

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εργαστηριακή μελέτη υδραυλικών φαινομένων
κατά τη ροή με ελεύθερη επιφάνεια (σε ανοιχτούς αγωγούς)**



ΓΙΟΥΣΕΦ ΑΛΙΑ (ΑΜ 6309)

Επιβλέπων Καθηγητής: Μ. Βαλαβανίδης

ΜΑΪΟΣ 2020

Περίληψη-Σύνοψη

Το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι η δημιουργία εργαστηριακών υδραυλικών αλμάτων με σκοπό την παρατήρησή τους και την μελέτη τους που στηρίζεται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους.

Έγινε χρήση, θεμελιακών ορισμών και θεωρημάτων της Υδραυλικής που αφορούν την ροή σε ανοιχτούς αγωγούς.

Με τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν, κατασκευάστηκε ένα σύνολο διαγραμμάτων που καθιστούν κατανοητότερη την μελέτη.

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων παρατηρήθηκε πως η φθορά ενός εξαρτήματος επηρεάζει σημαντικά έναν σταθερό παράγοντα της ροής. Για να υπολογίσουμε την πραγματική παροχή τροφοδοσίας του καναλιού, έγινε βαθμονόμηση του εξαρτήματος με τα νέα δεδομένα. Δίνεται αριθμητική ανάλυση της βαθμονόμησης στο παράρτημα της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Περιεχόμενα:

ΚΕΦΑΛΑΙΑ

Εισαγωγή – Προοίμιο	6
Κεφάλαιο 1 : Οι θεμελιώδεις αρχές των υδραυλικών αλμάτων	8
Κεφάλαιο 2: Φωτογραφικά στιγμιότυπα διαμόρφωσης Υ/Α.	12
Κεφάλαιο 3: Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα	25

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α: Μετρήσεις-Υπολογισμοί-Πίνακες	27
Παράρτημα Β:Ορθογωνικό κανάλι τύπου Armfield s9094	29
Παράρτημα Γ:Τι είναι το παροχόμετρο και πως λειτουργεί	32
Βιβλιογραφία	41

Εισαγωγή – Προοίμιο

Υδραυλικό άλμα, καλούμε το φαινόμενο κατά το οποίο γίνεται απότομη μετάβαση της ροής από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη. Η μετάβαση αυτή, επέρχεται με απότομη αύξηση της στάθμης του υγρού και με την εμφάνιση ισχυρών στροβιλισμών, αποτέλεσμα αυτών είναι η μείωση της μέσης ταχύτητας της ροής και της απώλειας ενέργειας.

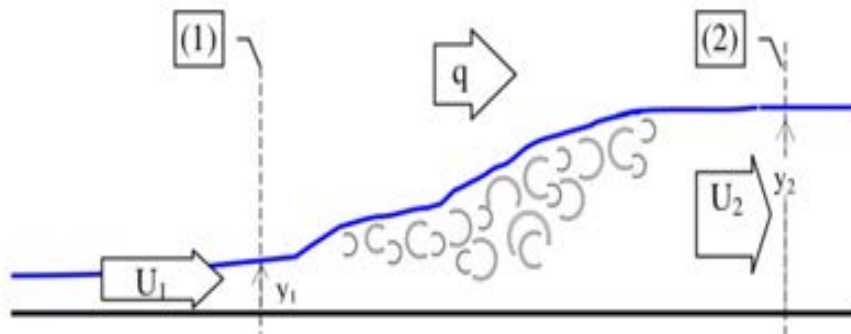
Ένα υδραυλικό άλμα χαρακτηρίζεται από την ανάντι και την κατάντι ροή του. Η απότομη αύξηση του βάθους στην κατάντι διατομή οφείλεται είτε στην επιβράδυνση της ροής είτε στον κατάντι έλεγχο της, με συνέπεια η ταχύτητα να μειώνεται ώστε να προκύπτει παντού ίδια παροχή q .

Το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής αφορά, τη μελέτη των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, των υδραυλικών αλμάτων και τη γραφική συσχέτισή τους, με τα αντίστοιχα θεωρητικά μεγέθη που προκύπτουν από θεμελιώδεις αρχές της υδραυλικής.

Αρχικά, παρουσιάζονται όλες οι θεωρητικές σχέσεις που σχετίζονται με την γεωμετρία των αλμάτων. Έπειτα ακολουθούν οι υπολογισμοί οι παρατηρήσεις και τα διαγράμματα που συγκρίνουν τις πραγματικές με τις θεωρητικές τιμές.

Στα παραρτήματα αναλύεται ολόκληρη η πειραματική διαδικασία και η βαθμονόμηση του μυλίσκου, με σκοπό να βρεθεί μια σχέση που να εκφράζει την πραγματική παροχή του καναλιού.

Οι θεμελιώδεις αρχές των υδραυλικών άλματος



Εικόνα 1Τα κύρια γεωμετρικά μεγέθη περιγραφής ενός υδραυλικού άλματος (Υ/Α)

Ένας αδιάστατος αριθμός που χαρακτηρίζει μιας τέτοιας μορφής ροή είναι ο αριθμός Froude, όπου εκφράζει τον λόγο των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις βαρύτητας.

Fr: Οαριθμός Froude

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gy}} \quad (\text{Σχέση 1.1})$$

Όπου U= Η ταχύτητα της ροής`

g= Η επιτάχυνση της βαρύτητας

y= Το βάθος της ροής

Για $Fr < 1$ Η ροή είναι ποτάμια- Υποκρίσιμη

$Fr = 1$ Η ροή είναι κρίσιμη

$Fr > 1$ Η ροή είναι χειμαρρώδης- Υπερκρίσιμη (αυξημένη πιθανότητα δημιουργίας υδραυλικού άλματος εφόσον η ροή εξελιχθεί σε υποκρίσιμη)

Αναλυτικότερα:

- $Fr < 1,7$ Κυματοειδή άλματα
- $1,7 < Fr < 4,5$ Ασθενή ασταθή άλματα
- $4,5 < Fr < 9$ Ισχυρά μόνιμα άλματα
- $9 < Fr < 13$ Ισχυρότερα μόνιμα άλματα

U: Η μέση ταχύτητα της ροής¹

$$U = \frac{Q}{A} \text{ (Σχέση 1.2)}$$

Όπου Q=παροχή

A: το εμβαδό της υγρής διατομής.

y1/y4: Ο λόγος των βαθών ανάντι και κατόντι της ροής

L/y4: Ο λόγος του μήκους του Y/A ως προς το κατόντι βάθος ροής.

ΔE/y1: Η απώλεια ενέργειας ανά μονάδα βάρους υγρού (α.μ.β.υ.) λόγω τύρβης στο Y/A ανηγμένη ως προς προς το βάθος ροής στην ανάντι διατομή

E1,E4: Η ειδική ενέργεια στην ανάντι και κατόντι διατομή αντίστοιχα.

¹:Λόγω της χρόνιας χρήσης των μηχανημάτων του εργαστηρίου. Η φθορά του μιλίσκου, δημιούργησε την ανάγκη να κατασκευαστεί ένα νομόγραμμα που αφορά την παροχή του καναλιού. Αναλυτικότερα στο Παράρτημα Γ (Το Παροχόμετρο)

Αναλυτικότερα (η παρακάτω εξίσωση ισχύει για όλων των ειδών τις ροές.)

$$\bar{y}_1 A_1 + \frac{Q^2}{g A_1} = \bar{y}_2 A_2 + \frac{Q^2}{g A_2}$$

(εξ 6.7.27 Γ. Α.Τερζίδης 1996/3)

Ποιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση των ορθογωνικών αγωγών σταθερού πλάτους η ανωτέρω εξίσωση γίνεται.

$$\frac{y_1^2}{2} + \frac{q^2}{g y_1} = \frac{y_2^2}{2} + \frac{q^2}{g y_2}$$

(εξ 6.7.29 Γ. Α.Τερζίδης 1996/3)

Διαιρώντας και αντικαθιστώντας, αντίστοιχα με:

$$y_1^2 \quad \text{και} \quad Fr_1^2 = \frac{q^2}{g y_1^3}$$

προκύπτει η εξίσωση ποσότητας κινήσεως του **Belanger** που ερμηνεύει την σχέση του λόγου των συζυγών βαθμών με τον αριθμό Froude

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8 Fr_1^2}) \quad (\text{Σχέση 1.3})$$

Το μήκος του υδραυλικού άλματος προσεγγιστικά υπολογίζεται με τα πειραματικά δεδομένα των **Backmeteff** και **Matzke** από τις παρακάτω εμπειρικές εξισώσεις:

1) Για $Fr \leq 4$:

$$\frac{L}{y_1} = 8.75 (Fr_1 - 1) \quad (\text{Σχέση 1.4})$$

2) Για $Fr > 4$

$$\frac{L}{y_4} = 5.7 - 0.15 Fr_1 \quad (\text{Σχέση 1.5})$$

Η **απώλεια ενέργειας** του υδραυλικού άλματος εκφράζεται με την αδιάστατη μορφή:

$$\frac{\Delta E}{y_1} = \frac{\left(\frac{y_2}{y_1} - 1\right)^3}{4 \frac{y_2}{y_1}} \quad (\text{Σχέση 1.6})$$

(εξ 6.7.37 Γ. Α.Τερζίδης 1996/3)

Από την εξίσωση 6.7.37 ,μετατρέπουμε την αναγωγή της διαφοράς ενεργειακής δαπάνης στο Y/A , $\Delta E=E_1-E_4$, από y_1 σε E_1 και παίρνουμε:

$$\frac{\Delta E}{E_1} = \frac{\left(\frac{y_4-1}{y_1}\right)^3}{4\frac{y_4}{y_1}} y_1 \frac{1}{y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2}} = \frac{\left(\frac{y_4-1}{y_1}\right)^3}{4\frac{y_4}{y_1}\left(1 + \frac{q^2}{2gy_1^2}\right)} = \frac{\left(\frac{y_4-1}{y_1}\right)^3}{4\frac{y_4}{y_1}\left(1 + \frac{1}{2}Fr^2\right)} \Rightarrow$$

$$\boxed{\frac{\Delta E}{E_1} = \frac{\left(\frac{y_4}{y_1} - 1\right)^3}{2\frac{y_4}{y_1}(2 + Fr^2)} \text{ (Σχέση 1.7)}}$$

Η ειδική ενέργεια δίνεται από τον τύπο:

$$E_1 = y_1 + \frac{U_1^2}{2g} \text{ (Σχέση 1.8)}$$

Οι ειδικοί παράμετροι υπολογισμών:

Πλάτος καναλιού $b=0.04$ m

Επιτάχυνση βαρύτητας $g=9.81$ m/s²

Πυκνότητα νερού $\rho=981$ kg/m³

Βαθμονομική διόρθωση μυλίσκου= 1,231 (Παράρτημα Β)





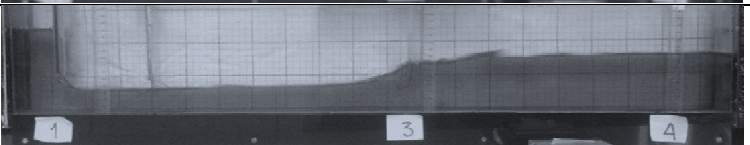
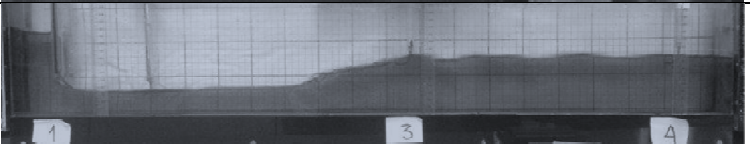


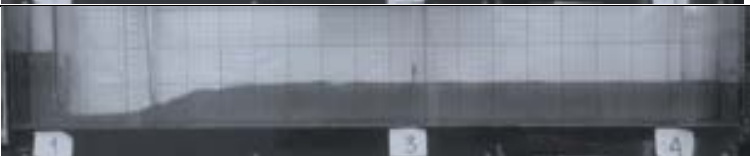




Εικόνα 2: Τυπική φωτογραφία διαμόρφωσης υδραυλικού άλματος στο κανάλι και επισήμανση των κύριων γεωμετρικών χαρακτηριστικών του

Τα φωτογραφικά στιγμιότυπα της εργαστηριακής μελέτης², από όπου ελήφθησαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται παρακάτω.

