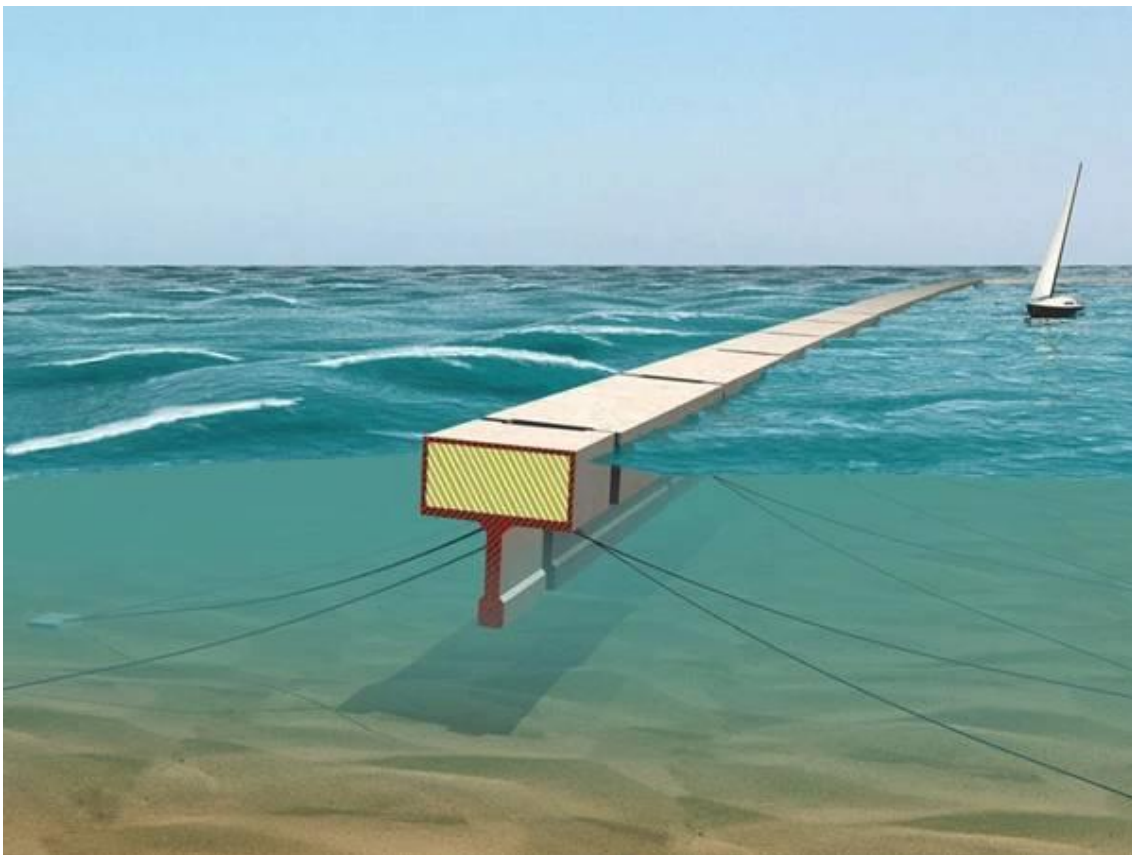




Μελέτη Πλωτού Κυματοθραύστη

Αριστοκλής Ρήγας – Θεόδωρος Μαραϊδώνης



Σίνδος
Ιούνιος 2018

Μελέτη Πλωτού Κυματοθραύστη

Αριστοκλής Ρήγας – Θεόδωρος Μαραϊδώνης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Σαββίδης Ιωάννης

Σβωλόπουλος Ιωάννης

Μητσούδη-Γαληνού Σοφία

Σύνδος

Ιούνιος 2018

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iv
ABSTRACT	v
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
Πλωτοί Κυματοθραύστες	1
Πεδία Εφαρμογής	2
Πλεονεκτήματα.....	3
Μειονεκτήματα.....	3
Ιστορική Αναδρομή	4
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	6
Διάταξη Πειράματος.....	6
Εκτέλεση.....	8
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	11
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	17
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	21

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θεωρούμε υποχρέωσή μας να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή κ. Πεχλιβανίδη Γεώργιο, ο οποίος ανέλαβε την επίβλεψη της πτυχιακής μας εργασίας, πριν την αφυπηρέτησή του και συνέχισε την υποστήριξη και παρακολούθηση της εργασίας μέχρι την ολοκλήρωσή της. Επίσης ευχαριστούμε τον καθηγητή κ. Σαββίδη Ιωάννη για την καλοσύνη που είχε να αναλάβει την ιδιότητα του επιβλέποντα της πτυχιακής μας μετά την αφυπηρέτηση του κ. Πεχλιβανίδη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά την μελέτη των πλωτών κυματοθραυστών. Εξετάζουμε πώς επιδρά το μήκος κύματος και το της ύψος υδάτινης στήλης του νερού κάτω από τον κυματοθραύστη στο ύψος κύματος μετά από αυτόν. Εκτελέσαμε τριάντα επτά πειράματα σε μοντέλο κυματοθραύστη τοποθετημένο σε κανάλι νερού. Στη συνέχεια επεξεργαστήκαμε τα αποτελέσματα και δημιουργήσαμε τρία διαγράμματα ελέγχοντας τη σχέση των προαναφερθέντων μεγεθών.

ABSTRACT

In this thesis we study about floating breakwaters. We examine how wave length and water depth effect the height of waves after the breakwater. We executed thirty-seven experiments on a smaller scale breakwater. After that, we processed the results and created three diagrams in order to interpreted the relation of the above parameters.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα λιμενικά έργα και τα έργα προστασίας των ακτών διακρίνονται στα εγκάρσια έργα και στα παράλληλα. Οι κυματοθραύστες είναι έργα παράλληλα τα οποία δεν έχουν σημείο επαφής με την ακτή. Σκοπός τους είναι να προστατεύουν τις ακτογραμμές από τους ισχυρούς κυματισμούς και σε μερικές περιπτώσεις να εμποδίσουν την διάβρωση του πυθμένα. Επίσης είναι τρόπος προστασίας λιμανιών ώστε να γίνεται ασφαλής η προσέγγιση και αγκυροδέτηση των σκαφών. Οι βασικότερες κατηγορίες τους είναι οι συμβατικοί και οι πλωτοί (Ραπαντα,2015).

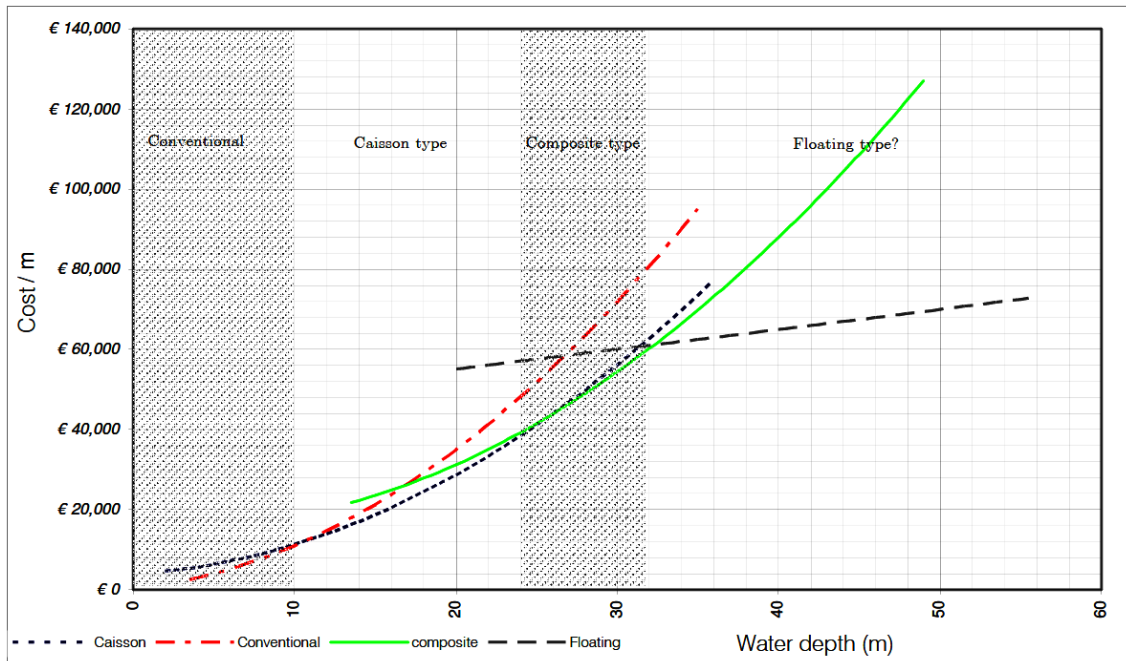
Παλιότερα κατασκευάζονταν κυρίως συμβατικοί κυματοθραύστες οι οποίοι ήταν σταθεροί εδραζόμενοι στον πυθμένα. Παρέχουν μία αποτελεσματική λύση στις περιοχές που εφαρμόζονται, ωστόσο είναι αντικοινομικοί σε περιπτώσεις μεγάλων βαθών. Επίσης, οι συμβατικοί κυματοθραύστες εμποδίζουν την ανανέωση των θαλάσσιων μαζών προκαλώντας περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ζούμε σε μία εποχή που εντείνεται η προσπάθεια κατασκευής έργων που ελαχιστοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, με στόχο τη μεγιστοποίηση της περιβαλλοντικής απόδοσης κάθε νέας και υφιστάμενης κατασκευής και στηρίζεται στις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης. Στο πλαίσιο της προσπάθειας αυτής οι πλωτοί κυματοθραύστες υπερτερούν των συμβατικών (Λουκογεωργάκη, 2007).

