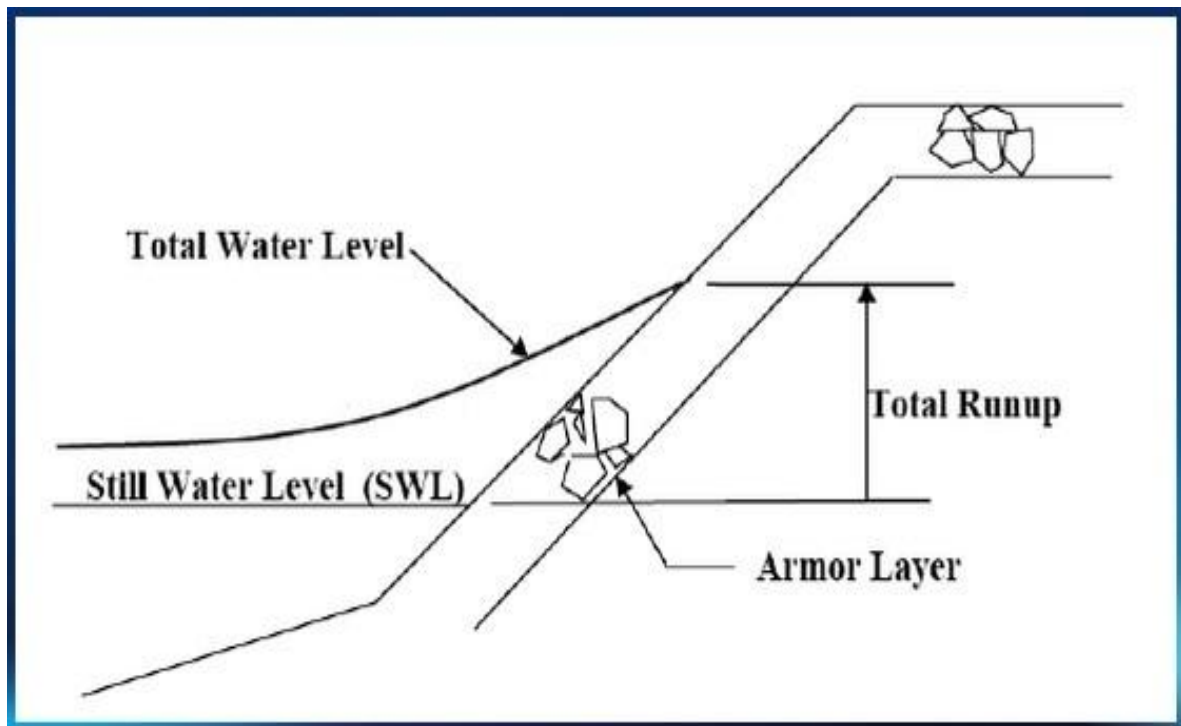


ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΙΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΠΡΑΝΗ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ

INVESTIGATION OF THE SEA WAVES' RUN UP ON SLOPES OF A BRAKEWATER

ΑΓΑΠΗ ΑΡΒΑΝΙΤΙΔΟΥ
ΜΑΡΤΙΝ ΣΤΕΡΙΟ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων Καθηγητής

Ιωάννης Σαββίδης

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2014

Η εικόνα στο εξώφυλλο είναι από την παρακάτω πηγή:

<http://ellisportengineering.com/floodplaindesignation/floodplainbackground.html>

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία είναι η τελευταία υποχρέωση που είχαμε σαν φοιτητές του Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., για το λόγω αυτό αφιερώσαμε πολύ χρόνο στην αποπεράτωση της. Ως επιστέγασμα των σπουδών μας θέλαμε να πετύχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Η θεματολογία της εργασίας ήταν έμπνευση του επιβλέποντα καθηγητή. Το περιεχόμενο της εργασίας αφορά την μελέτη της αναρρίχησης του κύματος σε πρηνή. Τέλος για την σωστότερη προσέγγιση του φαινομένου προβήκαμε στην μελέτη πολλών πειραματικών παραμέτρων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Έχοντας φέρει εις πέρας την εν λόγω πειραματική πτυχιακή είναι απαραίτητο να ευχαριστήσουμε συντελεστές και συνεργάτες που μας στήριξαν καθ' όλη την διάρκεια της.

Ευχαριστούμε θερμά τον Δρ. Γεώργιο Πεχλιβανίδη, ο οποίος μας παρείχε τις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου υδραυλικής του Α.Τ.Ε.Ι.Θ., και καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας ήταν παρών και μας καθοδηγούσε . Χάρis τις γνώσεις και την εμπειρία του μπορέσαμε και καταφέραμε να στήσουμε το φυσικό ομοίωμα και καθ' όλη τη διάρκεια έκανε επισημάνσεις και με τις γνώσεις του μας βοήθησε να πετύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλουμε και στον Δρ. Ιωάννη Σαββίδη οποίος ήταν εμπνευστής της θεματολογίας της εργασίας και υπήρξε οδηγός σε όλη την διάρκεια της. Χωρίς την υπομονή, τις γνώσεις και τον χρόνο του, δεν θα μπορούσαμε να πετύχουμε μία σωστή εμπεριστατωμένη και επιστημονικά ορθή μελέτη.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να επισημάνουμε τα ονόματα των φοιτητών, Τζαφέρης Αλέξανδρος και Φυτόπουλος Κυριάκος, με τους οποίους και συνεργαστήκαμε κατά την διάρκεια των πειραματικών εργασιών.

Τέλος, είναι απαραίτητο να αναφέρουμε πως για την αποπεράτωση μίας εργασίας οποιαδήποτε μορφής και περιεχομένου είναι το πιο σημαντικό η ύπαρξη σωστών και ικανών συνεργατών. Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους αυτούς που μας βοήθησαν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	7
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	8
1.3 ΟΡΙΣΜΟΙ	9
ΡΗΧΩΣΗ	9
ΑΝΑΚΛΑΣΗ	9
ΘΡΑΥΣΗ	10
ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗ	10
ΒΑΘΙΑ, ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΚΑΙ ΡΙΧΑ ΝΕΡΑ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	19
3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	19
3.1.1 ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	19
3.1.2 Ο ΧΡΟΝΟΣ	19
3.1.3 Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	20
3.1.4 ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ	22
3.1.5 Η ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ	23
3.2 Ο ΤΡΟΠΟΣ ΛΗΨΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	27
3.2.1 ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ.....	27
3.3 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	28
3.4 Η ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	28
3.5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	29
3.5.1 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΛΑΧΙ GLASS.	29
3.5.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	30
3.6 Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	31
3.6.1 ΜΕΤΡΗΣΗ (ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ) ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	31
3.6.2 ΘΕΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ.....	31
3.7 ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	32
3.7.1 ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	32
3.8 ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	32
3.9 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ	33
3.9.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	33
3.10 ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4⁰ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	35
4.1 ΕΥΡΕΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	35
4.2 ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ.....	42
4.3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	45
4.3 ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗ ΚΥΜΑΤΟΣ	49
4.3.1 ΠΡΩΤΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	49
4.3.2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5⁰ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	57
5.1 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ R ΓΙΑ ΒΑΘΟΣ ΝΕΡΟΥ D=0.15 M	57
5.2 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ R ΓΙΑ D=0.10 M	63
5.3 ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ R ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6⁰ ΕΥΡΕΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Ξ.....	75
6.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ξ	75
<i>Εικόνα 6.1: (Κουτίτσας, 1996)</i> 6.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ R/H ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ Ξ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΚΟΜΜΑΤΙ	78
6.3.1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	79
6.3.2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	83
6.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ R/H ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ Ξ	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7⁰ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ... 89	89
7,1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8⁰ ΠΕΡΙΛΗΨΗ	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9⁰ ABSTRACT	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10⁰ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εισαγωγή στο θέμα της πτυχιακής θα γίνει με μια εμπειριστατωμένη και εκτενής (αναλυτική) αναφορά των εννοιών που σχετίζονται με την διερεύνηση της αναρρίχησης των θαλασσίων κυμάτων σε πρηνή κυματοθραύστη τελευταίο χωρίο αποτελεί και τον τίτλο της πειραματικής εργασίας που έλαβε χώρα. Είναι πολύ σημαντικό σε αυτό το σημείο να παρουσιάσουμε την «δομή εξέλιξης» της εργασίας, για να μπορεί ένας μελλοντικός αναγνώστης ή κάποιος ερευνητής αντικειμένου παρόμοιας θεματολογίας ή ένας σπουδαστής, να κατανοεί και να παρακολουθεί ευκολότερα την «εξέλιξη» της μέσα από ένα συνεκτικά σωστό «παραρσιαστικό μοντέλο». Όπως θα καταλάβετε και στην συνέχεια, στα εισαγωγικά κείμενα κάθε κεφαλαίου της πτυχιακής εργασίας υπάρχει αναλυτική επεξήγηση του τι θα ακολουθήσει. Ειδικά τα χωρία που αφορούν την πειραματική διαδικασία συνοδεύονται από λεπτομερείς περιγραφές και επεξηγήσεις. Η αρχή θα γίνει με την εκτενή αναφορά στο αντικείμενο της εργασίας. Στη συνέχεια θα γίνει αναλυτική περιγραφή των σημαντικότερων φαινομένων όπως π.χ. της αναρρίχησης (wave run up), της υπερπήδηση (overtopping), της θραύσης (wave braking), της ανάκλασης (reflection) και της ρήχωση ,και άλλων «παραμέτρων» του πειράματος. Μεταξύ των δύο αυτών θεματολογιών, υπόκειται το κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, το οποίο αφορά εργασίες και μελέτες που έχουν γίνει στο παρελθόν, και έχουν κοινή θεματολογία με την παρούσα εργασία. Στη συνέχεια ακολουθεί το κεφάλαιο που αφορά την παρουσίαση της πειραματική διαδικασίας. Και τέλος στα τελευταία κεφάλαια παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις πειραματικές εργασίες, σχετικά σχεδιαγράμματα και γραφικές παραστάσεις.

1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα εργασία ερευνάται το μέγιστο ύψος της αναρρίχησης πάνω σε πρανές κυματοθραύστη με διάφορες κλίσεις. Κυματοθραύστες είναι έργα συνήθως παράλληλα στην ακτή χωρίς σημείο επαφής σε αυτήν. Έχουν αποστολή την προστασία από κυματισμούς των θαλάσσιων εκτάσεων πίσω από αυτούς για τον ελλιμενισμό σκαφών. Εφαρμόζονται όμως και σαν έργα προστασίας διαβρωμένων ακτών. (Κουτίτας, 1996) Στην παρούσα εργασία επιχειρούμε να προσομοιάσουμε το πρανές ενός κυματοθραύστη δίνοντας του διαφορές κλίσεις και διαφορετικό υλικό, ώστε να μελετήσουμε την αναρρίχηση που γίνεται σε αυτόν. Ανάλογα με την κλίση και το υλικό η αναρρίχηση εναλλάσσεται με εντυπωσιακές τιμές. Τα πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί για δύο βάθη 0.10 m και 0.15 m, για πέντε διαφορετικές κλίσεις 1/1.5, 1/2, 1/3, 1/4 και 1/5 και για τις περιόδους 0.60 m, 0.75 m, 1.00 m, 1.25 m και 1.50 m. Σε μερικά από τα πειράματα έχουν γίνει αντίστοιχα αριθμητικά μοντέλα από τους φοιτητές του πολυτεχνείου του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. που συνεργαστήκαν μαζί μας. Τα πειράματα αυτά είναι για δύο βάθη 0.10 m και 0.15 m, για πέντε κλίσεις 1/1.5, 1/2, 1/3, 1/4 και 1/5 και για τις περιόδους 0.60 m, 1.00 m και 1.50 m. Για την μελέτη της αναρρίχησης έγινε αρχικά και ο προσδιορισμός του ύψους και του μήκους κύματος, το οποίο προσπίπτει στο πρανές. Παρακάτω θα δούμε σύγκριση όλων αυτών των αποτελεσμάτων σε διαγράμματα και σε πίνακες όπου γίνονται και πιο αντιληπτά.

1.3 ΟΡΙΣΜΟΙ

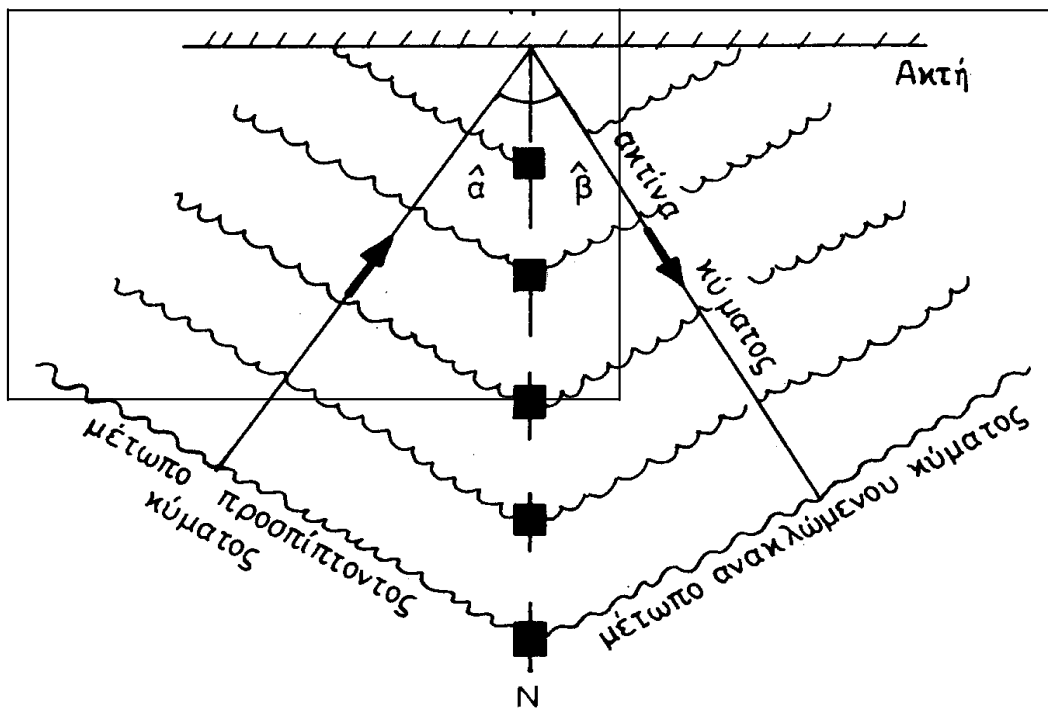
Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου της αναρρίχησης αλλά και των διαδικασιών-φαινομένων που συμβαίνουν παράλληλα, δίνονται παρακάτω κάποιοι βασικοί ορισμοί που αφορούν τα φαινόμενα αυτά.

ΡΗΧΩΣΗ

Ρήγωση είναι το φαινόμενο εκείνο κατά οποίο παρατηρείται μεταβολή του μήκους και του ύψους κύματος (διατηρουμένης της περιόδου σταθεράς) κατά τη διάδοση του από τα βαθιά νερά (τα «ανοιχτά») προς τα ρηχά νερά (την ακτή) λόγω μεταβολής του βάθους του νερού (μμεταβολής της στάθμης του πυθμένα)

ΑΝΑΚΛΑΣΗ

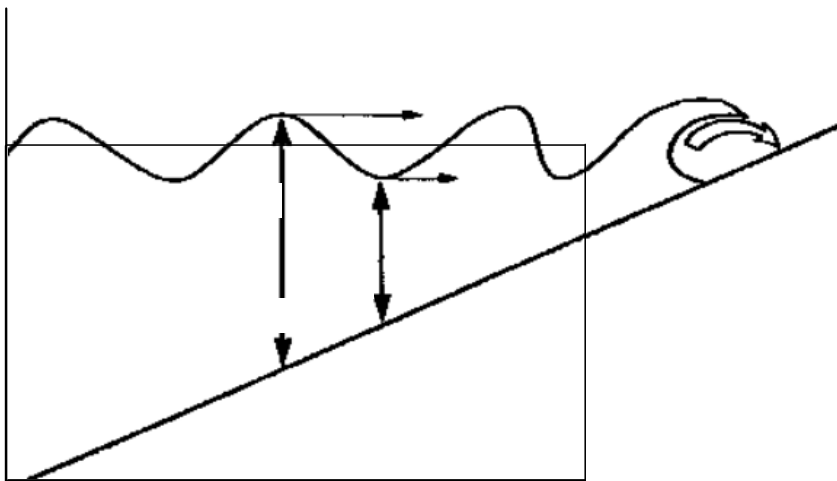
Ανάκλαση του κύματος είναι το φαινόμενο εκείνο κατά οποίο παρατηρείται αλλαγή στην κατεύθυνση διάδοσης (σύμφωνα με τους νόμους της οπτικής), ενός κύματος που προσπίπτει (προσκρούει) σε μία ανακλαστική επιφάνεια, με την αρχική ή μειωμένη ισχύ (ολική ή μερική ανάκλαση). Στην περίπτωση που έχουμε κάθετη πρόσπτωση σε μία κατακόρυφη και λεία επιφάνεια ενός μετώπου, η κατεύθυνση διάδοσης αντιστρέφεται και προκύπτει διπλασιασμός του ύψους κύματος μπροστά στο μέτωπο).



Εικόνα 1.1: Ανάκλαση (Λεοντάρης, 1995)

ΘΡΑΥΣΗ

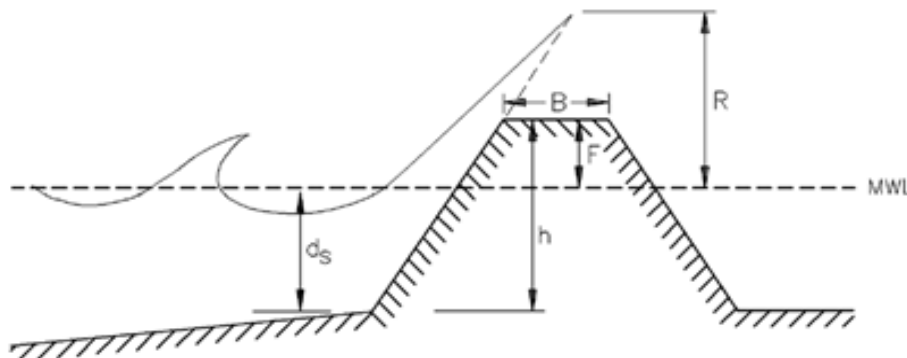
Θραύση του κύματος είναι το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο το πλάτος του κύματος φτάνει μία κρίσιμη τιμή (σε σχέση με το μήκος του κύματος στα νερά μεγάλου ή ενδιάμεσου βάθους, ή σε σχέση με το βάθος του νερού στα ρηχά νερά) πέρα από την οποία αρχίζουν να συμβαίνουν διαδικασίες απώλειας ενέργειας, με ισχυρή τύρβη στην ροή.



Εικόνα 1.2: Θραύση (Λεοντάρης, 1995)

ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗ

Αναρρίχηση του κύματος σε πρανές είναι το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο το κύμα που προσπίπτει σε ένα πρανές αναρριχάται σε αυτό, άλλοτε θραυόμενο, άλλοτε όχι, με αποτέλεσμα να φτάνει σε ένα μέγιστο ύψος πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το ύψος αυτό μετριέται κατακόρυφα από τη στάθμη ηρεμίας. (η αναρρίχηση δηλ. αποτιμάται από την διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη στάθμη της επιφάνειας του νερού και τη μέση στάθμη ηρεμίας).



Εικόνα 1.3: Αναρρίχηση (CEM, 2013)

ΒΑΘΙΑ, ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΚΑΙ ΡΙΧΑ ΝΕΡΑ

Τα νερά με βάθος μεγαλύτερο του μισού μήκους κύματος είναι τα βαθιά νερά. Αυτά με βάθος μεταξύ του μισού μήκους κύματος και του 5-10% του μήκους κύματος είναι τα ενδιάμεσα. Και τέλος τα νερά με βάθος μικρότερο του 5-10% του μήκους κύματος είναι τα λεγόμενα ρηχά νερά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε έρευνες, πτυχιακές εργασίες, διδακτορικές διατριβές και διαφορές επιστημονικές δημοσιεύσεις οι όποιες έχουν δείξει το φαινόμενο της αναρρίχησης του νερού σε πρανή και της συμπεριφοράς του νερού πριν και μετά την πρόσπτωση στο πρανές. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να επισημανθεί πως οι κλίσεις των πρανών ποικίλουν, επίσης και το υλικό του πρανούς μπορεί να συνιστάται από διαφορετικούς τύπους ογκόλιθων. Μερικοί από τους πιο σημαντικούς τύπους αυτών είναι οι εξής:

1) Φυσικοί λίθοι

α) φυσικοί λίθοι με λεία επιφάνεια

β) φυσικοί λίθοι με κάποιο βαθμό τραχύτητας

2) Τεχνητοί ογκόλιθοι, στους οποίους η τραχύτητα ή μορφή επιλέγεται σύμφωνα με τις ανάγκες της κατασκευής.

Παρακάτω θα ακολουθήσει μια βιβλιογραφική ανασκόπηση, στην οποία αναφέρονται συνοπτικά και εμπειριστατωμένα μερικές σημαντικές εργασίες (projects) πάνω στο θέμα της διερεύνησης της αναρρίχησης των θαλάσσιων κυμάτων σε πρανή κυματοθραύστη.

Αφετηρία της βιβλιογραφικής αναδρομής θα αποτελέσει η διπλωματική εργασία των φοιτητών Τζαφέρη και Φυτόπουλο (2014) στην οποία επιβλέπων καθηγητής ήταν ο Κ. Χριστόφορος Γ. Κουτίτας, καθηγητής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Α.Π.Θ. Επιπρόσθετα το πειραματικό μέρος της εργασίας των παραπάνω συντελεστών ενισχύθηκε με τη συμβολή του Κ. Γεώργιου Πεχλιβανίδη, καθηγητής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. ο οποίος παραχώρησε τον εξοπλισμό και τον χώρο του εργαστηρίου υδραυλικής του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. για την σωστή διεκπεραίωση του συγκεκριμένου τμήματος της διπλωματικής των φοιτητών. Επίσης στην διαμόρφωση συμπερασμάτων της διπλωματικής εργασίας συνέβαλε η παρακολούθηση μεγάλου μέρους των πειραματικών διαδικασιών που έλαβαν χώρα για την στελέχωση της εξολοκλήρου πειραματικού χαρακτήρα εργασίας που έγινε από τους συντελεστές της δικιάς μας πτυχιακής εργασίας.

