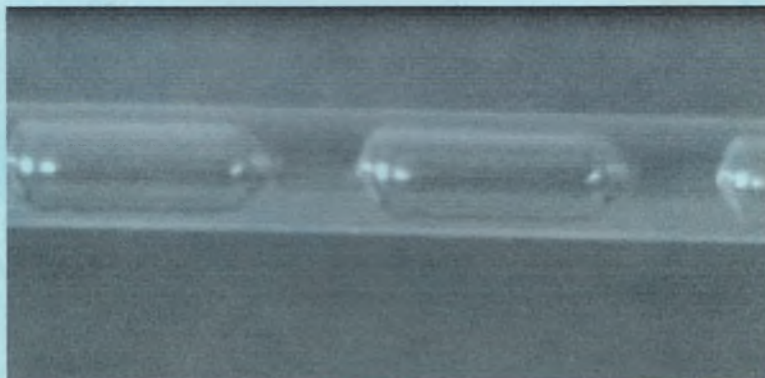


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
Εργαστήριο Φυσικών και Χημικών Διεργασιών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:
ΔΙΦΑΣΙΚΗ ΡΟΗ ΣΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΜΙΚΡΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ



ΕΚΠΟΝΗΤΗΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

Αναστασιάδης Αλέξιος

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Βασίλης Μποντόζογλου Νικόλαος Βλάχος Ερρίκος Σταπουντζης

ΒΟΛΟΣ 2002

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 947/1

Ημερ. Εισ.: 08-04-2002

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜΒ

2002

ΑΝΑ



αφ. εισ. 321 / Π.Α....



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000062909

Ευχαριστίες

Στο δύσκολο έργο της εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας, μου συμπαραστάθηκαν και με βοήθησαν κάποιοι άνθρωποι τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ.Βασίλη Μποντόζογλου. Αποτελεί, κατά την άποψη μου, έναν εξέχοντα επιστήμονα και συγχρόνως έναν καταπληκτικό άνθρωπο. Τόσο η βοήθειά του σε επιστημονικά θέματα όσο και η συμπαράστασή του σε κάθε δύσκολη στιγμή της εργασίας αυτής μου έδωσαν τα κατάλληλα εφόδια για να την φέρω εις πέρας. Δεν ξεχνώ παράλληλα ότι κατά ένα μεγάλο βαθμό του οφείλω την αγάπη μου σε αυτό που κάνω και στην ιδιότητά μου ως μηχανικός.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στα μέλη της τριμελούς μου επιτροπής, καθηγητές κ.κ.Νικόλαο Βλάχο και Ερρίκο Σταπουντζή για την συμπαράστασή τους και την προθυμία τους να με βοηθήσουν σε κάθε πρόβλημα που μου παρουσιαζόταν κατά την διάρκεια της διπλωματικής.

Δεν μπορώ να ξεχάσω τον κ.Θανάση Βέργο, τον κ.Σάββα Δουβαρτζίδη και τον κ.Γιώργο Στρατάκη για την βοήθειά τους στην κατασκευή της πειραματικής διάταξης και τις πολύτιμες συμβουλές τους σχετικά με τη λειτουργία της.

Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τις Κατερίνα Αργυριάδη και Κατερίνα Σερίφη για την προθυμία τους να με βοηθήσουν σε κάθε τι που τους ζητούσα και για τις ευχάριστες στιγμές που περάσαμε μαζί στο γραφείο.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα του Imperial College κ.Χρήστο Πανούτσο για την υποστήριξή του και τις συμβουλές που μου έδωσε τόσο σε επιστημονικά όσο και σε προσωπικά μου ζητήματα.

Από την άλλη πλευρά θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου Κώστα Μπολοβίνη, Δημήτρη Κακούλα και Δημήτρη Γελασάκη για όλα αυτά τα χρόνια που περάσαμε μαζί στο Βόλο αν και αποτελούν τον βασικό λόγο για τον οποίο καθυστέρησε η εκπόνηση της διπλωματικής μου και η απόκτηση του πτυχίου. Ιδιαίτερος μάλιστα τον Δημήτρη Κακούλα και τον Στέλιο Κουκούμιαλο γιατί επωμίστηκαν το δύσκολο έργο της μεταφοράς μου στο πανεπιστήμιο.

Πάνω από όλους, και με ξεχωριστή σημασία, θέλω να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη στους γονείς μου Γιώργο και Ευαγγελία και στην αδερφή μου Κική για την ψυχολογική και οικονομική τους ενίσχυση όλα αυτά τα χρόνια.

Με την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής ουσιαστικά επέρχεται το τέλος μιας εποχής. Σε αυτά τα πέντε χρόνια εκτός από τις γνώσεις που έλαβα από το πανεπιστήμιο, έμαθα να αισθάνομαι, να αγαπάω, να γελάω. Έμαθα πράγματα τα οποία δεν υπάρχουν σε κανένα βιβλίο και δεν διδάσκονται σε καμία παράδοση. Μπορεί η παρούσα διπλωματική εργασία να είναι σε φόντο άσπρο και μαύρο, το άλμπουμ όμως των αναμνήσεων θα είναι γεμάτο από χρώματα χαράς.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	
2.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΡΟΗΣ	5
2.2 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ.....	14
2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.....	21
2.3.1 ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	23
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ.....	25
3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	30
3.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΡΟΟΜΕΤΡΩΝ	
3.3.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΡΟΟΜΕΤΡΩΝ ΝΕΡΟΥ.....	31
3.3.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΡΟΟΜΕΤΡΩΝ ΑΕΡΑ.....	31
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	
4.1 ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΡΟΗΣ.....	36
4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ.....	39
4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΕΣ ΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΗΘΗΚΑΝ.....	41
4.3.1 ΡΟΗ TAYLOR.....	41
4.3.2 ΡΟΗ ΜΕ ΦΥΣΑΛΙΔΕΣ.....	45
4.3.3 ΣΤΡΩΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΡΟΗ.....	46
4.3.3 ΔΙΑΛΕΙΠΟΥΣΑ ΡΟΗ.....	48
4.3.4 ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΗΣ ΡΟΗ.....	48
4.3.5 ΚΛΕΙΣΤΗ ΡΟΗ.....	49
4.3.6 ΔΙΑΣΚΟΡΠΙΣΜΕΝΗ ΡΟΗ.....	50
4.3.7 ΨΕΥΔΟ-ΔΙΑΛΕΙΠΟΥΣΑ ΡΟΗ.....	50
4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΡΟΗΣ ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ.....	51
4.4.1 ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΡΟΗΣ ΤΩΝ DAMIANIDES ΚΑΙ WESTWATER	51
4.4.2 ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΡΟΗΣ ΤΩΝ COLEMAN ΚΑΙ GARIMELA.....	53

4.4.3 ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΡΟΗΣ ΤΩΝ YANG ΚΑΙ SHIEH.....	54
4.4.4 ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΡΟΗΣ ΤΩΝ BERNEA, LUNINSKI ΚΑΙ ΤΑΙΤΕΛ	55
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	57
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	60
I. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I – ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΡΟΟΜΕΤΡΩΝ ΝΕΡΟΥ.....	62
II. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II – ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΡΟΟΜΕΤΡΩΝ ΑΕΡΑ.....	67
III. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III – ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	75

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η διφασική ροή αέρα και νερού σε κυκλικό αγωγό με εσωτερική διάμετρο 3 mm. Η διφασική ροή σε αγωγούς μεγάλης διαμέτρου αποτελούσε πάντα γόνιμο έδαφος μελέτης. Η στροφή όμως της βιομηχανικής ερευνάς στην προσπάθεια δημιουργίας συμπαγών συσκευών οι οποίες καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο, ανάγκασαν τους ερευνητές να δώσουν ιδιαίτερη βαρύτητα στη μελέτη της διφασικής ροής σε σωλήνες μικρής διαμέτρου.

Οι βασικοί στόχοι της παρούσας μελέτης είναι τρεις:

- Η δημιουργία χάρτη περιοχών ροής για το σύστημα νερό-αέρας.
- Η αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών κάθε μιας από τις περιοχές ροής.
- Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της εργασίας με άλλες μελέτες.

Στα πλαίσια της πραγματοποίησης των παραπάνω στόχων κατασκευάστηκε πειραματική διάταξη που αποτελείται από ροόμετρα για την μέτρηση των παροχών αέρα και νερού, δοσομετρική αντλία νερού, σωλήνα από plexiglass εσωτερικής διαμέτρου 3 mm και διαχωριστή. Η μελέτη της ροής γίνεται οπτικά με χρήση ψηφιακής κάμερας υψηλής ταχύτητας.

Στην προσπάθεια δημιουργίας του χάρτη περιοχών ροής μελετήθηκαν 928 σημεία που το κάθε ένα από αυτά αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο συνδυασμό παροχών αέρα και νερού. Η σύγκριση που έγινε ανάμεσα στους χάρτες περιοχών ροής της συγκεκριμένης εργασίας και άλλων εργασιών μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει ικανοποιητική συμφωνία και συνεπώς η συσκευή δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Παράλληλα χρησιμοποιώντας δυο διαφορετικές γωνίες εισόδου των παροχών του αέρα και του νερού οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι η γωνία με την οποία αναμιγνύονται οι παροχές δεν επηρεάζει τον τρόπο εμφάνισης των περιοχών ροής. Τέλος ελήφθησαν με την βοήθεια της κάμερας φωτογραφίες που μας

δίνουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξης των περιοχών ροής.

Τα αποτελέσματα της εργασίας δείχνουν ότι η διφασική ροή σε σωλήνες μικρής διαμέτρου αξίζει να διερευνηθεί περισσότερο. Άμεσοι στόχοι είναι η τεκμηρίωση της επίδρασης του ιξώδους και της επιφανειακής τάσης στην εμφάνιση των περιοχών ροής και η διατύπωση ποσοτικών κριτηρίων για την μετάβαση από την μια περιοχή ροής στην άλλη. Παράλληλα θα πρέπει να γίνει προσπάθεια για πιο αντικειμενική διακριτοποίηση των περιοχών ροής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο **φάση** αναφερόμαστε σε μια από τις καταστάσεις της ύλης και μπορεί να είναι αέρια, υγρή και στερεή. Πολυφασική ροή είναι η ταυτόχρονη ροή διαφόρων φάσεων. Η απλούστερη περίπτωση πολυφασικής ροής είναι η διφασική ροή, δηλαδή η ροή που δημιουργείται εξαιτίας της ταυτόχρονης ροής δυο φάσεων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με την διφασική ροή αέρα και νερού.

Η διφασική ροή εμφανίζεται στον φυσικό κόσμο, όπως για παράδειγμα η ομίχλη, ο καπνός και οι ανεμοθύελλες. Παράλληλα σε πολλές διεργασίες που πραγματοποιούνται στην βιομηχανία εμφανίζεται διφασική ροή ανάμεσα σε διάφορα ρευστά. Η εξάτμιση και συμπύκνωση στις ψυκτικές εγκαταστάσεις, η μεταφορά διαφόρων υλών με την βοήθεια των ρευστών και η απορρόφηση αέριων σε υγρά για την μεταβολή της σύστασης διαφόρων ρευμάτων, αποτελούν ορισμένες μόνο διεργασίες στις οποίες εμφανίζεται διφασική ροή.

Τα τελευταία χρόνια δημιουργήθηκε ιδιαίτερο ενδιαφέρον στους ερευνητές σχετικά με την ροή που εμφανίζεται κατά την ταυτόχρονη ροή δυο ρευστών σε σωλήνες πολύ μικρής διαμέτρου. Το ενδιαφέρον αυτό στηρίχτηκε κυρίως στο γεγονός ότι η βιομηχανική έρευνα στράφηκε στην προσπάθεια δημιουργίας συμπαγών συσκευών οι οποίες καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο και δίνουν καλύτερα αποτελέσματα. Μια τέτοια χαρακτηριστική συσκευή είναι ο συμπαγής ενναλάκτης θερμότητας που βρίσκει αυξανόμενη εφαρμογή στον χώρο της βιομηχανίας. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η μελέτη της διφασικής ροής σε σωλήνες μικρής διαμέτρου παρουσιάζει τόσο επιστημονικό όσο και πρακτικό ενδιαφέρον.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι σημαντικότερες μελέτες που έχουν γίνει για διφασική ροή και τα σημαντικότερα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν οι ερευνητές. Παράλληλα στον πίνακα

εμφανίζονται τα ρευστά με τα οποία έγινε η έρευνα καθώς επίσης και η διατομή του σωλήνα μέσα στον οποίο παρατηρήθηκε η ροή.

Πίνακας 1: Προηγούμενες έρευνες για την διφασική ροή.

ΕΡΕΥΝΗΤΕΣ	ΡΕΥΣΤΑ	DI MM	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
Baker 1954	<ul style="list-style-type: none"> • Αέρας-νερό • Λαδί – νερό 	24.4,50.8, 101.6	<ul style="list-style-type: none"> • Πειραματικά δεδομένα για 1atm και 20°C. • Χάρτες περιοχών ροής για τα πειραματικά δεδομένα
Chato 1962	<ul style="list-style-type: none"> • R-113 	14.5	<ul style="list-style-type: none"> • Οριζόντιοι και επικλινείς σωλήνες
Suo and Griffith 1963	<ul style="list-style-type: none"> • Αέρας –νερό 	1-1.5	<ul style="list-style-type: none"> • Επικέντρωση για Διαλείπουσα ροή
Griffith and Lee 1964	<ul style="list-style-type: none"> • Αέρας-νερό • Αέρας-γλυκερίνη 	1	<ul style="list-style-type: none"> • Επικέντρωση στα φαινόμενα μετάβασης από την Διαλείπουσα ροή στην Δακτυλιοειδή.
Soliman and Azer 1971	<ul style="list-style-type: none"> • R-12 	12.7	<ul style="list-style-type: none"> • Τέσσερις χάρτες ροής • Διακριτοποίηση των περιοχών ροής
Traviss and Rohsenow 1973	<ul style="list-style-type: none"> • R-12 	8	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής
Soliman 1974	<ul style="list-style-type: none"> • R-12 • R-134a 		<ul style="list-style-type: none"> • Τέσσερις χάρτες ροής • Διακριτοποίηση των περιοχών ροής
Mandhane 1974	<ul style="list-style-type: none"> • Αέρας –νερό • Αέρας-λαδί • Νερό-λαδί 	12.7-165.1	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής βασισμένος σε 5935 πειραματικά σημεία.
Taitel and Dukler 1976	<ul style="list-style-type: none"> • Γενικά για διφασική ροή 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής • Διακριτοποίηση των περιοχών ροής
Jaster and Kosky 1976	<ul style="list-style-type: none"> • Ατμός 	12.5	<ul style="list-style-type: none"> • Δημιουργία κριτηρίων για την μετάβαση από την Στρωματοποιημένη ροή στην Δακτυλιοειδή ροή
Weisman 1979	<ul style="list-style-type: none"> • Αέρας –νερό • Αέρας –λαδί • R-11 	12-50	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής
Breber 1980	<ul style="list-style-type: none"> • R-12 • R-113 • R-11 • Ατμός 	4.8-50.8	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής • Διακριτοποίηση των περιοχών ροής • Δημιουργία κριτηρίων για την μετάβαση από την μια περιοχή ροής σε άλλη

Tandon 1980	<ul style="list-style-type: none"> • R-12 • R-113 	4.8-15.9	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής • Διακριτοποίηση των περιοχών ροής
Soliman 1982	<ul style="list-style-type: none"> • R-12 • R-134a • R-113 	4.8-15.9	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής
Barnea 1983	<ul style="list-style-type: none"> • Αέρας –νερό 	4-12.3	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής
Soliman 1983 Soliman 1986	<ul style="list-style-type: none"> • R-12 • R-113 • Ατμός 	4.8-13.4	
Rahman 1985	<ul style="list-style-type: none"> • Ατμός 	13.4,25.3	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής
Andritsos 1986	<ul style="list-style-type: none"> • Αέρας -νερό 	25.4-100	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής • Διακριτοποίηση των περιοχών ροής
Damianides and Westwater 1988	<ul style="list-style-type: none"> • Αέρας –νερό 	1-5	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής
Galbiatti and Andreini 1992	<ul style="list-style-type: none"> • Αέρας –νερό 	4-12.3	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής
Dobson 1994	<ul style="list-style-type: none"> • R-12 • R-134a 	4.57	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής • Διακριτοποίηση των περιοχών ροής
Dobson and Chato 1998	<ul style="list-style-type: none"> • R-12 • R-134a • R-22 • R-32 	3.14,7.04	<ul style="list-style-type: none"> • Χάρτης περιοχών ροής • Διακριτοποίηση των περιοχών ροής

Από τον παραπάνω χάρτη γίνεται εμφανές ότι οι μελέτες που έχουν γίνει για διφασική ροή αέρα και νερού σε σωλήνες με εσωτερική διάμετρο 3mm είναι συγκριτικά ελάχιστες.

Το κύριο χαρακτηριστικό της ροής διφασικού μίγματος σε οριζόντιο κυλινδρικό αγωγό είναι η μορφή της διεπιφάνειας υγρού και αερίου, η οποία εξαρτάται από τις ιδιότητες των δυο φάσεων, τις παροχές τους, την διάμετρο του σωλήνα και τους επηρεασμούς του εξωτερικού περιβάλλοντος. Με βάση αυτό το χαρακτηριστικό ταξινομείται η διφασική ροή σε διάφορα πρότυπα ή περιοχές ροής (flow patterns). Οι βασικότερες περιοχές ροής θα παρουσιαστούν στο δεύτερο κεφάλαιο μαζί με τις σημαντικότερες έρευνες που έχουν γίνει για διφασική ροή αέρα και νερού σε σωλήνες με εσωτερική διάμετρο 3mm.

Ο γενικότερος τρόπος εξέτασης των περιοχών ροής γίνεται με την κατασκευή χαρτών ροής. Οι χάρτες είναι δίπλα λογαριθμικά διαγράμματα που στον άξονα X έχουν τη ταχύτητα του αερίου και στον άξονα Ψ τη ταχύτητα του υγρού. Η κατασκευή ενός γενικού χάρτη ροής είναι δύσκολη αφού αλλαγή κυρίως στην διάμετρο, στο ιξώδες, στην κλίση και στην μορφή της διατομής επιφέρει και αλλαγή στον χάρτη ροής. Ο χάρτης ροής που προέκυψε από την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία παρουσιάζεται στο τέταρτο κεφαλαίο μαζί με αλλά συμπεράσματα και παρατηρήσεις.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η πρόβλεψη των βασικών χαρακτηριστικών της διφασικής ροής αποτελεί βασικό ερευνητικό στόχο που θα οδηγήσει σε περισσότερο αξιόπιστο σχεδιασμό πολλών βιομηχανικών διεργασιών. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγιναν οι πρώτες οπτικές παρατηρήσεις για διφασικό μίγμα νερού και αέρα σε σωλήνα οριζόντιας διφασικής ροής διαμέτρου 3mm που μόλις εγκαταστάθηκε στο Έργ. Φυσικών και Χημικών Διεργασιών του Τμήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Περιοχές ροής.

Η γνώση των περιοχών ροής αποτελεί μια από τις πιο αναγκαίες προϋποθέσεις για τη μελέτη οποιουδήποτε τύπου διφασικής ροής. Η μελέτη όμως αυτή παρουσιάζει ένα σημαντικό πρόβλημα: η ταξινόμηση των περιοχών ροής είναι ορισμένες φορές ιδιαίτερα αμφισβητούμενη, και οι διαφορές στην ερμηνεία από τους ερευνητές έχουν οδηγήσει σε μια ευρεία σειρά ονομάτων περιοχών ροής. Μερικά από αυτά τα ονόματα αναφέρονται πραγματικά στα ίδια πρότυπα ροής. Μερικά παρόμοια ονόματα, από την άλλη μεριά, χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν δύο εξ ολοκλήρου διαφορετικά πρότυπα ροής ως αποτέλεσμα της χρησιμοποίησης διαφορετικών κριτηρίων από τους ερευνητές.

Η διφασική ροή σε κυκλικούς αγωγούς αποτελεί αντικείμενο μελέτης για τους ερευνητές τα τελευταία σαράντα χρόνια. Η γενικά πιο αποδεκτή διακριτοποίηση των περιοχών ροής δόθηκε από τον Alves(1954), ο οποίος θεώρησε ότι υπάρχουν οι εξής περιοχές : Ροή με φυσαλίδες (Bubble flow), Διαλείπουσα ροή (Slug flow), Κλειστή ροή (Plug flow), Στρωματοποιημένη ροή (Stratified flow), Στρωματοποιημένη ροή με κύματα (Wavy flow) και Δακτυλιοειδής ροή (Annular flow). Οι Taitel και Dukler (1976) χρησιμοποίησαν τον όρο Διακοπτόμενη ροή (Intermittent flow) για να περιγράψουν την Διαλείπουσα ροή (Slug flow) και την Κλειστή ροή (Plug flow) που αναφέρει ο Alves στην έρευνα του. Η πιο προβληματική περιοχή, όσο αναφορά την περιγραφή της, είναι αυτή που εμφανίζεται κατά την μετάβαση από την Διαλείπουσα ροή (Slug flow) στην Δακτυλιοειδή ροή

(Annular flow). Οι Lin και Hanratty (1987) αναφέρονται σε αυτήν την περιοχή χρησιμοποιώντας τον όρο Ψευδο-διαλείπουσα ροή (Pseudo-slug flow) ενώ οι Taitel και Dukler (1976) χρησιμοποίησαν τον όρο Δακτυλιοειδής ροή με κύματα (Wavy annular flow).

Από τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μια γενικότερη δυσκολία στο να κατηγοριοποιήσουμε τις διάφορες περιοχές ροής και στα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να έχει η κάθε περιοχή. Στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται αναλυτική περιγραφή των φαινομένων που παρατηρούνται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα όπου είναι δυνατόν με την μέχρι τώρα βιβλιογραφία.

Οι κυριότερες περιοχές ροής της οριζόντιας διφασικής ροής είναι οι εξής :

Στρωματοποιημένη ροή (Stratified flow). Σχηματίζεται σε σχετικά μικρές παροχές υγρού. Ο διαχωρισμός της ροής λόγω της βαρύτητας είναι πλήρης με αποτέλεσμα η υγρή φάση του ρευστού να ρέει στο κάτω μέρος του αγωγού ενώ η αέρια φάση στο πάνω μέρος. Ανάλογα με τα φαινόμενα που επικρατούν στη διεπιφάνεια μεταξύ υγρού και αερίου η στρωματοποιημένη ροή χωρίζεται στις εξής περιοχές ροής

Στρωματοποιημένη ομαλή ροή (Stratified smooth). Σε αυτή την περιοχή δεν παρατηρείται καμία απολύτως διαταραχή στη διεπιφάνεια υγρού και αερίου.

Στρωματοποιημένη ροή με μοναχικά κύματα (Stratified with solitary waves). Στην διεπιφάνεια υγρού-αέρα υπάρχουν μοναχικά κύματα τα οποία εμφανίζονται με συγκεκριμένη συχνότητα και η συχνότητα των κυμάτων αυξάνεται όσο αυξάνουμε την παροχή του αέρα.

Στρωματοποιημένη ροή με κύματα (Wavy stratified). Οι διαταραχές στην διεπιφάνεια είναι έντονες. Εμφανίζονται κύματα με μικρό ύψος και μεγάλη συχνότητα εμφάνισης, που μπορούμε να τα χαρακτηρίσουμε ως περιοδικά .

Διαλείπουσα ροή (Slug flow). Η ροή αυτή χαρακτηρίζεται από την διέλευση υγρών μαζών, οι οποίες κινούνται σχεδόν με την ταχύτητα που κινείται ο αέρας και για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα

κλείνουν την διατομή του σωλήνα. Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της ροής είναι οι απότομες μεταβολές της πίεσης μέσα στον σωλήνα, γεγονός που την καθιστά ανεπιθύμητη στις περισσότερες εφαρμογές.

Κλειστή ροή (Plug flow). Κατά την εμφάνιση αυτής της ροής στο εσωτερικό του σωλήνα παρατηρούνται μάζες νερού οι οποίες καταλαμβάνουν όλο το εσωτερικό του σωλήνα και οι οποίες για σταθερή παροχή νερού και αέρα εμφανίζονται με σταθερή συχνότητα. Σε μεγάλες παροχές αέρα στο εσωτερικό των μαζών νερού υπάρχουν και πολύ μικρές φυσαλίδες.

Δακτυλιοειδής ροή (Annular flow). Εμφανίζεται κυρίως σε μεγάλες παροχές αέρα. Κατά την ροή αυτή μια ποσότητα υγρού κατακρατείται από την αέρια φάση υπό μορφή σταγονιδίων, ενώ το υπόλοιπο υγρό ρέει με σχετικά μικρότερη ταχύτητα με τη μορφή ενός λεπτού στρώματος, περιβρέχοντας την εσωτερική περίμετρο του σωλήνα.

Διασκορπισμένη ροή (Dispersed flow). Η ροή αυτή εμφανίζεται σε πολύ μεγάλες παροχές υγρού και αερίου. Η ροή τόσο υγρού όσο και του αερίου είναι τυρβώδης με αποτέλεσμα να έχουμε έντονα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Η ροή μέσα στον σωλήνα είναι χαοτική, και ελάχιστα συμπεράσματα μπορούμε να βγάλουμε σχετικά με τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό του σωλήνα.

Ροή με φυσαλίδες (Bubble flow). Σε μικρές παροχές αέρα και μεγάλες παροχές υγρού στο εσωτερικό του σωλήνα εμφανίζονται μικρές φυσαλίδες οι οποίες κινούνται στην κορυφή του σωλήνα. Η διάμετρος τους εξαρτάται από την παροχή του αέρα και αυξάνει όσο αυξάνουμε την παροχή.

Ψευδο-διαλείπουσα ροή (Pseudo-slug flow). Η ροή αυτή αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα στην Κλειστή ροή (Plug flow) και στην Διαλείπουσα ροή (Slug flow). Κατά διαστήματα στο εσωτερικό του σωλήνα εμφανίζονται μάζες υγρού που μοιάζουν με αυτές που εμφανίζονται στην Κλειστή ροή (Plug flow) μόνο που οι μάζες αυτές έχουν μεγαλύτερο ποσοστό αέρα.

Ροή Taylor (Taylor bubble flow). Αυτή η ροή χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση μεγάλων φυσαλίδων που έχουν ελλειψοειδή μύτη και

είναι γνωστές σαν φυσαλίδες Taylor. Οι φυσαλίδες αυτές εμφανίζονται κυρίως στην κατακόρυφη ροή, όπου υπάρχει συμμετρία στην ποσότητα του υγρού που υπάρχει γύρω από την φυσαλίδα. Παρόλο αυτά και στην οριζόντια διφασική ροή εμφανίζονται αυτές οι φυσαλίδες, οι οποίες όμως εξαιτίας της βαρύτητας δεν παρουσιάζουν συμμετρία όσο αναφορά το πάχος του υγρού που τις περιβάλλει. Έχουν γίνει αρκετές έρευνες σχετικά με το πώς αναπτύσσονται οι φυσαλίδες αυτές και την ταχύτητα με την οποία κινούνται (Davies και Taylor, 1950 και Brown, 1965).