Πλωτοί Κυματοθραύστες

Οι πλωτοί κυματοθραύστες (ΠΚ) αποτελούν μία εναλλακτική λύση στην προστασία περιοχών από ανεπιθύμητους κυματισμούς, σε σχέση με τους συμβατικούς. Προτιμώνται κυρίως σε μικρούς λιμένες και λιγότερο συχνά σε ακτογραμμές προστατεύοντας τις από διάβρωση. Το αυξανόμενο κατασκευαστικό ενδιαφέρον για τους ΠΚ οδήγησε και στην εκπόνηση διάφορων μελετών εξετάζοντάς τους από οικονομική σκοπιά.

Μάλιστα στη διατριβή του Fousert (2006), έγινε μια σύγκριση μεταξύ τεσσάρων διαφορετικών τύπων κυματοθραυστών σχετικά με το κόστος κατασκευής τους. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 1, με κόκκινη γραμμή συμβολίζονται οι συμβατικοί κυματοθραύστες, με πράσινη οι σύνθετοι, με μπλε οι κιβωτοειδείς και με γκρι διακεκομμένη γραμμή οι πλωτοί.



Εικόνα 1, Σύγκριση κατασκευαστικού κόστους/μέτρο βάθους

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι λίγο μετά τα 30 μέτρα βάθους, οι πλωτοί κυματοθραύστες είναι ιδανική επιλογή. Επίσης αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι βάσει της εικόνας 1 το κόστος κατασκευής των ΠΚ δείχνει να μην επηρεάζεται σημαντικά.

Πεδία Εφαρμογής

Οι ΠΚ παρέχουν ιδανικά αποτελέσματα σε συνθήκες με κυματισμό 1-1,5 μέτρα ύψος και ανώτατη κυματική περίοδο 4-6 δευτερόλεπτα. Βέβαια, δεν θα πρέπει να αποκλείεται η κατασκευή τους όταν οι παραπάνω τιμές είναι μεγαλύτερες καθώς έχει αποδειχθεί πρακτικά ότι σε περιοχές με δυσμενέστερες κυματικές συνθήκες αποδίδουν όπως πρέπει. Πεδία εφαρμογής μπορεί να είναι:

- Περιοχές εκτεθειμένες στους θαλάσσιους κυματισμούς που χρειάζονται προστασία για την δημιουργία νέων μαρίνων.
- Περιοχές που χρειάζονται προστασία για περιορισμένο χρόνο, όπως για παράδειγμα σε τουριστικές ακτές κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών.
- Περιοχές όπου παρουσιάζονται προβλήματα διάβρωσης των ακτών
- Περιοχές με βάθος που καθιστά την κατασκευή συμβατικών κυματοθραυστών ασύμφορη οικονομικά.
- Περιοχές προστατευόμενες περιβαλλοντικά
- Περιοχές με έντονο τουρισμό όπου αισθητικοί λόγοι προτείνουν την κατασκευή των ΠΚ (Λουκογεωργάκη, 2007), (Δαμαντουλάκη, 2007).

Πλεονεκτήματα

Σύμφωνα με τον McCartney (1985), μερικές περιπτώσεις που ευνοούν την επιλογή ΠΚ έναντι των συμβατικών είναι οι εξής:

- *Κακή ποιότητα θεμελίωσης:* Όταν το ανάγλυφο του πυθμένα δυσχεραίνει την επίτευξη καλής θεμελίωσης για έναν σταθερό κυματοθραύστη, τότε μπορεί να επιλεγθεί ΠΚ.
- *Βάθος:* Όταν το βάθος του νερού ξεπερνάει τα 6 μέτρα, οι συμβατικοί κυματοθραύστες που είναι θεμελιωμένοι στον πυθμένα, είναι συνήθως πιο κοστοβόρες κατασκευές σε σχέση με τους ΠΚ.
- *Επίδραση στο υδάτινο περιβάλλον:* Οι ΠΚ προκαλούν την μικρότερη παρέμβαση στην κυκλοφορία των υδάτινων μαζών και στην μετακίνηση των ψαριών.
- *Αναδιάταξη:* Οι ΠΚ πολλές φορές μπορούν να μετακινηθούν και να επανατοποθετηθούν σε νέα διάταξη χωρίς ιδιαίτερο κόστος.
- *Οπτική ρύπανση:* Οι ΠΚ είναι σαφώς λιγότερο επεμβατικοί σε σχέση με τους συμβατικούς.
- *Πάγος:* Σε μέρη όπου το χειμώνα αναπτύσσονται πάγοι και πρακτικά οι κυματοθραύστες προσφέρουν προστασία το καλοκαίρι, οι ΠΚ μπορούν να μεταφερθούν σε προστατευόμενες περιοχές αν ο πάγος αποτελεί πρόβλημα.

Μειονεκτήματα

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου οι ΠΚ δεν ενδείκνυνται σαν επιλογή σύμφωνα με τον Biesheuvel (2013), καθώς:

- Παρέχουν μικρότερη προστασία έναντι ισχυρών κυματισμών
- Είναι ευαίσθητοι σε περιπτώσεις όπου η συχνότητα των κυμάτων είναι κοντά στην ιδιοσυχνότητά τους (φαινόμενο συντονισμού).
- Είναι λιγότερο αποδοτικοί σε κύματα με μεγάλο μήκος.
- Οι συνεχείς κυματισμοί μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα κόπωσης των υλικών με τον καιρό.
- Το κόστος συντήρησης είναι υψηλότερο.

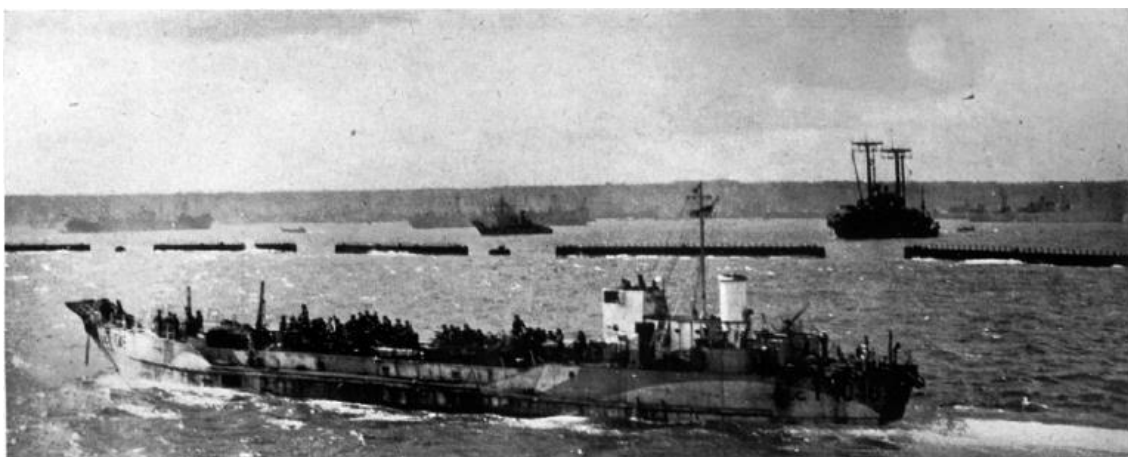
Ιστορική Αναδρομή



Ο πρώτος πλωτός κυματοθραύστης που κατασκευάστηκε θεωρείται ότι είναι αυτός που βρίσκεται στο Plymouth της Μεγάλης Βρετανίας. Η κατασκευή του ξεκίνησε το 1811 με σκοπό να δημιουργηθεί ένα ασφαλές καταφύγιο για το βασιλικό ναυτικό της Αγγλίας κατά τους Ναπολεόντειους Πολέμους. Αποτελείται κατά βάση από μεγάλους ασβεστόλιθους και χρειάστηκαν περίπου 4.000.000 τόνοι για την ολοκλήρωση της κατασκευής (<https://www.submerged.co.uk/plymouthbreakwater-building.php>).