Ο τίτλος της διπλωματικής μελέτης των φοιτητών Τζαφέρης Αλέξανδρος και Φυτόπουλος Κυριάκος είναι:

“ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΣΕ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΜΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΠΡΑΝΗ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΜΕ ΑΝΑΒΑΘΜΟ ”

“Η παρούσα διπλωματική μελέτη έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση της κυματικής αναρρίχησης και υπερπήδησης σε κυματοθραύστη με κεκλιμένα πρηνή και πρηνή με αναβαθμό. Με τη χρήση ενός υπολογιστικού προγράμματος προσομοιώνεται η παραγωγή και μετάδοση μη γραμμικών κυματισμών που προσπίπτουν σε κυματοθραύστη καθώς και η υπερπήδηση τους πάνω από το σημείο στέψης. Είναι γνωστό ότι στους κυματοθραύστες η βασικότερη παράμετρος είναι η στάθμη της στέψης η οποία αποκόπτει ή όχι την είσοδο των κυματισμών στη λιμενολεκάνη. Διερευνάται έτσι η αναρρίχηση των κυματισμών για διάφορες διατομές κυματοθραυστών καθώς και το προφίλ της διατομής που θα οδηγήσει στην μέγιστη υπερπήδηση των κυματισμών αυτών και θα επιφέρει την μέγιστη μηχανική ενέργεια η οποία θα αξιοποιηθεί στο πίσω μέρος του κυματοθραύστη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε πίνακες και διαγράμματα και γίνεται σύγκριση με αποτελέσματα πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο Α.Τ.Ε.Ι Θεσσαλονίκης.” (Τζαφέρης και Φυτόπουλος, 2014)

Οι Πεχλιβάνογλου και Κυπραίος παρουσίασαν στο 8ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας, την αξιοποίηση των ωκεανογραφικών - γεωλογικών δεδομένων στην προσομοίωση της αναρρίχησης των κυμάτων στην ακτή για τον καθορισμό της ζώνης του αιγιαλού (χωρίο που αποτελεί και τίτλος της ερευνάς των συντελεστών). Οι ερευνητές προχωρούν στη διερεύνηση της κυματικής συμπεριφοράς κατά την διάρκεια της πρόσκρουσης στην ακτή (πρανές). Βέβαια στην εν λόγω εργασία αναφέρεται το αντίκτυπο της αναρρίχησης του νερού όσο αφορά τον καθορισμό της ζώνης του αιγιαλού. Παρακάτω ακολουθεί μια εμπειριστατωμένη και περιληπτική παρουσίαση της ερευνάς.

“Στην παρούσα εργασία προτείνεται μεθοδολογία αξιοποίησης δεδομένων θαλάσσιου και παράκτιου περιβάλλοντος (μετρήσεις ύψους κύματος στη ανοιχτή θάλασσα, προσομοίωση κύματος με μαθηματικά μοντέλα στην παράκτια ζώνη, μετρήσεις ανέμου, υπολογισμοί μέγιστης αναρρίχησης του κυματισμού στην εναέρια παραλία, γεωμορφολογικά και βυθομετρικά στοιχεία),

προκειμένου να υποστηριχθεί και τεκμηριωθεί η χάραξη της ζώνης του αιγιαλού όπως αυτή καθορίζεται από την Ελληνική νομοθεσία και τη νομολογία του Συμβουλίου της Επικρατείας. Οι προαναφερόμενες διαδικασίες εφαρμόζονται συγκριτικά σε τρεις περιοχές με διαφορετικά ανεμολογικά, κυματικά, γεωμορφολογικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά προτείνοντας μεθοδολογίες για επίλυση προβλημάτων καθορισμού της οριογραμμής του αιγιαλού.” (Πεχλιβάνογλου και Κυπραίος, 8ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας)

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι η μεθοδολογία αξιοποίησης των δεδομένων που αντλήθηκαν από τις πειραματικές διαδικασίες των δυο παραπάνω εργασιών “ θεωρητική διερεύνηση της κυματικής αναρρίχησης και υπερπήδησης σε κυματοθραύστη με κεκλιμένα πρανή και κυματοθραύστη με αναβαθμό ” και “Αξιοποίηση ωκεανογραφικών - γεωλογικών δεδομένων στην προσομοίωση της αναρρίχησης των κυμάτων στην ακτή για τον καθορισμό της ζώνης του αιγιαλού” είναι παρόμοια με την εργασία μας.

Στη συνέχεια αξίζει να γίνει αναφορά στη διπλωματική εργασία με τίτλο:

“ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΜΕ ΠΡΑΝΕΣ ΥΠΟ ΛΟΞΗ ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ” και συντάκτη τον Χατζόπουλο (2012)

“Το αντικείμενο της παρούσης έρευνας είναι η πειραματική διερεύνηση της κυματικής υπερπήδησης κυματοθραύστη με πρανές υπό λοξή πρόσπτωση κυματισμών . Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την πειραματική διερεύνηση της κυματικής υπερπήδησης και εξετάζεται η επιρροή των διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν το φαινόμενο.

Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου σε μία από τις τρεις δεξαμενές του κατά τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο του έτους 2009.

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το ήδη υπάρχον φυσικό προσομοίωμα του λιμένα Κυπαρισσίας και της παρακείμενης ακτής. Η κλίμακα του υδραυλικού μοντέλου ήταν 1:75 και η διατομή του κυματοθραύστη ήταν με πρανές.

Πιο αναλυτικά, η κυματική υπερπήδηση διερευνήθηκε σε δύο τμήματα του προσήνεμου μόλου του λιμένα με διαφορετικές τραχύτητες (γr) εξωτερικού μετώπου (πρανές από φυσικούς ογκόλιθους, πρανές από τεχνητούς ογκόλιθους και πρανές με επίστρωση με μεταλλικό φύλλο) και υπό τρεις διευθύνσεις πρόσπτωσης κυματισμού. Η υπερπήδηση μετρήθηκε υπό την πρόσπτωση διαφόρων υψών κυματισμών (H_s) και περιόδων. Μετρήσεις κυματικής υπερπήδησης έγιναν και στην κρισιμότερη περιοχή της καμπής του μόλου, φαινόμενο το οποίο ενδιαφέρει διεθνώς. Ο όγκος νερού που αντιστοιχούσε ποσοτικά στην κυματική υπερπήδηση του υπάρχοντος κυματοθραύστη μετρήθηκε με κυτία που είχαν τοποθετηθεί κατά μήκος των δύο τμημάτων του μόλου του λιμένα καθώς και στην καμπή του μόλου.

Τα αποτελέσματα όλων των επιμέρους δοκιμών συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν με την βοήθεια θεωρητικών σχέσεων, ηλεκτρονικών υπολογιστών και προγραμμάτων. Η επεξεργασία και εξαγωγή συμπερασμάτων έγινε με την βοήθεια πινάκων και διαγραμμάτων τα οποία οπτικοποιούν το φαινόμενο της κυματικής υπερπήδησης υπό τις δεδομένες συνθήκες και τα κυματικά χαρακτηριστικά της πειραματικής διερεύνησης.

Έπειτα, έγινε διερεύνηση της επιρροής του φαινομένου της διάθλασης στους κυματισμούς και υπολογίστηκαν τα μεγέθη των υψών των κυματισμών (H_s) και των γωνιών πρόπτωσης (β) μετά το πέρασ του φαινομένου.

Στην συνέχεια έγινε η σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων με θεωρητικές εκτιμήσεις (Van der Meer and Janssen(1988), Owen(1980), Allsop(1995)) με σκοπό την σύγκριση και την βαθύτερη διερεύνηση μεταξύ των εργαστηριακών αποτελεσμάτων και των διεθνώς αποδεκτών θεωρητικών εκτιμήσεων.

Τέλος πραγματοποιήθηκε η καταγραφή και παρουσίαση των συμπερασμάτων της παρούσης έρευνας.”(Χατζόπουλος, 2012)

Όπως φαίνεται, και η παραπάνω εργασία προχωρά στην διερεύνηση του ίδιου φαινομένου με την εργασία που έχουμε αναλάβει να φέρουμε και εμείς εις πέρας, με την διάφορα βέβαια πως στην εργασία που ακολούθησε γίνεται διερεύνηση του φαινομένου της υπερπήδησης του πρηνούς, υπό λοξή γωνία πρόσπτωσης του κύματος. Σε παρόμοια διαδικασία επιθυμούσαμε να προβούμε και εμείς κατά την διάρκεια της πειραματικής εργασίας μας, αλλά για λόγους πρακτικούς και θεωρητικούς δεν προβήκαμε. Σε περίπτωση που υπήρχε αντίστοιχο υλικό για σύγκριση θα ήταν πολύ καλό για να μπορούσαμε έτσι να κάνουμε και μια διαδικασία επαλήθευσης των πειραματικών τιμών.

Τέλος, κλείνοντας το κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης θα αναφερθούμε σε μία μελέτη/εργασία που έγινε στα πλαίσια του επιστημονικού-διατμηματικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «ΕΠΙΣΤΙΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ». Το πρόγραμμα αυτό, είναι πρωτοβουλία του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εργασία είχε σαν θεματολογία την πειραματική διερεύνηση της κυματικής υπερπήδησης σε κεκλιμένο αδιαπέραστο κυματοθραύστη με αναβαθμό και εκπονήθηκε από τη Λεοντιάδη και τη Σταυλά (2008), φοιτήτριες σε μεταπτυχιακό επίπεδο στο Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

“Στόχος/σκοπός της εργασίας ήταν η ανάλυση συγκεκριμένων φαινομένων, όπως γίνεται ξεκάθαρα και από τον τίτλο της εργασίας που είναι: «Πειραματική διερεύνηση κυματικής υπερπήδησης σε κεκλιμένο

αδιαπέραστο κυματοθραύστη με αναβαθμό». Συγκεκριμένα αναφέρονται στα έξης:

ο Η υπερπήδηση ενός θαλάσσιου έργου είναι ένα πολύ σύνθετο φαινόμενο, μία μη περιοδική κυματική διαταραχή που δύσκολα περιγράφεται, αναλύεται, προβλέπεται και εκτιμάται (Allsop, 2004). Μόνο με μετρήσεις σε εργαστηριακές διατάξεις είναι εφικτή η εξέταση της επιδράσεως διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν την υπερπήδηση, η κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν το φαινόμενο και η ποσοτική εκτίμηση του.

ο Από την ανασκόπηση της διατιθέμενης διεθνούς βιβλιογραφίας προκύπτει ότι ολοκληρωμένη έρευνα κυματικής υπερπήδησης κυματοθραύστη με αναβαθμό (διεθνώς: berm breakwater) δεν έχει διεξαχθεί.

ο Στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π. γίνεται προσπάθεια πειραματικής διερεύνησης του φαινομένου της κυματικής υπερπήδησης του κυματοθραύστη με αναβαθμό (διεθνώς: berm breakwater) σε βασικό επίπεδο.

Το πρόγραμμα πειραμάτων που ακολουθήθηκε και στις δυο εργασίες ήταν παρόμοιο, καθώς η διαδικασία κάθε πειράματος ήταν και στις δύο η ακόλουθη:

- ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΔΑΤΟΣ ΣΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ
- ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΚΥΜΑΤΟΣ
- ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ
- ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ

- ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΔΕΚΑΜΕΤΡΟΥ (για κάθε μία από τις διατάξεις)” (Λεοντιάδη και Σταυλά, 2008)

Αξίζει να επισημάνουμε σε αυτό το σημείο, πως οι συντάκτριες προτείνουν στο μέλλον και περαιτέρω έρευνα. Μελλοντικά θα ήταν καλό να γίνει διερεύνηση του φαινομένου της κυματικής υπερπήδησης και με τα εναλλακτικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής.

Και επίσης σε μελλοντικά πειράματα προτείνεται η χρήση ειδικών μετρητικών οργάνων για τη μέτρηση της κυματικής υπερπήδησης για λόγους ακρίβειας και εξοικονόμησης χρόνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

3.1.1 ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Το εργαστήριο όπου πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία της πτυχιακής μας εργασίας, ήταν το εργαστήριο της Υδραυλικής και Μηχανικής των Ρευστών στο Αλεξάνδρειο ΤΕΙ της Θεσσαλονίκης, με υπεύθυνο του εργαστηρίου τον καθηγητή κ. Γ. Πεχλιβανίδη, ο οποίος επέβλεπε και συντόνιζε την διεξαγωγή των πειραμάτων σε συνεργασία με τον υπεύθυνο καθηγητή της πτυχιακής τον κ. Ι. Σαββίδη.

3.1.2 Ο ΧΡΟΝΟΣ

Ο χρόνος διεξαγωγής των πειραμάτων ήταν από τον Οκτώβρη του 2013 έως τον Μάρτιο του 2014 (συνολικά επισκέψεις). Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα έλαβαν χώρα οι εξής διαδικασίες :

- Προετοιμασία του εργαστηρίου και συλλογή των υλικών.
- Σε πρώτη φάση, γίνεται η καταγραφή και η ανάλυση της συμπεριφοράς του κύματος στην περίπτωση που προσπίπτει σε «πρανές» με κλίσεις (1/1,5) , (1/2) , (1/3) , (1/4) και (1/5) , με διαφορετική σε κάθε κλίση περίοδο και βάθος νερού, καθώς για κάθε μία κλίση ξεχωριστά παίρναμε 2 βάθη: 0.10m και 0,15m , και για κάθε κλίση σε διαφορετικό βάθος παίρναμε αποτελέσματα σε πέντε περιόδους (T): 0.6sec , 0,75sec, 1.0sec, 1.25sec και 1,5sec. Στη φάση αυτή το «πρανές» μας αποτελούσε ένα τμήμα διαφανούς plexi glass διαστάσεων , στο οποίο είχαμε κολλήσει με ειδική κόλλα στα πλαϊνά του τμήματα (περιφερικά) αφρώδες λάστιχο για 3 λόγους: α) για να μπορούμε να το μετακινούμε εύκολα μέσα στο κανάλι, β) για να παίρνουμε κάθε φορά την επιθυμητή κλίση και γ) για να μην έχουμε διαρροή του νερού απ το πλάι.
- Σε δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε η ίδια ακριβώς διαδικασία, με τις ίδιες παραμέτρους με την μόνη διαφορά ότι σε αυτήν την περίπτωση το «πρανές» μας δεν είχε αμελητέα τραχύτητα, καθώς είχαμε τοποθετήσει επάνω σε αυτό με την βοήθεια μικρών συρμάτων, υαλόχαρτο κομμένο στις διαστάσεις του πρανές για να έχουμε έτσι τραχύτητα.

3.1.3 Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο εξοπλισμός του εργαστηρίου, που χρησιμοποιήσαμε ήταν:

1) Ένα κανάλι με μεταλλικό πυθμένα και τοιχώματα από διαφανές plexi glass. Το επάνω μέρος του καναλιού ήταν ανοικτό, ενώ στα τοιχώματα είχαν τοποθετηθεί μετρητικές ταινίες, για να διευκολύνεται η λήψη των αποτελεσμάτων και στο πίσω μέρος του μαύρο χαρτόνι για φαίνεται μετέπειτα στο βίντεο καταγραφής καλύτερα η ελεύθερη επιφάνεια του νερού και το προφίλ της αναρρίχησης.

2) Μία κυματογεννήτρια τύπου κουπιού, αρθρωτή στο κάτω μέρος της και συνδεδεμένη μέσω ενός βραχίονα με ένα ρότορα. Η συχνότητα κίνησης της κυματογεννήτριας, και κατ' επέκταση και η περίοδος του κύματος, ελεγχόταν από έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα στροφών (inverter), ο οποίος ήταν συνδεδεμένος ταυτόχρονα με την παροχή ρεύματος και το μοτέρ της γεννήτριας.

Ακόμη, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, καταγράφονταν από υψηλής ανάλυσης camera, τόσο για την κατανόηση και εμπέδωση του φαινομένου, όσο κυρίως και για την διόρθωση χονδροειδών σφαλμάτων κατά τη λήψη των μετρήσεων.

τέλος, χρειάστηκαν και υλικά όπως:

- 1) κομμάτια plexi glass
- 2) αφρώδη λάστιχα
- 3)καλαμάκια
- 4)συσκευή θέρμανσης
- 5)συρματακια

INVERTER

Ο αντιστροφέας (επίσης μετατροπέας ή αναστροφέας) (inverter) είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Ο αντιστροφέας είναι δυνατόν να υπάρχει ως αυτόνομη ηλεκτρονική συσκευή, ή ως βαθμίδα άλλης ηλεκτρονικής συσκευής. Ως αυτόνομη συσκευή, χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, αυτόνομα συστήματα ενέργειας με συσσωρευτές, και όπου αλλού χρειάζεται να μετατρέψουμε συνεχή τάση 12 V ή 24 V (συνηθέστερες τιμές), σε εναλλασσόμενη 220 V. Ως τελική βαθμίδα, υπάρχει στα UPS (συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος). Η κυριότερη διάκριση των αντιστροφέων όσον αφορά τη χρήση τους σε εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. είναι σε αντιστροφής "διασυνδεδεμένων συστημάτων" και "αυτόνομων συστημάτων". Όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής αντιστροφέων "αυτόνομων συστημάτων", η κυριότερη διάκριση είναι ανάμεσα σε αντιστροφής "καθαρού ημιτόνου" και "τροποποιημένου ημιτόνου". Οι μετατροπείς καθαρού ημιτόνου έχουν υψηλότερο κόστος αλλά επιτυγχάνουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης, είναι συμβατοί με όλες τις συσκευές και έχουν γενικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 3.1: Inverter (Siemens)

Το παραπάνω inverter δεν είναι το ίδιο μοντέλο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια της πειραματικής εργασίας.

3.1.4 ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ

Το κανάλι ήταν συνολικού μήκους 6.5m, όπως βλέπουμε στην *εικόνα 1* από τα οποία τελικά χρησιμοποιήθηκαν τα 5.5m (απόσταση από τον άξονα της κυματογεννήτριας έως το σημείο τοποθέτησης του «πρανούς»).



Εικόνα 3.2 :Γενική άποψη του καναλιού. Στα αριστερά βρίσκεται η διάταξη της κυματογεννήτριας και στο δεξί απέναντι άκρο του καναλιού φαίνεται το plexi glass του πρανούς.

Τα τοιχώματα του καναλιού ήταν κατασκευασμένα από διαφανές plexi glass, το οποίο επέτρεπε την πλήρη εποπτεία του φαινομένου μέσα στο κανάλι. Η απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων του καναλιού, δηλαδή το πλάτος του, ήταν 7.5cm. Τα τοιχώματα ήταν συνολικού ύψους 25cm και επομένως το καθαρό βάθος του καναλιού ήταν 25cm. Παρόλα αυτά, για όλα τα πειράματα τελικά χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς και τεχνικούς λόγους το βάθος των 0,15m και 0,10m. Οι βασικότεροι λόγοι ήταν ότι επιδιώχθηκε ένα σχετικά μικρό βάθος νερού, ώστε με την ύπαρξη του κυματισμού και της ταλάντωσης μέσα στο κανάλι να αποκλειστεί η υπερχείλιση νερού εκτός του καναλιού, αλλά και ένα επαρκές βάθος, ώστε να μπορούμε να πειραματιστούμε και να έχουμε το φαινόμενο που επιθυμούμε σε μια ικανοποιητική μορφή.

Η τροφοδοσία του νερού στο κανάλι γινόταν από μία δεξαμενή μέσω μιας χαμηλής ισχύος αντλίας. Ο αγωγός σύνδεσης της αντλίας με το κανάλι διέθετε βαλβίδα αντεπιστροφής ώστε να αποτρέπεται η εκκένωση του καναλιού. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι υπήρχε η δυνατότητα μικρορύθμισης της στάθμης του νερού μέσα στο κανάλι μέσω βάνας που

βρισκόταν στον προαναφερθέντα αγωγό, γεγονός που μας επέτρεψε να πετύχουμε μεγάλη ακρίβεια όσον αφορά το βάθος του νερού σε κάθε πειραματική διαδικασία. Τέλος, να επισημανθεί ότι το κανάλι ήταν απόλυτα οριζοντιωμένο.

Στο απέναντι από την κυματογεννήτρια άκρο υπήρχε δεξαμενή που συνδεόταν με το κανάλι μέσω ενός κλαπέ που επέτρεπε ρύθμιση του βάθους του νερού με ακρίβεια χιλιοστού. Οι δύο παραπάνω διατάξεις επέτρεπαν την εξασφάλιση σταθερού βάθους νερού σε όλο το μήκος του καναλιού.

3.1.5 Η ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Η κυματογεννήτρια αποτελούνταν από μία απλούστατη διάταξη ενός κουπιού κατασκευασμένου από plexi glass, αρθρωτού στη βάση του, στον πυθμένα του καναλιού, και συνδεδεμένου με ένα μεταλλικό βραχίονα στο άνω μέρος του. Ο βραχίονας ήταν συνδεδεμένος με έναν ρότορα, ο οποίος συνδέονταν με τη σειρά του με ένα κινητήρα τροφοδοτούμενο από το ηλεκτρικό ρεύμα του δικτύου. Η συχνότητα περιστροφής του ρότορα και κατ' ουσία η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα ελεγχόταν από έναν μειωτήρα στροφών (inverter), ο οποίος ταυτόχρονα μετέτρεπε το εναλλασσόμενο ρεύμα του δικτύου σε συνεχές. Επομένως, η συχνότητα της κίνησης του κουπιού ήταν άμεσα και εύκολα ελεγχόμενη από το inverter . Είναι φανερό ότι η συχνότητα κίνησης του κουπιού-κυματογεννήτριας καθόριζε και την περίοδο του παραγόμενου κύματος.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το κουπί-κυματογεννήτρια (εικόνα 2) πραγματοποιούσε σταθερού εύρους κίνηση για όλες τις περιόδους κύματος. Η διεύθυνση της κίνησής της παρέμενε σταθερή και ταυτιζόταν με τον οριζόντιο άξονα του καναλιού, ενώ η φορά της ήταν προς τα μπροστά και προς τα πίσω.



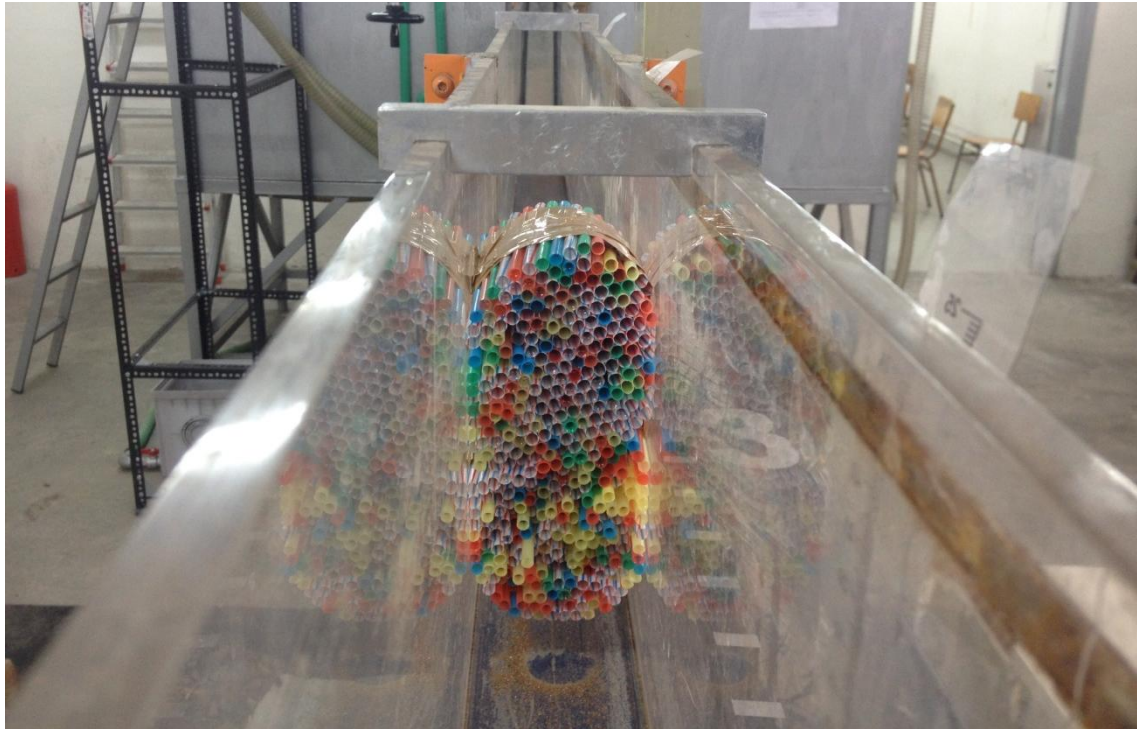
Εικόνα 3.3: Διάταξη της κυματογεννήτριας: Κουπί από διαφανές plexi glass, μεταλλικός βραχίονας και περιστροφικός μηχανισμός.

Πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε πειραματική μέτρηση, έπρεπε να συσχετισθεί η περίοδος της κίνησης της κυματογεννήτριας με τον αριθμό στροφών του inverter. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου καθηγητή Γ. Πεχλιβανίδη. Έπειτα από αυτό, υπήρχε δυνατότητα μικρορύθμισης της περιόδου του κύματος με ακρίβεια millisecond. Η συσχέτιση της περιόδου της κίνησης της κυματογεννήτριας με τον αριθμό στροφών του inverter δινόταν απ' την εξής σχέση:

Κατά την πειραματική διαδικασία παρατηρήθηκε ότι η κυματογεννήτρια εν τέλει παράγει κύματα που το ύψος τους εξαρτάται από την περίοδο κίνησής της. Αυτό εξηγείται λογικά και εύκολα, διότι διαθέτοντας σταθερό βάθος νερού και σταθερό εύρος κίνησης του κουπιού, η μάζα νερού που μετακινείται και δημιουργεί τη διαταραχή-κύμα στο κανάλι, αυξομειώνεται ανάλογα με την ταχύτητα που αυτή εξαναγκάζεται σε κίνηση. Συγκεκριμένα, όσο πιο γρήγορα γίνεται η κίνηση της κυματογεννήτριας, δηλαδή όσο πιο μικρή είναι η περίοδος του κύματος, τόσο πιο απότομα μετακινείται η μάζα νερού με αποτέλεσμα να παράγεται κύμα μεγαλύτερου ύψους. Αντίθετα, όσο πιο αργά γίνεται η κίνηση του κουπιού, δηλαδή όσο πιο μεγάλη είναι η περίοδος του κύματος, τόσο λιγότερο διαταράσσεται το

νερό στο κανάλι, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κύματα μικρότερου ύψους. Όλα τα παραπάνω οφείλονται στο κατασκευαστικό μειονέκτημα της κυματογεννήτριας να μην εφαρμόζει ικανοποιητικά στα τοιχώματα του καναλιού και να επιτρέπει σχεδόν απρόσκοπτα την κίνηση του νερού πέριξ αυτής. Είναι προφανές ότι αν υπήρχε εξειδικευμένος εξοπλισμός αυτό το φαινόμενο δεν θα είχε εμφανισθεί ή θα αντιμετωπιζόταν με κάποιο τρόπο, ώστε τελικά να χρησιμοποιείται για όλες τις περιόδους κίνησης ένα μοναδικό ύψος κύματος.

Ένα ακόμα φαινόμενο που δημιουργήθηκε λόγω της έλλειψης εξειδικευμένου εξοπλισμού ήταν η ανάκλαση του κύματος πάνω στην κυματογεννήτρια μετά την επιστροφή του από το απέναντι άκρο του καναλιού, όπου και βρισκόταν το *plaxi glass*. Αυτό συνέβαινε διότι η κυματογεννήτρια παρήγαγε ένα κύμα που διαδιδόταν στο κανάλι και προσέπιπε πάνω στο *plaxi glass* (*incident wave* ή προσπίπτον κύμα). Ακολουθούσε έτσι η ταλάντωση την στήλης του νερού μέσα στο κανάλι και η μερική ανάκλαση του κύματος, καθώς το «πρανές» ήταν στημένο υπό κλίση και μέρος της κυματικής ενέργειας εκτονωνόταν μέσω της αναρρίχησης του κύματος στο «πρανές», με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός ανακλώμενου κύματος (*reflected wave*) με κατεύθυνση από το *plaxi glass* προς την κυματογεννήτρια. Στο κανάλι επομένως, μέχρι αυτό το σημείο λάμβανε χώρα η σύνθεση δύο κυμάτων, του προσπίπτοντος στο *plaxi glass* και του ανακλώμενου από το *plaxi glass*. Αυτή η κατάσταση προσεγγίζει αρκετά ικανοποιητικά και το πραγματικό φυσικό φαινόμενο, αλλά υπήρχε σοβαρός κίνδυνος να μην έχουμε με αυτόν τον τρόπο τα καλύτερα δυνατά συμπεράσματα όσον αφορά τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Το πρόβλημα προκύπτει στη συνέχεια καθώς το ανακλώμενο από το «πρανές» κύμα κατά τη διάδοσή του στο αριστερό άκρο του καναλιού συναντά την κυματογεννήτρια, ανακλάται εν μέρει πάνω της και διαδίδεται εκ νέου προς το *plaxi glass*. Το προηγούμενο είναι κάτι που στη φύση δεν απαντάται επ' ουδενί, καθώς πάντα έχουμε συνθήκη ελεύθερης διάδοσης του κύματος προς την ανοιχτή θάλασσα. Συνεπώς, η ανάκλαση του κύματος στη κυματογεννήτρια είναι καθόλα ανεπιθύμητη και δημιουργεί μια πολύπλοκη μη ρεαλιστική κυματική κατάσταση εντός του καναλιού. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την χρήση μιας πρόχειρης ειδικής διάταξης αγωγών απορρόφησης, που την αποτελούσαν καλαμάκια όπως φαίνεται στην εικόνα 3 στο ίδιο μήκος.

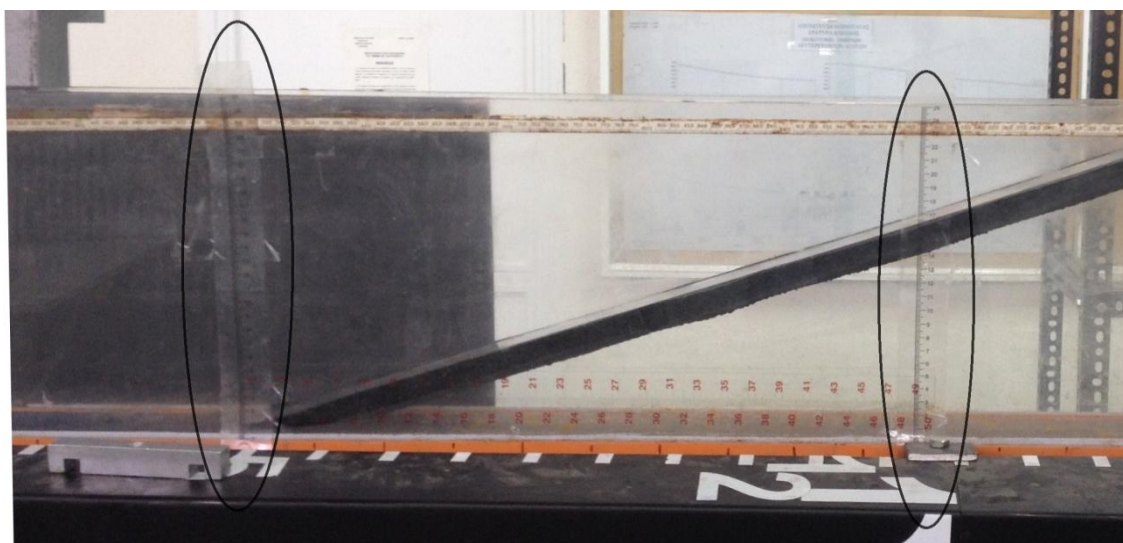


Εικόνα 3.4 : Τα καλαμάκια έχουν «σφηνωθεί» ουσιαστικά στο κανάλι και καταλαμβάνουν σχεδόν όλη την επιφάνεια πλάτους του καναλιού, με αποτέλεσμα παραλαμβάνονται οι ανακλάσεις μέσα από μια διάταξη αγωγών απορρόφησης.

3.2 Ο ΤΡΟΠΟΣ ΛΗΨΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.2.1 ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ

Καθώς το εργαστήριο δεν διέθετε αισθητήρες για την μέτρηση της διακύμανσης της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού και η κατασκευή και η βαθμονόμησή τους ήταν αδύνατη στα χρονικά περιθώρια που υπήρχαν, και δεν ήταν και απαραίτητη, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν αυτοκόλλητες μετρητικές ταινίες, η όποιες σημειώνονται στην παρακάτω εικόνα 4.



Εικόνα 3.5: Μετροταινίες κάθετες στο κανάλι για τον ευκολότερη καταγραφή του βάθους και της αναρρίχησης.

Αυτά μπορούσαν να κολληθούν σε οποιοδήποτε σημείο του καναλιού με την βοήθεια διάφανης κολλητικής ταινίας, και σε συνδυασμό με τα διαφανή τοιχώματα του καναλιού που επέτρεπαν την άμεση εποπτεία της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού, έκαναν δυνατή τη λήψη μετρήσεων. Η ακρίβεια που ήταν να δυνατόν να επιτευχθεί ήταν της τάξης του χιλιοστού.

Η λήψη των μετρήσεων γινόταν μέσα από το στιγμιότυπο του βίντεο που κατέγραφε την εκάστοτε διαδικασία. Αργότερα αυτά τα αποτελέσματα καταγράφηκαν χειρόγραφα σε πρόχειρη μορφή σε χαρτί και στη συνέχεια μεταφερόταν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για την κατάλληλη επεξεργασία τους.

Οι μετρήσεις που διενεργήθηκαν αφορούσαν την μέτρηση του κύματος το οποίο αναρριχάται στο «πρανές». Αφορούσαν επίσης και τα γενικά χαρακτηριστικά του κύματος (πλάτος, μήκος κτλ) Πριν τη λήψη οποιασδήποτε μέτρησης δίνονταν στο «σύστημα» επαρκής χρόνος, ώστε αυτό να έλθει σε ισορροπία για να έχουν νόημα οι μετρήσεις. Ο χρόνος αυτός εμπειρικά εκτιμήθηκε σε 100 περίπου περιόδους κύματος. Ουσιαστικά

δηλαδή από τη στιγμή εκκίνησης της κυματογεννήτριας μεσολαβούσαν κατά μέσο όρο 2 λεπτά πριν να ληφθεί οποιαδήποτε μέτρηση.

3.3 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Είναι φανερό ότι με τον απλό τρόπο της λήψης των μετρήσεων με το μάτι, η ακρίβειά τους εναπόκειται στην υποκειμενικότητα του παρατηρητή και στην ικανότητα έγκυρης και έγκαιρης παρατήρησης και καταγραφής (διότι επρόκειτο για δυναμικό φαινόμενο). Για να μετριασθεί αυτή η αδυναμία και να υπάρχει δυνατότητα υψηλής ακρίβειας και επανελέγχου, τα πειράματα καταγράφονταν από μία ή και δύο σε ορισμένες περιπτώσεις κάμερες υψηλής ανάλυσης (high resolution camera), και όσον αφορά τις περιοχές ενδιαφέροντος γινόταν και δεύτερη, ακόμα πιο κοντινή λήψη. Σε περιπτώσεις που εμφανιζόταν κάποιο μη αναμενόμενο αποτέλεσμα κατά τη σχεδίαση των διαγραμμάτων ή υπήρχε υποψία κάποιου χονδροειδούς σφάλματος, αυτό μπορούσε να ελεγχθεί και να διορθωθεί άμεσα ανατρέχοντας στις αντίστοιχες καταγραφές.

Η παραπάνω διαδικασία κάποιες φορές δεν οδηγούσε σε διόρθωση του σφάλματος και σε περίπτωση ύπαρξης αμφιβολιών, επαναλαμβανόταν το πείραμα κατά την επόμενη επίσκεψη στο εργαστήριο μετά από καθοδήγηση των καθηγητών.

3.4 Η ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Το γεγονός ότι σε κάθε πείραμα είχαμε καταγραφή της διαδικασίας, μας έδινε την δυνατότητα να ξέρουμε ανά πάσα στιγμή αν αυτό που έχουμε σαν αποτέλεσμα ανταποκρίνεται απόλυτα σε αυτό το φαινόμενο που έλαβε χώρα στο εργαστήριο κατά την διάρκεια του πειράματος.

3.5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

3.5.1 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΛΑΧΙ GLASS.

Όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο η κυματογεννήτρια δεν μπορούσε να ρυθμισθεί ώστε να απορροφά το ανακλώμενο κύμα από το πλαχί glass, δημιουργώντας συνθήκη ελεύθερης διάδοσής του (free radiation condition). Οι τεχνολογικά εξελιγμένες κυματογεννήτριες, των οποίων η κίνηση ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή, έχουν την δυνατότητα «τεχνητής απορρόφησης» του κύματος που επιστρέφει σε αυτές από το απέναντι άκρο του καναλιού. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλη αλλαγή της κίνησής τους, ώστε το κύμα που δημιουργείται στο κανάλι να είναι σύνθεση μόνο δύο κυμάτων, του προσπίπτοντος (incident) και του ανακλώμενου από το απέναντι άκρο του καναλιού (reflected).

Η λύση που δόθηκε για τη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν η εισαγωγή απορροφητικής διάταξης (sponge layer) μετά από την κυματογεννήτρια. Η διάταξη αυτή αποτελούνταν από πλαστικούς σωληνωτούς αγωγούς διαμέτρου 5mm (καλαμάκια του εμπορίου), μήκους 10cm και ήταν σφηνωμένη μεταξύ των τοιχωμάτων του καναλιού. Η θέση και η απόσταση από τον πυθμένα της δέσμης των αγωγών δεν άλλαξε καθ' όλη την πειραματική διαδικασία, καθώς, όπως αποδείχθηκε και αργότερα, κάτι τέτοιο θα άλλαζε την κυματική κατάσταση στο κανάλι. Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται πως απορροφάται το κύμα από τα καλαμάκια.



Εικόνα 3.6: Διέλευση του κύματος μέσα από την απορροφητική διάταξη (καλαμάκια).

Η φιλοσοφία πίσω από αυτή την διάταξη είναι η σταδιακή απομείωση της ενέργειας του κυματισμού κατά τις διαδοχικές διελεύσεις του από το σώμα της. Οι αγωγοί αυτοί επέτρεπαν τη διάδοση του αρχικού κύματος που παράγει η κυματογεννήτρια, χωρίς να αλλοιώνουν την περίοδό του , αλλά μειώνοντας την ενέργειά του , δηλαδή πρακτικά το ύψος του κύματος. Το κύμα που περνούσε από τα καλαμάκια διαδιδόταν έπειτα ανεμπόδιστα στο κανάλι και ακολουθούσε μερική ανάκλαση του στην κεκλιμένη επιφάνεια του πρανούς . Το ανακλώμενο κύμα κινούμενο αντίθετα από το αρχικό, συναντούσε εκ νέου τα καλαμάκια και κατά τη διέλευση του (δεύτερη κατά σειρά) από αυτά έχανε ξανά μέρος της ενέργειάς του. Ακολουθούσε η ανάκλασή του στο «κουπί» της κυματογεννήτριας και η επιστροφή του στο κανάλι. Κατά την τρίτη κατά σειρά διέλευση του κύματος από το στρώμα απορρόφησης θεωρήθηκε ότι η ενέργειά του είχε μειωθεί τόσο , ώστε το ύψος του προστιθέμενου ανακλώμενου κύματος να θεωρείται αμελητέο. Άρα, στο κανάλι συνυπήρχαν μόνο ένα προσπίπτον και ένα ανακλώμενο από το πρανές κύμα. Παρά τις προφανείς αδυναμίες της, η συγκεκριμένη διάταξη φάνηκε να δίνει ικανοποιητική επίλυση στο πρόβλημα.

3.5.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Το δεύτερο σημαντικότερο πρόβλημα οφειλόταν και πάλι στην κατασκευαστική απλότητα της κυματογεννήτριας. Για το λόγο που περιγράφηκε σε παραπάνω παράγραφο , το ύψος κύματος που παρήγαγε η κυματογεννήτρια ήταν εξαρτημένο από την περίοδο της κίνησής της. Δυνητικά βέβαια, εφόσον είναι γνωστό το ύψος κύματος που αντιστοιχεί σε κάθε περίοδο και δεν αλλάζει το βάθος του νερού, η παραπάνω αδυναμία δεν αποτελεί ουσιαστικό πρόβλημα, διότι είναι γνωστή η ταλάντωση που επιτυγχάνεται μέσα στο κανάλι για κάθε περίοδο και για το αντίστοιχο ύψος κύματος.

Το πρόβλημα εμφανίζεται στη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφόρων περιόδων, καθώς είναι εκ βάθρων λαθεμένο να συγκρίνεται το εύρος της ταλάντωσης που προκαλείται από διαφορετική ενέργεια του διεγέρτη (διαφορετικό ύψος κύματος). Είναι λογικό ότι κύματα μεγαλύτερου ύψους θα προκαλούν και ταλάντωση μεγαλύτερο υ εύρους στο κανάλι.

3.6 Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Για να είναι δυνατή η αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων ως προς την πραγματικότητα έπρεπε να μετρηθούν τα ύψη κύματος για κάθε μία περίοδο, με τη διάταξη απορρόφησης σε συγκεκριμένη θέση. Το ύψος που έπρεπε να μετρηθεί, ήταν μόνο αυτό του προσπίπτοντος κύματος και αυτό γιατί πέρα από το πρακτικό πειραματικό ενδιαφέρον, ήταν το μόνο που μπορούσε να μετρηθεί με αξιοπιστία, καθώς τα φαινόμενα της κυματικής συμβολής και των τοπικών ανακλάσεων δημιουργούσαν ουσιαστικά μία κυματική κατάσταση στο κανάλι, η οποία δεν ήταν πλήρως διαχειρίσιμη.

3.6.1 ΜΕΤΡΗΣΗ (ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ) ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

Σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε και τον τρόπο με τον οποίο οποίο πετυχαίναμε το επιθυμητό βάθος στο κανάλι ή ύψος νερού. Αυτό γινόταν με την βοήθεια του υδραυλικού συστήματος που τροφοδοτούμε το κανάλι, το οποίο ήταν έτσι διαμορφωμένο ώστε να μας δίνει την δυνατότητα όταν ξεπερνούσαμε το επιθυμητό για το πείραμα, ύψος νερού, να αφαιρούμε νερό με μικρό ρυθμό απορροής, έτσι ώστε να έχουμε αμέσως το επιθυμητό αποτέλεσμα άμεσα.,

3.6.2 ΘΕΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Όσον αφορά για την σωστή θέση των αγωγών απορρόφησης, μετά από υπόδειξη του κ. Πεχλιβανίδη, ο οποίος είχε κάνει σχετικό έλεγχο στο παρελθόν στο πλαίσιο άλλης πειραματικής εργασίας, τοποθετήθηκαν σε απόσταση 0,5 m από την κυματογεννήτρια.

3.7 ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

3.7.1 ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο βασικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε πειράματα που εξετάζουν τη διάδοση του κύματος και την αλληλεπίδρασή του με τα τεχνικά έργα, είναι φυσικά η κυματογεννήτρια. Η απλότητα του μηχανισμού της, αλλά και οι λύσεις που δόθηκαν μπορεί να κάλυψαν έως έναν βαθμό τις ανάγκες του πειράματος, αλλά σε καμία περίπτωση δεν εξασφαλίζουν τις συνθήκες εκείνες που θα πλαισιώναν ένα εξολοκλήρου αξιόπιστο πείραμα. Για να μπορέσουν τα αποτελέσματα αυτά να χρησιμοποιηθούν ως βάση για περαιτέρω έρευνα, θα έπρεπε να είχε χρησιμοποιηθεί μία σύγχρονη κυματογεννήτρια, ελεγχόμενη από ηλεκτρονικό υπολογιστή με μηχανισμό απορρόφησης του ανακλώμενου κυματισμού από το απέναντι άκρο του καναλιού.

Σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων ενδέχεται να έπαιξε και το κανάλι. Όπως αναφέρθηκε το μήκος του καναλιού που ήταν σε χρήση ήταν μόλις 5.5m και το καθαρό μήκος ανάπτυξης των κυματισμών ήταν 4 m (από τα καλαμάκια μέχρι το «πρανές»). Επομένως, το κύμα δεν είχε τη δυνατότητα να διαδοθεί σε μεγάλο ελεύθερο μήκος. Εκτός όμως από το μήκος, το κανάλι υστερούσε κυρίως σε πλάτος. Τα μόλις 7.5cm του πλάτους του είναι δυνατόν να δημιουργούσαν προβλήματα, ιδίως με την ανάπτυξη οριακών στοιβάδων. Από παλαιότερες μετρήσεις με τη μέθοδο του P.I.V. στο συγκεκριμένο κανάλι, η οριακή στοιβάδα είχε εκτιμηθεί στα 2.5mm. Τελευταίο και λιγότερο ουσιώδες ήταν το βάθος του καναλιού (25cm) που δεν άφηνε πολλά περιθώρια να εργαστεί κανείς με βάθη νερού άνω των 15cm.

3.8 ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η ακρίβεια των μετρήσεων ήταν της τάξης του 1 mm. Επίσης, ήταν εφικτό να παρθούν ταυτόχρονες μετρήσεις σε πολλά σημεία του καναλιού, ώστε να προκύψει το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας σε μία χρονική στιγμή. Είναι φανερό βεβαίως πως η χρήση αισθητήρων για την μέτρηση της στάθμης και η σύνδεσή τους με Η/Υ είναι αναγκαία σε τέτοιου είδους πειράματα αλλά δεν υπήρχε αυτός ο εξοπλισμός στο εργαστήριο.

3.9 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

3.9.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Η ακριβής γνώση των χαρακτηριστικών του κύματος (περίοδος, ύψος, μήκος και γραμμικότητα ή μη) είναι αναγκαία για να εξασφαλισθεί η ακεραιότητα του πειράματος. Η τοποθέτηση αισθητήρων σε αρκετά σημεία του καναλιού είναι απαραίτητη για τον καθορισμό του προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας και κατ' επέκταση και των χαρακτηριστικών του κύματος.

Το φυσικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα, είχε γεωμετρική αναλογία περίπου 1:100 με την πραγματικότητα. Για να είναι δυνατή όμως και η δυναμική ομοιότητα των χαρακτηριστικών της ροής πρέπει να διεξαχθούν πειράματα μεγαλύτερης κλίμακας, ώστε να μειωθούν τα "σφάλματα κλίμακας". Με αυτό τον τρόπο θα εξασφαλισθεί ότι η ροή στο φυσικό μοντέλο θα έχει την ίδια συμπεριφορά.