Οι οχτώ βασικές περιοχές ροής, που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι αυτές που παρατηρήθηκαν στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να κάνουμε ορισμένες γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τις περιοχές ροής που αναφέραμε και στο πώς αυτές εμφανίζονται στη πειραματική διάταξη:

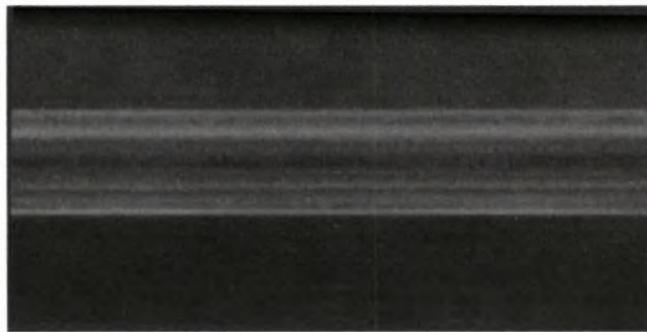
Οι περιοχές που αναφέραμε δεν εμφανίζονται αποκλειστικά μόνες τους. Υπάρχει για παράδειγμα περίπτωση μαζί με την Κλειστή ροή (Plug flow) να παρατηρήσουμε μέσα στον σωλήνα και την ύπαρξη μιας άλλης περιοχής ροής, όπως για παράδειγμα η Διαλείπουσα ροή (Slug flow). Στην περίπτωση αυτή αν η συχνότητα εμφάνισης μιας περιοχής ροής είναι πολύ μεγαλύτερη από την άλλη, τότε θεωρούμε ότι στη συγκεκριμένη παροχή αέρα και νερού εμφανίζεται μόνο η περιοχή ροής με την μεγαλύτερη συχνότητα. Στην περίπτωση όμως που και οι δυο περιοχές ροή εμφανίζονται με την ίδια συχνότητα τότε χρησιμοποιούμε τα ονόματα και τον δυο περιοχών ροής για να χαρακτηρίσουμε το συγκεκριμένο σημείο στο διάγραμμα ροής.

Η μετάβαση από την μια περιοχή ροής στην άλλη δεν είναι ακαριαία. Για το λόγο αυτό στο διάγραμμα ροής, στα σημεία που βρίσκονται κοντά στα σύνορα μετάβασης από την μια περιοχή στην άλλη, είναι σίγουρο ότι στο σωλήνα εμφανίζονται και τα δυο είδη ροής. Ο χαρακτηρισμός της ροής στα σημεία αυτά είναι καθαρά υποκειμενικός και ίσως το ποιο σωστό είναι τα σημεία αυτά να θεωρούνται ότι ανήκουν και στις δυο περιοχές ροής.

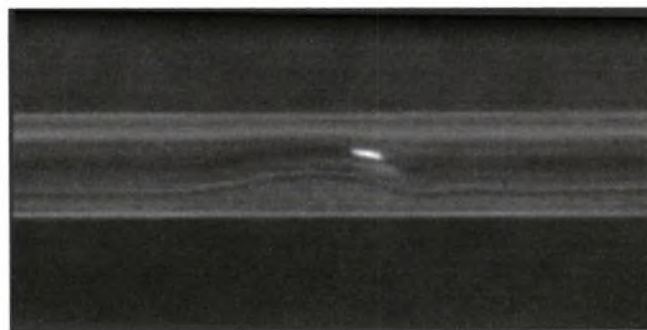
Όπως αναφέραμε και παραπάνω στη Διασκορπισμένη ροή (Dispersed flow) η ροή μέσα στον σωλήνα χαρακτηρίζεται σαν χαοτική.

Επομένως η τεκμηρίωση της εμφάνισης της ροής αυτής μόνο με τη βοήθεια οπτικών μέσων είναι σχετικά δύσκολη. Για το λόγο αυτό ίσως να υπάρχει κάποιο μικρό σχετικά σφάλμα όσο αναφορά τις παροχές στις οποίες αρχίζει να εμφανίζεται αυτή η περιοχή ροής.

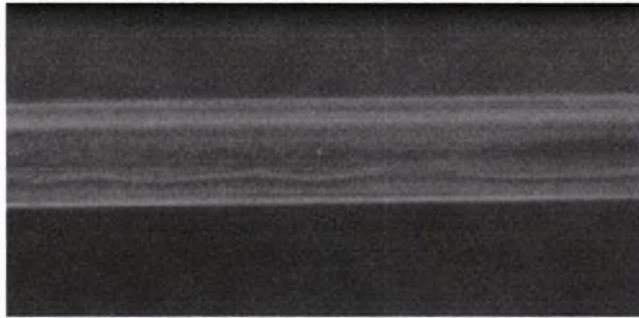
Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι βασικές περιοχές ροής τις οποίες αναλύσαμε παραπάνω.



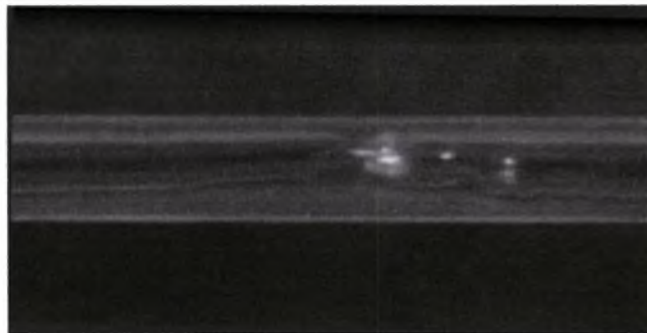
Εικόνα 1 : Στρωματοποιημένη ομαλή ροή (Stratified smooth)



Εικόνα 2 : Στρωματοποιημένη ροή με μοναχικά κύματα (Stratified with solitary waves).



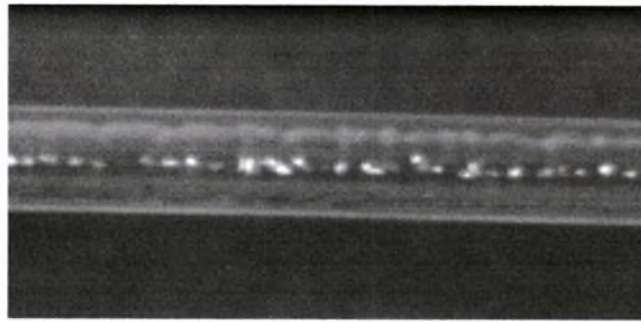
Εικόνα 3 : Στρωματοποιημένη ροή με κύματα (Wavy stratified).



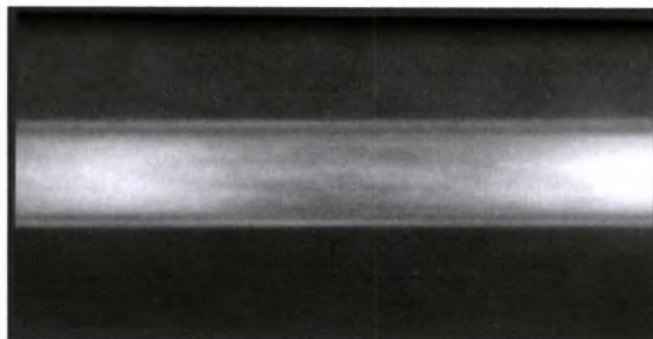
Εικόνα 4 : Διαλείπουσα ροή (Slug flow).



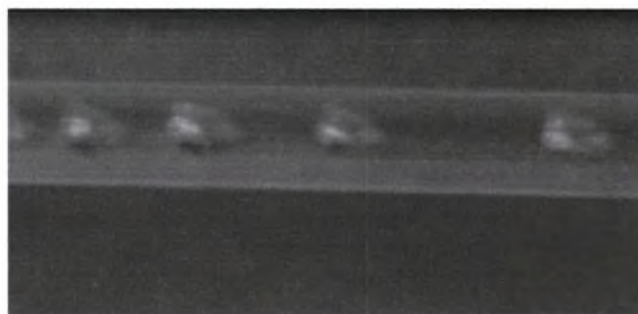
Εικόνα 5 : Κλειστή ροή (Plug flow).



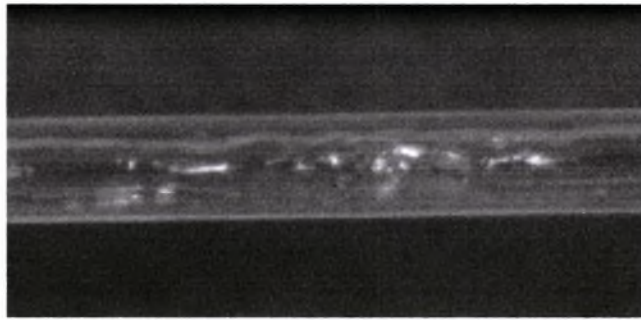
Εικόνα 6 : Δακτυλιοειδής ροή (Annular flow)



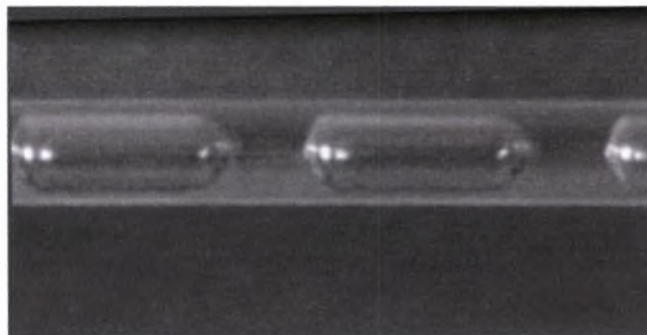
Εικόνα 7 : Διασκορπισμένη ροή (Dispersed flow).



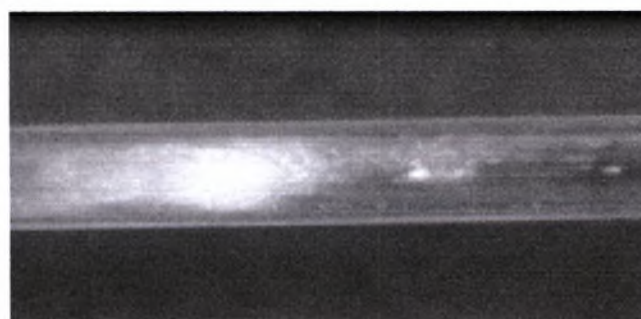
Εικόνα 8 : Ροή με φυσαλίδες (Bubble flow).



Εικόνα 9 : Ψευδο-διαλείπουσα ροή (Pseudo-slug flow).

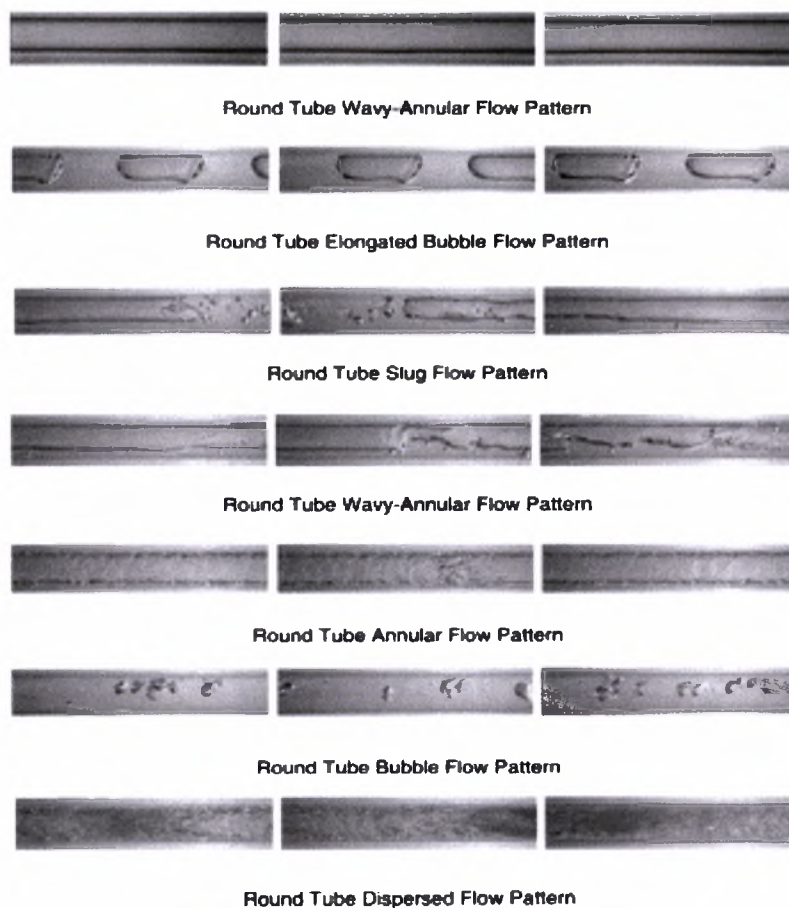


Εικόνα 10: Ροή Taylor (Taylor bubble flow).



Εικόνα 11 : Δακτυλιοειδή-διαλείπουσα ροή (Slug-Annular flow)

Για να μπορέσουμε να έχουμε ένα μέτρο σύγκρισης όσο αναφορά τις περιοχές ροής που φαίνονται στις παραπάνω φωτογραφίες, παραθέτουμε στη συνέχεια τις φωτογραφίες των περιοχών ροής όπως τις κατέγραψαν οι Coleman και Garimella (1988)

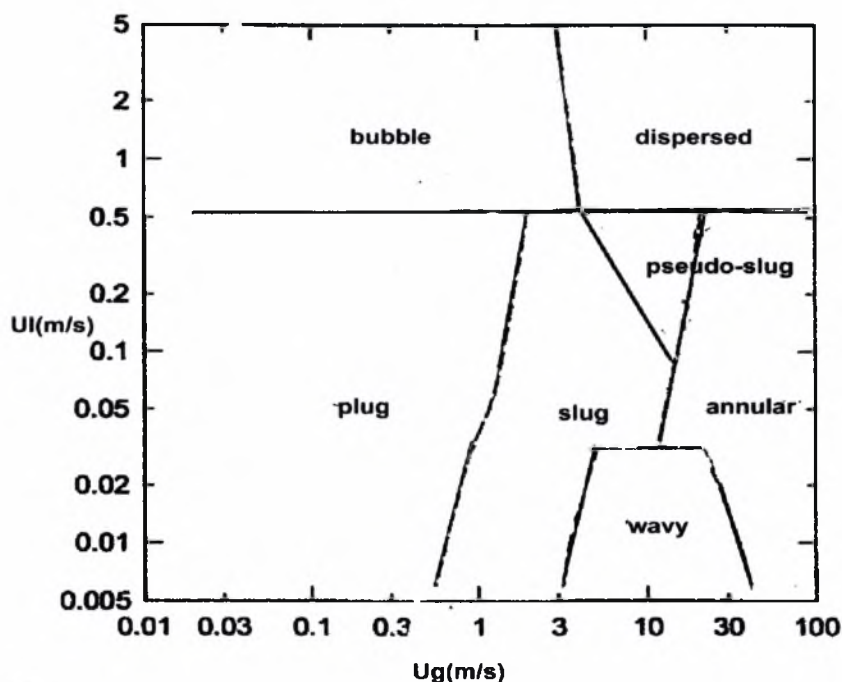


Εικόνα 12: Περιοχές ροής όπως τις κατέγραψαν οι Coleman και Garimella (1988).

2.2 Προηγούμενες έρευνες

Οι έρευνες που έχουν γίνει σχετικά με την διφασική ροή σε μικρού διαμέτρου σωλήνες είναι σχετικά λίγες. Στη συνέχεια θα παραθέσουμε τις σημαντικότερες από αυτές που έχουν γίνει για σωλήνα με διάμετρο κοντά στα 3 mm που αποτελεί και το αντικείμενο της ερευνάς μας.

Μια από της πιο σημαντικές έρευνες πραγματοποιήθηκε από τους Damianides και Westwater (1988) οι οποίοι δημιούργησαν χάρτες ροής για σωλήνες με διάμετρο από 1 μέχρι 5 χιλιοστά. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο χάρτης ροής για σωλήνα με εσωτερική διάμετρο 3mm.



Εικόνα 13 : Χάρτης ροής των Damianides και Westwater για σωλήνα με διάμετρο 3mm.

Από την παραπάνω εικόνα βγάζουμε το συμπέρασμα ότι οι περιοχές ροής που χρησιμοποιήθηκαν είναι σχεδόν οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Η μόνη διάφορα που παρατηρείται είναι ότι οι Damianides και Westwater δεν χρησιμοποίησαν τον όρο Στρωματοποιημένη ροή (Stratified flow) και στη θέση της χρησιμοποίησαν τον όρο Wavy. Με τον όρο Wavy

ουσιαστικά αναφέρονται σε αυτό που εμείς αποκαλούμε Στρωματοποιημένη με κύματα (Wavy stratified flow).

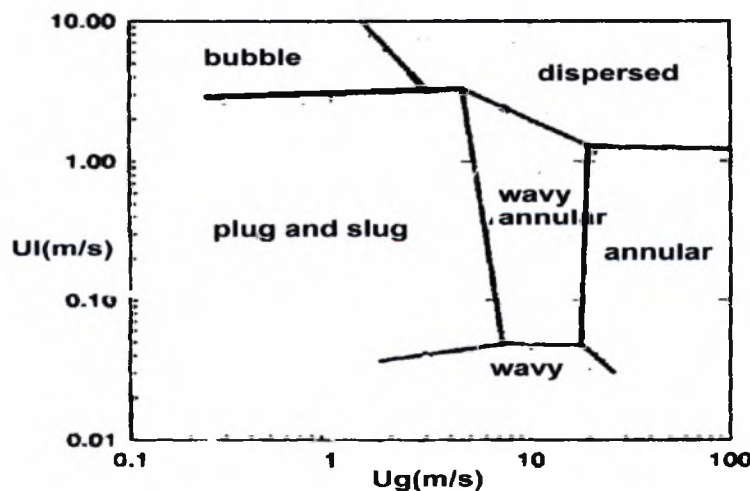
Παράλληλα από τις έρευνες που έκαναν για την διφασική ροή κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

1. Για σταθερή παροχή αέρα, οι μεγαλύτεροι σωλήνες χρειάζονται μεγαλύτερη παροχή νερού για να περάσουμε από τις Διακοπτόμενες ροές (Intermitted flow), δηλαδή αυτές που εμείς αναφέρουμε σαν Διαλείπουσα ροή (Slug flow) και Κλειστή ροή (Plug flow), στην Διασκορπισμένη ροή (Dispersed flow).

2. Για σταθερή παροχή νερού, οι μικρότεροι σωλήνες χρειάζονται μεγαλύτερη παροχή αέρα για να περάσουμε από τις Διακοπτόμενες ροές (Intermitted flow) στην Δακτυλιοειδή ροή (Annular flow).

3. Όσο μειώνουμε την διάμετρο του σωλήνα, η περιοχή που καταλαμβάνει η Στρωματοποιημένη ροή (Stratified flow) στο χάρτη ροής μειώνεται.

Οι Coleman και Garimella (1988) ασχολήθηκαν με την διφασική ροή τόσο σε κυλινδρικούς όσο και σε ορθογώνιους σωλήνες με μικρή διατομή. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το χάρτη ροή που δημιούργησαν για σωλήνα με εσωτερική διάμετρο 2.6mm



Εικόνα 14 :Χάρτης ροής των Coleman και Garimella για σωλήνα με διάμετρο 2.6mm

Από τον χάρτη ροής συμπεραίνουμε ότι οι Coleman και Garimella (1988), δεν έκαναν κανένα διαχωρισμό ανάμεσα στην Κλειστή ροή (Plug flow) και στην Διαλείπουσα ροή (Slug flow) και τις θεώρησαν σαν μια περιοχή ροής, ενώ δεν αναφέρονται καθόλου στην Ψευδο-διαλείπουσα ροή (Pseudo-slug flow) την οποία περιοχή ροής την ονομάζουν Wavy-Annular flow.

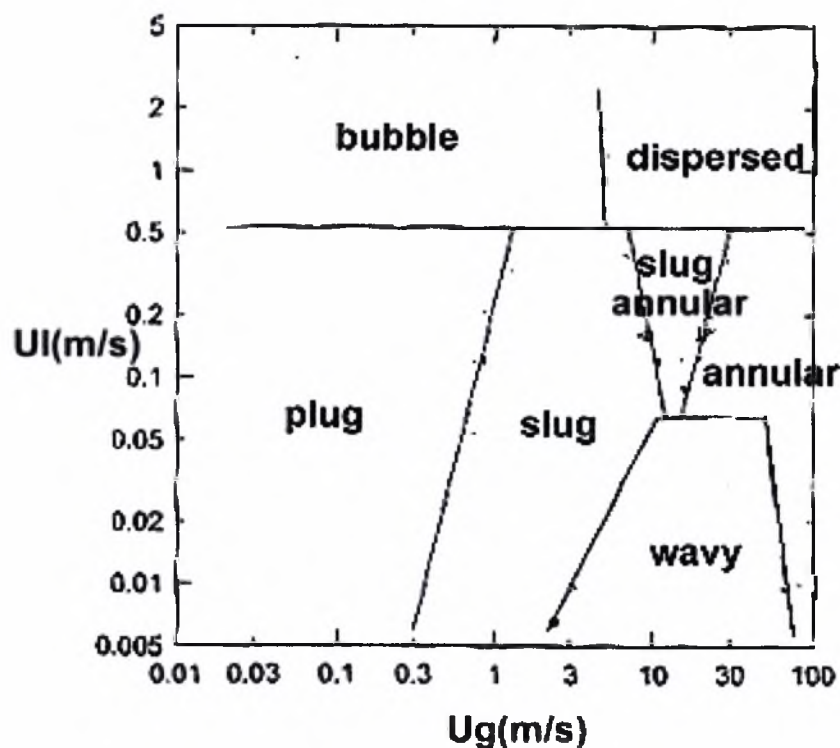
Τα συμπεράσματα στα οποία κατάληξαν για την διφασική ροή σε μικρούς κυλινδρικούς σωλήνες είναι τα έξης :

1. Σε αντίθεση με προηγούμενες μελέτες που έδειξαν ότι η διάμετρος του σωλήνα και η επιφανειακή τάση δεν επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο εμφανίζονται οι διάφορες περιοχές ροής, οι Coleman και Garimella απόδειξαν ότι αυτό ισχύει μόνο για σωλήνες με διάμετρο μεγαλύτερη από 10mm. Σε σωλήνες με διάμετρο μικρότερη από 10mm απέδειξαν ότι η επιφανειακή τάση και η διάμετρος του σωλήνα παίζουν μεγάλο ρόλο στο σχηματισμό των διάφορων περιοχών ροής.

2. Καθώς η διάμετρος του σωλήνα ελαττώνεται, οι αλλαγές από την μια περιοχή στην άλλη πραγματοποιείται σε διαφορετικούς συνδυασμούς παροχής αέρα και νερού.

3. Ένα άλλο αποτέλεσμα της επιρροής της επιφανειακής τάσης και της διαμέτρου του σωλήνα στη διφασική ροή σε σωλήνες με διάμετρο κάτω από 10mm, είναι ότι εμποδίζουν τον σχηματισμό της Στρωματοποιημένη ροής (Stratified flow) και ευνοούν τον σχηματισμό της Διακοπτόμενης ροής (Intermittent flow), δηλαδή της Κλειστής ροής (Plug flow) και της Διαλείπουσας ροής (Slug flow).

Μια από τις πιο πρόσφατες μελέτες που έχουν γίνει για διφασική ροή σε σωλήνες με μικρή διάμετρο είναι αυτή που πραγματοποιήθηκε από τους Yang και Shieh (2001). Οι δυο ερευνητές ασχολήθηκαν με τη διφασική ροή αέρα και νερού καθώς και για το ψυκτικό υγρό R-134a, σε σωλήνες με διάμετρο από 1mm μέχρι 3mm. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα αποτελέσματα για διφασική ροή αέρα-νερού σε σωλήνα με εσωτερική διάμετρο 3mm.



Εικόνα 15 : Χάρτης ροής των Yang και Shieh για σωλήνα με διάμετρο 3mm.

Παρατηρούμε ότι ο χάρτης ροής των Yang και Shieh(2001) μοιάζει πολύ με το χάρτη ροής που δημιούργησαν οι Damianides και Westwater (1988). Η μόνη διάφορα που παρουσιάζουν οι δυο αυτοί χάρτες είναι ότι η περιοχή ροής που οι Damianides και Westwater (1988) χαρακτηρίζουν σαν Pseudo-slug, οι Yang και Shieh(2001) την χαρακτηρίζουν σαν Slug-annular.

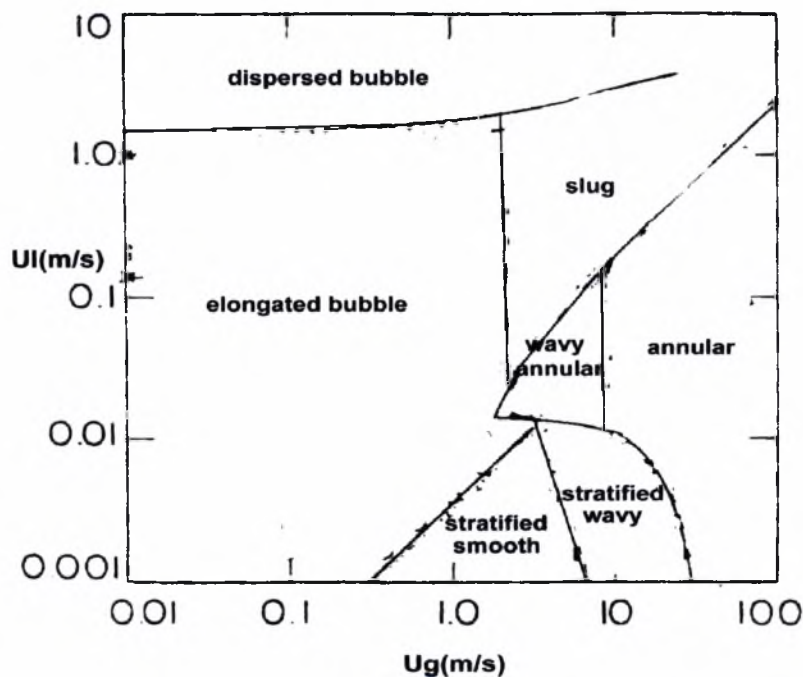
Τα βασικά συμπεράσματα στα οποία κατάληξαν οι Yang και Shieh(2001) είναι τα εξής :

1. Τα σύνορα μετάβασης από την μια περιοχή ροής στην άλλη δεν είναι ξεκάθαρα, και ειδικά για την μετάβαση από την Διαλείπουσα ροή (Slug flow) στην Δακτυλιοειδή ροή (Annular flow).

2. Παράλληλα συμπέραναν ότι, σε σωλήνες με μικρή διατομή, εκτός από τις ανωστικές δυνάμεις και τις τυρβώδεις διακυμάνσεις και η επιφανειακή τάση είναι μια σημαντική παράμετρος όσο αναφορά την μετάβαση από την μια περιοχή ροής στην άλλη. Η επιφανειακή τάση επιδρά στο σύστημα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αυτό να ελαχιστοποιεί

την επιφάνεια επαφής του νερού με τον αέρα. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι φυσαλίδες να διατηρούν το σφαιρικό τους σχήμα και να υπάρχει μια καθυστέρηση, σε σύγκριση με τους σωλήνες μεγάλης διατομής, για την μετάβαση από την Διαλείπουσα ροή (Slug flow) στην Δακτυλιοειδή ροή (Annular flow).

Οι Bernea, Luninski και Taitel (1983) ασχολήθηκαν με την οριζόντια και κατακόρυφη διφασική ροή νερού και αέρα σε σωλήνες με μικρή διάμετρο. Παρόλο που δεν ασχολήθηκαν με σωλήνα με διάμετρο 3mm, είναι αρκετά ενδιαφέρον να αναφέρουμε τα αποτελέσματα στα οποία κατάληξαν και να ασχοληθούμε με τον χάρτη ροής που δημιούργησαν για σωλήνα με εσωτερική διάμετρο 4mm.



