.0635</b>	0.001388889	0.00178965	<b>0.001854505</b>
17	10.85	<b>0.720125</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.001388889	0.001790252	<b>0.00185544</b>
18	10.9	<b>0.72305</b>	1.5		<b>0.09565</b>	0.000833333	0.001072349	<b>0.001110463</b>
19	10.85	<b>0.720125</b>	1		<b>0.0635</b>	0.000833333	0.001071989	<b>0.001109904</b>
20	10.9	<b>0.72305</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.000833333	0.001072349	<b>0.001110463</b>
21	11	<b>0.7289</b>		625	<b>0.2209</b>	0.001944444	0.00349531	<b>0.004277994</b>
22	11	<b>0.7289</b>		625	<b>0.2209</b>	0.001388889	0.002322222	<b>0.002741141</b>
23	11	<b>0.7289</b>		625	<b>0.2209</b>	0.000833333	0.001092143	<b>0.00114135</b>
24	11.05	<b>0.731825</b>		500	<b>0.1834</b>	0.001944444	0.003236694	<b>0.003812098</b>
25	11	<b>0.7289</b>		500	<b>0.1834</b>	0.001388889	0.002060002	<b>0.002290219</b>
26	11	<b>0.7289</b>		500	<b>0.1834</b>	0.000833333	0.001065095	<b>0.001130321</b>
27	11	<b>0.7289</b>		375	<b>0.1459</b>	0.001944444	0.002873243	<b>0.003188381</b>
28	11	<b>0.7289</b>		375	<b>0.1459</b>	0.001388889	0.001966889	<b>0.002136708</b>
29	11	<b>0.7289</b>		375	<b>0.1459</b>	0.000833333	0.00107996	<b>0.001122307</b>
30	11	<b>0.7289</b>		250	<b>0.1084</b>	0.001944444	0.00274899	<b>0.002983812</b>
31	11	<b>0.7289</b>		250	<b>0.1084</b>	0.001388889	0.001798718	<b>0.001868617</b>
32	11	<b>0.7289</b>		250	<b>0.1084</b>	0.000833333	0.000979795	<b>0.000969846</b>
33	8.31	<b>0.571535</b>	0.3		<b>0.01849</b>	0.005555556	0.013342992	<b>0.018876674</b>
34	8.31	<b>0.571535</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.005555556	0.013315467	<b>0.018818293</b>
35	8.31	<b>0.571535</b>	0.75		<b>0.047425</b>	0.005555556	0.013283497	<b>0.018750561</b>
36	8.31	<b>0.571535</b>	1		<b>0.0635</b>	0.005555556	0.013914264	<b>0.020101849</b>
37	8.31	<b>0.571535</b>	0.3		<b>0.01849</b>	0.006388889	0.01987246	<b>0.031994414</b>
38	8.31	<b>0.571535</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.006388889	0.019824829	<b>0.031879454</b>
39	8.31	<b>0.571535</b>		250	<b>0.1084</b>	0.004722222	0.011225517	<b>0.015799587</b>



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

40	8.31	0.571535		250	0.1084	0.004166667	0.008410534	0.010908131
41	8.31	0.571535	1		0.0635	0.004166667	0.008404808	0.010896993
42	8.31	0.571535	0.75		0.047425	0.004166667	0.008401947	0.010891431
43	8.31	0.571535	0.5		0.03135	0.004166667	0.008404808	0.010896993
44	8.31	0.571535	1.5		0.09565	0.001944444	0.002759249	0.00300053
45	8.31	0.571535	1		0.0635	0.001944444	0.002527597	0.002630712
46	8.31	0.571535	0.5		0.03135	0.001944444	0.002528454	0.00263205
47	8.31	0.571535	1.5		0.09565	0.001388889	0.001801761	0.001873361
48	8.31	0.571535	1		0.0635	0.001388889	0.001799934	0.001870512
49	8.31	0.571535	0.5		0.03135	0.001388889	0.001800543	0.001871461
50	8.31	0.571535	1.5		0.09565	0.000833333	0.001078138	0.001119468
51	8.31	0.571535	1		0.0635	0.000833333	0.001077775	0.001118902
52	8.31	0.571535	0.5		0.03135	0.000833333	0.001078502	0.001120035
53	8.31	0.571535		625	0.2209	0.001944444	0.003423509	0.004146854
54	8.31	0.571535		625	0.2209	0.001388889	0.002279269	0.00266544
55	8.31	0.571535		625	0.2209	0.000833333	0.00107379	0.001112703
56	8.36	0.57446		500	0.1834	0.001944444	0.00318562	0.003722224
57	8.36	0.57446		500	0.1834	0.001388889	0.001949071	0.00210774
58	8.36	0.57446		500	0.1834	0.000833333	0.00107127	0.001108788
59	8.36	0.57446		375	0.1459	0.001944444	0.002725955	0.002946386
60	8.36	0.57446		375	0.1459	0.001388889	0.001783656	0.001845195
61	8.36	0.57446		375	0.1459	0.000833333	0.001069119	0.00110545
62	8.36	0.57446		250	0.1084	0.001944444	0.002724129	0.002943426
63	8.36	0.57446		250	0.1084	0.001388889	0.001782462	0.001843342
64	8.36	0.57446		250	0.1084	0.000833333	0.001069477	0.001106005
65	10.7	0.71135		1250	0.4084			
66	10.65	0.708425		625	0.2209			
67	10.65	0.708425		375	0.1459			
68	10.65	0.708425	1.5		0.09565			
69	10.65	0.708425	1		0.0635			
70	8.31	0.571535		1250	0.4084			
71	8.31	0.571535		625	0.2209			
72	8.31	0.571535		375	0.1459			
73	8.31	0.571535	1.5		0.09565			
74	8.31	0.571535	1		0.0635			
75	5.52	0.40832				0.006944444	0.025200439	0.04382307
76	5.52	0.40832				0.005555556	0.013384495	0.018964814
77	5.52	0.40832				0.001944444	0.002545722	0.00265906
78	5.52	0.40832				0.001388889	0.001649124	0.001640422
79	5.52	0.40832				0.000833333	0.000986115	0.000979245
80	8.61	0.589085				0.006944444	0.025209188	0.043845892
81	8.61	0.589085				0.005555556	0.01337525	0.018945169
82	8.61	0.589085				0.001944444	0.002544853	0.002657698
83	6.07	0.440495	0.3		0.01849	0.005555556	0.013077169	0.018315392
84	6.07	0.440495	0.5		0.03135	0.005555556	0.012980739	0.018113183
85	6.07	0.440495	0.75		0.047425	0.005555556	0.012980739	0.018113183
86	6.07	0.440495	1		0.0635	0.005555556	0.01366183	0.019557302
87	6.07	0.440495	0.3		0.01849	0.006388889	0.019609962	0.031362584
88	6.07	0.440495	0.5		0.03135	0.006388889	0.019425738	0.030921675
89	6.07	0.440495		250	0.1084	0.004722222	0.011033628	0.015396205

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

90	6.07	<b>0.440495</b>		250	<b>0.1084</b>	0.004166667	0.008283551	<b>0.010662027</b>
91	6.07	<b>0.440495</b>	1		<b>0.0635</b>	0.004166667	0.008283551	<b>0.010662027</b>
92	6.07	<b>0.440495</b>	0.75		<b>0.047425</b>	0.004166667	0.008283551	<b>0.010662027</b>
93	6.07	<b>0.440495</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.004166667	0.008280772	<b>0.010656664</b>
94	6.07	<b>0.440495</b>	1.5		<b>0.09565</b>	0.001944444	0.002723217	<b>0.002941948</b>
95	6.07	<b>0.440495</b>	1		<b>0.0635</b>	0.001944444	0.002497118	<b>0.002583273</b>
96	6.07	<b>0.440495</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.001944444	0.002494612	<b>0.002579384</b>
97	6.07	<b>0.440495</b>	1.5		<b>0.09565</b>	0.001388889	0.001781865	<b>0.001842417</b>
98	6.07	<b>0.440495</b>	1		<b>0.0635</b>	0.001388889	0.001781269	<b>0.001841493</b>
99	6.07	<b>0.440495</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.001388889	0.001777702	<b>0.001835963</b>
100	6.07	<b>0.440495</b>	1.5		<b>0.09565</b>	0.000833333	0.001067334	<b>0.001102682</b>
101	6.07	<b>0.440495</b>	1		<b>0.0635</b>	0.000833333	0.001066977	<b>0.00110213</b>
102	6.07	<b>0.440495</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.000833333	0.001065909	<b>0.001100475</b>
103	5.82	<b>0.42587</b>		625	<b>0.2209</b>	0.001944444	0.003407444	<b>0.0041177</b>
104	5.82	<b>0.42587</b>		625	<b>0.2209</b>	0.001388889	0.002270108	<b>0.002649386</b>
105	5.82	<b>0.42587</b>		625	<b>0.2209</b>	0.000833333	0.001069119	<b>0.00110545</b>
106	5.82	<b>0.42587</b>		500	<b>0.1834</b>	0.001944444	0.003172837	<b>0.003699842</b>
107	5.82	<b>0.42587</b>		500	<b>0.1834</b>	0.001388889	0.002022141	<b>0.002227371</b>
108	5.82	<b>0.42587</b>		500	<b>0.1834</b>	0.000833333	0.001066977	<b>0.00110213</b>
109	5.82	<b>0.42587</b>		375	<b>0.1459</b>	0.001944444	0.002828161	<b>0.003113637</b>
110	5.82	<b>0.42587</b>		375	<b>0.1459</b>	0.001388889	0.001936725	<b>0.002087745</b>
111	5.82	<b>0.42587</b>		375	<b>0.1459</b>	0.000833333	0.001064843	<b>0.001098825</b>
112	5.82	<b>0.42587</b>		250	<b>0.1084</b>	0.001944444	0.002710511	<b>0.002921382</b>
113	5.82	<b>0.42587</b>		250	<b>0.1084</b>	0.001388889	0.001772376	<b>0.00182772</b>
114	5.82	<b>0.42587</b>		250	<b>0.1084</b>	0.000833333	0.001062365	<b>0.001094991</b>
115	0.82	<b>0.13337</b>	0.3		<b>0.01849</b>	0.005555556	0.013426256	<b>0.019053643</b>
116	0.82	<b>0.13337</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.005555556	0.013393752	<b>0.018984494</b>
117	0.82	<b>0.13337</b>	0.75		<b>0.047425</b>	0.005555556	0.01337525	<b>0.018945169</b>
118	0.41	<b>0.109385</b>	1		<b>0.0635</b>	0.005555556	0.014000495	<b>0.020289003</b>
119	0.41	<b>0.109385</b>	0.3		<b>0.01849</b>	0.006388889	0.018169196	<b>0.027970502</b>
120	0.82	<b>0.13337</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.006388889	0.018113774	<b>0.027842621</b>
121	0.41	<b>0.109385</b>		250	<b>0.1084</b>	0.004861111	0.011655041	<b>0.016474502</b>
122	0.41	<b>0.109385</b>		250	<b>0.1084</b>	0.004166667	0.008479863	<b>0.011043285</b>
123	0.82	<b>0.13337</b>	1		<b>0.0635</b>	0.004166667	0.008465326	<b>0.011014899</b>
124	0.41	<b>0.109385</b>	0.75		<b>0.047425</b>	0.004166667	0.008459525	<b>0.011003578</b>
125	0.82	<b>0.13337</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.004166667	0.008453731	<b>0.010992277</b>
126	0.41	<b>0.109385</b>	1.5		<b>0.09565</b>	0.001944444	0.002777151	<b>0.003029779</b>
127	0.41	<b>0.109385</b>	1		<b>0.0635</b>	0.001944444	0.002544853	<b>0.002657698</b>
128	0.41	<b>0.109385</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.001944444	0.00254225	<b>0.002653621</b>
129	0.41	<b>0.109385</b>	1.5		<b>0.09565</b>	0.001388889	0.001813419	<b>0.001891572</b>
130	0.41	<b>0.109385</b>	1		<b>0.0635</b>	0.001388889	0.001812802	<b>0.001890606</b>
131	0.82	<b>0.13337</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.001388889	0.001811568	<b>0.001888677</b>
132	0.82	<b>0.13337</b>	1.5		<b>0.09565</b>	0.000833333	0.001086202	<b>0.001132051</b>
133	0.82	<b>0.13337</b>	1		<b>0.0635</b>	0.000833333	0.001085095	<b>0.001130321</b>
134	0.82	<b>0.13337</b>	0.5		<b>0.03135</b>	0.000833333	0.001084727	<b>0.001129745</b>
135	0.82	<b>0.13337</b>		625	<b>0.2209</b>	0.001944444	0.003446723	<b>0.004189104</b>
136	1.24	<b>0.15794</b>		625	<b>0.2209</b>	0.001388889	0.002048149	<b>0.002270481</b>
137	0.82	<b>0.13337</b>		625	<b>0.2209</b>	0.000833333	0.001080326	<b>0.001122876</b>
138	0.41	<b>0.109385</b>		500	<b>0.1834</b>	0.001944444	0.003206072	<b>0.003758127</b>
139	0.41	<b>0.109385</b>		500	<b>0.1834</b>	0.001388889	0.002042618	<b>0.00226129</b>

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

140	0.41	<b>0.109385</b>		500	<b>0.1834</b>	0.000833333	0.001077775	<b>0.001118902</b>
141	0.41	<b>0.109385</b>		375	<b>0.1459</b>	0.001944444	0.002514807	<b>0.002610771</b>
142	0.41	<b>0.109385</b>		375	<b>0.1459</b>	0.001388889	0.001795685	<b>0.001863893</b>
143	0.41	<b>0.109385</b>		375	<b>0.1459</b>	0.000833333	0.001076685	<b>0.001117205</b>
144	0.41	<b>0.109385</b>		250	<b>0.1084</b>	0.001944444	0.002512265	<b>0.002606813</b>
145	0.41	<b>0.109385</b>		250	<b>0.1084</b>	0.001388889	0.001793266	<b>0.001860128</b>
146	0.41	<b>0.109385</b>		250	<b>0.1084</b>	0.000833333	0.001075598	<b>0.001115513</b>
a	10.6	<b>0.7055</b>		2550.2	<b>0.798472</b>			
b	8.36	<b>0.57446</b>		2064.2	<b>0.65266</b>			
c	6.07	<b>0.440495</b>		1605.2	<b>0.51496</b>			
d	0.82	<b>0.13337</b>		471.2	<b>0.17476</b>			

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-15: Οι θερμοκρασίες που μετρήθηκαν (1,2 νερό-3,4 διφασικό μίγμα, είσοδος και έξοδος αντίστοιχα, 5 τοίχωμα). Με ν, δ, μ συμβολίζονται το νερό, το διφασικό μίγμα και η μέση θερμοκρασία. Τα ΔΤ αντιστοιχούν στις διαφορές θερμοκρασίας από κάθε πλευρά του εναλλάκτη.**

