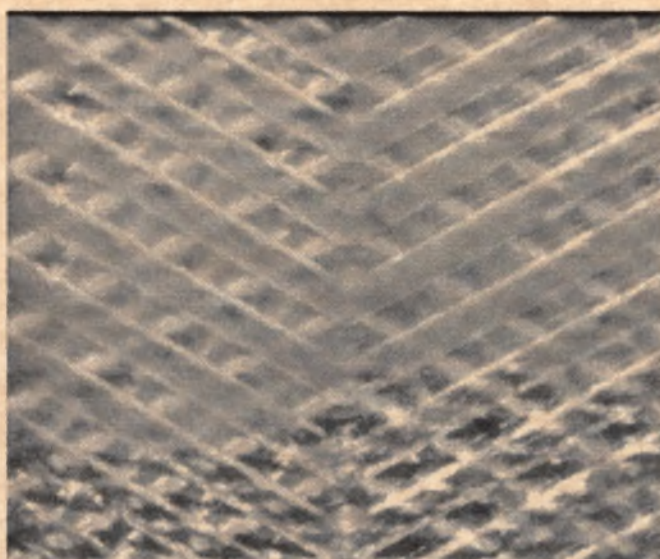


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ**

***‘ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ  
ΝΕΡΟΥ - ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΩΝ –  
ΠΛΑΙΣΙΟΥ’***



***ΦΟΙΤΗΤΗΣ  
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Σ. ΒΛΑΣΟΓΙΑΝΝΗΣ***

***ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ Β. ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ***

**ΒΟΛΟΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1999**



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

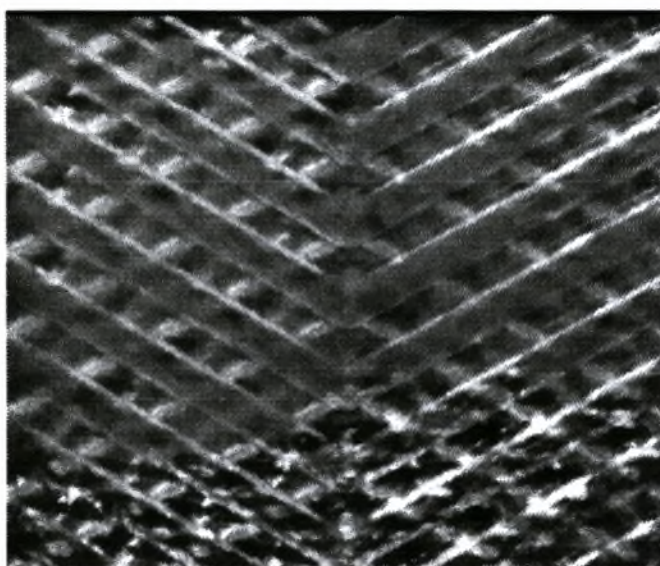
Αριθ. Εισ.: 1860/1  
Ημερ. Εισ.: 18-10-1999  
Δωρεά: \_\_\_\_\_  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ  
1999  
ΒΛΑ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ**

***‘ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ  
ΝΕΡΟΥ - ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΩΝ –  
ΠΛΑΙΣΙΟΥ’***



***ΦΟΙΤΗΤΗΣ***

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Σ. ΒΛΑΣΟΓΙΑΝΝΗΣ**

***ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ***

**ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ Β. ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΒΟΛΟΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1999**

αρ. εισ 157/πΑ.....



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000046469

*Στην οικογένεια μου και  
στους φίλους μου*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Στην επιτυχημένη εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας συνέβαλλαν κάποιοι, τους οποίους νιώθω την υποχρέωση να ευχαριστήσω. Έτσι, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου απέναντι στους:

- Τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Β. Μποντόζογλου, για τη δημιουργία ενός άψογου κλίματος συνεργασίας και κυρίως, για την πάντα πρόθυμη βοήθεια και καθοδήγηση.
- Τον μεταπτυχιακό φοιτητή Γ. Καραγιάννη, που με την εμπειρία του στο θέμα της εργασίας και στον εναλλάκτη πλακών – πλαισίου, καθοδήγησε τα πρώτα μου βήματα στο χειρισμό της πειραματικής διάταξης και στην οργάνωση της υπολογιστικής διαδικασίας.
- Τον υποψήφιο διδάκτορα Μ. Βλαχογιάννη, για τις πολύτιμες συμβουλές του, ειδικά στο θέμα της οπτικής παρατήρησης της ροής, καθώς και για την όλη του υποστήριξη σε οποιοδήποτε θέμα προέκυπτε κατά την εργασία μου στο εργαστήριο Φυσικών και Χημικών Διεργασιών.
- Τον Α. Βέργο, Ε.Δ.Τ.Π του τμήματος, για την άμεση συνδρομή του στα, όχι και λίγα, τεχνικά προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.
- Τους γονείς μου, οι οποίοι με στήριξαν υλικά και ηθικά, κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η πειραματική μελέτη ενός εναλλάκτη πλακών – πλαισίου σε συνθήκες διφασικής ροής. Τελικός στόχος είναι η συσχέτιση της θερμικής συμπεριφοράς με τις διάφορες μορφές που ενδεχομένως παρουσιάζει η διφασική ροή νερού-αέρα στη συγκεκριμένη γεωμετρία. Πρέπει να τονιστεί ότι πολύ λίγα είναι γνωστά στη γνωστική αυτή περιοχή, κάτι που προσδίδει έναν καινοτομικό χαρακτήρα στη συγκεκριμένη εργασία.

Ο εναλλάκτης πλακών – πλαισίου χαρακτηρίζεται από ορισμένα πλεονεκτήματα που τον καθιστούν αρκετά δημοφιλή στις μέρες μας. Ο τύπος αυτός παρέχει μεγάλη επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας ανά μονάδα όγκου ενώ η παρουσία κυματοειδών αυλακώσεων στις πλάκες βοηθά στην επίτευξη έντονα τυρβώδους ροής και υψηλών συντελεστών μεταφοράς θερμότητας. Ακόμα είναι πολύ εύκολη η επέμβαση με σκοπό τον περιορισμό των αποθέσεων σε όλη την έκταση της επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας. Η ροή στους εναλλάκτες πλακών έχει ως εξής: τα δύο ρευστά κινούνται σε αντιροή διαμέσου μικρών διακένων μεταξύ των πλακών. Τα ρευστά κινούνται εναλλάξ προς τα πάνω και προς τα κάτω ενώ η παρουσία παρεμβυσμάτων ανάμεσα στις πλάκες ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο ανάμιξης τους.

Όλα τα παραπάνω συντελούν στο γεγονός οι εναλλάκτες πλακών – πλαισίου να έχουν κυρίαρχη θέση στις διεργασίες όπου εμπλέκονται προϊόντα υψηλής ποιότητας όπως τρόφιμα και φάρμακα ενώ τελευταία τους συναντάμε όλο και περισσότερο στις κλασσικές χημικές βιομηχανίες. Στα μειονεκτήματα της συσκευής μπορούμε να καταγράψουμε τις κατασκευαστικές αδυναμίες όσον αφορά το χειρισμό ρευστών υψηλού ιξώδους και τη λειτουργία σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες.

Στην παρούσα εργασία μελετάται τόσο η θερμική συμπεριφορά όσο και η διφασική ροή. Πιο συγκεκριμένα, κύριο ζητούμενο είναι ο υπολογισμός του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας από τη μεριά του διφασικού μίγματος  $h_2$  καθώς και η αποτύπωση της επιρροής του αέρα στο συγκεκριμένο συντελεστή σε σχέση με το συντελεστή που θα έδινε ρεύμα μονοφασικού ψυχρού νερού. Παράλληλα κατασκευάστηκε ένας πρώτος χάρτης ροής για τους διάφορους συνδυασμούς του διφασικού μίγματος νερού – αέρα και έγινε προσπάθεια να εξηγηθεί η συμπεριφορά του  $h_2$  με βάση τη μορφή ροής του μίγματος.

Οι διάφοροι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας υπολογίστηκαν από την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων με χρήση ολοκληρωτικών ισοζυγίων ενέργειας. Πρώτα μετρήθηκε ο συντελεστής από τη μεριά του θερμού μονοφασικού νερού  $h_1$ . Αυτό έγινε χρησιμοποιώντας ίσες παροχές μονοφασικού νερού τόσο ως θερμό όσο και ως ψυχρό ρεύμα. Ακολούθως εκτελέστηκε σειρά πειραμάτων έχοντας διφασικό μίγμα

στη θέση του ψυχρού ρεύματος και ο  $h_2$  στάθηκε δυνατό να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$h_2 = \frac{1}{\frac{1}{U} - \frac{1}{h_1} - \frac{\Delta x}{K}}$$

όπου  $U$  είναι ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας,  $\Delta x$  το πάχος του ελάσματος που διαχωρίζει τα δύο ρευστά και  $K$  ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του ελάσματος.

Όσον αφορά τη διαφασική ροή, αυτή στάθηκε δυνατόν να παρατηρηθεί αντικαθιστώντας τον ακόλουθο (καπάκι) του εναλλάκτη με διαφανή πλάκα plexiglass στην οποία είχε εντυπωθεί η γεωμετρία μίας τυπικής πλάκας. Για την καταγραφή των χαρακτηριστικών ροής χρησιμοποιήθηκε οπτική κάμερα φωτογράφισης υψηλής ταχύτητας, η οποία συνδέεται με υπολογιστή και αποθηκεύει τις εικόνες με ψηφιακή μορφή. Τέλος, μπόρεσαν να εξαχθούν μερικά ενδιαφέροντα συμπεράσματα για τη σχέση μεταξύ του  $h_2$  και τη μορφή της ροής.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΠΛΑΚΩΝ – ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	1
1.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	1
1.2.1 ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	2
1.2.2 ΤΑ ΠΑΡΕΜΒΥΣΜΑΤΑ.....	3
1.2.3 ΟΙ ΠΛΑΚΕΣ.....	4
1.2.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ.....	4
1.2.3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ.....	9
1.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	11
1.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ, ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ, ΧΡΗΣΕΙΣ...13 ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΩΝ- ΠΛΑΙΣΙΟΥ	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ.....</b>	<b>17</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	18
2.2 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ.....	19
2.3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ.....	20
2.4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ.....	20
2.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	20
2.4.2 ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	21
2.4.3 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	23
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ     ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....</b>	<b>26</b>
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....	26
3.1.1 Ο ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΠΛΑΚΩΝ – ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	26
3.1.2 ΘΕΡΜΟ ΡΕΥΜΑ.....	27
3.1.3 ΨΥΧΡΟ ΡΕΥΜΑ.....	28
3.1.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	28
3.1.5 ΔΙΚΤΥΟ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ.....	29
3.1.6 ΑΝΤΛΙΕΣ.....	30
3.1.7 ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ.....	31
3.1.7.1 ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	31
3.1.7.2 ΡΟΟΜΕΤΡΑ.....	32
3.1.7.3 ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ.....	32
3.1.8 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ.....	35
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	37
3.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	37

3.2.1.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $h_2$ .....	37
3.2.1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>40</b>
4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	40
4.1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	40
4.1.1.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ.....	40
4.1.1.2 ΠΑΡΟΧΕΣ.....	41
4.1.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $h_1$ .....	42
4.1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $h_2$ .....	43
4.1.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ.....	43
4.1.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	44
4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	44
4.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΤΟΥ $h_1$ .....	44
4.2.2 ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΦΑΣΙΚΗ ΡΟΗ ΣΤΟΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΩΝ – ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....</b>	<b>65</b>
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	65
5.2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΡΟΗΣ.....	65
5.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ.....	71
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>73</b>
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	73
6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	75
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>76</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα).....</b>	<b>77</b>
7.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	77
7.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΣΕ 1 bar.....	78
7.3 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΕΡΑ.....	79
7.4 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΑΕΡΑ Η1.....	780
7.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	80

## **1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

Ο εναλλάκτης πλακών – πλαισίου είναι μία σχετικά σύγχρονη συσκευή εναλλαγής θερμότητας που μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούνταν σχεδόν αποκλειστικά από βιομηχανίες προϊόντων υψηλής ποιότητας όπως τρόφιμα και φάρμακα. Όμως η εξαιρετική του απόδοση και τα αρκετά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει απέναντι στον κλασικό εναλλάκτη αυλών – κελύφους έχουν οδηγήσει στο γεγονός να αντικαθιστά την παραπάνω συσκευή σε αρκετές βιομηχανικές διεργασίες μεταφοράς θερμότητας.

Οι πρώτοι εναλλάκτες πλακών – πλαισίου κατασκευάστηκαν περίπου στις αρχές του αιώνα, οπότε και δόθηκαν τα πρώτα διπλώματα ευρεσιτεχνίας για τις πρωτότυπες κατασκευές. Ο πρώτος εμπορικά εκμεταλλεύσιμος τύπος παρουσιάστηκε το 1923 και αποτελούνταν από έναν αριθμό μεταλλικών πλακών, κλεισμένων μέσα σε ένα πλαίσιο με αυτό μίας φίλτροπρέσσας. Στις αρχές του 1930 εμφανίστηκε το πρώτο μοντέλο που η εξέλιξη του έδωσε τη σύγχρονη μορφή του εναλλάκτη πλακών πλαισίου.

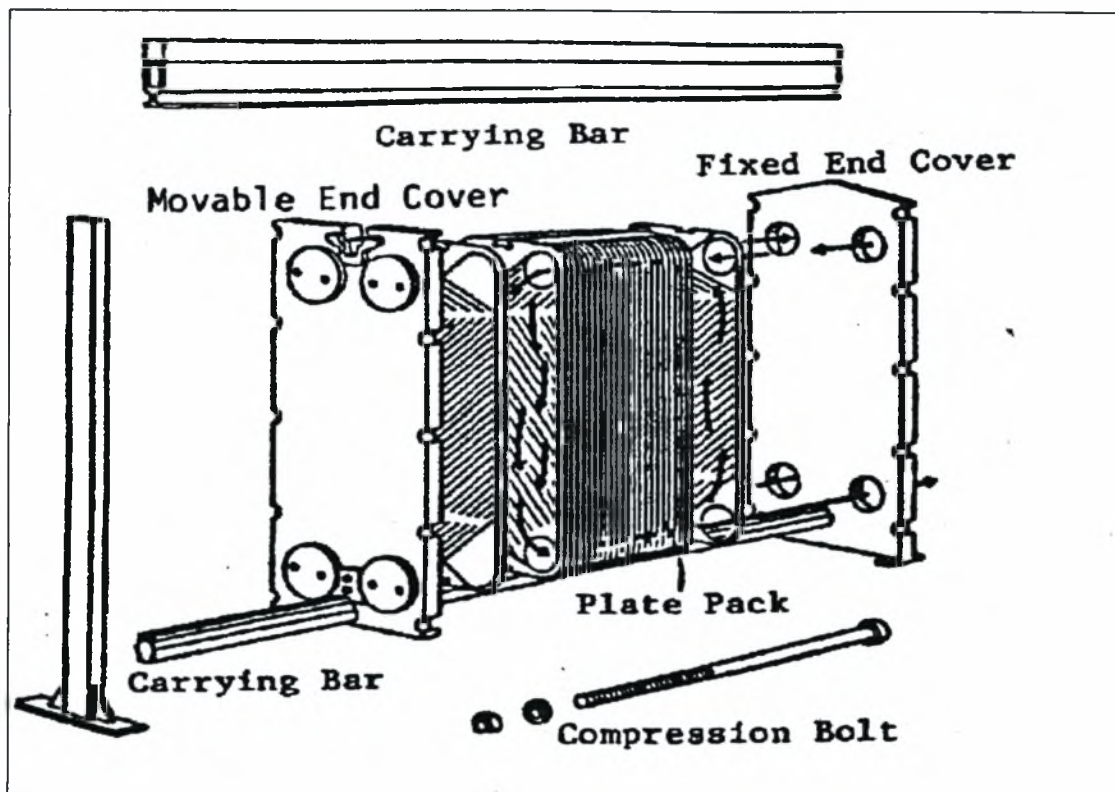
## **1.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Ο εναλλάκτης πλακών – πλαισίου αποτελείται από έναν αριθμό **ορθογώνιων παραλληλόγραμμων μεταλλικών πλακών** και από ένα **πλαίσιο** που συγκρατεί τις πλάκες στις προκαθορισμένες θέσεις τους. Οι πλάκες συναρμολογούνται με τέτοιο τρόπο ώστε ανάμεσα τους να υπάρχει το διάκενο που επιτρέπει την κυκλοφορία των ρευστών στον εναλλάκτη.

Οι πλάκες είναι λεπτόπαχα μεταλλικά φύλλα, που έχουν υποστεί τύπωση, με αποτέλεσμα η επιφάνεια τους να έχει τα μορφή κυματοειδών πτυχώσεων. Το πλαίσιο αποτελείται από δύο καπάκια. Το ένα από αυτά είναι σταθερό και ονομάζεται **κεφαλή**, ενώ το άλλο είναι κινητό και ονομάζεται **ουρά ή ακόλουθος** του εναλλάκτη. Το πλαίσιο επίσης περιλαμβάνει και δύο **δοκούς**. Η μία είναι πακτωμένη στην κεφαλή και ονομάζεται **φέρουσα δοκός** ενώ η άλλη είναι αποσπώμενη και ονομάζεται **δευτερεύουσα**. Σκοπός των δύο δοκών είναι να στηρίζουν την κατασκευή καθώς και να εξασφαλίζουν τη σωστή ευθυγράμμιση των πλακών. Ζωτικό κομμάτι

ενός εναλλάκτη πλακών – πλαισίου αποτελούν τα **παρεμβύσματα**, δηλαδή οι τσιμούχες, οι οποίες περιβάλλουν τις πλάκες και πιεζόμενες από έναν αριθμό **κοχλιών** που είναι τοποθετημένοι στην κεφαλή εξασφαλίζουν τη στεγανοποίηση της κατασκευής. Ακόμα πρέπει να σημειωθεί ότι απαραίτητη είναι η σωστή **έδραση** της κατασκευής.

ΣΧΗΜΑ 1-1. Ο εναλλάκτης πλακών - πλαισίου



### 1.2.1 ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το πλαίσιο συνολικά αποτελείται από την κεφαλή, τον ακόλουθο, την άνω και κάτω φέρουσα δοκό, τους κοχλίες σύσφιξης, καθώς και τα περικόχλια που τους συνοδεύουν. Τα παραπάνω στοιχεία συναρμολογούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι οι πλάκες ευθυγραμμισμένες και να συμπιέζονται κατάλληλα και ομοιόμορφα τα παρεμβύσματα. Έτσι επιτυγχάνεται η στιβαρότητα και στεγανότητα της συσκευής.

Στη λυόμενη κατασκευή του πλαισίου και τη χρήση κοχλιών οφείλονται πολλά από τα πλεονεκτήματα που κάνουν τον εναλλάκτη πλακών πλαισίου να ξεχωρίζει. Πιο συγκεκριμένα, η ευκολία στην συναρμολόγηση του κάνουν δυνατή την τοποθέτηση του σε χώρους όπου άλλοι τύποι εναλλάκτη συναντούν αρχιτεκτονικές

δυσκολίες. Ακόμα, και αυτό είναι ίσως το σημαντικότερο, υπάρχει η δυνατότητα εύκολης και γρήγορης επέκτασης της επιφάνειας εναλλαγής με την προσθήκη νέων πλακών. Για αυτό το σκοπό συνήθως οι δοκοί και οι κοχλίες κατασκευάζονται με μήκος μεγαλύτερο από το απαιτούμενο, ώστε να εξασφαλίζεται αυτή η δυνατότητα επέκτασης. Παράλληλα, υπάρχει η δυνατότητα επέμβασης σε κάθε πλευρά της επιφάνειας εναλλαγής ώστε να αντιμετωπιστούν τυχόν προβλήματα αποθέσεων.

Η κεφαλή αποτελεί το σταθερό μέρος του πλαισίου και συνήθως υπάρχουν πάνω σ' αυτή οι τέσσερις φλάντζες για τις παροχές και τις αποχετεύσεις, για έναν εναλλάκτη απλού περάσματος (1-1). Ο ακόλουθος αποτελεί το κινητό μέρος του πλαισίου και συμπιέζει τις πλάκες 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 ρευμάτων μπορεί να είναι διάφορων μορφών όπως ακροφύσια με φλάντζα, σωλήνας με οδηγούς, σωλήνας με σπείρωμα ή και στεγανωτικά για απευθείας ένωση με φλάντζα. Τέλος οι κοχλίες που συμπιέζουν τα παρεμβύσματα μεταξύ των δύο καπακιών πρέπει να είναι τουλάχιστον έξι, έτσι ώστε να έχουμε μικρές εφελκυστικές καταπονήσεις σ' αυτούς καθώς και μικρές επιφανειακές καταπονήσεις στα καπάκια.

### **1.2.2 ΤΑ ΠΑΡΕΜΒΥΣΜΑΤΑ**

Η στεγανοποίηση της συσκευής επιτυγχάνεται με τη χρήση παρεμβυσμάτων (τσιμούχων) από ελαστόμερή πάχους έως 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. Τα παρεμβύσματα είναι περαστά στις πλάκες, δηλαδή δεν χρησιμοποιείται κάποια κολλητική ουσία, οπότε η αντικατάστασή τους είναι πολύ εύκολη. Το περιμετρικό παρέμβυσμα είναι εξωτερικά εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα, οπότε είναι εύκολος ο εντοπισμός διαρροών με απλή οπτική παρατήρηση. Ακόμα, τα παρεμβύσματα των θυρών είναι τοποθετημένα με τέτοια διάταξη ώστε να εξασφαλίζεται διπλή στεγανοποίηση, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο ανάμιξης των δύο ρευστών.

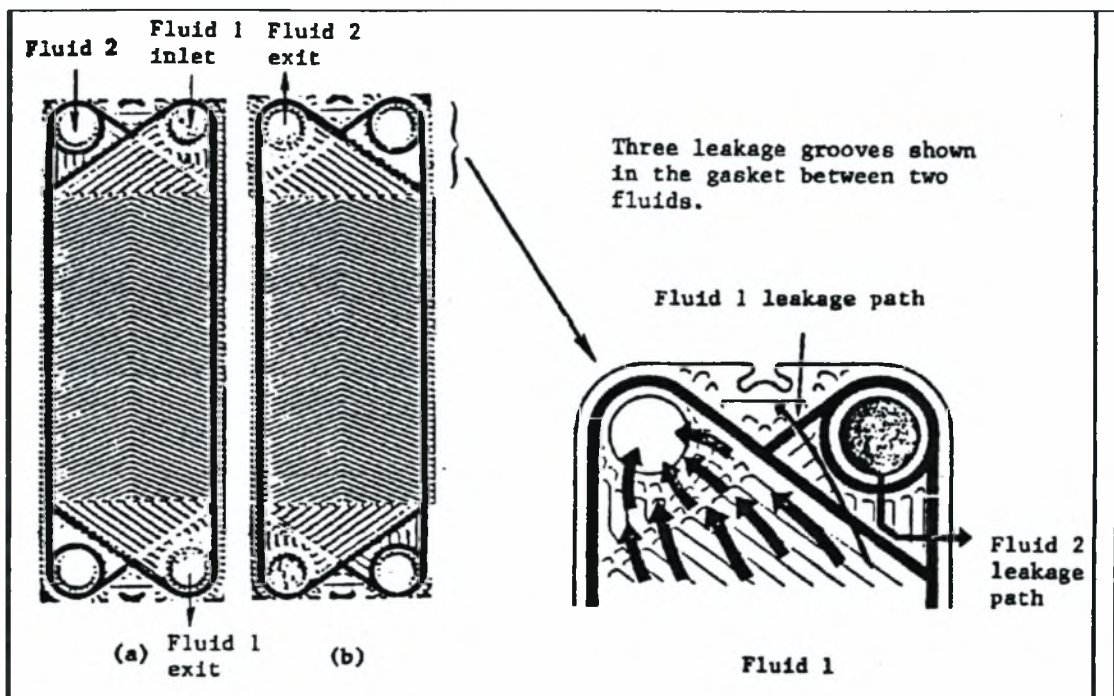
Τυπικά υλικά κατασκευής παρεμβυσμάτων είναι τα ακόλουθα:

- Φυσικό λάστιχο
- SBR (στυρένιο – βουταδιένιο)
- Νεοπρένιο
- Βουτήλιο (εμπλουτισμένο με ρητίνη)

- EPDM (ελαστικό αιθυλενίου – προπυλενίου)
- Ελαστικό σιλικόνης
- VITON (φθοριωμένο ελαστικό)
- Συμπιεσμένες ίνες αμιάντου

Πάντως περίπου το 90% των παρεμβυσμάτων των εναλλακτών πλακών – πλαισίου είναι παρεμβύσματα νιτριλίου, EPDM, VITON και νιτριλίου υψηλής θερμοκρασίας.

ΣΧΗΜΑ 1- 2. Ο ρόλος των παρεμβυσμάτων

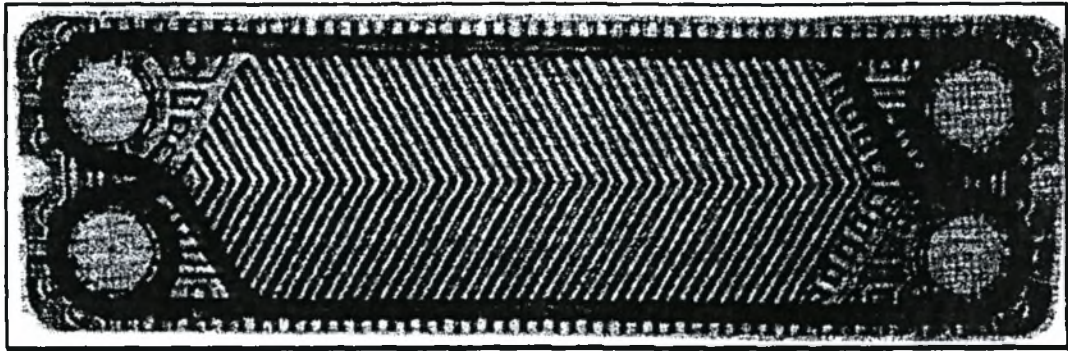


### 1.2.3 ΟΙ ΠΛΑΚΕΣ

#### 1.2.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Το πακέτο των πλακών αποτελεί το σημαντικότερο μέρος του εναλλάκτη και συμπιέζεται μεταξύ της κεφαλής και του ακολούθου. Με τη βοήθεια των παρεμβυσμάτων σχηματίζονται ανάμεσα στις πλάκες διάκενα κατάλληλου μεγέθους, μέσα από τα οποία διέρχονται τα ρευστά που συμμετέχουν στην εναλλαγή θερμότητας.

**ΣΧΗΜΑ 1 – 3. Πλάκα εναλλάκτη πλακών – πλαισίου.**



Οι πλάκες είναι κυματοειδούς μορφής και κατασκευάζονται από μεταλλικά φύλλα πάχους ελασματος από 0,5 έως 0,9mm. Η δημιουργία της κυματοειδούς γεωμετρίας επιτυγχάνεται συνήθως με τύπωση με μήτρα. Ο σχεδιασμός των πλακών και η επιλογή του πάχους τους είναι αντικείμενο μελέτης μηχανολογικού σχεδιασμού ώστε το πακέτο των πλακών να αντέχει την πίεση λειτουργίας και τη μέγιστη ονομαστική πίεση για την οποία έχει σχεδιαστεί ο εναλλάκτης.

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

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

- Εμπορικοί τύποι ανοξείδωτου χάλυβα
- Τιτάνιο
- Νικέλιο
- Κράματα νικελίου για εξειδικευμένες εφαρμογές

Σε κάθε πλάκα υπάρχουν τέσσερις θύρες, οι οποίες ανά ζεύγος εξασφαλίζουν την είσοδο και έξοδο κάθε ρευστού ανάμεσα από τα ροϊκά κανάλια κάθε πλευράς της πλάκας. Αφού συναρμολογηθούν οι πλάκες, οι γωνιακές θύρες σχηματίζουν κεφαλές διανομής κα 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.

Ένα ρευστό ρέει στο εσωτερικό του εναλλάκτη 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 παρέμβυσμα 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. Μπλοκάρωντας την 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. Οι πλάκες που είναι σε επαφή με τον ακόλουθο και την κεφαλή δε μεταφέρουν θερμότητα από το ένα ρευστό στο άλλο και δεν θεωρούνται θερμικές πλάκες. Άρα με τον όρο θερμικές πλάκες περιγράφονται όλες οι υπόλοιπες πλάκες του εναλλάκτη.

Η ροή μέσα στον εναλλάκτη είναι τυρβώδης με υψηλούς αριθμούς Reynolds, από 10 έως 800 σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, υπολογισμένους χρησιμοποιώντας ως χαρακτηριστικό μήκος την υδραυλική διάμετρο. Η τιμή του αριθμού Reynolds

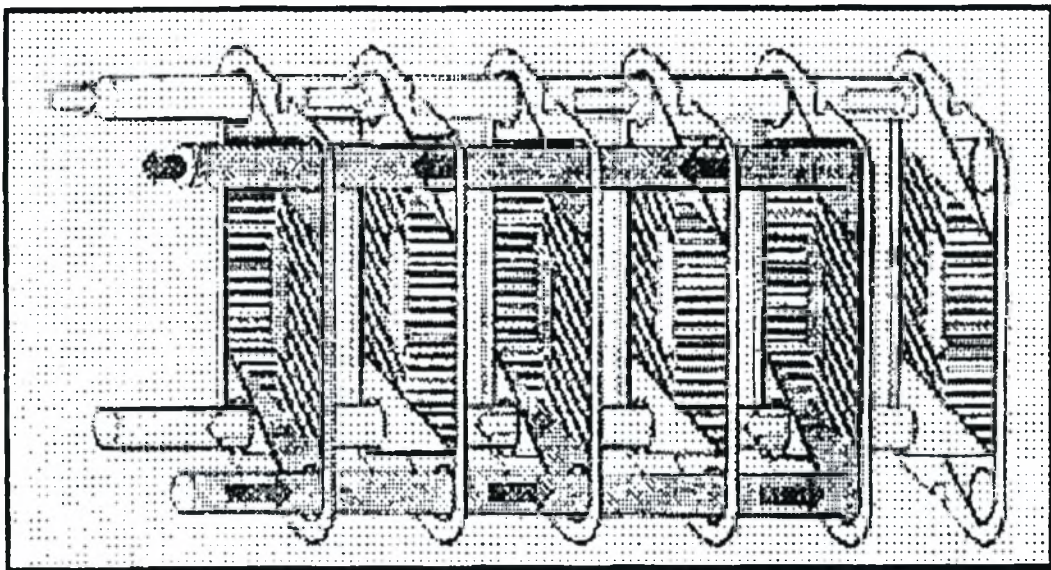


ποικίλλει ανάλογα με την σκληρότητα της πλάκας, που με τη σειρά της εξαρτάται από τη γωνία των πτυχώσεων της επιφάνειας της πλάκας. Με αύξηση της γωνίας αυξάνεται και η ένταση της τύρβης. Γενικά στους εναλλάκτες πλακών – πλαισίου παρατηρούνται υψηλοί συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, οι οποίοι οφείλονται στη μικρή υδραυλική διάμετρο που σχηματίζουν τα κανάλια ροής. Η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας ανά μονάδα όγκου ποικίλλει μεταξύ  $160$  έως  $660\text{m}^2/\text{m}^3$ .

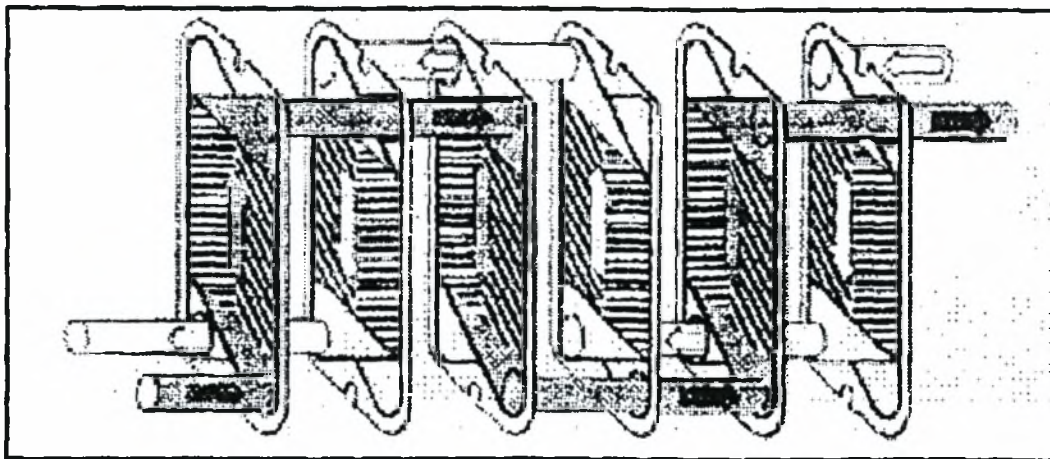
Μπορούν να διακριθούν τρεις βασικές διευθετήσεις της ροής στο εσωτερικό του εναλλάκτη:

1. Σε σειρά
2. Σε βρόχο (U, Z)
3. Πολυσύνθετη

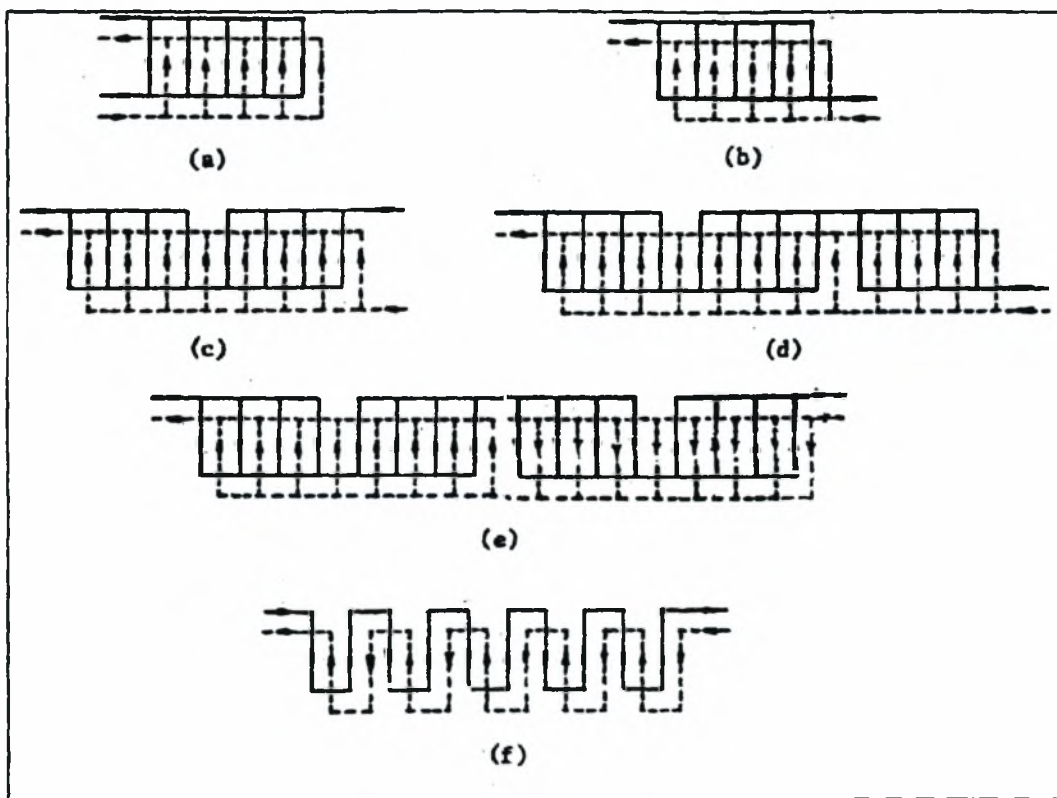
**ΣΧΗΜΑ 1 – 5. Παράλληλη διευθέτηση της ροής.**



Σχήμα 1 – 6. Σε σειρά διευθέτηση της ροής.



ΣΧΗΜΑ 1 – 7.  $n$  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)  $n - n$ .



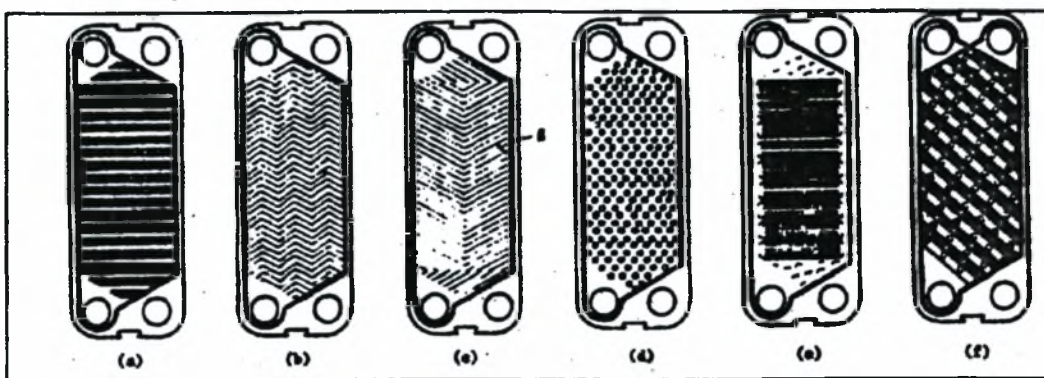
### 1.2.3.2 Η ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Έχουν αναπτυχθεί διεθνώς πάνω από 60 διαφορετικοί τύποι πλακών. Κατά κύριο λόγο δύο είδη πτυχώσεων βρίσκονται σε γενική χρήση.

Πλάκες τύπου **washboard (intermating troughs)**

Πλάκες τύπου **chevron (herringbone troughs)**

**ΣΧΗΜΑ 1 – 8.** Διάφοροι τύποι πλακών (a) washboard, (b) zig – zag, (c) chevron (d) προεξοχές και κοιλώματα, (e) washboard με δευτερεύουσες αυλακώσεις, (f) πλάγιο washboard.



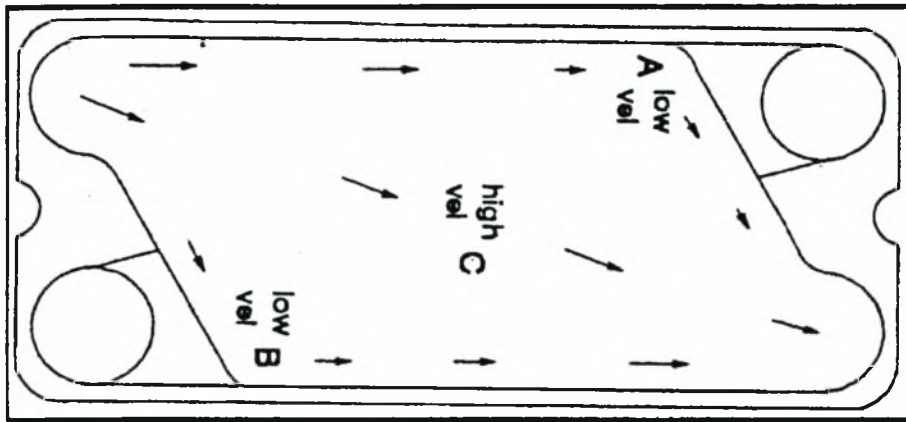
Στις πλάκες τύπου washboard, η μορφή της επιφάνειας μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύνολο από κοιλώματα κάθετα στη διεύθυνση ροής. Αυτές οι κοιλότητες όταν έρθουν σε επαφή με αυτές της επόμενης πλάκας διατηρούν ένα διάκενο χάρη στα εξογκώματα που υπάρχουν στην επιφάνεια των πλακών και σχηματίζουν ένα ταινιοειδές κανάλι ροής. Το μέγιστο διάκενο του καναλιού κυμαίνεται από 3 έως 5mm, ενώ το ελάχιστο διάκενο είναι από 1,5 έως 3mm. Τυπικό εύρος των ταχυτήτων υγρού σε τυρβώδη ροή είναι από 0,2 έως 3m/sec, ενώ το ακριβές μέγεθος της ταχύτητας εξαρτάται από την απαιτούμενη πτώση πίεσης.

Στις πλάκες τύπου chevron, οι πτυχώσεις είναι κεκλιμένες ως προς την κύρια διεύθυνση της ροής κατά μία γωνία  $\beta$ . Οι αυλακώσεις έχουν βάθος ίσο με το άνοιγμα του καναλιού και η επιφάνεια τους έχει σχηματισμούς της μορφής  $\Lambda$  ή  $V$ . Αυτός ο τύπος πλάκας δημιουργεί ροϊκά περάσματα σε πολύ μικρά ελικοειδή ρυάκια υψηλής έντασης τύρβης. Το διάκενο μεταξύ των πλακών κυμαίνεται από 2 έως 6,35mm. Τυπικό εύρος ταχυτήτων υγρού σε τυρβώδη ροή είναι από 0,1 έως 1mm.