*Εικόνα 2, Πανοραμική Άποψη του ΠΚ στο Plymouth,
<https://www.submerged.co.uk/plymouthbreakwater-building.php>*

Για πολλά χρόνια δεν υπήρξε κάποια άλλη αξιόλογη προσπάθεια κατασκευής πλωτού κυματοθραύστη. Κατά τη διάρκεια του ΈΒ Παγκοσμίου Πολέμου, οι Βρετανοί και πάλι είχαν την ιδέα κατασκευής ενός πλωτού κυματοθραύστη που θα προστάτευε στρατιώτες και υλικά κατά την απόβαση της Νορμανδίας. Έτσι σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ο “Bombardon”, όπως τον ονόμασαν, που αποτελούταν από συνδεδεμένα μεταλλικά στοιχεία συνολικού βάρους περίπου 250 τόνων χάλυβα (Lochner κ.ά., 1948). Τον βλέπουμε στην εικόνα 3.



Εικόνα 3, Ο ΠΚ “Bombardon”,(Lochner κ.ά., 1948)

Έπειτα, στην δεκαετία του 1970 στην Αμερική δημιουργήθηκε η ανάγκη κατασκευής πολλών λιμανιών, χωρίς όμως να υπάρχουν οι κατάλληλοι χώροι. Συνεπώς, αυξήθηκε και η ζήτηση πλωτών κυματοθραυστών. Έτσι, εκείνη την εποχή έγιναν πολλές μελέτες και αναπτύχθηκαν νέα μοντέλα (Ozeren, 2009).

Κάποια παραδείγματα ΠΚ στην Ελλάδα είναι στον Νέο Μαρμαρά Χαλκιδικής (Εικόνα 4) και στα Πυργαδίκια Χαλκιδικής (Εικόνα 5) .



Εικόνα 4, Νέος Μαρμαράς Χαλκιδικής,

http://www.dimossithonias.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=1469&Itemid=45



Εικόνα 5, Πυργαδίκια Χαλκιδικής, <https://halkidikigreece.estate/el/πληροφορίες-πυργαδίκια>

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα διεξήχθη στο εργαστήριο υδραυλικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του ΑΤΕΙΘ.

Διάταξη Πειράματος

Τα πειράματα εκτελέστηκαν σε κανάλι ορθογωνικής διατομής μήκους 5,25 μέτρων και πλάτους 10 εκατοστών. Στην μία άκρη φέρει κυματογεννήτρια (εικόνες 6 και 7). Λειτουργεί με μοτέρ το οποίο θέτει σε παλινδρομική κίνηση το κλαπέ και έχουμε τη δυνατότητα να επέμβουμε στην περιοδικότητά του αυξομειώνοντας την συχνότητα του ρεύματος μέσω inverter (εικόνα 8).

Σε απόσταση 3,30 μέτρων από την κυματογεννήτρια τοποθετήσαμε το μοντέλο του ΠΚ με πλάτος 20 εκατοστά. Είναι κατασκευασμένο από πλεξιγκλάς και έχει μορφή ανεστραμμένου «Π». Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μεταβάλλαμε το ύψος από τον πυθμένα μέχρι την κάτω παρειά του κυματοθραύστη αλλάζοντας τη θέση του. Συνολική άποψη του πειράματος βλέπουμε στην εικόνα 9.

Για την καταγραφή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε κάμερα τύπου DSLR στηριζόμενη και στερεωμένη πάνω σε μεταλλική βάση στο ύψος περίπου του καναλιού.



Εικόνα 6, Κυματογεννήτρια



Εικόνα 7, Κυματογεννήτρια πλάγια όψη

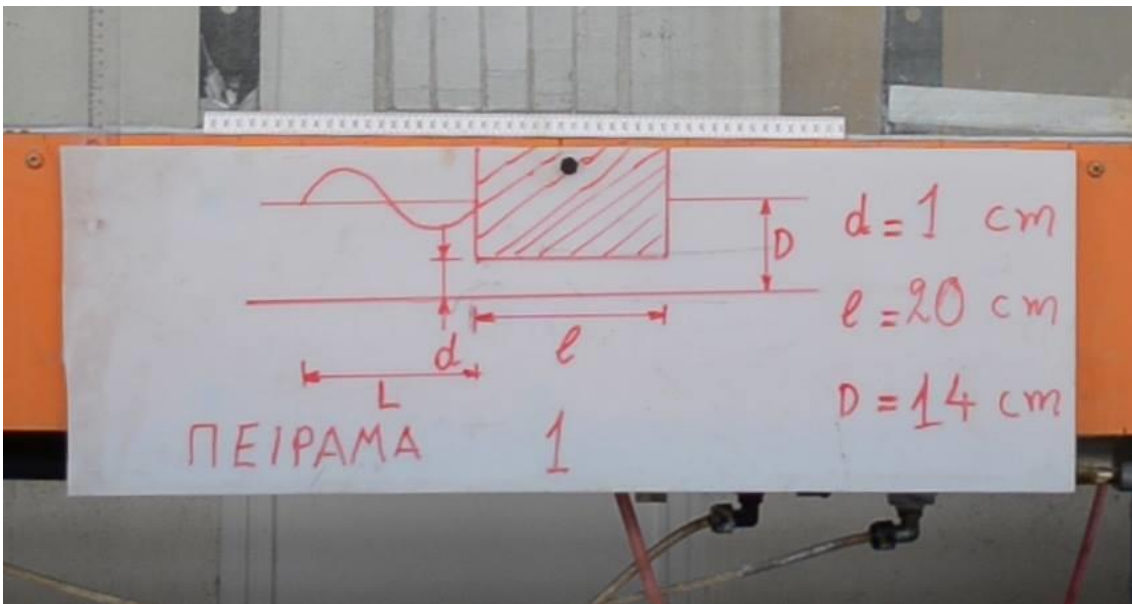


Εικόνα 8, Συσσκευή Inverter



Εικόνα 9, Συνολική διάταξη πειράματος

Για κάθε πείραμα χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης μία πινακίδα στην οποία αναγράφεται ο αριθμός του πειράματος, το ύψος της υδάτινης στήλης του νερού κάτω από τον ΠΚ d , το συνολικό βάθος D και το πλάτος του κυματοθραύστη l , όπως φαίνεται στην εικόνα 10.