3.10 ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

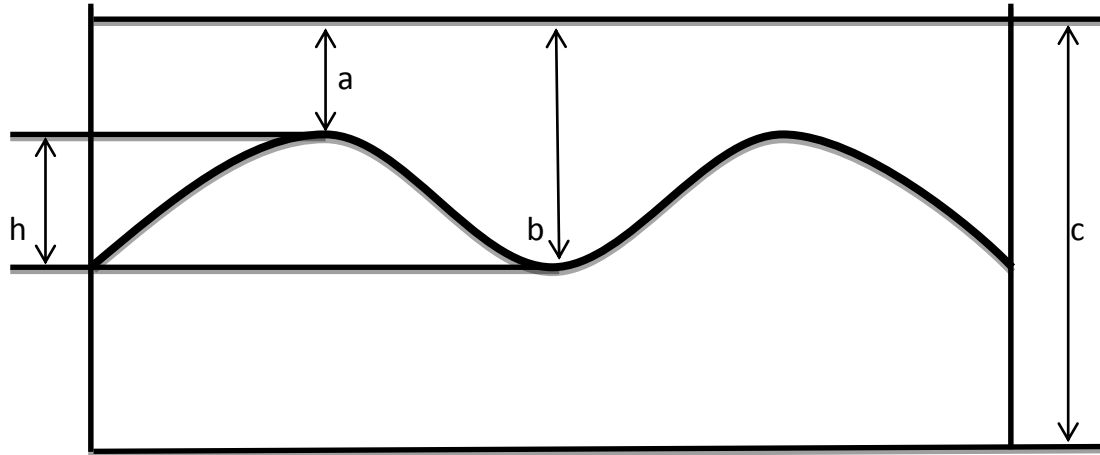
Τα βασικά σύμβολα που είναι απαραίτητα για την ανάγνωση των διαγραμμάτων και των πινάκων αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.1: Σύμβολα

ΣΥΜΒΟΛΑ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ
P	P και αριθμός: αναφέρονται σε πειραματική διαδικασία που αφορά πρανές με λεία επιφάνεια
TR	TR και αριθμός: αναφέρονται σε πειραματική διαδικασία που αφορά πρανές με τραχύτητα
T	Περίοδος (sec)
D	Βάθος (m ή cm)
J	Κλίση
H	Υψος κύματος (m ή cm)
L	Μήκος κύματος (m ή cm)
R	Αναρρίχηση (m ή cm)
R/H	Αδιάστατη Αναρρίχηση
ξ	Παράμετρος ξ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 ΕΥΡΕΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ



Εικόνα 4.1: Σκαρίφημα ύψους κύματος

Στη διαδικασία εύρεσης ύψους του κύματος ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Προβήκαμε σε βιντεοσκόπηση κάθε πειραματικής εργασίας για να μπορούμε ανά πάσα στιγμή να επιλέγουμε το κατάλληλο στιγμιότυπο από το αντίστοιχο βίντεο. Σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι το κανάλι είχε βαθμονομηθεί πριν αρχίσουν τα πειράματα και ήταν γνωστό το πλάτος, το μήκος και το ύψος. Όσον αφορά την επεξεργασία του οπτικού υλικού, με την βοήθεια του MATLAB (πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή) πετύχαμε την μέτρηση και την εξαγωγή αποτελεσμάτων για το μήκος, την αναρρίχηση και το ύψος του κύματος μέσα από την εξής διαδικασία. Το παραπάνω σκαρίφημα θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε την μέθοδο που ακολουθεί για την εύρεση του ύψους κύματος. Με το που γινότανε εισαγωγή μιας εικόνας στο MATLAB το πρόγραμμα έδινε τη δυνατότητα εξαγωγής τους αριθμούς των pixels της εικόνας. Μετρώντας την απόσταση που δίνει το ύψος του καναλιού c , μπορούμε, όντας γνωστός ο αριθμός των pixels κατά ύψος της εικόνας να κάνουμε την αντιστοίχιση και να ξέρουμε έτσι το ύψος (25 cm) του καναλιού σε πόσα pixels αντιστοιχεί. Επομένως έχοντας μια σχέση αντιστοίχισης, μετρώντας τα αντίστοιχα pixels των τμημάτων της εικόνας που μας ενδιαφέρουν (ύψος κύματος h , απόσταση κορυφής κύματος μέχρι το πάνω τμήμα του καναλιού a , απόσταση κοιλίας κύματος μέχρι το πάνω τμήμα του καναλιού b), με τη μέθοδο των τριών εξάγαμε αποτελέσματα για το πραγματικό τους ύψος της κορυφής, της κοιλιά και του ύψους του κύματος, l_1 , l_2 και h αντίστοιχα. Επομένως βασικό εργαλείο μέτρησης των

αποτελεσμάτων αποτέλεσε το μαθηματικό πρόγραμμα του MATLAB. Τέλος, είναι ευνόητο ότι το ύψος του κύματος λαμβάνοντας υπόψη κάθε παράμετρο (περίοδο $T[0.6, 0.75, 1, 1.25, 1.5]$ και βάθος $d[0.10, 0.15]$), προέκυπτε κάθε φορά από τη διαφορά των εκάστως τιμών

Στους πίνακες που ακολουθούν, για κάθε πίνακα μεμονωμένα έχουμε την παρουσίαση δύο αντιπροσωπευτικών κυμάτων. Από τα δύο κύματα προέκυψαν δύο διαφορετικά ύψη (H_1 και H_2), η διαφορά των οποίων ήταν κάθε φορά ελάχιστη. Από τις δύο αυτές τιμές υπολογίσαμε τον μέσο όρο. Με αυτό τον τρόπο επιτεύχθηκε το πιο αντιπροσωπευτικό ύψος κύματος της εκάστοτε παραμέτρου (π.χ. Πίνακας 2.1 $D=0.15$ m, $T=1$ sec, $H_t = 3,816$ cm). Το κάθε κύμα από τα δύο που παρουσιάζονται στους πίνακες είχε χαρακτηριστικά για τα οποία παίρναμε αριθμητικά αποτελέσματα μέσα από δύο στιγμιότυπα του ίδιου κύματος, στο ίδιο σημείο του καναλιού (κατά μήκος). Τα δύο αυτά στιγμιότυπα απεικόνιζαν, όπως αναφέραμε, το κύμα σε διαφορετικές «φάσεις», το ένα στιγμιότυπο απεικονίζει την κορυφή και το άλλο την κοιλιά. Τα I_1 , I_2 , H_1 , H_2 και H_t έχουν μονάδα μέτρησης cm.

Πίνακας 4.1: Ύψος κύματος για $D=0.15$ $T=1$

P1				
a	c	l_1		
27	105,02	18,572		
			H1	3,820
b	c	l_2		
43,05	105,02	14,751		
			Hτ	3,815
a	c	l_1		
27	105,02	18,572		
			H2	3,810
b	c	l_2		
43	105	14,761		

Πίνακας 4.2: Ύψος κύματος για $D=0.15$ $T=0.6$

P2				
a	c	l_1		
16	82	20,121		
			H1	5,491
b	c	l_2		
34,01	82	14,631		
			Hτ	5,645
a	c	l_1		
16,03	82,02	20,114		
			H2	5,8004
b	c	l_2		
35,06	82,02	14,313		

Πίνακας 4.3: Ύψος κύματος για $D=0.10$ $T=1$

P5				
a	c	l_1		
39,05	79	12,642		
			H1	2,201
b	c	l_2		
46,01	79,01	10,441		
			Hτ	2,371
a	c	l_1		
38,01	79	12,971		
			H2	2,541
b	c	l_2		
46,04	79	10,430		

Πίνακας 4.4: Ύψος κύματος για $D=0.10$ $T=0.6$

P6				
a	c	l_1		
38,01	79,01	12,973		
			H1	3,161
b	c	l_2		
48	79,01	9,812		
			Hτ	3,142
a	c	l_1		
37	80,01	13,439		
			H2	3,124
b	c	l_2		
47	80,01	10,314		

Πίνακας 4.5: Ύψος κύματος για $D=0.15$ $T=1.5$

TR26				
a	c	l_1		
37,53	114,5	16,805		
			H1	3,159
b	c	l_2		
52	114,5	13,646		
			Hτ	3,108
a	c	l_1		
36,5	114,5	17,030		
			H2	3,056
b	c	l_2		
50,5	114,5	13,973		

Πίνακας 4.6: Ύψος κύματος για $D=0.10$ $T=1.5$

TR21				
a	c	l_1		
66,5	114,5	10,480		
			H1	1,746
b	c	l_2		
74,5	114,5	8,733		
			Hτ	1,558
a	c	l_1		
67	113,5	10,242		
			H2	1,369
b	c	l_2		
73,54	114	8,872		

Πίνακας 4.7: Ύψος κύματος για $D=0.10$ $T=1.25$

TR22				
a	c	l_1		
64,5	114,5	10,917		
			H1	2,074
b	c	l_2		
74	114,5	8,842		
			Hτ	2,183
a	c	l_1		
63	114,5	11,244		
			H2	2,292
b	c	l_2		
73,5	114,5	8,951		

Πίνακας 4.8: Ύψος κύματος για $D=0.15$ $T=1.25$

TR27				
a	c	l_1		
38	114,5	16,703		
			H1	2,838
b	c	l_2		
51	114,5	13,864		
			Hτ	2,783
a	c	l_1		
37,5	114,5	16,812		
			H2	2,729
b	c	l_2		
50	114,5	14,082		

Πίνακας 4.9: Ύψος κύματος για $D=0.15$ $T=0.75$

TR29				
a	c	l_1		
36,5	114,5	17,030		
			H1	3,275
b	c	l_2		
51,5	114,5	13,755		
			Hτ	3,329
a	c	l_1		
35,5	114,5	17,248		
			H2	3,3842
b	c	l_2		
51	114,5	13,864		

Πίνακας 4.10: Ύψος κύματος για $D=0.10$ $T=0.75$

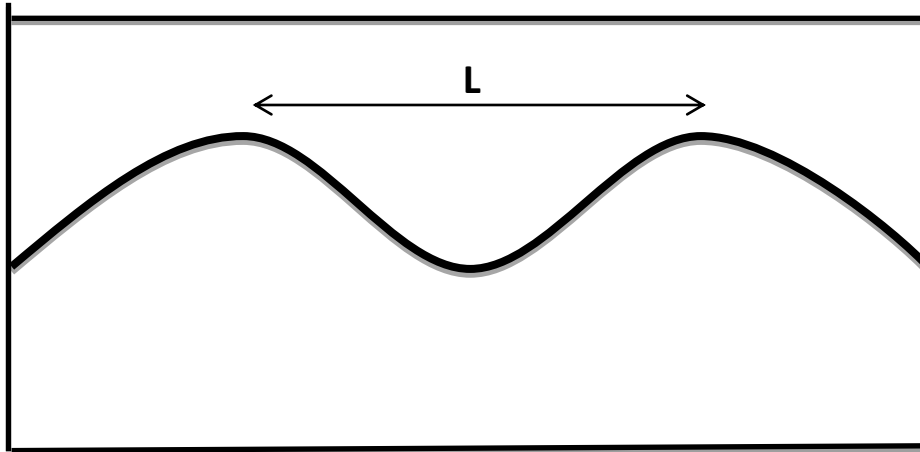
TR24				
a	c	l_1		
65	114,5	10,807		
			H1	1,965
b	c	l_2		
74	114,5	8,842		
			Hτ	1,855
a	c	l_1		
66	114,5	10,589		
			H2	1,746
b	c	l_2		
74	114,5	8,842		

4.2 ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ

Η εύρεση του μήκους κύματος ήταν και αυτή μια διαδικασία που απαιτούσε χρήση προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή, καθώς δεν είχαμε τα σύγχρονα και κατάλληλα όργανα μέτρησης. Προβήκαμε και εδώ σε μαγνητοσκόπηση κάθε πειραματικής εργασίας για να μπορούμε ανά πάσα στιγμή να επιλέγουμε το κατάλληλο στιγμιότυπο από το αντίστοιχο βίντεο. Γνωρίζουμε από πριν ότι το κανάλι ήταν βαθμονομημένο. Η επεξεργασία του οπτικού υλικού έγινε πάλι με την βοήθεια του MATLAB (πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή). Πετύχαμε αυτή τη φορά μέτρηση και την εξαγωγή αποτελεσμάτων για το μήκος, μέσα από τα στιγμιότυπα που επιλέγαμε για την κάθε περίπτωση. Το σκαρίφημα θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε την διαδικασία ευκολότερα. Προχωρήσαμε και αυτή τη φορά σε εισαγωγή εικόνων στο MATLAB, το πρόγραμμα έδινε τη δυνατότητα εξαγωγής του αριθμού των pixels της εικόνας. Μετρώντας την απόσταση που δίνει το μήκος, για το τμήμα του καναλιού, που μας ενδιαφέρει και όντας γνωστός ο αριθμός των pixels κατά μήκος της εικόνας, μπορούσαμε να κάνουμε την αντιστοίχιση και να ξέρουμε έτσι το μήκος του καναλιού (του τμήματος που μελετάμε), σε πόσα pixels αντιστοιχεί. Επομένως έχοντας μια σχέση αντιστοίχισης, μετρώντας τα αντίστοιχα pixels των τμημάτων της εικόνας που μας ενδιαφέρουν (μήκος κύματος L (απόσταση κορυφής σε κορυφή ή κοιλιάς σε κοιλιά ή από την κορυφή του κύματος μέχρι την κοιλιά του κύματος με την προϋπόθεση ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση πολλαπλασιάζαμε την τιμή επί δύο για να βρούμε το μήκος), εξάγαμε αποτελέσματα για το πραγματικό τους μήκος. Επομένως βασικό εργαλείο μέτρησης όλων των αποστάσεων που μας ενδιαφέρονε και εξαγωγής των αποτελεσμάτων αποτέλεσε το μαθηματικό πρόγραμμα του MATLAB. Για να μετρηθούν τα μήκη των κυμάτων επιλέχτηκαν οι δέκα πιο χαρακτηριστικές φωτογραφίες και από αυτές οι 4 πιο αντιπροσωπευτικές. Το αποτέλεσμα όμως είχε μονάδα μέτρησης το pixel. Για τον λόγο αυτό χρειάστηκε ακόμα μια σχέση που θα αντιστοιχούσε το 1 cm στα pixels της κάθε φωτογραφίας. Έτσι με την μέθοδο των τριών, βρίσκαμε κάθε φορά το μήκος του κύματος.

Στους παρακάτω πίνακες βλέπουμε τα μήκη κύματος που προκύψαν από τα πειράματα. Συγκεκριμένα το μήκος κύματος αναγράφεται στην τελευταία στήλη του πίνακα. Στην πρώτη στήλη αναγράφεται η κωδικοποιημένη ονομασία του κάθε πειράματος. Τα πειράματα που ξεκινάνε με TR και ακολουθεί αριθμός αναφέρονται σε πειραματική διαδικασία που αφορά

πρανές με τραχύτητα. Τα πειράματα που αναφέρονται απλά με αριθμούς αφορούν την λεία επιφάνεια. Στον παρακάτω πίνακα έχουμε πειράματα που αφορούν και την τραχεία και την λεία επιφάνεια, καθώς δεν επηρεάζει ο βαθμός τριβής του πρανούς το μήκος κύματος. Στη δεύτερη στήλη αναγράφεται το βάθος του νερού και στην τρίτη η περίοδος T .



Εικόνα 4.2: Σκαρίφημα μήκους κύματος

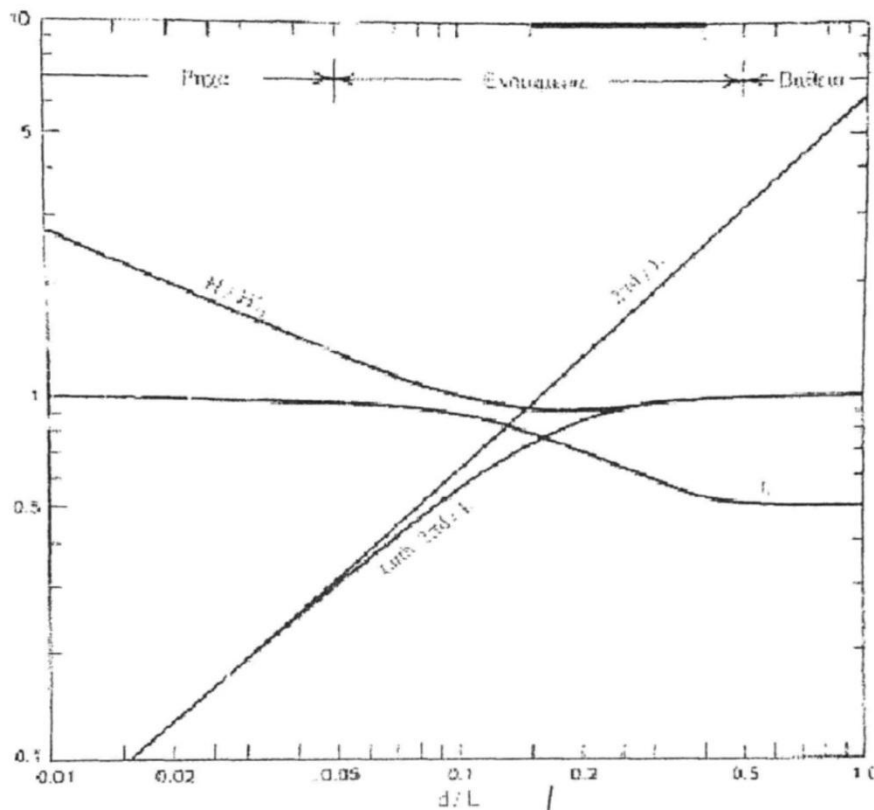
Πίνακας 4.11: Πειραματικά αποτελέσματα μήκους κύματος

P	D (m)	T (sec)	L^{πειρ} (m)
18	0,1	0,6	0,494
6	0,1	0,6	0,509
9	0,1	0,6	0,498
9	0,1	0,6	0,498
TR4	0,1	0,75	0,645
TR4	0,1	0,75	0,653
TR4	0,1	0,75	0,665
TR9	0,1	0,75	0,601
17	0,1	1	0,956
8	0,1	1	0,932
8	0,1	1	0,905
8	0,1	1	0,944
TR12	0,1	1,25	1,154
TR12	0,1	1,25	1,252
TR7	0,1	1,25	1,237
TR7	0,1	1,25	1,239
7	0,1	1,5	1,365
7	0,1	1,5	1,495
4	0,1	1,5	1,638
4	0,1	1,5	1,665
2	0,15	0,6	0,539
12	0,15	0,6	0,569
12	0,15	0,6	0,585
15	0,15	0,6	0,553
TR29	0,15	0,75	0,796
TR29	0,15	0,75	0,800
TR44	0,15	0,75	0,833
TR44	0,15	0,75	0,775
1	0,15	1	1,114
11	0,15	1	1,066
11	0,15	1	1,064
14	0,15	1	1,076
TR42	0,15	1,25	1,515
TR42	0,15	1,25	1,460
TR47	0,15	1,25	1,550
TR47	0,15	1,25	1,472
3	0,15	1,5	1,632
3	0,15	1,5	1,995
13	0,15	1,5	1,700
13	0,15	1,5	1,900

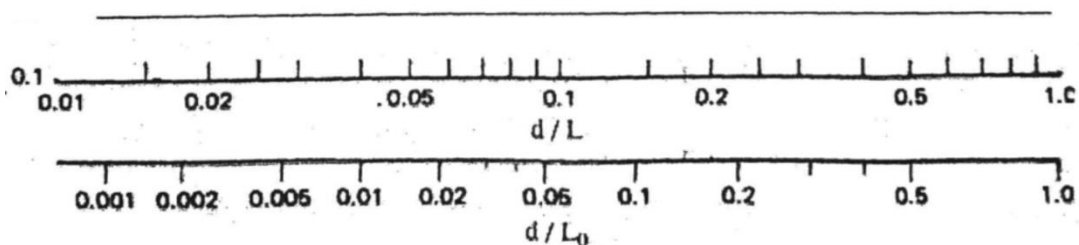
4.3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

Στον παρακάτω Πίνακα 4.12 βλέπουμε τα θεωρητικά μήκη κύματος που βρήκαμε για βάθος $d=0.10$ m και ύψος κύματος $0,04$ m, το οποίο προκύπτει από τον ημιάθροισμα των L' και L''

Το L' προκύπτει από το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4.3) με την προϋπόθεση να έχουμε βρει το L_0 .



Σχ. 1.5. Κατανομές κυματικών παραμέτρων ανάλογα με το d/L



Εικόνα 4.3: Διάγραμμα κυματικών παραμέτρων ανάλογα με το d/L
(Κουτίτας,1996)

Το L'' μας το δίνει η σχέση

Από το μήκος κύματος σε σχέση με το βάθος, μπορούμε να καταλάβουμε σε ποια κατηγορία διάδοσης κύματος είμαστε. Όπως θα συμπεράνουμε από τον παρακάτω πίνακα, βρισκόμαστε σε ενδιάμεσα νερά επειδή το αποτέλεσμα d/L στην περίπτωση μας δεν υπάγεται σε καμία από τις δύο ανισωτικές σχέσεις που προσδιορίζουν το βάθος του νερού. Όπως φαίνεται και στην

παρακάτω σχέση το πηλίκο του βάθους προς το μήκος κύματος βρίσκεται μεταξύ των δύο ορίων

—

Πίνακας 4.12: Θεωρητικό μήκος κύματος για βάθος $D=0,10\text{m}$

D=0,10 και H=0,04										
T	Lo	D/Lo	D/L'	L'	L''	L ^T _D	D/L ^T _D		g=	9,81
0,6	0,562	0,178	0,2	0,5	0,478	0,489	0,205	ενδιάμεσα νερά	H=	0,04
0,75	0,878	0,114	0,16	0,625	0,671	0,648	0,154	ενδιάμεσα νερά	D=	0,1
1	1,561	0,064	0,13	0,7692	1,051	0,91	0,11	ενδιάμεσα νερά		
1,25	2,44	0,041	0,08	1,25	1,132	1,191	0,084	ενδιάμεσα νερά		
1,5	3,513	0,028	0,07	1,4286	1,453	1,441	0,069	ενδιάμεσα νερά		

Παρακάτω βλέπουμε τον Πίνακας 4.13 με τα θεωρητικά μήκη κύματος που βρήκαμε για βάθος $d=0.15\text{ m}$ και ύψος κύματος $0,04\text{ m}$ όπου ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία που προαναφέραμε.

Πίνακας 4.13: Θεωρητικό μήκος κύματος για βάθος $D=0,15\text{m}$

D=0,15										
T	Lo	D/Lo	D/L'	L'	L''	L ^T _D	D/L ^T _D		g=	9,81
0,6	0,562	0,267	0,2	0,75	0,478	0,614	0,244	ενδιάμεσα νερά	H=	0,04
0,75	0,878	0,171	0,16	0,9375	0,671	0,804	0,187	ενδιάμεσα νερά	D=	0,15
1	1,561	0,096	0,13	1,1538	1,051	1,103	0,136	ενδιάμεσα νερά		
1,25	2,44	0,061	0,08	1,875	1,132	1,504	0,1	ενδιάμεσα νερά		
1,5	3,513	0,043	0,07	2,1429	1,453	1,798	0,083	ενδιάμεσα νερά		

Συγκρίνοντας τους δύο πίνακες, τον Πίνακα 4.11 των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας και τους πίνακες του θεωρητικού μέρους, θα παρατηρήσουμε μια διαφορά της τάξεως περίπου 0,01-0,1 m. Αυτή διαφορά μεταξύ θεωρητικού και πειραματικού αποτελέσματος μπορεί να θεωρηθεί ελάχιστη.