Α/Α	T1 ΕΙΣΝ	T2 ΕΞΝ	T3 ΕΙΣΔ	T4 ΕΞΔ	T5 ΤΟΙΧ	T <sub>νμ</sub>	T <sub>δμ</sub>	ΔT1(T1-T4)	ΔT2(T2-T3)
1	27.5	27.4	19.4	27	25.7	27.45	23.2	0.5	8
2	27.5	27.2	20.6	27.1	26.1	27.35	23.85	0.4	6.6
3	27.4	27.1	21.2	26.9	25.8	27.25	24.05	0.5	5.9
4	27.2	26.8	21.7	26.9	26.3	27	24.3	0.3	5.1
5	27.3	27.2	20.2	26.7	25.5	27.25	23.45	0.6	7
6	27.3	26.9	21.3	26.9	26.2	27.1	24.1	0.4	5.6
7	27.2	26.8	22.4	26.9	26.4	27	24.65	0.3	4.4
8	27.2	26.9	22.8	26.9	26.3	27.05	24.85	0.3	4.1
9	27.2	26.9	23.1	26.9	26.5	27.05	25	0.3	3.8
10	27.2	26.9	23	26.9	26.4	27.05	24.95	0.3	3.9
11	27.2	27.1	22.8	26.9	26.5	27.15	24.85	0.3	4.3
12	27.3	26.9	23.8	27	26.3	27.1	25.4	0.3	3.1
13	27.2	27.1	23.8	27.1	26.3	27.15	25.45	0.1	3.3
14	27.4	27.3	23.8	27	26.5	27.35	25.4	0.4	3.5
15	27.4	27.1	24.4	27.1	26.4	27.25	25.75	0.3	2.7
16	27.3	27.1	24.4	27.1	26.5	27.2	25.75	0.2	2.7
17	27.3	27.2	24.3	27.2	26.4	27.25	25.75	0.1	2.9
18	27.3	27.1	24.8	27.1	26.5	27.2	25.95	0.2	2.3
19	27.3	27.2	24.9	27.2	26.6	27.25	26.05	0.1	2.3
20	27.4	27.3	24.8	27.3	26.3	27.35	26.05	0.1	2.5
21	26.9	25.1	17.7	25.3	24	26	21.5	1.6	7.4
22	27.2	25.4	18.7	25.7	24.4	26.3	22.2	1.5	6.7
23	27.3	25.7	19.4	25.9	24.7	26.5	22.65	1.4	6.3
24	27.6	26.5	20	26.6	25.7	27.05	23.3	1	6.5
25	27.7	26.5	20.6	26.8	25.7	27.1	23.7	0.9	5.9
26	27.8	26.8	21.3	26.9	26.1	27.3	24.1	0.9	5.5
27	27.9	27.1	21.7	27.4	26.6	27.5	24.55	0.5	5.4
28	27.8	27.1	22.2	27.3	26.7	27.45	24.75	0.5	4.9
29	27.7	27.2	22.7	27.3	26.6	27.45	25	0.4	4.5
30	27.7	27.2	22.7	27.3	26.6	27.45	25	0.4	4.5
31	27.7	27.3	22.9	27.3	26.8	27.5	25.1	0.4	4.4
32	27.6	27.3	23.3	27.3	26.6	27.45	25.3	0.3	4

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

33	27.7	27.3	17.1	26.9	25.1	27.5	22	0.8	10.2
34	27.9	27.3	17.7	27.2	25.3	27.6	22.45	0.7	9.6
35	27.7	26.9	18.4	26.9	26.2	27.3	22.65	0.8	8.5
36	27.4	26.5	19.1	26.6	25.8	26.95	22.85	0.8	7.4
37	27.4	27.1	18.2	26.7	26.3	27.25	22.45	0.7	8.9
38	27.4	26.9	18.9	26.8	26.3	27.15	22.85	0.6	8
39	27.4	26.6	20.1	26.8	26.2	27	23.45	0.6	6.5
40	27.3	26.6	20.4	26.8	25.8	26.95	23.6	0.5	6.2
41	27.4	26.7	20.6	26.9	25.8	27.05	23.75	0.5	6.1
42	27.4	27	20.7	26.9	25.9	27.2	23.8	0.5	6.3
43	27.6	27.2	20.6	27	26.2	27.4	23.8	0.6	6.6
44	27.6	26.7	21.6	26.9	26.1	27.15	24.25	0.7	5.1
45	27.6	26.9	21.8	27.1	26.1	27.25	24.45	0.5	5.1
46	27.5	27.3	21.7	27.1	26.2	27.4	24.4	0.4	5.6
47	27.6	26.9	22.4	27.1	26.2	27.25	24.75	0.5	4.5
48	27.5	27.1	22.7	27.1	26.1	27.3	24.9	0.4	4.4
49	27.6	27.2	22.6	27.2	26.1	27.4	24.9	0.4	4.6
50	27.4	26.9	23.2	27	26.2	27.15	25.1	0.4	3.7
51	27.4	27	23.3	27.1	26.2	27.2	25.2	0.3	3.7
52	27.5	27.3	23.1	27.1	26.2	27.4	25.1	0.4	4.2
53	27.4	26.5	23.8	26.6	25.9	26.95	25.2	0.8	2.7
54	27.3	26.6	24.2	26.7	25.8	26.95	25.45	0.6	2.4
55	27.3	26.7	24.4	26.7	25.9	27	25.55	0.6	2.3
56	27.5	26.9	24.7	27	25.9	27.2	25.85	0.5	2.2
57	27.5	26.9	24.9	27.1	26.1	27.2	26	0.4	2
58	27.6	27.1	25.1	27.1	25.9	27.35	26.1	0.5	2
59	27.7	27.3	25.2	27.4	26.7	27.5	26.3	0.3	2.1
60	27.6	27.3	25.4	27.4	26.4	27.45	26.4	0.2	1.9
61	27.6	27.3	25.7	27.3	26.4	27.45	26.5	0.3	1.6
62	27.6	27.3	25.4	27.4	26.7	27.45	26.4	0.2	1.9
63	27.6	27.5	25.6	27.4	26.6	27.55	26.5	0.2	1.9
64	27.7	27.5	25.6	27.4	26.6	27.6	26.5	0.3	1.9
65	27.7	26.7	23.8	26.2	24.6	27.2	25	1.5	2.9
66	27.5	27.1	24.7	26.9	25.9	27.3	25.8	0.6	2.4
67	27.5	27.3	25.4	27.1	25.8	27.4	26.25	0.4	1.9
68	27.6	27.4	25.7	27.2	26	27.5	26.45	0.4	1.7
69	27.7	27.6	26.3	27.4	26	27.65	26.85	0.3	1.3
70	27.5	26.8	25.2	26.6	25.7	27.15	25.9	0.9	1.6
71	27.4	27.1	25.8	27.1	26.1	27.25	26.45	0.3	1.3
72	27.5	27.3	26.2	27.2	26.3	27.4	26.7	0.3	1.1
73	27.6	27.4	26.6	27.3	25.5	27.5	26.95	0.3	0.8
74	27.7	27.6	27.3	27.6	26.2	27.65	27.45	0.1	0.3
75	27.8	27.4	15	25.8	25.6	27.6	20.4	2	12.4
76	27.8	27.6	16.2	25.6	25.4	27.7	20.9	2.2	11.4
77	27.8	27.7	19.7	27.3	26.4	27.75	23.5	0.5	8
78	27.9	27.7	20.4	27.4	26.5	27.8	23.9	0.5	7.3
79	28	27.9	21.4	27.4	26.3	27.95	24.4	0.6	6.5
80	27.7	27.4	14.9	25.8	24.7	27.55	20.35	1.9	12.5
81	27.7	27.5	16.4	25.7	25.6	27.6	21.05	2	11.1
82	27.8	27.7	19.8	27.1	25.9	27.75	23.45	0.7	7.9



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

83	27.5	27.3	23	27	25.9	27.4	25	0.5	4.3
84	27.6	27.4	25.2	27.2	26	27.5	26.2	0.4	2.2
85	27.6	27.3	25.2	27.3	26.3	27.45	26.25	0.3	2.1
86	27.7	27.2	24.5	27.2	26.2	27.45	25.85	0.5	2.7
87	27.7	27.4	22.1	27.1	26.1	27.55	24.6	0.6	5.3
88	27.6	27.4	24.9	27.2	26.2	27.5	26.05	0.4	2.5
89	27.7	27.3	25.2	27.3	26.3	27.5	26.25	0.4	2.1
90	27.7	27.3	24.9	27.2	26.1	27.5	26.05	0.5	2.4
91	27.6	27.3	24.9	27.2	26.3	27.45	26.05	0.4	2.4
92	27.6	27.4	24.9	27.3	26.4	27.5	26.1	0.3	2.5
93	27.6	27.5	25	27.3	26.3	27.55	26.15	0.3	2.5
94	27.7	27.3	25.5	27.4	26.4	27.5	26.45	0.3	1.8
95	27.7	27.4	25.4	27.4	26.4	27.55	26.4	0.3	2
96	27.7	27.5	25.7	27.4	26.5	27.6	26.55	0.3	1.8
97	27.7	27.4	25.7	27.4	26.6	27.55	26.55	0.3	1.7
98	27.7	27.5	25.8	27.4	26.6	27.6	26.6	0.3	1.7
99	27.8	27.7	26.4	27.6	26.6	27.75	27	0.2	1.3
100	27.9	27.5	26.2	27.6	26.7	27.7	26.9	0.3	1.3
101	27.9	27.7	26.3	27.7	26.6	27.8	27	0.2	1.4
102	27.9	27.8	26.6	27.8	26.6	27.85	27.2	0.1	1.2
103	27.5	26.8	25.2	26.8	25.6	27.15	26	0.7	1.6
104	27.6	26.9	25.4	26.9	25.6	27.25	26.15	0.7	1.5
105	27.6	27	25.7	27.1	26	27.3	26.4	0.5	1.3
106	27.6	27.2	25.9	27.1	26	27.4	26.5	0.5	1.3
107	27.6	27.2	26.1	27.1	26.1	27.4	26.6	0.5	1.1
108	27.6	27.2	26.3	27.2	26.3	27.4	26.75	0.4	0.9
109	27.6	27.4	26.4	27.3	26.6	27.5	26.85	0.3	1
110	27.6	27.4	26.8	27.4	26.7	27.5	27.1	0.2	0.6
111	27.7	27.4	26.9	27.5	26.6	27.55	27.2	0.2	0.5
112	27.7	27.6	26.9	27.6	26.9	27.65	27.25	0.1	0.7
113	27.8	27.7	27.3	27.7	26.9	27.75	27.5	0.1	0.4
114	27.9	27.8	27.6	27.8	26.9	27.85	27.7	0.1	0.2
115	27.7	25.6	15.3	25.9	24.5	26.65	20.6	1.8	10.3
116	27.6	24.8	16	25.5	24.5	26.2	20.75	2.1	8.8
117	27.7	24.1	16.4	25.2	24.6	25.9	20.8	2.5	7.7
118	27.4	23.2	17.3	24.8	24.5	25.3	21.05	2.6	5.9
119	27.6	26.3	21	26.6	26.2	26.95	23.8	1	5.3
120	27.6	26.2	21.9	26.6	26.3	26.9	24.25	1	4.3
121	27.3	23.1	17.6	24.8	24.5	25.2	21.2	2.5	5.5
122	27.3	22.9	18	24.8	24.4	25.1	21.4	2.5	4.9
123	27.3	22.8	18.5	24.7	24.4	25.05	21.6	2.6	4.3
124	27.2	23.3	18.7	25.1	24.4	25.25	21.9	2.1	4.6
125	27.4	24.1	18.9	25.6	24.8	25.75	22.25	1.8	5.2
126	27.4	22.7	19.7	24.6	24.6	25.05	22.15	2.8	3
127	27.3	23.3	19.8	25.2	24.7	25.3	22.5	2.1	3.5
128	27.5	24.6	20.1	25.8	25.1	26.05	22.95	1.7	4.5
129	27.4	23.3	20.5	24.8	24.9	25.35	22.65	2.6	2.8
130	27.3	23.7	20.6	25.4	24.9	25.5	23	1.9	3.1
131	27.3	24.9	20.8	25.9	25.2	26.1	23.35	1.4	4.1
132	27.2	23.7	21	25	25.1	25.45	23	2.2	2.7

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

133	27.5	24.2	21.3	25.6	25.2	25.85	23.45	1.9	2.9
134	27.4	25.2	21.4	26.1	25.4	26.3	23.75	1.3	3.8
135	27.4	23.5	21.8	24.6	25	25.45	23.2	2.8	1.7
136	27.3	23.8	22.3	24.8	25	25.55	23.55	2.5	1.5
137	27.2	23.9	22.6	24.9	25	25.55	23.75	2.3	1.3
138	27.4	24.4	22.8	25.3	25	25.9	24.05	2.1	1.6
139	27.4	24.7	23.1	25.6	25.1	26.05	24.35	1.8	1.6
140	27.4	24.8	23.3	25.7	25.2	26.1	24.5	1.7	1.5
141	27.4	25.1	23.3	26	25.4	26.25	24.65	1.4	1.8
142	27.5	25.2	23.4	26.1	25.5	26.35	24.75	1.4	1.8
143	27.4	25.3	23.6	26.2	25.6	26.35	24.9	1.2	1.7
144	27.4	25.8	23.6	26.6	25.9	26.6	25.1	0.8	2.2
145	27.6	25.9	23.8	26.6	26	26.75	25.2	1	2.1
146	27.4	26	23.9	26.7	26.1	26.7	25.3	0.7	2.1
a	26.1	24.7	22.1	23.7		25.4	22.9	2.4	2.6
b	26.8	25.41	23.4	24.8		26.11	24.1	2	2.01
c	27.8	26.31	24.4	25.9		27.06	25.15	1.9	1.91
d	28.3	26.8	25.3	27.3		27.55	26.3	1	1.5

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-16: Οι φυσικές ιδιότητες του θερμού νερού**

A/A	P(bar)	p(Kg/m <sup>3</sup> )	cp(KJ/KgC)	k(W/mC)	v(m <sup>2</sup> /s)	μ(Pa*s)	Pr
1	4	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
2	4	996.03515	4.18256	0.6137515	8.50329E-07	0.000840476	5.69704975
3	4	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
4	4	996.123	4.1827	0.61323	0.000000857	0.000847415	5.7505
5	4	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
6	4	996.0979	4.18266	0.613379	8.55084E-07	0.000845423	5.735151
7	4	996.123	4.1827	0.61323	0.000000857	0.000847415	5.7505
8	4	996.11045	4.18268	0.6133045	8.56041E-07	0.000846418	5.74281775
9	4	996.11045	4.18268	0.6133045	8.56041E-07	0.000846418	5.74281775
10	4	996.11045	4.18268	0.6133045	8.56041E-07	0.000846418	5.74281775
11	4	996.08535	4.18264	0.6134535	8.54129E-07	0.00084443	5.72749975
12	4	996.0979	4.18266	0.613379	8.55084E-07	0.000845423	5.735151
13	4	996.08535	4.18264	0.6134535	8.54129E-07	0.00084443	5.72749975
14	4	996.03515	4.18256	0.6137515	8.50329E-07	0.000840476	5.69704975
15	4	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
16	4	996.0728	4.18262	0.613528	8.53176E-07	0.000843438	5.719864
17	4	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
18	4	996.0728	4.18262	0.613528	8.53176E-07	0.000843438	5.719864
19	4	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
20	4	996.03515	4.18256	0.6137515	8.50329E-07	0.000840476	5.69704975
21	4	996.374	4.1831	0.61174	8.766E-07	0.00086776	5.9074
22	4	996.2987	4.18298	0.612187	8.70636E-07	0.000861576	5.859679
23	4	996.2485	4.1829	0.612485	8.667E-07	0.000857491	5.828175
24	4	996.11045	4.18268	0.6133045	8.56041E-07	0.000846418	5.74281775
25	4	996.0979	4.18266	0.613379	8.55084E-07	0.000845423	5.735151
26	4	996.0477	4.18258	0.613677	8.51276E-07	0.000841462	5.704639
27	4	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
28	4	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
29	4	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