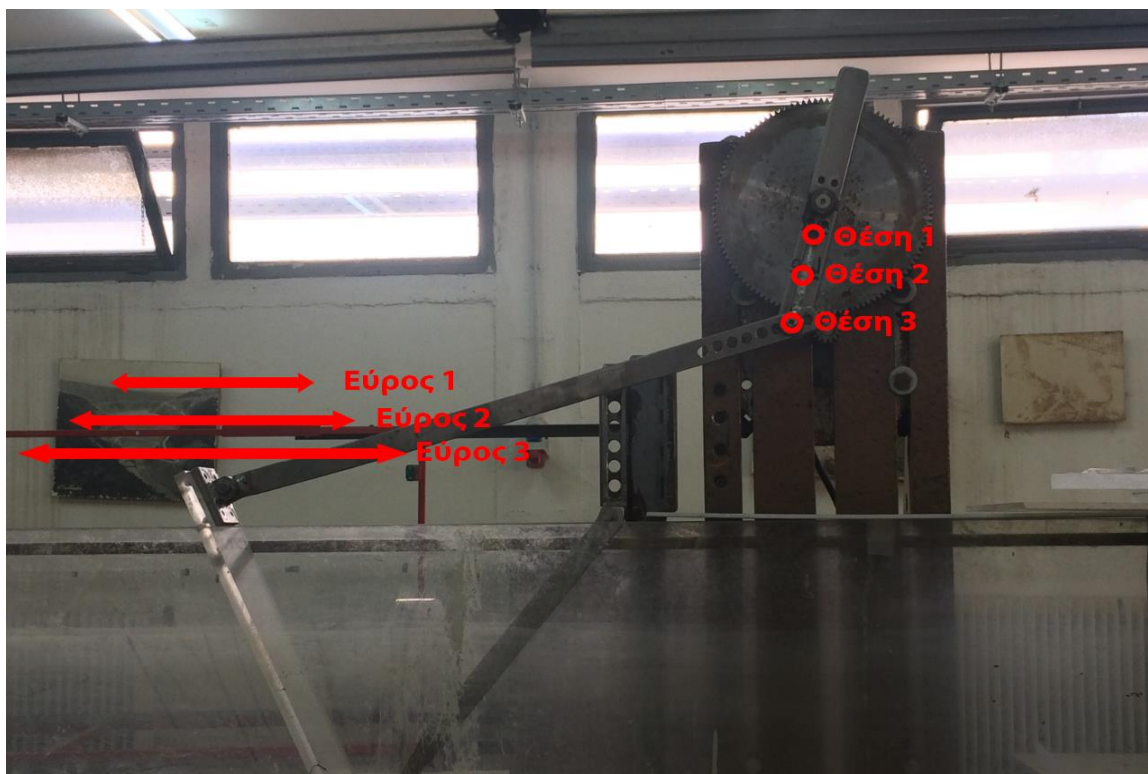


Εικόνα 10, Πινακίδα πειραμάτων

Εκτέλεση

Για την εκτέλεση των πειραμάτων γεμίσαμε με νερό το κανάλι και στερεώσαμε με σφιγκτήρες τον κυματοθραύστη σε σταθερό σημείο. Το βάθος του νερού για όλα τα πειράματα ήταν $D = 14$ cm. Στη κυματογεννήτρια θέσαμε τρεις θέσεις οι οποίες αλλάζουν το εύρος κίνησης του κλαπέ (εικόνα 11). Το inverter τροφοδοτούσε με ρεύμα το μοτέρ της κυματογεννήτριας το οποίο με τη σειρά του έθετε σε κίνηση το κλαπέ. Ανάλογα με την ένδειξη του inverter αυξομειωνόταν η ταχύτητα του κλαπέ.

Η κάμερα χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή μετρήσεων με μέθοδο που θα εξηγήσουμε παρακάτω. Για κάθε πείραμα καταγράψαμε δύο βίντεο των πέντε περίπου δευτερολέπτων, ένα υπό γωνία για την μέτρηση του μήκους κύματος και ένα κάθετα στο μοντέλο για την μέτρηση του ύψους κύματος πριν και μετά τον κυματοθραύστη.



Εικόνα 11, Οι τρεις θέσεις της κυματογεννήτριας

Συνολικά εκτελέστηκαν 37 πειράματα με μεταβλητά στοιχεία την ένδειξη inverter, τη θέση του κλαπέ και το ύψος της υδάτινης στήλης του νερού κάτω από τον κυματοθραύστη. Σταθερά παρέμεναν σε κάθε πείραμα το πλάτος του κυματοθραύστη $l = 20\text{cm}$, το βάθος του νερού $D = 14\text{cm}$ και το χρονικό διάστημα $\Delta t = 30\text{sec}$, για το οποίο μετρούσαμε τις επαναλήψεις του κλαπέ.

Στο πρώτο πείραμα θέσαμε τιμή inverter ίση με 8. Μετρήσαμε πλήθος μετακινήσεων του κλαπέ $n = 16$ για χρονικό διάστημα $t = 30\text{ sec}$. Έτσι υπολογίσαμε τη συχνότητα και την περίοδο του κύματος.

$$f = \frac{n}{t} = \frac{16}{30} = 0.533 \text{ sec}^{-1}$$

$$T = \frac{1}{f} = 1.875 \text{ sec}$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ο πίνακας 1 πειραματικών δεδομένων:

Πίνακας 1, Πειραματικά Δεδομένα

Πείραμα	d (cm)	Ένδειξη Inverter	n	f (sec ⁻¹)	T (sec)	Θέση	
1	1	8	16,0	0,533	1,875	1	
2		12	23,5	0,783	1,277		
3		15	29,5	0,983	1,017		
4	3	8	16,0	0,533	1,875		
5		12	23,5	0,783	1,277		
6		15	29,5	0,983	1,017		
7	5	8	16,0	0,533	1,875		
8		12	23,5	0,783	1,277		
9		15	29,5	0,983	1,017		
10	5	12	23,5	0,783	1,277	2	
11		15	29,5	0,983	1,017		
12		20	40,0	1,333	0,750		
13		24	47,0	1,567	0,638		
14	3	12	23,5	0,783	1,277		
15		15	29,5	0,983	1,017		
16		20	40,0	1,333	0,750		
17		24	47,0	1,567	0,638		
18	1	12	23,5	0,783	1,277		
19		15	29,5	0,983	1,017		
20		20	40,0	1,333	0,750		
21		24	47,0	1,567	0,638		
22	1	15	29,5	0,983	1,017		3
23		20	40,0	1,333	0,750		
24		22	44,0	1,467	0,682		
25		24	47,0	1,567	0,638		
26		27	54,0	1,800	0,556		
27	3	15	29,5	0,983	1,017		
28		20	40,0	1,333	0,750		
29		22	44,0	1,467	0,682		
30		24	47,0	1,567	0,638		
31		27	54,0	1,800	0,556		
32	5	15	29,5	0,983	1,017		
33		20	40,0	1,333	0,750		
34		22	44,0	1,467	0,682		
35		24	47,0	1,567	0,638		
36		27	54,0	1,800	0,556		
37		30	61,0	2,033	0,492		

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για την μέτρηση των στοιχείων των κυματισμών που μας ενδιαφέρουν χρησιμοποιήσαμε δύο προγράμματα Η/Υ, το Adobe Premiere και το Matlab. Το πρώτο είναι πρόγραμμα μοντάζ το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να εξάγουμε εικόνες (frames) από τα βίντεο. Η χρήση του ήταν απαραίτητη ώστε να διαλέξουμε ποια frames του βίντεο αναδεικνύουν τα στοιχεία του κυματισμού που θέλαμε να μετρήσουμε σε κάθε περίπτωση. Για το μήκος κύματος επιλέγαμε frames στα οποία ήταν εμφανείς οι κορυφές και οι κοιλίες του κυματισμού, ενώ για το ύψος κύματος επιλέγαμε εκείνα στα οποία το νερό έφτανε στο μέγιστο και ελάχιστο ύψος. Το Matlab χρησιμοποιήθηκε λόγω ενός εργαλείου του, το οποίο μας επιτρέπει τη μέτρηση των pixels σε οποιαδήποτε απόσταση μέσα στην εικόνα. Έτσι έχοντας ένα μήκος αναφοράς μπορούμε να μετρήσουμε πραγματικές αποστάσεις.

- Μήκος κύματος



Εικόνα 12, Μήκος κύματος και μήκος αναφοράς

Στην εικόνα 12 φαίνονται τα δύο μήκη που μετρήθηκαν για κάθε πείραμα και καταχωρήθηκαν σε πίνακα που παρουσιάζεται παρακάτω. Να σημειώσουμε πως το σφάλμα στις μετρήσεις λόγω γωνίας της κάμερας σε σχέση με το κατακόρυφο επίπεδο του καναλιού θεωρήθηκε αμελητέο. Για να βρούμε το μήκος κύματος του πρώτου πειράματος εργαστήκαμε ως εξής:

$$L = L_p * \frac{L_{\alpha\nu}}{L_{\alpha\nu p}} = 1022 * \frac{50}{510} = 100,1 \text{ cm}$$

Όπου L_p το μετρούμενο μήκος κύματος σε pixels

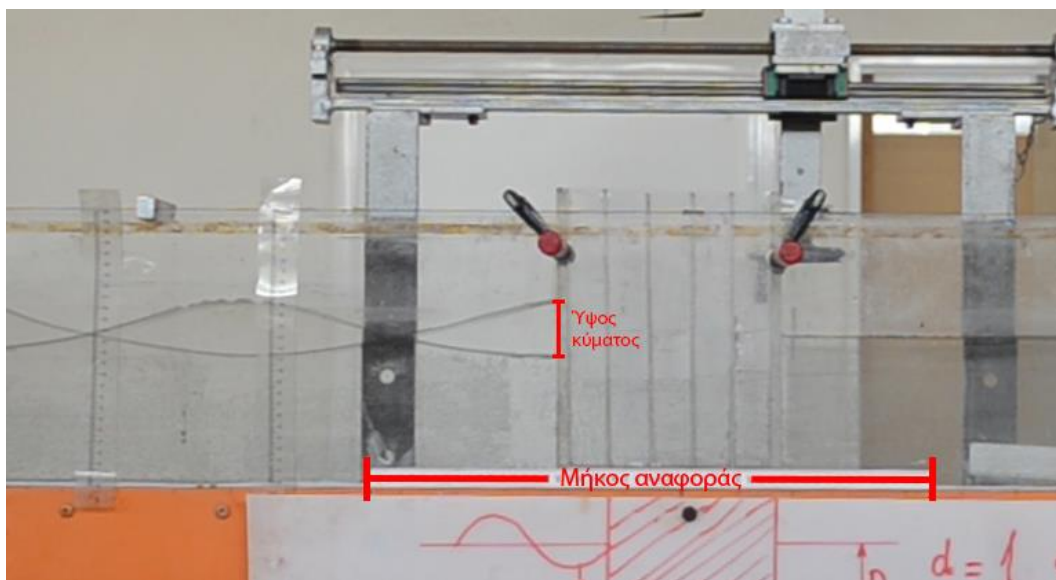
Όπου $L_{\alpha\nu}$ το πραγματικό μήκος αναφοράς ίσο με 50 cm