Εικόνα 16: Χάρτης ροής των Bernea, Luninski και Taitel για σωλήνα με διάμετρο 4mm

Στον παραπάνω χάρτη ροής εμφανίζεται μια περιοχή ροής που οι ερευνητές χαρακτηρίζουν σαν Elongated bubble flow. Αυτή η περιοχή ροής αντιστοιχεί σε αυτό που εμείς ονομάζουμε σαν Ροή Taylor (Taylor bubble flow). Παράλληλα βλέπουμε ότι υπάρχει διαχωρισμός ανάμεσα στην Στρωματοποιημένη ροή με κύματα ροής (Stratified wavy flow) και

στην Στρωματοποιημένη ομαλή ροή (Stratified smooth flow). Τέλος δεν εμφανίζεται καθόλου η Διασκορπισμένη ροή (Dispersed flow) γεγονός που ίσως να οφείλεται στο ότι δεν χρησιμοποίησαν αρκετά υψηλές παροχές νερού.

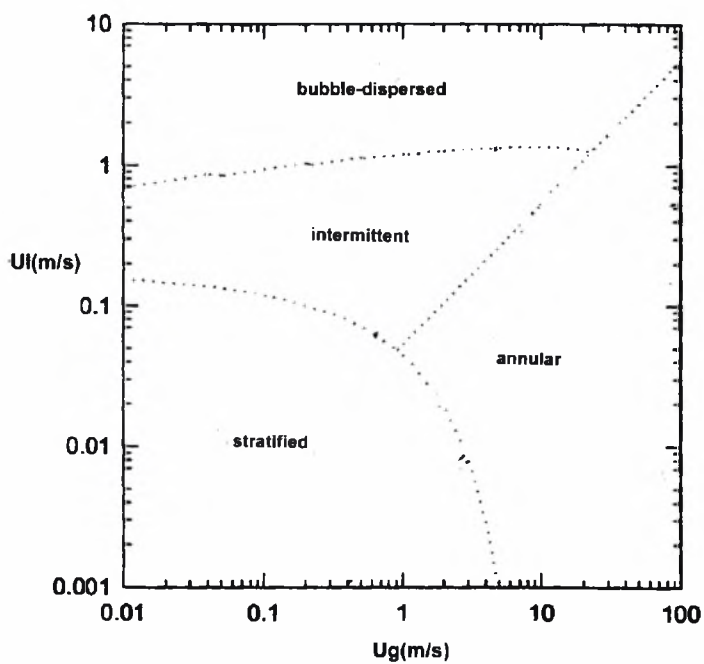
Τα συμπεράσματα στα οποία κατάληξαν είναι τα εξής:

1. Το κριτήριο το οποίο χρησιμοποίησαν για την μετάβαση από την Διαλείπουσα ροή (Slug flow) στην Δακτυλιοειδή ροή (Annular flow) δίνεται από την εξίσωση $h_1/D=0.35$, όπου h_1 είναι το ύψος του υμένα του υγρού μέσα στον σωλήνα και D η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα.

2. Η επιφανειακή τάση αποτελεί την κινητήρια δύναμη για τον σχηματισμό των διάφορων περιοχών ροής, κάτι το οποίο δεν ισχύει για σωλήνες με μεγάλη εσωτερική διάμετρο.

Τέλος θα αναφερθούμε και σε μια από τις πρώτες έρευνες που έγιναν για την διφασική ροή σε σωλήνες με μικρή διάμετρο από τους Taitel και Dukler (1976). Τα συμπεράσματα των Taitel και Dukler (1976) αποτέλεσαν ουσιαστικά τον θεμέλιο λίθο για την παραπέρα ερευνά πάνω στο θέμα της διφασικής ροής σε σωλήνες με μικρή διάμετρο. Ο χάρτης ροής στον οποίο κατάληξαν για τον σωλήνα με εσωτερική διάμετρο 3mm φαίνεται στην εικόνα 17.

Από τον χάρτη ροής βγάζουμε το συμπέρασμα ότι οι περιοχές ροής που χρησιμοποίησαν οι Taitel και Dukler έχουν πολύ γενικό χαρακτήρα και δεν μας δίνουν αρκετές πληροφορίες σχετικά με τα σύνορα μετάβασης από την μια περιοχή ροής στην άλλη. Παράλληλα επειδή ήταν από τους πρώτους που ασχολήθηκαν με την διφασική ροή δεν μπόρεσαν να προβλέψουν την επίδραση που έχουν οι επιφανειακές δυνάμεις στην εμφάνιση των περιοχών ροής.



Εικόνα 17 : Χαρτίς των Taitel και Dukler για σωλήνα με διάμετρο 3mm

2.3 Υπολογισμός πτώσης πίεσης.

Η βαθμίδα της πίεσης σε μια διφασική ροή μπορεί να θεωρηθεί ότι συνίσταται από το άθροισμα τριών διαφορετικών βαθμίδων πίεσης κάθε μια από τις οποίες προκαλείται από διαφορετικά αίτια. Ο πρώτος όρος της βαθμίδας πίεσης οφείλεται στις δυνάμεις τριβής, ο δεύτερος όρος οφείλεται στις δυνάμεις βαρύτητας και ο τρίτος όρος στις μεταβολές της ορμής τον μίγματος.

Λόγω του ότι κατά τη διάρκεια μιας διφασικής ροής παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές της πίεσης, μεταβολές οι οποίες συχνά σχετίζονται με μεταφορά Θερμότητας, οι ροϊκές συνθήκες μεταβάλλονται ταχύτατα εντός της ροής. Έτσι, η μεταβολή της πίεσης του συστήματος δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ακριβώς από μια μόνο βαθμίδα πίεσης, εκτός της ειδικής περίπτωσης που υπάρχουν χαμηλές παροχές ή το μήκος ροής είναι πολύ μικρό. Στα περισσότερα προβλήματα διφασικής ροής είναι απαραίτητη η παρεμβολή διαφόρων τοπικά μετρημένων βαθμίδων πίεσης κατά το μήκος ροής.

Το πρόβλημα συνίσταται στην εύρεση του τρόπου με τον οποίο μεταβάλλεται η πίεση σε μια διφασική ροή, έχοντας γνωστές κάποιες τοπικές βαθμίδες πίεσης. Για να αποκτηθεί μια γενική λύση του προβλήματος έχοντας το πλεονέκτημα των σχέσεων που έχουν προκύψει με τη γνώση τοπικών συνθηκών της ροής, θα πρέπει να γίνει αριθμητική επίλυση του προβλήματος. Στη βιβλιογραφία μπορεί να συναντήσει κανείς διάφορους τρόπους επίλυσης τέτοιων προβλημάτων, η αξιοπιστία των οποίων εξαρτάται από το βαθμό με τον οποίο η λύση που προτείνουν προσεγγίζει την πραγματική, κάτι που βέβαια, εξαρτάται από την ακρίβεια των σχέσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των βαθμίδων πίεσης.

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν πολλά μοντέλα υπολογισμού των βαθμίδων πίεσης σε διφασική ροή υγρών-αερίων, τα οποία βασίζονται λιγότερο ή περισσότερο σε πειραματικά δεδομένα, έχοντας έτσι εμπειρικό χαρακτήρα. Επιπλέον μερικά μοντέλα λαμβάνουν υπόψη το είδος της ροής (flow regime), δίνοντας και διάφορα κριτήρια για την

εύρεση του αντίστοιχου είδους. Παρ' όλα αυτά δεν έχουν γενική ισχύ και η αξιοπιστία τους είναι μικρή, στα όρια των διαφόρων περιοχών, οπότε απαιτείται προσεκτική μελέτη των αποτελεσμάτων πριν την εφαρμογή τους.

Η διφασική ροή υγρών-αερίων είναι η πλέον πολύπλοκη από τα υπόλοιπα είδη διφασικής ροής, διότι συνδυάζει τα χαρακτηριστικά μιας μεταβλητής διαχωριστικής επιφάνειας και τα χαρακτηριστικά συμπιεστότητας της μιας φάσης, δηλ. της αέριας φάσης.

Η πρόβλεψη της πτώσης πίεσης στη διφασική ροή, του είδους της ροής, των βαθμών πληρότητας και των συντελεστών τριβής, αποτελούν σημαντικά αντικείμενα γι' αυτό το είδος της ροής. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένα μοντέλο υπολογισμού της πτώσης πίεσης που ονομάζεται μοντέλο ομογενούς ροής. Υπάρχουν και τα μοντέλα διαχωρισμένης ροής όπου θεωρούμε ότι ο αέρας και το υγρό έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά.

2.3.1 Μοντέλο ομογενούς ροής

Σύμφωνα με το μοντέλο ομογενούς ροής, τα δύο συστατικά του μίγματος θεωρείται ότι αποτελούν ένα ιδεατό ρευστό, του οποίου οι ιδιότητες αποτελούν ένα σταθμισμένο μέσο όρο των ιδιοτήτων των δύο φάσεων. Η βαθμίδα πίεσης λόγω τριβής, για το ομογενές μοντέλο ροής, εκφράζεται σαν συνάρτηση ενός διφασικού συντελεστή τριβής, ως εξής

$$\frac{dP_f}{dz} = \frac{2 * f_{TP} * \dot{m}^2}{D * \rho_H} \quad (2.1)$$

όπου D η υδραυλική διάμετρος ($D=4A/\Pi$), Π η περιβρεχόμενη περίμετρος (m), A η διαθέσιμη για ροή διατομή του αγωγού (m^2), f_{TP} ο συντελεστής τριβής διφασικής ροής, ρ_H πυκνότητα ομογενούς μίγματος (kg/m^3) και \dot{m} η συνολική παροχή μάζας ανά μονάδα επιφάνειας ($kg/m^2 s$).

Ο διφασικός συντελεστής τριβής ορίζεται σαν συνάρτηση του διφασικού αριθμού Reynolds, Re_{TP} , ο οποίος δίνεται από την ακόλουθη σχέση

$$Re_{TP} = \frac{\dot{m}^* D}{\mu_{TP}} \quad (2.2)$$

όπου μ_{TP} το ιξώδες διφασικής ροής (kg/ms).

Θεωρώντας ότι μπορεί να βρεθεί μια κατάλληλη τιμή για το μ_{TP} , η παραπάνω σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για του υπολογισμό της βαθμίδας πίεσης λόγω τριβής. Το πρόβλημα με το ομογενές μοντέλο ροής είναι ότι είναι δύσκολο να βρεθεί μια γενική σχέση υπολογισμού του μ_{TP} . Η πιο κοινή και ευρέως χρησιμοποιούμενη, μεταξύ των διαφόρων σχέσεων για το μ_{TP} είναι η σχέση του McAdams :

$$\frac{1}{\mu_{TP}} = \frac{X}{\mu_G} + \frac{1-X}{\mu_L} \quad (2.3)$$

όπου X είναι το ποσοστό μάζας του μίγματος που αποτελείται από αέρια φάση και μ_G και μ_L το ιξώδες του αερίου και του υγρού αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας αυτό τον ορισμό, μπορούμε να υπολογίσουμε το διφασικό πολλαπλασιαστή Φ_L , από τη σχέση :

$$\Phi_L^2 = \left(1 + X \frac{\rho_L + \rho_G}{\rho_G}\right) * \left(1 + X \frac{\mu_L + \mu_G}{\mu_G}\right)^{-1/4} \quad (2.4)$$

όπου ρ_L η πυκνότητα της υγρής φάσης (kg/m^3) και ρ_G η πυκνότητα της αέριας φάσης (kg/m^3).

Η βαθμίδα πίεσης λόγω τριβής υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\left[\frac{dP_F}{dz} \right] = \Phi_L^2 * \left[\frac{dP_F}{dz} \right]_L \quad (2.5)$$

όπου :

$$\left[\frac{dP_F}{dz} \right]_L = \frac{2 * f_L * \dot{m}^2 * (1-x)^2}{D * \rho_L} \quad (2.6)$$

Στη σχέση (2.6), $(dP_F/dz)_L$ είναι η βαθμίδα πίεσης λόγω τριβής μιας μονοφασικής ροής ενός υγρού, που κινείται με τη συνολική ταχύτητα της διφασικής ροής και έχει τις ιδιότητες της υγρής φάσης, που εμφανίζεται στη διφασική ροή. Σ' αυτή την εξίσωση, ο συντελεστής τριβής f_L είναι άγνωστος αλλά μπορεί να υπολογιστεί σαν συνάρτηση του αντίστοιχου αριθμού Reynolds:

$$Re = \frac{\dot{m} * (1-X) * D}{\mu_L} \quad (2.7)$$

όπου D η διάμετρος του αγωγού (m), \dot{m} η συνολική παροχή μάζας ανά μονάδα επιφάνειας ($kg/m^2 s$) και μ_L το ιξώδες της υγρής φάσης (kg/ms).

Για στρωτή ροή, δηλαδή για αριθμούς Reynolds $Re < 2000$, ο συντελεστής τριβής είναι $f_L = 16/Re_L$ και συνδέεται με το γνωστό από την κλασική ρευστομηχανική συντελεστή τριβής λ με την σχέση $\lambda = 4f_L$. Για τυρβώδη ροή, δηλ. $Re > 2000$, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες σχέσεις για τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής συναρτήσει του αριθμού Reynolds, όπως η σχέση του Blasius:

$$f = 0.079 * \left(\frac{\dot{m} * D}{\mu} \right)^{-1/4} \quad (2.8)$$

ή περισσότερο πολύπλοκες σχέσεις, όπως αυτή των Colebrook-White, από την οποία προκύπτει και το γνωστό διάγραμμα Moody.

Το ομογενές μοντέλο ροής αποτελεί την απλούστερη προσέγγιση για την ανάλυση της διφασικής ροής μίγματος υγρών-αερίων σε

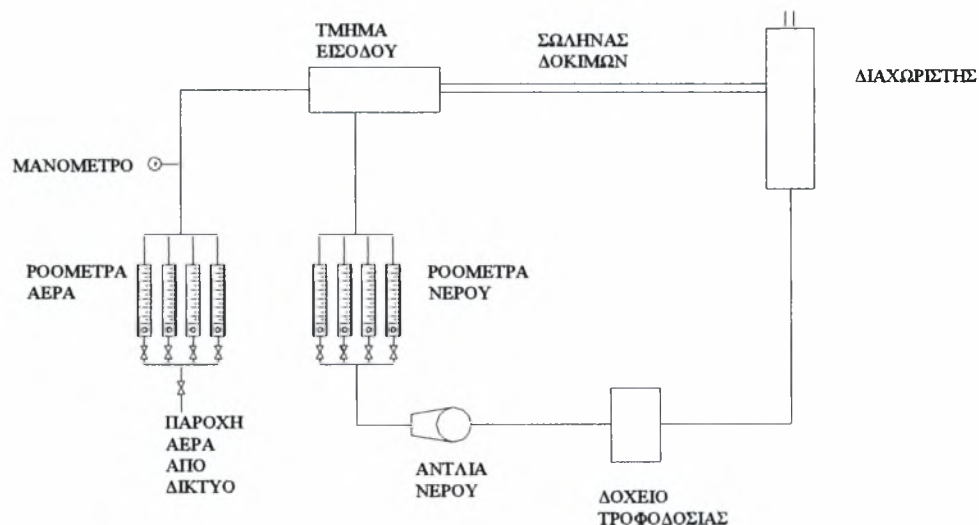
αγωγούς, καθώς βασίζεται στην υπόθεση ότι το μίγμα συμπεριφέρεται σαν ένα ομογενές ρευστό με ίσες ταχύτητες των δυο φάσεων. Το πρόβλημα με το μοντέλο ομογενούς ροής, είναι ότι είναι δύσκολο να βρεθεί ένας γενικός ορισμός για το διαφασικό ιξώδες, και σαν αποτέλεσμα η βαθμίδα πίεσης της διαφασικής ροής πολύ συχνά υποεκτιμάται ουσιαστικά. Το μοντέλο αυτό μπορεί γενικά να δώσει λογικά αποτελέσματα για υψηλές πιέσεις και υψηλές παροχές μάζας ανά μονάδα επιφάνειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

3.1 Περιγραφή των βασικών μερών.

Η πειραματική διάταξη την οποία χρησιμοποιήσαμε προκειμένου να μελετήσουμε την διαφασική ροή αέρα-νερού σε σωλήνες μικρής διαμέτρου είναι αυτή που φαίνεται στην Εικόνα 18.



Εικόνα 18 : Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε.

Τα βασικά μέρη της πειραματικής μας διάταξης είναι τα εξής:

Ροόμετρα: Προκειμένου να υπολογίσουμε την παροχή του αέρα και του νερού που χρειαζόμαστε για την εκτέλεση του πειράματος μας χρησιμοποιήσαμε 8 ροόμετρα. Κάθε ένα από τα ροόμετρα αυτά λειτουργεί αξιόπιστα σε ένα εύρος τιμών από την μέγιστη παροχή του ως το 10% της παροχής αυτής. Τα 4 ροόμετρα χρησιμοποιήθηκαν για

τον υπολογισμό της παροχής του αέρα και είναι συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους και τα υπόλοιπα 4 για τον υπολογισμό της παροχής του νερού και είναι επίσης συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους. Οι παροχές που μπορούν να υπολογίσουν τα ροόμετρα του αέρα είναι από 0 μέχρι 24000 ml/min. Το πρώτο ροόμετρο του αέρα δεν χρησιμοποιήθηκε γιατί οι παροχές του αέρα που μπορεί να μετρήσει είναι παρά πολύ μικρές. Παράλληλα οι παροχές που μπορούσαν να υπολογίσουν τα ροόμετρα του νερού είναι από 0 μέχρι 1400 ml/min. Η βαθμονόμηση των ροόμετρων προκειμένου να βεβαιωθούμε ότι οι ενδείξεις που παίρνουμε είναι και σωστές, παρουσιάζεται στην παράγραφο 3.3.

Αντλία νερού: Η δοσομετρική αντλία νερού που χρησιμοποιήθηκε είναι της Fluid Metering, Inc. (F.M.I) τύπου QD δηλαδή υψηλής ταχύτητας μοτέρ. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι πρόκειται για αντλία εμβολικής ροής, δηλαδή μετατοπίζει σταθερούς όγκους ανά χρονικό διάστημα χωρίς να επηρεάζεται από την πίεση. Η αντλία δέχεται τέσσερα πιστόνια που ανάλογα με την διάμετρο τους μεταβάλλεται και η παροχή της αντλίας. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν δυο πιστόνια, ένα για μεγάλες παροχές νερού και ένα για μικρές. Το πρώτο πιστόνι έχει διάμετρο 3/8 inch και το άλλο 1/8 inch. Με το πιστόνι 3/8 inch η μέγιστη παροχή της αντλίας είναι 1050 ml/min και το άλλο με το πιστόνι 1/8 inch έχει μέγιστη παροχή 135 ml/min. Η αντλία έχει ρυθμιστή της παροχής με δέκα θέσεις από το 0 έως 10. Η βαθμονόμηση της αντλίας του νερού γίνεται στη παράγραφο 3.4.

Διαχωριστής : Το δοχείο διαχωρισμού είναι κυλινδρικό, εσωτερικής διαμέτρου 10 cm και ύψους 20 cm. Ο πυθμένας του είναι κωνικού σχήματος για την καλύτερη συλλογή του νερού. Ο διαχωριστής συνδέεται μέσω ενός σωλήνα με το δοχείο νερού, από το οποίο τροφοδοτείται η αντλία νερού.

Τμήμα εισόδου: Πρόκειται για συμπαγείς πλάκες ρητίνης όπου διανοίγονται κανάλια κυκλικής διατομής ώστε οι παροχές νερού και αέρα να συναντώνται με την επιθυμητή γωνία. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήσαμε 2 τέτοια πλακίδια τα οποία είχαν

διαφορετικές γωνίες εισόδου για το νερό και τον αέρα. Οι γωνίες που σχηματίζουν οι παροχές του νερού και του αέρα είναι για το πρώτο πλακίδιο 30° και για το δεύτερο 60° . Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήσαμε δυο διαφορετικές γωνίες εισόδου είναι για να συμπεράνουμε αν η γωνία με την οποία αναμιγνύονται οι δυο παροχές επηρεάζει την εμφάνιση των περιοχών ροής. Οι βασικές μετρήσεις έγιναν για γωνία εισόδου 60° , ενώ η άλλη γωνία εισόδου χρησιμοποιήθηκε απλώς για να μας δώσει μια εικόνα του πως επηρεάζει η γωνία εισόδου την εμφάνιση των περιοχών ροής.

Κάμερα: Με την βοήθεια της ψηφιακής κάμερας παρακολουθήσαμε την ροή μέσα στον σωλήνα. Παράλληλα με τη βοήθεια του υπολογιστή και του προγράμματος Motion Scope, μπορέσαμε να βγάλουμε φωτογραφίες της ροής όπως επίσης και να παρακολουθούμε την εμφάνιση των διάφορων περιοχών ροής. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει δυνατότητα να αποτυπώνει μέχρι και 1000 στιγμιότυπα της ροής το δευτερόλεπτο.

Μανόμετρο: Το μανόμετρο μας βοηθάει να υπολογίσουμε την πίεση του αέρα μέσα στα ροόμετρα. Αν θεωρήσουμε τον αέρα σαν ιδανικό αέριο, από την πίεση μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την πυκνότητα που έχει ο αέρας μέσα στα ροόμετρα που είναι και το μέγεθος που μας ενδιαφέρει. Θα ανάγουμε τις μετρήσεις της ογκομετρικής παροχής που περνά από τα ροόμετρα σε συνθήκες περιβάλλοντος (Σ.Π) όπου $T_0=20^\circ\text{C}$, $P_0=1\text{atm}$, $\rho_0=1,2\text{ kg/m}^3$. Η ένδειξη της ογκομετρικής παροχής του ροόμετρου ($Q_{\text{ενδ}}$) ισχύει για πυκνότητα αέρα ίση με ρ_0 . Άρα η ογκομετρική παροχή του αέρα (Q_p) που περνάει από το ροόμετρο όταν ο αέρας έχει μέσα σε αυτό πίεση (P_p) και πυκνότητα $\rho_p=P_p/RT$, θα είναι:

$$Q_p = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_p}} * Q_{\text{ενδ}} \quad (3.1)$$

και η μαζική παροχή θα είναι:

$$\dot{m} = Q_p \rho_p \Leftrightarrow$$

$$\dot{m} = \sqrt{\rho_o \rho_p} * Q_{ενδ} \quad (3.2)$$

Τέλος ανάγοντας την παροχή σε ογκομετρική υπό κανονικές συνθήκες, λαμβάνουμε:

$$Q_o = \frac{m_p}{\rho_o} = \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_o}} * Q_{ενδ} \quad (3.3)$$

Επειδή η πυκνότητα του αέρα είναι ανάλογη της πίεσης, μπορούμε να υπολογίσουμε την ογκομετρική παροχή Q_o , απ'ευθείας από την ένδειξη του μανομέτρου σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_o = \sqrt{\frac{P_p}{P_o}} * Q_{ενδ} \quad (3.4)$$

Όπου $P_p = P_o + P_{ενδ}$.

Σωλήνας δοκιμών. Ο σωλήνας που χρησιμοποιήσαμε για να μελετήσουμε την διφασική ροή του αέρα με το νερό είναι από Plexiglass, έχει μήκος 50 cm και εσωτερική διάμετρο 3mm.

Το νερό και ο αέρας οδηγούνται στο σωλήνα δοκιμών με σωληνάκια από πολυαιθυλένιο διαμέτρου 9mm. Το νερό λαμβάνεται από το δίκτυο ύδρευσης και αποθηκεύεται στο δοχείο τροφοδοσίας, ενώ ο αέρας από το δίκτυο τροφοδοσίας.

3.2 Διαδικασία διεξαγωγής του πειράματος.

Αρχικά σταθεροποιούμε την παροχή του νερού στην επιθυμητή τιμή. Αυτό γίνεται με το να ανοίξουμε τελείως την βαλβίδα ενός από τα ροόμετρα του νερού, και τοποθετώντας τον ρυθμιστή παροχής της αντλίας στην κατάλληλη θέση. Στην συνέχεια ανοίγουμε ένα από τα ροόμετρα του αέρα και παίρνουμε την μικρότερη δυνατή παροχή.

Έχοντας λοιπόν ανοικτά τόσο το ροόμετρο του νερού όσο και του αέρα, τα δυο ρεύματα συναντώνται στο τμήμα εισόδου και οδηγούνται στο σωλήνα δοκιμών. Με τη βοήθεια της κάμερας μπορούμε να παρατηρήσουμε την ροή που δημιουργείται προς το τέλος του σωλήνα δοκιμών, έτσι ώστε να είμαστε σίγουροι ότι οι συνθήκες που επικρατούν είναι μόνιμες. Με την βοήθεια που υπολογιστή παρακολουθούμε με μεγάλη ακρίβεια την περιοχή ροής που επικρατεί στο σωλήνα δοκιμών, και καταγράφουμε την παροχή του νερού, την παροχή αέρα και την περιοχή ροής που αντιστοιχεί σε αυτές τις παροχές. Παράλληλα συμβουλευόμαστε το μανόμετρο για να δούμε αν η παροχή του αέρα που μετράει το ροόμετρο είναι η πραγματική. Αν το μανόμετρο δείχνει κάποια ένδειξη τότε, σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε παραπάνω για το μανόμετρο, υπολογίζουμε την πραγματική παροχή.

Στην συνέχεια το μίγμα του νερού και του αέρα καταλήγει στο διαχωριστή, όπου ο μεν αέρας φεύγει από την πάνω έξοδο στην ατμόσφαιρα ενώ το νερό καταλήγει στο δοχείο τροφοδοσίας.

Αλλάζουμε την παροχή του αέρα και ακολουθούμε και πάλι την παραπάνω διαδικασία μέχρι την μέγιστη παροχή του αέρα που μπορούμε να υπολογίσουμε. Οι παροχές του νερού που χρησιμοποιήσαμε στο πείραμα κυμαίνονται από 0,625 ml/min η ελάχιστη, μέχρι 1000 ml/min η μέγιστη. Όμοιος οι παροχές του αέρα ξεκινάνε από 20 ml/min η ελάχιστη και φτάνουν μέχρι 30000 ml/min η μέγιστη.

3.3 Βαθμονόμηση ροόμετρων.

3.3.1 Βαθμονόμηση ροόμετρων νερού.

Για την ρύθμιση της παροχής του νερού χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα (4) ροόμετρα συνδεδεμένα παράλληλα. Τα ροόμετρα είναι της Gilmont instruments, inc. με ονομασία Accucal flow meters και κωδικούς Tube size 210,215,225 και 235. Το ροόμετρο με κωδικό 210 χρησιμοποιείται για παροχές νερού έως 16 ml/min, το ροόμετρο με κωδικό 215 για παροχές νερού έως 55 ml/min, το ροόμετρο με κωδικό 225 για παροχές νερού έως 350 ml/min και το ροόμετρο με κωδικό 235 για παροχές νερού έως 1400 ml/min.

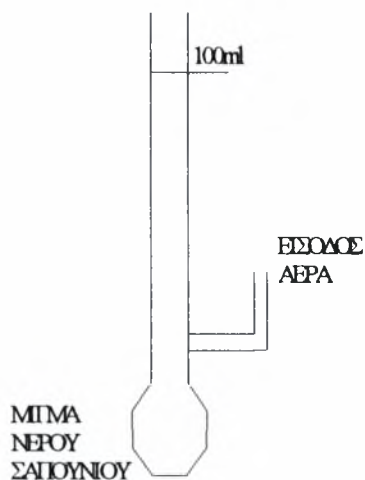
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την βαθμονόμηση των ροόμετρων του νερού είναι η εξής: Για κάθε ροόμετρο παίρνουμε πέντε (5) τυχαίες παροχές νερού. Για κάθε μια από τις από παροχές αυτές παίρνουμε χρονομετρημένο δείγμα. Στη συνέχεια το δείγμα ζυγίζεται οπότε υπολογίζεται η παροχή σε ml/min. Συγκεντρώνουμε τις πέντε (5) μετρήσεις για κάθε ροόμετρο και δημιουργούμε ένα χάρτη που στον ένα του άξονα δείχνει την παροχή που αναγράφεται πάνω στο ροόμετρο και στον άλλο άξονα φαίνεται η παροχή που εμείς υπολογίσαμε με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω. Τα αποτελέσματα που πήραμε παρουσιάζονται στο Παράρτημα I. Από τους βαθμούς συσχέτισης των γραφικών παραστάσεων, οι οποίοι ήταν πολύ κοντά στην μονάδα, βγάζουμε το συμπέρασμα ότι η βαθμονόμηση που έχουν τα ροόμετρα του νερού από τον κατασκευαστή τους είναι αξιόπιστη.