30	4	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
31	4	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
32	4	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
33	3	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
34	3	995.9724	4.18246	0.614124	8.45624E-07	0.000835578	5.659336
35	3	996.0477	4.18258	0.613677	8.51276E-07	0.000841462	5.704639
36	3	996.13555	4.18272	0.6131555	8.57961E-07	0.000848414	5.75819775
37	3	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
38	3	996.08535	4.18264	0.6134535	8.54129E-07	0.00084443	5.72749975
39	3	996.123	4.1827	0.61323	0.000000857	0.000847415	5.7505
40	3	996.13555	4.18272	0.6131555	8.57961E-07	0.000848414	5.75819775
41	3	996.11045	4.18268	0.6133045	8.56041E-07	0.000846418	5.74281775
42	3	996.0728	4.18262	0.613528	8.53176E-07	0.000843438	5.719864
43	3	996.0226	4.18254	0.613826	8.49384E-07	0.000839493	5.689476
44	3	996.08535	4.18264	0.6134535	8.54129E-07	0.00084443	5.72749975
45	3	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
46	3	996.0226	4.18254	0.613826	8.49384E-07	0.000839493	5.689476
47	3	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
48	3	996.0477	4.18258	0.613677	8.51276E-07	0.000841462	5.704639
49	3	996.0226	4.18254	0.613826	8.49384E-07	0.000839493	5.689476
50	3	996.08535	4.18264	0.6134535	8.54129E-07	0.00084443	5.72749975
51	3	996.0728	4.18262	0.613528	8.53176E-07	0.000843438	5.719864
52	3	996.0226	4.18254	0.613826	8.49384E-07	0.000839493	5.689476
53	3	996.13555	4.18272	0.6131555	8.57961E-07	0.000848414	5.75819775
54	3	996.13555	4.18272	0.6131555	8.57961E-07	0.000848414	5.75819775
55	3	996.123	4.1827	0.61323	0.000000857	0.000847415	5.7505
56	3	996.0728	4.18262	0.613528	8.53176E-07	0.000843438	5.719864
57	3	996.0728	4.18262	0.613528	8.53176E-07	0.000843438	5.719864
58	3	996.03515	4.18256	0.6137515	8.50329E-07	0.000840476	5.69704975
59	3	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
60	3	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
61	3	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
62	3	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
63	3	995.98495	4.18248	0.6140495	8.46561E-07	0.000836553	5.66684775
64	3	995.9724	4.18246	0.614124	8.45624E-07	0.000835578	5.659336
65	4	996.0728	4.18262	0.613528	8.53176E-07	0.000843438	5.719864
66	4	996.0477	4.18258	0.613677	8.51276E-07	0.000841462	5.704639
67	4	996.0226	4.18254	0.613826	8.49384E-07	0.000839493	5.689476
68	4	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
69	4	995.95985	4.18244	0.6141985	8.44689E-07	0.000834604	5.65183975
70	3	996.08535	4.18264	0.6134535	8.54129E-07	0.00084443	5.72749975
71	3	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
72	3	996.0226	4.18254	0.613826	8.49384E-07	0.000839493	5.689476
73	3	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
74	3	995.95985	4.18244	0.6141985	8.44689E-07	0.000834604	5.65183975
75	2	995.9724	4.18246	0.614124	8.45624E-07	0.000835578	5.659336
76	2	995.9473	4.18242	0.614273	8.43756E-07	0.000833632	5.644359
77	2	995.93475	4.1824	0.6143475	8.42825E-07	0.000832662	5.63689375
78	2	995.9222	4.18238	0.614422	8.41896E-07	0.000831693	5.629444
79	2	995.88455	4.18232	0.6146455	8.39121E-07	0.0008288	5.60718775



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

80	3	995.98495	4.18248	0.6140495	8.46561E-07	0.000836553	5.66684775
81	3	995.9724	4.18246	0.614124	8.45624E-07	0.000835578	5.659336
82	3	995.93475	4.1824	0.6143475	8.42825E-07	0.000832662	5.63689375
83	2	996.0226	4.18254	0.613826	8.49384E-07	0.000839493	5.689476
84	2	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
85	2	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
86	2	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
87	2	995.98495	4.18248	0.6140495	8.46561E-07	0.000836553	5.66684775
88	2	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
89	2	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
90	2	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
91	2	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
92	2	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
93	2	995.98495	4.18248	0.6140495	8.46561E-07	0.000836553	5.66684775
94	2	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
95	2	995.98495	4.18248	0.6140495	8.46561E-07	0.000836553	5.66684775
96	2	995.9724	4.18246	0.614124	8.45624E-07	0.000835578	5.659336
97	2	995.98495	4.18248	0.6140495	8.46561E-07	0.000836553	5.66684775
98	2	995.9724	4.18246	0.614124	8.45624E-07	0.000835578	5.659336
99	2	995.93475	4.1824	0.6143475	8.42825E-07	0.000832662	5.63689375
100	2	995.9473	4.18242	0.614273	8.43756E-07	0.000833632	5.644359
101	2	995.9222	4.18238	0.614422	8.41896E-07	0.000831693	5.629444
102	2	995.90965	4.18236	0.6144965	8.40969E-07	0.000830727	5.62200975
103	2	996.08535	4.18264	0.6134535	8.54129E-07	0.00084443	5.72749975
104	2	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
105	2	996.0477	4.18258	0.613677	8.51276E-07	0.000841462	5.704639
106	2	996.0226	4.18254	0.613826	8.49384E-07	0.000839493	5.689476
107	2	996.0226	4.18254	0.613826	8.49384E-07	0.000839493	5.689476
108	2	996.0226	4.18254	0.613826	8.49384E-07	0.000839493	5.689476
109	2	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
110	2	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
111	2	995.98495	4.18248	0.6140495	8.46561E-07	0.000836553	5.66684775
112	2	995.95985	4.18244	0.6141985	8.44689E-07	0.000834604	5.65183975
113	2	995.93475	4.1824	0.6143475	8.42825E-07	0.000832662	5.63689375
114	2	995.90965	4.18236	0.6144965	8.40969E-07	0.000830727	5.62200975
115	1.1	996.21085	4.18284	0.6127085	8.63769E-07	0.000854448	5.80470975
116	1.1	996.3238	4.18302	0.612038	8.72616E-07	0.000863629	5.875524
117	1.1	996.3991	4.18314	0.611591	8.78604E-07	0.000869837	5.923431
118	1.1	996.5497	4.18338	0.610697	8.90796E-07	0.00088246	6.020919
119	1.1	996.13555	4.18272	0.6131555	8.57961E-07	0.000848414	5.75819775
120	1.1	996.1481	4.18274	0.613081	8.58924E-07	0.000849415	5.765911
121	1.1	996.5748	4.18342	0.610548	8.92856E-07	0.00088459	6.037384
122	1.1	996.5999	4.18346	0.610399	8.94924E-07	0.000886729	6.053911
123	1.1	996.61245	4.18348	0.6103245	8.95961E-07	0.000887801	6.06219775
124	1.1	996.56225	4.1834	0.6106225	8.91825E-07	0.000883524	6.02914375
125	1.1	996.43675	4.1832	0.6113675	8.81625E-07	0.000872967	5.94759375
126	1.1	996.61245	4.18348	0.6103245	8.95961E-07	0.000887801	6.06219775
127	1.1	996.5497	4.18338	0.610697	8.90796E-07	0.00088246	6.020919
128	1.1	996.36145	4.18308	0.6118145	8.75601E-07	0.000866724	5.89940775
129	1.1	996.53715	4.18336	0.6107715	8.89769E-07	0.000881397	6.01270975



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

130	1.1	996.4995	4.1833	0.610995	8.867E-07	0.000878221	5.988175
131	1.1	996.3489	4.18306	0.611889	8.74604E-07	0.000865691	5.891431
132	1.1	996.51205	4.18332	0.6109205	8.87721E-07	0.000879278	5.99633775
133	1.1	996.41165	4.18316	0.6115165	8.79609E-07	0.000870878	5.93146975
134	1.1	996.2987	4.18298	0.612187	8.70636E-07	0.000861576	5.859679
135	1.1	996.51205	4.18332	0.6109205	8.87721E-07	0.000879278	5.99633775
136	1.1	996.48695	4.18328	0.6110695	8.85681E-07	0.000877166	5.98002775
137	1.1	996.48695	4.18328	0.6110695	8.85681E-07	0.000877166	5.98002775
138	1.1	996.3991	4.18314	0.611591	8.78604E-07	0.000869837	5.923431
139	1.1	996.36145	4.18308	0.6118145	8.75601E-07	0.000866724	5.89940775
140	1.1	996.3489	4.18306	0.611889	8.74604E-07	0.000865691	5.891431
141	1.1	996.31125	4.183	0.6121125	8.71625E-07	0.000862602	5.86759375
142	1.1	996.28615	4.18296	0.6122615	8.69649E-07	0.000860552	5.85177975
143	1.1	996.28615	4.18296	0.6122615	8.69649E-07	0.000860552	5.85177975
144	1.1	996.2234	4.18286	0.612634	8.64744E-07	0.000855461	5.812516
145	1.1	996.18575	4.1828	0.6128575	8.61825E-07	0.000852429	5.78914375
146	1.1	996.1983	4.18282	0.612783	8.62796E-07	0.000853438	5.796919
a	3.5	996.5246	4.18334	0.610846	8.88744E-07	0.000880337	6.004516
b	2.75	996.34765	4.183058	0.6118965	8.74504E-07	0.000865588	5.89063418
c	2	996.1092	4.182678	0.613312	8.55945E-07	0.000846318	5.74205038
d	1.1	995.98495	4.18248	0.6140495	8.46561E-07	0.000836553	5.66684775

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-17: Οι φυσικές ιδιότητες του ψυχρού νερού**

A/A	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (KJ/KgC)	$k$ (W/mC)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	$\mu$ (Pa*s)	Pr
1	997.0768	4.18422	0.607568	9.35736E-07	0.000928822	6.379704
2	996.91365	4.18396	0.6085365	9.21449E-07	0.000914109	6.26572975
3	996.86345	4.18388	0.6088345	9.17121E-07	0.000909647	6.23118775
4	996.8007	4.18378	0.609207	9.11756E-07	0.000904114	6.188359
5	997.01405	4.18412	0.6079405	9.30201E-07	0.000923125	6.33555775
6	996.8509	4.18386	0.608909	9.16044E-07	0.000908537	6.222591
7	996.71285	4.18364	0.6097285	9.04329E-07	0.000896447	6.12904975
8	996.66265	4.18356	0.6100265	9.00129E-07	0.000892109	6.09549975
9	996.625	4.1835	0.61025	0.000000897	0.000888875	6.0705
10	996.63755	4.18352	0.6101755	8.98041E-07	0.000889951	6.07881775
11	996.66265	4.18356	0.6100265	9.00129E-07	0.000892109	6.09549975
12	996.5246	4.18334	0.610846	8.88744E-07	0.000880337	6.004516
13	996.51205	4.18332	0.6109205	8.87721E-07	0.000879278	5.99633775
14	996.5246	4.18334	0.610846	8.88744E-07	0.000880337	6.004516
15	996.43675	4.1832	0.6113675	8.81625E-07	0.000872967	5.94759375
16	996.43675	4.1832	0.6113675	8.81625E-07	0.000872967	5.94759375
17	996.43675	4.1832	0.6113675	8.81625E-07	0.000872967	5.94759375
18	996.38655	4.18312	0.6116655	8.77601E-07	0.000868797	5.91540775
19	996.36145	4.18308	0.6118145	8.75601E-07	0.000866724	5.89940775
20	996.36145	4.18308	0.6118145	8.75601E-07	0.000866724	5.89940775
21	997.5035	4.1849	0.605035	9.747E-07	0.000968841	6.690175
22	997.3278	4.18462	0.606078	9.58376E-07	0.000952093	6.560164
23	997.21485	4.18444	0.6067485	9.48089E-07	0.000941526	6.47818975
24	997.0517	4.18418	0.607717	9.33516E-07	0.000926538	6.361999
25	996.9513	4.18402	0.608313	9.24716E-07	0.000917476	6.291799
26	996.8509	4.18386	0.608909	9.16044E-07	0.000908537	6.222591

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

27	996.73795	4.18368	0.6095795	9.06441E-07	0.000898628	6.14591775
28	996.68775	4.1836	0.6098775	9.02225E-07	0.000894274	6.11224375
29	996.625	4.1835	0.61025	0.000000897	0.000888875	6.0705
30	996.625	4.1835	0.61025	0.000000897	0.000888875	6.0705
31	996.5999	4.18346	0.610399	8.94924E-07	0.000886729	6.053911
32	996.5497	4.18338	0.610697	8.90796E-07	0.00088246	6.020919
33	997.378	4.1847	0.60578	0.000000963	0.00095684	6.597
34	997.26505	4.18452	0.6064505	9.52641E-07	0.000946203	6.51446775
35	997.21485	4.18444	0.6067485	9.48089E-07	0.000941526	6.47818975
36	997.16465	4.18436	0.6070465	9.43569E-07	0.00093688	6.44215975
37	997.26505	4.18452	0.6064505	9.52641E-07	0.000946203	6.51446775
38	997.16465	4.18436	0.6070465	9.43569E-07	0.00093688	6.44215975
39	997.01405	4.18412	0.6079405	9.30201E-07	0.000923125	6.33555775
40	996.9764	4.18406	0.608164	9.26904E-07	0.00091973	6.309256
41	996.93875	4.184	0.6083875	9.23625E-07	0.000916352	6.28309375
42	996.9262	4.18398	0.608462	9.22536E-07	0.000915229	6.274404
43	996.9262	4.18398	0.608462	9.22536E-07	0.000915229	6.274404
44	996.81325	4.1838	0.6091325	9.12825E-07	0.000905217	6.19689375
45	996.76305	4.18372	0.6094305	9.08561E-07	0.000900816	6.16284775
46	996.7756	4.18374	0.609356	9.09624E-07	0.000901914	6.171336
47	996.68775	4.1836	0.6098775	9.02225E-07	0.000894274	6.11224375
48	996.6501	4.18354	0.610101	8.99084E-07	0.000891029	6.087151
49	996.6501	4.18354	0.610101	8.99084E-07	0.000891029	6.087151
50	996.5999	4.18346	0.610399	8.94924E-07	0.000886729	6.053911
51	996.5748	4.18342	0.610548	8.92856E-07	0.00088459	6.037384
52	996.5999	4.18346	0.610399	8.94924E-07	0.000886729	6.053911
53	996.5748	4.18342	0.610548	8.92856E-07	0.00088459	6.037384
54	996.51205	4.18332	0.6109205	8.87721E-07	0.000879278	5.99633775
55	996.48695	4.18328	0.6110695	8.85681E-07	0.000877166	5.98002775
56	996.41165	4.18316	0.6115165	8.79609E-07	0.000870878	5.93146975
57	996.374	4.1831	0.61174	8.766E-07	0.00086776	5.9074
58	996.3489	4.18306	0.611889	8.74604E-07	0.000865691	5.891431
59	996.2987	4.18298	0.612187	8.70636E-07	0.000861576	5.859679
60	996.2736	4.18294	0.612336	8.68664E-07	0.00085953	5.843896
61	996.2485	4.1829	0.612485	8.667E-07	0.000857491	5.828175
62	996.2736	4.18294	0.612336	8.68664E-07	0.00085953	5.843896
63	996.2485	4.1829	0.612485	8.667E-07	0.000857491	5.828175
64	996.2485	4.1829	0.612485	8.667E-07	0.000857491	5.828175
65	996.625	4.1835	0.61025	0.000000897	0.000888875	6.0705
66	996.4242	4.18318	0.611442	8.80616E-07	0.000871921	5.939524
67	996.31125	4.183	0.6121125	8.71625E-07	0.000862602	5.86759375
68	996.26105	4.18292	0.6124105	8.67681E-07	0.000858509	5.83602775
69	996.16065	4.18276	0.6130065	8.59889E-07	0.000850418	5.77363975
70	996.3991	4.18314	0.611591	8.78604E-07	0.000869837	5.923431
71	996.26105	4.18292	0.6124105	8.67681E-07	0.000858509	5.83602775
72	996.1983	4.18282	0.612783	8.62796E-07	0.000853438	5.796919
73	996.13555	4.18272	0.6131555	8.57961E-07	0.000848414	5.75819775
74	996.01005	4.18252	0.6139005	8.48441E-07	0.000838511	5.68191775
75						
76						

