

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΤΥΡΒΩΔΟΥΣ ΑΝΩΣΤΙΚΗΣ ΦΛΕΒΑΣ
ΜΕΣΑ ΣΕ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΡΕΥΣΤΟ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟ
ΑΓΩΓΟ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

ΡΙΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΚΕΡΑΜΑΡΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Μελέτη της τυρβώδους ανωστικής φλέβας μέσα σε κινούμενο ρευστό σε ανοικτό αγωγό με ελεύθερη επιφάνεια» εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών του φοιτητή Ριρή Ιωάννη. Η παρούσα μελέτη έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Υδραυλικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών μηχανικών του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης.

Επιβλέπων της παρούσας διπλωματικής ήταν ο Δρ. Ευάγγελος Κεραμάρης λέκτορας του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του οποίου η συνεισφορά τόσο στην τελική διαμόρφωση και συγκεκριμενοποίηση του θέματος όσο και κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της υπήρξε καταλυτική, ώστε να προκύψει η παρούσα μελέτη. Εκτός από επιβλέπων καθηγητής μου, στάθηκε αρωγός τόσο σε θέματα θεωρητικού επιπέδου, όσο και σε θέματα τεχνικής υφής δίνοντάς μου τη δυνατότητα να εμβαθύνω απρόσκοπτα στη μελέτη μου. Ως ελάχιστο θέλω να εκφράσω τις ελικρινές μου ευχαριστίες για την αρμονική μας συνεργασία.

Τις θερμές μου ευχαριστίες οφείλω να δώσω και στον καθηγητή Δρ. Γεώργιο Πεχλιβανίδη υπεύθυνο του Εργαστηρίου Υδραυλικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης που με βοήθησε καθημερινώς με τον χειρισμό της υλικοτεχνικής υποδομής του εργαστηρίου ώστε να μην χρονοτριβήσω με τις μετρήσεις μου.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα ευχαριστώ και στον συμφοιτητή μου Χρήστο Γεωργίου ο οποίος με βοήθησε σημαντικά κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	Σελ.1
1.1 Εισαγωγή στις τυρβώδεις ροές.....	Σελ.1
1.2 Τυρβώδεις ανωστικές φλέβες.....	Σελ.1
1.3 Κατακόρυφες ανωστικές φλέβες σε ομοιόμορφη εγκάρσια ροή.....	Σελ.2
1.4 Αντικείμενο της εργασίας.....	Σελ.2
1.5 Διάρθρωση της εργασίας.....	Σελ.3
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ.....	Σελ.4
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	Σελ.27
4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	Σελ.32
4.1 Μέθοδος απεικόνισης ταχυμετρίας(Particle Image Velocimetry-P.I.V).....	Σελ.32
4.2 Υπολογιστικά και μηχανικά εργαλεία μετρήσεων.....	Σελ.33
4.2.1 Μέθοδος P.I.V.....	Σελ.33
4.2.1.1 Όργανα μεθόδου P.I.V.....	Σελ.33
4.2.1.2 Λογισμικό Insight 3G Imaging Software.....	Σελ.35
4.2.2 Άλλα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν....	Σελ.36
4.3 Πειραματική διαδικασία μετρήσεων.....	Σελ.37
4.4 Περιπτώσεις-Λεπτομέρειες μετρήσεων.....	Σελ.39
4.5 Μεθοδολογία υπολογισμού αποτελεσμάτων.....	Σελ.42
4.5.1 Γενικά για προφίλ ταχύτητας-ροή μάζας.....	Σελ.42
4.5.1.1 Γενικά προφίλ ταχύτητας.....	Σελ.43
4.5.1.2 Ροή μάζας.....	Σελ.46
4.6 Αποτελέσματα.....	Σελ.48
4.7 Αδιαστατοποιημένα προφίλ ταχύτητας.....	Σελ.72
5. ΑΝΑΚΑΙΦΑΛΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	Σελ.93
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	Σελ.94
A. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	Σελ.95

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκτεταμένη βιομηχανική ανάπτυξη του τελευταίου αιώνα προκάλεσε το πρόβλημα της διάθεσης μεγάλων ποσοτήτων αστικών και βιομηχανικών ρύπων σε υγρούς αποδέκτες και στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας μεγάλη υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η διάθεση των ρευστών αποβλήτων γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η διάχυση και η ανάμιξη αυτών με όσο το δυνατό μεγαλύτερο όγκο ρευστού του αποδέκτη για να μην προκαλούνται φαινόμενα ρύπανσης. Αυτός ο τρόπος διάθεσης των αποβλήτων επιτυγχάνεται με την επίδραση των τυρβώδων ανωστικών φλεβών.

Για την μελέτη της ροής των ανωστικών φλεβών εκπονούνται πειράματα με διαφορετικές παραμέτρους και προκύπτουν αποτελέσματα τα οποία είναι εύκολο να συγκριθούν τόσο με πειραματικά δεδομένα, όσο και με αριθμητικά αποτελέσματα της βιβλιογραφίας.

1.1 Εισαγωγή στις τυρβώδεις ροές

Στην τυρβώδη ροή τα ρευστά σωματίδια έχουν ακανόνιστη, σχεδόν τυχαία, διακυμαινόμενη κίνηση (σε αντίθεση με τη στρωτή ροή). Η ταχύτητα σε κάθε σημείο του ρευστού μεταβάλλεται με το χρόνο τόσο κατά μέγεθος, όσο και κατά διεύθυνση. Η ροή κατά στρώσεις με λείες γραμμές ροής που παρατηρείται στη στρωτή ροή, αποδομείται πλήρως και συμβαίνει έντονη μακροσκοπική ανάμιξη μεταξύ δυο γειτονικών στρώσεων. Η τυρβώδης ροή πραγματοποιείται όταν οι δυνάμεις αδράνειας είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνεκτικότητας. Στο φυσικό περιβάλλον όλες σχεδόν οι ροές είναι τυρβώδεις.

Το μέγεθος που καθορίζει αν μια ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης είναι ο αριθμός Reynolds. Ο αριθμός Reynolds, είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που δείχνει τον λόγο των δυνάμεων αδράνειας ως προς τις δυνάμεις της διάτμησης.

1.2 Τυρβώδεις ανωστικές φλέβες

Το πεδίο ροής και διάχυσης, το οποίο δημιουργείται κατά την εκροή ρευστού από περιορισμένου μεγέθους ροή εντός ρευστού της αυτής ή λίγο διαφορετικής πυκνότητας και σημαντικά μεγαλύτερων διαστάσεων, συγκριτικά με την πηγή, ονομάζεται ανωστική φλέβα (buoyant jet).

Τα χαρακτηριστικά και η ρευστοδυναμική δυναμική συμπεριφορά των εκτοξευόμενων φλεβών εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες:

α) παράμετροι (χαρακτηριστικά) της φλέβας, β) παράμετροι του περιβάλλοντος ρευστού και γ) γεωμετρικές παράμετροι (Fischer et al. 1979).

Κάποια χαρακτηριστικά των φλεβών είναι η αρχική κατανομή ταχύτητας, η ένταση τύρβης της φλέβας και η ορμή της φλέβας. Στις περιβαλλοντικές παραμέτρους περιλαμβάνονται η πυκνομετρική διαφορά μεταξύ φλέβας και αποδέκτη, η στρωμάτωση (π.χ πυκνομετρική) κτλ. Οι γεωμετρικές παράμετροι περιλαμβάνουν τη μορφή και το προσανατολισμό των φλεβών, την αλληλεπίδραση με άλλες φλέβες, κτλ.

Οι βασικοί τύποι φλεβών είναι οι παρακάτω:

- απλή (εκτοξευόμενη) φλέβα μόνο με αρχική ορμή (jet)
- πλούμιο ή απλή ανωστική φλέβα με «μηδενική» αρχική ορμή αλλά με πυκνομετρική διαφορά σε σχέση με το περιβάλλον διάχυσης (plume)
- ανωστική φλέβα με αρχική ορμή και πυκνομετρική διαφορά σε σχέση με το περιβάλλον ρευστό (buoyant jet)

Οι παραπάνω φλέβες μπορεί να είναι αξονοσυμμετρικές ή δισδιάστατες όταν εκρέουν από σχισμή φλέβας (Παπανικολάου 2009).

1.3 Κατακόρυφες ανωστικές φλέβες σε ομοιόμορφη εγκάρσια ροή

Συναντώνται πολύ συχνά στη φύση, όπως π.χ στις καμινάδες σπιτιών και εργοστασίων, πάνω από πυρκαγιές και σε μεγαλύτερη κλίμακα σαν προϊόντα εκρήξεως ηφαιστίων (π.χ στο πυρηνικό ατύχημα του Chernobyl (1986) και στο βιομηχανικό ατύχημα στο Bhopal της Ινδίας (1984)). Η ρευστομηχανική συμπεριφορά των πλουμιών αυτών είναι αρκετά πολύπλοκη. Για αυτό το λόγο το φαινόμενο αυτό έχει γίνει κύριο αντικείμενο διερεύνησης στην πειραματική υδραυλική, έτσι ώστε να αποκτηθεί εικόνα για την τροχιά, το πεδίο ταχυτήτων και άλλων χαρακτηριστικών των φλεβών (Παπανικολάου 2009).

1.4 Αντικείμενο της εργασίας

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της κατακόρυφης ανωστικής φλέβας σε ομοιόμορφη εγκάρσια ροή μέσω πειραμάτων. Γίνεται διερεύνηση του πεδίου ταχυτήτων με την εξαγωγή των προφίλ των ταχυτήτων και της ροής μάζας στο φαινόμενο. Τα πειράματα εκπονήθηκαν με τη χρήση της σύγχρονης μεθόδου Particle Image Velocimetry (PIV). Εξετάζονται 12 διαφορετικές περιπτώσεις για συγκεκριμένη διαφορά πυκνότητας φλέβας-αποδέκτη και ταχύτητα εγκάρσιας ροής η καθεμία. Παρουσιάζονται τα γενικά προφίλ ταχύτητας των οριζόντιων και κατακόρυφων ταχυτήτων για τις 12 περιπτώσεις. Επίσης, παρατίθενται τα διαγράμματα ροής μάζας.

1.5 Διάρθρωση της εργασίας

Η εργασία περιλαμβάνει, εκτός από την παρούσα εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), τέσσερα Κεφάλαια και δύο Παραρτήματα.

Στο Κεφάλαιο 2 πραγματοποιείται συνοπτική βιβλιογραφική επισκόπηση των πειραματικών προσεγγίσεων και κάποιων υπολογιστικών μεθόδων προσομοίωσης ανωστικών φλεβών.

Στο Κεφάλαιο 3 δίνεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε ώστε να προσομοιωθεί το φαινόμενο.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της μεθόδου Particle Image Velocimetry (PIV) και αναφέρονται λεπτομερώς οι περιπτώσεις των πειραμάτων. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών, πώς αυτά προέκυψαν και όλα τα εργαλεία, υπολογιστικά και μηχανικά, που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο Κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται συνοπτικά όλα τα βιβλιογραφικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο παράρτημα Α παρουσιάζονται κάποιες από τις φωτογραφίες που ελήφθησαν κατά τη διενέργεια των πειραμάτων, καθώς και στιγμιαία διανυσματικά πεδία ταχυτήτων πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

Ένας συνηθισμένος και πρόσφορος τρόπος διάθεσης των υγρών ρύπων στο υδάτινο περιβάλλον είναι η μέθοδος της εκροής των λυμάτων από οπές(καμινάδες ή υποβρύχιους αγωγούς στη θάλασσα), οπότε δημιουργούνται τυρβώδεις ανωστικές φλέβες, που διαχέουν τον ρύπο. Οι παράμετροι, λοιπόν που επηρεάζουν την συμπεριφορά της φλέβας είναι πολλές και χρειάζεται να γίνει περεταίρω διερεύνηση ξεχωριστών περιπτώσεων τόσο με πειραματικές μετρήσεις, όσο και με αριθμητική ανάλυση.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η συμπεριφορά μιας κατακόρυφης κυκλικής ανωστικής φλέβας σε κινούμενο αποδέκτη. Διερευνήθηκαν τα προφίλ ταχύτητας, όσο και η ροή μάζας για συγκεκριμένες αρχικές συνθήκες. Στις σελίδες που ακολουθούν παρουσιάζονται επιστημονικά άρθρα που ασχολούνται με τις τυρβώδεις ανωστικές φλέβες, προσεγγίζοντας όμως το καθένα αυτό το θέμα υπό διαφορετική οπτική.

Στο πρώτο άρθρο [Xiaoyuan Zhang, Changcheng Li, (2010)] μελετώνται με υπολογιστικές μεθόδους οι παράμετροι που καθορίζουν τη συμπεριφορά της φλέβας σε ευθύγραμμη ροή. Δίνεται έμφαση στα προφίλ ταχύτητας, στη συγκέντρωση, στην τροχιά της φλέβας και στην περιοχή δράσης του φαινομένου.

Στο δεύτερο άρθρο [Panayotis C.Yannopoulos, (2006)] μελετάται το φαινόμενο αλληλεπίδρασης ανωστικών φλεβών. Γίνεται σύγκριση πειραματικών μετρήσεων με αποτελέσματα που προκύπτουν από αριθμητική ανάλυση και μαθηματικά μοντέλα.

Στο τρίτο άρθρο [Elmar Recker, et al., (2003)] γίνεται σπουδή στο φαινόμενο εκτόξευσης φλέβας σε ευθύγραμμη ροή με εστίαση στην κινηματική εξέλιξη του φαινομένου. Τριδιάστατα γίνεται έρευνα πάνω στις δομές που αναπτύσσονται, επακόλουθες της μίξης της φλέβας με τον αποδέκτη.

Στο τέταρτο άρθρο [L.K.Su, et al., (2000)] παρουσιάζονται τα βαθμωτά πεδία και τα πεδία ταχύτητας για φλέβες που εισέρχονται σε ευθύγραμμη ροή. Γίνεται επίσης σύγκριση διαφορετικών περιπτώσεων εισόδου της φλέβας στη ροή που καθορίζονται από διαφορετικές αρχικές συνθήκες. Η μελέτη γίνεται πειραματικά.

Στο πέμπτο άρθρο [M. Ben Meftah, et al.] ερευνάται η συμπεριφορά ανωστικής φλέβας σε ευθύγραμμη ροή, όταν διαφοροποιηθούν κάποιες παράμετροι της φλέβας. Αυτό επιτυγχάνεται με πειραματική έρευνα.

Στο έκτο άρθρο [Παναγιώτης Ν.Παπανικολάου, (2009)] παρουσιάζεται το φαινόμενο της εκτοξευόμενης φλέβας σε ήρεμο αποδέκτη με πειράματα συγκρινόμενα με αριθμητικές μεθόδους.

Αριθμητική ανάλυση των κάθετων κυκλικών φλεβών σε ευθύγραμμη ροή (Xiaoyuan Zhang, Changcheng Li, 2010)

Το παρόν άρθρο επιδιώκει με υπολογιστικές μεθόδους να μελετήσει τη συμπεριφορά των κάθετων φλεβών σε ευθύγραμμη ροή. Προσπαθεί να δώσει μια όσο το δυνατό πιο κοντινή στην πραγματικότητα εικόνα για το προφίλ της ταχύτητας, τη συγκέντρωση, τις τροχιές των διανυσμάτων της ταχύτητας, την περιοχή δράσης του φαινομένου, τη διακλάδωση της φλέβας και τη δομή της δίνης της φλέβας. Όλα αυτά μελετώνται για διάφορους λόγους ταχυτήτων (ταχύτητα φλέβας/ταχύτητα ευθύγραμμης ροής).

Χρησιμοποιήθηκε η υπόθεση Boussinesq και βασικές εξισώσεις της μηχανικής ρευστών, όπως το μοντέλο k-ε που χρησιμοποιείται ευρέως στην υπολογιστική δυναμική των ρευστών. Με τη βοήθεια της αριθμητικής ανάλυσης, τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών αλλά και την πεπερασμένη αναλυτική μέθοδο (αλγόριθμος επτά σημείων) καταλήγουν σε κάποιες αριθμητικές τιμές που αντιπροσωπεύουν μεγέθη, όπως ταχύτητα και συγκέντρωση. Οι καταληκτικές εξισώσεις για συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων (Εικόνα 2.1) ενδεικτικά δίνονται (για την πρώτη χρησιμοποιήθηκε η πεπερασμένη μέθοδος των διαφορών και για της υπόλοιπες η αναλυτική μέθοδος-αλγόριθμος επτά σημείων-Λόγω συμμετρίας προσομοιώθηκε το "μισό" πεδίο ταχυτήτων):

Συνοριακές συνθήκες:

(1) Στην έξοδο της φλέβας:

$$u = v = 0, w = w_0, c = c_0, k_0 = 0.02u_0^2, \varepsilon_0 = k_0^{2/3}/D$$

(2) Στην είσοδο της ευθύγραμμης ροής:

$$u = u_a, v = w = 0, c = c_a, k_m = 0.001u_a^2, \varepsilon = k_m^{2/3}/0.06D$$

(3) Στην έξοδο της ευθύγραμμης ροής:

$$\frac{\partial}{\partial x} [u, v, w, c, k, \varepsilon] = 0$$

(4) Στο συμμετρικό επίπεδο:

$$v = 0, \frac{\partial}{\partial y} [u, w, c, k, \varepsilon] = 0$$

(5) Στο πλευρικό σύνορο:

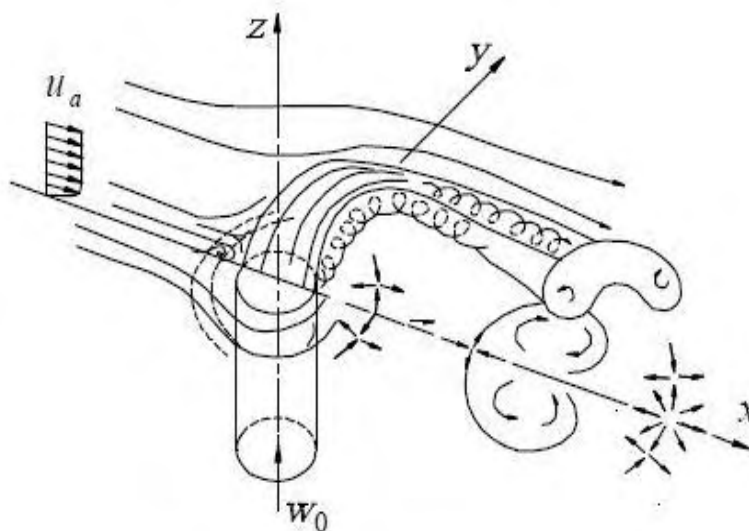
$$u = u_a, v = w = 0, c = c_a, \frac{\partial}{\partial y} [k, \varepsilon] = 0$$

(6) Στο επάνω σύνορο:

$$u = u_a, v = w = 0, c = c_a, \frac{\partial}{\partial z} [k, \varepsilon]$$

(7) Στο κάτω σύνορο: Υιοθετήθηκε η συνάρτηση του τοιχώματος εκτός από την έξοδο της φλέβας

Τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης είναι πολύ ενδιαφέροντα. Έχοντας μοντελοποιήσει το πρόβλημα για λόγους ταχύτητας από 0,5 έως 8, συγκρίνονται τα υπολογιστικά αποτελέσματα με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα για λόγο ταχύτητας 2 (ταχύτητα φλέβας/ταχύτητα ευθύγραμμης ροής). Τα αποτελέσματα είναι σχετικά καλά και δείχνουν να έχουν ταύτιση, εκτός από την έξοδο της φλέβας που το σφάλμα μπορεί να φτάσει μέχρι 30%. Οι τροχιές της φλέβας διαφέρουν σε διαφορετικούς λόγους ταχυτήτων. Επίσης, να σημειωθεί ότι προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ταχύτητας, τόσο περισσότερο η μέγιστη συγκέντρωση αποκλίνει από τη συμμετρική φλέβα. Τέλος, η ευθύγραμμη ροή θα ρέει γύρω από τη φλέβα και όταν ενεργοποιηθεί προς τα πάνω από τη φλέβα εκεί είναι που θα δημιουργηθεί πέταλο δίνης της φλέβας προς τα κάτω.



Εικόνα 2.1:Κυκλική φλέβα σε ευθύγραμμη ροή και το σύστημα συντεταγμένων

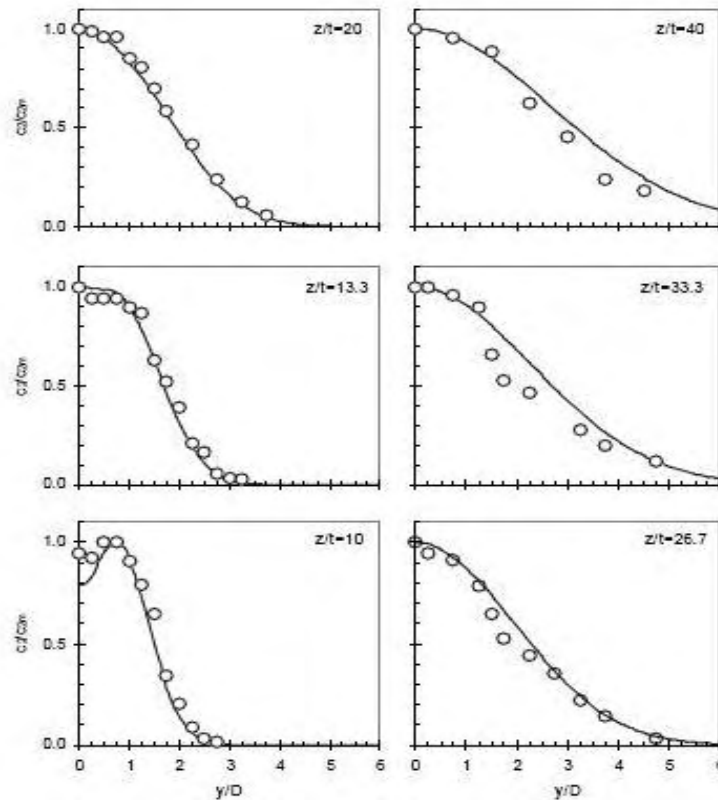
Αλληλεπίδραση δύο ή τριών αλληλεπιδρωσών κυκλικών ανωστικών φλεβών εκτοξευόμενων προς τα πάνω σε ήρεμο περιβάλλον (Panayotis C. Yannopoulos, 2006)

Το άρθρο μελετάει το φυσικό φαινόμενο αλληλεπίδρασης δύο ή τριών κυκλικών εκτοξευόμενων ανωστικών φλεβών σε ένα ήρεμο περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται σύγκριση πειραματικών μετρήσεων από συγκέντρωση και οπτικοποίηση ροής με μετρήσεις που προκύπτουν από αριθμητική ανάλυση και μαθηματικά μοντέλα. Κάποια από τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των αριθμητικών μεθόδων παρουσιάζονται στη Εικόνα 2.2 και Εικόνα 2.3. Τέλος, γίνεται προσπάθεια να προσδιορισθούν τα σύνορα που λαμβάνει χώρα το φαινόμενο καθώς και η εξέλιξη της μίξης των φλεβών.

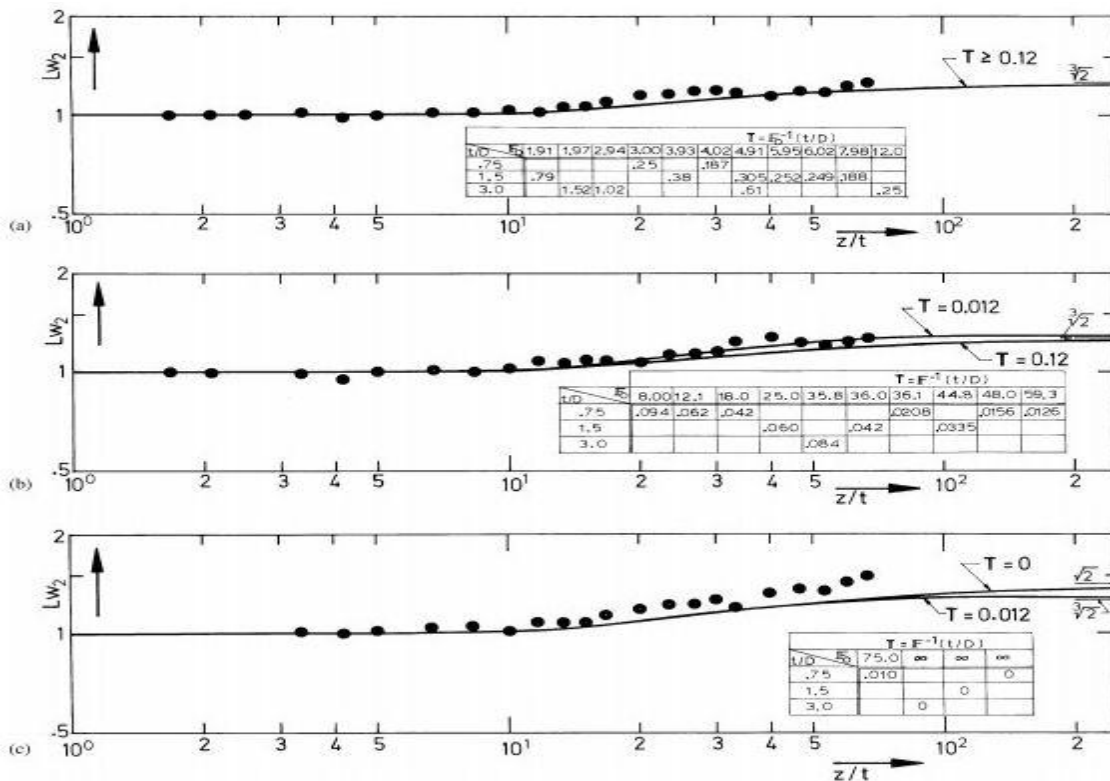
Οι προβλέψεις της αριθμητικής ανάλυσης βασίζονται στην αρχή της επαλληλίας των πεδίων των κύριων αξονικών ταχυτήτων και των κύριων συγκεντρώσεων. Για διευκόλυνση των υπολογισμών γίνεται η παραδοχή ότι οι τροχιές φλεβών-πλουμίων συμπίπτουν με τα τοπικά μέγιστα των κύριων αξονικών ταχυτήτων. Για την υλοποίηση των υπολογισμών μελετάται η φύση της φλέβας. Αρχικά, μελετάται λόγω της αρχικής της ορμής και έπειτα λόγω των ανωστικών δυνάμεων που προκαλούνται λόγω διαφορετικών πυκνοτήτων φλέβας-περιβάλλοντος.

Όσον αφορά μια περιληπτική περιγραφή του θεωρητικού υποβάθρου ισχύουν τα εξής: στη μελέτη χρησιμοποιούνται σχέσεις που έχουν προκύψει από πειραματικά δεδομένα και σχέσεις σαν αποτέλεσμα της αρχής της επαλληλίας. Με παραγωγή της συνάρτησης της εγκάρσιας ταχύτητας των φλεβών ή των πλουμίων προκύπτουν τα τοπικά μέγιστα ελάχιστα-τροχιές των φλεβών ή πλουμίων(σχηματικά φαίνονται στην Εικόνα 2.4 οι τροχιές).

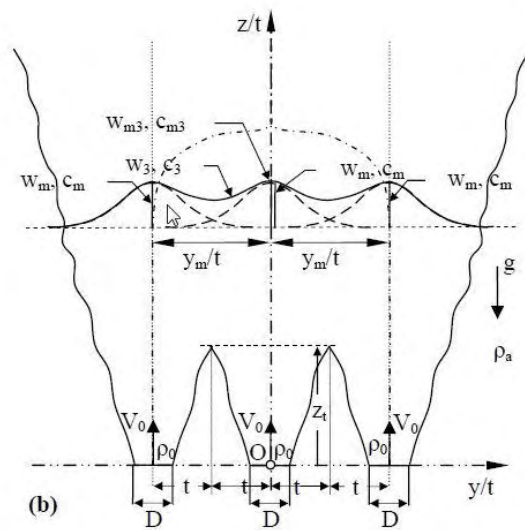
Προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα: α) τα δεδομένα που προκύπτουν μέσω της επαλληλίας για τις τροχιές και τις συνοριακές συνθήκες προσεγγίζουν ικανοποιητικά τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα, β)πέρα από κάποια καθορισμένα όρια(outer boundaries)(4 φορές η αξονική απόσταση μεταξύ των εσωτερικών ορίων δύο γειτονικών φλεβών), το φαινόμενο τείνει να προσεγγίζει την περίπτωση μονής φλέβας και όχι φαινόμενο πολλαπλών φλεβών που μελετάται εδώ, γ)καθορίζεται πλήρως η αξονική απόσταση που χρειάζεται για πλήρη μίξη των φλεβών. Η αριθμητική μέθοδος που χρησιμοποιείται προϋποθέτει μικρές αξονικές αποστάσεις μεταξύ των εξόδων των φλεβών, αλλιώς χάνεται η έννοια της γραμμικότητας και δεν ισχύει η αρχή της επαλληλίας που χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα.



Εικόνα 2.2: Σύγκριση κανονικοποιημένων προφίλ συγκέντρωσης δύο αλληλεπιδρώντων πλουμίων μεταξύ μετρήσεων και προβλεπόμενων αποτελεσμάτων



Εικόνα 2.3: Σύγκριση κύριων αξονικών λόγων ταχύτητας για δύο αλληλεπιδρώσες ανωστικές φλέβες σε σειρά: (α) για πλούμια (β) για ενδιάμεση κατάσταση (γ) για φλέβες.



Εικόνα 2.4: Διαμόρφωση της ροής σε μια σειρά τριών εκτοξευόμενων ανωστικών φλεβών σε ήρεμο αποδέκτη

Μελέτη κυκλικής φλέβας σε ευθύγραμμη ροή χαμηλής ορμής (Elmar Recker, et al., 2003)

Στο άρθρο μελετάται η συμπεριφορά της εκτοξευόμενης φλέβας για να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα για τη μελέτη καύσης του υδρογόνου. Μελετάται το φαινόμενο τρισδιάστατα και γίνεται εστίαση στο φυσικό φαινόμενο και στην κινηματική του εξέλιξη (γ' αυτό το λόγο ερευνώνται τα χαρακτηριστικά της μίξης, οι επακόλουθες στροβιλώδεις δομές και η επίδραση που έχουν).

Τα παραπάνω διερευνώνται μέσω της πραγματοποίησης πειραμάτων με τη μέθοδο Stereoscopic Particle Image Velocimetry (SPIV). Χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος γιατί το φαινόμενο μελετάται τρισδιάστατα. Πάρθηκαν εικόνες μέσω των πειραμάτων που αποτυπώνουν τα μεγέθη (π.χ πεδίο ταχύτητας) από την κορυφή, τις πλευρές και τον πυθμένα της περιοχής του πειράματος. Τα δεδομένα προήλθαν από τομές διάφορων επιπέδων. Η καταλληλότητα αυτών των δεδομένων αξιολογήθηκε στατιστικά.

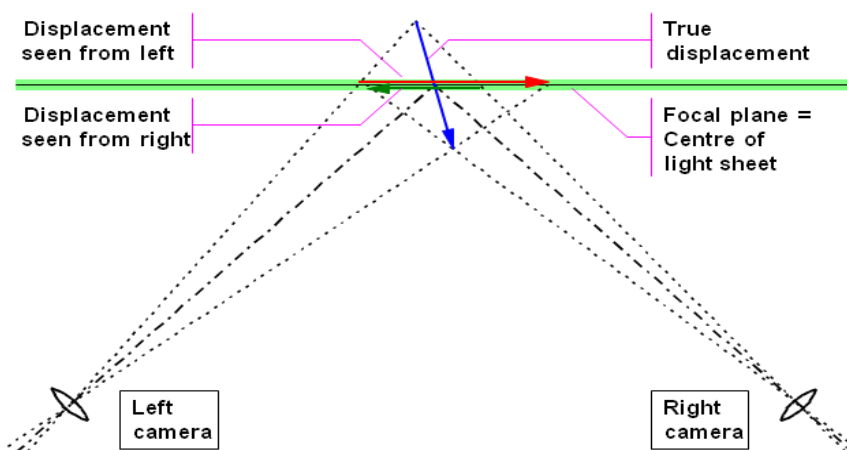
Η μέθοδος SPIV είναι μια μέθοδος τρισδιάστατης απεικόνισης του πεδίου ταχυτήτων. Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται της αρχές της στερεοσκοπίας (Εικόνα 2.5). Χρησιμοποιούνται δύο κάμερες αντί για μία που χρησιμοποιείται στην απλή μέθοδο PIV (Particle Image Velocimetry). Οι κάμερες αυτές εστιάζουν στην ίδια περιοχή υπό διαφορετική καθορισμένη γωνία με αποτέλεσμα να προκύπτουν

αποτελέσματα σε δύο επίπεδα (Εικόνα 2.6). Ο συνδυασμός αυτών των αποτελεσμάτων δίνει την τρισδιάστατη απεικόνιση.

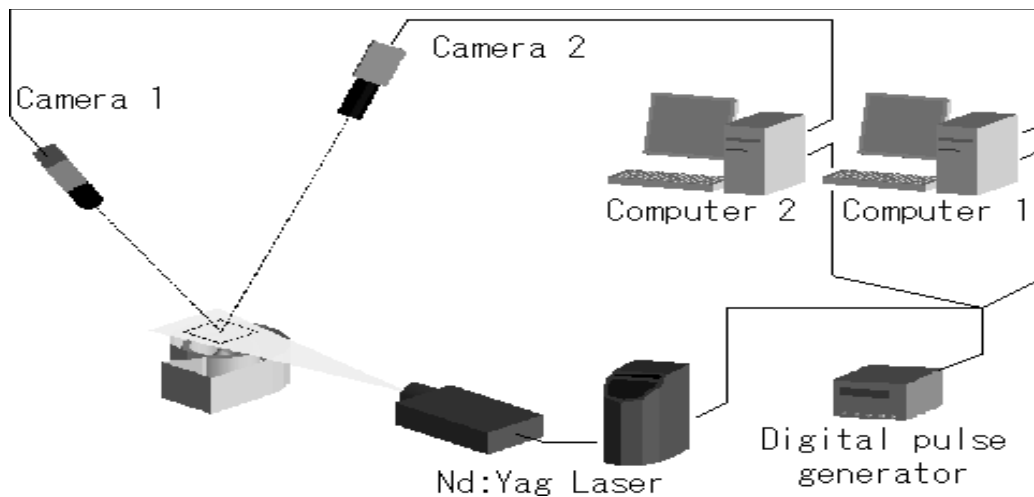
Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε στα πειράματα του παρόντος άρθρου μέσω κατάλληλης πειραματικής διάταξης. Χρησιμοποιήθηκε τούνελ ροής αέρα διατομής ορθογωνικής 45x45 cm και μήκους 1.2 m (Εικόνα 2.7). Διαμορφώθηκε διαφορά πυκνότητας μεταξύ της εκτοξευόμενης φλέβας και του αέρα με τη χρήση σταγόνων λαδιού. Το laser που χρησιμοποιήθηκε (Nd:YAG laser), με χρονική διαφορά μεταξύ των δύο παλμών 10 με 50 μ s, τοποθετήθηκε σε διάφορα μέρη (π.χ κορυφή, πλευρικά), όπως προεπιώθηκε για να παρθεί εικόνα σε διαφορετικά επίπεδα. Οι δύο κάμερες, ανάλυσης 1344x1024 pixels έδωσαν 250 ζεύγη φωτογραφιών για κάθε πείραμα. Επιπλέον, η φλέβα εξήχθη από αγωγό κυκλικό διαμέτρου 10 mm. Το προφίλ ταχύτητας της φλέβας έχει παραβολική μορφή (Εικόνα 2.8). Τέλος, για τον πυθμένα της φλέβας επιλέχτηκε plexiglass 10 mm πάχους, πλάτους 90 mm και μήκους 190 mm.

Στόχος των πειραμάτων ήταν, κυρίως η κατανόηση της κινηματικής του φαινομένου, γ'αυτό γίνεται εστίαση στα πεδία ταχυτήτων σε διάφορα επίπεδα. Από τις μετρήσεις λοιπόν σε αυτά τα επίπεδα εξάγονται συμπεράσματα για το πεδίο ταχυτήτων σε κάθε επίπεδο και συνεπώς για τη δομή της ροής, καθώς και για τους στροβιλισμούς στη ροή. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων, ενδεικτικά (Εικόνα 2.9, Εικόνα 2.10, Εικόνα 2.11, Εικόνα 2.12).

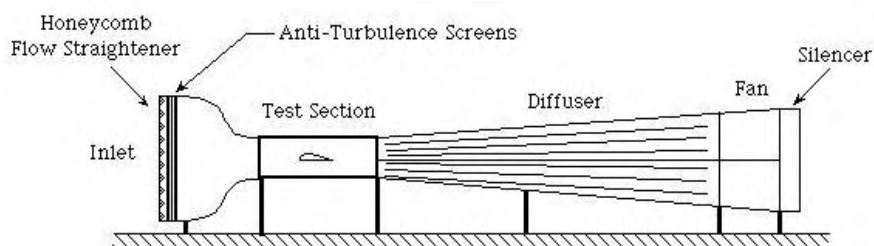
Από τη μελέτη προέκυψαν συμπεράσματα για τη δομή της ροής καθώς και την επίδραση της φλέβας πάνω σε αυτή. Κοντά στον πυθμένα η ταχύτητα της ροής μειώνεται και λιμνάζει όσο πλησιάζει τον άξονα της φλέβας. Η ροή φαίνεται να έχει ελικοειδή μορφή υπό την επίδραση του περιστρεφόμενου ζεύγους στροβίλων (Counter Rotating Vortex Pair-CVRP) και παρατηρείται εκτός από αυτό και ένα δευτερεύον ζεύγος πάνω στο πρωταρχικό. Σημειώνεται το γεγονός ότι η δομή CVRP έχει ανυψωτική δράση στη ροή και τη φλέβα και προκαλεί μεγάλη αστάθεια. Παρατηρούν μάλιστα ότι η ταλάντωση της φλέβας και η δομή CVRP οδηγούν σε δίνες τύπου γραμμών-δαχτυλίων (Ring Like Vortices-RLV).



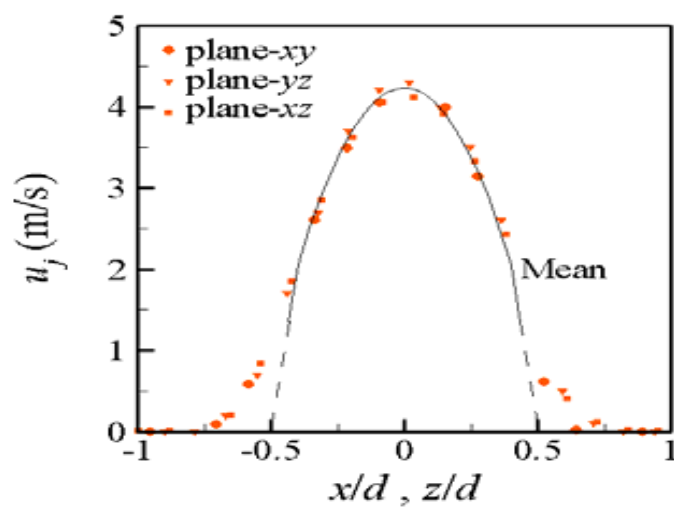
Εικόνα 2.5: Θεωρία στερεοσκοπίας



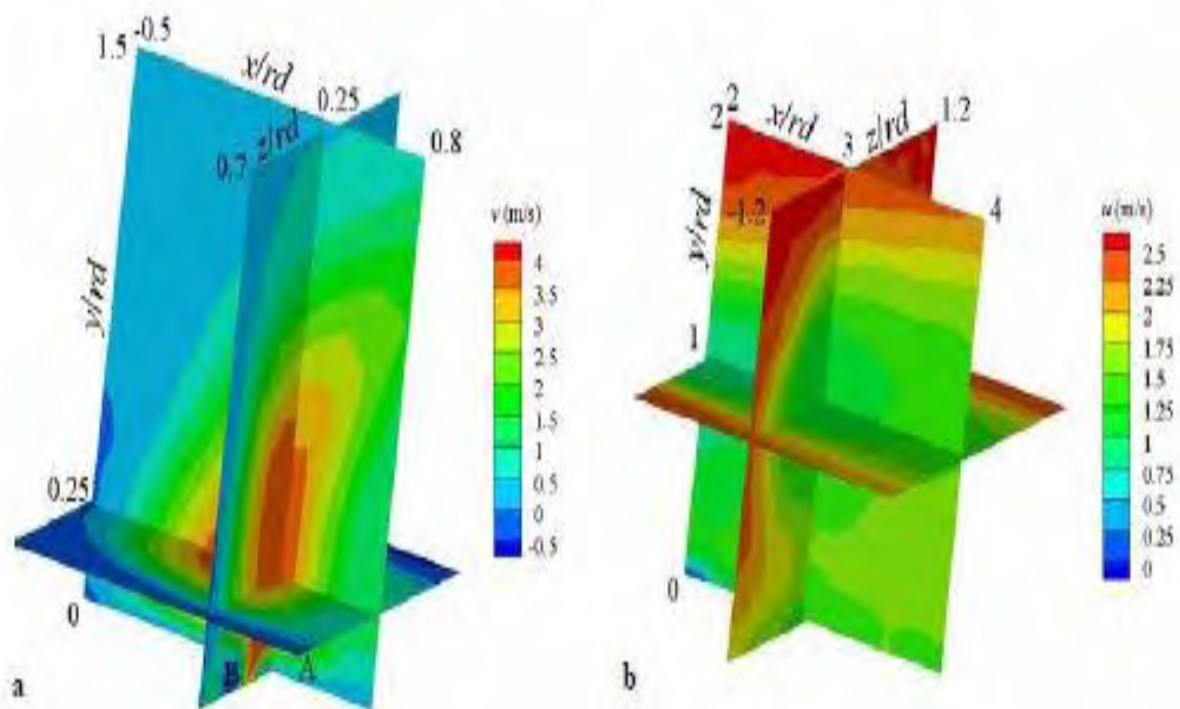
Εικόνα 2.6 Πειραματική διάταξη



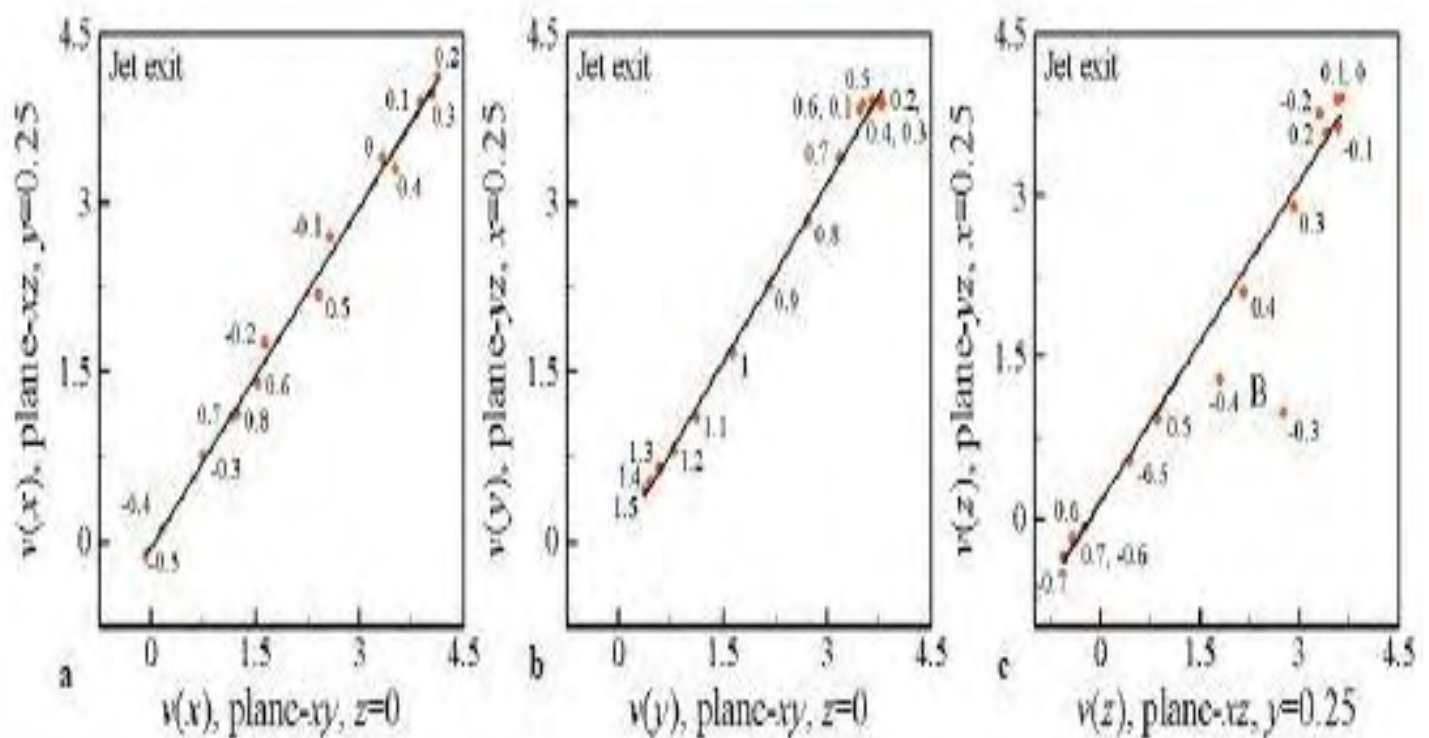
Εικόνα 2.7 Τούνελ ροής αέρα



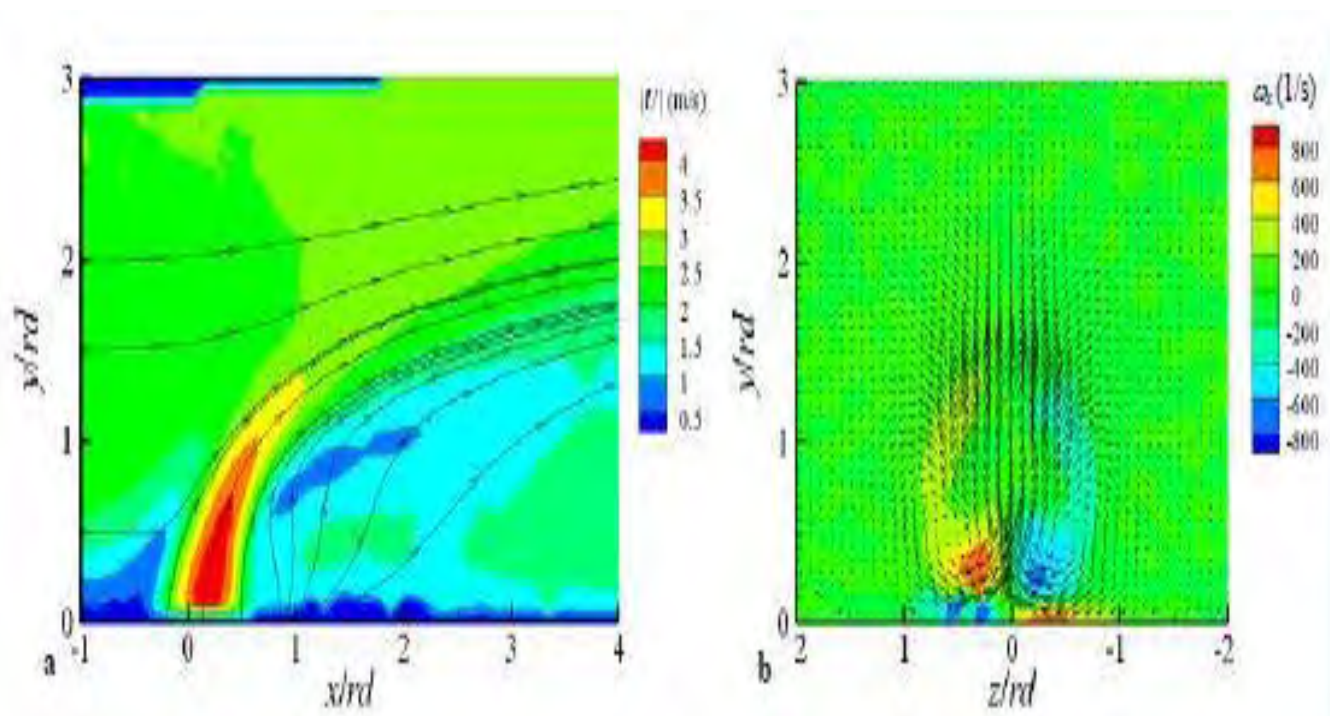
Εικόνα 2.8 Προφίλ ταχύτητας φλέβας



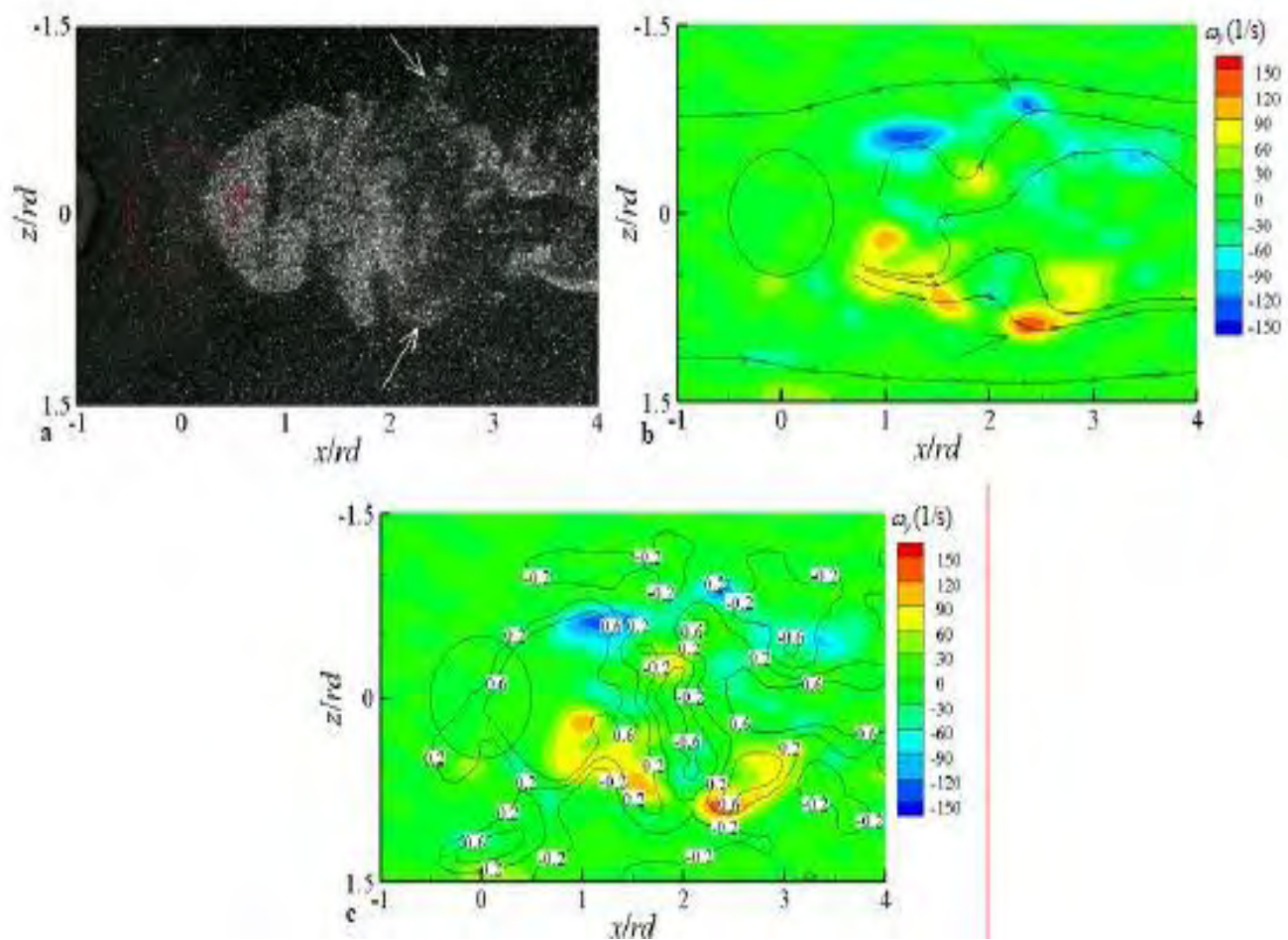
Εικόνα 2.9 (α)Κατακόρυφη ταχύτητα στην έξοδο της φλέβας (β)Οριζόντια ταχύτητα μακριά από την έξοδο