²: Η πειραματική διαδικασία παρουσιάζεται αναλυτικά στο παράρτημα Β (κανάλι τύπου Armfields9094)

Κεφάλαιο 2: Φωτογραφικάστιγμιότυπα διαμόρφωσης Υ/Α.





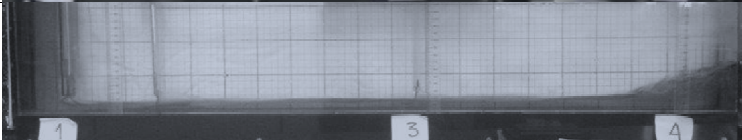
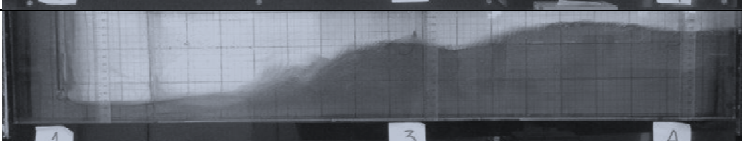





α/α	Fr_1	Q [lt/m in]	Y_1 [mm]	Y_4 [mm]	Υδραυλικό Άλμα
1	1,447	25	20	27	
2	1.695	25	18	36	
3	1,762	5	6	30	
4	1,762	5	6	31	
5	1,918	80	36	82	
6	1,918	80	36	80	
7	2,001	80	35	95	
8	2,001	80	35	80	
9	2,026	35	20	50	
10	2,100	70	31	84	
11	2,155	65	29	85	

α/α	Fr_1	Q [lt/m in]	Y_1 [mm]	Y_4 [mm]	Υδραυλικό Άλμα
12	2,155	65	29	85	
13	2,189	35	19	50	
14	2,206	70	30	70	
15	2,206	70	30	65	
16	2,229	25	15	40	
17	2,229	25	15	45	
18	2,250	75	31	76	
19	2,250	75	31	70	
20	2,251	90	35	85	
21	2,316	5	5	31	
23	2,316	40	20	55	






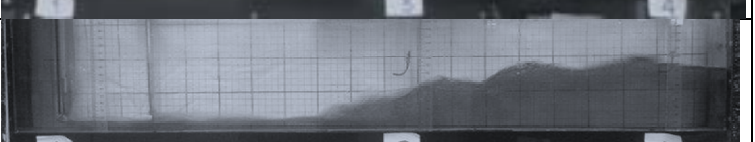
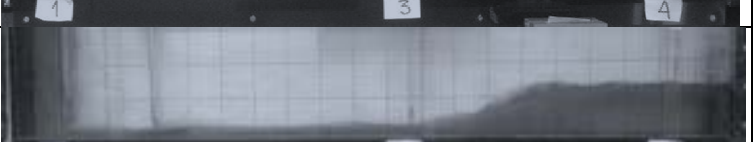

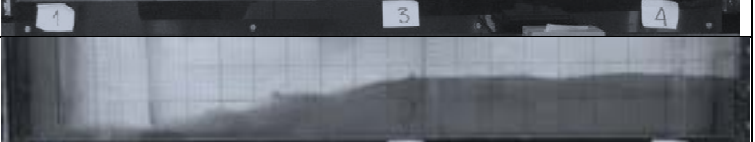


α/α	Fr_1	Q [lt/m in]	Y_1 [mm]	Y_4 [mm]	Υδραυλικό Άλμα
24	2,364	75	30	85	
25	2,364	75	30	79	
26	2,373	35	55		
27	2,373	35	18	55	
28	2,509	50	22	60	
29	2,691	50	21	69	
30	2,691	50	21	67	
31	2,691	50	21	66	
32	2,712	5	5	25	
33	2,712	40	18	50	
34	2,839	20	11	43	
35	2,839	20	11	50	




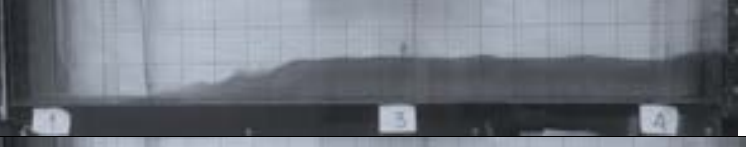


α/α	Fr_1	Q [lt/m in]	Y_1 [mm]	Y_4 [mm]	Υδραυλικό Άλμα
36	2,839	20	11	55	
37	2,895	50	20	66	
38	2,895	50	20	60	
39	3,052	65	23	85	
40	3,120	35	15	65	
41	3,126	50	19	85	
42	3,126	50	19	63	
43	3,184	55	20	85	
44	3,184	55	20	80	
45	3,237	5	4	25	
47	3,275	20	10	36	
48	3,275	20	10	40	
49	3,275	20	10	50	
50	3,320	95	28	120	

α/α	Fr_1	Q [lt/m in]	Y_1 [mm]	Y_4 [mm]	Υδραυλικό Άλμα
52	3,391	50	18	54	
55	3,498	65	21	89	
56	3,498	65	21	90	
57	3,566	40	15	60	
58	3,566	40	15	55	
61	3,763	65	20	80	
62	3,764	75	22	98	
63	3,767	70	21	91	
64	3,767	70	21	100	
65	3,767	70	21	101	
66	3,936	95	25	120	

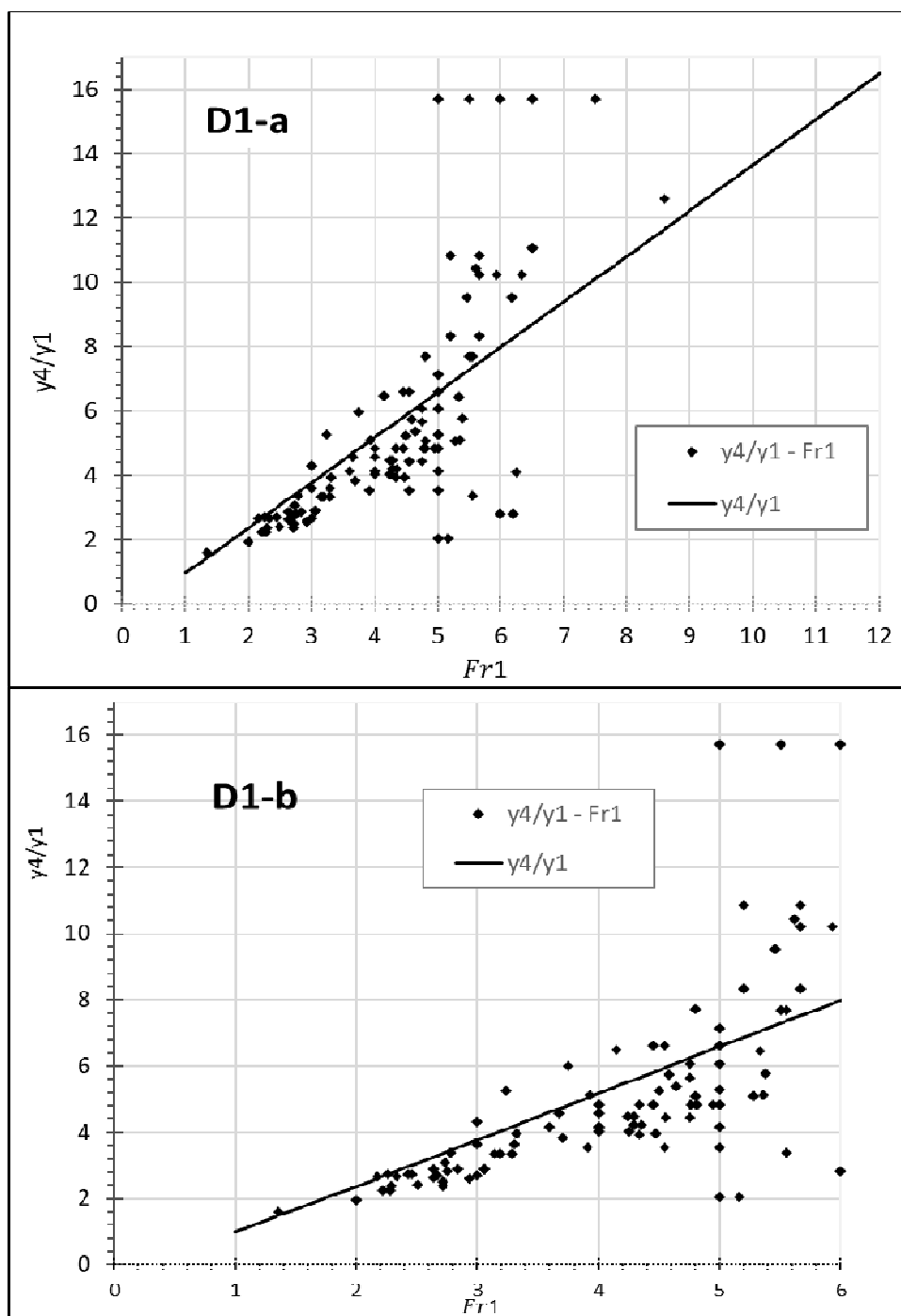
α/α	Fr_1	Q [lt/m in]	Y_1 [mm]	Y_4 [mm]	Υδραυλικό Άλμα
67	3,936	95	25	132	
68	3,954	40	14	55	
69	3,954	40	14	75	
70	4,053	70	20	90	
71	4,064	55	17	55	
73	4,143	100	25	116	
74	4,342	75	20	95	
75	4,404	100	24	110	
76	4,419	40	13	70	
77	4,577	20	8	30	
78	4,632	80	20	95	

α/α	Fr_1	Q [lt/m in]	Y_1 [mm]	Y_4 [mm]	Υδραυλικό Άλμα
79	4,632	80	20	100	
80	4,903	55	15	80	
81	4,921	85	20	83	
82	5,019	100	22	100	
83	5,019	100	22	98	
84	5,019	100	22	110	
85	5,381	100	21	105	
86	5,790	100	20	111	
87	5,790	100	20	110	
88	5,794	65	15	72	
89	6,240	70	15	85	