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

77						
78						
79						
80						
81						
82						
83	996.625	4.1835	0.61025	0.000000897	0.000888875	6.0705
84	996.3238	4.18302	0.612038	8.72616E-07	0.000863629	5.875524
85	996.31125	4.183	0.6121125	8.71625E-07	0.000862602	5.86759375
86	996.41165	4.18316	0.6115165	8.79609E-07	0.000870878	5.93146975
87	996.7254	4.18366	0.609654	9.05384E-07	0.000897537	6.137476
88	996.36145	4.18308	0.6118145	8.75601E-07	0.000866724	5.89940775
89	996.31125	4.183	0.6121125	8.71625E-07	0.000862602	5.86759375
90	996.36145	4.18308	0.6118145	8.75601E-07	0.000866724	5.89940775
91	996.36145	4.18308	0.6118145	8.75601E-07	0.000866724	5.89940775
92	996.3489	4.18306	0.611889	8.74604E-07	0.000865691	5.891431
93	996.33635	4.18304	0.6119635	8.73609E-07	0.000864659	5.88346975
94	996.26105	4.18292	0.6124105	8.67681E-07	0.000858509	5.83602775
95	996.2736	4.18294	0.612336	8.68664E-07	0.00085953	5.843896
96	996.23595	4.18288	0.6125595	8.65721E-07	0.000856475	5.82033775
97	996.23595	4.18288	0.6125595	8.65721E-07	0.000856475	5.82033775
98	996.2234	4.18286	0.612634	8.64744E-07	0.000855461	5.812516
99	996.123	4.1827	0.61323	0.000000857	0.000847415	5.7505
100	996.1481	4.18274	0.613081	8.58924E-07	0.000849415	5.765911
101	996.123	4.1827	0.61323	0.000000857	0.000847415	5.7505
102	996.0728	4.18262	0.613528	8.53176E-07	0.000843438	5.719864
103	996.374	4.1831	0.61174	8.766E-07	0.00086776	5.9074
104	996.33635	4.18304	0.6119635	8.73609E-07	0.000864659	5.88346975
105	996.2736	4.18294	0.612336	8.68664E-07	0.00085953	5.843896
106	996.2485	4.1829	0.612485	8.667E-07	0.000857491	5.828175
107	996.2234	4.18286	0.612634	8.64744E-07	0.000855461	5.812516
108	996.18575	4.1828	0.6128575	8.61825E-07	0.000852429	5.78914375
109	996.16065	4.18276	0.6130065	8.59889E-07	0.000850418	5.77363975
110	996.0979	4.18266	0.613379	8.55084E-07	0.000845423	5.735151
111	996.0728	4.18262	0.613528	8.53176E-07	0.000843438	5.719864
112	996.06025	4.1826	0.6136025	8.52225E-07	0.000842449	5.71224375
113	995.9975	4.1825	0.613975	8.475E-07	0.000837531	5.674375
114	995.9473	4.18242	0.614273	8.43756E-07	0.000833632	5.644359
115	997.7294	4.18526	0.603694	9.96264E-07	0.000990929	6.861796
116	997.69175	4.1852	0.6039175	9.92625E-07	0.000987204	6.83284375
117	997.6792	4.18518	0.603992	9.91416E-07	0.000985966	6.823224
118	997.61645	4.18508	0.6043645	9.85401E-07	0.000979807	6.77535775
119	996.9262	4.18398	0.608462	9.22536E-07	0.000915229	6.274404
120	996.81325	4.1838	0.6091325	9.12825E-07	0.000905217	6.19689375
121	997.5788	4.18502	0.604588	9.81816E-07	0.000976134	6.746824
122	997.5286	4.18494	0.604886	9.77064E-07	0.000971265	6.708996
123	997.4784	4.18486	0.605184	9.72344E-07	0.000966426	6.671416
124	997.4031	4.18474	0.605631	9.65324E-07	0.000959225	6.615511
125	997.31525	4.1846	0.6061525	9.57225E-07	0.000950912	6.55099375
126	997.34035	4.18464	0.6060035	9.59529E-07	0.000953277	6.56934975



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

127	997.2525	4.1845	0.606525	9.515E-07	0.000945031	6.505375
128	997.13955	4.18432	0.6071955	9.41321E-07	0.000934568	6.42423775
129	997.21485	4.18444	0.6067485	9.48089E-07	0.000941526	6.47818975
130	997.127	4.1843	0.60727	9.402E-07	0.000933415	6.4153
131	997.03915	4.18416	0.6077915	9.32409E-07	0.000925398	6.35316975
132	997.127	4.1843	0.60727	9.402E-07	0.000933415	6.4153
133	997.01405	4.18412	0.6079405	9.30201E-07	0.000923125	6.33555775
134	996.93875	4.184	0.6083875	9.23625E-07	0.000916352	6.28309375
135	997.0768	4.18422	0.607568	9.35736E-07	0.000928822	6.379704
136	996.98895	4.18408	0.6080895	9.28001E-07	0.000920859	6.31800775
137	996.93875	4.184	0.6083875	9.23625E-07	0.000916352	6.28309375
138	996.86345	4.18388	0.6088345	9.17121E-07	0.000909647	6.23118775
139	996.78815	4.18376	0.6092815	9.10689E-07	0.000903013	6.17983975
140	996.7505	4.1837	0.609505	9.075E-07	0.000899721	6.154375
141	996.71285	4.18364	0.6097285	9.04329E-07	0.000896447	6.12904975
142	996.68775	4.1836	0.6098775	9.02225E-07	0.000894274	6.11224375
143	996.6501	4.18354	0.610101	8.99084E-07	0.000891029	6.087151
144	<del>996.5999</del>	4.18346	0.610399	8.94924E-07	0.000886729	6.053911
145	996.5748	4.18342	0.610548	8.92856E-07	0.00088459	6.037384
146	996.5497	4.18338	0.610697	8.90796E-07	0.00088246	6.020919
a	997.1521	4.18434	0.607121	9.42444E-07	0.000935723	6.433191
b	996.8509	4.18386	0.608909	9.16044E-07	0.000908537	6.222591
c	996.58735	4.18344	0.6104735	8.93889E-07	0.000885659	6.04563975
d	996.2987	4.18298	0.612187	8.70636E-07	0.000861576	5.859679

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-18: Οι φυσικές ιδιότητες του αέρα**

A/A	P(bar)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (KJ/KgC)	$k$ (W/mC)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	$\mu$ (Pa*s)	Pr
1	2	2.382856387	1.006863097	0.026124	8.78274E-06	0.000020928	0.69414
2	2	2.373122165	1.006993264	0.0261695	8.82972E-06	0.000020954	0.693945
3	2	2.368284818	1.007033285	0.0261835	8.85113E-06	0.000020962	0.693885
4	2.1	2.48248217	1.007083291	0.026201	8.448E-06	0.000020972	0.69381
5	2.6	3.089265474	1.006913179	0.0261415	6.77766E-06	0.000020938	0.694065
6	2.6	3.077724663	1.007043288	0.026187	6.81153E-06	0.000020964	0.69387
7	2	2.358669044	1.007153264	0.0262255	8.89739E-06	0.000020986	0.693705
8	1.7	2.002158948	1.007193228	0.0262395	1.04857E-05	0.000020994	0.693645
9	1.7	2.000131445	1.007223193	0.02625	1.04993E-05	0.000021	0.6936
10	1.7	2.000806823	1.007213206	0.0262465	1.04948E-05	0.000020998	0.693615
11	1.7	2.002158948	1.007193228	0.0262395	1.04857E-05	0.000020994	0.693645
12	1.2	1.40852932	1.00730306	0.026278	1.49205E-05	0.000021016	0.69348
13	1.1	1.291151877	1.007313039	0.0262815	1.62785E-05	0.000021018	0.693465
14	1.1	1.291151877	1.00730306	0.026278	1.62769E-05	0.000021016	0.69348
15	1.1	1.288548311	1.007372898	0.0263025	1.63207E-05	0.00002103	0.693375
16	1.1	1.288548311	1.007372898	0.0263025	1.63207E-05	0.00002103	0.693375
17	1.1	1.288981509	1.007372898	0.0263025	1.63152E-05	0.00002103	0.693375
18	1.1	1.286818425	1.007412786	0.0263165	1.63488E-05	0.000021038	0.693315
19	1.1	1.28638668	1.007432725	0.0263235	1.63574E-05	0.000021042	0.693285
20	1.1	1.286818425	1.007432725	0.0263235	1.6352E-05	0.000021042	0.693285
21	1.5	1.797588025	1.006521944	0.026005	1.16044E-05	0.00002086	0.69465
22	1.4	1.672000155	1.006662545	0.026054	1.24928E-05	0.000020888	0.69444
23	1.1	1.310571013	1.006752838	0.0260855	1.59518E-05	0.000020906	0.694305



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

24	1.4	1.66458552	1.006883132	0.026131	1.25749E-05	0.000020932	0.69411
25	1.25	1.483201353	1.006963239	0.026159	1.41235E-05	0.000020948	0.69399
26	1.1	1.30211428	1.007043288	0.026187	1.61E-05	0.000020964	0.69387
27	1.25	1.477667958	1.007133276	0.0262185	1.41994E-05	0.000020982	0.693735
28	1.2	1.416159748	1.007173248	0.0262325	1.48218E-05	0.00002099	0.693675
29	1.1	1.295952509	1.007223193	0.02625	1.62043E-05	0.000021	0.6936
30	1.2	1.413766374	1.007223193	0.02625	1.48539E-05	0.000021	0.6936
31	1.1	1.295077014	1.007243165	0.026257	1.62183E-05	0.000021004	0.69357
32	1	1.175754151	1.007283098	0.026271	1.78711E-05	0.000021012	0.69351
33	2	2.401738626	1.006622392	0.02604	8.6937E-06	0.00002088	0.6945
34	2	2.396784033	1.006712717	0.0260715	8.71918E-06	0.000020898	0.694365
35	2	2.39102945	1.006752838	0.0260855	8.74351E-06	0.000020906	0.694305
36	2.1	2.504567555	1.006792945	0.0260995	8.35034E-06	0.000020914	0.694245
37	2.6	3.110472033	1.006712717	0.0260715	6.71859E-06	0.000020898	0.694365
38	2.6	3.103016699	1.006792945	0.0260995	6.73989E-06	0.000020914	0.694245
39	2	2.37716841	1.006913179	0.0261415	8.80796E-06	0.000020938	0.694065
40	1.7	2.018528158	1.006943217	0.026152	1.03759E-05	0.000020944	0.69402
41	1.7	2.017153841	1.006973248	0.0261625	1.03859E-05	0.00002095	0.693975
42	1.7	2.016467384	1.006983256	0.026166	1.03904E-05	0.000020952	0.69396
43	1.7	2.017153841	1.006983256	0.026166	1.03869E-05	0.000020952	0.69396
44	1.2	1.419042516	1.007073292	0.0261975	1.47776E-05	0.00002097	0.693825
45	1.1	1.299906933	1.007113285	0.0262115	1.61381E-05	0.000020978	0.693765
46	1.1	1.300347803	1.007103288	0.026208	1.61311E-05	0.000020976	0.69378
47	1.1	1.297267974	1.007173248	0.0262325	1.61802E-05	0.00002099	0.693675
48	1.1	1.295952509	1.007203217	0.026243	1.62012E-05	0.000020996	0.69363
49	1.1	1.296390701	1.007203217	0.026243	1.61957E-05	0.000020996	0.69363
50	1.1	1.293765986	1.007243165	0.026257	1.62348E-05	0.000021004	0.69357
51	1.1	1.293329566	1.007263133	0.026264	1.62433E-05	0.000021008	0.69354
52	1.1	1.2942027	1.007243165	0.026257	1.62293E-05	0.000021004	0.69357
53	1.5	1.76066165	1.007263133	0.026264	1.19319E-05	0.000021008	0.69354
54	1.4	1.641073635	1.007313039	0.0262815	1.28075E-05	0.000021018	0.693465
55	1.1	1.288548311	1.007332995	0.0262885	1.63145E-05	0.000021022	0.693435
56	1.4	1.638318769	1.007392844	0.0263095	1.28388E-05	0.000021034	0.693345
57	1.2	1.403330923	1.007422756	0.02632	1.49929E-05	0.00002104	0.6933
58	1.1	1.285524057	1.007442693	0.026327	1.637E-05	0.000021044	0.69327
59	1.2	1.401919831	1.007482558	0.026341	1.50166E-05	0.000021052	0.69321
60	1.1	1.284232289	1.007502485	0.026348	1.63958E-05	0.000021056	0.69318
61	1.1	1.282943115	1.007522408	0.026355	1.64154E-05	0.00002106	0.69315
62	1.2	1.400980679	1.007502485	0.026348	1.50295E-05	0.000021056	0.69318
63	1.1	1.283372552	1.007522408	0.026355	1.64099E-05	0.00002106	0.69315
64	1.1	1.283372552	1.007522408	0.026355	1.64099E-05	0.00002106	0.69315
65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							
73							

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

74								
75	3	3.62886328	1.006300636	0.025928	5.73623E-06	0.000020816	0.69498	
76	2	2.409209041	1.006401286	0.025963	8.64848E-06	0.000020836	0.69483	
77	1.1	1.309228444	1.006923193	0.026145	1.59942E-05	0.00002094	0.69405	
78	1	1.187369505	1.00700327	0.026173	1.76491E-05	0.000020956	0.69393	
79	1	1.183338374	1.007103288	0.026208	1.77261E-05	0.000020976	0.69378	
80	3	3.630123083	1.006290566	0.0259245	5.73369E-06	0.000020814	0.694995	
81	2	2.407544936	1.006431463	0.0259735	8.65695E-06	0.000020842	0.694785	
82	1.1	1.308781532	1.006913179	0.0261415	1.59981E-05	0.000020938	0.694065	
83	2	2.35389038	1.007223193	0.02625	8.9214E-06	0.000021	0.6936	
84	2	2.336533052	1.007462627	0.026334	9.00822E-06	0.000021048	0.69324	
85	2	2.336533052	1.007472593	0.0263375	9.00907E-06	0.00002105	0.693225	
86	2.1	2.459129407	1.007392844	0.0263095	8.55343E-06	0.000021034	0.693345	
87	2.6	3.069385358	1.00714327	0.026222	6.83655E-06	0.000020984	0.69372	
88	2.6	3.040550334	1.007432725	0.0263235	6.92046E-06	0.000021042	0.693285	
89	2	2.336533052	1.007472593	0.0263375	9.00907E-06	0.00002105	0.693225	
90	1.7	1.988052141	1.007432725	0.0263235	1.05842E-05	0.000021042	0.693285	
91	1.7	1.988052141	1.007432725	0.0263235	1.05842E-05	0.000021042	0.693285	
92	1.7	1.988052141	1.007442693	0.026327	1.05852E-05	0.000021044	0.69327	
93	1.7	1.987385345	1.007452661	0.0263305	1.05898E-05	0.000021046	0.693255	
94	1.2	1.400511574	1.007512447	0.0263515	1.50359E-05	0.000021058	0.693165	
95	1.1	1.284232289	1.007502485	0.026348	1.63958E-05	0.000021056	0.69318	
96	1.1	1.282943115	1.007532369	0.0263585	1.64169E-05	0.000021062	0.693135	
97	1.1	1.282943115	1.007532369	0.0263585	1.64169E-05	0.000021062	0.693135	
98	1.1	1.282513965	1.007542328	0.026362	1.6424E-05	0.000021064	0.69312	
99	1.1	1.279945084	1.007621975	0.02639	1.64695E-05	0.00002108	0.693	
100	1.1	1.280800233	1.007602068	0.026383	1.64553E-05	0.000021076	0.69303	
101	1.1	1.280372516	1.007621975	0.02639	1.6464E-05	0.00002108	0.693	
102	1.1	1.279091075	1.007661778	0.026404	1.64867E-05	0.000021088	0.69294	
103	1.5	1.752399789	1.007422756	0.02632	1.20064E-05	0.00002104	0.6933	
104	1.4	1.634477459	1.007452661	0.0263305	1.28763E-05	0.000021046	0.693255	
105	1.1	1.282943115	1.007502485	0.026348	1.64123E-05	0.000021056	0.69318	
106	1.4	1.631744676	1.007522408	0.026355	1.29064E-05	0.00002106	0.69315	
107	1.25	1.455941178	1.007542328	0.026362	1.44676E-05	0.000021064	0.69312	
108	1.1	1.280372516	1.007572202	0.0263725	1.64561E-05	0.00002107	0.693075	
109	1.25	1.45448305	1.007592114	0.0263795	1.4489E-05	0.000021074	0.693045	
110	1.2	1.394441679	1.007641878	0.026397	1.512E-05	0.000021084	0.69297	
111	1.1	1.277812197	1.007661778	0.026404	1.65032E-05	0.000021088	0.69294	
112	1.2	1.393976943	1.007671727	0.0264075	1.51294E-05	0.00002109	0.692925	
113	1.1	1.276111	1.007721457	0.026425	1.65346E-05	0.0000211	0.69285	
114	1.1	1.274838071	1.007761226	0.026439	1.65574E-05	0.000021108	0.69279	
115	2	2.416726074	1.006340907	0.025942	8.61662E-06	0.000020824	0.69492	
116	2	2.410875449	1.006371101	0.0259525	8.64001E-06	0.00002083	0.694875	
117	2	2.407544936	1.006381163	0.025956	8.6528E-06	0.000020832	0.69486	
118	2.1	2.520089061	1.006431463	0.0259735	8.27034E-06	0.000020842	0.694785	
119	2.4	2.843874089	1.006983256	0.026166	7.36741E-06	0.000020952	0.69396	
120	2.4	2.835199333	1.007073292	0.0261975	7.39631E-06	0.00002097	0.693625	
121	2	2.397608379	1.006461631	0.025984	8.69533E-06	0.000020848	0.69474	
122	1.7	2.035167236	1.006501843	0.025998	1.02478E-05	0.000020856	0.69468	
123	1.7	2.031678178	1.006542041	0.026012	1.02693E-05	0.000020864	0.69462	

