



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ
ΡΟΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ
ΝΕΡΟΥ ΜΕ
ΦΥΣΑΛΙΔΕΣ –
ΔΙΦΑΣΙΚΕΣ ΡΟΕΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΕΧΛΙΒΑΝΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΝΤΩΝΑΡΙΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ
ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Υδραυλικής της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης το χρονικό διάστημα από το Ιούνιο έως τον Οκτώβριο του 2014. Στο σημείο αυτό οφείλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωσή της.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή κύριο Γεώργιο Πεχλιβανίδη για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και τη δυνατότητα που μας προσέφερε να εκπονήσουμε την παρούσα πτυχιακή εργασία, αλλά και για την πολύτιμη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια αυτής.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας στους γονείς μας ο καθένας ξεχωριστά, οι οποίοι μας συμπαραστάθηκαν ηθικά και οικονομικά και διαμόρφωσαν γύρω μας ένα άνετο περιβάλλον μέσα στο οποίο μπορέσαμε να εργασθούμε.

Αντωναρίδης Αναστάσιος

Γεωργακόπουλος Κωνσταντίνος

Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία επιχειρείται η μελέτη διφασικών ροών ενός πεδίου ροής.

Σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη των ταχυτήτων και των πεδίων ροής σε μια δεξαμενή νερού με φυσαλίδες. Οι φυσαλίδες ανάλογα με την έντασή τους, δηλαδή την ροή αέρα που δίνεται στην δεξαμενή, δημιουργούν δύο δίνες δεξιά και αριστερά του jet των φυσαλίδων. Από το πεδίο ταχυτήτων που προκύπτει βρίσκουμε την παροχή των κινουμένων υδάτινων μαζών.

Στο πείραμα μας έχουμε δύο ροές, η μία στα 2 lt/min και η άλλη στα 3 lt/min. Στο κάθε ένα από αυτά έχουμε τρεις στάθμες που εξετάζουμε το πεδίο ροής. Δηλαδή έχουμε έξι διαφορετικές καταστάσεις οι οποίες εξετάζονται με την βοήθεια της τεχνικής PIV. Το ζητούμενο είναι να βρεθεί πόση μάζα κινείται όταν διαχέουμε αέρα μέσα στη δεξαμενή ανάλογα και με την παροχή του αέρα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	4
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	6
1.2.1. Γενικά στοιχεία.....	6
1.2.2. Λεπτομερής περιγραφή εξαρτημάτων πειράματος.....	7
1.2.2.1. Δεξαμενή	7
1.2.2.1.1. Αντλία αέρα	7
1.2.2.1.2. Πέτρα αέρα	7
1.2.2.2. Σύστημα P.I.V.	8
1.2.2.2.1. Γενικά	8
1.2.2.2.2. Κάμερα (Camera)	8
1.2.2.2.3. Λείζερ (Laser).....	10
1.2.2.2.4. Πρακτικοί κανόνες για καλύτερη απόδοση της μεθόδου P.I.V.	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	13
2.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	13
2.2. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	14
2.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	15
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πολυφασικές ροές αποτελούν τον κανόνα τόσο στα φυσικά φαινόμενα ροής ρευστών όσο και στις βιομηχανικές εφαρμογές. Ροές με περισσότερες της μίας φάσης συναντώνται σε ποικίλες βιομηχανίες, όπως η χημική βιομηχανία, η αεροδιαστημική βιομηχανία, η πυρηνική βιομηχανία, η βιομηχανία νερού και η βιομηχανία μεταφορών. Η ανάλυση και η κατανόηση των πολυφασικών ροών είναι πολύ μεγάλης σημασίας για τον καλύτερο και ασφαλέστερο σχεδιασμό και έλεγχο των διεργασιών που απαντώνται στις προαναφερθέντες βιομηχανίες.

Ο όρος πολυφασική ροή καλύπτει ένα εξαιρετικά ευρύ φάσμα περιοχών και πρότυπων ροής. Γενικά, οι πολυφασικές ροές αρχικά κατηγοριοποιούνται με βάση τη φυσική (θερμοδυναμική) κατάσταση των συστατικών στοιχείων (επιμέρους φάσεις) και στη συνέχεια με βάση την τοπολογία των διεπιφανειών (Ishii, 1975). Κατ' αυτό τον τρόπο, μια διφασική ροή, η οποία είναι υποκατηγορία των πολυφασικών ροών, μπορεί να είναι αερίου – στερεού, αερίου – υγρού, υγρού – στερεού, ή στην περίπτωση μη αναμίξιμων ρευστών, υγρού – υγρού. Ομοίως, οι ροές, ως προς την τοπολογία των διεπιφανειών, κατηγοριοποιούνται σε διαχωρισμένες, διασκορπισμένες και μικτές. Οι διαχωρισμένες ροές περιλαμβάνουν ροές με ελεύθερη επιφάνεια, όπως είναι οι στρωματοποιημένες ροές σε αγωγούς, όπου και οι δύο φάσεις χωρίζονται μεταξύ τους με μία συνεχή διεπιφάνεια. Οι διασκορπισμένες ροές χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι η μία φάση υφίσταται υπό τη μορφή σωματιδίων, σταγονιδίων ή φυσαλίδων τα οποία αιωρούνται σε μία συνεχή φάση. Οι δύο συνεχείς φάσεις είναι διασκορπισμένες η μία μέσα στην άλλη και διακριτές μεταξύ τους. Οι μικτές ροές, αντιπροσωπεύουν εκείνες τις ροές που βρίσκονται μεταξύ των διαχωρισμένων και των διασκορπισμένων ροών (Hill, 1998).

Η μετάβαση από τη μία κατάσταση στην άλλη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η γεωμετρία, η ταχύτητα της ροής, η κατεύθυνση της ροής, η επιφανειακή τάση κ.ά. Ακόμη, σε μία δεδομένη συσκευή μπορούν να υπάρχουν περισσότερα από ένα είδη ροής. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της διφασικής ροής αερίου – υγρού, πολλοί ερευνητές έχουν

προσπαθήσει να προσδιορίσουν ολόκληρο το εύρος των ειδών ροής που εμφανίζονται στους κάθετους και οριζόντιους σωλήνες. Σύμφωνα με τον Whalley, για την περίπτωση αυτή, έχουν προσδιοριστεί πάνω από 100 διαφορετικοί τύποι ροής (Whalley, 1996).

Η διασκορπισμένη διφασική ροή είναι ίσως η πιο σημαντική ροή που υφίσταται στη βιομηχανία, ιδιαίτερα στη χημική βιομηχανία. Πιο συγκεκριμένα, αυτού του είδους η ροή συναντάται στη διεργασία της εκχύλισης, στην παραγωγή πολυμερών και χρωμάτων, στην παραγωγή γαλακτωμάτων και στην επεξεργασία νερού. Η διασκορπισμένη διφασική ροή αέρα – νερού αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον, οι τυρβώδεις διφασικές ροές υγρού – υγρού και αερίου – υγρού χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι οι μεμονωμένες φυσαλίδες ή τα μεμονωμένα σταγονίδια σπάνε σε μικρότερες οντότητες εξαιτίας των υψηλών ρυθμών διάτμησης στη συνεχή φάση. Με παρόμοιο τρόπο, η συνένωση των σταγονιδίων ή φυσαλίδων μπορεί να συμβεί όταν δύο σταγονίδια ή φυσαλίδες συγκρούονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μία μεγαλύτερη οντότητα. Τέτοιου είδους φαινόμενα μπορεί να οδηγήσουν σε μία μεγάλη ποικιλία μεγεθών των σταγονιδίων και των φυσαλίδων, η οποία ακολούθως έχει σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά της διασκορπισμένης φάσης.

Κατά το παρελθόν, πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να αναπτύξουν πολύπλοκα υπολογιστικά μοντέλα δυναμικής των ρευστών για διφασικές ροές αερίου-υγρού (Lapin & Lukbbert, 1994; Devanathan, Dudukovic, Lapin & Lukbbert, 1995; Delnoij, Lammers, Kuipers & vanSwaaij, 1997 a, b, c; Jakobsen, Sannaes, Grevskott & Svendsen, 1997). Από αυτές τις αριθμητικές μελέτες, που είναι αφιερωμένες κυρίως στην συμπεριφορά μιας στήλης φυσαλίδων που λειτουργεί σε ομοιογενές καθεστώς, οι ροές αερίου-υγρού είναι γνωστό πως βρίσκονται σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενες από το χρόνο και κυριαρχούνται από μια πλούσια ποικιλία συνεκτικών δομών.

Τέλος, η ευελιξία και η κινητικότητα της διεπιφάνειας στα διφασικά συστήματα αερίου – υγρού, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το σχήμα της φυσαλίδας μπορεί να μεταβάλλεται, σημαίνει ότι οι δυνάμεις που ελέγχουν και περιγράφουν την αλληλεπίδραση μεταξύ της διασκορπισμένης και της συνεχούς φάσης είναι μη γραμμικές. Η απουσία γραμμικότητας κάνει πιο δύσκολη τη μελέτη της διασκορπισμένης διφασικής ροής αερίου – υγρού, και ακόμα πιο

δύσκολη την ανάπτυξη ενός ακριβούς υπολογιστικού μοντέλου για την επίλυση αυτού του είδους ροής.

1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

1.2.1. Γενικά στοιχεία

Το συγκεκριμένο πείραμα εκπονήθηκε στο εργαστήριο υδραυλικής. Σκοπός του είναι η μελέτη διαφασικών ροών σε ένα πεδίο ροής.

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε μία δεξαμενή διαστάσεων 50 x 50 x 4 cm. Το πείραμα εκτελέστηκε σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο πάρθηκαν αποτελέσματα με ύψος στάθμης νερού στα 200mm. Στο δεύτερο, στα 220 mm και τέλος στο τρίτο στα 240 mm. Στον πυθμένα του υπάρχει μια πέτρα αέρα ενυδρείου (πορώδες στόμιο), η οποία διαχέει αέρα μέσα στην δεξαμενή με τη βοήθεια μιας αεραντλίας. Οι μετρήσεις του πειράματος έγιναν με την μέθοδο 2D Particle Image Velocimetry (PIV), η οποία επιτρέπει την απόκτηση δεδομένων σε μία πολύ ελάχιστη χρονική απόσταση. Αποτελείται από μια κάμερα (συνήθως μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με ένα τσιπ CCD σε σύγχρονα συστήματα), ένα laser με μια οπτική διάταξη που θα περιορίσει και θα φωτίσει την περιοχή που θέλουμε να πάρουμε τα αποτελέσματα (συνήθως χρησιμοποιείται ένας ημι-κυλινδρικός φακός για να μετατρέψει μια ακτίνα φωτός σε μια επιφάνεια φωτός πάχους 1mm (light sheet) και ένα λογισμικό.