Όπου $L_{\alpha\nu p}$ το μετρούμενο μήκος αναφοράς σε pixels

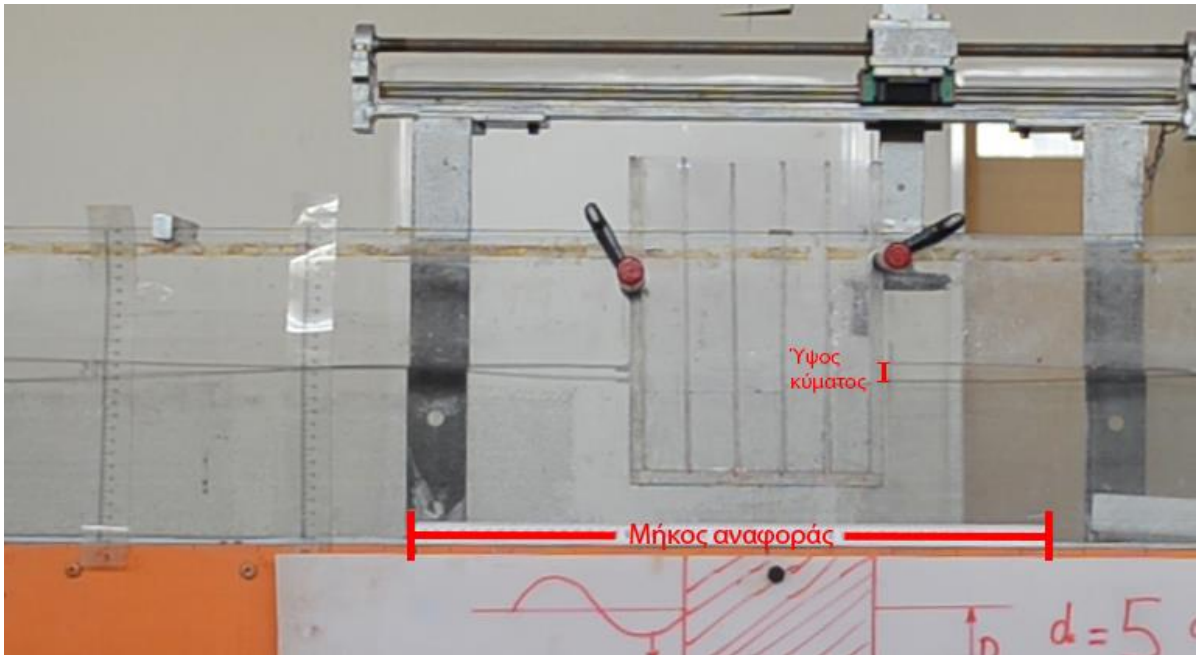
- **Ύψος κύματος**

Για το ύψος κύματος εργαστήκαμε κάπως διαφορετικά καθώς για τη μέτρησή του χρειάστηκαν δύο frames για κάθε κάθετη πλευρά του μοντέλου σε κάθε πείραμα, αλλά και επεξεργασία τους μέσω του προγράμματος επεξεργασίας εικόνας Photoshop.

Αναλυτικότερα, πήραμε ένα frame όταν η στάθμη του νερού στη πλευρά του κυματοθραύστη ήταν στο μέγιστο και ένα όταν ήταν στο ελάχιστο. Οι δύο εικόνες διαφέρουν μόνο στη στάθμη του νερού καθώς οτιδήποτε άλλο απεικονίζεται εκτός του νερού, είναι ακίνητο κατά τη διάρκεια κάθε πειράματος. Έπειτα βάλουμε τις δύο αυτές εικόνες τη μία πάνω στην άλλη και μειώνοντας την αδιαφάνεια της μίας, προέκυψε μία εικόνα με εμφανείς και τις δύο στάθμες του νερού. Στην ουσία δημιουργήσαμε μία εικόνα του ίδιου κυματισμού σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές οι οποίες μας εξυπηρετούν για τη μέτρηση του ύψους κύματος. Δύο ενδεικτικές εικόνες πριν και μετά τον κυματοθραύστη είναι οι εικόνες 13 και 14.



Εικόνα 13, Ύψος κύματος ανάντη του ΠΚ και μήκος αναφοράς



Εικόνα 14, Ύψος κύματος κατόντη του ΠΚ και μήκος αναφοράς

Για τα ύψη κύματος ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία με το μήκος κύματος, δηλαδή μετατρέψαμε τα pixels σε εκατοστά. Για το $h_{\text{πρω}}$ του πρώτου πειράματος έχουμε:

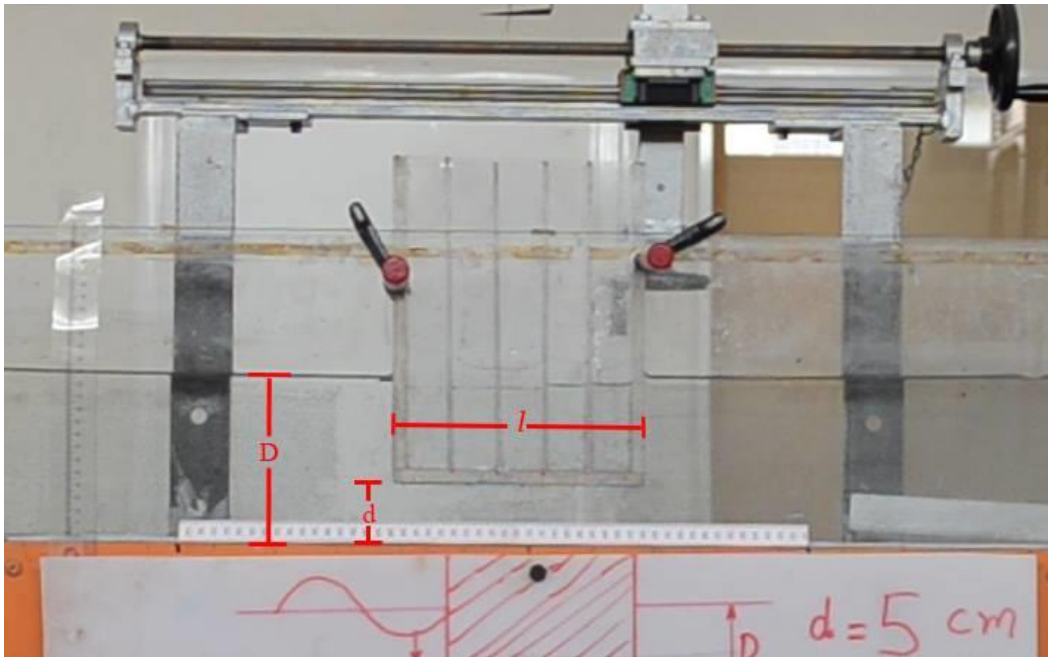
$$h = h_p * \frac{L_{av}}{L_{av\ p}} = 37 * \frac{50}{895} = 2.1 \text{ cm}$$

Όπου h_p το μετρούμενο ύψος κύματος (πριν ή μετά ανάλογα την περίπτωση) σε pixels

Όπου L_{av} το πραγματικό μήκος αναφοράς ίσο με 50 cm

Όπου $L_{av\ p}$ το μετρούμενο μήκος αναφοράς σε pixels

Στην Εικόνα 15 βλέπουμε τα στοιχεία d , D και l .



