



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**Πολυτεχνική Σχολή**

**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών**

Διπλωματική Εργασία

**ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ  
ΑΛΜΑΤΟΣ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟ ΑΓΩΓΟ**

(Study of hydraulic jump characteristics in an open channel)

**ΛΟΥΚΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΝΤΟΥΡΛΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

Επιβλέπων Καθηγητής : Κεραμάρης Ευάγγελος

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

© 2020 Λουκάς Ιωάννης και Ντούρλιας Γεώργιος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων των συγγραφέων (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας ανήκουν αποκλειστικά στους συγγραφείς.

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής Κεραμάρης Ευάγγελος  
(Επιβλέπων) Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Κανακούδης Βασίλειος  
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Καρακασίδης Θεόδωρος  
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## **Ευχαριστίες**

Πρώτα απ' όλα, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μας, Επίκουρο Καθηγητή κ. Κεραμάρη Ευάγγελο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μας. Επίσης, είμαστε ευγνώμονες στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μας, Καθηγητές κ. Κανακούδη Βασίλειο και κ. Καρακασίδη Θεόδωρο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μας και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ακόμη, θα θέλαμε να απευθύνουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειες μας, για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

Λουκάς Ιωάννης & Ντούρλιας Γεώργιος

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>Περίληψη</b> .....	<b>5</b>
<b>Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή</b> .....	<b>6</b>
1.1 Εισαγωγικά .....	6
1.2 Υδραυλικό άλμα σε πειραματικές διατάξεις .....	7
1.3 Το υδραυλικό άλμα στη φύση.....	7-8
<b>Κεφάλαιο 2 : Βιβλιογραφική αναφορά</b> .....	<b>9-22</b>
<b>Κεφάλαιο 3: Πειραματική διάταξη – μετρήσεις</b> .....	<b>23</b>
3.1 Αναλυτική περιγραφή της κατασκευής .....	23
3.2 Περιγραφή της διαδικασίας των μετρήσεων .....	23-24
3.3 Μεγέθη που μετρήθηκαν και εκτέλεση των πειραμάτων .....	24-25
3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων.....	26-30
<b>Κεφάλαιο 4 : Ανάλυση αποτελεσμάτων</b> .....	<b>31</b>
4.1 Αποτελέσματα μετρήσεων .....	31-58
4.2 Διαγράμματα για κάθε παροχή .....	58-73
4.3 Παρουσίαση τριών διαφορετικών διαγραμμάτων για όλες τις παροχές .....	74-77
<b>Κεφάλαιο 5 : Συμπεράσματα</b> .....	<b>78-79</b>
<b>Κεφάλαιο 6 : Βιβλιογραφία</b> .....	<b>80-81</b>
<b>Κεφάλαιο 7 : Παράρτημα Φωτογραφιών</b> .....	<b>82-85</b>

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν στόχο να διερευνήσει τα χαρακτηριστικά του υδραυλικού άλματος σε ανοιχτούς αγωγούς. Πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακά πειράματα σε ορθογωνικό κανάλι με φάσμα 10 παροχών, με 3 διαφορετικά ύψη θυροφράγματος και 3 διαφορετικά ύψη εκχειλιστή. Αρχικά, μετρήθηκε ένα μεγάλο εύρος βαθών και υψών του νερού σε όλο το μήκος του καναλιού τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια έτσι ώστε μέσω γνωστών υδραυλικών τύπων και εξισώσεων, να υπολογιστούν διάφοροι συντελεστές του υδραυλικού άλματος, απώλειες ενέργειας πριν και μετά το άλμα, ο αριθμός Froude για κάθε ύψος θυροφράγματος κ.λ.π. Πραγματοποιήθηκε έρευνα σε παρόμοια πειράματα σε ορθογωνικές και όχι μόνο διατομές, και μελετήθηκαν επαρκώς τα διαγράμματα των πειραμάτων αυτών, για διάφορα μεγέθη τα οποία περιλαμβάνονται σε αυτά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ένα μεγάλο φάσμα αριθμών Froude, καθώς και ποικίλες τιμές απωλειών ενέργειας σε κάθε παροχή που μετρήθηκε.

## Abstract

The present thesis aims to investigate the characteristics of hydraulic jump in open channels. Laboratory experiments were performed on a rectangular channel with 10 different discharges, with 3 different sluice gate heights and 3 different weir heights. Initially, a wide range of water depths and heights along the channel were measured which were then used to calculate various coefficients of hydraulic jump, energy loss before and after the hydraulic jump through known hydraulic formulas and equations, Froude number for each gate height, etc. Similar experiments were carried out on rectangular and other cross sections and the diagrams of these experiments were studied adequately for various magnitudes. The results showed a wide range of Froude numbers, as well as varying energy loss values in each utility measured.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται εισαγωγικές πληροφορίες της διπλωματικής εργασίας σχετικά με τη δομή και το υπόβαθρό της και περιγράφονται συνοπτικά οι βασικές ενότητες της.

#### 1.1 Εισαγωγικά

Η ροή σε ανοιχτούς αγωγούς παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους Πολιτικούς Μηχανικούς, επειδή σχετίζεται με τον υπολογισμό υδραυλικών χαρακτηριστικών διωρύγων, καναλιών, ποταμών και χείμαρρων καθώς επίσης αποχετεύσεων ακαθάρτων και ομβρίων νερών. Γενικά η ροή σε ανοιχτό αγωγό θεωρείται μόνιμη και ομοιόμορφη. Στην πραγματικότητα όμως δεν είναι ούτε μόνιμη ούτε ομοιόμορφη.

Το υδραυλικό άλμα είναι η μετάβαση από υπερκρίσιμη ροή σε υποκρίσιμη και πραγματοποιείται απότομα σε μικρό μήκος κατά την κατεύθυνση της κύριας ροής. Συγκεκριμένα, το υδραυλικό άλμα παρατηρείται όταν σε έναν αγωγό με υποκρίσιμη ροή, τοποθετείται ένα θυρόφραγμα μικρού μήκους, αναγκάζοντας έτσι τη ροή να γίνει υπερκρίσιμη κατάντι του θυροφράγματος, και στη συνέχεια να επανέλθει σε υποκρίσιμη. Αντίθετα, όταν σε έναν αγωγό η ροή είναι υπερκρίσιμη, τοποθετείται θυρόφραγμα μικρού μήκους αναγκάζοντας έτσι τη ροή να ανέλθει σε μεγάλο ύψος αποκτώντας μεγάλο βάθος ροής. Αυτό επιτυγχάνεται επίσης, τοποθετώντας στη ροή υψηλό υπερχειλιστή ή κάποιο εμπόδιο όταν η ροή πρέπει να καταλήξει σε μεγάλο υψόμετρο όπως για παράδειγμα στην επιφάνεια ενός ταμιευτήρα.

## **1.2 Υδραυλικό άλμα σε πειραματικές διατάξεις**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να δημιουργηθεί ένα υδραυλικό άλμα. Διάφοροι μελετητές κατέληξαν στο ότι υπάρχουν 2 (δύο) τύποι υδραυλικού άλματος που μπορούν να δημιουργηθούν. Ο πρώτος τύπος είναι το κλασικό υδραυλικό άλμα σε λεία επιφάνεια και μελετήθηκε εκτεταμένα από διάφορους μελετητές (Bradley and Peterka, 1957; Rajaratnam, 1968; Leutheusser and Kartha, 1972; Hager and Bremen, 1989; Chanson, 2006).

Ο δεύτερος τύπος υδραυλικού άλματος σε πειραματικές διατάξεις, παρατηρείται σε τραχείες επιφάνειες και πρόκειται για εξαναγκασμένο υδραυλικό άλμα, το οποίο έχει εξεταστεί επίσης από αρκετούς μελετητές. Παρατηρήθηκε ότι το υδραυλικό άλμα σε αυτές τις περιπτώσεις, δημιουργείται με τη βοήθεια θυροφραγμάτων και παραμένει μέσα στο ορθογωνικό κανάλι ακόμα και όταν το ύψος του νερού τη στιγμή που δημιουργείται το άλμα είναι μικρότερο από το συνεχές βάθος του άλματος (Peterka, 1958). Σε πολλά πειράματα παρατηρήθηκε ότι οποιαδήποτε αλλαγή στο είδος του καναλιού καθώς και στη διατομή των θυροφραγμάτων ή των εμποδίων που χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργηθεί το άλμα, μπορεί να προκαλέσει διαφοροποίηση στο μήκος του άλματος, καθώς και στα χαρακτηριστικά αυτού (Hughes and Flack, 1984; Mohamed Ali, 1991; Ead and Rajaratnam, 2002). Ορισμένοι μελετητές αποπειράθηκαν να μελετήσουν υδραυλικά άλματα με αριθμούς Froudetης τάξης 4-10 και παρατήρησαν ότι το μήκος αλλά και το ύψος του άλματος μεταβλήθηκε σε αρκετά μεγάλο βαθμό, και πιο συγκεκριμένα από 27.4% μέχρι και 67.4% (Mohamed Ali 1991).

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη δημιουργία υδραυλικού άλματος σε ορθογωνικό κανάλι με λεία επιφάνεια, συνεπώς δεν θα εξετασθούν περισσότερες περιπτώσεις σαν αυτές που αναφέρθηκαν.

## **1.3 Το υδραυλικό άλμα στη φύση**

Το υδραυλικό άλμα είναι ένα φαινόμενο το οποίο βρίσκεται αρκετές φυσικές εφαρμογές. Συνήθως παρατηρείται σε ελεύθερη ροή ποταμών αλλά και ταμιευτήρων. Στις ελεύθερες επιφάνειες, δεν υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών του υδραυλικού άλματος σε σχέση με αυτά τα οποία παρατηρούνται σε εργαστηριακά πειράματα. Οι μεταβολές στη ροή από υπερκρίσιμη σε



υποκρίσιμη, έχουν ιδιαίτερη σημασία σε κατασκευές σε ελεύθερες επιφάνειες καθώς προκαλούν μεταβολές πιέσεων οι οποίες μελετήθηκαν και βοήθησαν στην αποφυγή καταστροφών και βλαβών σε μεγάλες υδραυλικές κατασκευές όπως για παράδειγμα σε φράγματα. Οι περισσότερες μελέτες είχαν να κάνουν με την πίεση του νερού στο κάτω μέρος αλλά και στις άκρες του υδραυλικού άλματος (Schiebe 1971; Lopardo and Henning 1985; Toso and Bowers 1988; Vasiliev and Bukreyev 1967). Ωστόσο στο πιο πρόσφατο παρελθόν, ο Lopardo(2013)πραγματοποίησε μια μελέτη στην οποία αποπειράθηκε να μετρήσει τις μεταβολές των πιέσεων στο εσωτερικό του υδραυλικού άλματος, κάτι το οποίο δεν είχε επιτευχθεί μέχρι εκείνη τη στιγμή. Το φαινόμενο του υδραυλικού άλματος, παραμένει άξιο μελέτης ακόμα και σήμερα καθώς βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλο βαθμό στην επιστήμη των Πολιτικών Μηχανικών κυρίως στην κατασκευή φραγμάτων, όπως αναφέρθηκε, σε ταμιευτήρες και ποταμούς. Επίσης τα διάφορα ύψη που μετριοούνται κατά τη μελέτη ενός υδραυλικού άλματος, χρησιμεύουν στον υπολογισμό των συζυγών βαθών μιας διατομής, αλλά και σε άλλα μεγέθη τα οποία θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.



Εικόνα 1.3.1 Υδραυλικό άλμα στη λεκάνη του ποταμού Burnett στην Αυστραλία

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

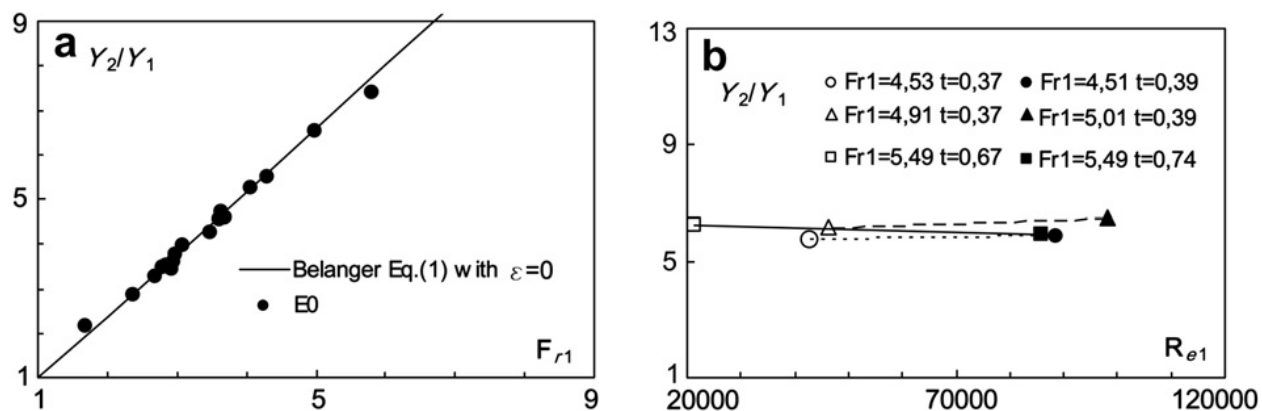
### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

Οι Pagliara-et al. (2007) πραγματοποίησαν μια πειραματική μελέτη που περιλάμβανε περίπου 200 δοκιμές για τη μέτρηση του ρυθμού ροής, των συζυγών βαθών, το μήκος και το ύψος των υδραυλικών αλμάτων σε εδάφη με τραχείες επιφάνειες. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε ορθογωνικό κανάλι πλάτους 0.35m, βάθους 0.5m και μήκος 6m, με λεία τοιχώματα και θυρόφραγμα σε βάθος 0.8m. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν τα  $y_1$ (ύψος του νερού ανάντη του θυροφράγματος),  $y_2$ (ύψος του νερού κατάντη του θυροφράγματος),  $y_3$ (ύψος του νερού ανάντη του υδραυλικού άλματος),  $y_4$ (ύψος του νερού κατάντη του υδραυλικού άλματος), παρόμοια δηλαδή με τα  $y$  που μετρήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Επίσης μετρήθηκε η παράμετρος  $\psi_{nu}$  (Εξίσωση 1) η οποία χρησιμοποιείται για την περιγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του καναλιού. Αφού μετρήθηκαν τα παραπάνω  $y$ , στη συνέχεια υπολόγισαν τους αριθμούς Froude (Fr) για τα  $y$  των συζυγών βαθών, μια αναλογία βάθους  $J$ , οι διαφορές ενέργειας των συζυγών βαθών καθώς και 2 παράμετροι,  $\lambda_r$  και  $\varepsilon$  (Εξισώσεις 2, 3) μέσω συναρτήσεων (plots). Τα πειράματα αυτά πραγματοποιήθηκαν για να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του υδραυλικού άλματος υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες. Τα κύρια αποτελέσματα που καταλήξανε συνοψίζονται στο γεγονός ότι σε φυσικά ακατέργαστα εδάφη ο διορθωτικός συντελεστής δεν εξαρτάται μόνο από τη σχετική τραχύτητα και την ακολουθία αλλά επίσης και στην παράμετρο της μη ομοιομορφίας του ιζήματος του εδάφους. Αυτές οι δοκιμές μπορούν να θεωρηθούν ως μια προκαταρκτική μελέτη που θα δείξει την επίδραση του μη ομοιογενούς τραχείου εδάφους στα κύρια χαρακτηριστικά του υδραυλικού άλματος όπως το μήκος του και η διαμόρφωση του βάθους του.

$$Y_{nu} = f(\sigma, \delta) = \sigma^2 / \sigma^2 - 1 \quad (1)$$

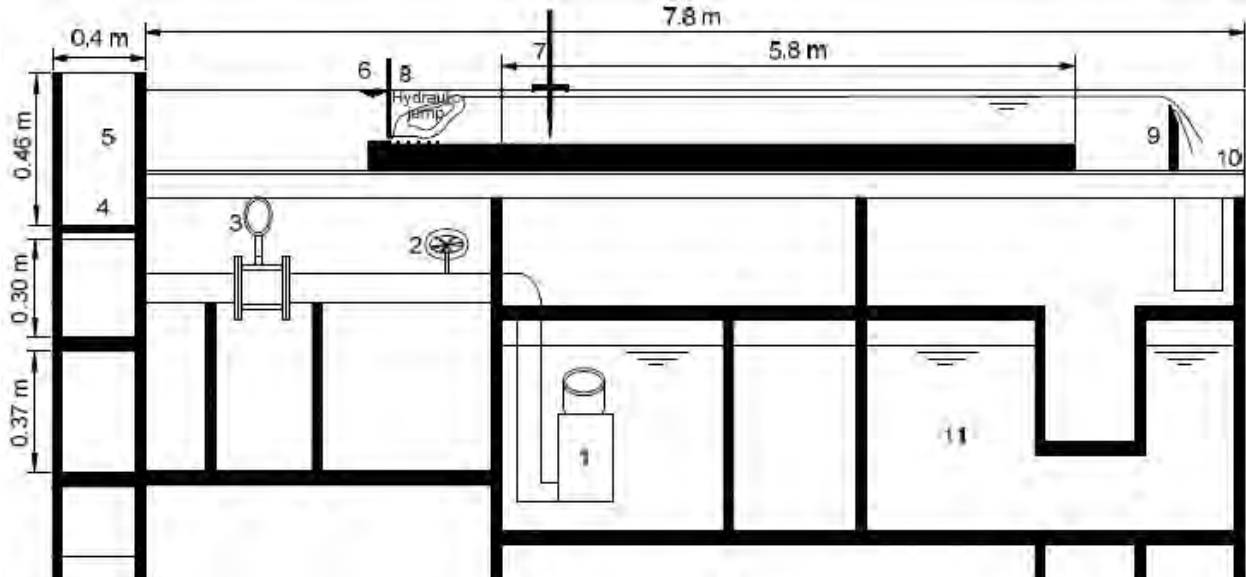
$$\lambda_r = L_r / Y_r = (27.457t - 73.517)(1 / Fr_1 - 1/2) \quad (2)$$

$$\varepsilon = -0.05t(0.256J^2 - 1.256J + 1) \quad (3)$$

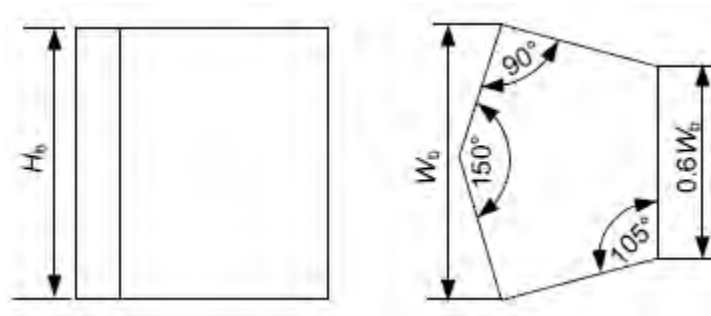


Εικόνα 2.1 Διαγράμματα συζυγών βαθών συναρτήσει των αριθμών Froude και Reynolds

Οι Ellayn και Sun (2012) πραγματοποίησαν μια εργαστηριακή μελέτη στην οποία μελέτησαν το υδραυλικό άλμα σε ορθογωνική διατομή πλάτους 0.35m, βάθους 0.5m και μήκους 7.8m, ορθογωνικό θυροφράγμα σε γωνία  $150^\circ$  και γωνία  $90^\circ$  (Εικόνες 2.3), καθώς και με ορισμένους συντελεστές τραχύτητας  $K_r$  ανάμεσα στις τιμές 0.22 και 1.4 και αριθμούς Froude ( $Fr$ ) ανάμεσα στις τιμές 3.06 και 10.95. Μετρήθηκαν τα εξής ύψη : ύψος του νερού ανάντη του θυροφράγματος, ύψος του νερού κατάντη του θυροφράγματος, ύψος του νερού ανάντη του υδραυλικού άλματος, ύψος του νερού κατάντη του υδραυλικού άλματος. Στο συγκεκριμένο πείραμα πραγματοποιήθηκαν 90 δοκιμές. Από τις 90, οι πρώτες 30 έγιναν σε λεία επιφάνεια του καναλιού και πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να δημιουργηθεί ένα κλασικό υδραυλικό άλμα. Οι υπόλοιπες 60 δοκιμές έγιναν χρησιμοποιώντας εμπόδια στον πάτο του καναλιού με σκοπό να δημιουργηθεί εξαναγκασμένο υδραυλικό άλμα χάρη σε αυτά. Μελέτησαν επίσης την επίδραση του συντελεστή μείωσης συζυγών βαθών  $P$  (Εικόνα 2.5) συναρτήσει του αριθμού Froude. Πραγματοποίησαν σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με διάφορες μελέτες στις οποίες υπήρχε ομαλή κλίση στο επίπεδο το οποίο ήταν λείο σε σχέση με το δικό τους πείραμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε ορθογωνικό κανάλι με  $K$ , μπορούν να βρεθούν διαφορές της τάξης του 16.5-30% στο βάθος του υδραυλικού άλματος και 30-53% στο ύψος του υδραυλικού άλματος σε σχέση με ορθογωνικό κανάλι με πιθανότατα τραχύεδαφος. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι στο πείραμα των συγκεκριμένων μελετητών ο αριθμός Froude είχε άμεση και έντονη επίδραση στο μήκος του άλματος καθώς και στην τραχύτητα.