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

124	1.7	2.030285903	1.006602309	0.026033	1.02823E-05	0.000020876	0.69453
125	1.7	2.028895534	1.006672582	0.0260575	1.02962E-05	0.00002089	0.694425
126	1.2	1.428249212	1.006652508	0.0260505	1.46235E-05	0.000020886	0.694455
127	1.1	1.308781532	1.006722749	0.026075	1.59691E-05	0.0000209	0.69435
128	1.1	1.307442625	1.006812993	0.0261065	1.59992E-05	0.000020918	0.694215
129	1.1	1.305661672	1.006752838	0.0260855	1.60118E-05	0.000020906	0.694305
130	1.1	1.305217191	1.006823015	0.02611	1.6028E-05	0.00002092	0.6942
131	1.1	1.304329137	1.006893149	0.0261345	1.60496E-05	0.000020934	0.694095
132	1.1	1.303442291	1.006823015	0.02611	1.60498E-05	0.00002092	0.6942
133	1.1	1.30211428	1.006913179	0.0261415	1.608E-05	0.000020938	0.694065
134	1.1	1.301672211	1.006973248	0.0261625	1.60947E-05	0.00002095	0.693975
135	1.5	1.772600363	1.006863097	0.026124	1.18064E-05	0.000020928	0.69414
136	1.25	1.47466711	1.006933205	0.0261485	1.42012E-05	0.000020942	0.694035
137	1.1	1.296390701	1.006973248	0.0261625	1.61603E-05	0.00002095	0.693975
138	1.4	1.648836781	1.007033285	0.0261835	1.27132E-05	0.000020962	0.693885
139	1.25	1.470684886	1.00709329	0.0262045	1.42614E-05	0.000020974	0.693795
140	1.1	1.293329566	1.007123281	0.026215	1.62217E-05	0.00002098	0.69375
141	1.1	1.293329566	1.007153264	0.0262255	1.62263E-05	0.000020986	0.693705
142	1.1	1.292893441	1.007173248	0.0262325	1.62349E-05	0.00002099	0.693675
143	1.1	1.292022072	1.007203217	0.026243	1.62505E-05	0.000020996	0.69363
144	1.1	1.292022072	1.007243165	0.026257	1.62567E-05	0.000021004	0.69357
145	1.1	1.291151877	1.007263133	0.026264	1.62707E-05	0.000021008	0.69354
146	1.1	1.290717219	1.007283098	0.026271	1.62793E-05	0.000021012	0.69351

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-19: Θερμορροές, λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας και ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας**

A/A	Q <sub>N</sub> (W)	Q <sub>v</sub> (W)	ΔH αερ.(J/Kg)	Q <sub>a</sub> (W)	Q <sub>διφ.</sub> (W)	maxΔT (C)	ΔT <sub>ln</sub>	Q <sub>max</sub> ΔT (W)	U(W/m <sup>2</sup> C)
1	299.9703	587.9833	29694.471	553.936	1141.92	7.6	2.70505	1141.92	1199.27
2	903.5898	852.5864	25901.669	480.225	1332.81	6.5	2.21163	1332.81	1712.04
3	899.9282	1130.997	22850.053	422.352	1553.35	5.7	2.18792	1553.35	2016.95
4	1199.933	1381.484	21001.073	416.589	1798.07	5.2	1.69419	1798.07	3015.11
5	299.9761	502.8685	25590.849	810.405	1313.27	6.5	2.60508	1313.27	1432.16
6	1199.922	734.5185	22482.648	707.99	1442.51	5.6	1.9704	1442.51	2079.8
7	1199.933	2040.78	18362.29	286.737	2327.52	4.5	1.52667	2327.52	4331.16
8	899.9454	1859.341	16828.114	181.335	2040.68	4.1	1.45318	2040.68	3989.45
9	899.9454	1009.479	15664.93	168.544	1178.02	3.8	1.37851	1178.02	2427.74
10	899.9454	773.7734	16053.854	172.816	946.59	3.9	1.40354	946.59	1916
11	301.2024	537.7339	16828.114	181.335	719.069	4.1	1.5023	719.069	1359.79
12	1204.815	1280.437	13344.539	39.5965	1320.03	3.2	1.19895	1320.03	3127.81
13	301.2024	876.6147	13781.281	35.8889	912.504	3.3	0.9152	912.504	2832.54
14	301.1966	419.6727	13344.539	34.7516	454.424	3.2	1.42919	454.424	903.29
15	903.5984	1080.332	11372.426	21.0902	1101.42	2.7	1.09229	1101.42	2864.67
16	602.4018	717.2096	11372.426	21.0902	738.3	2.7	0.96054	738.3	2183.6
17	301.1995	380.3156	12214.828	22.6639	402.98	2.9	0.83153	402.98	1376.78
18	604.8487	920.2655	9742.613	10.8188	931.084	2.3	0.85983	931.084	3076.34
19	301.1995	610.9388	9770.1086	10.8439	621.783	2.3	0.70164	621.783	2517.56
20	302.42	327.8489	10619.683	11.7928	339.642	2.5	0.7456	339.642	1294.11
21	5488.311	7025.778	28149.936	120.425	7146.2	7.6	3.7872	7146.2	5360.62
22	5488.153	6470.678	26513.348	72.6768	6543.35	7	3.47444	6543.35	5350.23
23	4878.265	6008.228	24969.21	28.4986	6036.73	6.5	3.25781	6036.73	5264.21



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

24	3367.089	5064.699	25866.204	98.6045	5163.3	6.6	2.93834	5163.3	4992.09
25	3658.489	4757.565	24595.029	56.328	4813.89	6.2	2.65913	4813.89	5142.97
26	3048.683	4296.992	22482.648	25.4126	4322.4	5.6	2.54128	4322.4	4832.03
27	2438.899	3479.274	23190.76	73.941	3553.21	5.7	2.05922	3553.21	4902.04
28	2134.047	3112.975	20871.564	44.5964	3157.57	5.1	1.92781	3157.57	4653.14
29	1524.319	2807.714	18962.81	21.2821	2829	4.6	1.69396	2829	4744.47
30	1524.319	2086.06	18962.81	56.5815	2142.64	4.6	1.69396	2142.64	3593.39
31	1219.45	1995.343	18190.94	33.9919	2029.33	4.4	1.66813	2029.33	3456.06
32	914.5916	1813.914	16632.855	16.1313	1830.04	4	1.42842	1830.04	3639.67
33	956.1781	758.276	36884.378	696.254	1454.53	9.8	3.69275	1454.53	1119
34	1434.253	1246.255	36266.323	682.47	1928.72	9.5	3.39897	1928.72	1612.06
35	1912.393	1686.8	32652.044	612.244	2299.04	8.5	3.25828	2299.04	2004.55
36	2151.514	1992.801	28989.946	582.751	2575.55	7.5	2.96679	2575.55	2466.27
37	717.1507	657.6601	32448.815	1038.18	1695.84	8.5	3.22489	1695.84	1493.92
38	1195.263	1036.32	30536.076	973.473	2009.79	7.9	2.85685	2009.79	1998.58
39	1912.448	3038.843	26378.26	416.766	3455.61	6.7	2.47626	3455.61	3964.48
40	1673.4	2902.733	25311.908	276.106	3178.84	6.4	2.26397	3178.84	3988.91
41	1673.384	1673.809	25029.38	272.745	1946.55	6.3	2.23871	1946.55	2470.16
42	956.2055	1230.237	24669.148	268.682	1498.92	6.2	2.28915	1498.92	1860.21
43	956.1872	839.4737	25464.927	277.491	1116.96	6.4	2.50219	1116.96	1268.17
44	2151.473	2120.956	21373.26	64.1311	2185.09	5.3	2.2156	2185.09	2801.78
45	1673.352	1408.031	21499.978	56.5603	1464.59	5.3	1.98072	1464.59	2100.64
46	478.0936	708.2653	21873.361	57.5718	765.837	5.4	1.9704	765.837	1104.18
47	1673.352	1880.758	19234.578	36.0333	1916.79	4.7	1.82048	1916.79	2991.21
48	956.1963	1168.881	18085.74	33.8296	1202.71	4.4	1.66813	1202.71	2048.28
49	956.1872	603.3083	18907.819	35.3852	638.694	4.6	1.71966	638.694	1055.13
50	1195.263	1520.562	15710.357	17.5872	1538.15	3.8	1.4834	1538.15	2945.77
51	956.2055	1009.459	15755.785	17.6292	1027.09	3.8	1.35334	1027.09	2156.05
52	478.0936	524.6059	16537.218	18.5223	543.128	4	1.61608	543.128	954.768
53	2151.514	2587.529	11609.526	48.143	2635.67	2.8	1.56199	2635.67	4793.69
54	1673.4	2310.238	10440.364	27.8282	2338.07	2.5	1.29643	2338.07	5115.61
55	1434.336	2125.399	9632.6307	10.7183	2136.12	2.3	1.26513	2136.12	4796.75
56	1441.649	1764.541	9715.1174	36.1618	1800.7	2.3	1.1474	1800.7	4458.44
57	1441.649	1687.797	9332.1712	19.6698	1707.47	2.2	0.99414	1707.47	4879.37
58	1201.357	1534.346	8507.7012	9.43324	1543.78	2	1.08202	1543.78	4053.28
59	961.0716	1342.653	9411.0716	27.7287	1370.38	2.2	0.92502	1370.38	4208.71
60	720.8071	1220.582	8579.4288	15.8307	1236.41	2	0.75512	1236.41	4651.61
61	720.8071	976.4562	6882.6704	7.60845	984.065	1.6	0.77659	984.065	3599.87
62	720.8071	906.8614	8579.4288	25.2529	932.114	2	0.75512	932.114	3506.79
63	240.2667	816.1674	7743.0042	14.273	830.44	1.8	0.75512	830.44	3124.27
64	480.5312	816.1674	7743.0042	8.5638	824.731	1.8	0.86682	824.731	2702.97
65	2975.307	4100.499			4100.5	2.4	2.12364	4100.5	5485.46
66	1185.218	2032.942			2032.94	2.2	1.29843	2032.94	4448
67	592.6032	1037.509			1037.51	1.7	0.96268	1037.51	3061.72
68	592.5975	600.1444			600.144	1.5	0.89846	600.144	1897.64
69	296.2945	292.1658			292.166	1.1	0.68197	292.166	1217.08
70	1673.368	2391.752			2391.75	1.4	1.21662	2391.75	5584.94
71	717.1507	1201.209			1201.21	1.3	0.68197	1201.21	5003.91
72	478.0936	610.2734			610.273	1	0.61572	610.273	2815.76
73	478.089	280.054			280.054	0.7	0.50977	280.054	1560.71



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

74	239.0411	79.67701			79.677	0.3	0.18205	79.677	1243.38
75	683.1128		38582.335	1690.8	1690.8	10.8	5.70004	1690.8	842.696
76	341.5531		34142.787	647.512	647.512	9.4	5.59217	647.512	328.946
77	170.7758		29967.036	79.6841	79.6841	7.6	2.70505	79.6841	83.6861
78	341.5499		27935.946	45.8268	45.8268	7	2.53635	45.8268	51.3296
79	170.7725		24303.734	23.7993	23.7993	6	2.47626	23.7993	27.304
80	739.1509		38874.426	1704.48	1704.48	10.9	5.6267	1704.48	860.59
81	492.7649		33946.333	643.119	643.119	9.3	5.30984	643.119	344.086
82	246.3789		28740.492	76.3836	76.3836	7.3	2.97086	76.3836	73.0423
83	368.4776	309.4117	16489.4	302.01	611.421	4	1.76599	611.421	983.578
84	368.4741	262.2754	8531.6104	154.535	416.81	2	1.05587	416.81	1121.46
85	552.7137	416.5954	8970.7433	162.489	579.084	2.1	0.92502	579.084	1778.48
86	921.1896	717.2028	11404.703	223.045	940.248	2.7	1.30455	940.248	2047.56
87	552.7085	386.7794	20372.658	638.939	1025.72	5	2.15742	1025.72	1350.68
88	368.4741	301.621	9770.1066	302.106	603.729	2.3	1.14592	603.729	1496.73
89	736.9481	952.2181	8970.7433	138.115	1090.33	2.1	1.02519	1090.33	3021.43
90	736.9481	1042.926	9770.1066	104.169	1147.09	2.3	1.21126	1147.09	2690.42
91	552.7137	610.9388	9770.1066	104.169	715.108	2.3	1.11622	715.108	1820.03
92	368.4741	476.1159	10209.241	108.851	584.967	2.4	1.03761	584.967	1601.61
93	184.2362	301.6181	9797.6042	104.41	406.028	2.3	1.03761	406.028	1111.68
94	736.9481	760.183	8161.8142	24.0116	784.195	1.9	0.83717	784.195	2661.15
95	552.7085	531.2334	8579.4288	22.163	553.396	2	0.8961	553.396	1754.44
96	368.4705	222.9266	7322.9987	18.8888	241.815	1.7	0.83717	241.815	820.597
97	552.7085	680.1572	7322.9987	13.492	693.649	1.7	0.8071	693.649	2441.57
98	368.4705	424.9786	6901.7978	12.7096	437.688	1.6	0.8071	437.688	1540.61
99	184.2326	157.3532	5233.7304	9.60893	166.962	1.2	0.58767	166.962	807.128
100	736.934	560.1107	6089.2824	6.71454	566.825	1.4	0.68197	566.825	2361.24
101	368.4635	371.842	6106.0188	6.72962	378.572	1.4	0.61668	378.572	1744
102	184.2309	157.3502	5262.4214	5.79117	163.141	1.2	0.44267	163.141	1046.98
103	1246.883	1478.475	6787.0336	27.947	1506.42	1.6	1.08869	1506.42	3930.96
104	1246.871	1386.05	6389.7418	16.9289	1402.98	1.5	1.04968	1402.98	3797.11
105	1068.741	1293.616	6005.6002	6.63889	1300.25	1.4	0.83725	1300.25	4411.96
106	712.4873	920.5726	5162.0028	19.0986	939.671	1.2	0.83725	939.671	3188.45
107	712.4873	767.1365	4313.6236	9.60804	776.745	1	0.76098	776.745	2899.76
108	712.4873	690.413	3898.3999	4.29654	694.71	0.9	0.61658	694.71	3200.91
109	356.2403	549.2382	3909.1591	12.1717	561.41	0.9	0.58141	561.41	2743.19
110	356.2403	366.1501	2624.038	5.47832	371.628	0.6	0.3641	371.628	2899.68
111	534.3578	366.1466	2631.2107	2.89124	369.038	0.6	0.32741	369.038	3202.14
112	178.1176	317.3757	3073.93	8.98012	326.356	0.7	0.30834	326.356	3006.91
113	178.1159	181.3532	1768.486	3.2323	184.585	0.4	0.2164	184.585	2423.2
114	178.1142	90.67487	889.02484	0.97347	91.6483	0.2	0.14427	91.6483	1804.71
115	1171.517	820.2858	38121.285	726.349	1546.64	10.6	4.87286	1546.64	901.699
116	1562.09	1246.457	34335.655	651.845	1898.3	9.5	4.67611	1898.3	1153.29
117	2008.459	1746.643	31858.26	603.56	2350.2	8.8	4.62251	2350.2	1444.39
118	1921.916	1993.144	27376.075	555.433	2548.58	7.5	4.02714	2548.58	1797.87
119	594.7849	433.226	22281.811	623.233	1056.46	5.6	2.57839	1056.46	1164.02
120	780.9928	616.462	18953.645	527.719	1144.18	4.7	2.26242	1144.18	1436.74
121	1921.934	3266.324	26410.141	435.094	3701.42	7.2	3.8049	3701.42	2763.65
122	2013.474	3084.803	25105.494	277.247	3362.05	6.8	3.56642	3362.05	2678.12
123	2510.778	1647.579	23038.54	253.767	1901.35	6.2	3.37903	1901.35	1598.55