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

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

ΣΧΗΜΑ 1 – 9. Κατανομή των ταχυτήτων σε ένα κανάλι ροής εναλλάκτη πλακών – πλαισίου.



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

$$D_h = 4 \cdot \text{ελάχιστη ελεύθερη επιφάνεια ροής} / \text{περιβρεχόμενη περίμετρος}$$

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:

$$D_h = \frac{2wb_c}{(w+b_c)} \approx 2b_c \quad \text{αν} \quad w \gg b_c \quad (1-1)$$

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

$$D_h = \frac{2wb_c}{(w+b_c)\phi} \approx \frac{2b_c}{\phi} \quad \text{αν} \quad w \gg b_c \quad (1-2)$$

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 (1-1) ενώ το μέγεθος  $2b_c$  θα ονομάζεται  $D_e$ , όπου  $D_e$  η ισοδύναμη διάμετρος.

### 1.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

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

$$Nu = c_1 Re^{c_2} Pr^{c_3} \left( \frac{\mu_w}{\mu_m} \right)^n$$

όπου,

- **Nu , Re, Pr** οι αδιάστατοι αριθμοί Nusselt, Reynolds, Prandl
- **$\mu_w, \mu_m$**  : 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 δίνονται από τον **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 έως -0,2

Όσο για την επίδραση του αριθμού Pr του ρευστού πάνω στον αριθμό Nu, ειδικά για τους εναλλάκτες πλακών, δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες στη βιβλιογραφία. Με βάση τη θεωρητική λύση για το πρόβλημα της περιοχής θερμικής εισόδου (με

ανεπτυγμένο προφίλ ταχύτητας) για στρωτή ροή, σε αγωγούς σταθερής διατομής γίνεται δεκτό ότι:

**Nu ανάλογος του  $Pr^{1/3}$**

Για πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδη ροή σε αγωγούς σταθερής διατομής ισχύει η σχέση:

**Nu ανάλογος του  $Pr^{0,4}$**

Εφόσον η ροή στα κυματοειδή περάσματα των εναλλακτών πλακών είναι είτε ταυτόχρονα αναπτυσσόμενη στρωτή 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 (1990)** καταλήγουν στην εξής συσχέτιση για το συντελεστή μετάδοσης θερμότητας:

$$h = 0,724 \left( \frac{k}{D_e} \right) \left( \frac{\beta}{30} \right)^{0,646} Re^{0,583} Pr^{1/3}$$

όπου

- K: ο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας
- $D_e$ : η ισοδύναμη διάμετρος
- B : η γωνία κλίσης των πτυχώσεων

Ο **H. Martin** προτείνει την παρακάτω συσχέτιση:

$$Nu = c Re^a Pr^{0,4}$$

όπου c, a οι σταθερές που ορίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.1: Σταθερές της συσχέτισης H. Martin

$\Phi$	$71^0$ (H)	$29^0 45'$ (S)	H/S
A	0,69	0,72	0,7
C	0,274	0,094	0,184

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

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

Πρέπει να τονιστεί ότι οι παραπάνω σχέσεις δεν θεωρούνται αρκετά αξιόπιστες και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο αν δεν υπάρχουν πιο αξιόπιστες σχέσεις.

Η ολική συσχέτιση για τη μετάδοση θερμότητας είναι η ακόλουθη:

$$UA = \frac{Q}{F \Delta T_m}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_h} + \frac{1}{h_c} + (R_w + R_{f,h} + R_{f,c})$$

όπου

- F: ο αδιάστατος διορθωτικός συντελεστής της μέσης λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας
- A: η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας
- Q: το θερμικό καθήκον
- $\Delta T_m$ : η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας
- U: ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας
- $h_h, h_c$  : συντελεστές μετάδοσης θερμότητας από την πλευρά του θερμού και του ψυχρού ρεύματος.
- $R_w$  :θερμική αντίσταση του τοιχώματος ανά μονάδα επιφάνειας ( $m^2K/W$ )
- $R_{f,h}, R_{f,c}$  :αντίσταση των επικαθήσεων ανά μονάδα επιφάνειας από την πλευρά του θερμού και του ψυχρού ρευστού.

#### **1.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ, ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ, ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ**

Τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός εναλλάκτη πλακών – πλαισίου καθώς και τα διάφορα εύρη τιμών των στοιχείων του φαίνονται παρακάτω.

##### **ΜΟΝΑΔΑ**

Μέγιστη επιφάνεια εναλλαγής	2500m <sup>2</sup>
Αριθμός πλακών	3 – 700

Μέγεθος θυρών	Έως 400mm
---------------	-----------

**ΠΛΑΚΕΣ**

πάχος	0,5 – 1,2mm
Μέγεθος	0,03 – 3,6mm
Απόσταση μεταξύ πλακών	1,5 – 5mm
Πλάτος	70 – 1200mm
μήκος	0,6 – 5mm

**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ**

Πίεση	0,1 – 2,5Mpa
Θερμοκρασία	-40 έως 260 <sup>0</sup> C
Μέγιστη ταχύτητα στις θύρες	6m/sec
Παροχή καναλιών	0,05 – 12,5m <sup>3</sup> /h
Μέγιστη παροχή λειτουργίας	2500m <sup>3</sup> /h

**ΑΠΟΔΟΣΗ**

Θερμοκρασιακή προσέγγιση	1 <sup>0</sup> C
Αποτελεσματικότητα	93%
Συντελεστές μεταφοράς για λειτουργία με νερό και στις 2 πλευρές	3000 – 7000W/m <sup>2</sup> K

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, οι εναλλάκτες πλακών – πλαισίου παρουσιάζουν αρκετά και σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των εναλλακτών αυλών – κελύφους.

Πιο συγκεκριμένα οι εναλλάκτες πλακών μπορούν να αποσυναρμολογηθούν σε ανεξάρτητα κομμάτια, παρέχοντας τη δυνατότητα συντήρησης, ελέγχου και καθαρισμού και στις δύο πλευρές εναλλαγής θερμότητας

Υπάρχει η δυνατότητα εύκολης προσθήκης ή αφαίρεσης πλακών οπότε ο εναλλάκτης μπορεί να προσαρμόζεται αμέσως σε νέα θερμικά καθήκοντα. Έτσι μπορεί να τροποποιείται η διάταξη χωρίς την αγορά νέου εναλλάκτη.

Λόγω της τύρβης υψηλής έντασης που επιτυγχάνεται στους εναλλάκτες πλακών, μειώνεται σημαντικά ο ρυθμός των επικαθίσεων κατά ένα ποσοστό 10 – 25% ,πάντα σε σχέση με τους εναλλάκτες αυλών – κελύφους. Ακόμα, οι υψηλοί συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, η επίτευξη πλήρους αντιρροής καθώς και η απουσία



λιμνάζοντων ρευμάτων οδηγούν σε επιφάνεια εναλλαγής που είναι το 1/2 ή και το 1/3 της αντίστοιχης απαιτούμενης για το ίδιο θερμικό καθήκον σε εναλλάκτη αυλών – κελύφους. Αυτό, όπως αντιλαμβάνεται κανείς, μειώνει το κόστος αγοράς του εναλλάκτη.

Επιπλέον, μειώνεται ο όγκος της συσκευής μιας και ο εναλλάκτης πλακών είναι πιο μικρός και συμπαγής, οπότε ανάλογα μειώνεται και ο απαραίτητος χώρος για την εγκατάσταση. Ακόμα, ο σχετικά ελαφρύς εναλλάκτης πλακών έχει μικρότερες απαιτήσεις στο θέμα της έδρασης.

Στους εναλλάκτες πλακών είναι πολύ εύκολος ο έλεγχος για πιθανές διαρροές ενώ ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος ανάμιξης των δύο ρευμάτων.

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

Πάντως πέρα από όλα τα παραπάνω, το σημαντικότερο πλεονέκτημα των εναλλακτών πλακών – πλαισίου είναι οι υψηλοί βαθμοί θερμικής απόδοσης. Εξαιτίας της εξαιρετικά έντονης τυρβώδους ροής που παρουσιάζεται στον εναλλάκτη επιτυγχάνονται υψηλοί συντελεστές μετάδοσης θερμότητας.

Βέβαια, οι εναλλάκτες πλακών – πλαισίου παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Είναι κατάλληλοι για μεταφορά θερμότητας κυρίως μεταξύ δύο υγρών, αν και σήμερα υπάρχουν ειδικές πλάκες για χρήση και σε περιβάλλοντα διασπαστικής ροής, όπως π.χ με συμπύκνωμα ατμού.

Κατά τη διέλευση ρευστών με υψηλό ιξώδες υπάρχει κίνδυνος να προκύψουν προβλήματα ανισοκατανομής της ροής. Επίσης, οι εναλλάκτες πλακών είναι ακατάλληλοι για χρήση σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, γιατί φθείρονται τόσο οι πλάκες όσο και τα παρεμβύσματα.

Τόσο η μέγιστη πίεση λειτουργίας (μέχρι 2,5 MPa) όσο και η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους (260<sup>0</sup>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. Πάντως, επειδή οι ταχύτητες ροής είναι μικρές (γύρω στο 1m/sec) η πτώση πίεσης κυμαίνεται σε λογικά επίπεδα. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι ο εναλλάκτης πλακών δεν μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά μεγάλες διαφορές στις παροχές των δύο ρευμάτων.

Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί 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 το χειρισμό ρευστών με μεγάλο ιξώδες. Μια νέα ιδέα είναι να δημιουργηθεί εναλλάκτης πλακών – πλαισίου κλεισμένος σε κέλυφος, ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία του σε υψηλές πιέσεις, όπως και σε σταυρωτή ροή.

Οι εναλλάκτες πλακών – πλαισίου συνήθως χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες γαλακτομομικών, παρασκευής τροφίμων και φαρμάκων. Επίσης χρησιμοποιούνται ως ψυγεία διεργασιών, θερμαντήρες και κλειστά κυκλώματα ψύξης σε βιομηχανίες παραγωγής συνθετικού λάστιχου, χαρτοποιίας και δυλιστήρια πετρελαίου.

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, σε αυτή τη διπλωματική εργασία γίνεται μία προσπάθεια να μελετηθεί η διφασική ροή στον εναλλάκτη πλάκων, τόσο από την πλευρά της μετάδοσης θερμότητας όσο και από την πλευρά των ειδών ροής που επικρατούν. Στο τέλος, έγινε μία προσπάθεια σύνδεσης της θερμικής συμπεριφοράς με το είδος της ροής.

Για το σκοπό αυτό ο ακόλουθος του εναλλάκτη αντικαταστάθηκε από πλάκα plexiglass, η οποία με φωτολιθόγραφία έχει αποκτήσει την γεωμετρία μίας κλασσικής πλάκας, οπότε στάθηκε δυνατό να παρατηρηθεί και να μελετηθεί η ροή.

Το κεφάλαιο αυτό έχει ως σκοπό του την παρουσίαση των σημαντικών στοιχείων και μεγεθών της διφασικής ροής μέσα από την παρουσίαση του μοντέλου της ροής σε κατακόρυφο αγωγό. Φυσικά, το συγκεκριμένο μοντέλο δεν έχει καλή εφαρμογή στην περίπτωση της ροής σε εναλλάκτη πλάκων, όμως μέσα από αυτό μπορεί κανείς να γνωρίσει τα διάφορα μεγέθη καθώς και τις κατευθύνσεις της ερευνητικής προσπάθειας που γίνεται τα τελευταία χρόνια στην συγκεκριμένη γνωστική περιοχή.

## 2.2 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Στην περιγραφή της διφασικής ροής χρησιμοποιείται συνήθως η παρακάτω ονοματολογία:

- $G_l$  = ένταση ροής υγρού (μαζική παροχή υγρού / διατομή σωλήνα)
- $G_g$  = ένταση ροής αερίου (μαζική παροχή αερίου / διατομή σωλήνα)
- $G$  = ένταση ολικής ροής μάζας (ολική μαζική παροχή / διατομή σωλήνα)

- $X$  = ποιότητα διφασικού μίγματος (με βάση τη μάζα)

$$X = G_g / G_l \quad (2-1)$$

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

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

$$v_g = G_g / \rho_g \quad (2-3)$$

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

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

$$U_l = v_l / (1-\alpha) \quad (2-4)$$

$$U_g = v_g / \alpha \quad (2-5)$$

Ένας άλλος ορισμός που παρατίθεται στη βιβλιογραφία για την ένταση της ροής είναι ο παρακάτω:

$$\rho_f j_f^2 = [G(1-X)]^2 / \rho_f \text{ για το υγρό} \quad (2-6)$$

$$\rho_g j_g^2 = [G X]^2 / \rho_g \text{ για το αέριο} \quad (2-7)$$

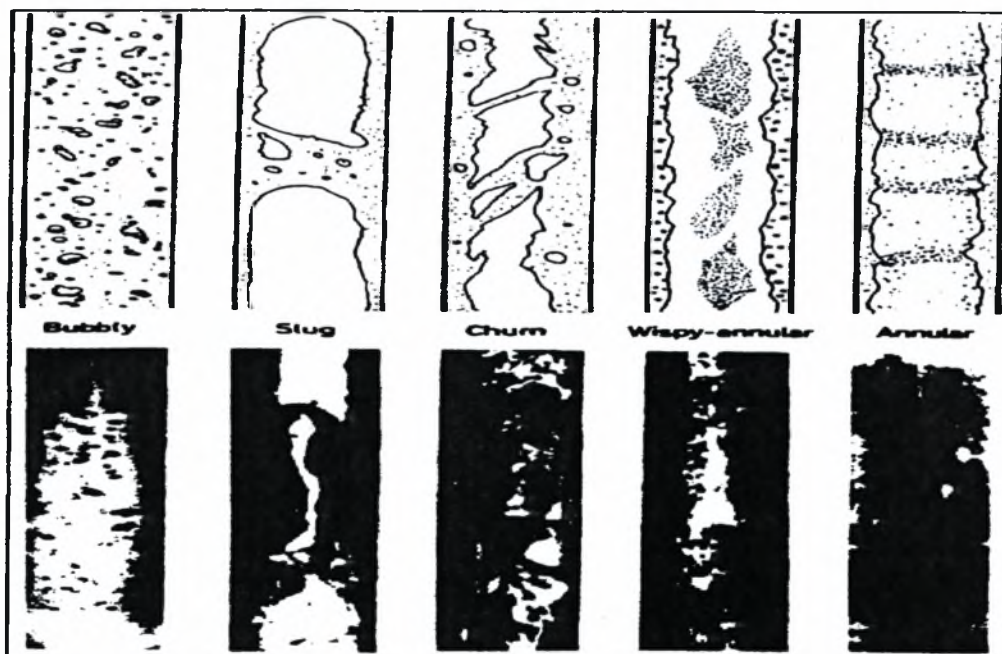
### 2.3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

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

Η σειρά με την οποία εμφανίζονται οι διάφορες περιοχές ροής, με σταδιακή αύξηση της ποιότητας του μίγματος, είναι η ακόλουθη:

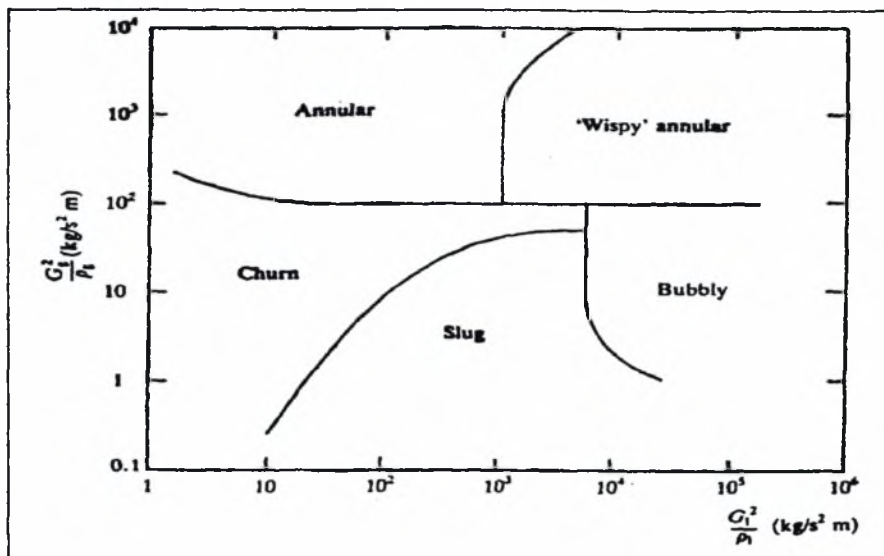
1. **Ροή με φυσαλίδες (bubbly flow)**, όπου το αέριο διασπείρεται σχετικά ομοιόμορφα με τη μορφή μικρών φυσαλίδων.
2. **Διαλείπουσα ροή (slug flow)**, όπου το αέριο κινείται σε μεγάλες σφαιροειδής μάζες που καταλαμβάνουν σχεδόν όλη τη διατομή του σωλήνα.
3. **Ακανόνιστη ροή (churn flow)**, που είναι 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 2 – 1. Περιοχές ροής κατά την ομορροή προς τα επάνω σε αγωγό κυκλικής διατομής.



Οι παραπάνω μορφές ροής απεικονίζονται σε χάρτες ροής, όπου κανείς ξέροντας τις παροχές και τις ιδιότητες των φάσεων μπορεί να βρει τι είδος ροής επικρατεί σε δεδομένες συνθήκες.

ΣΧΗΜΑ 2 – 2. Χάρτης περιοχών ροής σε κατακόρυφο σωλήνα.



## 2.4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

### 2.4.1 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.

Τα πιο γνωστά μοντέλα 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. Όπως καταλαβαίνει κανείς, το ομογενές μοντέλο μπορεί να περιγράψει καλά 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.

$$\text{Για την αέρια φάση ισχύει: } AG_g = AGX = \rho_g u_g A_g = \rho_g u_g A \alpha \quad (2-8)$$

$$\text{Για την υγρή φάση ισχύει: } AG_l = AG(1-X) = \rho_l u_l A_l = \rho_l u_l (1-\alpha)A \quad (2-9)$$

Διαιρώντας κατά μέλη προκύπτει:

$$\alpha = \frac{1}{\left[ 1 + \left( \frac{u_g}{u_l} \right) \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right) \left( \frac{1-X}{X} \right) \right]} \quad (2-10)$$

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 μέτρηση διαπερατότητας ακτίνων γ. 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.

#### 2.4.2 ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ

Οι βασικές αρχές και παραδοχές του ομογενούς μοντέλου είναι οι ακόλουθες:

- Ίσες ταχύτητες υγρού – αερίου
- Θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ των δύο φάσεων του διφασικού μίγματος
- Εύρεση κατάλληλου συντελεστή τριβής για τη διφασική ροή

Εφόσον οι ταχύτητες των δύο φάσεων είναι ίσες ισχύει:

$$\alpha = \frac{1}{\left[ 1 + \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right) \left( \frac{1-X}{X} \right) \right]} \quad (2-11)$$

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. Στο ομογενές μοντέλο το μίγμα αντιμετωπίζεται ως ένα ρευστό, και συνεπώς το ισοζύγιο γίνεται:

$$-\left(\frac{dP}{dz}\right)\Delta z\left(\frac{\pi d^2}{4}\right) - \tau\Delta z\pi d - \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)\Delta z\rho g \sin\theta = \frac{d}{dz}\left(Gu\frac{\pi d^2}{4}\right)\Delta z \quad (2-12)$$

όπου οι όροι συμβολίζουν αντίστοιχα:

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

Ένα από τα κύρια ερωτήματα κατά την εφαρμογή του ομογενούς μοντέλου αφορά την επιλογή της πυκνότητας και του ιξώδους του ψευδορευστού που αναπαριστά το διφασικό μίγμα. Για την πυκνότητα ισχύει:

$$\rho = \rho_g \alpha + \rho_l (1 - \alpha) \quad (2-13)$$

και με αντικατάσταση από την (2-11) προκύπτει:

$$\frac{1}{\rho} = \left(\frac{X}{\rho_g}\right) + \left[\frac{(1-X)}{\rho_l}\right] \quad (2-14)$$

Καθαρά εμπειρική είναι η επιλογή του ισοδύναμου ιξώδους. Μια σχέση, ανάλογη με την εξίσωση της πυκνότητας είναι η ακόλουθη:

$$\frac{1}{\mu} = \left(\frac{X}{\mu_g}\right) + \left(\frac{1-X}{\mu_l}\right) \quad (2-15)$$

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



$$\left(\frac{dP}{dz}\right)_F = \left(\frac{dP}{dz}\right)_{lo} \Phi_{Lo}^2 \quad (2-16)$$

Ο όρος  $\left(\frac{dP}{dz}\right)_{lo}$  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 τομή του πολλαπλασιαστή  $\Phi_{lo}^2$ , για την πτώση πίεσης λόγω τριβής, βρίσκεται με τη χρήση του τύπου του Blasius για το συντελεστή τριβής:

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

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

### 2.4.3 ΤΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το διαχωρισμένο μοντέλο στηρίζεται στις παρακάτω βασικές αρχές και παραδοχές:

- 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 ροής.

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

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{\left(\frac{u_g}{u_l}\right) \left(\frac{\rho_g}{\rho_l}\right) (1-X)}{X}} \quad (2-18)$$

και είναι φανερό ότι σε ένα συγκεκριμένο σύστημα υγρού αερίου (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:

$$\begin{aligned} & -\left(\frac{dP}{dz}\right)\Delta z\left(\frac{\pi d^2}{4}\right) - \tau\Delta z\pi d - \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)\Delta z[\alpha\rho_g + (1-\alpha)\rho_l]g \sin\theta \\ & = \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)\left(\frac{d}{dz}\right)[\alpha\rho_g u_g^2 + (1-\alpha)\rho_l u_l^2]\Delta z \end{aligned} \quad (2-19)$$

Οι επιμέρους ταχύτητες μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

$$U_g = XG/(\alpha\rho_g) \quad (2-20)$$

$$U_l = [(1-X)G]/[(1-\alpha)\rho_l] \quad (2-21)$$

Με αντικατάσταση των παραπάνω σχέσεων, το ισοζύγιο ορμής παίρνει την μορφή:

$$-\left(\frac{dP}{dz}\right) = \left(\frac{4\tau}{d}\right) + [\alpha\rho_g + (1-\alpha)\rho_l]g \sin\theta + G^2\left(\frac{d}{dz}\right)\left[\left(\frac{X^2}{\alpha\rho_g}\right) + \frac{(1-X)^2}{(1-\alpha)\rho_l}\right] \quad (2-22)$$

Και πάλι η ολική πτώση πίεσης κατανέμεται στις συνιστώσες τριβής, επιτάχυνσης και βαρύτητας. 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:

$$\frac{\alpha}{1-\alpha} = \left[\frac{X}{1-X}\right]\left(\frac{\rho_l}{\rho_g}\right)^{1/3} \quad (2-23)$$

$$S = \left( \frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{1/3} \quad (2-24)$$

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

$$S = \left[ 1 - X \left( 1 - \frac{\rho_l}{\rho_g} \right) \right]^{1/2} \quad (2-25)$$

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:

$$X^2 = \frac{\left( \frac{dP}{dz} \right)_l}{\left( \frac{dP}{dz} \right)_g} \quad (2-26)$$

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

$$\Phi_l^2 = 1 + \frac{C}{X} + \frac{1}{X^2} \quad (2-27)$$

$$\Phi_g^2 = 1 + CX + X^2 \quad (2-28)$$

Η σταθερά  $C$  παίρνει τις τιμές που δίνονται στον παρακάτω πίνακα όπου φαίνεται ότι εξαρτάται από το είδος της ροής.

Ροή υγρού	Ροή αερίου	$C$
Τυρβώδης	Τυρβώδης	20
Στρωτή	Τυρβώδης	12
Τυρβώδης	Στρωτή	10
Στρωτή	Στρωτή	5

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- Εναλλάκτης πλακών-πλαισίου
- Θερμό ρεύμα (νερό)
- Ψυχρό ρεύμα (νερό ή διφασικό ρεύμα νερού-αέρα)
- Ηλεκτρικό κύκλωμα το οποίο περιλαμβάνει ηλεκτρικό πίνακα, καλώδια, ηλεκτρικές αντιστάσεις οι οποίες είναι εμβαπτισμένες στη δεξαμενή του ζεστού νερού καθώς και σύστημα αυτόματου ελέγχου της θερμοκρασίας.
- Δίκτυο σωληνώσεων.
- Αντλίες
- Μετρήτικα όργανα (ροόμετρα, θερμόμετρο, μανόμετρα)

Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται και περιγράφονται αναλυτικά τα διάφορα τμήματα της πειραματικής διάταξης καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διάφορων συσκευών που χρησιμοποιούνται.

#### 3.1.1 Ο ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ

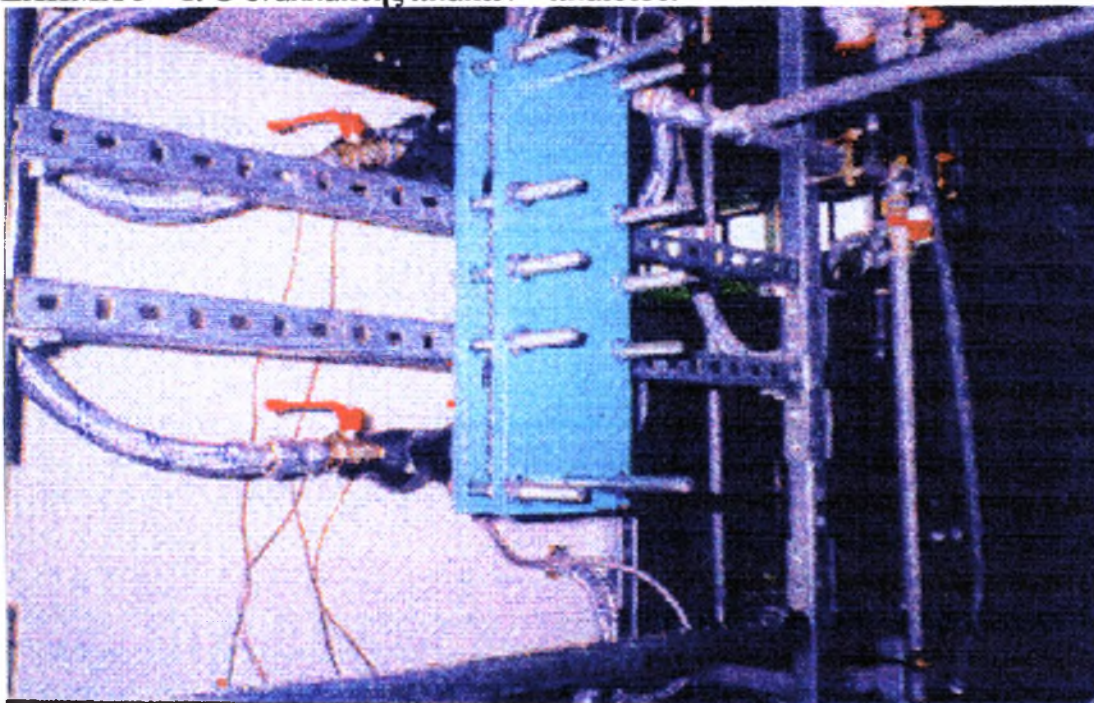
Ο εναλλάκτης πλακών-πλαισίου κατασκευάστηκε από την εταιρεία **ALFA-LAVAL** (κωδικός **P-01**). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται συγκεντρωμένα στον παρακάτω πίνακα:

Γωνία κλίσης 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>
Αριθμός πλακών	13
Αριθμός περασμάτων	1
Αριθμός καναλιών ροής ανά ρεύμα	6

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι για τις ανάγκες της παρατήρησης της διφασικής ροής παραγγέλθηκε και αποκτήθηκε από το εργαστήριο πλάκα **plexiglass** πάχους 2,5cm στην οποία έχουν χαραχθεί με τεχνική φωτολιθογραφίας οι αυλακώσεις των πλακών του εναλλάκτη. Έτσι με αντικατάσταση του κινητού χαλύβδινου καλύμματος του εναλλάκτη από την πλάκα plexiglass έγινε δυνατή η οπτική παρατήρηση της διφασικής ροής.

**ΣΧΗΜΑ 3 – 1. Ο εναλλάκτης πλακών – πλαισίου.**



### **3.1.2 ΘΕΡΜΟ ΡΕΥΜΑ**

Ως θερμό ρεύμα χρησιμοποιήθηκε νερό. Για την αποφυγή σχηματισμού αποθέσεων το νερό είναι αποσκλήρυνμένο και παρέχεται από συσκευή αποσκλήρυνσης που διαθέτει το εργαστήριο. Το νερό αποθηκεύεται σε κυλινδρική δεξαμενή χωρητικότητας περίπου 550lt ενώ η θέρμανση του στην επιθυμητή θερμοκρασία γίνεται μέσω δύο εμβαπτιζόμενων αντιστάσεων για τις οποίες γίνεται ειδική αναφορά παρακάτω.

### **3.1.3 ΨΥΧΡΟ ΡΕΥΜΑ**

Ως ψυχρό ρεύμα χρησιμοποιήθηκε είτε μονοφασικό νερό είτε διφασικό μίγμα νερού-αέρα. Όπως και στην περίπτωση του θερμού ρεύματος το νερό είναι αποσκληρυνμένο και αποθηκεύεται σε δεξαμενή 550lt. Ακόμα το νερό προτού εισέλθει στον εναλλάκτη περνά από ειδικό φίλτρο καθαρισμού ώστε να αποφθεχθεί η είσοδος σωματιδίων σ' αυτόν. Όσο για τον αέρα αυτός παρέχεται από το κύκλωμα πεπιεσμένου αέρα ενώ λίγο πριν την είσοδο στον εναλλάκτη γίνεται η ανάμειξη με το νερό.

### **3.1.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ**

Το ηλεκτρικό κύκλωμα ασχολείται με τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στις αντλίες και στα υπόλοιπα όργανα
- Θέρμανση του θερμού ρεύματος μέσω των εμβαπτιζόμενων ηλεκτρικών αντιστάσεων
- Αυτόματος έλεγχος της θερμοκρασίας του θερμού νερού

Ο ηλεκτρικός πίνακας διαθέτει τρεις μονοφασικές παροχές ρεύματος ενώ συνδέεται με τριφασικό ρεύμα. Διαθέτει κεντρική ασφάλεια **40A** ενώ οι ασφάλειες των αντιστάσεων είναι **20A**. Το τριφασικό καλώδιο είναι τύπου **NYΥ 4\*6** (3 φάσεις και ένας ουδέτερος). Τα καλώδια των αντιστάσεων είναι ίδιου τύπου με διατομή **3\*2,5** ενώ τα υπόλοιπα καλώδια είναι **NYΥ 3\*1,5**.

Η θέρμανση του νερού γίνεται με δύο χάλκινες αντιστάσεις. Οι αντιστάσεις αυτές είναι τοποθετημένες συμμετρικά στο κάτω τμήμα της δεξαμενης ώστε να μπορέσουμε να επιτύχουμε ομοιόμορφη θέρμανση του ρευστού.

Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του θερμού νερού στην επιθυμητή τιμή κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των μετρήσεων χρησιμοποιείται ηλεκτρονικός θερμοστάτης ελέγχου των αντιστάσεων . Ο θερμοστάτης αυτός μετράει με το ενσωματωμένο θερμοστοιχείο του(Pt-100) τη θερμοκρασία του νερού στην έξοδο της αντλίας. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας γίνεται με συνδυασμό αναλογικής, ολοκληρωτικής και διαφορικής ανάδρασης (PID controller). Οι σταθερές του ελεγκτή επιλέγονται αυτόματα με βάση τη θερμική αδράνεια του συστήματος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της θέρμανσης το νερό κυκλοφορεί μέσω του κυκλώματος by-pass ώστε να επιταχυνθεί η θέρμανση εξαιτίας της ανάδευσης αλλά και να αποφθεχθούν τοπικές υπερθερμάνσεις του ρευστού.

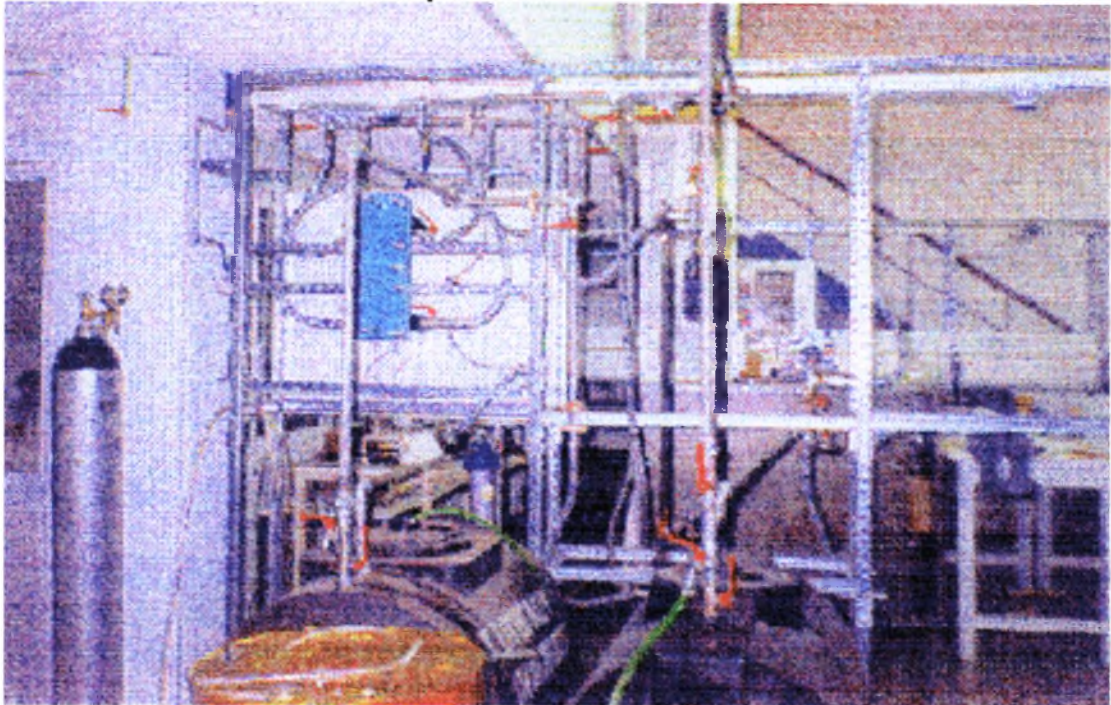
### **3.1.5 ΔΙΚΤΥΟ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ**

Το δίκτυο σωληνώσεων αποτελείται από σταθερές συνδέσεις σωληνώσεων και εύκαμπτες σωληνώσεις διαμέτρου ¾". Οι σταθερές συνδέσεις έχουν ως υλικό κατασκευής σωλήνα γαλβανισμένη μεσαίου τύπου, ενώ οι εύκαμπτες σωληνώσεις είναι επενδεδυμένες με ανοξειδωτο υλικό. Οι εύκαμπτες σωληνώσεις αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμες και πρακτικές όπου υπάρχει πρόβλημα χώρου και χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα για τη σύνδεση των αντλιών και του εναλλάκτη με το υπόλοιπο κύκλωμα. Κατά την προσαρμογή των εύκαμπτων σωληνώσεων χρησιμοποιούνται ειδικοί ελαστικοί δακτύλιοι στεγανοποίησης. Οι συνδέσεις στην είσοδο και έξοδο του εναλλάκτη είναι μονωμένες ώστε να περιορίζονται οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον, ενώ για τη σύνδεση των αντλιών χρησιμοποιούνται ειδικές κωνικές προσαρμογες (racor) που προσδίδουν καλή συναρμογή, με αποτέλεσμα τη στεγανοποίηση των αντλιών. Πιο συγκεκριμένα η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με χρήση ταινίας teflon ή καναβιού εμποτισμένου σε χρώμα για βαφή σωληνώσεων.

Ακόμα, η χρήση πολλών κωνικών λυόμενων συνδέσεων δίνει τη δυνατότητα απομάκρυνσης οποιουδήποτε σημείου του κυκλώματος χωρίς να είναι απαραίτητη η αποσυναρμολόγηση όλου του κυκλώματος. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα εκκένωσης των δεξαμενών καθώς υπάρχουν σφραγισμένες σπές και κατάλληλα τοποθετημένες βάνες στο κύκλωμα επιστροφής. Ακόμα υπάρχει και δυνατότητα αποχέτευσης από υψηλό σημείο του τμήματος των σταθερών σωληνώσεων.

Όσον αφορά το κύκλωμα του πεπιεσμένου αέρα, αυτό συνδέεται με το κύκλωμα του εναλλάκτη με τη χρήση χάλκινων (DN15mm) και εύκαμπτων ελαστικών σωληνώσεων, όπου η ροή ρυθμίζεται με βάνες. Η ανάμειξη των δύο ρευστών λαμβάνει χώρα στο σταθερό τμήμα των σωληνώσεων, λίγο πριν την είσοδο στην εύκαμπτη σωλήνα που συνδέεται με τον εναλλάκτη. Ο χρόνος που μεσολαβεί από την ανάμειξη μέχρι την είσοδο στον εναλλάκτη πρέπει να είναι αρκετός ώστε να δημιουργείται το διασπαστικό μίγμα αλλιώς το ρευστό με τη μεγαλύτερη αναλογία εμποδίζει την είσοδο του άλλου ρευστού, φαινόμενο το οποίο μειώνει την αξιοπιστία των πειραμάτων.

**ΣΧΗΜΑ 3 – 2. Το δίκτυο σωληνώσεων.**



### **3.1.6 ΑΝΤΛΙΕΣ**

Για την κυκλοφορία του νερού στο κύκλωμα χρησιμοποιήθηκαν δύο φυγοκεντρικές αντλίες τα χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Για το θερμό νερό χρησιμοποιήθηκε αντλία της εταιρίας **GRUNDFOS** και έχει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

<b>Τύπος</b>	<b>JPS CF-A-CVRP</b>	
<b>Μοντέλο</b>	<b>B012121</b>	
<b>Τάση</b>	<b>U (V)</b>	<b>220-240</b>
<b>Ένταση</b>	<b>I (A)</b>	<b>6</b>
<b>Ισχύς</b>	<b>P (W)</b>	<b>1400</b>
<b>Συχνότητα</b>	<b>(Hz)</b>	<b>50</b>
<b>Παροχή</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>4</b>
<b>Ύψος</b>	<b>H (m)</b>	<b>23</b>
<b>H max</b>	<b>(m)</b>	<b>52</b>
<b>Πίεση max-Θερμοκρασία max</b>	<b>6bar -40<sup>0</sup>C</b>	



Για το ψυχρό νερό χρησιμοποιήθηκε η αντλία electropompa monofase της Ιταλικής εταιρίας **SOTRAPO** και έχει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

<b>Τύπος</b>		<b>AM 50/10</b>
<b>Μοντέλο</b>		<b>4250</b>
<b>Τάση</b>	<b>U (V)</b>	<b>220</b>
<b>Ένταση</b>	<b>I (A)</b>	<b>4,5</b>
<b>Ισχύς</b>	<b>P (W)</b>	<b>750</b>
<b>Συχνότητα</b>	<b>(Hz)</b>	<b>50</b>
<b>Παροχή</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>10-50</b>
<b>Ύψος</b>	<b>H (m)</b>	<b>20-46</b>
<b>RPM</b>		<b>2850</b>

### **3.1.7 ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ**

Για τη μέτρηση των διάφορων μεγεθών που μας ενδιαφέρουν στην πειραματική διάταξη συναντάμε τα εξής:

- Κύκλωμα μέτρησης θερμοκρασίας
- Ροόμετρα
- Μανόμετρα

#### **3.1.7.1 ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ**

Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων μετρήθηκαν 4 θερμοκρασίες και πιο συγκεκριμένα:

- **T1** είσοδος θερμού ρεύματος στον εναλλάκτη
- **T2** έξοδος θερμού ρεύματος από τον εναλλάκτη
- **T3** είσοδος ψυχρού ρεύματος στον εναλλάκτη
- **T4** έξοδος ψυχρού ρεύματος από τον εναλλάκτη

Για τη μέτρηση των παραπάνω θερμοκρασιών χρησιμοποιήθηκε το θερμόμετρο 12 καναλιών **SCANNING THERMOCOUPLE THERMOMETER** της **COLE-PALMER INSTRUMENTS CO.** Τα θερμοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν

τύπου **K**. Ο χρόνος απόκρισης των θερμοστοιχείων είναι πολύ μικρός, λιγότερο από 10sec και είναι κατάλληλα για μετρήσεις θερμοκρασιών έως 650 °C. Τα θερμοστοιχεία είναι εμβαπτισμένα μέσα στο κύκλωμα, προσαρμοσμένα πάνω σε τάπες PVC σπειρώματος ½’’ ενώ η χρήση ειδικής κόλλας για το PVC εγγυάται τη στεγανοποίησή τους.