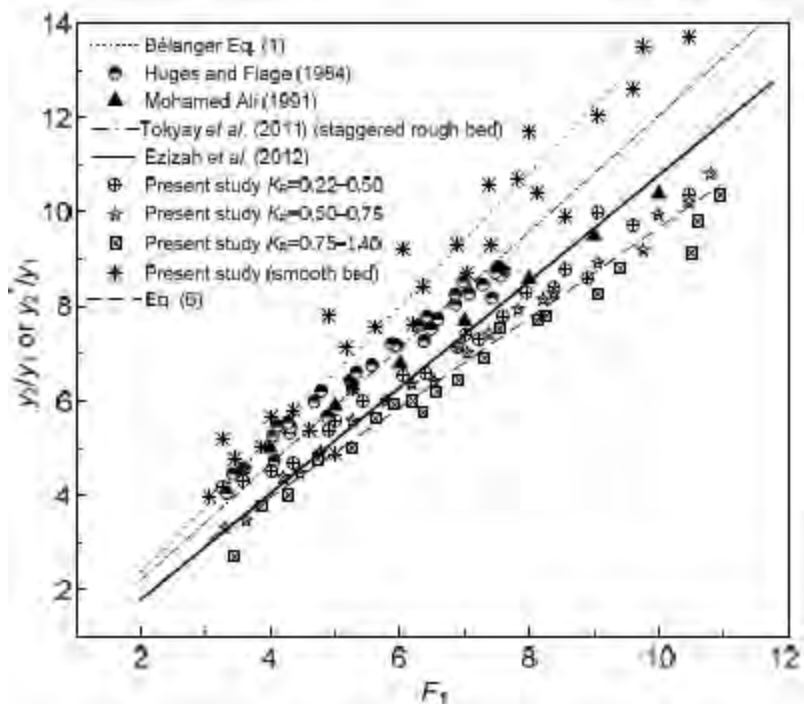
Εικόνα 2.2 Πειραματική Διάταξη



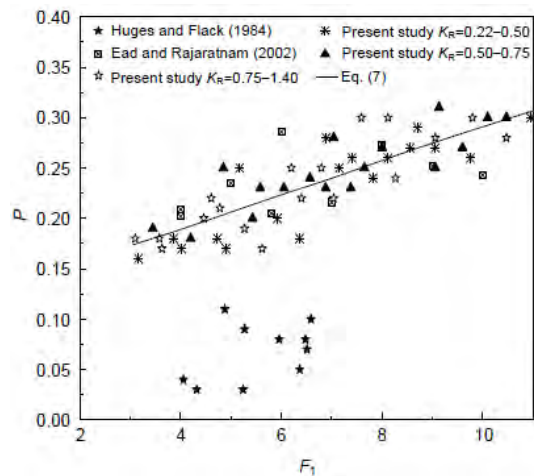
Εικόνα 2.3 Διατομή Θυροφράγματος

$$P = 0.02 + \ln F_1 + 0.17 / F_1^5 + \ln(K_R)^{0.1} \quad (4)$$

$$3.06 \leq F_1 \leq 10.95$$



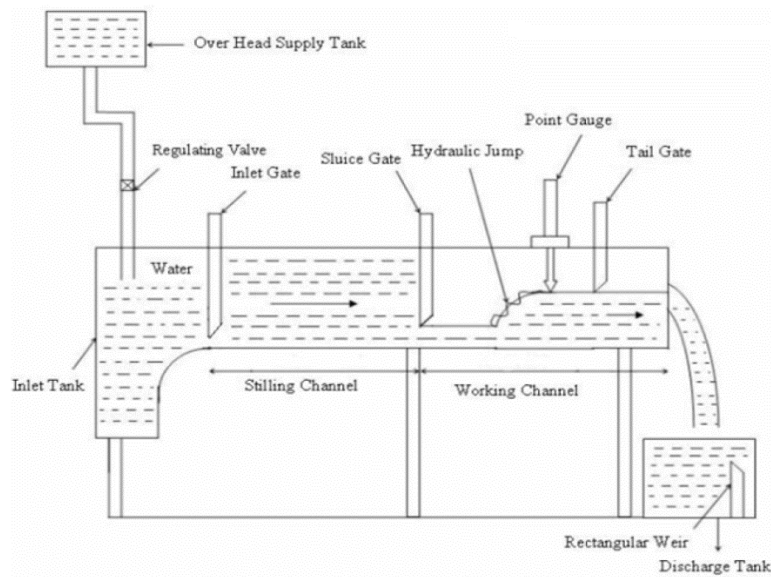
Εικόνα 2.4 Διάγραμμα συζυγών βαθών συναρτήσει του αριθμού Froude



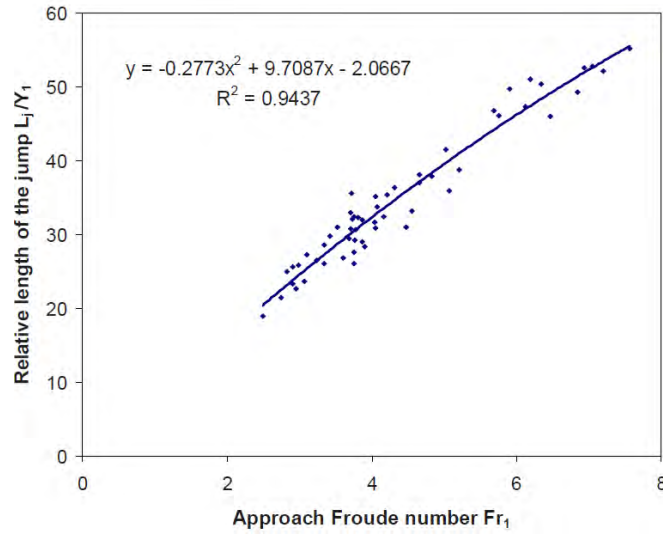
Εικόνα 2.5 Διάγραμμα συντελεστή P συναρτήσει του αριθμού Froude

Οι Bhanwar et al. (2012) μελέτησαν μέσω πειράματος το υδραυλικό άλμα σε οριζόντιο πρισματικό κανάλι και αναλύθηκαν τα αποτελέσματά του, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση και του αριθμού

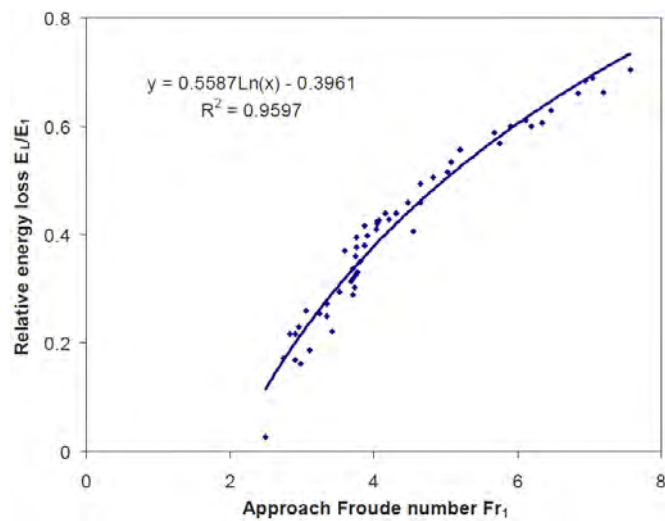
Frroude προσέγγισης και του εισερχόμενου αριθμού Reynolds. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε κανάλι μήκους 2.1m, με πλάτος 0.21m και ύψος 0.3m (Εικόνα 2.6). Το νερό εισερχόταν στο κανάλι με όγκο  $0.45 \cdot 0.3 \cdot 0.8 \text{ m}^3$ . Μετρήθηκαν το ύψος του νερού ανάντη του θυροφράγματος, το ύψος του νερού κατάντη του θυροφράγματος, το ύψος του νερού ανάντη του υδραυλικού άλματος, το ύψος του νερού κατάντη του υδραυλικού άλματος, το μήκος του υδραυλικού άλματος, και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι απώλειες ενέργειας των συζυγών βαθών, οι αριθμοί Frroude και Reynolds καθώς και οι απώλειες ενέργειας. Τέλος, σχημάτισαν αρκετά διαγράμματα με διάφορα μεγέθη, και πιο συγκεκριμένα τον λόγο μήκους συναρτήσε του αριθμού Frroude (Εικόνα 2.7), τον λόγο των απωλειών ενέργειας με τον αριθμό Frroude (Εικόνα 2.8), τον λόγο  $Ls/y_1$  με τον αριθμό Reynolds (Εικόνα 2.9) , τον λόγο των πειραματικών  $L/y_1$  με τα θεωρητικά (Εικόνα 2.10), τον λόγο των πειραματικών απωλειών ενέργειας με των θεωρητικών (Εικόνα 2.11). Το μοντέλο επικυρώνεται χρησιμοποιώντας δεδομένα του Bhutto (1987). Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξανε οι μελετητές ήταν πως η σχετική απώλεια ενέργειας του ελεύθερου άλματος αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός Frroude, ενώ αντίθετα μειώνεται με την αύξηση του εισερχόμενου αριθμού Reynolds. Ο αριθμός Frroude κυμάνθηκε από 2 έως 8, ενώ ο αριθμός Reynolds από 8000 έως 25000.



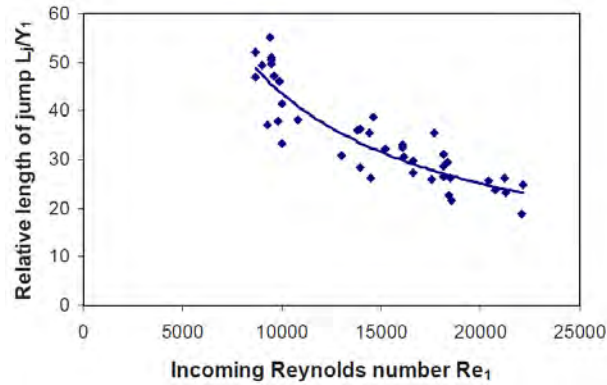
Εικόνα 2.6 Πειραματική διάταξη



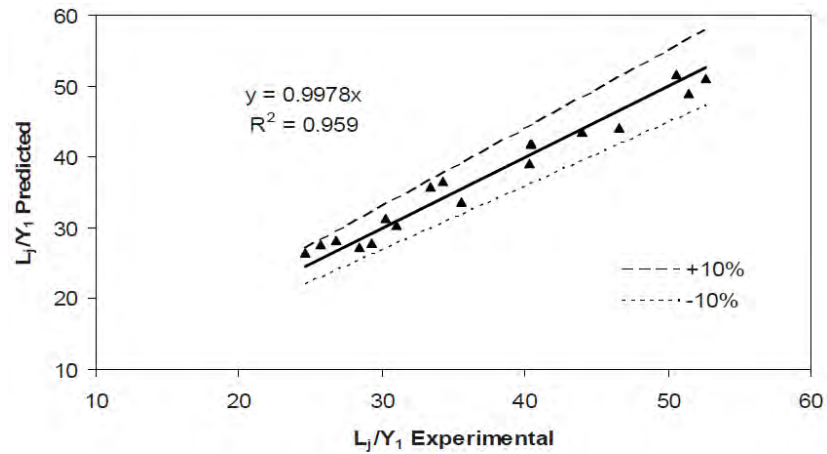
Εικόνα 2.7 Λόγος  $L/Y_1$  συναρτήσει του αριθμού Froude



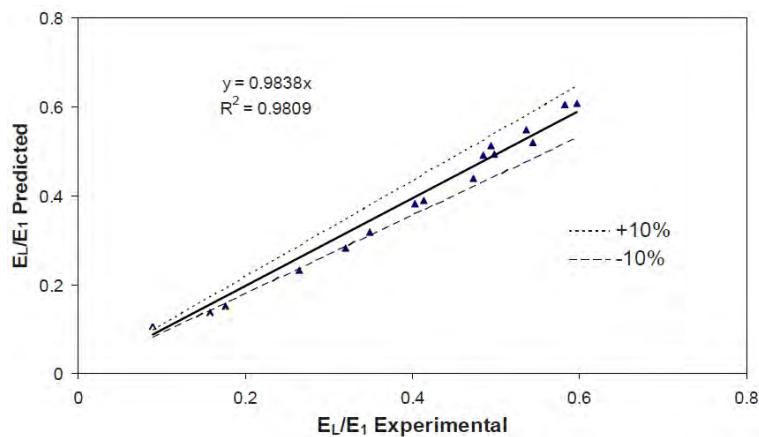
Εικόνα 2.8 Λόγος απωλειών ενέργειας συναρτήσει του αριθμού Froude



Εικόνα 2.9 Λόγος απωλειών ενέργειας συναρτήσει του αριθμού Reynolds



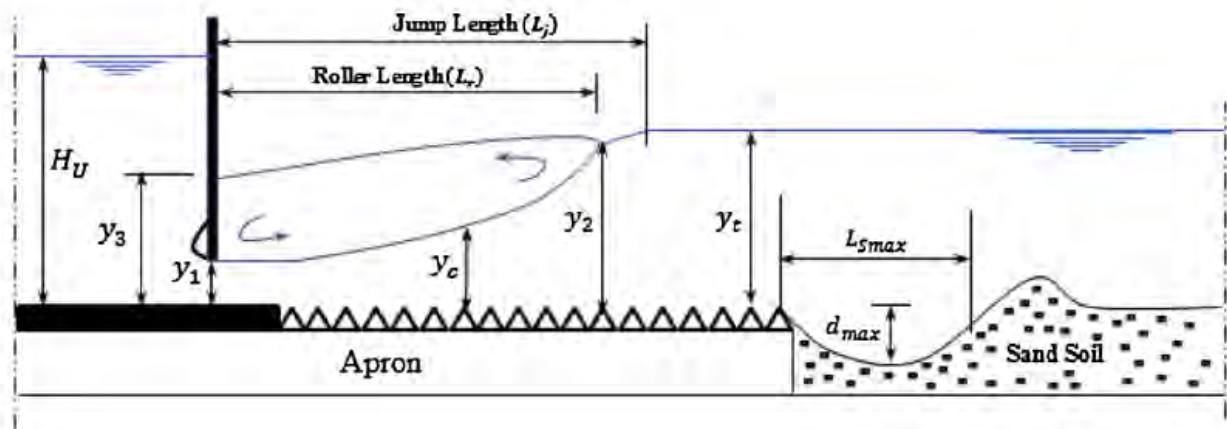
Εικόνα 2.10 Λόγος θεωρητικών  $L/y_1$  με τα πειραματικά



Εικόνα 2.11 Λόγος θεωρητικών απωλειών ενέργειας με τις πειραματικές



Οι Mohamed Ali et al. (2014) μελέτησαν μέσω πειραμάτων τη συμπεριφορά του υδραυλικού άλματος σε διάφορες μεταβολές στην πειραματική διάταξη (Εικόνα 2.12). Στο τέλος του καναλιού τοποθετήθηκε αμμόδες υλικό. Μετρήθηκαν τα χαρακτηριστικά  $y$  που αναφέρθηκαν και νωρίτερα, οι αριθμοί Froude των χαρακτηριστικών βαθών, το μήκος του υδραυλικού άλματος καθώς και διάφορες παράμετροι (Εικόνα 2.13). Χρησιμοποιήθηκε μοντέλο Buckingham που έχει σαν συνιστώσες όλα τα μεγέθη τα οποία αφορούν αυτό το πείραμα. Πραγματοποίησαν 60 δοκιμές, αλλάζοντας την επιφάνεια στην οποία δημιουργούταν υδραυλικό άλμα, και παρατηρήθηκαν αριθμοί Froude ανάμεσα στις τιμές 1.68 και 9.29. Στις 2 διαφορετικές επιφάνειες που μελετήθηκαν παρατηρήθηκαν μεταβολές στο βάθος του άλματος κατά 30.2 με 63.4% για την πρώτη επιφάνεια και για 20.6 με 44.2% για τη δεύτερη επιφάνεια. Συντάχθηκαν στη συνέχεια διαγράμματα του λόγου  $ds/y_1$  με τον αριθμό Froude (Εικόνα 2.14), του λόγου  $ls/y_1$  με τον αριθμό Froude καθώς και διαγράμματα των παραπάνω λόγων με την αναλογία  $S/t$ . Τέλος τα συμπεράσματα της έρευνας έδειξαν ότι το βάθος και το μήκος στις λείας επιφάνειας είναι αντιστρόφως ανάλογες με τη μέση διάμετρο των κόκκων. Παρατηρήθηκε ότι οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας παρατηρήθηκαν στην αναλογία  $S/t=3$ , καθώς και ότι οι διαστάσεις του νερού στο κανάλι αυξάνονται ανάλογα με τον αριθμό Froude.

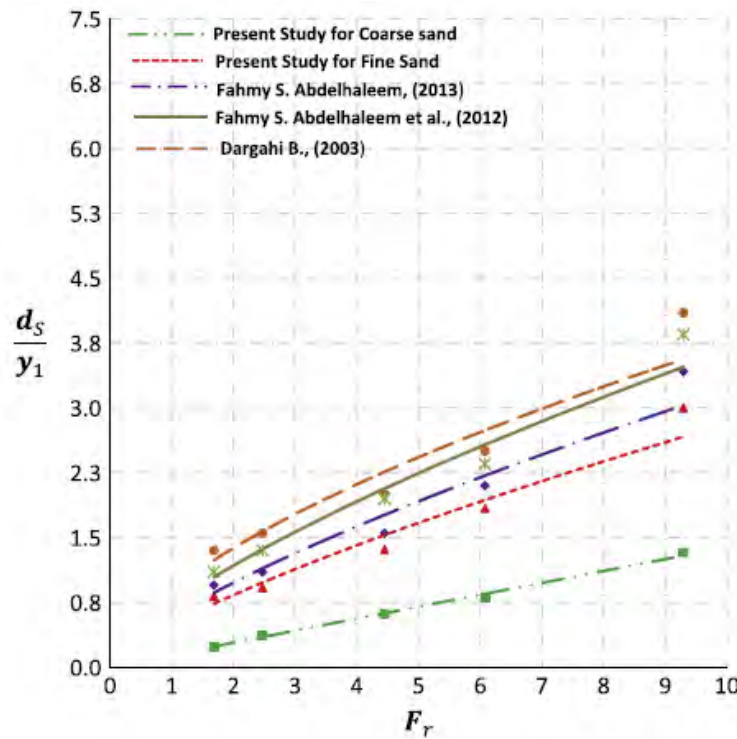


Εικόνα 2.12 : Πειραματική διάταξη

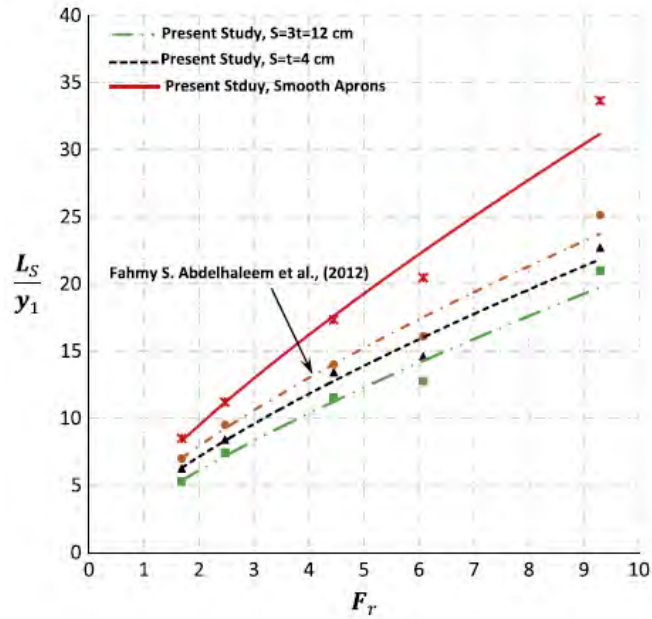
Notations			
$S$	corrugation wavelength	$L_S$	maximum scour length of movable soil
$t$	the height of corrugated apron	$F_r$	Froude number at initial water depth
$b$	the base width of corrugated apron	$g$	the acceleration of gravity
$d_{50}$	mean particle diameter of movable soil	$y_1$	initial water depth of hydraulic jump
$d_{10}$	percentage of passed particles from 10 mm diameter	$y_2$	sequent water depth of hydraulic jump
$d_{90}$	percentage of passed particles from 90 mm diameter	$\mu$	viscosity of fluid
$d_{60}$	percentage of passed particles from 60 mm diameter	$\rho$	density of the fluid
$d_{84}$	percentage of passed particles from 84 mm diameter	$\rho_s$	density of the movable soil
$\sigma_g$	geometric standard deviation	$L_j$	hydraulic jump length
$C_u$	uniformity coefficient deviation	$L_r$	roller hydraulic jump length
$d_S$	maximum scour depth of movable soil		

Εικόνα 2.13 : Παράμετροι του πειράματος που μετρήθηκαν

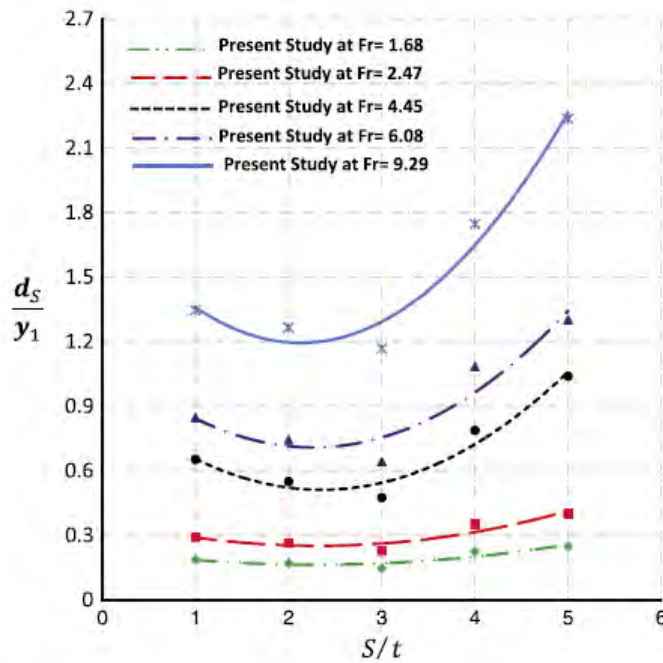
$$d_s = f(g, p, ps, y_1, y_2, v_1, s, t, b, d_{50}, L_{ij}, \mu)$$



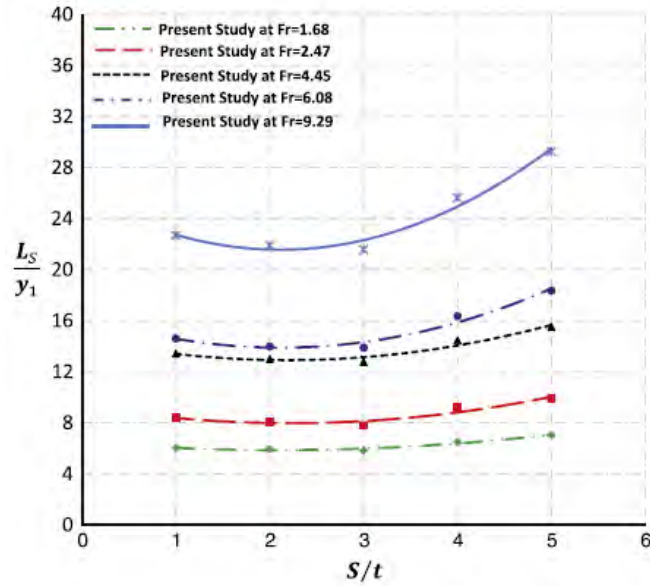
Εικόνα 2.14 Διάγραμμα λόγου  $d_s/y_1$  συναρτήσει του αριθμού Froude συμπεριλαμβανομένων και άλλων μελετών



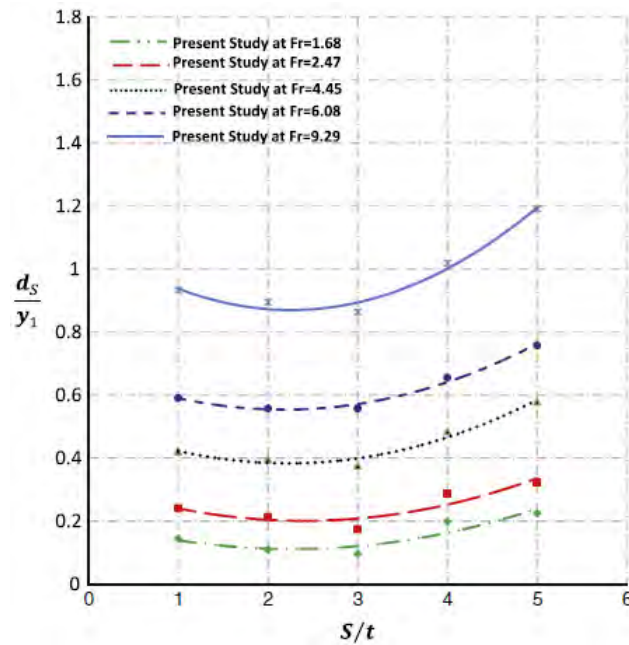
Εικόνα 2.15 Διάγραμμα λόγου  $L_s/y_1$  συναρτήσει του αριθμού Froude συμπεριλαμβανομένων και άλλων μελετών