Αφού τοποθετηθούν όλα στην προκαθορισμένη τους θέση, ξεκινάει το πειραματικό μέρος. Αρχικά η αεραντλία με την πέτρα αέρα δημιουργούν φυσαλίδες μέσα στην δεξαμενή με ροή αέρα 2 και 3 lt/min. Το σύστημα P.I.V., συλλέγει τις πληροφορίες και μέσω του προγράμματος MatLab βλέπουμε τα διαγράμματα ροής.

1.2.2. Λεπτομερής περιγραφή εξαρτημάτων πειράματος

1.2.2.1. Δεξαμενή

Η δεξαμενή είναι το βασικότερο αντικείμενο του πειράματος. Είναι κατασκευασμένη από «Plexiglass» με διαστάσεις 50 x 50 x 4 cm. Στον πυθμένα της, είναι ενσωματωμένη μια πέτρα αέρα και ένα ακροφύσιο, ώστε να «κουμπωθεί» με το σωληνάκι από την αεραντλία.

1.2.2.1.1. Αντλία αέρα

Σκοπός της αεραντλίας είναι η διοχέτευση αέρα σε μια δεξαμενή ή σε ένα ενυδρείο στην προκειμένη περίπτωση. Συνδέεται σε μία κανονική πρίζα και διοχετεύει αέρα μέσω λαστιχένιων σωλήνων σε μία αερόπετρα. Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε η αεραντλία «ATEC Aquarium Air Pump Air-2500», με χαρακτηριστικά:

Model	Watt	lt/min	Pressure max. MPa	Spec (PCS/CTN)	Measure (cm)
Ar- 2500	2,5	2	0,02	60	43,5x23.3x39
		3	0,02	60	43,5x23.3x39

1.2.2.1.2. Πέτρα αέρα

Σκοπός της αερόπετρας είναι η σταδιακή διάχυση αέρα μέσα στην δεξαμενή με τη μορφή μεγάλων φυσαλίδων. Οι αερόπετρες κατασκευάζονται από ενωμένες χάντρες γυαλιού και συνθετικά προϊόντα όπως υλικά φτιαγμένα από υαλονήματα. Το υαλόνημα κατασκευάζεται από ποικίλους τύπους γυαλιού σε μορφή νήματος με πολλαπλές χρήσεις. Μια πιο πρόσφατη εφαρμογή του υαλονήματος είναι η

κατασκευή οπτικών ινών, που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση φωτεινών σημάτων, παρακάμπτοντας το ευθύγραμμο της διάδοσης του φωτός.

1.2.2.2. Σύστημα PIV

1.2.2.2.1. Γενικά

Το Particle Image Velocimetry (PIV) είναι μία τεχνική, η οποία μας βοηθάει στην εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με την ταχύτητα ολόκληρων πεδίων ροής. Τα όργανα τα οποία απαιτούνται για την εκπόνηση του πειράματος με την τεχνική PIV είναι μια κάμερα, ένα λέιζερ, ένας συγχρονιστής και ηλεκτρονικός υπολογιστής.

Η τεχνική αυτή ξεκίνησε να εφαρμόζεται την δεκαετία του 1880. Όμως, κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1990 η τεχνική ξέφυγε από τα στενά όρια των εργαστηρίων και βρήκε εφαρμογή στη βιομηχανική έρευνα. Σημαντικό ρόλο για την εξέλιξη της τεχνικής έπαιξε και η ανάπτυξη της τεχνολογίας που μας βοηθάει να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στο αποτέλεσμα (μετάβαση από τις φωτογραφικές τεχνικές στις καταγραφές video).

Σήμερα, με την εξέλιξη των ψηφιακών μηχανών και της υπολογιστικής και αποθηκευτικής ισχύος των ηλεκτρονικών υπολογιστών, είναι δυνατή η επεξεργασία όλων αυτών σε ασύγκριτα μικρότερο χρόνο με μεγαλύτερη ακρίβεια.

1.2.2.2.2. Κάμερα (Camera)

Η κάμερα στην τεχνική P.I.V. χρησιμοποιείται για την καταγραφή των θέσεων των φωτεινών σωματιδίων σε μία ροή. Το διανυσματικό πεδίο ταχυτήτων προκύπτει από την μετατόπιση αυτών των σωματιδίων. Η τοποθέτηση της κάμερας στο πείραμά μας είναι κάθετη ως προς το επίπεδο της φωτεινής επιφάνειας του λέιζερ. Η κάμερα, με την βοήθεια

του λέιζερ, ανιχνεύει τις φυσαλίδες σαν φωτεινές κηλίδες σε μαύρο φόντο καθώς και τα στερεά σωματίδια. Αυτό συμβαίνει διότι το φως ανακλάται από τους παλμούς του λέιζερ. Δηλαδή όταν αρχίσει ο πρώτος παλμός του λέιζερ, καταγράφονται οι πρώτες θέσεις των σωματιδίων. Επίσης, να επισημάνουμε ότι το μαύρο υπόβαθρο (φόντο) μας βοηθάει στην μεγαλύτερη προσέγγιση του αποτελέσματος γιατί αποφεύγονται σφάλματα και καταγραφές άχρηστων στοιχείων. Στην συνέχεια τα σωματίδια μετατοπίζονται από την ροή για όσο χρονικό διάστημα το λέιζερ παύει να λειτουργεί. Στον δεύτερο παλμό, τα μετατοπισμένα σωματίδια φωτίζονται πάλι και καταγράφονται οι νέες θέσεις τους. Έτσι, η κάμερα καταγράφει τις τελικές τους θέσεις.

Μία κάμερα C.C.D. (Charged Couple Device) αποτελείται από ένα πλέγμα «ανιχνευτών» που ονομάζεται “pixels”. Κάθε “pixel” είναι ένας φωτοδίοδος “MOS” που φορτίζεται από τη μετατροπή των φωτονίων, που λαμβάνει η κάμερα, σε ηλεκτρόνια. Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (C.C.D. – chip) καθορίζει τα όρια “pixel” της κάμερας και τα απομονώνει. Το φως που δέχεται το κάθε “pixel”, μετατρέπεται σε τάση στην έξοδο του κυκλώματος και η τιμή της τάσης εμφανίζεται στον χάρτη καταγραφής εικόνων της P.I.V. ως κατανομή φωτός (grey scale distribution). Οι κάμερες που χρησιμοποιούνται στην τεχνική της ετεροσυσχέτισης έχουν ολοκληρωμένο κύκλωμα C.C.D. Οι εικόνες των σωματιδίων που λαμβάνονται στον πρώτο παλμό του λέιζερ μετατρέπονται από τα φωτοευαίσθητα κελιά στα αποθηκευτικά κελιά. Στην συνέχεια η κάμερα καταγράφει, με τον ίδιο τρόπο, τα σωματίδια στις νέες τους θέσεις. Ουσιαστικά, οι διαδοχικές εικόνες μεταφέρονται από τη κάμερα στον υπολογιστή και αποθηκεύονται.

1.2.2.2.3. Λείζερ (Laser)

Το συνηθέστερο λείζερ είναι το παλμικό της Nd: Young που χρησιμοποιείται στην μέθοδο της P.I.V. Μια λυχνία (flash lamp) και ένα κρύσταλλο YAG τοποθετούνται μέσα σε κατοπτρική ελλειπτική κεφαλή για μεγιστοποίηση της ενέργειας που μεταφέρεται από λυχνία στο κρύσταλλο. Κατά την δημιουργία του παλμού, η λυχνία διεγείρει την κεφαλή του laser για μικρό χρονικό διάστημα. Για ένα τυπικό laser αυτό το χρονικό διάστημα είναι περίπου 250μs, και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται με συχνότητα 10Hz. Η θερμότητα που παράγεται σε κάθε παλμό του laser είναι υψηλή. Για την ψύξη του συστήματος χρησιμοποιείται νερό (απιονισμένο) σαν ψυκτικό μέσο.

Για την αύξηση της ενέργειας που εκπέμπει σε κάθε παλμό το laser χρησιμοποιούμε την λειτουργία Q-switched. Δηλαδή, ο παλμός αντί να εκπέμπει σε όλη την διάρκεια των 250μs, η κεφαλή του laser παραμένει κλειστή (για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα) και ανοίγει για πολύ σύντομη χρονική περίοδο. Η ενέργεια που εκπέμπεται σε κάθε παλμό, για ένα τυπικό laser σε κατάσταση Q-switched είναι της τάξης των 10-400μJ, ενώ η διάρκεια του παλμού είναι μόνο 5-10μs. Το μεγάλο πλεονέκτημα του μηχανισμού Q-switch, είναι ότι όλη η ενέργεια απελευθερώνεται στον παλμό σε σύντομο χρονικό διάστημα. Συνεπώς και τα σωματίδια δεν μετακινούνται κατά πολύ στην διάρκεια του φωτισμού.

Κατά την κατασκευή του laser, χρησιμοποιούνται κάποια οπτικά μέσα έτσι ώστε να συνδυαστούν οι δέσμες των δύο κεφαλών σε μία. Ακόμα, για να γίνει ορατή η δέσμη του laser χρησιμοποιούνται μια αρμονική γεννήτρια (generator) και ένας διαχωριστής (separator). Τα laser της Nd: Young εκπέμπουν φως μήκους κύματος 1064 nm, που είναι υπέρυθρη ακτινοβολία. Αυτό το μήκος κύματος δεν χρησιμοποιείται, στις περισσότερες εφαρμογές της P.I.V, γιατί οι περισσότερες

κάμερες που χρησιμοποιούνται δεν μπορούν να το καταγράψουν. Γι' αυτό το σκοπό, χρησιμοποιείται η δεύτερη αρμονική γεννήτρια που μειώνει το μήκος κύματος στα 532 nm.