4.3 ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗ ΚΥΜΑΤΟΣ

4.3.1 ΠΡΩΤΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Στην πρώτη ομάδα πειραμάτων έχουμε τα πρώτα 50 πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο που αφορούν την αναρρίχηση κύματος σε πρανές με λεία επιφάνεια. Στον παρακάτω πίνακα 1.1 βλέπουμε την αναρρίχηση κύματος σε λεία επιφάνεια όπου καταγράφονται τα δεδομένα των τιμών από το κάθε πείραμα. Τα βίντεο από το κάθε πείραμα μετατράπηκαν σε φωτογραφίες, καρέ καρέ. Έπειτα επιλέχτηκαν οι πιο αντιπροσωπευτικές φωτογραφίες για τα πειράματα. Για την καλύτερη δυνατή επεξεργασία των φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MATLAB.

Έτσι για την αναρρίχηση του κύματος επιλέχτηκαν οι δέκα πιο χαρακτηριστικές φωτογραφίες και από αυτές οι δύο πιο αντιπροσωπευτικές. Περάσαμε τις φωτογραφίες στο MATLAB για να μετρήσουμε την αναρρίχηση. Για την αναρρίχηση χρειαστήκαμε δυο τιμές:
α) την στάθμη του νερού
β) από την κορυφή του κύματος, όταν πέφτει το κύμα στο πρανές, μέχρι τον πυθμένα του καναλιού.
Στην συνέχεια αφαιρέσαμε την πρώτη τιμή από την δεύτερη (β-α). Το αποτέλεσμα όμως είχε μονάδα μέτρησης pixel για αυτό χρειάστηκε ακόμα μια σχέση τιμών που θα αντιστοιχούσε το 1 cm με τα pixels της κάθε φωτογραφίας. Όπως αναφέραμε και σε παραπάνω παράγραφο το πρόβλημα αυτό ξεπεράστηκε με την χρήση της μεθόδου των τριών.

Στην πρώτη στήλη (P για την λεία επιφάνεια) του πίνακα έχουμε τον αριθμό του πειράματος όπως έχουν αριθμηθεί σε κάθε καταγραφή, στην δεύτερη στήλη έχουμε την περίοδο T για την οποία, όπως έχουμε αναφέρει, έχουν δοθεί πέντε τιμές 0.60, 0.75, 1.00, 1.25 και 1.50. Στην τρίτη στήλη έχουμε την κλίση του πρανούς για την οποία επίσης έχουν δοθεί πέντε τιμές 1/1.50, 1/2, 1/3, 1/4 και 1/5. Στην τέταρτη στήλη έχουμε το βάθος του καναλιού 0.10 και 0.15. Και τέλος, στην πέμπτη στήλη έχουμε την αναρρίχηση που έχει προκύψει από τις μετρήσεις που έχουμε κάνει.

Πίνακας 4.14: Αναρρίχηση κύματος σε πρανές με λεία επιφάνεια

P	T (sec)	J	D (m)	R (m)
6	0,6	1/1,5	0,1	0,0392
6	0,6	1/1,5	0,1	0,0390
32	0,75	1/1,5	0,1	0,0287
32	0,75	1/1,5	0,1	0,0245
5	1	1/1,5	0,1	0,0274
5	1	1/1,5	0,1	0,0226
31	1,25	1/1,5	0,1	0,0264
31	1,25	1/1,5	0,1	0,0268
4	1,5	1/1,5	0,1	0,0447
4	1,5	1/1,5	0,1	0,0410
2	0,6	1/1,5	0,15	0,0451
2	0,6	1/1,5	0,15	0,0423
34	0,75	1/1,5	0,15	0,0399
34	0,75	1/1,5	0,15	0,0340
1	1	1/1,5	0,15	0,0459
1	1	1/1,5	0,15	0,0459
33	1,25	1/1,5	0,15	0,0300
33	1,25	1/1,5	0,15	0,0321
3	1,5	1/1,5	0,15	0,0464
3	1,5	1/1,5	0,15	0,0458
9	0,6	1/2	0,1	0,0429
9	0,6	1/2	0,1	0,0485
38	0,75	1/2	0,1	0,0386
38	0,75	1/2	0,1	0,0394
8	1	1/2	0,1	0,0323
8	1	1/2	0,1	0,0343
37	1,25	1/2	0,1	0,0277
37	1,25	1/2	0,1	0,0254
7	1,5	1/2	0,1	0,0495
7	1,5	1/2	0,1	0,0472
12	0,6	1/2	0,15	0,0637
12	0,6	1/2	0,15	0,0624
36	0,75	1/2	0,15	0,0499
36	0,75	1/2	0,15	0,0488
11	1	1/2	0,15	0,0642
11	1	1/2	0,15	0,0611
35	1,25	1/2	0,15	0,0383
35	1,25	1/2	0,15	0,0399
10	1,5	1/2	0,15	0,0773

10	1,5	1/2	0,15	0,0830
18	0,6	1/3	0,1	0,0438
18	0,6	1/3	0,1	0,0385
40	0,75	1/3	0,1	0,0333
40	0,75	1/3	0,1	0,0337
17	1	1/3	0,1	0,0327
17	1	1/3	0,1	0,0353
39	1,25	1/3	0,1	0,0242
39	1,25	1/3	0,1	0,0246
16	1,5	1/3	0,1	0,0429
16	1,5	1/3	0,1	0,0439
15	0,6	1/3	0,15	0,0384
15	0,6	1/3	0,15	0,0417
42	0,75	1/3	0,15	0,0430
42	0,75	1/3	0,15	0,0484
14	1	1/3	0,15	0,0651
14	1	1/3	0,15	0,0609
41	1,25	1/3	0,15	0,0321
41	1,25	1/3	0,15	0,0312
13	1,5	1/3	0,15	0,0750
13	1,5	1/3	0,15	0,0811
21	0,6	1/4	0,1	0,0296
21	0,6	1/4	0,1	0,0289
46	0,75	1/4	0,1	0,0253
46	0,75	1/4	0,1	0,0269
20	1	1/4	0,1	0,0302
20	1	1/4	0,1	0,0307
45	1,25	1/4	0,1	0,0203
45	1,25	1/4	0,1	0,0230
19	1,5	1/4	0,1	0,0441
19	1,5	1/4	0,1	0,0420
24	0,6	1/4	0,15	0,0389
24	0,6	1/4	0,15	0,0313
44	0,75	1/4	0,15	0,0373
44	0,75	1/4	0,15	0,0383
23	1	1/4	0,15	0,0642
23	1	1/4	0,15	0,0622
43	1,25	1/4	0,15	0,0305
43	1,25	1/4	0,15	0,0321
22	1,5	1/4	0,15	0,0525
22	1,5	1/4	0,15	0,0563
30	0,6	1/5	0,1	0,0222

30	0,6	1/5	0,1	0,0174
48	0,75	1/5	0,1	0,0180
48	0,75	1/5	0,1	0,0165
29	1	1/5	0,1	0,0233
29	1	1/5	0,1	0,0257
47	1,25	1/5	0,1	0,0219
47	1,25	1/5	0,1	0,0173
28	1,5	1/5	0,1	0,0398
28	1,5	1/5	0,1	0,0371
27	0,6	1/5	0,15	0,0327
27	0,6	1/5	0,15	0,0326
50	0,75	1/5	0,15	0,0226
50	0,75	1/5	0,15	0,0197
26	1	1/5	0,15	0,0539
26	1	1/5	0,15	0,0533
49	1,25	1/5	0,15	0,0295
49	1,25	1/5	0,15	0,0268
25	1,5	1/5	0,15	0,0555
25	1,5	1/5	0,15	0,0565

4.3.2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Στην δεύτερη ομάδα πειραμάτων έχουμε τα υπόλοιπα 50 πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο που αφορούν την αναρρίχηση του κύματος σε πρανές με τραχεία επιφάνεια. Στον παρακάτω πίνακα 1.2 βλέπουμε την αναρρίχηση κύματος σε τραχεία επιφάνεια όπου καταγράφονται τα δεδομένα που προέκυψαν από το κάθε πείραμα. Σε ότι έχει να κάνει με την εξαγωγή των δεδομένων σε αποδεκτό επιστημονικά μετρήσιμο μέγεθος ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε και στην πρώτη ομάδα πειραμάτων.

Στην πρώτη στήλη (TR για την τραχεία επιφάνεια) του πίνακα έχουμε τον αριθμό του πειράματος όπως έχουν αριθμηθεί σε κάθε καταγραφή, στην δεύτερη στήλη έχουμε την περίοδο T για την οποία, όπως έχουμε αναφέρει, έχουν δοθεί πέντε τιμές 0.60, 0.75, 1.00, 1.25 και 1.50. Στην τρίτη στήλη έχουμε την κλίση του πρανούς για την οποία επίσης έχουν δοθεί πέντε τιμές $1/1.50$, $1/2$, $1/3$, $1/4$ και $1/5$. Στην τέταρτη στήλη έχουμε το βάθος του καναλιού 0.10 και 0.15 και τέλος, στην πέμπτη στήλη έχουμε την αναρρίχηση που έχει προκύψει από τις μετρήσεις που έχουμε κάνει.

Πίνακας 4.15: Αναρρίχηση κύματος σε πρανές με λεία επιφάνεια

P	T (sec)	J	D (m)	R (m)
5	0,6	1/1,5	0,1	0,0382
5	0,6	1/1,5	0,1	0,0356
4	0,75	1/1,5	0,1	0,0274
4	0,75	1/1,5	0,1	0,0223
3	1	1/1,5	0,1	0,0232
3	1	1/1,5	0,1	0,0211
2	1,25	1/1,5	0,1	0,0105
2	1,25	1/1,5	0,1	0,0123
1	1,5	1/1,5	0,1	0,0206
1	1,5	1/1,5	0,1	0,0250
40	0,6	1/1,5	0,15	0,0359
40	0,6	1/1,5	0,15	0,0322
39	0,75	1/1,5	0,15	0,0328
39	0,75	1/1,5	0,15	0,0334
38	1	1/1,5	0,15	0,0411
38	1	1/1,5	0,15	0,0399
37	1,25	1/1,5	0,15	0,0253
37	1,25	1/1,5	0,15	0,0268
36	1,5	1/1,5	0,15	0,0423
36	1,5	1/1,5	0,15	0,0418
10	0,6	1/2	0,1	0,0376
10	0,6	1/2	0,1	0,0387
9	0,75	1/2	0,1	0,0355
9	0,75	1/2	0,1	0,0380
8	1	1/2	0,1	0,0236
8	1	1/2	0,1	0,0247
7	1,25	1/2	0,1	0,0161
7	1,25	1/2	0,1	0,0174
6	1,5	1/2	0,1	0,0401
6	1,5	1/2	0,1	0,0414
45	0,6	1/2	0,15	0,0490
45	0,6	1/2	0,15	0,0493
44	0,75	1/2	0,15	0,0362
44	0,75	1/2	0,15	0,0376
43	1	1/2	0,15	0,0506
43	1	1/2	0,15	0,0495
42	1,25	1/2	0,15	0,0306
42	1,25	1/2	0,15	0,0351
41	1,5	1/2	0,15	0,0520

41	1,5	1/2	0,15	0,0526
15	0,6	1/3	0,1	0,0205
15	0,6	1/3	0,1	0,0258
14	0,75	1/3	0,1	0,0202
14	0,75	1/3	0,1	0,0205
13	1	1/3	0,1	0,0232
13	1	1/3	0,1	0,0229
12	1,25	1/3	0,1	0,0153
12	1,25	1/3	0,1	0,0138
11	1,5	1/3	0,1	0,0423
11	1,5	1/3	0,1	0,0433
50	0,6	1/3	0,15	0,0373
50	0,6	1/3	0,15	0,0394
49	0,75	1/3	0,15	0,0315
49	0,75	1/3	0,15	0,0302
48	1	1/3	0,15	0,0478
48	1	1/3	0,15	0,0467
47	1,25	1/3	0,15	0,0286
47	1,25	1/3	0,15	0,0255
46	1,5	1/3	0,15	0,0489
46	1,5	1/3	0,15	0,0452
20	0,6	1/4	0,1	0,0168
20	0,6	1/4	0,1	0,0198
19	0,75	1/4	0,1	0,0161
19	0,75	1/4	0,1	0,0162
18	1	1/4	0,1	0,0216
18	1	1/4	0,1	0,0214
17	1,25	1/4	0,1	0,0105
17	1,25	1/4	0,1	0,0113
16	1,5	1/4	0,1	0,0310
16	1,5	1/4	0,1	0,0283
35	0,6	1/4	0,15	0,0360
35	0,6	1/4	0,15	0,0310
34	0,75	1/4	0,15	0,0208
34	0,75	1/4	0,15	0,0200
33	1	1/4	0,15	0,0458
33	1	1/4	0,15	0,0446
32	1,25	1/4	0,15	0,0239
32	1,25	1/4	0,15	0,0243
31	1,5	1/4	0,15	0,0505
31	1,5	1/4	0,15	0,0438
25	0,6	1/5	0,1	0,0074

25	0,6	1/5	0,1	0,0078
24	0,75	1/5	0,1	0,0129
24	0,75	1/5	0,1	0,0157
23	1	1/5	0,1	0,0217
23	1	1/5	0,1	0,0216
22	1,25	1/5	0,1	0,0104
22	1,25	1/5	0,1	0,0117
21	1,5	1/5	0,1	0,0202
21	1,5	1/5	0,1	0,0220
30	0,6	1/5	0,15	0,0324
30	0,6	1/5	0,15	0,0288
29	0,75	1/5	0,15	0,0158
29	0,75	1/5	0,15	0,0082
28	1	1/5	0,15	0,0300
28	1	1/5	0,15	0,0296
27	1,25	1/5	0,15	0,0209
27	1,25	1/5	0,15	0,0209
26	1,5	1/5	0,15	0,0430
26	1,5	1/5	0,15	0,0292

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ R ΓΙΑ ΒΑΘΟΣ ΝΕΡΟΥ D=0.15 Μ

Τα αποτελέσματα όλων των επιμέρους πειραματικών δοκιμών συγκεντρώθηκαν και παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν. Για την σωστότερη και εμπειριστατωμένη παρουσίαση τους προβήκαμε σε δημιουργία γραφικών παραστάσεων (με αυτό τον τρόπο επιτεύχθηκε οπτικοποίηση του φαινομένου και κατ' επέκταση) και έτσι το φαινόμενο της αναρρίχησης γίνεται πιο κατανοητό. Αναλυτικότερα στους πίνακες αναγράφονται τα αποτελέσματα της αναρρίχησης όσων άφορα όλες τις παραμέτρους του πειράματος (βάθος, περίοδος κυματισμού, κλίση πρανούς). Επίσης να επισημάνουμε ότι έχει γίνει διαχωρισμός των αποτελεσμάτων όπως φαίνεται αναλυτικά στους πίνακες, σε αποτελέσματα που αφορούν την λεία επιφάνεια και την τραχεία επιφάνεια.

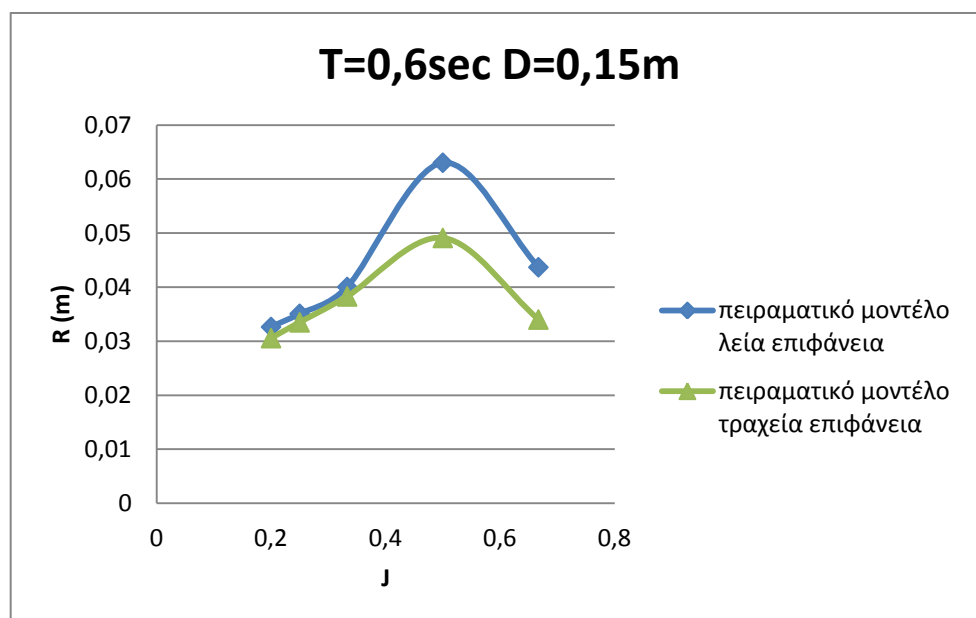
Όσον αφορά τις γραφικές παραστάσεις ο άξονας των x (οριζόντιος άξονας) παίρνει τις τιμές του από την τετάρτη στήλη του πίνακα η οποία αναγράφει τις κλίσεις πρανούς. Στον άξονα των y (κάθετος άξονας) οι τιμές που αναγράφονται είναι αυτές της αναρρίχησης που αναγράφονται για κάθε επιφάνεια (λεία ή τραχεία).

Οι τιμές που αναγράφονται στους πίνακες είναι αποτέλεσμα της πειραματικής διερεύνησης και δεν αποτελούν προϊόν υπολογισμού ή αποτέλεσμα κάποιας εξίσωσης.

Οι πρώτοι πέντε πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα τους αφορούν τον κύκλο πειραμάτων με βάθος $d=0.15$ m. Παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των πειραμάτων:

Πίνακας 5.1: $T=0,6$ και $D=0,15$

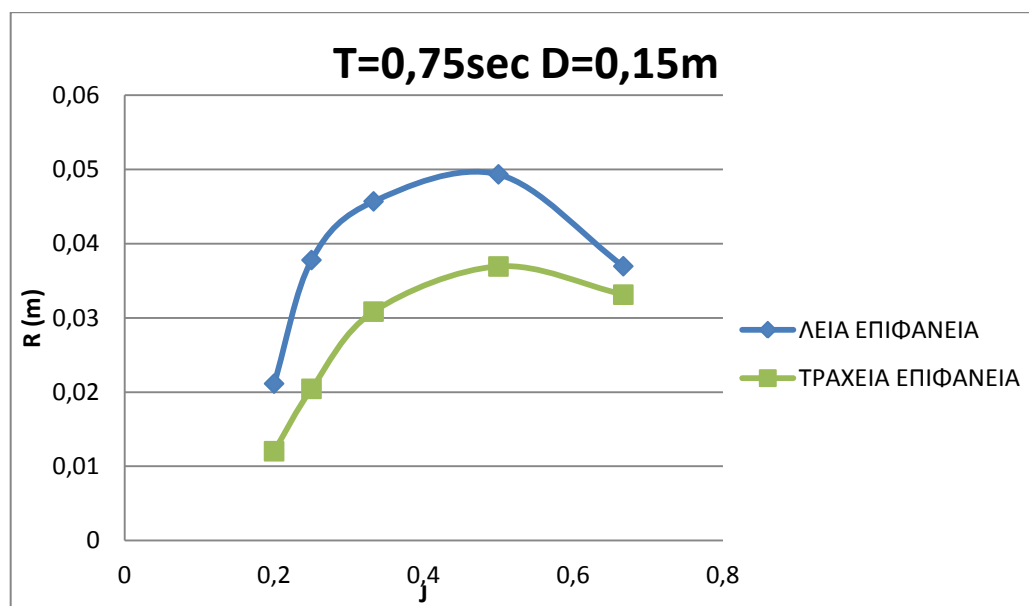
T (s)	D (m)	H (m)	J	ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R/H	R (m)	R/H
0,6	0,15	0,0565	0,2	0,0326	0,577	0,0305	0,577
0,6	0,15	0,0565	0,25	0,0351	0,621	0,0335	0,621
0,6	0,15	0,0565	0,333	0,0400	0,709	0,0383	0,709
0,6	0,15	0,0565	0,5	0,0630	1,116	0,0491	1,116
0,6	0,15	0,0565	0,667	0,0437	0,773	0,0340	0,773



Εικόνα 5.1: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T=0,6$ και $D=0,15$

Πίνακας 5.2: $T=0,75$ και $D=0,15$

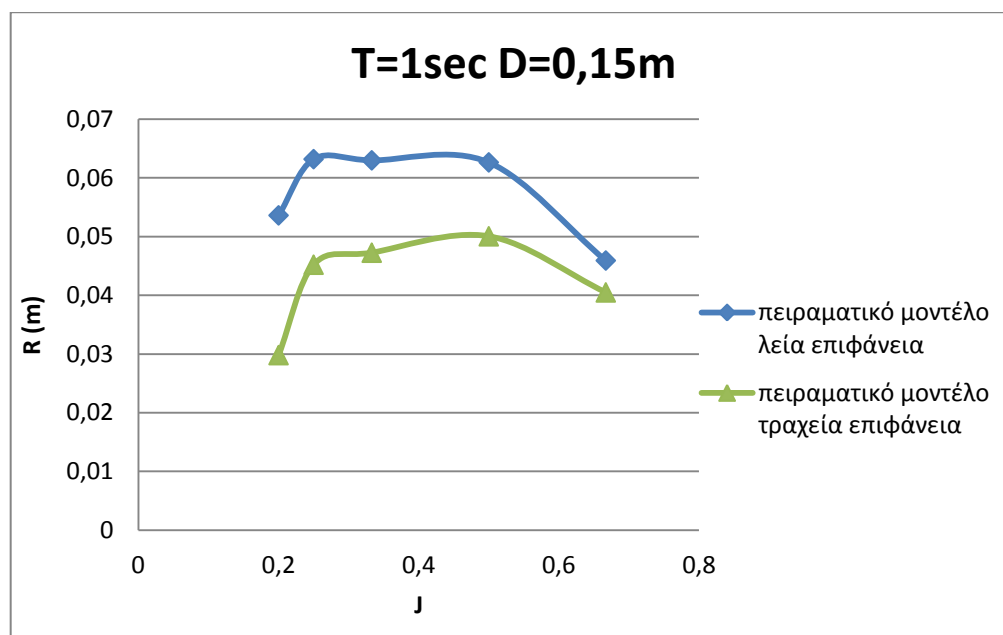
T (s)	D (m)	H (m)	J	ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R/H	R (m)	R/H
0,75	0,15	3,3297	0,667	0,0369	0,0110	0,0331	0,0099
0,75	0,15	3,3297	0,5	0,0493	0,0148	0,0369	0,0110
0,75	0,15	3,3297	0,333	0,0456	0,0137	0,0308	0,009
0,75	0,15	3,3297	0,25	0,0377	0,0113	0,0204	0,0061
0,75	0,15	3,3297	0,2	0,0211	0,0063	0,0120	0,0036



Εικόνα 5.2: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T=0,75$ και $D=0,15$