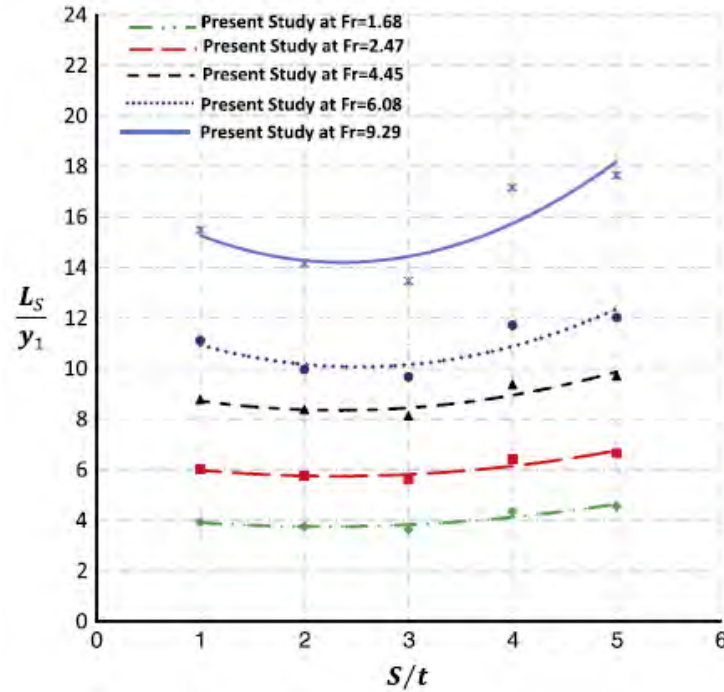
Εικόνα 2.16 Διάγραμμα λόγου  $d_s/y_1$  συναρτήσει του αριθμού Froude συμπεριλαμβανομένων και άλλων μελετών για απλή άμμο



Εικόνα 2.17 Διάγραμμα λόγου  $L_S/y_1$  συναρτήσει του αριθμού Froude συμπεριλαμβανομένων και άλλων μελετών για απλή άμμο



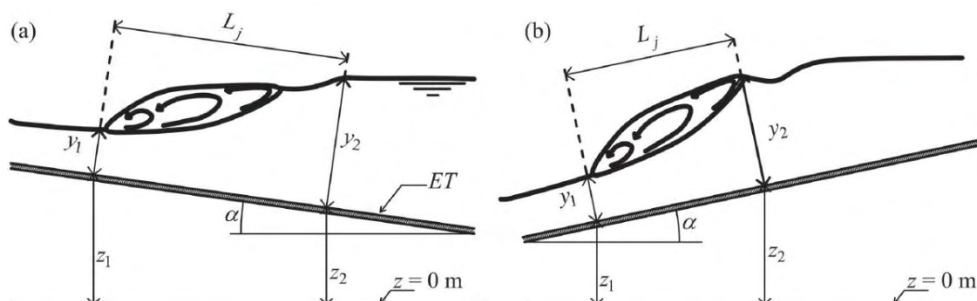
Εικόνα 2.18 Διάγραμμα λόγου  $d_s/y_1$  συναρτήσει του αριθμού Froude συμπεριλαμβανομένων και άλλων μελετών για τραχεία άμμο



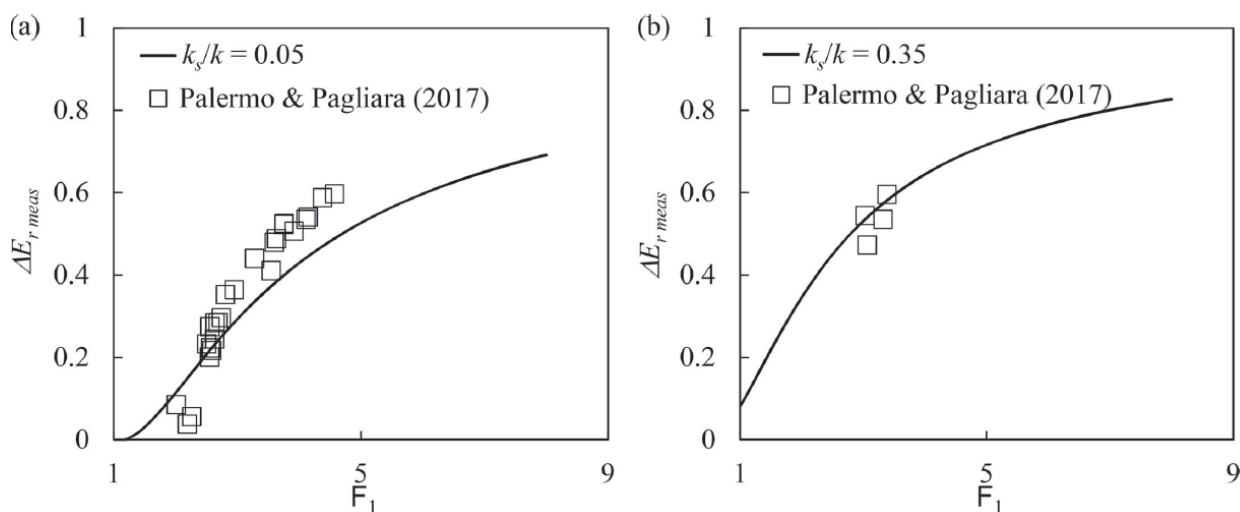
Εικόνα 2.19 Διάγραμμα λόγου  $L_s/y_1$  συναρτήσει του αριθμού Froude συμπεριλαμβανομένων και άλλων μελετών για τραχεία άμμο

Οι Palermo and Pagliara (2018) μελέτησαν το υδραυλικό άλμα σε ακατέργαστα με τραχύτητα κεκλιμένα ορθογωνικά κανάλια (Εικόνα 2.20) πραγματοποιώντας αρκετές δοκιμές λαμβάνοντας δεδομένα από περισσότερα από 500 πειράματα που είχαν πραγματοποιηθεί, και εξέδωσαν μια νέα θεωρητική προσέγγιση για τις απώλειες ενέργειας (Εικόνα 2.21) και την απορρόφηση ενέργειας στο φαινόμενο του υδραυλικού άλματος. Στο συγκεκριμένο πείραμα μετρήθηκαν τα χαρακτηριστικά  $y$  που αναφέρθηκαν και παραπάνω, το μήκος του άλματος  $L_s$  και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι αριθμοί Froude, οι απώλειες ενέργειας και τα κρίσιμα βάθη. Υπολόγισαν διαγράμματα με τις διαφορές ενέργειας  $\Delta E$  συναρτήσει του αριθμού Froude (Εικόνα 2.22), διαγράμματα των απωλειών ενέργειας με τον αριθμό Froude καθώς και διαγράμματα με τις πειραματικές και θεωρητικές τιμές των απωλειών ενέργειας (Εικόνα 2.23). Κατέληξαν στο ότι έπρεπε να δημιουργηθούν νέες εξισώσεις για να μελετηθούν επαρκώς οι απώλειες ενέργειας σε όλο το φάσμα των καναλιών στα οποία πραγματοποιείται υδραυλικό άλμα, αλλά και στο ότι η

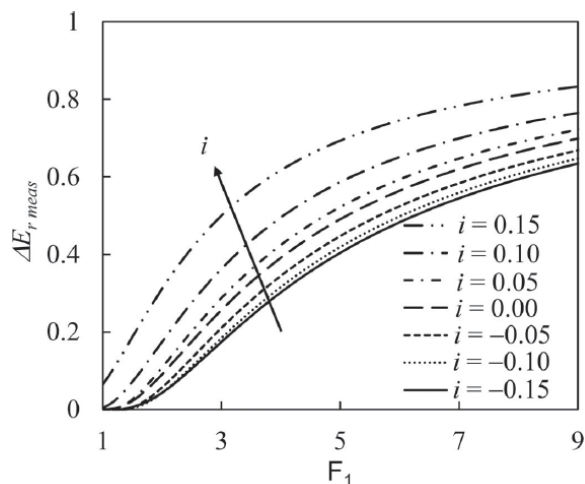
κατανάλωση ενέργειας και οι απώλειές της ποικίλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε διατομής.



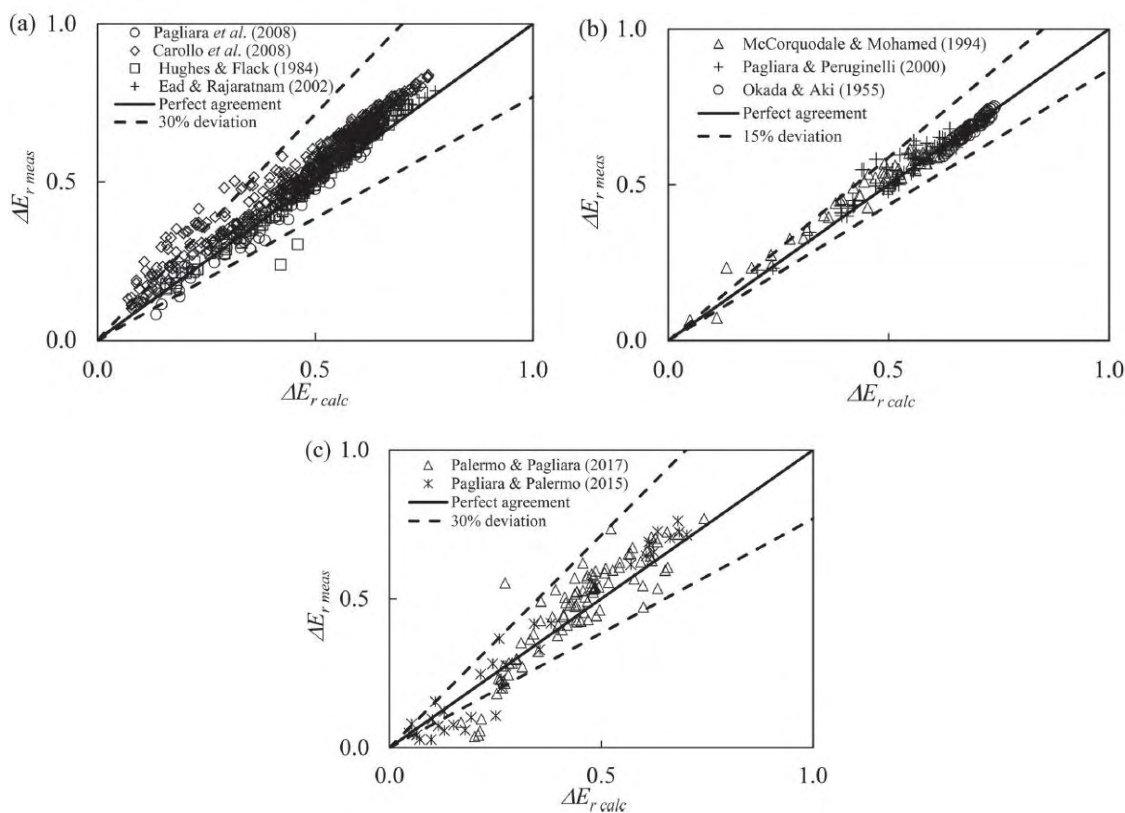
Εικόνα 2.20 Ορθογωνικά κεκλιμένα κανάλια



Εικόνα 2.21 Διαγράμματα απωλειών ενέργειας για 2 διαφορετικούς συντελεστές τραχύτητας



Εικόνα 2.22 Διαγράμματα απωλειών ενέργειας συναρτήσει του αριθμού Froude



Εικόνα 2.23 Διαγράμματα θεωρητικών απωλειών ενέργειας σε σχέση με τις πειραματικές με διαφορετική απόκλιση, σε σχέση με άλλες μελέτες

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαστάσεις του ορθογωνικού καναλιού, της δεξαμενής και τα στοιχεία της αντλίας καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του θυροφράγματος και του εκχειλιστή. Επίσης παρατίθενται τα μεγέθη τα οποία μετρήθηκαν στο πείραμα.

#### 3.1 Αναλυτική περιγραφή της κατασκευής

Η πειραματική συσκευή είναι ένα κανάλι μήκους 5m, πλάτους 0.10 m και βάθους 0.275 m. Διαθέτει ένα κατακόρυφο θυρόφραγμα που μπορεί να μετακινηθεί κατά μήκος του καναλιού, ένας υπερχειλιστής λεπτής στέψεως στο άκρο της επιβολής για τον έλεγχο της ροής, καθώς επίσης και κύκλωμα τροφοδοσίας με νερό με αντλία και παροχόμετρο. Η κλίση τυθμένα να είναι οριζόντια. Η ανακυκλούμενη ροή του νερού γίνεται από αντλία 1.50 HP που συνδέει τη δεξαμενή με το κανάλι, η δε παροχή μετρείται απευθείας από όργανο με ψηφιακή ένδειξη. Το τμήμα εισόδου έχει κατασκευαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχει αποκόλληση της ροής. Το κανάλι είναι κατασκευασμένο από plexiglass πάχους 15mm. Το τμήμα εισόδου-εξόδου καθώς και η δεξαμενή έχει κατασκευαστεί από ανοξείδωτο χάλυβα πάχους 1.5mm. Το κανάλι παραμένει οριζόντιο.

#### 3.2 Περιγραφή της διαδικασίας των μετρήσεων

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για 10 (δέκα) διαφορετικές παροχές και:

1. Μεταβάλλοντας το ύψος του υπερχειλιστή τρεις φορές για κάθε παροχή μετρήθηκε το βάθος ροής σε απόσταση περίπου 4 βαθών ανάντη του υπερχειλιστή.
2. Με το θυρόφραγμα δημιουργήθηκε υπερκρίσιμη ροή για δύο διαφορετικούς αριθμούς Froude ανά παροχή. Μετρήθηκαν τα βάθη ροής ανάντη του φράγματος, το άνοιγμα και το βάθος της



διατομής συστολής. στη συνέχεια δημιουργήθηκε υδραυλικό άλμα με τη βοήθεια του υπερχειλιστή και μετρήθηκαν τα βάθη ροής ανάντη και κατόντη του άλματος.

### 3.3 Μεγέθη που μετρήθηκαν και εκτέλεση των πειραμάτων

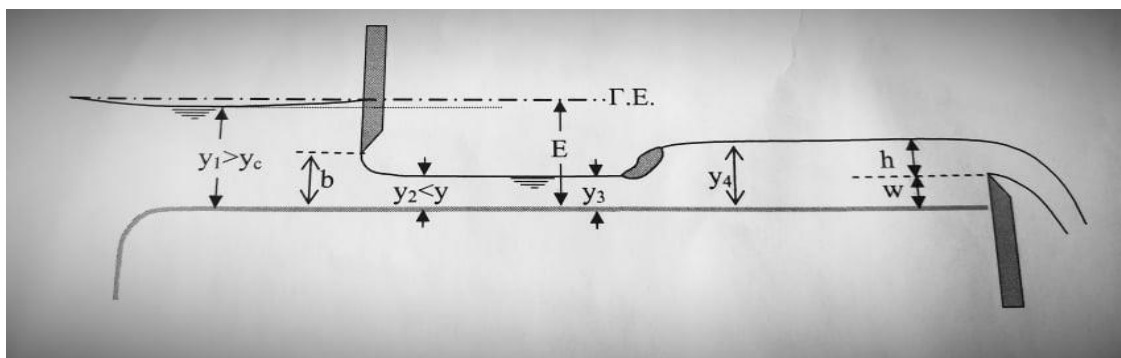
Τα δεδομένα μετρήσεων στάθμης για κάθε παροχή, με γνωστό πλάτος του καναλιού και μετρημένα ύψη, επεξεργάστηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δώσουν τα εξής:

1. Συντελεστής συστολής του θυροφράγματος  $C_e$
2. Συντελεστής παροχής  $\mu$ , σε σύγκριση με τις σχέσεις των Bazin και Rehbock, οι οποίες παρατίθενται παρακάτω και είναι οι εξής :

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2gh}^{1.5} \quad \text{όπου} \quad \mu = 0.6035 + 0.0813 \frac{h_e}{H} \quad \text{κατά Rehbock,}$$

$$\mu = \frac{3}{2} \left[ \left( 0.405 + \frac{0.003}{h} \right) \left( 1 + 0.55 \frac{h^2}{(h+H)^2} \right) \right] \quad \text{κατά Bazin και} \quad h_e = h + 0.0011(m)$$

3. Απώλειες ενέργειας στο υδραυλικό άλμα. Αυτές συγκρίθηκαν με τις θεωρητικές απώλειες υδραυλικού άλματος.
4. Σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών τιμών



Εικόνα 3.1.1 Σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης

Πριν την εκτέλεση των πειραμάτων, γεμίζεται το ανοικτό κανάλι με νερό μέχρι το επιθυμητό ύψος. Στη συνέχεια τίθεται σε λειτουργία η αντλία στην ρυθμιζόμενη παροχή και ξεκινά η ροή του νερού εντός του καναλιού. Αφού σταθεροποιηθεί ο ρυθμός ροής του νερού μετράται με ακρίβεια η παροχή. Επόμενο βήμα είναι η ρύθμιση του θυροφράγματος και του εκχειλιστή στα κατάλληλα ύψη για την επίτευξη υδραυλικού άλματος. Έπειτα, μετρούνται τα ύψη του νερού στα τέσσερα σημεία ενδιαφέροντος. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται τρεις φορές για κάθε ένα από τα τρία διαφορετικά ύψη εκχειλιστή και για κάθε ένα από τα τρία ύψη θυροφράγματος. Επαναλήφθηκε η ίδια διαδικασία για δέκα διαφορετικές παροχές.

Τα μεγέθη που υπολογίστηκαν είναι τα εξής :

$y_1$  : Ύψος του νερού ανάντη του θυροφράγματος

$y_2$  : Ύψος του νερού κατάντη του θυροφράγματος

$y_3$  : Ύψος του νερού ανάντη του υδραυλικού άλματος

$y_4$  : Ύψος του νερού κατάντη του υδραυλικού άλματος

$y_{\theta}$  : Ύψος θυροφράγματος

$y_{εκ}$  : Ύψος εκχειλιστή

### 3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη που υπολογίσθηκαν βάσει των μετρήσεων που έγιναν στα πειράματα

Παροχή Q (l/s)	y <sub>0</sub> (m)	y <sub>εκχ</sub> (m)	y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	y <sub>3</sub> (m)	y <sub>4</sub> (m)
1.31	0.013	0.025	0.165	0.007	0.008	0.060
		0.020	0.167	0.008	0.009	0.058
		0.015	0.168	0.008	0.010	0.056
1.31	0.007	0.025	0.210	0.006	0.008	0.065
		0.030	0.209	0.007	0.009	0.069
		0.020	0.210	0.007	0.010	0.062
1.31	0.010	0.030	0.272	0.004	0.006	0.069
		0.020	0.275	0.005	0.006	0.064
		0.023	0.240	0.005	0.008	0.063

Παροχή Q (l/s)	y <sub>0</sub> (m)	y <sub>εκχ</sub> (m)	y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	y <sub>3</sub> (m)	y <sub>4</sub> (m)
1.86	0.013	0.008	0.245	0.011	0.080	0.035
		0.009	0.243	0.010	0.075	0.030
		0.01	0.241	0.009	0.060	0.025
1.86	0.017	0.030	0.178	0.012	0.013	0.071
		0.025	0.174	0.010	0.013	0.067
		0.035	0.173	0.011	0.011	0.071
1.86	0.020	0.023	0.115	0.015	0.016	0.065
		0.018	0.110	0.014	0.016	0.058
		0.015	0.115	0.015	0.016	0.062

<b>Παροχή</b> <b>Q (l/s)</b>	<b>y<sub>θ</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>εγκ</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>Υ1</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>2</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>3</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>4</sub></b> <b>(m)</b>
2.60	0.017	0.035	0.245	0.009	0.012	0.090
		0.030	0.247	0.010	0.013	0.085
		0.040	0.246	0.009	0.014	0.092
2.60	0.020	0.036	0.235	0.011	0.013	0.092
		0.040	0.236	0.012	0.015	0.093
		0.032	0.235	0.012	0.016	0.088
2.60	0.025	0.030	0.161	0.013	0.015	0.091
		0.025	0.160	0.014	0.015	0.089
		0.020	0.160	0.015	0.018	0.081

<b>Παροχή</b> <b>Q (l/s)</b>	<b>y<sub>θ</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>εγκ</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>1</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>2</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>3</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>4</sub></b> <b>(m)</b>
3.33	0.023	0.040	0.274	0.014	0.015	0.109
		0.035	0.273	0.015	0.017	0.102
		0.045	0.272	0.014	0.015	0.120
3.33	0.028	0.035	0.195	0.018	0.020	0.104
		0.030	0.194	0.019	0.019	0.100
		0.025	0.195	0.018	0.021	0.097
3.33	0.033	0.028	0.152	0.020	0.021	0.092
		0.023	0.152	0.021	0.024	0.088
		0.030	0.151	0.021	0.025	0.081

<b>Παροχή</b> <b>Q (l/s)</b>	<b>y<sub>0</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>εγκ</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>1</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>2</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>3</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>4</sub></b> <b>(m)</b>
3.63	0.026	0.036	0.250	0.014	0.016	0.100
		0.040	0.251	0.014	0.017	0.105
		0.043	0.252	0.015	0.016	0.108
3.63	0.028	0.040	0.213	0.017	0.019	0.107
		0.035	0.208	0.016	0.019	0.108
		0.032	0.206	0.016	0.020	0.102
3.63	0.032	0.030	0.188	0.018	0.026	0.105
		0.025	0.187	0.019	0.021	0.102
		0.035	0.186	0.018	0.021	0.108

<b>Παροχή</b> <b>Q (l/s)</b>	<b>y<sub>0</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>εγκ</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>1</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>2</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>3</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>4</sub></b> <b>(m)</b>
4.00	0.030	0.035	0.242	0.019	0.022	0.116
		0.045	0.243	0.020	0.021	0.124
		0.040	0.244	0.020	0.021	0.118
4.00	0.035	0.038	0.200	0.021	0.023	0.113
		0.033	0.199	0.022	0.023	0.109
		0.028	0.200	0.021	0.024	0.105
4.00	0.025	0.050	0.269	0.016	0.018	0.124
		0.045	0.267	0.017	0.018	0.121
		0.040	0.269	0.019	0.022	0.116

<b>Παροχή</b> <b>Q (l/s)</b>	<b>y<sub>0</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>εγκ</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>1</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>2</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>3</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>4</sub></b> <b>(m)</b>
4.87	0.035	0.040	0.260	0.019	0.023	0.135
		0.045	0.264	0.020	0.022	0.141
		0.042	0.262	0.018	0.023	0.138
4.87	0.040	0.033	0.206	0.025	0.028	0.125
		0.040	0.209	0.023	0.026	0.131
		0.032	0.205	0.024	0.026	0.123
4.87	0.045	0.024	0.185	0.026	0.027	0.111
		0.031	0.184	0.028	0.030	0.120
		0.027	0.183	0.027	0.029	0.117

<b>Παροχή</b> <b>Q (l/s)</b>	<b>y<sub>0</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>εγκ</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>1</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>2</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>3</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>4</sub></b> <b>(m)</b>
5.40	0.035	0.050	0.273	0.022	0.024	0.148
		0.045	0.272	0.021	0.025	0.143
		0.040	0.274	0.022	0.030	0.138
5.40	0.040	0.040	0.265	0.024	0.027	0.143
		0.045	0.266	0.023	0.025	0.149
		0.035	0.264	0.024	0.026	0.139
5.40	0.045	0.040	0.215	0.027	0.029	0.139
		0.035	0.216	0.028	0.029	0.135
		0.030	0.217	0.029	0.031	0.120

<b>Παροχή</b> <b>Q (l/s)</b>	<b>y<sub>0</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>εγκ</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>1</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>2</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>3</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>4</sub></b> <b>(m)</b>
5.72	0.040	0.050	0.272	0.026	0.027	0.149
		0.045	0.271	0.025	0.028	0.145
		0.040	0.273	0.025	0.027	0.140
5.72	0.045	0.045	0.239	0.027	0.029	0.143
		0.040	0.239	0.028	0.030	0.138
		0.035	0.240	0.027	0.031	0.133
5.72	0.050	0.035	0.213	0.029	0.032	0.131
		0.040	0.212	0.030	0.031	0.138
		0.030	0.212	0.030	0.033	0.125

<b>Παροχή</b> <b>Q (l/s)</b>	<b>y<sub>0</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>εγκ</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>1</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>2</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>3</sub></b> <b>(m)</b>	<b>y<sub>4</sub></b> <b>(m)</b>
6.02	0.040	0.045	0.270	0.023	0.025	0.152
		0.040	0.271	0.025	0.026	0.145
		0.050	0.272	0.024	0.025	0.155
6.02	0.050	0.042	0.226	0.028	0.030	0.145
		0.038	0.224	0.030	0.032	0.141
		0.035	0.223	0.028	0.030	0.139
6.02	0.045	0.046	0.240	0.027	0.030	0.138
		0.035	0.241	0.028	0.031	0.135
		0.045	0.245	0.025	0.028	0.141

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

<b>Μέγεθος</b>	Συντελεστής κατά Bazin (μ)	Συντελεστής κατά Rehbock (μ)	Συντελεστής θυροφράγματος (C <sub>e</sub> )	Παροχ ή (Q)	Αριθμός Froude (Fr)	Λόγος ενεργειών (n)	Απώλειες ενέργειας (ΔH)
<b>Μονάδες</b>	Αδιάστατο	Αδιάστατο	Αδιάστατο	m <sup>3</sup> /sec	Αδιάστατο	Αδιάστατο	Αδιάστατο

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες των μεγεθών που υπολογίσθηκαν βάσει τύπων.