Οι δύο κεφαλές του παλμικού λέιζερ συγχρονίζονται αυτόματα μέσω λογισμικού προγράμματος οδήγησης που ενημερώνει την μονάδα συγχρονισμού (synchronizer unit). Εναλλακτικά το λέιζερ μπορεί να λειτουργεί και σε «ελεύθερη» κατάσταση (freemode) και να ενημερώνει απευθείας την μονάδα συγχρονισμού.

1.2.2.2.4. Πρακτικοί κανόνες για καλύτερη απόδοση της μεθόδου P.I.V.

Για να έχουμε μία πιο καλή προσέγγιση στις μετρήσεις των ταχυτήτων ροής με τη μέθοδο PIV, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις, που προκύπτουν από την εμπειρία χρήσης την μεθόδου:

- Το μέγεθος της περιοχής ανάλυσης πρέπει να είναι αρκετά μικρό ώστε ένα και μόνο διάνυσμα να περιγράφει επαρκώς την ροή της περιοχής.
- Για έγκυρες μετρήσεις πρέπει πάνω από δέκα ζευγάρια σωματιδίων να βρίσκονται μέσα στην περιοχή ανάλυσης. Η συνθήκη αυτή μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση είτε της συγκέντρωσης των σωματιδίων είτε των διαστάσεων της υποπεριοχής ή του χρονικού διαστήματος μεταξύ των παλμών του λέιζερ.
- Η μέγιστη μετατόπιση των σωματιδίων ds_{max} κατά μήκος του φωτιζόμενου επιπέδου πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από το 25% της διαμέτρου της περιοχής ανάλυσης $Lint$. Αναλυτικότερα πρέπει να ισχύει η παρακάτω σχέση:

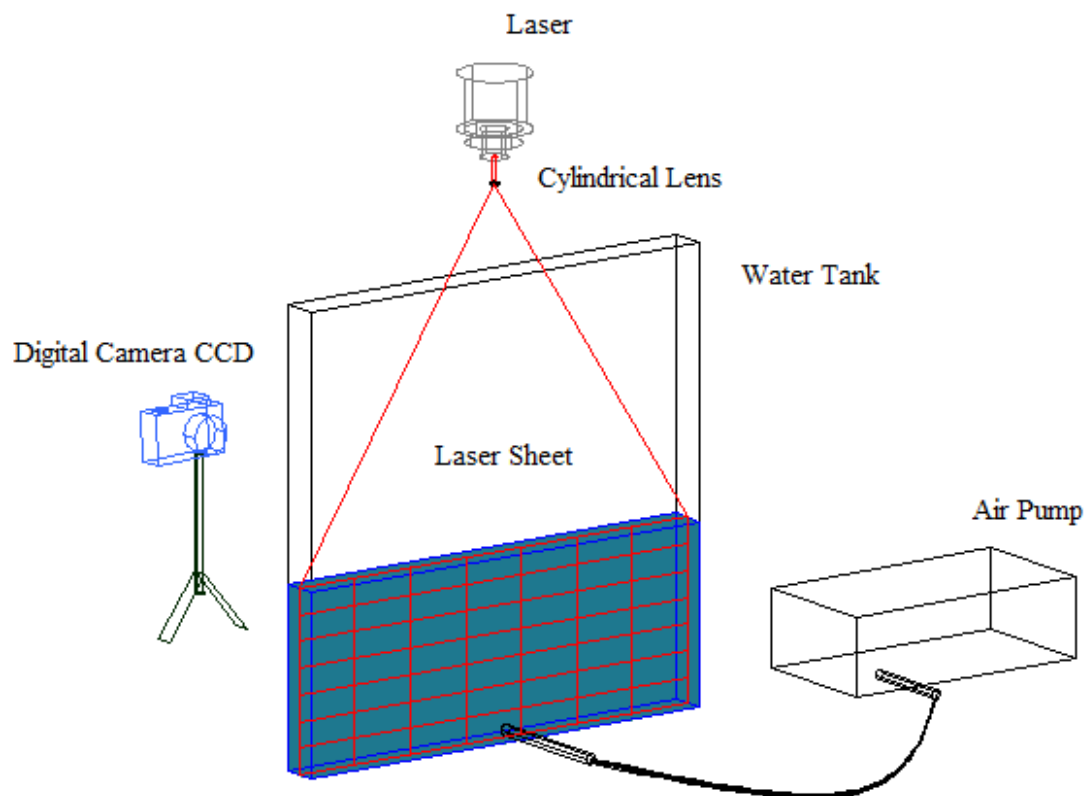
$$dg_{max} = M \times V_{max} \times T < 0,25 \times Lint$$

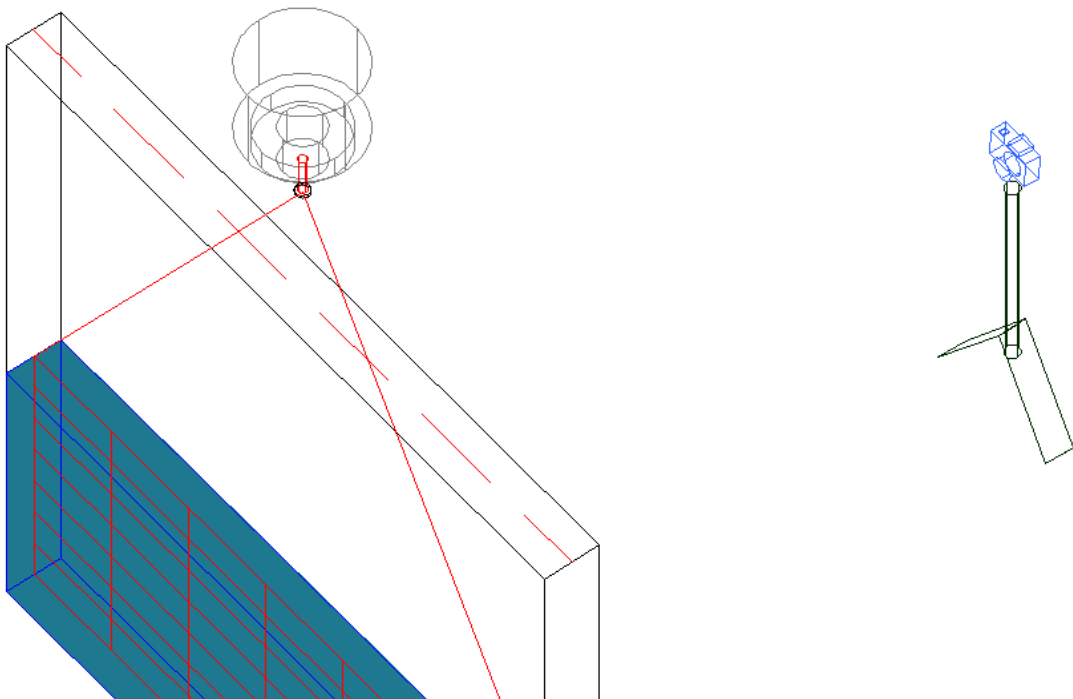
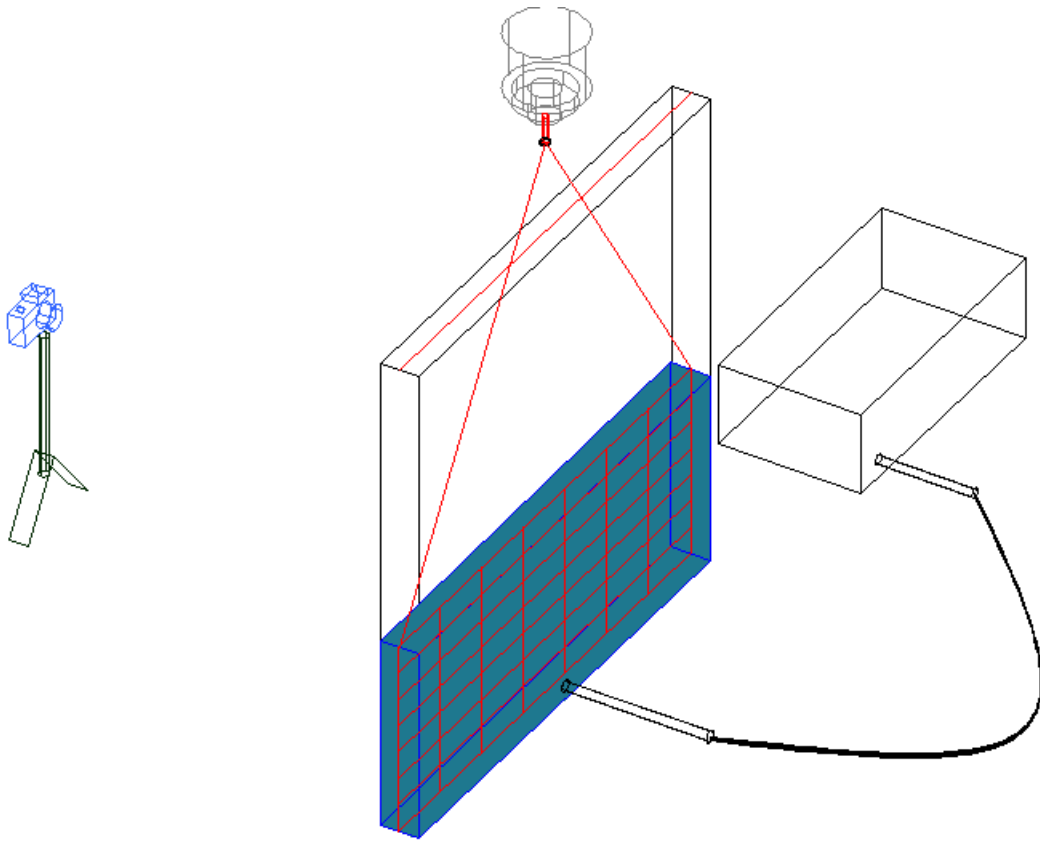
όπου: M είναι η μεγέθυνση μεταξύ του πεδίου ροής και του πεδίου των εικόνων, V_{\max} είναι η μέγιστη ταχύτητα του πεδίου ροής, T είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ των φωτεινών παλμών. Όσο μεγαλώνει το “ ds ” τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα να μην έχουν καταγραφεί οι τελικές θέσεις των σωματιδίων παρά μόνο οι αρχικές. Ο λόγος $ds/Lint$ μπορεί να αλλάξει είτε μεταβάλλοντας το $Lint$ είτε το T .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Για την διεξαγωγή του πειράματος αρχικά συμπληρώνεται η δεξαμενή με νερό. Αυτή η διαδικασία γίνεται σε τρεις στάθμες στα 200 mm σε πρώτο στάδιο, στα 220mm και στα 240 mm. Η αεραντλία συνδέεται με την αερόπετρα από την οποία διαχέεται αέρας στην δεξαμενή. Στη συνέχεια τοποθετείται το σύστημα P.I.V. Το λέιζερ, τοποθετείται με τέτοιο τρόπο ώστε το επίπεδο φωτισμού να συμπίπτει με το κατακόρυφο μέσο επίπεδο του νερού. Η κάμερα, τοποθετείται κάθετα ως προς το επίπεδο της φωτεινής επιφάνειας του λέιζερ. Ο τρόπος που τοποθετούνται τα όργανα απεικονίζεται στις παρακάτω εικόνες:





2.2. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Αφού τοποθετηθούν όλα τα όργανα στη θέση τους, ξεκινά η διεξαγωγή του πειράματος. Η αεραντλία δίνει αέρα στην δεξαμενή με δύο διαφορετικές παροχές. Η πρώτη είναι 2 και η δεύτερη 3 l/s. Στην κάθε παροχή γεμίζουμε την δεξαμενή σε τρία ύψη, στα 200 mm, στα 220 mm και στα 240 mm (ουσιαστικά έχουμε 6 διαφορετικά πειράματα να εξετάσουμε).