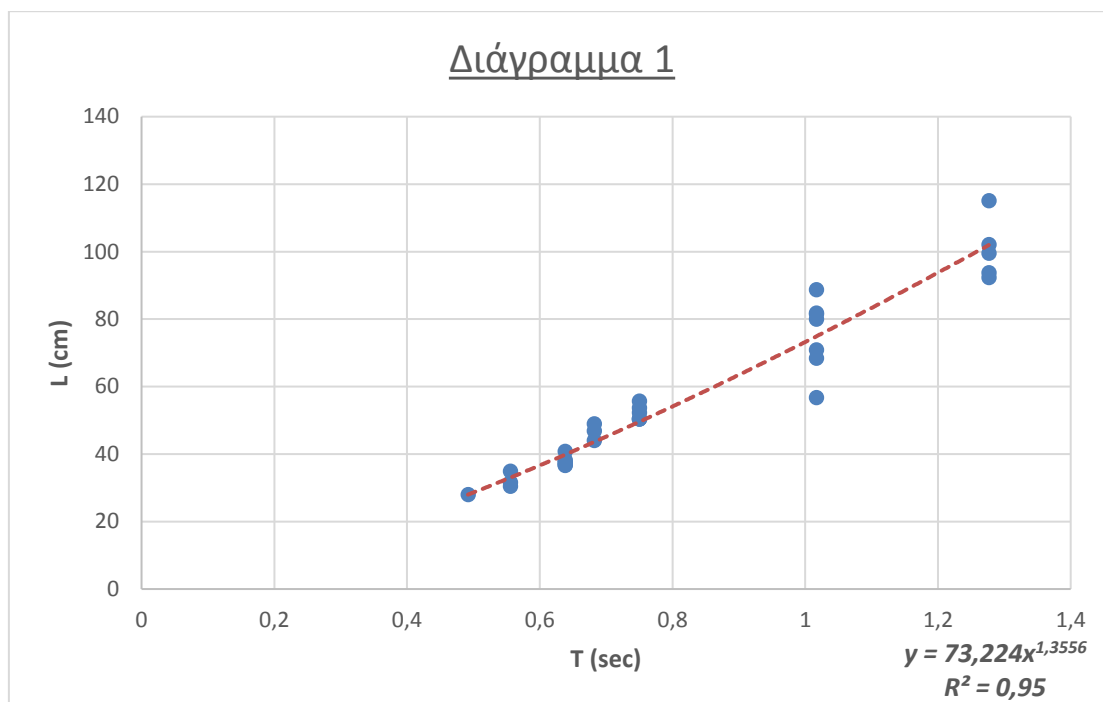
Εικόνα 15, Στοιχεία D , d , l

Τελικά, προέκυψε ο συγκεντρωτικός πίνακας με όλα τα στοιχεία του κυματισμού εκατέρωθεν του κυματοθραύστη:

Πίνακας 2. Συγκριτικός

Πείραμα	d (cm)	Ένδειξη Inverter	n	f (sec ⁻¹)	T (sec)	Θέση	L (Pixels)	L _{50cm} (Pixels)	L (cm)	l/L	d/D	ΠΡΙΝ			ΜΕΤΑ				
												Πείραμα	h (Pixels)	L _{50cm} (Pixels)	h (cm)	h (Pixels)	L _{50cm} (Pixels)	h (cm)	
1		8	16,0	0,53	1,88		1022	510	100,1	0,20	0,07	1	37	895	2,1	7	905	0,4	0,19
2	1	12	23,5	0,78	1,28		-	-	102,0	0,20	0,07	2	75	899	4,2	9	929	0,5	0,12
3		15	29,5	0,98	1,02		-	-	74,9	0,27	0,07	3	40	957	2,1	5	1210	0,2	0,10
4		8	16,0	0,53	1,88		-	-	171,7	0,12	0,21	4	15	306	2,5	15	950	0,8	0,32
5	3	12	23,5	0,78	1,28	1	971	488	99,5	0,20	0,21	5	60	949	3,2	31	947	1,6	0,52
6		15	29,5	0,98	1,02		-	-	74,9	0,27	0,21	6	35	917	1,9	6	910	0,3	0,17
7		8	16,0	0,53	1,88		-	-	171,7	0,12	0,36	7	43	846	2,5	21	907	1,2	0,46
8	5	12	23,5	0,78	1,28		974	477	102,0	0,20	0,36	8	48	890	2,7	23	897	1,3	0,48
9		15	29,5	0,98	1,02		530	467	56,7	0,35	0,36	9	71	964	3,7	25	879	1,4	0,39
10		12	23,5	0,78	1,28		881	470	93,7	0,21	0,36	10	30	938	1,6	11	789	0,7	0,44
11	5	15	29,5	0,98	1,02		773	473	81,7	0,24	0,36	11	26	912	1,4	4	721	0,3	0,19
12		20	40,0	1,33	0,75		518	465	55,6	0,36	0,36	12	41	871	2,4	16	929	0,9	0,37
13		24	47,0	1,57	0,64		351	459	38,2	0,52	0,36	13	100	870	5,7	16	785	1,0	0,18
14		12	23,5	0,78	1,28		1050	456	115,1	0,17	0,21	14	24	930	1,3	6	782	0,4	0,30
15	3	15	29,5	0,98	1,02	2	734	450	81,5	0,25	0,21	15	27	922	1,5	6	824	0,4	0,25
16		20	40,0	1,33	0,75		490	456	53,7	0,37	0,21	16	35	834	2,1	10	767	0,7	0,31
17		24	47,0	1,57	0,64		333	455	36,6	0,55	0,21	17	148	926	8,0	14	912	0,8	0,10
18		12	23,5	0,78	1,28		831	450	92,3	0,22	0,07	18	24	915	1,3	12	937	0,6	0,49
19	1	15	29,5	0,98	1,02		618	452	68,4	0,29	0,07	19	26	910	1,4	5	939	0,3	0,19
20		20	40,0	1,33	0,75		452	449	50,3	0,40	0,07	20	33	916	1,8	8	916	0,4	0,24
21		24	47,0	1,57	0,64		366	449	40,8	0,49	0,07	21	90	915	4,9	9	908	0,5	0,10
22		15	29,5	0,98	1,02		722	451	80,0	0,25	0,07	22	13	917	0,7	6	873	0,3	0,48
23		20	40,0	1,33	0,75		452	449	50,3	0,40	0,07	23	17	908	0,9	4	953	0,2	0,22
24	1	22	44,0	1,47	0,68		419	447	46,8	0,43	0,07	24	57	926	3,1	2	271	0,4	0,12
25		24	47,0	1,57	0,64		339	461	36,8	0,54	0,07	25	52	911	2,9	8	913	0,4	0,15
26		27	54,0	1,80	0,56		315	452	34,9	0,57	0,07	26	29	835	1,7	3	1001	0,1	0,09
27		15	29,5	0,98	1,02		824	464	88,7	0,23	0,21	27	14	864	0,8	4	976	0,2	0,25
28		20	40,0	1,33	0,75		456	452	50,4	0,40	0,21	28	13	830	0,8	8	889	0,4	0,57
29	3	22	44,0	1,47	0,68	3	441	451	48,9	0,41	0,21	29	41	832	2,5	9	939	0,5	0,19
30		24	47,0	1,57	0,64		335	450	37,2	0,54	0,21	30	46	926	2,5	11	842	0,7	0,26
31		27	54,0	1,80	0,56		277	454	30,4	0,66	0,21	31	27	910	1,5	16	1129	0,7	0,48
32		15	29,5	0,98	1,02		643	454	70,8	0,28	0,36	32	11	310	1,8	9	868	0,5	0,29
33		20	40,0	1,33	0,75		464	444	52,2	0,38	0,36	33	12	917	0,7	5	1027	0,2	0,37
34	5	22	44,0	1,47	0,68		392	445	44,0	0,45	0,36	34	40	896	2,2	10	896	0,6	0,25
35		24	47,0	1,57	0,64		334	442	37,7	0,53	0,36	35	50	814	3,1	7	843	0,4	0,14
36		27	54,0	1,80	0,56		276	437	31,6	0,63	0,36	36	18	893	1,0	6	1056	0,3	0,28
37		30	61,0	2,03	0,49		246	440	27,9	0,72	0,36	37	31	890	1,7	6	950	0,3	0,18

Πριν προχωρήσουμε στα συμπεράσματα πρέπει να αναφέρουμε ότι στα πειράματα 2,3,4,6 και 7 το μήκος κύματος ήταν αδύνατο να μετρηθεί. Για τη συμπλήρωση αυτών των τιμών δημιουργήσαμε το διάγραμμα 1 το οποίο συσχετίζει την περίοδο T με το μήκος κύματος L .