Το θερμόμετρο που χρησιμοποιήθηκε παρέχει μεταξύ άλλων τις εξής δυνατότητες:

- Ταυτόχρονη παρακολούθηση μέχρι και 12 θερμοστοιχείων του ίδιου τύπου
- Μεγάλη ακρίβεια
- Δυνατότητα βαθμονόμησης από το setup
- Αποθήκευση μέχρι και 255 μετρήσεων ανά κανάλι
- Εκτύπωση των μετρήσεων μέσω εξόδου RS-232 και σειριακού εκτυπωτή
- Ρύθμιση χρόνου δειγματοληψίας και εκτύπωσης
- Στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων

### **3.1.7.2 ΡΟΟΜΕΤΡΑ**

Η ρύθμιση των παροχών των διαφόρων ρευμάτων που εμπλέκονται στα πειράματα ρυθμίζονται από 6 ροόμετρα

Πιο συγκεκριμένα, το θερμό ρεύμα εξυπηρετείται από ένα ψηφιακό ροόμετρο τύπου **GPI electronic digital meter** που μετρά **GPM** το οποίο όμως παρουσιάζει μεγάλη αστάθεια στις πολύ μικρές παροχές. Την αστάθεια αυτή ήρθε να καλύψει η προσθήκη ενός κοινού ροόμετρου που μετρά **lt/h** και που τελικά έδωσε αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η παροχή του ψυχρού νερού ρυθμίζεται από 2 ροόμετρα, ένα που μετρά μεγάλες παροχές (**lt/h**) και ένα τύπου **KING** που μετρά μικρότερες παροχές σε **GPM**.

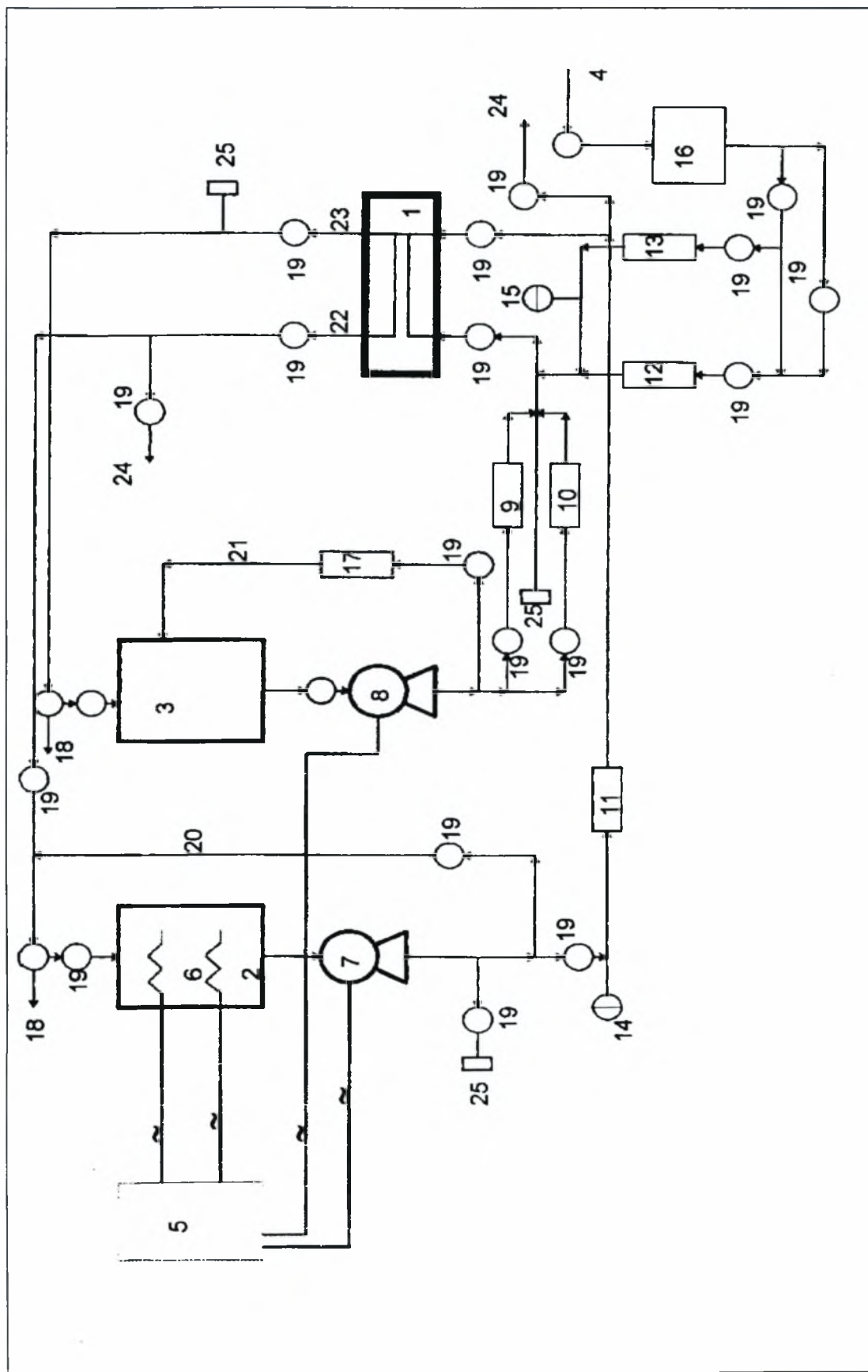
Τέλος η παροχή του αέρα ρυθμίζεται από 2 κοινά ροόμετρα, ένα από τα οποία χρησιμοποιείται για τις μικρές και ένα για τις μεγάλες παροχές. Και τα 2 ροόμετρα μετράνε **m<sup>3</sup>/h**.

### **3.1.7.3 ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ**

Στο κύκλωμα υπάρχουν 2 μανόμετρα. Το ένα μετρά την υπερπίεση (bar) του θερμού νερού προτού αυτό εισέλθει στον εναλλάκτη, ενώ το άλλο το οποίο είναι τύπου **WIKΑ** μετρά την υπερπίεση (bar) του αέρα που εισέρχεται στον εναλλάκτη. Η

πίεση του αέρα προτού διέλθει από το ροόμετρο ρυθμίζεται από ένα ρυθμιστικό πίεσης τύπου FILTER REGULATION SMC, MODEL EAW 3000.

ΣΧΗΜΑ 3 – 3. Πειραματική διάταξη.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 3 – 3. Περιγραφή του διαγράμματος της πειραματικής διάταξης.**

A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Εναλλάκτης πλακών – πλαισίου
2	Δεξαμενή θερμού ρευστού
3	Δεξαμενή ψυχρού ρευστού
4	Κύκλωμα πεπιεσμένου αέρα
5	Ηλεκτρικός πίνακας
6	Ωμικές αντιστάσεις
7	Αντλία GRUNDFOS
8	Αντλία SOTRAPO
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	Βρύσσες εκένωσης 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

### 3.1.8 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ

Για την οπτική παρατήρηση της διφασικής ροής χρησιμοποιήθηκε η κάμερα φωτογράφισης υψηλής ταχύτητας MOTION SCOPE PCI της εταιρίας REDLAKE IMAGING. Η κάμερα συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου η κάμερα αποδίδει τις φωτογραφίες με τη μορφή αρχείων AVI. Η κάμερα καταγράφει ακολουθίες ψηφιακών εικόνων ενός γεγονότος με ταχύτητες από 60 έως και 1000 frames/sec. Οι εικόνες αυτές αποθηκεύονται στη μνήμη της μονάδας ελέγχου και μπορούν να

ανακτηθούν και να μελετηθούν με οποιαδήποτε επιθυμητή ταχύτητα από 1 έως 1000 frames / sec ενώ υπάρχει και η δυνατότητα μελέτης frame per frame. Ακόμα το σύστημα παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης παραμέτρων που βοηθούν στην ανάλυση της κίνησης όπως ταχύτητες και χρόνους. Ο φακός της κάμερας είναι ο κλασσικός φωτογραφικός φακός και παρέχει τις συνηθισμένες δυνατότητες εστίασης. Το όλο σύστημα χαρακτηρίζεται από την υψηλή του φιλικότητα προς τον χρήστη και το μόνο που απαιτεί είναι καλός φωτισμός του αντικειμένου της φωτογράφισης. Για την επίτευξη ικανοποιητικού φωτισμού χρησιμοποιήθηκαν μικροί προβολείς οι οποίοι στερεώθηκαν κατάλληλα γύρω από τον εναλλάκτη.

## 3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

### 3.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η παρούσα διπλωματική στην ουσία κατευθύνεται πάνω σε δύο κύριους άξονες. Πιο συγκεκριμένα, έγινε προσπάθεια για έναν αξιόπιστο υπολογισμό του συντελεστή συναγωγής  $h_2$  του διφασικού μίγματος καθώς και μία πρώτη προσπάθεια παρατήρησης και χαρτογράφησης της διφασικής ροής στη συγκεκριμένη γεωμετρία με απώτερο σκοπό το συσχετισμό της θερμικής συμπεριφοράς του εναλλάκτη με τη μορφή της ροής.

#### 3.2.1.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $h_2$

Η διαδικασία για τον υπολογισμό του  $h_2$  χωρίζεται στην ουσία σε δύο μέρη. Αρχικά υπολογίζεται ο συντελεστής  $h_1$  του μονοφασικού ρεύματος ο οποίος είναι απαραίτητος στον υπολογισμό του  $h_2$ . Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας ίσες παροχές μονοφασικού νερού ως θερμό και ψυχρό ρεύμα ενώ παράλληλα αγνοήθηκαν διαφορές στις ιδιότητες των δύο ρευμάτων εξαιτίας των θερμοκρασιακών διαφορών. Κάνοντας την παραδοχή αυτή χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{K} + \frac{1}{h_1}$$

και μπόρεσε να υπολογιστεί πειραματικά ο  $h_1$ .

Επειδή θέλαμε να στηριχθούμε στο θερμικό καθήκον του θερμού νερού για τους πραιτέρω υπολογισμούς, στα πειράματα με το διφασικό μίγμα χρησιμοποιήθηκε χαμηλή παροχή του θερμού ρεύματος ώστε αυτό να παρουσιάζει ικανοποιητική θερμοκρασιακή μεταβολή και να μειώνονται τα σχετικά σφάλματα θερμομέτρησης. Στην απόπειρα αυτή υπήρχε η πιθανότητα να εμφανιστεί, και τελικά εμφανίστηκε και αντιμετωπίστηκε, το φαινόμενο να είναι η παροχή τόσο μικρή ώστε να παρουσιάζει κυρίαρχη θερμική αντίσταση και να εξάγονται αποτελέσματα ακατάλληλα για επεξεργασία. Τελικά μετά από αρκετές δοκιμές βρέθηκε παροχή που να ικανοποιεί την απαίτηση για σχετικά μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά ενώ παράλληλα δεν ελέγχει τη διεργασία. Ακολούθως εκτελέστηκε σειρά πειραμάτων έχοντας στη θέση του ψυχρού ρευστού διφασικό μίγμα νερού-αέρα.

Τόσο στις μετρήσεις για τον υπολογισμό του  $h_1$  όσο στις μετρήσεις με το διφασικό μίγμα μετρήθηκαν τα ακόλουθα μεγέθη:

- **ΠΑΡΟΧΕΣ:** Συγκεκριμένα σε κάθε πείραμα μετρήθηκαν οι παροχές του θερμού νερού, του ψυχρού νερού και του αέρα.
- **ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ:** Μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου τόσο για το θερμό όσο και για το ψυχρό ρεύμα.
- **ΠΙΕΣΕΙΣ:** Μετρήθηκαν η πίεση του θερμού νερού στην έξοδο της αντλίας όπως και η πίεση του αέρα πριν την ανάμειξη με το νερό.

Τόσο για τον υπολογισμό του  $h_1$  όσο και για τον υπολογισμό του  $h_2$  λήφθηκαν αρκετές μετρήσεις ώστε να προκύψει μία αντικειμενική εικόνα των διάφορων φαινομένων που λαμβάνουν χώρα. Και στις δύο περιπτώσεις οι μετρήσεις έγιναν στο θερμοκρασιακό εύρος 23-43 °C.

Ειδικά στις μετρήσεις με το διφασικό μίγμα έγινε προσπάθεια ώστε να καλυφθούν όλοι οι συνδυασμοί ψυχρού νερού και αέρα. Δυστυχώς στην προσπάθεια αυτή μπήκε εμπόδιο η ανεπάρκεια των αντλιών για μεγάλες παροχές ενώ παράλληλα υπήρχε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παροχών των δύο ρευστών. Πιο συγκεκριμένα η αύξηση ή μείωση στην παροχή του ενός ρευστού είχε τα αντίστροφα αποτελέσματα στην παροχή του άλλου. Έτσι δε στάθηκε δυνατό να παρθούν μετρήσεις με πολύ μεγάλες παροχές και των δύο συστατικών του διφασικού μίγματος.

Τελικά παρά τις δυσκολίες και τα εμποδια που συνήθως παρουσιάζονται στις πειραματικές εργασίες τα πειράματα προχώρησαν ικανοποιητικά και οδήγησαν σε αποτελέσματα από τα οποία μπόρεσαν να εξαχθούν διάφορα συμπεράσματα

### **3.2.1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ**

Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων για τον υπολογισμό του  $h_2$  ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Αρχικά τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα οι αντλίες, οι αντιστάσεις που θερμαίνουν το θερμό νερό καθώς και το σύστημα αυτομάτου ελέγχου. Μετά από την πάροδο λίγων λεπτών, τα οποία είναι απαραίτητα για τη θέρμανση του νερού στην επιθυμητή θερμοκρασία, ξεκινά η διαδικασία λήψης των μετρήσεων.

Αρχικά ρυθμίζονται οι παροχές των επιμέρους ρευμάτων με παράλληλη χρήση τόσο των βανών των ροομέτρων όσο και αυτών των ρευμάτων by-pass. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η ρύθμιση των παροχών των δύο ρευστών του διφασικού ρεύματος εξαιτίας του φαινομένου που αναφέρεται



παραπάνω. Έτσι πρώτα ρυθμίζεται η παροχή του αέρα ενώ στη συνέχεια ρυθμίζεται η παροχή του νερού προσέχοντας παράλληλα να μην μεταβληθεί η παροχή του αέρα. Ακολούθως σημειώνονται οι ενδείξεις των μανομέτρων και τελικά σημειώνονται, αφού φυσικά σταθεροποιηθούν, οι ενδείξεις του θερμομέτρου.

## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

#### 4.1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο τμήμα αυτό γίνεται μια παρουσίαση των διάφορων σχέσεων και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επεξεργασία και ανάλυση των πειραματικών δεδομένων.

Οι τιμές των φυσικών ιδιοτήτων που χρησιμοποιήθηκαν υπολογίστικαν με προσέγγιση από πίνακες της βιβλιογραφίας. Οι προσεγγίσεις έγιναν στις θερμοκρασίες στις οποίες διεξήχθησαν τα πειράματα και οι σχέσεις που προέκυψαν παρατίθενται στο παράρτημα.

Ακόμα αναφορικά με τα σύμβολα πρέπει να σημειωθούν τα εξής:

- **T**: Θερμοκρασία
- **P**: Πίεση
- **M**: Μαζική παροχή
- **Q**: Θερμοροή

Δείκτες

- **hw**: Θερμό νερό
- **cw**: Ψυχρό νερό
- **a**: Αέρας
- **m**: Μέση θερμοκρασία ρευστού

#### 4.1.1.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων μετρώνται οι ακόλουθες 4 θερμοκρασίες:

- **T<sub>1</sub>**: Είσοδος θερμού νερού
- **T<sub>2</sub>**: Έξοδος θερμού νερού
- **T<sub>3</sub>**: Είσοδος ψυχρού ρεύματος
- **T<sub>4</sub>**: Έξοδος ψυχρού ρεύματος

Παρακάτω αναπτύσσονται οι σχέσεις που σχετίζονται με τη θερμοκρασία καθώς και οι μονάδες και οι συμβολισμοί τους:

	Σύμβολο	Μονάδες	Εξίσωση
• Μέση θερμοκρασία θερμού νερού	$T_{whw}$	$^{\circ}\text{C}$	$(T_1+T_2)/2$
• Μέση θερμοκρασία ψυχρού νερού	$T_{MCW}$	$^{\circ}\text{C}$	$(T_3+T_4)/2$
• Μέση θερμοκρασία διφασικού μίγματος	$T_{MD}$	$^{\circ}\text{C}$	$(T_3+T_4)/2$
• Διαφορά θερμοκρασίας από μία πλευρά του εναλλάκτη	$\Delta T_1$	$^{\circ}\text{C}$	$T_1-T_4$
• Διαφορά θερμοκρασίας από την άλλη πλευρά του εναλλάκτη	$\Delta T_2$	$^{\circ}\text{C}$	$T_2-T_3$
• Λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας	$\Delta T_{ln}$	$^{\circ}\text{C}$	$(\Delta T_1-\Delta T_2)/\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)$
• Λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας όταν $\Delta T_1=\Delta T_2$	$\Delta T_{ln}$	$^{\circ}\text{C}$	$(\Delta T_1+\Delta T_2)/2$

#### 4.1.1.2 ΠΑΡΟΧΕΣ

Οι παροχές του θερμού και του ψυχρού νερού, ανάλογα με το ροόμετρο που χρησιμοποιείται, δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\bullet \quad M(\text{Kg/s})=M(\text{GPM})\cdot 0,06309 \quad (4-1)$$

$$\bullet \quad M(\text{Kg/s})=M(\text{lt/h})\cdot 0,00027778 \quad (4-2)$$

Η παροχή του αέρα δίνεται από την εξίσωση:

$$M = M' \times \sqrt{\frac{\rho}{1,2}} \quad (4-3)$$

όπου  $M'$  (Kg/s) είναι η ογκομετρική παροχή που δείχνει το ροόμετρο  $M$  (m<sup>3</sup>/s) πολλαπλασιασμένη με την πυκνότητα  $\rho$  (Kg/m<sup>3</sup>).

Η διόρθωση στην εξίσωση γίνεται με βάση την πυκνότητα σε συνθήκες περιβάλλοντος (20°C, 1atm)  $\rho=1,2\text{Kg/m}^3$ . Γίνεται μία αναγωγή σε συνθήκες περιβάλλοντος, αφού η ένδειξη  $Q'$  του ροομέτρου δεν ισχύει για πυκνότητα  $\rho=1,2\text{Kg/m}^3$ . Στις συνθήκες του πειράματος έχουμε πιέσεις μεγαλύτερες τις ατμοσφαιρικής οπότε αλλάζει και η πυκνότητα του αέρα. Η τιμή της παροχής είναι διορθωμένη με βάση τις πραγματικές συνθήκες των πειραμάτων και έτσι μπαίνει στους διάφορους υπολογισμούς. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο ότι ο αέρας είναι ρευστό συμπιεστό.

#### 4.1.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $h_1$

Κατά τον υπολογισμό του  $h_1$  ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία και χρησιμοποιήθηκαν οι εξής εξισώσεις.

Τα θερμικά καθήκοντα του θερμού και του ψυχρού νερού υπολογίστηκαν από την εξίσωση:

$$Q = M \times C_p \times \Delta T \quad (4-4)$$

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας  $U$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U = Q_{hw} / [A \times \Delta T_{in}] \quad (4-5)$$

όπου :

- $Q_{hw}$  είναι το θερμικό καθήκον του θερμού ρεύματος
- $A$  είναι η επιφάνεια θερμικής εναλλαγής του εναλλάκτη, η οποία ισούται με  $A=11*0,032\text{m}^2$

Όπου 11 είναι ο αριθμός των πλακών που συμμετέχουν στη διαδικασία της εναλλαγής και 0,032m<sup>2</sup> η επιφάνεια εναλλαγής της κάθε πλάκας.

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας  $h_1$  τελικά υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{K} + \frac{1}{h_1}$$

η οποία μας δίνει:

$$h_1 = \frac{2}{\frac{1}{U} - \frac{\Delta\chi}{K}} \quad (4-6)$$

όπου:

- $\Delta\chi = 0,006\text{mm}$  το πάχος της κάθε πλάκας
- $K = 21\text{W/m}^\circ\text{C}$  ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της κάθε πλάκας

#### 4.1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $h_2$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του διφασικού μίγματος  $h_2$ , που είναι και το κύριο ζητούμενο της διπλωματικής υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{\Delta\chi}{K} + \frac{1}{h_2} \quad \text{και τελικά λύνοντας ως προς } h_2$$

έχουμε:

$$h_2 = \frac{1}{\frac{1}{U} - \frac{1}{h_1} - \frac{\Delta\chi}{K}} \quad (4-7)$$

Για τον υπολογισμό του  $U$  χρησιμοποιήθηκε η θερμοροή του θερμού νερού (βλέπε κεφάλαιο) και ο  $U$  κατά τα γνωστά υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$U = Q_{hw} / (A \times \Delta T_{ln})$$

#### 4.1.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Για τον υπολογισμό της μεταβολής της ενθαλπίας  $\Delta H$  του αέρα γίνεται η παραδοχή ότι ο αέρας εισέρχεται στη συσκευή με σχετική υγρασία  $RH = 20\%$ . Με βάση αυτή την παραδοχή και με χρήση της θερμοκρασία εισόδου πραγματοποιείται μία προσέγγιση στο ψυχομετρικό διάγραμμα και υπολογίζεται η ενθαλπία εισόδου  $H_1$ . Ο υπολογισμός της ενθαλπίας εξόδου  $H_2$  γίνεται με χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$Q = M_{cw} \times C_{p_{cw}} \times \Delta T_{cw} + M_a \times (H_2 - H_1) \quad (4-8)$$

όπου  $Q$  είναι η θερμότητα του θερμού νερού, στην οποία στηρίζεται η επεξεργασία και ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

#### **4.1.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ**

Οι αδιάστατοι αριθμοί που ενδιαφέρουν τους υπολογισμούς και τελικά υπολογίζονται είναι οι αριθμοί Reynolds, Nusselt και Prandtl. Οι αριθμοί αυτοί υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Re = \frac{M \times b_c}{6 \times A \times \mu} \quad (4-9)$$

$$Nu = \frac{U \times 2b_c}{k} \quad (4-10)$$

$$Pr = -0,1412 \times T_{hw} + 10,126 \quad (4-11)$$

όπου :

- $b_c = 0,0024\text{m}$ , το διάκενο ροής μεταξύ των πλακών.
- $A = 0,0024 \times 0,123 \text{ m}^2$ , η χαρακτηριστική επιφάνεια ροής.
- $6$ , τα κανάλια ροής του θερμού νερού.

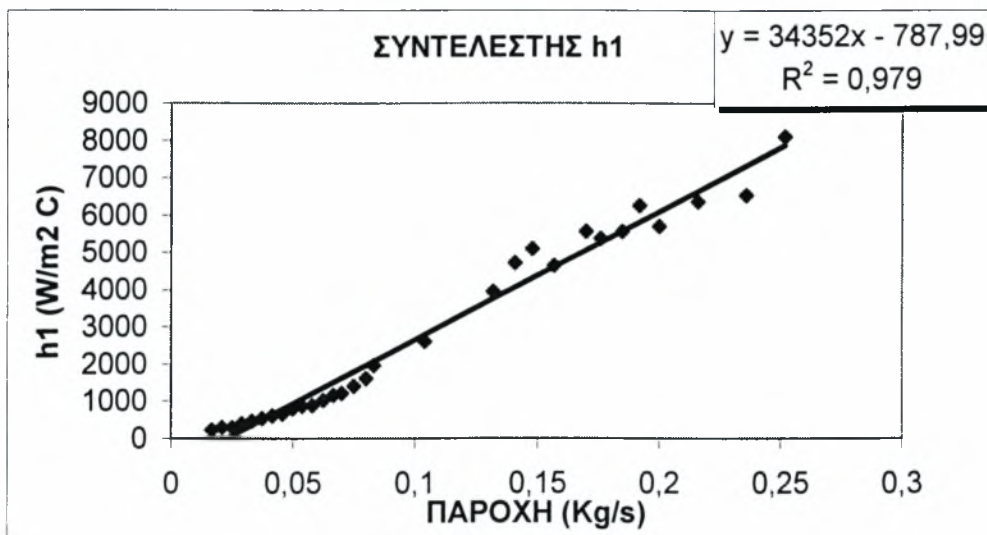
## **4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

### **4.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΤΟΥ $h_1$**

Οι πρώτες 30 μετρήσεις έγιναν για τον υπολογισμό του  $h_1$  και χρησιμοποιήθηκαν ίσες παροχές μονοφασικού νερού τόσο ως θερμό όσο και ως ψυχρό ρεύμα. Χρησιμοποιήθηκαν χαμηλές παροχές, καθώς όπως έχει αναφερθεί χαμηλές παροχές θερμού νερού χρησιμοποιούνται και στον υπολογισμό του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας του διφασικού μίγματος. Έγινε προσπάθεια να ληφθούν αρκετές μετρήσεις ώστε να εξαχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα. Αν και στην προσπάθεια αυτή μπήκε εμπόδιο η δυσκολία στο χειρισμό του ψηφιακού ροομέτρου που χρησιμοποιείται από το κύκλωμα του θερμού νερού, οι μετρήσεις εξελίχθηκαν χωρίς προβλήματα και εξήχθησαν λογικά και αξιόπιστα αποτελέσματα. Στο διάγραμμα **4-1** παρουσιάζεται η συμπεριφορά του  $h_1$  σε συνάρτηση με την παροχή του μονοφασικού νερού. Όπως θα περίμενε κανείς, ο συντελεστής  $h_1$  ακολουθεί μία σχεδόν καλή γραμμική συμπεριφορά και στάθηκε εύκολο να εξαχθεί μία εξίσωση από την οποία μπορεί να υπολογιστεί ο  $h_1$  για κάθε τιμή της παροχής. Όλες οι παράμετροι που

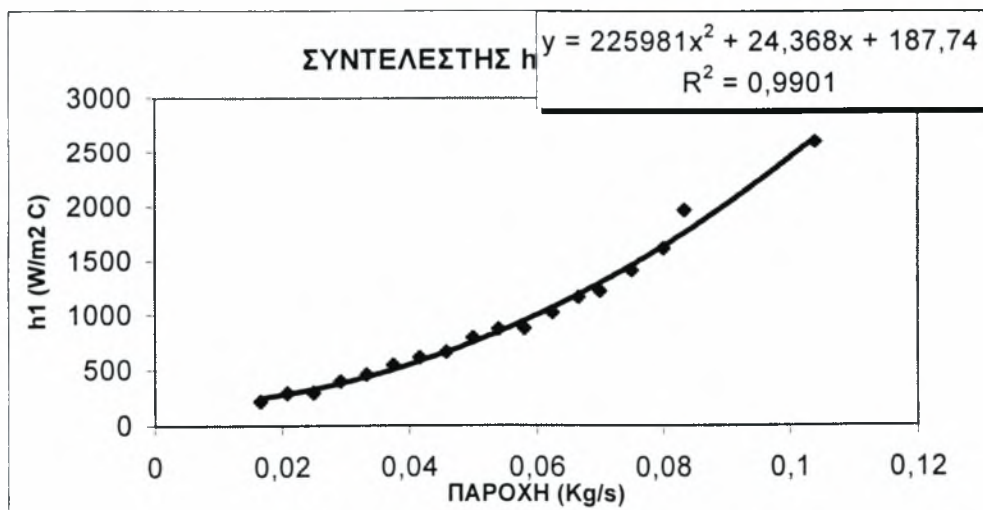
μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν με απώτερο σκοπό τον υπολογισμό του  $h_1$  παρατίθενται σε πίνακες στο παράρτημα.

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-1.** Συντελεστής μετάδοσης θερμότητας  $h_1$  σε συνάρτηση με την παροχή.



Για μεγαλύτερη ακρίβεια κατά τον υπολογισμό του  $h_1$  στις πολύ μικρές παροχές του νερού χρησιμοποιήθηκε προσέγγιση η οποία έγινε μόνο για τις πρώτες τιμές των μετρήσεων. Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση αυτή φαίνεται στο διάγραμμα 4-2.

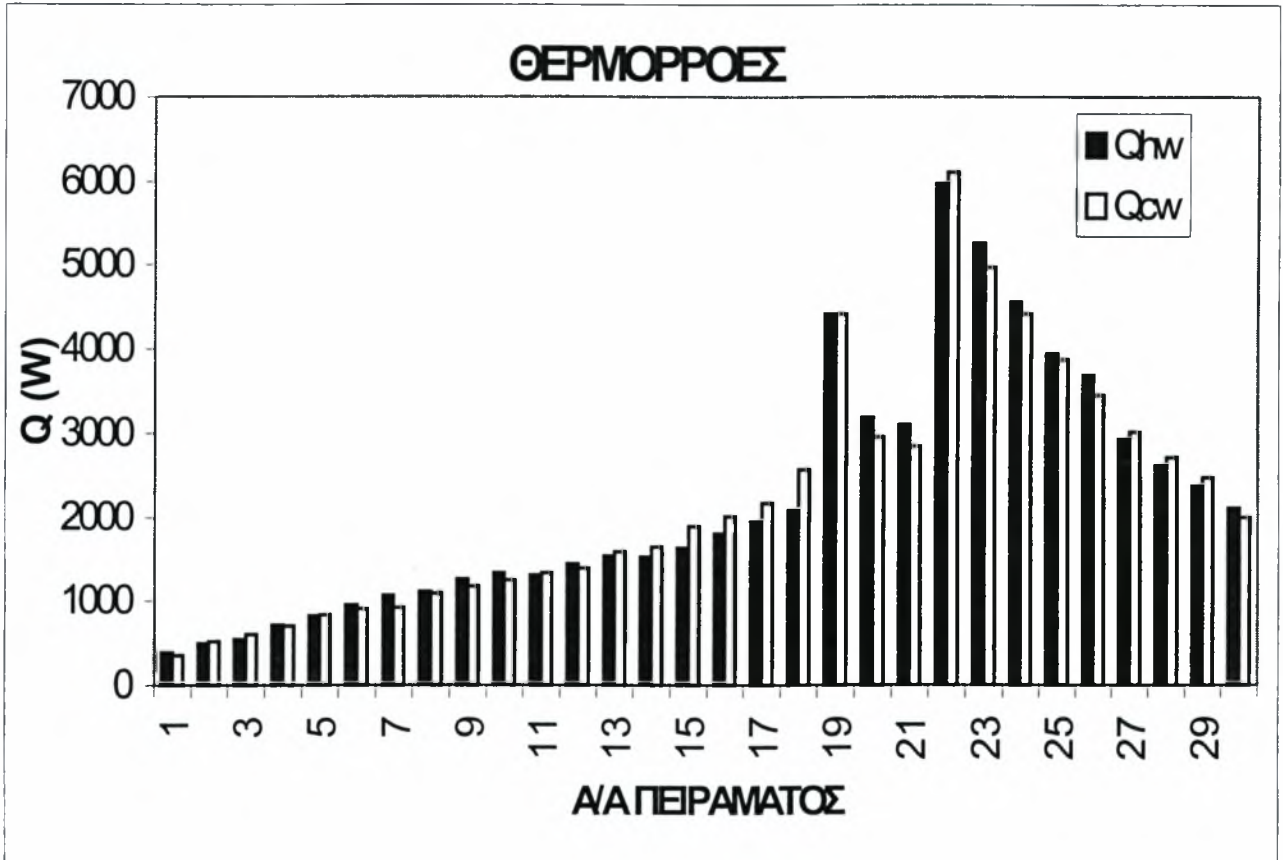
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-2.** Συντελεστής  $h_1$  για πολύ μικρές παροχές μονοφασικού νερού.



Όσον αφορά τις θερμορροές των δύο ρευμάτων, αυτές απεικονίζονται στο διάγραμμα 5-3. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, οι θερμορροές είναι σχεδόν ίδιες,

και η διάφορες μικρές αποκλίσεις που παρατηρούνται να έχει η μία από την άλλη μάλλον οφείλονται στα μικρά σφάλματα θερμομέτρησης.

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-3.** Θερμορροές ρευμάτων κατά τις μετρήσεις για τον υπολογισμό του  $h_1$ .



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

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που έδωσε η επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων όσον αφορά τους αδιάστατους αριθμούς του θερμού νερού και τους συντελεστές μεταδοσης θερμότητας. Οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων έχουν παρουσιαστεί στην προηγούμενη ενότητα.



ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2. Αδιάστατοι αριθμοί και συντελεστές μετάδοσης θερμότητας.

A/A	Re	Pr	Nu	U <sub>over</sub> (w/m <sup>2</sup> c)	h <sub>1</sub> (w/m <sup>2</sup> c)	h <sub>2</sub> (w/m <sup>2</sup> c)
1	61,338596	4,96514	0,8473178	110,4990617	221,69805	221,69805
2	76,645648	4,96514	1,1140348	145,2817439	291,77462	291,77462
3	94,742544	4,80276	1,1348919	148,382385	298,02826	298,02826
4	110,3641	4,80982	1,5236801	199,192602	400,66548	400,66548
5	126,36149	4,7957	1,7567382	229,7118183	462,45884	462,45884
6	142,29898	4,7957	2,0658587	270,1325477	544,46733	544,46733
7	157,44672	4,80982	2,3280861	304,3536091	614,04686	614,04686
8	174,02122	4,78864	2,5241591	330,0969082	666,47961	666,47961
9	189,48509	4,80276	2,9927731	391,2926166	791,43329	791,43329
10	204,37796	4,80982	3,2870973	429,7263406	870,13612	870,13612
11	219,8027	4,80276	3,324946	434,72283	880,38056	880,38056
12	236,54856	4,80982	3,8526046	503,6558088	1022,0186	1022,0186
13	252,06615	4,80982	4,3754535	572,0085026	1163,0244	1163,0244
14	265,27912	4,80276	4,5899146	600,1122081	1221,1625	1221,1625
15	284,96924	4,78864	5,2884542	691,5976041	1411,078	1411,078
16	304,76238	4,77452	6,0339293	789,2630878	1614,9438	1614,9438
17	314,86275	4,81688	7,3083254	955,3199317	1964,2539	1964,2539
18	398,2749	4,74628	9,572932	1252,737808	2598,4818	2598,4818
19	486,31895	4,95808	14,342647	1870,639701	3952,5297	3952,5297
20	531,58115	4,831	16,877199	2205,638965	4707,9657	4707,9657
21	559,42001	4,81688	18,175173	2375,797992	5097,6223	5097,6223
22	574,78928	4,99338	16,678787	2174,114657	4636,22	4636,22
23	623,16664	4,98632	19,754599	2575,341271	5559,7775	5559,7775
24	656,73293	4,88748	19,075989	2490,767759	5363,207	5363,207
25	702,00829	4,7957	19,685439	2574,076191	5556,8296	5556,8296
26	741,12376	4,70392	21,939454	2872,971503	6259,7761	6259,7761
27	783,4254	4,62626	20,113273	2637,05954	5703,875	5703,875
28	852,98281	4,5839	22,218915	2915,075382	6359,849	6359,849
29	946,07335	4,50624	22,741157	2987,240503	6531,9841	6531,9841
30	1015,8067	4,478	27,585326	3625,171617	8088,0765	8088,0765
31	648,42527	4,95808	24,049775	3136,69191	5257,952	9995,236
32	635,56152	5,07104	26,211467	3412,514605	5257,952	13462,67
33	633,98935	5,08516	27,27232	3549,833351	5257,952	15887,18
34	631,64562	5,10634	27,55879	3585,915344	5257,952	16636,37
35	633,98935	5,08516	26,939159	3506,46829	5257,952	15053,96
36	633,98935	5,08516	26,799401	3488,27707	5257,952	14724,3
37	637,93445	5,04986	29,234506	3807,368102	5257,952	22784,71
38	640,32517	5,02868	28,817109	3754,268912	5257,952	21006,68
39	625,47958	5,16282	23,317526	3031,326966	5257,952	8998,553
40	617,93927	5,23342	26,493495	3440,345867	5257,952	13906,48
41	618,68511	5,22636	27,428867	3562,209878	5257,952	16138,12
42	617,93927	5,23342	28,116941	3651,16049	5257,952	18140,27
43	620,93347	5,20518	26,705852	3469,479626	5257,952	14395,09
44	621,68656	5,19812	27,716023	3601,119709	5257,952	16968,75
45	621,68656	5,19812	28,23852	3669,007339	5257,952	18589,52
46	657,57542	4,88042	22,131592	2890,063129	5257,952	7858,32
47	654,21837	4,90866	26,444707	3451,750492	5257,952	14094,72
48	656,73293	4,88748	26,446523	3453,144512	5257,952	14118
49	659,2669	4,8663	27,765771	3626,614668	5257,952	17550,11

**Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία και ανάλυση των μετρήσεων**

50	661,8205	4,84512	25,854912	3378,15976	5257,952	12943,37
51	665,25623	4,81688	27,596261	3607,291219	5257,952	17106,66
52	666,98751	4,80276	28,058642	3668,550481	5257,952	18577,8
53	666,98751	4,80276	29,018046	3793,988657	5257,952	22313,81
54	632,42494	5,09928	22,622674	2943,963942	5257,952	8270,031
55	634,77446	5,0781	24,031407	3128,338434	5257,952	9910,905
56	634,77446	5,0781	26,091857	3396,561786	5257,952	13217,75
57	637,14151	5,05692	26,316563	3426,964759	5257,952	13690,4
58	639,52627	5,03574	26,552472	3458,846752	5257,952	14213,8
59	640,32517	5,02868	27,400968	3569,775269	5257,952	16294,57
60	641,92896	5,01456	26,65416	3473,259109	5257,952	14460,38
61	644,34976	4,99338	27,404342	3572,213129	5257,952	16345,49
62	638,72937	5,0428	22,097573	2878,208837	5257,952	7771,29
63	634,77446	5,0781	22,935083	2985,622167	5257,952	8607,406
64	634,77446	5,0781	24,745785	3221,33417	5257,952	10908,59
65	630,86823	5,1134	25,081531	3263,211686	5257,952	11404,2
66	634,77446	5,0781	25,061725	3262,462282	5257,952	11395,05
67	635,56152	5,07104	25,017021	3257,007632	5257,952	11328,78
68	635,56152	5,07104	25,956362	3379,302058	5257,952	12960,16
69	659,2669	4,8663	22,236689	2904,435812	5257,952	7965,5
70	660,11591	4,85924	23,185168	3028,659225	5257,952	8975,085
71	666,12075	4,80982	22,714976	2969,557179	5257,952	8475,223
72	666,98751	4,80276	24,266884	3172,794024	5257,952	10371,28
73	668,72782	4,78864	24,261222	3172,761364	5257,952	10370,94
74	669,60139	4,78158	24,999484	3269,672036	5257,952	11483,49
75	670,47724	4,77452	24,586788	3216,054302	5257,952	10848,28
76	672,23583	4,7604	25,467694	3332,023246	5257,952	12291,29
77	655,05441	4,9016	20,86256	2723,433411	5257,952	6737,454
78	655,05441	4,9016	21,350929	2787,185824	5257,952	7141,567
79	659,2669	4,8663	21,116541	2758,128196	5257,952	6953,852
80	662,6761	4,83806	21,317849	2785,665549	5257,952	7131,595
81	666,98751	4,80276	20,999866	2745,64494	5257,952	6875,044
82	666,12075	4,80982	21,606852	2824,690719	5257,952	7393,086
83	666,98751	4,80276	22,391767	2927,630244	5257,952	8142,418
84	690,34284	4,6192	17,058665	2236,817489	5257,952	4380,121
85	692,20733	4,60508	16,569504	2173,159526	5257,952	4142,503
86	690,34284	4,6192	17,50884	2295,846679	5257,952	4612,342
87	692,20733	4,60508	16,74568	2196,265642	5257,952	4227,279
88	695,02303	4,5839	18,38218	2411,703693	5257,952	5105,034
89	695,02303	4,5839	18,068865	2370,597383	5257,952	4924,288
90	700,72372	4,54154	16,331692	2144,112972	5257,952	4038,221
91	698,81313	4,55566	14,125145	1854,013506	5257,952	3119,046
92	695,9667	4,57684	16,583483	2175,960258	5257,952	4152,692
93	695,9667	4,57684	15,934148	2090,759381	5257,952	3853,036
94	696,91293	4,56978	15,850038	2079,954223	5257,952	3816,499
95	698,81313	4,55566	13,960637	1832,420895	5257,952	3058,416
96	697,86174	4,56272	13,659638	1792,713679	5257,952	2949,383
97	695,9667	4,57684	14,272272	1872,700544	5257,952	3172,3
98	698,81313	4,55566	13,149861	1726,001384	5257,952	2773,046
99	697,86174	4,56272	14,324578	1879,981474	5257,952	3193,25
100	695,9667	4,57684	14,183963	1861,113205	5257,952	3139,192
101	694,08192	4,59096	13,923034	1826,469959	5257,952	3041,874