Αρχικά παίρνουμε μια φωτογραφία βάζοντας μέσα στο πεδίο ροής ένα υποδεκάμετρο το οποίο πρέπει να βρίσκεται πάνω στο “light sheet”. Την εικόνα αυτή την χρησιμοποιούμε για να δημιουργήσουμε την βαθμονόμηση των μετρήσεων “calibration” ώστε να αναγάγουμε τα “pixel” σε αποστάσεις (m).

Στη συνέχεια, παίρνουμε τις φωτογραφίες που θέλουμε σε ένα αρχείο που λέγεται “Raw Data”, από το οποίο δημιουργούμε μια “background” εικόνα από 5 ζεύγη φωτογραφιών (ή περισσότερα). Οπότε σχηματίζεται η Background A και η Background B. Ουσιαστικά δημιουργούμε 2 νέες φωτογραφίες οι οποίες είναι ο μέσος όρος των 5 φωτογραφιών με την μικρότερη ένταση του φωτός η με την μέση τιμή της έντασης.

Μετά, από όλα τα ζεύγη φωτογραφιών που έχουμε συλλέξει αφαιρούμε τις φωτογραφίες Background A από τις φωτογραφίες A των ζευγών και τις Background B από τις φωτογραφίες B. Κατόπιν, προσδιορίζουμε το παράθυρο ελέγχου (interrogation spot), το οποίο επιλέγουμε να έχει διαστάσεις 32 x 32 ή 64 x 64 pixel (2^{10} ή 2^{12}).

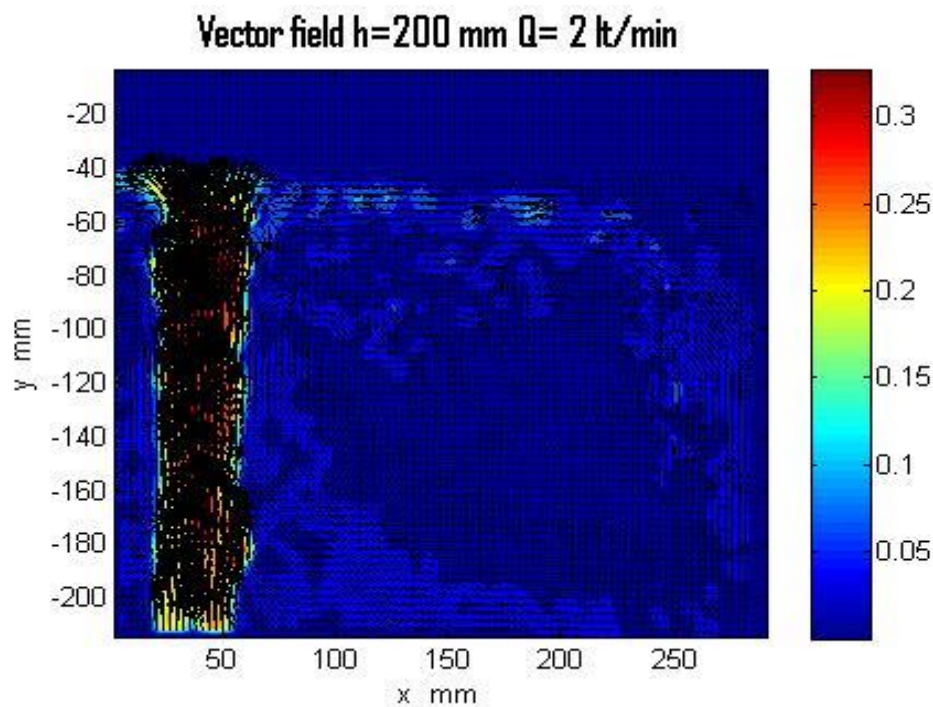
Τέλος, ελέγχουμε και απορρίπτουμε τις ταχύτητες που είχαν μεγάλες τιμές και συμπληρώνουμε εκεί που έλειπαν (validation). Η όλη εργασία γινόταν χρησιμοποιώντας φίλτρα μέσης, μεσαίας και τυπικής αποκλίσεως (medium, min, standard deviation filter). Μετά από τις παραπάνω εργασίες δημιουργούμε τα πεδία των ταχυτήτων.

2.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τέλος, με τη βοήθεια του Η/Υ και πιο συγκεκριμένα του προγράμματος MatLab, βρίσκουμε τα πεδία ταχυτήτων των πειραμάτων που εκπονήθηκαν. Από αυτά βγάζουμε τα εξής αποτελέσματα:

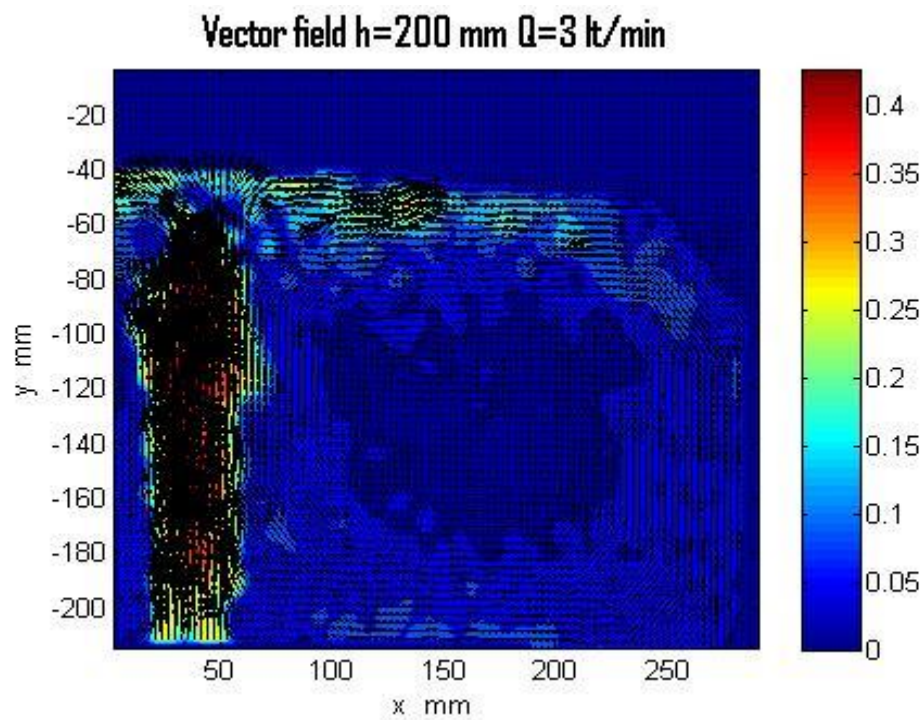
Πείραμα	Qαέρα (lt/min)	h (mm)	Πεδία ροής	Μέση ταχύτητα (m/s)
1	2	200	Εικόνα 2.3.1.	0,05
2	3	200	Εικόνα 2.3.2.	0,15
3	2	220	Εικόνα 2.3.3.	0,10
4	3	220	Εικόνα 2.3.4.	0,15
5	2	240	-	-
6	3	240	Εικόνα 2.3.5.	0,18

Πείραμα 1



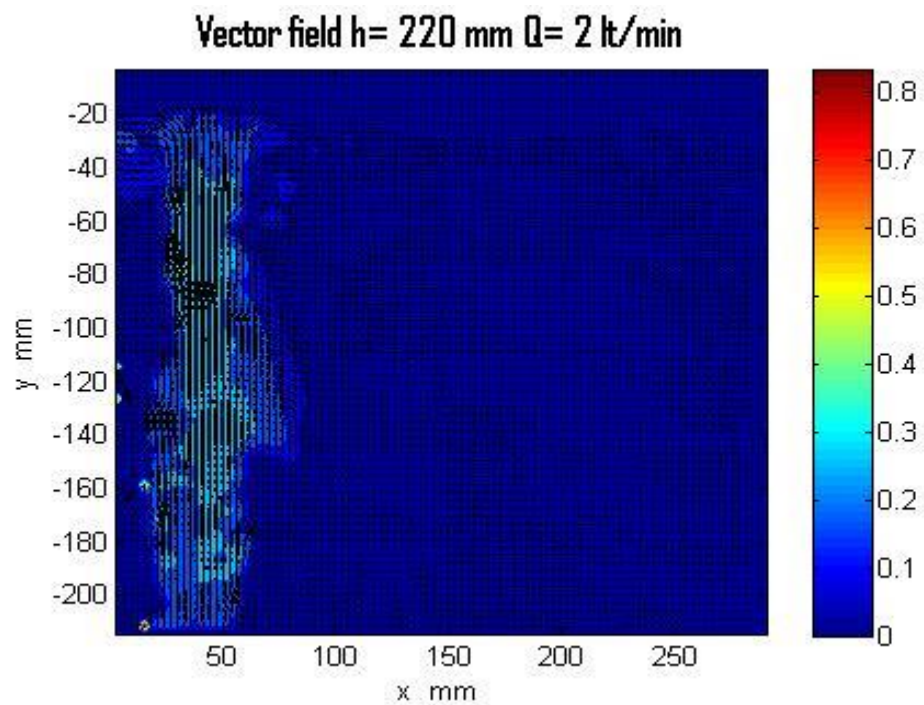
Εικόνα 2.3.1. Παρατηρείται ότι η μέση ταχύτητα στο πάνω μέρος της δίνης είναι περίπου 0,05 m/s