Για παροχή  $Q = 1.31 \text{ l/sec}$

Μέγεθος	$y_1=0.015\text{m}$	$y_2=0.01\text{m}$	$y_3=0.02\text{m}$
$V_3 \text{ (m/s)}$	1.45556 m/s	1.965 m/s	1.51154 m/s
$V_4 \text{ m/s)}$	0.22586 m/s	0.20051 m/s	0.20051 m/s

Μέγεθος	$y_1=0.015\text{m}$	$y_2=0.01\text{m}$	$y_3=0.02\text{m}$
$E_1$	0.11698	0.20347	0.12512
$E_2$	0.0606	0.06738	0.06738

Μέγεθος	$y_1=0.015\text{m}$	$y_2=0.01\text{m}$	$y_3=0.02\text{m}$
$\Delta H$ (Πειραματικό)	0.05638	0.13608	0.05773
$\Delta H$ (Θεωρητικό)	0.05635	0.1159	0.08034
Σφάλμα	0.0681	14.8349	39.1564

Μέγεθος	$y=0.015\text{m}$		
$h_1(\text{m})$	0.035	0.038	0.041
$h_e$	0.0361	0.0391	0.0421
$\mu$ (Bazin)	0.87383	0.8973	0.92872
$\mu$ (Rehbock)	0.7209	0.76244	0.83168

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.01m</b>		
$h_2(m)$	0.039	0.044	0.04
$h_e(m)$	0.05	0.055	0.051
$\mu$ (Bazin)	0.8499	0.89429	0.87964
$\mu$ (Rehbock)	0.739	0.82708	0.78377

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.02m</b>		
$h_3(m)$	0.04	0.039	0.042
$h_e(m)$	0.0411	0.0401	0.0431
$\mu$ (Bazin)	0.86996	0.8499	0.89501
$\mu$ (Rehbock)	0.73716	0.71217	0.7787

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.015m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.01m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.02m</b>
Ce	0.58974	0.57143	0.66667

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.015m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.01m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.02m</b>
Fr <sub>1</sub>	5.19576	8.09939	5.3956
Fr <sub>2</sub>	6.61313	8.09939	7.01428
Fr <sub>3</sub>	4.82597	7.01428	6.27376

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.015m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.05492	8.46787
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.07979	37.572
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.06343	13.272

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.01m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.06579	4.65063
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.06579	2.7985
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.06343	19.775

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.015m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.05718	12.0382
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	00.07546	9.3598
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.08387	35.266

Για παροχή  $Q = 1.80 \text{ l/sec}$

Μέγεθος	$y_1=0.013\text{m}$	$y_2=0.017\text{m}$	$y_3=0.02\text{m}$
$V_3 \text{ (m/s)}$	1.63636 m/s	1.45946 m/s	1.125 m/s
$V_4 \text{ (m/s)}$	0.25116 m/s	0.25837 m/s	0.29189 m/s

Μέγεθος	$y_1=0.013\text{m}$	$y_2=0.017\text{m}$	$y_3=0.02\text{m}$
$E_1$	0.11698	0.20347	0.12512
$E_2$	0.0606	0.06738	0.06738

Μέγεθος	$y_1=0.013\text{m}$	$y_2=0.017\text{m}$	$y_3=0.02\text{m}$
$\Delta H$ (Πειραματικό)	0.05638	0.13608	0.05773
$\Delta H$ (Θεωρητικό)	0.07081	0.05483	0.02413
Σφάλμα	2.46262	14.65	66.4445

Μέγεθος	$y=0.013\text{m}$		
$h_1\text{(m)}$	0.045	0.045	0.035
$h_e \text{ (m)}$	0.0461	0.0461	0.0361
$\mu \text{ (Bazin)}$	0.83062	0.84759	0.87383
$\mu \text{ (Rehbock)}$	0.71058	0.72843	0.7209

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.017m</b>		
h <sub>2</sub> (m)	0.041	0.042	0.036
h <sub>e</sub> (m)	0.052	0.053	0.047
μ (Bazin)	0.84881	0.8691	0.8308
μ (Rehbock)	0.74442	0.77586	0.71267

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.02m</b>		
h <sub>3</sub> (m)	0.042	0.044	0.043
h <sub>e</sub> (m)	0.0431	0.0451	0.0441
μ (Bazin)	0.87875	0.90638	0.92744
μ (Rehbock)	0.75585	0.8072	0.84252

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.013m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.017m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.02m</b>
Ce	0.64103	0.64706	0.73333

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.013m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.017m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.02m</b>
Fr <sub>1</sub>	4.98137	4.6597	3.27889
Fr <sub>2</sub>	4.08628	4.0682	4.44285
Fr <sub>3</sub>	2.83961	3.68381	3.68381

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.013m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.07219	9.76638
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.06109	18.5501
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.04997	16.8213

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.017m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.06892	2.93526
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.6892	2.8597
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.06383	10.0944

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.02m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.05675	12.6938
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.07574	<b>22.158</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.07574	<b>30.583</b>

Για παροχή  $Q=2.60$  l/s

Μέγεθος	$y_1=0.02m$	$y_2=0.025m$	$y_3=0.017m$
$V_3$ (m/s)	1.77273 m/s	1.625 m/s	2 m/s
$V_4$ (m/s)	0.28571 m/s	0.29885 m/s	0.29213 m/s

Μέγεθος	$y_1=0.02m$	$y_2=0.025m$	$y_3=0.017m$
$E_1$	0.17484	0.15059	0.21687
$E_2$	0.09516	0.09155	0.09335

Μέγεθος	$y_1=0.02m$	$y_2=0.025m$	$y_3=0.017m$
$\Delta H$ (Πειραματικό)	0.07968	0.05904	0.12352
$\Delta H$ (Θεωρητικό)	0.08331	0.06428	0.09485
Σφάλμα	4.56229	8.88204	23.2114

Μέγεθος	$y=0.02m$		
$h_1(m)$	0.056	0.053	0.056
$h_c(m)$	0.0571	0.0541	0.0571
$\mu$ (Bazin)	0.82803	0.81609	0.84106
$\mu$ (Rehbock)	0.73245	0.71346	0.74857

Μέγεθος	$y=0.025m$		
$h_2(m)$	0.061	0.064	0.061
$h_c(m)$	0.072	0.075	0.072
$\mu$ (Bazin)	0.84964	0.87059	0.89378
$\mu$ (Rehbock)	0.79862	0.8474	0.89618

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.017m</b>		
$h_3(m)$	0.055	0.055	0.052
$h_e(m)$	0.0561	0.0561	0.0531
$\mu$ (Bazin)	0.8309	0.84805	0.81599
$\mu$ (Rehbock)	0.73381	0.75553	0.71143

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.02m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.025m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.017m</b>
Ce	0.58333	0.56	0.54902

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.02m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.025m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.017m</b>
Fr <sub>1</sub>	4.96405	4.23617	5.82915
Fr <sub>2</sub>	4.23617	4.23617	4.55037
Fr <sub>3</sub>	5.04819	3.86708	4.38485

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.02m</b>	<b>Σφάλμα</b>
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}(m)$	0.08499	7.61517
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}(m)$	0.08268	11.102
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}(m)$	0.10651	21.031

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.025m</b>	<b>Σφάλμα</b>
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}(m)$	0.08268	9.1482
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}(m)$	0.08268	7.10658
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}(m)$	0.08985	10.926



<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.017m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.09311	3.4507
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.07741	8.92969
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.0801	12.9376

**Για παροχή Q= 3.33 l/sec**

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.033m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.028m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.023m</b>
V <sub>3</sub> (m/s)	1.42714 m/s	1.665 m/s	2.12553 m/s
V <sub>4</sub> (m/s)	0.38276 m/s	0.33189 m/s	0.30181 m/s

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.033m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.028m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.023m</b>
E <sub>1</sub>	0.12714	0.1613	0.24594
E <sub>2</sub>	0.09447	0.10595	0.11498

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.033m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.028m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.023m</b>
ΔH (Πειραματικό)	0.03268	0.05535	0.13096
ΔH (Θεωρητικό)	0.03178	0.06459	0.1227
Σφάλμα	2.73456	16.694	6.30654

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.033m</b>		
h <sub>1</sub> (m)	0.064	0.065	0.051
h <sub>c</sub> (m)	0.0651	0.0661	0.0521
μ (Bazin)	0.85822	0.8798	0.84743
μ (Rehbock)	0.79252	0.83715	0.74469

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.028m</b>		
h <sub>2</sub> (m)	0.069	0.07	0.072
h <sub>c</sub> (m)	0.08	0.081	0.083
μ (Bazin)	0.83558	0.85283	0.87303
μ (Rehbock)	0.78933	0.82301	0.87342

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.023m</b>		
h <sub>3</sub> (m)	0.069	0.067	0.075
h <sub>c</sub> (m)	0.0701	0.0681	0.0761
μ (Bazin)	0.82098	0.83477	0.81091
μ (Rehbock)	0.74598	0.76169	0.74099

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.033m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.028m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0,023m</b>
Fr <sub>1</sub>	3.1443	3.75893	5.54099
Fr <sub>2</sub>	3.43142	3.66834	4.07714
Fr <sub>3</sub>	4.29203	3.85659	4.34044

<b>Μέγεθος</b>	<b><math>y_1=0.033m</math></b>	<b><math>y_2=0.028m</math></b>	<b><math>y_3=0.023m</math></b>
Ce	0.62626	0.65476	0.62319

<b>Μέγεθος</b>	<b><math>y=0.033m</math></b>	<b>Σφάλμα</b>
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}} (m)$	0.08347	9.727253
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}} (m)$	0.10508	19.412
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}} (m)$	0.13976	72.544

<b>Μέγεθος</b>	<b><math>y=0.028m</math></b>	<b>Σφάλμα</b>
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}} (m)$	0.10163	2.28138
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}} (m)$	0.09895	1.05091
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}} (m)$	0.09456	2.51421

<b>Μέγεθος</b>	<b><math>y=0.023m</math></b>	<b>Σφάλμα</b>
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}} (m)$	0.11028	1.1754
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}} (m)$	0.08989	11.8737
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}} (m)$	0.08488	29.2669

Για παροχή  $Q = 3.63$  l/sec

Μέγεθος	$y_1=0.028\text{m}$	$y_2=0.026\text{m}$	$y_3=0.024\text{m}$
$V_3$ (m/s)	1.87759 m/s	2.22245 m/s	1.75645 m/s
$V_4$ (m/s)	0.34353 m/s	0.34792 m/s	0.34571 m/s

Μέγεθος	$y_1=0.028\text{m}$	$y_2=0.026\text{m}$	$y_3=0.024\text{m}$
$E_1$	0.19901	0.26808	0.17791
$E_2$	0.11168	0.1105	0.11109

Μέγεθος	$y_1=0.028\text{m}$	$y_2=0.026\text{m}$	$y_3=0.024\text{m}$
$\Delta H$ (Πειραματικό)	0.08733	0.15758	0.06682
$\Delta H$ (Θεωρητικό)	0.07875	0.09997	0.0691
Σφάλμα	9.83103	36.5552	3.41409

Μέγεθος	$y=0.028\text{m}$		
$h_1$ (m)	0.067	0.067	0.076
$h_c$ (m)	0.0681	0.0681	0.0771
$\mu$ (Bazin)	0.82015	0.83477	0.8483
$\mu$ (Rehbock)	0.74191	0.76169	0.79938

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.026m</b>		
$h_2(m)$	0.064	0.065	0.065
$h_e(m)$	0.075	0.076	0.076
$\mu$ (Bazin)	0.83051	0.81937	0.81155
$\mu$ (Rehbock)	0.77288	0.75797	0.74719

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.024m</b>		
$h_3(m)$	0.075	0.077	0.073
$h_e(m)$	0.0761	0.0781	0.0741
$\mu$ (Bazin)	0.85481	0.87467	0.83729
$\mu$ (Rehbock)	0.80973	0.85748	0.77562

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.028m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.026m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.024m</b>
Ce	0.58333	0.55128	0.57292

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0,028m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0,026m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0,024m</b>
Fr <sub>1</sub>	4.34899	5.60967	3.9654
Fr <sub>2</sub>	5.14779	5.44218	4.89652
Fr <sub>3</sub>	3.9654	5.60967	4.89652

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.028m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.10774	0.6946
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.12915	<b>26.615</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.1026	4.99696

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.026m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.12663	<b>26.633</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.12261	16.776
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.11918	10.356

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.024m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.1026	2.28259
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.1353	2.645
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.1353	<b>25.276</b>

**Για παροχή Q = 4.00 l/sec**

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0,045m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0,04m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0,035m</b>
V <sub>3</sub> (m/s)	1.71429 m/s	2.06897 m/s	1.84615 m/s
V <sub>4</sub> (m/s)	0.36697 m/s	0.33241 m/s	0.34091 m/s

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.035m</b>
E <sub>1</sub>	0.17312	0.23751	0.19538
E <sub>2</sub>	0.11586	0.12597	0.12326

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.035m</b>
ΔH (Πειραματικό)	0.05725	0.11154	0.07212
ΔH (Θεωρητικό)	0.0618	0.11072	0.0861
Σφάλμα	7.93573	0.74246	19.3782

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.045m</b>		
h <sub>1</sub> (m)	0.075	0.076	0.077
h <sub>c</sub> (m)	0.0761	0.0771	0.0781
μ (Bazin)	0.82923	0.84498	0.86291
μ (Rehbock)	0.76631	0.79345	0.83027

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.04m</b>		
h <sub>2</sub> (m)	0.074	0.076	0.076
h <sub>c</sub> (m)	0.085	0.087	0.087
μ (Bazin)	0.79922	0.81137	0.82411
μ (Rehbock)	0.74171	0.76068	0.78033

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.035m</b>		
$h_3(m)$	0.075	0.079	0.078
$h_c(m)$	0.0761	0.0801	0.0791
$\mu$ (Bazin)	0.83817	0.8128	0.82505
$\mu$ (Rehbock)	0.78027	0.74821	0.76427

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.035m</b>
Ce	0.60952	0.69333	0.65556

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.035m</b>
Fr <sub>1</sub>	3.60898	4.9236	3.97395
Fr <sub>2</sub>	4.35567	4.9236	4.45356
Fr <sub>3</sub>	3.80476	4.45356	4.55837

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.045m</b>	<b>Σφάλμα</b>
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}(m)$	0.10645	5.79557
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}(m)$	0.13064	19.855
$y_{4\theta\epsilon\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}(m)$	0.11769	12.09



<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.04m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.11666	5.92174
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.11666	3.58923
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.128	10.343

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.035m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.11313	2.8442
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.128	3.2244
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.12528	6.1721

**Για παροχή Q = 4.87 l/sec**

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0,4m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0,035m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0,045m</b>
V <sub>3</sub> (m/s)	1.82625 m/s	2.14853 m/s	1.69884 m/s
V <sub>4</sub> (m/s)	0.38549 m/s	0.3529 m/s	0.41983 m/s

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0,04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0,035m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0,045m</b>
E <sub>1</sub>	0.19666	0.25795	0.17576
E <sub>2</sub>	0.13391	0.14435	0.12498

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.035m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.045m</b>
ΔH (Πειραματικό)	0.06275	0.1136	0.05078
ΔH (Θεωρητικό)	0.07347	0.12261	0.05008
Σφάλμα	17.0844	7.93579	1.38379

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.04m</b>		
h <sub>1</sub> (m)	0.092	0.091	0.091
h <sub>e</sub> (m)	0.0931	0.0921	0.0921
μ (Bazin)	0.85198	0.83131	0.85472
μ (Rehbock)	0.83286	0.79069	0.83749

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.035m</b>		
h <sub>2</sub>	0.095	0.096	0.096
h <sub>e</sub>	0.106	0.107	0.107
μ (Bazin)	0.83323	0.82121	0.82855
μ (Rehbock)	0.81895	0.79681	0.81062

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.045m</b>		
h <sub>3</sub>	0.087	0.089	0.09
h <sub>e</sub>	0.0881	0.0901	0.0911
μ (Bazin)	0.88196	0.85715	0.87148
μ (Rehbock)	0.90194	0.83979	0.87781

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.035m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.045m</b>
Ce	0.6	0.54286	0.6

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.035m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.045m</b>
Fr <sub>1</sub>	3.48455	4.52317	3.30092
Fr <sub>2</sub>	4.25422	4.62483	3.96046
Fr <sub>3</sub>	3.3638	4.52317	4.02817

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.04m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.12469	0.24835
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.14397	9.897
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.11137	9.45785

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.035m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.13016	3.58721
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.13331	5.45342
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.13607	1.39601

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.045m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.11326	2.0384
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.1537	<b>28.08</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.15134	<b>29.35</b>

Για παροχή  $Q = 5.40 \text{ l/sec}$

Μέγεθος	$y_1=0.035\text{m}$	$y_2=0.04\text{m}$	$y_3=0.045\text{m}$
$V_3 \text{ (m/s)}$	2.065823m/s	2.076923m/s	1.820225m/s
$V_4 \text{ (m/s)}$	0.377622m/s	0.37587m/s	0.411168m/s

Μέγεθος	$y_1=0.035\text{m}$	$y_2=0.04\text{m}$	$y_3=0.045\text{m}$
$E_1$	0.24385	0.245858	0.198536
$E_2$	0.150268	0.150867	0.13995

Μέγεθος	$y_1=0.035\text{m}$	$y_2=0.04\text{m}$	$y_3=0.045\text{m}$
$\Delta H$ (Πειραματικό)	0.093579	0.09499	0.058586
$\Delta H$ (Θεωρητικό)	0.105424	0.109036	0.067427
Σφάλμα	12.65718	14.78665	15.08996

Μέγεθος	$y=0.035\text{m}$		
$h_1\text{(m)}$	0.098	0.098	0.098
$h_c\text{(m)}$	0.81099	0.8222	0.83466
$\mu$ (Bazin)	0.0991	0.0991	0.0991
$\mu$ (Rehbock)	0.76464	0.78254	0.80492

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.04m</b>		
h <sub>2</sub> (m)	0.103	0.104	0.104
h <sub>c</sub> (m)	0.837	0.82514	0.85114
μ (Bazin)	0.1041	0.1051	0.1051
μ (Rehbock)	0.81508	0.79338	0.84763

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.045m</b>		
h <sub>3</sub> (m)	0.099	0.1	0.09
h <sub>c</sub> (m)	0.83513	0.84941	0.86091
μ (Bazin)	0.11	0.111	0.101
μ (Rehbock)	0.82708	0.86134	0.87721

<b>Μέγεθος</b>	<b>y1=0.035m</b>	<b>y2=0.04m</b>	<b>y3=0.045m</b>
Ce	0.619048	0.591667	0.622222

<b>Μέγεθος</b>	<b>y1=0.035m</b>	<b>y2=0.04m</b>	<b>y3=0.045m</b>
Fr <sub>1</sub>	4.25748	4.03556	3.41265
Fr <sub>2</sub>	3.67553	3.67553	3.41265
Fr <sub>3</sub>	3.35529	4.09046	3.30073

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.035m</b>	<b>Σφάλμα</b>
Y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.133	10.1343
Y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.11805	17.4478
Y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.12814	7.14424

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.04m</b>	<b>Σφάλμα</b>
Y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.14118	1.2705
Y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.11805	20.7721
Y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.13797	0.74456

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.045m</b>	<b>Σφάλμα</b>
Y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.12621	9.20195
Y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.12621	6.51164
Y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.13003	8.3614

**Για παροχή Q = 5.72 l/sec**

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.05m</b>
V <sub>3</sub> (m/s)	2.092683m/s	1.906667m/s	1.7875m/s
V <sub>4</sub> (m/s)	0.395392m/s	0.414493m/s	0.435533m/s

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.05m</b>
E <sub>1</sub>	0.25054	0.215289	0.194852
E <sub>2</sub>	0.152635	0.146757	0.141001

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.05m</b>
ΔΗ (Πειραματικό)	0.097906	0.068533	0.053851
ΔΗ (Θεωρητικό)	0.102128	0.07607	0.058304
Σφάλμα	4.312361	10.99731	8.270506