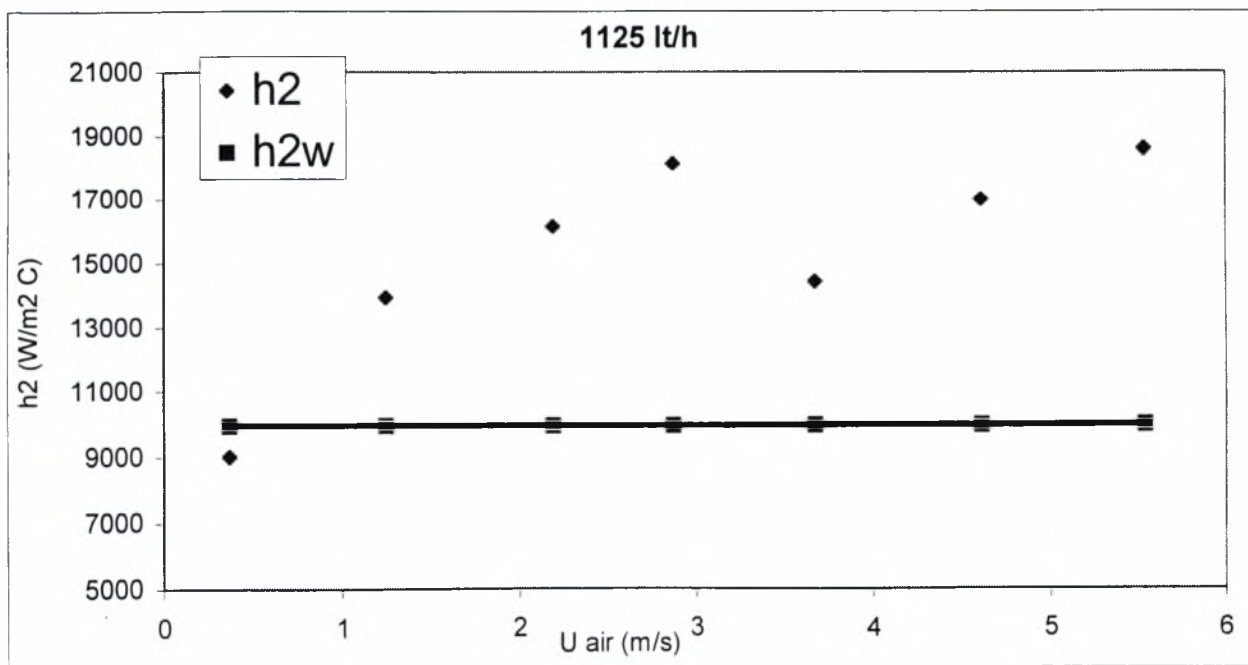
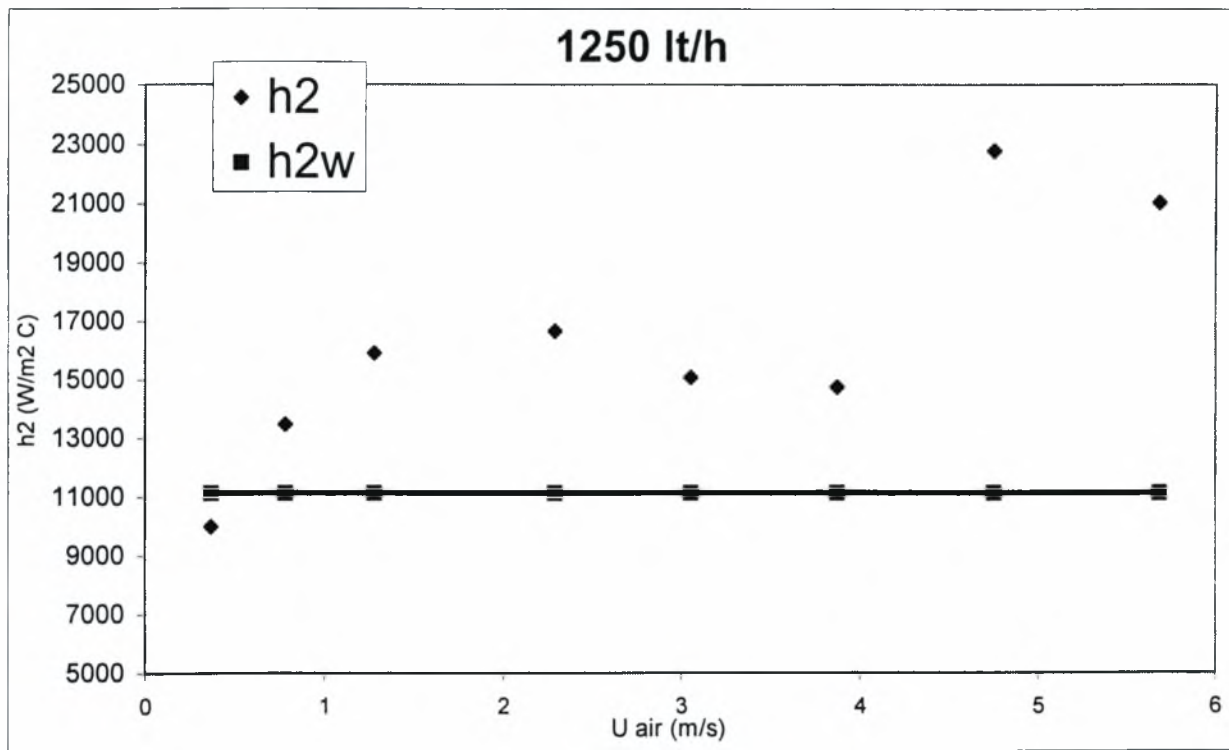
**Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία και ανάλυση των μετρήσεων**

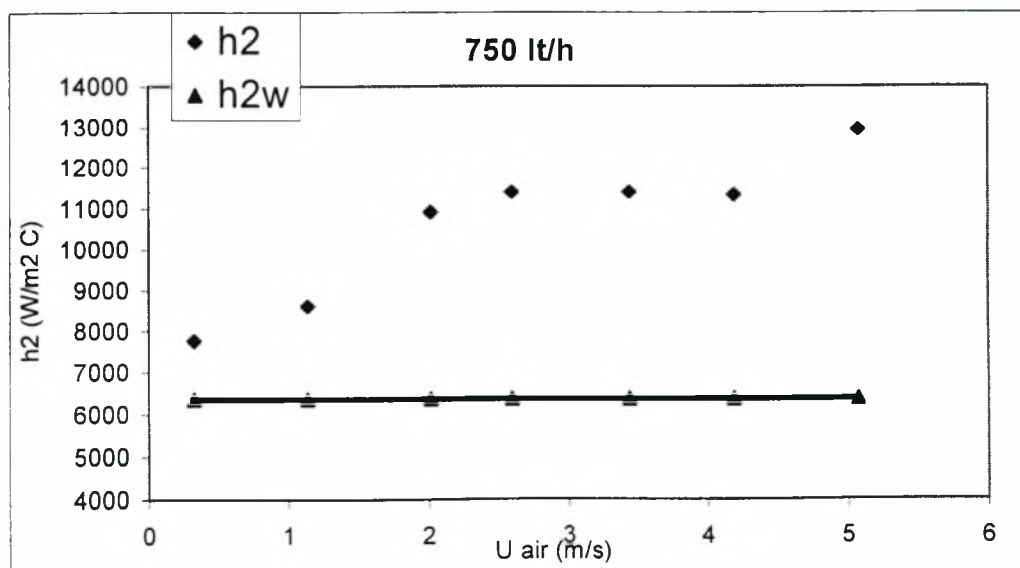
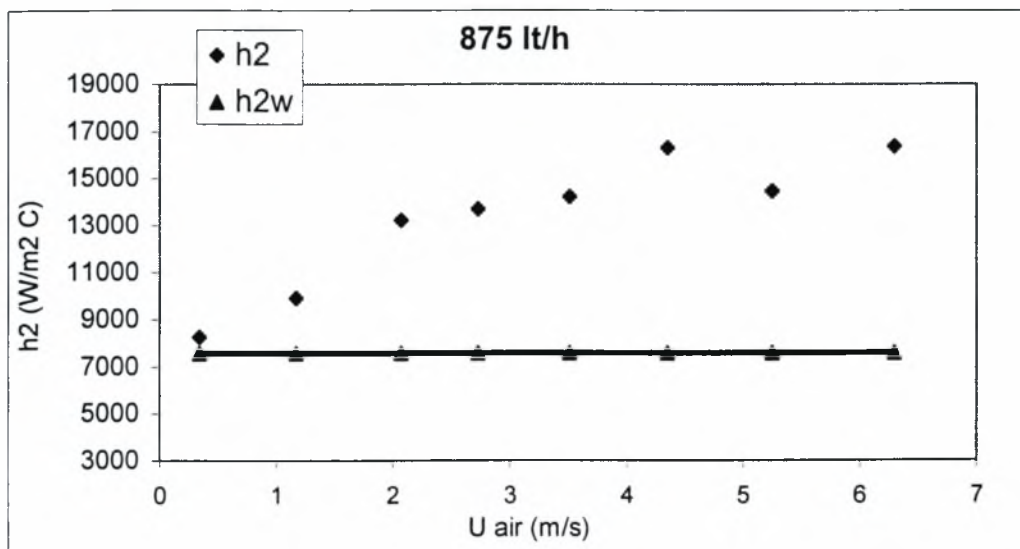
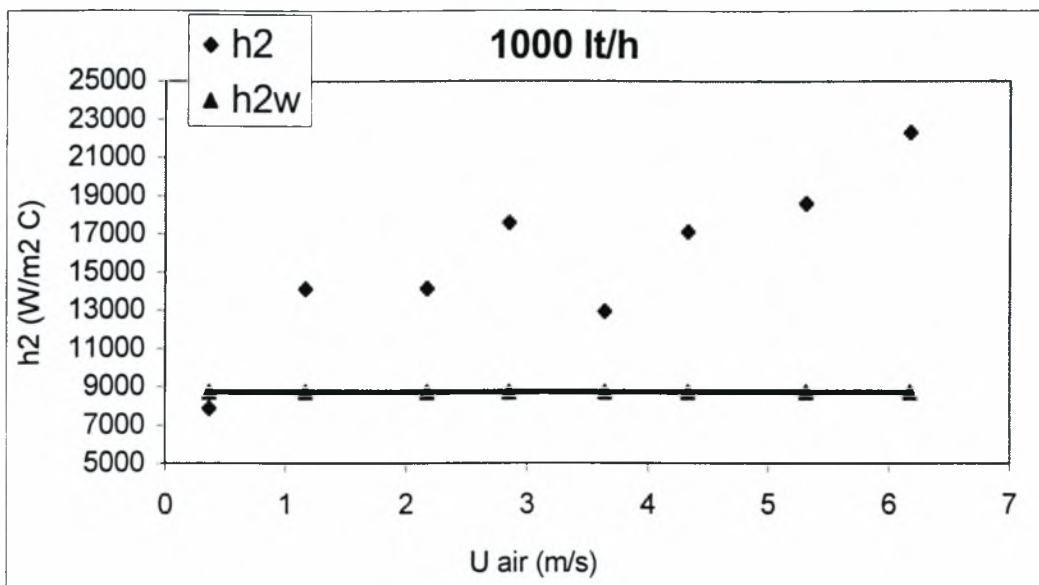
102	695,9667	4,57684	14,138609	1855,162245	5257,952	3122,299
103	699,76712	4,5486	13,441511	1764,478355	5257,952	2873,727
104	696,91293	4,56978	13,569653	1780,705986	5257,952	2917,021
105	698,81313	4,55566	13,940095	1829,724555	5257,952	3050,912
106	698,81313	4,55566	13,034695	1710,885241	5257,952	2734,234
107	697,86174	4,56272	12,787709	1678,280233	5257,952	2651,897
108	698,81313	4,55566	12,068671	1584,088516	5257,952	2424,135
109	697,86174	4,56272	13,38802	1757,066108	5257,952	2854,117
110	702,64479	4,52742	12,042218	1581,318795	5257,952	2417,655
111	704,57642	4,5133	11,393859	1496,512217	5257,952	2224,888
112	705,54622	4,50624	11,69881	1536,736177	5257,952	2314,974
113	704,57642	4,5133	13,852846	1819,484695	5257,952	3022,549
114	705,54622	4,50624	13,563974	1781,740967	5257,952	2919,8
115	707,49386	4,49212	14,440596	1897,313779	5257,952	3243,579
116	710,43556	4,47094	13,954341	1834,036487	5257,952	3062,92
117	710,43556	4,47094	14,091609	1852,077817	5257,952	3113,572
118	728,61264	4,34386	9,7340066	1281,907838	5257,952	1781,49
119	724,49336	4,3721	10,665999	1404,023213	5257,952	2026,427
120	727,57843	4,35092	11,57177	1523,761037	5257,952	2285,655
121	727,57843	4,35092	11,193758	1473,984744	5257,952	2175,457
122	730,68989	4,32974	10,494432	1382,357256	5257,952	1981,601
123	733,82808	4,30856	9,7597015	1286,003338	5257,952	1789,41
124	741,25641	4,25914	9,5693083	1261,892726	5257,952	1743,069
125	745,56908	4,2309	8,4926627	1120,412215	5257,952	1484,188
126	712,41033	4,45682	7,4693053	981,9179849	5257,952	1250,539
127	713,40183	4,44976	6,3472928	834,5103174	5257,952	1020,879
128	713,40183	4,44976	6,4089067	842,6110099	5257,952	1033,028
129	713,40183	4,44976	4,8112508	632,5592034	5257,952	734,1496
130	711,42158	4,46388	5,0147436	659,1671528	5257,952	770,2342
131	709,45228	4,478	5,9220225	778,2524551	5257,952	937,9362
132	708,47172	4,48506	6,2452842	820,643353	5257,952	1000,203
133	708,47172	4,48506	5,4824412	720,4041911	5257,952	855,1759
134	705,54622	4,50624	6,0524669	795,0419607	5257,952	962,4308
135	718,40104	4,41446	2,8375933	373,2794908	5257,952	406,4713
136	719,4093	4,4074	3,5513852	467,2291107	5257,952	520,4219
137	718,40104	4,41446	3,3629912	442,3944888	5257,952	489,796
138	719,4093	4,4074	3,1311858	411,9466286	5257,952	452,7469
139	716,39297	4,42858	4,3301936	569,5016511	5257,952	650,5497
140	717,3956	4,42152	4,0891581	537,860595	5257,952	609,5858
141	715,39314	4,43564	4,4391259	583,763546	5257,952	669,2263
142	714,3961	4,4427	4,0547264	533,1542827	5257,952	603,5476
143	712,41033	4,45682	4,2004255	552,1896828	5257,952	628,0569
144	711,42158	4,46388	3,735598	491,0287972	5257,952	550,1213

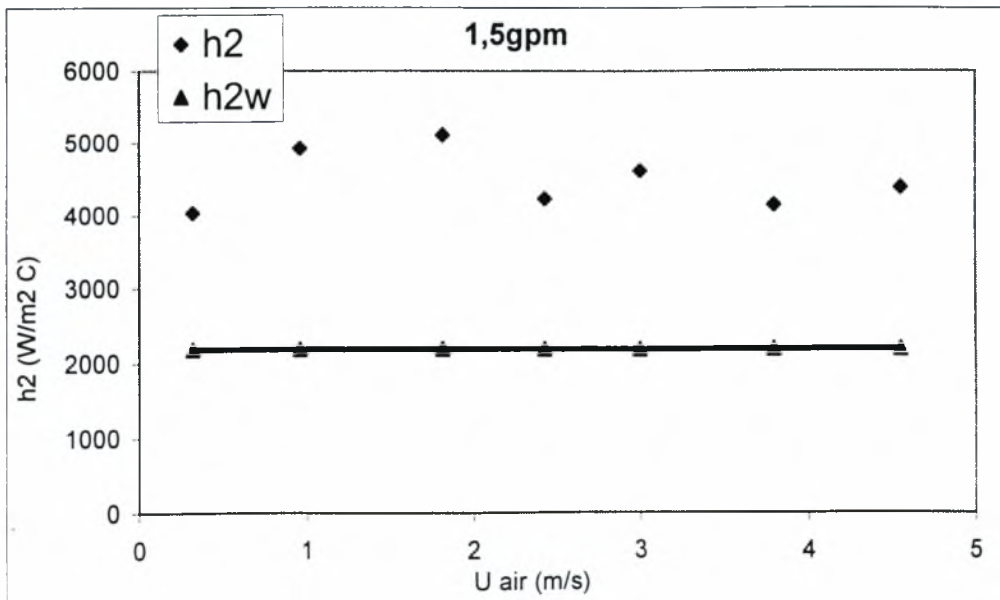
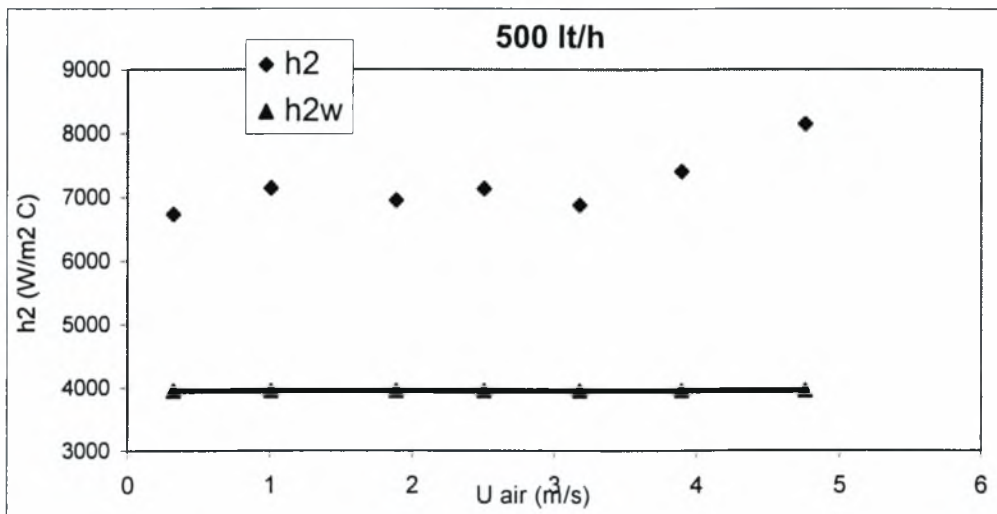
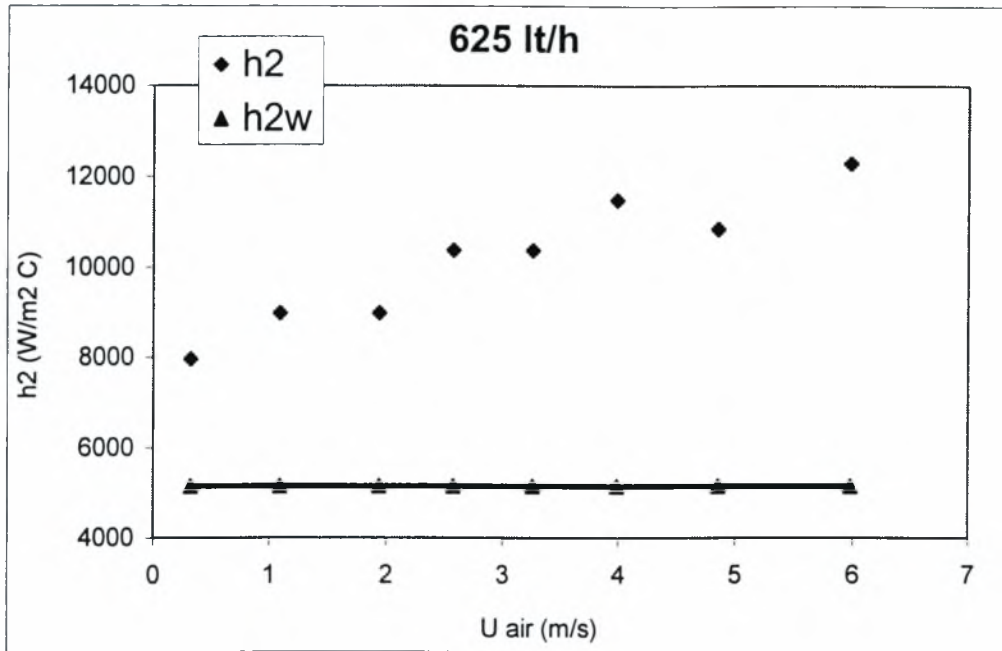
Όπως έχει αναφερθεί το βασικό ζητούμενο της εργασίας είναι ο υπολογισμός του συντελεστή  $h_2$ . Οι διάφορες διακυμάνσεις του σε σχέση με τις διάφορες παροχές και ποιότητες του διαφασικού μίγματος παρουσιάζονται αναλυτικά στα διαγράμματα που ακολουθούν.

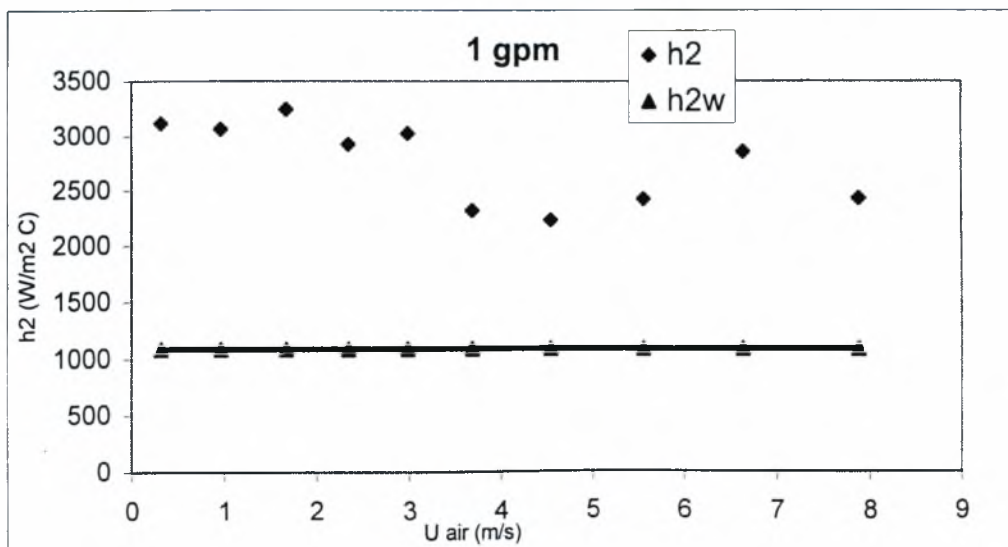
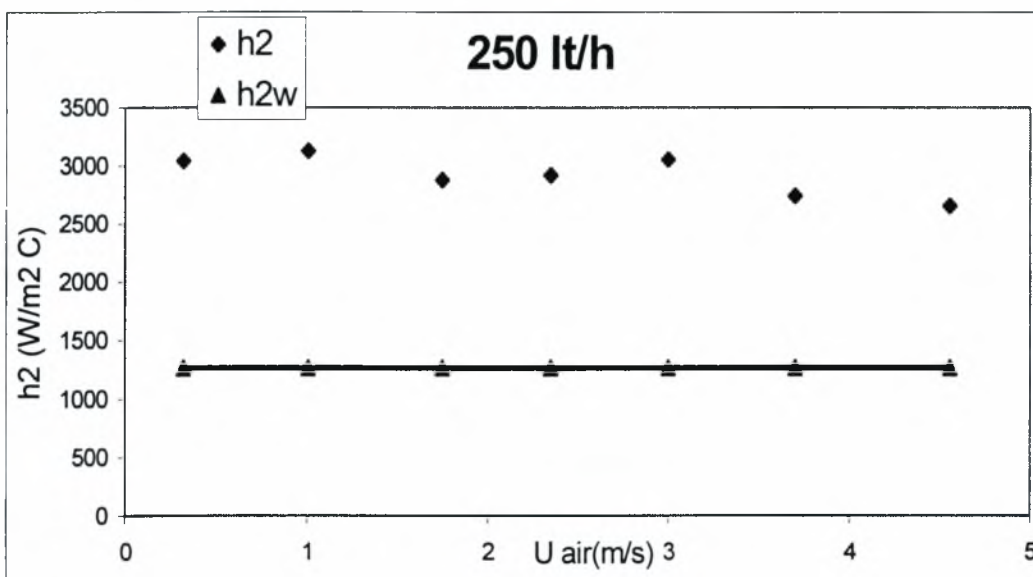
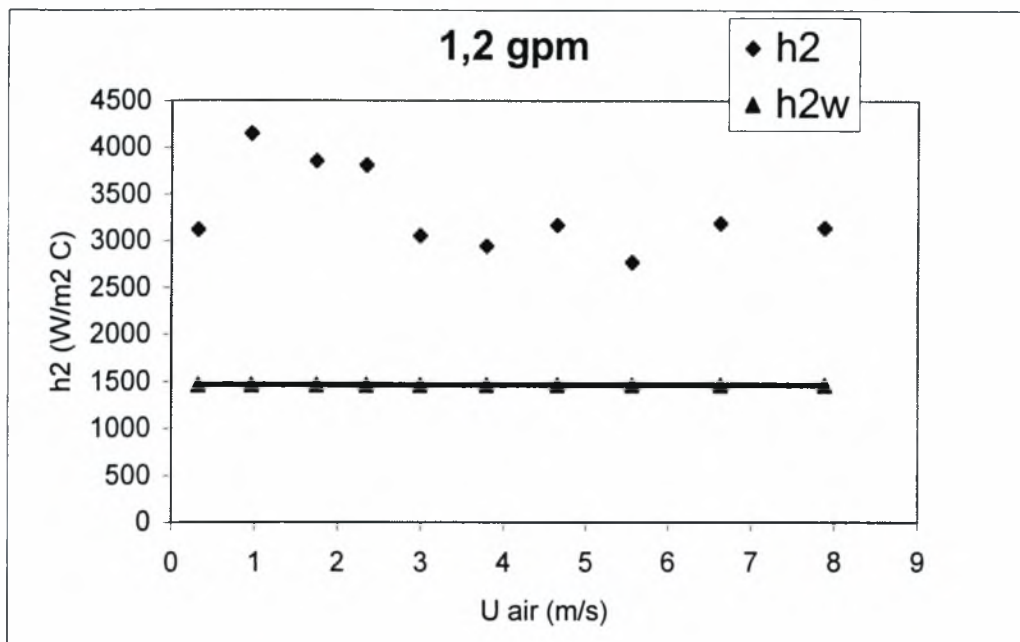
Παρουσιάζονται διαγράμματα  $h_2=f(Mw)$  με παράμετρο σταθερή παροχή αέρα, διαγράμματα  $h_2=f(U_{air})$  με παράμετρο σταθερή παροχή νερού καθώς και διαγράμματα που παρουσιάζεται η επίδραση των διαφόρων συνδυασμών του διαφασικού μίγματος στον συντελεστή  $h_2$ . Στα διαγράμματα που ακολουθούν δίνεται και ο  $h_{2w}$ , που είναι ο συντελεστής συναγωγής για μονοφασικό ψυχρό νερό.

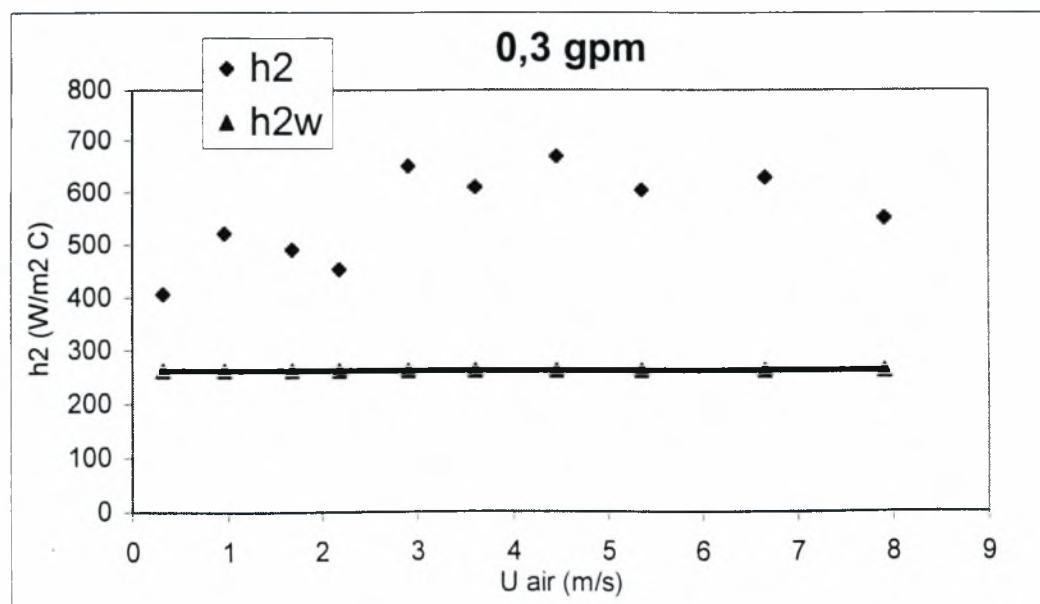
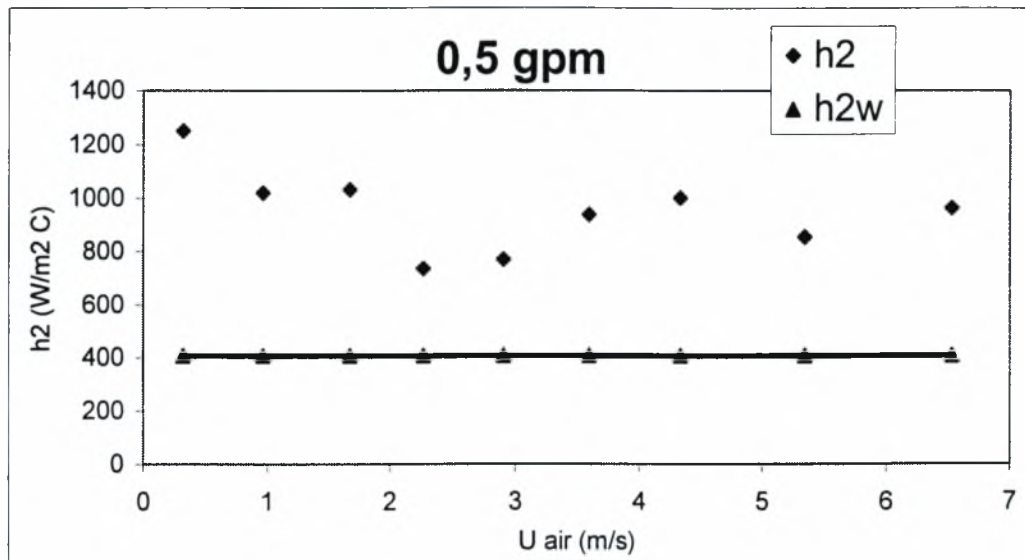
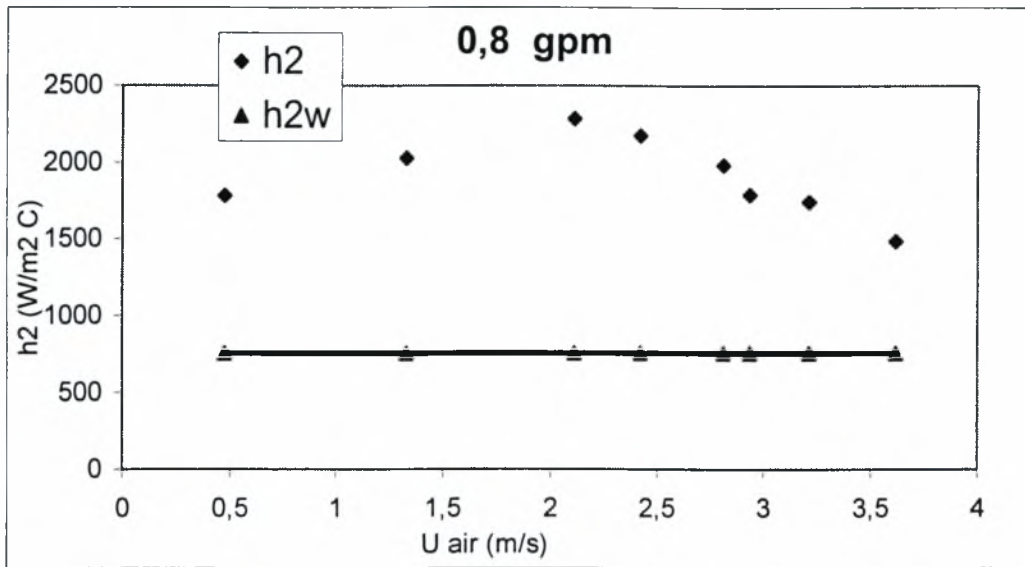
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-4. Διαγράμματα του  $h_2=f(U_{air})$  για σταθερές παροχές νερού.





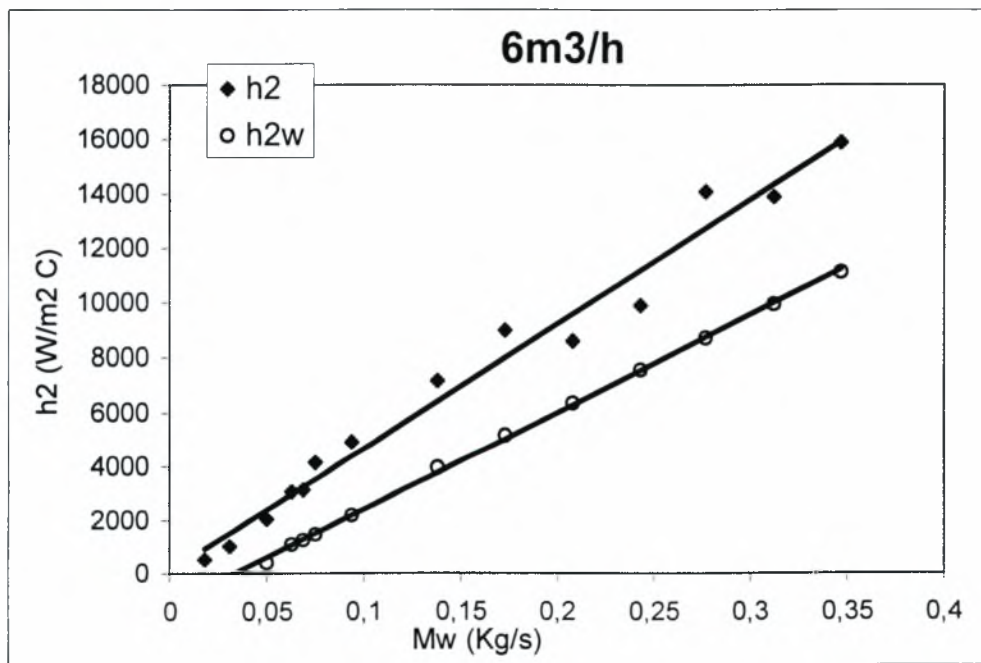
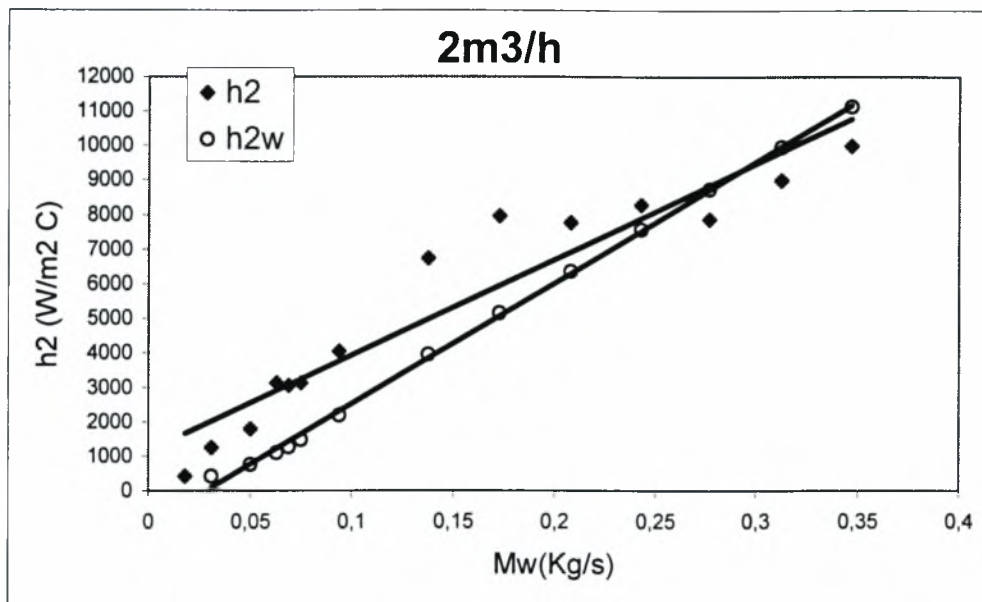


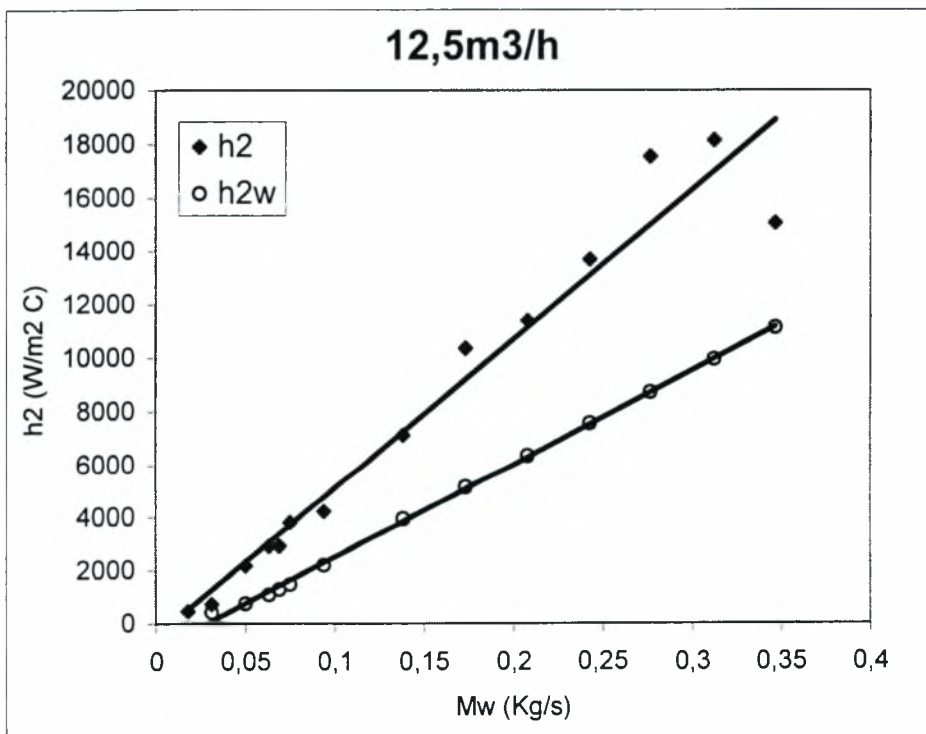
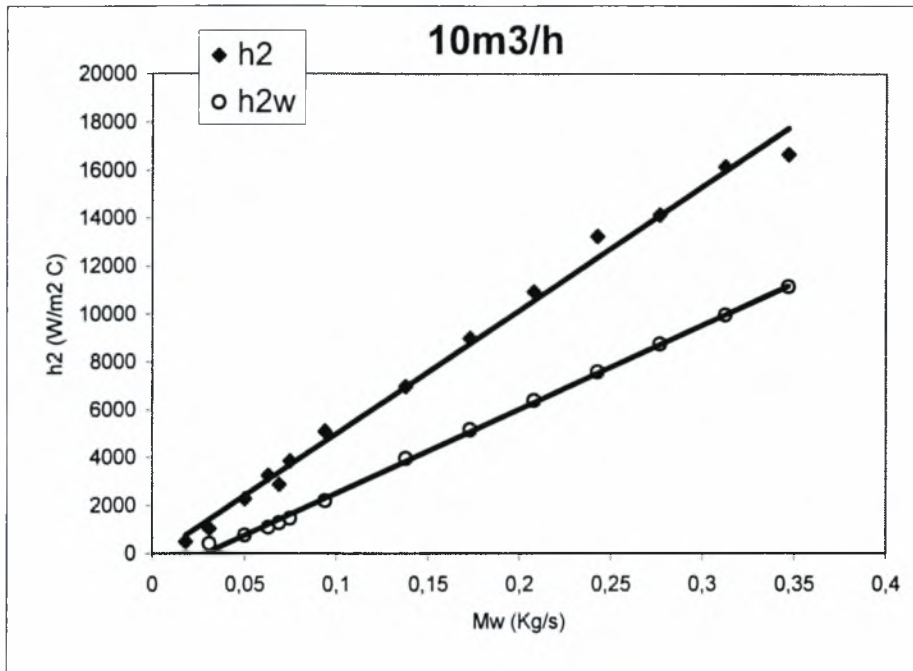