Πίνακας 5.3: $T=1$ και $D=0,15$

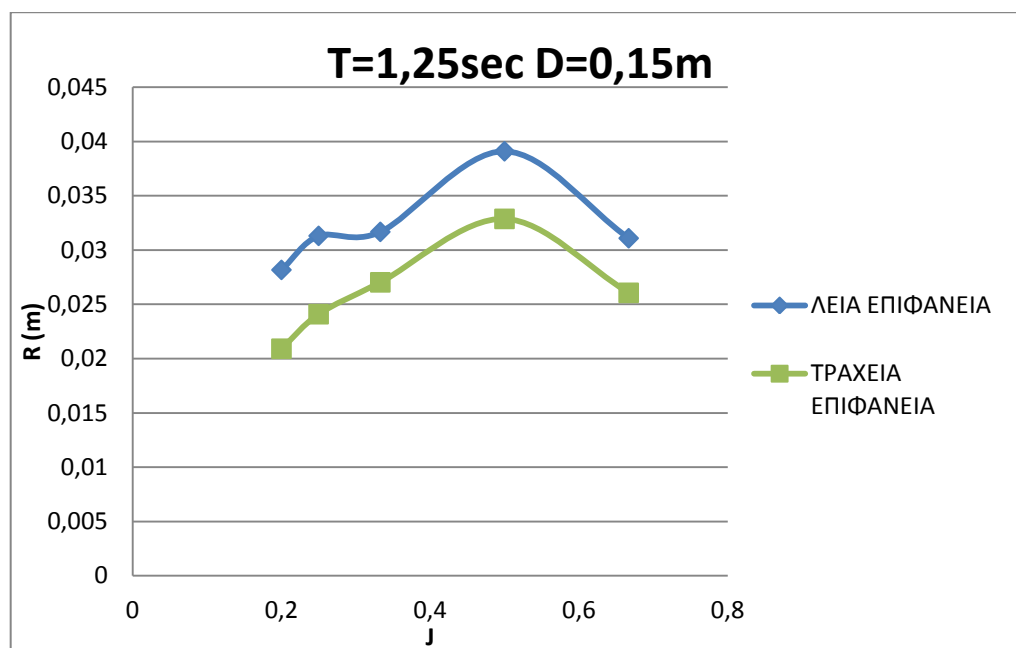
T (s)	D (m)	H (m)	J	ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R/H	R (m)	R/H
1	0,15	0,0382	0,2	0,0536	1,403	0,0298	1,403
1	0,15	0,0382	0,25	0,0631	1,654	0,0452	1,654
1	0,15	0,0382	0,333	0,0629	1,648	0,0472	1,648
1	0,15	0,0382	0,5	0,0626	1,639	0,0500	1,639
1	0,15	0,0382	0,667	0,0459	1,202	0,0404	1,202



Εικόνα 5.3: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T=1$ και $D=0,15$

Πίνακας 5.4: $\Sigma T= 1,25$ και $D= 0,15$

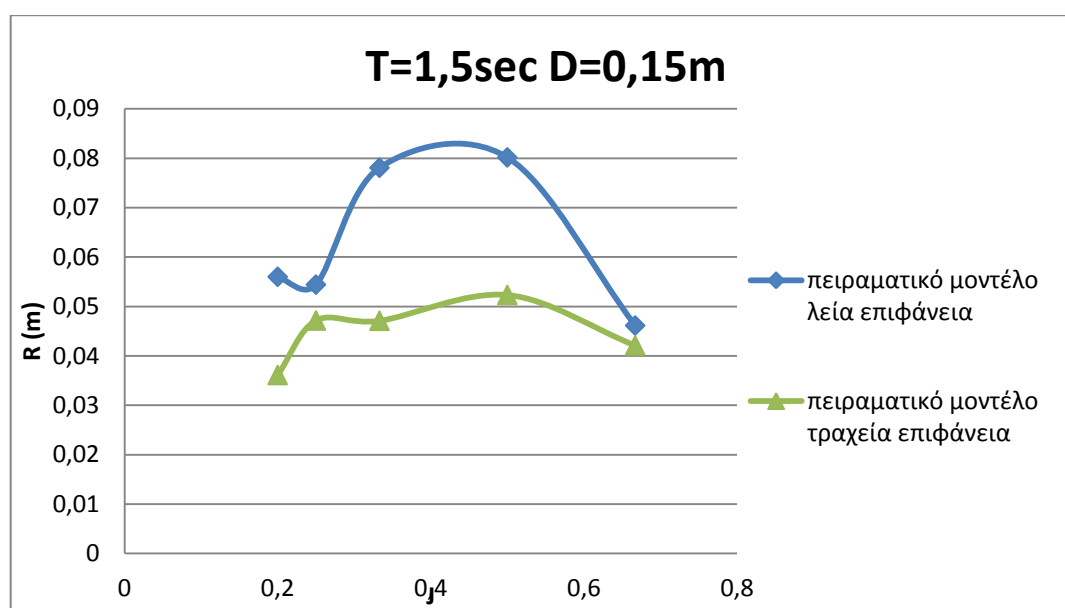
T (s)	D (m)	H (m)	J	ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R/H	R (m)	R/H
1,25	0,15	2,784	0,667	0,0310	0,0111	0,0260	0,0093
1,25	0,15	2,784	0,5	0,0390	0,0140	0,0328	0,0118
1,25	0,15	2,784	0,333	0,0316	0,0113	0,0270	0,0097
1,25	0,15	2,784	0,25	0,0313	0,0112	0,0240	0,0086
1,25	0,15	2,784	0,2	0,0281	0,0101	0,0209	0,0075



Εικόνα 5.4: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T= 1,25$ και $D= 0,15$

Πίνακας 5.5: $T= 1,5$ και $D= 0,15$

T (s)	D (m)	H (m)	J	ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R/H	R (m)	R/H
1,5	0,15	0,0311	0,2	0,0559	1,800	0,0361	1,800
1,5	0,15	0,0311	0,25	0,0544	1,749	0,0471	1,749
1,5	0,15	0,0311	0,333	0,0780	2,510	0,0470	2,510
1,5	0,15	0,0311	0,5	0,0801	2,577	0,0523	2,577
1,5	0,15	0,0311	0,667	0,0461	1,483	0,0420	1,483



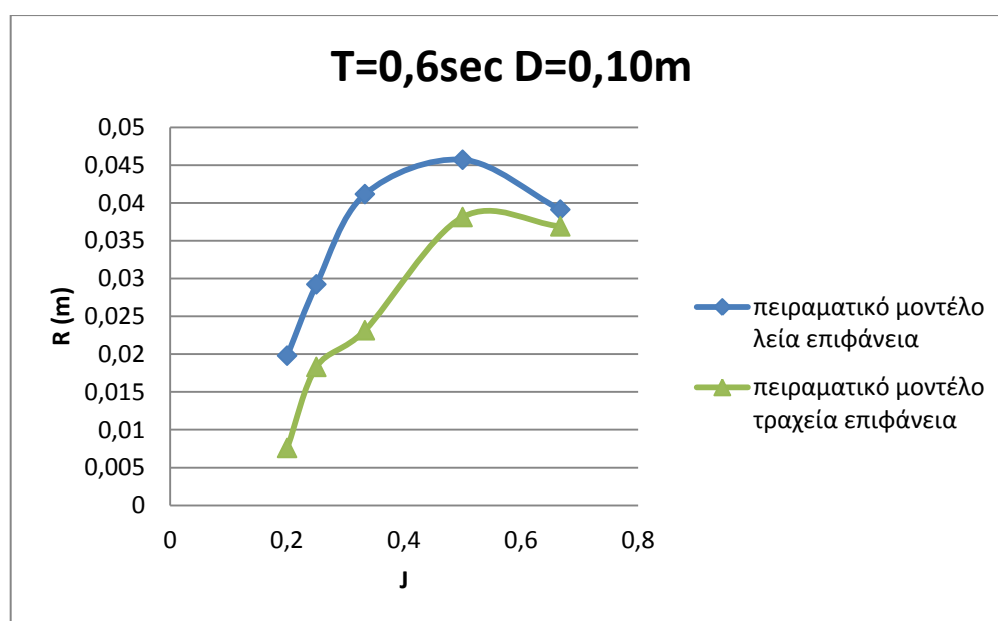
Εικόνα 5.5: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T= 1,5$ και $D= 0,15$

5.2 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ R ΓΙΑ D=0.10 M

Στη συνέχεια ακολουθεί, η παρουσία του κύκλου πειραμάτων που αφορά βάθος νερού $d=0.10$ m. Το μοτίβο παρουσίασης παραμένει σταθερό, με τους πίνακες να προηγούνται των γραφικών παραστάσεων. Και σε αυτή τη περίπτωση ισχύουν οι ίδιες 'παραδοχές' όσον αφορά τα δεδομένα των πινάκων.

Πίνακας 5.6: $T=0,6$ και $D=0,10$

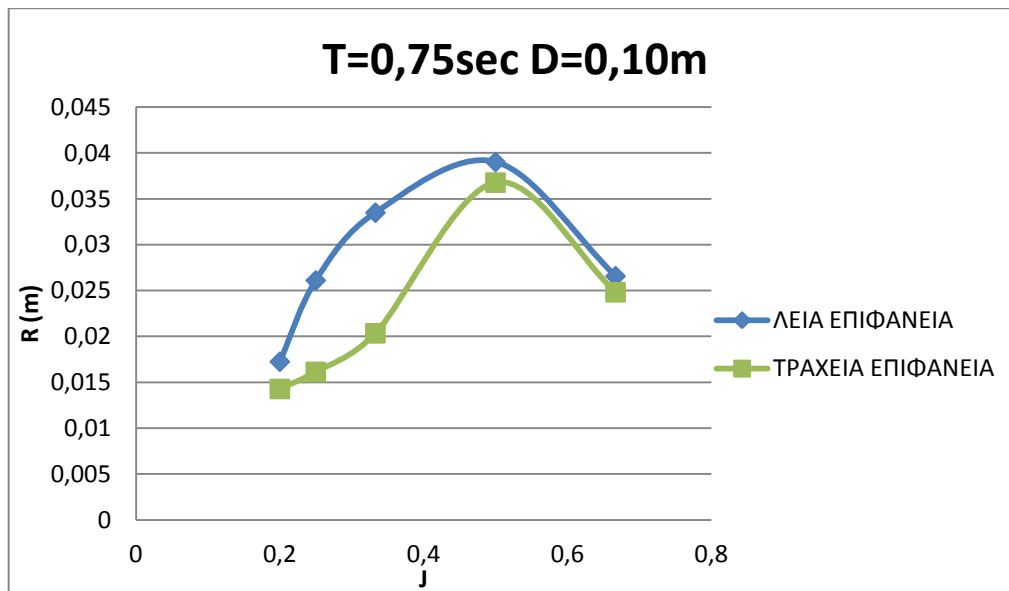
T (s)	D (m)	H (m)	J	ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R/H	R (m)	R/H
0,6	0,1	0,0314	0,2	0,0198	0,630	0,0076	0,242
0,6	0,1	0,0314	0,25	0,0292	0,931	0,0183	0,583
0,6	0,1	0,0314	0,33	0,0411	1,311	0,0231	0,737
0,6	0,1	0,0314	0,5	0,0457	1,455	0,0381	1,214
0,6	0,1	0,0314	0,67	0,0391	1,245	0,0369	1,175



Εικόνα 5.6: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T=0,6$ και $D=0,10$

Πίνακας 5.7: $T= 0,75$ και $D= 0,10$

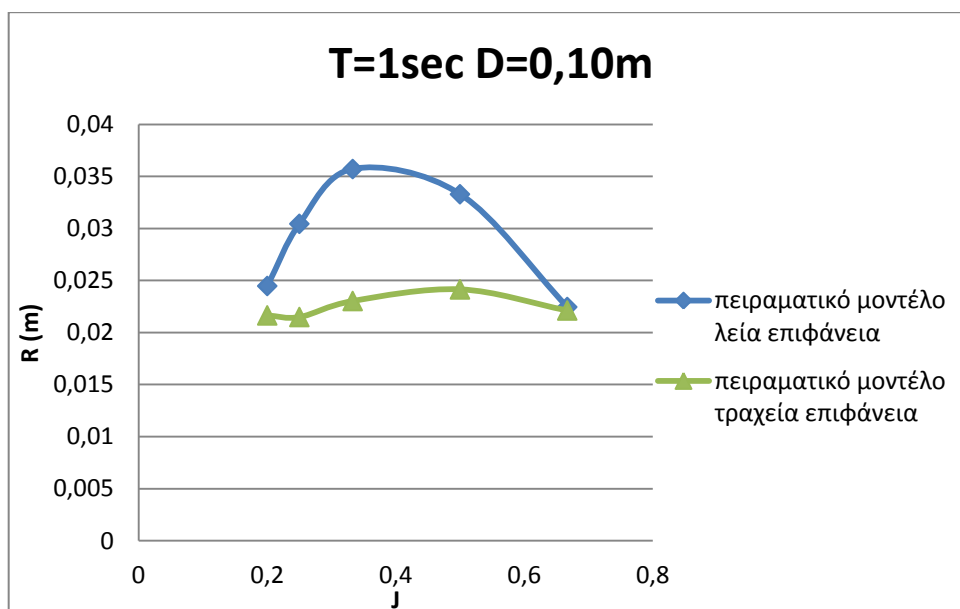
T (s)	D (m)	H (m)	J	ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R/H	R (m)	R/H
0,75	0,1	1,856	0,667	0,0265	0,0143	0,0248	0,0133
0,75	0,1	1,856	0,5	0,0390	0,0210	0,0367	0,0198
0,75	0,1	1,856	0,333	0,0334	0,0180	0,0203	0,0109
0,75	0,1	1,856	0,25	0,0261	0,0140	0,0161	0,0086
0,75	0,1	1,856	0,2	0,0172	0,0092	0,0142	0,0076



Εικόνα 5.7: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T= 0,75$ και $D= 0,10$

Πίνακας 5.8: $T=1$ και $D=0,10$

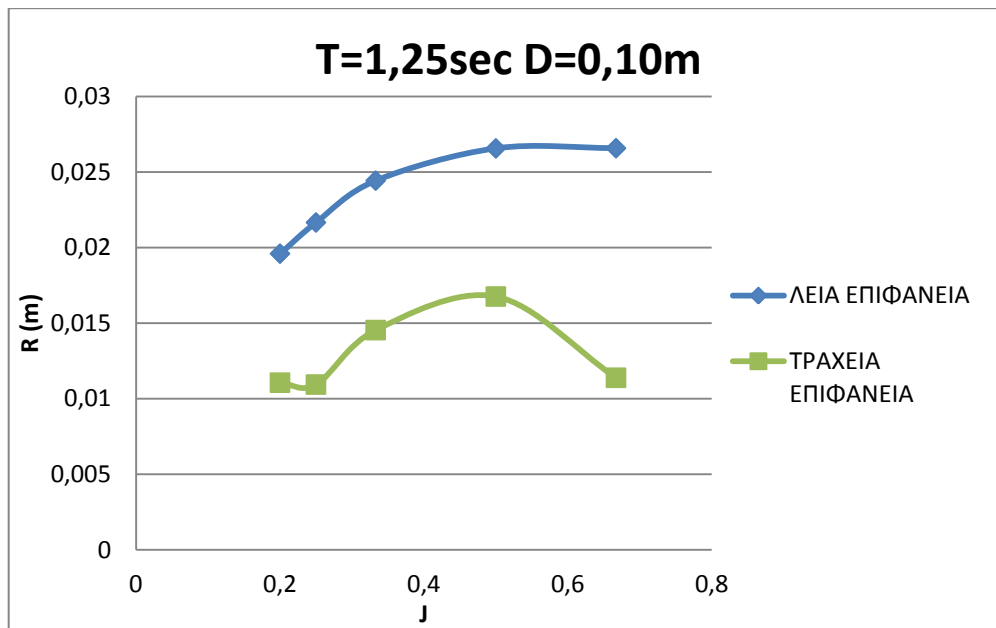
T (s)	D (m)	H (m)	J	ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R/H	R (m)	R/H
1	0,1	0,0237	0,2	0,0244	1,0329	0,0216	0,9138
1	0,1	0,0237	0,25	0,0304	1,2849	0,0214	0,9071
1	0,1	0,0237	0,333	0,0357	1,5070	0,0230	0,9720
1	0,1	0,0237	0,5	0,0332	1,4048	0,0241	1,0191
1	0,1	0,0237	0,667	0,0224	0,9477	0,0221	0,9336



Εικόνα 5.8: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T=1$ και $D=0,10$

Πίνακας 5.9: $T= 1,25$ και $D= 0,10$

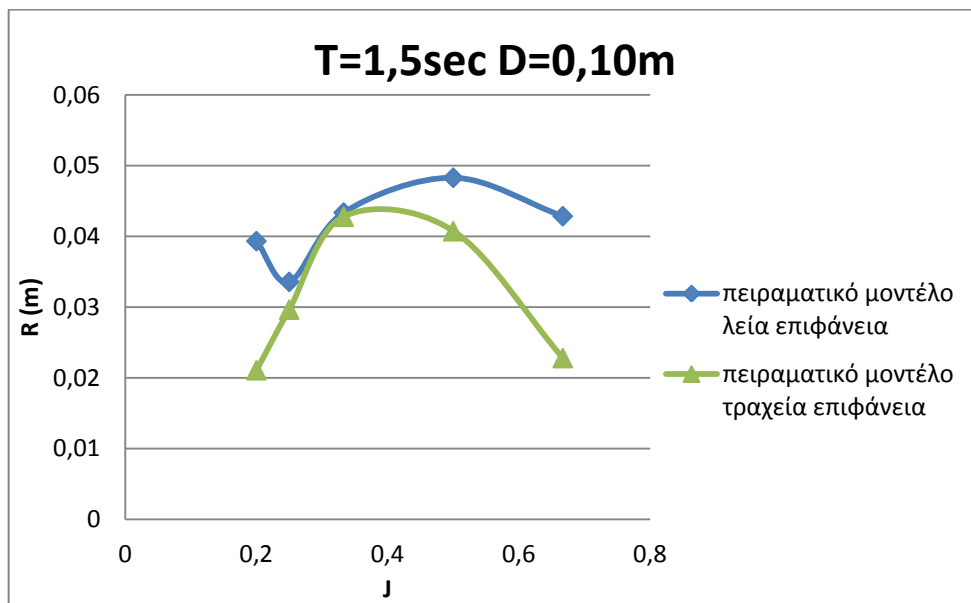
T (s)	D (m)	H (m)	J	ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R/H	R (m)	R/H
1,25	0,1	2,183	0,667	0,0265	0,0121	0,0113	0,0052
1,25	0,1	2,183	0,5	0,0265	0,0121	0,0167	0,0076
1,25	0,1	2,183	0,333	0,0244	0,0111	0,0145	0,0066
1,25	0,1	2,183	0,25	0,0216	0,0099	0,0109	0,0050
1,25	0,1	2,183	0,2	0,0195	0,0089	0,0110	0,0051



Εικόνα 5.9: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T= 1,25$ και $D= 0,10$

Πίνακας 5.10: $T= 1,5$ και $D= 0,10$

T (s)	D (m)	H (m)	J	ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R/H	R (m)	R/H
1,5	0,1	0,0156	0,2	0,0393	2,522	0,0210	1,351
1,5	0,1	0,0156	0,25	0,0335	2,153	0,0296	1,901
1,5	0,1	0,0156	0,333	0,0433	2,781	0,0428	2,743
1,5	0,1	0,0156	0,5	0,0483	3,097	0,0407	2,612
1,5	0,1	0,0156	0,667	0,0428	2,748	0,0228	1,462



Εικόνα 5.10: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T= 1,5$ και $D= 0,10$

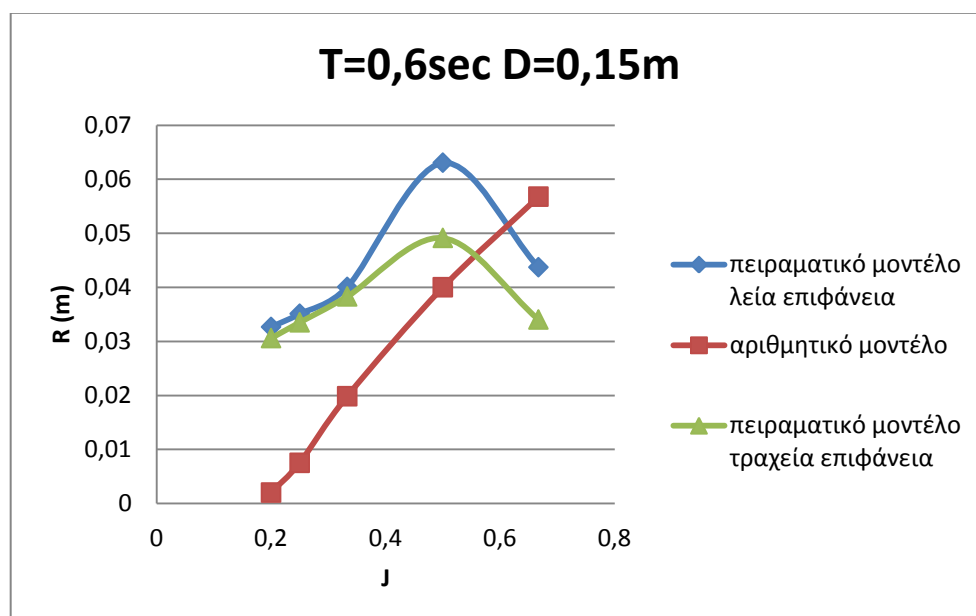
5.3 ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ R ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Οι πίνακες και τα διαγράμματα που ακολουθούν είναι ίδια με τους πίνακες και τα διαγράμματα που προηγήθηκαν, με την διαφορά ότι τώρα θα γίνει παράθεση και στοιχείων που αφορούν την αναρρίχηση σύμφωνα με το αριθμητικό μοντέλο. Το υπολογιστικό πρόγραμμα με το οποίο περιγράφεται το φαινόμενο που έγιναν οι δοκιμές είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού BASIC. (Τζαφέρης και Φυτόπουλος, 2014)

Τα διαγράμματα που ακολουθούν, εκτός από τις πληροφορίες που μας δίνουν για το πειραματικό μοντέλο με την λεία και την τραχεία επιφάνεια αντίστοιχα, πλέον μας παρέχουν και πληροφορίες για το αριθμητικό μοντέλο. Χάρης αυτή την οπτικοποιημένη παρουσίαση των αποτελεσμάτων μπορούμε βλέποντας το διάγραμμα και τον αντίστοιχο πίνακα κάθε φορά να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα. Επιπρόσθετα επισημαίνεται ότι στους παρακάτω πίνακες έχει προστεθεί και η αναρρίχηση του νερού σύμφωνα με το αριθμητικό μοντέλο.