Εικόνα 2.10 Εξέλιξη της κατακόρυφης ταχύτητας στην έξοδο της φλέβας:(α)μεταξύ xz - xz επιπέδων (β)μεταξύ xy - yz επιπέδων (γ)μεταξύ xz - yz επιπέδων



Εικόνα 2.11 (α)Πλευρική άποψη της μέσης ευθύγραμμης ροής U και των γραμμών ροής $u-v$ για $z=0$ (β)Οπίσθια



Εικόνα 2.12 Κάτοψη για $y=1rd$ (α)Φωτογραφία όπως τραβήχτηκε στο πείραμα (β) y -στροβιλότητα και $u-v$ γραμμές ροής και (γ) y -στροβιλότητα και ισοϋψείς- v

Μετρήσεις των βαθμωτών πεδίων και των πεδίων ταχύτητας παραχωδών φλεβών σε ευθύγραμμη ροή με χαμηλό λόγο ταχύτητας (L. K. Su, et al., 2000)

Το άρθρο αυτό μελετά τα βαθμωτά πεδία και το πεδίο ταχύτητας εκτοξευόμενης φλέβας σε ευθύγραμμη ροή (στην προκειμένη περίπτωση ροή αέρα). Γίνεται σύγκριση των δύο εξής περιπτώσεων α)της περίπτωσης εκτοξευόμενης φλέβας που η φλέβα στη έξοδό της έχει επαφή με το τοίχωμα του αγωγού που περικλείει τη ροή και β)της περίπτωσης που η φλέβα εισέρχεται στο σώμα της ροής.

Για να μελετηθούν τα παραπάνω, γίνονται πειράματα σε σήραγγα ροής αέρα. Για την εύρεση του πεδίου ταχυτήτων χρησιμοποιείται η μέθοδος Particle Image Velocimetry (PIV) και για τα υπόλοιπα βαθμωτά μεγέθη η μέθοδος Planar Laser-Induced Fluorescence (PLIF). Τα πειράματα γίνονται και για τις δύο περιπτώσεις που εξετάζονται. Επίσης, πρέπει να διατυπωθεί εδώ ότι ενώ το φαινόμενο είναι τρισδιάστατο εξάγονται αποτελέσματα σε δύο διαστάσεις. Γι'αυτόν το λόγο χρησιμοποιούνται διάφορα επίπεδα.

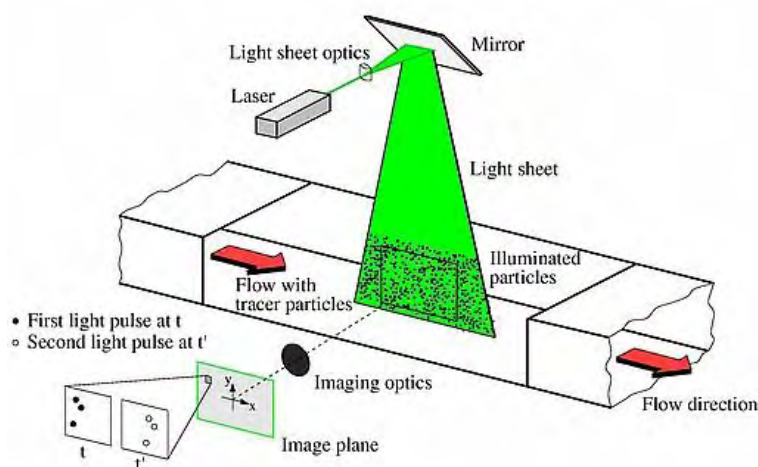
Όσον αφορά τη μέθοδο PIV και τη μέθοδο PLIF πρόκειται για δύο μεθόδους μοντελοποίησης της ροής. Σε κάποιες περιπτώσεις πραγματοποιούνται παράλληλα. Η μέθοδος PIV βοηθάει στην εύρεση του πεδίου ταχυτήτων. Μικρά σωματίδια που υπάρχουν ή προστίθενται στη ροή ακολουθούν τη ροή. Έτσι με τη βοήθεια του laser που τα φωτίζει και καθορίζοντας από πριν τη χρονική διαφορά των παλμών του laser με βοήθεια κάμερας απεικονίζονται οι θέσεις των σωματιδίων (Εικόνα 2.13). Με τη λήψη λοιπόν ζεύγους φωτογραφιών με ελάχιστη χρονική διαφορά που είναι προκαθορισμένη εξάγεται η στιγμιαία ταχύτητα και κατ' επέκταση το πεδίο ταχυτήτων. Η PLIF είναι μια μέθοδος που εκμεταλλεύεται τις αρχές του φθορισμού. Η διάταξη που χρειάζεται για να εφαρμοστεί μοιάζει με εκείνη της PIV (Εικόνα 2.14). Σ' αυτή την περίπτωση, ωστόσο υπάρχει και το φθορίζον μέσο, του οποίου η έκθεσή του στις ακτίνες του λέιζερ αναγκάζει τα ηλεκτρόνια της επιφάνειας να μεταπηδήσουν σε ενεργειακά ανώτερη στάθμη αλλά με την παύση της ακτινοβολίας πέφτουν πάλι στάθμη (Εικόνα 2.15). Αυτή η μετάπτωση στη χαμηλότερη στάθμη αποτυπώνεται από την κάμερα. Με την PLIF μετρώνται συνήθως η συγκέντρωση και η θερμοκρασία της ροής.

Όσον αφορά τις λεπτομέρειες της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση των πειραμάτων αυτές έχουν ως εξής. Χρησιμοποιήθηκε σήραγγα αέρα με μέγιστη ταχύτητα της ροής του αέρα 2.95m/s. Επίσης, η εσωτερική διάμετρος του κυκλικού σωλήνα εξαγωγής της φλέβας είναι 4.53mm και το μήκος του σωλήνα 320mm. Για την PIV μέθοδο η φλέβα εμποτίστηκε με σημειακά κομμάτια οξειδωμένου αλουμινίου και η ροή στη σύραγγα με ομίχλη νερού-γλυκερόλης, για καλύτερη αποτύπωση .Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε laser Nd:YAG

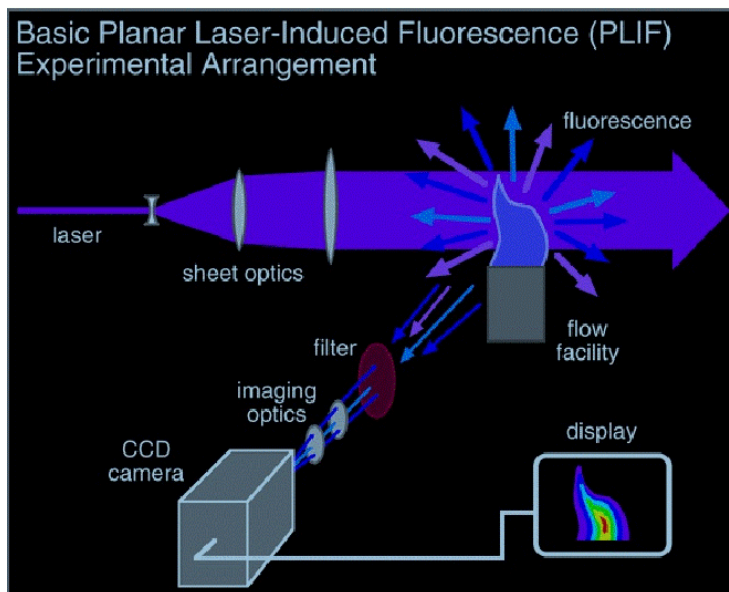
laser (χρονική διαφορά παλμών 8μs) και κάμερα ανάλυσης 1000x1000 pixels. Για τη μέθοδο PLIF και για τη περαίωση του φθορισμού η φλέβα εμποτίστηκε με ακετόνη (10% του όγκου της) και για την μέθοδο αυτή χρειάστηκε λέιζερ υπεριώδους ακτινοβολίας και κάμερα αργής λήψης ανάλυσης 512x512 pixels.

Η πειραματική διαδικασία, λοιπόν περιλαμβάνει μετρήσεις που η φλέβα έρχεται σε επαφή με το τοίχωμα του αγωγού και μετρήσεις που δεν έρχεται. Επίσης για να αναδειχθεί η τρισδιάστατη πλευρά του φαινομένου αποτελέσματα πάρθηκαν για το επίπεδο της φλέβας αλλά και για άλλα επίπεδα. Αποτελέσματα εξάγονται για το πεδίο ταχυτήτων, τη συγκέντρωση και τις τάσεις. Κάποια από αυτά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.16, Εικόνα 2.17, Εικόνα 2.18, Εικόνα 2.19 και Εικόνα 2.20.

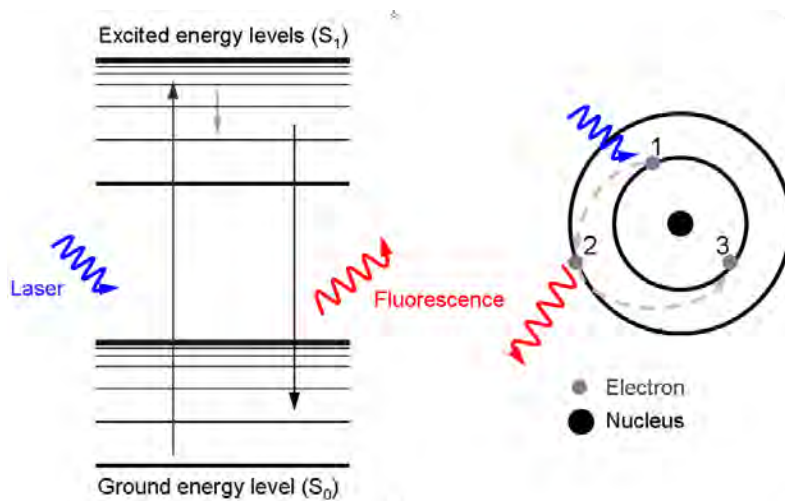
Τα μέσα βαθμωτά πεδία και το πεδίο ταχύτητας δείχνουν να μοιάζουν για τις δύο περιπτώσεις (περίπτωση επαφής με τον τοίχο της σύραγγας-περίπτωση μη επαφής). Δηλαδή, δείχνουν να έχουν ομοιότητα και στις καμπύλες με αυξητικό ρυθμό, όπως για παράδειγμα η εξέλιξη των τροχιών καθώς και στις καμπύλες με μειωτικό ρυθμό, όπως για παράδειγμα η καμπύλη συγκέντρωσης-απόστασης από το κεντρικό επίπεδο. Επίσης, παρατηρείται ότι οι διατμητικές τάσεις μεταξύ φλέβας και ροής αυξάνονται πιο μακριά από τη φλέβα σε σχέση με αυτές κοντά στην έξοδο της φλέβας. Συμπερασματικά, η γεωμετρία της ροής είναι λιγότερο σημαντική από τις συνθήκες στην έξοδο της φλέβας που καθορίζουν τις αρχικές συνθήκες.



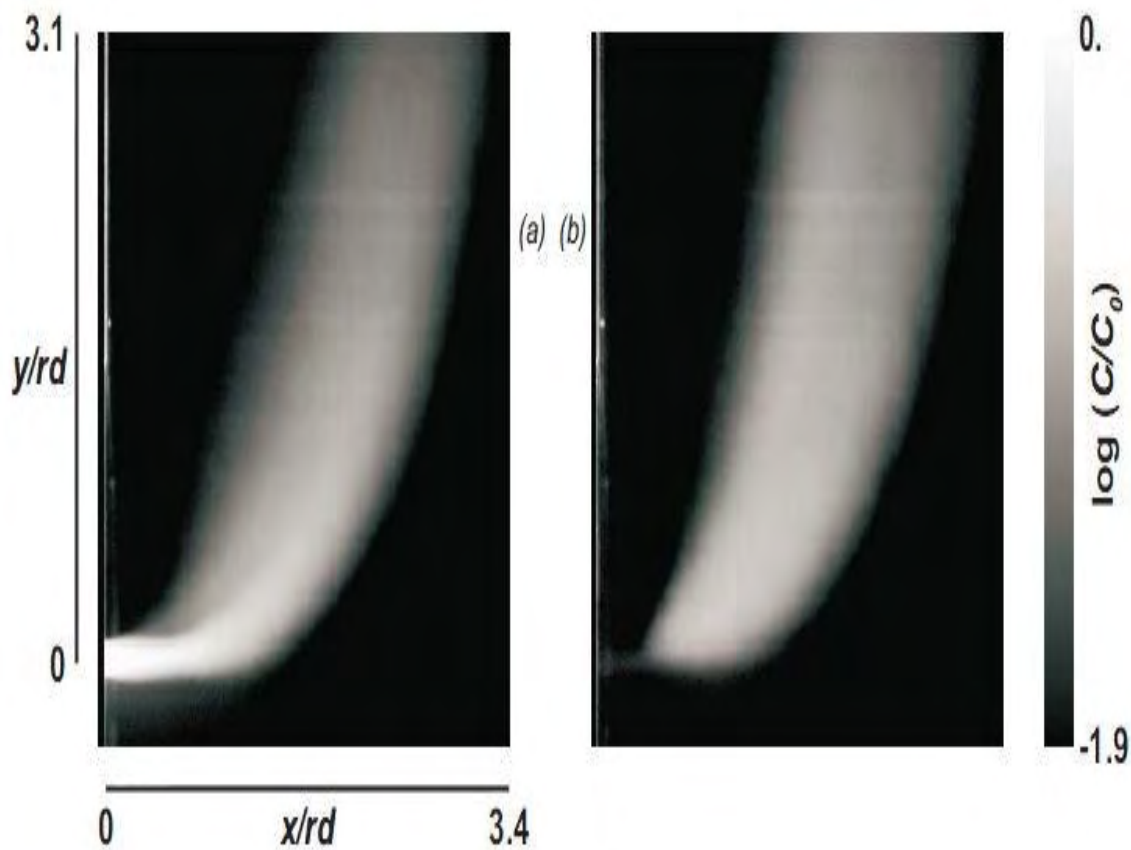
Εικόνα 2.13: Πειραματική διάταξη-μέθοδος PIV



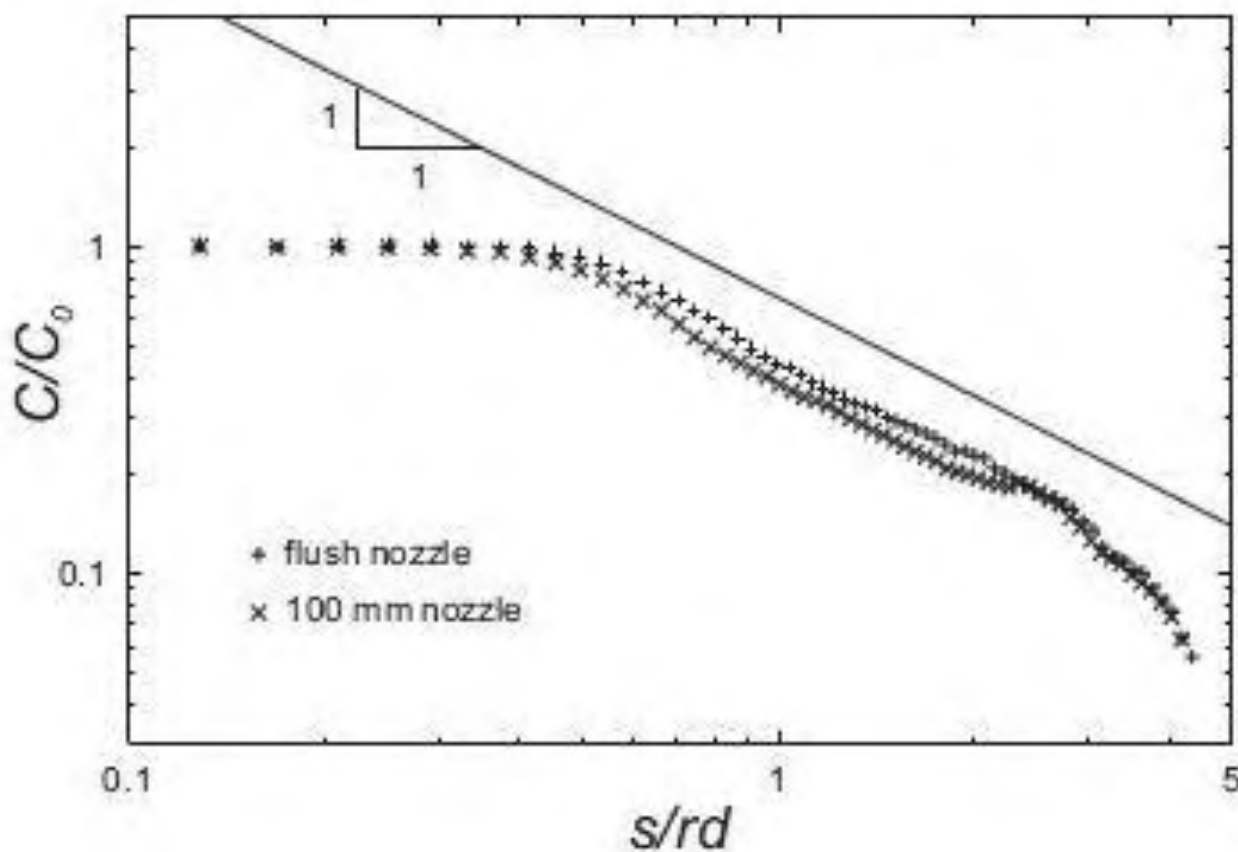
Εικόνα 2.14: Πειραματική διάταξη-Μέθοδος PLIF



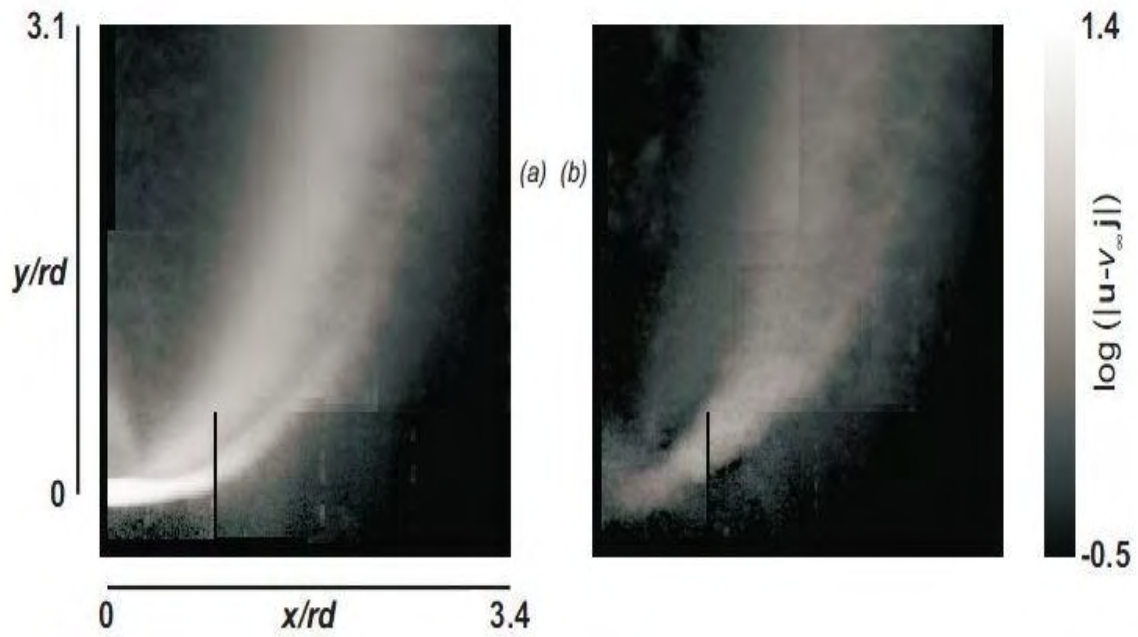
Εικόνα 2.15: Φαινόμενο φθορισμού



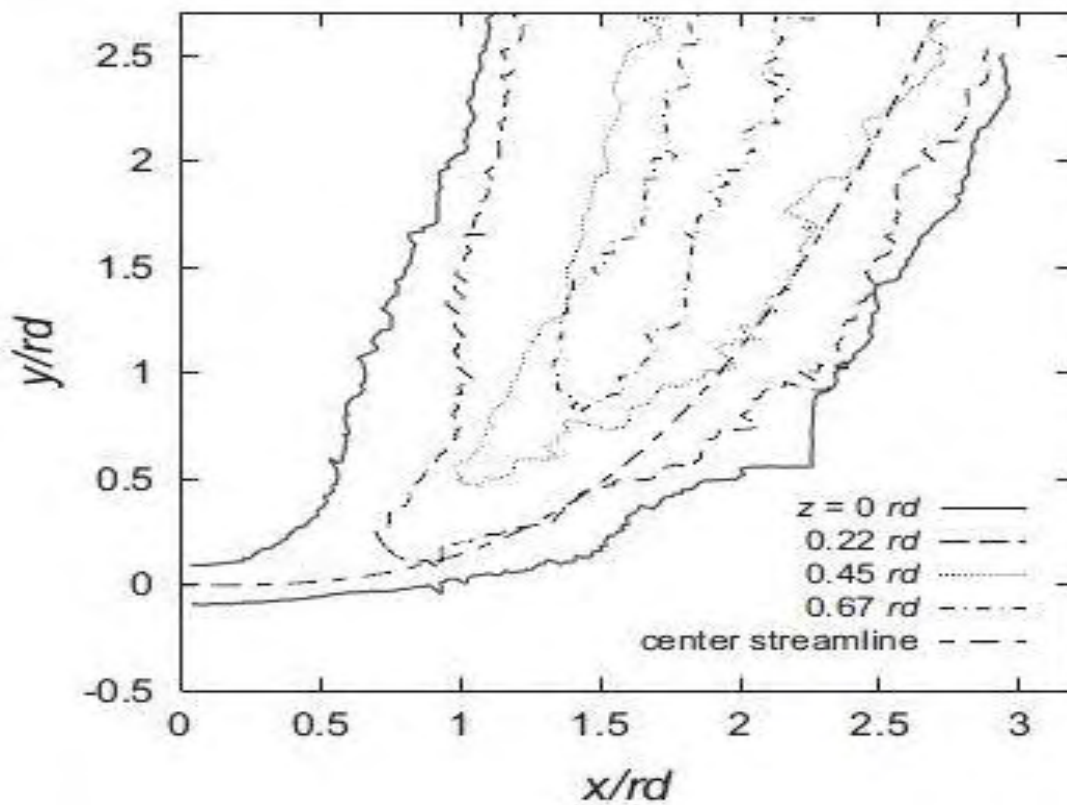
Εικόνα 2.16: Το μέσο βαθμωτό πεδίο ταχύτητας στην περίπτωση επαφής της φλέβας με το τοίχωμα του καναλιού (a)στο κεντρικό επίπεδο της φλέβας και (b)στο επίπεδο $z=0.22rd$



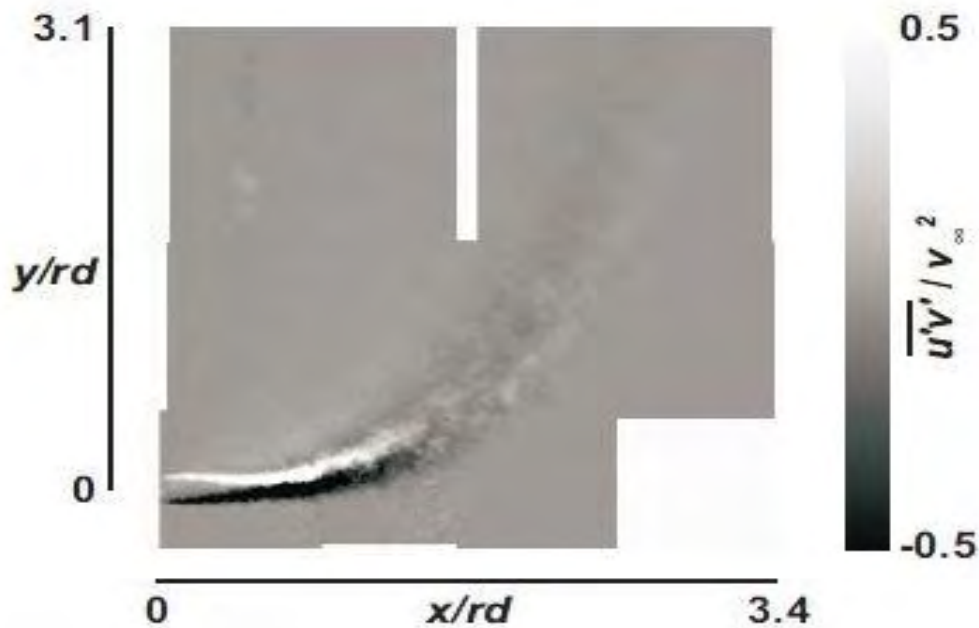
Εικόνα 2.17: Η μείωση της μέγιστης βαθμωτής συγκέντρωσης με την κατάντη απόσταση από το κεντρικό επίπεδο



Εικόνα 2.18: Μέσο πεδίο ταχύτητας για την περίπτωση που η φλέβα εισέρχεται στο σώμα της ροής χωρίς επαφή με το τοίχωμα-η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής αφαιρέθηκε από την κατακόρυφη συνιστώσα (α) το πεδίο στο κεντρικό επίπεδο της φλέβας (β) το πεδίο στο επίπεδο $z=0.22rd$



Εικόνα 2.19: Συνοριακές ισοψείς για το πεδίο της Εικόνας 6



Εικόνα 2.20: Οι διατμητικές τάσεις στη ροή ($u'v'$) στο κεντρικό επίπεδο στην περίπτωση επαφής της φλέβας με το τοίχωμα

Ταραχή κατακόρυφης ανωστικής φλέβας σε ευθύγραμμη ροή (M. Ben Meftah, et al.)

Το άρθρο ερευνά την επίδραση των εκτοξευόμενων ανωστικών φλεβών σε ευθύγραμμη ροή. Συγκεκριμένα, ερευνάται η επίδραση της αναταραχής στη ροή. Επίσης διερευνάται το πρόβλημα σε περίπτωση στροβιλισμού της ροής που επέρχεται όταν η τραχύτητα του πυθμένα ξεπεράσει κάποιο όριο. Όλα αυτά ερευνώνται μέσω πειραμάτων για τον υπολογισμό του πεδίου ταχυτήτων, την κατανομή των τάσεων και το πεδίο των θερμοκρασιών.

Για να γίνουν τα πειράματα χρησιμοποιείται πειραματική διάταξη (Εικόνα 2.21) αποτελούμενη από δύο συστήματα που συνδέονται με ορθογώνιο, ατσαλένιο ανοιχτό κανάλι (Εικόνα 2.22). Το ένα σύστημα αποτελείται από αντλίες που κρατούν τη ροή αλλά και τη θερμοκρασία του νερού του καναλιού σταθερή. Το άλλο ρυθμίζει την εκτόξευση των ανωστικών φλεβών αλλά και τη θερμοκρασία τους ώστε να έχουμε την επιθυμητή διαφορά θερμοκρασίας σε σχέση με το ρευστό του καναλιού (ώστε να έχουμε διαφορά πυκνότητας για εκτοξευόμενες ανωστικές φλέβες-buoyant jets) (Εικόνα 2.23). Τα αποτελέσματα εξάγονται με τη βοήθεια Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) (Εικόνα 2.24-Εικόνα 2.25) και αναλύονται με τη βοήθεια εξειδικευμένου λογισμικού (λογισμικό ExploreV). Το ADV είναι σχεδιασμένο να καταγράφει στιγμιαίες ταχύτητες σημείων με σχετικά υψηλή

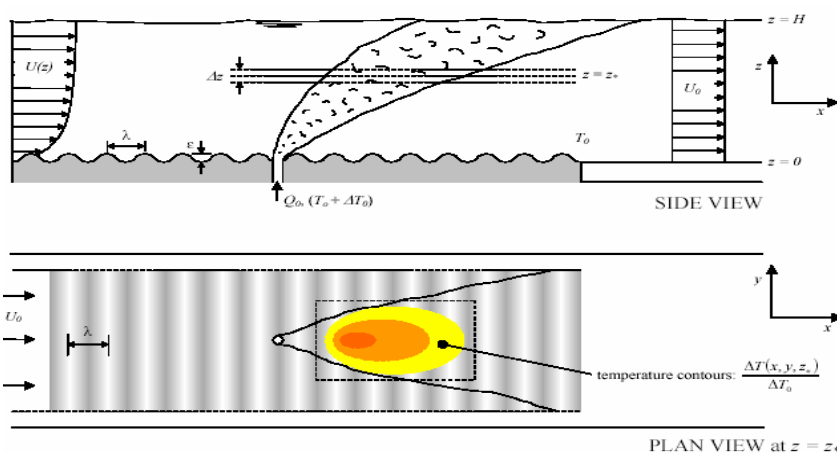
συχνότητα. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο Doppler και στα ηχητικά κύματα.

Πειραματική διάταξη-Λεπτομέρειες:

Το κανάλι της ροής ήταν από ατσάλι μήκους 15 m, πλάτους 4 m και βάθους 0.4 m. Η ελεύθερη επιφάνεια του νερού διατηρήθηκε σταθερή στα 26 cm σε όλα τα πειράματα. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε ειδική επιφάνεια πυθμένα με κυματοειδή μορφή με συγκεκριμένο λ και ε για τον σκοπό της μελέτης, όπου, λ το μήκος κύματος του κυματοειδούς μορφής πυθμένα και ε το εύρος του κύματος. Επίσης, το άλλο σύστημα παραγωγής της φλέβας που την θέρμινε κιάλας διοχέτευε με αντλία τη φλέβα στη ροή μέσω ατσαλένιου σωλήνα κυκλικού διαμέτρου 5mm.

Όσον αφορά την πειραματική διαδικασία εκπονήθηκαν 12 πειράματα. Οι σταθερές παράμετροι ήταν η διάμετρος εξόδου της φλέβας D , η παροχή της ευθύγραμμης ροής H_a και το βάθος της ροής. Σε κάθε πείραμα οι παράμετροι που άλλαζαν ήταν η παροχή της φλέβας, η θερμοκρασία της φλέβας, η θερμοκρασία της ροής, το μήκος κύματος λ και το εύρος του κύματος ε . Ενδεικτικά δίνονται τα πειραματικά δεδομένα (Εικόνα 2.26). Επίσης δίνονται ενδεικτικά 3 εικόνες από τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το πεδίο ταχυτήτων, την κατανομή των τάσεων και το πεδίο θερμοκρασιών (Εικόνα 2.27, Εικόνα 2.28, Εικόνα 2.29)

Τα συμπεράσματα που βγήκαν πάνω στην ταχύτητα και την πυκνότητα των φλεβών ήταν τα εξής. Τα διανύσματα της ταχύτητας της ροής γύρω από την φλέβα δείχνουν μια ταχεία και ταραχώδη συμπεριφορά. Από την άλλη 1 cm με 2 cm πριν από την επιφάνεια η κατάσταση δείχνει να έχει εξομαλυνθεί και τα διανύσματα της ταχύτητας παρουσιάζουν ομοιομορφία και έχουν κοινή κατεύθυνση (Εικόνα 7). Αναδείχθηκε επίσης ότι η ανωστική ικανότητα των φλεβών δεν είναι θέμα μόνο της διαφοράς πυκνότητας της φλέβας και του περιβάλλοντος ρευστού που ρέει. Σχετίζεται και με την τιμή παραμέτρων επιφάνειας του πυθμένα όπως εδώ αναφέρονται για παράδειγμα λ (μήκος κύματος) και ε (εύρος κύματος).



Εικόνα 2.21: Πειραματική διάταξη



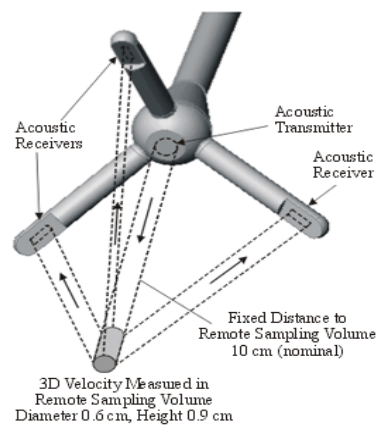
Εικόνα 2.22:Αγωγός ροής



Εικόνα 2.23:Σύστημα δημιουργίας θερμαινόμενης φλέβας



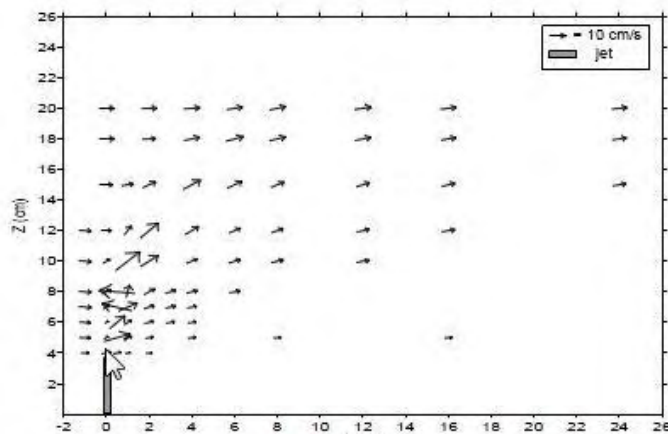
Εικόνα 2.24:Acoustic Doppler
Velocimeter



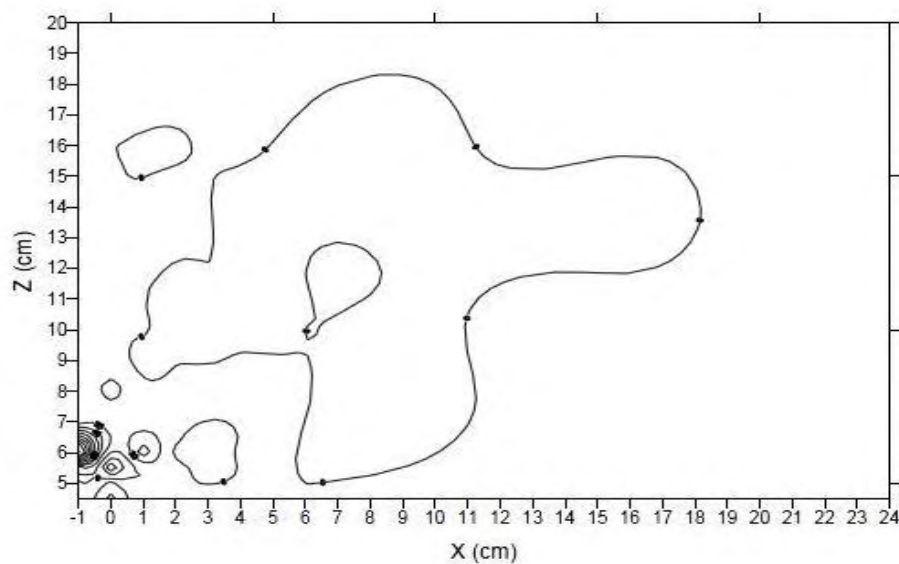
Εικόνα 2.25:Δομή ADV

Test	Q_0	H_a	Q_a	T_0	T_a	λ	ε
	l/s	m	l/s	°C	°C	mm	mm
T1	0.3	26	88	52	26	0	0
T2	0.3	26	88	62	27	0	0
T3	0.4	26	88	62	26	0	0
T4	0.4	26	88	52	27	0	0
T5	0.4	26	88	52	27	76	18
T6	0.4	26	88	61	29	76	18
T7	0.3	26	88	53	28	76	18
T8	0.3	26	88	60	25	76	18
T9	0.3	26	88	48	21	146	48
T10	0.3	26	88	54	18	146	48
T11	0.4	26	88	43	17	146	48
T12	0.4	26	88	53	19	146	48

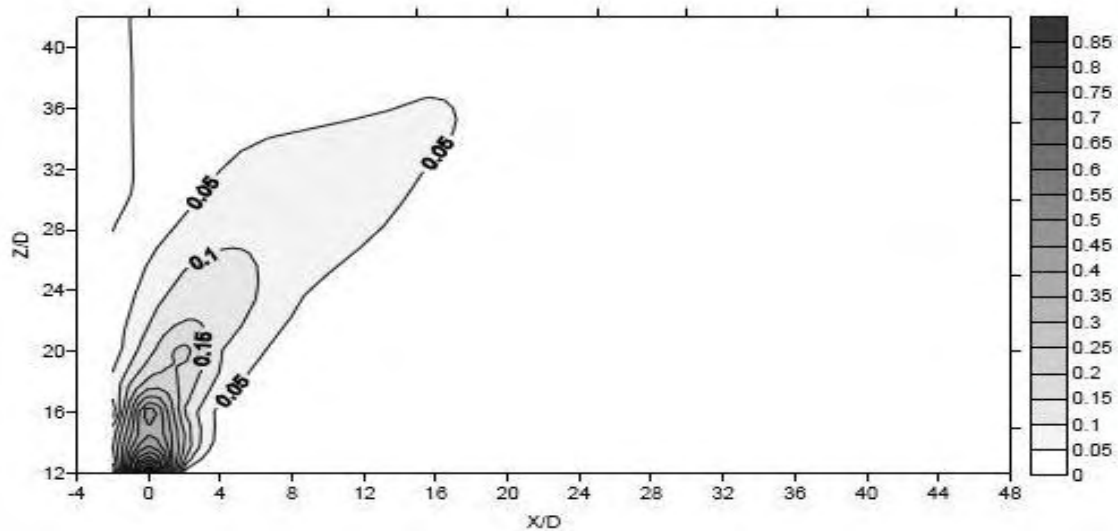
Εικόνα 2.26: Πειραματικές συνθήκες



Εικόνα 2.27: Πεδίο ταχυτήτων κοντά στη φλέβα. Πλευρική άποψη ($Y=0$)-Πείραμα T1



Εικόνα 2.28: Κατανομή τάσεων u' (Πλευρική άποψη $Y=0$)-Πείραμα T1



Εικόνα 2.29: Διαμήκης κατανομή θερμοκρασιών για το πείραμα T2

Τυρβώδης διάχυση διδιάστατης κατακόρυφης φλέβας σε ήρεμο, γραμμικά στρωματωμένο αποδέκτη (Παπανικολάου Π. , 2009)

Η παρούσα έρευνα ασχολείται με το φαινόμενο της εκτόξευσης απλής ή ανωστικής φλέβας σε ήρεμο γραμμικά στρωματοποιημένο αποδέκτη (Εικόνα 2.30). Ειδικότερα, το άρθρο επιδιώκει να δώσει απαντήσεις για τα αδιάστατα ύψη αναρρίχησης, τα αδιάστατα (μέσα) ύψη διάχυσης μέσα στο πλαίσιο, ενός μονοδιάστατου ομοιώματος.

Για τη διερεύνηση, λοιπόν αυτών θεμάτων χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι, αλλά και πειράματα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τις αριθμητικές μεθόδους χρησιμοποιούνται παραδοχές για τη δισδιάστατη φλέβα, όπως είναι: η υπόθεση Boussinesq, η αμελητέα επίδραση των τοιχωμάτων στη φλέβα (συνεχίζει να είναι δισδιάστατη), η θεώρηση της φλέβας σαν γραμμική πηγή ορμής και η θεώρηση θετικής ή μηδενικής άνωσης της φλέβας.