Πείραμα 2



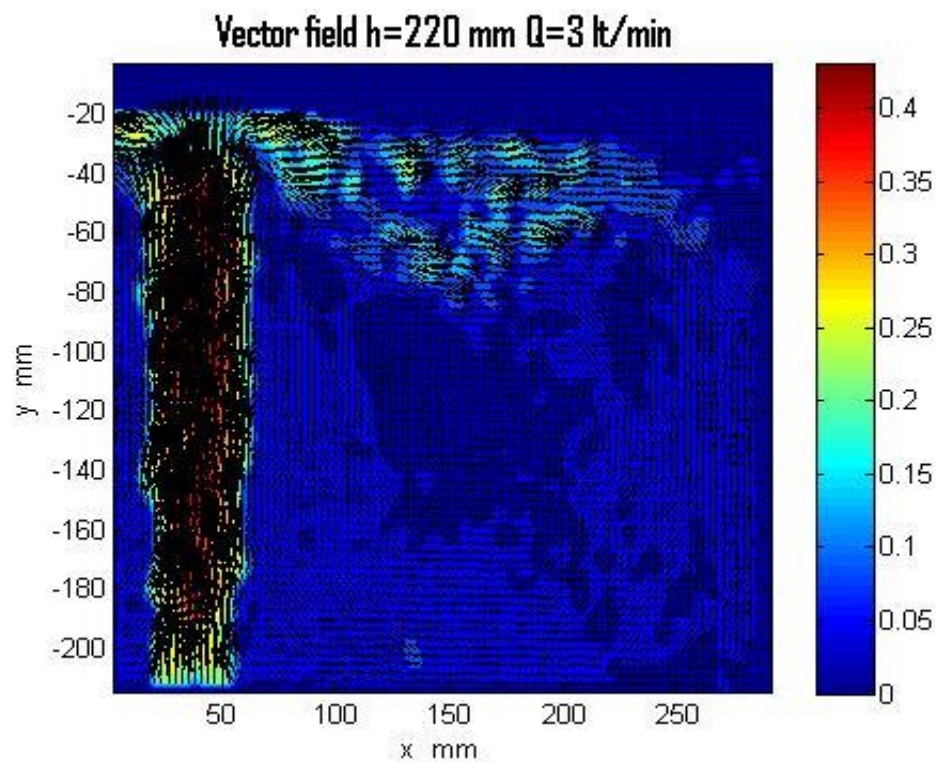
Εικόνα 2.3.2. Παρατηρείται ότι η μέση ταχύτητα στο πάνω μέρος της δίνης είναι περίπου $0,15$ m/s

Πείραμα 3



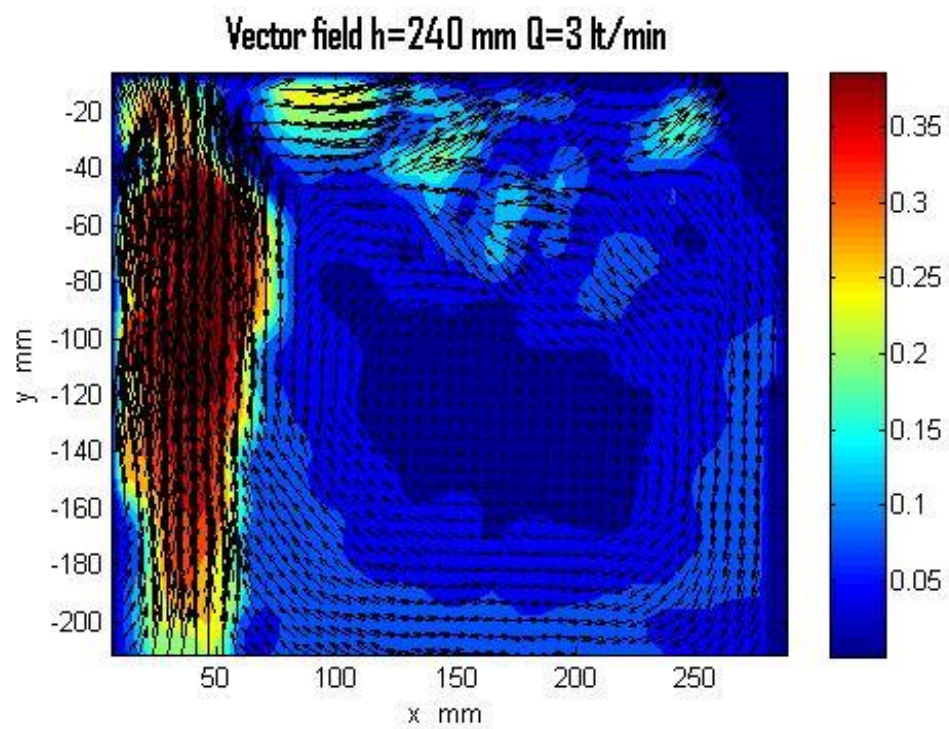
Εικόνα 2.3.3. Παρατηρείται ότι η μέση ταχύτητα στο πάνω μέρος της δίνης είναι περίπου $0,10$ m/s

Πείραμα 4



Εικόνα 2.3.4. Παρατηρείται ότι η μέση ταχύτητα στο πάνω μέρος της δίνης είναι περίπου $0,15$ m/s

Πείραμα 6

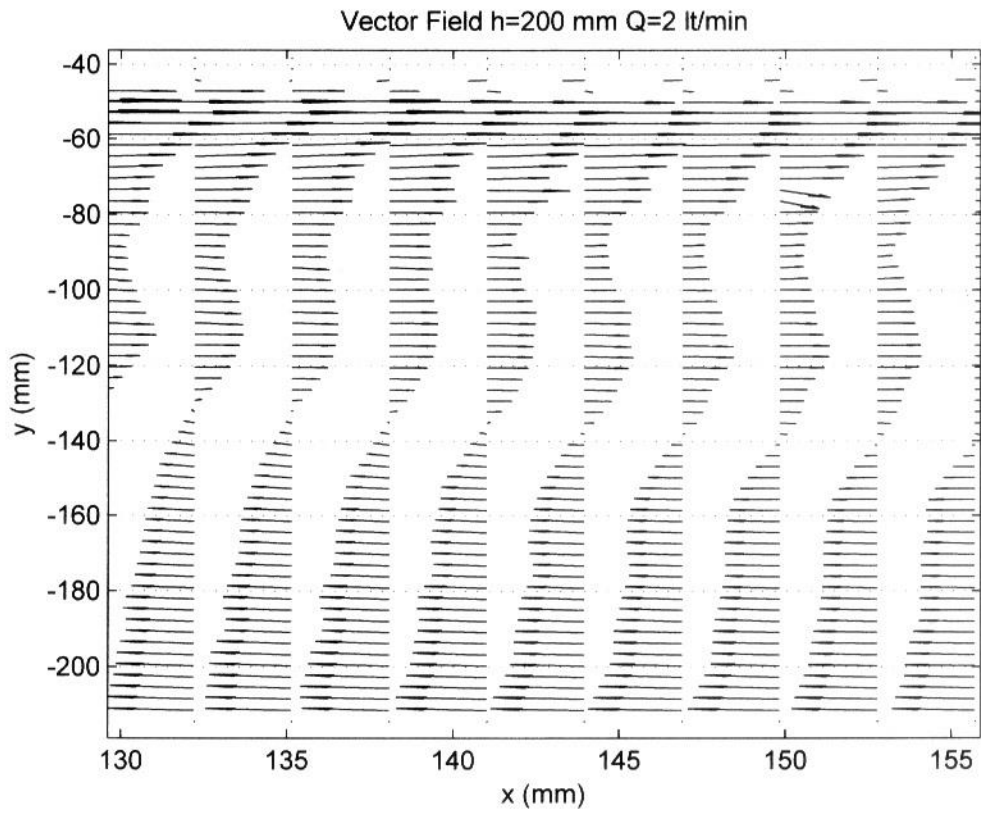
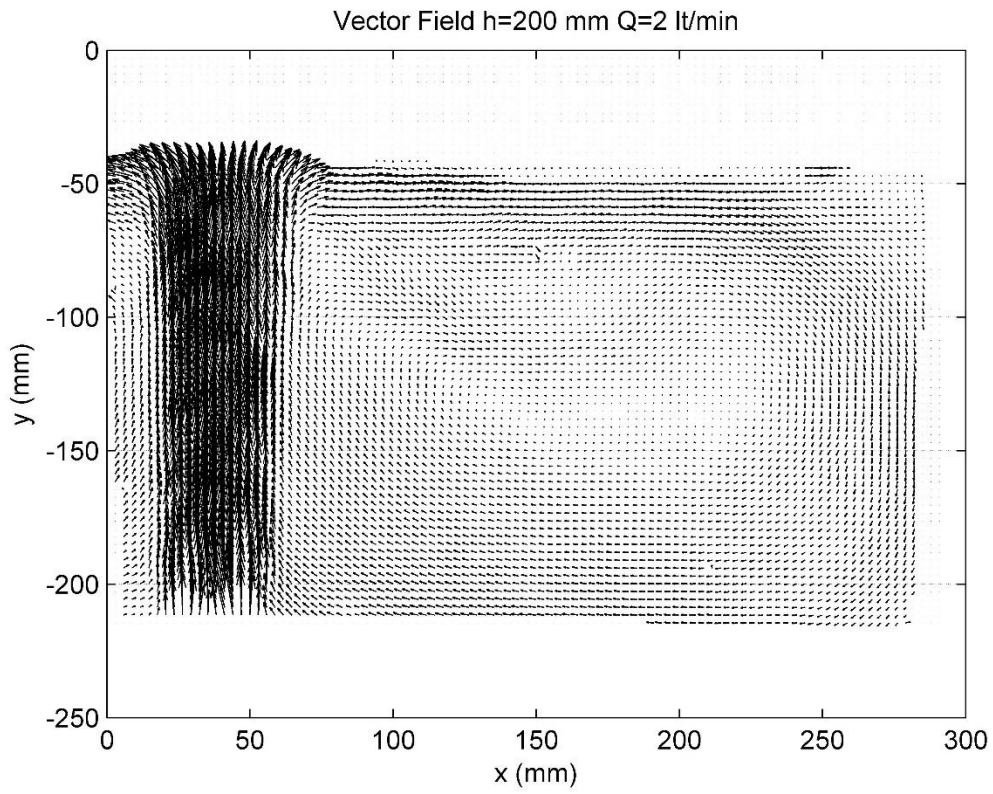