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

124	1784.645	1270.152	24011.247	264.21	1534.36	6.4	3.18829	1534.36	1367.18
125	1841.114	878.9543	25417.11	279.392	1158.35	6.7	3.20491	1158.35	1026.79
126	2150.767	1961.278	18530.055	56.142	2017.42	4.9	2.89885	2017.42	1977.1
127	1830.396	1434.865	20646.819	54.873	1489.74	5.4	2.74066	1489.74	1544.23
128	1326.942	747.7171	22100.5	58.6463	806.363	5.7	2.87637	806.363	796.422
129	1876.147	1721.039	16518.093	31.2452	1752.28	4.3	2.69876	1752.28	1844.58
130	1647.325	1275.375	18639.638	35.2402	1310.61	4.8	2.45124	1310.61	1518.96
131	1338.947	668.9844	20018.005	37.8075	706.792	5.1	2.51276	706.792	799.093
132	1952.753	1600.913	15533.032	17.5842	1618.5	4	2.44147	1618.5	1883.29
133	1841.097	1142.474	16929.331	19.1356	1161.61	4.3	2.36487	1161.61	1395.44
134	1227.345	616.4915	18672.712	21.0954	637.587	4.7	2.33071	637.587	777.158
135	2175.925	2588.024	10940.068	45.8291	2633.85	3.9	2.20445	2175.92	2804.15
136	2312.475	2310.658	9872.5208	22.4154	2333.07	3.5	1.95762	2312.48	3355.89
137	1841.149	2125.765	9137.7102	10.2605	2136.03	3.3	1.75271	1841.15	2984.26
138	1372.718	1918.309	10021.953	37.6638	1955.97	3	1.83668	1372.72	2120.96
139	1235.429	1918.254	10111.613	22.8653	1941.12	2.7	1.69804	1235.43	2066.94
140	1189.666	1841.497	9750.1848	10.9095	1852.41	2.6	1.59791	1189.67	2115.09
141	1052.382	1648.061	11017.374	28.7638	1676.83	2.7	1.59163	1676.83	2992.97
142	1052.372	1648.046	11049.651	20.5954	1668.64	2.7	1.59163	1668.64	2978.36
143	960.8615	1586.984	10687.028	11.9396	1598.92	2.6	1.43552	1598.92	3164.29
144	732.0674	1360.461	12402.914	32.3321	1392.79	3	1.38394	1392.79	2859.07
145	777.8105	1269.752	11609.526	21.5952	1291.35	2.8	1.4826	1291.35	2474.43
146	640.5529	1269.739	11642.999	12.9879	1282.73	2.8	1.27433	1282.73	2859.62
a	4131.885	5345.725			5345.73	1.6	2.49867	5345.73	6077.93
b	3340.169	3822.893			3822.89	1.4	2.005	3822.89	5416.72
c	2745.249	3231.456			3231.46	1.5	1.905	3231.46	4819.05
d	836.726	1462.035			1462.04	2	1.23315	1462.04	3368.21

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-20: Αδιάστατοι αριθμοί θερμού νερού, ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας και επιμέρους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας**

A/A	ReN	PrN	NuN	hN(W/m2C)	U(W/m2C)	hδιδφ(W/m2C)
1	2317.955904	5.68191775	93.76916359	8313	1199.269509	1401.44857
2	2321.967419	5.69704975	133.8942607	8313	1712.037569	2156.074734
3	2307.120422	5.71224375	157.7791076	8313	2016.951144	2663.085252
4	2293.600463	5.7505	236.0046299	8313	3015.10665	4731.046838
5	2307.120422	5.71224375	112.0327986	8313	1432.158444	1730.243757
6	2299.005091	5.735151	162.7546382	8313	2079.797442	2773.75169
7	2293.600463	5.7505	339.0171764	8313	4331.156314	9042.269179
8	2296.302208	5.74281775	312.2323968	8313	3989.448625	7670.612314
9	2296.302208	5.74281775	190.0055871	8313	2427.735034	3429.20182
10	2296.302208	5.74281775	149.9548708	8313	1915.999938	2489.871398
11	2311.096296	5.72749975	106.3974738	8313	1359.789639	1625.713978
12	2308.381262	5.735151	244.7671454	8313	3127.81306	5014.575226
13	2311.096296	5.72749975	221.6338148	8313	2832.542488	4296.525546
14	2321.967419	5.69704975	70.64413475	8313	903.2904931	1013.407322
15	2316.52969	5.71224375	224.0931684	8313	2864.669341	4370.879398
16	2313.812444	5.719864	170.8359837	8313	2183.597071	2961.502557
17	2316.52969	5.71224375	107.7004843	8313	1376.776801	1650.054391
18	2323.210675	5.719864	240.6806999	8313	3076.340592	4883.575072

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

19	2316.52969	5.71224375	196.9397684	8313	2517.556964	3611.19088
20	2331.398774	5.69704975	101.2091884	8313	1294.110233	1532.712255
21	2276.365301	5.9074	420.6194365	8313	5360.61946	15093.86374
22	2292.704945	5.859679	419.4977561	8313	5350.230684	15011.78895
23	2303.625551	5.828175	412.5520433	8313	5264.207047	14353.66516
24	2343.127947	5.74281775	390.7035185	8313	4992.088042	12496.33487
25	2336.509775	5.735151	402.4632774	8313	5142.969221	13486.77856
26	2347.508949	5.704639	377.9470014	8313	4832.028791	11539.49657
27	2358.525432	5.674375	383.236967	8313	4902.039934	11946.97598
28	2355.769742	5.68191775	363.8224489	8313	4653.141319	10569.14137
29	2355.769742	5.68191775	370.9629473	8313	4744.465392	11052.36326
30	2355.769742	5.68191775	280.9621045	8313	3593.391175	6329.308625
31	2358.525432	5.674375	270.1916029	8313	3456.060196	5915.294314
32	2355.769742	5.68191775	284.5805169	8313	3639.6692	6474.305235
33	1849.334385	5.674375	87.48251722	6970	1119.001636	1333.010354
34	1853.658282	5.659336	125.9984206	6970	1612.055292	2097.077517
35	1840.696292	5.704639	156.7897204	6970	2004.546776	2813.779608
36	1825.61274	5.75819775	193.0683227	6970	2466.268832	3816.811687
37	1838.53886	5.71224375	116.864422	6970	1493.922948	1901.478531
38	1834.226588	5.72749975	156.3799568	6970	1998.57983	2802.036629
39	1827.764836	5.7505	310.3157933	6970	3964.478206	9193.882126
40	1825.61274	5.75819775	312.2662189	6970	3988.91145	9326.362613
41	1829.917851	5.74281775	193.3260061	6970	2470.160615	3826.140894
42	1836.382288	5.719864	145.5355082	6970	1860.210609	2537.41729
43	1845.013689	5.689476	99.16804924	6970	1268.165146	1550.222216
44	1834.226588	5.72749975	219.2269109	6970	2801.781579	4685.075405
45	1838.53886	5.71224375	164.3254286	6970	2100.635288	3006.84562
46	1845.013689	5.689476	86.34460273	6970	1104.178377	1312.028184
47	1838.53886	5.71224375	233.9918918	6970	2991.208537	5239.963867
48	1840.696292	5.704639	160.2101811	6970	2048.277152	2900.710218
49	1845.013689	5.689476	82.50949029	6970	1055.1348	1243.357085
50	1834.226588	5.72749975	230.4931646	6970	2945.76747	5102.090675
51	1836.382288	5.719864	168.6807692	6970	2156.049479	3121.690761
52	1845.013689	5.689476	74.66102559	6970	954.7683061	1106.314009
53	1825.61274	5.75819775	375.2670571	6970	4793.68875	15352.58828
54	1825.61274	5.75819775	400.4679664	6970	5115.607004	19227.737
55	1827.764836	5.7505	375.4610664	6970	4796.749787	15384.02979
56	1845.780519	5.719864	348.8104662	6970	4458.437244	12372.89712
57	1845.780519	5.719864	381.742703	6970	4879.371606	16267.46302
58	1852.285927	5.69704975	316.9972648	6970	4053.282224	9686.016707
59	1858.798902	5.674375	329.0331644	6970	4208.71119	10623.55987
60	1856.62709	5.68191775	363.7029977	6970	4651.613587	13984.61728
61	1856.62709	5.68191775	281.4687567	6970	3599.871052	7445.145756
62	1856.62709	5.68191775	274.190642	6970	3506.786921	7057.695928
63	1860.971519	5.66684775	244.2229977	6970	3124.271034	5662.42949
64	1863.144929	5.659336	211.2641929	6970	2702.966901	4415.170649
65	2285.61775	5.719864	227.5886349	8284	2909	4483.37786
66	2281.566781	5.704639	171.5299742	8291	2193	2981.660052
67	2286.918251	5.689476	145.6047805	8274	1862	2402.71179
68	2292.273809	5.674375	120.6303188	8271	1543	1896.87173



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

69	2300.31455	5.65183975	100.7361627	8276	1289	1526.801775
70	1834.226588	5.72749975	214.549269	7057	2742	4484.425029
71	1838.53886	5.71224375	163.4152403	7064	2089	2966.17005
72	1845.013689	5.689476	140.1309166	7057	1792	2401.926686
73	1849.334385	5.674375	117.1122603	7060	1498	1901.452715
74	1855.821402	5.65183975	98.15719185	7062	1256	1527.707888
75	1324.303411	5.659336	65.86520744	8426.959303	842.6959303	936.3288114
76	1327.394738	5.644359	25.704193	3289.456614	328.9456614	365.4951793
77	1328.941211	5.63689375	6.538535948	836.8610862	83.68610862	92.98456513
78	1330.488213	5.629444	4.009980871	513.2959306	51.32959306	57.03288117
79	1335.132297	5.60718775	2.132272101	273.0398857	27.30398857	30.33776508
80	1908.349419	5.66684775	67.27198671	8605.902043	860.5902043	956.2113381
81	1910.578161	5.659336	26.8937933	3440.859149	344.0859149	382.3176833
82	1917.269136	5.63689375	5.706917767	730.4230548	73.04230548	81.1581172
83	1421.993937	5.689476	76.91387103	5745	983.5777874	1186.757682
84	1425.323995	5.674375	87.67457994	5745	1121.458338	1393.472498
85	1423.658653	5.68191775	139.056897	5745	1778.48122	2575.904762
86	1423.658653	5.68191775	160.0960627	5745	2047.563603	3181.461866
87	1426.989955	5.66684775	105.5819265	5745	1350.677692	1765.833909
88	1425.323995	5.674375	117.0129674	5745	1496.72993	2024.050569
89	1425.323995	5.674375	236.2123467	5745	3021.426575	6373.279864
90	1425.323995	5.674375	210.3343312	5745	2690.417104	5060.084074
91	1423.658653	5.68191775	142.3055818	5745	1820.03058	2663.989082
92	1425.323995	5.674375	125.2121553	5745	1601.606938	2220.699731
93	1426.989955	5.66684775	86.899685	5745	1111.681419	1378.409372
94	1425.323995	5.674375	208.0463887	5745	2661.151698	4957.544928
95	1426.989955	5.66684775	137.1441819	5745	1754.444091	2525.783758
96	1428.656522	5.659336	64.1379297	5745	820.5967071	957.3399663
97	1426.989955	5.66684775	190.8563726	5745	2441.56792	4246.13171
98	1428.656522	5.659336	120.4145314	5745	1540.613619	2105.140783
99	1433.659774	5.63689375	63.06227907	5745	807.1281977	939.0587041
100	1431.991441	5.644359	184.5101036	5745	2361.241143	4008.953043
101	1435.328677	5.629444	136.2452737	5745	1744.001949	2504.197969
102	1436.99814	5.62200975	81.78253178	5745	1046.980824	1280.306573
103	1366.744079	5.72749975	307.5797207	5745	3930.955338	12449.1634
104	1369.957298	5.71224375	297.0349028	5745	3797.111645	11199.00242
105	1371.564873	5.704639	345.090607	5745	4411.961842	19014.24999
106	1374.781911	5.689476	249.3303404	5745	3188.446781	7164.96986
107	1374.781911	5.689476	226.7558388	5745	2899.763115	5855.097401
108	1374.781911	5.689476	250.3052833	5745	3200.914392	7228.236787
109	1378.001407	5.674375	214.4601485	5745	2743.191035	5250.045117
110	1378.001407	5.674375	226.694622	5745	2899.68397	5854.774734
111	1379.612055	5.66684775	250.3099299	5745	3202.139319	7234.486153
112	1382.835103	5.65183975	234.9917983	5745	3006.908542	6309.025773
113	1386.060427	5.63689375	189.3286135	5745	2423.199175	4190.883196
114	1389.287956	5.62200975	140.9708196	5745	1804.709901	2631.293159
115	423.0055493	5.80470975	70.63973422	2514	901.6992832	1405.985853
116	418.5085806	5.875524	90.4483555	2514	1153.288138	2130.771736
117	415.5219618	5.923431	113.3613181	2514	1444.390873	3394.883761
118	335.9205312	6.020919	141.3104733	2514	1797.872544	6311.518344



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

119	349.4005609	5.75819775	91.12384369	2514	1164.022624	2167.705124
120	425.5121209	5.765911	112.4869793	2514	1436.742286	3352.930371
121	335.1113853	6.037384	217.2720641	2514	2763.646338	-27830.59809
122	334.3032251	6.053911	210.5993035	2514	2678.116756	-41024.36398
123	407.1141276	6.06219775	125.720917	2514	1598.553246	4389.947138
124	335.5158359	6.02914375	107.472049	2514	1367.184401	2997.083043
125	414.0322549	5.94759375	80.61552111	2514	1026.785617	1735.687248
126	333.899519	6.06219775	155.4920929	2514	1977.096539	9257.568742
127	335.9205312	6.020919	121.3744681	2514	1544.229657	4003.208994
128	342.0190928	5.89940775	62.4834295	2514	796.4222537	1165.714653
129	336.3254694	6.01270975	144.9637254	2514	1844.577334	6927.263821
130	337.5417235	5.988175	119.3301641	2514	1518.961117	3837.707567
131	417.5119956	5.891431	62.68536294	2514	799.0934176	1171.446231
132	411.0603584	5.99633775	147.9701008	2514	1883.290999	7506.779777
133	415.0251205	5.93146975	109.5327362	2514	1395.439073	3136.292125
134	419.5061854	5.859679	60.93496063	2514	777.1581405	1124.901242
135	411.0603584	5.99633775	220.3220138	2514	2804.150725	-24296.45803
136	487.9594678	5.98002775	263.6074941	2514	3355.885408	-10021.19271
137	412.0498558	5.98002775	234.4157499	2514	2984.256564	-15953.88894
138	340.7953047	5.923431	166.4607955	2514	2120.956758	13566.15437
139	342.0190928	5.89940775	162.1620634	2514	2066.939619	11623.23128
140	342.4274547	5.891431	165.9195669	2514	2115.09079	13329.69534
141	343.653811	5.86759375	234.6996998	2514	2992.97125	-15709.35568
142	344.4724208	5.85177975	233.4973428	2514	2978.363195	-16124.45852
143	344.4724208	5.85177975	248.0739554	2514	3164.294418	-12232.97624
144	346.5224633	5.812516	224.0089201	2514	2859.072516	-20829.55892
145	347.754819	5.78914375	193.8012262	2514	2474.427813	157199.0818
146	347.3438445	5.796919	223.9972364	2514	2859.618719	-20800.61367
a	2171.810327	6.004516	477.6010308	8052	6077.930817	24791.17721
b	1798.549538	5.89063418	424.9123361	6998	5416.715625	23971.76405
c	1410.525208	5.74205038	377.1563848	5831	4819.052455	27768.13383
d	432.0540534	5.66884775	263.2912914	2561	3368.205955	-10686.21384