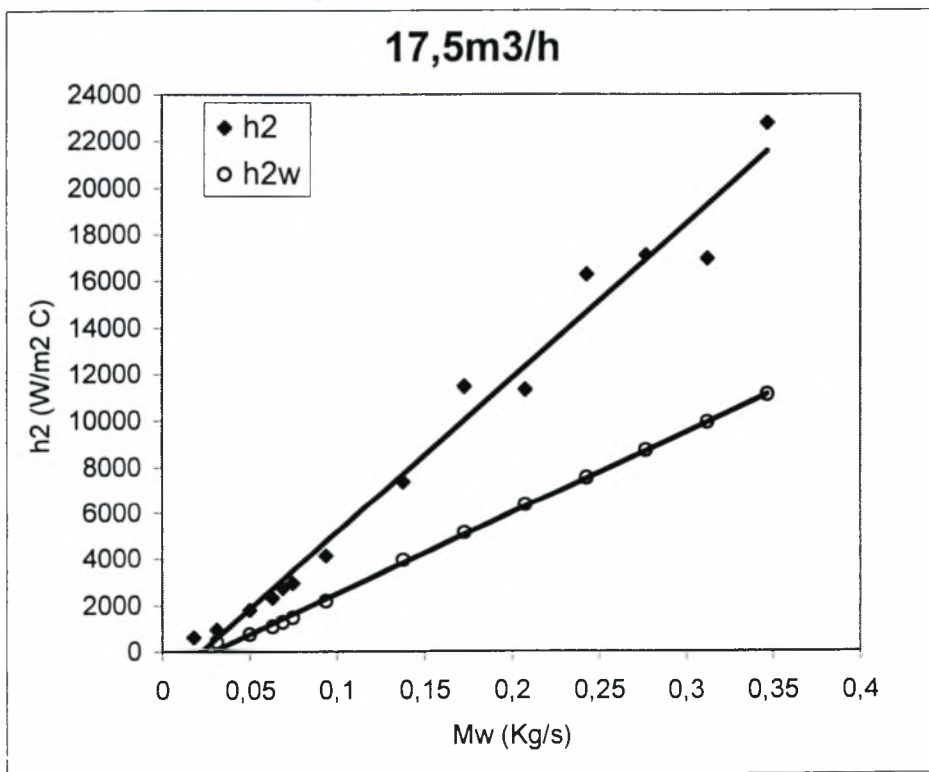
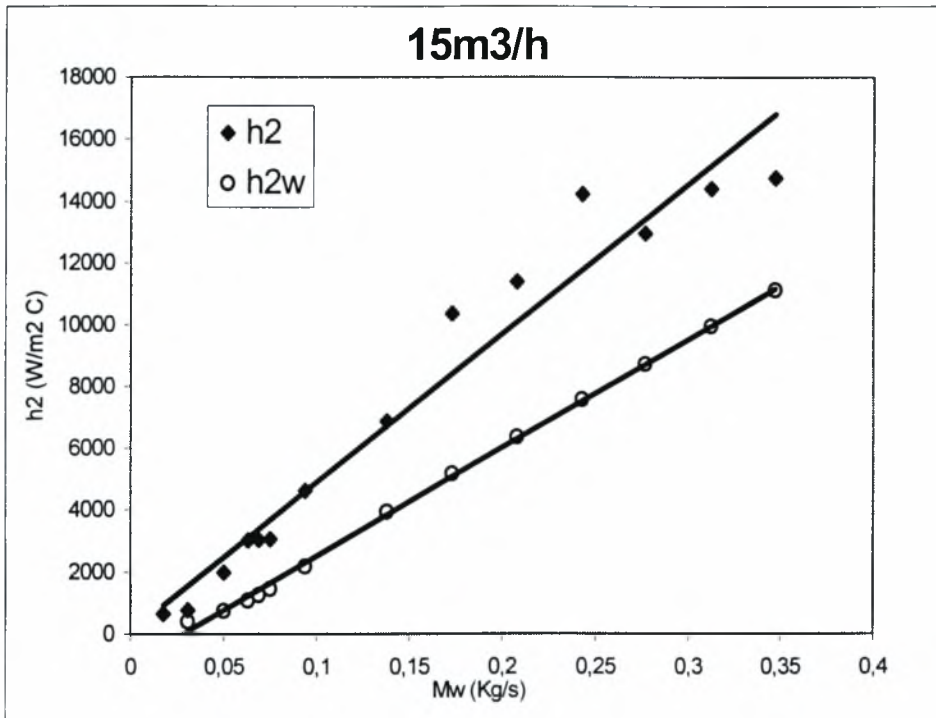


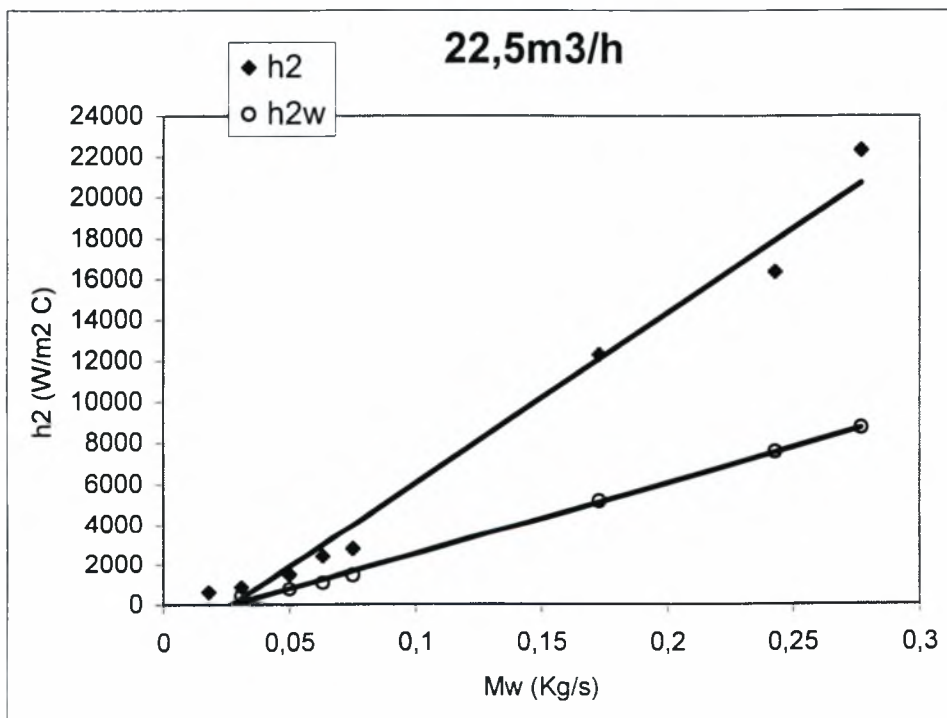
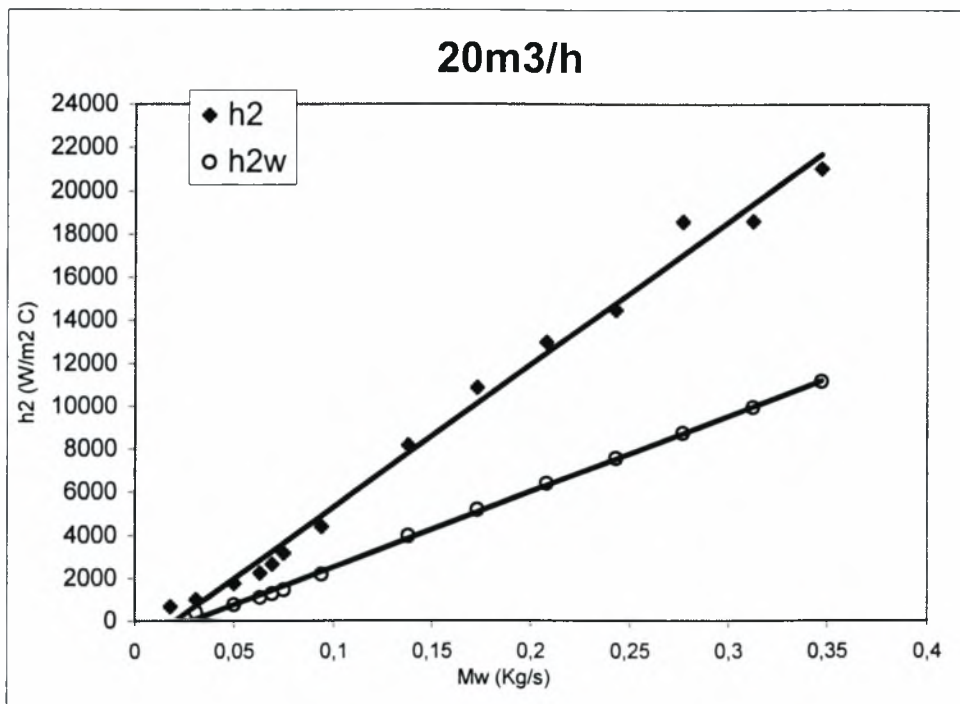


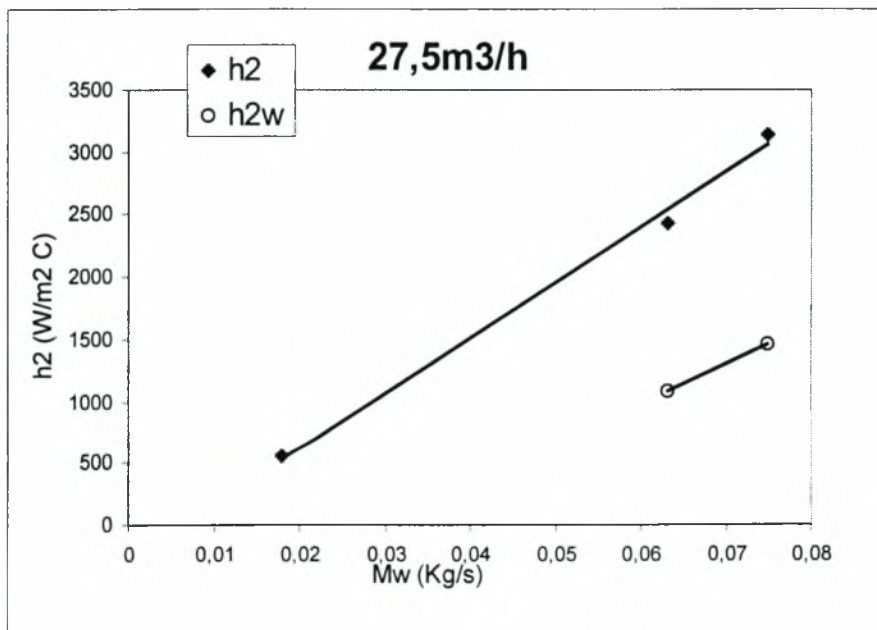
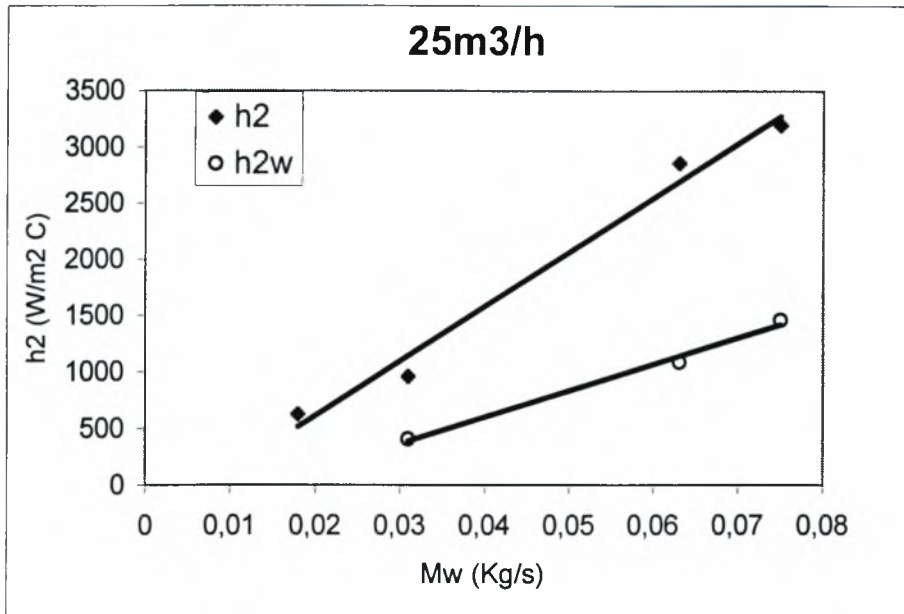
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 –5. Διαγράμματα  $h_2=f(M_w)$  για σταθερή παροχή αέρα.



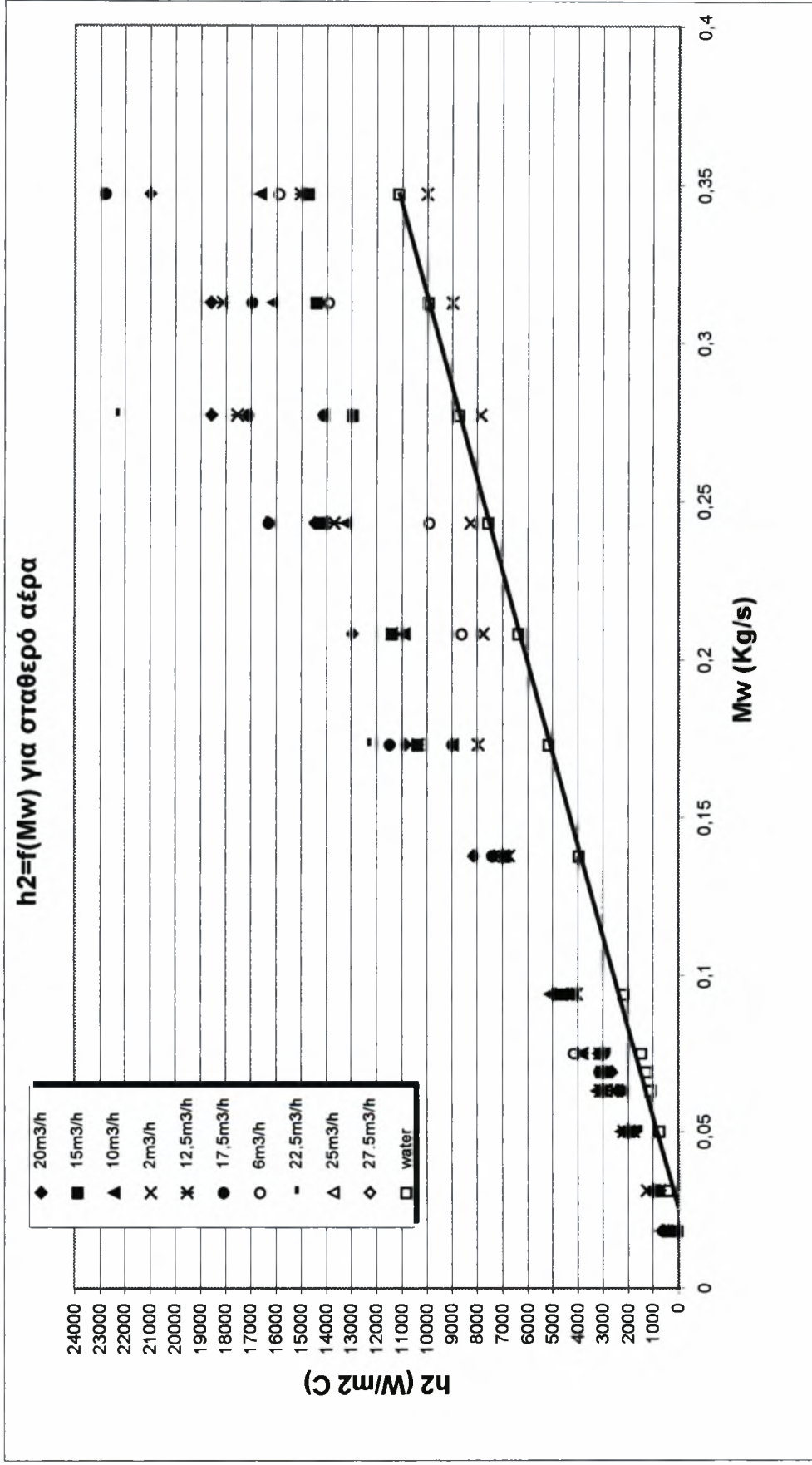




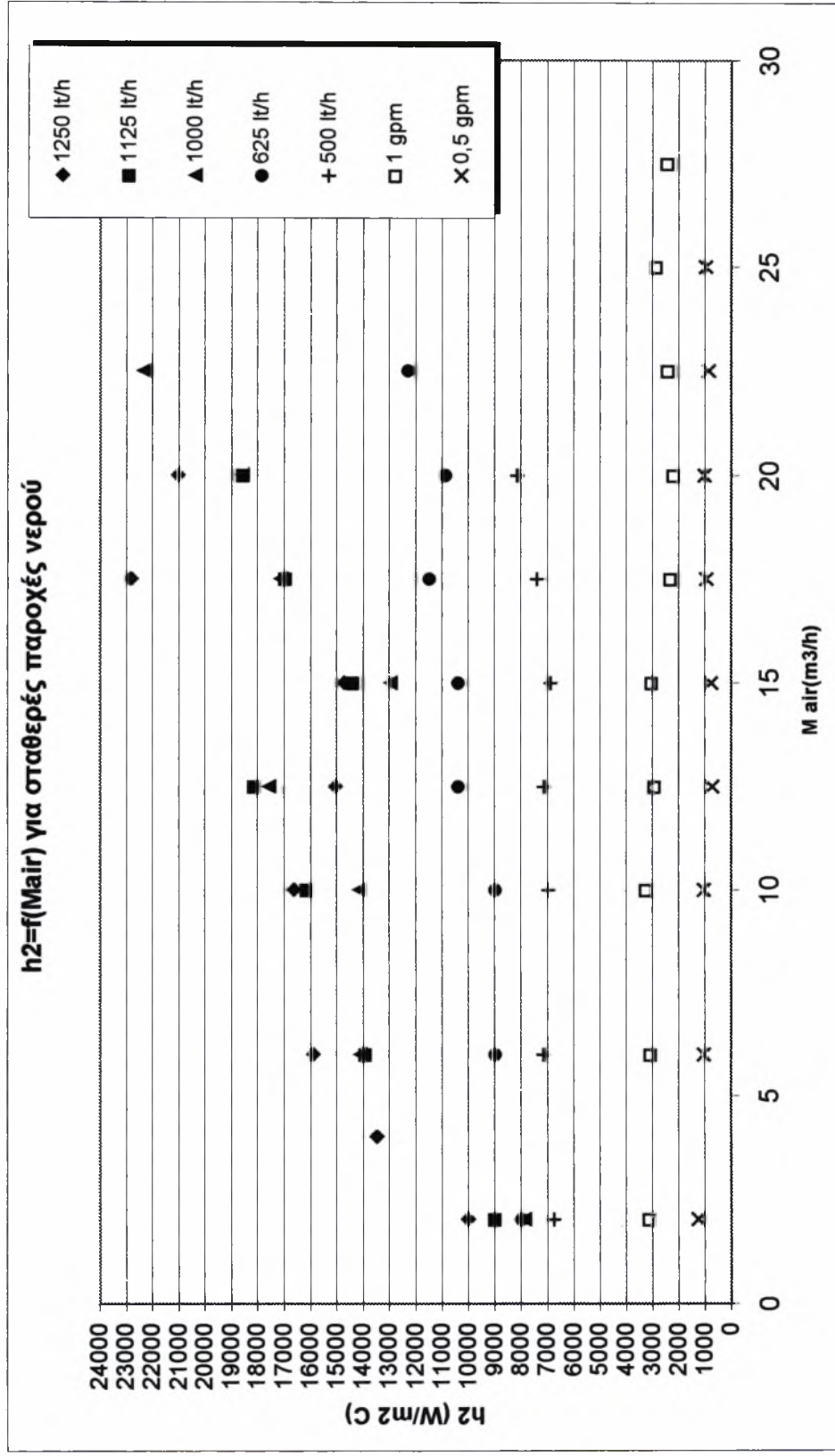




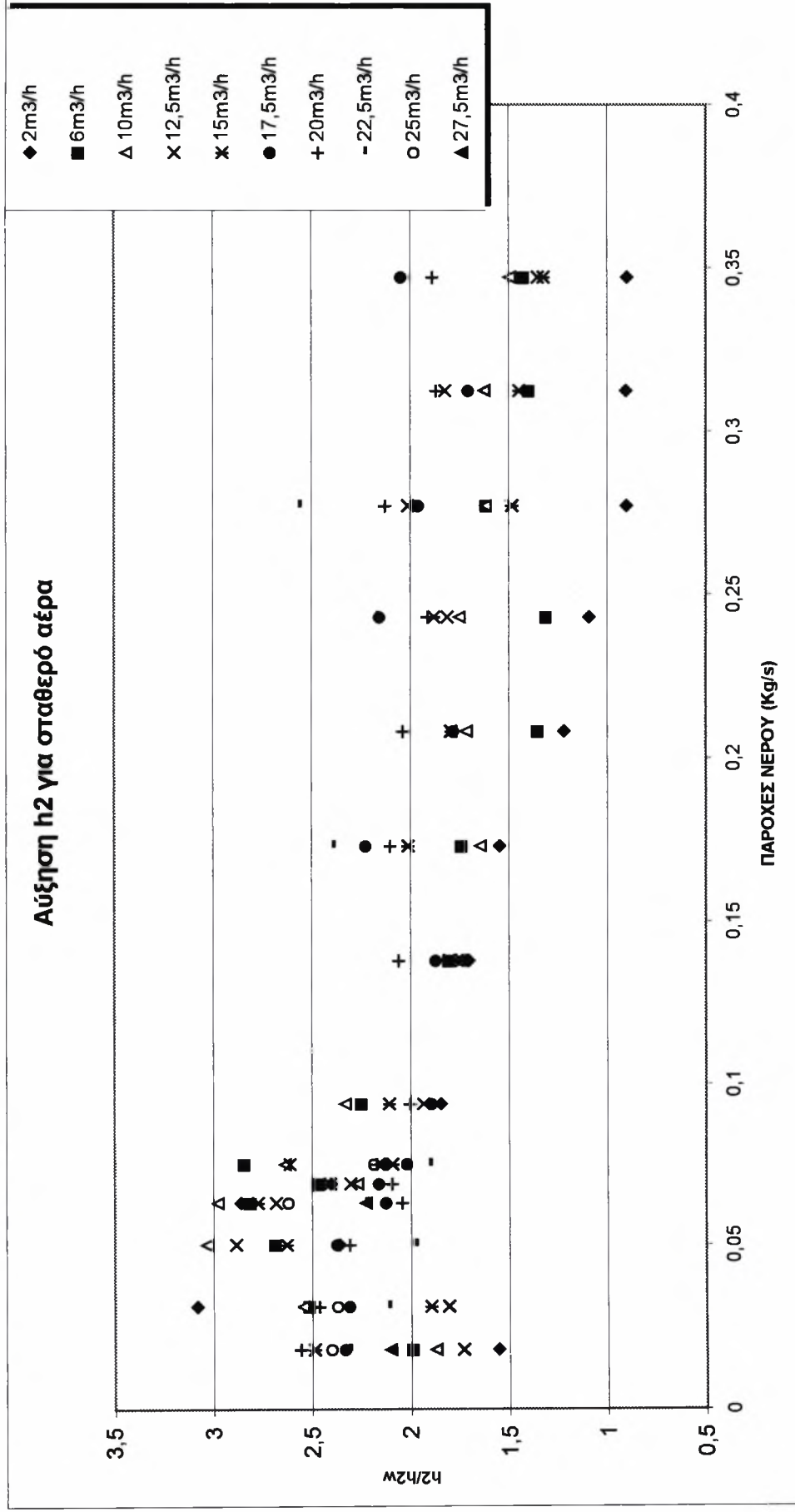
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 –6. Συγκενρωτικό διάγραμμα  $h_2$  για σταθερή παροχή αέρα.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 – 7. Συγκενρωτικό διάγραμμα h<sub>2</sub> για σταθερή παροχή νερού.**

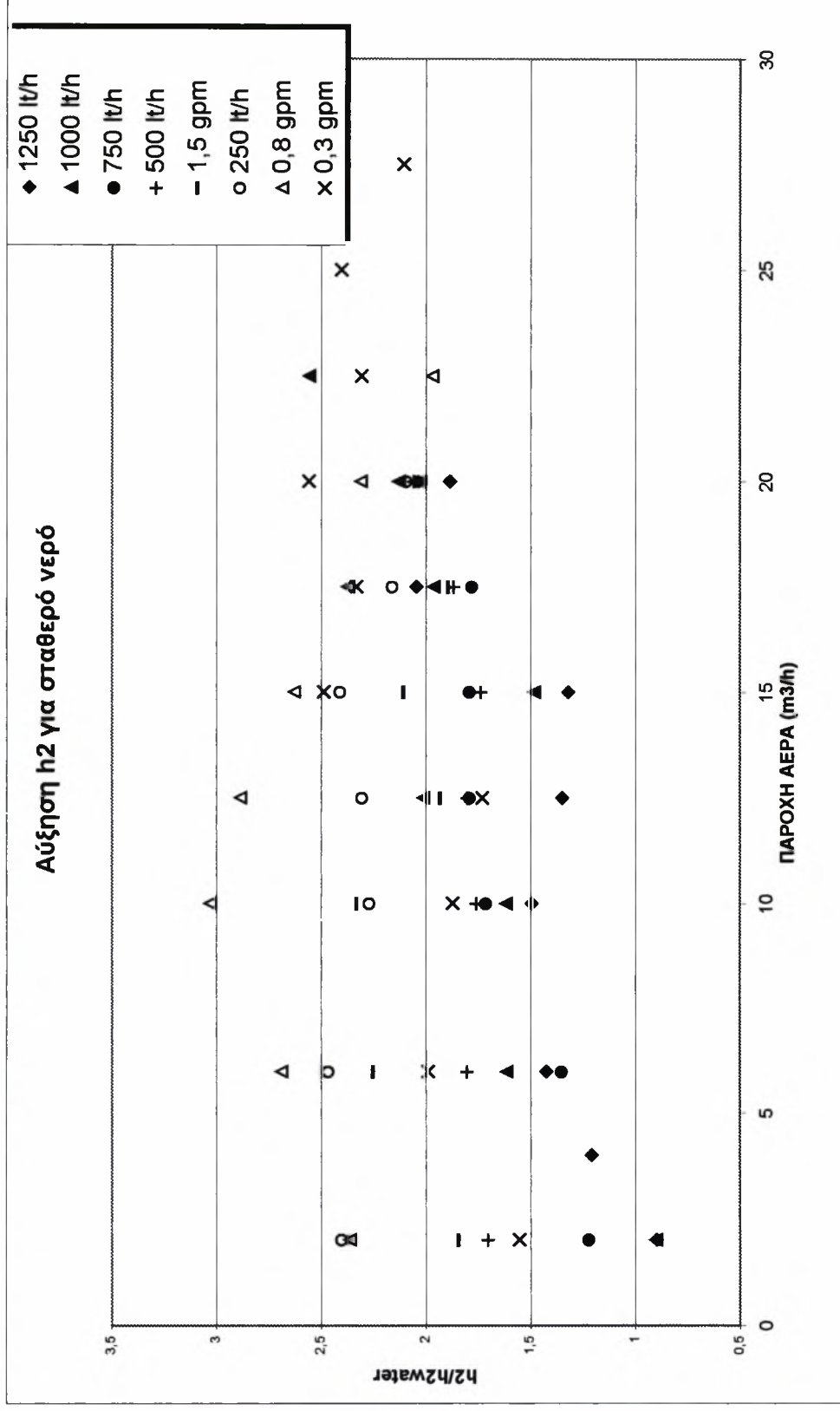


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4–8. Αύξηση  $h_2$  για σταθερή παροχή αέρα.





ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 – 9. Αύξηση h<sub>2</sub> για σταθερή παροχή νερού.



Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούν να εξαχθούν διάφορα συμπεράσματα και να γίνουν διάφορες ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις. Όλα αυτά παρουσιάζονται παρακάτω.

Γενικά ο αέρας έχει θετική επίδραση στο συντελεστή  $h_2$  καθώς ο συντελεστής μετάδοσης του διφασικού μίγματος είναι σχεδόν πάντα μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο  $h_{2w}$ , δηλαδή την πρόβλεψη για μονοφασικό ψυχρό νερό. Εξάιρεση στο φαινόμενο αυτό αποτελούν οι συνδυασμοί του διφασικού μίγματος που περιλαμβάνουν πολύ υψηλές παροχές νερού και πολύ μικρές παροχές αέρα όπου η επίδραση του αέρα μπορεί να χαρακτηριστεί από αμελητέα έως λίγο αρνητική (**διάγραμμα 4 – 8, 4 - 9**).

Οι μεγαλύτερες τιμές του  $h_2$  συναντώνται στις μεγάλες παροχές του νερού μαζί με επίσης υψηλές παροχές αέρα (**διάγραμμα 4 – 6**) ενώ την εντονότερη αυξητική επίδραση την παρατηρούμε στις χαμηλές παροχές του νερού (**διάγραμμα 4 – 8**).

Πρέπει να σημειωθεί ότι στις μικρές αυτές παροχές, η έντονη αυτή αυξητική επίδραση παρουσιάζεται για όλες τις παροχές του αέρα (**διάγραμμα 4 – 8, 4 - 6**). Στην ουσία το πιο ενδιαφέρον συμπέρασμα που βγάζουμε στις μικρές παροχές του νερού είναι ότι ο  $h_2$  παρουσιάζει σχεδόν την ίδια συμπεριφορά για όλες τις παροχές του αέρα.

Αυξάνοντας την παροχή του νερού παρατηρούμε αξιόλογη αύξηση του συντελεστή  $h_2$  μόνο σε σχετικά μεγάλες παροχές αέρα ενώ σε μίγματα πολύ χαμηλής ποιότητας μπορούμε να παρατηρήσουμε και κάποια ελάχιστη αρνητική επίδραση. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στις υψηλές παροχές νερού, με την προσθήκη 15m<sup>3</sup>/h αέρα, παροχή που αντιστοιχεί σε φαινομενικές ταχύτητες της τάξης των 3 m/s, ο συντελεστής  $h_2$  παρουσιάζει κάποιο τοπικό ελάχιστο (**διάγραμμα 4 – 4, 4 - 7**). Αυτό αρχικά θεωρήθηκε ότι μπορεί να αποτελεί ένδειξη για κάποια αλλαγή στη μορφή της διφασικής ροής στον εναλλάκτη, η περαιτέρω όμως επεξεργασία και η οπτική παρατήρηση της ροής δεν στάθηκε δυνατό να επιβεβαιώσουν κάτι τέτοιο.

## ΔΙΦΑΣΙΚΗ ΡΟΗ ΣΤΟΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΠΛΑΚΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια τελικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να συσχετίσει τη θερμική συμπεριφορά του εναλλάκτη πλακών – πλαισίου με το είδος της διφασικής ροής. Η έλλειψη πληροφοριών στη βιβλιογραφία σχετικά με τις διάφορες μορφές της ροής στη συγκεκριμένη γεωμετρία οδήγησαν στο να γίνει προσπάθεια ώστε να κατασκευαστεί ένας πρώτος χάρτης ροής για τους διάφορους συνδυασμούς παροχών του διφασικού μίγματος. Τελικά με τις κατάλληλες μετατροπές στη συσκευή και την αγορά των απαιτούμενων συσκευών παρατήρησης και μελέτης της ροής (βλέπε κεφ.3) στάθηκε δυνατό να μελετηθεί η ροή και να κατασκευαστεί ο χάρτης των διάφορων περιοχών ροής.

### 5.2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΡΟΗΣ

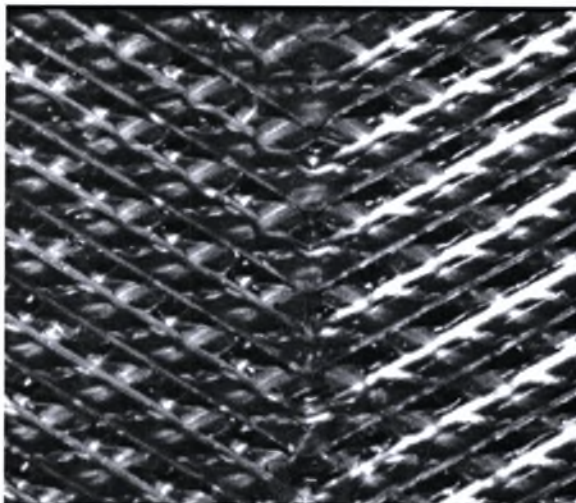
Η φωτογράφιση και μελέτη της ροής στις διάφορες παροχές έδειξε την ύπαρξη 5 περιοχών ή μορφών ροής. Αυτές είναι οι παρακάτω και συμβολίζονται ως εξής:

1. **A** : αέρας + film νερού
2. **B** : νερό +δισπαρμένες φυσαλίδες αέρα
3. **AB**: A+B (κυρίως A με δισπαρμένη φάση B)
4. **BA**: B+A (κυρίως B με δισπαρμένη φάση A)
5. **C** : αέρας + slugs νερού

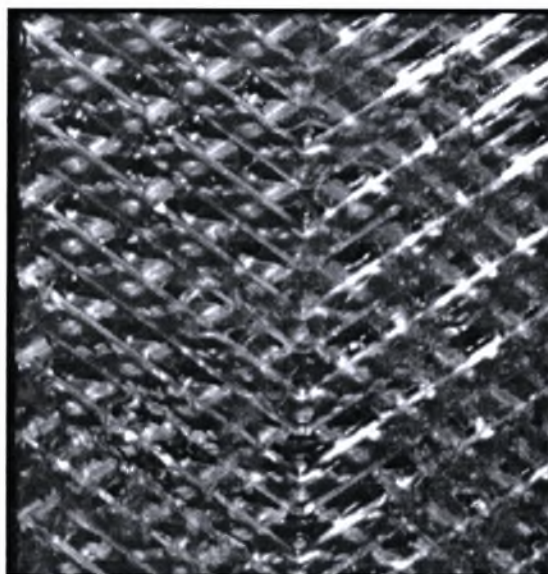
Αρχικά, στις πολύ μικρές παροχές του νερού και ανεξάρτητα από την παροχή του αέρα, η οπτική παρατήρηση έδειξε την κυριαρχία της αέριας φάσης ενώ το νερό όπου κυκλοφορούσε, έρεε στις αυλακώσεις με τη μορφή film που τυλίγει τα τοιχώματα (A περιοχή ροής). Πιο συγκεκριμένα η ροή αυτή θύμιζε την δακτυλιοειδή ροή (annular flow) που συναντά κανείς κατά τη διφασική ροή σε σωλήνες.

Αυξάνοντας την παροχή του νερού και κρατώντας τον αέρα σε σχετικά χαμηλές φαινομενικές ταχύτητες συναντήσαμε πάλι την μορφή ροής που αναφέρθηκε παραπάνω, μόνο που η αύξηση του νερού οδήγησε στην εμφάνιση περιοχών όπου το νερό πλέον έρεε πιο έντονα έχοντας δισπαρμένες φυσαλίδες αέρα μέσα του. Πάντως πρέπει να αναφερθεί ότι και στην περιοχή αυτή κυριαρχεί η A φάση και η περιοχή ροής είναι η AB.

Στην φωτογραφία 5 – 1 φαίνεται η μορφή της Α περιοχής ροής ενώ στις 5 – 2 και 5 - 3 φαίνεται η μορφή της ΑΒ.



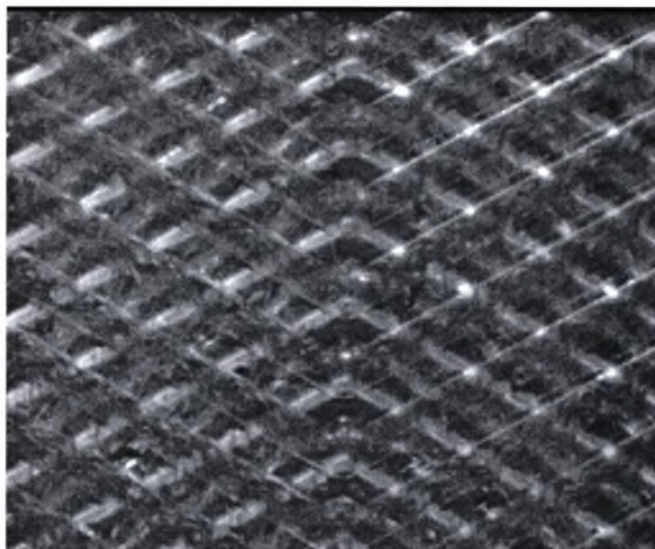
**Φωτογραφία 5 – 1. Α περιοχή ροής.**



**Φωτογραφία 5 – 2. Περιοχή ΑΒ**

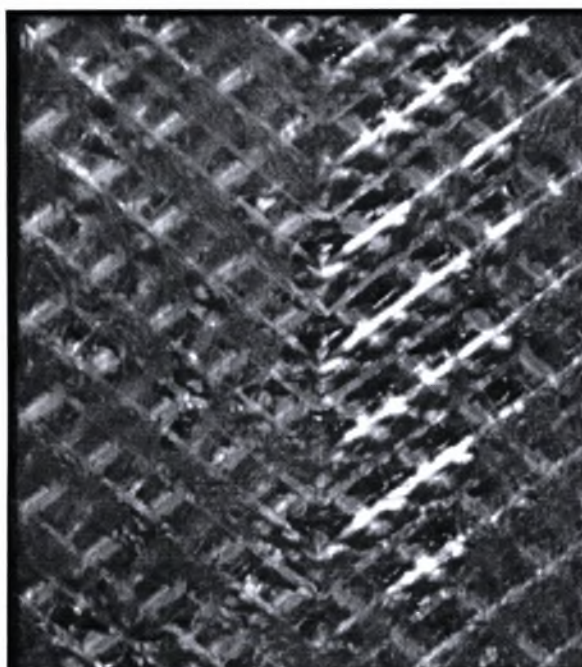
Αυξάνοντας την παροχή του νερού και άλλο, συναντάμε τις ίδιες πάλι περιοχές ροής, μόνο που στην περίπτωση αυτή κυριαρχεί η Β φάση με παράλληλη ύπαρξη θυλάκων όπου παρατηρείται η Α περιοχή ροής (ΒΑ περιοχή ροής), ενώ στις πολύ μικρές παροχές αέρα η Α φάση εξαφανίζεται και έχουμε καθαρή ροή νερού με διεσπαρμένες φυσαλίδες (καθαρή Β περιοχή).

Στη φωτογραφία 5 – 3 που ακολουθεί φαίνεται η μορφή της ροής στην περιοχή Β.