3.3.2 Βαθμονόμηση ροόμετρων αέρα.

Για την ρύθμιση της παροχής του αέρα χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα (4) ροόμετρα τα οποία ήταν συνδεδεμένα σε σειρά. Τα ροόμετρα είναι της Gilmont instruments, inc. με ονομασία Accucal flow meters και

κωδικούς Tube size 200, 210, 225 και 230. Το ροόμετρο με κωδικό 200 δεν χρησιμοποιήθηκε γιατί οι παροχές τις οποίες υπολόγιζε ήταν πολύ μικρές. Το ροόμετρο με κωδικό 210 χρησιμοποιείται για παροχές αέρα έως 700 ml/min, το ροόμετρο με κωδικό 225 χρησιμοποιείται για παροχές αέρα έως 6500 ml/min και το ροόμετρο με κωδικό 230 για παροχές αέρα έως 24000 ml/min.

Προκειμένου να γίνει η βαθμονόμηση των ροόμετρων του αέρα ακολουθήθηκαν δυο διαδικασίες. Για το ροόμετρο με κωδικό 210 χρησιμοποιήσαμε μια συσκευή που ονομάζεται ροόμετρο φυσαλίδας. Σχέδιο ενός τέτοιου ροόμετρου φαίνεται στην Εικόνα 19.

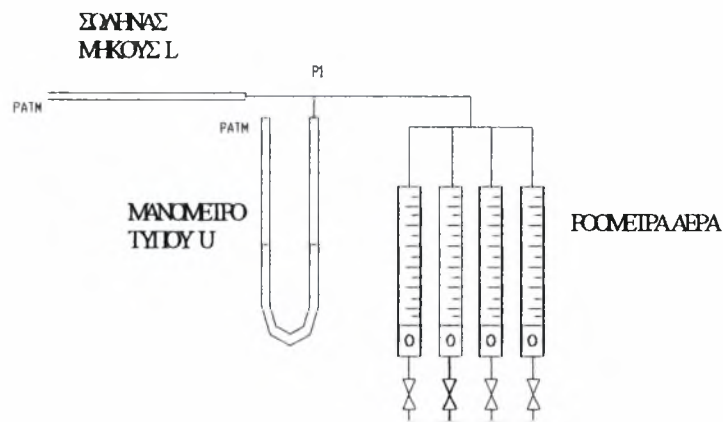


Εικόνα 19 : Ροόμετρο φυσαλίδας.

Η λειτουργία του ροόμετρου φυσαλίδας είναι απλή. Στην ελαστική μεμβράνη που υπάρχει στο κάτω μέρος του ροόμετρου φυσαλίδας τοποθετούμε μίγμα νερού και σαπουνιού. Πιέζοντας αυτή την μεμβράνη δημιουργούνται φυσαλίδες. Όταν οι φυσαλίδες αυτές φτάσουν στο σημείο εισόδου του αέρα αρχίζουν να κινούνται κάτω από την επίδραση του αέρα. Με την βοήθεια ενός χρονομέτρου υπολογίζουμε τον χρόνο που χρειάζεται η φυσαλίδα για να διανύσει ένα συγκεκριμένο όγκο. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζουμε την παροχή του αέρα που περνάει μέσα από το ροόμετρο φυσαλίδας και την συγκρίνουμε με την παροχή που μας δίνει το ροόμετρο του αέρα. Για το ροόμετρο με κωδικό 210 πήραμε τέσσερις (4) τυχαίες παροχές αέρα. Για κάθε παροχή υπολογίσαμε πέντε (5) χρονομετρημένα δείγματα και βγάλαμε το μέσο

όρο. Και για τις τέσσερις (4) παροχές αέρα ο όγκος που διάνυσε η φυσαλίδα στο ροόμετρο φυσαλίδας είναι 100ml. Τα αποτελέσματα που πήραμε παρουσιάζονται στο Παράρτημα II.

Για την βαθμονόμηση των ροόμετρων με κωδικούς 225 και 230 ακολουθήσαμε μια διαδικασία που στηρίζεται στον τρόπο λειτουργίας του κλειστού μανόμετρου τύπου U. Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήσαμε φαίνεται στην Εικόνα 20.



Εικόνα 20 : Βαθμονόμηση ροόμετρων αέρα.

Μέσα στο μανόμετρο τύπου U έχει τοποθετηθεί νερό. Το ένα του άκρο είναι ελεύθερο στην ατμόσφαιρα, ενώ το άλλο συνδέεται στην είσοδο σωλήνα διαμέτρου d και μήκους L ο οποίος τροφοδοτείται με αέρα μέσω του ροόμετρου και του οποίου το άλλο άκρο είναι ελεύθερο στην ατμόσφαιρα. Ανοίγουμε το ροόμετρο του αέρα και περνούμε μια τυχαία παροχή αέρα. Μέσα στο μανόμετρο δημιουργείται μια διάφορα ανάμεσα στις ελεύθερες επιφάνειες του νερού. Μετρώντας τη διάφορα αυτή των ελεύθερων επιφανειών του νερού μπορούμε να υπολογίσουμε την διάφορα πίεσης μεταξύ του ελευθέρου άκρου του μανόμετρου και του σημείου που συνδέεται με τον σωλήνα. Παράλληλα όμως η ένδειξη του μανόμετρου εκφράζει και την πτώση πίεσης στον αγωγό μήκους L . Η εξίσωση που μας δίνει την διάφορα πίεσης στο μανόμετρο είναι η εξής:

$$\Delta P = \rho * g * \Delta h \quad (3.3)$$

όπου ΔP είναι η διάφορα πίεσης ανάμεσα στα δυο σημεία, ρ είναι η πυκνότητα του νερού που υπάρχει μέσα στο μανόμετρο, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και Δh είναι η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στις ελεύθερες επιφάνειες του υγρού.

Στην συνέχεια, έχοντας υπολογίσει τη διάφορα πίεσης με τη βοήθεια του μανομέτρου τύπου U, υπολογίζουμε τη διαφορά πίεσης μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του αγωγού χρησιμοποιώντας εξισώσεις από την ρευστομηχανική. Γνωρίζουμε ότι για ροή σε αγωγούς κυκλικής διατομής, το ύψος τριβών δίνεται από την εξίσωση των Darcy-Weisbach που είναι η εξής:

$$h_f = \frac{f * L * u^2}{d * 2 * g} \quad (3.4)$$

όπου h_f είναι το ύψος τριβών, f είναι ο συντελεστής τριβής, L το μήκος του σωλήνα, u η μέση ταχύτητα του αέρα, d η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα και g η επιτάχυνση της βαρύτητας. Ο συντελεστής τριβής f υπολογίζεται από την εξίσωση $f = \frac{64}{Re}$ για στρωτή ροή του αέρα μέσα στο σωλήνα και $f = 0,3164 * Re^{-0.25}$ για τυρβώδη ροή του αέρα μέσα στον σωλήνα. Το μέγεθος Re είναι ο αριθμός Reynolds υπολογίζεται από την εξίσωση

$$Re = \frac{\rho * u * d}{\mu} \quad (3.5)$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα, u η ταχύτητα του αέρα, d η διάμετρος του σωλήνα και μ το δυναμικό ιξώδες. Για στρωτή ροή ο αριθμός Reynolds παίρνει τιμές από 0 μέχρι 2000, ενώ για τυρβώδη ροή σε λείους σωλήνες παίρνει τιμές από 4000 και πάνω. Το ύψος τριβών συνδέεται με την πίεση μέσω της εξίσωσης $\Delta P = h_f * \gamma$ όπου γ είναι το ειδικό βάρος του αέρα και δίνεται από τον τύπο $\gamma = \rho * g$. Επομένως η εξίσωση της διαφοράς πίεσης είναι η εξής:

$$\Delta P = f * \frac{L}{d} * \frac{\rho}{2} * u^2 \quad (3.6)$$

Από την σχέση 3.6 υπολογίζουμε την διαφορά πίεσης και την συγκρίνουμε με αυτή που υπολογίσαμε από την πειραματική διάταξη με το μανόμετρο τύπου U. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα II. Από την παραπάνω διαδικασία οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι η βαθμονόμηση που έχουν τα ροόμετρα του αέρα από τον κατασκευαστή τους είναι αξιόπιστη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

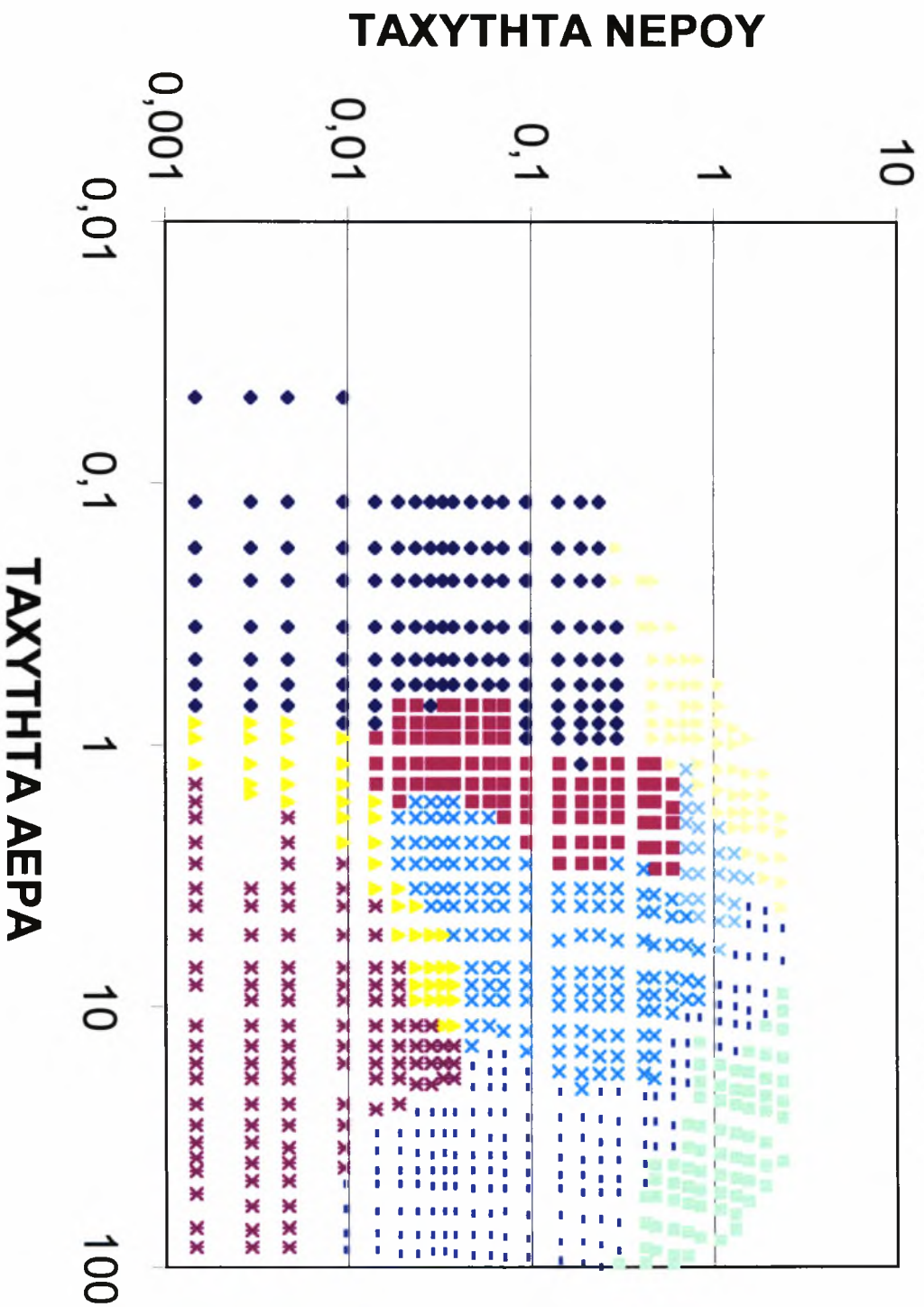
4.1 Χάρτης περιοχών ροής.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν να δημιουργήσουμε τον χάρτη των περιοχών ροής για σωλήνα με εσωτερική διάμετρο 3mm. Για το λόγο αυτό μελετήσαμε 928 σημεία που το καθένα αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο συνδυασμό παροχών του νερού και του αέρα. Σε κάθε ένα από τους συνδυασμούς αυτούς παρακολουθήσαμε και καταγράψαμε την περιοχή ροής που παρουσιαζόταν στο εσωτερικό του σωλήνα. Ο χάρτης των περιοχών ροής κατασκευάστηκε σε λογαριθμικό χαρτί όπου στον άξονα τον X καταγράψαμε την ταχύτητα του αέρα και στον άξονα τον Ψ καταγράψαμε την ταχύτητα του νερού. Οι εξισώσεις που συνδέουν τις παροχές του νερού και του αέρα που καταγράψαμε με τις ταχύτητες του νερού και του αέρα που χρησιμοποιήσαμε στο χάρτη των περιοχών ροής είναι οι εξής :

$$u_{gs} = \frac{Q_g}{A} \quad u_{ls} = \frac{Q_l}{A} \quad (4.1)$$

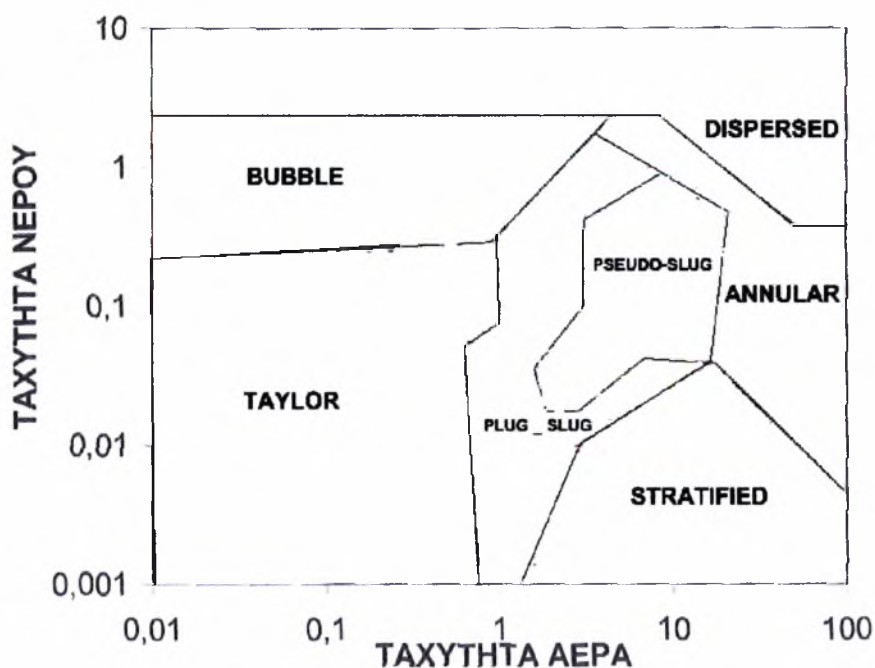
όπου Q_g και Q_l είναι οι ογκομετρικές παροχές του αέρα και του νερού αντίστοιχα που τις γνωρίζουμε από τις ενδείξεις των ροόμετρων ενώ A είναι η διατομή του αγωγού. Στον επόμενο χάρτη φαίνονται όλα τα σημεία τα οποία μελετήσαμε και τις περιοχές ροής που παρατηρήσαμε σε κάθε παροχή.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ 3MM



- ◆ TAYLOR
- PLUG AND SLUG
- ▲ PLUG AND SLUG
- × PSEUDO-SLUG
- × STRATIFIED
- ANNULAR
- DISPERSED
- ▲ BUBBLE
- × PLUG AND SLUG

Τα αναλυτικά αποτελέσματα που παρατηρήσαμε για κάθε συνδυασμό παροχών παραθέτονται στο Παράρτημα ΙΙΙ. Ο παραπάνω χάρτης είναι το αποτέλεσμα των πειραμάτων μας για γωνία εισόδου παροχών 60° . Προκειμένου ο παραπάνω χάρτης να είναι συγκρίσιμος με χάρτες που ήδη έχουμε αναφέρει στην βιβλιογραφική ανασκόπηση τον παρουσιάζουμε στην παρακάτω μορφή όπου εμφανίζονται μόνο τα σύνορα ανάμεσα στις διάφορες περιοχές ροής και όχι τα συγκεκριμένα σημεία.



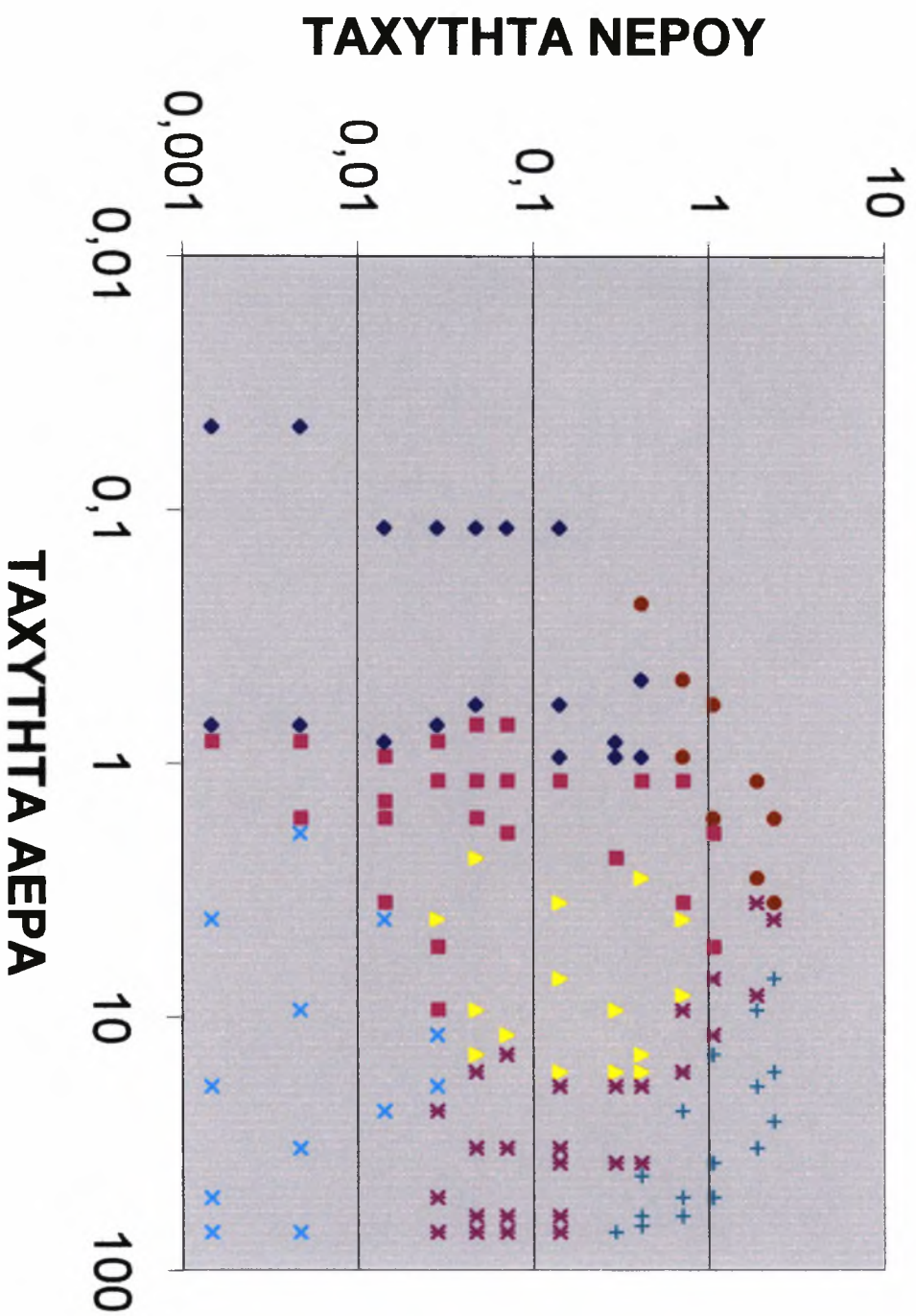
Εικόνα 22 : Χάρτης περιοχών ροής για σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 3mm.

4.2 Επίδραση γωνίας εισόδου.

Στον παρακάτω χάρτη περιοχών ροής εμφανίζονται τα είδη των ροών που παρατηρήσαμε για γωνία εισόδου παροχών 30° . Οι συνδυασμοί παροχών αέρα και νερού που μελετήσαμε είναι 126. Από τον αριθμό των σημείων που μελετήσαμε είναι εμφανές ότι ο χάρτης των περιοχών ροής για γωνία εισόδου παροχών 30° , δεν είναι τόσο αναλυτικός όσο είναι ο χάρτης για γωνία εισόδου παροχών 60° . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σκοπός μας δεν ήταν να δημιουργήσουμε από την αρχή έναν χάρτη περιοχών ροής αλλά να μελετήσουμε αν η αλλαγή της γωνίας εισόδου επηρεάζει τις εμφανιζόμενες περιοχές ροής. Με βάση λοιπόν αυτή τη λογική μελετήσαμε μόνο σημεία στα οποία οι περιοχές ροής αλλάζουν για γωνία εισόδου παροχών 60° .

Από την σύγκριση των δυο χαρτών περιοχών ροής, αλλά και από τα αναλυτικά αποτελέσματα που παρατηρήσαμε για κάθε συνδυασμό παροχών ροής, και τα οποία παρουσιάζονται στο Παράρτημα III, βγάλαμε το συμπέρασμα ότι η γωνία με την οποία οι παροχές του αέρα και του νερού εισέρχονται στο σωλήνα των 3mm δεν επηρεάζει την εμφάνιση των περιοχών ροής.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ 3MM



- ◆ TAYLOR
- PLUG AND SLUG
- ▼ PSEUDO-SLUG
- × STRATIFIED
- × ANNULAR
- BUBBLE
- + DISPERSED

4.3 Χαρακτηριστικές ροές που παρατηρήθηκαν.

Στην συγκεκριμένη εργασία εκτός από την δημιουργία των χαρτών περιοχών ροής, έγινε και μια προσπάθεια να καταγραφεί ο τρόπος με τον οποίο εμφανίζονται οι ροές αυτές, ο τρόπος με τον οποίο αναπτύσσονται καθώς επίσης και ο τρόπος μετάβασης από την μια περιοχή ροής στην άλλη. Οι βασικές παρατηρήσεις που έγιναν παρουσιάζονται παρακάτω.

4.3.1 Ροή Taylor.

Η ροή Taylor εμφανίζεται σε μικρές παροχές αέρα που φτάνουν περίπου μέχρι τα 250 ml/min, ενώ όσο αναφορά τις παροχές του νερού εμφανίζεται από την παροχή 0,625 ml/min μέχρι την παροχή 175 ml/min. Σε πολύ μικρές παροχές τόσο νερού όσο και αέρα παρατηρήσαμε ότι, κατά την εμφάνιση της ροής Taylor, η ροή μέσα στο σωλήνα δοκίμων δεν ήταν συνεχής. Υπήρχε ένα χρονικό διάστημα πολύ μικρό στο οποίο στο εσωτερικό του σωλήνα δεν παρατηρούσαμε καμία κίνηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι και οι δυο παροχές ήταν πολύ μικρές. Το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρήθηκε σε μεγαλύτερες παροχές νερού όπου η ροή Taylor ήταν συνεχής ακόμα και για πολύ μικρές παροχές αέρα.

Για συγκεκριμένη παροχή νερού, με αύξηση της παροχής του αέρα παρατηρήσαμε ότι η φυσαλίδα Taylor συνεχώς αύξανε το μήκος της, με αποτέλεσμα να χάνει από κάποια παροχή αέρα και μετά το ελλειψοειδές της σχήμα.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ροή Taylor σε πολύ μικρές παροχές αέρα και νερού. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο εξελίσσεται η ροή Taylor μέσα στο σωλήνα δοκίμων για παροχές παροχή νερού 1,25 ml/min.

Παροχή αέρα 20 ml/min Παροχή νερού 1,25 ml/min

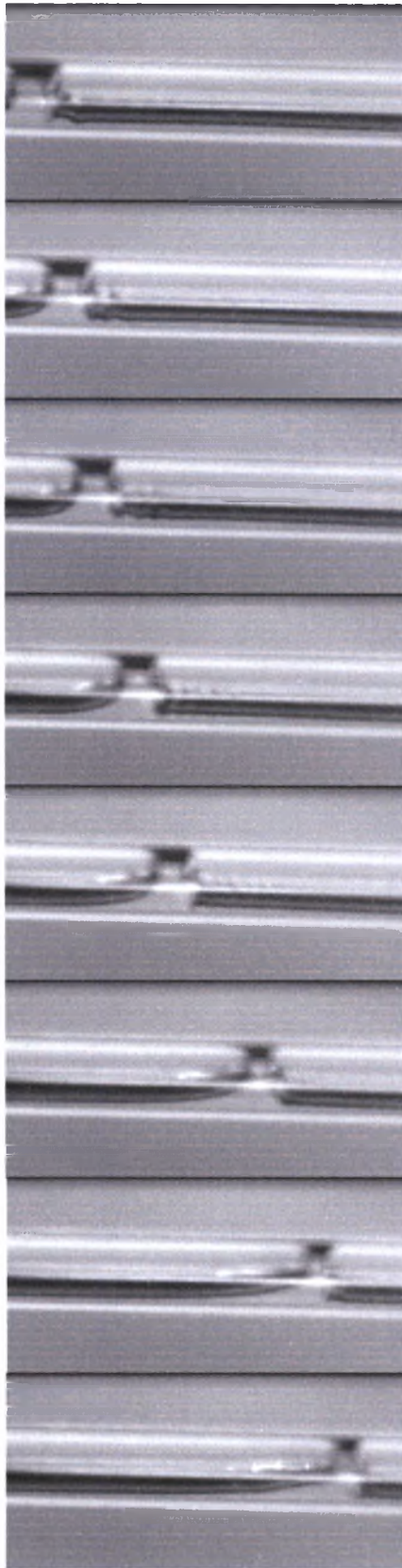
Η ροή μέσα στον σωλήνα δοκίμων δεν είναι συνεχής. Οι φυσαλίδες Taylor έχουν πολύ μεγάλο μήκος, ενώ παράλληλα ανάμεσα σε δυο φυσαλίδες Taylor παρεμβάλλεται πολύ μικρή ποσότητα νερού.