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-21: Μεταβολή της ενθαλπίας του αέρα με βάση προσέγγιση στο ψυχομετρικό διάγραμμα**

Α/Α	ΤΕΙΣ	ΤΕΞ	Η ΕΙΣ(J/Kg)	Η ΕΞ(J/Kg)	ΔΗ αερ.(J/Kg)
1	19.4	27	55952.94628	85647.417	29694.47072
2	20.6	27.1	60182.49028	86084.15893	25901.66865
3	21.2	26.9	62361.81712	85211.87053	22850.05341
4	21.7	26.9	64210.79797	85211.87053	21001.07256
5	20.2	26.7	58753.51492	84344.36397	25590.84905
6	21.3	26.9	62729.22237	85211.87053	22482.64816
7	22.4	26.9	66849.58048	85211.87053	18362.29005
8	22.8	26.9	68383.75632	85211.87053	16828.11421
9	23.1	26.9	69546.94053	85211.87053	15664.93
10	23	26.9	69158.017	85211.87053	16053.85353
11	22.8	26.9	68383.75632	85211.87053	16828.11421
12	23.8	27	72302.87812	85647.417	13344.53888
13	23.8	27.1	72302.87812	86084.15893	13781.28081
14	23.8	27	72302.87812	85647.417	13344.53888

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

15	24.4	27.1	74711.73328	86084.15893	11372.42565
16	24.4	27.1	74711.73328	86084.15893	11372.42565
17	24.3	27.2	74307.26877	86522.09632	12214.82755
18	24.8	27.1	76341.54592	86084.15893	9742.61301
19	24.9	27.2	76751.98773	86522.09632	9770.10659
20	24.8	27.3	76341.54592	86961.22917	10619.68325
21	17.7	25.3	50255.77317	78405.70957	28149.9364
22	18.7	25.7	53565.21037	80078.55877	26513.3484
23	19.4	25.9	55952.94628	80922.15613	24969.20985
24	20	26.6	58046.2	83912.40388	25866.20388
25	20.6	26.8	60182.49028	84777.51952	24595.02924
26	21.3	26.9	62729.22237	85211.87053	22482.64816
27	21.7	27.4	64210.79797	87401.55748	23190.75951
28	22.2	27.3	66089.66532	86961.22917	20871.56385
29	22.7	27.3	67998.41917	86961.22917	18962.81
30	22.7	27.3	67998.41917	86961.22917	18962.81
31	22.9	27.3	68770.28893	86961.22917	18190.94024
32	23.3	27.3	70328.37397	86961.22917	16632.8552
33	17.1	26.9	48327.49293	85211.87053	36884.3776
34	17.7	27.2	50255.77317	86522.09632	36266.32315
35	18.4	26.9	52559.82688	85211.87053	32652.04365
36	19.1	26.6	54922.45813	83912.40388	28989.94575
37	18.2	26.7	51895.54852	84344.36397	32448.81545
38	18.9	26.8	54241.44333	84777.51952	30536.07619
39	20.1	26.8	58399.25973	84777.51952	26378.25979
40	20.4	26.8	59465.61168	84777.51952	25311.90784
41	20.6	26.9	60182.49028	85211.87053	25029.38025
42	20.7	26.9	60542.72277	85211.87053	24669.14776
43	20.6	27	60182.49028	85647.417	25464.92672
44	21.6	26.9	63838.61088	85211.87053	21373.25965
45	21.8	27.1	64584.18052	86084.15893	21499.97841
46	21.7	27.1	64210.79797	86084.15893	21873.36096
47	22.4	27.1	66849.58048	86084.15893	19234.57845
48	22.7	27.1	67998.41917	86084.15893	18085.73976
49	22.6	27.2	67614.27748	86522.09632	18907.81884
50	23.2	27	69937.05952	85647.417	15710.35748
51	23.3	27.1	70328.37397	86084.15893	15755.78496
52	23.1	27.1	69546.94053	86084.15893	16537.2184
53	23.8	26.6	72302.87812	83912.40388	11609.52576
54	24.2	26.7	73903.99972	84344.36397	10440.36425
55	24.4	26.7	74711.73328	84344.36397	9632.63069
56	24.7	27	75932.29957	85647.417	9715.11743
57	24.9	27.1	76751.98773	86084.15893	9332.1712
58	25.1	27.1	77576.45773	86084.15893	8507.7012
59	25.2	27.4	77990.48592	87401.55748	9411.07156
60	25.4	27.4	78822.12868	87401.55748	8579.4288
61	25.7	27.3	80078.55877	86961.22917	6882.6704
62	25.4	27.4	78822.12868	87401.55748	8579.4288
63	25.6	27.4	79658.55328	87401.55748	7743.0042
64	25.6	27.4	79658.55328	87401.55748	7743.0042

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

65					
66					
67					
68					
69					
70					
71					
72					
73					
74					
75	15	25.8	41917.425	80499.75972	38582.33472
76	16.2	25.6	45515.76612	79658.55328	34142.78716
77	19.7	27.3	56994.19357	86961.22917	29967.0356
78	20.4	27.4	59465.61168	87401.55748	27935.9458
79	21.4	27.4	63097.82308	87401.55748	24303.7344
80	14.9	25.8	41625.33373	80499.75972	38874.42599
81	16.4	25.7	46132.22608	80078.55877	33946.33269
82	19.8	27.1	57343.66692	86084.15893	28740.49201
83	23	27	69158.017	85647.417	16489.4
84	25.2	27.2	77990.48592	86522.09632	8531.6104
85	25.2	27.3	77990.48592	86961.22917	8970.74325
86	24.5	27.2	75117.39325	86522.09632	11404.70307
87	22.1	27.1	65711.50093	86084.15893	20372.658
88	24.9	27.2	76751.98773	86522.09632	9770.10859
89	25.2	27.3	77990.48592	86961.22917	8970.74325
90	24.9	27.2	76751.98773	86522.09632	9770.10859
91	24.9	27.2	76751.98773	86522.09632	9770.10859
92	24.9	27.3	76751.98773	86961.22917	10209.24144
93	25	27.3	77163.625	86961.22917	9797.60417
94	25.5	27.4	79239.74325	87401.55748	8161.81423
95	25.4	27.4	78822.12868	87401.55748	8579.4288
96	25.7	27.4	80078.55877	87401.55748	7322.99871
97	25.7	27.4	80078.55877	87401.55748	7322.99871
98	25.8	27.4	80499.75972	87401.55748	6901.79776
99	26.4	27.6	83052.07008	88285.80048	5233.7304
100	26.2	27.6	82196.51812	88285.80048	6089.28236
101	26.3	27.7	82623.69637	88729.71517	6106.0188
102	26.6	27.8	83912.40388	89174.82532	5262.42144
103	25.2	26.8	77990.48592	84777.51952	6787.0336
104	25.4	26.9	78822.12868	85211.87053	6389.74185
105	25.7	27.1	80078.55877	86084.15893	6005.60016
106	25.9	27.1	80922.15613	86084.15893	5162.0028
107	26.1	27.1	81770.53533	86084.15893	4313.6236
108	26.3	27.2	82623.69637	86522.09632	3898.39995
109	26.4	27.3	83052.07008	86961.22917	3909.15909
110	26.8	27.4	84777.51952	87401.55748	2624.03796
111	26.9	27.5	85211.87053	87843.08125	2631.21072
112	26.9	27.6	85211.87053	88285.80048	3073.92995
113	27.3	27.7	86961.22917	88729.71517	1768.486
114	27.6	27.8	88285.80048	89174.82532	889.02484

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

115	15.3	25.9	42800.87157	80922.15613	38121.28456
116	16	25.5	44904.088	79239.74325	34335.65525
117	16.4	25.2	46132.22608	77990.48592	31858.25984
118	17.3	24.8	48965.47117	76341.54592	27376.07475
119	21	26.6	61630.593	83912.40388	22281.81088
120	21.9	26.6	64958.75853	83912.40388	18953.64535
121	17.6	24.8	49931.40448	76341.54592	26410.14144
122	18	24.8	51236.052	76341.54592	25105.49392
123	18.5	24.7	52893.75925	75932.29957	23038.54032
124	18.7	25.1	53565.21037	77576.45773	24011.24736
125	18.9	25.6	54241.44333	79658.55328	25417.10995
126	19.7	24.6	56994.19357	75524.24868	18530.05511
127	19.8	25.2	57343.66692	77990.48592	20646.819
128	20.1	25.8	58399.25973	80499.75972	22100.49999
129	20.5	24.8	59823.45325	76341.54592	16518.09267
130	20.6	25.4	60182.49028	78822.12868	18639.6384
131	20.8	25.9	60904.15072	80922.15613	20018.00541
132	21	25	61630.593	77163.625	15533.032
133	21.3	25.6	62729.22237	79658.55328	16929.33091
134	21.4	26.1	63097.82308	81770.53533	18672.71225
135	21.8	24.6	64584.18052	75524.24868	10940.06816
136	22.3	24.8	66469.02517	76341.54592	9872.52075
137	22.6	24.9	67614.27748	76751.98773	9137.71025
138	22.8	25.3	68383.75632	78405.70957	10021.95325
139	23.1	25.6	69546.94053	79658.55328	10111.61275
140	23.3	25.7	70328.37397	80078.55877	9750.1848
141	23.3	26	70328.37397	81345.748	11017.37403
142	23.4	26.1	70720.88388	81770.53533	11049.65145
143	23.6	26.2	71509.49008	82196.51812	10687.02804
144	23.6	26.6	71509.49008	83912.40388	12402.9138
145	23.8	26.6	72302.87812	83912.40388	11609.52576
146	23.9	26.7	72701.36533	84344.36397	11642.99864

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-22: Μαζικές παροχές των ρευστών (για την κατασκευή του χάρτη περιοχών ροής)**

A/A	Qv(Kg/s)	Qa(Kg/s)	Gv(Kg/m <sup>3</sup> s)	Ga(Kg/m <sup>2</sup> s)	mv(Kg/ms <sup>2</sup> )	ma(Kg/ms <sup>2</sup> )	hδiφ(W/m <sup>2</sup> C)
1	0.01849	0.01865	10.4392502	10.53212661	0.109297444	46.5515637	1401.44857
2	0.03135	0.01854	17.6998645	10.46765528	0.314255105	46.17200438	2156.074734
3	0.04743	0.01848	26.7756323	10.43566585	0.719190263	45.98396315	2663.085252
4	0.0635	0.01984	35.8514002	11.19949591	1.289448227	50.52552241	4731.046838
5	0.01849	0.03167	10.4392502	17.87927708	0.109304323	103.4772025	1730.243757
6	0.03135	0.03149	17.6998645	17.77918118	0.314274886	102.7055108	2773.75169
7	0.1084	0.01562	61.2014453	8.816347608	3.757969923	32.9541719	9042.269179
8	0.1084	0.01078	61.2014453	6.083848075	3.758159205	18.48664784	7670.612314
9	0.0635	0.01076	35.8514002	6.074609127	1.28967555	18.44922549	3429.20182
10	0.04743	0.01076	26.7756323	6.077686176	0.719353277	18.46168697	2489.871398
11	0.03135	0.01078	17.6998645	6.083848075	0.314334247	18.48664784	1625.713978
12	0.09565	0.00297	54.0029359	1.675275165	2.926487797	1.992537066	5014.575226
13	0.0635	0.0026	35.8514002	1.470291035	1.289821729	1.674284618	4296.525546
14	0.03135	0.0026	17.6998645	1.470291035	0.314377792	1.674284618	1013.407322



**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

15	0.09565	0.00185	54.0029359	1.047032918	2.926745809	0.850785277	4370.879398
16	0.0635	0.00185	35.8514002	1.047032918	1.2899192	0.850785277	2961.502557
17	0.03135	0.00186	17.6998645	1.047560967	0.314405509	0.851357426	1650.054391
18	0.09565	0.00111	54.0029359	0.626955091	2.926893264	0.305460878	4883.575072
19	0.0635	0.00111	35.8514002	0.626639589	1.290016685	0.30525594	3611.19088
20	0.03135	0.00111	17.6998645	0.626955091	0.31442927	0.305460878	1532.712255
21	0.2209	0.00428	124.717706	2.415308235	15.59343508	3.245300808	15093.86374
22	0.2209	0.00274	124.717706	1.54761791	15.59618219	1.432488621	15011.78895
23	0.2209	0.00114	124.717706	0.644393817	15.59794869	0.31684158	14353.66516
24	0.1834	0.00381	103.545619	2.152268658	10.75339942	2.782831114	12496.33487
25	0.1834	0.00229	103.545619	1.293032517	10.75448236	1.127246201	13486.77856
26	0.1834	0.00113	103.545619	0.638166761	10.75556552	0.3127658	11539.49657
27	0.1459	0.00319	82.3735321	1.800124725	6.807605535	2.192948021	11946.97598
28	0.1459	0.00214	82.3735321	1.206361994	6.807948413	1.027644841	10569.14137
29	0.1459	0.00112	82.3735321	0.633642294	6.808377058	0.309812709	11052.36326
30	0.1084	0.00298	61.2014453	1.684627106	3.758301179	2.007381517	6329.308625
31	0.1084	0.00187	61.2014453	1.05500051	3.758395834	0.859428486	5915.294314
32	0.1084	0.00097	61.2014453	0.547564531	3.758585159	0.255008171	6474.305235
33	0.01849	0.01888	10.4392502	10.65756235	0.109264437	47.29225492	1333.010354
34	0.03135	0.01882	17.6998645	10.62460084	0.314144372	47.09733599	2097.077517
35	0.04743	0.01875	26.7756323	10.58635994	0.718936834	46.87144982	2813.779608
36	0.0635	0.0201	35.8514002	11.34928217	1.288977598	51.42852127	3816.811687
37	0.01849	0.03199	10.4392502	18.06369368	0.109276812	104.9027369	1901.478531
38	0.03135	0.03188	17.6998645	17.99878867	0.314176002	104.4004674	2802.036629
39	0.1084	0.0158	61.2014453	8.920272455	3.756834633	33.47312725	9193.882126
40	0.1084	0.01091	61.2014453	6.158610665	3.756976507	18.79016906	9326.362613
41	0.0635	0.0109	35.8514002	6.152322091	1.289269672	18.76459115	3826.140894
42	0.04743	0.01089	26.7756323	6.149181816	0.719144995	18.75182178	2537.41729
43	0.03135	0.0109	17.6998645	6.152322091	0.314251148	18.76459115	1550.222216
44	0.09565	0.003	54.0029359	1.694066382	2.925640366	2.022392475	4685.075405
45	0.0635	0.00263	35.8514002	1.485271004	1.289496932	1.697067613	3006.84562
46	0.03135	0.00263	17.6998645	1.486026675	0.314298628	1.698218948	1312.028184
47	0.09565	0.00187	54.0029359	1.057678855	2.926008754	0.862338841	5239.963867
48	0.0635	0.00187	35.8514002	1.05607049	1.28964307	0.860590857	2900.710218
49	0.03135	0.00187	17.6998645	1.056606159	0.314338205	0.861172927	1243.357085
50	0.09565	0.00112	54.0029359	0.632039354	2.926266681	0.308768162	5102.090675
51	0.0635	0.00112	35.8514002	0.631719577	1.289740514	0.308559887	3121.690761
52	0.03135	0.00112	17.6998645	0.632359401	0.314354038	0.308976648	1106.314009
53	0.2209	0.00415	124.717706	2.341268219	15.60796647	3.113339165	15352.58828
54	0.2209	0.00267	124.717706	1.504878298	15.6089493	1.379986032	19227.737
55	0.2209	0.00111	124.717706	0.628219751	15.60934247	0.3062827	15384.02979
56	0.1834	0.00372	103.545619	2.101526751	10.76030692	2.695699255	12372.89712
57	0.1834	0.00211	103.545619	1.190006736	10.76071352	1.009110545	16267.46302
58	0.1834	0.00111	103.545619	0.626009379	10.7609846	0.304846681	9686.016707
59	0.1459	0.00295	82.3735321	1.663497228	6.810606885	1.973881078	10623.55987
60	0.1459	0.00185	82.3735321	1.041776735	6.81077847	0.845095373	13984.61728
61	0.1459	0.00111	82.3735321	0.62412507	6.810950065	0.303623831	7445.145756
62	0.1084	0.00294	61.2014453	1.661825932	3.759626786	1.97123734	7057.695928
63	0.1084	0.00184	61.2014453	1.040730774	3.759721508	0.843964244	5662.42949
64	0.1084	0.00111	61.2014453	0.624438465	3.759721508	0.303827128	4415.170649