Εικόνα 2.3.5. Παρατηρείται ότι η μέση ταχύτητα στο πάνω μέρος της δίνης είναι περίπου $0,18$ m/s

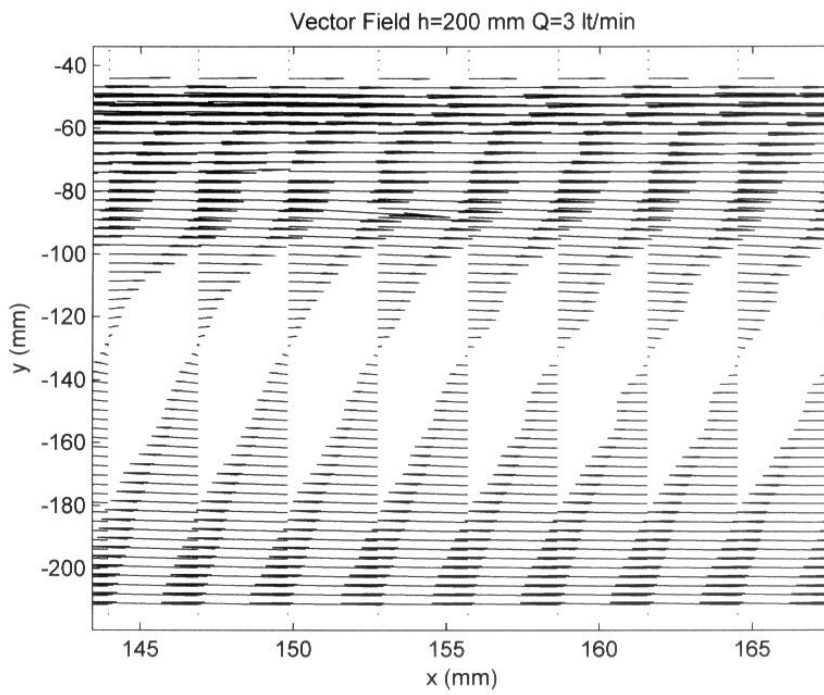
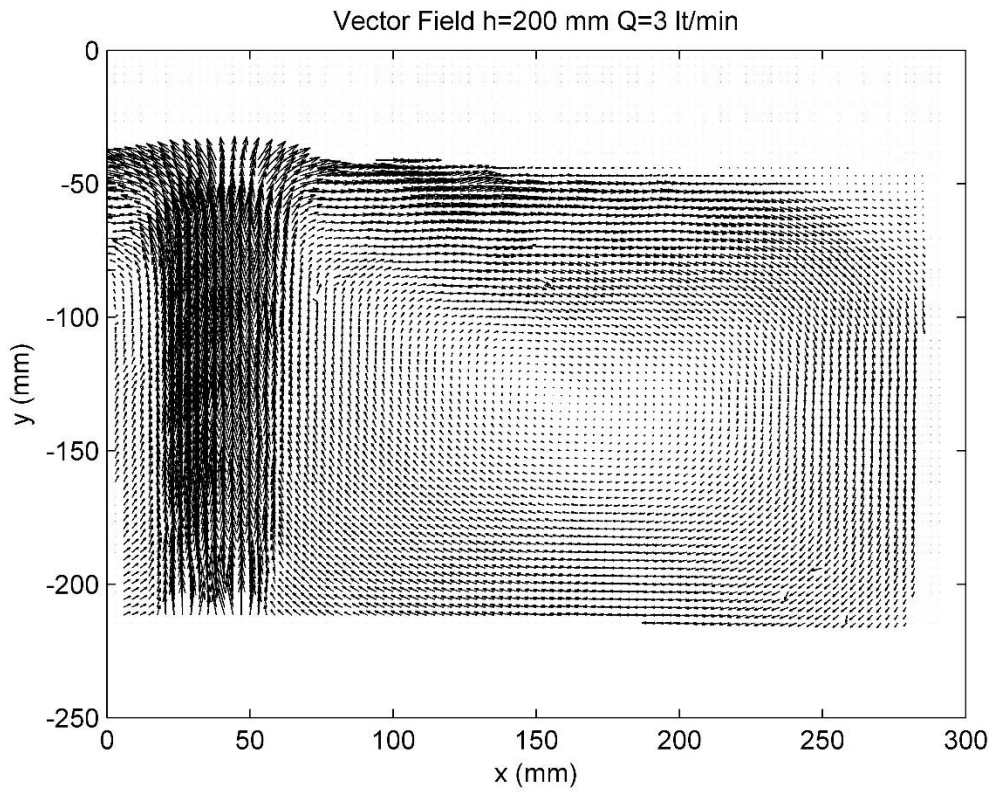
Παρατηρείται ότι στα πειράματα που έχουμε μεγαλύτερα $Q_{αέρα}$, οι ταχύτητές τους είναι μεγαλύτερες.

Ακόμα, στο πάνω μέρος των δινών, τα μέτρα των διανυσμάτων τους είναι ίσα με τα μέτρα αυτών που βρίσκονται στο κάτω μέρος. Οι ταχύτητες των φυσαλίδων αυξάνονται μέχρι ένα σημείο του πεδίου ροής και στη συνέχεια μηδενίζουν στο κέντρο της δίνης. Τέλος, βλέπουμε το ίδιο προφίλ ταχυτήτων στο κάτω μέρος αλλά με αντίθετη φορά το οποίο μπορούμε να παρατηρήσουμε στις παρακάτω εικόνες για κάθε ένα από τα πειράματα.

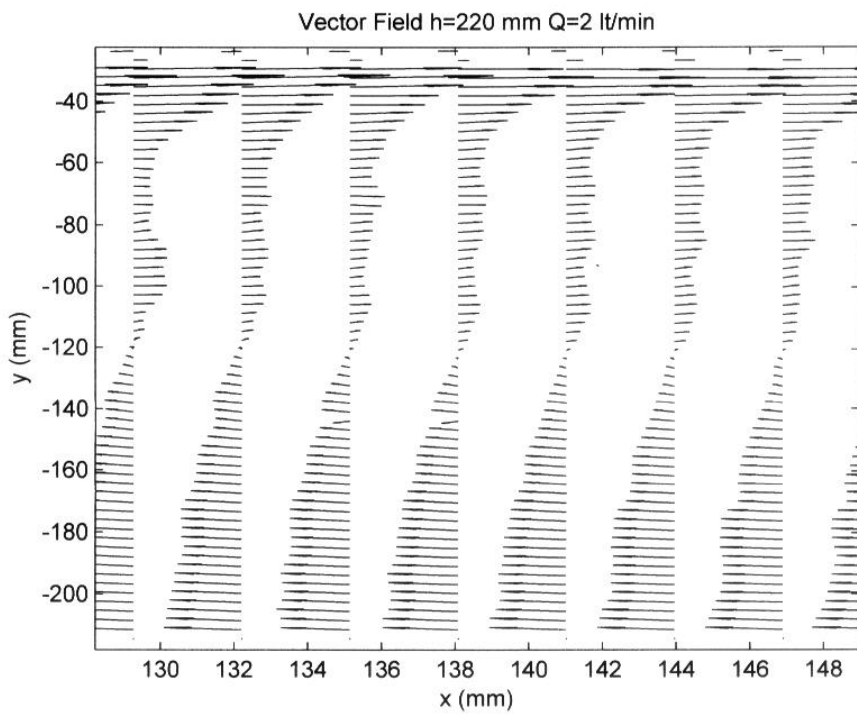
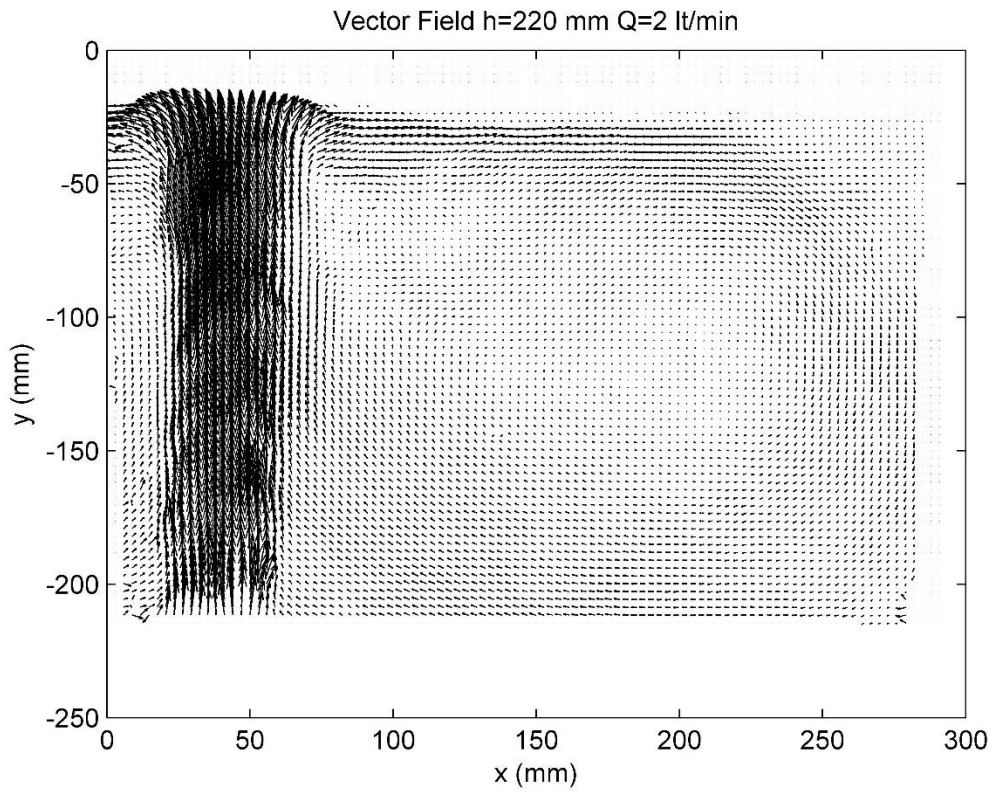
Πείραμα 1