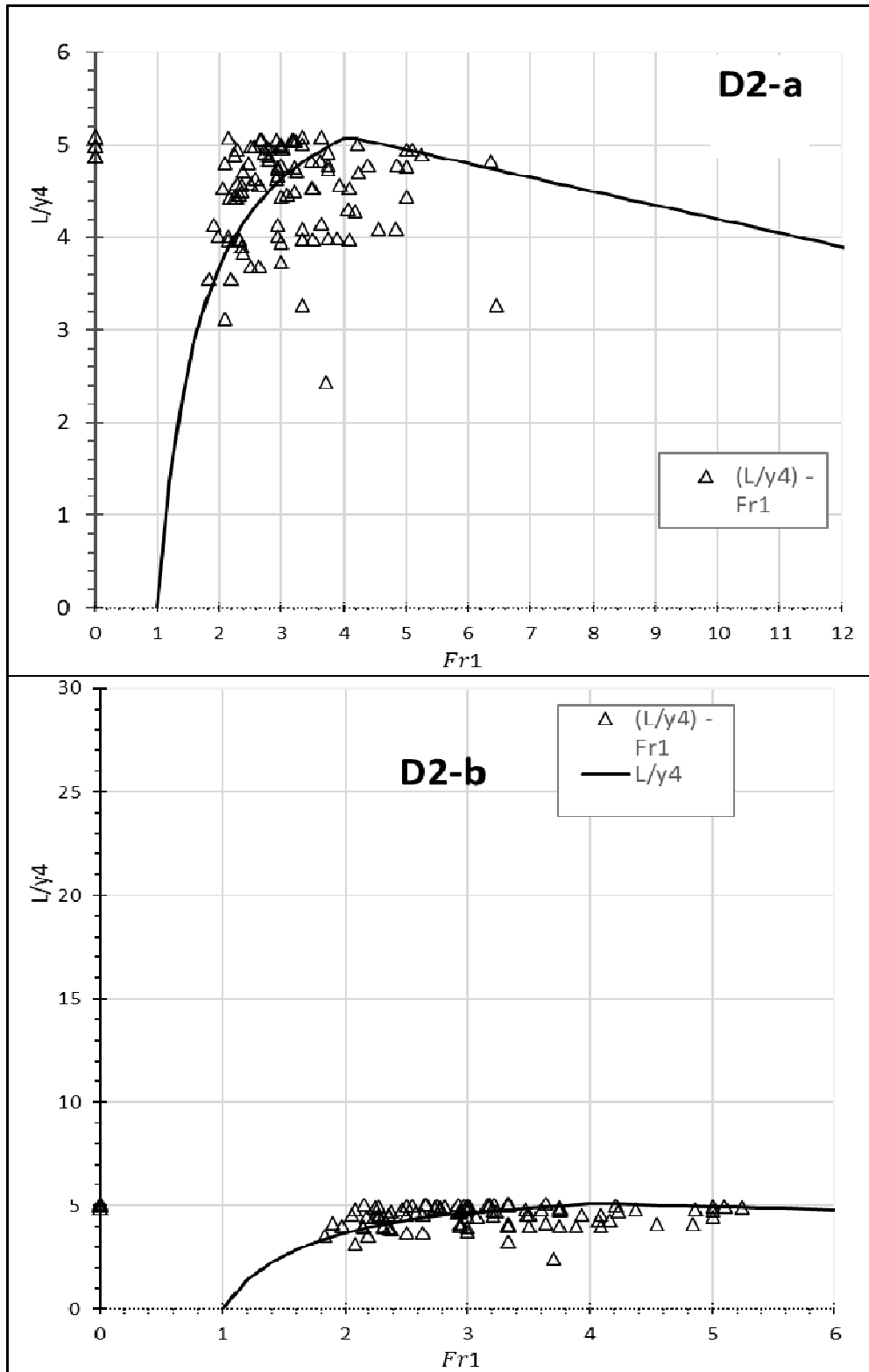
α/α	Fr_1	Q [lt/m in]	Y_1 [mm]	Y_4 [mm]	Υδραυλικό Άλμα
90	6,240	70	15	78	
91	7,097	50	11	68	
92	7,097	50	11	60	
93	7,577	85	15	85	
94	7,577	85	15	95	
95	7,577	85	15	89	
96	7,734	70	13	73	
97	8,023	90	15	78	
98	8,023	90	15	85	
99	8,188	50	10	65	
100	8,188	50	10	65	

α/α	Fr_1	Q [lt/m in]	Y_1 [mm]	Y_4 [mm]	Υδραυλικό Άλμα
101	9,264	20	5	43	
102	11,463	70	10	75	
103	11,463	70	10	50	
104	11,463	70	10	55	
105	11,463	70	10	60	
106	11,463	70	10,0	65	

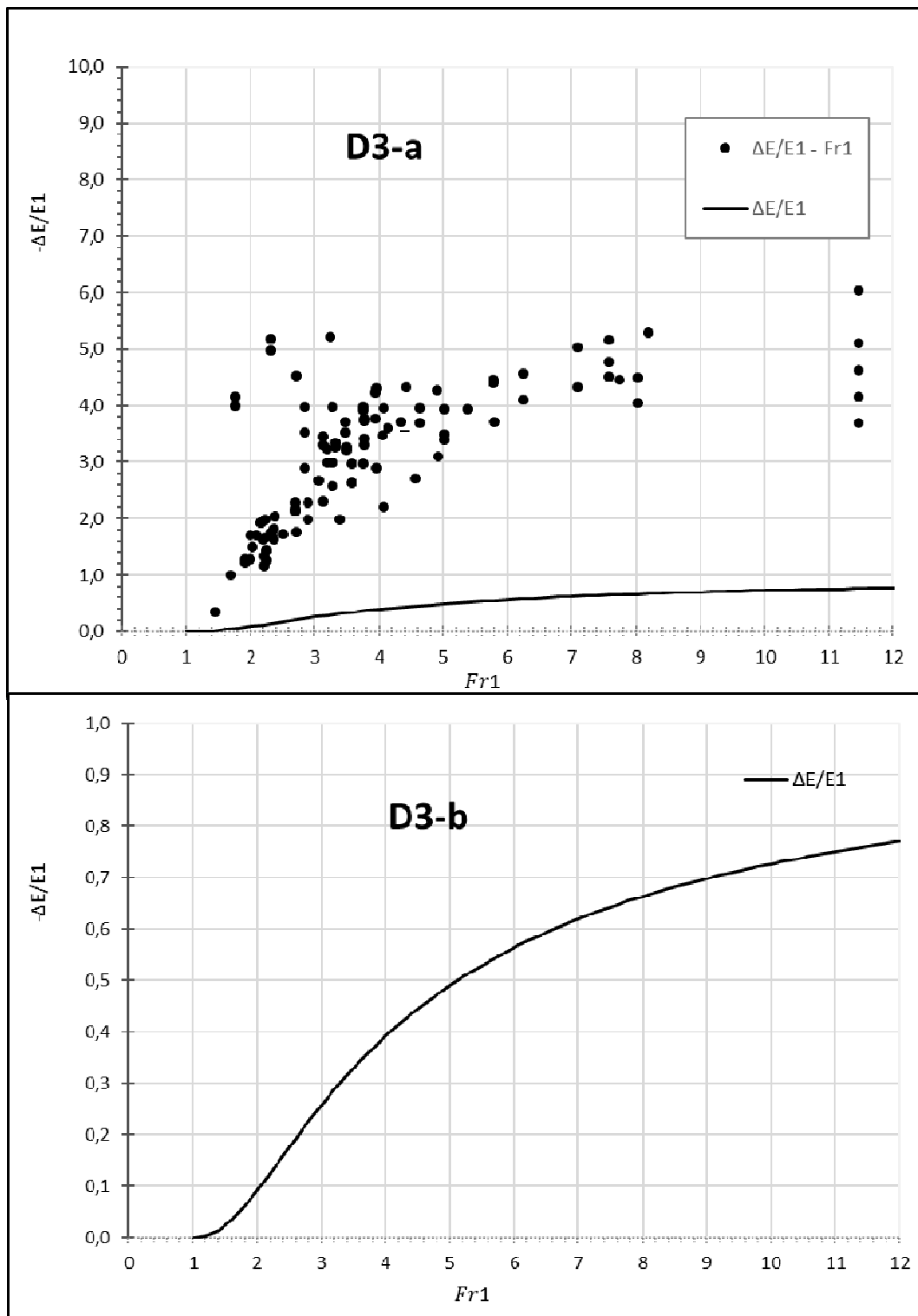
Διαγράμματα: Χαρακτηριστικά υδραυλικών αλμάτων ως αδιάστατες συναρτήσεις του αριθμού Froude.



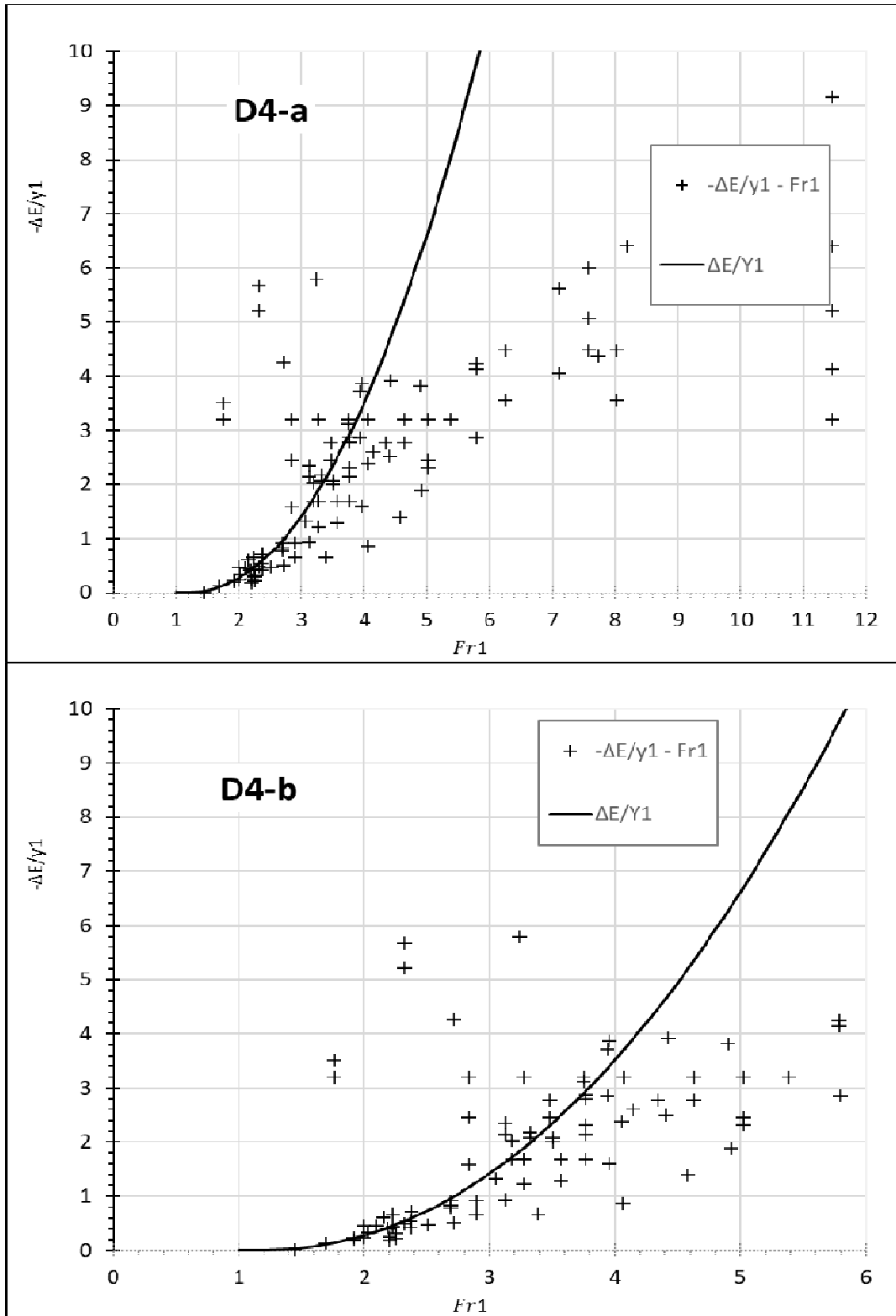
Εικόνα 3 Διαγράμματα τιμών του λόγου των συζυγών βαθών (y_1/y_4) των υδραυλικών αλμάτων έναντι του αριθμού Froude. Τα σημεία αντιπροσωπεύουν τις μετρημένες τιμές, η συνεχής γραμμή (ευθεία) τη θεωρητική εξάρτηση από το Fr. **(α)**πλήρηςέκταση τιμών Fr, $1 < Fr < 12$ **(β)**περιοχή $1 < Fr < 6$



Εικόνα 4 Διαγράμματα τιμών του ανηγμένου μήκους των υδραυλικών αλμάτων (L/y_4) έναντι του αριθμού Froude. Τα σημεία αντιπροσωπεύουν τις μετρημένες τιμές, η συνεχής γραμμή (καμπύλη) τη θεωρητική εξάρτηση από το Fr . **(a)** πλήρης έκταση τιμών Fr , $1 < Fr < 12$ **(b)** περιοχή $1 < Fr < 6$



Εικόνα 5 Διαγράμματα τιμών της ανηγμένης απώλειας ενέργειας λόγω τύρβης στα υδραυλικά άλματα ($\Delta E/E_1$) έναντι του αριθμού Froude. Τα σημεία αντιπροσωπεύουν τις μετρημένες τιμές, η συνεχής γραμμή (καμπύλη) τη θεωρητική εξάρτηση από το Fr. **(a)** πλήρης έκταση τιμών Fr, $1 < Fr < 12$ **(b)** περιοχή $1 < Fr < 6$



Εικόνα 6 Διαγράμματα τιμών της ανηγμένης απώλειας ενέργειας λόγω τύρβης στα υδραυλικά άλματα ($\Delta E/\gamma_1$) έναντι του αριθμού Froude. Τα σημεία αντιπροσωπεύουν τις μετρημένες τιμές, η συνεχής γραμμή (καμπύλη) τη θεωρητική εξάρτηση από το Fr . (a) πλήρης έκταση τιμών Fr , $1 < Fr < 12$ (b) περιοχή $1 < Fr < 6$

Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας τα διαγράμματα, παρατηρείται πως για τιμές του αδιάστατου αριθμού Froude μεγαλύτερες από 6 (έξι), οι πραγματικές τιμές των μέτρων, που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία, έχουν πολύ μεγάλη απόκλιση από τις θεωρητικές καμπύλες. Στα διαγράμματα D1-b παρουσιάζονται τα δεδομένα με $Fr \leq 6$ όπου τα πειραματικά αποτελέσματα βρίσκονται σχετικά στην ίδια καμπύλη.