Πίνακας 5.11: $T=0,6$ και $D=0,15$

T (s)	D (m)	H (m)	J	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ		ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R (m)	R/H	R (m)	R/H	R/H
0,6	0,15	0,0565	0,2	0,002	0,0353	0,0326	0,5779	0,0305	0,5779
0,6	0,15	0,0565	0,25	0,0075	0,1327	0,0351	0,6212	0,0335	0,6212
0,6	0,15	0,0565	0,333	0,01983	0,3509	0,0400	0,7091	0,0383	0,7091
0,6	0,15	0,0565	0,5	0,04	0,7079	0,0630	1,1160	0,0491	1,1160
0,6	0,15	0,0565	0,667	0,05677	1,0047	0,0437	0,7735	0,0340	0,7735

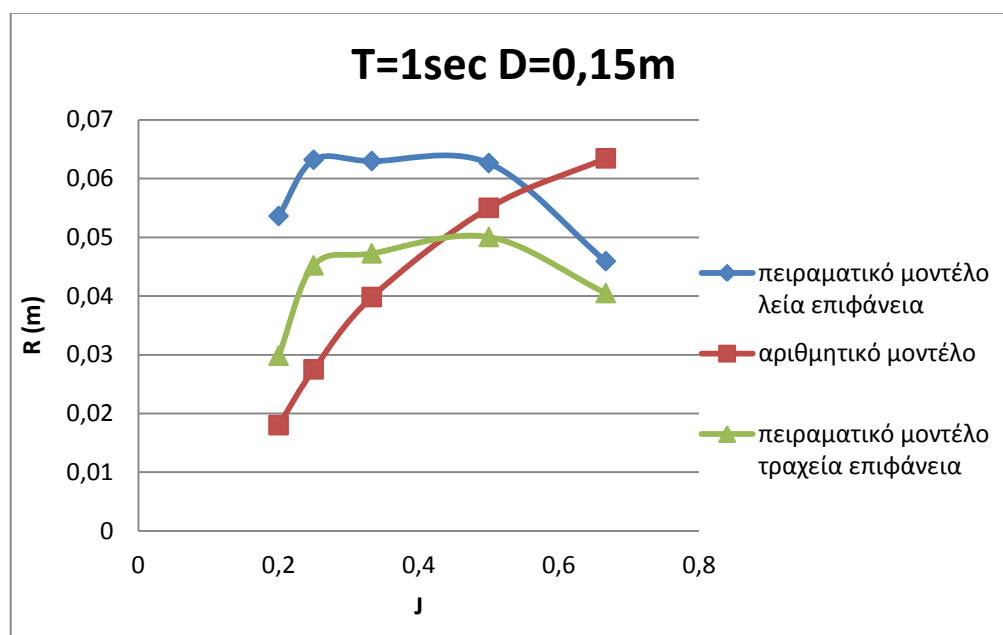


Εικόνα 5.11: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T=0,6$ και $D=0,15$

Στο πειραματικό μοντέλο που αφορά την λεία και την τραχεία επιφάνεια αντίστοιχα η γραφική παράσταση 'εξελίσσεται' παρόμοια, ενώ το αριθμητικό μοντέλο διαφέρει. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούμε κορύφωση της αναρρίχησης για κλίση πρανούς 1/2, ενώ στο αριθμητικό μοντέλο έχουμε κορύφωση στη μεγαλύτερη κλίση 1/1,5.

Πίνακας 5.12: $T=1$ και $D=0,15$

T (s)	D (m)	H (m)	J	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ		ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R (m)	R/H	R (m)	R/H	R/H
1	0,15	0,0382	0,2	0,018	0,4712	0,0536	1,4033	0,0298	1,4033
1	0,15	0,0382	0,25	0,0275	0,7198	0,0631	1,6541	0,0452	1,6541
1	0,15	0,0382	0,333	0,0398	1,0421	0,0629	1,6488	0,0472	1,6488
1	0,15	0,0382	0,5	0,055	1,4397	0,0626	1,6396	0,0500	1,6396
1	0,15	0,0382	0,667	0,0634	1,6607	0,0459	1,2020	0,0404	1,2020

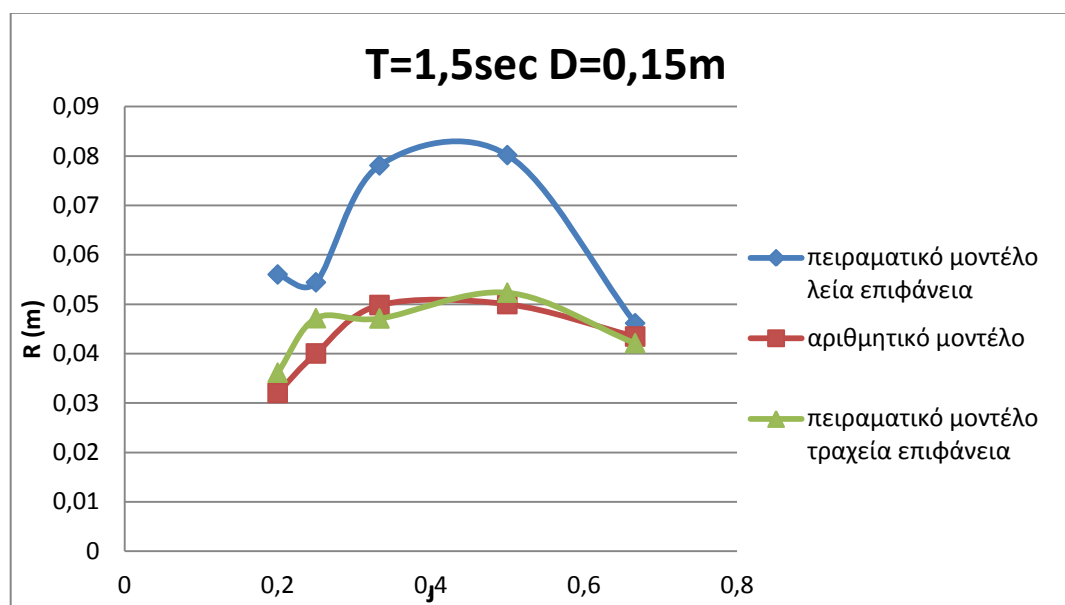


Εικόνα 5.12: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίση πρανούς για $T=1$ και $D=0,15$

Στο πειραματικό μοντέλο που αφορά την λεία και την τραχεία επιφάνεια αντίστοιχα η γραφική παράσταση 'εξελίσσεται' παρόμοια, ενώ το αριθμητικό μοντέλο διαφέρει.

Πίνακας 5.13: $T=1,5$ και $D=0,15$

T (s)	D (m)	H (m)	J	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ		ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R (m)	R/H	R (m)	R/H	R/H
1,5	0,15	0,0311	0,2	0,032	1,028	0,055	1,800	0,0361	1,800
1,5	0,15	0,0311	0,25	0,04	1,286	0,054	1,749	0,0471	1,749
1,5	0,15	0,0311	0,333	0,049	1,601	0,078	2,510	0,0470	2,510
1,5	0,15	0,0311	0,5	0,05	1,607	0,080	2,577	0,0523	2,577
1,5	0,15	0,0311	0,667	0,043	1,396	0,046	1,483	0,0420	1,483

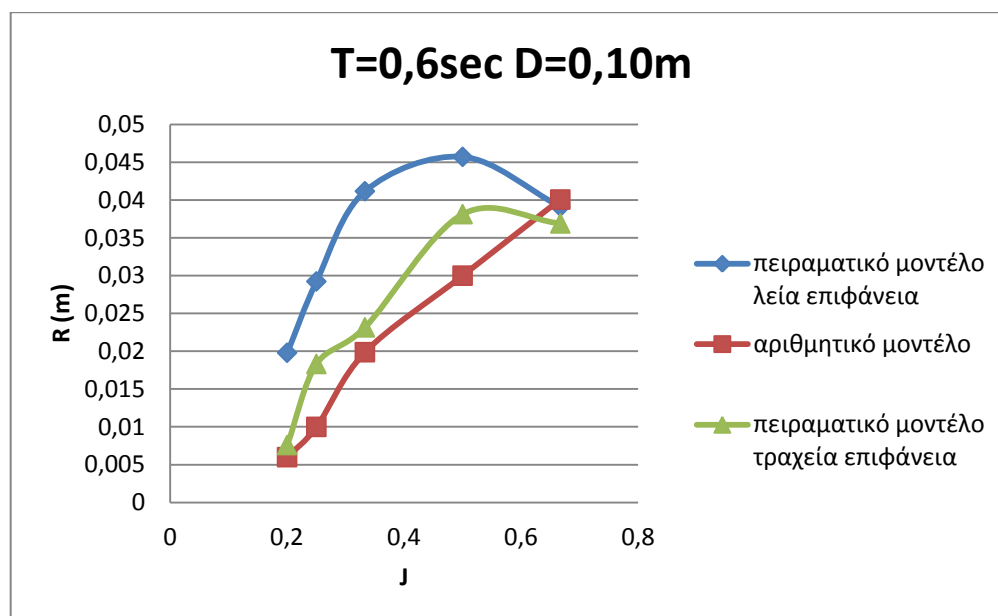


Εικόνα 5.13: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίση πρανούς για $T=1,5$ και $D=0,15$

Η γραφική παράσταση του πειραματικού μοντέλου που αφορά την τραχεία επιφάνεια, 'εξελίσσεται' παρόμοια με τη γραφική παράσταση του αριθμητικού μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούμε κορύφωση της αναρρίχησης για κλίση πρανούς 1/2 και στις τρεις γραφικές παραστάσεις.

Πίνακας 5.14: $T=0,6$ και $D=0,10$

T (s)	D (m)	H (m)	J	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ		ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R (m)	R/H	R (m)	R/H	R/H
0,6	0,1	0,0314	0,2	0,006	0,1910	0,0198	0,630	0,007	0,242
0,6	0,1	0,0314	0,25	0,01	0,3184	0,0292	0,931	0,0183	0,583
0,6	0,1	0,0314	0,33	0,019	0,6331	0,0411	1,311	0,0231	0,737
0,6	0,1	0,0314	0,5	0,03	0,9554	0,0457	1,455	0,0381	1,214
0,6	0,1	0,0314	0,67	0,040	1,2761	0,0391	1,245	0,0369	1,175

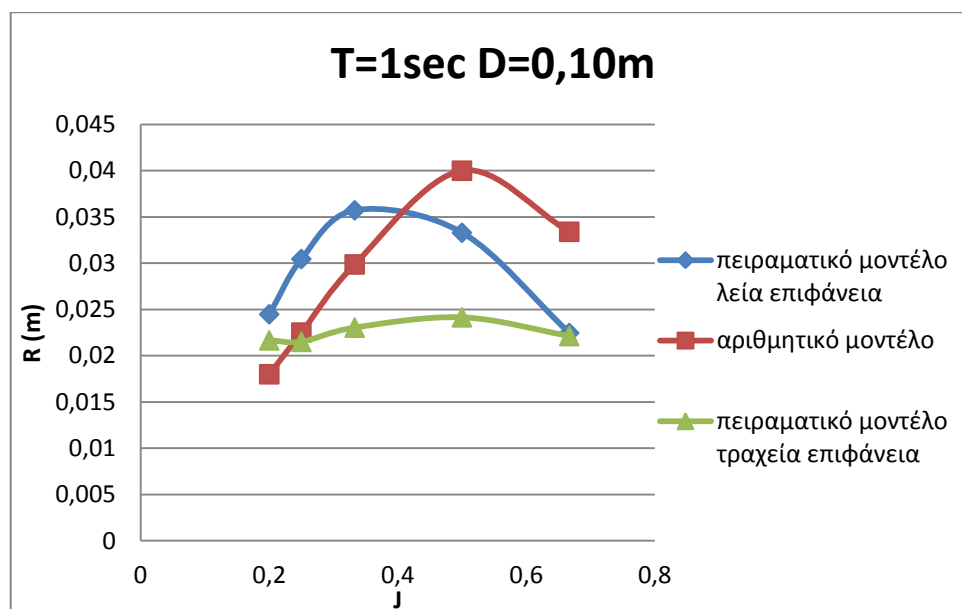


Εικόνα 5.14: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίσης πρανούς για $T=0,6$ και $D=0,10$

Στο πειραματικό μοντέλο που αφορά την λεία και την τραχεία επιφάνεια, αλλά και στο αριθμητικό μοντέλο η γραφική παράσταση 'εξελίσσεται' παρόμοια. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούμε κορύφωση της αναρρίχησης για κλίση πρανούς 1/2 για τα πειραματικά μοντέλα, ενώ στο αριθμητικό μοντέλο έχουμε κορύφωση στη πιο μεγάλη κλίση.

Πίνακας 5.15: $T=1$ και $D=0,10$

T (s)	D (m)	H (m)	J	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ		ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R (m)	R/H	R (m)	R/H	R/H
1	0,1	0,0237	0,2	0,018	0,759	0,0244	1,032	0,0216	0,913
1	0,1	0,0237	0,25	0,022	0,949	0,0304	1,284	0,0214	0,907
1	0,1	0,0237	0,333	0,029	1,260	0,0357	1,507	0,0230	0,972
1	0,1	0,0237	0,5	0,04	1,687	0,0332	1,404	0,0241	1,019
1	0,1	0,0237	0,667	0,033	1,409	0,0224	0,947	0,0221	0,933

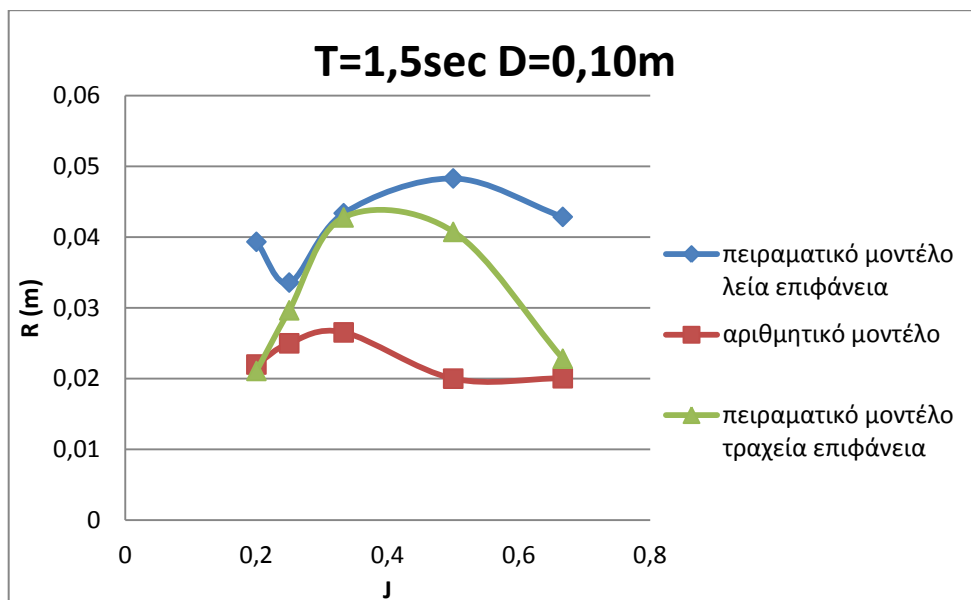


Εικόνα 5.15: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίση πρανούς για $T=1$ και $D=0,10$

Οι γραφικές παραστάσεις του αριθμητικού μοντέλου και της τραχείας επιφάνειας έχουν κοινή κλίση στην οποία παρατηρείται η μεγαλύτερη αναρρίχηση.

Πίνακας 5.16: $T= 1,5$ και $D= 0,10$

T (s)	D (m)	H (m)	J	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ		ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ		ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	
				R (m)	R (m)	R/H	R (m)	R/H	R/H
1,5	0,1	0,0156	0,25	0,022	1,410	0,0393	2,522	0,0210	1,351
1,5	0,1	0,0156	0,333	0,025	1,602	0,0335	2,153	0,0296	1,901
1,5	0,1	0,0156	0,5	0,026	1,701	0,0433	2,781	0,0428	2,743
1,5	0,1	0,0156	0,667	0,02	1,282	0,0483	3,097	0,0407	2,612
				0,02	1,285	0,0428	2,748	0,0228	1,462



Εικόνα 5.16: Γραφική παράσταση αναρρίχησης πρανούς, διαφορετική κλίση πρανούς για $T= 1,5$ και $D= 0,10$

Εδώ οι γραφικές παραστάσεις ακολουθούν διαφορετικές πορείες εξέλιξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΕΥΡΕΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ξ

6.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ξ

Στον παρακάτω Πίνακας 6.1, ακολουθεί έλεγχος θραύσης για βάθος $d=0.10$ m. Για την θραύση κύματος χρησιμοποιήσαμε την παρακάτω σχέση:

— — —

Εξάγαμε αποτελέσματα όσον αφορά την θραύση για 5 διαφορετικές διατάξεις όσον αφορά την περίοδο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακας 6.1. Η θραύση των κυματισμών στην ανοιχτή θάλασσα και στις ακτές αποτελεί έναν μηχανισμό, μέσω του οποίου μπορεί να επιτευχθεί περιορισμός του ύψους κύματος με συγκεκριμένη περίοδο T (κατ' επέκταση και L). Επιπρόσθετα, η θραύση των κυματισμών είναι ο κύριος μηχανισμός των επιφανειακών νερών. Ειδικότερα στις ακτές και ανάλογα με την κλίση του πυθμένα, άρα και τις τιμές της παραμέτρου ξ

—
—
—

Η μορφή της θραύσης εξαρτάται από την παράμετρο ξ . Για να επικρατεί στο φαινόμενο θραύση πρέπει να πληρείται η εξής ανίσωση $0,05 < \xi < 2,5$. Η διαμόρφωση του κύματος μέσα στην ζώνη θραύσης (από την γραμμή θραύσης ως την ακτογραμμή) μας δίνει τη μορφή/τύπο της θραύσης. Διαμορφώνονται διαφορετικοί τύποι θραυσμένων κυματισμών και αποσβέσεων της ενέργειας του κύματος μετά τη γραμμή θραύσεως έως την ακτή.

Πίνακας 6.1: Παράμετρος ξ για $D=0,10$

D=0,10									
T	L	H/L	έλεγχος θραύσης		H=	0,04			
0,6	0,4889	0,0818	0,1225	δεν συμβαίνει θραύση	D=	0,1			
0,75	0,6479	0,0617	0,1069	δεν συμβαίνει θραύση					
1	0,9103	0,0439	0,0855	δεν συμβαίνει θραύση					
1,25	1,1912	0,0336	0,0691	δεν συμβαίνει θραύση					
1,5	1,4406	0,0278	0,0586	δεν συμβαίνει θραύση					
ξ									
$\theta=1/5$		$\theta=1/4$		$\theta=1/3$		$\theta=1/2$		$\theta=1/1,5$	
0,699	θραύση	0,874	θραύση	1,165378072	θραύση	1,748	θραύση	2,331	θραύση
0,805	θραύση	1,006	θραύση	1,341542726	θραύση	2,012	θραύση	2,683	ανάκλαση
0,954	θραύση	1,193	θραύση	1,590121819	θραύση	2,385	θραύση	3,18	ανάκλαση
1,091	θραύση	1,364	θραύση	1,819051833	θραύση	2,729	ανάκλαση	3,638	ανάκλαση
1,2	θραύση	1,5	θραύση	2,000405204	θραύση	3,001	ανάκλαση	4,001	ανάκλαση

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και στον έλεγχο θραύσης για βάθος $d=0.15$ m όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακας 6.2. Και σε αυτή τη περίπτωση εξάγουμε αποτελέσματα όσον αφορά την θραύση για 5 διαφορετικές διατάξεις όσον αφορά την περίοδο.

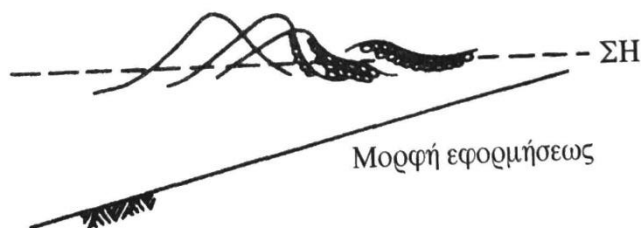
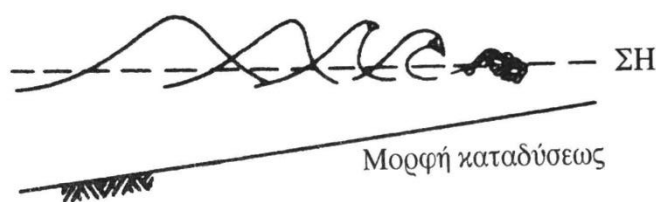
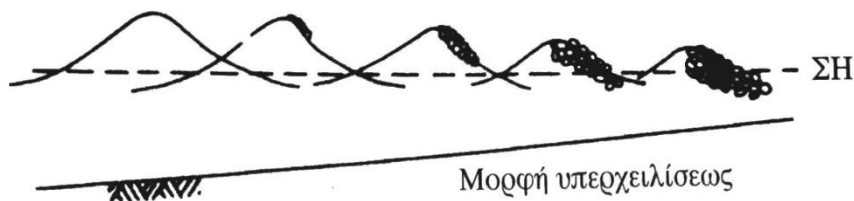
Πίνακας 6.2: Παράμετρος ξ για $D=0,15$

D=0,15									
T	L	H/L	έλεγχος θραύσης		H=	0,04			
0,6	0,6139	0,065	0,1102	δεν συμβαίνει θραύση	D=	0,15			
0,75	0,8042	0,05	0,0934	δεν συμβαίνει θραύση					
1	1,1026	0,036	0,0736	δεν συμβαίνει θραύση					
1,25	1,5037	0,027	0,0564	δεν συμβαίνει θραύση					
1,5	1,7977	0,022	0,048	δεν συμβαίνει θραύση					
ξ									
$\theta=1/5$		$\theta=1/4$		$\theta=1/3$		$\theta=1/2$		$\theta=1/1,5$	
0,784	θραύση	0,979	θραύση	1,305882182	θραύση	1,959	θραύση	2,612	ανάκλαση
0,897	θραύση	1,121	θραύση	1,494578423	θραύση	2,242	θραύση	2,989	ανάκλαση
1,05	θραύση	1,313	θραύση	1,750050123	θραύση	2,625	ανάκλαση	3,5	ανάκλαση
1,226	θραύση	1,533	θραύση	2,043772278	θραύση	3,066	ανάκλαση	4,088	ανάκλαση
1,341	θραύση	1,676	θραύση	2,234655337	θραύση	3,352	ανάκλαση	4,469	ανάκλαση

Να επισημάνουμε σε αυτό το σημείο ότι η στήλη του L στον πίνακα που προηγήθηκε είναι αποτέλεσμα μέτρησης, δηλαδή δεν ήταν αποτέλεσμα

κάποιου αριθμητικού μοντέλου ή κάποιας μαθηματικής σχέσης. Επιπλέον να διευκρινίσουμε ότι σε θεωρητικό επίπεδο το L δεν εξαρτάται από την κλίση. Δύο μεγέθη τα οποία καθορίζουν το μήκος κύματος είναι το βάθος και η περίοδος. Στο φυσικό περιβάλλον δεν μπορούμε να είμαστε απόλυτα σίγουροι για τις παραμέτρους που επηρεάζουν το μήκος κύματος.

Διακρίνονται 3 μορφές θραύσεως Εικόνα 6.1 ανάλογα με το ξ . η μορφή υπερχειλίσεως (spilling) $0.1 [\xi, 0,5]$ η μορφή καταδύσεως (plunging) $1. [0,5-3,3]$ και η μορφή εφορμήσεως (surging) $\xi \gg 1$. ή $\xi > 3,3$, αντίστοιχα (με τη σειρά που ακολουθούν από πάνω προς τα κάτω). Ένα σημαντικό θέμα είναι η αναδιοργάνωση των κυματισμών μετά την πρώτη θραύση στη γραμμή θραύσεως κυματισμών μετά τη πρώτη θραύση στη γραμμή θραύσεως κυματισμών, μέσα στη ζώνη << θραύσεως>> ως το υψηλότερο σημείο της ακτής όπου αναρριχώνται. Εφαρμόζεται συνήθως μια συσχέτιση βάθους και ύψους κύματος μετά τη θραύση.