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

65	0.4084	0	230.578139	0	53.34632207	0	4483.37786
66	0.2209	0	124.717706	0	15.61032547	0	2981.660052
67	0.1459	0	82.3735321	0	6.810521095	0	2402.71179
68	0.09565	0	54.0029359	0	2.927261968	0	1896.87173
69	0.0635	0	35.8514002	0	1.290276719	0	1526.801775
70	0.4084	0	230.578139	0	53.35841656	0	4484.425029
71	0.2209	0	124.717706	0	15.61288185	0	2966.17005
72	0.1459	0	82.3735321	0	6.811293279	0	2401.926686
73	0.09565	0	54.0029359	0	2.927630764	0	1901.452715
74	0.0635	0	35.8514002	0	1.290471813	0	1527.707888
75	0	0.04382	0	24.74202211	0	168.6940539	936.3288114
76	0	0.01896	0	10.70732524	0	47.58691	365.4951793
77	0	0.00266	0	1.50127572	0	1.721493906	92.98456513
78	0	0.00164	0	0.926164463	0	0.722420956	57.03288117
79	0	0.00098	0	0.552871178	0	0.258308651	30.33776508
80	0	0.04385	0	24.75490746	0	168.8112026	956.2113381
81	0	0.01895	0	10.6962334	0	47.52119358	382.3176833
82	0	0.00266	0	1.500507083	0	1.720318825	81.1581172
83	0.01849	0.01832	10.4392502	10.34066859	0.109346991	45.42668074	1186.757682
84	0.03135	0.01811	17.6998645	10.22650327	0.314441152	44.75920812	1393.472498
85	0.04743	0.01811	26.7756323	10.22650327	0.719588871	44.75920812	2575.904762
86	0.0635	0.01956	35.8514002	11.04183729	1.289951693	49.57940415	3181.461866
87	0.01849	0.03136	10.4392502	17.7069693	0.109335977	102.1496896	1765.833909
88	0.03135	0.03092	17.6998645	17.45803679	0.31442927	100.2394354	2024.050569
89	0.1084	0.0154	61.2014453	8.69252778	3.759484712	32.33852787	6373.279864
90	0.1084	0.01066	61.2014453	6.019663123	3.759295297	18.22705922	5060.084074
91	0.0635	0.01066	35.8514002	6.019663123	1.290016685	18.22705922	2663.989082
92	0.04743	0.01066	26.7756323	6.019663123	0.719561679	18.22705922	2220.699731
93	0.03135	0.01066	17.6998645	6.016634869	0.314437191	18.2148345	1378.409372
94	0.09565	0.00294	54.0029359	1.660991332	2.927261968	1.969917462	4957.544928
95	0.0635	0.00258	35.8514002	1.458487429	1.290130437	1.656386932	2525.783758
96	0.03135	0.00258	17.6998645	1.45629183	0.31446888	1.653063079	957.3399663
97	0.09565	0.00184	54.0029359	1.04020845	2.92733572	0.84339953	4246.13171
98	0.0635	0.00184	35.8514002	1.039686563	1.290195447	0.842835383	2105.140783
99	0.03135	0.00184	17.6998645	1.036564382	0.314504537	0.839462359	939.0587041
100	0.09565	0.0011	54.0029359	0.622562023	2.927593881	0.302610401	4008.953043
101	0.0635	0.0011	35.8514002	0.622250196	1.290325487	0.302408324	2504.197969
102	0.03135	0.0011	17.6998645	0.621316276	0.314520388	0.301803306	1280.306573
103	0.2209	0.00412	124.717706	2.324808051	15.611111196	3.084189184	12449.1634
104	0.2209	0.00265	124.717706	1.495814298	15.61170188	1.368914819	11199.00242
105	0.2209	0.00111	124.717706	0.62412507	15.61268518	0.303623831	19014.24999
106	0.1834	0.0037	103.545619	2.088890232	10.76206907	2.674108558	7164.96986
107	0.1834	0.00223	103.545619	1.257549303	10.76234022	1.086191032	5855.097401
108	0.1834	0.0011	103.545619	0.622250196	10.76274698	0.302408324	7228.236787
109	0.1459	0.00311	82.3735321	1.757924866	6.811550713	2.124672292	5250.045117
110	0.1459	0.00209	82.3735321	1.178717713	6.811979812	0.996366837	5854.774734
111	0.1459	0.0011	82.3735321	0.62038469	6.812151467	0.301200101	7234.486153
112	0.1084	0.00292	61.2014453	1.649379901	3.760432075	1.951577516	6309.025773
113	0.1084	0.00183	61.2014453	1.031910319	3.76066899	0.834440661	4190.883196
114	0.1084	0.00109	61.2014453	0.618220019	3.760858544	0.299799638	2631.293159

**Παράρτημα 4: Μετρήσεις με θερμό ρεύμα το νερό**

115	0.01849	0.01905	10.4392502	10.7574766	0.109225954	47.88432746	1405.985853
116	0.03135	0.01898	17.6998645	10.71843627	0.314010017	47.65276284	2130.771736
117	0.04743	0.01895	26.7756323	10.6962334	0.718602219	47.52119358	3394.883761
118	0.0635	0.02029	35.8514002	11.45494748	1.288393846	52.06793035	6311.518344
119	0.01849	0.02797	10.4392502	15.79183709	0.109313955	87.69098454	2167.705124
120	0.03135	0.02784	17.6998645	15.71963674	0.314286757	87.1568275	3352.930371
121	0.1084	0.01647	61.2014453	9.301322288	3.754707811	36.08370619	-27830.59809
122	0.1084	0.01104	61.2014453	6.234917125	3.754896765	19.1012271	-41024.36398
123	0.0635	0.01101	35.8514002	6.218890439	1.288572158	19.03578958	4389.947138
124	0.04743	0.011	26.7756323	6.212498979	0.718801142	19.00970869	2997.083043
125	0.03135	0.01099	17.6998645	6.20611846	0.31412856	18.98368137	1735.687248
126	0.09565	0.00303	54.0029359	1.710579654	2.924094149	2.04872002	9257.568742
127	0.0635	0.00266	35.8514002	1.500507083	1.288864049	1.720318825	4003.208994
128	0.03135	0.00265	17.6998645	1.498205104	0.314183911	1.716800791	1165.714653
129	0.09565	0.00189	54.0029359	1.067960672	2.924462148	0.873534103	6927.263821
130	0.0635	0.00189	35.8514002	1.067415377	1.289026267	0.872939458	3837.707567
131	0.03135	0.00189	17.6998645	1.066326178	0.314215548	0.871751987	1171.446231
132	0.09565	0.00113	54.0029359	0.639143298	2.924719802	0.313404098	7506.779777
133	0.0635	0.00113	35.8514002	0.638166761	1.289172299	0.3127658	3136.292125
134	0.03135	0.00113	17.6998645	0.637841801	0.314247192	0.312553468	1124.901242
135	0.2209	0.00419	124.717706	2.365122086	15.6001083	3.155704239	-24296.45803
136	0.2209	0.00227	124.717706	1.281888549	15.60148291	1.114311319	-10021.19271
137	0.2209	0.00112	124.717706	0.633963695	15.60226851	0.310022254	-15953.88894
138	0.1834	0.00376	103.545619	2.121796911	10.75543011	2.730423159	13566.15437
139	0.1834	0.00226	103.545619	1.276699596	10.75624261	1.108301224	11623.23128
140	0.1834	0.00112	103.545619	0.631719577	10.7566489	0.308559887	13329.69534
141	0.1459	0.00261	82.3735321	1.474012347	6.80777697	1.679937161	-15709.35568
142	0.1459	0.00186	82.3735321	1.05233345	6.807948413	0.856532839	-16124.45852
143	0.1459	0.00112	82.3735321	0.630761862	6.808205593	0.307936324	-12232.97624
144	0.1084	0.00261	61.2014453	1.471777679	3.758396834	1.676542207	-20829.55892
145	0.1084	0.00186	61.2014453	1.050207882	3.758490494	0.854226846	157199.0818
146	0.1084	0.00112	61.2014453	0.629806565	3.758585159	0.307314649	-20800.61367



7.5 ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ APLE1 ΤΗΣ HTFS

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση του προγράμματος APLE1 της HTFS.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7-23: Τα αποτελέσματα του APLE1 για τα 4 σετ μετρήσεων

```

HTFS APLE VERSION 1.50 - SIMULATION - FOR JOB NUMBER:- 1
      0 WARNING MESSAGES      0 ERROR MESSAGES

      GEOMETRIC DETAILS - S. I. UNITS
TOTAL PLATES / EXCHANGERS / AREA .....      13 /          1 /          .35
PASSES : CHANNELS      STR1/STR2 .....      1 :  6 /      1 :  6
INLET : OUTLET POINT   STR1/STR2 .....      3 :  1 /      2 :  4
PLATE LENGTH / WIDTH / PORT DIAMETER ...      346.2 /      173.0 /      30.0
PLATE PITCH / THICKNESS / CHEV. ANGLE ..      2.40 /          .600 /      60.0
      PROCESS DETAILS - S. I. UNITS
TOTAL MASS FLOW RATE   STR1/STR2 .....      2635. /      2635.
INLET TEMPERATURE     STR1/STR2 .....      27.50 /      20.00
OUTLET TEMPERATURE    STR1/STR2 .....      25.35 /      22.15
      RESULTS - S. I. UNITS
TOTAL PRESSURE DROP    STR1/STR2 .....          .08 /          .09
MAX PLATE:PORT VELOCITY STR1/STR2 .....      .55 : 1.04 /      .55 : 1.04
COEFFICIENT           STR1/STR2/WALL .....      8313. /      7987. /      25940.
FOULING RESISTANCE    STR1/STR2 .....          ---- /          ----
OVERALL COEFF. CLEAN/DIRTY/+MARGIN ....      3521. /      3521. /      3521.
HEAT DUTY / EFF WTD MTD / 1 PASS MTD ...      6.6 /          5.4 /          5.4
AREA RATIO - ACTUAL/REQD .....          1.001

File: C:\HTFS\DATA\G1.APV
F1-Help  F2-Search  F5-Editor  F6-Output  F7-Diagram  PgUp/PgDn  Esc
    
```

```

HTFS APLE VERSION 1.50 - SIMULATION - FOR JOB NUMBER:- 2
      0 WARNING MESSAGES      0 ERROR MESSAGES

      GEOMETRIC DETAILS - S. I. UNITS
TOTAL PLATES / EXCHANGERS / AREA .....      13 /          1 /          .35
PASSES : CHANNELS      STR1/STR2 .....      1 :  6 /      1 :  6
INLET : OUTLET POINT   STR1/STR2 .....      3 :  1 /      2 :  4
PLATE LENGTH / WIDTH / PORT DIAMETER ...      346.2 /      173.0 /      30.0
PLATE PITCH / THICKNESS / CHEV. ANGLE ..      2.40 /          .600 /      60.0
      PROCESS DETAILS - S. I. UNITS
TOTAL MASS FLOW RATE   STR1/STR2 .....      2068. /      2068.
INLET TEMPERATURE     STR1/STR2 .....      27.50 /      20.00
OUTLET TEMPERATURE    STR1/STR2 .....      25.21 /      22.29
      RESULTS - S. I. UNITS
TOTAL PRESSURE DROP    STR1/STR2 .....          .05 /          .06
MAX PLATE:PORT VELOCITY STR1/STR2 .....      .43 : .82 /      .43 : .81
COEFFICIENT           STR1/STR2/WALL .....      6970. /      6706. /      25940.
FOULING RESISTANCE    STR1/STR2 .....          ---- /          ----
OVERALL COEFF. CLEAN/DIRTY/+MARGIN ....      3020. /      3020. /      3020.
HEAT DUTY / EFF WTD MTD / 1 PASS MTD ...      5.5 /          5.2 /          5.2
AREA RATIO - ACTUAL/REQD .....          1.001

File: C:\HTFS\DATA\G2.APV
F1-Help  F2-Search  F5-Editor  F6-Output  F7-Diagram  PgUp/PgDn  Esc
    
```



Παράρτημα 5: Αποτελέσματα του APLE1

```

HTFS APLE VERSION 1.50 - SIMULATION - FOR JOB NUMBER:- 3
0 WARNING MESSAGES 0 ERROR MESSAGES

    GEOMETRIC DETAILS - S. I. UNITS
TOTAL PLATES / EXCHANGERS / AREA .....      13 /          1 /          .35
PASSES : CHANNELS      STR1/STR2 .....      1 : 6 /          1 : 6
INLET : OUTLET POINT   STR1/STR2 .....      3 : 1 /          2 : 4
PLATE LENGTH / WIDTH / PORT DIAMETER ...      346.2 /         173.0 /          30.0
PLATE PITCH / THICKNESS / CHEV. ANGLE ..      2.40 /          .600 /          60.0
    PROCESS DETAILS - S. I. UNITS
TOTAL MASS FLOW RATE   STR1/STR2 .....      1586. /         1586.
INLET TEMPERATURE     STR1/STR2 .....      27.50 /         20.00
OUTLET TEMPERATURE    STR1/STR2 .....      25.06 /         22.44
    RESULTS - S. I. UNITS
TOTAL PRESSURE DROP    STR1/STR2 .....      .03 /          .03
MAX PLATE:PORT VELOCITY STR1/STR2 .....      .33 : .63 /       .33 : .62
COEFFICIENT           STR1/STR2/WALL .....      5745. /         5536. /          25941.
FOULING RESISTANCE    STR1/STR2 .....      ---- /          ----
OVERALL COEFF. CLEAN/DIRTY/+MARGIN ....      2543. /         2543. /          2543.
HEAT DUTY / EFF WTD MTD / 1 PASS MTD ...      4.5 /          5.1 /          5.1
AREA RATIO - ACTUAL/REQD .....      1.001

File: C:\HTFS\DATA\G3.APV
F1-Help  F2-Search  F5-Editor  F6-Output  F7-Diagram  PgUp/PgDn  Esc
    
```

```

HTFS APLE VERSION 1.50 - SIMULATION - FOR JOB NUMBER:- 4
0 WARNING MESSAGES 0 ERROR MESSAGES

    GEOMETRIC DETAILS - S. I. UNITS
TOTAL PLATES / EXCHANGERS / AREA .....      13 /          1 /          .35
PASSES : CHANNELS      STR1/STR2 .....      1 : 6 /          1 : 6
INLET : OUTLET POINT   STR1/STR2 .....      3 : 1 /          2 : 4
PLATE LENGTH / WIDTH / PORT DIAMETER ...      346.2 /         173.0 /          30.0
PLATE PITCH / THICKNESS / CHEV. ANGLE ..      2.40 /          .600 /          60.0
    PROCESS DETAILS - S. I. UNITS
TOTAL MASS FLOW RATE   STR1/STR2 .....      480. /          480.
INLET TEMPERATURE     STR1/STR2 .....      27.50 /         20.00
OUTLET TEMPERATURE    STR1/STR2 .....      24.30 /         23.21
    RESULTS - S. I. UNITS
TOTAL PRESSURE DROP    STR1/STR2 .....      .00 /          .00
MAX PLATE:PORT VELOCITY STR1/STR2 .....      .10 : .19 /       .10 : .19
COEFFICIENT           STR1/STR2/WALL .....      2514. /         2470. /          25941.
FOULING RESISTANCE    STR1/STR2 .....      ---- /          ----
OVERALL COEFF. CLEAN/DIRTY/+MARGIN ....      1189. /         1189. /          1189.
HEAT DUTY / EFF WTD MTD / 1 PASS MTD ...      1.8 /          4.3 /          4.3
AREA RATIO - ACTUAL/REQD .....      1.000

File: C:\HTFS\DATA\G4.APV
F1-Help  F2-Search  F5-Editor  F6-Output  F7-Diagram  PgUp/PgDn  Esc
    
```