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.04m</b>		
h <sub>1</sub> (m)	0.099	0.1	0.1
h <sub>c</sub> (m)	0.8115	0.82319	0.8356
μ (Bazin)	0.1001	0.1011	0.1011
μ (Rehbock)	0.76626	0.78615	0.80899

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.045m</b>		
h <sub>2</sub> (m)	0.098	0.098	0.098
h <sub>c</sub> (m)	0.8222	0.83466	0.84854
μ (Bazin)	0.109	0.109	0.109
μ (Rehbock)	0.80043	0.82504	0.85669

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.05m</b>		
h <sub>3</sub> (m)	0.096	0.098	0.095
h <sub>c</sub> (m)	0.84766	0.83466	0.86291
μ (Bazin)	0.0971	0.0991	0.0961
μ (Rehbock)	0.82905	0.80492	0.86393

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.05m</b>
Ce	0.633333	0.607407	0.593333

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.05m</b>
Fr <sub>1</sub>	4.06618	3.57471	3.19034
Fr <sub>2</sub>	3.63799	3.51463	3.45748
Fr <sub>3</sub>	3.4732	3.45748	3.35107

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.04m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.14235	4.46441
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.13074	9.83748
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.11981	14.4249

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.045m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.1374	3.91452
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.13487	2.27124
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.13687	2.9086



<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.05m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.12926	1.3267
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.13687	0.81999
y <sub>4θεωρητικό</sub> (m)	0.14076	12.607

**Για παροχή Q = 6.02 l/sec**

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.05m</b>
V <sub>3</sub> (m/s)	2.175m/s	2.029213m/s	1.963043m/s
V <sub>4</sub> (m/s)	0.399558m/s	0.436232 m/s	0.424941 m/s

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.05m</b>
E <sub>1</sub>	0.266446	0.23954	0.227075
E <sub>2</sub>	0.158804	0.147699	0.15087

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.05m</b>
ΔH (Πειραματικό)	0.10764	0.09184	0.07621
ΔH (Θεωρητικό)	0.12895	0.07764	0.0787
Σφάλμα	19.7976	15.4634	3.27388

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.04m</b>		
$h_1(m)$	0.107	0.105	0.105
$h_c(m)$	0.82659	0.83792	0.8145
$\mu$ (Bazin)	0.1081	0.1061	0.1061
$\mu$ (Rehbock)	0.7988	0.81915	0.77602

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.045m</b>		
$h_2(m)$	0.098	0.1	0.096
$h_c(m)$	0.83466	0.84941	0.82121
$\mu$ (Bazin)	0.0991	0.1011	0.0971
$\mu$ (Rehbock)	0.80492	0.83834	0.77893

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.05m</b>		
$h_3(m)$	0.103	0.103	0.104
$h_c(m)$	0.83191	0.84231	0.85114
$\mu$ (Bazin)	0.114	0.114	0.115
$\mu$ (Rehbock)	0.82417	0.8474	0.87063

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.05m</b>
Ce	0.6	0.592593	0.573333

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>1</sub>=0.04m</b>	<b>y<sub>2</sub>=0.045m</b>	<b>y<sub>3</sub>=0.05m</b>
Fr <sub>1</sub>	4.39192	3.74053	3.61855
Fr <sub>2</sub>	3.88695	3.55971	3.50365
Fr <sub>3</sub>	3.96392	4.14998	3.61855

<b>Μέγεθος</b>	<b>y=0.04m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4πειραματικό</sub> (m)	2.4391	2.4391
y <sub>4πειραματικό</sub> (m)	1.6753	1.6753
y <sub>4πειραματικό</sub> (m)	0.1822	0.1822

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>2</sub>=0,045m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4πειραματικό</sub> (m)	0,1444	4,6409
y <sub>4πειραματικό</sub> (m)	0,14133	4,6872
y <sub>4πειραματικό</sub> (m)	0,15093	7,0397

<b>Μέγεθος</b>	<b>y<sub>3</sub>=0,05m</b>	<b>Σφάλμα</b>
y <sub>4πειραματικό</sub> (m)	0,14854	2,4391
y <sub>4πειραματικό</sub> (m)	0,14336	1,6753
y <sub>4πειραματικό</sub> (m)	0,13925	0,1822

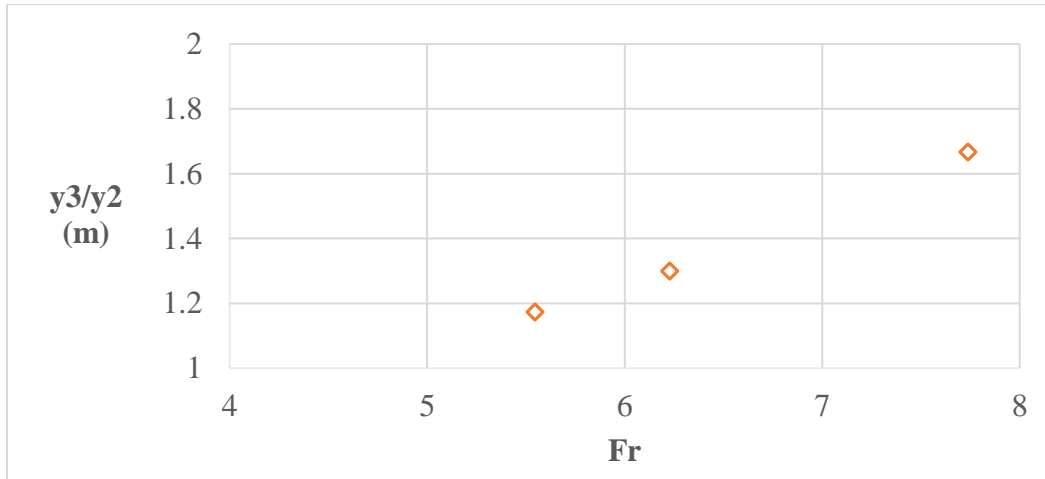
## 4.2 Διαγράμματα για κάθε παροχή

Εδώ παρουσιάζονται τα παρακάτω διαγράμματα για όλο το φάσμα των παροχών που μετρήθηκαν. Τα διαγράμματα είναι τα εξής:

- $y_3/y_2$  σε συνάρτηση με τον αριθμό Fr
- $y_4/y_2$  σε συνάρτηση με τον αριθμό Fr
- n σε συνάρτηση με τον αριθμό Fr (όπου  $n = E_2 / E_1 * 100\%$ )

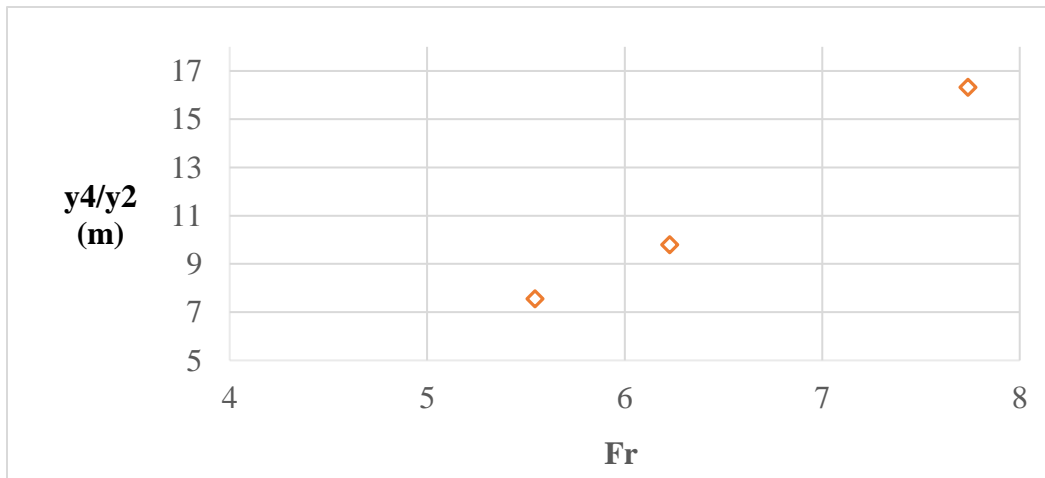
Επιλέχθηκαν τα συγκεκριμένα διαγράμματα διότι δείχνουν σε μεγάλο βαθμό τις μεταβολές του αριθμού Froude, σε όλο το φάσμα των παροχών, και είναι γνωστό πως οι μεταβολές του αριθμού Froude είναι ένα από τα σημαντικότερα σημεία μελέτης των ομοιόμορφων ροών. Επίσης, στα περισσότερα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν από άλλους μελετητές ανά τον κόσμο, τα διαγράμματα αυτά ήταν το κύριο κοινό σημείο με την παρούσα διπλωματική εργασία.

**Για παροχή  $Q=1.31$  l/s**



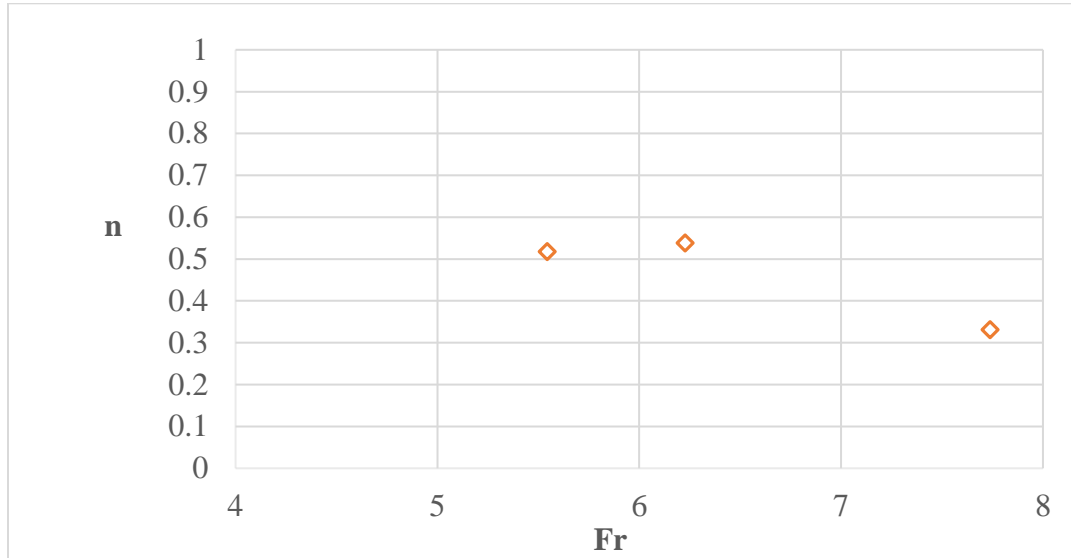
Εικόνα 4.3.1 Διάγραμμα του λόγου  $y_3/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή για παροχή 1.31 l/s.

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο λόγος, αυξάνεται και ο αριθμός Froude. Οι τιμές του κυμαίνονται ανάμεσα στο 5.5-7.7



Εικόνα 4.3.2 Διάγραμμα του λόγου  $y_4/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 1.31 l/s

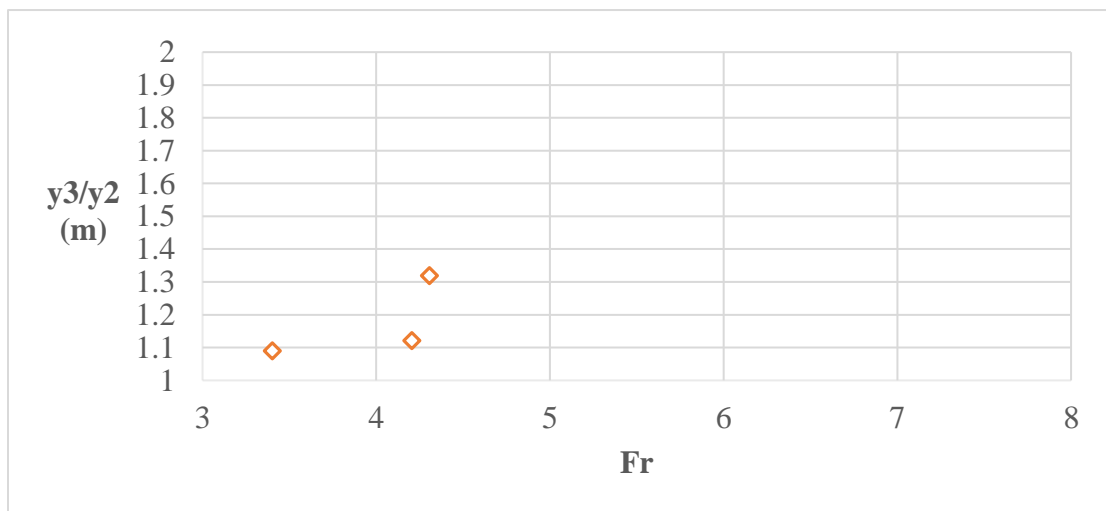
Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο λόγος, αυξάνεται και ο αριθμός Froude. Οι τιμές του κυμαίνονται ανάμεσα στο 5.5-7.7 όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα.



Εικόνα 4.3.3 Διάγραμμα του  $n$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 1.31 l/s.

Παρατηρείται ότι για τη μικρότερη τιμή του λόγου ο αριθμός Froude μεγιστοποιείται. Όπως και στα προηγούμενα διαγράμματα ο αριθμός Froude κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 5.5 και 7.7

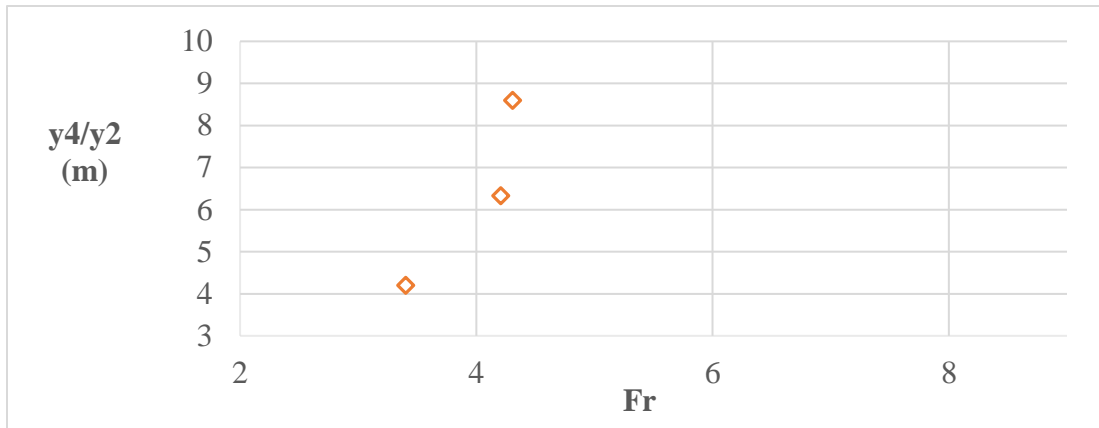
**Για παροχή  $Q=1.80$  l/s**



Εικόνα 4.3.4 Διάγραμμα του λόγου  $y_3/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 1.8 l/s.

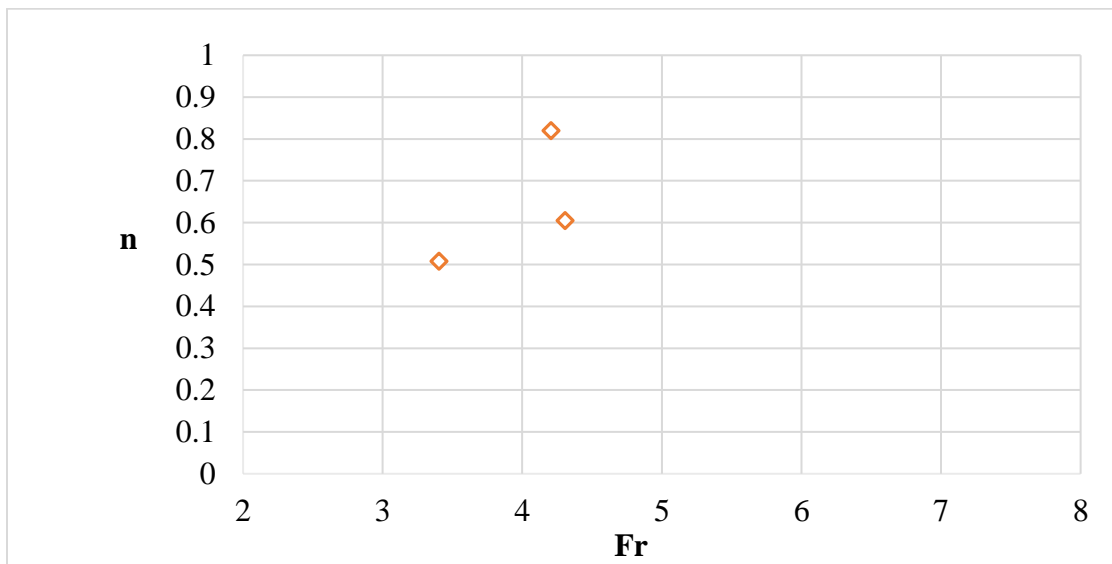
Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο λόγος αυξάνεται και ο αριθμός Froude, αλλά όχι γραμμικά.

Ο αριθμός Froude βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 3.2 και 4.2



Εικόνα 4.3.5 Διάγραμμα του λόγου  $y_4/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 1.8 l/s.

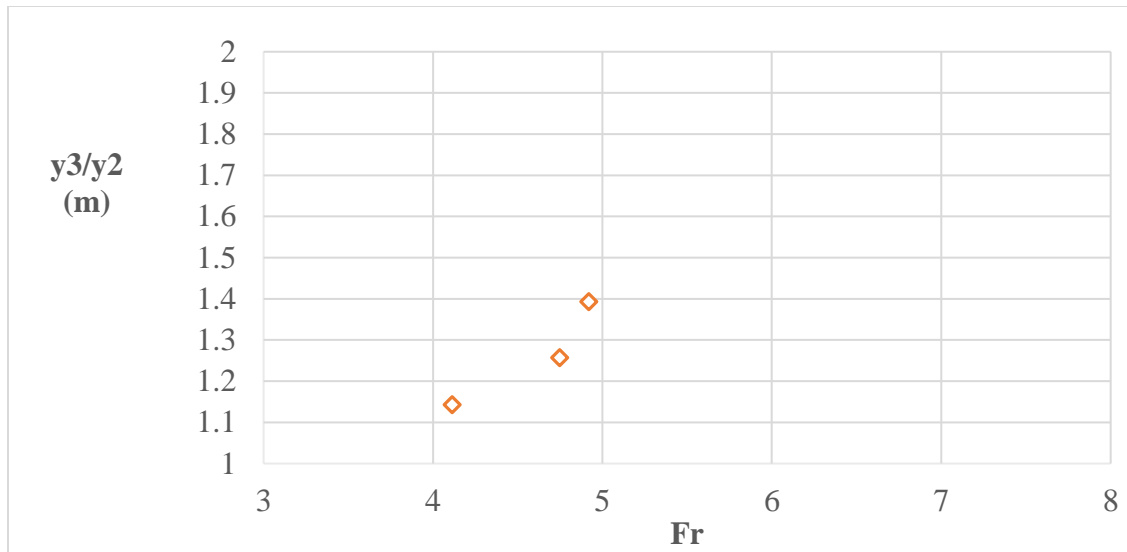
Ομοίως, όσο αυξάνεται ο λόγος αυξάνεται και ο αριθμός Froude αλλά όχι γραμμικά. Ομοίως ο αριθμός Froude κυμαίνεται στις τιμές 3.2 και 4.2



Εικόνα 4.3.6 Διάγραμμα του  $n$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 1.8 l/s.

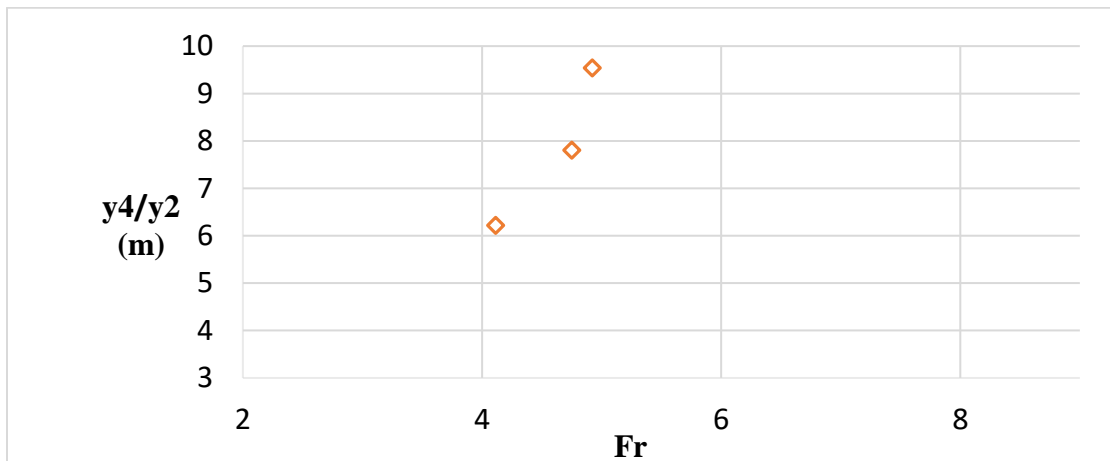
Παρατηρείται ότι ο αριθμός Froude παίρνει τη μέγιστη τιμή του για την ενδιάμεση τιμή του  $n$ . Όπως και παραπάνω, ο αριθμός Froude βρίσκεται στο 3.2 και 4.2.

Για παροχή  $Q=2.60 \text{ l/s}$



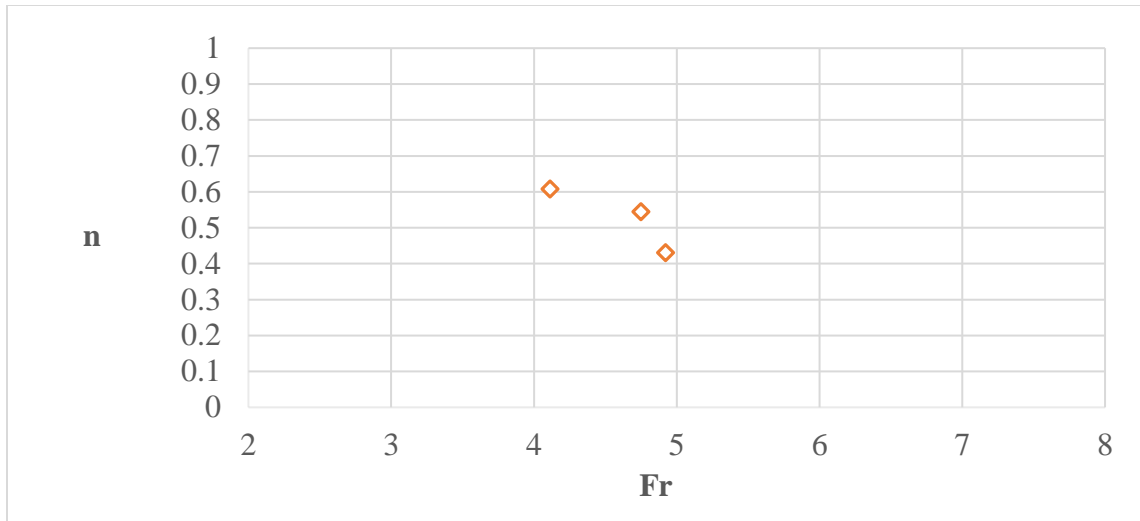
Εικόνα 4.3.7 Διάγραμμα του λόγου  $y_3/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή  $2.60 \text{ l/s}$ .