Οι αποκλίσεις των πειραματικών δεδομένων προκύπτουν από την δυσκολία ανάγνωσης των βαθών ανάντι και κατόντι της ροής (y_1 & y_4).

Όμως, η έντονη διασπορά των μετρήσεων για τιμές με $Fr > 6$, οφείλεται στο πάχος του καναλιού ($b=0.04m$). Όσο η παροχή αυξάνεται κατά την διεξαγωγή του πειράματος, η ταχύτητα της ροής αυξάνεται αναλογικά ($Q=UA$). Με αποτέλεσμα οι πλευρικές απώλειες ενέργειας να μην θεωρούνται αμελητέες, καθώς οι αναλυτικές εκφράσεις του A.Τερζίδη προϋποθέτουν την μελέτη υδραυλικών αλμάτων σε αγωγό πολύ πλατύ σε σχέση με το βάθος της ροής. Προϋπόθεση, που δεν πληρούται στον εργαστηριακό αγωγό.

Στα διαγράμματα D3 η συνεχής καμπύλη $\Delta E/E_1$ αφορά στο ίδιο πλήθος θεωρητικών σημείων, με διαφορετική κλίμακα. Σκοπός του διαγράμματος D3-b είναι να παρουσιάσει την «τάση» που έχει η ενεργειακή δαπάνη καθώς ο αριθμός Froude αυξάνεται. Όμοια επιβεβαιώνεται και για τα πειραματικά σημεία στο διάγραμμα D3-a.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α: Μετρήσεις-Υπολογισμοί-Πίνακες

Πίνακας 1: Τιμές μετρημένων και υπολογισμένων μεγεθών που περιγράφουν τις συνθήκες ροής, τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και ανηγμένα μεγέθη των υδραυλικών αλμάτων της παρούσας εργαστηριακής μελέτης

α/α	παροχή				ανάπτυ Y/A					κατάπτυ Y/A				Αδιάστατα μεγέθη								
	Q l/min	Q m3/sec	διορθωμένη Q, [m3/s]	Υψος θ/φ [mm]	Διατομή 1				Διατομή 4				Θεωρητικές τιμές				Πειραματικές τιμές					
					γ ₁ [mm]	U ₁ [m/s]	Fr ₁	q (m ² /s)	E ₁	L [m]	γ ₄ [mm]	U ₄ [m/s]	Fr ₄	E ₄	γ ₄ /γ ₁	L/γ ₄	ΔE/γ ₁	ΔE/E ₁	γ ₄ /γ ₁ - Fr ₁	(L/γ ₄) - Fr ₁	ΔE/γ ₁ - Fr ₁	ΔE/E ₁ - Fr ₁
1	25	4,167E-04	5,129E-04	22,0	20,0	0,64	1,447	0,013	20,02	0,10	27,0	0,47	0,923	27,01	1,61	2,44	0,03	0	1,35	3,70	0,01	0,35
2	25	4,167E-04	5,129E-04	22,0	18,0	0,71	1,695	0,013	18,03	0,08	36,0	0,36	0,599	36,01	1,95	3,12	0,11	0,002	2,00	2,08	0,13	1,00
3	5	8,333E-05	1,026E-04	6,0	6,0	0,43	1,762	0,003	6,01	0,10	30,0	0,09	0,158	30,00	2,04	3,27	0,14	0,013	5,00	3,33	3,20	3,99
4	5	8,333E-05	1,026E-04	4,0	6,0	0,43	1,762	0,003	6,01	0,20	31,0	0,08	0,150	31,00	2,04	3,27	0,14	0,033	5,17	6,45	3,50	4,16
5	80	1,333E-03	1,641E-03	49,0	36,0	1,14	1,918	0,041	36,07	0,15	82,0	0,50	0,558	82,01	2,26	3,56	0,22	0,06	2,28	1,83	0,23	1,27
6	80	1,333E-03	1,641E-03	49,0	36,0	1,14	1,918	0,041	36,07	0,18	80,0	0,51	0,579	80,01	2,26	3,56	0,22	0,091	2,22	2,19	0,21	1,22
7	80	1,333E-03	1,641E-03	50,0	35,0	1,17	2,001	0,041	35,07	0,25	95,0	0,43	0,447	95,01	2,37	3,69	0,27	0,124	2,71	2,63	0,46	1,71
8	80	1,333E-03	1,641E-03	49,0	35,0	1,17	2,001	0,041	35,07	0,20	80,0	0,51	0,579	80,01	2,37	3,69	0,27	0,158	2,29	2,50	0,23	1,28
9	35	5,833E-04	7,181E-04	22,0	20,0	0,90	2,026	0,018	20,04	0,15	50,0	0,36	0,513	50,01	2,41	3,73	0,29	0,192	2,50	3,00	0,34	1,50
10	70	1,167E-03	1,436E-03	41,0	31,0	1,16	2,100	0,036	31,07	0,20	84,0	0,43	0,471	84,01	2,51	3,83	0,34	0,225	2,71	2,38	0,46	1,70
11	65	1,083E-03	1,334E-03	36,0	29,0	1,15	2,155	0,033	29,07	0,20	85,0	0,39	0,430	85,01	2,59	3,90	0,39	0,257	2,93	2,35	0,61	1,92
12	65	1,083E-03	1,334E-03	36,0	29,0	1,15	2,155	0,033	29,07	0,20	85,0	0,39	0,430	85,01	2,59	3,90	0,39	0,287	2,93	2,35	0,61	1,92
13	35	5,833E-04	7,181E-04	21,0	19,0	0,94	2,189	0,018	19,05	0,15	50,0	0,36	0,513	50,01	2,64	3,95	0,41	0,315	2,63	3,00	0,41	1,63
14	70	1,167E-03	1,436E-03	41,0	30,0	1,20	2,206	0,036	30,07	0,15	70,0	0,51	0,619	70,01	2,66	3,97	0,43	0,342	2,33	2,14	0,25	1,33
15	70	1,167E-03	1,436E-03	41,0	30,0	1,20	2,206	0,036	30,07	0,15	65,0	0,55	0,692	65,02	2,66	3,97	0,43	0,368	2,17	2,31	0,18	1,16
16	25	4,167E-04	5,129E-04	14,0	15,0	0,85	2,229	0,013	15,04	0,15	40,0	0,32	0,512	40,01	2,69	3,99	0,45	0,391	2,67	3,75	0,43	1,66
17	25	4,167E-04	5,129E-04	14,0	15,0	0,85	2,229	0,013	15,04	0,18	45,0	0,28	0,429	45,00	2,69	3,99	0,45	0,414	3,00	3,89	0,67	1,99
18	75	1,250E-03	1,539E-03	44,0	31,0	1,24	2,250	0,038	31,08	0,15	76,0	0,51	0,586	76,01	2,72	4,02	0,47	0,435	2,45	1,97	0,31	1,45
19	75	1,250E-03	1,539E-03	45,0	31,0	1,24	2,250	0,038	31,08	0,15	70,0	0,55	0,663	70,02	2,72	4,02	0,47	0,455	2,26	2,14	0,22	1,25
20	90	1,500E-03	1,847E-03	32,0	35,0	1,32	2,251	0,046	35,09	0,25	85,0	0,54	0,595	85,02	2,72	4,02	0,47	0,473	2,43	2,94	0,30	1,42
21	5	8,333E-05	1,026E-04	7,0	5,0	0,51	2,316	0,003	5,01	0,15	31,0	0,08	0,150	31,00	2,81	4,09	0,53	0,491	6,20	4,84	5,67	5,18
22	5	8,333E-05	1,026E-04	4,0	5,0	0,51	2,316	0,003	5,01	0,10	30,0	0,09	0,158	30,00	2,81	4,09	0,53	0,507	6,00	3,33	5,21	4,98
23	40	6,667E-04	8,207E-04	22,0	20,0	1,03	2,316	0,021	20,05	0,25	55,0	0,37	0,508	55,01	2,81	4,09	0,53	0,523	2,75	4,55	0,49	1,74
24	75	1,250E-03	1,539E-03	44,0	30,0	1,28	2,364	0,038	30,08	0,25	85,0	0,45	0,496	85,01	2,88	4,14	0,58	0,537	2,83	2,94	0,54	1,83
25	75	1,250E-03	1,539E-03	24,0	30,0	1,28	2,364	0,038	30,08	0,15	79,0	0,49	0,553	79,01	2,88	4,14	0,58	0,551	2,63	1,90	0,41	1,63
26	35	5,833E-04	7,181E-04	20,0	18,0	1,00	2,373	0,018	18,05	0,75	55,0	0,33	0,444	55,01	2,89	4,15	0,59	0,564	3,06	13,64	0,71	2,05
27	35	5,833E-04	7,181E-04	22,0	18,0	1,00	2,373	0,018	18,05	0,20	55,0	0,33	0,444	55,01	2,89	4,15	0,59	0,577	3,06	3,64	0,71	2,05
28	50	8,333E-04	1,026E-03	22,0	22,0	1,17	2,509	0,026	22,07	0,25	60,0	0,43	0,557	60,01	3,08	4,28	0,73	0,588	2,73	4,17	0,47	1,72
29	50	8,333E-04	1,026E-03	29,0	21,0	1,22	2,691	0,026	21,08	0,15	69,0	0,37	0,452	69,01	3,34	4,43	0,96	0,599	3,29	2,17	0,91	2,27
30	50	8,333E-04	1,026E-03	29,0	21,0	1,22	2,691	0,026	21,08	0,15	67,0	0,38	0,472	67,01	3,34	4,43	0,96	0,61	3,19	2,24	0,82	2,18
31	50	8,333E-04	1,026E-03	30,0	21,0	1,22	2,691	0,026	21,08	0,15	66,0	0,39	0,483	66,01	3,34	4,43	0,96	0,62	3,14	2,27	0,78	2,13
32	5	8,333E-05	1,026E-04	4,0	4,5	0,57	2,712	0,003	4,52	0,13	25,0	0,10	0,207	25,00	3,37	4,45	0,99	0,63	5,56	5,00	4,25	4,54
33	40	6,667E-04	8,207E-04	21,0	18,0	1,14	2,712	0,021	18,07	0,15	50,0	0,41	0,586	50,01	3,37	4,45	0,99	0,639	2,78	3,00	0,51	1,77
34	20	3,333E-04	4,103E-04	8,0	11,0	0,93	2,839	0,010	11,04	0,15	43,0	0,24	0,367	43,00	3,55	4,54	1,16	0,647	3,91	3,49	1,57	2,89
35	20	3,333E-04	4,103E-04	10,0	11,0	0,93	2,839	0,010	11,04	0,18	50,0	0,21	0,293	50,00	3,55	4,54	1,16	0,656	4,55	3,50	2,45	3,53
36	20	3,333E-04	4,103E-04	6,0	11,0	0,93	2,839	0,010	11,04	0,23	55,0	0,19	0,254	55,00	3,55	4,54	1,16	0,664	5,00	4,09	3,20	3,98
37	50	8,333E-04	1,026E-03	28,0	20,0	1,28	2,895	0,026	20,08	0,15	66,0	0,39	0,483	66,01	3,62	4,57	1,25	0,671	3,30	2,27	0,92	2,29
38	50	8,333E-04	1,026E-03	22,0	20,0	1,28	2,895	0,026	20,08	0,15	60,0	0,43	0,557	60,01	3,62	4,57	1,25	0,679	3,00	2,50	0,67	1,99
39	65	1,083E-03	1,334E-03	27,0	23,0	1,45	3,052	0,033	23,11	0,25	85,0	0,39	0,430	85,01	3,84	4,67	1,50	0,686	3,70	2,94	1,33	2,68
40	35	5,833E-04	7,181E-04	11,0	15,0	1,20	3,120	0,018	15,07	0,28	65,0	0,28	0,346	65,00	3,94	4,71	1,61	0,692	4,33	4,23	2,14	3,31
41	50	8,333E-04	1,026E-03	14,0	19,0	1,35	3,126	0,026	19,09	0,28	85,0	0,30	0,330	85,00	3,95	4,71	1,62	0,699	4,47	3,24	2,34	3,45
42	50	8,333E-04	1,026E-03	22,0	19,0	1,35	3,126	0,026	19,09	0,15	63,0	0,41	0,518	63,01	3,95	4,71	1,62	0,705	3,32	2,38	0,94	2,30
43	55	9,167E-04	1,128E-03	21,0	20,0	1,41	3,184	0,028	20,10	0,25	85,0	0,33	0,363	85,01	4,03	4,74	1,73	0,711	4,25	2,94	2,02	3,23
44	55	9,167E-04	1,128E-03	22,0	20,0	1,41	3,184	0,028	20,10	0,30	80,0	0,35	0,398	80,01	4,03	4,74	1,73	0,716	4,00	3,75	1,69	2,98
45	5	8,333E-05	1,026E-04	4,0	4,0	0,64	3,237	0,003	4,02	0,13	25,0	0,10	0,207	25,00	4,10	4,77	1,82	0,722	6,25	5,00	5,79	5,22
46	20	3,333E-04	4,103E-04	8,0	10,0	1,03	3,275	0,010	10,05	0,18	40,0	0,26	0,409	40,00	4,16	4,79	1,89	0,727	4,00	4,38	1,69	2,98
47	20	3,333E-04	4,103E-04	8,0	10,0	1,03	3,275	0,010	10,05	0,18	36,0	0,28	0,479	36,00	4,16	4,79	1,89	0,732	3,60	4,86	1,22	2,58
48	20	3,333E-04	4,103E-04	6,0	10,0	1,03	3,275	0,010	10,05	0,15	40,0	0,26	0,409	40,00	4,16	4,79	1,89	0,737	4,00	3,75	1,69	2,98
49	20	3,333E-04	4,103E-04	4,0	10,0	1,03	3,275	0,010	10,05	0,15	50,0	0,21	0,293	50,00	4,16	4,79	1,89	0,742	5,00	3,00	3,20	3,97
50	95	1,583E-03	1,949E-03	35,0	28,0	1,74	3,320	0,049	28,15	0,25	120,0	0,41	0,374	120,01	4,22	4,81	1,98	0,746	4,29	2,08	2,07	3,26