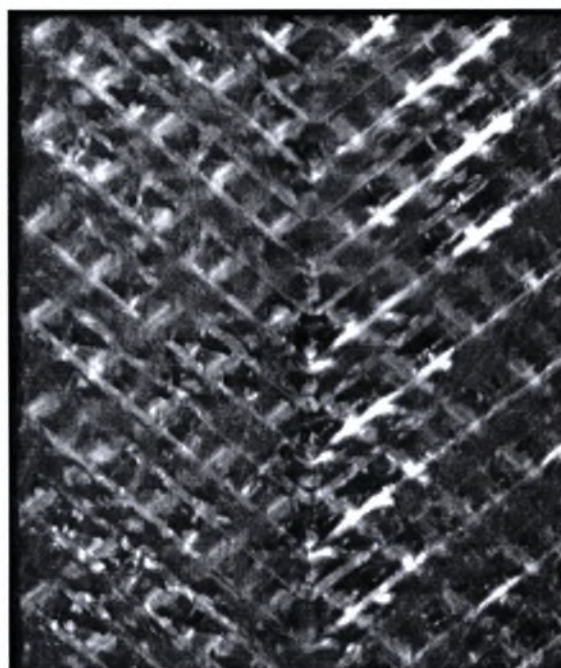


**Φωτογραφία 5 – 3. Περιοχή ροής B**

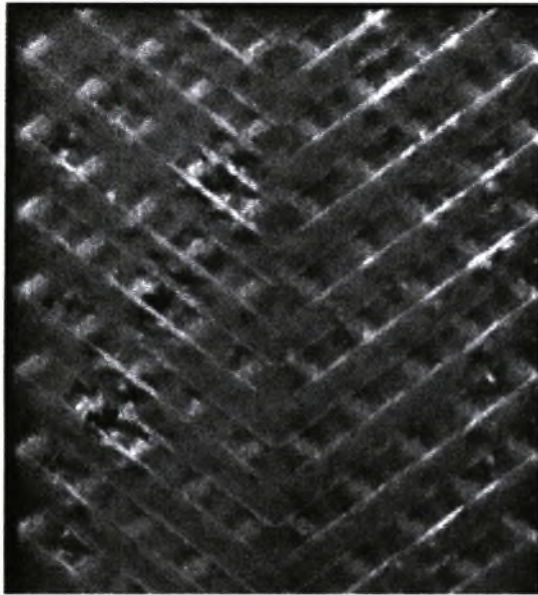
Στις φωτογραφίες 5 – 4 έως και 5 – 7 φαίνεται πως εξελίσσεται η μορφή της ροής μέσα στην περιοχή της ροής BA καθώς αυξάνουμε σταδιακά τις παροχές του νερού και του αέρα. Στις ‘σκούρες’ περιοχές έχουμε τη B φάση ενώ στις πιο καθαρές περιοχές και όπου υπάρχει αντανάκλαση έχουμε την παρουσία της A φάσης.



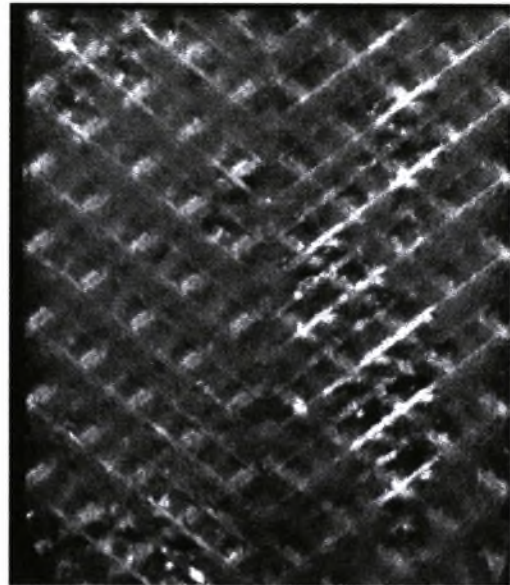
**Φωτογραφία 5 – 5. Περιοχή ροής BA.**



**Φωτογραφία 5 – 6. Περιοχή ροής BA.**



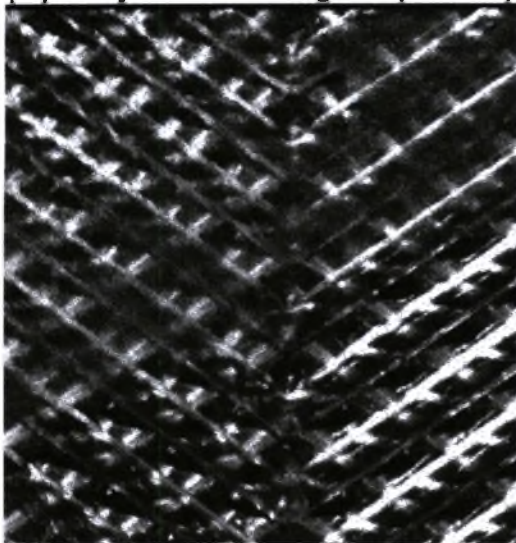
**Φωτογραφία 5 – 6. Περιοχή BA .**



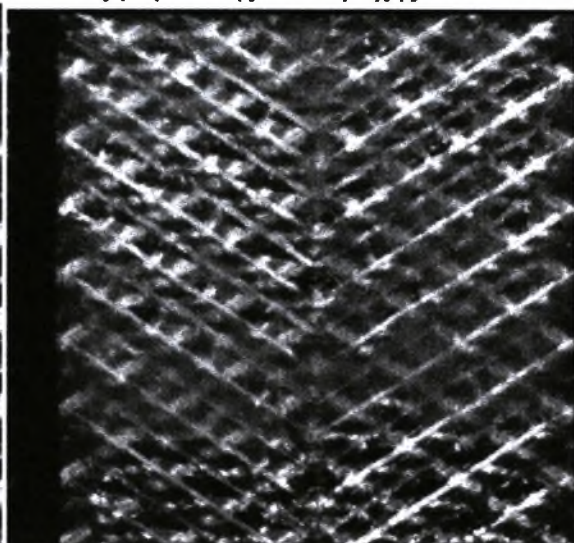
**Φωτογραφία 5 – 7. Περιοχή BA.**

Τροφοδοτώντας τον εναλλάκτη με διφασικό μίγμα υψηλής ποιότητας και κρατώντας το νερό σε σχετικά χαμηλές παροχές μπαίνουμε στην περιοχή C. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από μάζες αέρα οι οποίες καταλαμβάνουν την περιοχή της ροής και ακολουθούνται από slugs νερού τα οποία καταλαμβάνουν στιγμιαία ολόκληρη τη διατομή του καναλιού και έχουν σαφώς ορισμένο μήκος κατά τη διεύθυνση ροής. Αυξάνοντας την παροχή του νερού και την παροχή του αέρα έχουμε αύξηση του μεγέθους καθώς και της συχνότητας με την οποία εμφανίζονται τα slugs.

Η μορφή των slugs με σταδιακή αύξηση των παροχών του διφασικού μίγματος φαίνεται στις φωτογραφίες 5 –8 με 5 – 11. Σε αυτές φαίνεται καθαρά η αύξηση του μεγέθους των slugs με την αύξηση της παροχής του νερού.



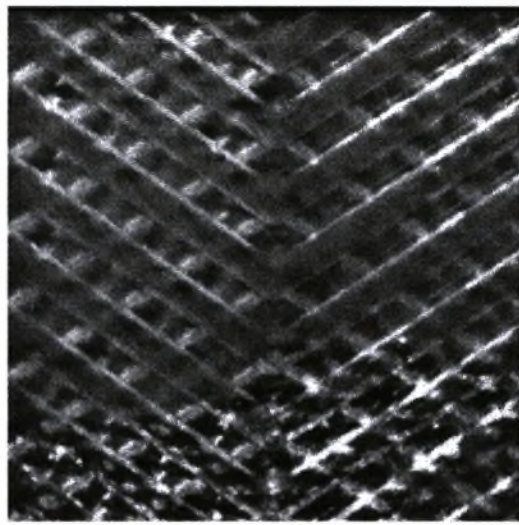
**Φωτογραφία 5– 8. Περιοχή slugs**



**Φωτογραφία 5 – 9. Περιοχή slugs**



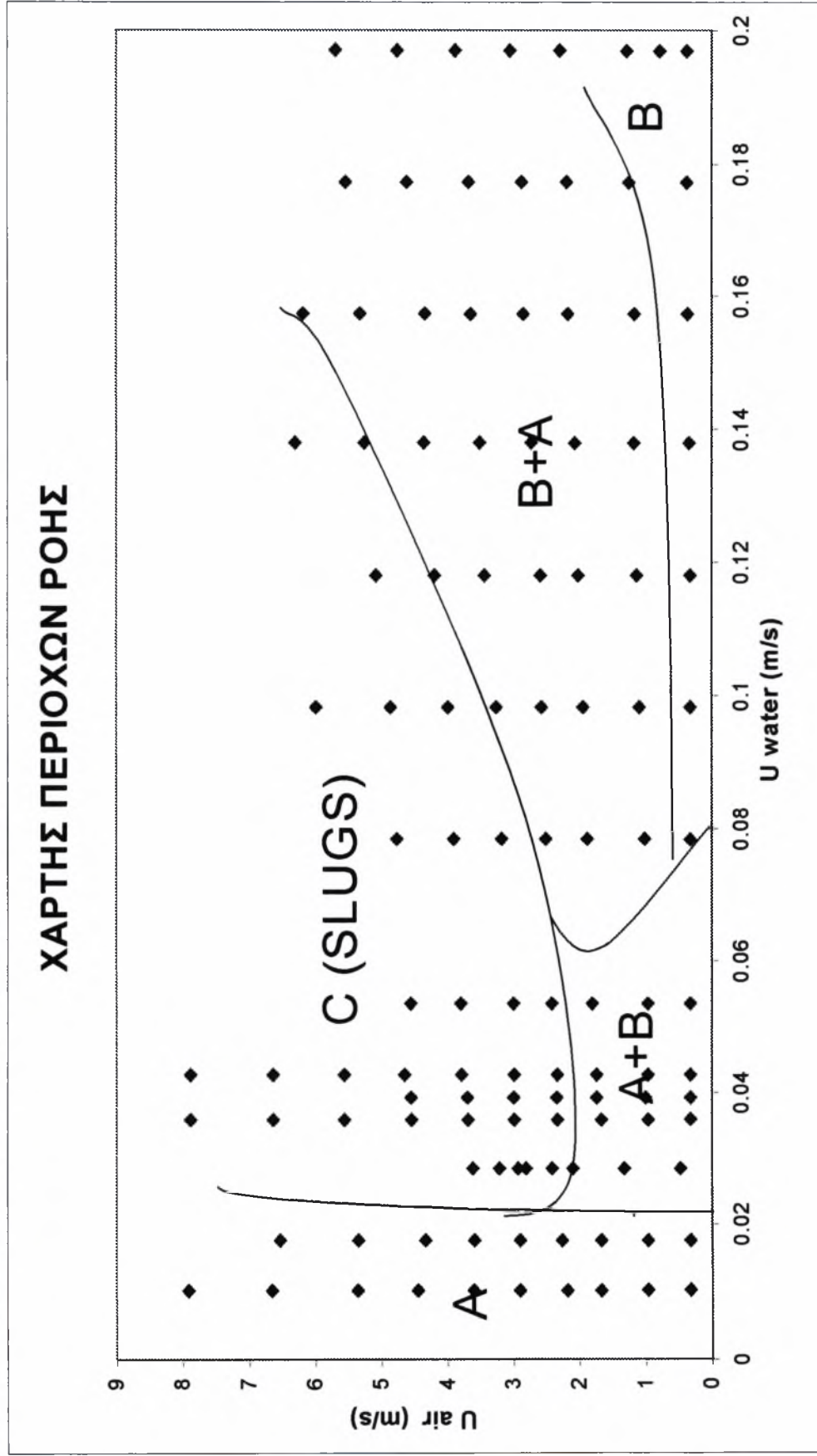
**Φωτογραφία 5 – 10. Περιοχή slugs**



**Φωτογραφία 5 – 11. Περιοχή slugs**

Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στο χάρτη της ροής που ακολουθεί.

ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΡΟΗΣ ΔΙΦΑΣΙΚΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ





### 5.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΦΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Στην προσπάθεια να συσχετιστεί η θερμική συμπεριφορά με το είδος της ροής του διφασικού μίγματος έγιναν οι παρακάτω διαπιστώσεις και παρατηρήσεις:

Η προσθήκη του αέρα επέφερε τις μεγαλύτερες αυξήσεις στον συντελεστή  $h_2$  στις μικρές παροχές νερού και η αυξητική αυτή επίδραση φαίνεται ότι είναι ανεξάρτητη της παροχής του αέρα. Οι μεγάλες αυτές αυξήσεις σημειώνονται στις περιοχές A, AB και C. Φαίνεται πως η εμφάνιση του νερού με τη μορφή film στα τοιχώματα των αυλακώσεων του εναλλάκτη 'προστατεύει' την ικανότητα του διφασικού μίγματος να μεταφέρει θερμότητα από την πιθανή αρνητική επιρροή του αέρα. Παράλληλα, η μορφή αυτή ροής για το νερό, φαίνεται να έχει ευεργετικές επιπτώσεις στην ικανότητα του νερού να μεταδίδει θερμότητα.

Όλα τα παραπάνω ισχύουν και στην περιοχή ροής AB, ενώ η παρουσία θυλάκων νερού σε συνθήκες έντονης ανάδευσης συνεισφέρουν στη μεγάλη ενίσχυση του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $h_2$ .

Αυξάνοντας την παροχή του αέρα όπως έχει αναφερθεί το διφασικό μίγμα εισέρχεται στην περιοχή ροής C όπου κύριο χαρακτηριστικό είναι παρουσία slugs νερού με ταινιοειδή μορφή. Και στην περιοχή αυτή φαίνεται ότι η ανάδευση που προκαλεί ο αέρας στο νερό στην ουσία εξουδετερώνει την αρνητική επίδραση που θα περίμενε κανείς από την παρουσία των αέριων θυλάκων ανάμεσα στους οποίους κινούνται τα slugs νερού.

Τα ισοζύγια ενέργειας έδειξαν ότι ο αέρας είχε αμελητέα επίδραση στον συντελεστή  $h_2$  στους συνδυασμούς ελάχιστης παροχής αέρα και μεγάλης παροχής νερού. Τα δεδομένα αυτά οδηγούν στην περιοχή ροής B όπου η οπτική παρατήρηση έδειξε ότι έχουμε κυριαρχία του νερού με παράλληλη λεπτή διασπορά φυσαλλίδων. Ο τρόπος με τον οποίο ρέει ο αέρας, που δεν προκαλεί κάποια έντονη αλλαγή στην ροή του νερού, έρχεται να επαληθεύσει τα αποτελέσματα του θερμικού χαρακτηρισμού της συσκευής και να δικαιολογήσει μία μικρή μόνο απόκλιση από τη συμπεριφορά του  $h_2$  για ροή ψυχρού μονοφασικού νερού.

Σημαντικές αυξήσεις στον συντελεστή  $h_2$  παρατηρήθηκαν και στην περιοχή ροής BA όπου πρέπει να σημειωθεί ότι έχουμε τις μεγαλύτερες απόλυτες τιμές του  $h_2$ .

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε ότι η μετάβαση από τη μία περιοχή στην άλλη με την εξής σειρά:



συνοδεύεται από σταδιακή μείωση της αυξητικής επιρροής του αέρα. Ακόμα παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες απόλυτες τιμές του  $h_2$  (περίπου  $20000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) τις συναντούμε στις περιοχές C και BA, δηλαδή σε μεσαίες και υψηλές παροχές του νερού.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη συγκεκριμένη παράγραφο παρουσιάζονται συνοπτικά και συγκεντρωμένα τα συμπεράσματα που στάθηκε δυνατό να εξαχθούν από τη μελέτη και επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων καθώς και από την παρατήρηση της διαφασικής ροής. Έτσι έχουμε τα παρακάτω.

1. Η επίδραση του αέρα στο συντελεστή μετάδοσης θερμότητας του διαφασικού μίγματος  $h_2$  είναι στη συντριπτική πλειοψηφία των μετρήσεων θετική. Εξαιρέση στο παραπάνω αποτελούν οι συνδυασμοί που αποτελούνται από πολύ μεγάλες παροχές νερού και πολύ μικρές παροχές αέρα όπου η επίδραση του αέρα μπορεί να χαρακτηριστεί αμελητέα. Φαίνεται τελικά ότι η ανάδευση που προκαλεί ο αέρας στο νερό υπερκαλύπτει τις πιθανές αρνητικές επιδράσεις που μπορεί να έχει η μικρή του θερμική αγωγιμότητα και η μειωμένη ικανότητα του να μεταφέρει θερμότητα.
2. Η επίδραση του αέρα είναι ιδιαίτερα θετική στις μικρές παροχές του νερού (έχουμε σε μερικές περιπτώσεις συντελεστή  $h_2$  τριπλάσιο από τον αντίστοιχο συντελεστή για μονοφασικό νερό στη θέση του ψυχρού ρεύματος). Κάτι πολύ σημαντικό που παρατηρήθηκε, είναι ότι η θετική αυτή επιρροή του αέρα φαίνεται να υπάρχει για όλες τις παροχές του αέρα
3. Αυξάνοντας την παροχή του νερού παρατηρούμε μία διαφοροποίηση της συμπεριφοράς του  $h_2$  για τις διάφορες παροχές του αέρα. Πλέον, μόνο οι μεγάλες παροχές του αέρα δίνουν σχετικά μεγάλες αυξήσεις στον  $h_2$  ενώ η θετική επιρροή χάνεται στις πολύ μικρές παροχές του αέρα. Αξιοσημείωτη μπορεί να χαρακτηριστεί η πτώση που παρουσιάζει ο  $h_2$  στις μεγάλες παροχές του νερού έχοντας την παροχή του αέρα στα  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  (περίπου  $3 \text{ m/s}$ ). Πραγματικά, αυτό αποτέλεσε ένα από τα μεγαλύτερα 'μυστήρια' της διπλωματικής καθώς η οπτική παρατήρηση δεν επιβεβαίωσε τις αρχικές σκέψεις για υποτιθέμενο όριο αλλαγής στη μορφή ροής του διαφασικού μίγματος.
4. Η οπτική παρατήρηση έδειξε ότι έχουμε 5 περιοχές ροής του διαφασικού μίγματος για τους διάφορους συνδυασμούς παροχών των πειραμάτων. Στην

ουσία οι κυρίαρχες μορφές ροής είναι 3 (A, B, C), όμως υπάρχουν περιπτώσεις που έχουμε συνδυασμούς τους, οι οποίοι θεωρούνται ξεχωριστές περιοχές ροής.

5. Στις μικρές παροχές του νερού και ανεξάρτητα από την παροχή του αέρα, το νερό ρέει με πολύ μικρή φαινομενική ταχύτητα με την μορφή film που διαβρέχει τα τοιχώματα. Αυτή είναι η περιοχή ροής A. Αυξάνοντας την παροχή του νερού και κρατώντας την παροχή του αέρα σε σχετικά χαμηλά επίπεδα έχουμε πάλι έντονη την A περιοχή ροής, με παράλληλη εμφάνιση θυλάκων νερού με διεσπαρμένες φυσαλλίδες μέσα τους (περιοχή AB).
6. Στις σχετικά ‘μικρό- μεσαίες’ παροχές του νερού σε συνδυασμό με μεσαίες και μεγάλες παροχές αέρα μπαίνουμε στην περιοχή των slugs του νερού (περιοχή C). Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από μεγάλους θύλακες αέρα ανάμεσα στους οποίους το νερό ρέει με τη μορφή ταινιοειδών σχηματισμών (slugs) που καταλαμβάνουν την επιφάνεια της ροής περιοδικά. Αυξάνοντας την παροχή του νερού, τα slugs μεγαλώνουν και εμφανίζονται μόνο σε μεγάλες παροχές του αέρα.
7. Στις μεγάλες παροχές του νερού, ανάλογα με την παροχή του αέρα, συναντάμε 2 περιοχές ροής. Αρχικά, για πολύ μικρές παροχές αέρα παρατηρούμε κυριαρχία του υγρού με τον αέρα να είναι διεσπαρμένος με την μορφή φυσαλλίδων (περιοχή B). Αυξάνοντας κάπως την παροχή του αέρα έχουμε πάλι την περιοχή B να επικρατεί ενώ εμφανίζονται θύλακες της περιοχής A (περιοχή BA).
8. Φαίνεται πως η μορφή ροής του νερού στην περιοχή A (μικρές παροχές νερού) αυξάνει εντυπωσιακά την ικανότητα του να μεταδίδει θερμότητα ενώ η ύπαρξη μίας μόνο περιοχής ροής (A) για όλες τις παροχές του αέρα δικαιολογεί την σχετικά ομοιόμορφη συμπεριφορά του  $h_2$  για τις μικρές παροχές του νερού. Ακόμα, οι περιοχές AB, BA και C χαρακτηρίζονται από το νερό να κυκλοφορεί σε συνθήκες έντονης ανάδευσης, κάτι που δικαιολογεί τις μεγάλες τιμές του  $h_2$  και επιβεβαιώνει το ρόλο του αέρα στο διαφασικό μίγμα. Από την άλλη, η ομαλότητα που παρουσιάζει η ροή στην καθαρή περιοχή B (υψηλές παροχές νερού – πολύ χαμηλές παροχές αέρα) εξηγεί την αμελητέα επίδραση του αέρα στις συγκεκριμένες παροχές.
9. Εξετάζοντας τον συντέλεστη  $h_2$  βάση τις απόλυτες τιμές του, βλέπουμε ότι οι μεγαλύτερες τιμές του (κοντά στις  $20000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) παρατηρούνται στους συνδυασμούς υψηλών παροχών τόσο νερού όσο και αέρα (περιοχή ροής B+A,

ξ  
β). Όσον αφορά την αυξητική επίδραση του αέρα, αυτή μειώνεται κατά τη μετάβαση από τη μία περιοχή ροής στην άλλη με την εξής σειρά.

$$A \longrightarrow AB \longrightarrow C \longrightarrow BA \longrightarrow B$$

## **6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΟΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

Παρουσιάζονται προτάσεις για τη συνέχεια της ερευνητικής προσπάθειας στον εναλλάκτη πλακών – πλαισίου.

- Στην παρούσα εργασία, ένα από τα πιο ενδιαφέροντα συμπεράσματα που εξήχθησαν αφορά την πολύ θετική επίδραση του αέρα στην ικανότητα μετάδοσης θερμότητας από το διφασικό μίγμα. Η εντατικοποίηση όμως της μεταφοράς θερμότητας έχει αρνητικές επιπτώσεις στην πτώση πίεσης στον εναλλάκτη. Η πραγματική σχέση μεταξύ μεταφοράς θερμότητας και πτώσης πίεσης στον εναλλάκτη πλακών - πλαισίου είναι ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα για τη συνέχεια των διπλωματικών στη συσκευή.
- Ακόμα μπορεί να ξεκινήσει προσπάθεια μελέτης των διάφορων παραμέτρων της διφασικής ροής (ταχύτητες, κλάσμα κενού, λόγος ολίσθησης) στη γεωμετρία του εναλλάκτη πλακών – πλαισίου με απώτερο σκοπό, σε συνδυασμό με τη μελέτη της πτώσης πίεσης, την κατασκευή ενός μοντέλου ροής στα πρότυπα των μοντέλων που υπάρχουν για την κυλινδρική γεωμετρία.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Αργυρόπουλος Π. , Κατασκευή κυκλώματος εναλλαγής θερμότητας. Σύγκριση εναλλακτών έμμεσης και άμεσης επαφής, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ,1995.
- Carlson J., Understand the capabilities of plate and frame heat exchangers, *Chemical Engineering Progress*, July, pp 26 – 31, 1992.
- Καραγιάννης Γ., Διφασική ροή νερού – αέρα σε εναλλάκτη πλακών και πλαισίου, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ,1998.
- Martin H. Heat exchangers, Hemisphere Publishing Corporation, 1988.
- Μποντόζογλου Β., Μεταφορά θερμότητας με αλλαγή φάσης, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 1998.
- Πασπαλάς Κ., Μετάδοση Θερμότητας, Εκδόσεις Δ. Σαλονικίδη, 1993.
- Von Carman Institute for Fluid Dynamics, Industrial Heat Exchangers, *Lecture Series 1991 – 04*, 1991.

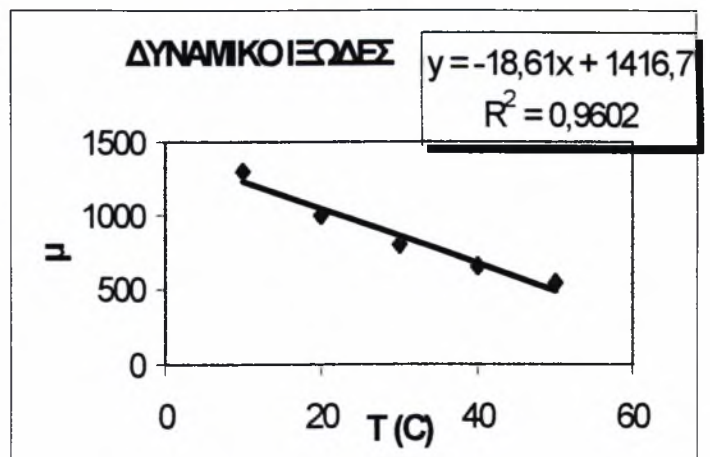
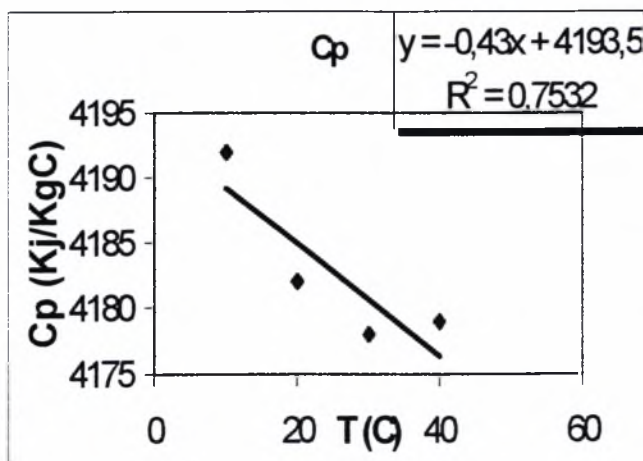
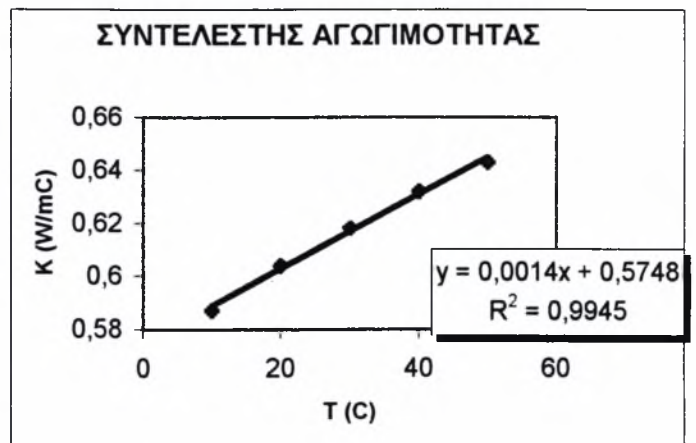
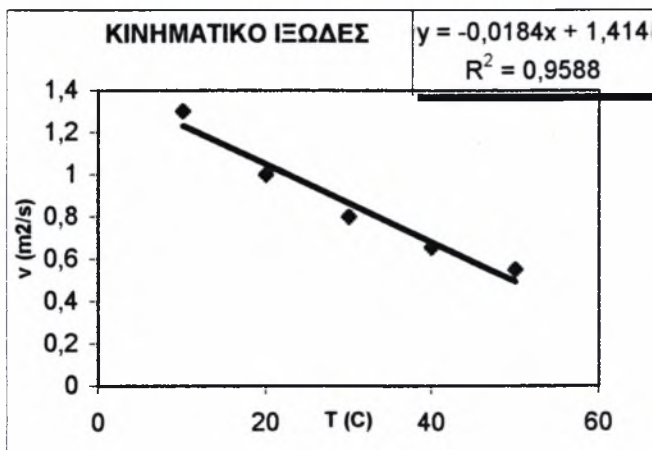
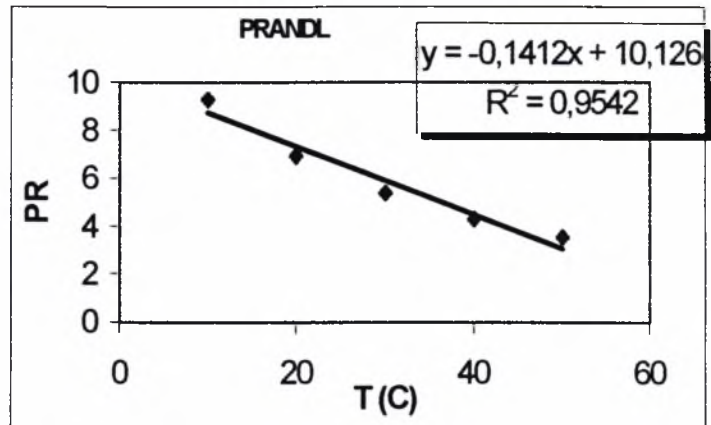
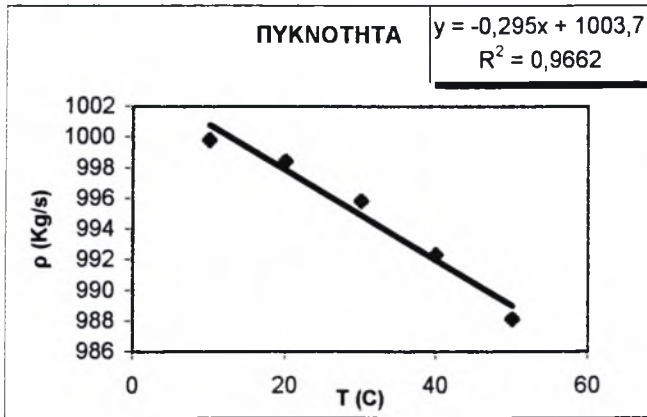
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

**7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι διάφορες προσεγγίσεις των ιδιοτήτων των ρευστών που συμμετείχαν στη διεργασία καθώς και οι πίνακες με τα συνολικά πειραματικά δεδομένα, τις μετρήσεις, τα αποτελέσματα που έδωσε η ανάλυση και τις ιδιότητες των ρευστών.

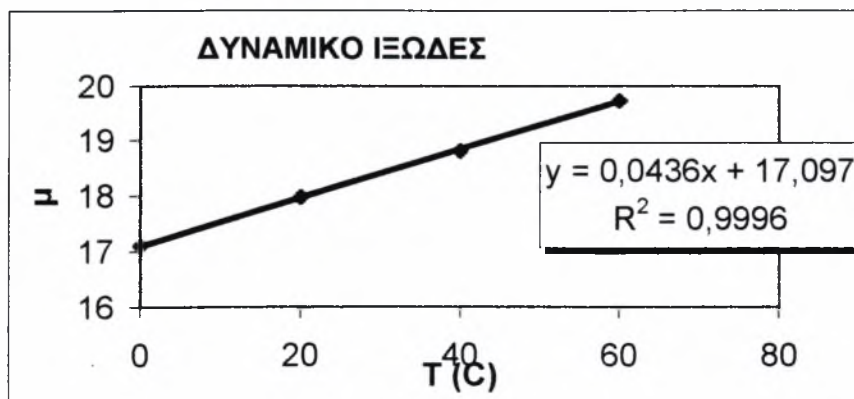
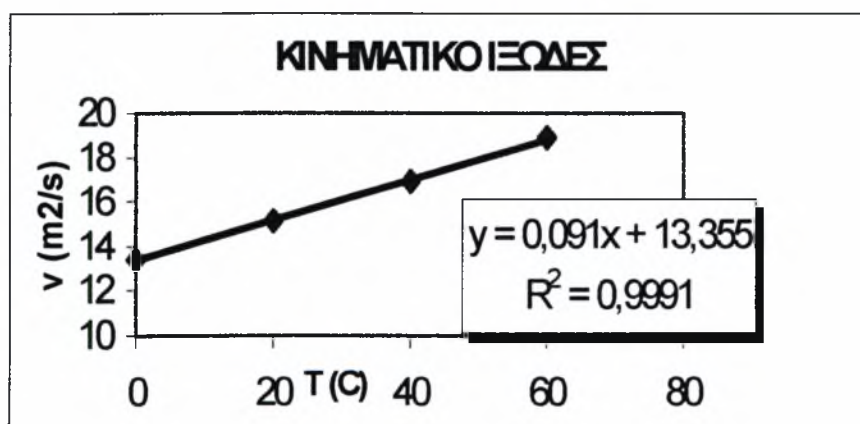
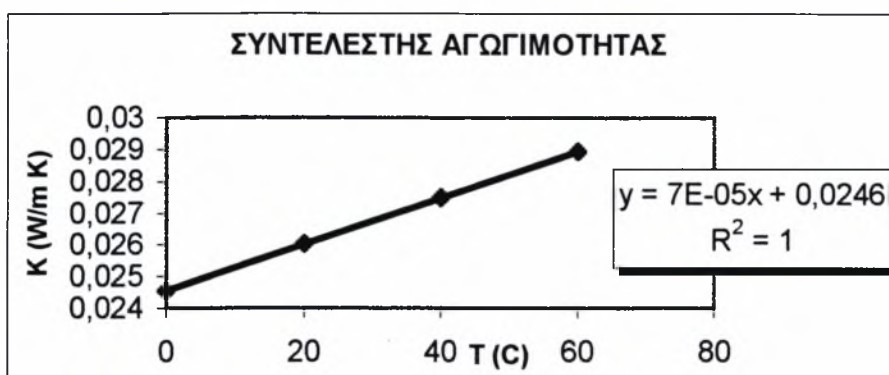
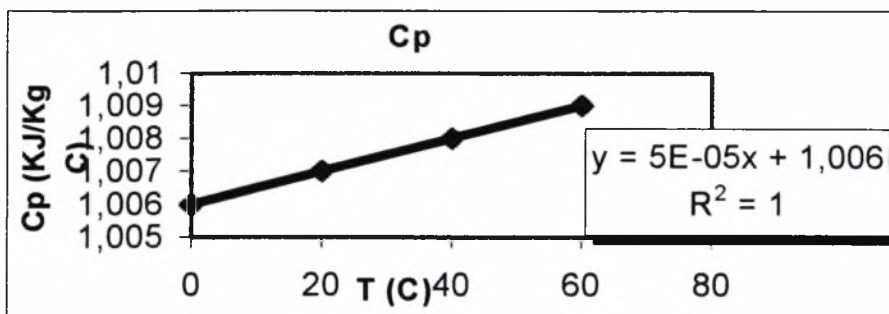
Έτσι, παρατίθενται οι προσεγγίσεις των ιδιοτήτων του νερού και του αέρα στις συνθήκες των πειραμάτων, η προσέγγιση της ενθαλπίας εισόδου του αέρα από το ψυχομετρικό διάγραμμα καθώς και όλα τα στοιχεία που εμπλέκονται στους υπολογισμούς.

**7.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ  $P = 1\text{bar}$**

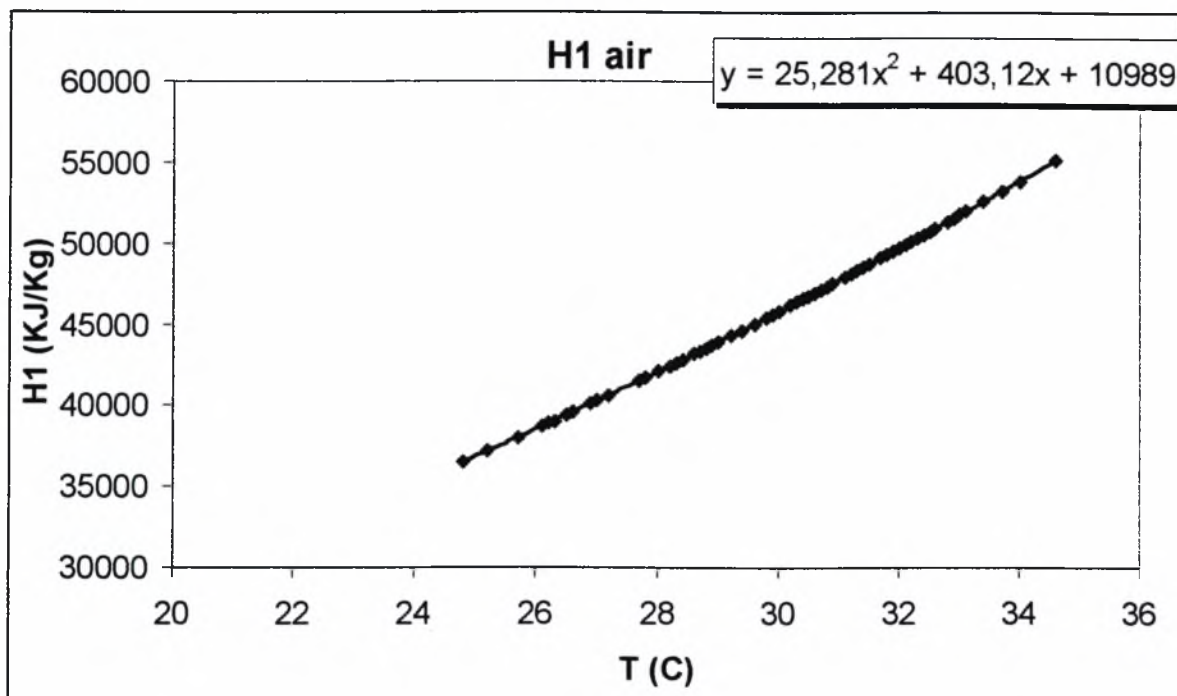




### 7.3 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΕΡΑ



**7.4 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΑΠΟ ΤΟ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ**



**7.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΛΟΜΕΝΑ – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-1: Παροχές θερμού νερού, ψυχρού νερού και αέρα.**

A/A	Mhw (Kg/s)	Mhw(GPM)	Mhw (lt/h)	Mcw (Kg/s)	Mcw (GPM)	Mcw (lt/h)	Ma (m3/h)	Ma (Kg/s)
1	0,01667		60	0,01667	0,26			
2	0,02083		75	0,02083	0,33			
3	0,025		90	0,025	0,39			
4	0,02916		105	0,02916	0,46			
5	0,0333		120	0,0333	0,52			
6	0,0375		135	0,0375	0,59			
7	0,0416		150	0,0416	0,66			
8	0,0458		165	0,0458	0,72			
9	0,05		180	0,05	0,79			
10	0,054		195	0,054	0,85			
11	0,058		210	0,058	0,92			
12	0,0625		225	0,0625	0,99			
13	0,0666		240	0,0666	1,05			
14	0,07		255	0,07	1,12			
15	0,075		270	0,075	1,18			

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

16	0,08		285	0,08	1,25			
17	0,0833		300	0,0833	1,32			
18	0,104	1,65		0,104	1,65			
19	0,132	2,1		0,132		477		
20	0,141	2,25		0,141		511		
21	0,148	2,35		0,148		533		
22	0,157	2,5		0,157		568		
23	0,17	2,68		0,17		610		
24	0,176	2,8		0,176		635		
25	0,185	2,93		0,185		665		
26	0,192	3,05		0,192		692		
27	0,2	3,28		0,2		744		
28	0,216	3,43		0,216		780		
29	0,236	3,75		0,236		852		
30	0,252	4		0,252		908		
31	0,176	2,8		0,347		1250	2	0,0012575
32	0,176	2,8		0,347		1250	4	0,0029748
33	0,176	2,8		0,347		1250	6	0,0055666
34	0,176	2,8		0,347		1250	10	0,0112493
35	0,176	2,8		0,347		1250	12,5	0,0166794
36	0,176	2,8		0,347		1250	15	0,0233305
37	0,176	2,8		0,347		1250	17,5	0,0312795
38	0,176	2,8		0,347		1250	20	0,0405988
39	0,176	2,8		0,3125		1125	2	0,0012575
40	0,176	2,8		0,3125		1125	6	0,0051895
41	0,176	2,8		0,3125		1125	10	0,0099208
42	0,176	2,8		0,3125		1125	12,5	0,0140616
43	0,176	2,8		0,3125		1125	15	0,0200153
44	0,176	2,8		0,3125		1125	17,5	0,0285515
45	0,176	2,8		0,3125		1125	20	0,037342
46	0,176	2,8		0,277		1000	2	0,0012575
47	0,176	2,8		0,277		1000	6	0,0044622
48	0,176	2,8		0,277		1000	10	0,0099208
49	0,176	2,8		0,277		1000	12,5	0,014062
50	0,176	2,8		0,277		1000	15	0,020015
51	0,176	2,8		0,277		1000	17,5	0,024618
52	0,176	2,8		0,277		1000	20	0,034177
53	0,176	2,8		0,277		1000	22,5	0,04201
54	0,176	2,8		0,243		875	2	0,001041
55	0,176	2,8		0,243		875	6	0,004462
56	0,176	2,8		0,243		875	10	0,008649
57	0,176	2,8		0,243		875	12,5	0,012401
58	0,176	2,8		0,243		875	15	0,017901
59	0,176	2,8		0,243		875	17,5	0,024618
60	0,176	2,8		0,243		875	20	0,03263
61	0,176	2,8		0,243		875	22,5	0,043829
62	0,176	2,8		0,208		750	2	0,000938
63	0,176	2,8		0,208		750	6	0,004113
64	0,176	2,8		0,208		750	10	0,008035
65	0,176	2,8		0,208		750	12,5	0,010811
66	0,176	2,8		0,208		750	15	0,016874
67	0,176	2,8		0,208		750	17,5	0,022106