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο λόγος, αυξάνεται και ο αριθμός Froude αλλά όχι γραμμικά. Οι τιμές του αριθμού Froude βρίσκονται ανάμεσα στο 4 και στο 5.



Εικόνα 4.3.8 Διάγραμμα του λόγου  $y_4/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή  $2.60 \text{ l/s}$ .

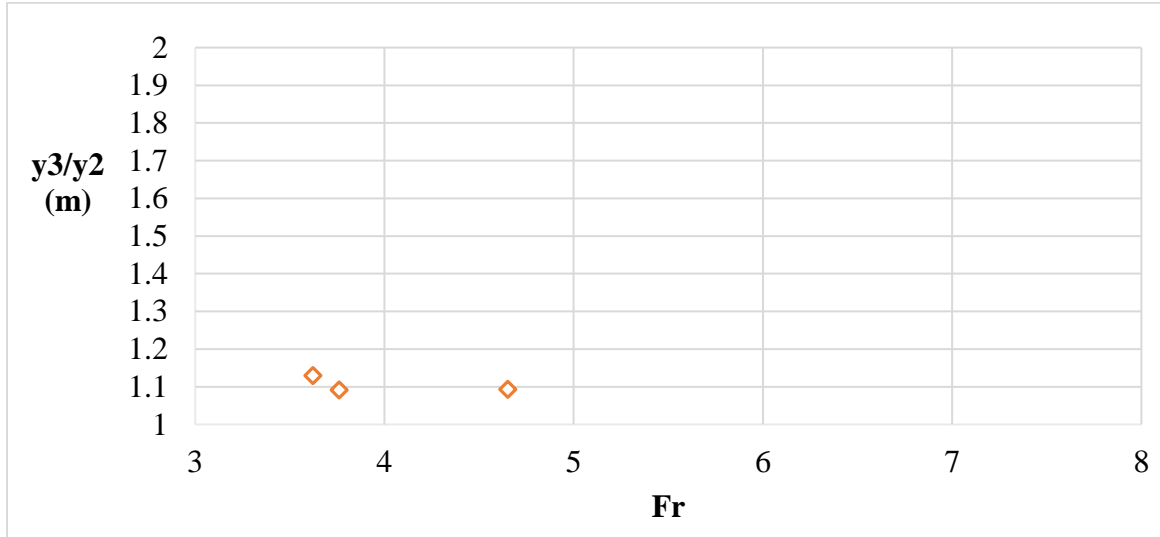
Ομοίως, όσο αυξάνεται ο λόγος αυξάνεται και ο αριθμός Froude αλλά όχι γραμμικά. Ομοίως, οι τιμές του αριθμού Froude βρίσκονται ανάμεσα στο 4 και στο 5.



Εικόνα 4.3.9 Διάγραμμα του  $n$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 2.60 l/s.

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο λόγος των ενεργειών  $n$ , μειώνεται ο αριθμός Froude. Ομοίως κυμαίνεται ανάμεσα στο 4 και στο 5.

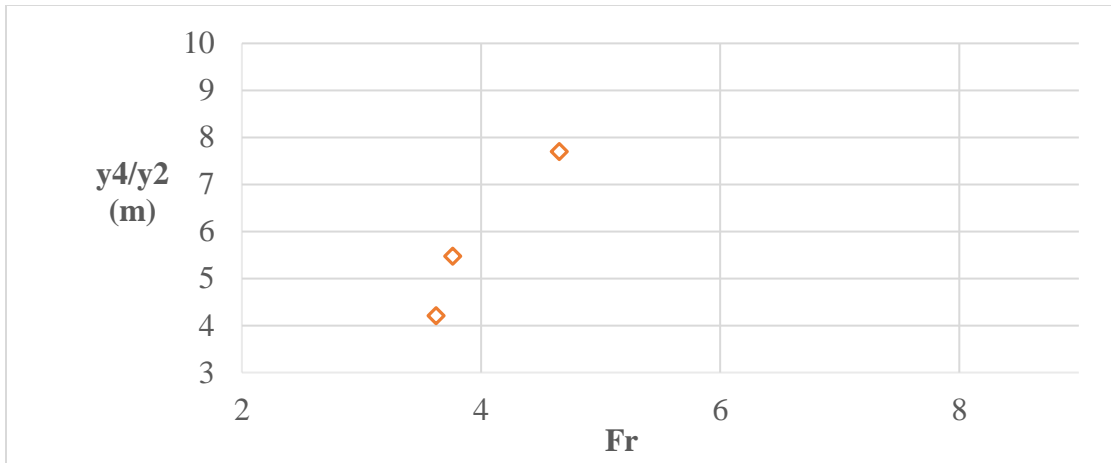
**Για παροχή  $Q=3.33$  l/s**



Εικόνα 4.3.10 Διάγραμμα του λόγου  $y_3/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 3.33 l/s.

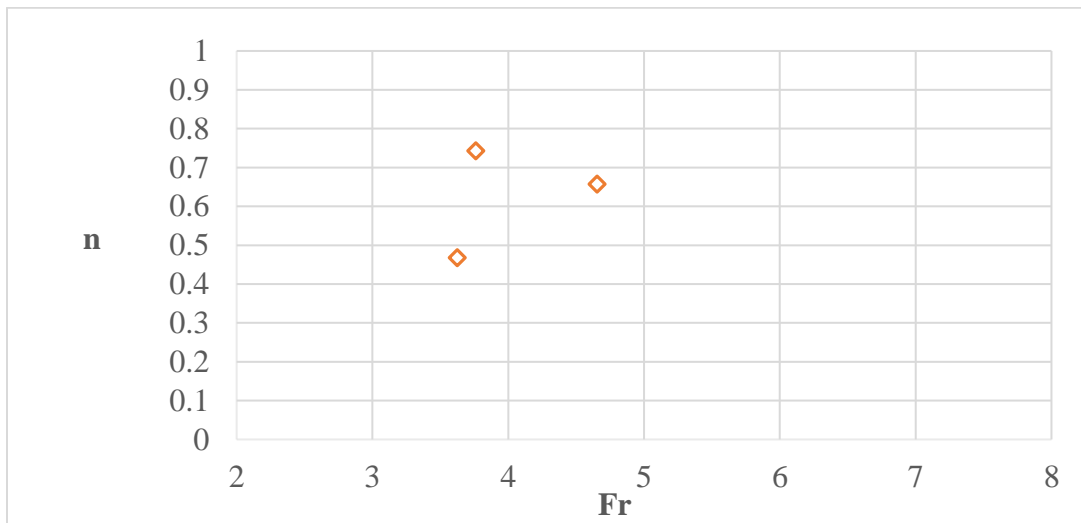
Παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude εμφανίζεται για τη μικρότερη τιμή του λόγου  $y_3/y_2$ . Η μικρότερη τιμή του είναι κοντά στο 3.6 και η μέγιστη στο 4.7.





Εικόνα 4.3.11 Διάγραμμα του λόγου  $y_4/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 3.33 l/s.

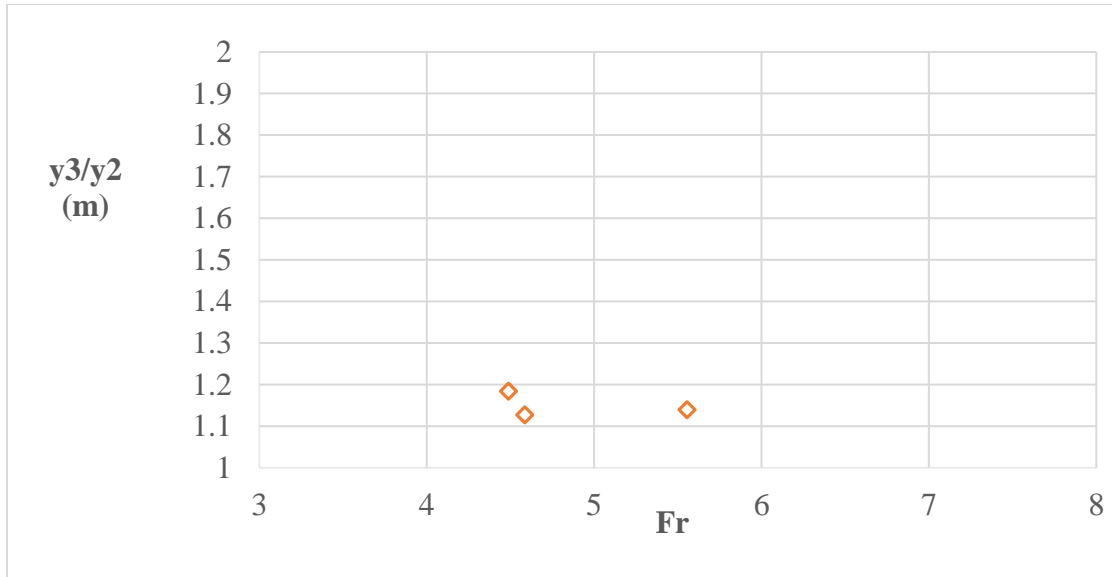
Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο λόγος αυξάνεται και ο αριθμός Froude αλλά όχι γραμμικά. Ξεκινάει από την τιμή 3 και φτάνει ως την τιμή 4.8



Εικόνα 4.3.12 Διάγραμμα του  $n$  συναρτήσει του αριθμού Froude. για παροχή 3.33 l/s.

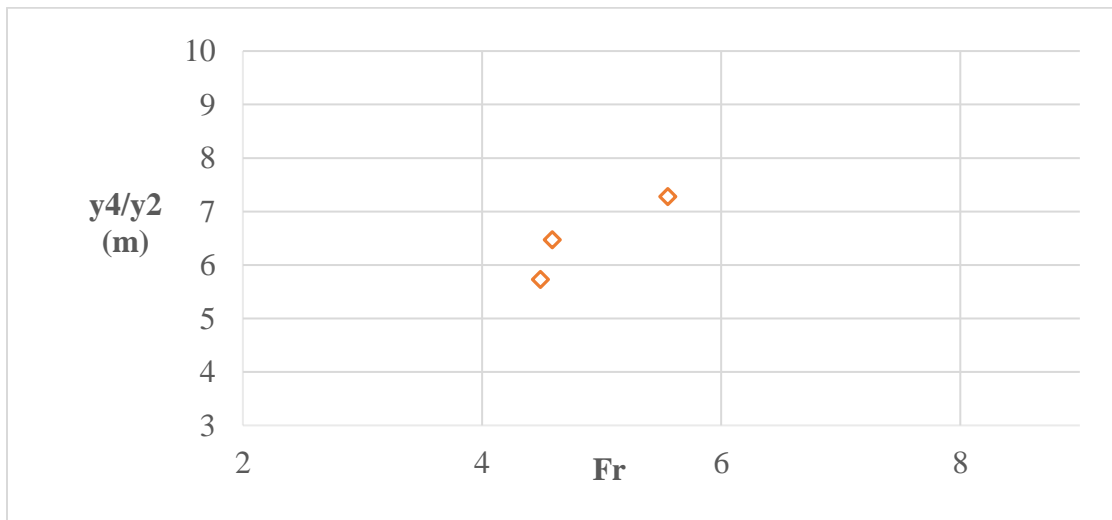
Η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude παρατηρείται για την ενδιάμεση τιμή του λόγου των ενεργειών. Ο αριθμός Froude κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 3.5 – 4.8.

Για παροχή  $Q=3.63$  l/s



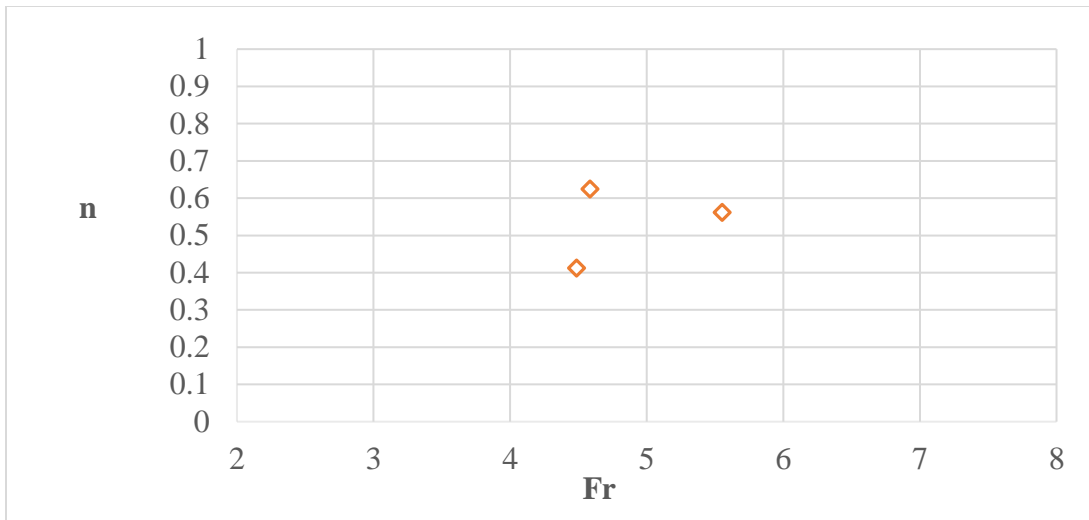
Εικόνα 4.3.13 Διάγραμμα του λόγου  $y_3/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 3.63 l/s.

Η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude παρατηρείται για ενδιάμεση τιμή του λόγου. Οι τιμές του αριθμού Froude βρίσκονται ανάμεσα στα 4.5 – 5.5.



Εικόνα 4.3.14 Διάγραμμα του λόγου  $y_4/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 3.63 l/s.

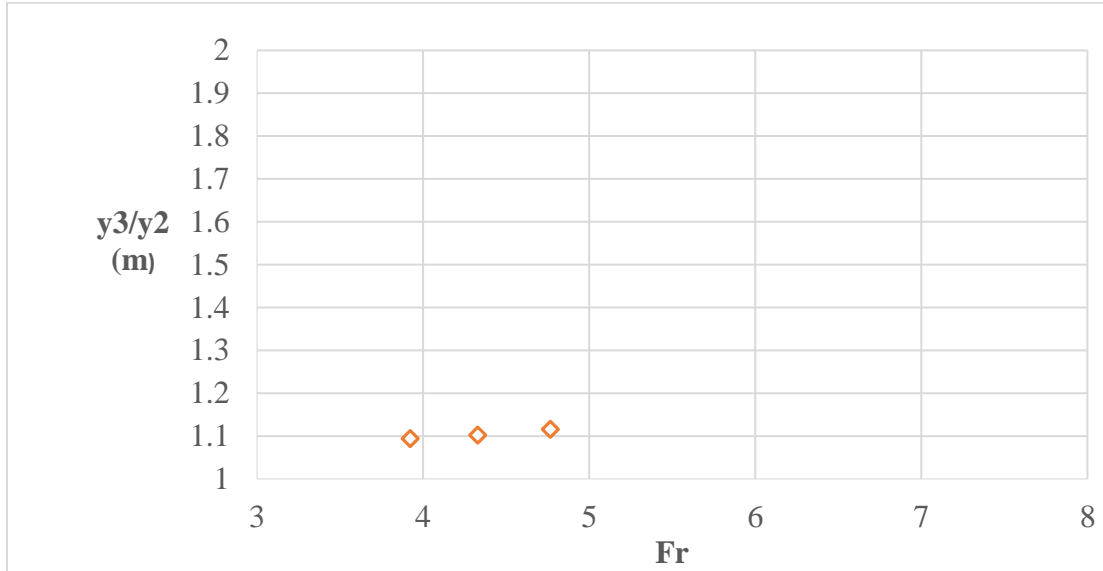
Όσο αυξάνεται ο λόγος, αυξάνεται και ο αριθμός Froude. Βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 4.5 – 5.7.



Εικόνα 4.3.15 Διάγραμμα του  $n$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 3.63 l/s.

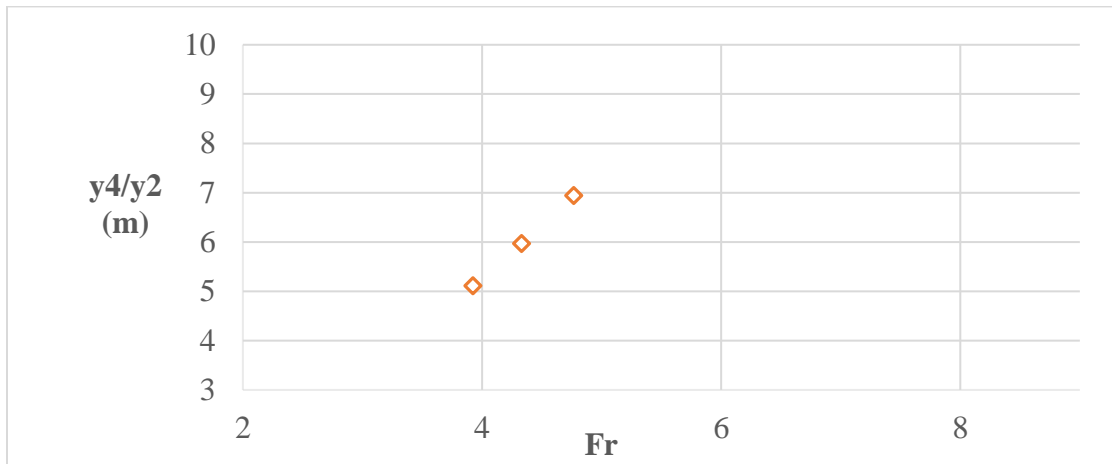
Η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude παρατηρείται για ενδιάμεση τιμή του λόγου  $n$ . Ο αριθμός Froude κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 4.5 – 5.5.

**Για παροχή  $Q=4.00$  l/s**



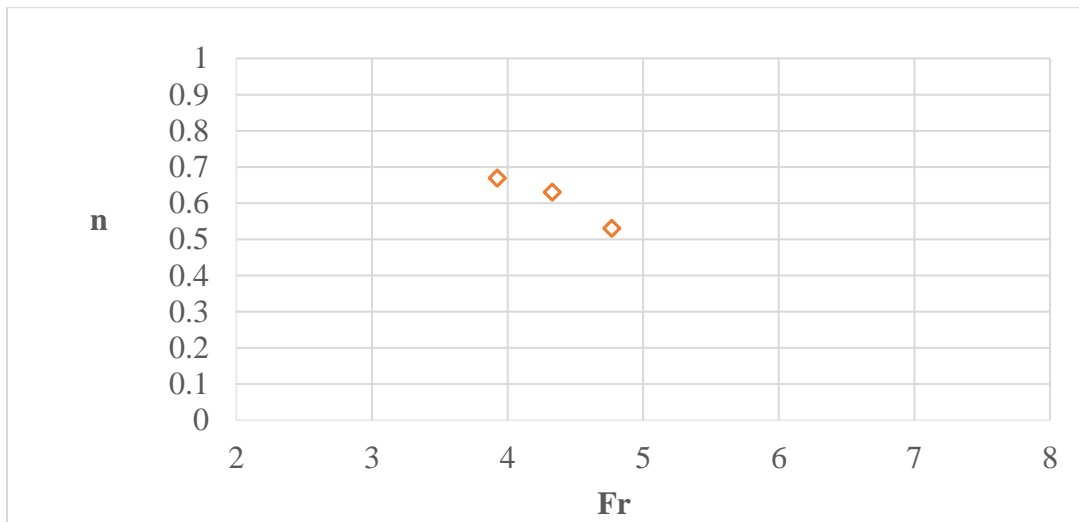
Εικόνα 4.3.16 Διάγραμμα του λόγου  $y_3/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 4.00 l/s.

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο λόγος, αυξάνεται και ο αριθμός Froude. Βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 3.9 – 4.8.



Εικόνα 4.3.17 Διάγραμμα του λόγου  $y^4/y^2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 4.00 l/s.

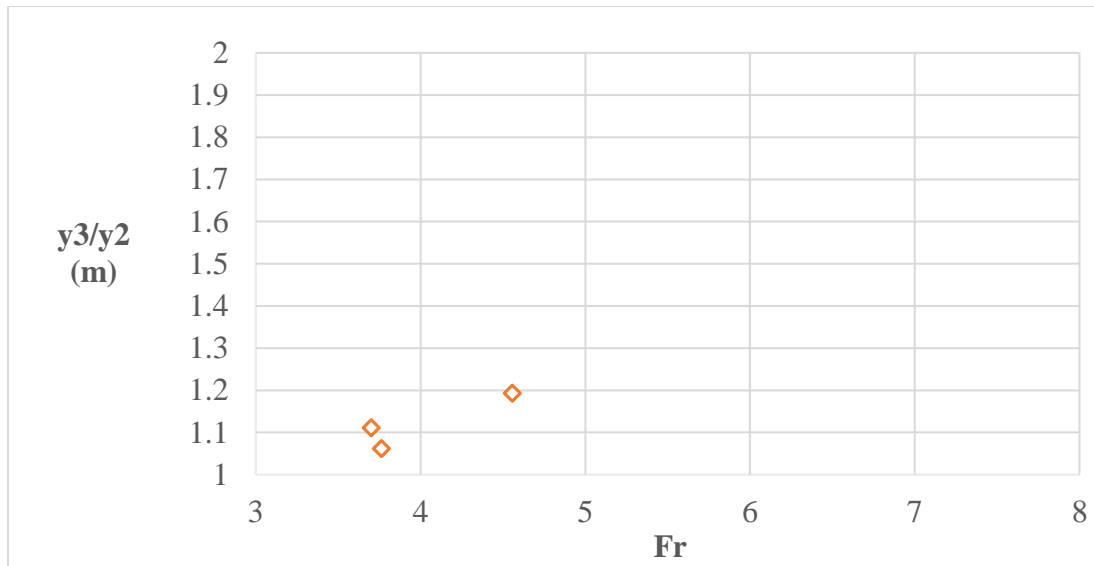
Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο λόγος, αυξάνεται και ο αριθμός Froude. Οι τιμές του Froude βρίσκονται ανάμεσα στις 4.00 – 4.90.



Εικόνα 4.3.18 Διάγραμμα του n συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 4.00 l/s.