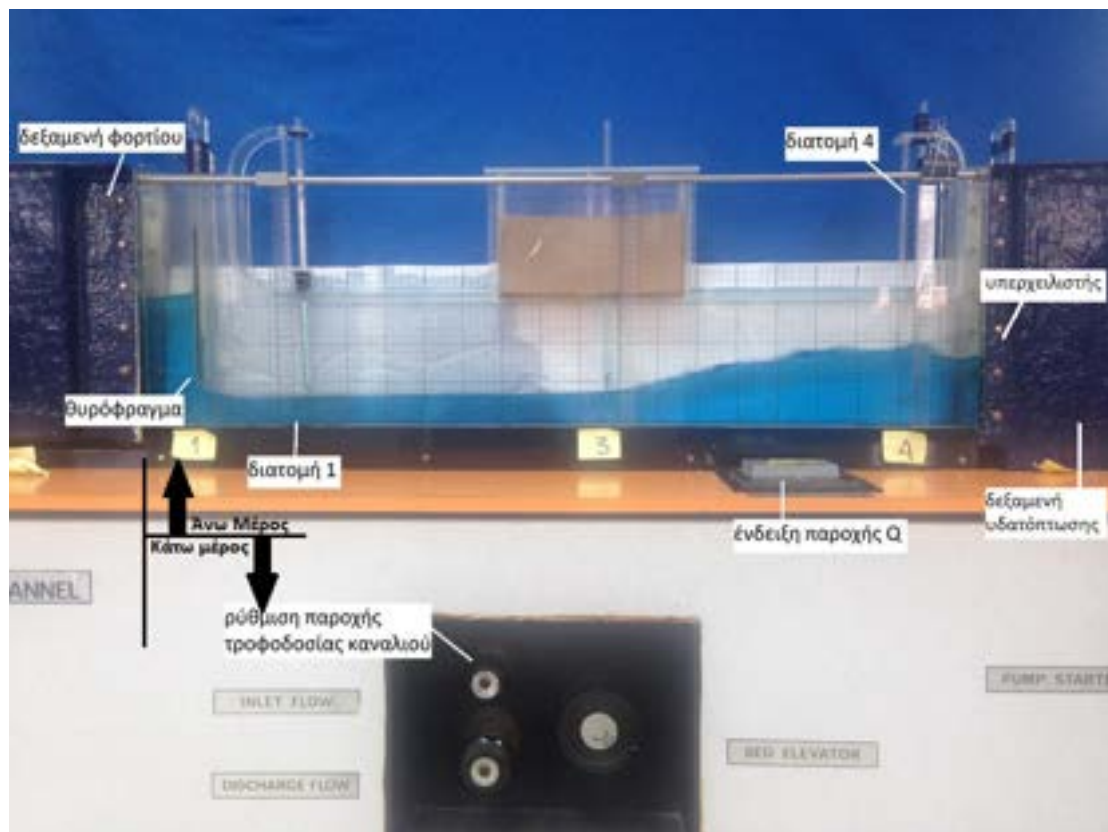
		ανάπτυξη				ανάπτυξη				ανάπτυξη				Αδιάστατα μεγέθη								
		παροχή				Διατομή 1				Διατομή 4				Θεωρητικές τιμές				Πειραματικές τιμές				
α/α	Q lt/min	Q m3/sec	διορθωμένη Q, [m3/s]	Υψος θ/φ [mm]	γ1 [mm]	U1 [m/s]	Fr1	q (m2/s)	E1	L [m]	γ4 [mm]	U4 [m/s]	Fr4	E4	γ4/γ1	U4/γ1	ΔE/γ1	ΔE/E1	γ4/γ1 Fr1	(U4/γ1) Fr1	ΔE/γ1 - Fr1	ΔE/E1 1 - Fr1
51	95	1,583E-03	1,949E-03	35,0	28,0	1,74	3,320	0,049	28,15	0,30	122,0	0,40	0,365	122,01	4,22	4,81	1,98	0,751	4,36	2,46	2,17	3,33
52	50	8,333E-04	1,026E-03	22,0	18,0	1,42	3,391	0,026	18,10	0,15	54,0	0,47	0,653	54,01	4,32	4,84	2,12	0,755	3,00	2,78	0,67	1,98
53	60	1,000E-03	1,231E-03	20,0	20,0	1,54	3,474	0,031	20,12		91,0	0,34	0,358	91,01	4,44	4,88	2,29	0,759	4,55	0,00	2,46	3,52
54	60	1,000E-03	1,231E-03	24,0	20,0	1,54	3,474	0,031	20,12		95,0	0,32	0,336	95,01	4,44	4,88	2,29	0,763	4,75	0,00	2,78	3,72
55	65	1,083E-03	1,334E-03	26,0	21,0	1,59	3,498	0,033	21,13	0,20	89,0	0,37	0,401	89,01	4,47	4,89	2,34	0,767	4,24	2,25	2,00	3,21
56	65	1,083E-03	1,334E-03	26,0	21,0	1,59	3,498	0,033	21,13	0,25	90,0	0,37	0,394	90,01	4,47	4,89	2,34	0,771	4,29	2,78	2,07	3,26
57	40	6,667E-04	8,207E-04	16,0	15,0	1,37	3,566	0,021	15,10	0,23	60,0	0,34	0,446	60,01	4,57	4,92	2,48	0,774	4,00	3,75	1,69	2,98
58	40	6,667E-04	8,207E-04	21,0	15,0	1,37	3,566	0,021	15,10	0,15	55,0	0,37	0,508	55,01	4,57	4,92	2,48	0,778	3,67	2,73	1,29	2,64
59	60	1,000E-03	1,231E-03	23,0	19,0	1,62	3,752	0,031	19,13		95,0	0,32	0,336	95,01	4,83	4,99	2,91	0,781	5,00	0,00	3,20	3,97
60	60	1,000E-03	1,231E-03	23,0	19,0	1,62	3,752	0,031	19,13		94,0	0,33	0,341	94,01	4,83	4,99	2,91	0,784	4,95	0,00	3,11	3,91
61	65	1,083E-03	1,334E-03	26,0	20,0	1,67	3,763	0,033	20,14	0,20	80,0	0,42	0,470	80,01	4,85	4,99	2,93	0,788	4,00	2,50	1,69	2,97
62	75	1,250E-03	1,539E-03	26,0	22,0	1,75	3,764	0,038	22,16	0,25	98,0	0,39	0,400	98,01	4,85	4,99	2,94	0,791	4,45	2,55	2,31	3,42
63	70	1,167E-03	1,436E-03	6,0	21,0	1,71	3,767	0,036	21,15	0,25	91,0	0,39	0,418	91,01	4,85	4,99	2,94	0,794	4,33	2,75	2,14	3,30
64	70	1,167E-03	1,436E-03	25,0	21,0	1,71	3,767	0,036	21,15	0,30	100,0	0,36	0,363	100,01	4,85	4,99	2,94	0,797	4,76	3,00	2,80	3,73
65	70	1,167E-03	1,436E-03	25,0	21,0	1,71	3,767	0,036	21,15	0,30	101,0	0,36	0,357	101,01	4,85	4,99	2,94	0,8	4,81	2,97	2,87	3,78
66	95	1,583E-03	1,949E-03	35,0	25,0	1,95	3,936	0,049	25,19	0,35	120,0	0,41	0,374	120,01	5,09	5,05	3,36	0,802	4,80	2,92	2,86	3,76
67	95	1,583E-03	1,949E-03	35,0	25,0	1,95	3,936	0,049	25,19	0,35	132,0	0,37	0,324	132,01	5,09	5,05	3,36	0,805	5,28	2,65	3,71	4,24
68	40	6,667E-04	8,207E-04	16,0	14,0	1,47	3,954	0,021	14,11	0,18	55,0	0,37	0,508	55,01	5,11	5,05	3,41	0,808	3,93	3,18	1,60	2,90
69	40	6,667E-04	8,207E-04	15,0	14,0	1,47	3,954	0,021	14,11	0,20	75,0	0,29	0,319	75,00	5,11	5,05	3,41	0,81	5,36	2,67	3,86	4,32
70	70	1,167E-03	1,436E-03	22,0	20,0	1,80	4,053	0,036	20,16	0,30	90,0	0,40	0,425	90,01	5,25	5,09	3,66	0,813	4,50	3,33	2,38	3,46
71	55	9,167E-04	1,128E-03	18,0	17,0	1,66	4,064	0,028	17,14	0,20	55,0	0,51	0,698	55,01	5,27	5,09	3,69	0,815	3,24	3,64	0,86	2,21
72	60	1,000E-03	1,231E-03	19,0	18,0	1,71	4,069	0,031	18,15		90,0	0,34	0,364	90,01	5,28	5,09	3,70	0,818	5,00	0,00	3,20	3,96
73	100	1,667E-03	2,052E-03	34,0	25,0	2,05	4,143	0,051	25,21	0,25	116,0	0,44	0,415	116,01	5,38	5,08	3,91	0,82	4,64	2,16	2,60	3,60
74	75	1,250E-03	1,539E-03	44,0	20,0	1,92	4,342	0,038	20,19	0,30	95,0	0,40	0,419	95,01	5,66	5,05	4,47	0,822	4,75	3,16	2,78	3,71
75	100	1,667E-03	2,052E-03	26,0	24,0	2,14	4,404	0,051	24,23	0,35	110,0	0,47	0,449	110,01	5,75	5,04	4,66	0,824	4,58	3,18	2,51	3,54
76	40	6,667E-04	8,207E-04	14,0	13,0	1,58	4,419	0,021	13,13	0,23	70,0	0,29	0,354	70,00	5,77	5,04	4,70	0,826	5,38	3,21	3,91	4,33
77	20	3,333E-04	4,103E-04	7,0	8,0	1,28	4,577	0,010	8,08	0,10	30,0	0,34	0,630	30,01	5,99	5,01	5,19	0,828	3,75	3,33	1,39	2,71
78	80	1,333E-03	1,641E-03	23,0	20,0	2,05	4,632	0,041	20,21	0,40	95,0	0,43	0,447	95,01	6,07	5,01	5,37	0,831	4,75	4,21	2,78	3,70
79	80	1,333E-03	1,641E-03	23,0	20,0	2,05	4,632	0,041	20,21	0,30	100,0	0,41	0,414	100,01	6,07	5,01	5,37	0,833	5,00	3,00	3,20	3,95
80	55	9,167E-04	1,128E-03	20,0	15,0	1,88	4,903	0,028	15,18	0,23	80,0	0,35	0,398	80,01	6,45	4,96	6,28	0,834	5,33	2,81	3,81	4,27
81	85	1,417E-03	1,744E-03	16,0	20,0	2,18	4,921	0,044	20,24	0,25	83,0	0,53	0,582	83,01	6,48	4,96	6,34	0,836	4,15	3,01	1,88	3,10
82	100	1,667E-03	2,052E-03	24,0	22,0	2,33	5,019	0,051	22,28	0,50	100,0	0,51	0,518	100,01	6,61	4,95	6,69	0,838	4,55	5,00	2,45	3,49
83	100	1,667E-03	2,052E-03	24,0	22,0	2,33	5,019	0,051	22,28	0,50	98,0	0,52	0,534	98,01	6,61	4,95	6,69	0,84	4,45	5,10	2,31	3,40
84	100	1,667E-03	2,052E-03	24,0	22,0	2,33	5,019	0,051	22,28	0,25	110,0	0,47	0,449	110,01	6,61	4,95	6,69	0,842	5,00	2,27	3,20	3,94
85	100	1,667E-03	2,052E-03	24,0	21,0	2,44	5,381	0,051	21,30	0,55	105,0	0,49	0,481	105,01	7,13	4,89	8,07	0,844	5,00	5,24	3,20	3,93
86	100	1,667E-03	2,052E-03	26,0	20,0	2,56	5,790	0,051	20,34	0,40	111,0	0,46	0,443	111,01	7,70	4,83	9,78	0,845	5,55	3,60	4,24	4,46
87	100	1,667E-03	2,052E-03	26,0	20,0	2,56	5,790	0,051	20,34	0,70	110,0	0,47	0,449	110,01	7,70	4,83	9,78	0,847	5,50	6,36	4,14	4,41
88	65	1,083E-03	1,334E-03	12,0	15,0	2,22	5,794	0,033	15,25	0,25	72,0	0,46	0,551	72,01	7,71	4,83	9,79	0,849	4,80	3,47	2,86	3,72
89	70	1,167E-03	1,436E-03	15,0	15,0	2,39	6,240	0,036	15,29	0,25	85,0	0,42	0,463	85,01	8,34	4,76	11,85	0,85	5,67	2,94	4,48	4,56
90	70	1,167E-03	1,436E-03	12,0	15,0	2,39	6,240	0,036	15,29	0,25	78,0	0,46	0,526	78,01	8,34	4,76	11,85	0,852	5,20	3,21	3,56	4,10
91	50	8,333E-04	1,026E-03	11,0	11,0	2,33	7,097	0,026	11,28	0,18	68,0	0,38	0,462	68,01	9,55	4,64	16,36	0,853	6,18	2,57	5,63	5,03
92	50	8,333E-04	1,026E-03	11,0	11,0	2,33	7,097	0,026	11,28	0,18	60,0	0,43	0,557	60,01	9,55	4,64	16,36	0,855	5,45	2,92	4,05	4,32
93	85	1,417E-03	1,744E-03	16,0	15,0	2,91	7,577	0,044	15,43	0,20	85,0	0,51	0,562	85,01	10,23	4,56	19,20	0,856	5,67	2,35	4,48	4,51
94	85	1,417E-03	1,744E-03	16,0	15,0	2,91	7,577	0,044	15,43	0,25	95,0	0,46	0,475	95,01	10,23	4,56	19,20	0,858	6,33	2,63	5,99	5,16
95	85	1,417E-03	1,744E-03	16,0	15,0	2,91	7,577	0,044	15,43	0,35	89,0	0,49	0,524	89,01	10,23	4,56	19,20	0,859	5,93	3,93	5,06	4,77
96	70	1,167E-03	1,436E-03	12,0	13,0	2,76	7,734	0,036	13,39	0,15	73,0	0,49	0,581	73,01	10,45	4,54	20,18	0,86	5,62	2,05	4,38	4,45
97	90	1,500E-03	1,847E-03	14,0	15,0	3,08	8,023	0,046	15,48	0,25	78,0	0,59	0,677	78,02	10,86	4,50	22,05	0,862	5,20	3,21	3,56	4,04
98	90	1,500E-03	1,847E-03	14,0	15,0	3,08	8,023	0,046	15,48	0,20	85,0	0,54	0,595	85,02	10,86	4,50	22,05	0,863	5,67	2,35	4,48	4,49
99	50	8,333E-04	1,026E-03	11,0	10,0	2,56	8,188	0,026	10,34	0,20	65,0	0,39	0,494	65,01	11,09	4,47	23,16	0,865	6,50	3,08	6,40	5,29
100	50	8,333E-04	1,026E-03	11,0	10,0	2,56	8,188	0,026	10,34	0,15	65,0	0,39	0,494	65,01	11,09	4,47	23,16	0,866	6,50	2,31	6,40	5,29
101	20	3,333E-04	4,103E-04	5,0	5,0	2,05	9,264	0,010	5,21	0,18	43,0	0,24	0,367	43,00	12,61	4,31	31,03	0,868	8,60	4,07	12,76	7,25
102	70	1,167E-03	1,436E-03	12,0	10,0	3,59	11,463	0,036	10,66	0,25	75,0	0,48	0,558	75,01	15,72	3,98	50,72	0,869	7,50	3,33	9,15	6,04
103	70	1,167E-03	1,436E-03	6,0	10,0	3,59	11,463	0,036	10,66	0,18	50,0	0,72	1,025	50,03	15,72	3,98	50,72	0,871	5,00	3,50	3,20	3,69