Όσον αφορά τα πειράματα, χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνησή τους διάφορες διατάξεις, όπως μηχανισμός δημιουργίας της φλέβας (Εικόνα 2.31), δεξαμενή διάχυσης (Εικόνα 2.32), εγκατάσταση δημιουργίας γραμμικής πυκνομετρικής στρωμάτωσης και εγκατάσταση τροφοδοσίας της φλέβας. Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε τα εξής:

- i. το γέμισμα της δεξαμενής
- ii. τη μέτρηση της πυκνότητας καθ' ύψος
- iii. την απελευθέρωση της παροχής του χρωματισμένου υγρού της φλέβας
- iv. τη λήψη φωτογραφιών για την αποτύπωση της διάχυσης της φλέβας

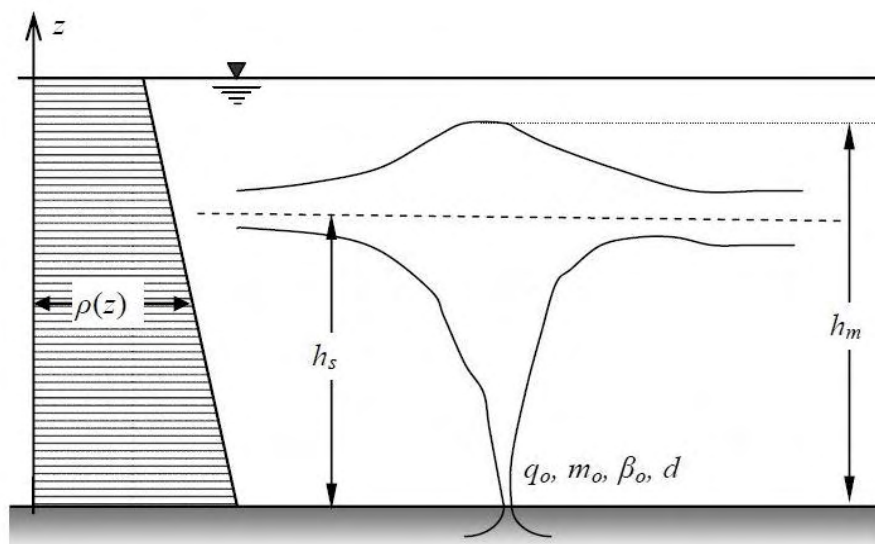
Εκπονήθηκαν έντεκα πειράματα. Σε κάθε πείραμα οι παράμετροι που άλλαζαν ήταν οι εξής:

- i. το πλάτος της σχισμής εξόδου της φλέβας D
- ii. Η αρχική, ανά μονάδα πλάτους, ογκομετρική παροχή της φλέβας q_0
- iii. ρ_0 η πυκνότητα του περιβάλλοντος ρευστού στο επίπεδο εξόδου της φλέβας
- iv. ρ_2 η πυκνότητα του ρευστού της φλέβας

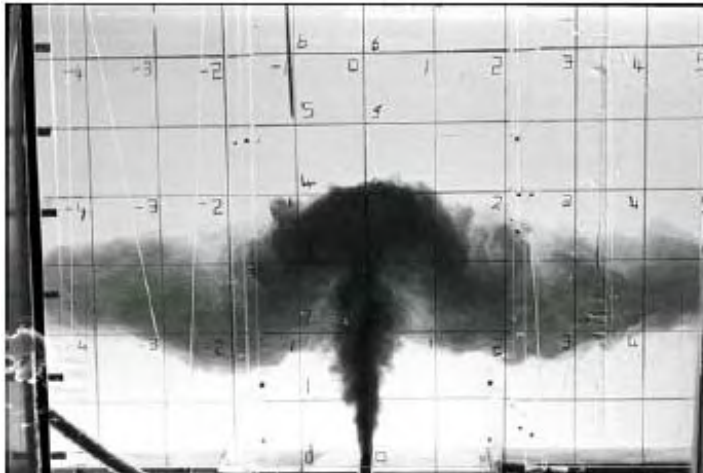
Αυτές οι τιμές καθόρισαν και τις τιμές της ειδικής (ανά μονάδα μάζας του ρευστού που ρέει) ορμής m_0 , της ειδικής άνωσης β_0 , της κλίσης της γραμμικής πυκνομετρικής στρωμάτωσης του αποδέκτη dp/dz και της ανωστικής συχνότητας N που χαρακτηρίζει την πυκνομετρική στρωμάτωση του ήρεμου αποδέκτη. Παρατίθενται, ενδεικτικά τα πειραματικά δεδομένα των 12 πειραμάτων (Εικόνα 2.33)

Τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων εμφανίζονται στην Εικόνα 2.34. Εκεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων σε αδιάστατη μορφή. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα αδιαστατοποιημένα ύψη μέγιστης αναρρίχησης και διάχυσης h_m/L και h_s/L αντίστοιχα, σαν συνάρτηση του αδιάστατου μήκους $m_0 N/\beta_0$

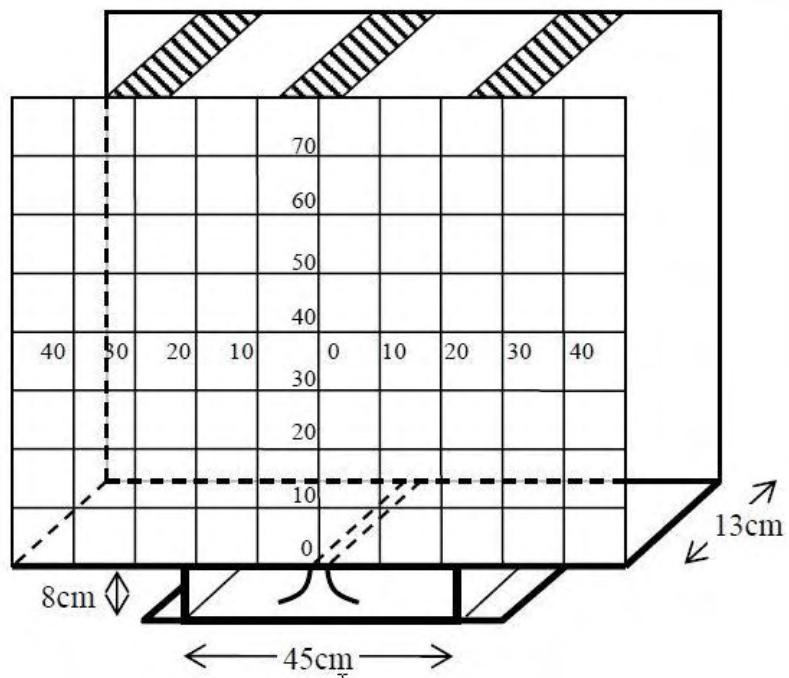
Έτσι λοιπόν με βάση τα πειράματα και τα διάφορα αριθμητικά μοντέλα (συγκρίθηκαν και με προγενέστερα μοντέλα) προέκυψαν διάφορα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίστηκε η αδιάστατη παράμετρος και η τιμή της που καθορίζει τη συμπεριφορά της φλέβας ως απλή, πλούμιο ή ενδιαμέση. Επίσης, ενδεικτικά αναφέρονται οι τιμές για τα αδιάστατα ύψη αναρρίχησης για απλές φλέβες 2.70 και για πλούμια 3.50 και για τα (μέσα) αδιάστατα ύψη διάχυσης για απλές φλέβες 1.30 και για πλούμια 2.00.



Εικόνα 2.30: Διδιάστατη ανωστική φλέβα σε γραμμικά στρωματωμένο αποδέκτη



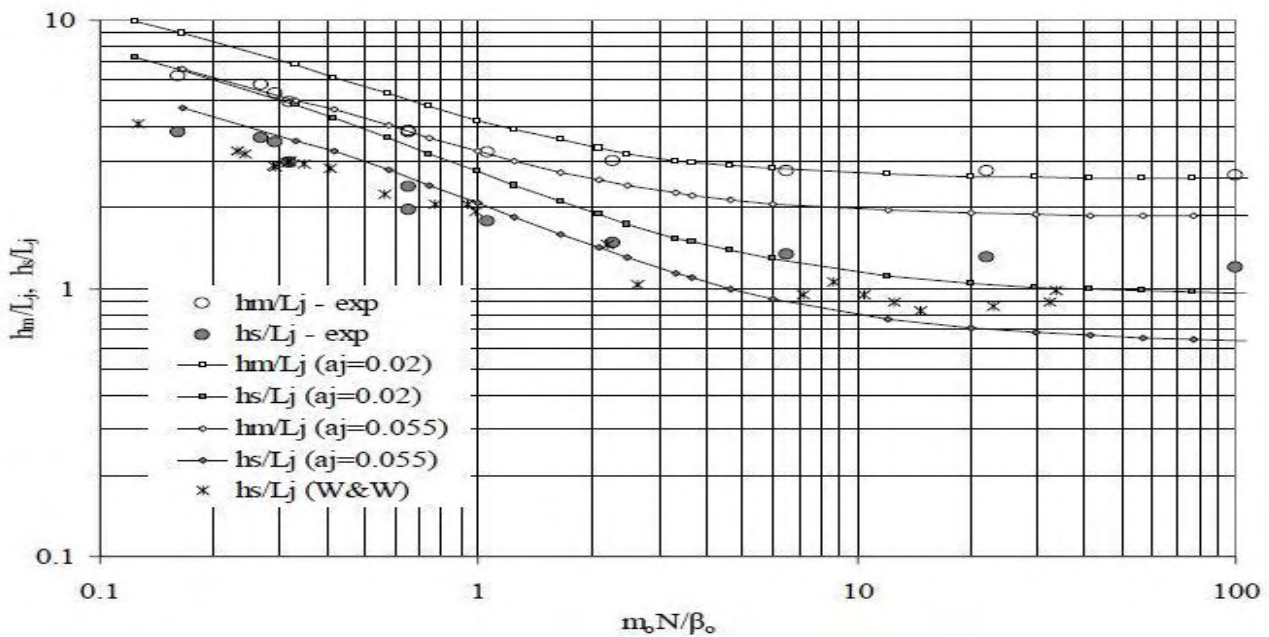
Εικόνα 2.31: Δεξαμενή διάχυσης της φλέβας



Εικόνα 2.32: Συσκευή δημιουργίας της φλέβας

RUN	D	q_0	u_0	ρ_0	ρ_2	$d\rho/dz$	m_0	β_0	N^2	h_m	h_s
A/A	cm	cm^2/s	cm/s	gr/lt	gr/lt	gr/lt/cm^3	cm^3/s^2	cm^3/s^3	s^{-2}	cm	cm
1A	0.50	8.08	16.16	1010.0	1010.138	-0.1163	130.57	1.08	0.1129	28.50	12.95
1B	0.50	8.08	16.16	1001.5	1009.747	-0.1123	130.57	64.74	0.1091	40.50	20.96
2A	0.50	8.00	16.00	1005.0	1010.104	-0.1113	128.00	39.66	0.1081	34.44	19.15
2B	0.50	8.04	16.08	1002.0	1010.182	-0.1116	129.28	63.88	0.1084	41.20	25.55
3A	0.25	7.91	31.64	1009.8	1010.820	-0.1160	250.27	7.83	0.1126	35.36	17.00
3B	0.25	8.08	32.32	1005.4	1010.109	-0.1084	261.15	36.95	0.1053	40.38	19.91
4A	1.00	9.08	9.08	1000.8	1010.027	-0.1030	82.45	81.37	0.1000	46.38	27.83
4B	1.00	5.38	5.38	1003.5	1009.974	-0.1007	28.94	33.83	0.0978	38.75	24.43
5A	1.525	7.15	4.69	1000.5	1009.664	-0.0910	33.52	63.66	0.0884	42.72	26.33
5B	1.525	7.15	4.69	1005.0	1009.670	-0.0822	33.52	32.44	0.0799	39.50	26.14
6A	0.50	10.54	21.08	1008.5	1009.440	-0.0898	222.18	9.63	0.0873	37.00	18.00

Εικόνα 2.33: Πειραματικά δεδομένα



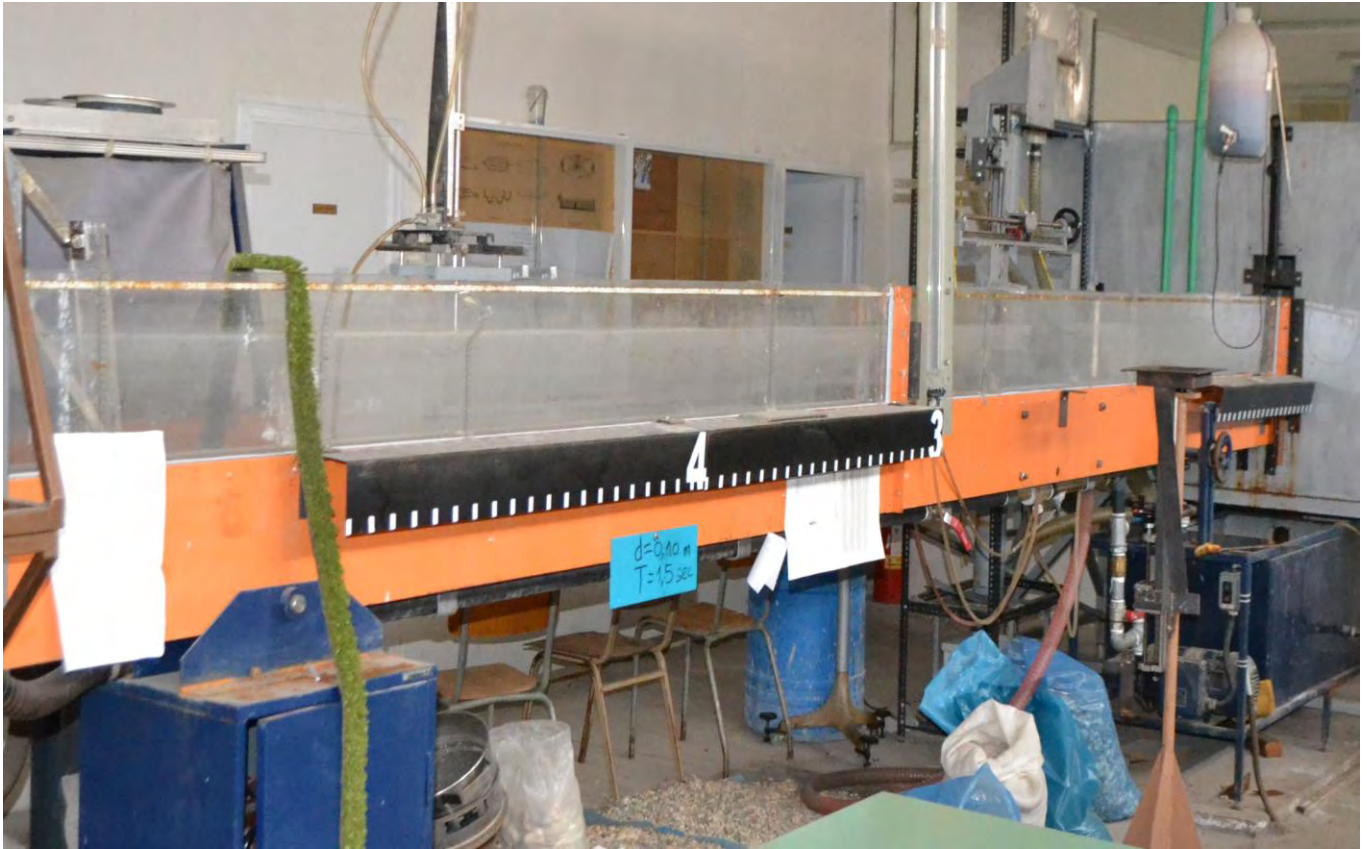
Εικόνα 2.34: Αδιαστατοποιημένο μέγιστο ύψος αναρρίχησης (κύκλοι) και ύψος διάχυσης (σκούροι κύκλοι, αστερίσκοι W&W, 1984).

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υδραυλικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης. Το κύριο μέρος της πειραματικής διάταξης είναι το ευθύγραμμο κανάλι. Το κανάλι έχει μήκος 6,5m, ορθογωνική διατομή πλάτους 0.75m και ύψους 0.25m. Για την καλύτερη παρατήρηση τα τοιχώματα του αγωγού είναι διαφανή από plexiglass (Εικόνα 3.1).

Το κανάλι τροφοδοτείται από μεταλλική δεξαμενή με αντλία μέσω πλαστικού σωλήνα. Στη δεξαμενή έχει διαλυθεί συγκεκριμένη ποσότητα αλατιού. Η αλατότητα του νερού επιτυγχάνεται με την ανάδευση του νερού με την υπάρχουσα αντλία μέσω αγωγού by pass. Κατόπιν πληρούται το κανάλι με αλμυρό νερό καθορισμένης αλατότητας μέσω της αντλίας και του καταθλιπτικού αγωγού. Στην έξοδο του καναλιού υπάρχει χειροκίνητο θυρόφραγμα που επιτρέπει τον έλεγχο του βάθους ροής του νερού εντός του καναλιού. Τα νερά από το κανάλι, αν ανοιχτεί το θυρόφραγμα, μπορούν να παροχετευτούν σε δεξαμενή κατάντη του καναλιού. Από αυτή τη δεξαμενή το νερό επιστρέφει στην αρχική δεξαμενή και έτσι λειτουργεί ένα κλειστό κύκλωμα μεταφοράς του νερού. Επίσης σε δύο σημεία γειτονικά του αγωγού που μεταφέρει το νερό στο κανάλι υπάρχουν δύο οπές όπου καταλήγουν δύο κυκλικοί αγωγοί. Αυτοί οι αγωγοί συνδέονται με μανόμετρο και η διαφορά στάθμης στο μανόμετρο καθορίζει την ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής. Όταν ολοκληρώνονται οι μετρήσεις με το μανόμετρο μπορούν να κλείσουν οι αγωγοί με σφικτήρες, ώστε να μην επηρεάζουν τη ροή. (Εικόνα 3.2 και Εικόνα 3.3).

Όσο αφορά το σύστημα δημιουργίας της εκτοξευόμενης φλέβας αυτό αποτελείται από δεξαμενή που έχει σταθερή στάθμη και τροφοδοτείται συνεχώς με νερό μέσω της αντλίας από βαρέλι όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1. Η δεξαμενή αποτελείται από δύο ορθογωνικές δεξαμενές, η μία μέσα στην άλλη. Όταν γεμίσει η εσωτερική δεξαμενή το νερό υπερχειλίζει και ρέει στην εξωτερική δεξαμενή. Με τον τρόπο αυτόν διατηρείται σταθερή η ελεύθερη επιφάνεια του νερού ανεξάρτητα από την ποσότητα του νερού που εισέρχεται σε αυτήν (εσωτερική δεξαμενή) μέσω της αντλίας. Μέσω μοχλοβραχίονα ήταν δυνατό να ρυθμίζεται το ύψος της ελεύθερης στάθμης του νερού της δεξαμενής από την ελεύθερη στάθμη του νερού μέσα στο κανάλι. Υπάρχει δε αγωγός διαφανής ελαστικός που συνδέεται με μανόμετρο που καθορίζει το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας της στάθμης του φρέσκου νερού σε σχέση με την στάθμη του αλμυρού νερού στο κανάλι, ώστε να παραμένει σταθερό. Έτσι καθορίζοντας την διαφορά στάθμης τους, καθορίζεται η σταθερή αρχική ταχύτητα εκτόξευσης της πηγής – φλέβας. (Εικόνα 3.4 και Εικόνα 3).



Εικόνα 3.1 Σύστημα δημιουργίας ευθύγραμμης ροής στο κανάλι

Στην Εικόνα 3.1 απεικονίζεται το σύστημα δημιουργίας της ευθύγραμμης ροής. Πρόκειται για ένα κλειστό κύκλωμα που αποτελείται από τρία βασικά μέρη όπως φαίνονται και στην εικόνα: α) από την ορθογωνική δεξαμενή απ' όπου ξεκινά το νερό αρχικά, β) το ορθογωνικό κανάλι, που αποτελεί και την περιοχή πραγματοποίησης των πειραμάτων και γ) την ορθογωνική δεξαμενή όπου μεταφέρονται τα νερά από το κανάλι και από εκεί επιστρέφουν στην αρχική δεξαμενή. Εκτός από αυτές τις βασικές διατάξεις παρατηρούνται και άλλα μέρη του κλειστού κυκλώματος, όπως είναι οι σωληνώσεις, οι βάνες που ελέγχουν τη ροή του νερού αλλά και η αντλία που πραγματοποιεί όλη αυτή τη μεταφορά. Τέλος, υπάρχει και το χειροκίνητο θυρόφραγμα, το οποίο, αναλόγως με το πώς θα ρυθμιστεί, ελέγχει τη ροή του νερού από το κανάλι στη δεξαμενή απόθεσης. Στην Εικόνα 3.2 απεικονίζονται χαρακτηριστικές λεπτομέρειες του κλειστού αυτού κυκλώματος.



Εικόνα 3.2 Χαρακτηριστικές λεπτομέρειες συστήματος δημιουργίας ευθύγραμμης ροής



Εικόνα 3.3 Σύστημα δημιουργίας της φλέβας

Στην Εικόνα 3.3 απεικονίζεται το σύστημα δημιουργίας της φλέβας. Το νερό από το γεμάτο βαρέλι, με τη βοήθεια αντλίας μεταφέρεται στην πλαστική δεξαμενή. Η πλαστική δεξαμενή, όπως φαίνεται και στην εικόνα έχει ρυθμιζόμενο ύψος μέσω χειροκίνητου μηχανισμού. Το νερό από τη δεξαμενή έχει δύο πιθανούς διεξόδους. Επιστρέφει μέσω πλαστικού σωλήνα πίσω στο βαρέλι ή μέσω άλλου σωλήνα εισέρχεται στη ροή. Βέβαια, η ροή προς τον αγωγό μπορεί να διακοπεί με τη βοήθεια σφιγκτήρα. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε κλειστό κύκλωμα ροής του νερού. Στην Εικόνα 3.4 φαίνονται χαρακτηριστικές λεπτομέρειες του συστήματος δημιουργίας της φλέβας.



Εικόνα 3.4 Χαρακτηριστικές λεπτομέρειες συστήματος δημιουργίας της φλέβας

4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

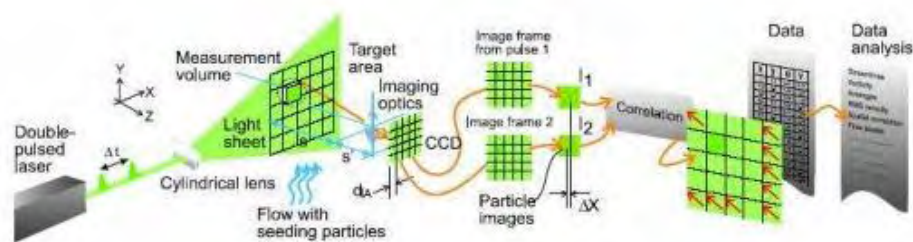
4.1 Μέθοδος ταχυμετρικής απεικόνισης σωματιδίων (Particle Image Velocimetry-P.I.V)

Η μέθοδος P.I.V είναι μια, μη παρεμβαλλόμενη στην ροή μέθοδος, η οποία έχει την δυνατότητα ταυτόχρονης μέτρησης του διανύσματος της ταχύτητας σε συγκεκριμένο διδιάστατο ροϊκό πεδίο. Παράλληλα προκύπτει και η οπτικοποίηση της ροής. Στην μέθοδο μπορεί κάποιος να διακρίνει: α) το πειραματικό μέρος, που περιλαμβάνει την οπτική καταγραφή εικόνων του ροϊκού πεδίου και την αποθήκευσή τους στον υπολογιστή και β) την ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων, για εξαγωγή πληροφορίας (διανυσματικό πεδίο ταχυτήτων ρευστού κ.α.). Το ολοκληρωμένο σύστημα της μεθόδου P.I.V αποτελείται από δύο laser, των οποίων οι ακτίνες διέρχονται τελικά από το ίδιο σύστημα φακών και μια ψηφιακή κάμερα, που συγχρονίζονται από συγχρονιστή.

Στο πειραματικό μέρος γίνεται διασπορά του ρευστού με κατάλληλα σωματίδια και ακολουθεί φωτισμός αυτών από μια ισχυρή δέσμη (laser) διαμορφωμένη σε ένα επίπεδο φωτός. Η κάμερα, τοποθετημένη κάθετα στο επίπεδο του φωτός, ρυθμίζεται να καταγράφει και να αποθηκεύει στον υπολογιστή ζεύγη εικόνων του ροϊκού πεδίου με χρονική απόσταση (Δt) μεταξύ των εικόνων που δημιουργούνται μεταξύ των διεγέρσεων των δύο λειζερ. Ο χρόνος αυτός καθορίζεται από 10 nsec μέχρι 10 sec. Τα φωτισμένα σωματίδια στην δεύτερη εικόνα έχουν υποστεί μια σχετική μετατόπιση σε σχέση με την πρώτη εικόνα του κάθε ζεύγους.

Κατά την ψηφιακή επεξεργασία του κάθε ζεύγους εικόνων προσδιορίζεται η μέση, στατιστικά, απόσταση που έχουν διανύσει τα σωματίδια σε χρόνο Δt ώστε να προσδιοριστεί η ταχύτητα. Η μέθοδος P.I.V είναι μια τεχνική μέτρησης του συνολικού στιγμιαίου πεδίου ταχυτήτων της υπό μελέτης ροής. Τα σωματίδια ακολουθούν επακριβώς την ροή. Για την παρατήρηση της κίνησης των σωματιδίων, μια περιοχή της ροής φωτίζεται από κατάλληλο φως. Το φως, που παράγεται από ένα laser και ένα σύστημα φακών (για να υπάρχει επίπεδος φωτισμός), δεν είναι συνεχές αλλά πάλλεται. Για να καταγράψουμε την θέση των φωτισμένων σωματιδίων, χρησιμοποιείται κάμερα που είναι τοποθετημένη κάθετα στο επίπεδο του φωτός. Το παλλόμενο φως και η κάμερα συγχρονίζονται, έτσι ώστε οι θέσεις των σωματιδίων στον πρώτο παλμό του laser να καταγράφονται στην πρώτη εικόνα που λαμβάνει η κάμερα, και οι θέσεις των σωματιδίων στον δεύτερο παλμό να καταγράφονται στην δεύτερη εικόνα. Οι εικόνες που καταγράφει η κάμερα, διαιρούνται σε ορθογωνικούς τομείς που

ονομάζονται περιοχές «εξέτασης» (interrogations spots). Για κάθε έναν από αυτούς τους τομείς, γίνεται συσχέτιση (correlation) των δυο διαδοχικών εικόνων που καταγράφηκαν στον πρώτο και δεύτερο παλμό του Laser, για να παραχθεί το διάνυσμα της μέσης μετατόπισης των σωματιδίων. Αν η διεργασία αυτή γίνει για όλους τους τομείς «εξέτασης» κατασκευάζεται το διανυσματικό πεδίο των μέσων μετατοπίσεων των σωματιδίων. Στη συνέχεια διαιρώντας με τον χρόνο, που μεσολαβεί μεταξύ των δύο παλμών, το πεδίο των μετατοπίσεων μετατρέπεται σε πεδίο ταχυτήτων. Το πεδίο των ταχυτήτων επιδέχεται επιπλέον επεξεργασία. Για την επίτευξη των διεργασιών συσχέτισης των εικόνων χρησιμοποιούνται διαδικασίες FFT (Fast Fourier Transform). Στην συνέχεια εφαρμόζονται αλγόριθμοι βελτιστοποίησης (validation) στο αρχικό-μη ομαλό διανυσματικό πεδίο ταχυτήτων, έτσι ώστε λανθασμένα διανύσματα να εντοπιστούν και να αφαιρεθούν (Τσάβος 2008).



Εικόνα 4.1.1 Σχηματική απεικόνιση μεθόδου P.I.V

4.2 Υπολογιστικά και μηχανικά εργαλεία μετρήσεων

4.2.1 Μέθοδος P.I.V

4.2.1.1 Όργανα μεθόδου P.I.V

Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε το εξής υλικό:

Α) Σύστημα ελέγχου λέιζερ



Εικόνα 4.2.1.1.1 Απεικόνιση συσκευής που ελέγχει την παραγωγή παλμών του λέιζερ

Η συσκευή αυτή καθιστά δυνατή τη χειροκίνητη έναρξη της διαδικασίας παραγωγής λέιζερ. Εκτός από αυτή τη χρησιμότητα, έχει και την ιδιότητα ψύξης του συστήματος, αφού διαθέτει ειδικό θάλαμο με νερό.

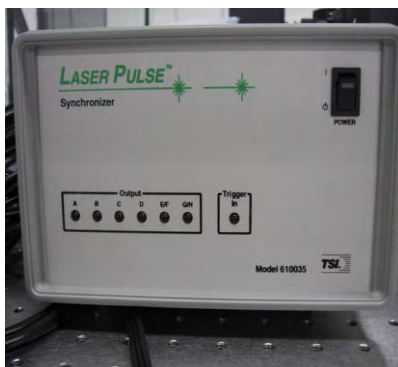
Β) Η συσκευή λέιζερ που ελέγχεται από το παραπάνω σύστημα



Εικόνα 4.2.1.1.2 Συσκευή λέιζερ-Διακρίνονται και οι φακοί για τη μεταποπή της δέσμης σε επίπεδο φωσ

Αποτελεί το βασικότερο μέρος για την μέθοδο P.I.V. Τοποθετείται κατάλληλα, ώστε να φωτιστεί με το φως του λέιζερ η περιοχή που μελετάται.

Γ) Μονάδα συγχρονισμού του παλμού του λέιζερ



Εικόνα 4.2.1.1.3 Συγχρονιστής-Συγχρονίζει παλμό του λέιζερ με την κάμερα

Κάμερα και λέιζερ είναι αλληλένδετα και τη μεταξύ τους σύνδεση την πραγματοποιεί ο συγχρονιστής, ο οποίος ρυθμίζεται μέσω του Η/Υ.

Δ) Κάμερα 4 MP



Εικόνα 4.2.1.1.4 Ψηφιακή κάμερα

Η κάμερα αποτυπώνει τις φωτογραφίες, οι οποίες αργότερα συγκρίνονται και προκύπτει το διάλυσμα της ταχύτητας.

4.2.1.2 Λογισμικό Insight 3G Imaging Software

Για τη μέθοδο της ταχυμετρίας απεικόνισης σωματιδίων χρησιμοποιήθηκε επίσης το λογισμικό Insight-3G.

Όσον αφορά τη λήψη της φωτογραφίας, το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού της χρονικής διαφοράς μεταξύ δύο διαδοχικών παλμών του laser. Το υπολογιστικό μέρος που πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού Insight 3G περιλαμβάνει αρχικά προεπεξεργασία (Pre-Processing) της εικόνας (για την εξάλειψη θορύβου από ανακλάσεις, καθαρισμός από υποφωτισμένα εκτός εστίασης σωματίδια) και κατάτμηση των εικόνων σε επιμέρους τμήματα προς επεξεργασία. Πιο αναλυτικά, Επιλέχθηκαν 5-10 φωτογραφίες, προκειμένου να εξαχθεί η φωτογραφία εκείνη η βασική που υπάρχει σε όλες τις παραπάνω φωτογραφίες (*Background*), από τις φωτογραφίες που είχαν αποθηκευτεί και υπολογίστηκε η μέση ένταση του φόντου (*Image generator*). Αυτό εξαρτάται από το φωτισμό στο εργαστήριο, όπου και θεωρήθηκε ιδανική συνθήκη ο φωτισμός να είναι περιορισμένος. Η βασική φωτογραφία δεν δίνει πληροφορία για το πεδίο των ταχυτήτων μάλλον δε δημιουργεί και λάθη στον προσδιορισμό αυτού. Είναι θέσεις όπου εμφανίζονται σταθεροί φωτισμοί, θέσεις φουσαλίδων, θέσεις χαραγμάτων

στις επιφάνειες των plexiglass, αντανάκλασεις φωτισμού του χώρου καθώς και σε άλλες θέσεις με τυχαίο φωτισμό αντανάκλασης. Επίσης, στην ανάλυση των φωτογραφιών αφαιρείται η βασική φωτογραφία από όλες τις φωτογραφίες (Image Calculator). Έτσι έγινε επεξεργασία ώστε να υπάρχει η χαμηλότερη απόκλιση.

Στην συνέχεια γίνεται επεξεργασία των αντίστοιχων τμημάτων του κάθε ζεύγους εικόνων για τον υπολογισμό της μέσης μετακίνησης των σωματιδίων σε αυτά τα τμήματα. Η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει τον υπολογισμό της συνάρτησης συσχέτισης (correlation function) και απαιτεί την χρήση αλγορίθμου 2D FFT (Fast Fourier Transform). Το αποτέλεσμα του σταδίου αυτού ήταν ένα διάνυσμα ταχύτητας για κάθε τμήμα της εικόνας. Τέλος γίνεται μετεπεξεργασία (Post Processing) του συνολικού διανυσματικού πεδίου για ομαλοποίησή του (Adaptive Correlation). Κατά την διαδικασία της βελτιστοποίησης (validation) χρησιμοποιούνται τα φίλτρα της μέσης τιμής, της μεσαίας τιμής και της τυπικής απόκλισης. Με τα φίλτρα αυτά απορρίπτονται τιμές που εκτός της τυπικής απόκλισης των ταχυτήτων του πεδίου, σε περιοχή 3x3 περιοχών ελέγχου συμπληρώνεται ένα κενό ταχύτητας αν υπάρχει και απορρίπτεται μία τιμή που δεν είναι κοντά στις υπόλοιπες.

4.2.2 Άλλα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν

- Μανόμετρο
- Αλατόμετρο
- Κανόνας

Τα **μανόμετρα** είναι όργανα που χρησιμοποιούν στήλες υγρών προκειμένου να μετρηθούν πιέσεις ή διαφορές πιέσεων ανάμεσα σε δύο προκαθορισμένα σημεία, στηριζόμενα στην εξίσωση της υδροστατικής κατανομής. Σε αυτά τα πειράματα το μανόμετρο χρησιμοποιήθηκε για να βρεθεί η παροχή της αντλίας και μετ' έπειτα η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής που έπρεπε να είναι σταθερή για κάθε πείραμα. Αυτό καθίσταται εφικτό αφού ο κατασκευαστής του μοντέλου παρέχει κατασκευαστικούς τύπους για την μετατροπή της διαφοράς πίεσης σε παροχή.



Εικόνα 4.2.2.1 Μανόμετρο που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα

Τα **αλατόμετρα** είναι τα όργανα που μετρούν την αλατότητα ενός μείγματος. Στην δική μας περίπτωση κρίνεται απαραίτητη η μέτρηση της αλατότητας του νερού της δεξαμενής που τροφοδοτεί το κανάλι αφού για κάθε πείραμα υπάρχει διαφορετική αλατότητα. (Για την αλλαγή της αλατότητας σε κάθε πείραμα χρησιμοποιήθηκε απλό θαλασσινό αλάτι).



Εικόνα 4.2.2.2 Τυπικό αλατόμετρο

Ο **κανόνας** χρησιμοποιείται για να γίνει η βαθμονόμηση της εικόνας (calibration). Με τη βαθμονόμηση μετατρέπονται τα pixel σε mm. Επίσης χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του βάθους ροής. Επίσης, στο ακροφύσιο που συνδέεται με τη δεξαμενή της φλέβας μετράται η διαφορά στάθμης μεταξύ στάθμης νερού ακροφυσίου και στάθμη νερού αποδέκτη και να καθορίζεται έτσι η ταχύτητα της φλέβας.



Εικόνα 4.2.2.3 Κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα

4.3 Πειραματική διαδικασία μετρήσεων

Σε κάθε ένα από τα πειράματα (12) ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. Τίθεται σε λειτουργία το laser για χρονικό διάστημα περίπου 15 λεπτών ώστε να θερμανθεί.
2. Τοποθετούνται το laser και η κάμερα στις θέσεις τους όπως είχε σχεδιασθεί προκειμένου να πραγματοποιηθεί το πείραμα που αναλύθηκε παραπάνω.
3. Τίθεται σε λειτουργία ο Η/Υ και ενεργοποιείται το λογισμικό INSIGHT-3G.
4. Ετοιμάζεται το πείραμα με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά που είχε προβλεφθεί (όπως παρουσιάζεται παραπάνω). Δηλαδή:
 - α) Η μεταλλική δεξαμενή γεμίζει με νερό.
 - β) Προστίθεται θαλασσινό αλάτι σταδιακά, αναδεύεται το νερό και μετράται η ένδειξη της αλατότητας με το αλατόμετρο, έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή αλατότητα. Η βάννα που επιτρέπει την κυκλοφορία προς το κανάλι σε αυτό το βήμα είναι κλειστή.
 - γ) Ανοίγεται η βάννα που οδηγεί το νερό στο κανάλι, όχι όμως έως τέλους. Ανοίγεται και η αντλία.
 - δ) Ελέγχονται οι ενδείξεις του μανόμετρου για την επίτευξη της επιθυμητής ταχύτητας που θέλουμε. Η ακριβής ένδειξη την πετυχαίνεται με συνεχείς ρυθμίσεις της βάννας

ε) Ρυθμίζεται χειροκίνητα το θυρόφραγμα μέχρι την επίτευξη του επιθυμητού βάθους ροής.

στ) Πλέον έχουν ρυθμιστεί όλες οι παραμέτροι ευθύγραμμης ροής και Γεμίζεται το βαρέλι του συστήματος της φλέβας με νερό ενώ παράλληλα ρυθμίζεται και το ύψος της δεξαμενής ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ταχύτητα φλέβας.

ζ) Απελευθερώνεται ο σφιγγτήρας για να απελευθερωθεί η φλέβα
Το φαινόμενο βρίσκεται πλέον σε εξέλιξη.

5. Ελέγχεται η λειτουργία του laser μέσω του υπολογιστή
6. Τοποθετείται η διεύθυνση αποθήκευσης των φωτογραφιών σε σκληρό δίσκο 1 Tbyte.
7. Γίνεται λήψη 100 ζευγών φωτογραφιών. Αυτές φαίνονται στην οθόνη του υπολογιστή και ρυθμίζεται η εστίαση της κάμερας ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη εικόνα.
8. Ακολουθεί η διαδικασία βαθμονόμησης (μετατροπή pixels σε mm) των εικόνων. Η βαθμονόμηση γίνεται ως εξής:
 - α) Τοποθετείται η κάμερα με κλίση 90 μοιρών και τοποθετείται στο επίπεδο φωτισμού ένας κανόνας.
 - β) Γίνεται συνεχής λήψη εικόνων και με την παύση της διαδικασίας αποθηκεύεται η τελευταία, η οποία και σώζεται
 - γ) Καθορίζεται ένα συγκεκριμένο μήκος του κανόνα ίσο με το πραγματικό της μήκος, οπότε αμέσως γίνεται η μετατροπή των pixels σε mm.
9. Μετά από την ρύθμιση του χρόνου Δt αυτού μεταξύ των δύο φωτογραφιών A και B που είναι 2,5 millisecond γίνεται η λήψη των φωτογραφιών του πειράματος (100 ζεύγη για κάθε πείραμα)
10. Ακολουθεί η διαδικασία επεξεργασίας με το λογισμικό Insight-3G που αναφέρθηκε παραπάνω.

4.4 Περιπτώσεις-Λεπτομέρειες μετρήσεων

Έγιναν 12 πειράματα εκτόξευόμενης ανωστικής φλέβας σε εγκάρσια ροή. Οι παράμετροι που δεν αλλάζουν και είναι ίδιες σε όλα τα πειράματα είναι η ταχύτητα εκτόξευσης της φλέβας που προσδιορίζεται από την τιμή Δy και το βάθος ροής στο κανάλι h . Οι μεταβλητές που αλλάζουν για κάθε πείραμα είναι η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, το μέγεθος της οποίας καθορίζεται από το ΔH στο μανόμετρο και η αλατότητα του νερού της ροής.



Εικόνα 4.4.1 Απεικόνιση της τιμής h που μετρήθηκε στο εργαστήριο και καθόρισε το βάθος ροής



Εικόνα 4.4.2 Απεικόνιση της τιμής Δy που μετρήθηκε στο εργαστήριο και καθόρισε την ταχύτητα εκτόξευσης της φλέβας



Εικόνα 4.4.3 Απεικόνιση της τιμής Δh που μετρήθηκε στο μανόμετρο του εργαστηρίου και καθόρισε την ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής

Συγκεντρωτικά διαμορφώνονται οι εξής περιπτώσεις:

Παράμετροι που μένουν σταθερές σε κάθε πείραμα		
Αρχική ταχύτητα εκτοξευόμενης φλέβας/ $\Delta y(m)$	Βάθος ευθύγραμμης ροής $h(m)$	
0.07	0.1	
Παράμετροι που αλλάζουν σε κάθε πείραμα		
	Ταχύτητα ευθύγραμμης ροής $(m/s)/\Delta H(m)$	Αλατότητα κινούμενου αποδέκτη(‰)
1ο πείραμα	0.059/0.02	10
2ο πείραμα	0.092/0.05	10
3ο πείραμα	0.108/0.07	10
4ο πείραμα	0.122/0.09	10
5ο πείραμα	0.059/0.02	15
6ο πείραμα	0.092/0.05	15
7ο πείραμα	0.108/0.07	15
8ο πείραμα	0.122/0.09	15
9ο πείραμα	0.059/0.02	20
10ο πείραμα	0.092/0.05	20
11ο πείραμα	0.108/0.07	20
12ο πείραμα	0.122/0.09	20

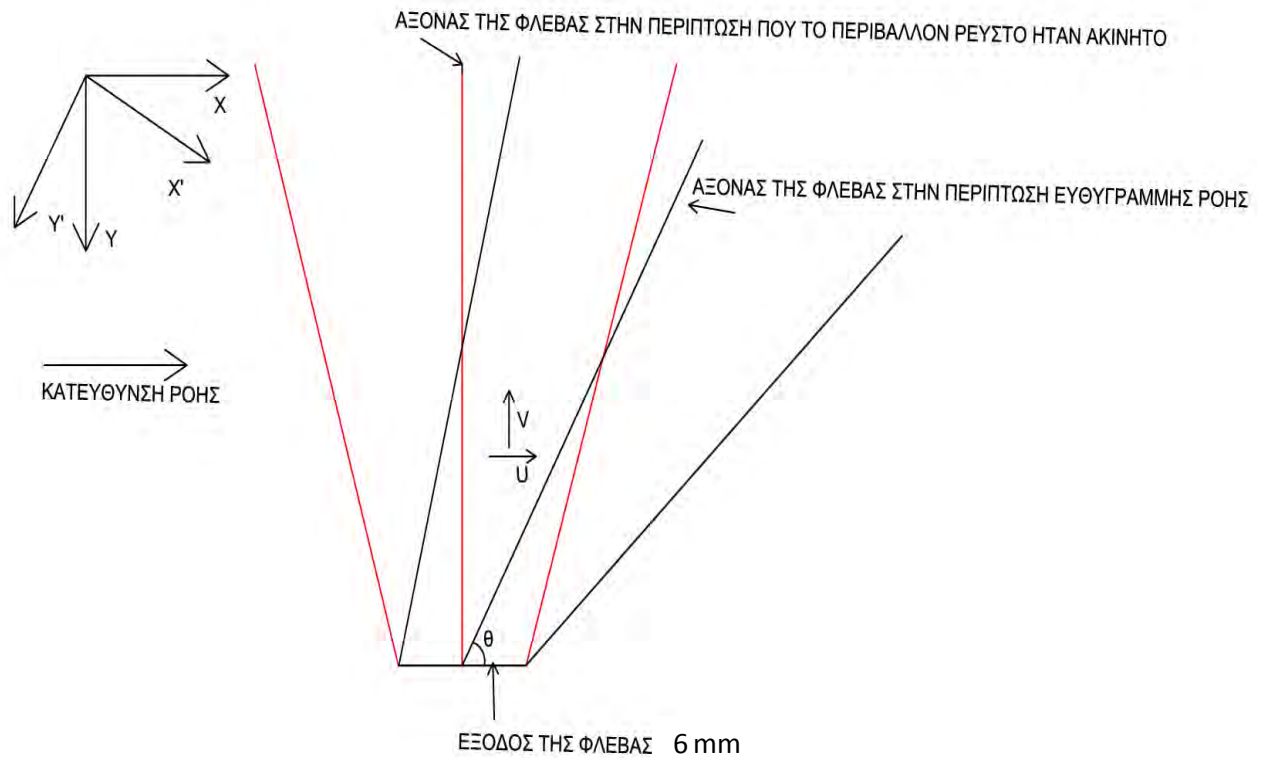
4.5 Μεθοδολογία υπολογισμού αποτελεσμάτων

4.5.1 Γενικά για προφίλ ταχύτητας-ροή μάζας

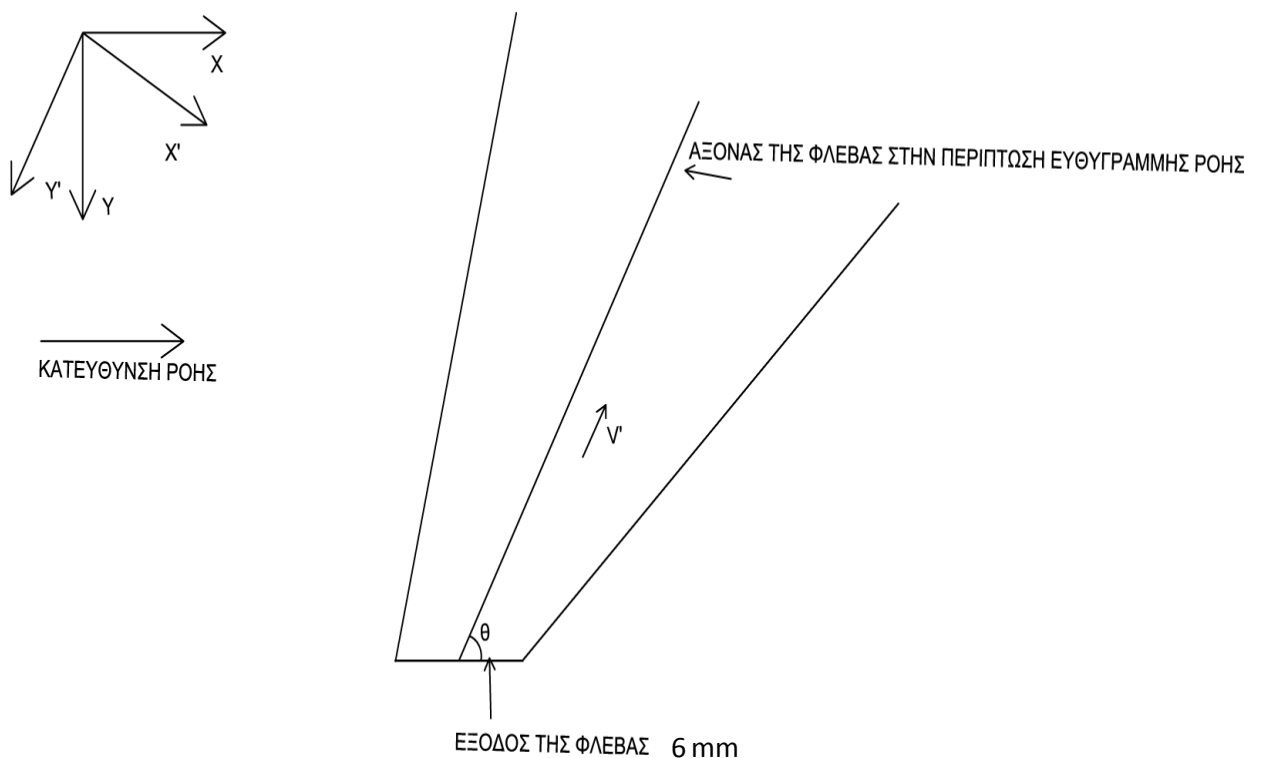
Για τα προφίλ ταχύτητας

Το προφίλ ταχύτητας είναι το διάγραμμα που δείχνει την κατανομή της ταχύτητας κατά μήκος ενός άξονα. Στην περίπτωση αυτών των πειραμάτων έχουν διερευνηθεί σε κάθε πείραμα δύο προφίλ ταχύτητας: α)της ευθύγραμμης ταχύτητας U κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα Y β)της κατακόρυφης ταχύτητας V' παράλληλης στον άξονα της φλέβας κατά μήκος του άξονα που είναι κάθετος σε αυτή την ταχύτητα X' . Έχουν γίνει οι εξής παραδοχές: α)τα σύνορα της φλέβας είναι ευθείες γραμμές και ο άξονας της φλέβας είναι ευθεία γραμμή

Πιο κάτω δίνονται δύο εικόνες για καλύτερη επεξήγηση. Στο πρώτο σχήμα φαίνονται τα όρια μιας φλέβας και ο άξονάς της αν δεν είχαμε ευθύγραμμη ροή (κόκκινη γραμμή) και αντίστοιχα αυτά με τη ροή. Ο άξονας Y συμπίπτει με τον άξονα της φλέβας στην περίπτωση που δεν υπήρχε ροή και ο άξονας X έχει την ίδια κατεύθυνση με την ευθύγραμμη ροή. Επίσης φαίνεται σε μια τυχαία θέση η οριζόντια και η κατακόρυφη ταχύτητα. Αυτό το σύστημα συντεταγμένων είναι ικανοποιητικό για τον υπολογισμό του προφίλ ταχύτητας της οριζόντιας ταχύτητας αλλά δεν είναι ικανοποιητικό για την εύρεση του προφίλ της κατακόρυφης ταχύτητας, επειδή σε αυτήν το ενδιαφέρον εστιάζεται στις κατακόρυφες ταχύτητες παράλληλες στον άξονα της φλέβας. Για αυτό το λόγο γίνεται η περιστροφή των αξόνων όπως φαίνεται στη δεύτερη εικόνα. Σε αυτή την εικόνα φαίνονται οι νέες συντεταγμένες που χρησιμοποιούνται καθώς και η κατακόρυφη ταχύτητα παράλληλη στον άξονα της φλέβας που έχει και το ενδιαφέρον. Η περιστροφή είναι τόση όση και η γωνία θ της ευθύγραμμης ροής με τον άξονα της φλέβας. Η γωνία θ εξάγεται από το πεδίο ταχυτήτων που είναι γνωστό.