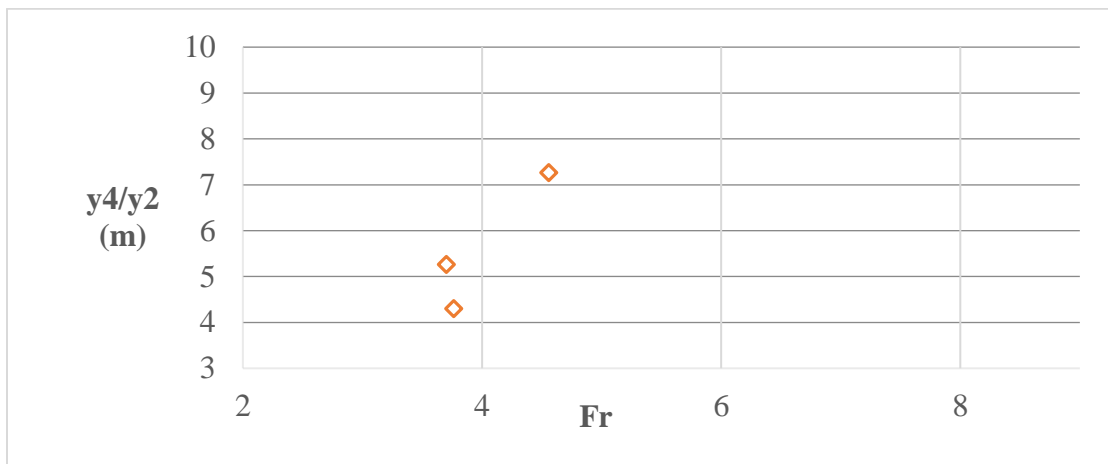
Παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude, εμφανίζεται για τη μικρότερη τιμή του λόγου n. Ο αριθμός Froude βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 3.8 – 4.9.

Για παροχή  $Q=4.87$  l/s



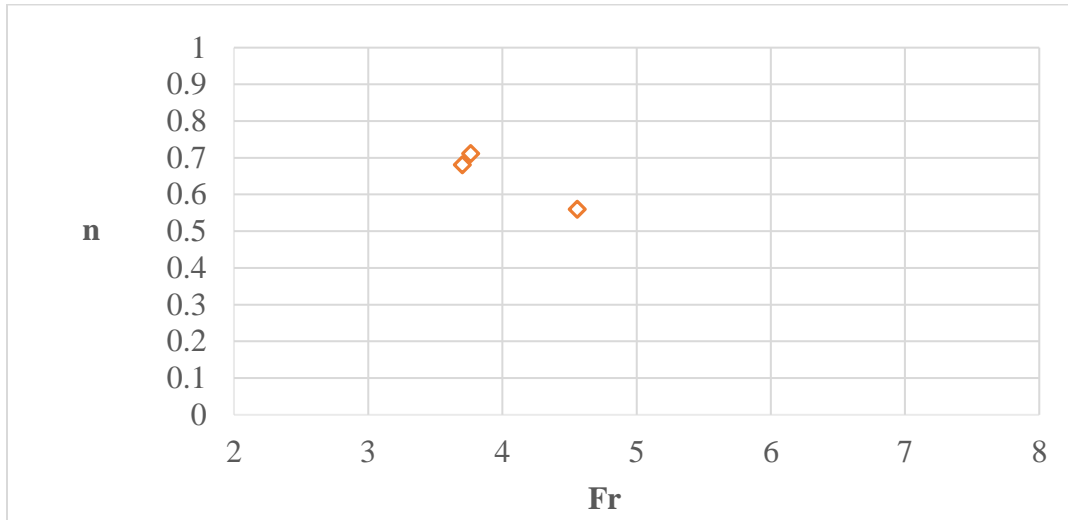
Εικόνα 4.3.19 Διάγραμμα του λόγου  $y_3/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 4.87 l/s.

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο λόγος, αυξάνεται και ο αριθμός Froude.. Βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 3.8 – 4.5



Εικόνα 4.3.20 Διάγραμμα του λόγου  $y_4/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 4.87 l/s.

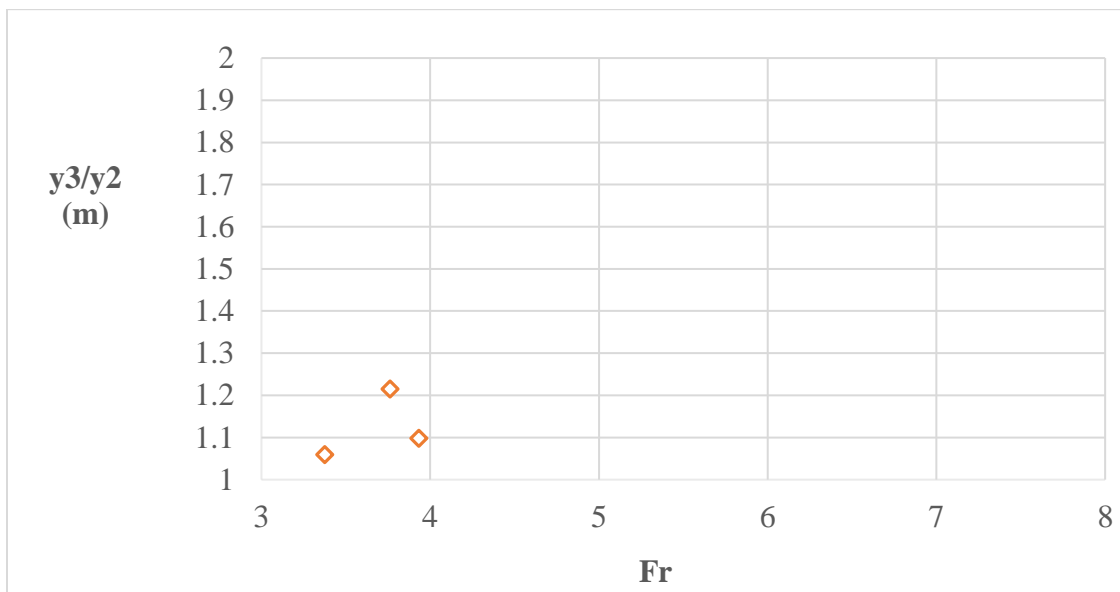
Παρατηρείται ότι δεν αυξάνεται γραμμικά ο αριθμός Froude σε σχέση με το λόγο. Βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 3.7 – 4.7



Εικόνα 4.3.21 Διάγραμμα του  $n$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 4.87 l/s.

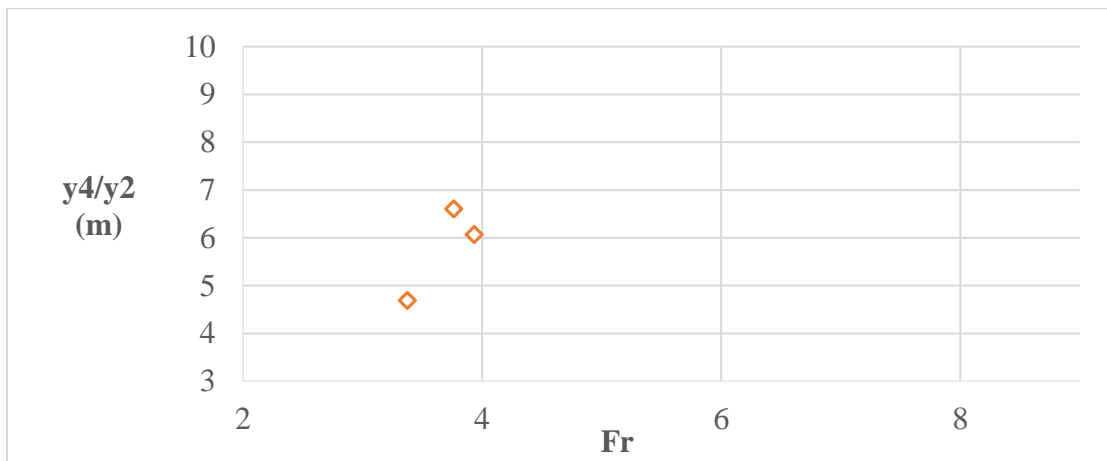
Η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude παρατηρείται για τη μικρότερη τιμή του λόγου  $n$ . Βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 3.6 – 4.5

Για παροχή  $Q=5.40$  l/s



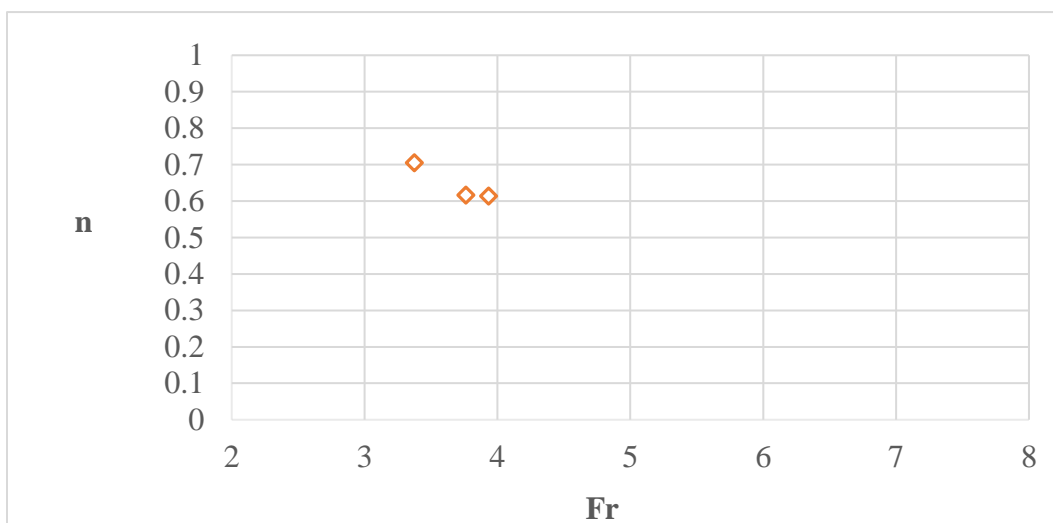
Εικόνα 4.3.22 Διάγραμμα του λόγου  $y^3/y^2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 5.4 l/s.

Η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude παρατηρείται για την ενδιάμεση τιμή του λόγου. Κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 3.3-4.



Εικόνα 4.3.23 Διάγραμμα του λόγου  $y_4/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 5.4 l/s.

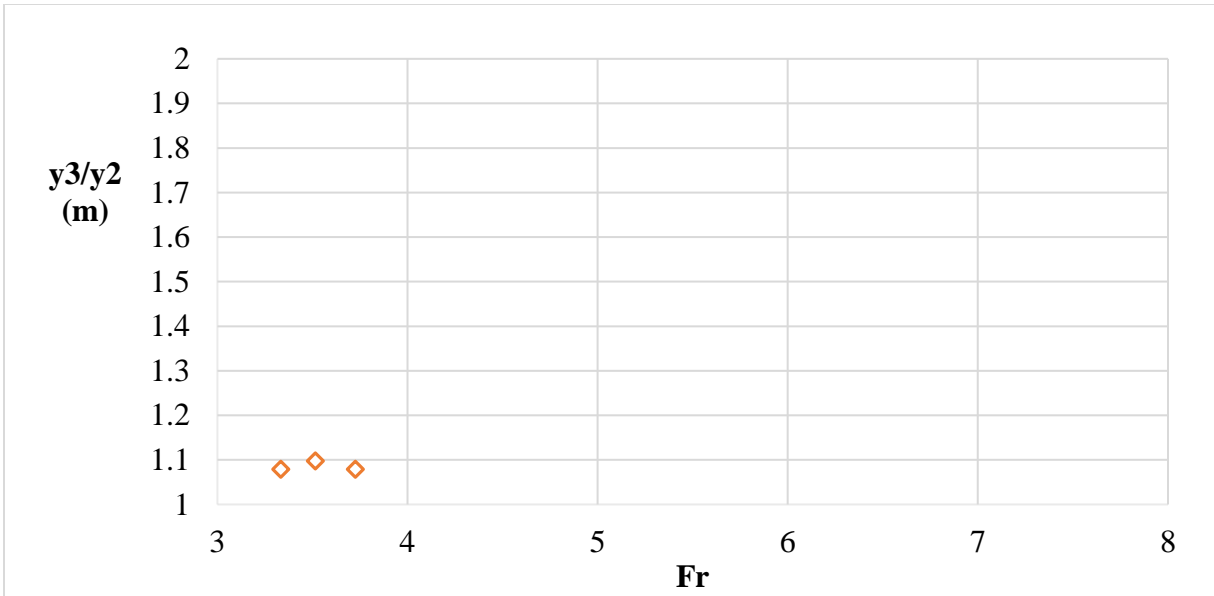
Η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude παρατηρείται για ενδιάμεση τιμή του λόγου. Κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 3-4.



Εικόνα 4.3.24 Διάγραμμα του  $n$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 5.4 l/s.

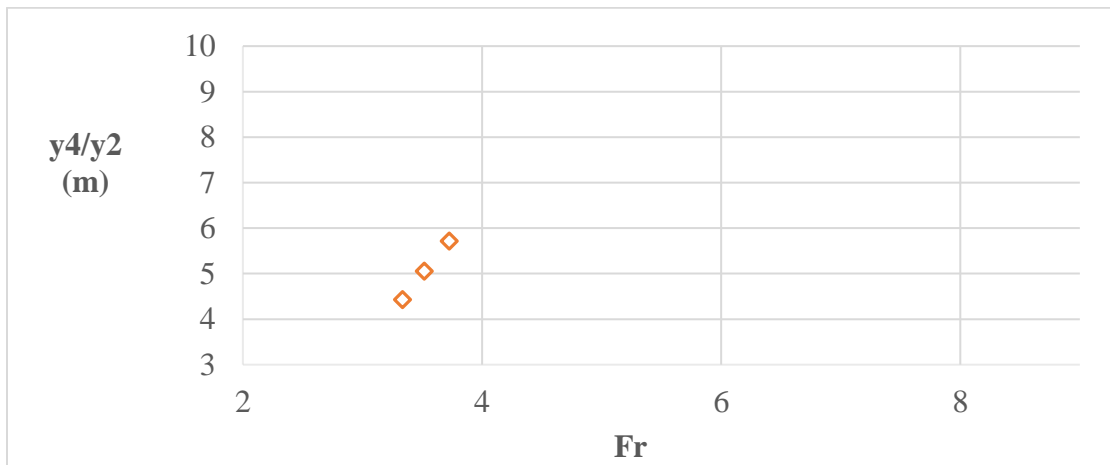
Η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude παρατηρείται για τη μικρότερη τιμή του  $n$ . Βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 3.2 και 4, όπως και στα προηγούμενα διαγράμματα.

Για παροχή  $Q=5.72$  l/s.



Εικόνα 4.3.25 Διάγραμμα του λόγου  $y_3/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 5.72 l/s.

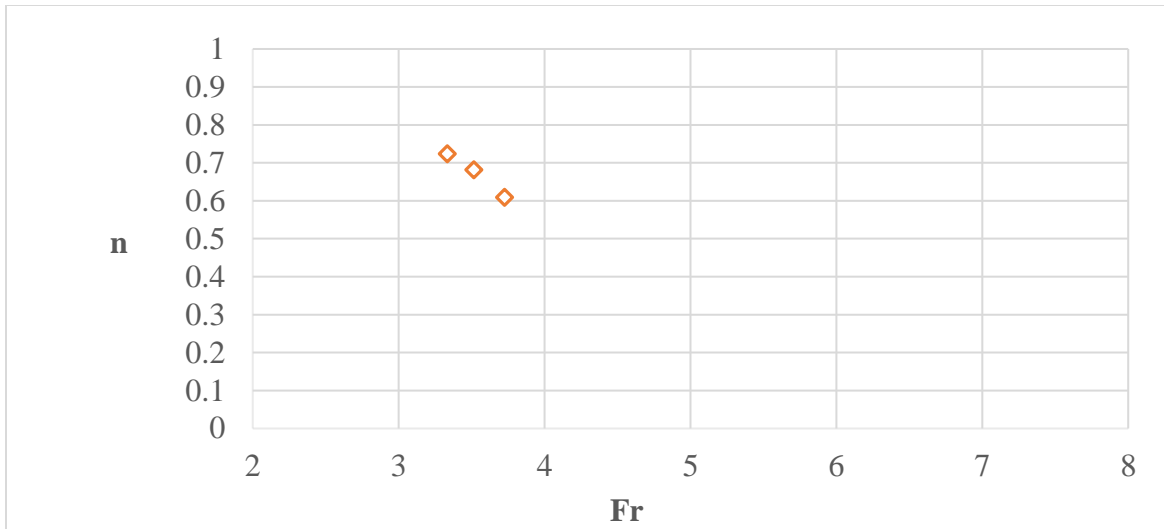
Η μεγαλύτερη τιμή του αριθμού Froude παρατηρείται για τη μικρότερη τιμή του λόγου. Κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 3.3 και 3.6, όχι δηλαδή σε μεγάλο φάσμα.



Εικόνα 4.3.26 Διάγραμμα του λόγου  $y_4/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 5.72 l/s.

Όσο αυξάνεται ο λόγος αυξάνεται και ο αριθμός Froude γραμμικά. Ο αριθμός Froude βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 3.2 και 3.5, ομοίως όχι σε μεγάλο φάσμα.

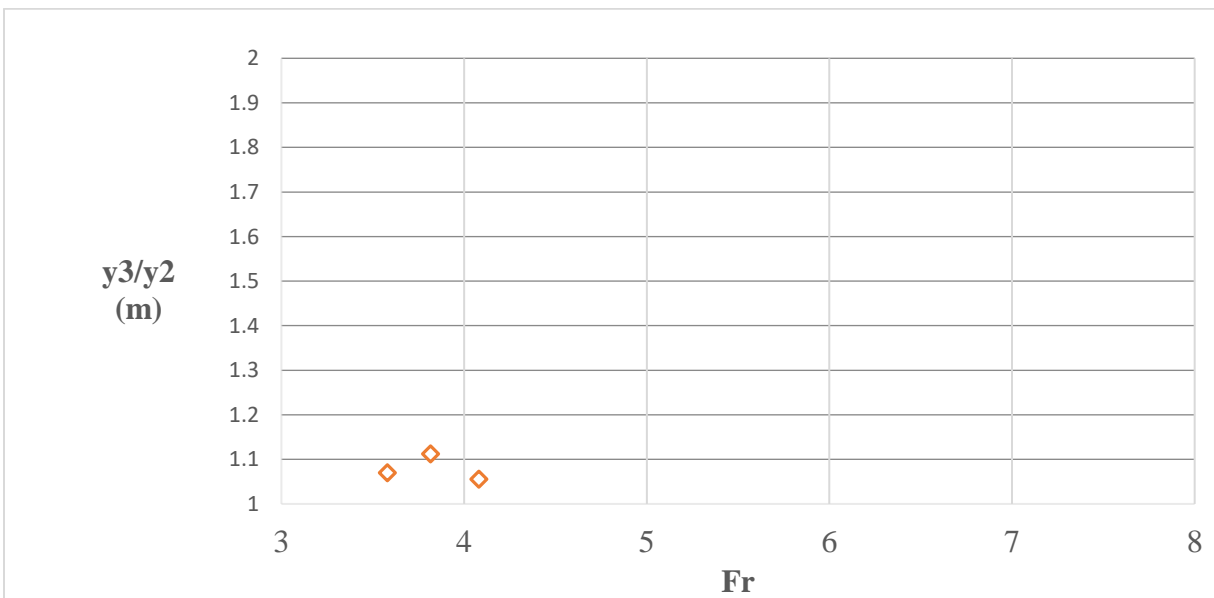




Εικόνα 4.3.27 Διάγραμμα του  $n$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 5.72 l/s.

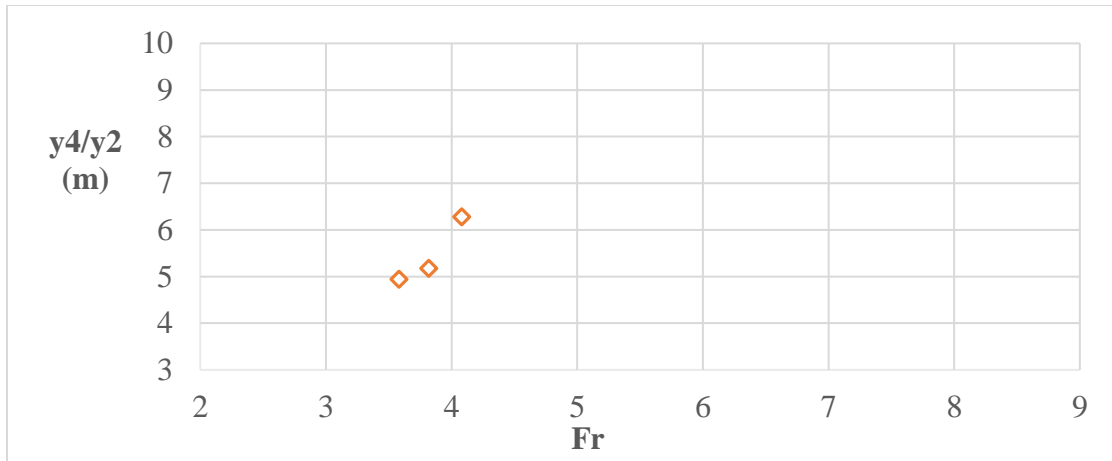
Ο αριθμός Froude αυξάνεται όσο μειώνεται ο λόγος  $n$ . Κυμαίνεται και αυτός σε μικρό φάσμα, και συγκεκριμένα ανάμεσα στις τιμές 3.2 και 3.8.

**Για παροχή  $Q=6.02$  l/s**



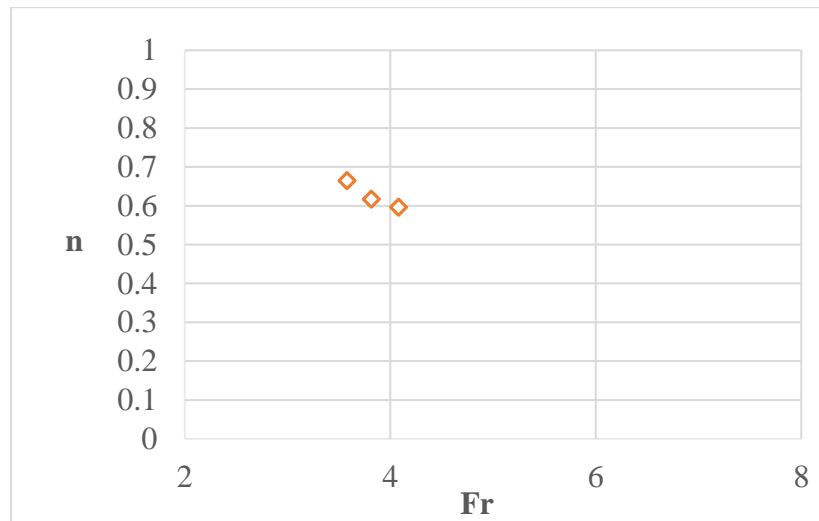
Εικόνα 4.3.28 Διάγραμμα του λόγου  $y_3/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 6.02 l/s.

Η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude παρατηρείται στην ελάχιστη τιμή του λόγου. Βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 3.6 και 4.1.



Εικόνα 4.29 Διάγραμμα του λόγου  $y_4/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 6.02 l/s.

Η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude, παρατηρείται για τη μέγιστη τιμή του λόγου. Βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 3.6 και 4, πολύ κοντά στις προηγούμενες.