Παράρτημα Β: Πως λειτουργεί: το κανάλι τύπου Armfields9094 (πειραματική διαδικασία)

Το εργαστηριακό κανάλι τύπου ArmfieldS9094 είναι ένας ανοιχτός εργαστηριακός αγωγός με διαφανή τοιχώματα που καθιστά ικανή την παρατήρηση και την μελέτη των ροϊκών μεταβολών όταν σε αυτόν κυκλοφορεί υγρό.

Η κύρια διάταξη του ορθογωνικού καναλιού χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη.

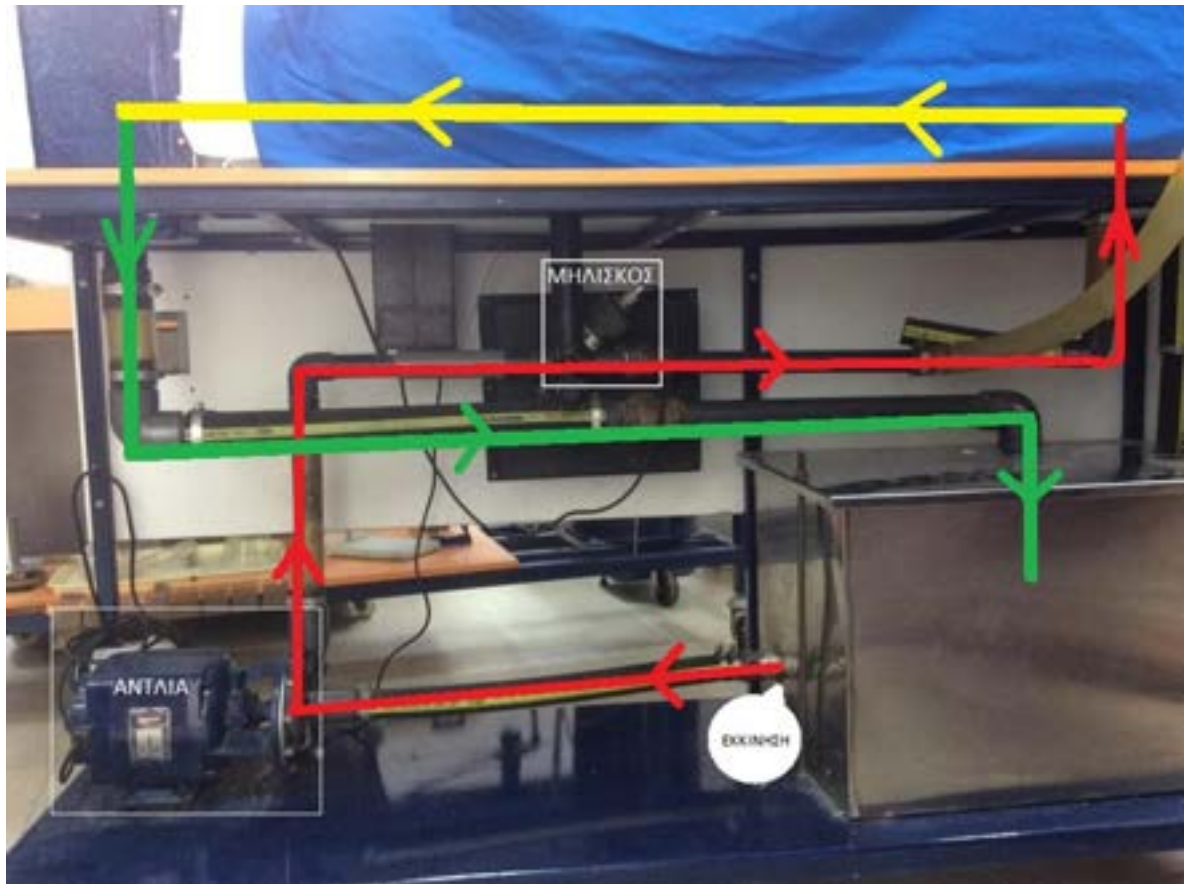
Το άνω μέρος, είναι αυτό που είναι ορατό και περιέχει στα δύο άκρα του (αριστερά και δεξιά) δύο δοχεία φόρτισης/παροχής και συλλογής αντίστοιχα) που ενώνονται μεταξύ τους με διαφανή τοιχώματα (αυτό καθαυτό το κύριο τμήμα του καναλιού) μέσω των οποίων από όπου είναι δυνατή η οπτική παρατήρηση της διαμόρφωσης της ροής.



Εικόνα Β1: Εμπρόσθια όψη καναλιού

Το κάτω μέρος, περιέχει όλη την συνδεσμολογία που καθιστά το κανάλι πλήρως αυτόνομο, καθώς η κυκλοφορία του νερού γίνεται με άντληση από ένα δοχείο φόρτισης που βρίσκεται νοητά κάτω από τον υπερχειλιστή. Στην εμπρόσθια όψη φαίνονται τρεις ρυθμιστικοί διακόπτες.

Για να γίνει κατανοητή η λειτουργία του αγωγού θα περιστρέψουμε το κανάλι κατά 180°, ώστε να φανεί το πίσω μέρος.