Εικόνα 4.5.1.1 Σχηματική απεικόνιση του άξονα της φλέβας και των συνόρων τις στην περίπτωση κινούμενου ρευστού(μαύρο χρώμα) και στην περίπτωση ακίνητου αποδέκτη(κόκκινο χρώμα) και του συστήματος συντεταγμένων($X-Y$ ή $X'-Y'$) και αναπαράσταση των ταχυτήτων V, U



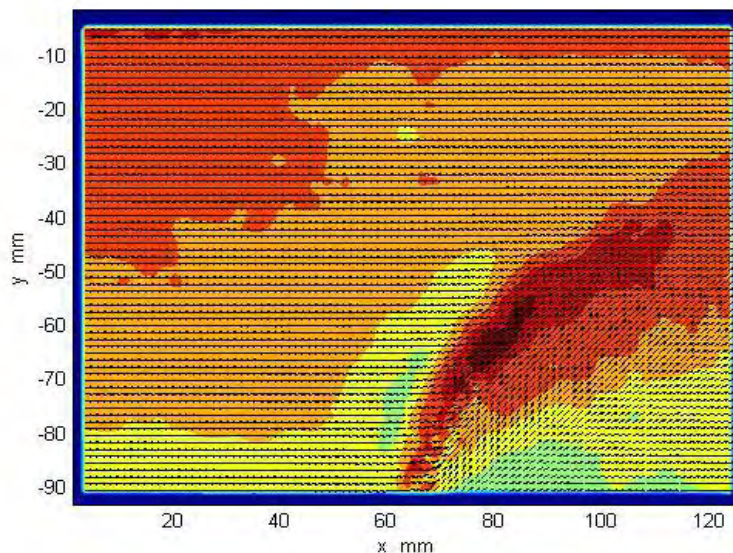
Εικόνα 4.5.1.2 Σχηματική απεικόνιση του άξονα της φλέβας και των συνόρων τις στην περίπτωση κινούμενου ρευστού και του συστήματος συντεταγμένων($X-Y$ ή $X'-Y'$) και αναπαράσταση των της ταχύτητας V' που έχει την ίδια διεύθυνση με τον άξονα της φλέβας

Με τον όρο ροή μάζας εκφράζουμε τη μάζα που περνά από μία διατομή στη μονάδα του χρόνου. Σε αυτή την περίπτωση μελετάται η ροή μάζας κατά τον οριζόντιο άξονα X και κατά τον κατακόρυφο άξονα Y και έτσι δεν χρειάζεται όπως πριν να γίνει περιστροφή των αξόνων. Για την κάθε περίπτωση είναι κατνοητό ότι πρέπει να παρθούν διαφορετικές διατομές.

4.5.1.1 Γενικά προφίλ ταχύτητας

Για κάθε πείραμα ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία για την εύρεση του γενικού προφίλ ταχύτητας(οριζόντιας-κατακόρυφης):

α) Μέσω του Insight-3G τα δεδομένα μεταφέρονται αυτόματα στο πρόγραμμα Matlab και εξάγεται το μέσο πεδίο ταχυτήτων.



Εικόνα 4.5.1.1.1 Παράδειγμα πεδίου ταχυτήτων όπως εξήχθη στο Matlab

β) Επίσης στο matlab εξάγονται δεδομένα των 500 εικόνων του πειράματος. Για κάθε εικόνα υπάρχει σε ένα πίνακα τις συντεταγμένες (X,Y) και τις οριζόντιες και κατακόρυφες ταχύτητες που αντιστοιχούν σε αυτές (U,V)

γ) Μεταφέρονται τα δεδομένα στο Excel

	A	B	C	D
	X mm	Y mm	U m/s	V m/s
1	1,276	-1,276	0.	0.
2	2,551	-1,276	0.	0.
3	3,827	-1,276	0.	0.
4	5,103	-1,276	0.	0.
5	6,378	-1,276	0.	0.
6	7,654	-1,276	0.	0.
7	8,93	-1,276	0.	0.
8	10,205	-1,276	0.	0.
9	11,481	-1,276	0.	0.
10	12,757	-1,276	0.	0.
11	14,032	-1,276	0.	0.
12	15,308	-1,276	0.	0.
13	16,584	-1,276	0.	0.
14	17,86	-1,276	0.	0.
15	19,135	-1,276	0.	0.
16	20,411	-1,276	0.	0.
17	21,687	-1,276	0.	0.
18				

Εικόνα 4.5.1.1.2 Παράδειγμα δεδομένων που έχουμε από κάθε εικόνα

δ) Βρίσκεται μια μέση εικόνα των 500 εικόνων που έχει ως δεδομένα τις ίδιες συντεταγμένες (X,Y) και για ταχύτητες τις μέσες ταχύτητες(μέσος όρος 500 εικόνων).

ε) Σε αυτή τη μέση εικόνα:

Για το γενικό προφίλ κατακόρυφων ταχυτήτων:

Για κάθε X βρίσκεται ο μέσος όρος των κατακόρυφων ταχυτήτων V

	P	Q	R	S	T	U
X mm	Vm/s					
1,27568	0					
2,55136	0					
3,82704	-0,00071					
5,10272	-0,00078					
6,3784	-0,00073					
7,65408	-0,00065					
8,92976	-0,00072					
10,20544	-0,00079					
11,48112	-0,00076					
12,7568	-0,00067					
14,03248	-0,00071					
15,30816	-0,00074					
16,58384	-0,00074					
17,85952	-0,00094					
19,1352	-0,00113					
20,41088	-0,00127					
21,68656	-0,00139					
22,96224	-0,00153					
24,23792	-0,00164					
25,5136	-0,00156					
26,78928	-0,00136					
28,06496	-0,00123					

Μέση κατακόρυφη ταχύτητα που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο X και προκύπτει σαν μέσος όρος όλων των κατακόρυφων ταχυτήτων που μετρήθηκαν κατά Y για αυτό το συγκεκριμένο X.

Εικόνα 4.5.1.1.3 Παράδειγμα τιμών άξονα X-μέσου όρου V

Τα X πρέπει να μετατραπούν σε X' και τα V σε V' . Αυτό γίνεται πολλαπλασιάζοντας τα X με το ημίτονο της συμπληρωματικής γωνίας της θ και τα V με το συνημίτονο της γωνίας θ .

Εξάγονται τα δεδομένα (X',V') και μεταφέρονται στο matlab. Με την εντολή plot (X',V') προκύπτει το γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' παράλληλης στον άξονα της φλέβας για αυτό το πείραμα

	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
X mm	Vm/s	X' mm	V'/m/s						
1,27568	0	0,977518	0						
2,55136	0	1,955035	0						
3,82704	-0,00071	2,932553	-0,00093						
5,10272	-0,00078	3,910071	-0,00102						
6,3784	-0,00073	4,887589	-0,00095						
7,65408	-0,00065	5,865106	-0,00085						
8,92976	-0,00072	6,842624	-0,00095						
10,20544	-0,00079	7,820143	-0,00103						
11,48112	-0,00076	8,79766	-0,00099						
12,7568	-0,00067	9,775178	-0,00088						
14,03248	-0,00071	10,7527	-0,00093						
15,30816	-0,00074	11,73021	-0,00096						
16,58384	-0,00074	12,70773	-0,00097						
17,85952	-0,00094	13,68525	-0,00123						
19,1352	-0,00113	14,66277	-0,00148						
20,41088	-0,00127	15,64028	-0,00166						
21,68656	-0,00139	16,6178	-0,00182						
22,96224	-0,00153	17,59532	-0,00199						
24,23792	-0,00164	18,57284	-0,00215						
25,5136	-0,00156	19,55036	-0,00204						
26,78928	-0,00136	20,52787	-0,00178						
28,06496	-0,00123	21,50539	-0,00161						
29,34064	-0,00119	22,48291	-0,00155						
30,61632	-0,00127	23,46043	-0,00166						

Μέση κατακόρυφη ταχύτητα που είναι παράλληλη στον άξονα της φλέβας και αντιστοιχεί στο στραμένο οριζόντιο άξονα X'.

Εικόνα 4.5.1.1.4 Παράδειγμα τιμών άξονα X-μέσου όρου V και αντιστοίχιση αυτών των τιμών σε νέο σύστημα συντεταγμένων

Για το γενικό προφίλ οριζόντιων ταχυτήτων:

Βρίσκεται ο μέσος όρος των οριζόντιων ταχυτήτων:

Y mm	U m/s					
-1,276	0					
-2,551	0					
-3,827	0					
-5,103	0,057557					
-6,378	0,056377					
-7,654	0,054689					
-8,930	0,053638					
-10,205	0,053028					
-11,481	0,05254					
-12,757	0,052055					
-14,032	0,051773					
-15,308	0,051881					
-16,584	0,052005					
-17,860	0,051905					
-19,135	0,051811					
-20,411	0,051699					
-21,687	0,05137					
-22,962	0,051036					
-24,238	0,050992					
-25,514	0,051215					

Μέση οριζόντια ταχύτητα που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο Y και προκύπτει σαν μέσος όρος όλων των οριζόντιων ταχυτήτων που μετρήθηκαν κατά X για αυτό το συγκεκριμένο Y.

Εικόνα 4.5.1.1.5 Παράδειγμα τιμών άξονα Y-μέσου όρου U

Εξάγονται τα δεδομένα (Y,U) και τα μεταφέρονται στο matlab. Με την εντολή plot (U,Y) προκύπτει το γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας για αυτό το πείραμα.

4.5.1.2 Ροή μάζας

Για κάθε πείραμα ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία για την εύρεση της ροής μάζας (κατά Y-κατά X):

α) Ακολουθούνται τα 4 πρώτα βήματα που ακολουθήσαμε και για το προφίλ ταχύτητας. Y:

β) Για τη ροή μάζας κατά τον άξονα Y:

Για κάθε Y βρίσκουμε τον μέσο όρο των V υπολογίζεται ο μέσος όρος των V

V m/s	X	Y	Z	AA	AB	AC
0						
0						
0						
-0,001360631						
-0,001061751						
-3,67323E-05						
0,000394074						
0,000270374						
0,000183975						
0,000195128						
0,000304377						
0,000315077						
0,000120487						
1,35269E-05						
0,000107249						
0,000343532						
0,000480052						
0,000439623						
0,00041867						
0,000538426						
0,000687577						
0,000864286						
0,001058882						

Μέση κατακόρυφη ταχύτητα που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο Y και προκύπτει σαν μέσος όρος όλων των κατακόρυφων ταχυτήτων που μετρήθηκαν κατά X για αυτό το συγκεκριμένο Y.

Εικόνα 4.5.1.2.1

γ) Πολλαπλασιάζονται την ταχύτητα που βρήκαμε στο προηγούμενο βήμα επί το εμβαδό διατομής που διέρχεται η μάζα επί την πυκνότητα του νερού:

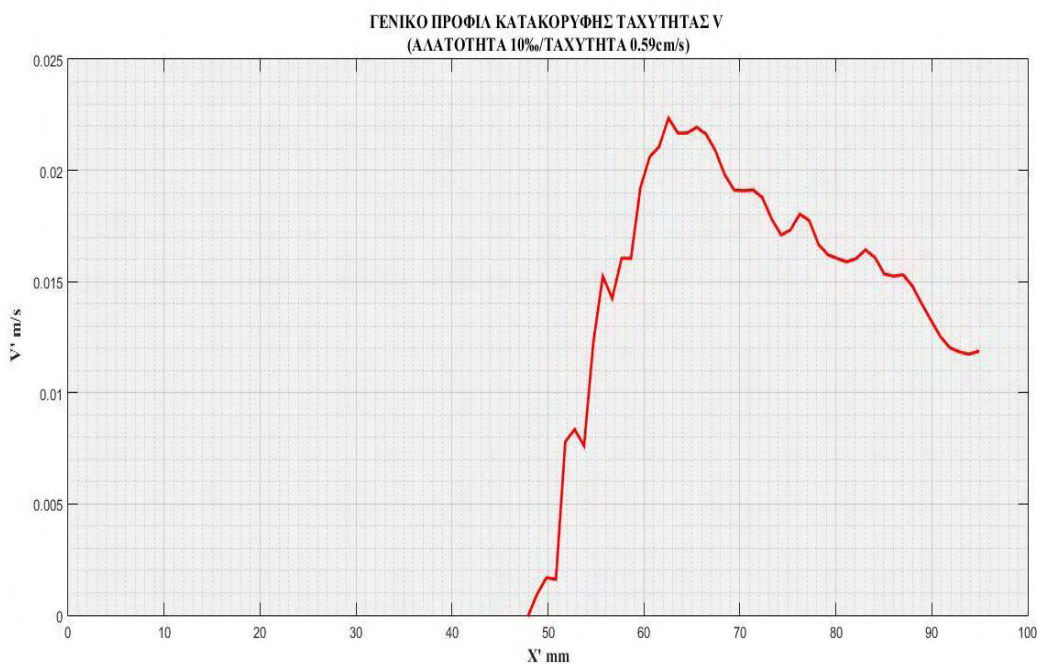
δ) Μεταφέρονται τα δεδομένα (X , Y , ροή μάζας κατά X , ροή μάζας κατά Y στο Matlab και με τη χρήση της εντολής plot εξάγω τα διαγράμματα ροής μάζας.

4.6 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

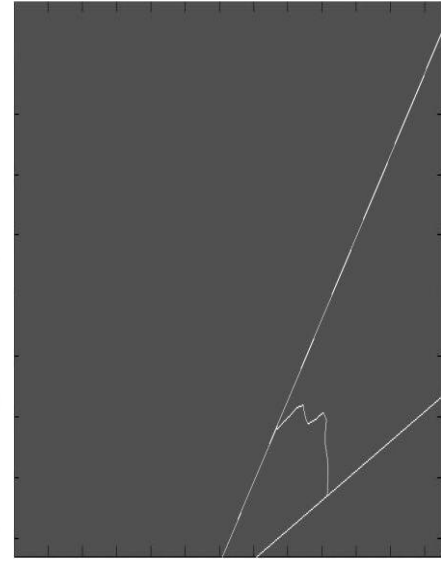
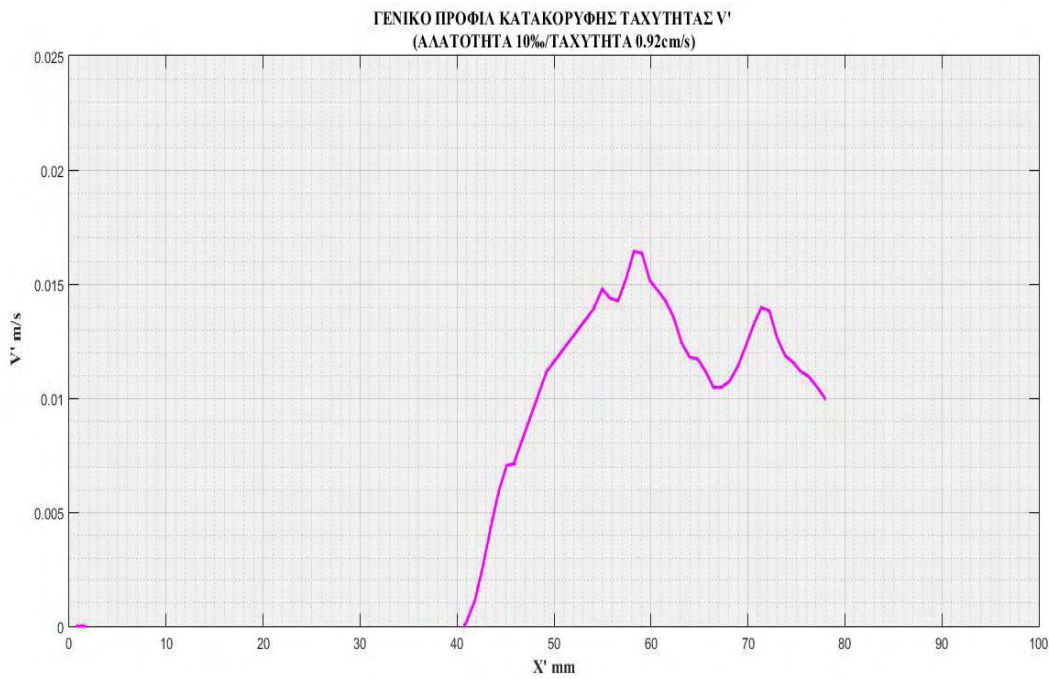
Γενικά προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' :

Παρακάτω παρουσιάζονται τα προφίλ της ταχύτητας V' που είναι συγγραμική με τον άξονα της φλέβας καθώς και η απεικόνιση αυτών των προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας. Σε κάθε εικόνα που παρουσιάζεται υπάρχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Τα προφίλ της ταχύτητας ακολουθούν την κανονική κατανομή, με τα επιμέρους χαρακτηριστικά των προφίλ να διαμορφώνονται όντας αλληλένδετα με τη διαφορά πυκνότητας (φλέβας-ροής) και την ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής. Επίσης, στην απεικόνιση των προφίλ παρατηρείται η μέγιστη τιμή να διαμορφώνεται περίπου στο μέσο των ορίων της φλέβας.

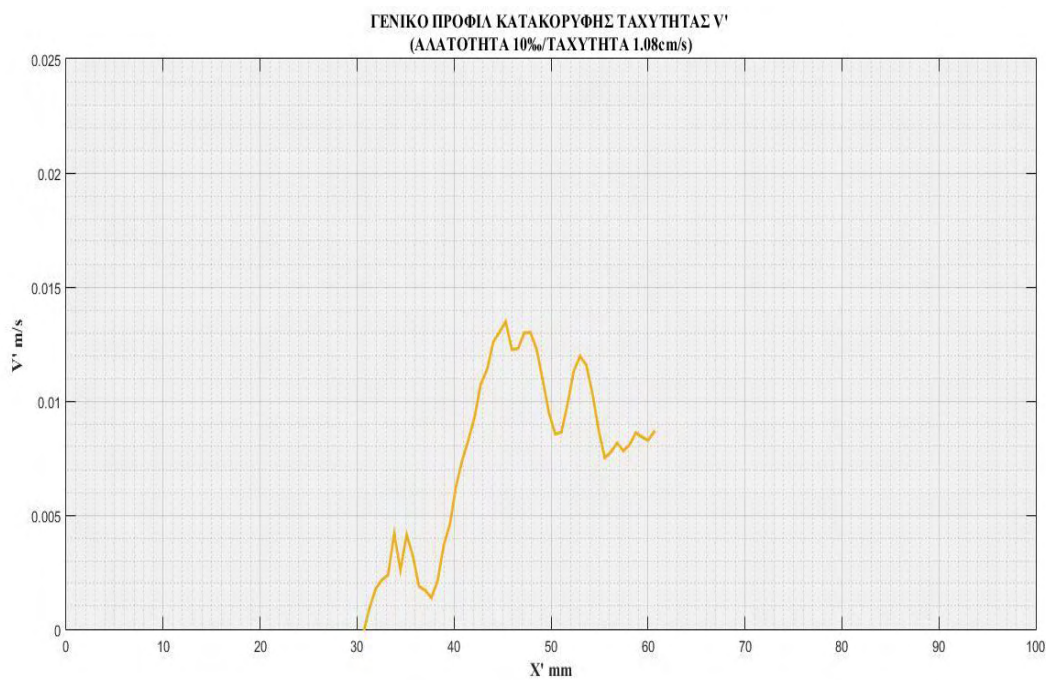
Διαγράμματα πειραμάτων με αλατότητα ρευστού φλέβας 10‰:



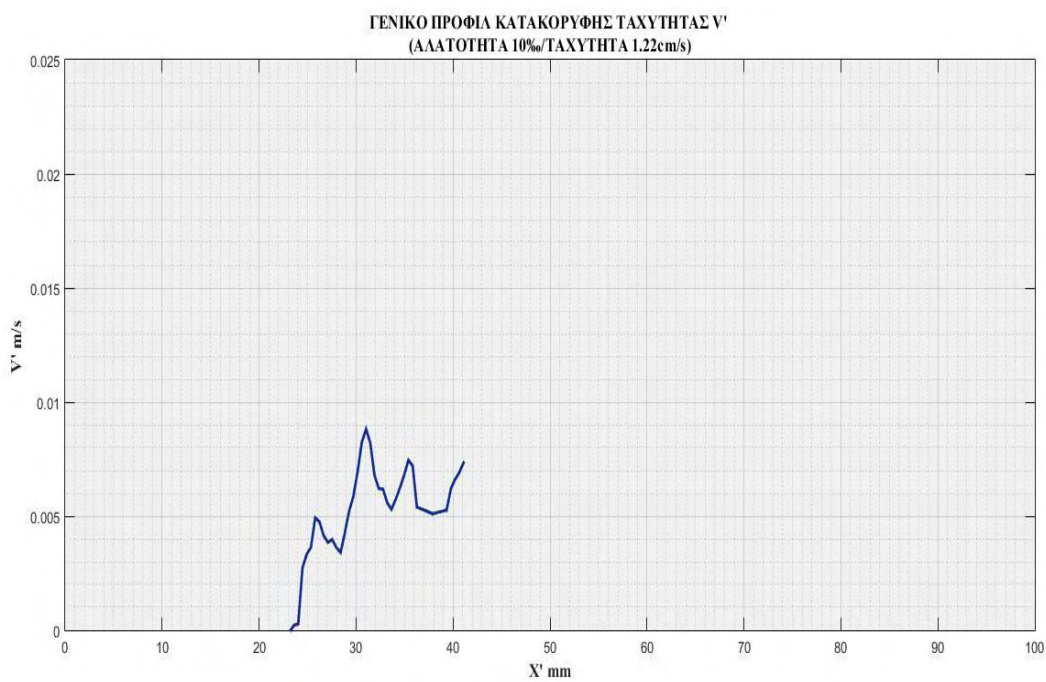
Εικόνα 4.6.1 Γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 1ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s) και απεικόνιση αυτού του προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας



Εικόνα 4.6.2 Γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 2ο πείραμα (αλατότητα 10% και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s) και απεικόνιση αυτού του προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας

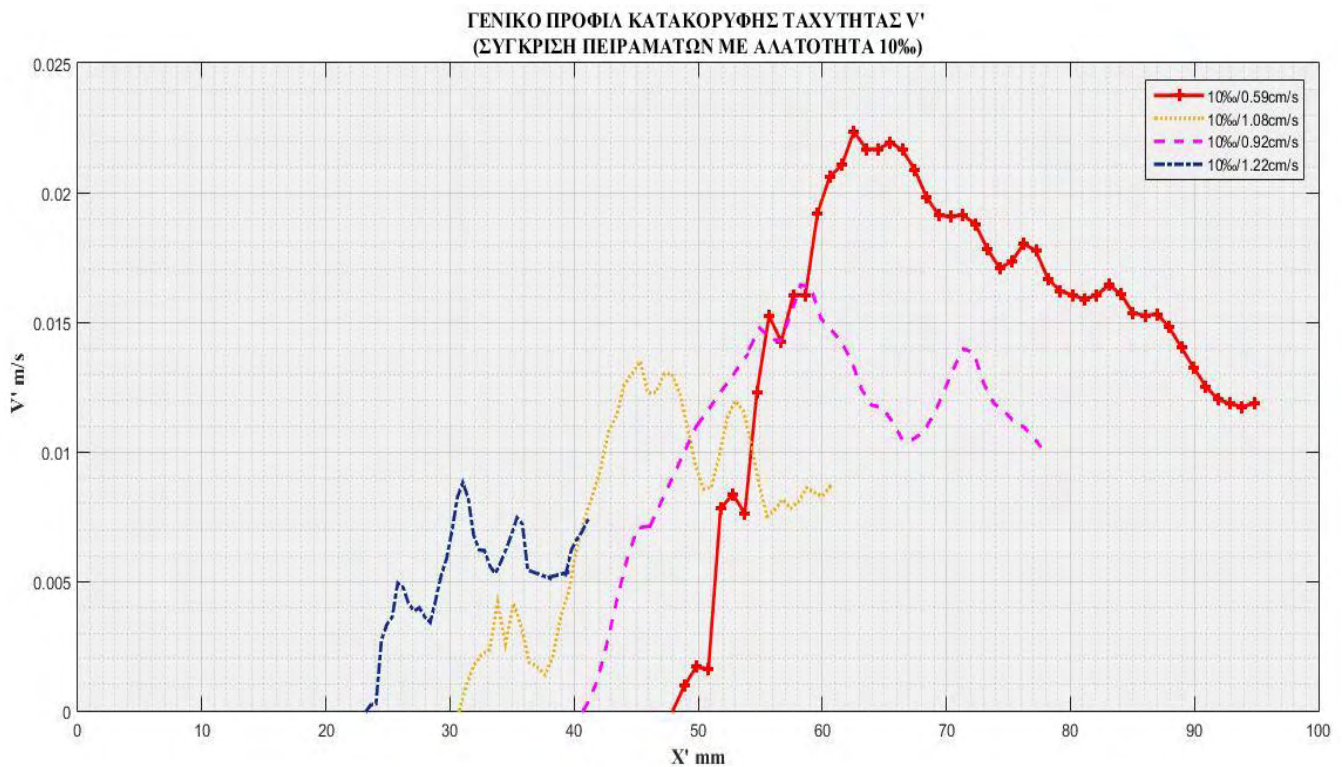


Εικόνα 4.6.3 Γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 3ο πείραμα (αλατότητα 10% και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s) και απεικόνιση αυτού του προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας



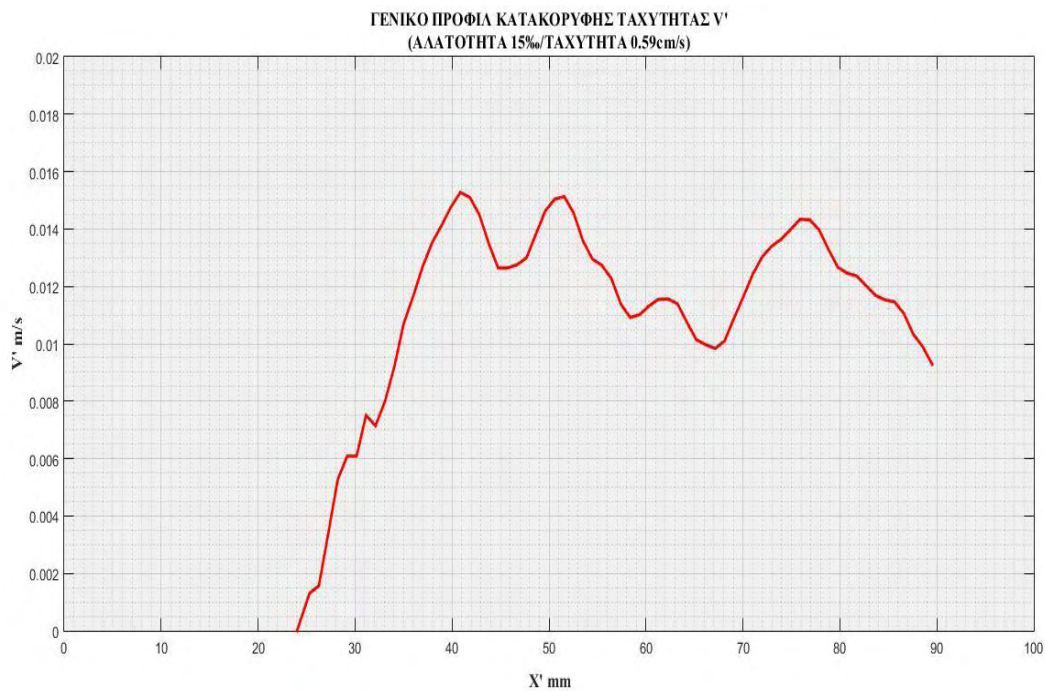
Εικόνα 4.6.4 Γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 4ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.22cm/s) και απεικόνιση αυτού του προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας

Από τα διαγράμματα για αλατότητα 10S παρατηρείται ότι, όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο μειώνεται η μέγιστη τιμή της ταχύτητας, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού η αύξηση της ταχύτητας της ευθύγραμμης ροής μειώνει την ανωστική τάση της φλέβας. Επίσης, είναι φανερό, από την απεικόνιση των προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας, ότι όσο αυξάνει η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο περισσότερο η μέγιστη τιμή της παράλληλης στον άξονα της φλέβας ταχύτητας αποκλίνει από τη συμμετρική φλέβα.

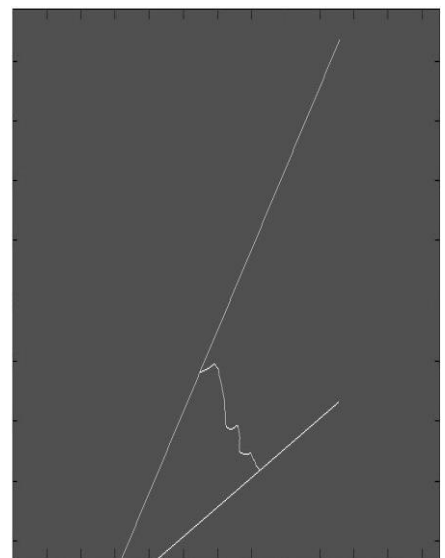
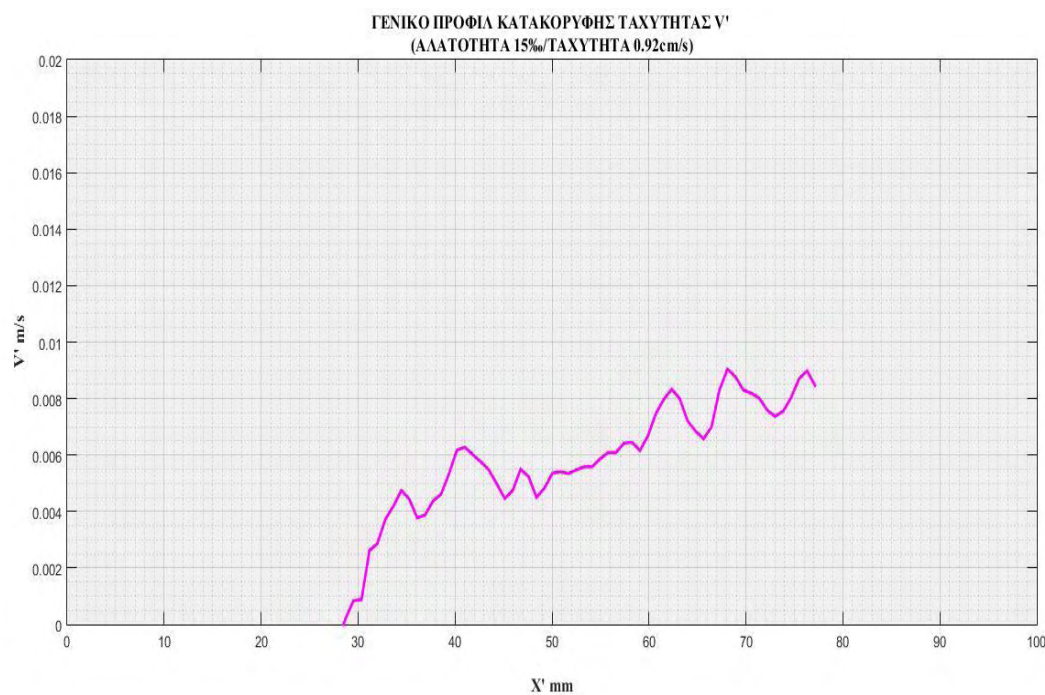


Εικόνα 4.6.5 Σύγκριση γενικών προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για τα τέσσερα πρώτα πειράματα (αλατότητα 10‰)

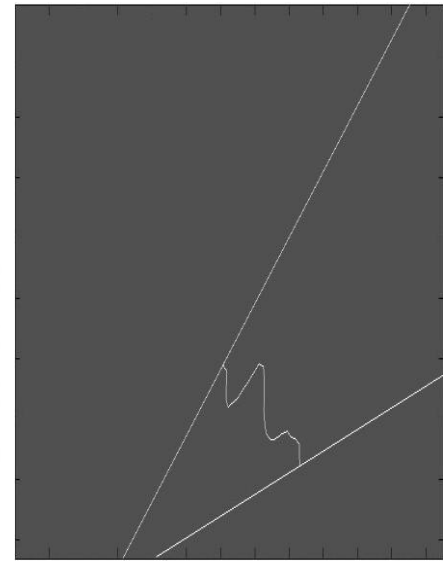
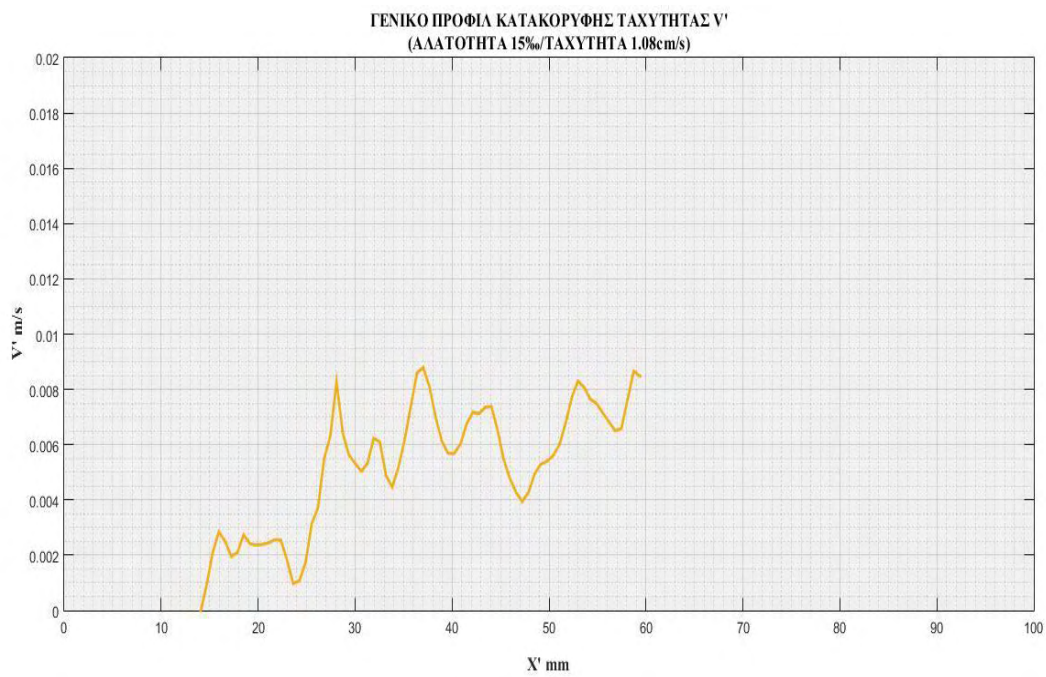
Διαγράμματα πειραμάτων με αλατότητα ρευστού φλέβας 15‰:



Εικόνα 4.6.6 Γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 5ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s) και απεικόνιση αυτού του προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας

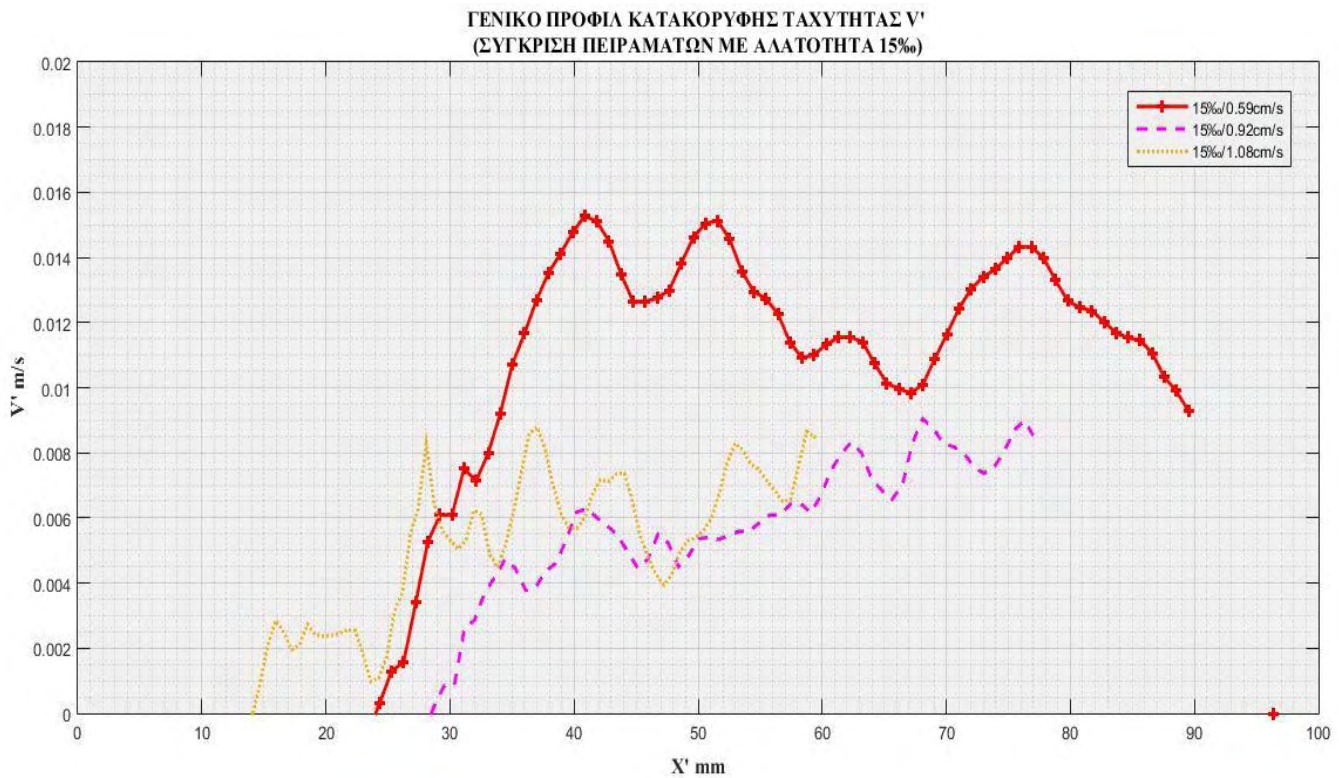


Εικόνα 4.6.7 Γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 6ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s) και απεικόνιση αυτού του προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας



Εικόνα 4.6.8 Γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 7ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s και απεικόνιση αυτού του προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας)

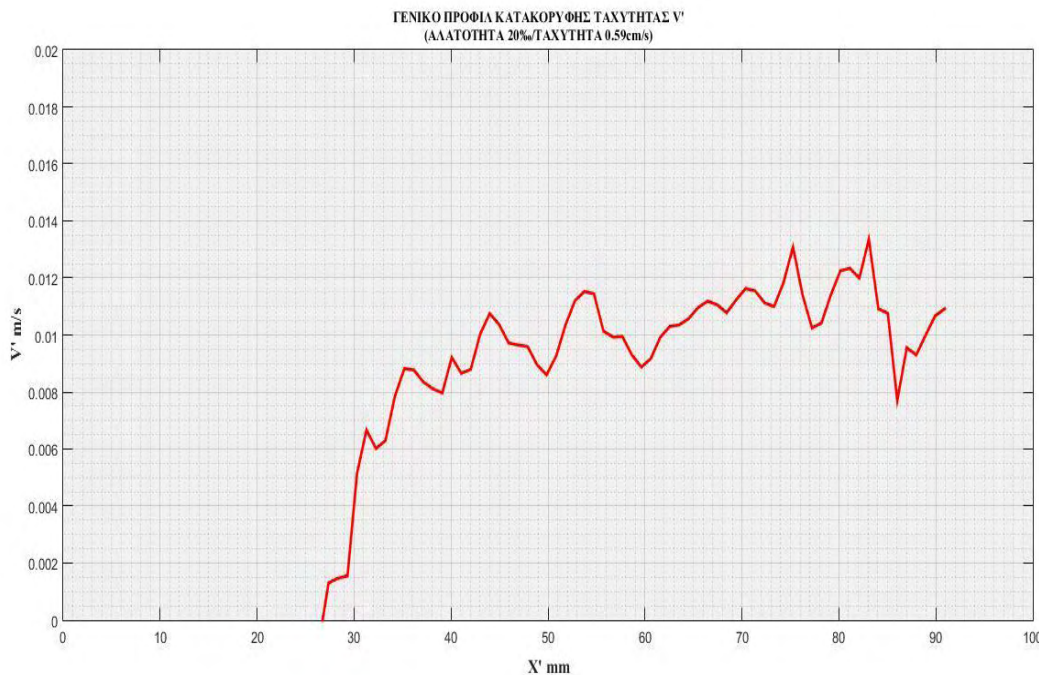
Όμοια και στα διαγράμματα με αλατότητα 15‰, όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο μειώνεται η μέγιστη τιμή της ταχύτητας, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού η αύξηση της ταχύτητας της ευθύγραμμης ροής μειώνει την ανωστική τάση της φλέβας, όπως προειπώθηκε. Επίσης, είναι φανερό, από την απεικόνιση των προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας, ότι όσο αυξάνει η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο περισσότερο η μέγιστη τιμή της παράλληλης στον άξονα της φλέβας ταχύτητας αποκλίνει από τη συμμετρική φλέβα, ομοίως με πριν. Επιπλέον, σε σχέση με τα πειράματα με αλατότητα 10S εδώ παρατηρούνται μειωμένες οι μέγιστες τιμές των ταχυτήτων. Αυτό συμβαίνει, διότι η αύξηση της αλατότητας της φλέβας, αυξάνει τη διαφορά πυκνότητας μεταξύ του ρευστού της ροής και της φλέβας, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η ανωστική τάση της φλέβας.



Εικόνα 4.6.9 Σύγκριση γενικών προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για τα τέσσερα πρώτα πειράματα (αλατότητα 15‰)

Διάγραμμα πειράματος με αλατότητα ρευστού φλέβας 20‰:

Όμοια και στα διαγράμματα με αλατότητα 20‰, όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο μειώνεται και η μέγιστη τιμή της ταχύτητας. Επιπλέον, σε σχέση με τα πειράματα με αλατότητα 10‰ και 15‰ και εδώ παρατηρείται μειωμένη η μέγιστη τιμή της ταχύτητας.



Εικόνα 4.6.10 Γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 9ο πείραμα (αλατότητα 20‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s και απεικόνιση αυτού του προφίλ μέσα στα όρια της φλέβας)

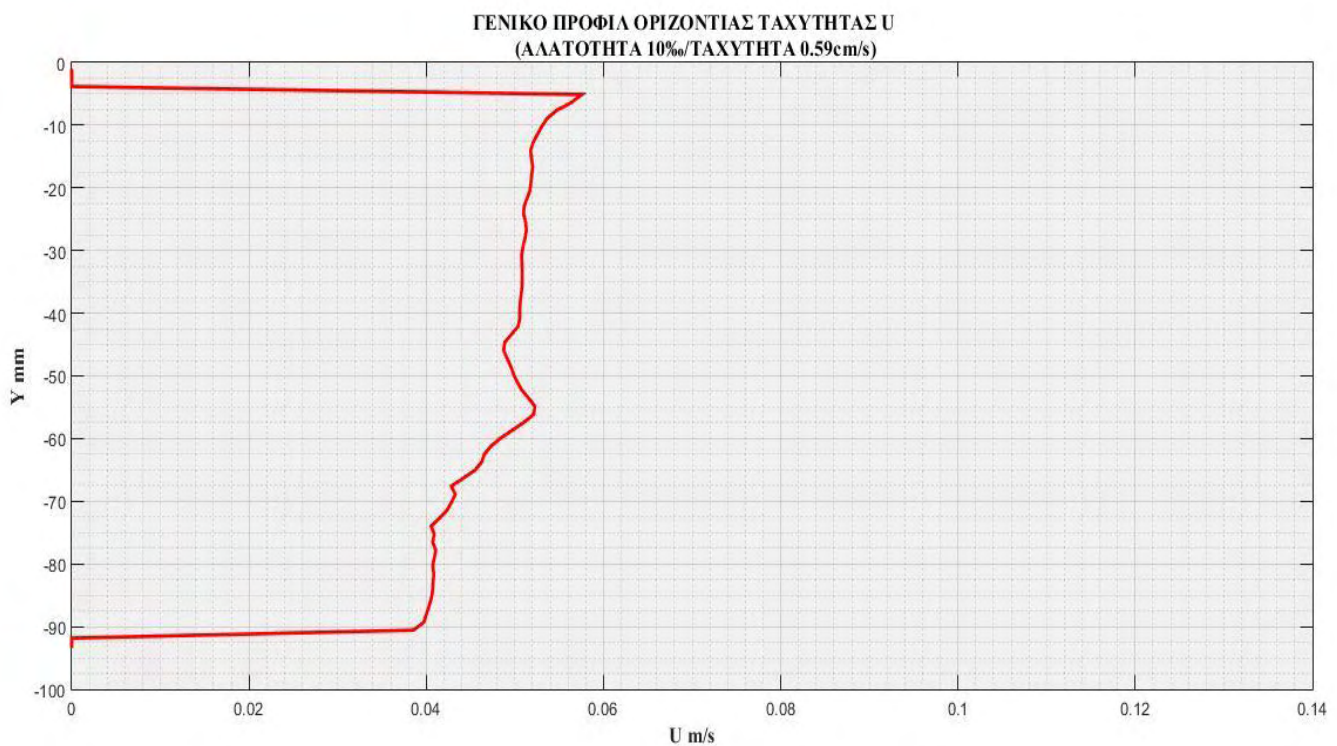
Τελικά από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτουν τα εξής:

1. Τα προφίλ της ταχύτητας V' ακολουθούν κανονική κατανομή (κατανομή Gauss)
2. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο μικρότερη είναι η μέγιστη τιμή της ταχύτητας V'
3. Όσο μεγαλύτερη αλατότητα του ρευστού της φλέβας(άρα και μεγαλύτερη διαφορά πυκνότητας φλέβας-ροής) τόσο μικρότερη είναι η μέγιστη τιμή της ταχύτητας V'
4. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο περισσότερο αποκλίνει η μέγιστη τιμή του προφίλ της ταχύτητας V' από τη συμμετρική φλέβα.