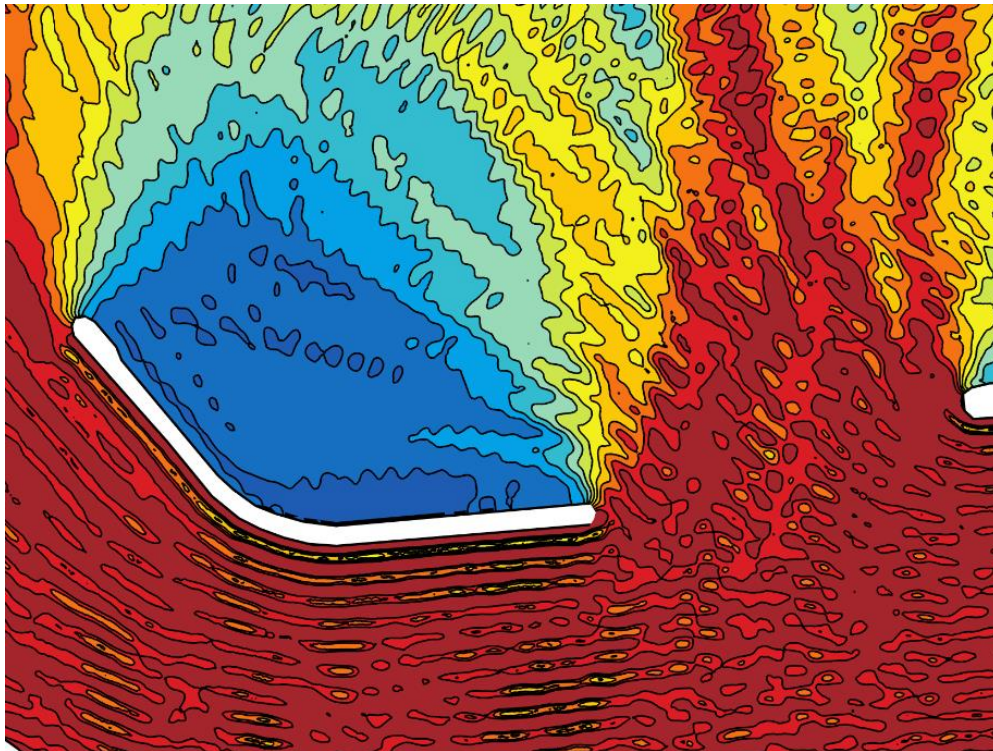
Στη συνέχεια βγάλαμε τη γραμμή τάσης με εξίσωση καμπύλης, $y = 73,224x^{1,3556}$ και συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0,95$. Τελικά από την $L = 73,224 * T^{1,3556}$ συμπληρώσαμε τις τιμές που λείπουν.

Μία άλλη δυσκολία που αντιμετωπίσαμε είναι ότι για τις τιμές που επιλέξαμε να πειραματιστούμε προέκυψαν πολύ μικρές τιμές $h_{\text{μετά}}$ γεγονός που κατέστησε αδύνατη την ακριβή μέτρηση τους. Ως εκ τούτου εκτιμήσαμε κατά προσέγγιση τις τιμές τους αναγνωρίζοντας την ύπαρξη σφαλμάτων λόγω υποκειμενικότητας του παρατηρητή.

Επίσης, άλλοι λόγοι που συμβάλλουν στην ύπαρξη σφαλμάτων είναι το ανακλώμενο κύμα το οποίο επηρεάζει τον κυματισμό πριν τον ΠΚ καθώς και εν γένει αστοχίες της διάταξης του πειράματος.

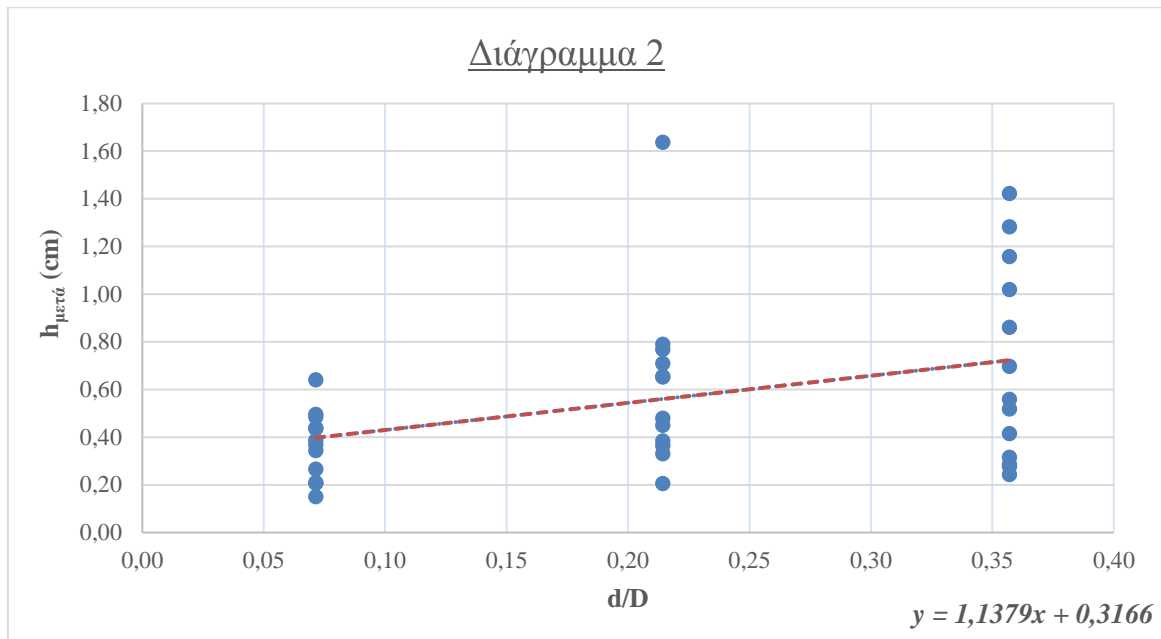
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ένα από τα στοιχεία που επηρεάζουν καθοριστικά την αποδοτικότητα του ΠΚ είναι το αδιάστατο μέγεθος d/D . Ο λόγος αυτός παρουσιάζει τη σχέση του ύψους της υδάτινης στήλης του νερού κάτω από τον ΠΚ με το συνολικό ύψος νερού και συσχετίζεται άμεσα με το ποσοστό της κυματικής ενέργειας που μεταφέρεται στην κατάντη πλευρά του. Η ενέργεια αυτή προκαλεί τη διατάραξη του νερού στην προστατευόμενη περιοχή και σκοπός του ΠΚ είναι η απόσβεσή της. Ένας έμμεσος τρόπος μέτρησης της είναι το ύψος κύματος μετά τον ΠΚ ($h_{\text{μετά}}$). Στην εικόνα 16 παρουσιάζεται ποιοτικά η λειτουργία ενός κυματοθραύστη, όπου με κόκκινο απεικονίζονται οι μεγάλες τιμές ύψους κύματος ενώ με μπλε οι μικρές.



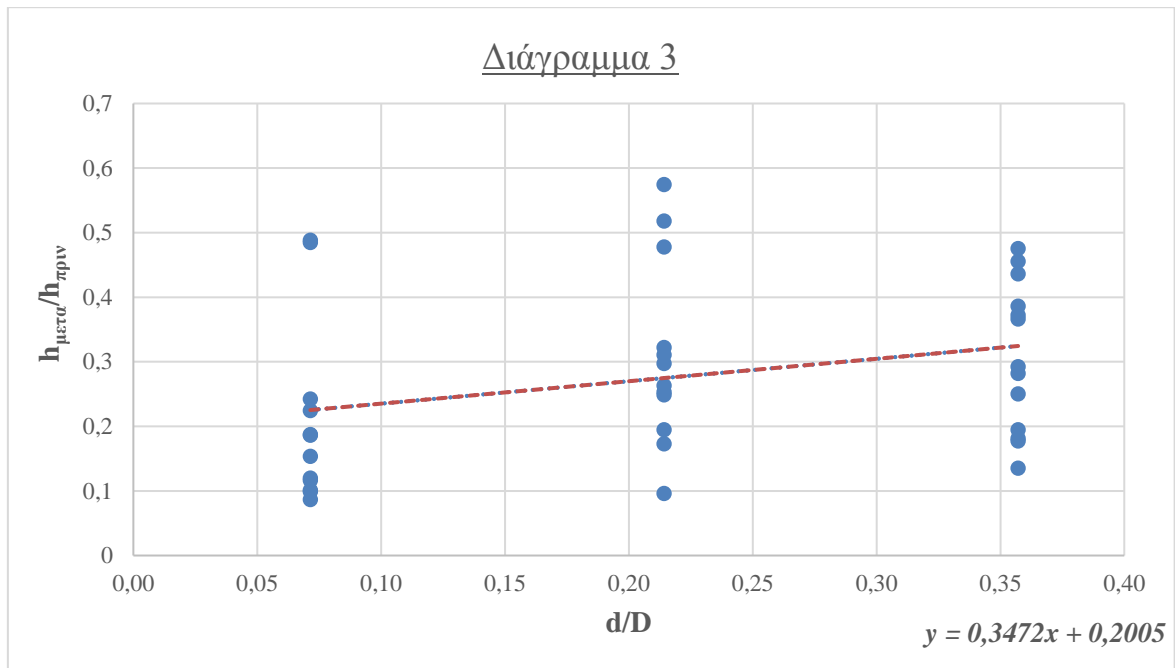
Εικόνα 16, Επίδραση κυματοθραύστη σε κυματισμό. <http://cdr-international.nl/portfolio/pakistan-chec-value-engineering-breakwater-hub-3/>

Προς διαπίστωση των παραπάνω συγκρίναμε τις τιμές του συγκεντρωτικού πίνακα για τις στήλες d/D και $h_{\text{μετά}}$ με το αποτέλεσμά τους να φαίνεται στο διάγραμμα 2.