Εικόνα Β2 : πίσω όψη καναλιού

Στην παραπάνω φωτογραφία απεικονίζεται γραφικά η λειτουργία του καναλιού

Με κόκκινα βέλη σημειώνεται η έξοδος του νερού από το δοχείο φόρτισης κατά την λειτουργία της αντλίας, στην συνέχεια το υγρό περνά από το παροχόμετρο-μυλίσκος όπου στην όψη του μηχανήματος υπάρχει οθόνη ενδείξεων (εικόνα Β1). Με κίτρινα βέλη σημειώνεται η ροή στο άνω μέρος του καναλιού όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τον παρατηρητή λόγω των διαφανών τοιχωμάτων του καναλιού (στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει τοποθετηθεί μια μπλε ταπετσαρία στο άνω πίσω μέρος, προκειμένου να εξυπηρετήσει τις φωτογραφικές λήψεις που θα γίνουν στο πειραματικό στάδιο).

Έπειτα, μέσω της λεκάνης υδατόπτωσης του αγωγού, το νερό επιστρέφει στο δοχείο φόρτισης, η διαδικασία σημειώνεται με πράσινα βέλη.

Η παραπάνω διαδρομή επαναλαμβάνεται αδιάκοπα για όσο η αντλία θα βρίσκεται σε λειτουργία.

Όταν λοιπόν το κανάλι βρίσκεται σε λειτουργία ο χειριστής έχει την δυνατότητα να μεταβάλει το ύψος του θυροφράγματος, τον υπερχειλιστή, την αποχέτευση της υδατόπτωσης και την παροχή του καναλιού. Με απώτερο σκοπό να δημιουργήσει τις κατάλληλες ροϊκές συνθήκες για να μελετήσει ή να προκαλέσει έναν συγκεκριμένο τύπο ροής (π.χ. ποτάμια, χειμαρρώδης, υδραυλικά άλματα, ροή σε αναβαθμούς ήκαταβαθμούςκλπ).

Γεωμετρικά στοιχεία του καναλιού

- Συνολικό μήκος $L=1\text{ m}$
- Πλάτος $b=0.04\text{ m}$
- Μέγιστο βάθος ροής $y_{\max}=0.3\text{ m}$

Παράρτημα Γ: Τι είναι το παροχόμετρο και πως λειτουργεί

Το παροχόμετρο είναι ένα ηλεκτρονικό μετρητικό όργανο της παροχής των υγρών που ρέουν σε κλειστό αγωγό. Παρεμβάλλεται στην εκάστοτε διάταξη για να προβάλλει τις μετρήσεις στην οθόνη ενδείξεων και λειτουργεί με δική του ξεχωριστή ηλεκτρική παροχή.

Στο συγκεκριμένο κανάλι είναι τοποθετημένο ένα παροχόμετρο τύπου RhodesNo7067. Εάν αυτό αποσυναρμολογηθεί, θα χωριστεί σε τρία μέρη. Το πρώτο είναι μονίμως εγκατεστημένο, εμβόλιμα στον αγωγό, ώστε να ρέει το υγρό σε αυτό. Το δεύτερο με το τρίτο μέρος αποσπώνται από κοινού και στην συνέχεια διαχωρίζονται, όπως φαίνεται στην εικόνα Γ1.



Εικόνα Γ1: Τα κύρια εξαρτήματα του παροχόμετρου μιλίσκου. Αριστερά η περιστρεφόμενη πτερωτή του μιλίσκου και δεξιά ο αισθητήρας της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής

Το δεύτερο μέρος, με τα στοιχεία του μοντέλου στην στεφάνη του, έχει και 2 οπές, οι οποίες ηλεκτροδοτούν τον μετρητή. Η προπέλα ή αλλιώς μιλίσκος αποτελεί το τρίτο τμήμα του παροχόμετρου και εφαρμόζει στο κάτω μέρος του δευτέρου και στην συνέχεια κουμπώνουν μαζί στο πρώτο τμήμα (εικόνα Β2) με την προπέλα να εισέρχεται στον αγωγό.



Εικόνα Γ2: Η θέση του παροχόμετρου στην διάταξη

Καθώς το υγρό ρέει στην διάταξη, ο μυλίσκος περιστρέφεται, συνυπολογίζοντας την μάζα όγκου του υγρού που το διαπερνά με τον χρόνο και στην συνέχεια επιστρέφει μια παροχή στην οθόνη ενδείξεων. Υπάρχουν δύο τύποι ενδείξεων, ψηφιακοί και αναλογικοί. Ο συγκεκριμένος μετρητής μας παρέχει αναλογικά αποτελέσματα μετρήσεων.



Εικόνα Γ3: Οθόνη ενδείξεων

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων παρατηρήθηκε μια αδυναμία του παροχόμετρου να δώσει συγκεκριμένες τιμές για παροχές, μικρότερες από 10 lt/min

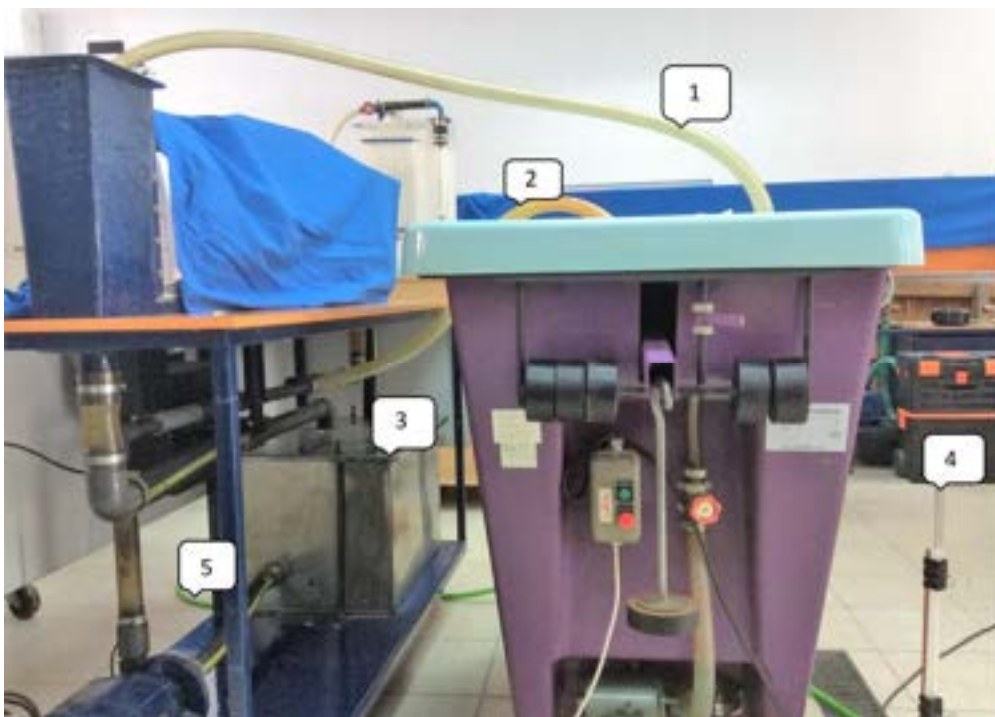
Με αυτήν την αφορμή αποσυναρμολογήθηκε ο μετρητής και διαπιστώσαμε πως η πολύχρονη χρήση των εγκαταστάσεων του εργαστηρίου υδραυλικής έφερε ως αποτέλεσμα την σταδιακή φθορά ορισμένων μηχανικών τμημάτων. Εάν εστιάσετε, η φθορά στον μυλίσκο είναι εμφανής και με γυμνό μάτι στην εικόνα Γ4.



Εικόνα Γ4: Λεπτομέρεια της πτερωτής του μυλίσκου με ίχνη διάβρωσης και απόθεσης αλάτων

Για το λόγο αυτό κρίθηκε απαραίτητο να κατασκευαστεί ένα νομόγραμμα που θα αφορά την ένδειξη της παροχής Q στο κανάλι του εργαστηρίου. Αναζητείται μια μαθηματική σχέση της πραγματικής και της εσφαλμένης παροχής που προκύπτει από την φθορά.

Ο έλεγχος του παροχόμετρου έγινε με την χρήση της Υδραυλικής Τράπεζας η οποία παρεμβλήθηκε στην διάταξη του καναλιού. Όπως φαίνεται παρακάτω. Γίνεται χρήση της Υ/Τ διότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προκύπτουν μέσω αυτής υποδεικνύουν την πραγματική παροχή που διέρχεται από τον μυλίσκο, αγνοώντας τις αστοχίες που προκαλεί η φθορά του.



Εικόνα Γ5: το κανάλι σε υδραυλική σύνδεση με την υδραυλική τράπεζα

Επεξήγηση εικόνας Γ5

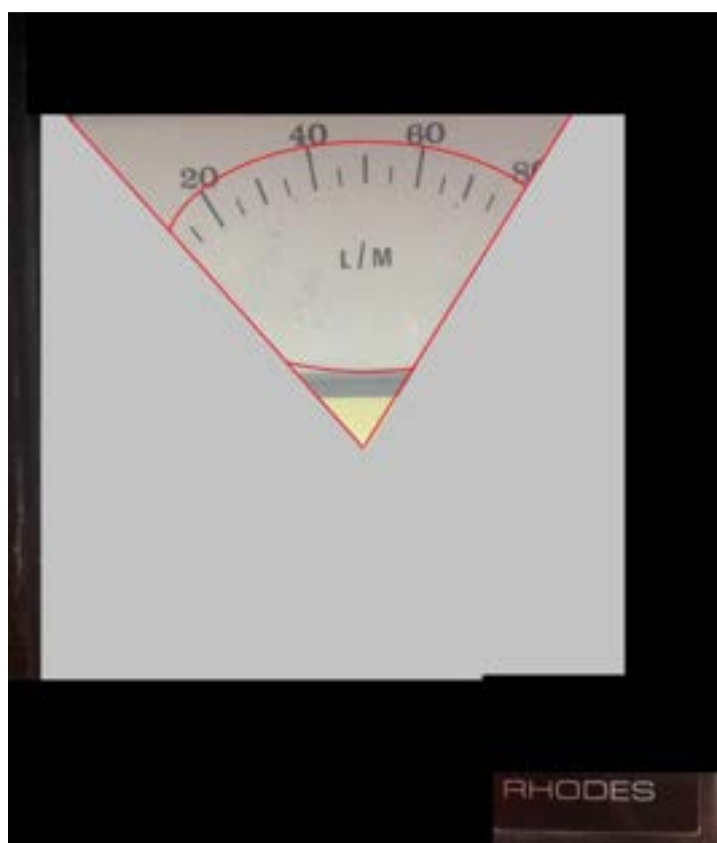
1. Σωλήνας τροφοδοσίας του μικρού καναλιού, όπου παρέχεται νερό από την Υ/Τ.
2. Σωλήνας εξόδου από το κανάλι προς το ζυγιστικό δοχείο της Υ/Τ.
3. Δεξαμενή φόρτισης του καναλιού.
4. Γυάλινος σωλήνας, ώστε να παρακολουθείται η στάθμη της δεξαμενής φόρτισης του καναλιού.
5. Σωλήνας που συνδέει την δεξαμενή φόρτισης 3 από το χαμηλότερο σημείο της, με το γυάλινο σωλήνα 4.

Ποιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκε μετά τον μυλίσκο μία εύκαμπτη μακριά σωλήνα στην διάταξη του καναλιού που καταλήγει στο δοχείο πλήρωσης της υδραυλικής τράπεζας μέσω της οπής 3 και η σωλήνα που σχετίζεται με την αντλία της υδραυλικής τράπεζας καταλήγει απευθείας στην δεξαμενή φορτίου του καναλιού. Επομένως το κανάλι γεμίζει μέσω της υδραυλικής τράπεζας και αδειάζει στο δοχείο φόρτισης αυτής. Για να λειτουργήσει το σύστημα αυτό τίθενται σε λειτουργία και οι δύο αντλίες της νέας διάταξης. Αρχικά, ενεργοποιείται η αντλία του καναλιού για να σταθεροποιηθεί η βελόνα της ένδειξης του παροχόμετρου και στην συνέχεια τίθεται σε λειτουργία η υδραυλική τράπεζα από όπου λαμβάνουμε τις μετρήσεις.