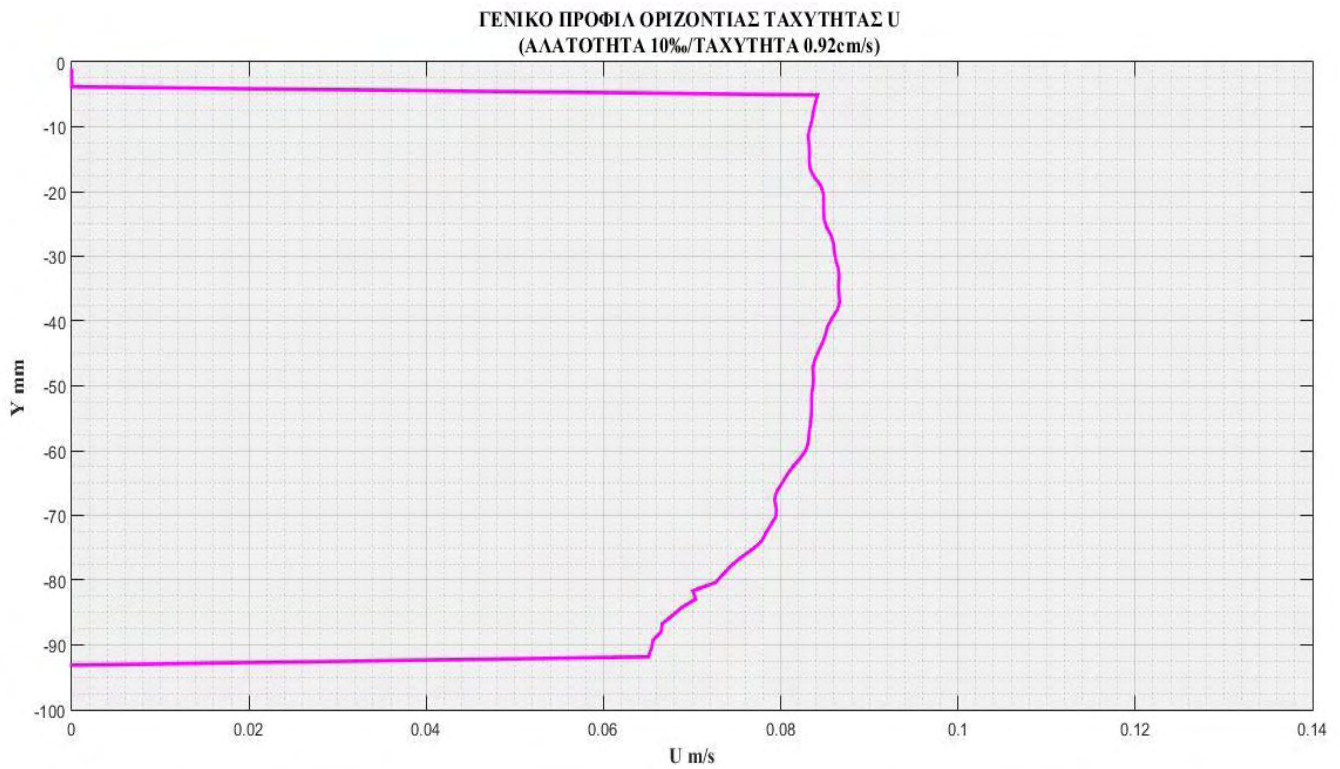
Γενικά προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U:

Παρακάτω παρουσιάζονται τα προφίλ της οριζόντιας ταχύτητας U της ευθύγραμμης ροής. Σε κάθε εικόνα που παρουσιάζεται υπάρχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Κοντά στον πυθμένα η ταχύτητα τείνει στο μηδέν, ενώ στα άλλα σημεία αν και παρουσιάζει διακυμάνσεις, οι οποίες οφείλονται στην παρεμβολή της φλέβας στην ευθύγραμμη ροή, δεν είναι μεγάλες και φαίνεται η ταχύτητα να είναι σταθερή. Τα επιμέρους χαρακτηριστικά των προφίλ διαμορφώνονται όντας αλληλένδετα με τη διαφορά πυκνότητας (φλέβας-ροής) και την ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής.

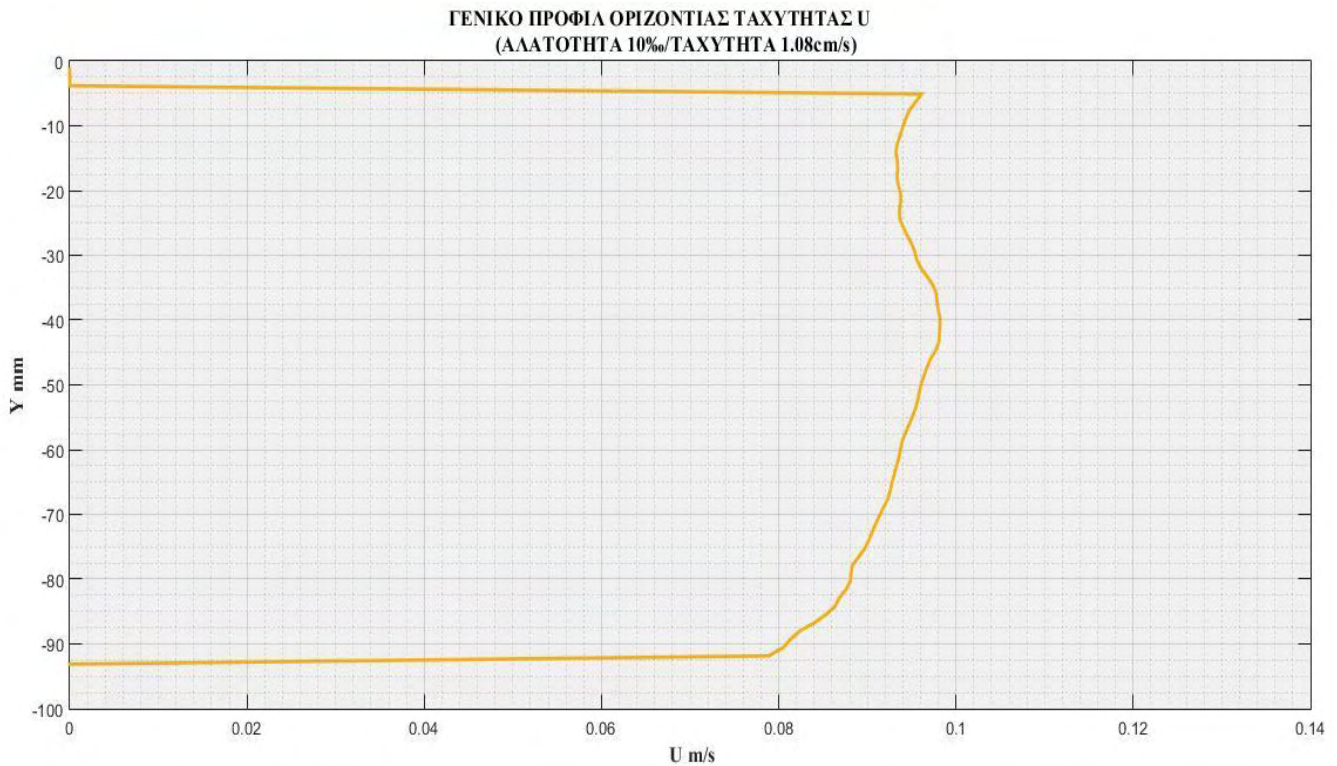
Διαγράμματα πειραμάτων με αλατότητα ρευστού φλέβας 10‰:



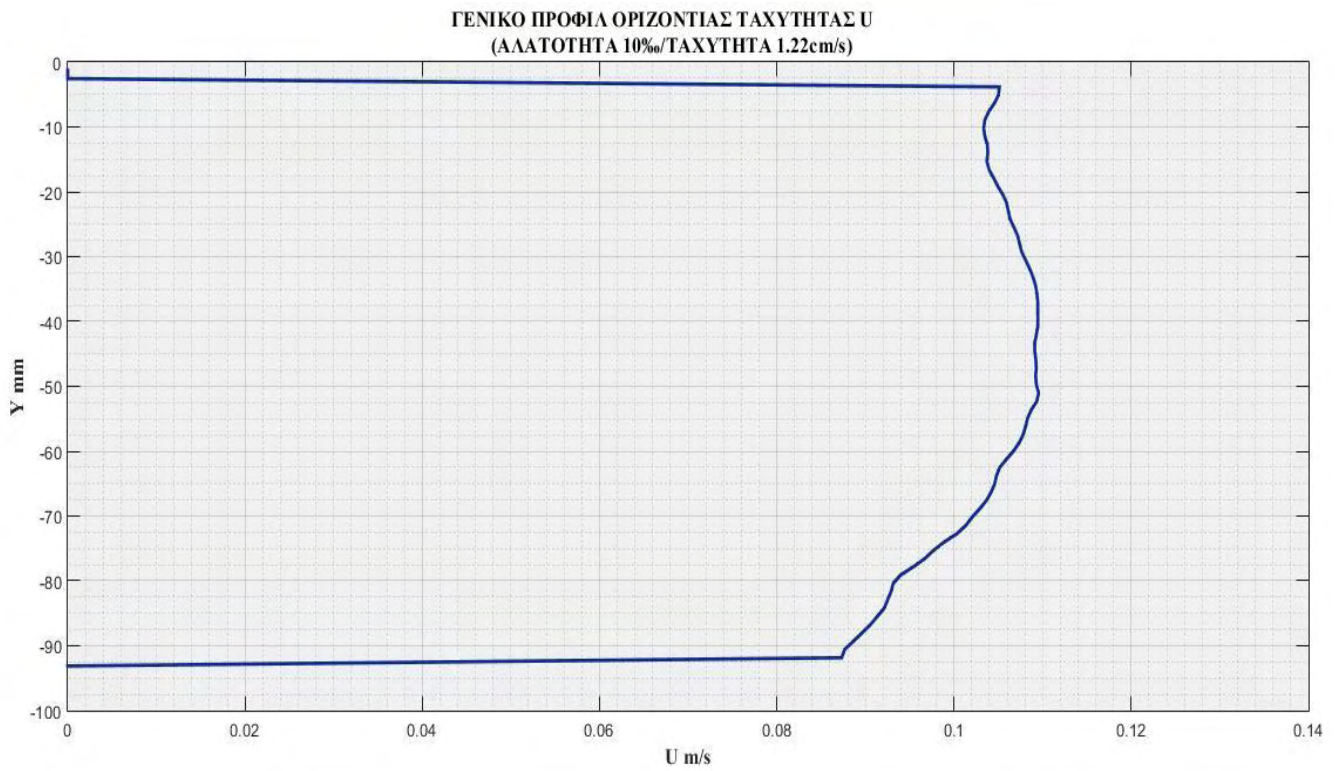
Εικόνα 4.6.11 Γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 1ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)



Εικόνα 4.6.12 Γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 2ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s)

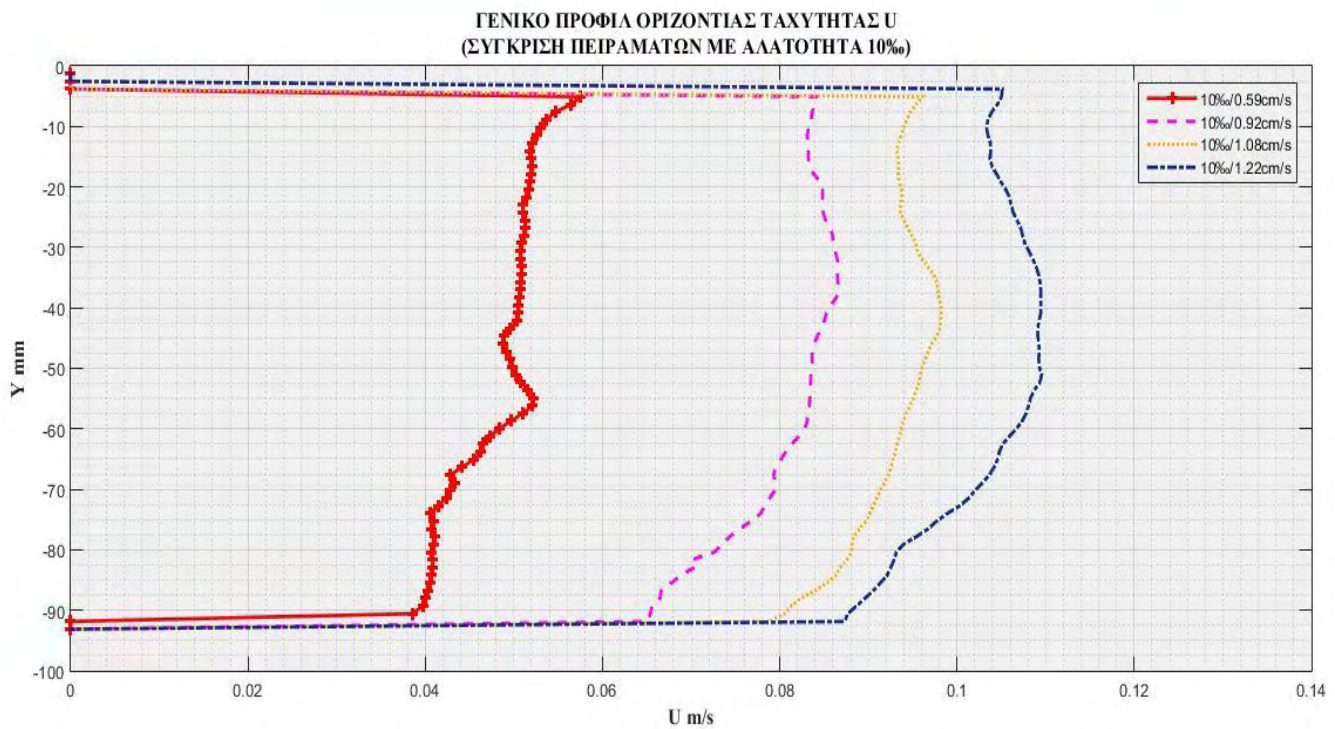


Εικόνα 4.6.13 Γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 3ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)



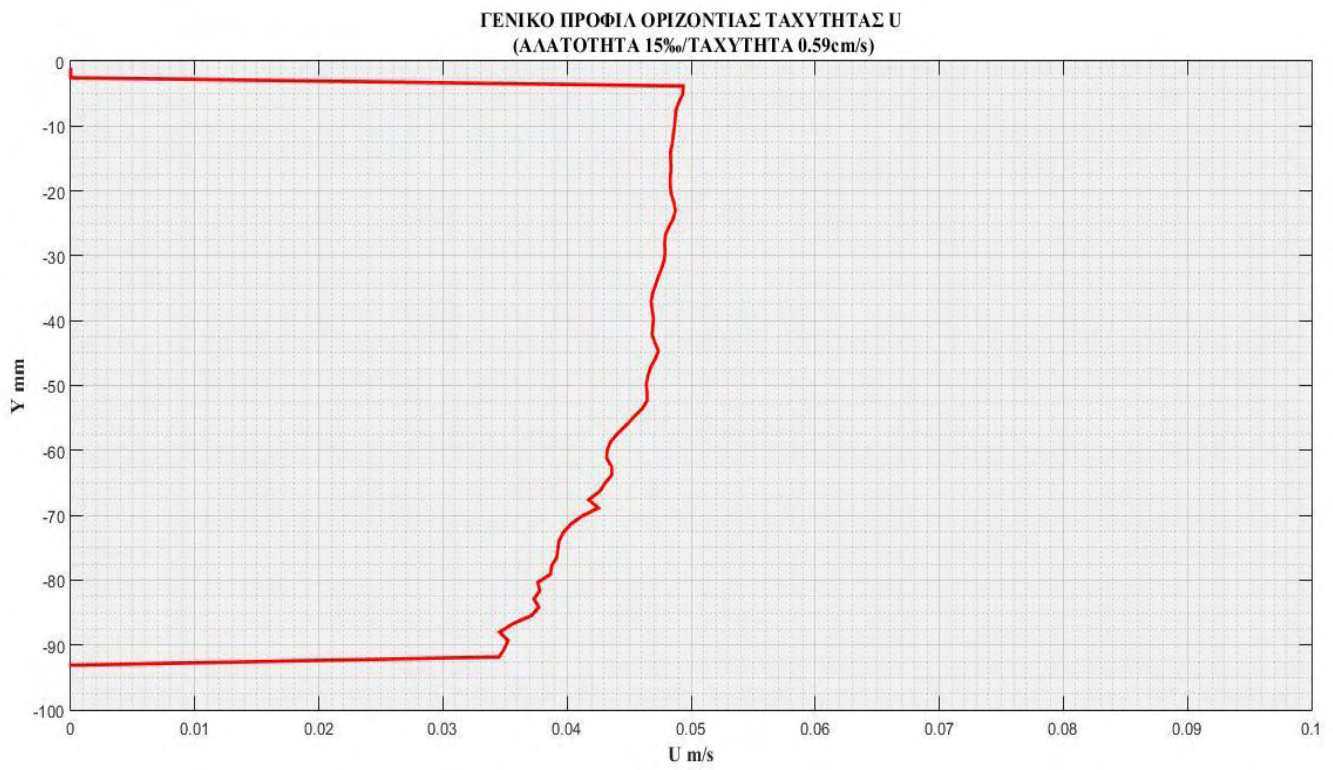
Εικόνα 4.6.14 Γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 4ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.22cm/s)

Από τα διαγράμματα για αλατότητα 10S παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο αυξάνεται και η μέγιστη τιμή της οριζόντιας ταχύτητας, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού το προφίλ των οριζόντιων ταχυτήτων διαμορφώνεται πρωτίστως από την ταχύτητα ευθύγραμμης ροής.

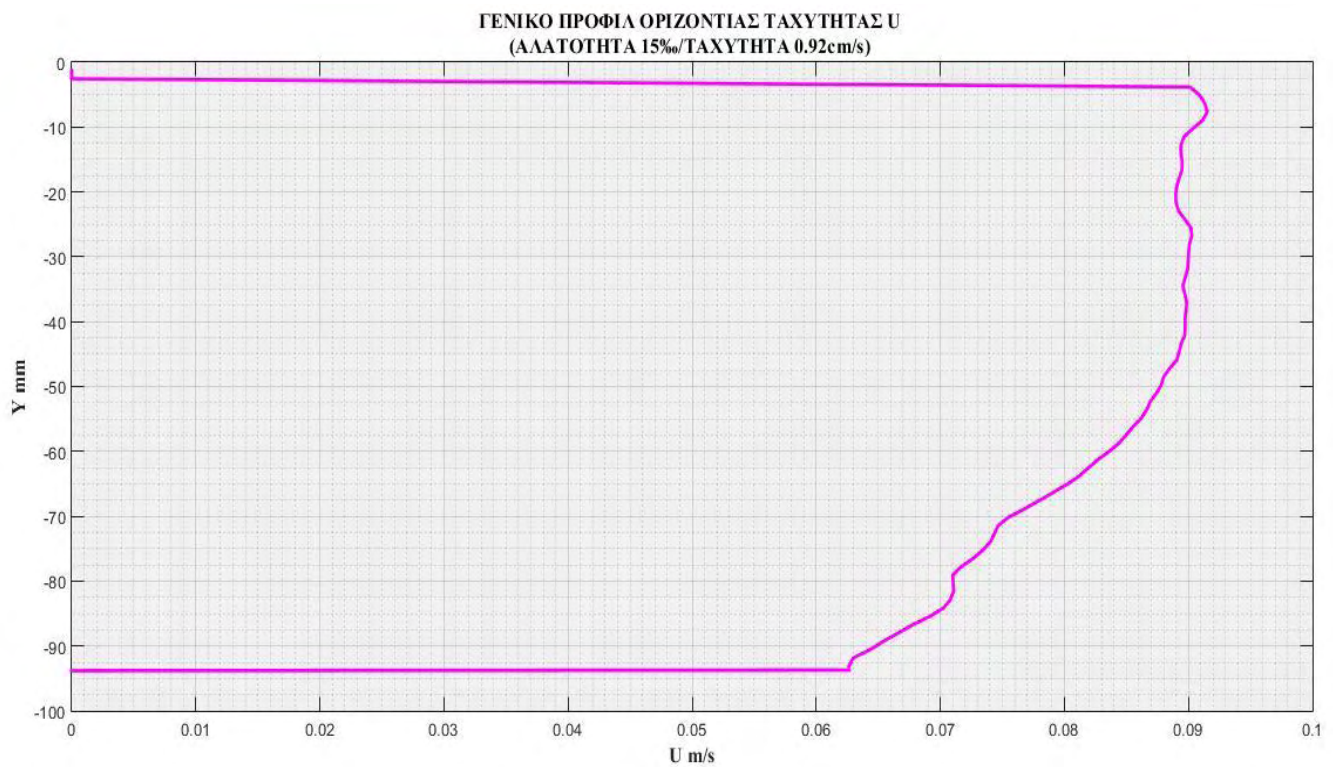


Εικόνα 4.6.15 Σύγκριση γενικών προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας U για 1ο, 2ο, 3ο και 4ο πείραμα (αλατότητα 10‰)

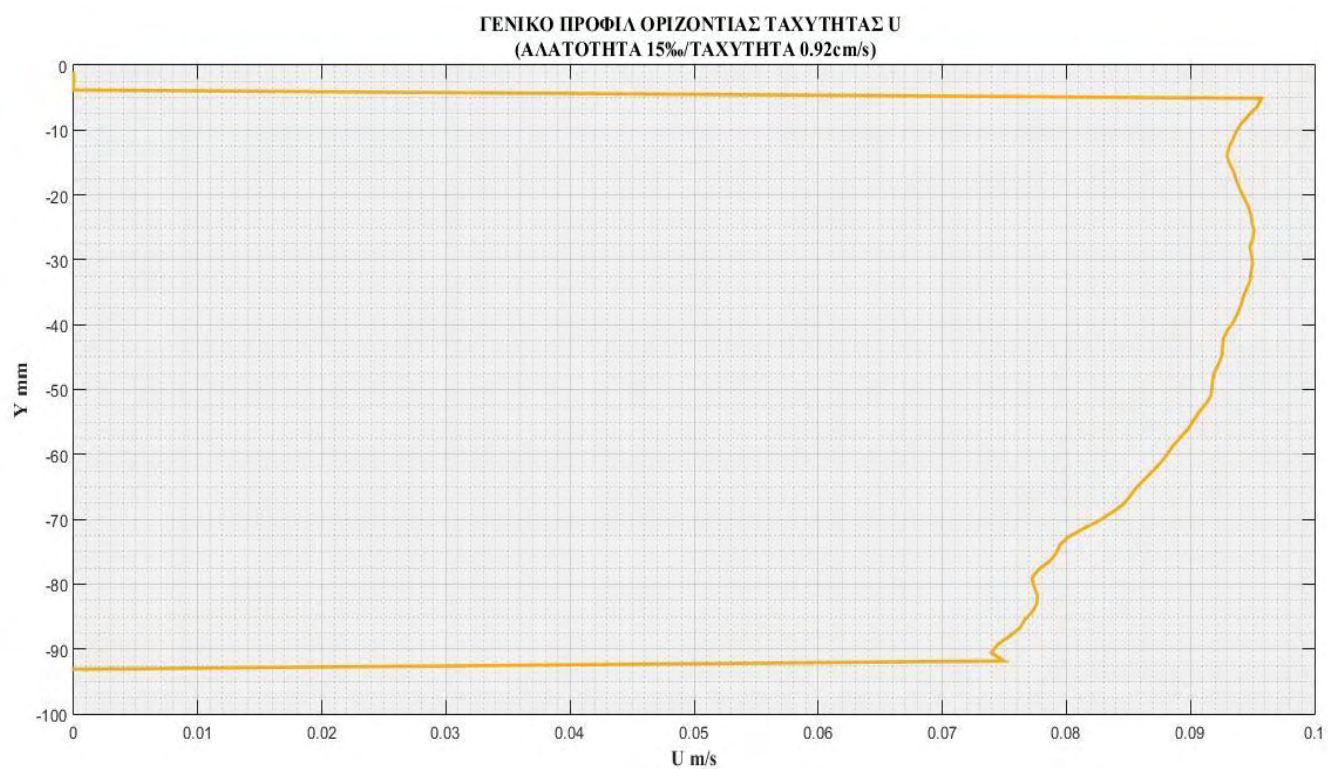
Διαγράμματα πειραμάτων με αλατότητα ρευστού φλέβας 15S:



Εικόνα 4.6.16 Γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 5ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)

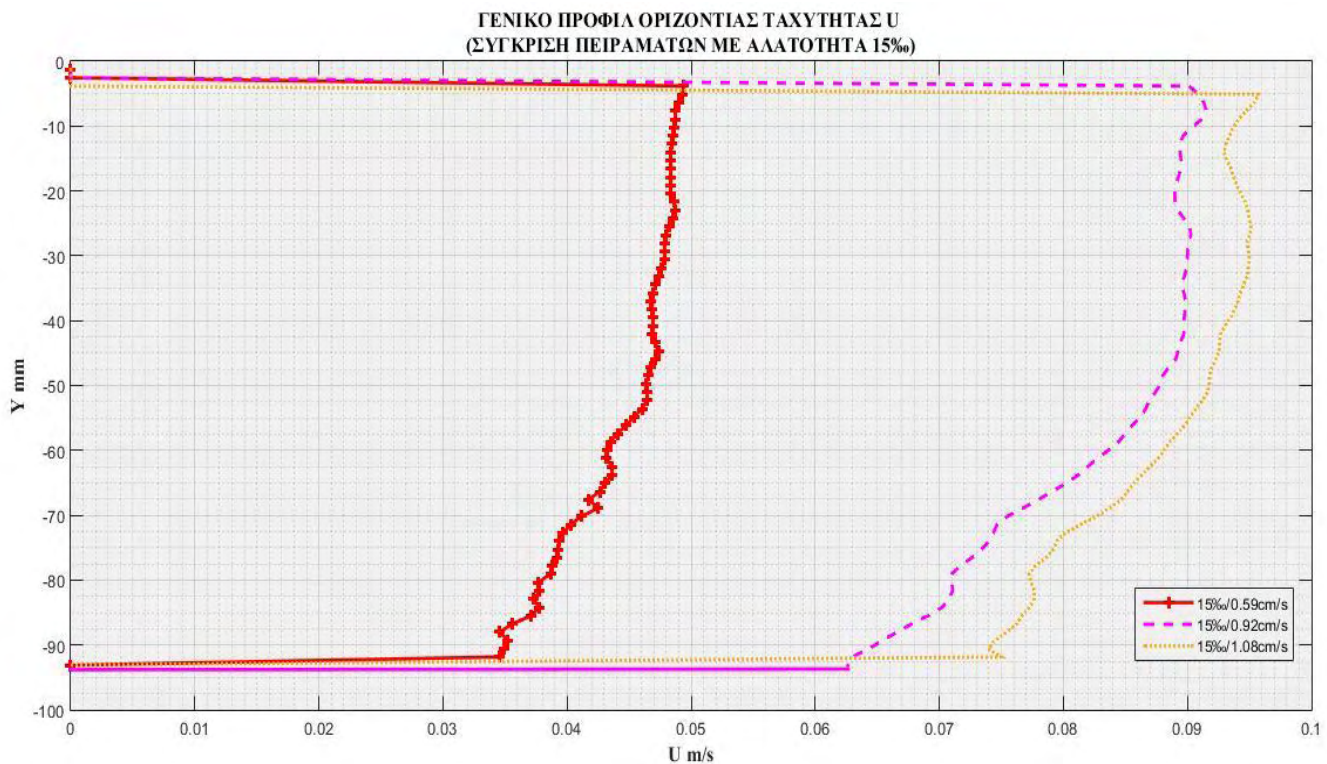


Εικόνα 4.6.17 Γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 6ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s)



Εικόνα 4.6.18 Γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 7ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)

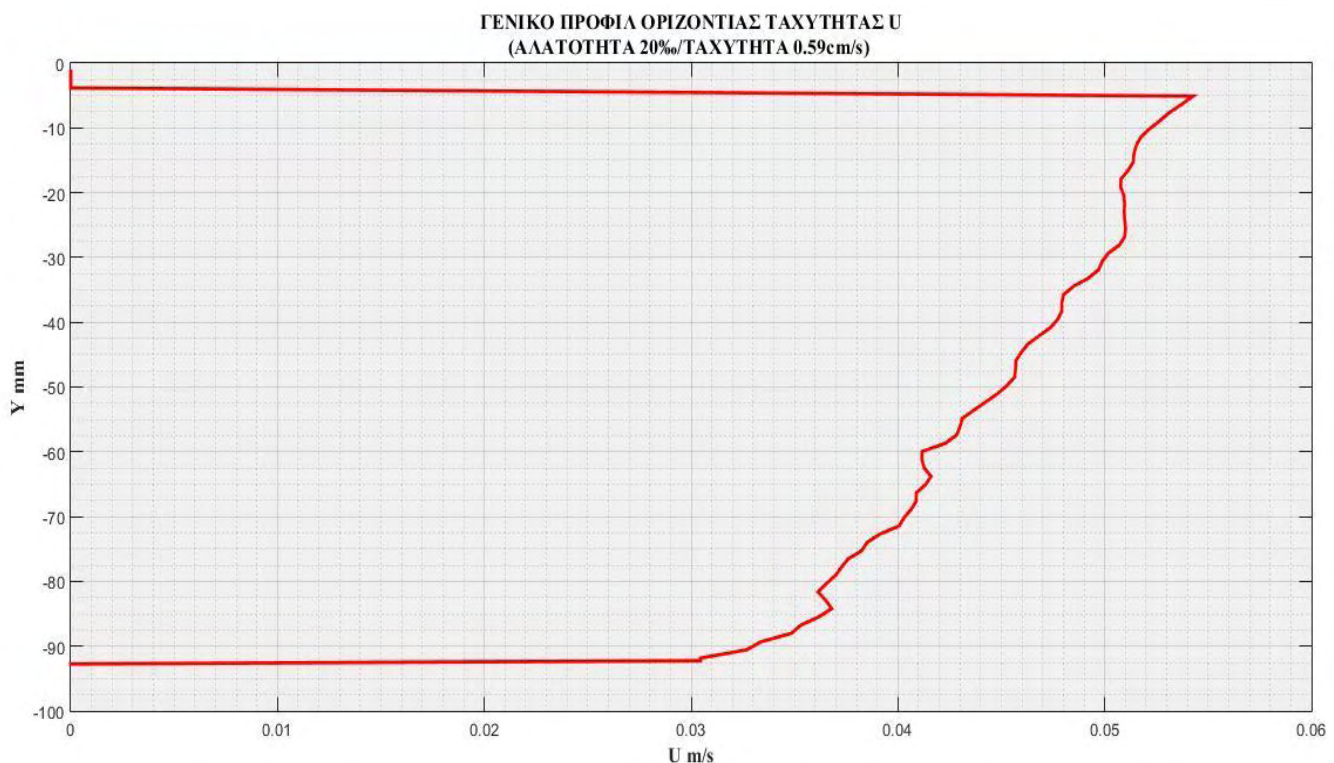
Όμοια και στα διαγράμματα με αλατότητα 15‰, όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο αυξάνεται και η μέγιστη τιμή της οριζόντιας ταχύτητας, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού το προφίλ των οριζόντιων ταχυτήτων διαμορφώνεται πρωτίστως από την ταχύτητα ευθύγραμμης ροής. Επιπλέον, η αλατότητα δεν φαίνεται να επηρεάζει τις μέγιστες τιμές των διαγραμμάτων, αν συγκριθούν τα διαγράμματα των πειραμάτων με αλατότητα 15‰ με αυτά με αλατότητα 10‰.



Εικόνα 4.6.19 Σύγκριση γενικών προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας U για 5ο, 6ο και 7ο πείραμα (αλατότητα 15‰)

Διάγραμμα πειράματος με αλατότητα ρευστού φλέβας 20S:

Όμοια και στα διαγράμματα με αλατότητα 20S, όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο αυξάνεται και η μέγιστη τιμή της οριζόντιας ταχύτητας, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού το προφίλ των οριζόντιων ταχυτήτων διαμορφώνεται πρωτίστως από την ταχύτητα ευθύγραμμης ροής. Επιπλέον, η αλατότητα δεν φαίνεται να επηρεάζει τις μέγιστες τιμές των διαγραμμάτων, αν συγκριθεί το διάγραμμα του πειράματος με αλατότητα 20S με αυτά με αλατότητα 10S και 15S.



Εικόνα 4.6.20 Γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 9ο πείραμα (αλατότητα 20‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)

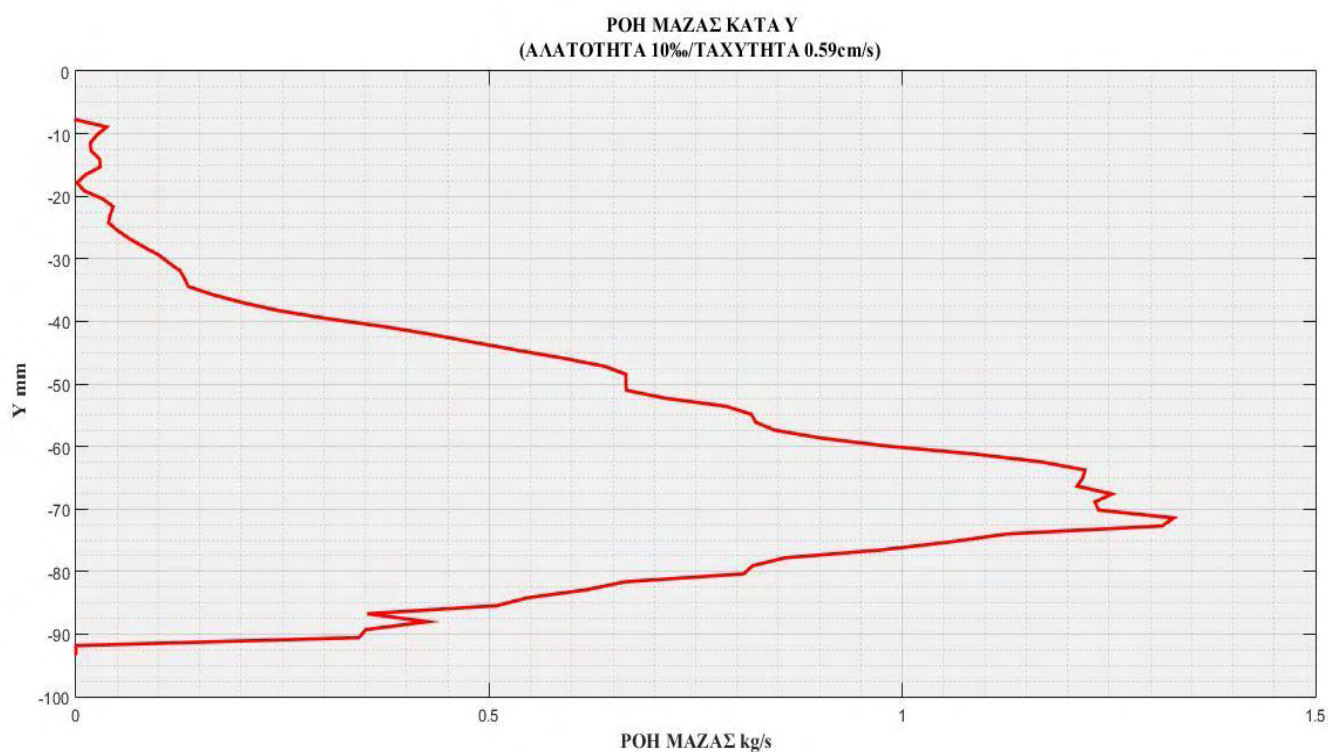
Τελικά από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτουν τα εξής:

1. Κοντά στον πυθμένα η ταχύτητα μηδενίζεται, ενώ στα άλλα σημεία αν και παρουσιάζει διακυμάνσεις, οι οποίες οφείλονται στην παρεμβολή της φλέβας στην ευθύγραμμη ροή, δεν είναι μεγάλες και φαίνεται η ταχύτητα να λιμνάζει.
2. Όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο μεγαλύτερη η μέγιστη τιμή της ταχύτητας U
3. Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας U είναι ανεξάρτητη από την αλατότητα του ρευστού της φλέβας (άρα και μεγαλύτερη διαφορά πυκνότητας φλέβας-ροής)

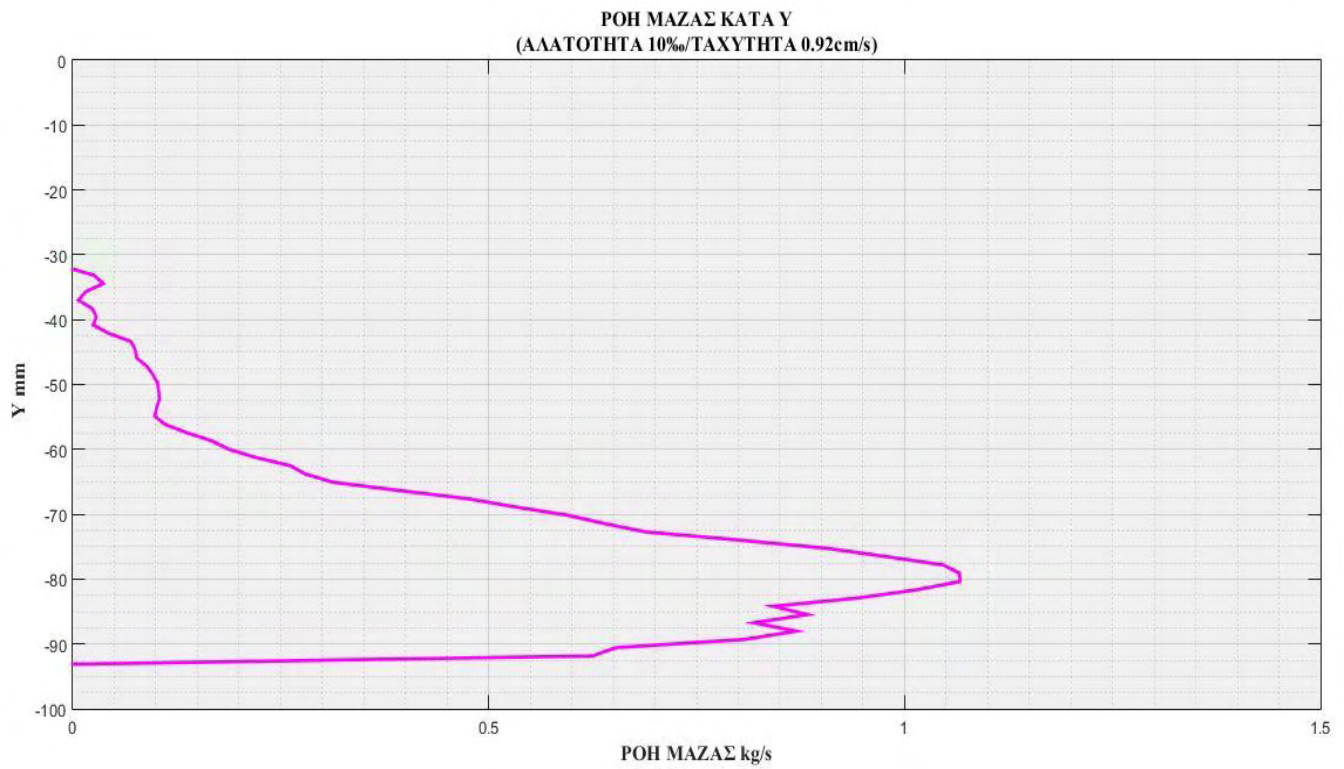
Διαγράμματα ροής μάζας κατά Υ:

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής μάζας κατά Υ. Σε κάθε εικόνα που παρουσιάζεται υπάρχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Η ροή μάζας κατά Υ ξεκινώντας από τον πυθμένα αυξάνει έως ότου φτάσει μία μέγιστη τιμή και μετά αρχίζει πάλι να μειώνεται.