Παροχή αέρα 50 ml/min Παροχή νερού 1,25 ml/min

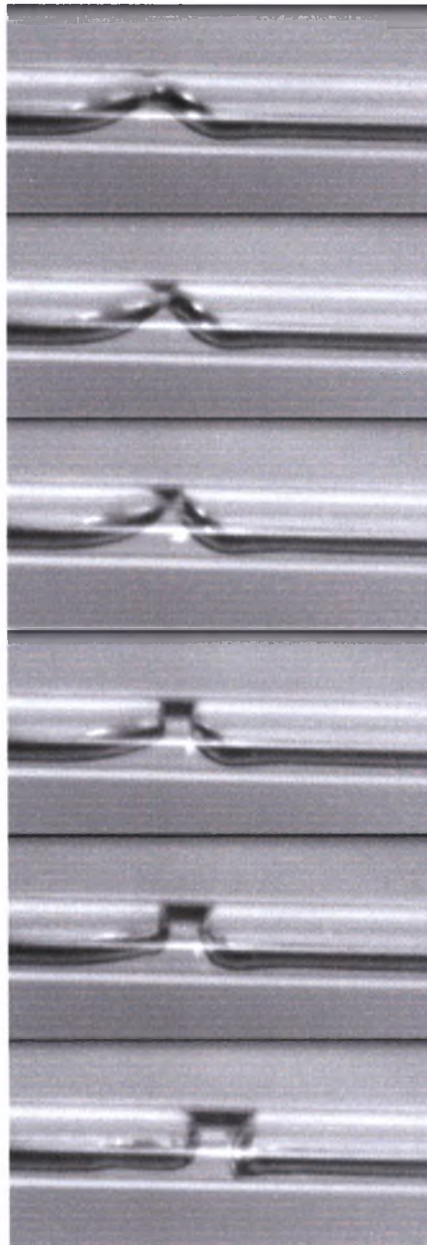
Η ροή μέσα στο σωλήνα δοκίμων είναι συνεχής. Οι φυσαλίδες Taylor έχουν πολύ μεγάλο μήκος. Τα πακέτα ρευστού που παρεμβάλλονται ανάμεσα στις φυσαλίδες Taylor γίνονται όλο και πιο λεπτά καθώς η φυσαλίδα κινείται μέσα στο σωλήνα δοκίμων. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 24. Παράλληλα είναι πιθανόν η μεμβράνη αυτή του υγρού να σπάσει και να ενωθούν δυο φυσαλίδες Taylor.

Παροχή αέρα 200 ml/min Παροχή νερού 1,25 ml/min

Στη αρχή του σωλήνα δοκίμων παρατηρούμε ότι η ροή είναι στρωματοποιημένη με κύματα. Καθώς όμως η ροή προχωράει μέσα στο σωλήνα δοκίμων παρατηρούμε ότι σε μερικά σημεία έχουμε συσσωρεύσει νερού με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας μεμβράνης η οποία καλύπτει όλοι την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα δοκίμων, με αποτέλεσμα την εμφάνιση φυσαλίδων Taylor. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου φαινομένου εμφανίζεται στην Εικόνα 25.

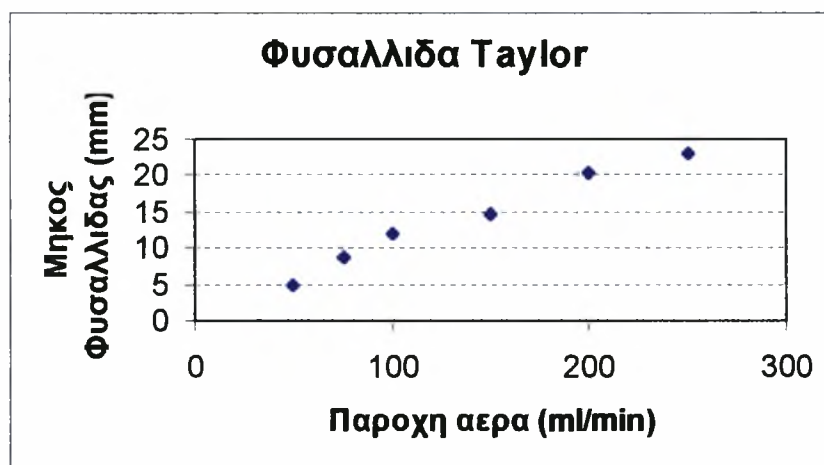


Εικόνα 24 : Φαινόμενο για παροχή αέρα 50 ml/min και νερού 1,25 ml/min.



Εικόνα 25: Φαινόμενο για παροχή αέρα 200 ml/min και νερού 1,25 ml/min.

Παράλληλα με την βοήθεια του προγράμματος Motion Scope και της ψηφιακής κάμερας, έγινε μια προσπάθεια να καταγράφουν τα μήκη των φυσαλίδων Taylor και να βρεθεί μια σχέση που να περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν οι παροχές του αέρα και του νερού το μήκος της φυσαλίδας. Τα αποτελέσματα στα οποία καταλήξαμε δεν μας επέτρεψαν να βγάλουμε ξεκάθαρα συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο που αναπτύσσεται η φυσαλίδα Taylor. Ενδεικτικά παραθέτουμε το παρακάτω διάγραμμα το οποίο μας δείχνει το πώς αυξάνεται η φυσαλίδα Taylor για σταθερή παροχή νερού 20 ml/min και για αυξανόμενη παροχή αέρα.



Εικόνα 26 : Επίδραση της παροχής του αέρα στο μήκος της Φυσαλίδας Taylor

4.3.2 Ροή με φυσαλίδες.

Η ροή με φυσαλίδες παρατηρήθηκε σε παροχές νερού από 125 ml/min και πάνω και σε παροχές αέρα μέχρι 1500 ml/min. Οι φυσαλίδες είχαν ακανόνιστο σχήμα και η κίνηση τους γινότανε πάντα στο πάνω μέρος του σωλήνα. Συνήθως οι φυσαλίδες κινιόντουσαν με μεγάλη ταχύτητα και δεν ήταν δυνατή η οπτική παρατήρηση τους στο σωλήνα δοκίμων. Με αύξηση της παροχής του αέρα οι φυσαλίδες αυτές παρουσίαζαν ένα πιο ελλειψοειδές σχήμα και αυξανόταν η διάμετρος τους. Το πρόβλημα το οποίο παρουσιάστηκε σχετικά με αυτό το είδος

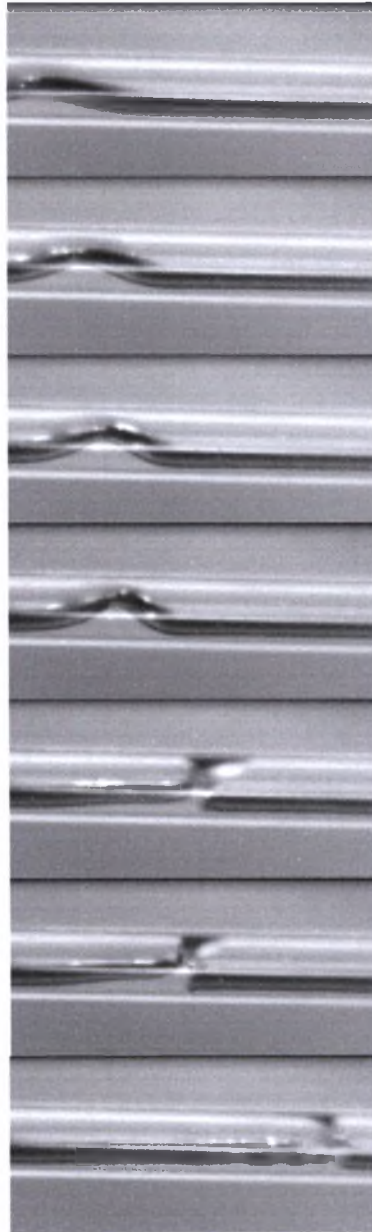
ροής ήταν ο διαχωρισμός της από την ροή Taylor. Σε πολλές περιπτώσεις οι φυσαλίδες Taylor είχαν πολύ μικρό μέγεθος και θα μπορούσαμε την ροή αυτή να την χαρακτηρίσαμε σαν ροή με φυσαλίδες. Σαν κριτήριο για την εμφάνιση της ροής με φυσαλίδες θεωρήσαμε οι φυσαλίδες αυτές να έχουν πολύ μικρή διάμετρο και να κινούνται στο πάνω μέρος του σωλήνα.

4.3.3 Στρωματοποιημένη ροή.

Η Στρωματοποιημένη ροή εμφανίζεται σε παροχές νερού από 0,625 ml/min μέχρι παροχές 16 ml/min και για παροχές αέρα που κυμαίνονται από 600 ml/min μέχρι 35446 ml/min. Όπως αναφέραμε κατά την παρουσίαση των περιοχών ροής ανάλογα με τα φαινόμενα που επικρατούν στη διεπιφάνεια νερού και αέρα η Στρωματοποιημένη ροή χωρίζεται στις εξής περιοχές : Στρωματοποιημένη ομαλή ροή, στην Στρωματοποιημένη ροή με μοναχικά κύματα και στην Στρωματοποιημένη ροή με κύματα. Από τα πειράματα τα οποία πραγματοποιήσαμε βγάλαμε το συμπέρασμα ότι στην περιοχή της Στρωματοποιημένης ροής και για σταθερή παροχή νερού, αρχικά εμφανίζεται η Στρωματοποιημένη ομαλή ροή. Στη συνέχεια όσο αυξάνουμε την παροχή του αέρα παρατηρούμε ότι στη διεπιφάνεια εμφανίζονται μοναχικά κύματα με αποτέλεσμα την μετάβαση από την Στρωματοποιημένη ομαλή ροή στην Στρωματοποιημένη ροή με μοναχικά κύματα. Με συνεχόμενη αύξηση της παροχής του νερού παρατηρούμε ότι τα κύματα που εμφανίζονται στην επιφάνεια έχουν μεγαλύτερη συχνότητα ενώ το ύψος των κυμάτων γίνεται μικρότερο. Τότε ξεκινάει η μετάβαση από την Στρωματοποιημένη ροή με μοναχικά κύματα στην Στρωματοποιημένη ροή με κύματα. Το είδος αυτό της ροής παρατηρήθηκε κυρίως μετά την Διαλείπουσα ροή.

Ένα χαρακτηριστικό της Στρωματοποιημένης ροής με μοναχικά κύματα είναι η χωροχρονική εξέλιξη της μοναχικής κορυφής κατά μήκος του αγωγού. Συγκεκριμένα, αρχικά δημιουργείται μια διαταραχή σχήματος συμμετρικής καμπάνας που κινείται σχετικά αργά κατάντι

της ροής και ταυτόχρονα μεγαλώνει σε ύψος. Πέρα από ένα ορισμένο ύψος, η ελεύθερη επιφάνεια παραμορφώνεται απότομα ενώ η κίνηση της κορυφής επιταχύνεται. Η τελική μορφή έχει έντονη ομοιότητα με τα μοναχικά κύματα που έχουν παρατηρηθεί σε κεκλιμένους υγρούς υμένες. Παρακάτω παρουσιάζεται με φωτογραφίες το συγκεκριμένο φαινόμενο.



Εικόνα 27 : Φαινόμενο Στρωματοποιημένης ροής με μοναχικά κύματα.

4.3.3 Διαλείπουσα ροή.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα στο οποίο καταλήξαμε για αυτό το είδος της ροής είναι ότι εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις, που παρατηρούνται κυρίως για μικρές παροχές νερού, η περιοχή αυτή ροής εμφανίζεται σε συνδυασμό με κάποια άλλη. Έτσι παρατηρούμε ότι για παροχές νερού από 0,625 ml/min μέχρι και 16 ml/min εμφανίζονται περιοχές όπου η ροή είναι αποκλειστή και μόνο Διαλείπουσα. Τόσο όμως κατά την Κλειστή ροή όσο και κατά την Ψευδο-διαλείπουσα ροή εμφανίζεται μέσα στο σωλήνα δοκίμων Διαλείπουσα ροή. Επειδή όμως η συχνότητα εμφάνισης της ροής αυτής ήταν μικρότερη σε σύγκριση με τις άλλες περιοχές ροής θεωρήσαμε ότι η περιοχή αυτή ροής δεν εμφανίζεται.

4.3.4 Δακτυλιοειδής ροή.

Η περιοχή αυτή ροής παρατηρήθηκε στο πείραμα περισσότερο από κάθε άλλη. Όπως και η Στρωματοποιημένη ροή, έτσι και η Δακτυλιοειδής ροή μπορεί να χωριστεί σε πολλές κατηγορίες. Έτσι αρχικά στο σωλήνα δοκίμων εμφανίζεται Δακτυλιοειδή ροή με κύματα όπου εξαιτίας της βαρύτητας το μεγαλύτερο μέρος του υγρού βρίσκεται στο κάτω μέρος του σωλήνα όπου είναι δυνατών να εμφανίζονται και μικρά κύματα. Στη συνέχεια, με σταθερή παροχή υγρού, όσο αυξάνουμε την παροχή του αέρα παρατηρούμε ότι σχεδόν ίση ποσότητα υγρού βρίσκεται τόσο στο πάνω όσο και στο κάτω μέρος του σωλήνα. Το στρώμα επομένως του νερού έχει παντού το ίδιο πάχος και η ροή χαρακτηρίζεται σαν Ομαλή δακτυλιοειδή ροή. Σε μεγαλύτερες παροχές νερού και αέρα, παρατηρείτε μια ροή η οποία είναι μια ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα στη Διαλείπουσα ροή και στην Ομαλή δακτυλιοειδή ροή. Στη ροή αυτή το υγρό συνεχίζει να ρέει με τη μορφή ενός λεπτού στρώματος που περιβρέχει το εσωτερικό του σωλήνα μόνο που τώρα εμφανίζονται μικρές μάζες νερού που κινούνται με την ταχύτητα του αέρα και οι οποίες κάνουν πιο έντονα τα φαινόμενα μεταφοράς. Η ροή αυτή ονομάζεται Δακτυλιοειδή-διαλείπουσα ροή

(Slug-Annular flow) και η συχνότητα με την οποία εμφανίζεται η Διαλείπουσα ροή εξαρτάται από την παροχή του αέρα. Αν αυξήσουμε και άλλο την παροχή του αέρα παρατηρούμε τα φαινόμενα μέσα στο σωλήνα είναι χαοτικά και δεν μπορούμε ούτε με την βοήθεια της κάμερας να παρατηρήσουμε τι γίνεται μέσα στο σωλήνα δοκίμων. Στο σημείο αυτό έχουμε την μετάβαση από την Δακτυλιοειδή ροή στη Διασκορπισμένη ροή. Η Δακτυλιοειδής ροή εμφανίζεται μετά την Στρωματοποιημένη ροή για μικρές παροχές νερού και μετά την Ψευδο-διαλείπουσα ροή για μεγαλύτερες παροχές νερού. Πρέπει να αναφέρουμε ότι παρόλο το γεγονός ότι οι διάφορες μορφές Δακτυλιοειδούς ροής παρατηρήθηκαν στο πείραμα μας, στο χάρτη των περιοχών ροής που παρουσιάσαμε παραπάνω δεν γίνεται ο διαχωρισμός αυτός. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη ποσοτικών κριτηρίων που θα μας βοηθούσαν να κατηγοριοποιήσουμε τις διάφορες μορφές Δακτυλιοειδούς ροής.

4.3.5 Κλειστή ροή.

Η περιοχή αυτή ροής εμφανίζεται σε όλες σχεδόν τις παροχές νερού. Για σταθερή παροχή νερού και για αυξανόμενη παροχή αέρα η Κλειστή ροή εμφανίζεται μετά την ροή Taylor και πριν από την Ψευδο-διαλείπουσα ροή. Το σημαντικό γεγονός που παρατηρήθηκε στην ροή αυτή είναι ότι στο χρονικό διάστημα ανάμεσα στη διέλευση δυο μαζών νερού που καταλαμβάνουν όλο το εσωτερικό του σωλήνα η ροή μπορεί να είναι Στρωματοποιημένη αλλά υπάρχει και η περίπτωση η ροή να είναι Διαλείπουσα η ακόμα και να εμφανίζεται Ψευδο-διαλείπουσα ροή. Και σε αυτή την περιοχή ροής έγινε μια προσπάθεια καταγραφής του μήκους των μαζών νερού αλλά εξαιτίας του γεγονότος ότι τα όργανα που χρησιμοποιήσαμε δεν μας έδιναν μεγάλη ακρίβεια δεν καταλήξαμε σε κάποιο συγκεκριμένο συμπέρασμα.

4.3.5 Διασκορπισμένη ροή.

Η ροή αυτή παρατηρήθηκε σε μεγάλες παροχές αέρα που κυμαίνονται από 5050 ml/min μέχρι 41255 ml/min και για επίσης μεγάλες παροχές νερού που κυμαίνονται από 175 ml/min μέχρι 1000 ml/min. Για αυτό το είδος της ροής δεν μπορέσαμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα γιατί η ροή μέσα στο σωλήνα ήταν χαοτική και δεν μπορέσαμε ούτε με τη βοήθεια της κάμερας να παρατηρήσουμε τι ακριβώς συμβαίνει μέσα στο σωλήνα. Το μόνο που μπορούμε να αναφέρουμε είναι ότι η ροή αυτή εμφανίζεται μετά την Δακτυλιοειδή-διαλείπουσα ροή.

4.3.6 Ψευδο-διαλείπουσα ροή.

Η ροή αυτή αποτελεί ίσως μια από της πιο αμφισβητούμενες περιοχές ροής. Όπως θα δούμε και παρακάτω, μόνο στην ερευνά του Damianides και Westwater εμφανίζεται αυτό το είδος ροής. Η περιοχή στην οποία παρατηρήθηκε η ροή αυτή ήταν για παροχές αέρα από 800 ml/min μέχρι 8756 ml/min, και για παροχές νερού από 8 ml/min μέχρι 350 ml/min. Το κυριότερο χαρακτηριστικό αυτής της ροής ήταν η ταχύτητα με την οποία κινείτε το Pseudo-slug, η οποία είναι μεγάλη και πρέπει να εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα του αέρα όσο και του νερού. Τέλος θα πρέπει να επισημάνουμε ότι αυτό το είδος ροής εμφανιζόταν παράλληλα με την Διαλείπουσα ροή, εξαιτίας όμως του γεγονότος ότι η Ψευδο-διαλείπουσα ροή είχε μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης από την Διαλείπουσα, θεωρήσαμε ότι η περιοχή ροής που εξετάζαμε χαρακτηριζόταν σαν Ψευδο-διαλείπουσα περιοχή ροής.

4.4 Σύγκριση χάρτη περιοχής ροής με προηγούμενες έρευνες.

Στην συνέχεια γίνεται η σύγκριση του χάρτη περιοχών ροής που κατασκευάστηκε σε αυτή την εργασία με χάρτες περιοχών ροής που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Σκοπός αυτής της σύγκρισης δεν είναι η ποσοτική επαλήθευση των αποτελεσμάτων μας αλλά κυρίως η ποιοτική επαλήθευση. Θα δώσουμε επομένως μικρότερη βαρύτητα στη σύγκριση σχετικά με τις παροχές αέρα και νερού που εμφανίζονται οι περιοχές ροής, και θα δώσουμε μεγαλύτερη βαρύτητα στην σειρά την οποία εμφανίζονται οι περιοχές ροής. Το γεγονός αυτό είναι αρκετά λογικό αν σκεφτούμε ότι τα κριτήρια τα οποία χρησιμοποιούνται για την μετάβαση από την μια περιοχή ροής στην άλλη είναι καθαρά υποκειμενικά.

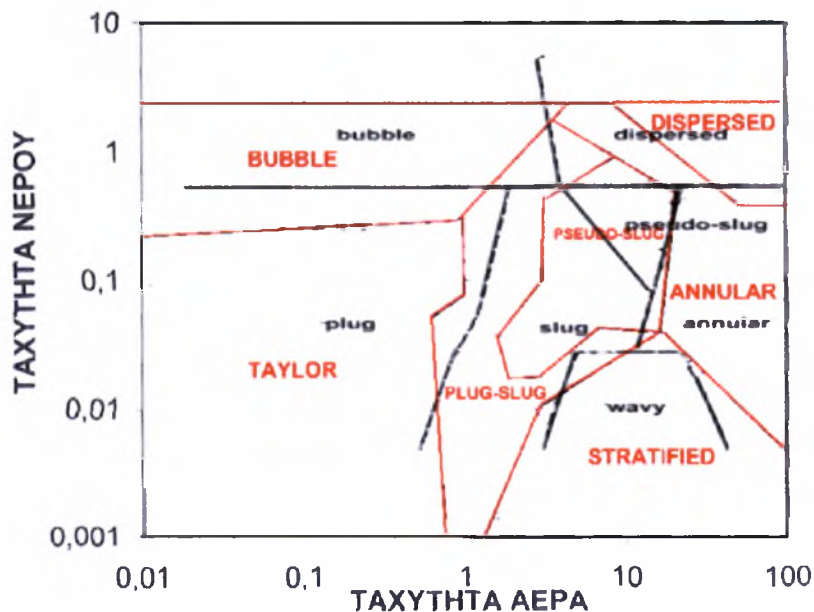
4.4.1 Χάρτη περιοχών ροής των *Damianides* και *Westwater*.

Αρχικά θα γίνει μια προσπάθεια σύγκρισης των περιοχών ροής που προτείνουν οι *Damianides* και *Westwater* (1988) και αυτών που προτείνονται στην συγκεκριμένη εργασία. Από τους χάρτες περιοχών ροής βγάζουμε το συμπέρασμα ότι οι περιοχές ροής που χρησιμοποιήθηκαν είναι σχεδόν οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Η μόνη διάφορα που παρατηρείται είναι ότι οι *Damianides* και *Westwater* (1988) δεν χρησιμοποίησαν τον όρο Στρωματοποιημένη ροή και στη θέση της χρησιμοποίησαν τον όρο *Wavy*. Με τον όρο *Wavy* ουσιαστικά αναφέρονται σε αυτό που εμείς αποκαλούμε Στρωματοποιημένη με κύματα. Παράλληλα η Ροή *Taylor* αναφέρεται σαν Κλειστή ροή κάτι το οποίο είναι λογικό αφού η ροή *Taylor* έχει όλα τα χαρακτηριστικά της Κλειστής ροής.

Αν γίνει μια ποσοτική προσέγγιση των δυο χαρτών παρατηρούμε ότι οι *Damianides* και *Westwater* (1988) υπολογίζουν ότι η Ροή με

φουσαλίδες και η Διασκορπισμένη ροή εμφανίζονται για ταχύτητες αέρα κοντά στο 0,5 m/sec. Στη συγκεκριμένη εργασία παρατηρήσαμε ότι οι δυο αυτές περιοχές ροής εμφανίζονται για ταχύτητα αέρα κοντά στο 0,4 m/sec. Ανάλογη ομοιότητα υπάρχει και ανάμεσα στις ταχύτητες αέρα και νερού που εμφανίζεται η Δακτυλιοειδής ροή. Η μόνη σοβαρή διάφορα ανάμεσα στους δυο χάρτες είναι η περιοχή που καταλαμβάνει στο χάρτη η Ψευδο-διαλείπουσα ροή. Παρατηρούμε δηλαδή ότι στο χάρτη περιοχών ροής των Damianides και Westwater (1988) η Ψευδο-διαλείπουσα ροή έχει μικρότερη συχνότητα εμφανίσεις σε σύγκριση με την συγκεκριμένη εργασία.

Τέλος αν γίνει μια ποιοτική προσέγγιση των δυο χαρτών θα δούμε ότι υπάρχει απόλυτη ταύτιση σχετικά με τον τρόπο που εμφανίζονται οι περιοχές ροής και το πώς διαδέχεται η μια την άλλη. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η σύγκριση των δυο χαρτών περιοχών ροής.

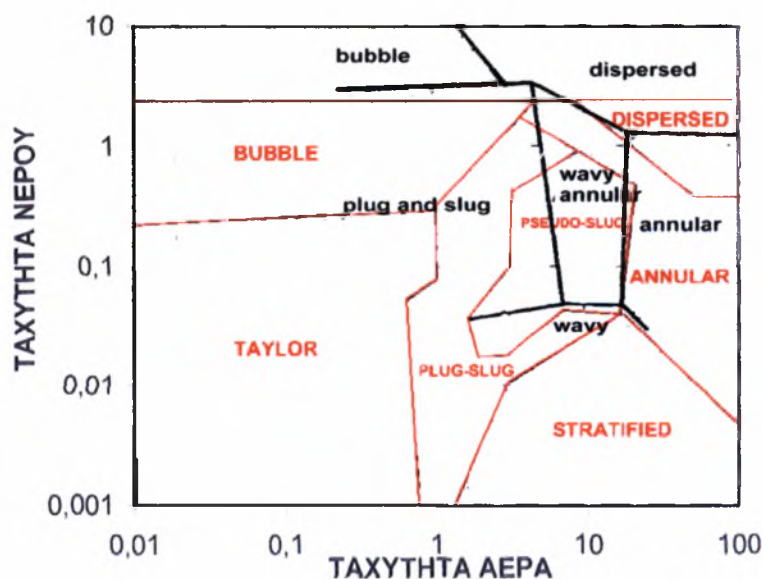


Εικόνα 28 : Σύγκριση χαρτών περιοχών ροής. Με κόκκινο η παρούσα μελέτη με μαύρο η μελέτη των Damianides και Westwater.

4.4.2 Χάρτη περιοχών ροής των Coleman και Garimella.

Από τον χάρτη ροής συμπεραίνουμε ότι οι Coleman και Garimella (1988), δεν έκαναν κανένα διαχωρισμό ανάμεσα στην Κλειστή ροή και στην Διαλείπουσα ροή και τις θεώρησαν σαν μια περιοχή ροής, κάτι το οποίο έγινε και στην συγκεκριμένη εργασία, ενώ δεν αναφέρονται καθόλου στην Ψευδο-διαλείπουσα ροή την οποία περιοχή ροής την ονομάζουν Wavy-Annular flow. Τέλος δεν χρησιμοποίησαν τον όρο Στρωματοποιημένη ροή και στη θέση της χρησιμοποίησαν τον όρο Wavy.

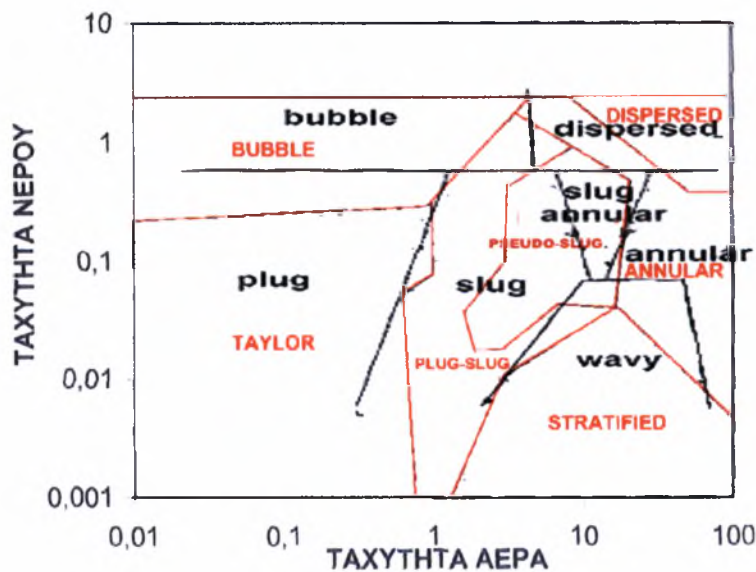
Αν γίνει μια ποσοτική προσέγγιση των δυο χαρτών θα δούμε ότι υπάρχουν αρκετές διαφορές ανάμεσα στις δυο μελέτες. Παρόλο αυτά δεν θα ασχοληθούμε με την ποσοτική ανάλυση γιατί ο χάρτης περιοχών ροής των Coleman και Garimella (1988) έγινε για σωλήνα δοκίμων διαμέτρου 2,6 mm και επομένως είναι αναμενόμενο να υπάρχουν διαφορές ανάμεσα σε αυτόν τον χάρτη περιοχών ροής και αυτόν που καταλήξαμε στην συγκεκριμένη εργασία. Όσο αναφορά την ποιοτική ανάλυση των δυο χαρτών μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει ταύτιση σχετικά με την εμφάνιση των περιοχών ροής. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η σύγκριση των δυο χαρτών περιοχών ροής.



Εικόνα 29 : Σύγκριση χαρτών περιοχών ροής. Με κόκκινο η παρούσα μελέτη με μαύρο η μελέτη των Coleman και Garimella .

4.4.3 Χάρτη περιοχών ροής των Yang και Shieh.