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

68	0,176	2,8		0,208		750	20	0,029609
69	0,176	2,8		0,173		625	2	0,000938
70	0,176	2,8		0,173		625	6	0,003773
71	0,176	2,8		0,173		625	10	0,007437
72	0,176	2,8		0,173		625	12,5	0,010811
73	0,176	2,8		0,173		625	15	0,014881
74	0,176	2,8		0,173		625	17,5	0,019686
75	0,176	2,8		0,173		625	20	0,026687
76	0,176	2,8		0,173		625	22,5	0,038449
77	0,176	2,8		0,138		500	2	0,000938
78	0,176	2,8		0,138		500	6	0,003123
79	0,176	2,8		0,138		500	10	0,006854
80	0,176	2,8		0,138		500	12,5	0,010044
81	0,176	2,8		0,138		500	15	0,013917
82	0,176	2,8		0,138		500	17,5	0,018512
83	0,176	2,8		0,138		500	20	0,025264
84	0,176	2,8		0,094	1,5		20	0,022499
85	0,176	2,8		0,094	1,5		17,5	0,017361
86	0,176	2,8		0,094	1,5		15	0,012053
87	0,176	2,8		0,094	1,5		12,5	0,009296
88	0,176	2,8		0,094	1,5		10	0,006288
89	0,176	2,8		0,094	1,5		6	0,002813
90	0,176	2,8		0,094	1,5		2	0,000938
91	0,176	2,8		0,075	1,2		2	0,000938
92	0,176	2,8		0,075	1,2		6	0,002813
93	0,176	2,8		0,075	1,2		10	0,005737
94	0,176	2,8		0,075	1,2		12,5	0,008568
95	0,176	2,8		0,075	1,2		15	0,012053
96	0,176	2,8		0,075	1,2		17,5	0,017361
97	0,176	2,8		0,075	1,2		20	0,023868
98	0,176	2,8		0,075	1,2		22,5	0,031652
99	0,176	2,8		0,075	1,2		25	0,042722
100	0,176	2,8		0,075	1,2		27,5	0,058109
101	0,176	2,8		0,069		250	2	0,000938
102	0,176	2,8		0,069		250	6	0,003123
103	0,176	2,8		0,069		250	10	0,005737
104	0,176	2,8		0,069		250	12,5	0,008568
105	0,176	2,8		0,069		250	15	0,012053
106	0,176	2,8		0,069		250	17,5	0,016236
107	0,176	2,8		0,069		250	20	0,022499
108	0,176	2,8		0,06309	1		27,5	0,058109
109	0,176	2,8		0,06309	1		25	0,042722
110	0,176	2,8		0,06309	1		22,5	0,031652
111	0,176	2,8		0,06309	1		20	0,022499
112	0,176	2,8		0,06309	1		17,5	0,016236
113	0,176	2,8		0,06309	1		15	0,012053
114	0,176	2,8		0,06309	1		12,5	0,008568
115	0,176	2,8		0,06309	1		10	0,005204
116	0,176	2,8		0,06309	1		6	0,002813
117	0,176	2,8		0,06309	1		2	0,000938
118	0,176	2,8		0,05	0,8		2	0,002526
119	0,176	2,8		0,05	0,8		6	0,006347

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

120	0,176	2,8		0,05	0,8		10	0,009278
121	0,176	2,8		0,05	0,8		12,5	0,009296
122	0,176	2,8		0,05	0,8		15	0,010281
123	0,176	2,8		0,05	0,8		17,5	0,009107
124	0,176	2,8		0,05	0,8		20	0,009377
125	0,176	2,8		0,05	0,8		22,5	0,01055
126	0,176	2,8		0,031	0,5		2	0,000938
127	0,176	2,8		0,031	0,5		6	0,002813
128	0,176	2,8		0,031	0,5		10	0,005204
129	0,176	2,8		0,031	0,5		12,5	0,007859
130	0,176	2,8		0,031	0,5		15	0,011156
131	0,176	2,8		0,031	0,5		17,5	0,015136
132	0,176	2,8		0,031	0,5		20	0,019842
133	0,176	2,8		0,031	0,5		22,5	0,028423
134	0,176	2,8		0,031	0,5		25	0,040788
135	0,176	2,8		0,018	0,3		2	0,000938
136	0,176	2,8		0,018	0,3		6	0,002813
137	0,176	2,8		0,018	0,3		10	0,005204
138	0,176	2,8		0,018	0,3		12,5	0,007172
139	0,176	2,8		0,018	0,3		15	0,011156
140	0,176	2,8		0,018	0,3		17,5	0,015136
141	0,176	2,8		0,018	0,3		20	0,021156
142	0,176	2,8		0,018	0,3		22,5	0,028423
143	0,176	2,8		0,018	0,3		25	0,042722
144	0,176	2,8		0,018	0,3		27,5	0,058109

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-2: Θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των ρευμάτων, μέση θερμοκρασία, θερμοκρασιακή διαφορά στις άκρες του εναλλάκτη.**

A/A	T1	T2	Twm	T3	T4	Twc	ΔT1(1-4)	ΔT2(2-3)
1	39,3	33,8	36,55	24,2	29,2	26,7	10,1	9,6
2	39,4	33,7	36,55	23,9	29,8	26,85	9,6	9,8
3	40,3	35,1	37,7	24,4	30,2	27,3	10,1	10,7
4	40,6	34,7	37,65	24,5	30,3	27,4	10,3	10,2
5	40,7	34,8	37,75	24,6	30,6	27,6	10,1	10,2
6	40,8	34,7	37,75	24,8	30,6	27,7	10,2	9,9
7	40,7	34,6	37,65	25,1	30,4	27,75	10,3	9,5
8	40,7	34,9	37,8	25,4	31,1	28,25	9,6	9,5
9	40,7	34,7	37,7	25,8	31,4	28,6	9,3	8,9
10	40,6	34,7	37,65	26,1	31,6	28,85	9	8,6
11	40,4	35	37,7	26,4	31,9	29,15	8,5	8,6
12	40,4	34,9	37,65	26,9	32,2	29,55	8,2	8
13	40,4	34,9	37,65	27,2	32,9	30,05	7,5	7,7
14	40,3	35,1	37,7	27,7	33,3	30,5	7	7,4
15	40,4	35,2	37,8	28,1	34,1	31,1	6,3	7,1
16	40,6	35,2	37,9	28,4	34,4	31,4	6,2	6,8
17	40,4	34,8	37,6	28,7	34,9	31,8	5,5	6,1
18	40,5	35,7	38,1	30,4	36,3	33,35	4,2	5,3
19	40,6	32,6	36,6	25,9	33,9	29,9	6,7	6,7
20	40,2	34,8	37,5	30,9	35,9	33,4	4,3	3,9
21	40,1	35,1	37,6	31,6	36,2	33,9	3,9	3,5
22	40,9	31,8	36,35	23,9	33,2	28,55	7,7	7,9

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

23	40,1	32,7	36,4	27,1	34,1	30,6	6	5,6
24	40,2	34	37,1	28,9	34,9	31,9	5,3	5,1
25	40,3	35,2	37,75	30,9	35,9	33,4	4,4	4,3
26	40,7	36,1	38,4	32,6	36,9	34,75	3,8	3,5
27	40,7	37,2	38,95	34	37,6	35,8	3,1	3,2
28	40,7	37,8	39,25	35,2	38,2	36,7	2,5	2,6
29	41	38,6	39,8	36,3	38,8	37,55	2,2	2,3
30	41	39	40	37,4	39,3	38,35	1,7	1,6
31	41,9	31,3	36,6	26,6	31,8	29,2	10,1	4,7
32	40,6	31	35,8	27,2	32	29,6	8,6	3,8
33	40,3	31,1	35,7	27,7	32,2	29,95	8,1	3,4
34	39,7	31,4	35,55	28,4	32,4	30,4	7,3	3
35	39,7	31,7	35,7	28,8	32,4	30,6	7,3	2,9
36	39,4	32	35,7	29,2	32,8	31	6,6	2,8
37	39,7	32,2	35,95	29,8	33,2	31,5	6,5	2,4
38	39,7	32,5	36,1	30,2	33,3	31,75	6,4	2,3
39	40,4	29,9	35,15	24,8	30,5	27,65	9,9	5,1
40	39,9	29,4	34,65	25,2	30,7	27,95	9,2	4,2
41	39,8	29,6	34,7	25,7	31,1	28,4	8,7	3,9
42	39,6	29,7	34,65	26,1	31,2	28,65	8,4	3,6
43	39,6	30,1	34,85	26,3	31,4	28,85	8,2	3,8
44	39,5	30,3	34,9	26,9	31,6	29,25	7,9	3,4
45	39,4	30,4	34,9	27,2	31,7	29,45	7,7	3,2
46	40,1	34,2	37,15	30,9	34,7	32,8	5,4	3,3
47	40	33,9	36,95	31,2	35,1	33,15	4,9	2,7
48	40,1	34,1	37,1	31,5	35,2	33,35	4,9	2,6
49	40,2	34,3	37,25	32	35,4	33,7	4,8	2,3
50	40,2	34,6	37,4	32,2	35,4	33,8	4,8	2,4
51	40,5	34,7	37,6	32,4	35,8	34,1	4,7	2,3
52	40,5	34,9	37,7	32,8	35,9	34,35	4,6	2,1
53	40,5	34,9	37,7	32,9	36	34,45	4,5	2
54	39,3	31,9	35,6	27,8	32,7	30,25	6,6	4,1
55	39,4	32,1	35,75	28,2	33,4	30,8	6	3,9
56	39,5	32	35,75	28,4	33,7	31,05	5,8	3,6
57	39,6	32,2	35,9	28,7	33,9	31,3	5,7	3,5
58	39,7	32,4	36,05	29	34,1	31,55	5,6	3,4
59	39,8	32,4	36,1	29,2	34,1	31,65	5,7	3,2
60	39,8	32,6	36,2	29,4	34,1	31,75	5,7	3,2
61	40	32,7	36,35	29,6	34,3	31,95	5,7	3,1
62	40,7	31,3	36	25,2	33,1	29,15	7,6	6,1
63	40,2	31,3	35,75	25,7	33,3	29,5	6,9	5,6
64	40,2	31,3	35,75	26,2	33,7	29,95	6,5	5,1
65	39,7	31,3	35,5	26,5	33,7	30,1	6	4,8
66	39,9	31,6	35,75	27	33,8	30,4	6,1	4,6
67	39,9	31,7	35,8	27,2	33,8	30,5	6,1	4,5
68	39,8	31,8	35,8	27,7	33,9	30,8	5,9	4,1
69	40,1	34,4	37,25	30,2	36,1	33,15	4	4,2
70	40,2	34,4	37,3	30,3	36,1	33,2	4,1	4,1
71	40,6	34,7	37,65	30,5	36,5	33,5	4,1	4,2
72	40,7	34,7	37,7	30,8	36,7	33,75	4	3,9
73	40,8	34,8	37,8	30,9	36,8	33,85	4	3,9
74	40,9	34,8	37,85	31,1	36,8	33,95	4,1	3,7

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

75	40,9	34,9	37,9	31,2	36,8	34	4,1	3,7
76	41,1	34,9	38	31,4	36,8	34,1	4,3	3,5
77	40,1	33,9	37	28,3	36,1	32,2	4	5,6
78	40	34	37	28,6	36,3	32,45	3,7	5,4
79	40,3	34,2	37,25	28,9	36,3	32,6	4	5,3
80	40,5	34,4	37,45	29,2	36,5	32,85	4	5,2
81	40,7	34,7	37,7	29,4	36,8	33,1	3,9	5,3
82	40,6	34,7	37,65	29,6	36,9	33,25	3,7	5,1
83	40,7	34,7	37,7	29,9	36,9	33,4	3,8	4,8
84	41,1	36,9	39	31,1	38,6	34,85	2,5	5,8
85	41,1	37,1	39,1	31,5	38,6	35,05	2,5	5,6
86	40,9	37,1	39	31,8	38,8	35,3	2,1	5,3
87	40,9	37,3	39,1	31,9	38,9	35,4	2	5,4
88	41,1	37,4	39,25	32,4	39,2	35,8	1,9	5
89	40,9	37,6	39,25	32,6	39,4	36	1,5	5
90	41,1	38	39,55	32,9	39,5	36,2	1,6	5,1
91	40,8	38,1	39,45	32,2	39,5	35,85	1,3	5,9
92	40,8	37,8	39,3	32,4	39,5	35,95	1,3	5,4
93	40,8	37,8	39,3	32,3	39,4	35,85	1,4	5,5
94	40,9	37,8	39,35	32,2	39,4	35,8	1,5	5,6
95	41	37,9	39,45	32,2	39	35,6	2	5,7
96	40,9	37,9	39,4	32,1	39	35,55	1,9	5,8
97	40,9	37,7	39,3	32,1	38,8	35,45	2,1	5,6
98	41	37,9	39,45	32	38,8	35,4	2,2	5,9
99	41,1	37,7	39,4	32,1	38,7	35,4	2,4	5,6
100	41	37,6	39,3	31,9	38,6	35,25	2,4	5,7
101	40,8	37,6	39,2	30,6	39,2	34,9	1,6	7
102	40,9	37,7	39,3	30,6	39,4	35	1,5	7,1
103	41,1	37,9	39,5	30,5	39,5	35	1,6	7,4
104	41,1	37,6	39,35	30,5	39	34,75	2,1	7,1
105	41,3	37,6	39,45	30,6	39	34,8	2,3	7
106	41,3	37,6	39,45	30,4	38,7	34,55	2,6	7,2
107	41,2	37,6	39,4	30,5	38,6	34,55	2,6	7,1
108	40,9	38	39,45	31,7	38,8	35,25	2,1	6,3
109	40,9	37,9	39,4	31,9	39	35,45	1,9	6
110	41	38,3	39,65	32,3	39,1	35,7	1,9	6
111	41	38,5	39,75	32,5	39,2	35,85	1,8	6
112	41	38,6	39,8	32,8	39,4	36,1	1,6	5,8
113	40,9	38,6	39,75	33,1	39,9	36,5	1	5,5
114	40,9	38,7	39,8	33,4	39,9	36,65	1	5,3
115	41	38,8	39,9	33,7	40,1	36,9	0,9	5,1
116	41,1	39	40,05	34	40,2	37,1	0,9	5
117	41	39,1	40,05	34,6	40,2	37,4	0,8	4,5
118	42	39,9	40,95	32,1	40,9	36,5	1,1	7,8
119	41,9	39,6	40,75	31,8	40,8	36,3	1,1	7,8
120	42,2	39,6	40,9	31,3	41,1	36,2	1,1	8,3
121	42,3	39,5	40,9	30,9	40,9	35,9	1,4	8,6
122	42,5	39,6	41,05	30,6	40,8	35,7	1,7	9
123	42,7	39,7	41,2	30,3	40,6	35,45	2,1	9,4
124	43,2	39,9	41,55	30	40,6	35,3	2,6	9,9
125	43,3	40,2	41,75	29,6	40,6	35,1	2,7	10,6
126	40,7	39,6	40,15	33,1	40,2	36,65	0,5	6,5

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

127	40,7	39,7	40,2	33,1	40,1	36,6	0,6	6,6
128	40,8	39,6	40,2	32,6	39,9	36,25	0,9	7
129	40,8	39,6	40,2	32,2	39	35,6	1,8	7,4
130	40,6	39,6	40,1	31,9	39,7	35,8	0,9	7,7
131	40,7	39,3	40	31,4	39,3	35,35	1,4	7,9
132	40,7	39,2	39,95	31,1	39,3	35,2	1,4	8,1
133	40,7	39,2	39,95	30,6	38,9	34,75	1,8	8,6
134	40,7	38,9	39,8	30,2	38,5	34,35	2,2	8,7
135	40,6	40,3	40,45	33	40,5	36,75	0,1	7,3
136	40,8	40,2	40,5	32,9	40,2	36,55	0,6	7,3
137	40,8	40,1	40,45	31,9	39,9	35,9	0,9	8,2
138	40,9	40,1	40,5	31,2	39,5	35,35	1,4	8,9
139	40,8	39,9	40,35	30,7	40,1	35,4	0,7	9,2
140	40,9	39,9	40,4	30	39,9	34,95	1	9,9
141	40,9	39,7	40,3	29,6	39,6	34,6	1,3	10,1
142	40,9	39,6	40,25	28,9	39	33,95	1,9	10,7
143	40,9	39,4	40,15	28,6	38,4	33,5	2,5	10,8
144	40,8	39,4	40,1	28	38,2	33,1	2,6	11,4

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-3: Θερμορροές ρευμάτων και λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας.**

A/A	Q <sub>hw</sub> (W)	Q <sub>cw</sub> (W)	H <sub>2</sub> (J/Kg)	H <sub>1</sub> (J/Kg)	ΔH <sub>air</sub>	ΔT <sub>ln</sub>
1	383,04008	348,57128				9,847885
2	496,03241	513,94966				9,699656
3	543,04757	606,35535				10,39712
4	718,68121	707,2456				10,24992
5	820,70775	835,49007				10,14992
6	955,54994	909,49561				10,04925
7	1060,0343	921,952				9,894613
8	1109,6436	1091,5839				9,549913
9	1253,1867	1170,7366				9,098535
10	1330,8911	1241,7851				8,798485
11	1308,3269	1333,728				8,549903
12	1435,9505	1384,8878				8,099588
13	1530,1488	1587,0312				7,599561
14	1520,5332	1638,7109				7,198148
15	1629,1259	1881,0572				6,69204
16	1804,5517	2006,399				6,495385
17	1948,6418	2158,7129				5,794828
18	2085,2168	2564,3323				4,728772
19	4411,7167	4414,759				6,7
20	3180,6533	2946,2923				4,096748
21	3091,2257	2845,0108				3,696396
22	5968,9222	6105,0044				7,799573
23	5255,7328	4974,607				5,797701
24	4558,5393	4413,8508				5,199359
25	3941,2519	3865,7027				4,349808
26	3689,1158	3449,8171				3,647945
27	2923,7261	3008,2363				3,149735



**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

28	2616,2363	2707,1619				2,549673
29	2365,505	2464,6386				2,24963
30	2104,8552	1999,9521				1,649495
31	7794,0328	7544,0954	275086,86	39599,816	249,93743	7,059073
32	7059,3279	6963,4938	77683,124	40657,759	95,834054	5,876871
33	6765,2589	6528,0405	88850,893	41553,282	237,21839	5,414194
34	6103,5343	5802,4341	71802,787	42828,251	301,10022	4,83547
35	5882,8338	5222,0832	85600,527	43567,929	660,75057	4,766219
36	5441,6213	5221,8684	54163,349	44315,696	219,75289	4,431744
37	5515,0148	4931,5109	64739,315	45452,515	583,50387	4,115088
38	5294,3325	4496,262	66340,347	46220,507	798,0705	4,006297
39	7721,6564	7448,4937	291927,17	36535,202	273,1627	7,236608
40	7722,0537	7186,9213	151768,88	37202,07	535,1324	6,376583
41	7501,385	7055,9235	87013,202	38047,032	445,46152	5,982453
42	7280,7935	6663,7564	85823,144	38732,102	617,03709	5,665068
43	6986,4762	6663,6194	56044,927	39077,671	322,85688	5,720726
44	6765,8159	6140,7299	62708,919	40126,512	625,08594	5,337525
45	6618,7329	5879,3013	60843,258	40657,759	739,43158	5,124879
46	4337,9425	4399,2322	-11197,19	47583,96	-61,28975	4,264163
47	4485,0837	4514,8389	40376,696	48175,881	-29,75521	3,691378
48	4411,4896	4283,2206	63220,754	48772,352	128,26906	3,629342
49	4337,8978	3935,7907	81238,451	49776,584	402,10715	3,398093
50	4117,2632	3704,2355	72423,979	50181,816	413,02772	3,462468
51	4264,2205	3935,6287	64910,767	50589,071	328,59182	3,358271
52	4117,136	3588,275	67702,441	51409,647	528,86102	3,188292
53	4117,136	3588,2381	64769,582	51616,055	528,89794	3,082879
54	5441,6773	4977,7124	595467,01	41733,904	463,96484	5,251189
55	5368,0582	5282,1715	64714,651	42461,446	85,88673	4,874845
56	5515,1283	5383,6133	59983,628	42828,251	131,51505	4,612894
57	5441,5093	5281,8998	57621,024	43382,251	159,60944	4,51094
58	5367,8925	5180,1916	55269,689	43940,801	187,70089	4,408896
59	5441,3972	4976,9956	64314,936	44315,696	464,40163	4,330389
60	5294,278	4773,8038	61349,882	44692,613	520,47414	4,330389
61	5367,7267	4773,7056	59006,569	45071,553	594,02112	4,268845
62	6912,1163	6870,1625	93943,728	37202,07	41,953778	6,82254
63	6544,6189	6609,0324	19778,97	38047,032	-64,41344	6,227401
64	6544,6189	6521,7695	42134,418	38904,634	22,849376	5,771729
65	6177,1026	6260,8022	30731,67	39425,262	-83,69954	5,377704
66	6103,4087	5912,7974	52531,296	40303,089	190,61129	5,314768
67	6029,8426	5738,8325	54708,758	40657,759	291,01005	5,259501
68	5882,7732	5390,8581	58995,923	41553,282	491,91511	4,945525
69	4190,8504	4265,7559	-57106,01	46220,507	-74,90544	4,099187
70	4264,3522	4193,4334	69130,304	46413,769	70,918827	4
71	4337,7192	4337,9006	46773,235	46801,81	-0,181387	4,149799
72	4411,2172	4265,4925	62797,824	47387,664	145,72464	3,949789
73	4411,1718	4265,4487	58553,729	47583,96	145,72312	3,949789
74	4484,6682	4120,8148	68337,795	47978,068	363,85345	3,896579
75	4411,1264	4048,4989	62836,228	48175,881	362,62742	3,896579
76	4558,117	3903,8695	66467,27	48573,023	654,24747	3,886286
77	4558,5862	4498,9796	124485,14	42644,596	59,606642	4,755221
78	4411,535	4441,1861	31272,487	43197,079	-29,65107	4,496568
79	4484,9452	4268,087	81224,228	43754,112	216,85819	4,619554

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

80	4484,8529	4210,3019	75809,016	44315,696	274,55101	4,573794
81	4411,2172	4267,8675	56304,058	44692,613	143,34972	4,564271
82	4337,7192	4210,1286	52700,805	45071,553	127,59062	4,362625
83	4411,2172	4037,0473	61678,836	45643,755	374,16988	4,28055
84	3087,4388	2945,8527	54940,827	47978,068	141,58609	3,921256
85	2940,3876	2788,6832	58618,429	48772,352	151,70447	3,843884
86	2793,397	2749,3352	53635,969	49373,374	44,061806	3,456584
87	2646,3489	2749,3069	36478,146	49574,726	-102,958	3,4231
88	2719,8166	2670,6454	60159,929	50589,071	49,171217	3,203856
89	2425,7823	2670,5904	-63142	50998,348	-244,808	2,907042
90	2278,6949	2591,9903	-387026	51616,055	-313,2954	3,019228
91	1984,6901	2287,5013	-373061,7	50181,816	-302,8111	3,041145
92	2205,2453	2224,8071	41470,721	50589,071	-19,56177	2,879143
93	2205,2453	2224,83	46123,924	50385,19	-19,58467	2,996472
94	2278,7418	2256,1772	53350,008	50181,816	22,564535	3,112423
95	2278,7183	2130,8779	64504,962	50181,816	147,84039	3,53283
96	2205,2226	2162,2255	52776,388	49978,947	42,997138	3,494611
97	2352,2617	2099,5739	61637,798	49978,947	252,68779	3,568409
98	2278,7183	2130,9218	54818,659	49776,584	147,79653	3,750653
99	2499,2523	2068,2476	60655,91	49978,947	431,0047	3,776712
100	2499,278	2099,6171	56711,923	49574,726	399,66093	3,81504
101	2352,2859	2479,5177	-130017,3	46996,589	-127,2318	3,658768
102	2352,2617	2537,1548	-28293,85	46996,589	-184,8932	3,602144
103	2352,2132	2594,8175	-5766,671	46801,81	-242,6042	3,787195
104	2572,773	2450,724	63850,872	46801,81	122,049	4,10456
105	2719,7606	2421,8795	75743,905	46996,589	297,8811	4,222817
106	2719,7606	2393,1091	69448,046	46607,537	326,65144	4,516137
107	2646,2671	2335,4439	62064,786	46801,81	310,8233	4,479469
108	2131,7042	1871,6426	53816,743	49172,528	260,06167	3,823005
109	2205,2226	1871,604	57841,225	49574,726	333,61859	3,56551
110	1984,6493	1792,4761	56950,744	50385,19	192,17322	3,56551
111	1837,6193	1766,0889	54328,253	50793,456	71,530448	3,488451
112	1764,1054	1739,6846	53130,159	51409,647	24,420891	3,261239
113	1690,6098	1792,3285	42132,483	52030,388	-101,7187	2,639686
114	1617,0967	1713,2287	39102,413	52655,68	-96,13205	2,578391
115	1617,08	1686,8279	36086,337	53285,523	-69,74793	2,421306
116	1543,5525	1634,0809	11485,985	53919,916	-90,5284	2,390952
117	1396,5475	1475,8985	-56543,6	55202,354	-79,35096	2,142169
118	1543,4095	1838,2342	-78290,75	49978,947	-294,8247	3,420438
119	1690,4357	1880,051	15808,963	49373,374	-189,6153	3,420438
120	1910,8978	2047,1877	31562,621	48374,199	-136,2899	3,562689
121	2057,8899	2089,0315	43613,018	47583,96	-31,14157	3,966308
122	2131,3531	2130,856	47054,722	46996,589	0,4970844	4,380185
123	2204,814	2151,8021	53831,248	46413,769	53,011854	4,870653
124	2425,2079	2214,5101	75206,406	45835,5	210,69781	5,45989
125	2278,1787	2298,1239	42602,565	45071,553	-19,94513	5,776533
126	808,51919	919,52068	-103721,2	52030,388	-111,0015	2,339227
127	735,01366	906,57435	-28191,89	52030,388	-171,5607	2,502194
128	882,0164	945,4616	35402,552	50998,348	-63,4452	2,973767
129	882,0164	880,76287	50376,819	50181,816	1,2535232	3,961255
130	735,02123	1010,266	20341,289	49574,726	-275,2448	3,167829
131	1029,0403	1023,2655	49012,635	48573,023	5,7747725	3,756377

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

132	1102,5489	1062,1401	50274,563	47978,068	40,408747	3,816812
133	1102,5489	1075,1428	48047,486	46996,589	27,406031	4,347894
134	1323,0791	1075,1871	52648,737	46220,507	247,89198	4,727735
135	220,49842	563,98916	-430379,1	51822,969	-343,4907	1,678142
136	440,99458	548,96075	1142,9854	51616,055	-107,9662	2,681394
137	514,49632	601,64107	28189,577	49574,726	-87,14475	3,303923
138	587,99277	624,23795	41882,164	48175,881	-36,24518	4,054977
139	661,50208	706,96464	42372,726	47191,874	-45,46256	3,299845
140	734,99853	744,60362	45105,721	45835,5	-9,605093	3,882166
141	882,00732	752,15196	51910,614	45071,553	129,85536	4,292325
142	955,51284	759,72429	51232,456	43754,112	195,78855	5,091444
143	1102,5262	737,19236	52163,719	43197,079	365,33381	5,672284
144	1029,0297	767,31342	46721,614	42096,664	261,7163	5,953581

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-4: Αδιάστατοι αριθμοί θερμού νερού, ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας και επιμέρους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας.**

A/A	Re	Pr	Nu	U <sub>over</sub> (w/m <sup>2</sup> c)	h <sub>1</sub> (w/m <sup>2</sup> c)	h <sub>2</sub> (w/m <sup>2</sup> c)
1	61,338596	4,96514	0,8473178	110,4990617	221,69805	221,69805
2	76,645648	4,96514	1,1140348	145,2817439	291,77462	291,77462
3	94,742544	4,80276	1,1348919	148,382385	298,02826	298,02826
4	110,3641	4,80982	1,5236801	199,192602	400,66548	400,66548
5	126,36149	4,7957	1,7567382	229,7118183	462,45884	462,45884
6	142,29898	4,7957	2,0658587	270,1325477	544,46733	544,46733
7	157,44672	4,80982	2,3280861	304,3536091	614,04686	614,04686
8	174,02122	4,78864	2,5241591	330,0969082	666,47961	666,47961
9	189,48509	4,80276	2,9927731	391,2926166	791,43329	791,43329
10	204,37796	4,80982	3,2870973	429,7263406	870,13612	870,13612
11	219,8027	4,80276	3,324946	434,72283	880,38056	880,38056
12	236,54856	4,80982	3,8526046	503,6558088	1022,0186	1022,0186
13	252,06615	4,80982	4,3754535	572,0085026	1163,0244	1163,0244
14	265,27912	4,80276	4,5899146	600,1122081	1221,1625	1221,1625
15	284,96924	4,78864	5,2884542	691,5976041	1411,078	1411,078
16	304,76238	4,77452	6,0339293	789,2630878	1614,9438	1614,9438
17	314,86275	4,81688	7,3083254	955,3199317	1964,2539	1964,2539
18	398,2749	4,74628	9,572932	1252,737808	2598,4818	2598,4818
19	486,31895	4,95808	14,342647	1870,639701	3952,5297	3952,5297
20	531,58115	4,831	16,877199	2205,638965	4707,9657	4707,9657
21	559,42001	4,81688	18,175173	2375,797992	5097,6223	5097,6223
22	574,78928	4,99338	16,678787	2174,114657	4636,22	4636,22
23	623,16664	4,98632	19,754599	2575,341271	5559,7775	5559,7775
24	656,73293	4,88748	19,075989	2490,767759	5363,207	5363,207
25	702,00829	4,7957	19,685439	2574,076191	5556,8296	5556,8296
26	741,12376	4,70392	21,939454	2872,971503	6259,7761	6259,7761
27	783,4254	4,62626	20,113273	2637,05954	5703,875	5703,875
28	852,98281	4,5839	22,218915	2915,075382	6359,849	6359,849
29	946,07335	4,50624	22,741157	2987,240503	6531,9841	6531,9841
30	1015,8067	4,478	27,585326	3625,171617	8088,0765	8088,0765
31	648,42527	4,95808	24,049775	3136,69191	5257,952	9995,236
32	635,56152	5,07104	26,211467	3412,514605	5257,952	13462,67

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

33	633,98935	5,08516	27,27232	3549,833351	5257,952	15887,18
34	631,64562	5,10634	27,55879	3585,915344	5257,952	16636,37
35	633,98935	5,08516	26,939159	3506,46829	5257,952	15053,96
36	633,98935	5,08516	26,799401	3488,27707	5257,952	14724,3
37	637,93445	5,04986	29,234506	3807,368102	5257,952	22784,71
38	640,32517	5,02868	28,817109	3754,268912	5257,952	21006,68
39	625,47958	5,16282	23,317526	3031,326966	5257,952	8998,553
40	617,93927	5,23342	26,493495	3440,345867	5257,952	13906,48
41	618,68511	5,22636	27,428867	3562,209878	5257,952	16138,12
42	617,93927	5,23342	28,116941	3651,16049	5257,952	18140,27
43	620,93347	5,20518	26,705852	3469,479626	5257,952	14395,09
44	621,68656	5,19812	27,716023	3601,119709	5257,952	16968,75
45	621,68656	5,19812	28,23852	3669,007339	5257,952	18589,52
46	657,57542	4,88042	22,131592	2890,063129	5257,952	7858,32
47	654,21837	4,90866	26,444707	3451,750492	5257,952	14094,72
48	656,73293	4,88748	26,446523	3453,144512	5257,952	14118
49	659,2669	4,8663	27,765771	3626,614668	5257,952	17550,11
50	661,8205	4,84512	25,854912	3378,15976	5257,952	12943,37
51	665,25623	4,81688	27,596261	3607,291219	5257,952	17106,66
52	666,98751	4,80276	28,058642	3668,550481	5257,952	18577,8
53	666,98751	4,80276	29,018046	3793,988657	5257,952	22313,81
54	632,42494	5,09928	22,622674	2943,963942	5257,952	8270,031
55	634,77446	5,0781	24,031407	3128,338434	5257,952	9910,905
56	634,77446	5,0781	26,091857	3396,561786	5257,952	13217,75
57	637,14151	5,05692	26,316563	3426,964759	5257,952	13690,4
58	639,52627	5,03574	26,552472	3458,846752	5257,952	14213,8
59	640,32517	5,02868	27,400968	3569,775269	5257,952	16294,57
60	641,92896	5,01456	26,65416	3473,259109	5257,952	14460,38
61	644,34976	4,99338	27,404342	3572,213129	5257,952	16345,49
62	638,72937	5,0428	22,097573	2878,208837	5257,952	7771,29
63	634,77446	5,0781	22,935083	2985,622167	5257,952	8607,406
64	634,77446	5,0781	24,745785	3221,33417	5257,952	10908,59
65	630,86823	5,1134	25,081531	3263,211686	5257,952	11404,2
66	634,77446	5,0781	25,061725	3262,462282	5257,952	11395,05
67	635,56152	5,07104	25,017021	3257,007632	5257,952	11328,78
68	635,56152	5,07104	25,956362	3379,302058	5257,952	12960,16
69	659,2669	4,8663	22,236689	2904,435812	5257,952	7965,5
70	660,11591	4,85924	23,185168	3028,659225	5257,952	8975,085
71	666,12075	4,80982	22,714976	2969,557179	5257,952	8475,223
72	666,98751	4,80276	24,266884	3172,794024	5257,952	10371,28
73	668,72782	4,78864	24,261222	3172,761364	5257,952	10370,94
74	669,60139	4,78158	24,999484	3269,672036	5257,952	11483,49
75	670,47724	4,77452	24,586788	3216,054302	5257,952	10848,28
76	672,23583	4,7604	25,467694	3332,023246	5257,952	12291,29
77	655,05441	4,9016	20,86256	2723,433411	5257,952	6737,454
78	655,05441	4,9016	21,350929	2787,185824	5257,952	7141,567
79	659,2669	4,8663	21,116541	2758,128196	5257,952	6953,852
80	662,6761	4,83806	21,317849	2785,665549	5257,952	7131,595
81	666,98751	4,80276	20,999866	2745,64494	5257,952	6875,044
82	666,12075	4,80982	21,606852	2824,690719	5257,952	7393,086
83	666,98751	4,80276	22,391767	2927,630244	5257,952	8142,418
84	690,34284	4,6192	17,058665	2236,817489	5257,952	4380,121

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

85	692,20733	4,60508	16,569504	2173,159526	5257,952	4142,503
86	690,34284	4,6192	17,50884	2295,846679	5257,952	4612,342
87	692,20733	4,60508	16,74568	2196,265642	5257,952	4227,279
88	695,02303	4,5839	18,38218	2411,703693	5257,952	5105,034
89	695,02303	4,5839	18,068865	2370,597383	5257,952	4924,288
90	700,72372	4,54154	16,331692	2144,112972	5257,952	4038,221
91	698,81313	4,55566	14,125145	1854,013506	5257,952	3119,046
92	695,9667	4,57684	16,583483	2175,960258	5257,952	4152,692
93	695,9667	4,57684	15,934148	2090,759381	5257,952	3853,036
94	696,91293	4,56978	15,850038	2079,954223	5257,952	3816,499
95	698,81313	4,55566	13,960637	1832,420895	5257,952	3058,416
96	697,86174	4,56272	13,659638	1792,713679	5257,952	2949,383
97	695,9667	4,57684	14,272272	1872,700544	5257,952	3172,3
98	698,81313	4,55566	13,149861	1726,001384	5257,952	2773,046
99	697,86174	4,56272	14,324578	1879,981474	5257,952	3193,25
100	695,9667	4,57684	14,183963	1861,113205	5257,952	3139,192
101	694,08192	4,59096	13,923034	1826,469959	5257,952	3041,874
102	695,9667	4,57684	14,138609	1855,162245	5257,952	3122,299
103	699,76712	4,5486	13,441511	1764,478355	5257,952	2873,727
104	696,91293	4,56978	13,569653	1780,705986	5257,952	2917,021
105	698,81313	4,55566	13,940095	1829,724555	5257,952	3050,912
106	698,81313	4,55566	13,034695	1710,885241	5257,952	2734,234
107	697,86174	4,56272	12,787709	1678,280233	5257,952	2651,897
108	698,81313	4,55566	12,068671	1584,088516	5257,952	2424,135
109	697,86174	4,56272	13,38802	1757,066108	5257,952	2854,117
110	702,64479	4,52742	12,042218	1581,318795	5257,952	2417,655
111	704,57642	4,5133	11,393859	1496,512217	5257,952	2224,888
112	705,54622	4,50624	11,69881	1536,736177	5257,952	2314,974
113	704,57642	4,5133	13,852846	1819,484695	5257,952	3022,549
114	705,54622	4,50624	13,563974	1781,740967	5257,952	2919,8
115	707,49386	4,49212	14,440596	1897,313779	5257,952	3243,579
116	710,43556	4,47094	13,954341	1834,036487	5257,952	3062,92
117	710,43556	4,47094	14,091609	1852,077817	5257,952	3113,572
118	728,61264	4,34386	9,7340066	1281,907838	5257,952	1781,49
119	724,49336	4,3721	10,665999	1404,023213	5257,952	2026,427
120	727,57843	4,35092	11,57177	1523,761037	5257,952	2285,655
121	727,57843	4,35092	11,193758	1473,984744	5257,952	2175,457
122	730,68989	4,32974	10,494432	1382,357256	5257,952	1981,601
123	733,82808	4,30856	9,7597015	1286,003338	5257,952	1789,41
124	741,25641	4,25914	9,5693083	1261,892726	5257,952	1743,069
125	745,56908	4,2309	8,4926627	1120,412215	5257,952	1484,188
126	712,41033	4,45682	7,4693053	981,9179849	5257,952	1250,539
127	713,40183	4,44976	6,3472928	834,5103174	5257,952	1020,879
128	713,40183	4,44976	6,4089067	842,6110099	5257,952	1033,028
129	713,40183	4,44976	4,8112508	632,5592034	5257,952	734,1496
130	711,42158	4,46388	5,0147436	659,1671528	5257,952	770,2342
131	709,45228	4,478	5,9220225	778,2524551	5257,952	937,9362
132	708,47172	4,48506	6,2452842	820,643353	5257,952	1000,203
133	708,47172	4,48506	5,4824412	720,4041911	5257,952	855,1759
134	705,54622	4,50624	6,0524669	795,0419607	5257,952	962,4308
135	718,40104	4,41446	2,8375933	373,2794908	5257,952	406,4713
136	719,4093	4,4074	3,5513852	467,2291107	5257,952	520,4219

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

137	718,40104	4,41446	3,3629912	442,3944888	5257,952	489,796
138	719,4093	4,4074	3,1311858	411,9466286	5257,952	452,7469
139	716,39297	4,42858	4,3301936	569,5016511	5257,952	650,5497
140	717,3956	4,42152	4,0891581	537,860595	5257,952	609,5858
141	715,39314	4,43564	4,4391259	583,763546	5257,952	669,2263
142	714,3961	4,4427	4,0547264	533,1542827	5257,952	603,5476
143	712,41033	4,45682	4,2004255	552,1896828	5257,952	628,0569
144	711,42158	4,46388	3,735598	491,0287972	5257,952	550,1213

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-5: Οι φυσικές ιδιότητες του θερμού νερού.**