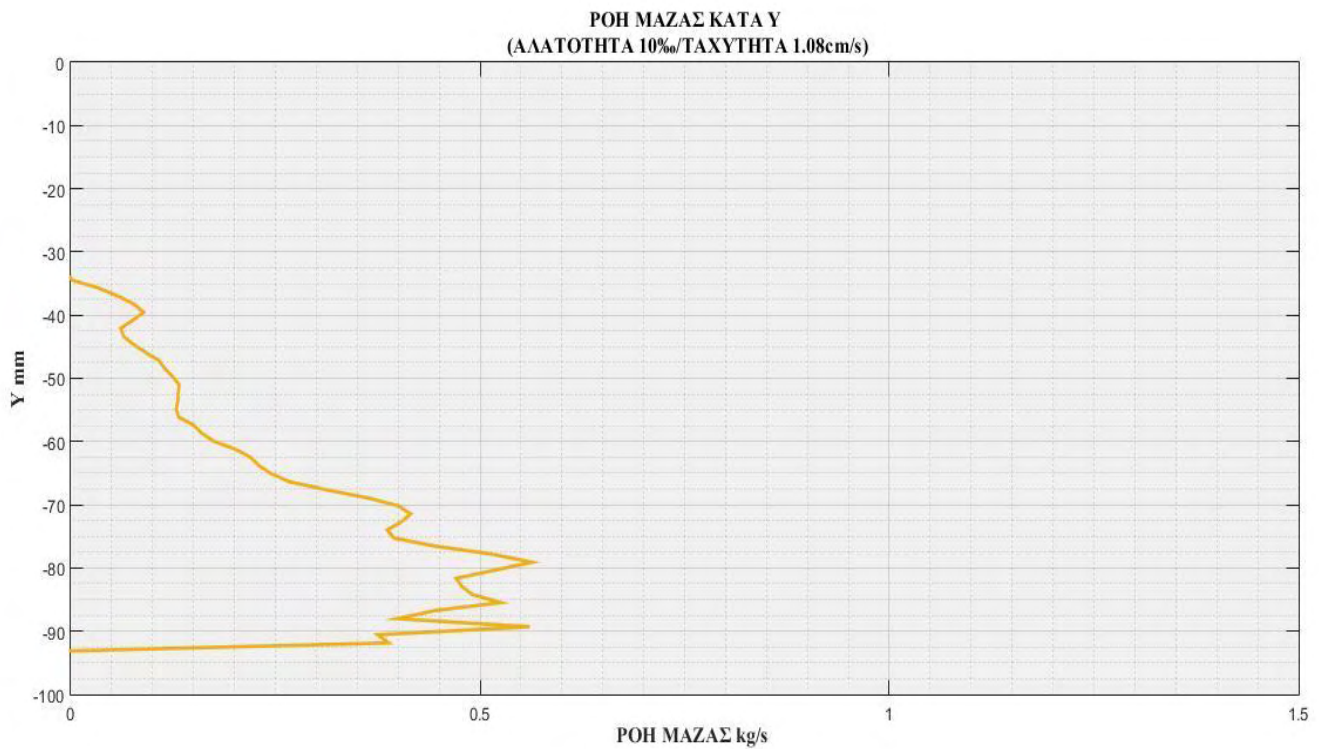
Διαγράμματα πειραμάτων με αλατότητα ρευστού φλέβας 10‰:



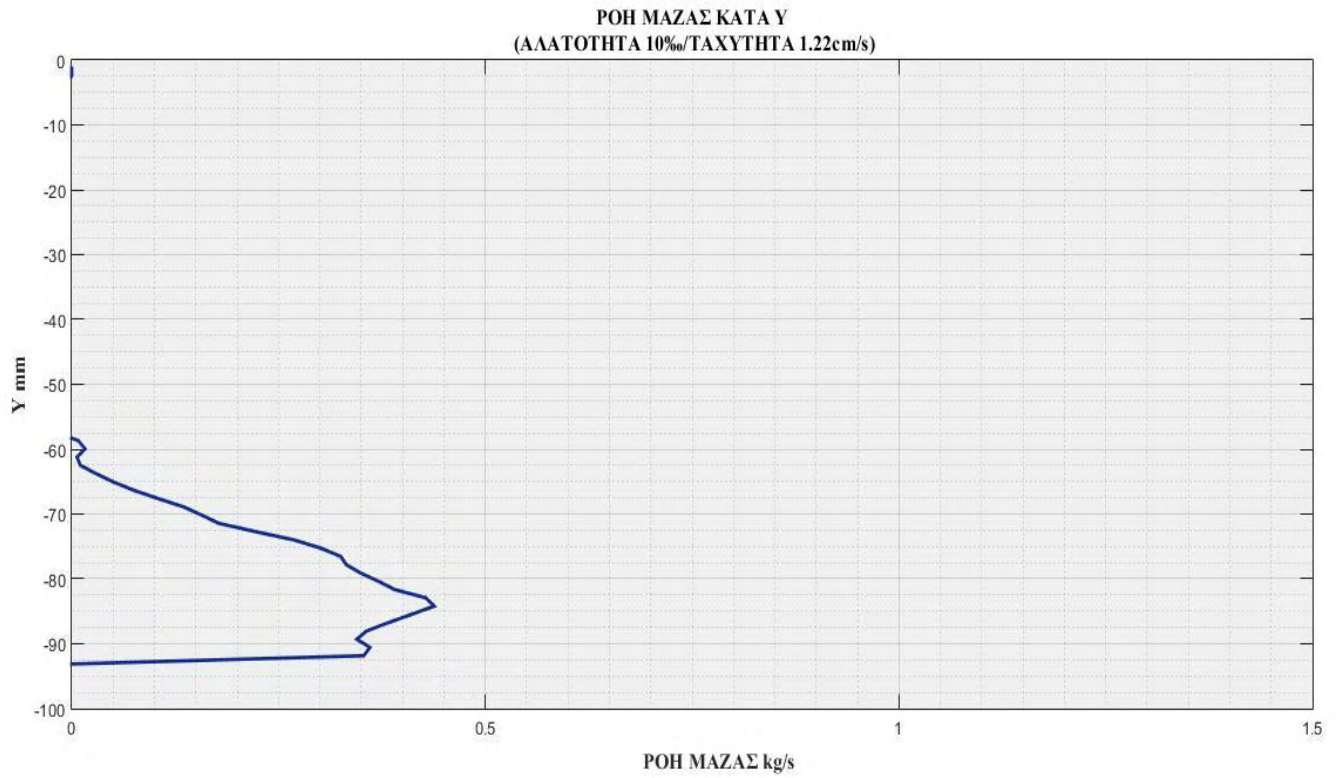
Εικόνα 4.6.21 Ροή μάζας κατά Υ για το 1ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)



Εικόνα 4.6.22 Ροή μάζας κατά Υ για το 2ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s)

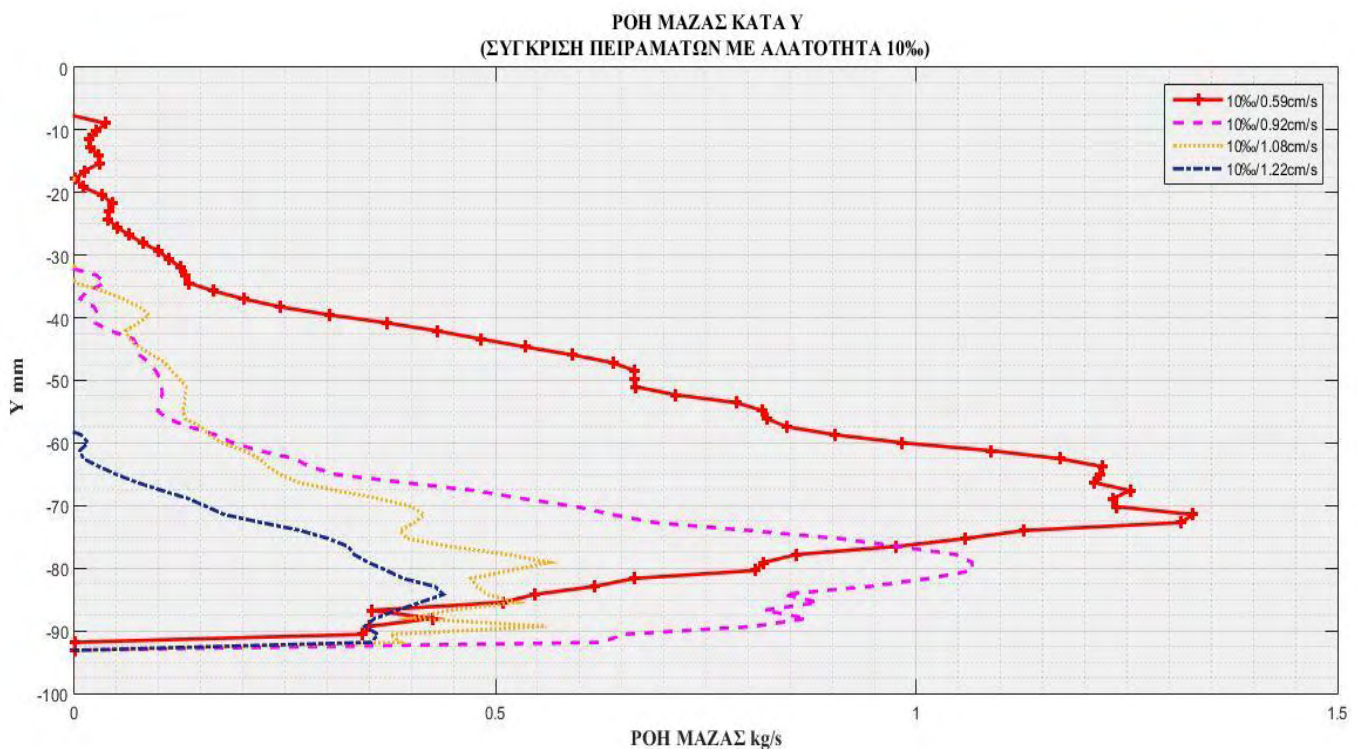


Εικόνα 4.6.23 Ροή μάζας κατά Υ για το 3ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)



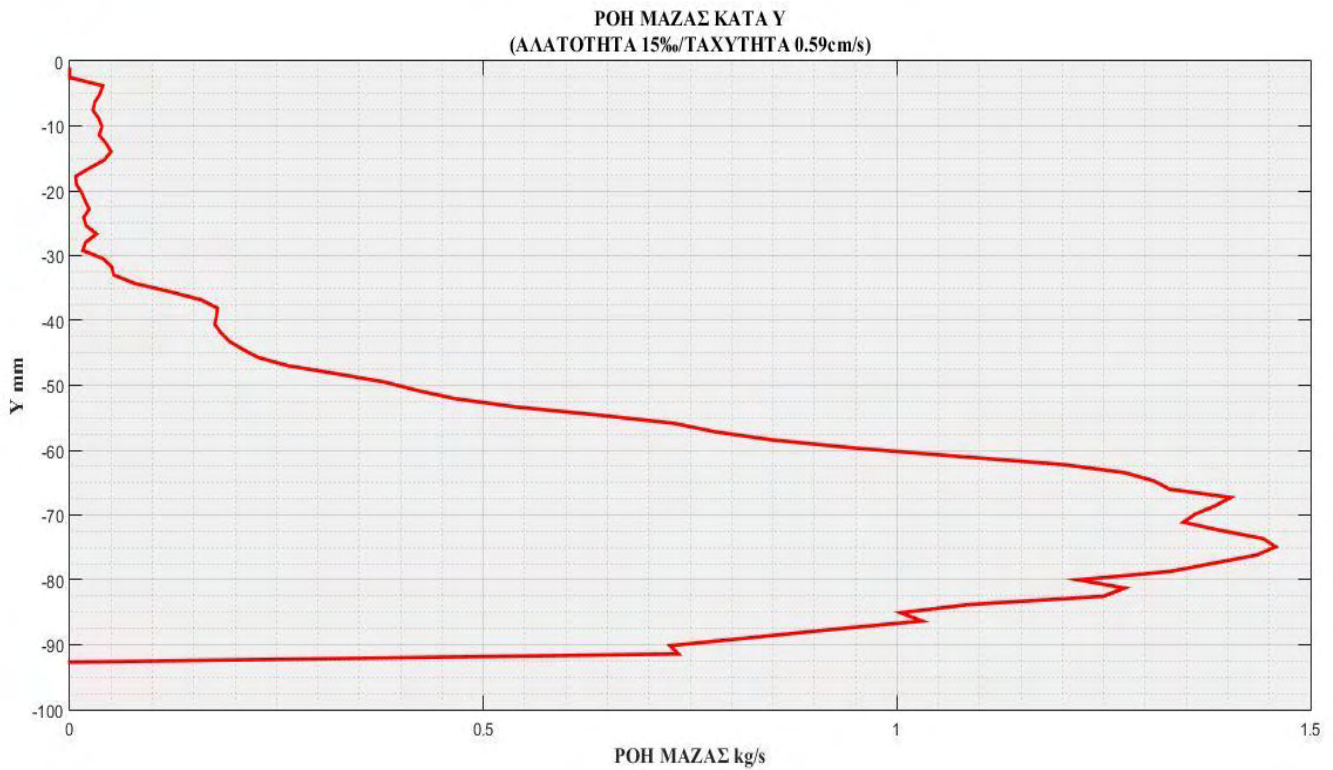
Εικόνα 4.6.24 Ροή μάζας κατά Υ για το τέταρτο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.22cm/s)

Από τα διαγράμματα με αλατότητα 10%, προκύπτει ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο μειώνεται και η μέγιστη τιμή της ροής μάζας κατά Υ, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού η αύξηση της ταχύτητας της ευθύγραμμης ροής μειώνει την ανωστική τάση της φλέβας, άρα και τη ροή μάζας κατά Υ. Επιπλέον, όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής τόσο περισσότερο η μέγιστη τιμή της ροής μάζας κατά Υ πλησιάζει στον πυθμένα, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής τόσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του άξονα της φλέβας σε σχέση με τον κατακόρυφο άξονα, άρα η επίδραση της ανωστικής τάσης της φλέβας πλησιάζει τον πυθμένα.

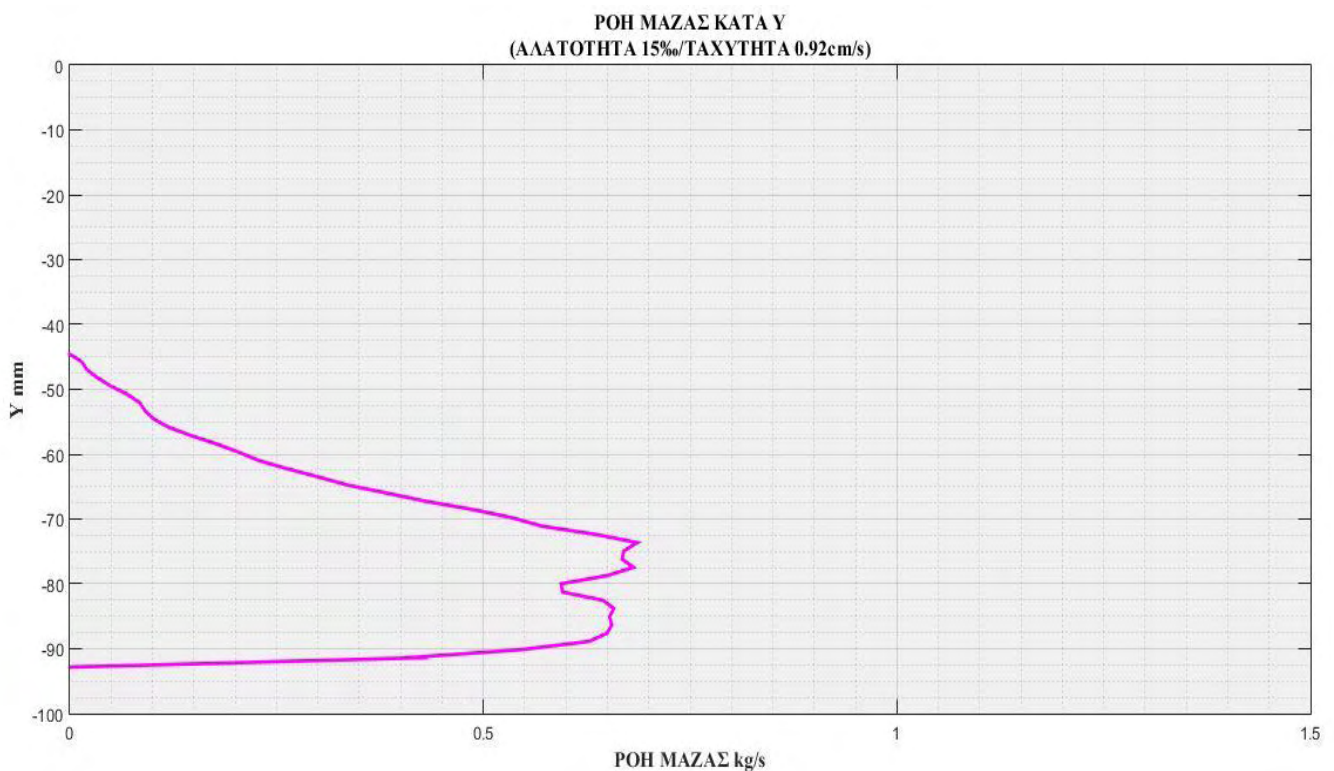


Εικόνα 4.6.25 Σύγκριση ροών μάζας κατά Υ προφίλ για 1ο, 2ο, 3ο και 4ο πείραμα (αλατότητα 10%)

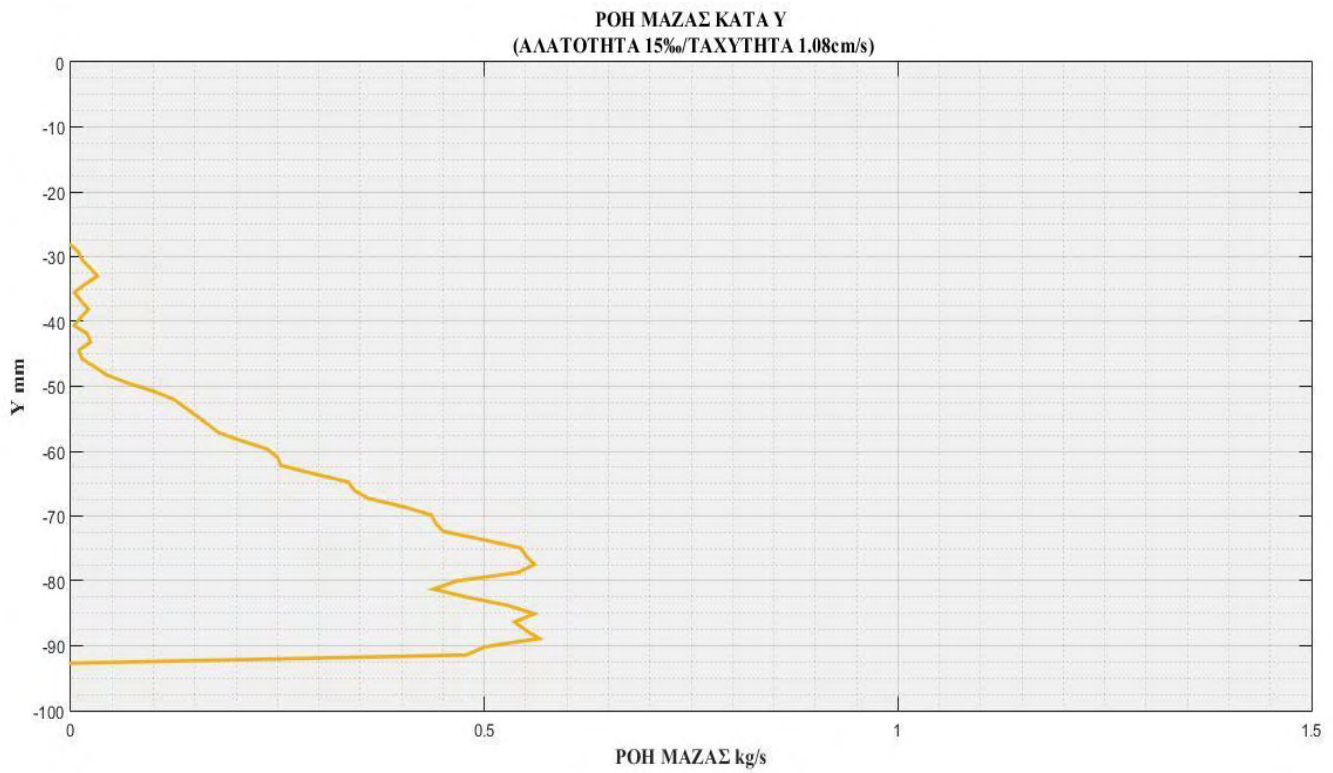
Διαγράμματα πειραμάτων με αλατότητα ρευστού φλέβας 15‰:



Εικόνα 4.6.26 Ροή μάζας κατά Υ για το 5ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)

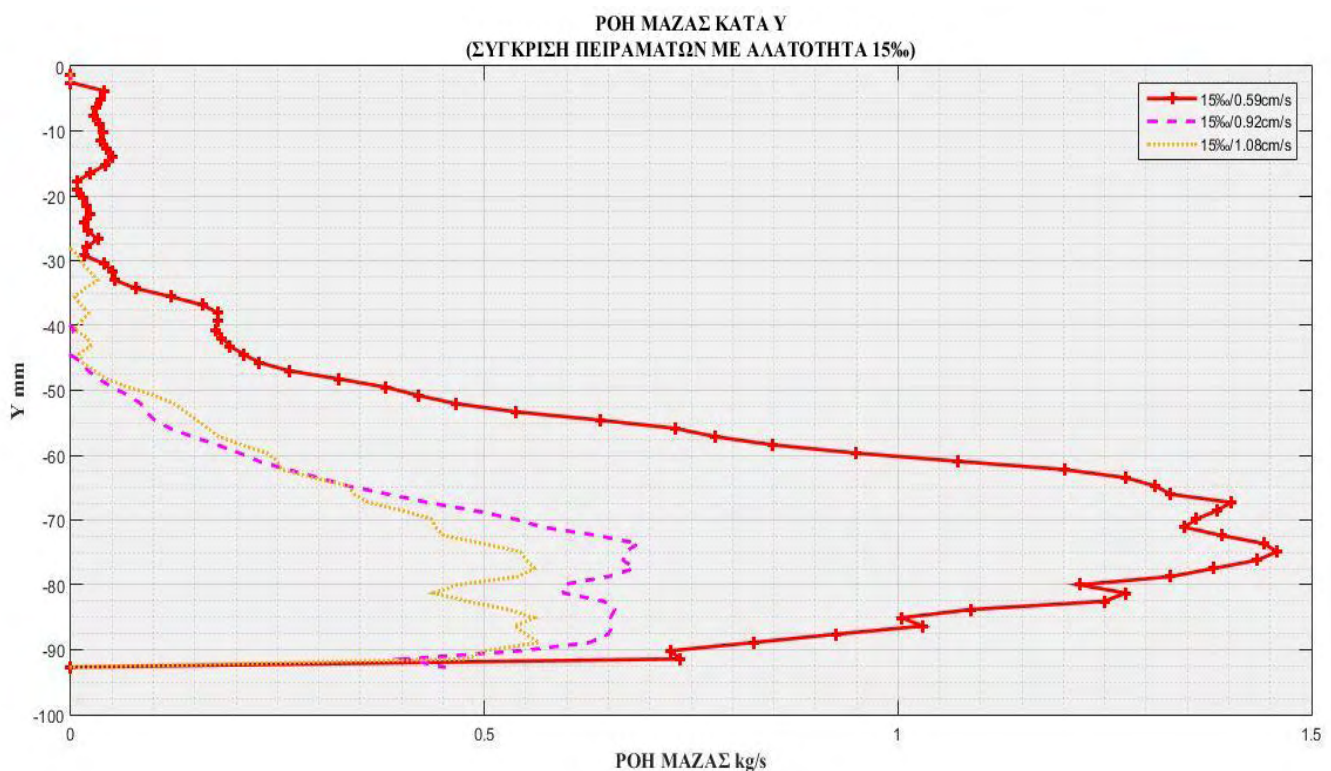


Εικόνα 4.6.27 Ροή μάζας κατά Υ για το 6ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s)



Εικόνα 4.6.28 Ροή μάζας κατά Υ για το 7ο πείραμα (αλατότητα 15% και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)

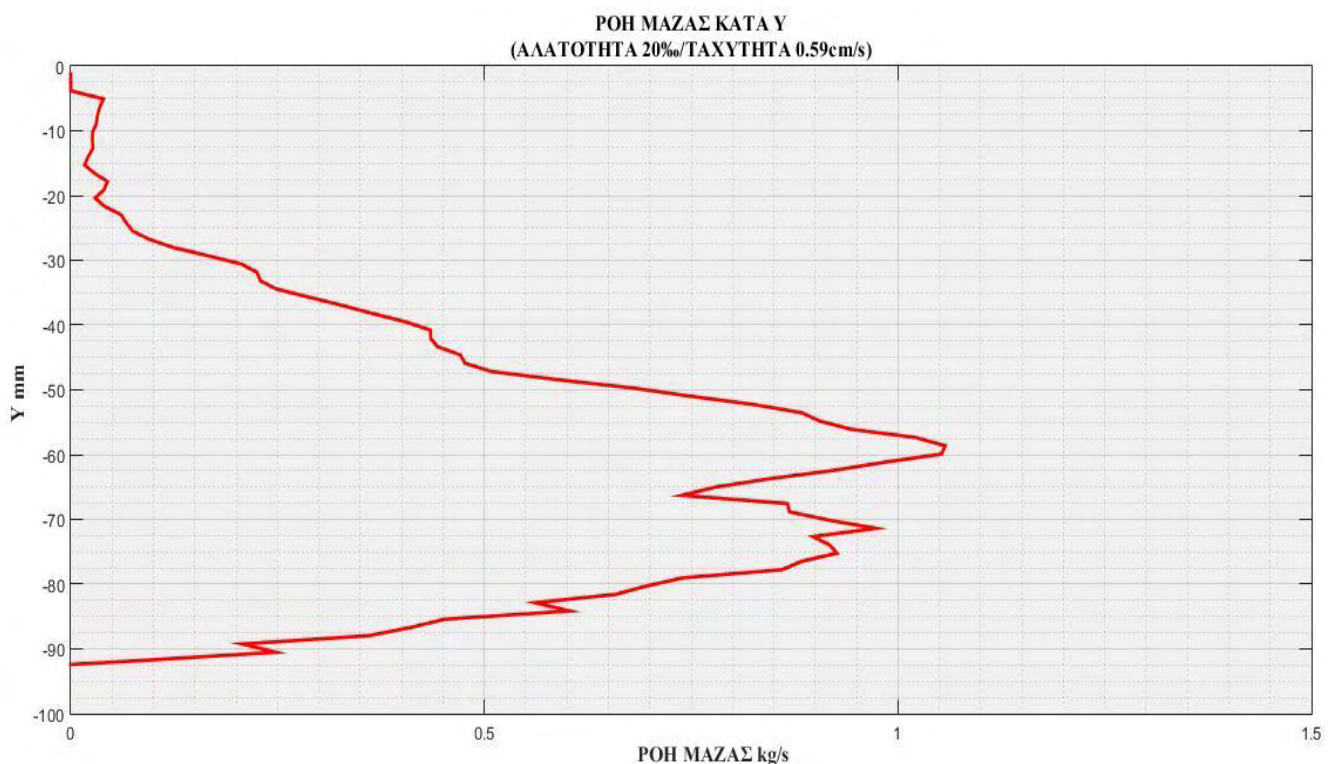
Όμοια και στα διαγράμματα με αλατότητα 15% όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο μειώνεται και η μέγιστη τιμή της ροής μάζας κατά Y , κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού η αύξηση της ταχύτητας της ευθύγραμμης ροής μειώνει την ανωστική τάση της φλέβας, άρα και τη ροή μάζας κατά Y . Επιπλέον, όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής τόσο περισσότερο η μέγιστη τιμή της ροής μάζας κατά Y πλησιάζει στον πυθμένα, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής τόσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του άξονα της φλέβας σε σχέση με τον κατακόρυφο άξονα, άρα η επίδραση της ανωστικής τάσης της φλέβας πλησιάζει τον πυθμένα. Σε σχέση με τα πειράματα 10% η μέγιστη τιμή της ροής μάζας κατά Y μειώνεται, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό, αφού μεγαλύτερη αλατότητα του ρευστού της φλέβας συνεπάγεται μεγαλύτερη διαφορά πυκνότητας φλέβας-ροής, άρα και μεγαλύτερες διατμητικές τάσεις φλέβας-ροής.



Εικόνα 4.6.29 Σύγκριση ροών μάζας κατά Y προφίλ για 5ο, 6ο και 7ο πείραμα (αλατότητα 15‰)

Διάγραμμα πειράματος με αλατότητα ρευστού φλέβας 20%:

Όμοια και στο διάγραμμα με αλατότητα 20%, όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο αυξάνεται και η μέγιστη τιμή της οριζόντιας ταχύτητας, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού το προφίλ των οριζόντιων ταχυτήτων διαμορφώνεται πρωτίστως από την ταχύτητα ευθύγραμμης ροής. Επιπλέον, η αλατότητα δεν φαίνεται να επηρεάζει τις μέγιστες τιμές των διαγραμμάτων, αν συγκριθεί το διάγραμμα του πειράματος με αλατότητα 20% με αυτά με αλατότητα 10% και 15%.



Εικόνα 4.6.30 Ροή μάζας κατά Υ για το 9ο πείραμα (αλατότητα 20% και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)

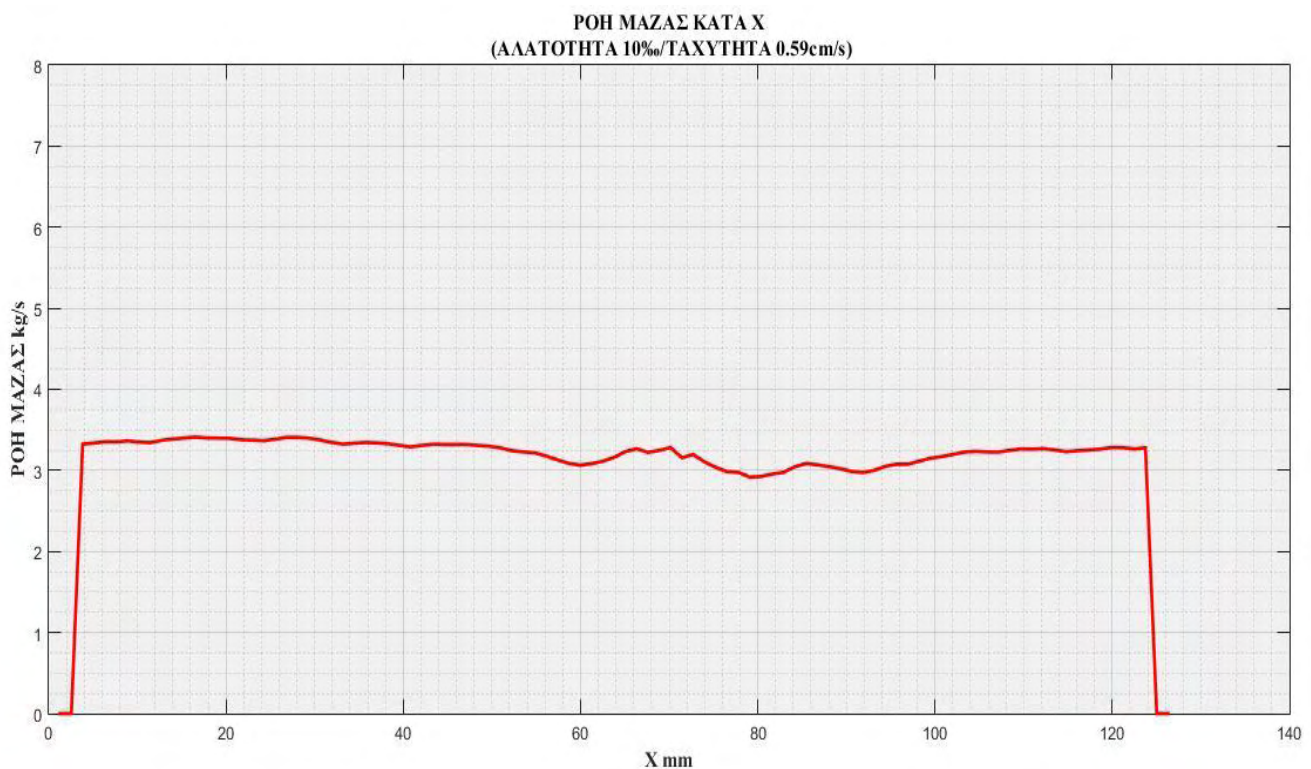
Τελικά από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτουν τα εξής:

1. Η ροή μάζας κατά Υ αρχίζει να αυξάνει από τον πυθμένα μέχρι να φτάσει στη μέγιστη τιμή και μετά αρχίζει να μειώνεται.
2. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο μειώνεται η μέγιστη τιμή της ροής μάζας κατά Υ
3. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο η μέγιστη τιμή της ροής μάζας κατά Υ πλησιάζει τον πυθμένα.
4. Αύξηση της αλατότητας του ρευστού της φλέβας, συνεπάγεται μείωση της μέγιστης τιμής της ροής μάζας κατά Υ.

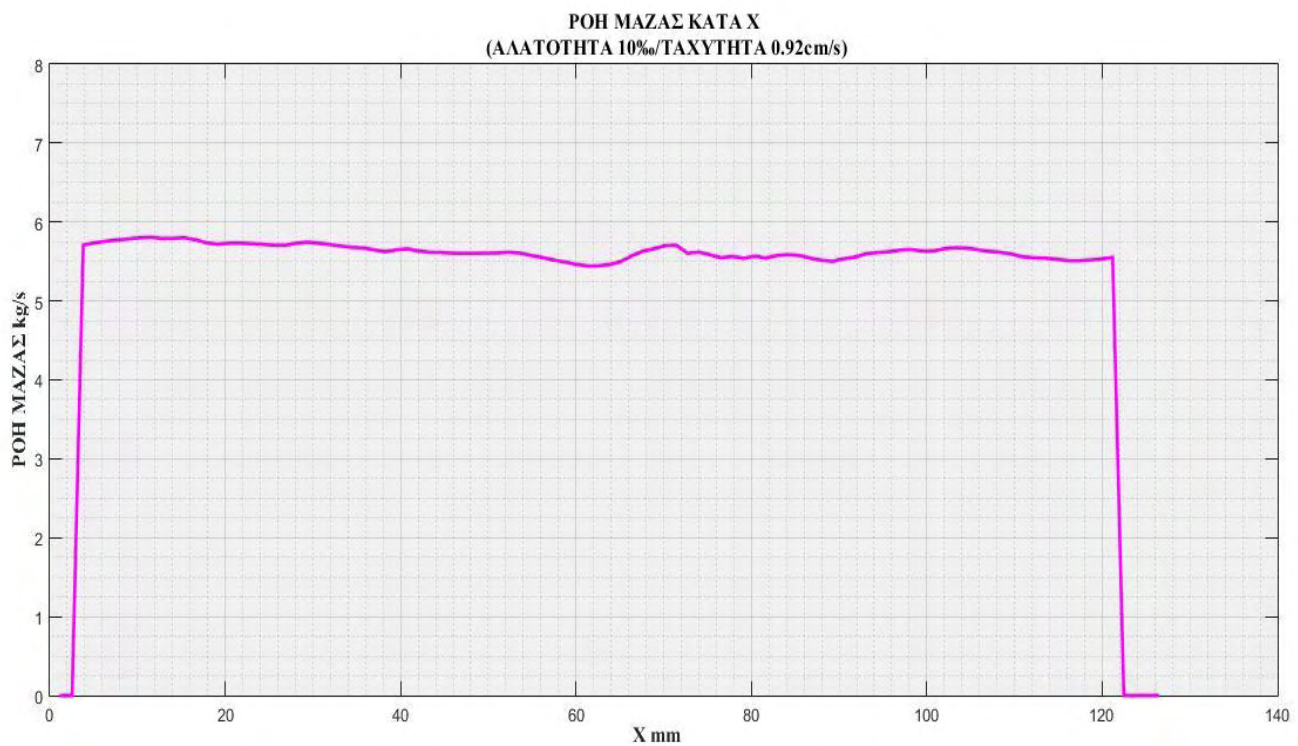
Διαγράμματα ροής μάζας κατά X:

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ροής μάζας κατά X. Σε κάθε εικόνα που παρουσιάζεται υπάρχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Τα διαγράμματα της ροής μάζας κατά X έχουν σταθερή τιμή με μικρές διακυμάνσεις, ε τα επιμέρους χαρακτηριστικά των προφίλ να διαμορφώνονται αλληλένδετα με τη διαφορά πυκνότητας και την ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής.

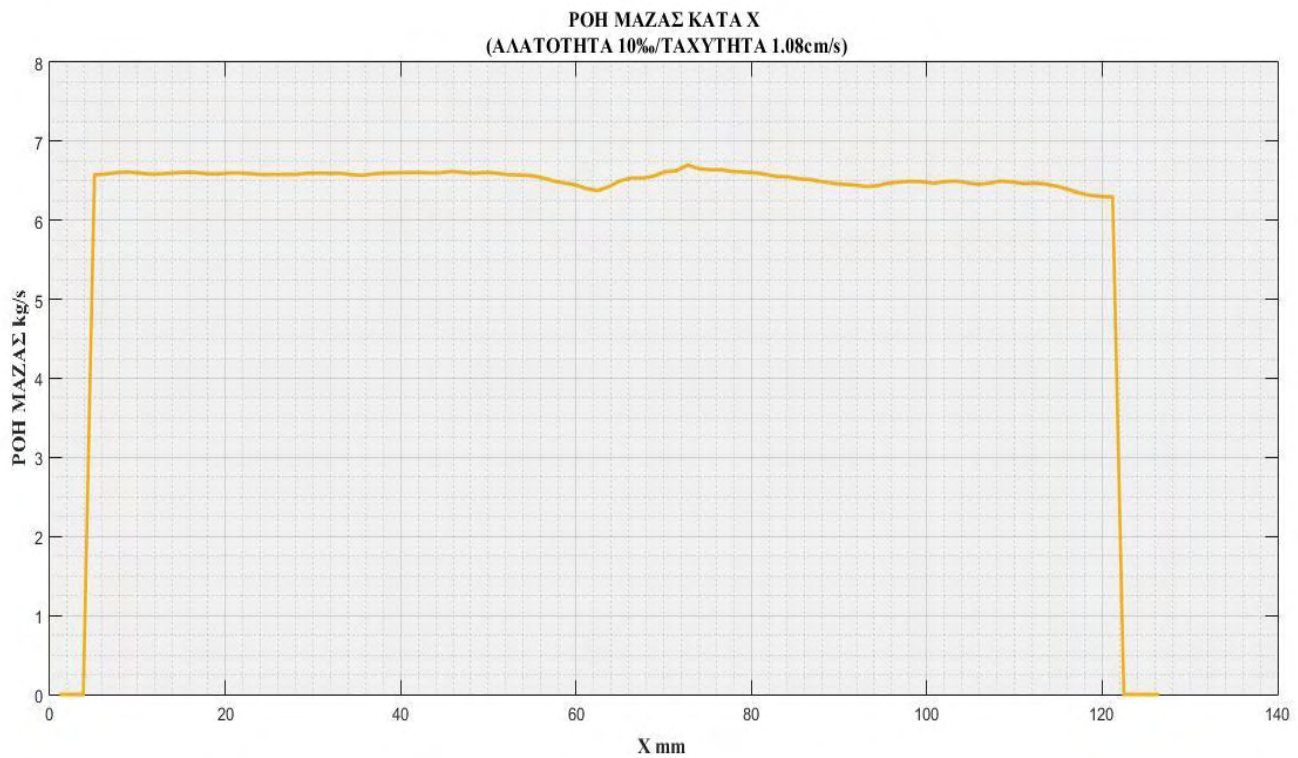
Διαγράμματα πειραμάτων με αλατότητα ρευστού φλέβας 10‰:



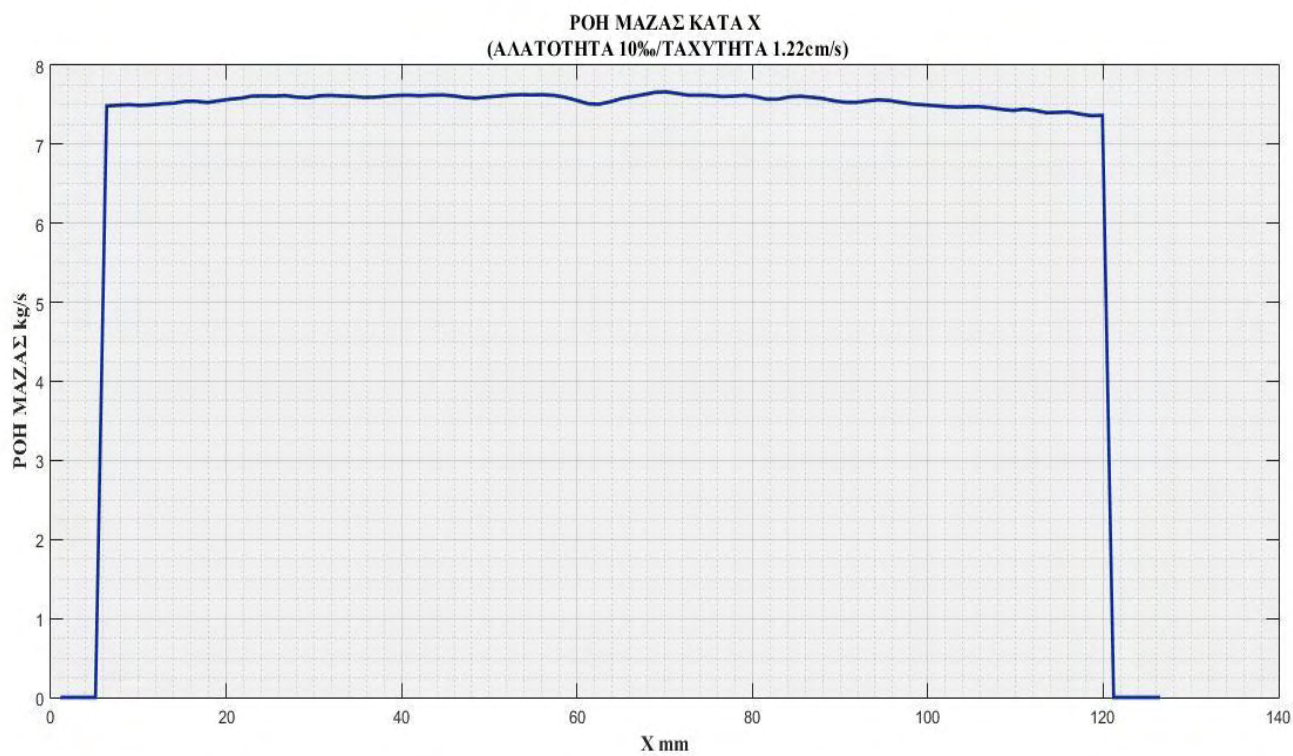
Εικόνα 4.6.31 Ροή μάζας κατά X για το 1ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)



Εικόνα 4.6.32 Ροή μάζας κατά Χ για το 2ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s)

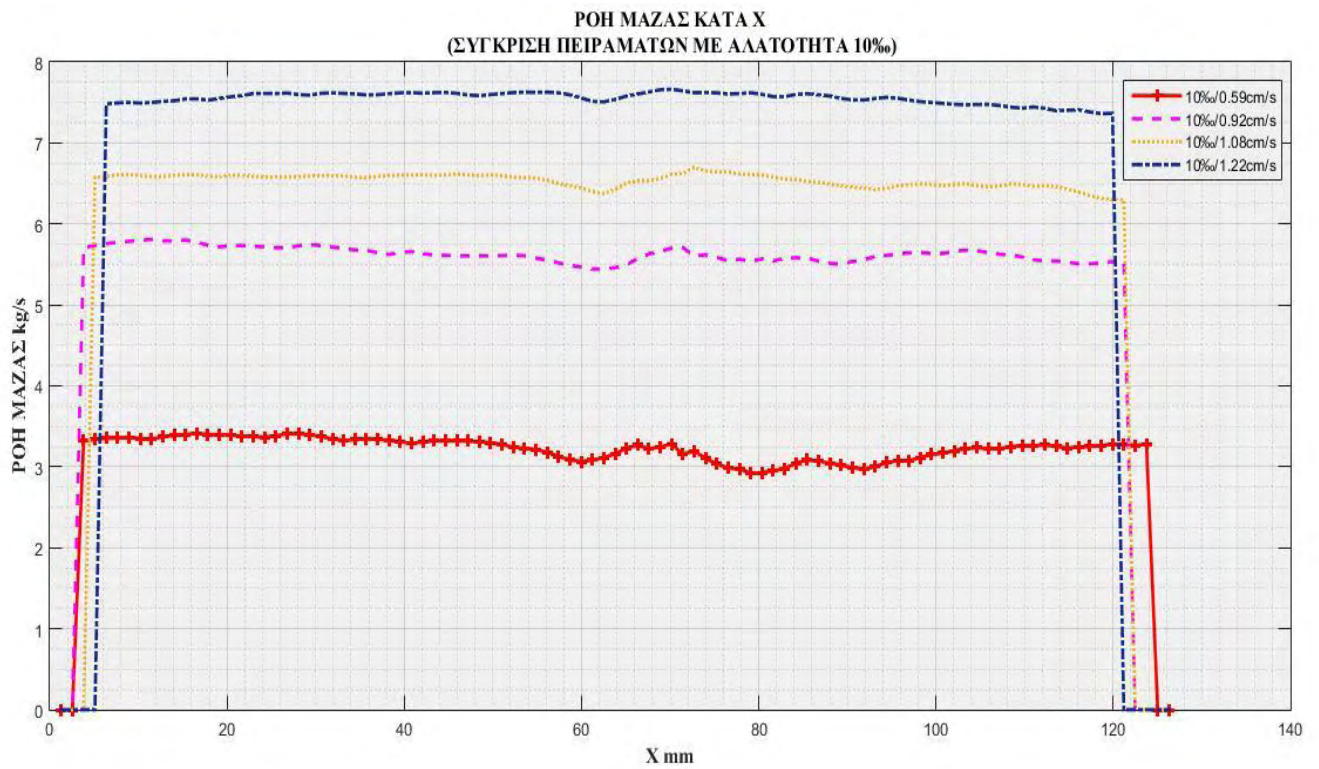


Εικόνα 4.6.33 Ροή μάζας κατά Χ για το 3ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)



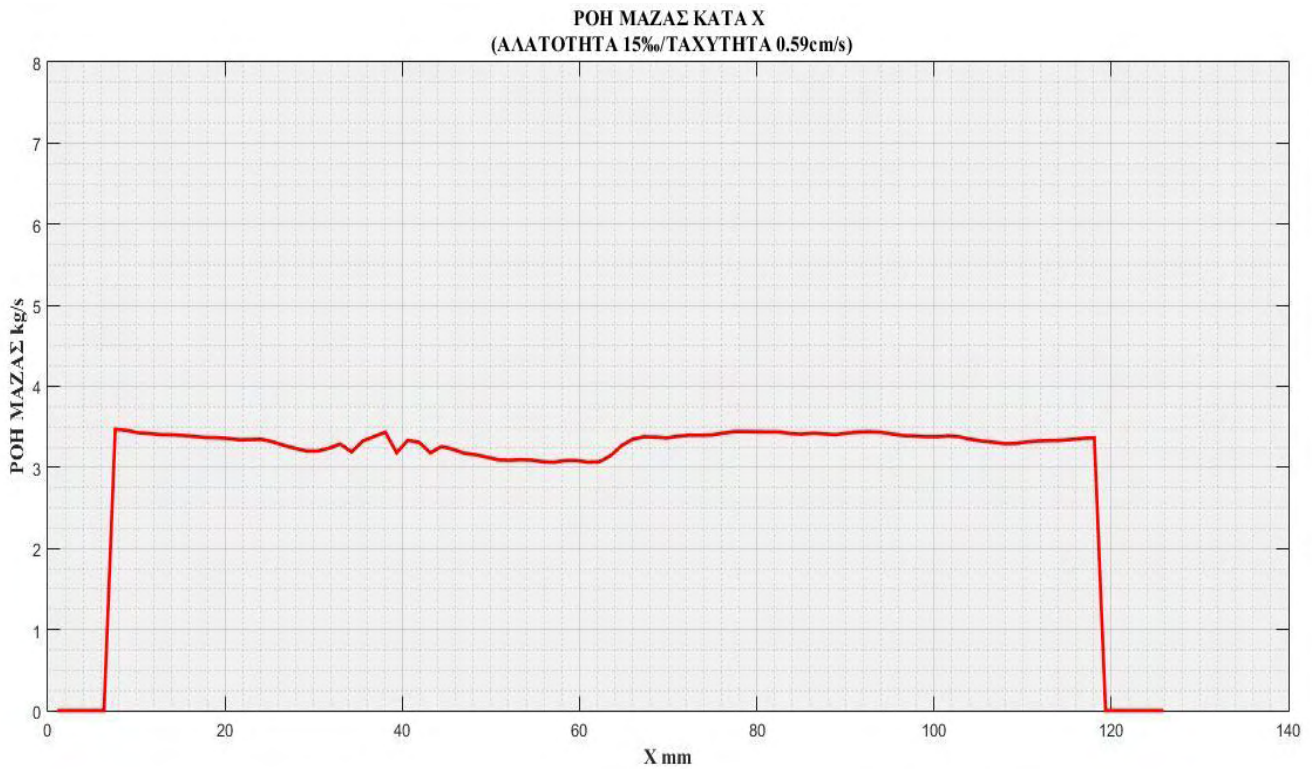
Εικόνα 4.6.34 Ροή μάζας κατά Χ για το 4ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)

Από τα διαγράμματα με αλατότητα 10%, προκύπτει ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο αυξάνεται και η μέγιστη τιμή της ροής μάζας κατά X, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού η αύξηση της ταχύτητας της ευθύγραμμης ροής αυξάνει τη μεταφορά μάζας κατά την κατεύθυνση της ροής.