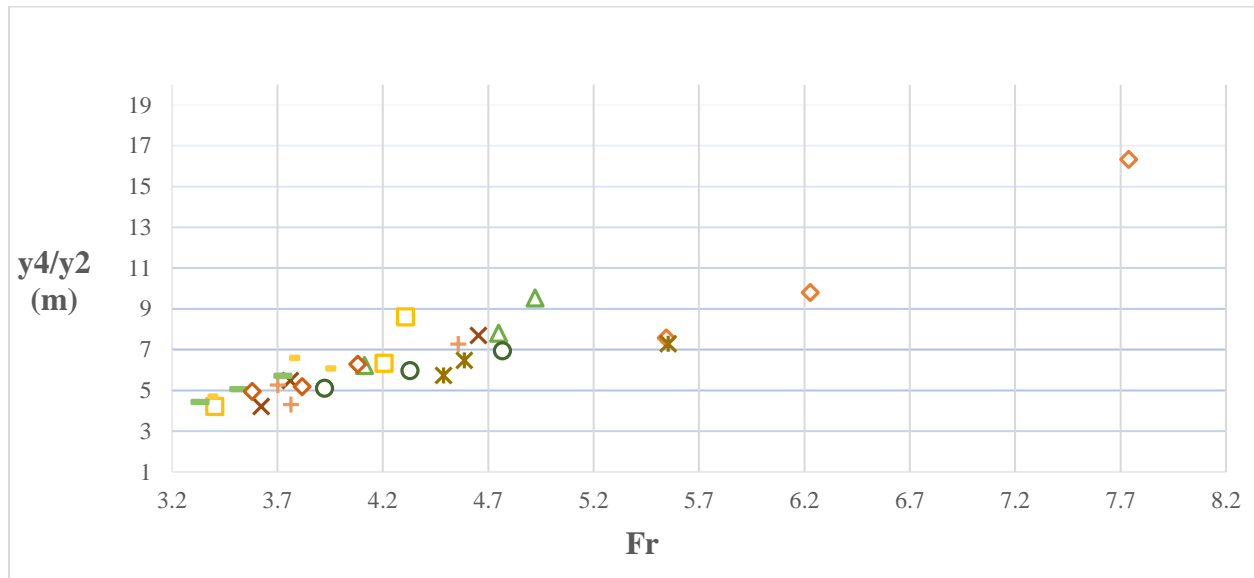


Εικόνα 4.3.30 Διάγραμμα του  $n$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή 6.02 L/s.

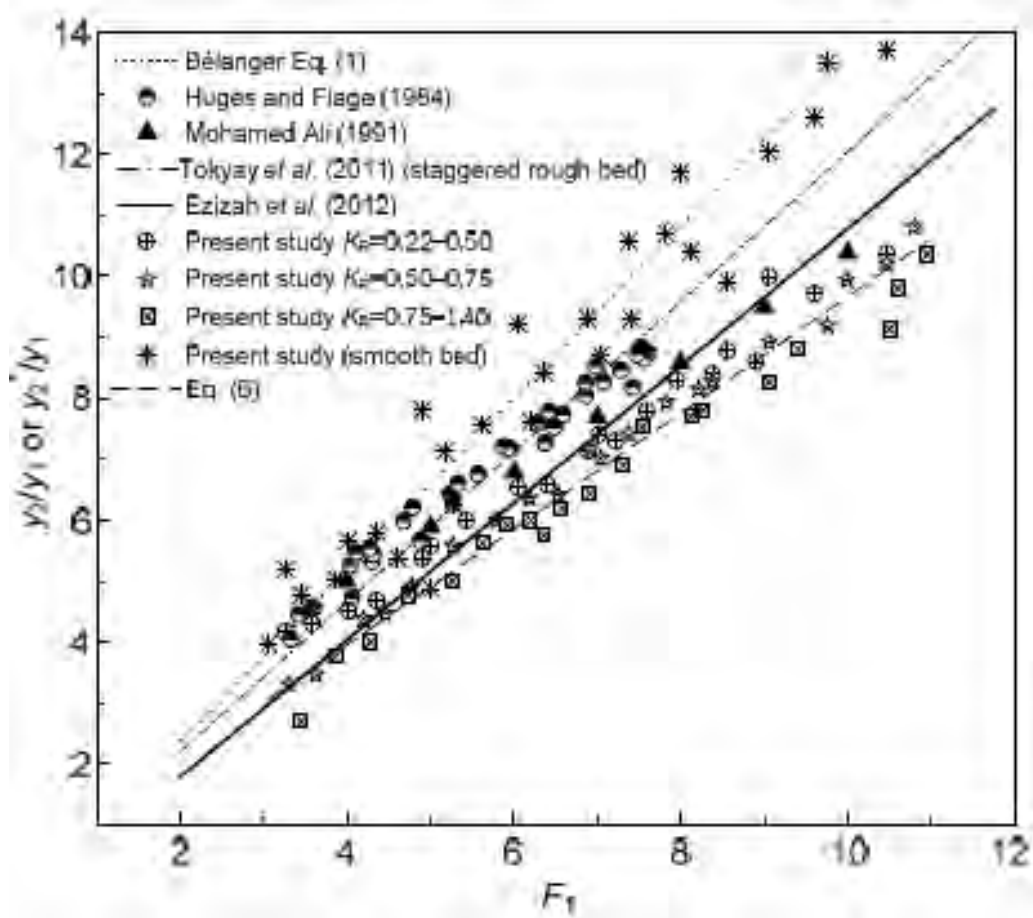
Η μέγιστη τιμή του αριθμού Froude παρατηρείται στη μικρότερη τιμή του λόγου  $n$ . Κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 3.5 και 4 όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα.

### 4.3 Παρουσίαση των τριών διαφορετικών διαγραμμάτων για όλες τις παροχές

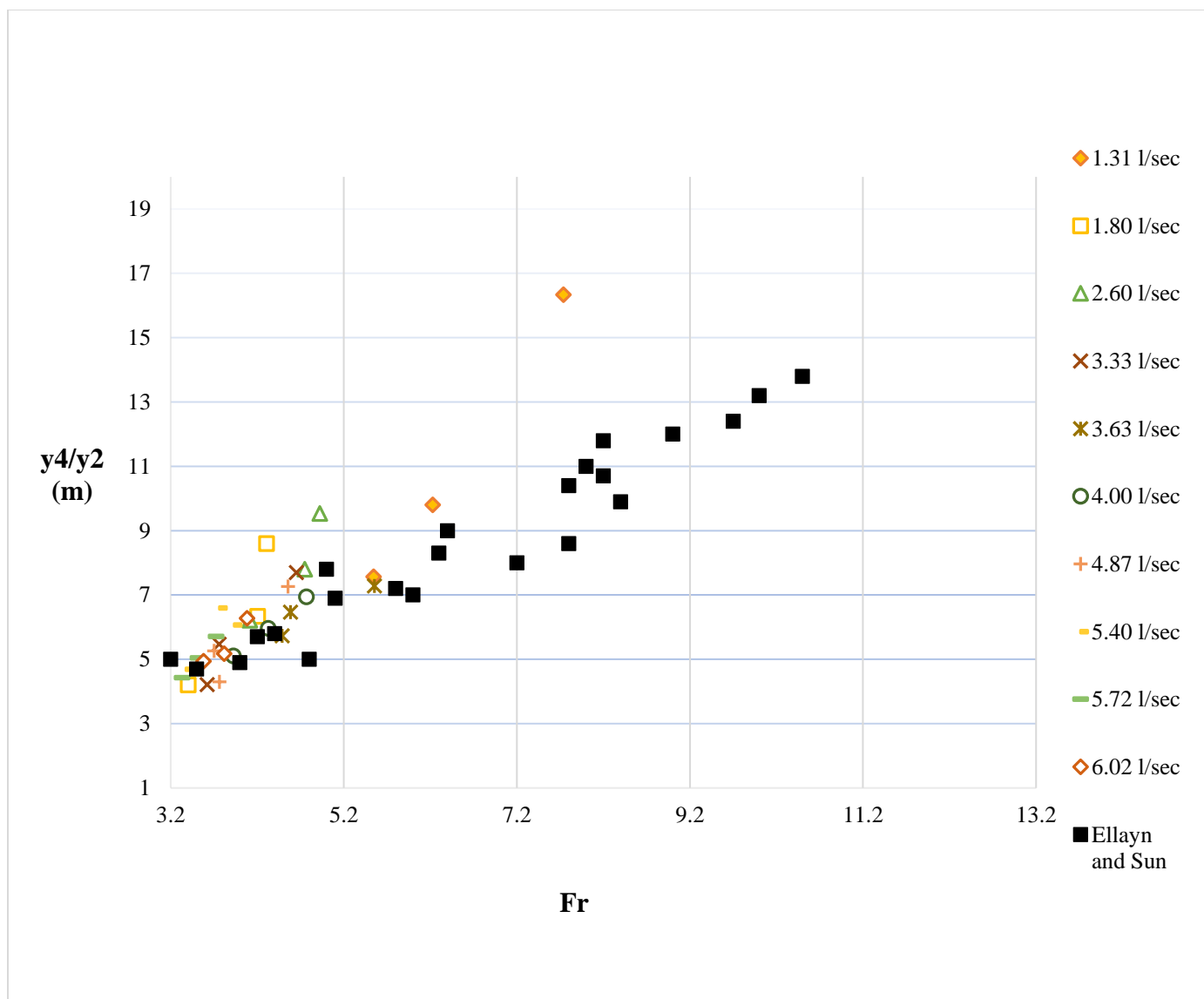
Εδώ παρατίθενται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα για τους λόγους  $y_3/y_2$ ,  $y_4/y_2$  και η συναρτήσει του αριθμού Froude για όλο το φάσμα των παροχών και παράθεση αντίστοιχων διαγραμμάτων από άλλες μελέτες.



Εικόνα 4.3.31 Διάγραμμα του λόγου  $y_4/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για ολο το φάσμα των παροχών.

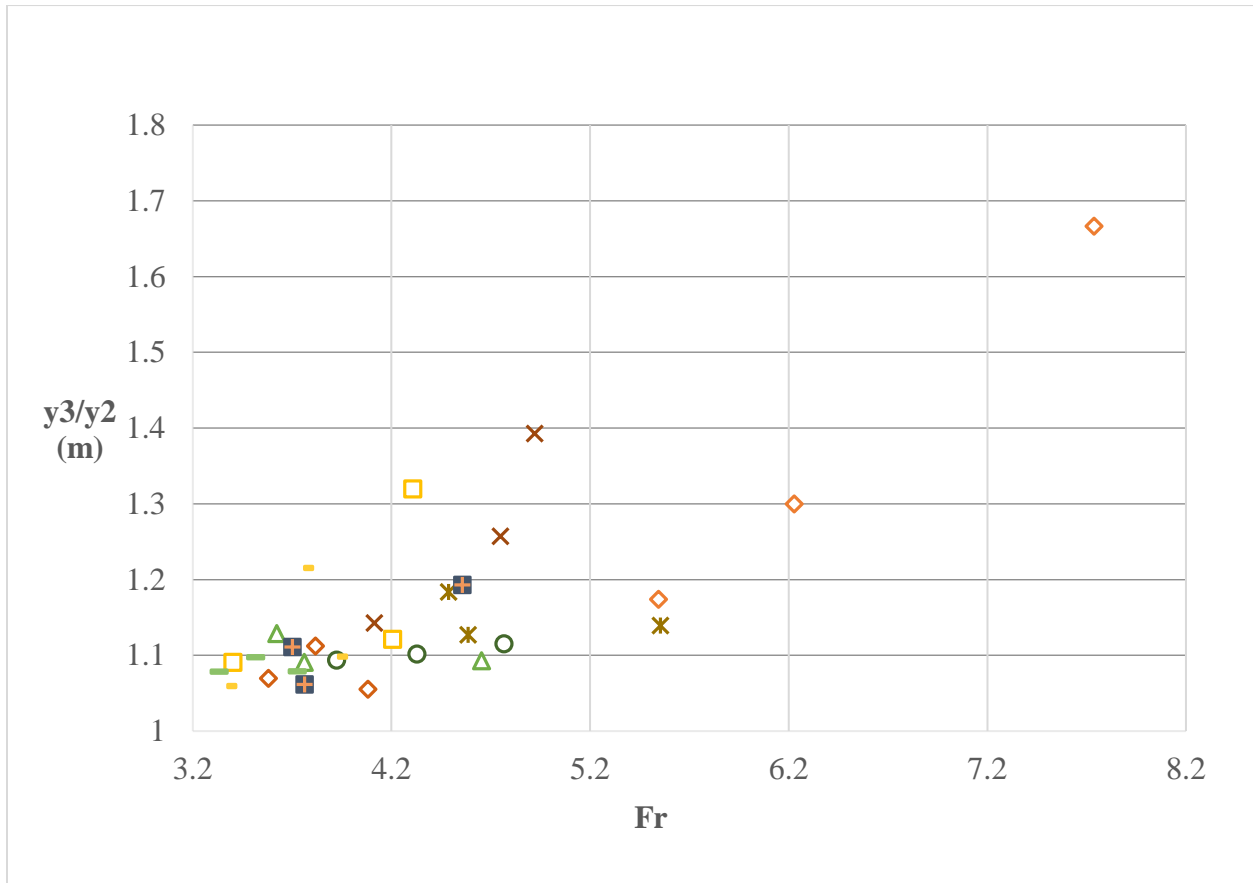


Εικόνα 4.3.32 Διάγραμμα του λόγου  $y_2/y_1$  συναρτήσει του αριθμού Froude από τη μελέτη Ellayn and Sun (2012)



Εικόνα 4.3.33 Διάγραμμα του  $y_2/y_1$  συναρτήσει του αριθμού Froude για παροχή από τη μελέτη Ellayn and Sun (2012)

Παρατηρείται καλή συμφωνία των αποτελεσμάτων μεταξύ των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας και της μελέτης των Ellayn and Sun με μοναδική εξαίρεση μια τιμή της μικρότερης παροχής 1.31 l/sec η οποία παρουσιάζει μεγάλο σφάλμα όπως καταγράφηκε στους πίνακες του προηγούμενου κεφαλαίου.



Εικόνα 4.3.34 Διάγραμμα του λόγου  $y_3/y_2$  συναρτήσει του αριθμού Froude για όλο το φάσμα των παροχών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν πειραματικά τα χαρακτηριστικά υδραυλικού άλματος σε ανοικτό αγωγό. Πραγματοποιήθηκαν αρκετές μετρήσεις για μεγάλο φάσμα παροχών, υψών θυροφράγματος και υψών εκχειλιστή. Παρατηρήθηκε ότι στις μικρότερες παροχές προκύπτουν τα περισσότερα σφάλματα μεταξύ θεωρητικών και πειραματικών τιμών για όλα τα μεγέθη που υπολογίστηκαν μέσω διάφορων τρόπων και εξισώσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Πιο συγκεκριμένα, στις μικρότερες παροχές παρουσιάζοταν μεγάλη δυσκολία στη δημιουργία υδραυλικού άλματος, η οποία δυσκολία συνεπάγεται με το να μην μπορούν να παρθούν εύκολα οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών υψών, γεγονός που απεικονίζεται και στους πίνακες που παρατέθηκαν παραπάνω. Μια ακόμη δυσκολία που αντιμετωπίστηκε ήταν ότι η παροχή του νερού έκανε περισσότερη ώρα να σταθεροποιηθεί στις μικρές παροχές (1.31 l/s– 3.63 l/s), γεγονός που δυσκόλεψε ακόμα περισσότερο τη λήψη μετρήσεων. Αντιθέτως στις υψηλότερες παροχές, και ειδικότερα από 4.00 l/s - 6.02 l/s, η ροή του νερού παρουσίαζε μεγαλύτερη σταθερότητα με αποτέλεσμα να γίνεται πιο ευνοϊκή η διαδικασία μέτρησης των χαρακτηριστικών υψών και κατ' επέκταση η εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων. Τα σφάλματα που παρατηρούνται στις μεγαλύτερες παροχές εμφανίζονται σε μεγάλα ύψη θυροφράγματος καθώς δεν μπορούσαν να εξεταστούν πολλά διαφορετικά  $y_0$  λόγω του ότι το ορθογωνικό κανάλι υπερχειλίζει σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα της εργασίας αυτής είναι τα ακόλουθα:

- Εξαιτίας αυτών των παραγόντων παρουσιάζονται ορισμένα σφάλματα σε πολύ μεγάλο βαθμό όσον αφορά τη σύγκριση μεταξύ θεωρητικών και πειραματικών τιμών στα μεγέθη των  $y_3$  που μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν αντίστοιχα.
- Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, το υδραυλικό άλμα είναι η απότομη μετάβαση από υπερκρίσιμη ροή σε υποκρίσιμη. Ο αριθμός Froude είναι ένα μέγεθος το οποίο προσδιορίζει το είδος της ροής. Επειδή ο αριθμός Froude εξαρτάται άμεσα από τα  $y$  πριν και μετά το υδραυλικό άλμα, παρουσιάζονται σφάλματα και στη σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών τιμών του αριθμού Froude.
- Όσον αφορά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία με τα αποτελέσματα παρόμοιων μελετών και πειραμάτων, παρατηρείται πως για τις τιμές των παροχών που το συγκεκριμένο πείραμα παρουσίαζε σταθερότητα στη ροή του νερού και μικρά σφάλματα στο  $y_3$  και στον αριθμό Froude οι μετρήσεις είναι πολύ κοντά με αυτές των υπολοίπων. Αντίθετα στις τιμές παροχών που τα σφάλματα βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα υπάρχει και απόκλιση στις αντίστοιχες τιμές των υπόλοιπων πειραμάτων που εξετάστηκαν.

- Ειδικότερα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας πειραματικής διαδικασίας με αυτά της μελέτης των Ellayn και Sun προκύπτει πως υπάρχει ομοιότητα στην κατανομή των τιμών του λόγου  $y^4/y^2$  συναρτήσει του αριθμού Froude και ομοιομορφία στο συγκεντρωτικό διάγραμμα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wang H., Murzyn F., Chanson H. (2014). Interaction between free-surface, two-phase flow and total pressure in hydraulic jump, 31-40.
2. Nasrabadi M., Omid M.H., Farhoud J. (2012), Submerged hydraulic jump with sediment-laden flow, 100-107.
3. Pagliara S., Lotti I., Palermo M. (2007), Hydraulic jump on rough bed of stream rehabilitation structures, 30-37.
4. Gupta S.K., Mehtab R.C., Dwivedi V.K. (2013), Modeling of relative length and relative energy loss of free hydraulic jump in horizontal prismatic channel 530-536
5. Ali H.M., El Gendy M.M., Mirdan A.A.M., Abdelhaleem F.S.F. (2013) Minimizing downstream scour due to submerged hydraulic jump using corrugated aprons 1060-1067.
6. Wang H., Felder S., Chanson H., (2014), An experimental study of turbulent two-phase flow in hydraulic jumps and application of a triple decomposition technique, 55:1775, 4-8/18.
7. Chanson H. (2010), Convective transport of air bubbles in strong hydraulic jumps, 799-808.
8. Ali H.M., El Gendy M.M., Mirdan A.A.M., Abdelhaleem F.S.F. (2013), Effect of corrugated beds on characteristics of submerged hydraulic jump, 1034-1040.
9. Ellayn A.F., Sun Z., (2010), Hydraulic jump basins with wedge-shaped baffles, 519-524.
10. Abbas A., Alwash H., Mahmood A. (2017), Effect of baffle block configurations on characteristics of hydraulic jump in adverse stilling basins, MATEC Web of Conferences **162**, 03005 (2018) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816203005> *BCEE3-2017*
11. Pagliara S., Palermo M. (2018), Semi-theoretical approach for energy dissipation estimation at hydraulic jumps in rough sloped channels 787-793.
12. Padova D.D., Mossa M., Sibilla S., (2017), SPH numerical investigation of characteristics of hydraulic jumps, 860-867.
13. Wang H., Chanson H., (2019), Characterisation of transverse turbulent motion in quasi-two-dimensional aerated flow: Application of four-point air-water flow measurements in

hydraulic jump, 222-232.

14. Lin C., Wong W.Y., Raikar V., Hwung H.H., Tsai C.P., (2019), Characteristics of Accelerations and Pressure Gradient during Run-Down of Solitary Wave over Very Steep Beach: A Case Study, 5-10, 26-28.

15. Gandhi S., Singh R.P. (2014), Hydraulic jump characteristics in non prismatic channels, 2-9.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ



Εικόνα 7.1 Το υδραυλικό άλμα όταν το νερό ρέει προς τον εκχειλιστή



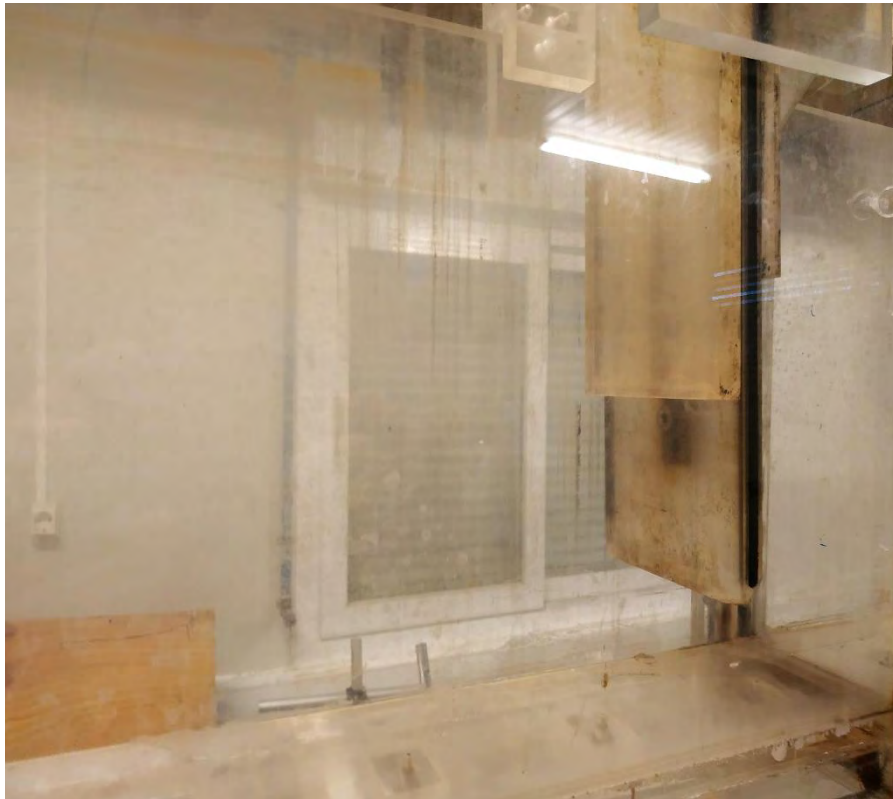
Εικόνα 7.2 Το υδραυλικό άλμα μετά την έξοδο του νερού από το θυρόφραγμα



Εικόνα 7.3 Η πειραματική διάταξη σε λειτουργία



Εικόνα 7.4 Ο εκχειλιστής και η δεξαμενή



Εικόνα 7.5 Το θυρόφραγμα



Εικόνα 7.6 Το προφίλ του καναλιού