A/A	P(bar)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Cp(J/kgC)	K(W/mC)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)*10 <sup>-6</sup>	$\mu$ (Pa*s)*10 <sup>-6</sup>	Pr
1	1,2	992,91775	4177,7835	0,62597	0,74148	736,5045	4,96514
2	1,2	992,91775	4177,7835	0,62597	0,74148	736,5045	4,96514
3	1,3	992,5785	4177,289	0,62758	0,72032	715,103	4,80276
4	1,3	992,59325	4177,3105	0,62751	0,72124	716,0335	4,80982
5	1,4	992,56375	4177,2675	0,62765	0,7194	714,1725	4,7957
6	1,45	992,56375	4177,2675	0,62765	0,7194	714,1725	4,7957
7	1,5	992,59325	4177,3105	0,62751	0,72124	716,0335	4,80982
8	1,5	992,549	4177,246	0,62772	0,71848	713,242	4,78864
9	1,5	992,5785	4177,289	0,62758	0,72032	715,103	4,80276
10	1,5	992,59325	4177,3105	0,62751	0,72124	716,0335	4,80982
11	1,5	992,5785	4177,289	0,62758	0,72032	715,103	4,80276
12	1,5	992,59325	4177,3105	0,62751	0,72124	716,0335	4,80982
13	1,5	992,59325	4177,3105	0,62751	0,72124	716,0335	4,80982
14	1,5	992,5785	4177,289	0,62758	0,72032	715,103	4,80276
15	1,5	992,549	4177,246	0,62772	0,71848	713,242	4,78864
16	1,5	992,5195	4177,203	0,62786	0,71664	711,381	4,77452
17	1,5	992,608	4177,332	0,62744	0,72216	716,964	4,81688
18	1,5	992,4605	4177,117	0,62814	0,71296	707,659	4,74628
19	1,5	992,903	4177,762	0,62604	0,74056	735,574	4,95808
20	1,5	992,6375	4177,375	0,6273	0,724	718,825	4,831
21	1,5	992,608	4177,332	0,62744	0,72216	716,964	4,81688
22	1,5	992,97675	4177,8695	0,62569	0,74516	740,2265	4,99338
23	1,55	992,962	4177,848	0,62576	0,74424	739,296	4,98632
24	1,6	992,7555	4177,547	0,62674	0,73136	726,269	4,88748
25	1,6	992,56375	4177,2675	0,62765	0,7194	714,1725	4,7957
26	1,65	992,372	4176,988	0,62856	0,70744	702,076	4,70392
27	1,8	992,20975	4176,7515	0,62933	0,69732	691,8405	4,62626
28	1,8	992,12125	4176,6225	0,62975	0,6918	686,2575	4,5839
29	1,9	991,959	4176,386	0,63052	0,68168	676,022	4,50624
30	2	991,9	4176,3	0,6308	0,678	672,3	4,478
31	1,6	992,903	4177,762	0,62604	0,74056	735,574	4,95808
32	1,6	993,139	4178,106	0,62492	0,75528	750,462	5,07104
33	1,6	993,1685	4178,149	0,62478	0,75712	752,323	5,08516
34	1,6	993,21275	4178,2135	0,62457	0,75988	755,1145	5,10634
35	1,6	993,1685	4178,149	0,62478	0,75712	752,323	5,08516
36	1,6	993,1685	4178,149	0,62478	0,75712	752,323	5,08516
37	1,6	993,09475	4178,0415	0,62513	0,75252	747,6705	5,04986
38	1,6	993,0505	4177,977	0,62534	0,74976	744,879	5,02868
39	1,6	993,33075	4178,3855	0,62401	0,76724	762,5585	5,16282

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

40	1,6	993,47825	4178,6005	0,62331	0,77644	771,8635	5,23342
41	1,6	993,4635	4178,579	0,62338	0,77552	770,933	5,22636
42	1,6	993,47825	4178,6005	0,62331	0,77644	771,8635	5,23342
43	1,6	993,41925	4178,5145	0,62359	0,77276	768,1415	5,20518
44	1,6	993,4045	4178,493	0,62366	0,77184	767,211	5,19812
45	1,6	993,4045	4178,493	0,62366	0,77184	767,211	5,19812
46	1,6	992,74075	4177,5255	0,62681	0,73044	725,3385	4,88042
47	1,6	992,79975	4177,6115	0,62653	0,73412	729,0605	4,90866
48	1,6	992,7555	4177,547	0,62674	0,73136	726,269	4,88748
49	1,6	992,71125	4177,4825	0,62695	0,7286	723,4775	4,8663
50	1,6	992,667	4177,418	0,62716	0,72584	720,686	4,84512
51	1,6	992,608	4177,332	0,62744	0,72216	716,964	4,81688
52	1,6	992,5785	4177,289	0,62758	0,72032	715,103	4,80276
53	1,6	992,5785	4177,289	0,62758	0,72032	715,103	4,80276
54	1,6	993,198	4178,192	0,62464	0,75896	754,184	5,09928
55	1,6	993,15375	4178,1275	0,62485	0,7562	751,3925	5,0781
56	1,6	993,15375	4178,1275	0,62485	0,7562	751,3925	5,0781
57	1,6	993,1095	4178,063	0,62506	0,75344	748,601	5,05692
58	1,6	993,06525	4177,9985	0,62527	0,75068	745,8095	5,03574
59	1,6	993,0505	4177,977	0,62534	0,74976	744,879	5,02868
60	1,6	993,021	4177,934	0,62548	0,74792	743,018	5,01456
61	1,6	992,97675	4177,8695	0,62569	0,74516	740,2265	4,99338
62	1,6	993,08	4178,02	0,6252	0,7516	746,74	5,0428
63	1,6	993,15375	4178,1275	0,62485	0,7562	751,3925	5,0781
64	1,6	993,15375	4178,1275	0,62485	0,7562	751,3925	5,0781
65	1,6	993,2275	4178,235	0,6245	0,7608	756,045	5,1134
66	1,6	993,15375	4178,1275	0,62485	0,7562	751,3925	5,0781
67	1,6	993,139	4178,106	0,62492	0,75528	750,462	5,07104
68	1,6	993,139	4178,106	0,62492	0,75528	750,462	5,07104
69	1,6	992,71125	4177,4825	0,62695	0,7286	723,4775	4,8663
70	1,6	992,6965	4177,461	0,62702	0,72768	722,547	4,85924
71	1,6	992,59325	4177,3105	0,62751	0,72124	716,0335	4,80982
72	1,6	992,5785	4177,289	0,62758	0,72032	715,103	4,80276
73	1,6	992,549	4177,246	0,62772	0,71848	713,242	4,78864
74	1,6	992,53425	4177,2245	0,62779	0,71756	712,3115	4,78158
75	1,6	992,5195	4177,203	0,62786	0,71664	711,381	4,77452
76	1,6	992,49	4177,16	0,628	0,7148	709,52	4,7604
77	1,6	992,785	4177,59	0,6266	0,7332	728,13	4,9016
78	1,6	992,785	4177,59	0,6266	0,7332	728,13	4,9016
79	1,6	992,71125	4177,4825	0,62695	0,7286	723,4775	4,8663
80	1,6	992,65225	4177,3965	0,62723	0,72492	719,7555	4,83806
81	1,6	992,5785	4177,289	0,62758	0,72032	715,103	4,80276
82	1,6	992,59325	4177,3105	0,62751	0,72124	716,0335	4,80982
83	1,6	992,5785	4177,289	0,62758	0,72032	715,103	4,80276
84	1,6	992,195	4176,73	0,6294	0,6964	690,91	4,6192
85	1,6	992,1655	4176,687	0,62954	0,69456	689,049	4,60508
86	1,6	992,195	4176,73	0,6294	0,6964	690,91	4,6192
87	1,6	992,1655	4176,687	0,62954	0,69456	689,049	4,60508
88	1,6	992,12125	4176,6225	0,62975	0,6918	686,2575	4,5839
89	1,6	992,12125	4176,6225	0,62975	0,6918	686,2575	4,5839
90	1,6	992,03275	4176,4935	0,63017	0,68628	680,6745	4,54154
91	1,6	992,06225	4176,5365	0,63003	0,68812	682,5355	4,55566

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

92	1,6	992,1065	4176,601	0,62982	0,69088	685,327	4,57684
93	1,6	992,1065	4176,601	0,62982	0,69088	685,327	4,57684
94	1,6	992,09175	4176,5795	0,62989	0,68996	684,3965	4,56978
95	1,6	992,06225	4176,5365	0,63003	0,68812	682,5355	4,55566
96	1,6	992,077	4176,558	0,62996	0,68904	683,466	4,56272
97	1,6	992,1065	4176,601	0,62982	0,69088	685,327	4,57684
98	1,6	992,06225	4176,5365	0,63003	0,68812	682,5355	4,55566
99	1,6	992,077	4176,558	0,62996	0,68904	683,466	4,56272
100	1,6	992,1065	4176,601	0,62982	0,69088	685,327	4,57684
101	1,6	992,136	4176,644	0,62968	0,69272	687,188	4,59096
102	1,6	992,1065	4176,601	0,62982	0,69088	685,327	4,57684
103	1,6	992,0475	4176,515	0,6301	0,6872	681,605	4,5486
104	1,6	992,09175	4176,5795	0,62989	0,68996	684,3965	4,56978
105	1,6	992,06225	4176,5365	0,63003	0,68812	682,5355	4,55566
106	1,6	992,06225	4176,5365	0,63003	0,68812	682,5355	4,55566
107	1,6	992,077	4176,558	0,62996	0,68904	683,466	4,56272
108	1,6	992,06225	4176,5365	0,63003	0,68812	682,5355	4,55566
109	1,6	992,077	4176,558	0,62996	0,68904	683,466	4,56272
110	1,6	992,00325	4176,4505	0,63031	0,68444	678,8135	4,52742
111	1,6	991,97375	4176,4075	0,63045	0,6826	676,9525	4,5133
112	1,6	991,959	4176,386	0,63052	0,68168	676,022	4,50624
113	1,6	991,97375	4176,4075	0,63045	0,6826	676,9525	4,5133
114	1,6	991,959	4176,386	0,63052	0,68168	676,022	4,50624
115	1,6	991,9295	4176,343	0,63066	0,67984	674,161	4,49212
116	1,6	991,88525	4176,2785	0,63087	0,67708	671,3695	4,47094
117	1,6	991,88525	4176,2785	0,63087	0,67708	671,3695	4,47094
118	1,6	991,61975	4175,8915	0,63213	0,66052	654,6205	4,34386
119	1,6	991,67875	4175,9775	0,63185	0,6642	658,3425	4,3721
120	1,6	991,6345	4175,913	0,63206	0,66144	655,551	4,35092
121	1,6	991,6345	4175,913	0,63206	0,66144	655,551	4,35092
122	1,6	991,59025	4175,8485	0,63227	0,65868	652,7595	4,32974
123	1,6	991,546	4175,784	0,63248	0,65592	649,968	4,30856
124	1,6	991,44275	4175,6335	0,63297	0,64948	643,4545	4,25914
125	1,6	991,38375	4175,5475	0,63325	0,6458	639,7325	4,2309
126	1,6	991,85575	4176,2355	0,63101	0,67524	669,5085	4,45682
127	1,6	991,841	4176,214	0,63108	0,67432	668,578	4,44976
128	1,6	991,841	4176,214	0,63108	0,67432	668,578	4,44976
129	1,6	991,841	4176,214	0,63108	0,67432	668,578	4,44976
130	1,6	991,8705	4176,257	0,63094	0,67616	670,439	4,46388
131	1,6	991,9	4176,3	0,6308	0,678	672,3	4,478
132	1,6	991,91475	4176,3215	0,63073	0,67892	673,2305	4,48506
133	1,6	991,91475	4176,3215	0,63073	0,67892	673,2305	4,48506
134	1,6	991,959	4176,386	0,63052	0,68168	676,022	4,50624
135	1,6	991,76725	4176,1065	0,63143	0,66972	663,9255	4,41446
136	1,6	991,7525	4176,085	0,6315	0,6688	662,995	4,4074
137	1,6	991,76725	4176,1065	0,63143	0,66972	663,9255	4,41446
138	1,6	991,7525	4176,085	0,6315	0,6688	662,995	4,4074
139	1,6	991,79675	4176,1495	0,63129	0,67156	665,7865	4,42858
140	1,6	991,782	4176,128	0,63136	0,67064	664,856	4,42152
141	1,6	991,8115	4176,171	0,63122	0,67248	666,717	4,43564
142	1,6	991,82625	4176,1925	0,63115	0,6734	667,6475	4,4427
143	1,6	991,85575	4176,2355	0,63101	0,67524	669,5085	4,45682



**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

144	1,6	991,8705	4176,257	0,63094	0,67616	670,439	4,46388
-----	-----	----------	----------	---------	---------	---------	---------

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-6: Οι φυσικές ιδιότητες του ψυχρού νερού.**

A/A	$\rho(\text{Kg/m}^3)$	$C_p(\text{J/kgC})$	$K(\text{W/mC})$	$\nu(\text{m}^2/\text{s}) \cdot 10^{-6}$	$\mu(\text{Pa}\cdot\text{s}) \cdot 10^{-6}$	Pr
1	995,8235	4182,019	0,61218	0,92272	919,813	6,35596
2	995,77925	4181,9545	0,5748	0,91996	917,0215	10,126
3	995,6465	4181,761	0,5748	0,91168	908,647	10,126
4	995,617	4181,718	0,5748	0,90984	906,786	10,126
5	995,558	4181,632	0,5748	0,90616	903,064	10,126
6	995,5285	4181,589	0,5748	0,90432	901,203	10,126
7	995,51375	4181,5675	0,5748	0,9034	900,2725	10,126
8	995,36625	4181,3525	0,5748	0,8942	890,9675	10,126
9	995,263	4181,202	0,5748	0,88776	884,454	10,126
10	995,18925	4181,0945	0,5748	0,88316	879,8015	10,126
11	995,10075	4180,9655	0,5748	0,87764	874,2185	10,126
12	994,98275	4180,7935	0,5748	0,87028	866,7745	10,126
13	994,83525	4180,5785	0,5748	0,86108	857,4695	10,126
14	994,7025	4180,385	0,5748	0,8528	849,095	10,126
15	994,5255	4180,127	0,5748	0,84176	837,929	10,126
16	994,437	4179,998	0,5748	0,83624	832,346	10,126
17	994,319	4179,826	0,5748	0,82888	824,902	10,126
18	993,86175	4179,1595	0,5748	0,80036	796,0565	10,126
19	994,8795	4180,643	0,5748	0,86384	860,261	10,126
20	993,847	4179,138	0,5748	0,79944	795,126	10,126
21	993,6995	4178,923	0,5748	0,79024	785,821	10,126
22	995,27775	4181,2235	0,5748	0,88868	885,3845	10,126
23	994,673	4180,342	0,5748	0,85096	847,234	10,126
24	994,2895	4179,783	0,5748	0,82704	823,041	10,126
25	993,847	4179,138	0,5748	0,79944	795,126	10,126
26	993,44875	4178,5575	0,5748	0,7746	770,0025	10,126
27	993,139	4178,106	0,5748	0,75528	750,462	10,126
28	992,8735	4177,719	0,5748	0,73872	733,713	10,126
29	992,62275	4177,3535	0,5748	0,72308	717,8945	10,126
30	992,38675	4177,0095	0,5748	0,70836	703,0065	10,126
31	995,086	4180,944	0,5748	0,87672	873,288	10,126
32	994,968	4180,772	0,5748	0,86936	865,844	10,126
33	994,86475	4180,6215	0,5748	0,86292	859,3305	10,126
34	994,732	4180,428	0,5748	0,85464	850,956	10,126
35	994,673	4180,342	0,5748	0,85096	847,234	10,126
36	994,555	4180,17	0,5748	0,8436	839,79	10,126
37	994,4075	4179,955	0,5748	0,8344	830,485	10,126
38	994,33375	4179,8475	0,5748	0,8298	825,8325	10,126
39	995,54325	4181,6105	0,5748	0,90524	902,1335	10,126
40	995,45475	4181,4815	0,5748	0,89972	896,5505	10,126
41	995,322	4181,288	0,5748	0,89144	888,176	10,126
42	995,24825	4181,1805	0,5748	0,88684	883,5235	10,126
43	995,18925	4181,0945	0,5748	0,88316	879,8015	10,126
44	995,07125	4180,9225	0,5748	0,8758	872,3575	10,126
45	995,01225	4180,8365	0,5748	0,87212	868,6355	10,126

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

46	994,024	4179,396	0,5748	0,81048	806,292	10,126
47	993,92075	4179,2455	0,5748	0,80404	799,7785	10,126
48	993,86175	4179,1595	0,5748	0,80036	796,0565	10,126
49	993,7585	4179,009	0,5748	0,79392	789,543	10,126
50	993,729	4178,966	0,5748	0,79208	787,682	10,126
51	993,6405	4178,837	0,5748	0,78656	782,099	10,126
52	993,56675	4178,7295	0,5748	0,78196	777,4465	10,126
53	993,53725	4178,6865	0,5748	0,78012	775,5855	10,126
54	994,77625	4180,4925	0,5748	0,8574	853,7475	10,126
55	994,614	4180,256	0,5748	0,84728	843,512	10,126
56	994,54025	4180,1485	0,5748	0,84268	838,8595	10,126
57	994,4665	4180,041	0,5748	0,83808	834,207	10,126
58	994,39275	4179,9335	0,5748	0,83348	829,5545	10,126
59	994,36325	4179,8905	0,5748	0,83164	827,6935	10,126
60	994,33375	4179,8475	0,5748	0,8298	825,8325	10,126
61	994,27475	4179,7615	0,5748	0,82612	822,1105	10,126
62	995,10075	4180,9655	0,5748	0,87764	874,2185	10,126
63	994,9975	4180,815	0,5748	0,8712	867,705	10,126
64	994,86475	4180,6215	0,5748	0,86292	859,3305	10,126
65	994,8205	4180,557	0,5748	0,86016	856,539	10,126
66	994,732	4180,428	0,5748	0,85464	850,956	10,126
67	994,7025	4180,385	0,5748	0,8528	849,095	10,126
68	994,614	4180,256	0,5748	0,84728	843,512	10,126
69	993,92075	4179,2455	0,5748	0,80404	799,7785	10,126
70	993,906	4179,224	0,5748	0,80312	798,848	10,126
71	993,8175	4179,095	0,5748	0,7976	793,265	10,126
72	993,74375	4178,9875	0,5748	0,793	788,6125	10,126
73	993,71425	4178,9445	0,5748	0,79116	786,7515	10,126
74	993,68475	4178,9015	0,5748	0,78932	784,8905	10,126
75	993,67	4178,88	0,5748	0,7884	783,96	10,126
76	993,6405	4178,837	0,5748	0,78656	782,099	10,126
77	994,201	4179,654	0,5748	0,82152	817,458	10,126
78	994,12725	4179,5465	0,5748	0,81692	812,8055	10,126
79	994,083	4179,482	0,5748	0,81416	810,014	10,126
80	994,00925	4179,3745	0,5748	0,80956	805,3615	10,126
81	993,9355	4179,267	0,5748	0,80496	800,709	10,126
82	993,89125	4179,2025	0,5748	0,8022	797,9175	10,126
83	993,847	4179,138	0,5748	0,79944	795,126	10,126
84	993,41925	4178,5145	0,5748	0,77276	768,1415	10,126
85	993,36025	4178,4285	0,5748	0,76908	764,4195	10,126
86	993,2865	4178,321	0,5748	0,76448	759,767	10,126
87	993,257	4178,278	0,5748	0,76264	757,906	10,126
88	993,139	4178,106	0,5748	0,75528	750,462	10,126
89	993,08	4178,02	0,5748	0,7516	746,74	10,126
90	993,021	4177,934	0,5748	0,74792	743,018	10,126
91	993,12425	4178,0845	0,5748	0,75436	749,5315	10,126
92	993,09475	4178,0415	0,5748	0,75252	747,6705	10,126
93	993,12425	4178,0845	0,5748	0,75436	749,5315	10,126
94	993,139	4178,106	0,5748	0,75528	750,462	10,126
95	993,198	4178,192	0,5748	0,75896	754,184	10,126
96	993,21275	4178,2135	0,5748	0,75988	755,1145	10,126
97	993,24225	4178,2565	0,5748	0,76172	756,9755	10,126

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

98	993,257	4178,278	0,5748	0,76264	757,906	10,126
99	993,257	4178,278	0,5748	0,76264	757,906	10,126
100	993,30125	4178,3425	0,5748	0,7654	760,6975	10,126
101	993,4045	4178,493	0,5748	0,77184	767,211	10,126
102	993,375	4178,45	0,5748	0,77	765,35	10,126
103	993,375	4178,45	0,5748	0,77	765,35	10,126
104	993,44875	4178,5575	0,5748	0,7746	770,0025	10,126
105	993,434	4178,536	0,5748	0,77368	769,072	10,126
106	993,50775	4178,6435	0,5748	0,77828	773,7245	10,126
107	993,50775	4178,6435	0,5748	0,77828	773,7245	10,126
108	993,30125	4178,3425	0,5748	0,7654	760,6975	10,126
109	993,24225	4178,2565	0,5748	0,76172	756,9755	10,126
110	993,1685	4178,149	0,5748	0,75712	752,323	10,126
111	993,12425	4178,0845	0,5748	0,75436	749,5315	10,126
112	993,0505	4177,977	0,5748	0,74976	744,879	10,126
113	992,9325	4177,805	0,5748	0,7424	737,435	10,126
114	992,88825	4177,7405	0,5748	0,73964	734,6435	10,126
115	992,8145	4177,633	0,5748	0,73504	729,991	10,126
116	992,7555	4177,547	0,5748	0,73136	726,269	10,126
117	992,667	4177,418	0,5748	0,72584	720,686	10,126
118	992,9325	4177,805	0,5748	0,7424	737,435	10,126
119	992,9915	4177,891	0,5748	0,74608	741,157	10,126
120	993,021	4177,934	0,5748	0,74792	743,018	10,126
121	993,1095	4178,063	0,5748	0,75344	748,601	10,126
122	993,1685	4178,149	0,5748	0,75712	752,323	10,126
123	993,24225	4178,2565	0,5748	0,76172	756,9755	10,126
124	993,2865	4178,321	0,5748	0,76448	759,767	10,126
125	993,3455	4178,407	0,5748	0,76816	763,489	10,126
126	992,88825	4177,7405	0,5748	0,73964	734,6435	10,126
127	992,903	4177,762	0,5748	0,74056	735,574	10,126
128	993,00625	4177,9125	0,5748	0,747	742,0875	10,126
129	993,198	4178,192	0,5748	0,75896	754,184	10,126
130	993,139	4178,106	0,5748	0,75528	750,462	10,126
131	993,27175	4178,2995	0,5748	0,76356	758,8365	10,126
132	993,316	4178,364	0,5748	0,76632	761,628	10,126
133	993,44875	4178,5575	0,5748	0,7746	770,0025	10,126
134	993,56675	4178,7295	0,5748	0,78196	777,4465	10,126
135	992,85875	4177,6975	0,5748	0,7378	732,7825	10,126
136	992,91775	4177,7835	0,5748	0,74148	736,5045	10,126
137	993,1095	4178,063	0,5748	0,75344	748,601	10,126
138	993,27175	4178,2995	0,5748	0,76356	758,8365	10,126
139	993,257	4178,278	0,5748	0,76264	757,906	10,126
140	993,38975	4178,4715	0,5748	0,77092	766,2805	10,126
141	993,493	4178,622	0,5748	0,77736	772,794	10,126
142	993,68475	4178,9015	0,5748	0,78932	784,8905	10,126
143	993,8175	4179,095	0,5748	0,7976	793,265	10,126
144	993,9355	4179,267	0,5748	0,80496	800,709	10,126

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-7: Οι ιδιότητες του αέρα.**

A/A	P(bar)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Cp(J/kgC)	K(W/mC)	v(m <sup>2</sup> /s)*10-6	$\mu$ (Pa*s)*10-6	Pr
-----	--------	-----------------------------	-----------	---------	---------------------------	-------------------	----

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

31	1,4	1,6361318	1,00746	0,0246146	16,0122	19,24312	0,69
32	1,6	1,8673932	1,00748	0,0246148	16,0486	19,26056	0,69
33	1,9	2,2149675	1,0074975	0,024615	16,08045	19,27582	0,69
34	2,2	2,5608952	1,00752	0,0246152	16,1214	19,29544	0,69
35	2,5	2,9081911	1,00753	0,0246153	16,1396	19,30416	0,69
36	2,8	3,2528883	1,00755	0,0246155	16,176	19,3216	0,69
37	3,1	3,5954984	1,007575	0,0246158	16,2215	19,3434	0,69
38	3,4	3,9402149	1,0075875	0,0246159	16,24425	19,3543	0,69
39	1,4	1,6445669	1,0073825	0,0246138	15,87115	19,17554	0,69
40	1,8	2,1123353	1,0073975	0,024614	15,89845	19,18862	0,69
41	2	2,343535	1,00742	0,0246142	15,9394	19,20824	0,69
42	2,2	2,5757521	1,0074325	0,0246143	15,96215	19,21914	0,69
43	2,5	2,9250516	1,0074425	0,0246144	15,98035	19,22786	0,69
44	2,9	3,3885695	1,0074625	0,0246146	16,01675	19,2453	0,69
45	3,2	3,7366386	1,0074725	0,0246147	16,03495	19,25402	0,69
46	1,4	1,6168706	1,00764	0,0246164	16,3398	19,40008	0,69
47	1,6	1,8457396	1,0076575	0,0246166	16,37165	19,41534	0,69
48	2	2,3056682	1,0076675	0,0246167	16,38985	19,42406	0,69
49	2,2	2,5333408	1,007685	0,0246169	16,4217	19,43932	0,69
50	2,5	2,877858	1,00769	0,0246169	16,4308	19,44368	0,69
51	2,6	2,9900485	1,007705	0,0246171	16,4581	19,45676	0,69
52	3	3,4472497	1,0077175	0,0246172	16,48085	19,46766	0,69
53	3,2	3,6758704	1,0077225	0,0246172	16,48995	19,47202	0,69
54	1,2	1,3975429	1,0075125	0,0246151	16,10775	19,2889	0,69
55	1,6	1,860017	1,00754	0,0246154	16,1578	19,31288	0,69
56	1,8	2,0907986	1,0075525	0,0246155	16,18055	19,32378	0,69
57	2	2,321201	1,007565	0,0246157	16,2033	19,33468	0,69
58	2,3	2,6671899	1,0075775	0,0246158	16,22605	19,34558	0,69
59	2,6	3,0140945	1,0075825	0,0246158	16,23515	19,34994	0,69
60	2,9	3,3607715	1,0075875	0,0246159	16,24425	19,3543	0,69
61	3,3	3,8218181	1,0075975	0,024616	16,26245	19,36302	0,69
62	1,1	1,2857448	1,0074575	0,0246146	16,00765	19,24094	0,69
63	1,5	1,7512598	1,007475	0,0246148	16,0395	19,2562	0,69
64	1,7	1,981813	1,0074975	0,024615	16,08045	19,27582	0,69
65	1,8	2,0973518	1,007505	0,0246151	16,0941	19,28236	0,69
66	2,2	2,5608952	1,00752	0,0246152	16,1214	19,29544	0,69
67	2,4	2,7927834	1,007525	0,0246153	16,1305	19,2998	0,69
68	2,7	3,1387787	1,00754	0,0246154	16,1578	19,31288	0,69
69	1,1	1,268946	1,0076575	0,0246166	16,37165	19,41534	0,69
70	1,4	1,6147584	1,00766	0,0246166	16,3762	19,41752	0,69
71	1,6	1,8436319	1,007675	0,0246168	16,4035	19,4306	0,69
72	1,8	2,0723955	1,0076875	0,0246169	16,42625	19,4415	0,69
73	2	2,3019112	1,0076925	0,0246169	16,43535	19,44586	0,69
74	2,2	2,5312774	1,0076975	0,024617	16,44445	19,45022	0,69
75	2,5	2,8759832	1,0077	0,024617	16,449	19,4524	0,69
76	3	3,450056	1,007705	0,0246171	16,4581	19,45676	0,69
77	1,1	1,2728958	1,00761	0,0246161	16,2852	19,37392	0,69
78	1,2	1,3874771	1,0076225	0,0246162	16,30795	19,38482	0,69
79	1,5	1,7334951	1,00763	0,0246163	16,3216	19,39136	0,69
80	1,7	1,9630219	1,0076425	0,0246164	16,34435	19,40226	0,69
81	1,9	2,1921738	1,007655	0,0246166	16,3671	19,41316	0,69
82	2,1	2,4217422	1,0076625	0,0246166	16,38075	19,4197	0,69

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

83	2,4	2,7663504	1,00767	0,0246167	16,3944	19,42624	0,69
84	2,2	2,5238772	1,0077425	0,0246174	16,52635	19,48946	0,69
85	2	2,2929442	1,0077525	0,0246175	16,54455	19,49818	0,69
86	1,7	1,9474221	1,007765	0,0246177	16,5673	19,50908	0,69
87	1,6	1,8322736	1,00777	0,0246177	16,5764	19,51344	0,69
88	1,4	1,6011626	1,00779	0,0246179	16,6128	19,53088	0,69
89	1,1	1,2572421	1,0078	0,024618	16,631	19,5396	0,69
90	1,1	1,2564289	1,00781	0,0246181	16,6492	19,54832	0,69
91	1,1	1,2578527	1,0077925	0,0246179	16,61735	19,53306	0,69
92	1,1	1,2574456	1,0077975	0,024618	16,62645	19,53742	0,69
93	1,3	1,4865532	1,0077925	0,0246179	16,61735	19,53306	0,69
94	1,5	1,7155314	1,00779	0,0246179	16,6128	19,53088	0,69
95	1,7	1,945529	1,00778	0,0246178	16,5946	19,52216	0,69
96	2	2,2892285	1,0077775	0,0246178	16,59005	19,51998	0,69
97	2,3	2,6334663	1,0077725	0,0246177	16,58095	19,51562	0,69
98	2,6	2,9774446	1,00777	0,0246177	16,5764	19,51344	0,69
99	3	3,435513	1,00777	0,0246177	16,5764	19,51344	0,69
100	3,5	4,0100489	1,0077625	0,0246176	16,56275	19,5069	0,69
101	1,1	1,2617337	1,007745	0,0246175	16,5309	19,49164	0,69
102	1,2	1,3759899	1,00775	0,0246175	16,54	19,496	0,69
103	1,3	1,4906557	1,00775	0,0246175	16,54	19,496	0,69
104	1,5	1,7213846	1,0077375	0,0246174	16,51725	19,4851	0,69
105	1,7	1,9505856	1,00774	0,0246174	16,5218	19,48728	0,69
106	1,9	2,1818384	1,0077275	0,0246173	16,49905	19,47638	0,69
107	2,2	2,5263392	1,0077275	0,0246173	16,49905	19,47638	0,69
108	3,5	4,0100489	1,0077625	0,0246176	16,56275	19,5069	0,69
109	3	3,4349561	1,0077725	0,0246177	16,58095	19,51562	0,69
110	2,6	2,974551	1,007785	0,0246179	16,6037	19,52652	0,69
111	2,2	2,5157054	1,0077925	0,0246179	16,61735	19,53306	0,69
112	1,9	2,1708974	1,007805	0,0246181	16,6401	19,54396	0,69
113	1,7	1,9398715	1,007825	0,0246183	16,6765	19,5614	0,69
114	1,5	1,7108222	1,0078325	0,0246183	16,69015	19,56794	0,69
115	1,2	1,3675537	1,007845	0,0246185	16,7129	19,57884	0,69
116	1,1	1,2527823	1,007855	0,0246186	16,7311	19,58756	0,69
117	1,1	1,2515715	1,00787	0,0246187	16,7584	19,60064	0,69
118	2,4	2,7386422	1,007825	0,0246183	16,6765	19,5614	0,69
119	2,1	2,3978614	1,007815	0,0246182	16,6583	19,55268	0,69
120	1,9	2,1701953	1,00781	0,0246181	16,6492	19,54832	0,69
121	1,6	1,8293078	1,007795	0,024618	16,6219	19,53524	0,69
122	1,5	1,7160871	1,007785	0,0246179	16,6037	19,52652	0,69
123	1,2	1,3739824	1,0077725	0,0246177	16,58095	19,51562	0,69
124	1,1	1,2600967	1,007765	0,0246177	16,5673	19,50908	0,69
125	1,1	1,2609147	1,007755	0,0246176	16,5491	19,50036	0,69
126	1,1	1,254603	1,0078325	0,0246183	16,69015	19,56794	0,69
127	1,1	1,2548056	1,00783	0,0246183	16,6856	19,56576	0,69
128	1,2	1,3704281	1,0078125	0,0246181	16,65375	19,5505	0,69
129	1,4	1,6022003	1,00778	0,0246178	16,5946	19,52216	0,69
130	1,6	1,8299002	1,00779	0,0246179	16,6128	19,53088	0,69
131	1,8	2,061642	1,0077675	0,0246177	16,57185	19,51126	0,69
132	2	2,2918282	1,00776	0,0246176	16,5582	19,50472	0,69
133	2,4	2,7542153	1,0077375	0,0246174	16,51725	19,4851	0,69
134	2,9	3,3323414	1,0077175	0,0246172	16,48085	19,46766	0,69

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

135	1,1	1,2541979	1,0078375	0,0246184	16,69925	19,5723	0,69
136	1,1	1,2550083	1,0078275	0,0246183	16,68105	19,56358	0,69
137	1,2	1,3719808	1,007795	0,024618	16,6219	19,53524	0,69
138	1,3	1,4889637	1,0077675	0,0246177	16,57185	19,51126	0,69
139	1,6	1,8322736	1,00777	0,0246177	16,5764	19,51344	0,69
140	1,8	2,0643199	1,0077475	0,0246175	16,53545	19,49382	0,69
141	2,1	2,4111136	1,00773	0,0246173	16,5036	19,47856	0,69
142	2,4	2,7613936	1,0076975	0,024617	16,44445	19,45022	0,69
143	3	3,4568098	1,007675	0,0246168	16,4035	19,4306	0,69
144	3,5	4,0382148	1,007655	0,0246166	16,3671	19,41316	0,69

**Πίνακας 7-8. Φαινομενικές ταχύτητες και μαζικές παροχές ψυχρού νερού και αέρα.**

A/A	Gw (Kg/m <sup>2</sup> s)	Vw(Kg/s)	Gair(Kg/m <sup>2</sup>	Va(Kg/s)
31	195,9123758	0,19687984	0,599234335	0,3662507
32	195,9123758	0,19690319	1,461345512	0,7825591
33	195,9123758	0,19692363	2,831662875	1,2784219
34	195,9123758	0,19694991	5,867147236	2,2910532
35	195,9123758	0,19696159	8,875313564	3,051833
36	195,9123758	0,19698496	12,59894735	3,8731571
37	195,9123758	0,19701418	17,08110547	4,750692
38	195,9123758	0,19702879	22,39490014	5,6836748
39	176,434056	0,1772239	0,603874328	0,3671935
40	176,434056	0,17723965	2,637149903	1,2484523
41	176,434056	0,17726329	5,13625352	2,1916692
42	176,434056	0,17727643	7,397847426	2,8721116
43	176,434056	0,17728694	10,74313003	3,6728002
44	176,434056	0,17730796	15,62794635	4,6119599
45	176,434056	0,17731848	20,68192268	5,5349005
46	156,3911472	0,15733136	0,588683899	0,3640884
47	156,3911472	0,1573477	2,154002282	1,1670131
48	156,3911472	0,15735704	5,012270455	2,1738906
49	156,3911472	0,15737339	7,215886619	2,848368
50	156,3911472	0,15737807	10,48418244	3,6430507
51	156,3911472	0,15739208	12,9537251	4,3322792
52	156,3911472	0,15740377	18,3264515	5,316253
53	156,3911472	0,15740844	22,70189287	6,1759232
54	137,195122	0,13791556	0,473060821	0,3384947
55	137,195122	0,13793806	2,179043502	1,171518
56	137,195122	0,13794829	4,328202549	2,0701193
57	137,195122	0,13795852	6,328756819	2,726501
58	137,195122	0,13796875	9,354303096	3,5071755
59	137,195122	0,13797284	13,11029993	4,3496645
60	137,195122	0,13797693	17,64118488	5,2491473
61	137,195122	0,13798512	24,06726843	6,297335
62	117,4345077	0,11801268	0,417447107	0,3246734
63	117,4345077	0,11802493	1,990748517	1,1367522
64	117,4345077	0,11804068	3,994231912	2,0154434
65	117,4345077	0,11804593	5,435708971	2,5917012
66	117,4345077	0,11805643	8,800720853	3,4365798

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

67	117,4345077	0,11805993	11,69319517	4,1869324
68	117,4345077	0,11807044	15,92246555	5,0728219
69	97,67389341	0,09827131	0,409292662	0,3225454
70	97,67389341	0,09827277	1,762592244	1,0915517
71	97,67389341	0,09828152	3,583856287	1,943911
72	97,67389341	0,09828881	5,338979385	2,5762358
73	97,67389341	0,09829173	7,500036751	3,2581781
74	97,67389341	0,09829465	10,0899019	3,9860909
75	97,67389341	0,09829611	13,96525197	4,8558184
76	97,67389341	0,09829903	20,64243881	5,9832185
77	77,91327913	0,07836773	0,411205164	0,323047
78	77,91327913	0,07837355	1,403877636	1,0118204
79	77,91327913	0,07837704	3,267557165	1,8849532
80	77,91327913	0,07838285	4,921947741	2,5073321
81	77,91327913	0,07838867	6,970163997	3,1795673
82	77,91327913	0,07839216	9,442112598	3,8988926
83	77,91327913	0,07839565	13,17437579	4,762367
84	53,07136405	0,05342293	11,4807857	4,5488685
85	53,07136405	0,0534261	8,698964387	3,7937968
86	53,07136405	0,05343007	5,836072581	2,9968195
87	53,07136405	0,05343165	4,43848507	2,4223921
88	53,07136405	0,053438	2,900630748	1,8115778
89	53,07136405	0,05344118	1,210929584	0,9631634
90	53,07136405	0,05344435	0,403251625	0,3209506
91	42,34417344	0,04263734	0,403937288	0,3211324
92	42,34417344	0,0426386	1,211223558	0,9632414
93	42,34417344	0,04263734	2,594836214	1,7455388
94	42,34417344	0,0426367	4,021122415	2,3439515
95	42,34417344	0,04263417	5,827564499	2,9953625
96	42,34417344	0,04263354	8,677828171	3,7907217
97	42,34417344	0,04263227	12,23660435	4,6465771
98	42,34417344	0,04263164	16,54959295	5,5583211
99	42,34417344	0,04263164	22,79117244	6,633994
100	42,34417344	0,04262974	31,61523853	7,8840033
101	38,95663957	0,03921528	0,405808202	0,3216275
102	38,95663957	0,03921645	1,386479252	1,0076232
103	38,95663957	0,03921645	2,605585232	1,7479457
104	38,95663957	0,03921354	4,04171922	2,3479467
105	38,95663957	0,03921412	5,850298804	2,9992526
106	38,95663957	0,03921121	8,074417164	3,7007403
107	38,95663957	0,03921121	11,49758821	4,5510866
108	35,6199187	0,03586014	31,61523853	7,8840033
109	35,6199187	0,03586227	22,78563096	6,6334563
110	35,6199187	0,03586493	16,52547404	5,5556196
111	35,6199187	0,03586653	11,42507182	4,5414983
112	35,6199187	0,03586919	8,013758913	3,6914498
113	35,6199187	0,03587345	5,802163885	2,9910042
114	35,6199187	0,03587505	4,004576601	2,3407322
115	35,6199187	0,03587772	2,289580065	1,6742159
116	35,6199187	0,03587985	1,204492109	0,9614536
117	35,6199187	0,03588305	0,400915443	0,3203296
118	28,22944896	0,02843038	1,297693737	0,4738457

**Κεφάλαιο 7: Παράρτημα (προσεγγίσεις ιδιοτήτων – μετρήσεις – αποτελέσματα)**

119	28,22944896	0,02842869	3,189529644	1,330156
120	28,22944896	0,02842785	4,577069468	2,1090588
121	28,22944896	0,02842531	4,427712922	2,4204308
122	28,22944896	0,02842362	4,827691765	2,8131973
123	28,22944896	0,02842151	4,035051539	2,9367563
124	28,22944896	0,02842025	4,050186919	3,2141875
125	28,22944896	0,02841856	4,560897674	3,6171343
126	17,50225836	0,01762762	0,402372904	0,3207173
127	17,50225836	0,01762736	1,207411146	0,9622297
128	17,50225836	0,01762553	2,29680242	1,6759745
129	17,50225836	0,01762212	3,629313752	2,265206
130	17,50225836	0,01762317	5,315836636	2,9049872
131	17,50225836	0,01762082	7,416469373	3,5973604
132	17,50225836	0,01762003	9,934416595	4,3347125
133	17,50225836	0,01761768	14,72375623	5,3458988
134	17,50225836	0,01761558	21,77225989	6,5336223
135	10,16260163	0,0102357	0,402178066	0,3206656
136	10,16260163	0,01023509	1,207703698	0,9623074
137	10,16260163	0,01023311	2,300707123	1,6769237
138	10,16260163	0,01023144	3,251437743	2,1836918
139	10,16260163	0,01023159	5,326182083	2,9068705
140	10,16260163	0,01023023	7,430924077	3,599696
141	10,16260163	0,01022916	10,72002434	4,4460885
142	10,16260163	0,01022719	14,78135524	5,3528607
143	10,16260163	0,01022582	23,00342498	6,6545244
144	10,16260163	0,01022461	31,94891371	7,9116429