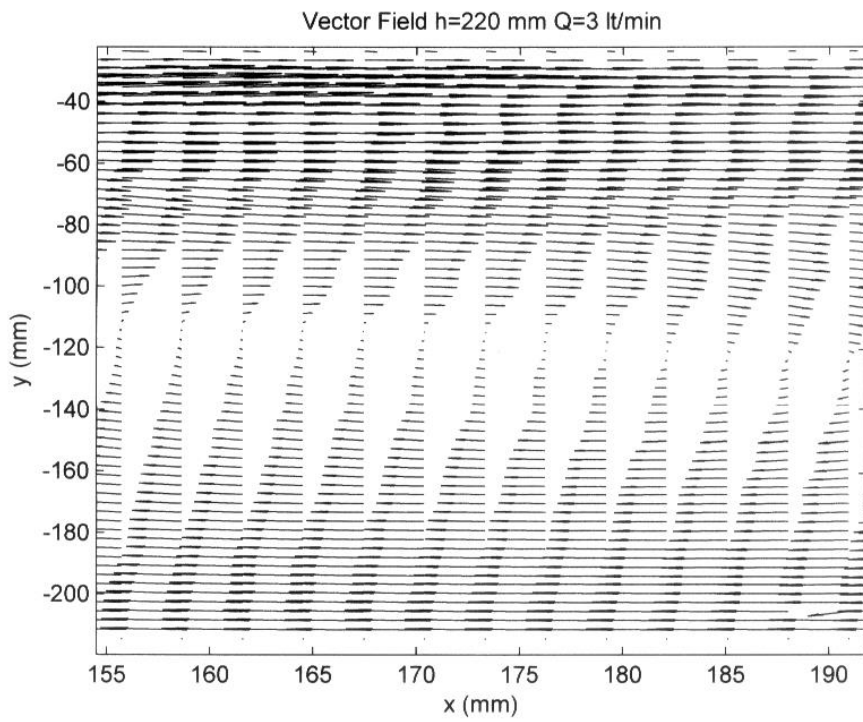
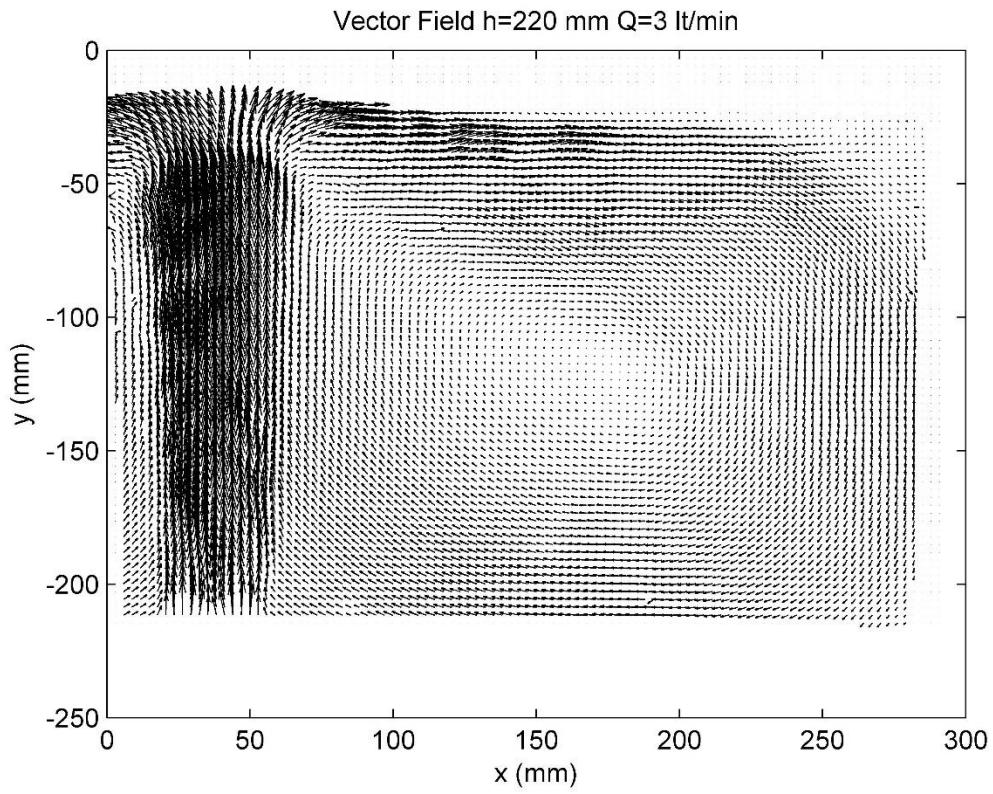
Πείραμα 2



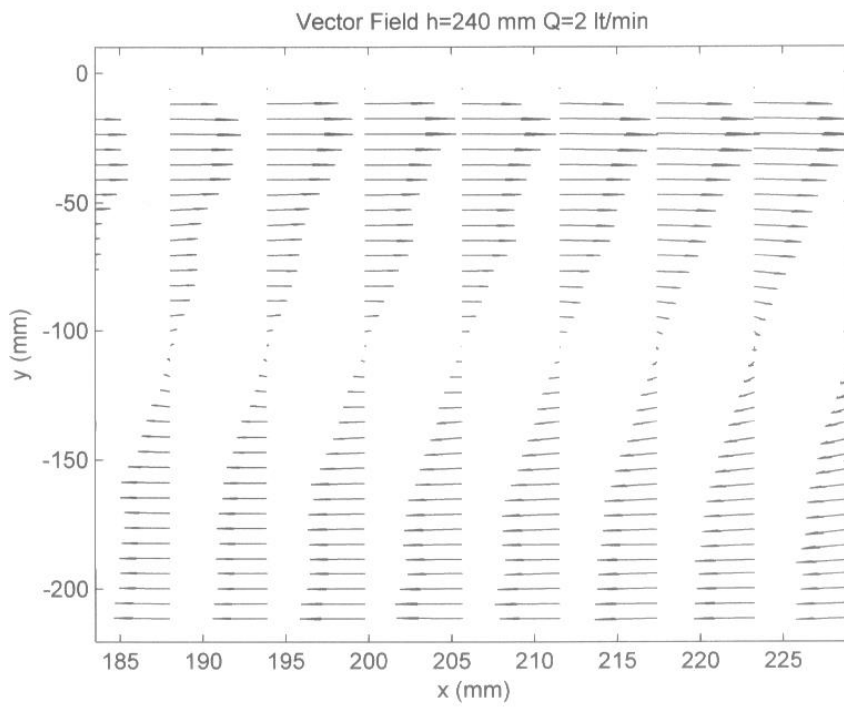
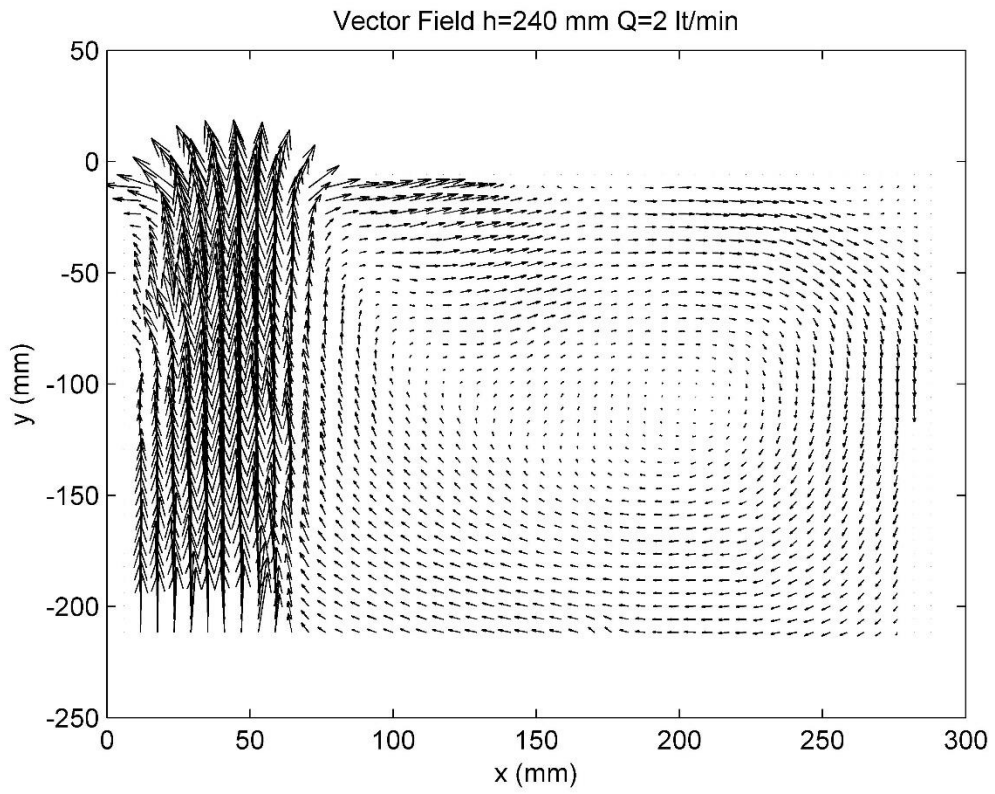
Πείραμα 3