Οι περιοχές ροής που χρησιμοποιήθηκαν είναι σχεδόν οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Οι διαφορές που παρατηρούνται είναι ότι οι Yang και Shieh (2001) δεν χρησιμοποίησαν τον όρο Στρωματοποιημένη ροή και στη θέση της χρησιμοποίησαν τον όρο Wavy. Με τον όρο Wavy ουσιαστικά αναφέρονται σε αυτό που εμείς αποκαλούμε Στρωματοποιημένη με κύματα. Παράλληλα δεν εμφανίζετε η Ψευδο-διαλείπουσα ροή και στην θέση της έχουμε την Slug-Annular flow. Ο χάρτης των Yang και Shieh (2001) είναι ίδιος με αυτόν που κατασκεύασαν οι Damianides και Westwater (1988) με ελάχιστες διαφορές. Έτσι βλέπουμε ότι η Ροή με φυσαλίδες και η Διασκορπισμένη ροή εμφανίζονται για ταχύτητες αέρα κοντά στο 0,5 m/sec ενώ στη συγκεκριμένη εργασία παρατηρήσαμε ότι οι δυο αυτές περιοχές ροής εμφανίζονται για ταχύτητα αέρα κοντά στο 0,4 m/sec. Παράλληλα παρατηρούμε ότι η ροή Slug-Annular καταλαμβάνει μικρότερη περιοχή στο χάρτη σε σύγκριση με την Ψευδο-διαλείπουσα ροή.



Εικόνα 30 : Σύγκριση χαρτών περιοχών ροής. Με κόκκινο η παρούσα μελέτη με μαύρο η μελέτη των Yang και Shieh.

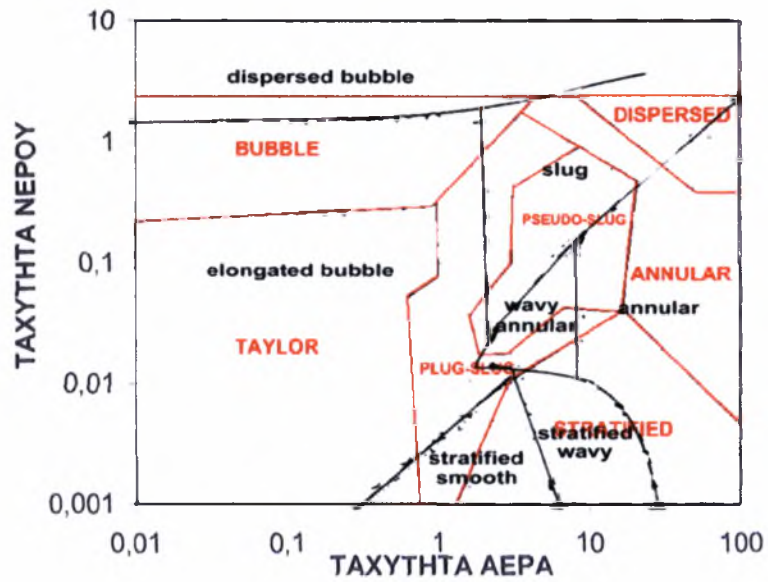
Όσο αναφορά την ποιοτική ανάλυση των δυο χαρτών παρατηρούμε ότι υπάρχει απόλυτη ταύτιση της σειράς με την οποία εμφανίζονται οι διάφορες περιοχές ροής. Η σύγκριση των δυο χαρτών περιοχών ροής φαίνεται στην εικόνα 30.

4.4.4 Χάρτη περιοχών ροής των των Bernea, Luninski και Taitel.

Στον χάρτη ροής που παρουσίασαν οι ερευνητές εμφανίζετε μια περιοχή ροής που χαρακτηρίζουν σαν Elongated bubble flow. Αυτή η περιοχή ροής αντίστοιχη σε αυτό που εμείς ονομάζουμε σαν Ροή Taylor. Παράλληλα βλέπουμε ότι υπάρχει διαχωρισμός ανάμεσα στην Στρωματοποιημένη με κύματα ροή και στην Στρωματοποιημένη ομαλή ροή. Τέλος δεν εμφανίζετε καθόλου η Διασκορπισμένη ροή γεγονός που ίσως να οφείλετε στο ότι δεν χρησιμοποίησαν αρκετά υψηλές παροχές νερού.

Με βάση την ποσοτική ανάλυση των δυο χαρτών παρατηρούμε ότι υπάρχουν αρκετές διαφορές. Θα πρέπει όμως να αναφέρουμε ότι οι διαφορές αυτές είναι αναμενόμενες αφού οι Bernea, Luninski και Taitel (1983) ασχολήθηκαν με σωλήνα δοκίμων διαμέτρου 4mm. Παράλληλα και η ποιοτική ανάλυση δεν θα μας δώσει αρκετές ομοιότητες ανάμεσα στους δυο χάρτες αφού στον χάρτη των Bernea, Luninski και Taitel (1983) δεν εμφανίζεται καθόλου η Διασκορπισμένη περιοχή ροής. Η σύγκριση των δυο χαρτών περιοχών ροής φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα.

Στην παραπάνω ανάλυση δεν αναφερθήκαμε καθόλου στον χάρτη ροής των Taitel και Dukler (1976). Ο λόγος για τον οποίο δεν έγινε σύγκριση των δυο χαρτών είναι ότι ο χάρτης των Taitel και Dukler (1976) έχει πολύ γενικό χαρακτήρα και δεν μας δίνει αρκετές πληροφορίες σχετικά με τα σύνορα μετάβασης από την μια περιοχή ροής στην άλλη.



Εικόνα 31 : Σύγκριση χαρτών περιοχών ροής. Με κόκκινο η παρούσα μελέτη με μαύρο η μελέτη των Bernea, Luninski και Taitel.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παρούσα μελέτη της οριζόντιας διφασικής ροής νερού και αέρα σε σωλήνες μικρής διαμέτρου είχε σαν σκοπό την παρατήρηση των περιοχών ροής που εμφανίζονται και την καταγραφή των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά τις μεταπτώσεις από μια περιοχή σε άλλη.

Για την υλοποίηση των παραπάνω κατασκευάστηκε κατάλληλη πειραματική διάταξη. Έγινε κατασκευή του χάρτη περιοχών ροής για σωλήνα με εσωτερική διάμετρο 3mm και έγινε καταγραφή των σημαντικότερων φαινομένων που παρατηρήθηκαν στο εσωτερικό του σωλήνα. Η ταυτοποίηση των περιοχών ροής έγινε με οπτική παρατήρηση και τεκμηριώθηκε με τη βοήθεια ψηφιακής κάμερας. Τέλος, έγινε σύγκριση του χάρτη περιοχών ροής με χάρτη περιοχών ροής από προηγούμενες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε αγωγό παρόμοιας διαμέτρου.

Από την παρούσα διπλωματική μελέτη καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα :

- Η ταξινόμηση των περιοχών ροής είναι ορισμένες φορές ιδιαίτερα αμφισβητούμενη και οι διαφορές στην ερμηνεία από τους ερευνητές έχουν οδηγήσει σε μια ευρεία σειρά ονομάτων περιοχών ροής. Για τον λόγο αυτό στη παρούσα μελέτη έγινε μια προσπάθεια να παρουσιαστούν όλες οι περιοχές ροής που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία και να εντοπιστούν αυτές οι οποίες εμφανίζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Οι περιοχές ροής που ταυτοποιήθηκαν τελικά είναι οι εξής : Ροή Taylor (Taylor bubble flow), Στρωματοποιημένη ροή (Stratified flow), Κλειστή ροή (Plug flow), Διαλείπουσα ροή (Slug flow), Ψευδο-διαλείπουσα ροή (Pseudo-slug flow), Δακτυλιοειδής ροή (Annular flow), Ροή με φυσαλίδες (Bubble flow) και Διασκορπισμένη ροή (Dispersed flow).

- Η είσοδος του μίγματος αέρα και νερού στο σωλήνα δοκίμων έγινε με την βοήθεια μιας συμπαγούς πλάκας ρητίνης όπου διανοίγονται κανάλια κυκλικής διατομής ώστε οι παροχές νερού και αέρα να συναντώνται με την επιθυμητή γωνία. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήσαμε δυο τέτοιες πλάκες όπου τα κανάλια κυκλικής διατομής δημιουργούσαν μεταξύ τους γωνίες 30° και 60° . Από τα πειράματα συμπεράναμε ότι η γωνία με την οποία εισέρχεται το μίγμα αέρα και νερού στο σωλήνα δεν επηρεάζει την ανάπτυξη των περιοχών ροής.
- Για την κατασκευή του χάρτη περιοχών ροής παρατηρήθηκαν οι περιοχές ροής σε 952 σημεία που το καθένα αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο συνδυασμό παροχών αέρα και νερού. Από την σύγκριση του χάρτη αυτού περιοχών ροής με άλλους χάρτες που έχουν δημιουργηθεί για οριζόντιους σωλήνες με παρόμοια εσωτερική διάμετρο, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει ικανοποιητική συμφωνία. Παρόλο δηλαδή το γεγονός ότι οι παροχές στις οποίες εμφανίζονται οι διάφορες περιοχές ροής δεν συμπίπτουν πάντα ακριβώς, η ακολουθία με την οποία εμφανίζονται οι περιοχές ροής είναι ακριβώς η ίδια. Το βασικό συμπέρασμα αυτής της παρατήρησης είναι ότι η συσκευή την οποία κατασκευάσαμε είναι σε θέση να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.
- Τέλος έγινε προσπάθεια να καταγραφεί ο τρόπος με τον οποίο εμφανίζονται οι διάφορες περιοχές ροής. Για τον σκοπό αυτό παρουσιάζονται στο Κεφαλαίο 4 μια σειρά από φωτογραφίες που τεκμηριώνουν την αλληλουχία των διαφόρων φαινομένων. Παράλληλα έγινε μια πρώτη προσπάθεια να καταγράψουν διάφορες χαρακτηριστικές παράμετροι των περιοχών ροής, όπως για παράδειγμα το μήκος της φουσαλίδας Taylor.

Η διφασική ροή σε σωλήνες μικρής διαμέτρου αποτελεί ακόμα παρθένο έδαφος για μελλοντικές έρευνες. Οι προτάσεις που γίνονται για μελλοντική εργασία είναι οι εξής :

- Η μελέτη της επίδρασης του ιξώδους και της επιφανειακής τάσης. Η επίδραση του ιξώδους έχει τεκμηριωθεί σε μεγάλες διαμέτρους μόνο, ενώ η σημασία της επιφανειακής τάσης ως κινητήριας δύναμης για τον σχηματισμό διαφόρων περιοχών ροής αναμένεται να αυξάνεται σε αγωγούς μικρής διαμέτρου.
- Η μελέτη της διφασικής ροής αέρα και νερού σε κατακόρυφους σωλήνες και σε επικλινείς σωλήνες.
- Κατάρτιση ποσοτικών κριτηρίων για την ταυτοποίηση περιοχών ροής. Η οπτική παρατήρηση, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία αλλά και σε άλλες της διεθνούς βιβλιογραφίας, υστερεί σε αντικειμενικότητα. Υποψήφιες ποσοτικές μέθοδοι μπορεί να βασιστούν στην μέτρηση της πτώσης πίεσης ή του πάχους υγρής στοιβάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andritsos, N. “ Effect of pipe Diameter and Liquid Viscosity on Horizontal Stratified Flow” Ph.D Thesis University of Illinois, Urbana, (1986).
- Barnea D., Polonsky S., Shemer L., “The relation between the Taylor Bubble motion and the velocity field ahead of it” Department of Fluid Mechanics and Heat Transfer, Tel-Aviv University (1999).
- Barnea D., Luninski Y., Taitel Y. “Flow pattern in Horizontal and Vertical two phase flow in small diameter pipes” Faculty of Engineering, Department of Fluid Mechanics and Heat Transfer, Tel-Aviv University (1983).
- Coleman J. and Garimella “ Characterization of two-phase flow patterns in small diameter round and rectangular tubes” Department of Mechanical Engineering, Iowa University (1988).
- Chien-Yuh and Cheng-Chou Shieh “Flow pattern of air-water and two-phase R-134a in small circular tubes” Department of Mechanical Engineering, National Central University, Taiwan (2000).
- Damianides C. and Westwater J.W. “Two phase flow patterns in a compact heat exchanger and in small tubes” Proceeding of Second U.K National Conference On Heat Transfer, Glasgow, Scotland (1988).
- Feng Dong, Xiaoping Liu, Xiang Deng, Lijun Xu and Ling-an Xu “Identification of two phase flow regimes in horizontal, inclined and vertical pipes” Department of Automation, Tianjin University (2001).
- Taitel Y. and Dukler A.E “ A model for predicting flow regimes transitions in horizontal and near horizontal gas-liquid flow” Aiche J. (1976).

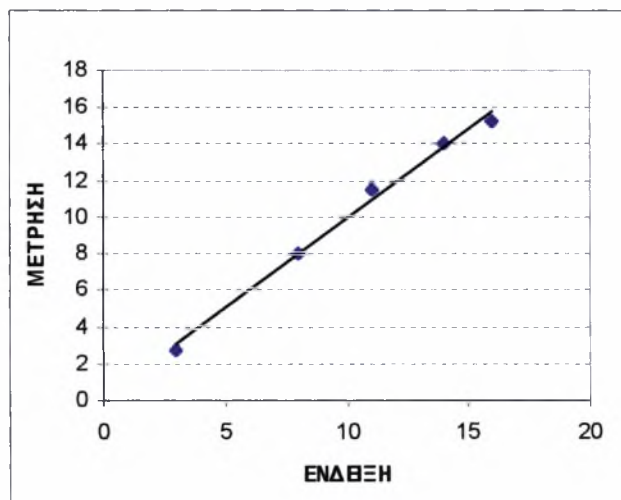
- Vishwas V. Wadekar “Compact Exchangers for Phase Change” HTFS, AEA Technology Hyprotech, Gemini Building. (2001).
- Whalley P.B “ Two-Phase Flow and Heat Transfer” Zeneca, Oxford University Press (1996).
- Μάργαρης Διονύσιος “Διφασική Ροή σε Αγωγούς και Οριακά Στρώματα” Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πάτρας (1998).
- Καραμάνος Κωνσταντίνος “Διφασική Ροή Αέρα-Νερού σε Οριζόντιο Αγωγό” Διπλωματική εργασία, Βόλος (1997).
- Τορτοπίδης Π.Γ. “ Απορρόφηση CO₂ σε συμπαγή διάταξη επαφής” Διπλωματική εργασία, Βόλος (1996).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΡΟΟΜΕΤΡΩΝ ΝΕΡΟΥ

ACCUCAL FLOW METER TUBE SIZE 210

ΕΝΔΕΙΞΗ (ml/min)	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ (ml/min)
3	2,767
8	7,991
11	11,54
14	14,005
16	15,29

Η γραφική παράσταση που προκύπτει είναι η εξής:



Γράφημα 1: Βαθμονόμηση ροόμετρου νερού τύπου tube 210

Η γραμμή τάσης της παραπάνω γραφικής παράστασης δίνεται από την σχέση

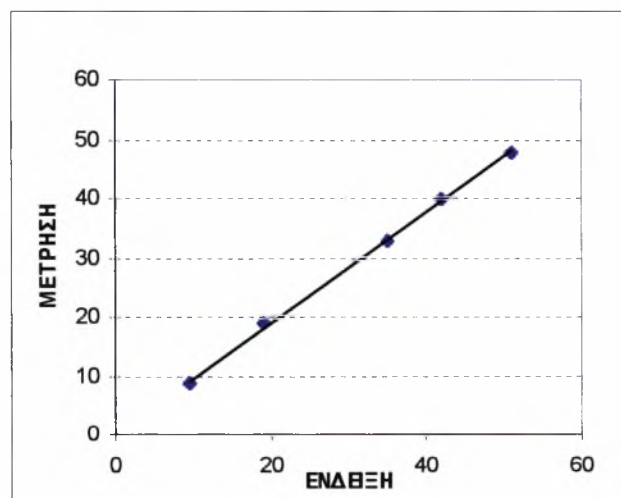
$$y=0,9821 \cdot x + 0,1052$$

ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι $R^2=0,9923$ που είναι πολύ κοντά στην μονάδα.

ACCUCAL FLOW METER TUBE SIZE 215

ΕΝΔΕΙΞΗ (ml/min)	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ (ml/min)
9,5	8,68
19	18,914
35	32,925
42	40,052
51	47,7

Η γραφική παράσταση που προκύπτει είναι η εξής:



Γράφημα 2: Βαθμονόμηση ροόμετρου νερού τύπου tube 215

Η γραμμή τάσης της παραπάνω γραφικής παράστασης δίνεται από την σχέση

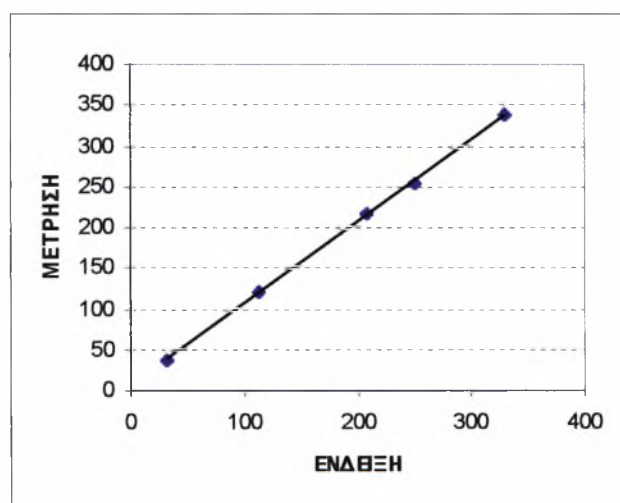
$$y=0,9346 \cdot x + 0,4078$$

ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι $R^2=0,9988$ που είναι πολύ κοντά στην μονάδα.

ACCUCAL FLOW METER TUBE SIZE 225

ΕΝΔΕΙΞΗ (ml/min)	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ (ml/min)
32,5	36,04
112,5	122,22
207,5	216,58
250	255,46
330	338,109

Η γραφική παράσταση που προκύπτει είναι η εξής:



Γράφημα 3: Βαθμονόμηση ροόμετρου νερού τύπου tube 225

Η γραμμή τάσης της παραπάνω γραφικής παράστασης δίνεται από την σχέση

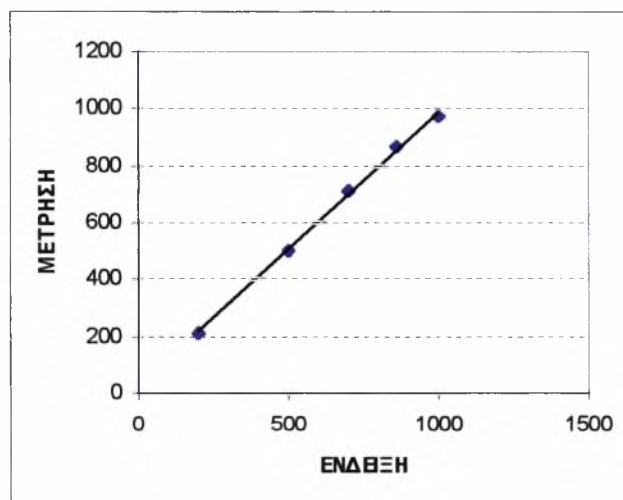
$$y=1,008*x + 5,6811$$

ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι $R^2=0,9996$ που είναι πολύ κοντά στην μονάδα.

ACCUCAL FLOW METER TUBE SIZE 235

ΕΝΔΕΙΞΗ (ml/min)	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ (ml/min)
200	215
500	503
700	715
860	860
1000	971,7

Η γραφική παράσταση που προκύπτει είναι η εξής:



Γράφημα 4: Βαθμονόμηση ροόμετρου νερού τύπου tube 235

Η γραμμή τάσης της παραπάνω γραφικής παράστασης δίνεται από την σχέση

$$y=0,9618*x + 27,27$$

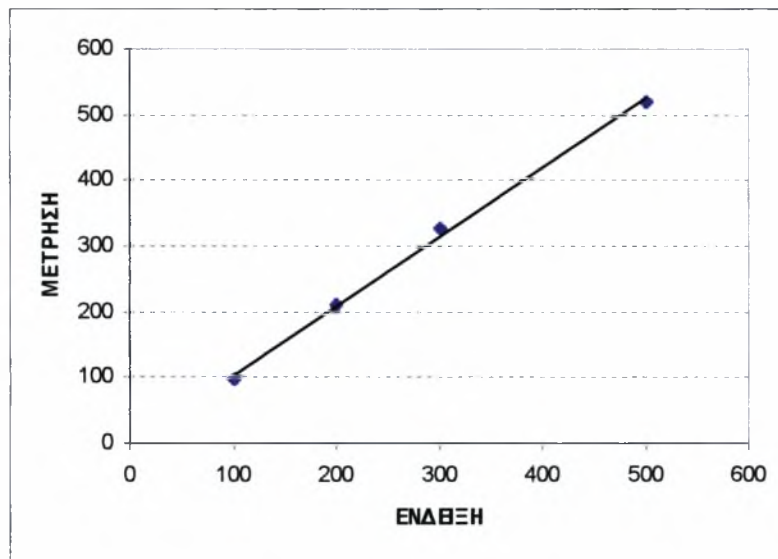
ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι $R^2=0,998$ που είναι πολύ κοντά στην μονάδα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΡΟΟΜΕΤΡΩΝ ΑΕΡΑ

ACCUCAL FLOW METER TUBE SIZE 210

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΡΟΟΜΕΤΡΟΥ ΑΕΡΑ (ML/MIN)	ΧΡΟΝΟΣ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ Η ΦΥΣΑΛΙΔΑ (SEC)	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ (ML/MIN)
1	100	62	96,774
2	100	61	98,36
3	100	61	98,36
4	100	62	96,774
5	100	60	100
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ			98,05
1	200	28,1	213,5
2	200	28,2	212,76
3	200	27,3	219,78
4	200	28,3	212,01
5	200	30	200
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ			211,61
1	300	19,2	312,5
2	300	18	333,3
3	300	18	333,3
4	300	18,23	329,12
5	300	18	333,3
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ			328,304
1	500	11	545,45
2	500	11,66	514,57
3	500	11,62	516,35
4	500	11,71	512,38
5	500	11,63	515,9
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ			520,93

Η γραφική παράσταση που προκύπτει είναι η εξής



Γράφημα 5: Βαθμονόμηση ροομέτρου αέρα τύπου tube 210

Η γραμμή τάσης της παραπάνω γραφικής παράστασης δίνεται από το τύπο

$$y=1,0559*x - 0,6371$$

ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι $R^2=0,9976$ που είναι πολύ κοντά στην μονάδα.

ACCUCAL FLOW METER TUBE SIZE 225

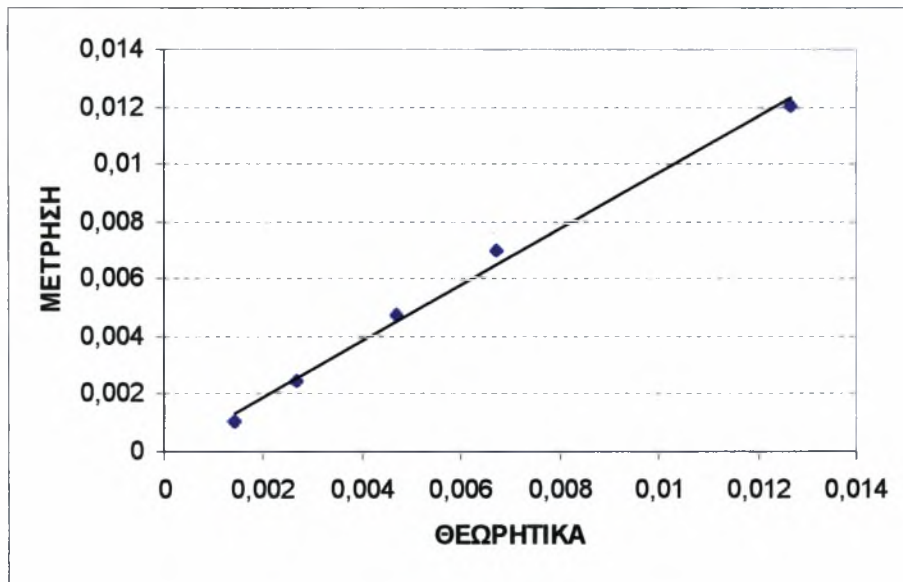
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΜΑΝΟΜΕΤΡΟΥ.

ΠΑΡΟΧΗ ΡΟΟΜΕΤΡΟΥ ΑΕΡΑ (ML/MIN)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΜΑΝΟΜΕΤΡΟΥ (M)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΔΡ (PA)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΔΡ (ATM)
1000	0,011	107,91	0,001065
2000	0,025	245,25	0,00242
3500	0,049	480,69	0,004744
5000	0,072	706,32	0,00697
6000	0,1246	1222,326	0,012063

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ
ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΠΑΡΟΧΗ (ML/MIN)	ΜΗΚΟΣ L (M)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (M)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ (M/SEC)	ΑΡΙΘΜΟΣ RE	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ f	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΔΡ (ATM)
1000	2,8	0,00396	1,353907	343,1341	0,186516	0,001412
2000	2,8	0,00396	3,01958	724,6992	0,088313	0,002685
3500	2,8	0,00396	5,284265	1268,224	0,050464	0,004698
5000	2,8	0,00396	7,54895	1811,748	0,035325	0,006712
6000	2,8	0,00396	9,05874	2174,098	0,046336	0,012677

Από τα αποτελέσματα των πινάκων κατασκευάζουμε το παρακάτω γράφημα που στον άξονα χ φαίνονται τα αποτελέσματα που υπολογίσαμε από τις εξισώσεις της ρευστομηχανικής ενώ στον άξονα τον ψ φαίνονται τα αποτελέσματα που υπολογίσαμε με την βοήθεια του μανομέτρου.



Γράφημα 6: Βαθμονόμηση ροομέτρου αέρα τύπου tube 225

Η γραμμή τάσης της παραπάνω γραφικής παράστασης δίνεται από το τύπο

$$y=0,9764*x - 5*10^{-5}$$

ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι $R^2=0,9943$ που είναι πολύ κοντά στην μονάδα.

ACCUCAL FLOW METER TUBE SIZE 230

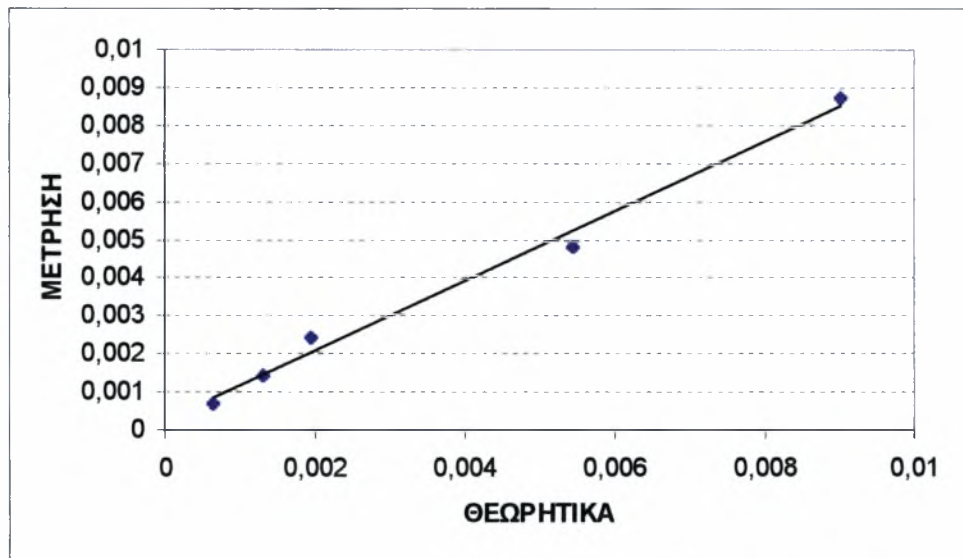
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΜΑΝΟΜΕΤΡΟΥ.