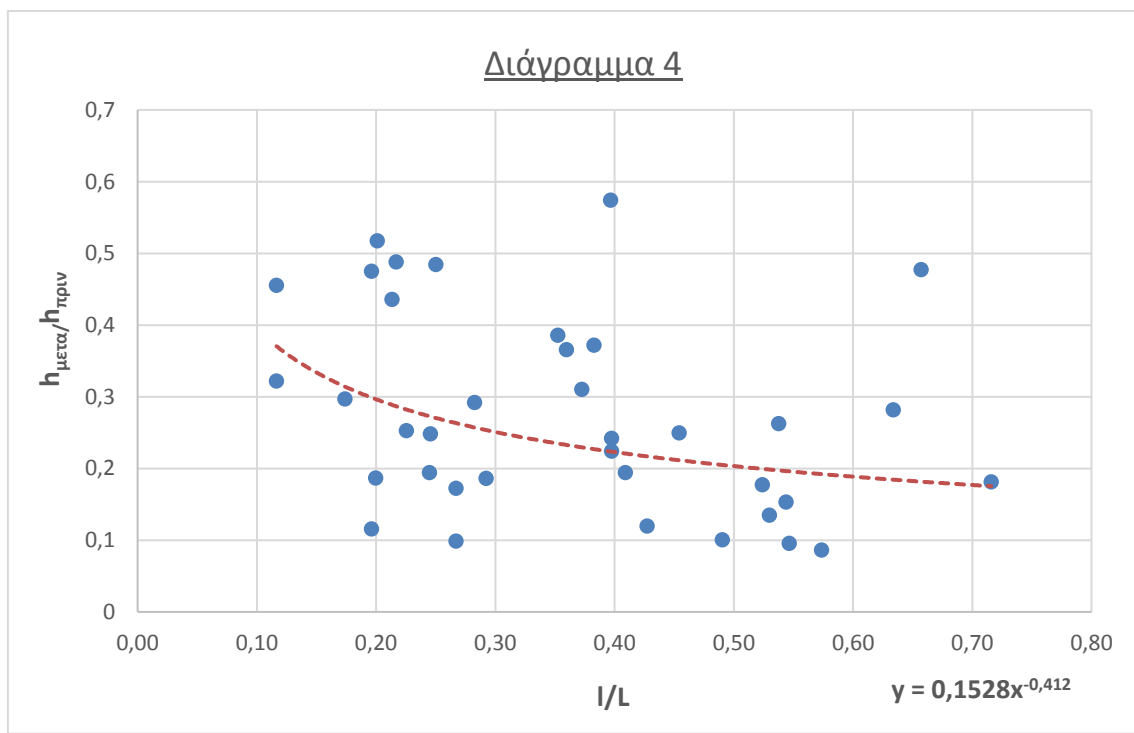
Παρατηρούμε ότι δημιουργούνται τρεις ομάδες τιμών d/D . Το D είναι σταθερή τιμή στα 14 εκατοστά για τα πειράματά μας, ενώ το d παίρνει τιμές 1,3,5 εκατοστά. Όσο μεγαλώνει ο λόγος τόσο αυξάνεται το ύψος κύματος, συνεπώς και η κυματική ενέργεια που μεταφέρεται. Ξεχωρίζει το ζευγάρι τιμών (0.21, 1.64) που θεωρούμε ότι οφείλεται σε σφάλμα μέτρησης. Ενδεικτικά τοποθετούμε τη γραμμή τάσης στο διάγραμμα με εξίσωση $y=1.1379x + 0.3166$, η οποία δεν περιγράφει απόλυτα τη σχέση των τιμών αλλά την αύξουσα πορεία τους.

- Στο διάγραμμα 2 συνδέσαμε το αποτέλεσμα των πειραμάτων, που είναι το $h_{\text{μετά}}$, με το d/D . Αν όμως θέλουμε να εξετάσουμε πιο ολοκληρωτικά τη λειτουργία του ΠΚ, μπορούμε να συμπεριλάβουμε και τις υπόλοιπες παραμέτρους που συσχετίζονται με τον κυματισμό στην ανάντη μεριά του. Λόγω πολυπλοκότητας των παραμέτρων του κυματισμού και των σχέσεων μεταξύ τους, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον λόγο $h_{\text{μετά}}/h_{\text{πριν}}$ ως μέγεθος που αντικατοπτρίζει το αποτέλεσμα λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες κυματισμού πριν τον ΠΚ.



Στο γράφημα 3 φαίνεται ότι όσο αυξάνεται το d/D αυξάνεται και ο λόγος $h_{\text{μετά}}/h_{\text{πριν}}$. Η γραμμή τάσης εδώ έχει εξίσωση $y = 0.3472x + 0.2005$.

• Ένα άλλο μέγεθος που θέλουμε να εξετάσουμε πώς επηρεάζει τη δυναμική της σχέσης ενέργειας πριν και μετά τον ΠΚ είναι το l/L . Το συσχετίζουμε και πάλι στο διάγραμμα 4 με το $h_{\text{μετά}}/h_{\text{πριν}}$ για μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα.



Ο λόγος l/L δείχνει τη σχέση του πλάτους του ΠΚ προς το μήκος κύματος. Ο αριθμητής l έχει σταθερή τιμή τα 20 εκατοστά ενώ ο παρονομαστής L παίρνει τιμές από 27.9 έως 115.1 εκατοστά. Από το διάγραμμα 4 αντιλαμβανόμαστε ότι όσο μεγαλώνει το l/L μειώνεται το $h_{\text{μετά}}/h_{\text{πριν}}$. Δηλαδή όταν το μήκος κύματος αυξάνεται (άρα μικρές τιμές l/L), το ποσοστό της μεταφερόμενης ενέργειας επίσης αυξάνεται. Τα στοιχεία προσεγγίζονται από την εξίσωση της καμπύλης

$$y = 0.1528x^{-0,412}$$

$$\frac{h_{\text{μετά}}}{h_{\text{πριν}}} = 0.1528 \left(\frac{l}{L} \right)^{-0,412}$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Λουκογεωργάκη Ε.Π., 2007. Ολοκληρωμένο Σύστημα Αναγνώρισης και Βέλτιστης Ρύθμισης της Συμπεριφοράς και της Αποτελεσματικότητας Πλωτών Κυματοθραυστών. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη. σελ. 3-4.

Ραπαντα Ε., 2015. Ήπιες Μέθοδοι Προστασίας Ακτών: Πλωτοί Κυματοθραύστες. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη. σελ 17-36.

Biesheuvel A.C., 2013. Effectiveness of Floating Breakwaters, Wave Attenuating Floating Structures. Master of Science Thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology. Delft. pp 12.

Fousert M.W., 2006. Floating Breakwater, Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System. Master Thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology. Delft. pp 6-7.

McCartney B.L., 1985. Floating Breakwater Design. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 111, Issue 2., ASCE. pp 304.

Lochner R, Faber O. and Penny W.G., 1948, The “Bombardon” Floating Breakwater, The Civil Engineer in War, 2, Docks and Harbours. Institution of Civil Engineer, UK. pp 263-269.

Ozeren Y., Wren D.G., Alonso C., 2009, Experimental and Numerical Investigations of Floating Breakwater Performance. Research Report No. 65, National Sedimentation Laboratory, United States Department of Agriculture, Mississippi. pp 4-8.

Ηλεκτρονικές Πηγές:

- Δήμος Σιθωνίας, Πρόσκληση ιδιοκτητών ακινήτων Ν. Μαρμαρά, http://www.dimossithonias.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=1469&Itemid=45 . Πρόσβαση 20/01/2018.
- CDR, Pakistan – Chec – Value Engineering Breakwater Hub, <http://cdr-international.nl/portfolio/pakistan-chec-value-engineering-breakwater-hub-3/> . Πρόσβαση 16/01/2018.
- FDN, Floating Breakwater in Messolonghi, <http://www.fdn-engineering.nl/floating-breakwater-in-messolonghi> . Πρόσβαση 04/11/2017.
- Halkidiki Greece, Real Estate Agency, Πληροφορίες σχετικά με τα Πυργαδίκια. <https://halkidikigreece.estate/el/πληροφορίες-πυργαδίκια> . Πρόσβαση 31/10/2017.

- Submerged, The Plymouth Breakwater, <https://www.submerged.co.uk/plymouthbreakwater-building.php> . Πρόσβαση [13/05/2018](#).