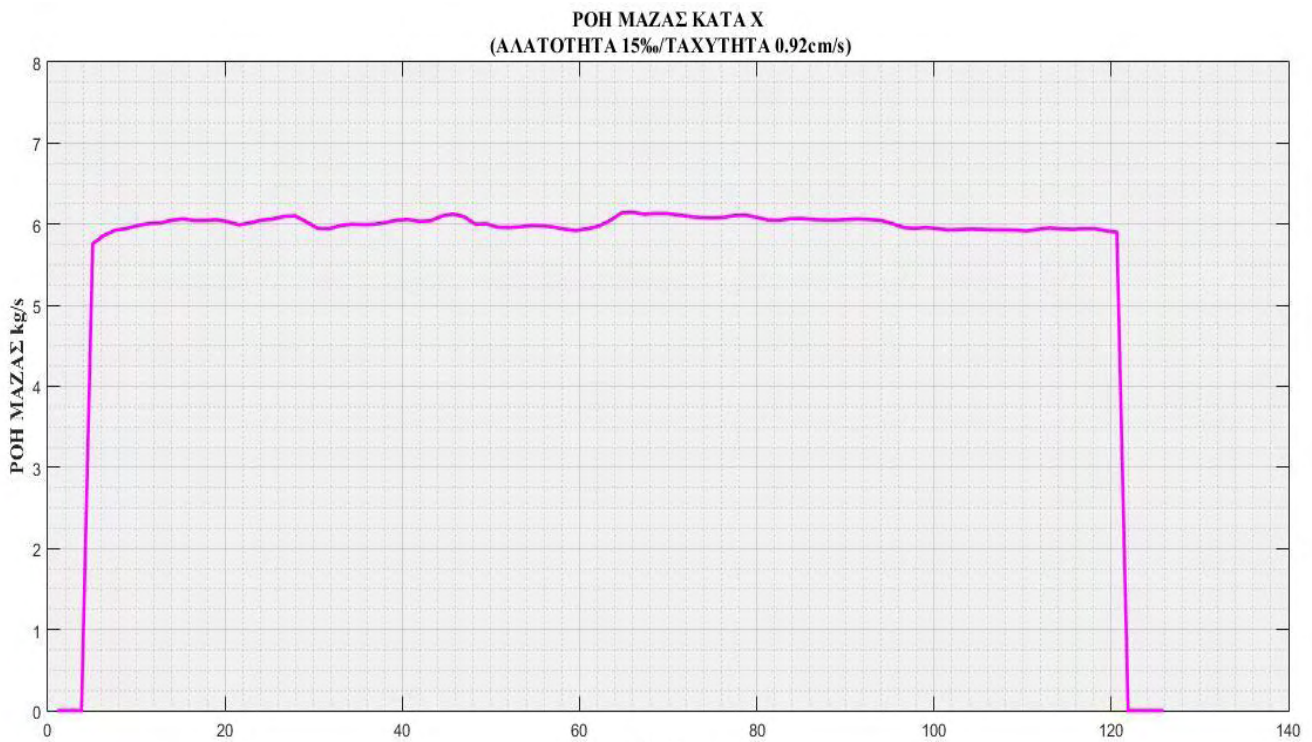


Εικόνα 4.6.35 Σύγκριση ροών μάζας κατά X προφίλ για 1ο, 2ο, 3ο και 7ο πείραμα (αλατότητα 10%)

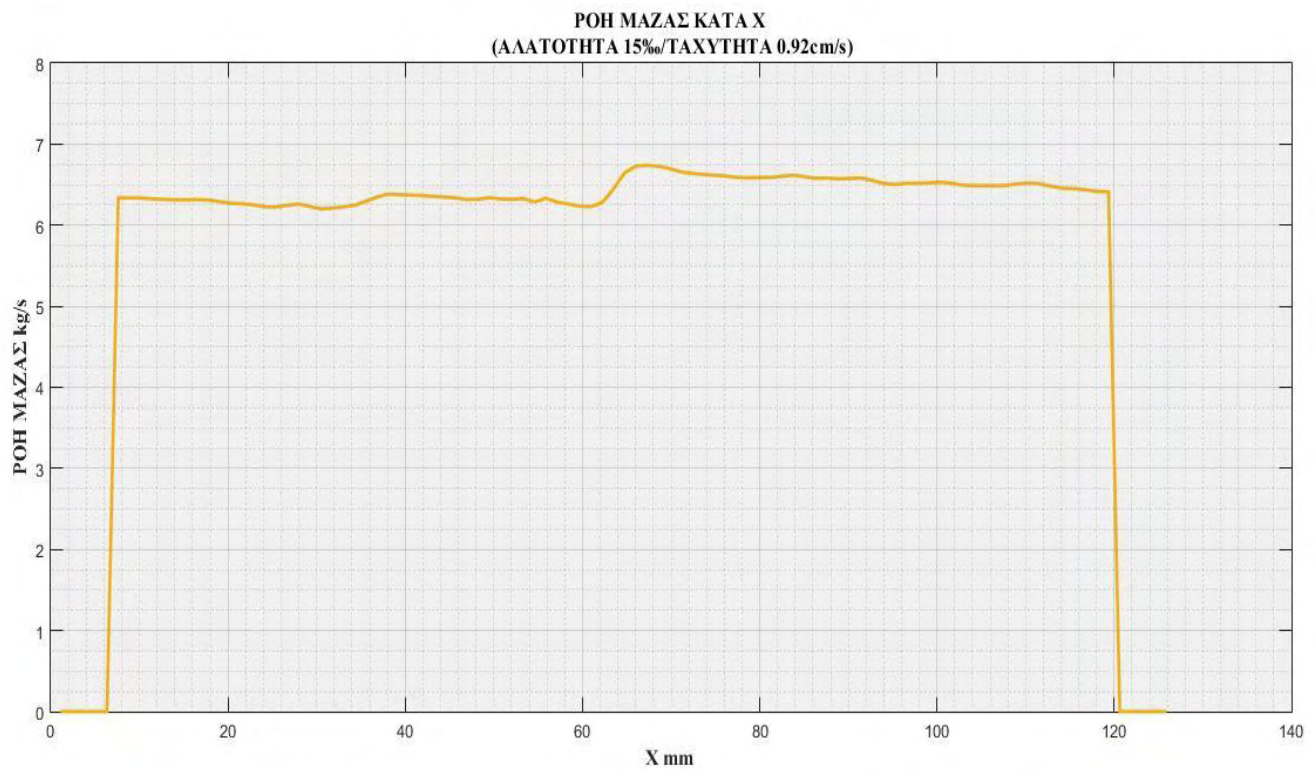
Διαγράμματα πειραμάτων με αλατότητα ρευστού φλέβας 15‰:



Εικόνα 4.6.36 Ροή μάζας κατά Χ για το 5ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)

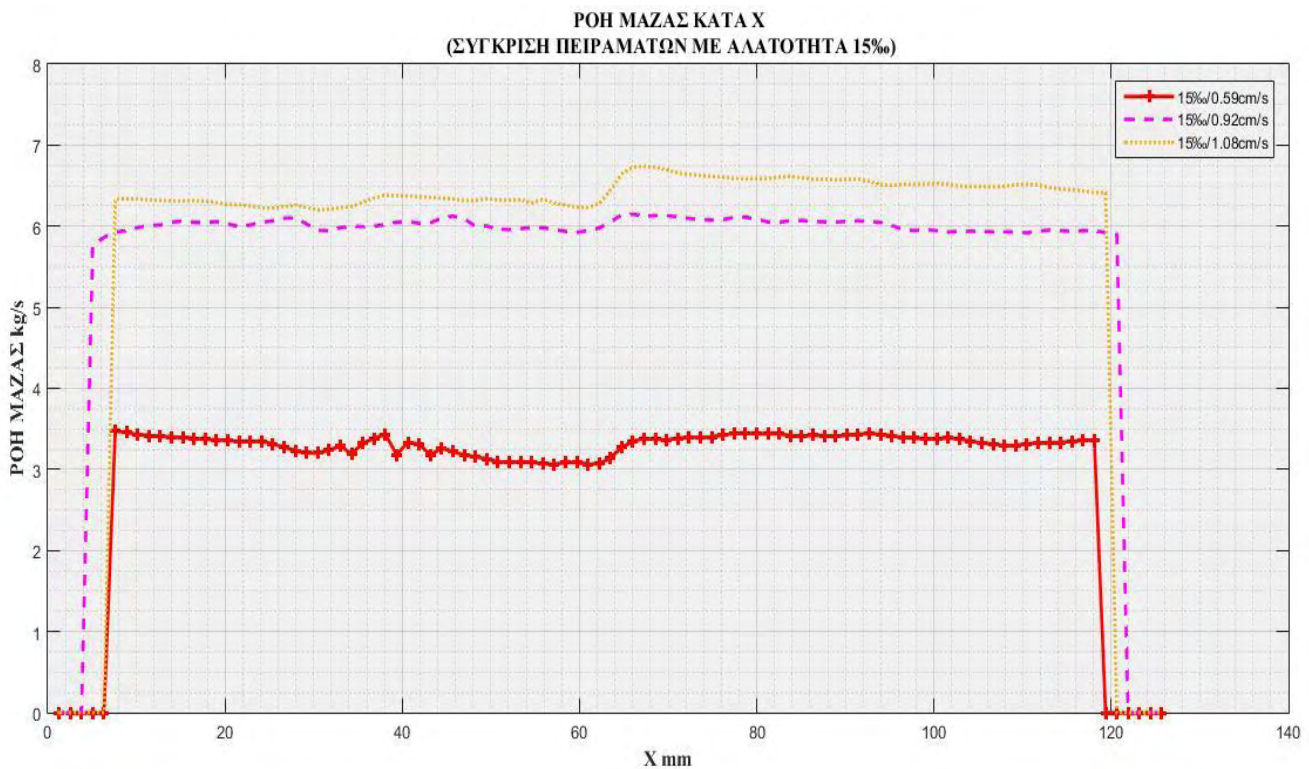


Εικόνα 4.6.37 Ροή μάζας κατά Χ για το 6ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s)



Εικόνα 4.6.38 Ροή μάζας κατά Χ για το 7ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)

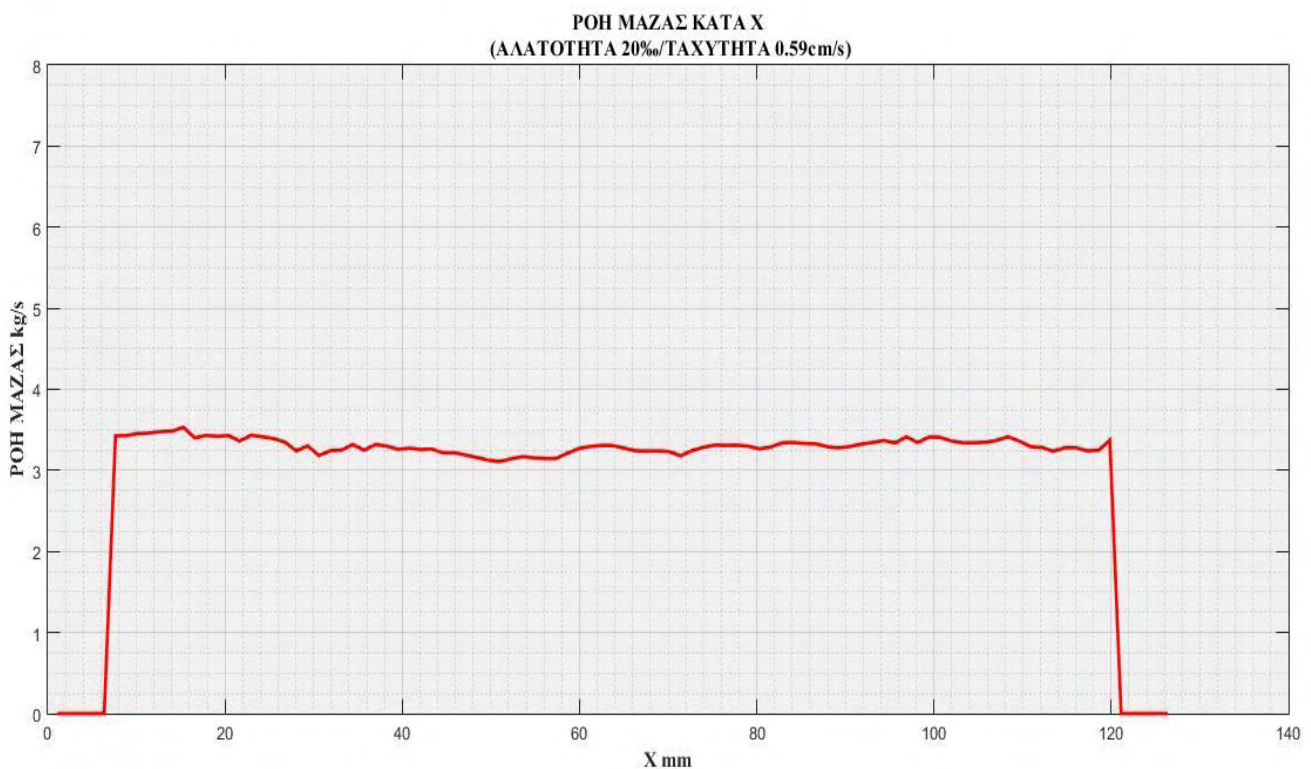
Όμοια και στα διαγράμματα με αλατότητα 15‰, όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο αυξάνεται και η μέγιστη τιμή της ροής μάζας κατά Χ, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού η αύξηση της ταχύτητας της ευθύγραμμης ροής αυξάνει τη μεταφορά μάζας κατά την κατεύθυνση της ροής. Επιπλέον σε σχέση με τα πειράματα με αλατότητα 10‰ δεν παρατηρούνται κάποιες αλλαγές στις τιμές.



Εικόνα 4.6.39 Σύγκριση ροών μάζας κατά Χ προφίλ για 5ο, 6ο και 7ο πείραμα (αλατότητα 15‰)

Διάγραμμα πειράματος με αλατότητα ρευστού φλέβας 20‰:

Όμοια και στο διάγραμμα με αλατότητα 20‰, όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής, τόσο αυξάνεται και η μέγιστη τιμή της οριζόντιας ταχύτητας, κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό αφού το προφίλ των οριζόντιων ταχυτήτων διαμορφώνεται πρωτίστως από την ταχύτητα ευθύγραμμης ροής. Επιπλέον, η αλατότητα δεν φαίνεται να επηρεάζει τις μέγιστες τιμές των διαγραμμάτων, αν συγκριθεί το διάγραμμα του πειράματος με αλατότητα 20‰ με αυτά με αλατότητα 10‰ και 15‰.



Εικόνα 4.6.40 Ροή μάζας κατά Χ για το 9ο πείραμα (αλατότητα 20‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)

Τελικά από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτουν το εξής:

Η ροή μάζας κατά Χ ακολουθεί την ταχύτητα της ευθύγραμμης ροής και είναι ανεξάρτητη από την αλατότητα της φλέβας του ρευστού.

4.7 Αδιαστατοποιημένα προφίλ ταχύτητας

Είναι αναγκαίο για τη εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων από τα αποτελέσματα των μετρήσεων και για την διευκόλυνση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων με άλλα διαθέσιμα της βιβλιογραφίας να γίνει αδιαστατοποίηση των αποτελεσμάτων. Τα αδιαστατοποιημένα αποτελέσματα έχουν τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά με τα μη αδιαστατοποιημένα και για αυτό η ανάλυση των αποτελεσμάτων δεν αλλάζει σε σχέση με πριν.

Τα αδιαστατοποιημένα προφίλ ταχύτητας προέκυψαν ως εξής:

- Για τα προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' :

Κατακόρυφος άξονας: Η ταχύτητα V' διαιρείται με το μέγεθος V^* που έχει και αυτό μονάδες ταχύτητας, όπου $V^* = \sqrt{g * R * S}$, όπου g : επιτάχυνση της βαρύτητας, R : υδραυλική ακτίνα και S : κλίση πυθμένα (0,05%)

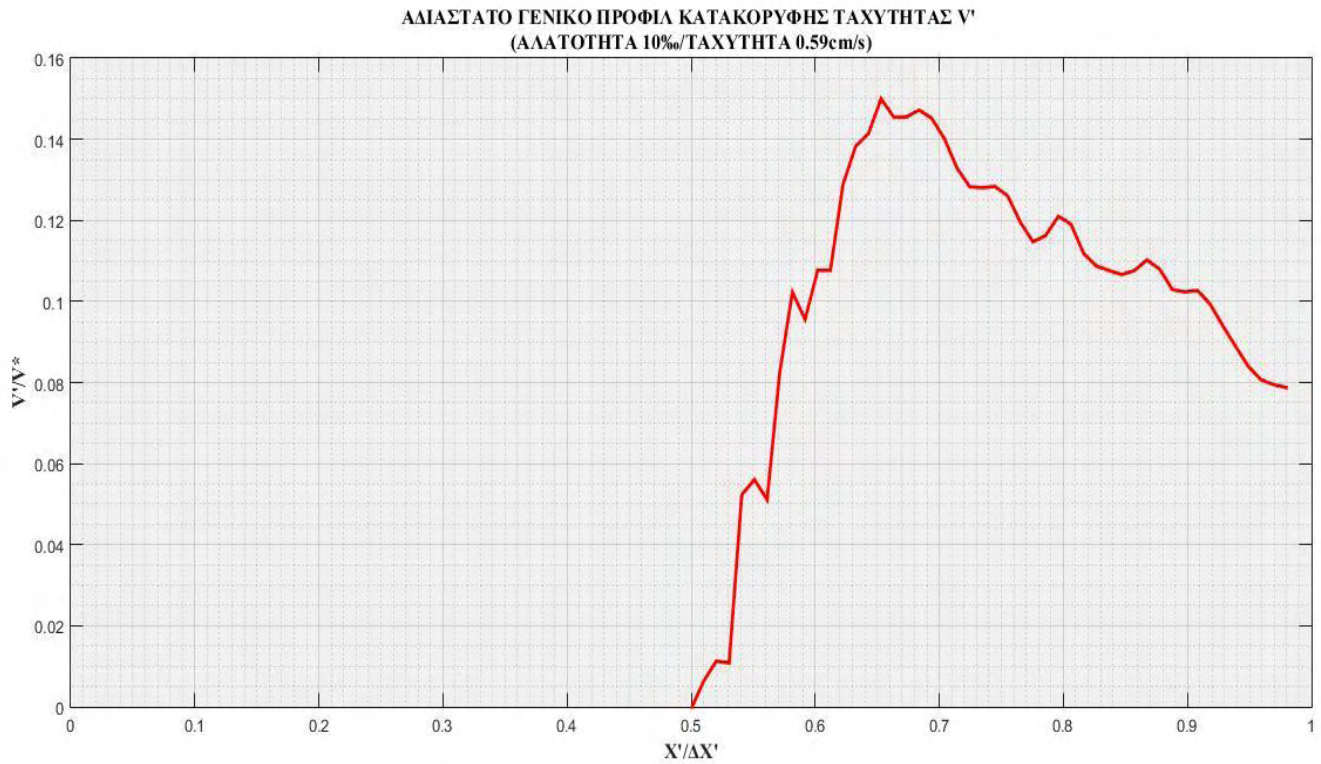
Οριζόντιος άξονας: Οι τιμές του άξονα X' διαιρούνται με διάστημα των τιμών του X' , $\Delta X'$

- Για τα προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U :

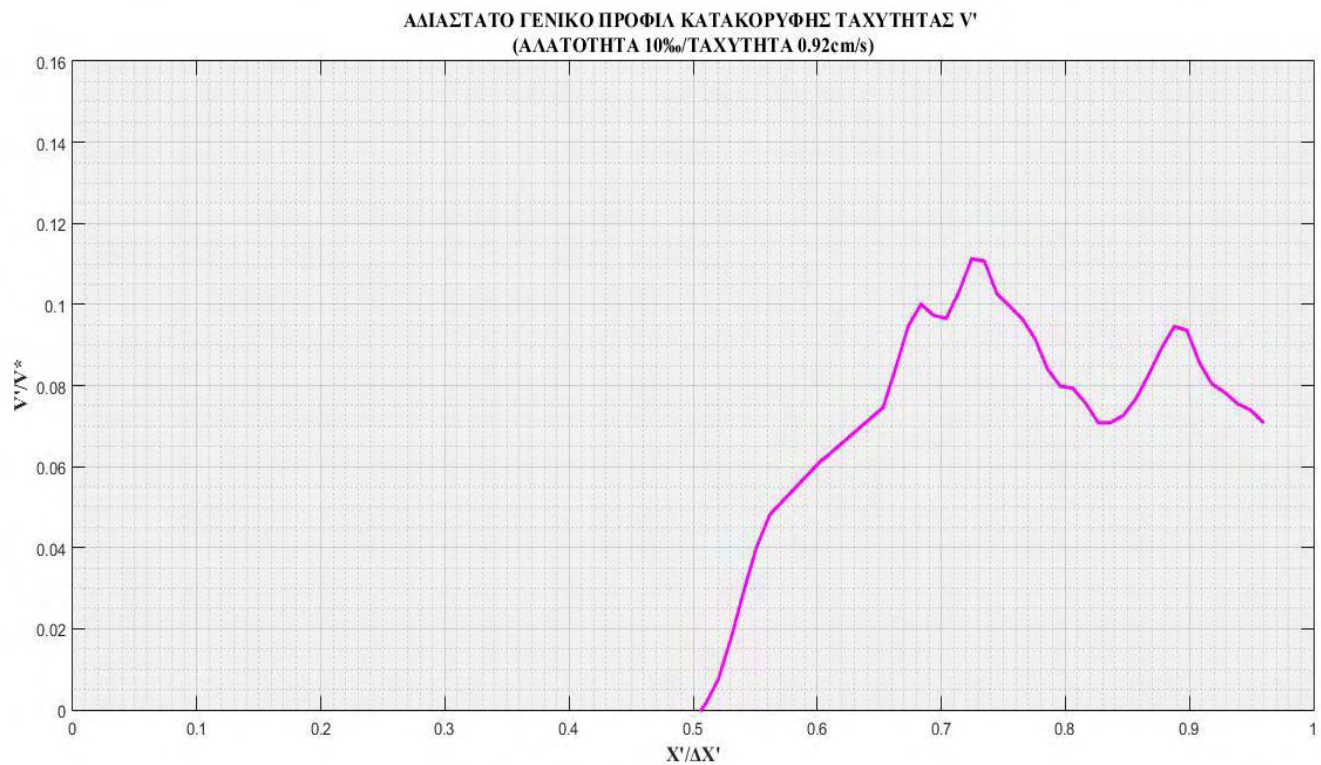
Κατακόρυφος άξονας: Η ταχύτητα U διαιρείται με το μέγεθος U^* που έχει και αυτό μονάδες ταχύτητας, όπου $U^* = \sqrt{g * R * S}$, όπου g : επιτάχυνση της βαρύτητας, R : υδραυλική ακτίνα και S : κλίση πυθμένα (0,05%)

Οριζόντιος άξονας: Οι τιμές του άξονα Y διαιρούνται με το βάθος ροής h

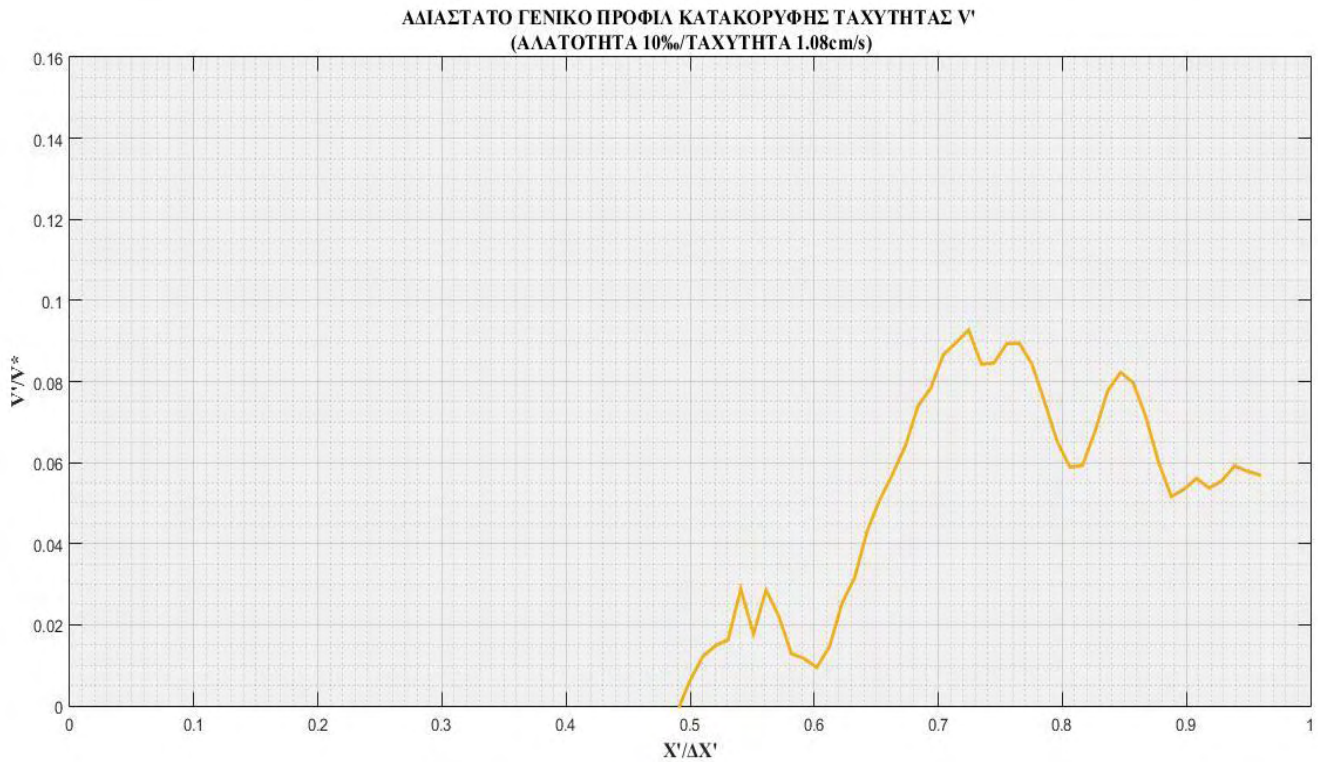
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αδιαστατοποιημένα προφίλ ταχυτήτων.



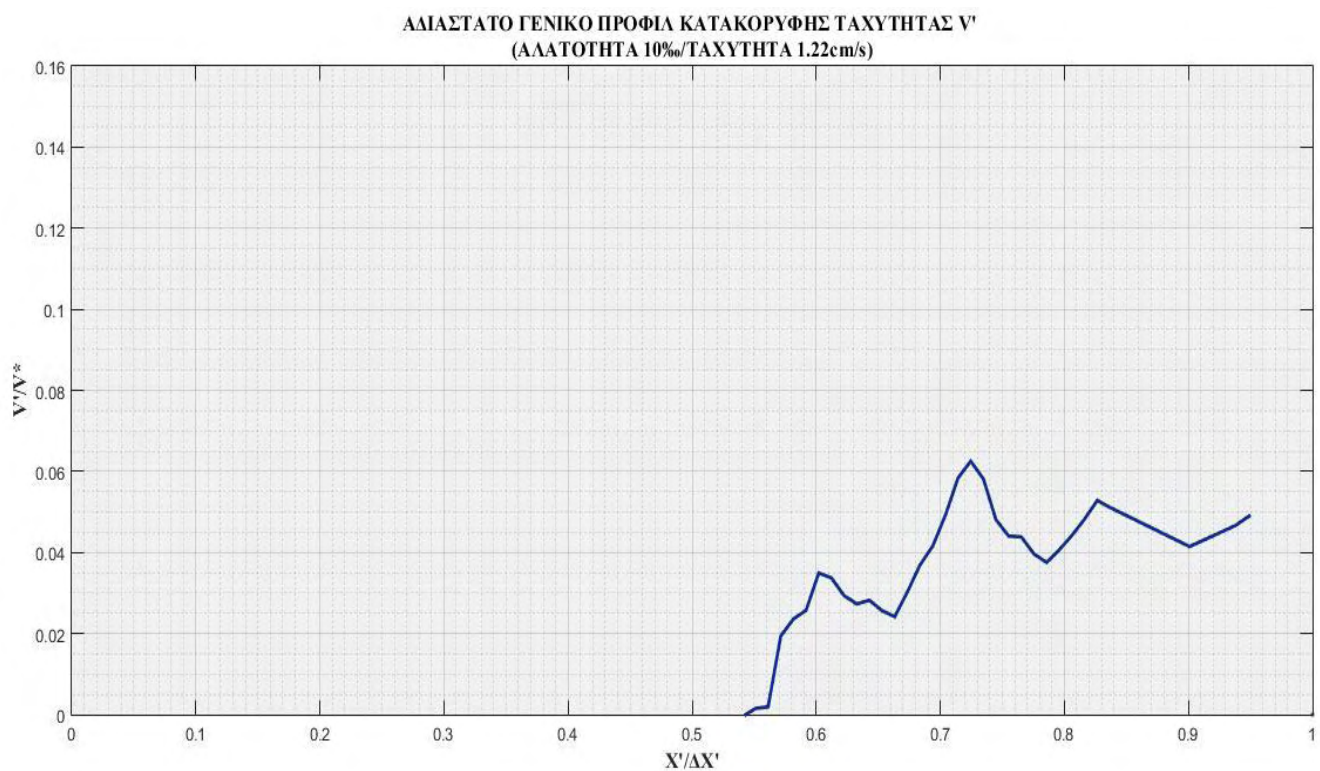
Εικόνα 4.7.1 Αδιάστατο γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 1ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)



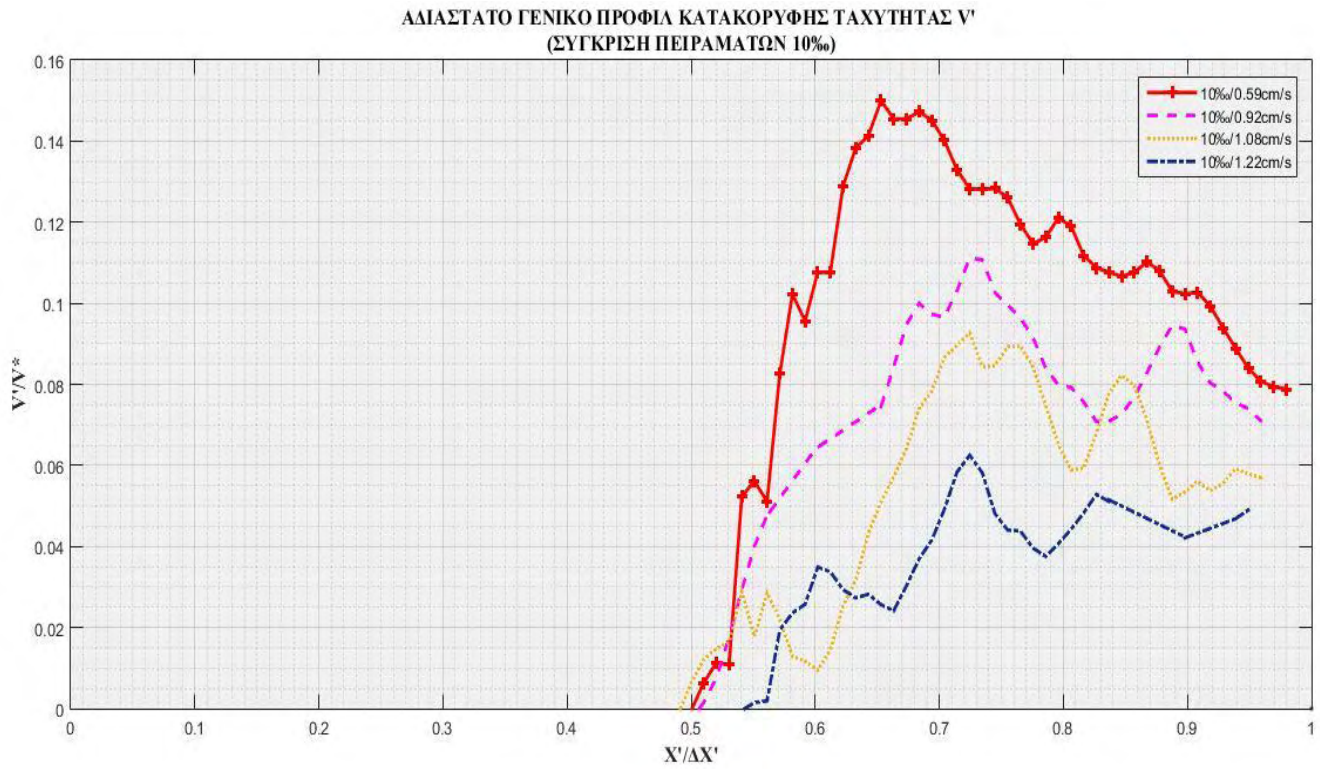
Εικόνα 4.7.2 Αδιάστατο γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 2ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s)



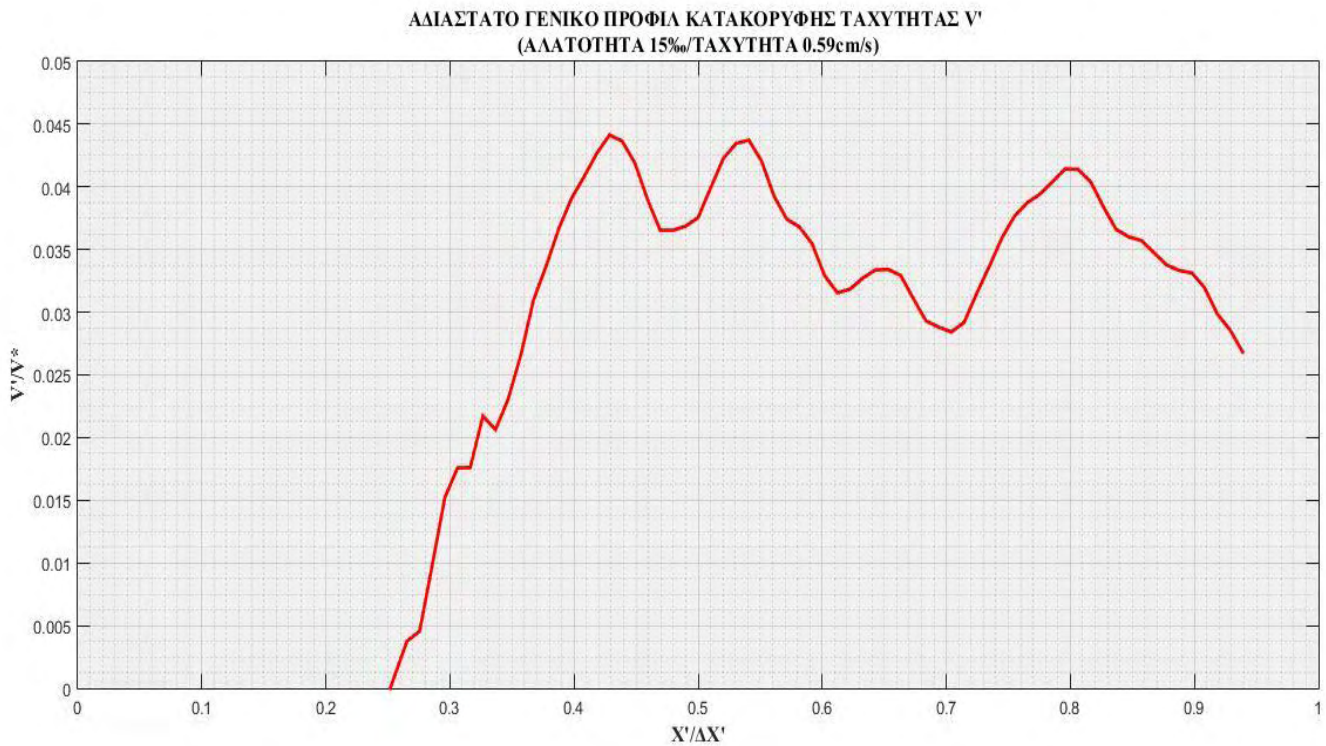
Εικόνα 4.7.3 Αδιάστατο γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 3ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)



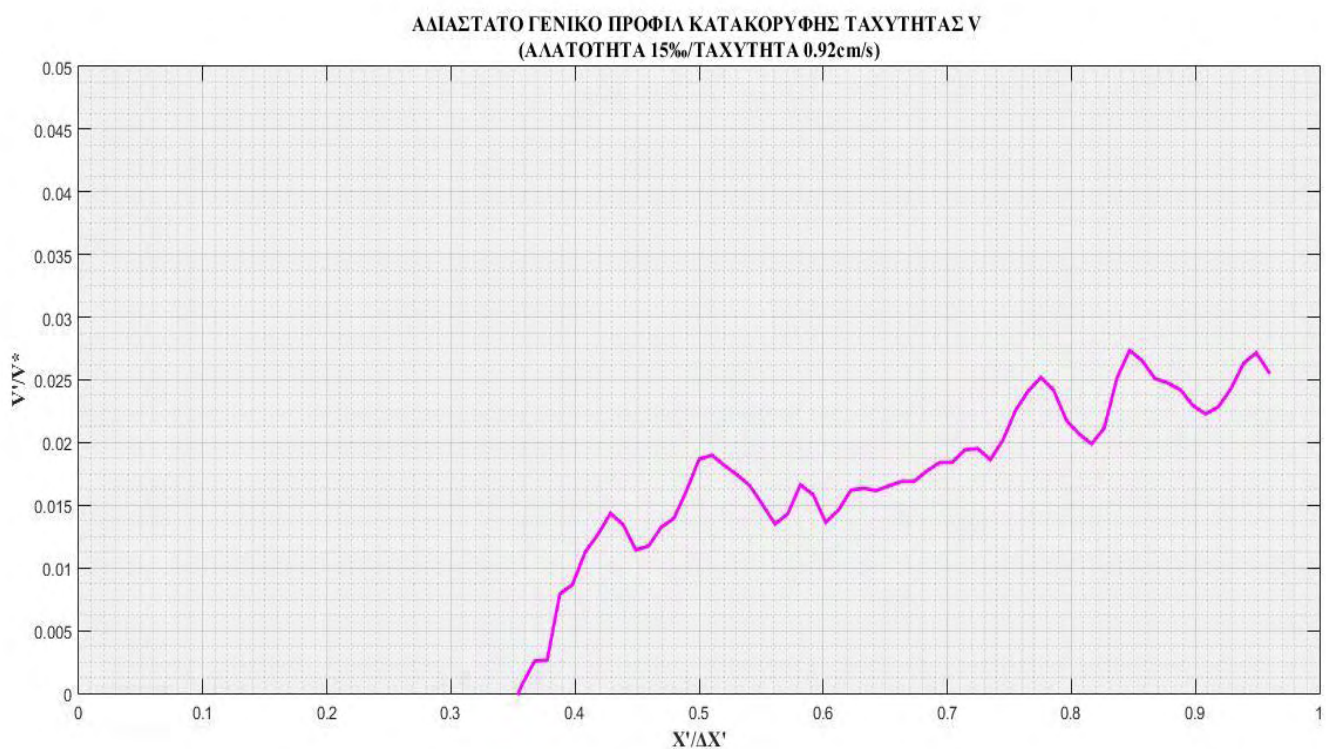
Εικόνα 4.7.4 Αδιάστατο γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 4ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.22cm/s)



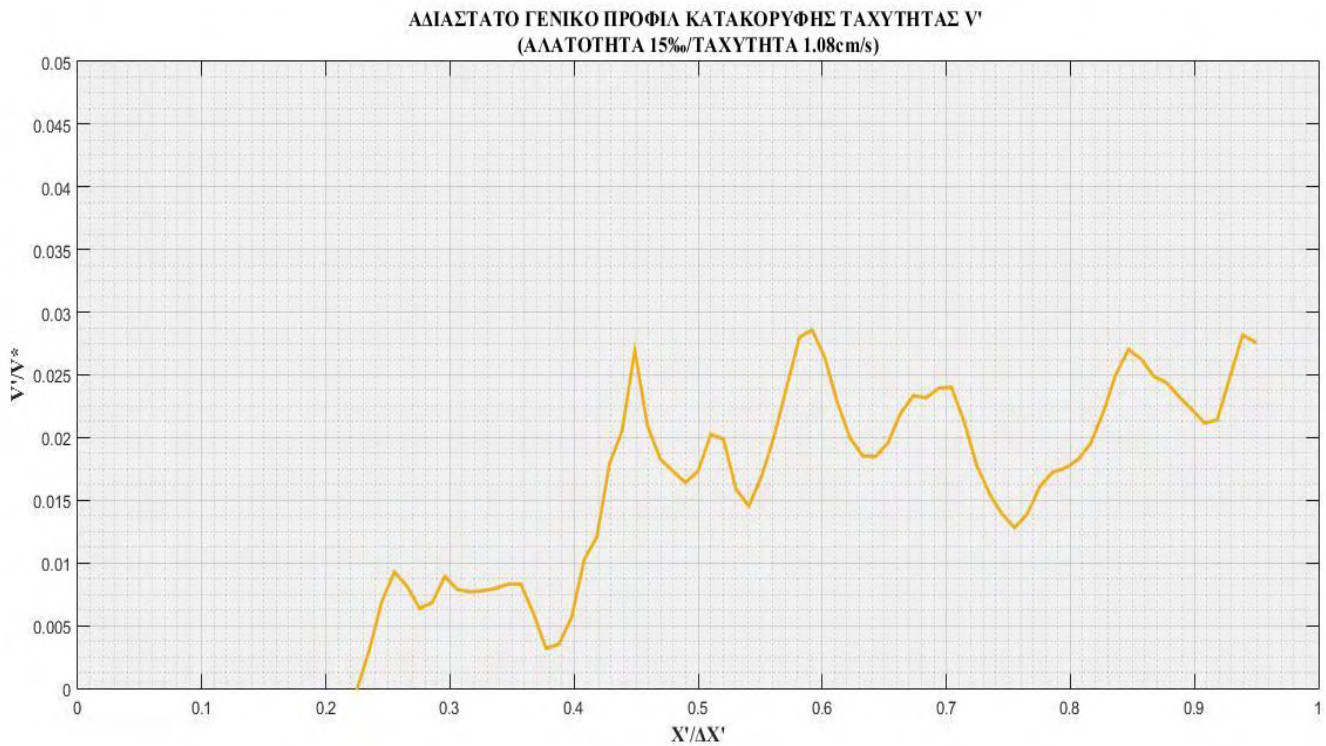
Εικόνα 4.7.5 Σύγκριση αδιάστατων γενικών προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 1ο, 2ο, 3ο και 4ο πειράματα (αλατότητα 10‰)



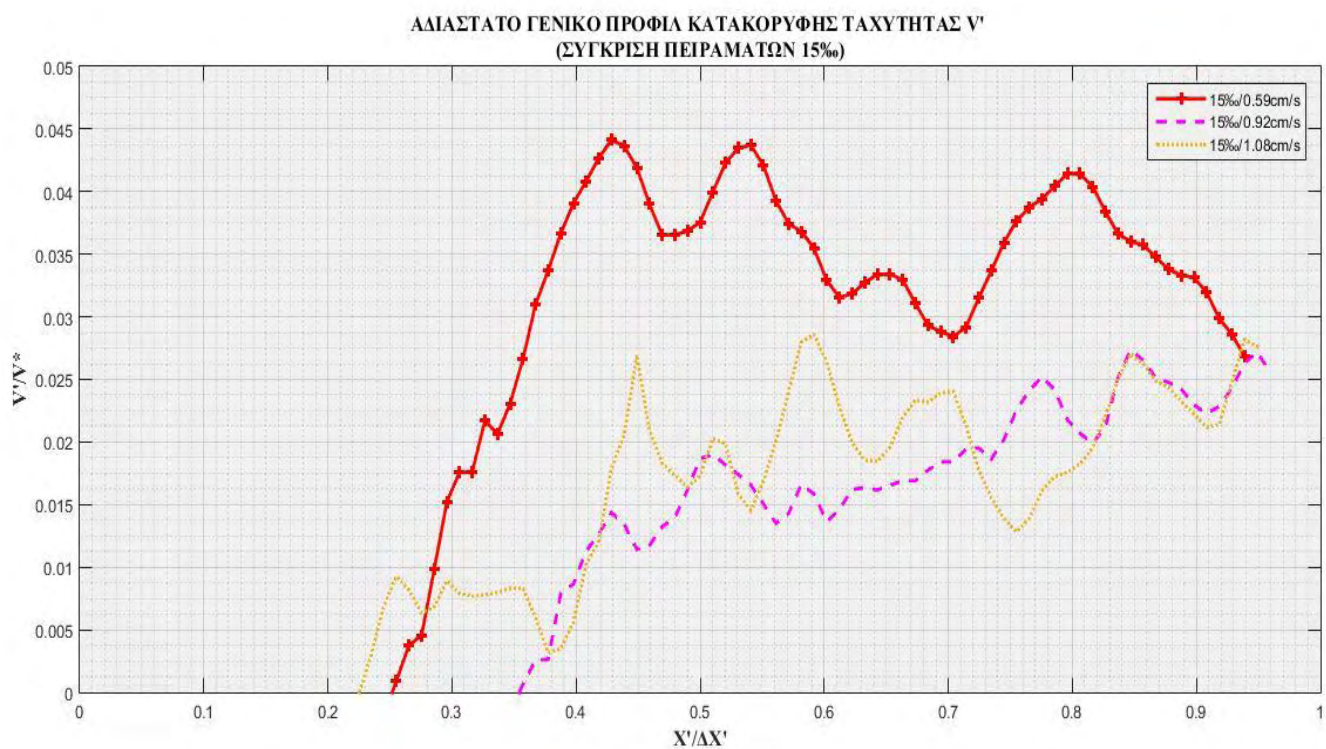
Εικόνα 4.7.6 Αδιάστατο γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 5ο πείραμα (αλατότητα 15% και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)



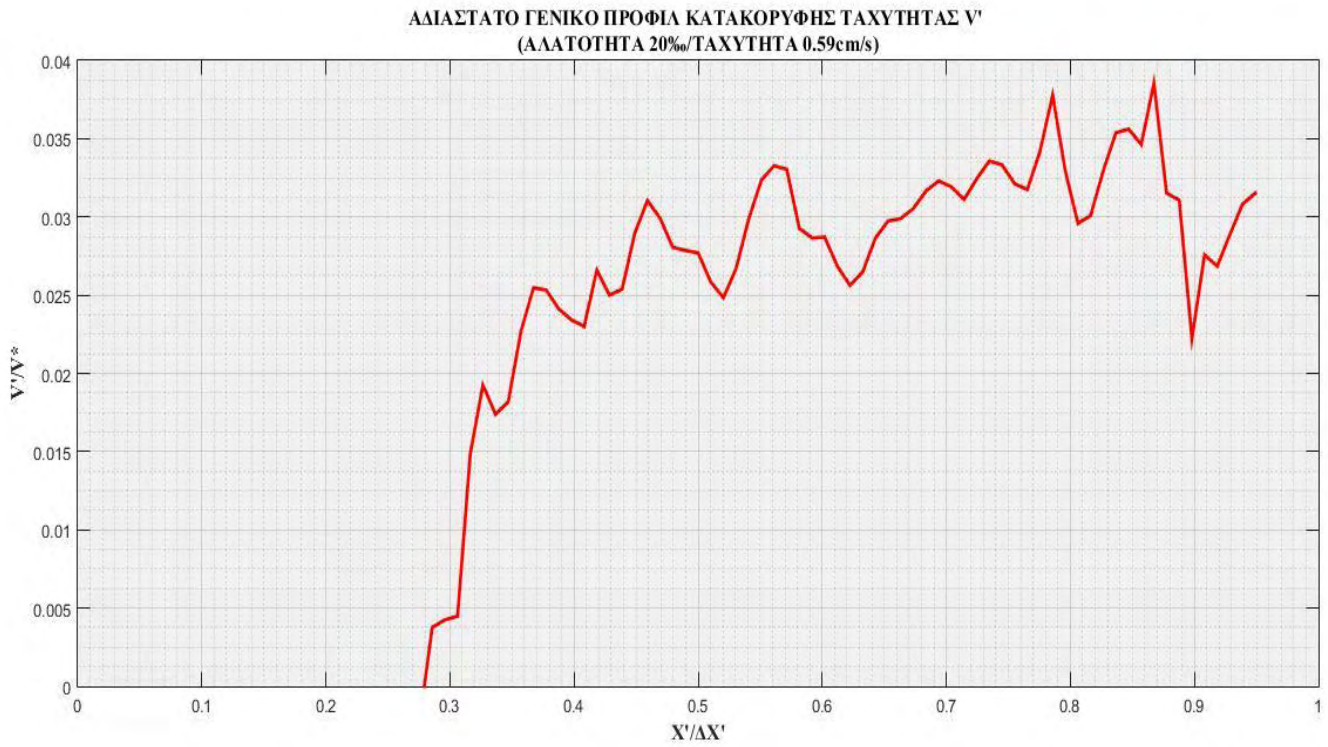
Εικόνα 4.7.7 Αδιάστατο γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 6ο πείραμα (αλατότητα 15% και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s)