ΠΑΡΟΧΗ ΡΟΟΜΕΤΡΟΥ ΑΕΡΑ (ML/MIN)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΜΑΝΟΜΕΤΡΟΥ (M)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΔΡ (ΡΑ)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΔΡ (ΑΤΜ)
4000	0,007	68,67	0,000678
8000	0,015	147,15	0,001452
12000	0,025	245,25	0,00242
18000	0,05	490,5	0,004841
24000	0,09	882,9	0,008713

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ
ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΠΑΡΟΧΗ (ML/MIN)	ΜΗΚΟΣ L (M)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (M)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ (M/SEC)	ΑΡΙΘΜΟΣ RE	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ f	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΔΡ (ΑΤΜ)
4000	8,6	0,009	1,048465	603,916	0,105975	0,00065
8000	8,6	0,009	2,096931	1207,832	0,052988	0,001301
12000	8,6	0,009	3,145396	1811,748	0,035325	0,001951
18000	8,6	0,009	4,718094	2717,622	0,043822	0,005446
24000	8,6	0,009	6,290792	3623,496	0,040781	0,00901

Από τα αποτελέσματα των πινάκων κατασκευάζουμε το παρακάτω γράφημα που στον άξονα χ φαίνονται τα αποτελέσματα που υπολογίσαμε από τις εξισώσεις της ρευστομηχανικής ενώ στον άξονα τον ψ φαίνονται τα αποτελέσματα που υπολογίσαμε με την βοήθεια του μανομέτρου.



Γράφημα 7: Βαθμονόμηση ροομέτρου αέρα τύπου tube 230

Η γραμμή τάσης της παραπάνω γραφικής παράστασης δίνεται από το τύπο

$$y=0,9209*x +0,0002$$

ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι $R^2=0,9911$ που είναι πολύ κοντά στην μονάδα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ
ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι πίνακες είναι για γωνία εισόδου 60

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	0,625	0,047	0,00147	Ροή Taylor
50	50	0,625	0,117	0,00147	Ροή Taylor
75	75	0,625	0,176	0,00147	Ροή Taylor
100	100	0,625	0,235	0,00147	Ροή Taylor
150	150	0,625	0,353	0,00147	Ροή Taylor
200	200	0,625	0,471	0,00147	Ροή Taylor
250	250	0,625	0,589	0,00147	Ροή Taylor
300	300	0,625	0,707	0,00147	Ροή Taylor
350	350	0,625	0,825	0,00147	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	0,625	0,943	0,00147	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	0,625	1,179	0,00147	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	0,625	1,415	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
700	700	0,625	1,651	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
800	800	0,625	1,887	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
1000	1000	0,625	2,359	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
1200	1200	0,625	2,831	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
1500	1500	0,625	3,539	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
1750	1750	0,625	4,128	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
2250	2250	0,625	5,308	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
3000	3000	0,625	7,077	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
3500	3500	0,625	8,257	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
4000	4000	0,625	9,436	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
5000	5000	0,625	11,795	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
6000	6000	0,625	14,154	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
7000	7000	0,625	16,513	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8000	0,625	18,872	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10000	0,625	23,590	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
12000	12000	0,625	28,309	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
14000	14000	0,625	33,027	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
16000	16000	0,625	37,745	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
18000	18000	0,625	42,463	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
22000	22000	0,625	51,899	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
26000	29610,68	0,625	69,853	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
30000	35446,24	0,625	83,619	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ – ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	1,25	0,047	0,0029	Ροή Taylor
50	50	1,25	0,118	0,0029	Ροή Taylor
75	75	1,25	0,177	0,0029	Ροή Taylor
100	100	1,25	0,236	0,0029	Ροή Taylor
150	150	1,25	0,354	0,0029	Ροή Taylor
200	200	1,25	0,472	0,0029	Ροή Taylor
250	250	1,25	0,590	0,0029	Ροή Taylor
300	300	1,25	0,708	0,0029	Ροή Taylor
350	350	1,25	0,826	0,0029	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	1,25	0,944	0,0029	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	1,25	1,180	0,0029	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	1,25	1,415	0,0029	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	1,25	1,651	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
800	800	1,25	1,887	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
1000	1000	1,25	2,359	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
1200	1200	1,25	2,831	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
1500	1500	1,25	3,539	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
1750	1750	1,25	4,128	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
2250	2250	1,25	5,308	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
3000	3000	1,25	7,077	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
3500	3500	1,25	8,257	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
4000	4000	1,25	9,436	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
5000	5000	1,25	11,795	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
6000	6000	1,25	14,154	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
7000	7000	1,25	16,513	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8000	1,25	18,872	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10000	1,25	23,590	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
12000	12000	1,25	28,309	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
14000	14000	1,25	33,027	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
16000	16773,39	1,25	39,569	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
18000	19701,74	1,25	46,477	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
22000	24572,38	1,25	57,967	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
26000	30170,47	1,25	71,174	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή
30000	35446,24	1,25	83,619	0,0029	Στρωματοποιημένη ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	2	0,047	0,0047	Ροή Taylor
50	50	2	0,118	0,0047	Ροή Taylor
75	75	2	0,177	0,0047	Ροή Taylor
100	100	2	0,236	0,0047	Ροή Taylor
150	150	2	0,354	0,0047	Ροή Taylor
200	200	2	0,472	0,0047	Ροή Taylor
250	250	2	0,590	0,0047	Ροή Taylor
300	300	2	0,708	0,0047	Ροή Taylor
350	350	2	0,826	0,0047	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	2	0,944	0,0047	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	2	1,180	0,0047	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	2	1,415	0,0047	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	2	1,651	0,0047	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	2	1,887	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
1000	1000	2	2,359	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
1200	1200	2	2,831	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
1500	1500	2	3,539	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
1750	1750	2	4,128	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
2250	2250	2	5,308	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
3000	3000	2	7,077	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
3500	3500	2	8,257	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
4000	4000	2	9,436	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
5000	5000	2	11,795	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
6000	6000	2	14,154	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
7000	7000	2	16,513	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8000	2	18,872	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10000	2	23,590	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
12000	12000	2	28,309	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
14000	14676,71	2	34,623	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
16000	16773,39	2	39,569	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
18000	19701,74	2	46,477	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
22000	24572,38	2	57,967	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
26000	29610,68	2	69,853	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
30000	35446,24	2	83,619	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ – ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	4	0,047	0,0094	Ροή Taylor
50	50	4	0,118	0,0094	Ροή Taylor
75	75	4	0,177	0,0094	Ροή Taylor
100	100	4	0,236	0,0094	Ροή Taylor
150	150	4	0,354	0,0094	Ροή Taylor
200	200	4	0,472	0,0094	Ροή Taylor
250	250	4	0,590	0,0094	Ροή Taylor
300	300	4	0,708	0,0094	Ροή Taylor
350	350	4	0,826	0,0094	Ροή Taylor
400	400	4	0,944	0,0094	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	4	1,180	0,0094	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	4	1,415	0,0094	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	4	1,651	0,0094	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	4	1,887	0,0094	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1000	4	2,359	0,0094	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1200	4	2,831	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
1500	1500	4	3,539	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
1750	1750	4	4,128	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
2250	2250	4	5,308	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
3000	3000	4	7,077	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
3500	3500	4	8,257	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
4000	4000	4	9,436	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
5000	5000	4	11,795	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
6000	6000	4	14,154	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
7000	7000	4	16,513	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8000	4	18,872	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10000	4	23,590	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
12000	12000	4	28,309	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
14000	14676,71	4	34,623	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
16000	17512,65	4	41,313	0,0094	Στρωματοποιημένη ροή
18000	19701,74	4	46,477	0,0094	Δακτυλιοειδής ροή
22000	24572,38	4	57,967	0,0094	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30170,47	4	71,174	0,0094	Δακτυλιοειδής ροή
30000	35446,24	4	83,619	0,0094	Δακτυλιοειδής ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	6	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	6	0,118	0,0142	Ροή Taylor
75	75	6	0,177	0,0142	Ροή Taylor
100	100	6	0,236	0,0142	Ροή Taylor
150	150	6	0,354	0,0142	Ροή Taylor
200	200	6	0,472	0,0142	Ροή Taylor
250	250	6	0,590	0,0142	Ροή Taylor
300	300	6	0,708	0,0142	Ροή Taylor
350	350	6	0,826	0,0142	Ροή Taylor
400	400	6	0,944	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	6	1,180	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	6	1,415	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	6	1,651	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	6	1,887	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1000	6	2,359	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1200	6	2,831	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1500	6	3,539	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1750	1750	6	4,128	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
2250	2250	6	5,308	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
3000	3000	6	7,077	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
3500	3500	6	8,257	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
4000	4000	6	9,436	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
5000	5000	6	11,795	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
6000	6000	6	14,154	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
7000	7000	6	16,513	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8000	6	18,872	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10483,37	6	24,731	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
12000	12580,04	6	29,677	0,0142	Δακτυλιοειδής ροή
14000	14676,71	6	34,623	0,0142	Δακτυλιοειδής ροή
16000	17512,65	6	41,313	0,0142	Δακτυλιοειδής ροή
18000	19701,74	6	46,477	0,0142	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25055,19	6	59,106	0,0142	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30170,47	6	71,174	0,0142	Δακτυλιοειδής ροή
30000	35446,24	6	83,619	0,0142	Δακτυλιοειδής ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	8	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	8	0,118	0,0189	Ροή Taylor
75	75	8	0,177	0,0189	Ροή Taylor
100	100	8	0,236	0,0189	Ροή Taylor
150	150	8	0,354	0,0189	Ροή Taylor
200	200	8	0,472	0,0189	Ροή Taylor
250	250	8	0,590	0,0189	Ροή Taylor
300	300	8	0,708	0,0189	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
350	350	8	0,826	0,0189	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	8	0,944	0,0189	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	8	1,180	0,0189	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	8	1,415	0,0189	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	8	1,651	0,0189	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	8	1,887	0,0189	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1000	1000	8	2,359	0,0189	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1200	1200	8	2,831	0,0189	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1500	8	3,539	0,0189	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1750	1750	8	4,128	0,0189	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
2250	2250	8	5,308	0,0189	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
3000	3000	8	7,077	0,0189	Στρωματοποιημένη ροή
3500	3500	8	8,257	0,0189	Στρωματοποιημένη ροή
4000	4000	8	9,436	0,0189	Στρωματοποιημένη ροή
5000	5000	8	11,795	0,0189	Στρωματοποιημένη ροή
6000	6000	8	14,154	0,0189	Στρωματοποιημένη ροή
7000	7000	8	16,513	0,0189	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8000	8	18,872	0,0189	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10000	8	23,590	0,0189	Στρωματοποιημένη ροή
12000	12580,04	8	29,677	0,0189	Δακτυλιοειδής ροή
14000	14676,71	8	34,623	0,0189	Δακτυλιοειδής ροή
16000	17512,65	8	41,313	0,0189	Δακτυλιοειδής ροή
18000	19701,74	8	46,477	0,0189	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25055,19	8	59,106	0,0189	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30720,07	8	72,470	0,0189	Δακτυλιοειδής ροή
30000	36681,67	8	86,534	0,0189	Δακτυλιοειδής ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	10	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	10	0,118	0,0236	Ροή Taylor
75	75	10	0,177	0,0236	Ροή Taylor
100	100	10	0,236	0,0236	Ροή Taylor
150	150	10	0,354	0,0236	Ροή Taylor
200	200	10	0,472	0,0236	Ροή Taylor
250	250	10	0,590	0,0236	Ροή Taylor
300	300	10	0,708	0,0236	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
350	350	10	0,826	0,0236	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	10	0,944	0,0236	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	10	1,180	0,0236	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	10	1,415	0,0236	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	10	1,651	0,0236	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
800	800	10	1,887	0,0236	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1000	1000	10	2,359	0,0236	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1200	1200	10	2,831	0,0236	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1500	10	3,539	0,0236	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	10	4,128	0,0236	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
2250	2250	10	5,308	0,0236	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
3000	3000	10	7,077	0,0236	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
3500	3500	10	8,257	0,0236	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
4000	4000	10	9,436	0,0236	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
5000	5000	10	11,795	0,0236	Στρωματοποιημένη ροή
6000	6000	10	14,154	0,0236	Στρωματοποιημένη ροή
7000	7000	10	16,513	0,0236	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8386,694	10	19,785	0,0236	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10483,37	10	24,731	0,0236	Δακτυλιοειδής ροή
12000	12580,04	10	29,677	0,0236	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15003,63	10	35,394	0,0236	Δακτυλιοειδής ροή
16000	17512,65	10	41,313	0,0236	Δακτυλιοειδής ροή
18000	19701,74	10	46,477	0,0236	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25055,19	10	59,106	0,0236	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30720,07	10	72,470	0,0236	Δακτυλιοειδής ροή
30000	36681,67	10	86,534	0,0236	Δακτυλιοειδής ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	12	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	12	0,118	0,0283	Ροή Taylor
75	75	12	0,177	0,0283	Ροή Taylor
100	100	12	0,236	0,0283	Ροή Taylor
150	150	12	0,354	0,0283	Ροή Taylor
200	200	12	0,472	0,0283	Ροή Taylor
250	250	12	0,590	0,0283	Ροή Taylor
300	300	12	0,708	0,0283	Ροή Taylor
350	350	12	0,826	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	12	0,944	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	12	1,180	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	12	1,415	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	12	1,651	0,0283	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
800	800	12	1,887	0,0283	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1000	1000	12	2,359	0,0283	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1200	1200	12	2,831	0,0283	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1500	12	3,539	0,0283	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	12	4,128	0,0283	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2250	12	5,308	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
3000	3000	12	7,077	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
3500	3500	12	8,257	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
4000	4000	12	9,436	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
5000	5000	12	11,795	0,0283	Στρωματοποιημένη ροή
6000	6000	12	14,154	0,0283	Στρωματοποιημένη ροή
7000	7000	12	16,513	0,0283	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8386,694	12	19,785	0,0283	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10483,37	12	24,731	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή
12000	12580,04	12	29,677	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15323,57	12	36,149	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή
16000	17512,65	12	41,313	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή
18000	20104,68	12	47,428	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25055,19	12	59,106	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30720,07	12	72,470	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή
30000	36069,24	12	85,089	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	14	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	14	0,118	0,033	Ροή Taylor
75	75	14	0,177	0,033	Ροή Taylor
100	100	14	0,236	0,033	Ροή Taylor
150	150	14	0,354	0,033	Ροή Taylor
200	200	14	0,472	0,033	Ροή Taylor
250	250	14	0,590	0,033	Ροή Taylor
300	300	14	0,708	0,033	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
350	350	14	0,826	0,033	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	14	0,944	0,033	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	14	1,180	0,033	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	14	1,415	0,033	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	14	1,651	0,033	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
800	800	14	1,887	0,033	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1000	1000	14	2,359	0,033	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1200	1200	14	2,831	0,033	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1500	14	3,539	0,033	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	14	4,128	0,033	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2250	14	5,308	0,033	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
3000	3000	14	7,077	0,033	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
3500	3500	14	8,257	0,033	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
4000	4000	14	9,436	0,033	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
5000	5000	14	11,795	0,033	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
6000	6000	14	14,154	0,033	Στρωματοποιημένη ροή
7000	7000	14	16,513	0,033	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8000	14	18,872	0,033	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10483,37	14	24,731	0,033	Δακτυλιοειδής ροή
12000	12580,04	14	29,677	0,033	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15003,63	14	35,394	0,033	Δακτυλιοειδής ροή
16000	17512,65	14	41,313	0,033	Δακτυλιοειδής ροή
18000	20104,68	14	47,428	0,033	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25055,19	14	59,106	0,033	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30720,07	14	72,470	0,033	Δακτυλιοειδής ροή
30000	36069,24	14	85,089	0,033	Δακτυλιοειδής ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	16	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	16	0,118	0,0377	Ροή Taylor
75	75	16	0,177	0,0377	Ροή Taylor
100	100	16	0,236	0,0377	Ροή Taylor
150	150	16	0,354	0,0377	Ροή Taylor
200	200	16	0,472	0,0377	Ροή Taylor
250	250	16	0,590	0,0377	Ροή Taylor
300	300	16	0,708	0,0377	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
350	350	16	0,826	0,0377	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	16	0,944	0,0377	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	16	1,180	0,0377	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	16	1,415	0,0377	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	16	1,651	0,0377	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
800	800	16	1,887	0,0377	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1000	1000	16	2,359	0,0377	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1200	1200	16	2,831	0,0377	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1500	16	3,539	0,0377	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	16	4,128	0,0377	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2250	16	5,308	0,0377	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3000	16	7,077	0,0377	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
3500	3500	16	8,257	0,0377	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
4000	4000	16	9,436	0,0377	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
5000	5000	16	11,795	0,0377	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
6000	6000	16	14,154	0,0377	Στρωματοποιημένη ροή
7000	7000	16	16,513	0,0377	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8000	16	18,872	0,0377	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10483,37	16	24,731	0,0377	Δακτυλιοειδής ροή
12000	12580,04	16	29,677	0,0377	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15323,57	16	36,149	0,0377	Δακτυλιοειδής ροή
16000	17512,65	16	41,313	0,0377	Δακτυλιοειδής ροή
18000	20104,68	16	47,428	0,0377	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25055,19	16	59,106	0,0377	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30720,07	16	72,470	0,0377	Δακτυλιοειδής ροή
30000	36681,67	16	86,534	0,0377	Δακτυλιοειδής ροή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ – ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	20	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	20	0,118	0,0472	Ροή Taylor
75	75	20	0,177	0,0472	Ροή Taylor
100	100	20	0,236	0,0472	Ροή Taylor
150	150	20	0,354	0,0472	Ροή Taylor
200	200	20	0,472	0,0472	Ροή Taylor
250	250	20	0,590	0,0472	Ροή Taylor
300	300	20	0,708	0,0472	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
350	350	20	0,826	0,0472	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	20	0,944	0,0472	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	20	1,180	0,0472	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	20	1,415	0,0472	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	20	1,651	0,0472	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	20	1,887	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1000	1000	20	2,359	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1200	1200	20	2,831	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1500	20	3,539	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	20	4,128	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2250	20	5,308	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3000	20	7,077	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3500	20	8,257	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4000	20	9,436	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5000	20	11,795	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6000	20	14,154	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7000	20	16,513	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
8000	8386,694	20	19,785	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
10000	10483,37	20	24,731	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
12000	12580,04	20	29,677	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15323,57	20	36,149	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
16000	17512,65	20	41,313	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
18000	20499,7	20	48,360	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25528,86	20	60,224	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30720,07	20	72,470	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
30000	37284,03	20	87,955	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ – ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	25	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	25	0,118	0,059	Ροή Taylor
75	75	25	0,177	0,059	Ροή Taylor
100	100	25	0,236	0,059	Ροή Taylor
150	150	25	0,354	0,059	Ροή Taylor
200	200	25	0,472	0,059	Ροή Taylor
250	250	25	0,590	0,059	Ροή Taylor
300	300	25	0,708	0,059	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
350	350	25	0,826	0,059	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	25	0,944	0,059	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	25	1,180	0,059	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	25	1,415	0,059	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	25	1,651	0,059	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	25	1,887	0,059	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1000	1000	25	2,359	0,059	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1200	1200	25	2,831	0,059	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1500	25	3,539	0,059	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	25	4,128	0,059	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2250	25	5,308	0,059	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3000	25	7,077	0,059	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3500	25	8,257	0,059	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4000	25	9,436	0,059	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5000	25	11,795	0,059	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6290,02	25	14,838	0,059	Δακτυλιοειδής ροή
7000	7338,357	25	17,312	0,059	Δακτυλιοειδής ροή
8000	8386,694	25	19,785	0,059	Δακτυλιοειδής ροή
10000	10483,37	25	24,731	0,059	Δακτυλιοειδής ροή
12000	13134,49	25	30,985	0,059	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15323,57	25	36,149	0,059	Δακτυλιοειδής ροή
16000	17512,65	25	41,313	0,059	Δακτυλιοειδής ροή
18000	20499,7	25	48,360	0,059	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25528,86	25	60,224	0,059	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30720,07	25	72,470	0,059	Δακτυλιοειδής ροή
30000	37284,03	25	87,955	0,059	Δακτυλιοειδής ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	30	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	30	0,118	0,0708	Ροή Taylor
75	75	30	0,177	0,0708	Ροή Taylor
100	100	30	0,236	0,0708	Ροή Taylor
150	150	30	0,354	0,0708	Ροή Taylor
200	200	30	0,472	0,0708	Ροή Taylor
250	250	30	0,590	0,0708	Ροή Taylor
300	300	30	0,708	0,0708	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
350	350	30	0,826	0,0708	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
400	400	30	0,944	0,0708	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	30	1,180	0,0708	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	30	1,415	0,0708	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	30	1,651	0,0708	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	30	1,887	0,0708	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1000	30	2,359	0,0708	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1200	1200	30	2,831	0,0708	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1500	30	3,539	0,0708	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	30	4,128	0,0708	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2250	30	5,308	0,0708	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3000	30	7,077	0,0708	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3500	30	8,257	0,0708	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4000	30	9,436	0,0708	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5241,684	30	12,365	0,0708	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6290,02	30	14,838	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
7000	7338,357	30	17,312	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
8000	8386,694	30	19,785	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
10000	10483,37	30	24,731	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
12000	13134,49	30	30,985	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15323,57	30	36,149	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
16000	17870,82	30	42,158	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
18000	20499,7	30	48,360	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25055,19	30	59,106	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
26000	31260,01	30	73,744	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
30000	37876,82	30	89,353	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ – ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	40	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	40	0,118	0,0944	Ροή Taylor
75	75	40	0,177	0,0944	Ροή Taylor
100	100	40	0,236	0,0944	Ροή Taylor
150	150	40	0,354	0,0944	Ροή Taylor
200	200	40	0,472	0,0944	Ροή Taylor
250	250	40	0,590	0,0944	Ροή Taylor
300	300	40	0,708	0,0944	Ροή Taylor
350	350	40	0,826	0,0944	Ροή Taylor
400	400	40	0,944	0,0944	Ροή Taylor
500	500	40	1,180	0,0944	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	40	1,415	0,0944	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	40	1,651	0,0944	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	40	1,887	0,0944	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1000	40	2,359	0,0944	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1200	40	2,831	0,0944	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1500	40	3,539	0,0944	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	40	4,128	0,0944	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2250	40	5,308	0,0944	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3000	40	7,077	0,0944	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3500	40	8,257	0,0944	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4000	40	9,436	0,0944	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5241,684	40	12,365	0,0944	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6290,02	40	14,838	0,0944	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7338,357	40	17,312	0,0944	Δακτυλιοειδής ροή
8000	8386,694	40	19,785	0,0944	Δακτυλιοειδής ροή
10000	10945,41	40	25,821	0,0944	Δακτυλιοειδής ροή
12000	13134,49	40	30,985	0,0944	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15323,57	40	36,149	0,0944	Δακτυλιοειδής ροή
16000	17870,82	40	42,158	0,0944	Δακτυλιοειδής ροή
18000	20499,7	40	48,360	0,0944	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25993,91	40	61,321	0,0944	Δακτυλιοειδής ροή
26000	31790,78	40	74,996	0,0944	Δακτυλιοειδής ροή
30000	37876,82	40	89,353	0,0944	Δακτυλιοειδής ροή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ – ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	60	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	60	0,118	0,1415	Ροή Taylor
75	75	60	0,177	0,1415	Ροή Taylor
100	100	60	0,236	0,1415	Ροή Taylor
150	150	60	0,354	0,1415	Ροή Taylor
200	200	60	0,472	0,1415	Ροή Taylor
250	250	60	0,590	0,1415	Ροή Taylor
300	300	60	0,708	0,1415	Ροή Taylor
350	350	60	0,826	0,1415	Ροή Taylor
400	400	60	0,944	0,1415	Ροή Taylor
500	500	60	1,180	0,1415	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	60	1,415	0,1415	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	60	1,651	0,1415	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	60	1,887	0,1415	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1000	60	2,359	0,1415	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1200	60	2,831	0,1415	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1500	60	3,539	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	60	4,128	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2358,758	60	5,564	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3145,01	60	7,419	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3669,179	60	8,656	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4193,347	60	9,892	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5241,684	60	12,365	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6290,02	60	14,838	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7501,815	60	17,697	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
8000	8756,327	60	20,657	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
10000	10945,41	60	25,821	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
12000	13134,49	60	30,985	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15636,97	60	36,888	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
16000	18221,95	60	42,986	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
18000	20499,7	60	48,360	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25993,91	60	61,321	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
26000	32826,58	60	77,439	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
30000	39035,4	60	92,086	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	80	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	80	0,118	0,1887	Ροή Taylor
75	75	80	0,177	0,1887	Ροή Taylor
100	100	80	0,236	0,1887	Ροή Taylor
150	150	80	0,354	0,1887	Ροή Taylor
200	200	80	0,472	0,1887	Ροή Taylor
250	250	80	0,590	0,1887	Ροή Taylor
300	300	80	0,708	0,1887	Ροή Taylor
350	350	80	0,826	0,1887	Ροή Taylor
400	400	80	0,944	0,1887	Ροή Taylor
500	500	80	1,180	0,1887	Ροή Taylor
600	600	80	1,415	0,1887	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	80	1,651	0,1887	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	80	1,887	0,1887	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1000	80	2,359	0,1887	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1200	80	2,831	0,1887	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1500	80	3,539	0,1887	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	80	4,128	0,1887	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2250	80	5,308	0,1887	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3145,01	80	7,419	0,1887	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3669,179	80	8,656	0,1887	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4193,347	80	9,892	0,1887	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5241,684	80	12,365	0,1887	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6290,02	80	14,838	0,1887	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7661,786	80	18,075	0,1887	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
8000	8756,327	80	20,657	0,1887	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
10000	10945,41	80	25,821	0,1887	Δακτυλιοειδής ροή
12000	13134,49	80	30,985	0,1887	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15944,21	80	37,613	0,1887	Δακτυλιοειδής ροή
16000	18221,95	80	42,986	0,1887	Δακτυλιοειδής ροή
18000	21267,74	80	50,172	0,1887	Δακτυλιοειδής ροή
22000	26899,89	80	63,458	0,1887	Δακτυλιοειδής ροή
26000	32826,58	80	77,439	0,1887	Δακτυλιοειδής ροή
30000	40160,57	80	94,741	0,1887	Δακτυλιοειδής ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	100	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	100	0,118	0,2359	Ροή Taylor
75	75	100	0,177	0,2359	Ροή Taylor
100	100	100	0,236	0,2359	Ροή Taylor
150	150	100	0,354	0,2359	Ροή Taylor
200	200	100	0,472	0,2359	Ροή Taylor
250	250	100	0,590	0,2359	Ροή Taylor
300	300	100	0,708	0,2359	Ροή Taylor
350	350	100	0,826	0,2359	Ροή Taylor
400	400	100	0,944	0,2359	Ροή Taylor
500	500	100	1,180	0,2359	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	100	1,415	0,2359	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	100	1,651	0,2359	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	100	1,887	0,2359	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1000	100	2,359	0,2359	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1200	100	2,831	0,2359	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1500	100	3,539	0,2359	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	100	4,128	0,2359	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2250	100	5,308	0,2359	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3145,01	100	7,419	0,2359	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3669,179	100	8,656	0,2359	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4193,347	100	9,892	0,2359	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5472,705	100	12,910	0,2359	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6567,245	100	15,492	0,2359	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7661,786	100	18,075	0,2359	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
8000	8756,327	100	20,657	0,2359	Δακτυλιοειδής ροή
10000	11169,26	100	26,349	0,2359	Δακτυλιοειδής ροή
12000	13666,47	100	32,240	0,2359	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15944,21	100	37,613	0,2359	Δακτυλιοειδής ροή
16000	18904,66	100	44,597	0,2359	Δακτυλιοειδής ροή
18000	21267,74	100	50,172	0,2359	Δακτυλιοειδής ροή
22000	26899,89	100	63,458	0,2359	Δακτυλιοειδής ροή
26000	33830,68	100	79,808	0,2359	Δακτυλιοειδής ροή
30000	41255,06	100	97,323	0,2359	Δακτυλιοειδής ροή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ – ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	125	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	125	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	125	0,177	0,2949	Ροή με φυσαλίδες
100	100	125	0,236	0,2949	Ροή με φυσαλίδες
150	150	125	0,354	0,2949	Ροή Taylor
200	200	125	0,472	0,2949	Ροή Taylor
250	250	125	0,590	0,2949	Ροή Taylor
300	300	125	0,708	0,2949	Ροή Taylor
350	350	125	0,826	0,2949	Ροή Taylor
400	400	125	0,944	0,2949	Ροή Taylor
500	500	125	1,180	0,2949	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	125	1,415	0,2949	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	125	1,651	0,2949	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	125	1,887	0,2949	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1000	125	2,359	0,2949	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1200	125	2,831	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1500	125	3,539	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1750	125	4,128	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2358,758	125	5,564	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3145,01	125	7,419	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3669,179	125	8,656	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4193,347	125	9,892	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5472,705	125	12,910	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6567,245	125	15,492	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7661,786	125	18,075	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
8000	8756,327	125	20,657	0,2949	Δακτυλιοειδής ροή
10000	11388,72	125	26,867	0,2949	Δακτυλιοειδής ροή
12000	13666,47	125	32,240	0,2949	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15944,21	125	37,613	0,2949	Δακτυλιοειδής ροή
16000	18904,66	125	44,597	0,2949	Δακτυλιοειδής ροή
18000	21267,74	125	50,172	0,2949	Δακτυλιοειδής ροή
22000	27776,33	125	65,526	0,2949	Δακτυλιοειδής ροή
26000	35754,39	125	84,346	0,2949	Δακτυλιοειδής ροή
30000	41255,06	125	97,323	0,2949	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη Παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	175	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	175	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	175	-	-	Δεν υπάρχει ροή
100	100	175	0,236	0,4128	Ροή με φυσαλίδες
150	150	175	0,354	0,4128	Ροή με φυσαλίδες
200	200	175	0,472	0,4128	Ροή Taylor
250	250	175	0,590	0,4128	Ροή Taylor
300	300	175	0,708	0,4128	Ροή Taylor
350	350	175	0,826	0,4128	Ροή Taylor
400	400	175	0,944	0,4128	Ροή Taylor
500	500	175	1,180	0,4128	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	175	1,415	0,4128	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	175	1,651	0,4128	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	838,6694	175	1,978	0,4128	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1048,337	175	2,473	0,4128	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1258,004	175	2,968	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1500	1572,505	175	3,710	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1834,589	175	4,328	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2358,758	175	5,564	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3283,623	175	7,746	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3830,893	175	9,037	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4378,164	175	10,328	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5472,705	175	12,910	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6567,245	175	15,492	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7661,786	175	18,075	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
8000	9110,977	175	21,493	0,4128	Δακτυλιοειδής ροή
10000	11388,72	175	26,867	0,4128	Δακτυλιοειδής ροή
12000	13924,83	175	32,849	0,4128	Δακτυλιοειδής ροή
14000	16541,58	175	39,022	0,4128	Δακτυλιοειδής ροή
16000	19563,55	175	46,151	0,4128	Δακτυλιοειδής ροή
18000	22726,09	175	53,612	0,4128	Διασκορπισμένη ροή
22000	28625,96	175	67,530	0,4128	Διασκορπισμένη ροή
26000	35754,39	175	84,346	0,4128	Διασκορπισμένη ροή
28500	41193,19	175	97,177	0,4128	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη Παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου υ νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	200	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	200	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	200	-	-	Δεν υπάρχει ροή
100	100	200	0,236	0,4718	Ροή με φυσαλίδες
150	150	200	0,354	0,4718	Ροή με φυσαλίδες
200	200	200	0,472	0,4718	Ροή με φυσαλίδες
250	250	200	0,590	0,4718	Ροή με φυσαλίδες
300	300	200	0,708	0,4718	Ροή με φυσαλίδες
350	350	200	0,826	0,4718	Ροή με φυσαλίδες
400	400	200	0,944	0,4718	Ροή με φυσαλίδες
500	500	200	1,180	0,4718	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	200	1,415	0,4718	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	200	1,651	0,4718	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	838,6694	200	1,978	0,4718	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1048,337	200	2,473	0,4718	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1258,004	200	2,968	0,4718	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1572,505	200	3,710	0,4718	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1834,589	200	4,328	0,4718	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2462,717	200	5,810	0,4718	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3283,623	200	7,746	0,4718	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3830,893	200	9,037	0,4718	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4378,164	200	10,328	0,4718	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5472,705	200	12,910	0,4718	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6567,245	200	15,492	0,4718	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7972,105	200	18,807	0,4718	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
8000	9110,977	200	21,493	0,4718	Δακτυλιοειδής ροή
10000	11388,72	200	26,867	0,4718	Δακτυλιοειδής ροή
12000	14178,49	200	33,448	0,4718	Δακτυλιοειδής ροή
14000	17118,11	200	40,382	0,4718	Διασκορπισμένη ροή
16000	19563,55	200	46,151	0,4718	Διασκορπισμένη ροή
18000	22726,09	200	53,612	0,4718	Διασκορπισμένη ροή
22000	29451,08	200	69,476	0,4718	Διασκορπισμένη ροή
26000	36678,43	200	86,526	0,4718	Διασκορπισμένη ροή
29000	42897,64	200	101,198	0,4718	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη Παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	250	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	250	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	250	-	-	Δεν υπάρχει ροή
100	100	250	-	-	Δεν υπάρχει ροή
150	150	250	0,354	0,5898	Ροή με φυσαλίδες
200	200	250	0,472	0,5898	Ροή με φυσαλίδες
250	250	250	0,590	0,5898	Ροή με φυσαλίδες
300	300	250	0,708	0,5898	Ροή με φυσαλίδες
350	350	250	0,826	0,5898	Ροή με φυσαλίδες
400	400	250	0,944	0,5898	Ροή με φυσαλίδες
500	500	250	1,180	0,5898	Ροή με φυσαλίδες
600	600	250	1,415	0,5898	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	733,8357	250	1,731	0,5898	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	838,6694	250	1,978	0,5898	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1048,337	250	2,473	0,5898	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1258,004	250	2,968	0,5898	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1641,811	250	3,873	0,5898	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
1750	1915,447	250	4,519	0,5898	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2462,717	250	5,810	0,5898	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3283,623	250	7,746	0,5898	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3830,893	250	9,037	0,5898	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4467,706	250	10,540	0,5898	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
5000	5694,361	250	13,433	0,5898	Δακτυλιοειδής ροή
6000	6833,233	250	16,120	0,5898	Δακτυλιοειδής ροή
7000	7972,105	250	18,807	0,5898	Δακτυλιοειδής ροή
8000	9110,977	250	21,493	0,5898	Δακτυλιοειδής ροή
10000	11815,41	250	27,873	0,5898	Δακτυλιοειδής ροή
12000	14178,49	250	33,448	0,5898	Δακτυλιοειδής ροή
14000	17118,11	250	40,382	0,5898	Διασκορπισμένη ροή
16000	20200,97	250	47,655	0,5898	Διασκορπισμένη ροή
18000	23421,24	250	55,252	0,5898	Διασκορπισμένη ροή
22000	30253,71	250	71,370	0,5898	Διασκορπισμένη ροή
26000	38459,96	250	90,729	0,5898	Διασκορπισμένη ροή
28000	41418,42	250	97,708	0,5898	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη Παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	300	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	300	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	300	-	-	Δεν υπάρχει ροή
100	100	300	-	-	Δεν υπάρχει ροή
150	150	300	-	-	Δεν υπάρχει ροή
200	200	300	0,472	0,7077	Ροή με φυσαλίδες
250	250	300	0,590	0,7077	Ροή με φυσαλίδες
300	300	300	0,708	0,7077	Ροή με φυσαλίδες
350	350	300	0,826	0,7077	Ροή με φυσαλίδες
400	400	300	0,944	0,7077	Ροή με φυσαλίδες
500	524,1684	300	1,237	0,7077	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	629,002	300	1,484	0,7077	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	733,8357	300	1,731	0,7077	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	838,6694	300	1,978	0,7077	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1048,337	300	2,473	0,7077	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1313,449	300	3,098	0,7077	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1641,811	300	3,873	0,7077	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1750	1915,447	300	4,519	0,7077	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2462,717	300	5,810	0,7077	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3350,779	300	7,905	0,7077	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3986,052	300	9,403	0,7077	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4555,488	300	10,747	0,7077	Δακτυλιοειδής ροή
5000	5694,361	300	13,433	0,7077	Δακτυλιοειδής ροή
6000	6833,233	300	16,120	0,7077	Δακτυλιοειδής ροή
7000	8122,82	300	19,162	0,7077	Δακτυλιοειδής ροή
10000	12023,08	300	28,363	0,7077	Διασκορπισμένη ροή
12000	14672,67	300	34,614	0,7077	Διασκορπισμένη ροή
14000	17675,85	300	41,698	0,7077	Διασκορπισμένη ροή
16000	20818,88	300	49,113	0,7077	Διασκορπισμένη ροή
18000	24096,34	300	56,844	0,7077	Διασκορπισμένη ροή
22000	31035,59	300	73,214	0,7077	Διασκορπισμένη ροή
26000	38459,96	300	90,729	0,7077	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη Παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	450	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	450	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	450	-	-	Δεν υπάρχει ροή
100	100	450	-	-	Δεν υπάρχει ροή
150	150	450	-	-	Δεν υπάρχει ροή
200	200	450	-	-	Δεν υπάρχει ροή
250	250	450	0,590	1,0616	Ροή με φυσαλίδες
300	300	450	0,708	1,0616	Ροή με φυσαλίδες
350	350	450	0,826	1,0616	Ροή με φυσαλίδες
400	419,3347	450	0,989	1,0616	Ροή με φυσαλίδες
500	524,1684	450	1,237	1,0616	Ροή με φυσαλίδες
600	629,002	450	1,484	1,0616	Ροή με φυσαλίδες
700	766,1786	450	1,807	1,0616	Ροή με φυσαλίδες
800	875,6327	450	2,066	1,0616	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1094,541	450	2,582	1,0616	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1313,449	450	3,098	1,0616	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1641,811	450	3,873	1,0616	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1750	1993,026	450	4,702	1,0616	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
2250	2562,462	450	6,045	1,0616	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
3000	3416,616	450	8,060	1,0616	Δακτυλιοειδής ροή
3500	4061,41	450	9,581	1,0616	Δακτυλιοειδής ροή
4000	4726,165	450	11,149	1,0616	Δακτυλιοειδής ροή
5000	5907,706	450	13,937	1,0616	Δακτυλιοειδής ροή
6000	7089,247	450	16,724	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
7000	8559,055	450	20,191	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
8000	9781,777	450	23,076	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
10000	12625,61	450	29,784	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
12000	15614,16	450	36,835	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
14000	18741,6	450	44,212	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
16000	22002,7	450	51,905	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
18000	25392,76	450	59,903	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
22000	33271,16	450	78,488	1,0616	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη Παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	550	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	550	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	550	-	-	Δεν υπάρχει ροή
100	100	550	-	-	Δεν υπάρχει ροή
150	150	550	-	-	Δεν υπάρχει ροή
200	200	550	-	-	Δεν υπάρχει ροή
250	250	550	-	-	Δεν υπάρχει ροή
300	300	550	-	-	Δεν υπάρχει ροή
350	366,92	550	0,866	1,297	Ροή με φυσαλίδες
400	419,33	550	0,989	1,297	Ροή με φυσαλίδες
500	524,17	550	1,237	1,297	Ροή με φυσαλίδες
600	656,72	550	1,549	1,297	Ροή με φυσαλίδες
700	766,18	550	1,807	1,297	Ροή με φυσαλίδες
800	875,63	550	2,066	1,297	Ροή με φυσαλίδες
1000	1094,54	550	2,582	1,297	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1340,31	550	3,162	1,297	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1708,31	550	4,030	1,297	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1750	1993,03	550	4,702	1,297	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
2250	2610,91	550	6,159	1,297	Δακτυλιοειδής ροή
3000	3544,62	550	8,362	1,297	Δακτυλιοειδής ροή
3500	4135,39	550	9,756	1,297	Δακτυλιοειδής ροή
4000	4809,23	550	11,345	1,297	Δακτυλιοειδής ροή
5000	6113,61	550	14,422	1,297	Δακτυλιοειδής ροή
6000	7456,81	550	17,591	1,297	Διασκορπισμένη ροή
7000	8837,92	550	20,849	1,297	Διασκορπισμένη ροή
8000	10100,49	550	23,828	1,297	Διασκορπισμένη ροή
10000	13011,80	550	30,695	1,297	Διασκορπισμένη ροή
12000	16064,23	550	37,896	1,297	Διασκορπισμένη ροή
14000	19252,36	550	45,417	1,297	Διασκορπισμένη ροή
16000	22571,34	550	53,247	1,297	Διασκορπισμένη ροή
18000	26626,12	550	62,812	1,297	Διασκορπισμένη ροή
20000	30246,51	550	71,353	1,297	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη Παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	650	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	650	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	650	-	-	Δεν υπάρχει ροή
100	100	650	-	-	Δεν υπάρχει ροή
150	150	650	-	-	Δεν υπάρχει ροή
200	200	650	-	-	Δεν υπάρχει ροή
250	250	650	-	-	Δεν υπάρχει ροή
300	300	650	-	-	Δεν υπάρχει ροή
350	350	650	-	-	Δεν υπάρχει ροή
400	400	650	0,944	1,533	Ροή με φυσαλίδες
500	547,27	650	1,291	1,533	Ροή με φυσαλίδες
600	656,72	650	1,549	1,533	Ροή με φυσαλίδες
700	766,18	650	1,807	1,533	Ροή με φυσαλίδες
800	875,63	650	2,066	1,533	Ροή με φυσαλίδες
1000	1094,54	650	2,582	1,533	Ροή με φυσαλίδες
1200	1366,65	650	3,224	1,533	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1708,31	650	4,030	1,533	Δακτυλιοειδής ροή
1750	1993,03	650	4,702	1,533	Δακτυλιοειδής ροή
2250	2658,47	650	6,271	1,533	Δακτυλιοειδής ροή
3000	3544,62	650	8,362	1,533	Δακτυλιοειδής ροή
3500	4279,53	650	10,096	1,533	Δακτυλιοειδής ροή
4000	4890,89	650	11,538	1,533	Δακτυλιοειδής ροή
5000	6312,80	650	14,892	1,533	Διασκορπισμένη ροή
6000	7575,36	650	17,871	1,533	Διασκορπισμένη ροή
7000	8974,11	650	21,170	1,533	Διασκορπισμένη ροή
8000	10409,44	650	24,556	1,533	Διασκορπισμένη ροή
10000	13386,86	650	31,580	1,533	Διασκορπισμένη ροή
12000	16502,03	650	38,929	1,533	Διασκορπισμένη ροή
14000	19749,92	650	46,591	1,533	Διασκορπισμένη ροή
16000	23667,67	650	55,833	1,533	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη Παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	800	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	800	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	800	-	-	Δεν υπάρχει ροή
100	100	800	-	-	Δεν υπάρχει ροή
150	150	800	-	-	Δεν υπάρχει ροή
200	200	800	-	-	Δεν υπάρχει ροή
250	250	800	-	-	Δεν υπάρχει ροή
300	300	800	-	-	Δεν υπάρχει ροή
350	350	800	-	-	Δεν υπάρχει ροή
400	400	800	-	-	Δεν υπάρχει ροή
500	547,27	800	1,291	1,887	Ροή με φυσαλίδες
600	656,72	800	1,549	1,887	Ροή με φυσαλίδες
700	766,18	800	1,807	1,887	Ροή με φυσαλίδες
800	875,63	800	2,066	1,887	Ροή με φυσαλίδες
1000	1138,87	800	2,687	1,887	Ροή με φυσαλίδες
1200	1366,65	800	3,224	1,887	Ροή με φυσαλίδες
1500	1772,31	800	4,181	1,887	Δακτυλιοειδής ροή
1750	2067,70	800	4,878	1,887	Δακτυλιοειδής ροή
2250	2658,47	800	6,271	1,887	Δακτυλιοειδής ροή
3000	3668,17	800	8,653	1,887	Δακτυλιοειδής ροή
3500	4418,96	800	10,425	1,887	Δακτυλιοειδής ροή
4000	5050,24	800	11,914	1,887	Διασκορπισμένη ροή
5000	6505,90	800	15,348	1,887	Διασκορπισμένη ροή
6000	8032,11	800	18,948	1,887	Διασκορπισμένη ροή
7000	9370,80	800	22,106	1,887	Διασκορπισμένη ροή
8000	10709,49	800	25,264	1,887	Διασκορπισμένη ροή
10000	14107,09	800	33,279	1,887	Διασκορπισμένη ροή
12000	17344,50	800	40,916	1,887	Διασκορπισμένη ροή
14000	20709,21	800	48,854	1,887	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη Παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
100	100	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
150	150	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
200	200	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
250	250	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
300	300	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
350	350	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
400	400	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
500	500	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
600	600	1000	-	-	Δεν υπάρχει ροή
700	797,21	1000	1,881	2,359	Ροή με φυσαλίδες
800	911,10	1000	2,149	2,359	Ροή με φυσαλίδες
1000	1138,87	1000	2,687	2,359	Ροή με φυσαλίδες
1200	1417,85	1000	3,345	2,359	Ροή με φυσαλίδες
1500	1772,31	1000	4,181	2,359	Ροή με φυσαλίδες
1750	2067,70	1000	4,878	2,359	Δακτυλιοειδής ροή
2250	2751,12	1000	6,490	2,359	Δακτυλιοειδής ροή
3000	3787,68	1000	8,935	2,359	Διασκορπισμένη ροή
3500	4418,96	1000	10,425	2,359	Διασκορπισμένη ροή
4000	5204,72	1000	12,278	2,359	Διασκορπισμένη ροή
5000	6693,43	1000	15,790	2,359	Διασκορπισμένη ροή
6000	8251,01	1000	19,465	2,359	Διασκορπισμένη ροή
7000	9874,96	1000	23,295	2,359	Διασκορπισμένη ροή
8000	11285,67	1000	26,623	2,359	Διασκορπισμένη ροή
11000	16635,58	1000	39,244	2,359	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη Παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	350	-	-	Δεν υπάρχει ροή
50	50	350	-	-	Δεν υπάρχει ροή
75	75	350	-	-	Δεν υπάρχει ροή
100	100	350	-	-	Δεν υπάρχει ροή
150	150	350	-	-	Δεν υπάρχει ροή
200	200	350	0,472	0,8257	Ροή με φυσαλίδες
250	250	350	0,590	0,8257	Ροή με φυσαλίδες
300	300	350	0,708	0,8257	Ροή με φυσαλίδες
350	350	350	0,826	0,8257	Ροή με φυσαλίδες
400	400	350	0,944	0,8257	Ροή με φυσαλίδες
500	500	350	1,180	0,8257	Ροή με φυσαλίδες
600	600	350	1,415	0,8257	Ροή με φυσαλίδες
700	700	350	1,651	0,8257	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	350	1,887	0,8257	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1000	350	2,359	0,8257	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1200	350	2,831	0,8257	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1500	350	3,539	0,8257	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1750	1750	350	4,128	0,8257	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
2250	2250	350	5,308	0,8257	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3000	350	7,077	0,8257	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3500	350	8,257	0,8257	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4000	350	9,436	0,8257	Δακτυλιοειδής ροή
5000	5000	350	11,795	0,8257	Διασκορπισμένη ροή
6000	6000	350	14,154	0,8257	Διασκορπισμένη ροή
7000	7000	350	16,513	0,8257	Διασκορπισμένη ροή
8000	8000	350	18,872	0,8257	Διασκορπισμένη ροή
10000	10000	350	23,590	0,8257	Διασκορπισμένη ροή
12000	12000	350	28,309	0,8257	Διασκορπισμένη ροή
14000	14000	350	33,027	0,8257	Διασκορπισμένη ροή
16000	16000	350	37,745	0,8257	Διασκορπισμένη ροή
18000	18000	350	42,463	0,8257	Διασκορπισμένη ροή
22000	22000	350	51,899	0,8257	Διασκορπισμένη ροή