Συνοπτικά η διαδικασία μέτρησης της παροχής Q

- Τίθεται σε λειτουργία η αντλία του καναλιού μήκους 1m.
- Ρυθμίζεται η παροχή τροφοδοσίας του καναλιού σε όσες περισσότερες θέσεις μας επιτρέπεται, ώστε η βελόνα του παροχόμετρου (Εικόνα Γ3) να παραμένει όσο το δυνατότερο ακλόνητη στην ένδειξη που της υποδείχθηκε από τον χειριστή.
- Τίθεται σε λειτουργία η Υ/Τ
- Λαμβάνονται οι μετρήσεις από την Υ/Τ
- Επεξεργασία μετρήσεων

Σημείωση: Λόγω των τριβών που προκαλούσε η φθορά του μυλίσκου ήταν αδύνατο να δοθούν στοιχεία για παροχές κάτω από 10lt/min. Επιπλέον η αντλία του καναλιού είναι ισχυρότερη από αυτήν της Υδραυλικής Τράπεζας, έτσι καθίσταται αδύνατη η μέτρηση για παροχές μεγαλύτερες από 80lt/min διότι η δεξαμενή υδατόπτωσης του καναλιού άδειαζε γρηγορότερα από ότι επαναφορτιζόταν.



Εικόνα Γ6: περιοχή δυνατής σάρωσης από τον μιλίσκο

Βάζοντας λοιπόν , σε λειτουργία τις δύο συσκευές και λαμβάνοντας τις απαραίτητες μετρήσεις προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

kg	6		12		18		24		30			
q _w [l/m]	dt1 [s]	q1 [kg/s]	dt2 [s]	q2 [kg/s]	dt3 [s]	q3 [kg/s]	dt4 [s]	q4 [kg/s]	dt5 [s]	q5 [kg/s]	q _m [kg/s]	Q(q _w) [l/m]
10	32,420	0,185	32,380	0,185	32,300	0,186	32,860	0,183	33,030	0,182	0,184	11,044
10	33,010	0,182	33,660	0,178	33,400	0,180	33,550	0,179	37,350	0,161	0,176	10,950
10	29,950	0,200	29,050	0,207	29,530	0,203	29,460	0,204	29,910	0,201	0,203	12,172
10	31,330	0,192	31,660	0,190	32,050	0,187	32,480	0,185	32,770	0,183	0,187	11,233
15	20,050	0,299	20,630	0,291	25,320	0,237	24,190	0,248			0,269	16,126
15	19,540	0,307	19,800	0,303	20,310	0,295	21,700	0,276			0,296	17,730
15	19,750	0,303	19,330	0,310	20,010	0,300	20,000	0,300	20,430	0,294	0,301	18,085
15	19,980	0,300	20,100	0,299	20,550	0,292	20,310	0,295	20,100	0,295	0,297	17,816
20	17,910	0,335	24,380	0,246	16,210	0,370	33,280	0,181			0,283	16,989
20	18,300	0,328	17,930	0,335	18,350	0,327	17,930	0,335	17,330	0,348	0,334	20,044
25	12,660	0,473	12,700	0,472	13,030	0,460	13,180	0,455	12,860	0,467	0,466	27,930
25	12,530	0,479	13,030	0,460	12,990	0,462	13,280	0,452	12,800	0,469	0,464	27,851
30	11,380	0,527	10,980	0,546	11,180	0,537	11,280	0,542	11,030	0,544	0,539	32,350
30	11,630	0,516	11,030	0,544	11,370	0,528	11,310	0,531	11,310	0,531	0,530	31,783
35	10,000	0,600	9,600	0,625	9,260	0,648	9,550	0,622	9,600	0,625	0,624	37,437
35	9,510	0,631	9,610	0,624	9,300	0,645	9,460	0,634	10,110	0,593	0,626	37,538
40	8,230	0,729	8,110	0,740	8,580	0,699	8,980	0,668	7,100	0,845	0,736	44,177
50	6,400	0,938	6,160	0,974	6,130	0,979	5,330	0,948	6,000	1,000	0,968	58,058
50			12,550	0,956	6,210	0,966	5,160	0,974	6,100	0,984	0,970	58,200
60	4,630	1,296	5,100	1,176	4,410	1,361	4,820	1,245	4,660	1,288	1,273	76,383
60	5,300	1,132	5,080	1,181	4,670	1,285	4,310	1,392	4,880	1,230	1,244	74,635
70	3,980	1,527	4,250	1,412	4,180	1,435	3,990	1,504	3,880	1,546	1,485	89,088
80	3,410	1,750	3,400	1,765	3,250	1,846	2,880	2,083	3,780	1,587	1,808	108,492
80	3,430	1,749	3,160	1,899	3,330	1,802	3,230	1,858	3,310	1,813	1,824	109,441

Πίνακας Γ1 : Αποτελέσματα μετρήσεων παροχής του « μικρού » καναλιού με χρήση Υ/Τ.

Κάθε σειρά του πίνακα αποτελεί μια μέτρηση για την εκάστοτε ρύθμιση του παροχόμετρου του μυλίσκου (υπάρχουν παραπάνω από μία μέτρηση για κάποιες παροχές). Στην προτελευταία στήλη αναγράφεται η μέση τιμή της παροχής μάζας και στην τελευταία στήλη αναφέρεται η ογκομετρική παροχή σε lt/min.

Συνοψίζοντας τον πίνακα Γ1 προκύπτει ο παρακάτω πίνακας στον οποίο έχουν προστεθεί δύο υπολογιστικές στήλες που διευκολύνουν την κατασκευή του νομογράμματος με την βοήθεια της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, που θα αναλυθεί στη συνέχεια του κεφαλαίου.

α/α	qw[l/m] (x)	Q(qw) [l/m] (y)	x*y	x²
1	10	11,044	110,438	100,000
2	10	10,550	105,496	100,000
3	10	12,172	121,719	100,000
4	10	11,233	112,326	100,000
5	15	16,126	241,896	225,000
6	15	17,730	265,953	225,000
7	15	18,085	271,281	225,000
8	15	17,816	267,247	225,000
9	20	16,989	339,790	400,000
10	20	20,044	400,880	400,000
11	25	27,930	698,258	625,000
12	25	27,861	696,533	625,000
13	30	32,350	970,506	900,000
14	30	31,783	953,493	900,000
15	35	37,437	1.310,278	1.225,000
16	35	37,538	1.313,822	1.225,000
17	40	44,177	1.767,067	1.600,000
18	50	58,058	2.902,912	2.500,000
19	50	58,200	2.909,994	2.500,000
20	60	76,383	4.583,000	3.600,000
21	60	74,635	4.478,108	3.600,000
22	70	89,088	6.236,194	4.900,000
23	80	108,492	8.679,384	6.400,000
24	80	109,441	8.755,278	6.400,000
total	810	965,164	48.491,853	39.100,000

Πίνακας Γ2: Συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων

Η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων

Σκοπός της μεθόδου είναι να ελαχιστοποιηθεί το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων μεταξύ θεωρητικών και πραγματικών τιμών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι πραγματικές τιμές είναι αυτές που προέκυψαν από την ζύγιση με την χρήση της υδραυλικής τράπεζας καθώς οι τιμές της ένδειξης του παροχόμετρου του μυλίσκου αποτελούν τις θεωρητικές τιμές της παροχής Q. Οι βασικοί τύποι που θα εκφράσουν την γραμμική συνάρτηση στην προκειμένη περίπτωση είναι:

$$b = \frac{N \sum_{i=1}^N (y_i x_i) - \left(\sum_{i=1}^N y_i \right) \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)}{N \sum_{i=1}^N (x_i^2) - \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)^2}$$
$$a = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N x_i - b \sum_{i=1}^N y_i \right)$$

Όπου:

b: η κλίση της ευθείας

a: η τεταγμένη της τομής της ευθείας με τον κάθετο άξονα των Y

Πραγματοποιώντας τους αριθμητικούς υπολογισμούς προκύπτει:

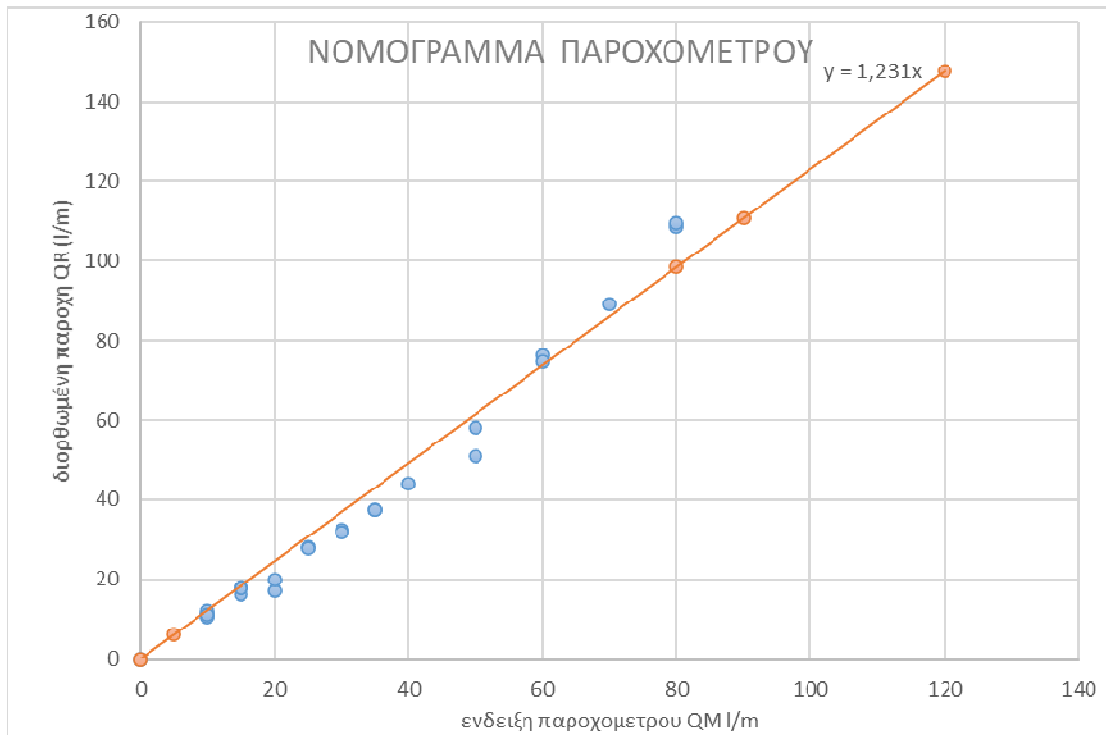
$$b=1,330 \text{ και } a=-4,762$$

Όμως η γραφική παράσταση πρέπει να περνάει από την αρχή των αξόνων εφόσον στις μηδενικές παροχές δεν υπάρχουν αποκλίσεις μεταξύ των θεωρητικών και πραγματικών τιμών. Έτσι θα ζητηθεί να βρεθεί το κατάλληλο b ώστε να ισχύει a=0.

Επιλύοντας τους τύπους για: a=0

$$\text{Προκύπτει: } b=1.231$$

Άρα η ευθεία θα είναι της μορφής $y = 1.231x$



Διάγραμμα Γ1: Νομόγραμμα συσχέτισης παροχής Y/T με τις ενδείξεις παροχομέτρου του μολίσκου - «διορθωμένη παροχή» (αποτύπωση της ευθείας $y=1.231 \cdot x$)

$$y=1.231 \cdot x \text{ (Σχέση ΠΓ.1.1)}$$

y: Η πραγματική παροχή (l/m)

x: Η ένδειξη της παροχής στο κανάλι (l/m)

Αυτό το Νομόγραμμα πλέον μπορεί να αποτελέσει αναπόσπαστο εργαλείο οποιασδήποτε χρήσης του καναλιού, μιας και περιγράφει μαθηματικά και γραφικά την σχέση της πραγματικής με της αναγραφόμενης παροχής του καναλιού.

Βιβλιογραφία

- 1) Τερζίδης, Γ. (1996) «Μαθήματα Υδραυλικής: 1. Γενική Υδραυλική», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη ISBN 960-431-261-8
- 2) Τερζίδης, Γ. (1996) «Μαθήματα Υδραυλικής: 3. Ανοικτοί Αγωγοί», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη ISBN 960-431-264-2
- 3) Μ. Βαλαβανίδης «Σημειώσεις, Εργαστήριο Υδραυλικής II», Οκτώβριος 2016