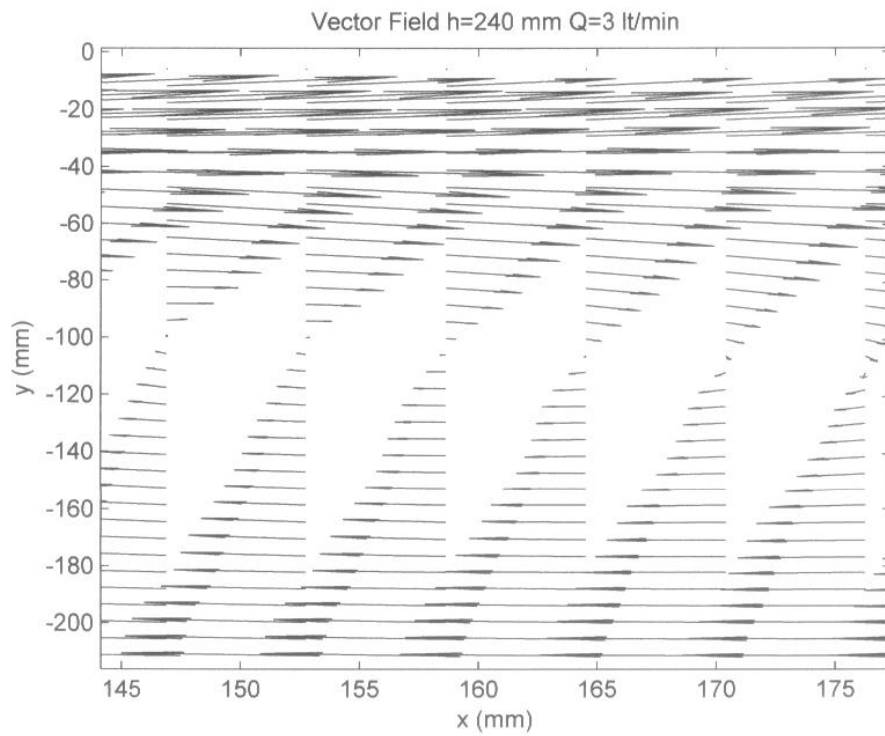
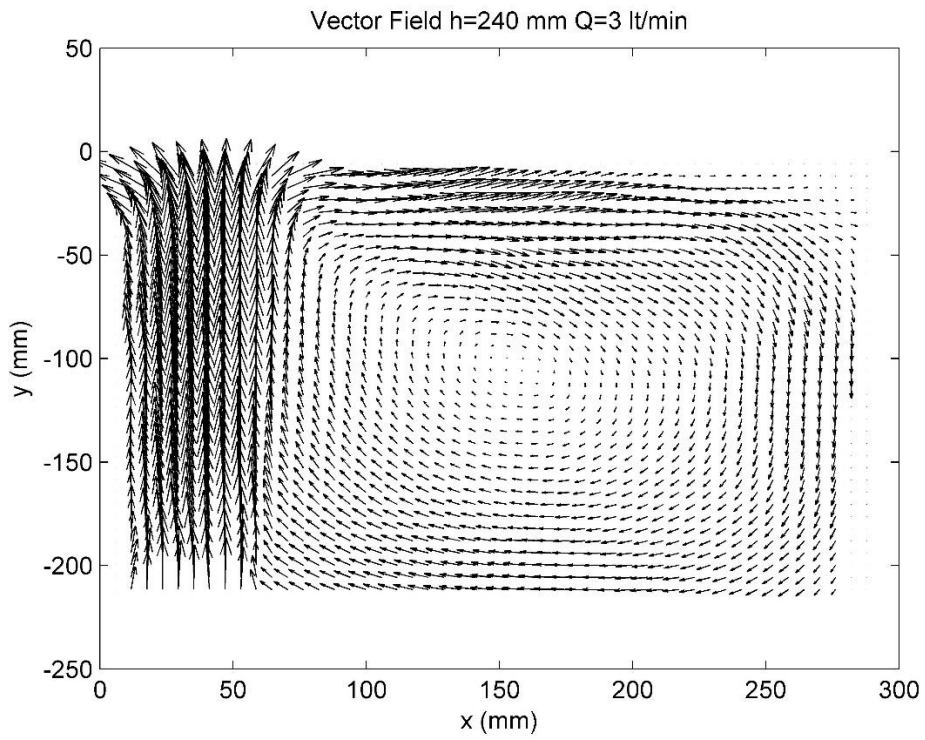
Πείραμα 4



Πείραμα 5



Πείραμα 6



BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- J. Ortiz-Villafuerte, W. D. Schmidl, Y. A. Hassan. (2000). Three-dimensional ptv study of the surrounding flow and wake of a bubble rising in a liquid. *Experiments in Fluids [Suppl.] S202-S210* © Springer-Verlag 2000.
- R. van Hout, A. Gulitski, D. Barnea, L. Shemer. (2001). Experimental investigation of the velocity field induced by a Taylor bubble rising in stagnant water. *International Journal of Multiphase Flow* 28 (2002) 579-596.
- R. Lindken, W. Merzkirch. (2002, April 25). A novel PIV technique for measurements in multiphase flows and its application to two-phase bubbly flows. *Experiments in Fluids* 33 (2002) 814-825.
- D. Bröder, M. Sommerfeld. Experimental studies of bubble interaction and coalescence in a turbulent flow by an imaging PIV/PTV system. *Institut für Verfahrenstechnik / Mechanische Verfahrenstechnik Fachbereich Ingenieurwissenschaften Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg D-06099 Halle (Saale), Germany*
- Jinwen Chen, Abdenour Kemoun, Muthanna H. Al-Dahhan, Milorad P. Dudukovic, D.J. Lee, Liang-Shih Fan. (1999). Comparative hydrodynamics study in a bubble column using computer-automated radioactive particle tracking (CARPT)/computed tomography (CT) and particle image velocimetry (PIV). *Chemical Engineering Science* 54 (1999) 2199-2207.
- E. Delnoij, J Westerweel, N. G. Deen, J. A. M. Kuipers, W. P. M. van Swaaij. (1999). Ensemble correlation PIV applied to bubble plumes rising in a bubble column. *Chemical Engineering Science* 54 (1999) 5159-5171.
- N. J. Lawson, M. Rudman, A. Guerra, J. L. Llow. (1999). Experimental and numerical comparisons of the break-up of a large bubble. *Experiments in Fluids* 26 (1999) 524-534 © Springer-Verlag 1999.
- Denis Funfschilling, Huai Z. Li. (2001). Flow of non-Newtonian fluids around bubbles: PIV measurements and birefringence visualization. *Chemical Engineering Science* 56 (2001) 1137-1141.

- D. J. Lee, X. Luo, L. –S. Fan. (1999). Gas disengagement technique in a slurry bubble column operated in the coalesced bubble regime. *Chemical Engineering Science* 54 (1999) 2227-2236.
- Ashley S. Hull, Zuma Chen, Jack W. Fritz, Pradeep K. Agarwal. (1999). Influence of horizontal tube banks on the behavior of bubbling fluidized beds. 1. Bubble hydrodynamics. *Powder Technology* 103 (1999) 230-242.
- Y. A. Hassan, William Schmidl, J. Ortiz-Villafuerte. (1997). Investigation of three-dimensional two-phase flow structure in a bubbly pipe flow. *Measure Science and Technology* 9 (1998) 309-326. Printed in the UK.
- E. Delnoij, J. A. M. Kuipes, W. P. M. van Swaaij, J. Westerweel. (1999). Measurement of gas-liquid two-phase flow in bubble columns using ensemble correlation PIV. *Chemical Engineering Science* 55 (2000) 3385-3395.
- X. Tu, C. Trägårdh. (2001). Methodology development for the analysis of velocity particle image velocimetry images of turbulent, bubbly gas-liquid flows. *Measure Science and Technology*. 13 (2002) 1079-1086. Division of Food Engineering, Center for Chemistry and Chemical Engineering, Lund Institute of Technology, LTH, Lund University, PO Box 124, SE-221 00 Lund, Sweden.
- V. S. S. Chan, Y. M. C. Delauré, D. B. Murray, J. A. Fitzpatrick. (2004). Optical considerations for time-resolved digital PIV measurement in a single bubble flow against heated boundaries. *Institute of Physics Publishing. Measure Science and Technology* 15 (2004) N39-N42.
- Zhengliang Liu, Ying Zheng, Lufei Jia, Qikai Zhang. (2005). Study of bubble induced flow structure using PIV. *Chemical Engineering Science* 60 (2005) 3537-3552.
- S. Polonsky, L. Shemer, D. Barnea. (1999). The relation between the Taylor bubble motion and the velocity field ahead of it. *International Journal of Multiphase Flow* 25 (1999) 957-975.
- J.D. Bugg, G.A. Saad. (2001). The velocity field around a Taylor bubble rising in a stagnant viscous fluid: numerical and experimental results. *International Journal of Multiphase Flow* 28 (2002) 791–803.

- Yassin A. Hassan, Javier Ortiz-Villafuerte, William D. Schmidl. (2000). Three-dimensional measurements of single bubble dynamics in a small diameter pipe using stereoscopic particle image velocimetry. *International Journal of Multiphase Flow* 27 (2001) 817-842.
- A. Tokuhira, M. Maekawa, K. Izuka, K. Hishida, M. Maeda. (1997). Turbulent flow past a bubble and an ellipsoid using shadow-image and PIV techniques. *International Journal of Multiphase Flow* 24 (1998) 1383-1406.
- Ishii, M. (1975), Thermo – dynamic Theory of Two – Phase Flow. *Paris, Eyrolles, Editeur (Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricite de France, No. 22), 1975. page 275.*
- Hill, D.P. (1998). The Computer Simulation of Dispersed Two – Phase Flows, PhD Thesis, *Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK.*
- Whalley, P.B. (1996). Two – Phase Flow and Heat Transfer. *Oxford Chemistry Primers, Oxford Science Publications.*
- Henrik Rusche. (2002). Computational Fluid Dynamics of Dispersed Two-Phase Flows at High Phase Fractions. *Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy of the University of London and Diploma of Imperial College, Imperial College of Science, Technology & Medicine Department of Mechanical Engineering Exhibition Road, London SW7 2BX.*
- Wikipedia, the free encyclopedia. Particle image velocimetry. Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_image_velocimetry.
- Π. Α. Παπαδόπουλος, Δ. Π. Καραδήμου, Ν.Χ. Μαρκάτος. Προσομοίωση διφασικής ροής νερού και φυσαλίδων σε αντιδραστήρα πλήρους ανάδευσης με τεχνικές υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας ΙΙ, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου 15780 Αθήνα.*
- Ν. Ανδρίτσος, Β. Μποντόζογλου. (2012, Μάρτιος). Διφασική ροή και μεταφορά θερμότητας. *Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος.*
- Γκαγκανάσιος Δημήτριος (2014). Πειραματικός προσδιορισμός πεδίου ροής σε κανάλι με την χρήση PIV. *Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης.*