Οι πίνακες είναι για γωνία εισόδου 30

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
20	20	0,625	0,047	0,00147	Ροή Taylor
300	300	0,625	0,707	0,00147	Ροή Taylor
350	350	0,625	0,825	0,00147	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1750	1750	0,625	4,128	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8000	0,625	18,872	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
22000	22000	0,625	51,899	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
30000	35446,24	0,625	83,619	0,00147	Στρωματοποιημένη ροή
20	20	2	0,047	0,0047	Ροή Taylor
300	300	2	0,708	0,0047	Ροή Taylor
350	350	2	0,826	0,0047	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	2	1,651	0,0047	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	2	1,887	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
4000	4000	2	9,436	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
14000	14676,71	2	34,623	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
26000	29610,68	2	69,853	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
30000	35446,24	2	83,619	0,0047	Στρωματοποιημένη ροή
50	50	6	0,118	0,0142	Ροή Taylor
350	350	6	0,826	0,0142	Ροή Taylor
400	400	6	0,944	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
600	600	6	1,415	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	6	1,651	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1500	6	3,539	0,0142	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1750	1750	6	4,128	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10483,37	6	24,731	0,0142	Στρωματοποιημένη ροή
12000	12580,04	6	29,677	0,0142	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30170,47	6	71,174	0,0142	Δακτυλιοειδής ροή
30000	35446,24	6	83,619	0,0142	Δακτυλιοειδής ροή
50	50	12	0,118	0,0283	Ροή Taylor
300	300	12	0,708	0,0283	Ροή Taylor
350	350	12	0,826	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	12	1,180	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1750	1750	12	4,128	0,0283	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
2250	2250	12	5,308	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
4000	4000	12	9,436	0,0283	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
5000	5000	12	11,795	0,0283	Στρωματοποιημένη ροή
8000	8386,694	12	19,785	0,0283	Στρωματοποιημένη ροή
10000	10483,37	12	24,731	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή
22000	25055,19	12	59,106	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή
30000	36069,24	12	85,089	0,0283	Δακτυλιοειδής ροή
50	50	20	0,118	0,0472	Ροή Taylor
250	250	20	0,590	0,0472	Ροή Taylor
300	300	20	0,708	0,0472	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	20	1,180	0,0472	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
700	700	20	1,651	0,0472	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1000	1000	20	2,359	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4000	20	9,436	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6000	20	14,154	0,0472	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7000	20	16,513	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15323,57	20	36,149	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
26000	30720,07	20	72,470	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
30000	37284,03	20	87,955	0,0472	Δακτυλιοειδής ροή
50	50	30	0,118	0,0708	Ροή Taylor
300	300	30	0,708	0,0708	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
500	500	30	1,180	0,0708	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
800	800	30	1,887	0,0708	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
5000	5241,684	30	12,365	0,0708	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6290,02	30	14,838	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
14000	15323,57	30	36,149	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
26000	31260,01	30	73,744	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
30000	37876,82	30	89,353	0,0708	Δακτυλιοειδής ροή
50	50	60	0,118	0,1415	Ροή Taylor
250	250	60	0,590	0,1415	Ροή Taylor
400	400	60	0,944	0,1415	Ροή Taylor
500	500	60	1,180	0,1415	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1500	60	3,539	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3000	3145,01	60	7,419	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7501,815	60	17,697	0,1415	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
8000	8756,327	60	20,657	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
14000	15636,97	60	36,888	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
16000	18221,95	60	42,986	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
26000	32826,58	60	77,439	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
30000	39035,4	60	92,086	0,1415	Δακτυλιοειδής ροή
75	75	125	0,177	0,2949	Ροή με φυσαλίδες
350	350	125	0,826	0,2949	Ροή Taylor
400	400	125	0,944	0,2949	Ροή Taylor
1000	1000	125	2,359	0,2949	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
4000	4193,347	125	9,892	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7661,786	125	18,075	0,2949	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
8000	8756,327	125	20,657	0,2949	Δακτυλιοειδής ροή
16000	18904,66	125	44,597	0,2949	Δακτυλιοειδής ροή
30000	41255,06	125	97,323	0,2949	Διασκορπισμένη ροή
100	100	175	0,236	0,4128	Ροή με φυσαλίδες
200	200	175	0,472	0,4128	Ροή Taylor
400	400	175	0,944	0,4128	Ροή Taylor
500	500	175	1,180	0,4128	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1200	1258,004	175	2,968	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
6000	6567,245	175	15,492	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
7000	7661,786	175	18,075	0,4128	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
8000	9110,977	175	21,493	0,4128	Δακτυλιοειδής ροή
16000	19563,55	175	46,151	0,4128	Δακτυλιοειδής ροή
18000	22726,09	175	53,612	0,4128	Διασκορπισμένη ροή
26000	35754,39	175	84,346	0,4128	Διασκορπισμένη ροή
28500	41193,19	175	97,177	0,4128	Διασκορπισμένη ροή
200	200	300	0,472	0,7077	Ροή με φυσαλίδες
400	400	300	0,944	0,7077	Ροή με φυσαλίδες
500	524,1684	300	1,237	0,7077	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1500	1641,811	300	3,873	0,7077	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
1750	1915,447	300	4,519	0,7077	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
3500	3986,052	300	9,403	0,7077	Ψευδο-διαλείπουσα ροή
4000	4555,488	300	10,747	0,7077	Δακτυλιοειδής ροή
7000	8122,82	300	19,162	0,7077	Δακτυλιοειδής ροή
10000	12023,08	300	28,363	0,7077	Διασκορπισμένη ροή

Ένδειξη παροχής ροομέτρου αέρα (ml/min)	Πραγματική παροχή αέρα (ml/min)	Ένδειξη παροχής ροομέτρου νερού (ml/min)	Ταχύτητα αέρα (m/sec)	Ταχύτητα νερού (m/sec)	Περιοχή ροής
22000	31035,59	300	73,214	0,7077	Διασκορπισμένη ροή
26000	38459,96	300	90,729	0,7077	Διασκορπισμένη ροή
250	250	450	0,590	1,0616	Ροή με φυσαλίδες
700	766,1786	450	1,807	1,0616	Ροή με φυσαλίδες
800	875,6327	450	2,066	1,0616	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
2250	2562,462	450	6,045	1,0616	Διαλείπουσα και Κλειστή ροή
3000	3416,616	450	8,060	1,0616	Δακτυλιοειδής ροή
5000	5907,706	450	13,937	1,0616	Δακτυλιοειδής ροή
6000	7089,247	450	16,724	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
16000	22002,7	450	51,905	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
18000	25392,76	450	59,903	1,0616	Διασκορπισμένη ροή
500	547,27	800	1,291	1,887	Ροή με φυσαλίδες
1200	1366,65	800	3,224	1,887	Ροή με φυσαλίδες
1500	1772,31	800	4,181	1,887	Δακτυλιοειδής ροή
3500	4418,96	800	10,425	1,887	Δακτυλιοειδής ροή
4000	5050,24	800	11,914	1,887	Διασκορπισμένη ροή
8000	10709,49	800	25,264	1,887	Διασκορπισμένη ροή
14000	20709,21	800	48,854	1,887	Διασκορπισμένη ροή
700	797,21	1000	1,881	2,359	Ροή με φυσαλίδες
1500	1772,31	1000	4,181	2,359	Ροή με φυσαλίδες
1750	2067,70	1000	4,878	2,359	Δακτυλιοειδής ροή
3000	3787,68	1000	8,935	2,359	Διασκορπισμένη ροή
7000	9874,96	1000	23,295	2,359	Διασκορπισμένη ροή
8000	11285,67	1000	26,623	2,359	Διασκορπισμένη ροή