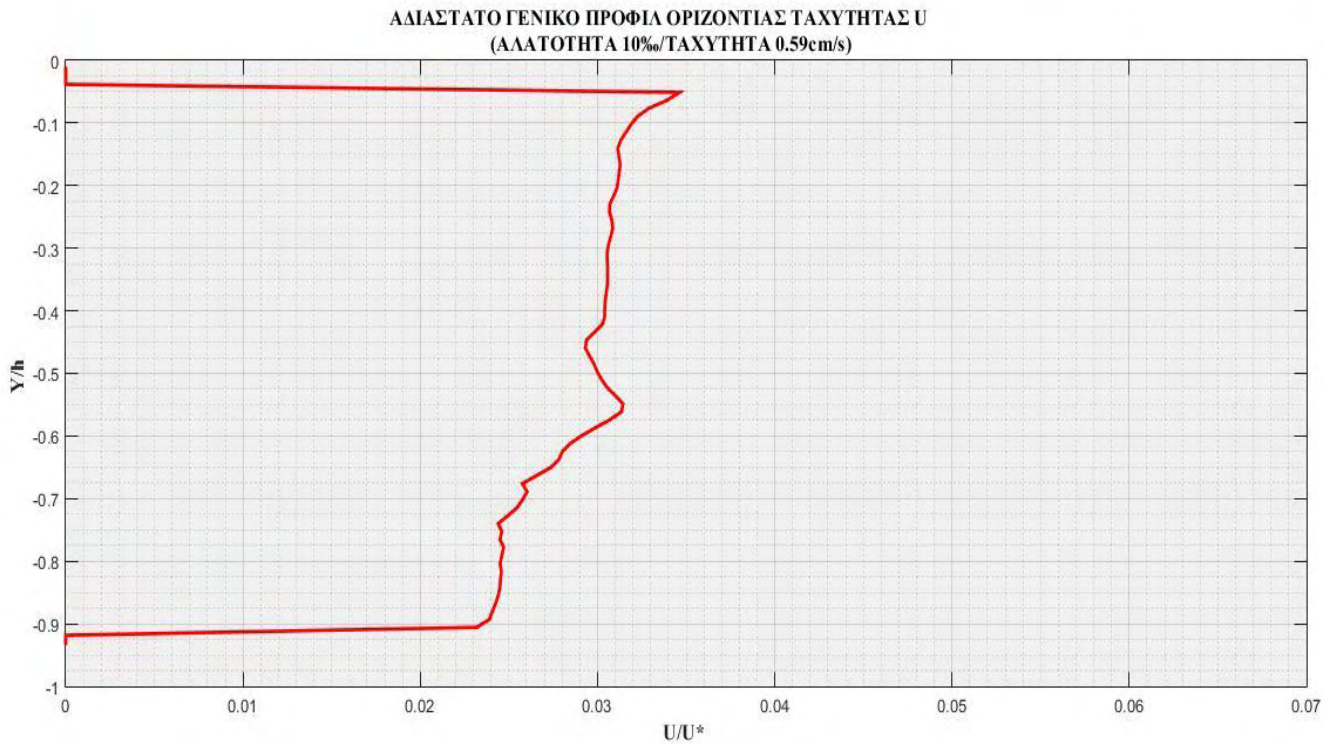
Εικόνα 4.7.8 Αδιάστατο γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 7ο πείραμα (αλατότητα 15‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)



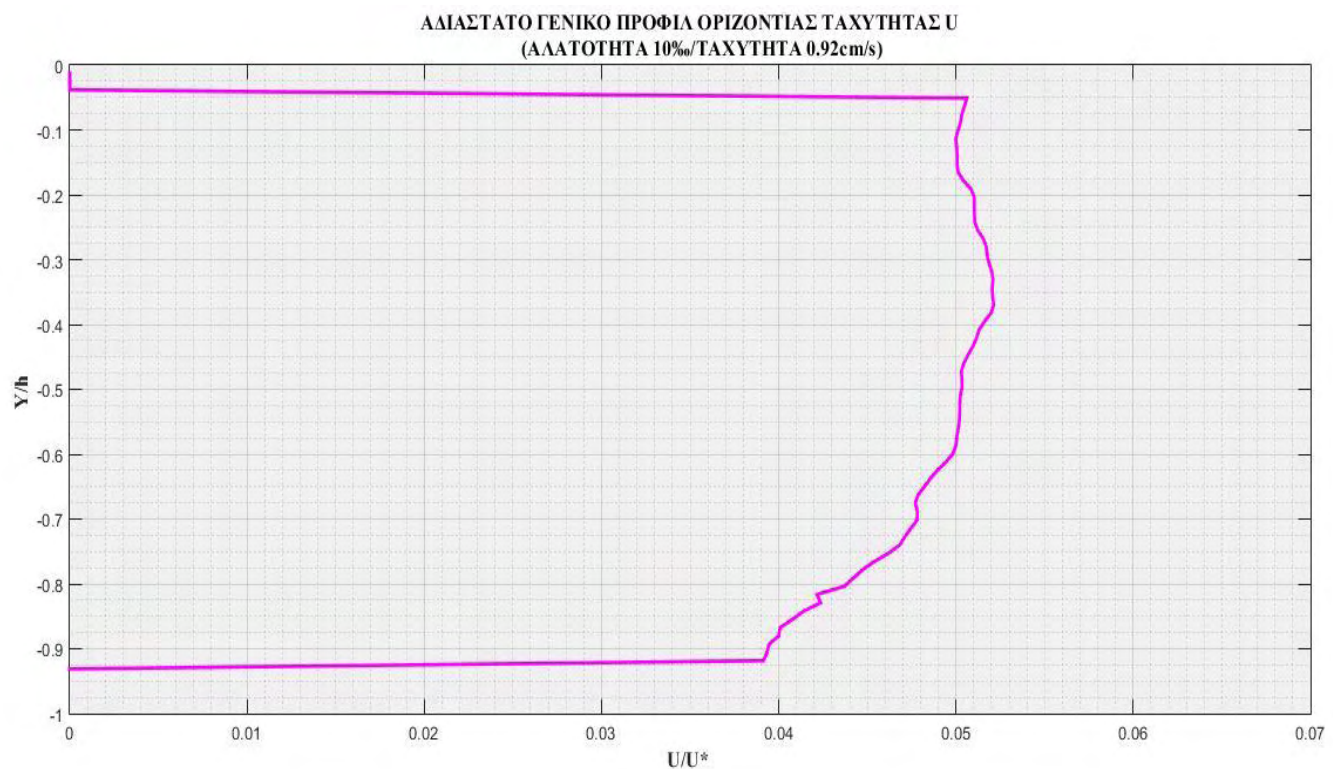
Εικόνα 4.7.9 Σύγκριση αδιάστατων γενικών προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 5ο, 6ο και 7ο πειράματα (αλατότητα 15‰)



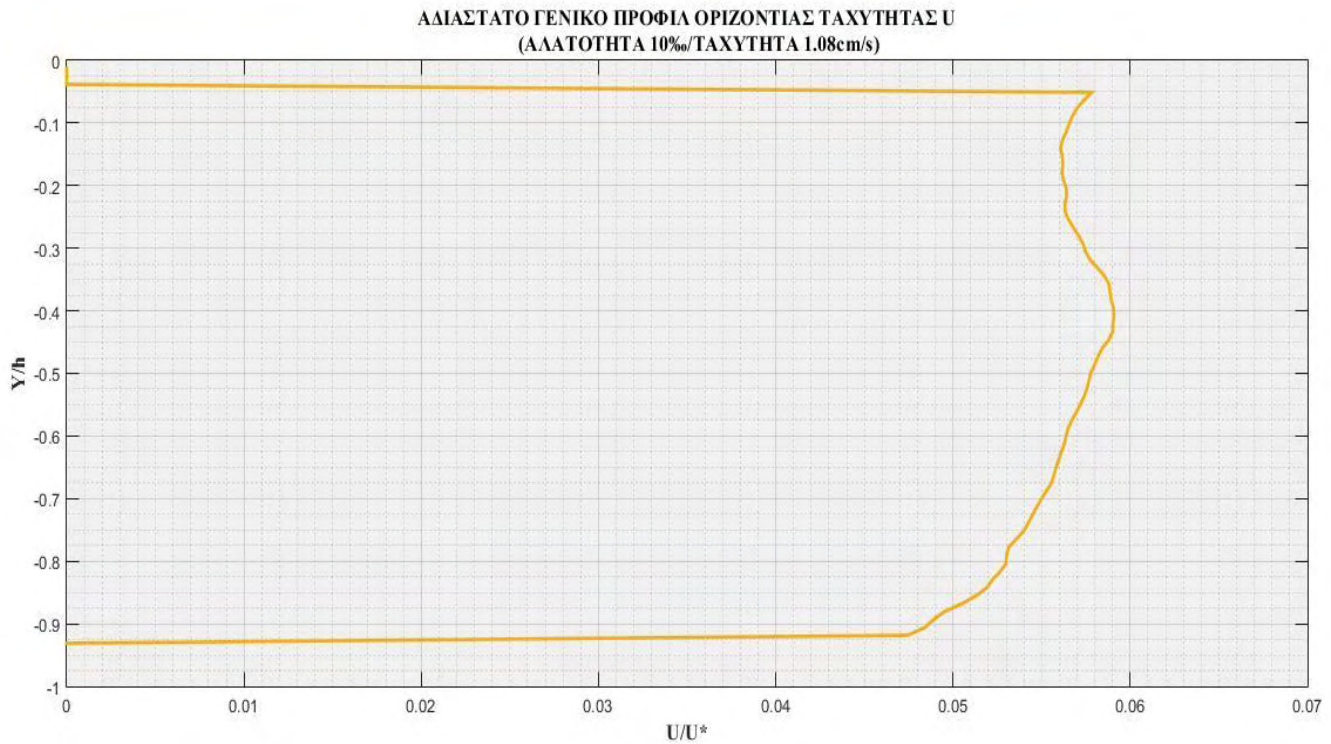
Εικόνα 4.7.10 Αδιάστατο γενικό προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' για το 9ο πείραμα (αλατότητα 20‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)



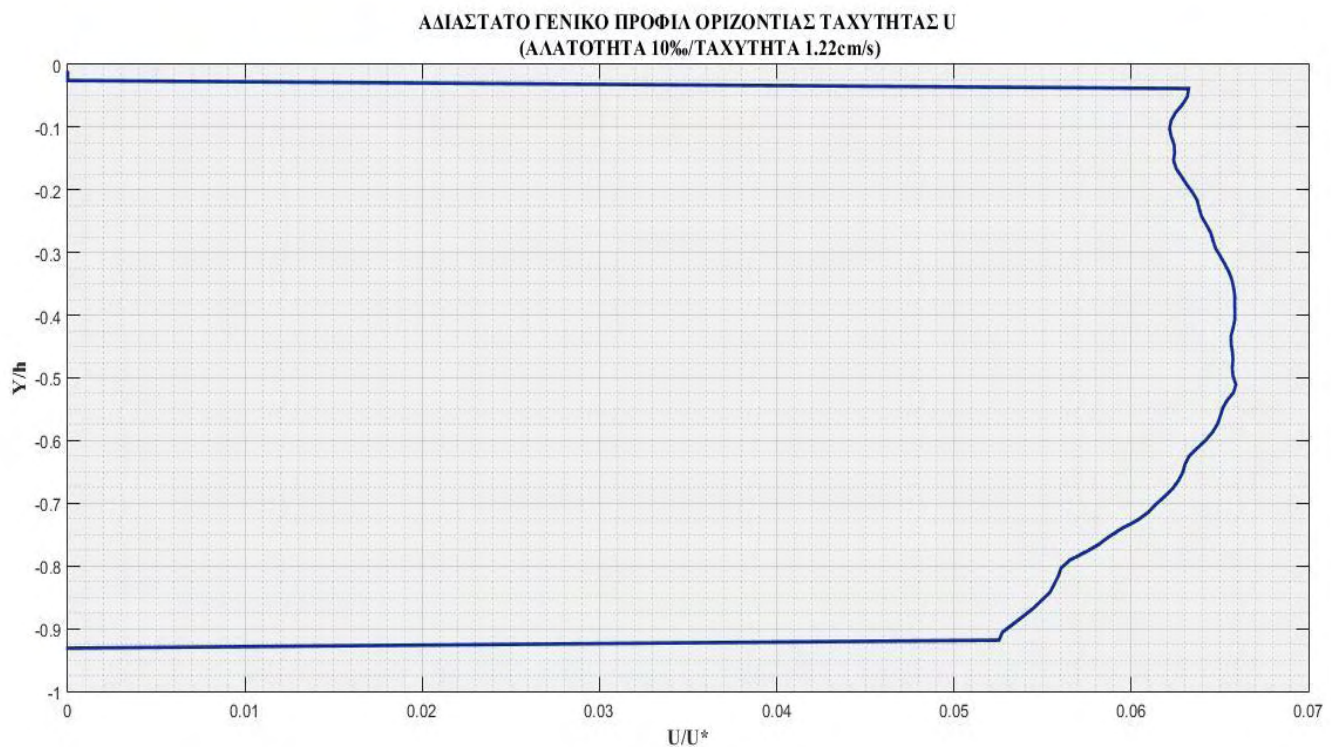
Εικόνα 4.7.11 Αδιάστατο γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 1ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)



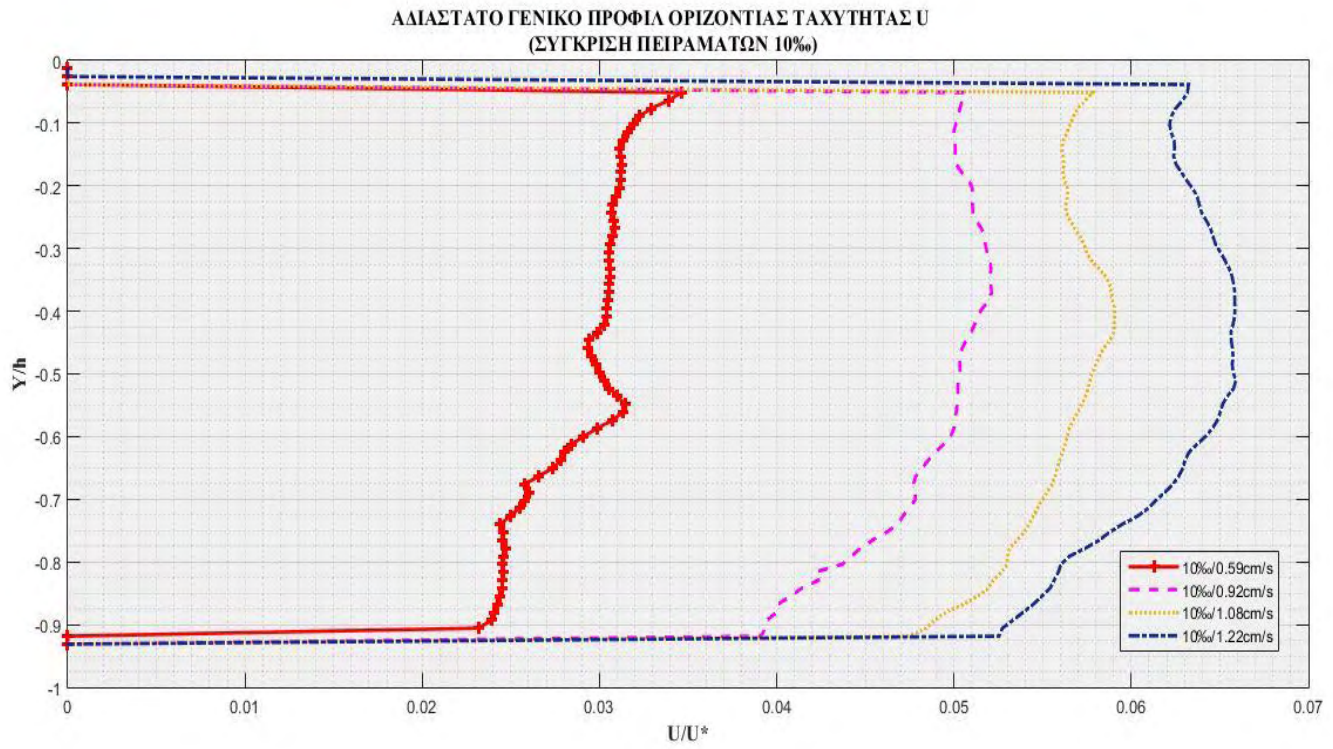
Εικόνα 4.7.12 Αδιάστατο γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 2ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s)



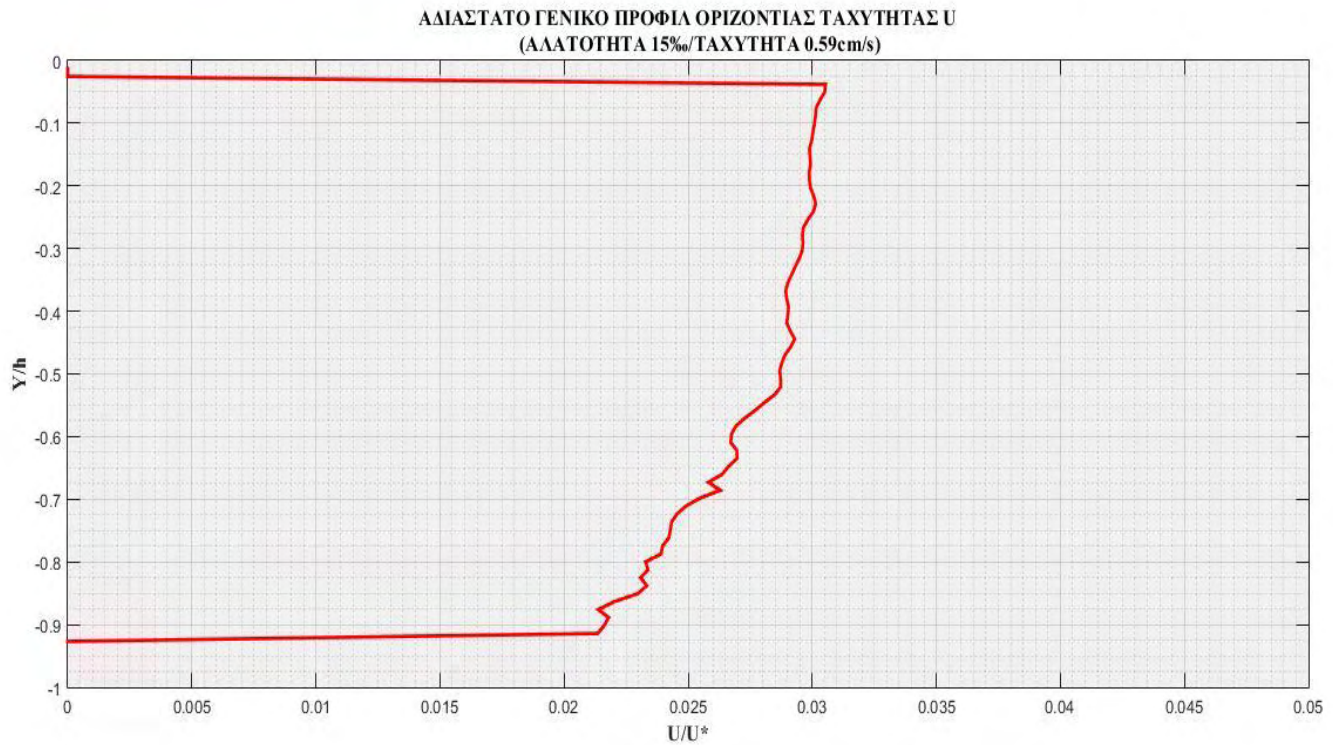
Εικόνα 4.7.13 Αδιάστατο γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 3ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)



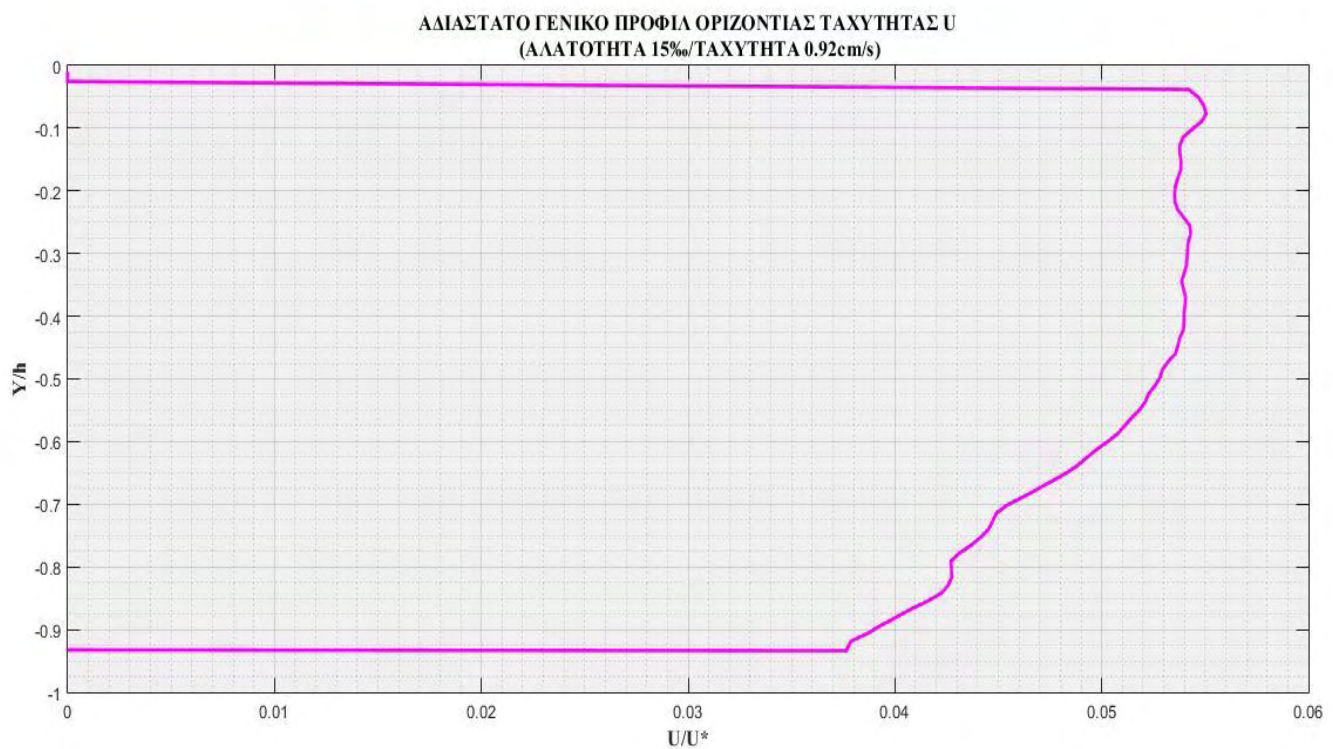
Εικόνα 4.7.14 Αδιάστατο γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 4ο πείραμα (αλατότητα 10‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.22cm/s)



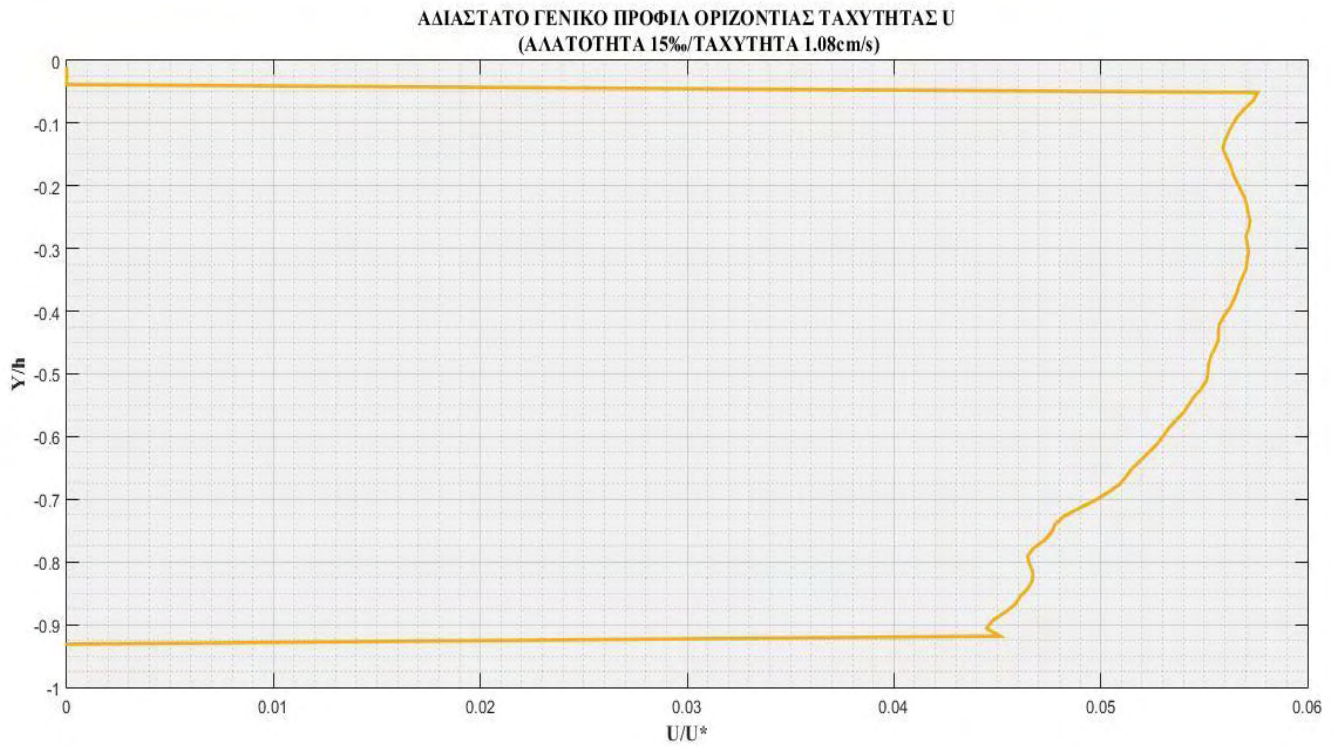
Εικόνα 4.7.15 Σύγκριση αδιάστατων γενικών προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας U για 1ο, 2ο, 3ο και 4ο πείραμα (αλατότητα 10%)



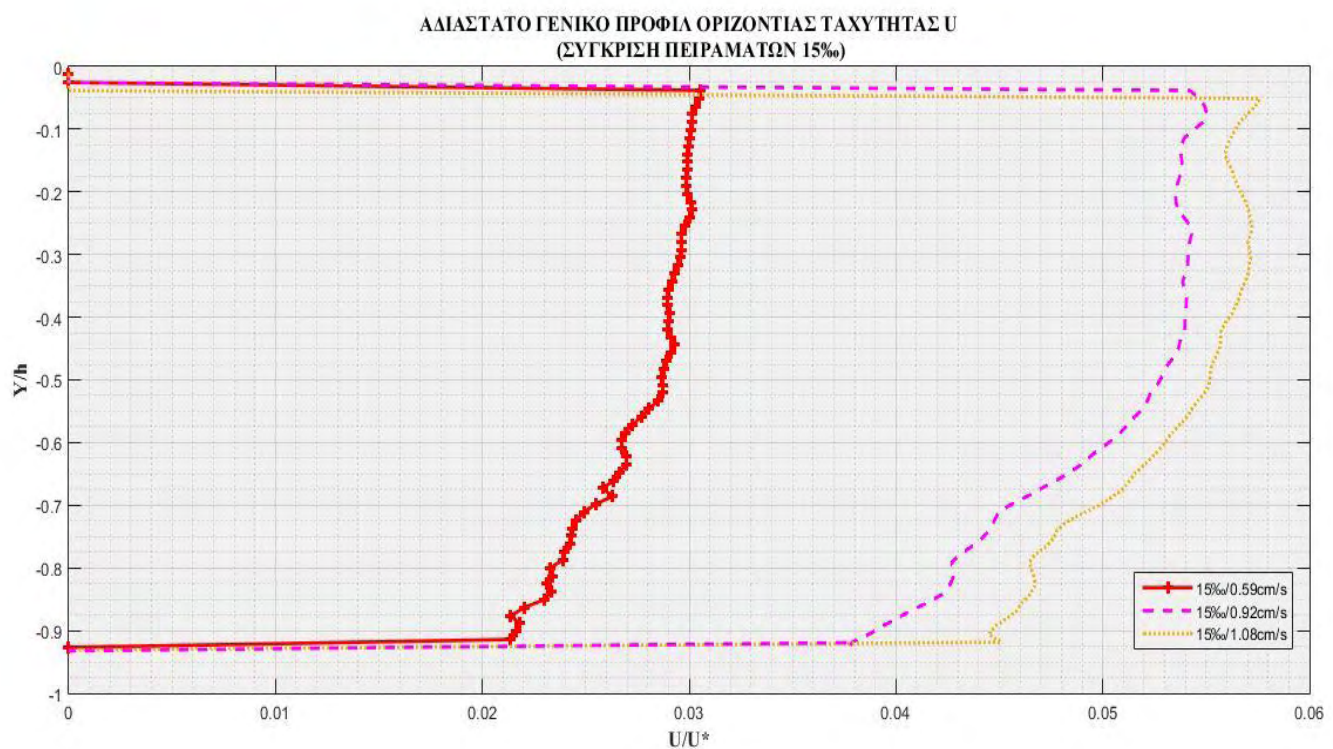
Εικόνα 4.7.16 Αδιάστατο γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 5ο πείραμα (αλατότητα 15% και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)



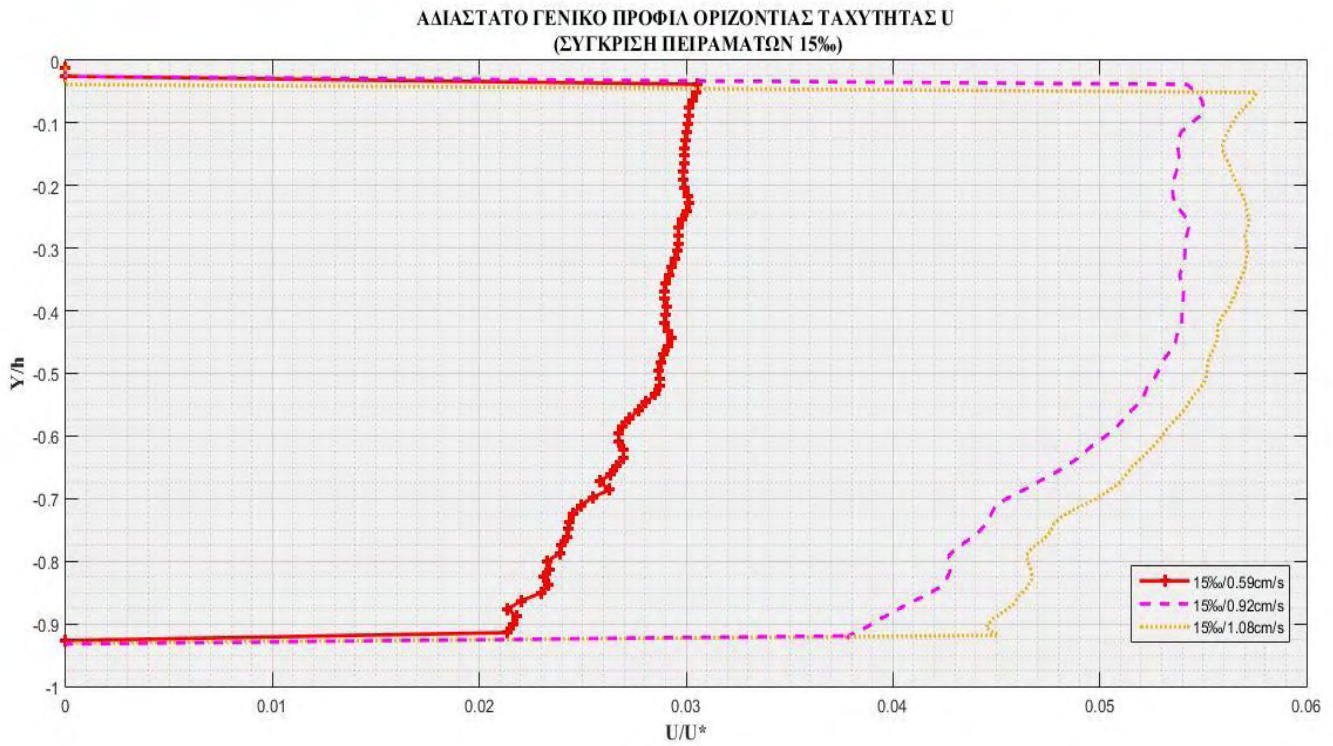
Εικόνα 4.7.17 Αδιάστατο γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 6ο πείραμα (αλατότητα 15% και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.92cm/s)



Εικόνα 4.7.18 Αδιάστατο γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 7ο πείραμα (αλατότητα 15% και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 1.08cm/s)



Εικόνα 4.7.19 Σύγκριση αδιάστατων γενικών προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας U για 5ο, 6ο και 7ο πείραμα (αλατότητα 15%)



Εικόνα 4.7.20 Αδιάστατο γενικό προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U για το 9ο πείραμα (αλατότητα 20‰ και ταχύτητα ευθύγραμμης ροής 0.59cm/s)

5. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων οδηγεί σε συμπεράσματα για το πεδίο ταχυτήτων εκτοξευόμενης φλέβας σε ευθύγραμμη ροή που μελετάται. Τα συμπεράσματα λοιπόν παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Από τα γενικά προφίλ κατακόρυφης ταχύτητας V' , προκύπτει ότι όσο αυξάνει η ταχύτητα ευθύγραμμης ροής, τόσο περισσότερο η μέγιστη τιμή της παράλληλης στη φλέβα ταχύτητας αποκλίνει από τη συμμετρική φλέβα. Το παραπάνω έρχεται σε συμφωνία με το συμπέρασμα που καταλήγει το άρθρο «Αριθμητική ανάλυση των κάθετων κυκλικών φλεβών σε ευθύγραμμη ροή» (Xiaoquan Zhang, Changcheng Li, 2010) ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ταχύτητας, τόσο περισσότερο η μέγιστη συγκέντρωση αποκλίνει από τη συμμετρική φλέβα.
2. Από τα γενικά προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U , προκύπτει ότι κοντά στον πυθμένα η οριζόντια ταχύτητα U μειώνεται και όσο η παρατήρηση συνεχίζεται πάνω από τον πυθμένα η ταχύτητα U σε κάποια σημεία παραμένει σχεδόν σταθερή. Το παραπάνω έρχεται σε συμφωνία με το συμπέρασμα που καταλήγει το άρθρο «Μελέτη κυκλικής φλέβας σε ευθύγραμμη ροή χαμηλής ορμής» (Elmar Recker, et al. 2003) ότι κοντά στον πυθμένα η ταχύτητα της ροής μειώνεται και λιμνάζει όσο πλησιάζει τον άξονα της φλέβας.
3. Είναι φανερή η ανυψωτική τάση, τόσο της ροής, όσο και της φλέβας. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με το άρθρο «Μελέτη κυκλικής φλέβας σε ευθύγραμμη ροή χαμηλής ορμής» (Elmar Recker, et al. 2003) ότι η δομή πετάλου δίνης έχει ανυψωτική δράση στη ροή και τη φλέβα.
4. Από τα γενικά προφίλ οριζόντιας ταχύτητας U φαίνεται ότι κοντά στον πυθμένα που είναι η έξοδος της φλέβας υπάρχει μεγαλύτερη διακύμανση των τιμών U σε σχέση με άλλες θέσεις. Το παραπάνω συμφωνεί με το συμπέρασμα του άρθρου «Ταραχή κατακόρυφης φλέβας σε ευθύγραμμη ροή» (M. Ben Meftah, et al.) ότι τα διανύσματα της ταχύτητας της ροής γύρω από τη φλέβα δείχνουν μια ταχεία και ταραχώδη συμπεριφορά, ενώ 1 cm με 2 cm πριν από την επιφάνεια η κατάσταση δείχνει να έχει εξομαλυνθεί και τα διανύσματα της ταχύτητας παρουσιάζουν ομοιομορφία και έχουν κοινή κατεύθυνση.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγελίδης, Π.Β. και Κωτσοβίνος, Ν.Ε., (2008). "ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΟΜΟΣ 1". Εκδόσεις Σπανίδη

Τσάβος Α.Φ., (2008). "ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΥΡΒΩΔΟΥΣ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΕΚΡΟΗΣ". Διατριβή για τον Επιστημονικό Τίτλο του Διδάκτορα Πανεπιστημίου Πατρών

Μάρκου Μ.Γ., (2010). "ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΤΥΡΒΩΔΟΥΣ ΑΝΩΣΤΙΚΗΣ ΦΛΕΒΑΣ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΣΤΡΩΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕ ΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ". Διατριβή για τον Επιστημονικό Τίτλο του Διδάκτορα Πανεπιστημίου Πατρών

Yannopoulos P.C., (2006). "Attachment of Two or Three Interacting Round Buoyant Jets Discharged Vertically Upwards into a Quiescent Environment". WSEAS Transactions on FLUID MECHANICS, Patras

Παπανικολάου Π.Ν., (2009) "Τυρβώδης διάχυση διδιάστατης κατακόρυφης φλέβας σε ήρεμο, γραμμικά στρωματωμένο αποδέκτη". Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Zhang X., Li C., (2010) "A Numerical Study of the Vertical Round Jets in Cross-flows". State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, China

Recker E, Bosschaerts W., Wagemakers R., Hendrick P., Funke H and Börner S., (2010). "Experimental study of a round jet in cross-flow at low momentum ratio". 15th Int Symp on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics Lisbon, Portugal

Su L.K., Hany D., Miraflorey R.M. and Mungalz M.G., (2000) "Measurements of Scalar and Velocity Fields in Turbulent Crossflowing Jets with Low Velocity Ratio". American Institute of Aeronautics and Astronautics Paper.

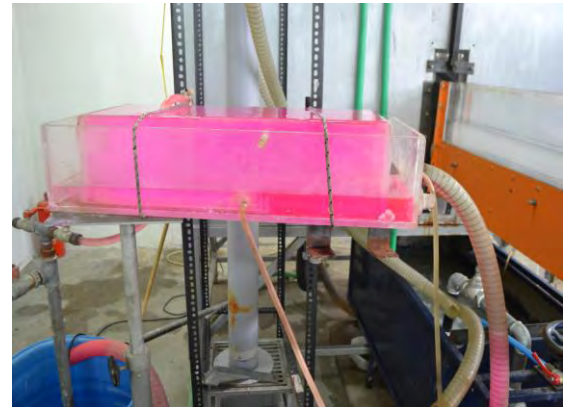
Ben M.M., Petrillo A., Davies P.A, Malcangio D. and Mossa M., (2005) "Turbulence of vertical round buoyant jets in a cross flow"

Α. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από τις φωτογραφίες που ελήφθησαν κατά τη διενέργεια των πειραμάτων, καθώς και κάποια στιγμιαία διανυσματικά πεδία ταχυτήτων των πειραμάτων που αναλύθηκαν παραπάνω:



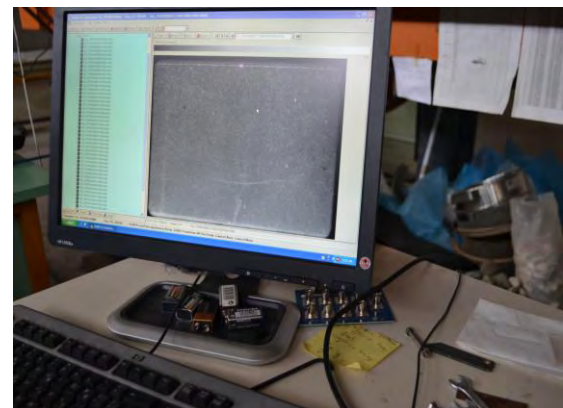
Εικόνα Α.1 Άποψη πειραματικής διάταξης



Εικόνα Α.2 Δεξαμενή δημιουργίας φλέβας-Έχει προστεθεί χρώμα για να είναι ευδιάκριτη η φλέβα μέσα στη ροή



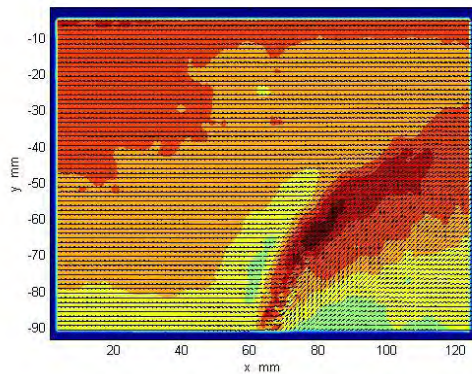
Εικόνα Α.3 Διάταξη P.I.V



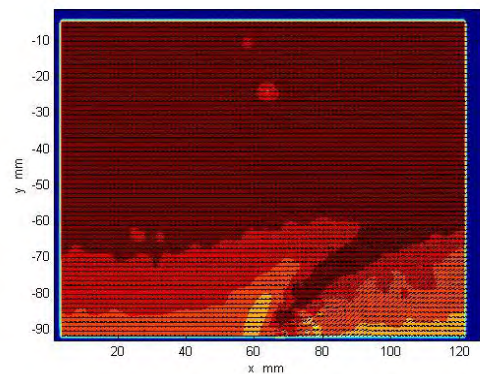
Εικόνα Α.4 Άποψη φωτογραφίας που προέκυψε σε ένα πείραμα



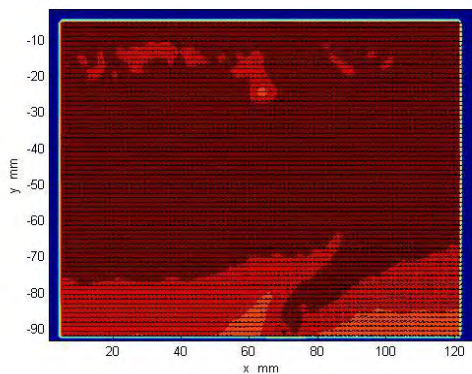
Εικόνα Α.5 Φυσικό φαινόμενο-Τυρβώδης ανωστική φλέβα σε ευθύγραμμη εγκάρσια ροή



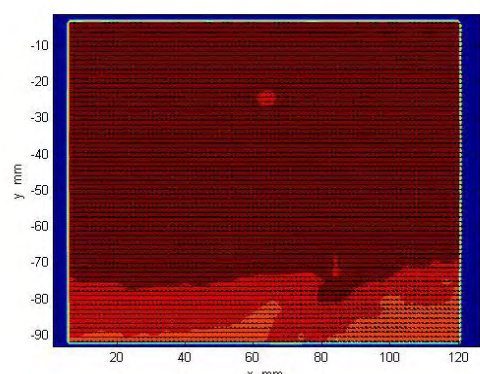
Εικόνα A.6 Πεδίο ταχυτήτων για το πείραμα με ευθύγραμμη ταχύτητα ροής 0.59m/s και αλατότητα 10%



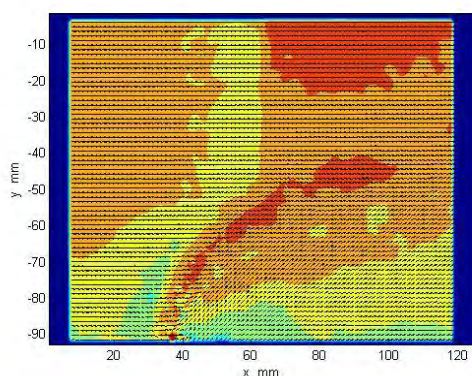
Εικόνα A.7 Πεδίο ταχυτήτων για το πείραμα με ευθύγραμμη ταχύτητα ροής 0.92m/s και αλατότητα 10%



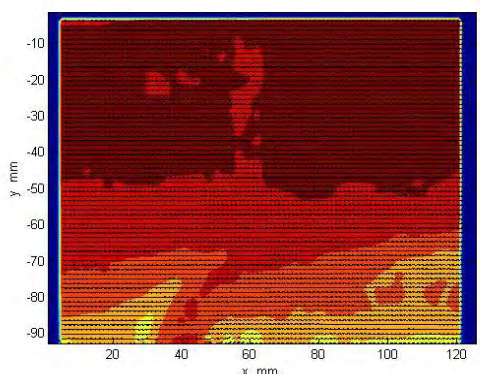
Εικόνα A.8 Πεδίο ταχυτήτων για το πείραμα με ευθύγραμμη ταχύτητα ροής 1.08m/s και αλατότητα 10%



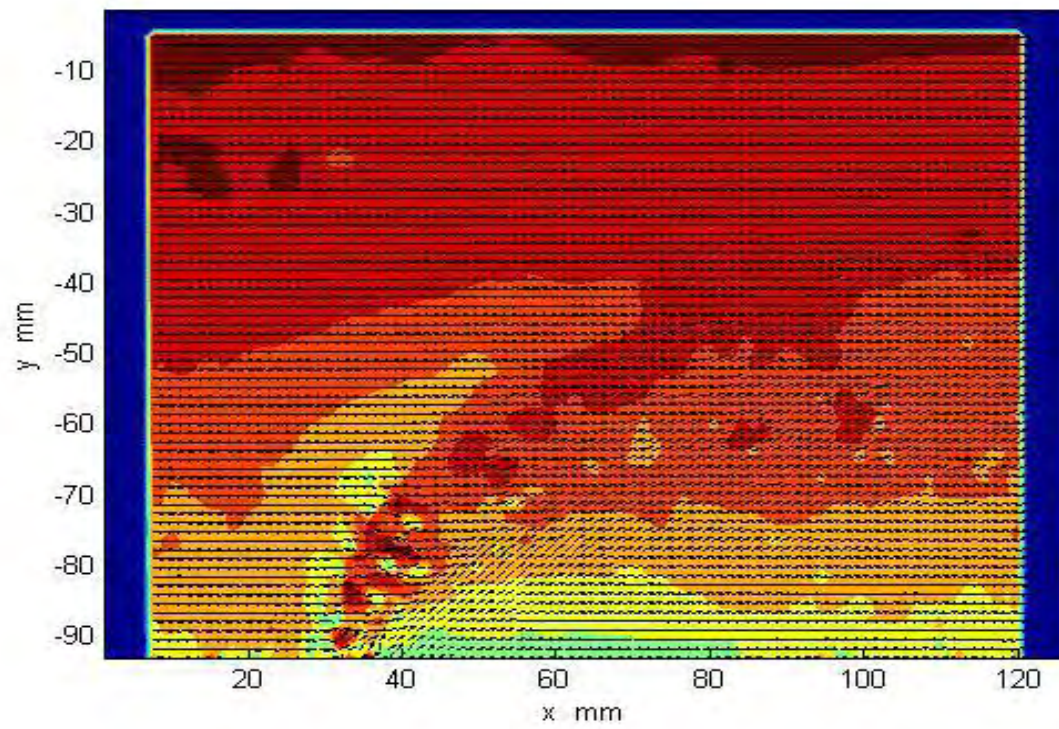
Εικόνα A.9 Πεδίο ταχυτήτων για το πείραμα με ευθύγραμμη ταχύτητα ροής 1.22m/s και αλατότητα 10%



Εικόνα A.10 Πεδίο ταχυτήτων για το πείραμα με ευθύγραμμη ταχύτητα ροής 0.59m/s και αλατότητα 15%



Εικόνα A.11 Πεδίο ταχυτήτων για το πείραμα με ευθύγραμμη ταχύτητα ροής 0.92m/s και αλατότητα 15%



Εικόνα A.12 Πεδίο ταχυτήτων για το πείραμα με ευθύγραμμη ταχύτητα ροής 0.59m/s και αλατότητα 20‰