Εικόνα 6.1: (Κουτίτας, 1996)

6.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ R/H ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ ξ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΚΟΜΜΑΤΙ

6.3.1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΛΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Στον παρακάτω Πίνακας 6.3 δίνεται με ακρίβεια η τιμή του ξ για κάθε παράμετρο της περιόδου του πειράματος ($T[0.6, 0.75, 1, 1.25, 1.5]$). Συγκεκριμένα για κάθε παράμετρο της κλίσης ($1/1.5, 1/2, 1/3, 1/4$ και $1/5$) του κυματοθραύστη, για την περίπτωση βάθους ($d=0.15$ m). Ο τύπος που μας δίνει το ξ είναι ο ακόλουθος

$$\xi = \frac{R}{H}$$

Επίσης στην προτελευταία στήλη αναγράφεται και η τιμή του πηλίκου αναρρίχησης R προς το ύψος του κύματος H . Παρακάτω υπάρχει τιμή του R/H για κάθε παράμετρο του πειράματος (περίοδος, βάθος και κλίση πρανούς), όπως έχουμε εξηγήσει αναλυτικά στην παραπάνω παράγραφο.

Πίνακας 6.3: Παράμετρος ξ για $D=0,15$

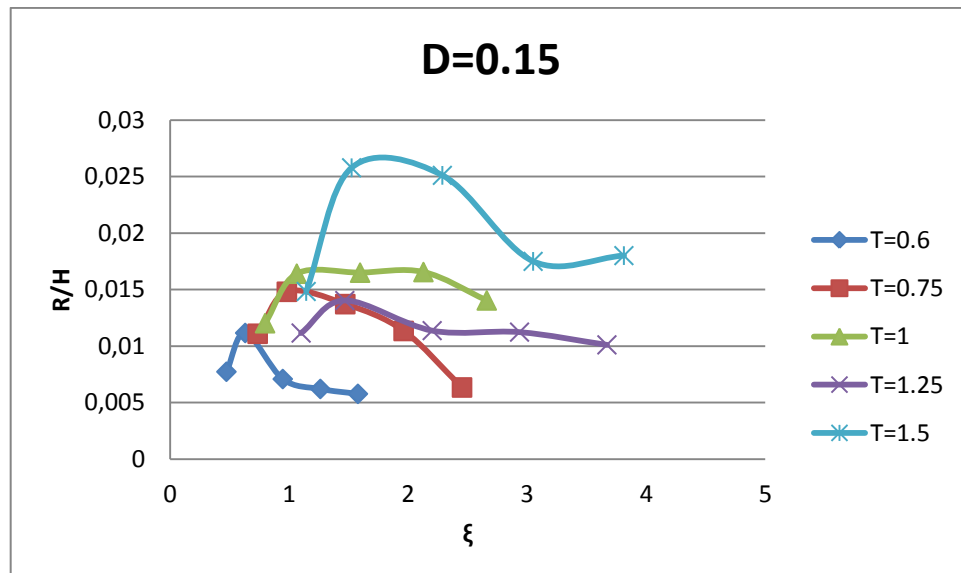
P	J	T	D	R	L ^{πειραματικό}	H	R/H	ξ
2	1/1,5	0,6	0,15	0,04371	0,5623	5,6456	0,0077	0,4734
12	1/2	0,6	0,15	0,06306	0,5623	5,6456	0,0112	0,6312
15	1/3	0,6	0,15	0,04007	0,5623	5,6456	0,0071	0,9467
24	1/4	0,6	0,15	0,0351	0,5623	5,6456	0,0062	1,2623
27	1/5	0,6	0,15	0,03266	0,5623	5,6456	0,0058	1,5779
34	1/1,5	0,75	0,15	0,03695	0,8014	3,3297	0,0111	0,7359
36	1/2	0,75	0,15	0,04933	0,8014	3,3297	0,0148	0,9812
42	1/3	0,75	0,15	0,04569	0,8014	3,3297	0,0137	1,4717
44	1/4	0,75	0,15	0,03779	0,8014	3,3297	0,0113	1,9623
50	1/5	0,75	0,15	0,02114	0,8014	3,3297	0,0063	2,4529
1	1/1,5	1	0,15	0,04592	1,0804	3,8157	0,012	0,7982
11	1/2	1	0,15	0,06263	1,0804	3,8157	0,0164	1,0642
14	1/3	1	0,15	0,06299	1,0804	3,8157	0,0165	1,5964
23	1/4	1	0,15	0,06319	1,0804	3,8157	0,0166	2,1285
26	1/5	1	0,15	0,05361	1,0804	3,8157	0,014	2,6606
33	1/1,5	1,25	0,15	0,03108	1,4997	2,7838	0,0112	1,101
35	1/2	1,25	0,15	0,03909	1,4997	2,7838	0,014	1,468
41	1/3	1,25	0,15	0,03167	1,4997	2,7838	0,0114	2,2019

43	1/4	1,25	0,15	0,0313	1,4997	2,7838	0,0112	2,9359
49	1/5	1,25	0,15	0,02817	1,4997	2,7838	0,0101	3,6699
3	1/1,5	1,5	0,15	0,04612	1,8071	3,1081	0,0148	1,1438
10	1/2	1,5	0,15	0,08015	1,8071	3,1081	0,0258	1,525
13	1/3	1,5	0,15	0,07807	1,8071	3,1081	0,0251	2,2875
22	1/4	1,5	0,15	0,0544	1,8071	3,1081	0,0175	3,05
25	1/5	1,5	0,15	0,05599	1,8071	3,1081	0,018	3,8125

Από τον παραπάνω Πίνακα 6.3 προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα. Η εικόνα 6.2 αφορά την παράμετρο που καθορίζει το βάθος $d=0.15$ m. Η οριζόντια στήλη (ο άξονας x) αφορά την παράμετρο ξ ($\xi=\frac{r}{H}$) η οποία έχουμε εξηγήσει

σε προηγούμενο χωρίο του σχετικού κεφαλαίου την σημασία της και το πώς προέκυψε αριθμητικά. Τέλος η κάθετη στήλη (ο άξονας y) έχει τις τιμές του R/H που προέκυψαν από τον Πίνακα 6.3.

Επεξήγηση: Στην εικόνα 6.2 απεικονίζονται πέντε γραφικές παραστάσεις. Η κάθε γραφική παράσταση αφορά μία από τις πέντε παραμέτρους της περιόδου.



Εικόνα 6.2: Γραφική παράσταση σχετικής αναρρίχησης για τις διάφορες τιμές του ξ για βάθος $D=0.15$

Όπως και παραπάνω, στον παρακάτω Πίνακας 6.4 δίνεται η τιμή του ξ για κάθε παράμετρο της περιόδου του πειράματος ($T[0.6, 0.75, 1, 1.25, 1.5]$). Συγκεκριμένα για κάθε παράμετρο της κλίσης ($1/1.5, 1/2, 1/3, 1/4$ και $1/5$) του κυματοθραύστη, και για την περίπτωση βάρους ($d=0.10$ m).

Και σε αυτή τη περίπτωση στην προτελευταία στήλη αναγράφεται η τιμή του ηλικίου αναρρίχησης R προς το ύψος του κύματος H , για κάθε παράμετρο του πειράματος (περίοδος, βάθος και κλίση πρανούς).

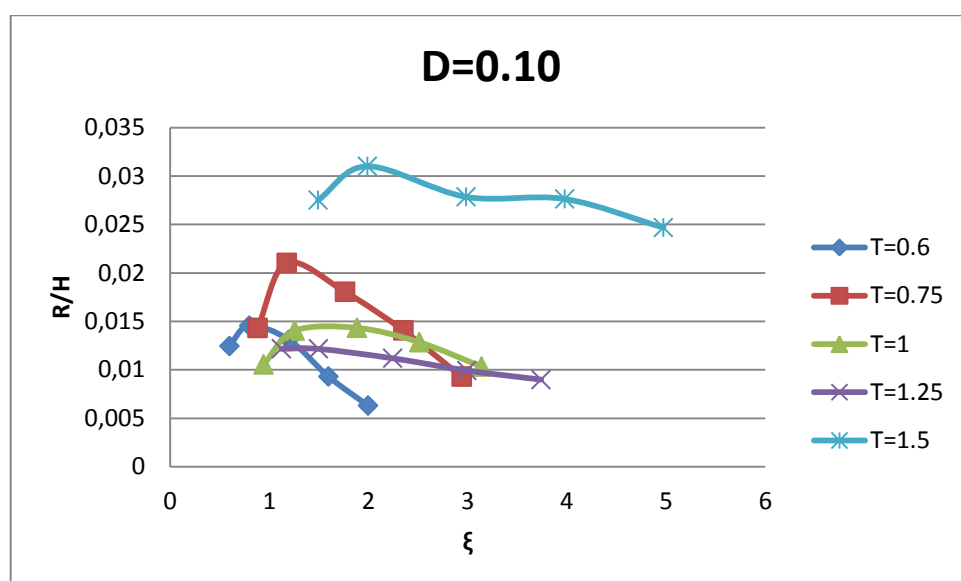
Πίνακας 6.4: Παράμετρος ξ για $D=0,10$

P	J	T	D	R	L ^{πειραματικό}	H	R/H	ξ
6	1,5	0,6	0,10	0,039122	0,500387479	3,142801	0,012448	0,59853
9	2	0,6	0,10	0,045717	0,500387479	3,142801	0,014547	0,79804
18	3	0,6	0,10	0,041172	0,500387479	3,142801	0,0131	1,19706
21	4	0,6	0,10	0,029238	0,500387479	3,142801	0,009303	1,59608
30	5	0,6	0,10	0,019806	0,500387479	3,142801	0,006302	1,995101
32	1,5	0,75	0,10	0,026567	0,641630211	1,855895	0,014315	0,881976
38	2	0,75	0,10	0,039013	0,641630211	1,855895	0,021021	1,175968
40	3	0,75	0,10	0,033493	0,641630211	1,855895	0,018047	1,763953
46	4	0,75	0,10	0,026106	0,641630211	1,855895	0,014066	2,351937
48	5	0,75	0,10	0,017246	0,641630211	1,855895	0,009293	2,939921
5	1,5	1	0,10	0,025006	0,934989474	2,370914	0,010547	0,941969
8	2	1	0,10	0,033294	0,934989474	2,370914	0,014043	1,255959
17	3	1	0,10	0,033983	0,934989474	2,370914	0,014333	1,883938
20	4	1	0,10	0,030453	0,934989474	2,370914	0,012844	2,511918
29	5	1	0,10	0,02448	0,934989474	2,370914	0,010325	3,139897
31	1,5	1,25	0,10	0,026576	1,220881196	2,183406	0,012172	1,121659
37	2	1,25	0,10	0,026562	1,220881196	2,183406	0,012166	1,495545
39	3	1,25	0,10	0,02443	1,220881196	2,183406	0,011189	2,243317
45	4	1,25	0,10	0,021662	1,220881196	2,183406	0,009921	2,99109
47	5	1,25	0,10	0,019596	1,220881196	2,183406	0,008975	3,738862
4	1,5	1,5	0,10	0,042876	1,54114629	1,558104	0,027518	1,491815
7	2	1,5	0,10	0,048313	1,54114629	1,558104	0,031008	1,989086
16	3	1,5	0,10	0,043393	1,54114629	1,558104	0,02785	2,98363
19	4	1,5	0,10	0,043051	1,54114629	1,558104	0,02763	3,978173
28	5	1,5	0,10	0,038448	1,54114629	1,558104	0,024676	4,972716

Από τον παραπάνω Πίνακα 6.4 προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα. Η εικόνα 6.3 αφορά την παράμετρο που καθορίζει το βάθος $d=0.10$ m. Η οριζόντια στήλη (ο άξονας x) αφορά την παράμετρο ξ ($\xi=\frac{R}{H}$) η οποία έχουμε

εξηγήσει σε προηγούμενο χωρίο του σχετικού κεφαλαίου την σημασία της και το πώς προέκυψε αριθμητικά. Τέλος η κάθετη στήλη (ο άξονας y) έχει τις τιμές του R/H που προέκυψαν από τον Πίνακα 6.4.

Επεξήγηση: Στην εικόνα 6.3 απεικονίζονται πέντε γραφικές παραστάσεις. Η κάθε γραφική παράσταση αφορά μία από τις πέντε παραμέτρους της περιόδου.



Εικόνα 6.3: Γραφική παράσταση σχετικής αναρρίχησης για τις διάφορες τιμές του ξ για βάθος $D=0.10$

6.3.2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Όπως επεξηγήσαμε και στο προηγούμενο χωρίο που αφορούσε τον πίνακα που έδινε τις τιμές της παραμέτρου ξ και του πηλίκου R/H , και σε αυτόν τον Πίνακα 6.5 δίνεται με ακρίβεια η τιμή του ξ για κάθε παράμετρο της περιόδου του πειράματος ($T[0.6, 0.75, 1, 1.25, 1.5]$). Συγκεκριμένα για κάθε παράμετρο της κλίσης ($1/1.5, 1/2, 1/3, 1/4$ και $1/5$) του κυματοθραύστη, και για την περίπτωση βάθους ($d=0.15$ m).

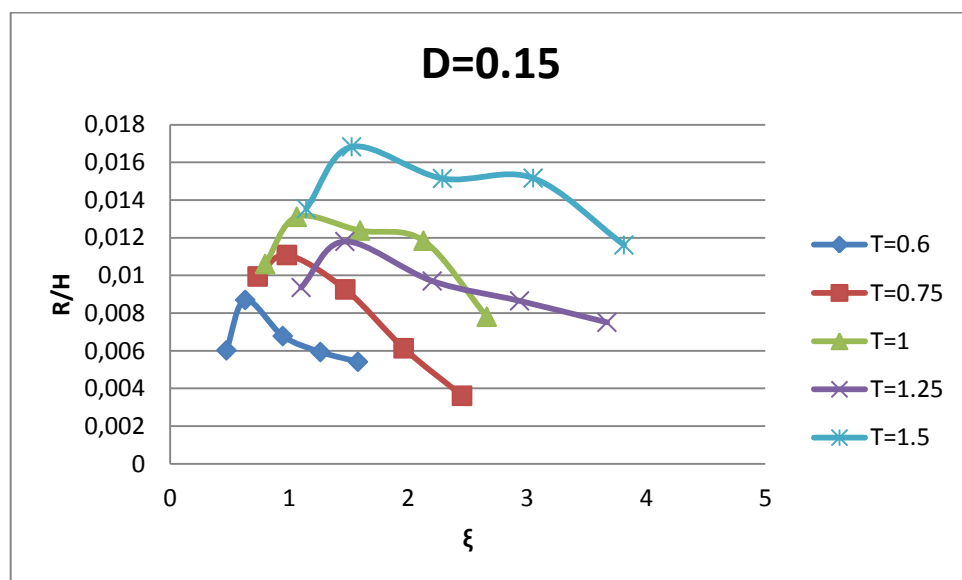
Και σε αυτή τη περίπτωση στην προτελευταία στήλη αναγράφεται η τιμή του πηλίκου αναρίχησης R προς το ύψος του κύματος H .

Πίνακας 6.5: Παράμετρος ξ για $D=0,15$

TR	J	T	D	R	L ^{πειραματικό}	H	R/H	ξ
40	1,5	0,6	0,15	0,034	0,5623	5,646	0,006	0,4734
45	2	0,6	0,15	0,0491	0,5623	5,646	0,0087	0,6312
50	3	0,6	0,15	0,0383	0,5623	5,646	0,0068	0,9467
35	4	0,6	0,15	0,0335	0,5623	5,646	0,0059	1,2623
30	5	0,6	0,15	0,0306	0,5623	5,646	0,0054	1,5779
39	1,5	0,75	0,15	0,0331	0,8014	3,33	0,0099	0,7359
44	2	0,75	0,15	0,0369	0,8014	3,33	0,0111	0,9812
49	3	0,75	0,15	0,0308	0,8014	3,33	0,0093	1,4717
34	4	0,75	0,15	0,0204	0,8014	3,33	0,0061	1,9623
29	5	0,75	0,15	0,012	0,8014	3,33	0,0036	2,4529
38	1,5	1	0,15	0,0405	1,0804	3,816	0,0106	0,7982
43	2	1	0,15	0,05	1,0804	3,816	0,0131	1,0642
48	3	1	0,15	0,0473	1,0804	3,816	0,0124	1,5964
33	4	1	0,15	0,0452	1,0804	3,816	0,0118	2,1285
28	5	1	0,15	0,0298	1,0804	3,816	0,0078	2,6606
37	1,5	1,25	0,15	0,0261	1,4997	2,784	0,0094	1,101
42	2	1,25	0,15	0,0329	1,4997	2,784	0,0118	1,468
47	3	1,25	0,15	0,027	1,4997	2,784	0,0097	2,2019
32	4	1,25	0,15	0,0241	1,4997	2,784	0,0087	2,9359
27	5	1,25	0,15	0,0209	1,4997	2,784	0,0075	3,6699
36	1,5	1,5	0,15	0,0421	1,8071	3,108	0,0135	1,1438
41	2	1,5	0,15	0,0523	1,8071	3,108	0,0168	1,525
46	3	1,5	0,15	0,0471	1,8071	3,108	0,0152	2,2875
31	4	1,5	0,15	0,0471	1,8071	3,108	0,0152	3,05
26	5	1,5	0,15	0,0361	1,8071	3,108	0,0116	3,8125

Από τον παραπάνω Πίνακα 6.5 προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα. Η εικόνα 6.4 αφορά την παράμετρο που καθορίζει το βάθος $d=0.15$ m. Η οριζόντια στήλη (ο άξονας x) αφορά την παράμετρο ξ ($\xi=\frac{v}{\omega d}$). Και η κάθετη στήλη (ο άξονας y) έχει τις τιμές του R/H που προέκυψαν από τον Πίνακα 6.5.

Επεξήγηση: Στην εικόνα 6.4 απεικονίζονται πέντε γραφικές παραστάσεις. Η κάθε γραφική παράσταση αφορά μία από τις πέντε παραμέτρους της περιόδου για βάθος νερού $d= 0.15$ m.



Εικόνα 6.4: Γραφική παράσταση σχετικής αναρρίχησης για τις διάφορες τιμές του ξ για βάθος $D=0.15$

παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και στον παρακάτω Πίνακα 6.6. Δίνεται η τιμή του ξ για κάθε παράμετρο της περιόδου του πειράματος ($T[0.6, 0.75, 1, 1.25, 1.5]$), για κάθε παράμετρο της κλίσης ($1/1.5, 1/2, 1/3, 1/4$ και $1/5$) του κυματοθραύστη και για την περίπτωση βάρους ($d=0.10$ m).

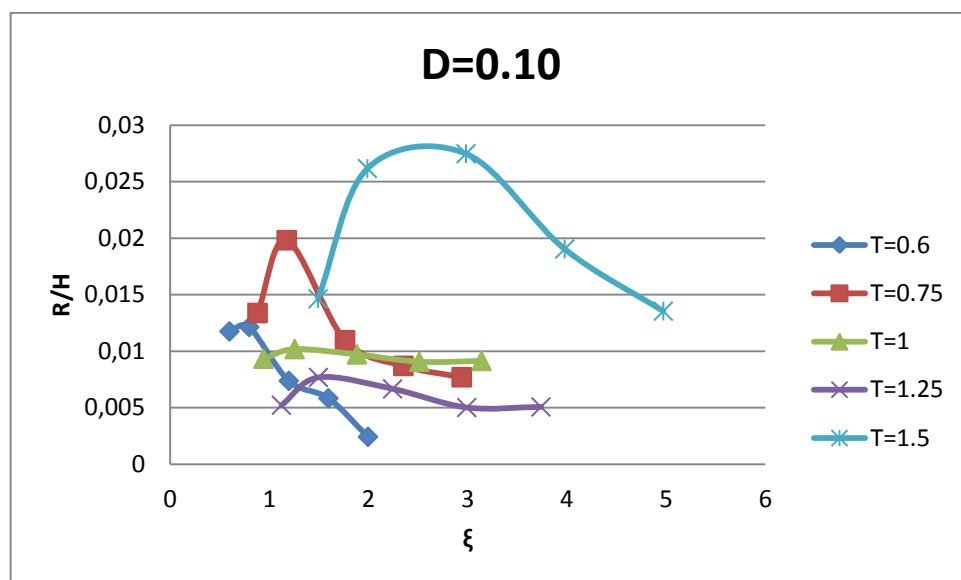
Και σε αυτή τη περίπτωση στην προτελευταία στήλη αναγράφεται η τιμή του ηλικίου αναρίχησης R προς το ύψος του κύματος H .

Πίνακας 6.6: Παράμετρος ξ για $D=0,10$

TR	J	T	D	R	L ^{πειραματικό}	H	R/H	ξ
5	1,5	0,6	0,10	0,03691	0,50039	3,1428	0,0117	0,59853
10	2	0,6	0,10	0,03814	0,50039	3,1428	0,0121	0,79804
15	3	0,6	0,10	0,02317	0,50039	3,1428	0,0074	1,19706
20	4	0,6	0,10	0,01833	0,50039	3,1428	0,0058	1,59608
25	5	0,6	0,10	0,0076	0,50039	3,1428	0,0024	1,9951
4	1,5	0,75	0,10	0,02482	0,64163	1,8559	0,0134	0,88198
9	2	0,75	0,10	0,03677	0,64163	1,8559	0,0198	1,17597
14	3	0,75	0,10	0,02034	0,64163	1,8559	0,011	1,76395
19	4	0,75	0,10	0,01614	0,64163	1,8559	0,0087	2,35194
24	5	0,75	0,10	0,01428	0,64163	1,8559	0,0077	2,93992
3	1,5	1	0,10	0,02213	0,93499	2,37091	0,0093	0,94197
8	2	1	0,10	0,02415	0,93499	2,37091	0,0102	1,25596
13	3	1	0,10	0,02304	0,93499	2,37091	0,0097	1,88394
18	4	1	0,10	0,0215	0,93499	2,37091	0,0091	2,51192
23	5	1	0,10	0,02166	0,93499	2,37091	0,0091	3,1399
2	1,5	1,25	0,10	0,01139	1,22088	2,18341	0,0052	1,12166
7	2	1,25	0,10	0,01676	1,22088	2,18341	0,0077	1,49554
12	3	1,25	0,10	0,01454	1,22088	2,18341	0,0067	2,24332
17	4	1,25	0,10	0,01094	1,22088	2,18341	0,005	2,99109
22	5	1,25	0,10	0,01106	1,22088	2,18341	0,0051	3,73886
1	1,5	1,5	0,10	0,02282	1,54115	1,5581	0,0146	1,49181
6	2	1,5	0,10	0,04075	1,54115	1,5581	0,0262	1,98909
11	3	1,5	0,10	0,0428	1,54115	1,5581	0,0275	2,98363
16	4	1,5	0,10	0,02967	1,54115	1,5581	0,019	3,97817
21	5	1,5	0,10	0,02109	1,54115	1,5581	0,0135	4,97272

Από τον παραπάνω Πίνακα 6.6 προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα. Η εικόνα 6.5 αφορά την παράμετρο που καθορίζει το βάθος $d=0.10$ m. Η οριζόντια στήλη (ο άξονας x) αφορά την παράμετρο ξ ($\xi=\frac{R}{H}$). Και η κάθετη στήλη (ο άξονας y) παίρνει τις τιμές του απ' την στήλη R/H του Πίνακα 6.6.

Επεξήγηση: Στη εικόνα 6.5 απεικονίζονται πέντε γραφικές παραστάσεις. Η κάθε γραφική παράσταση αφορά μία από τις πέντε παραμέτρους της περιόδου όπως και στην προηγούμενες περιπτώσεις, αλλά αυτή τη φορά για βάθος νερού $d=0.10$ m.

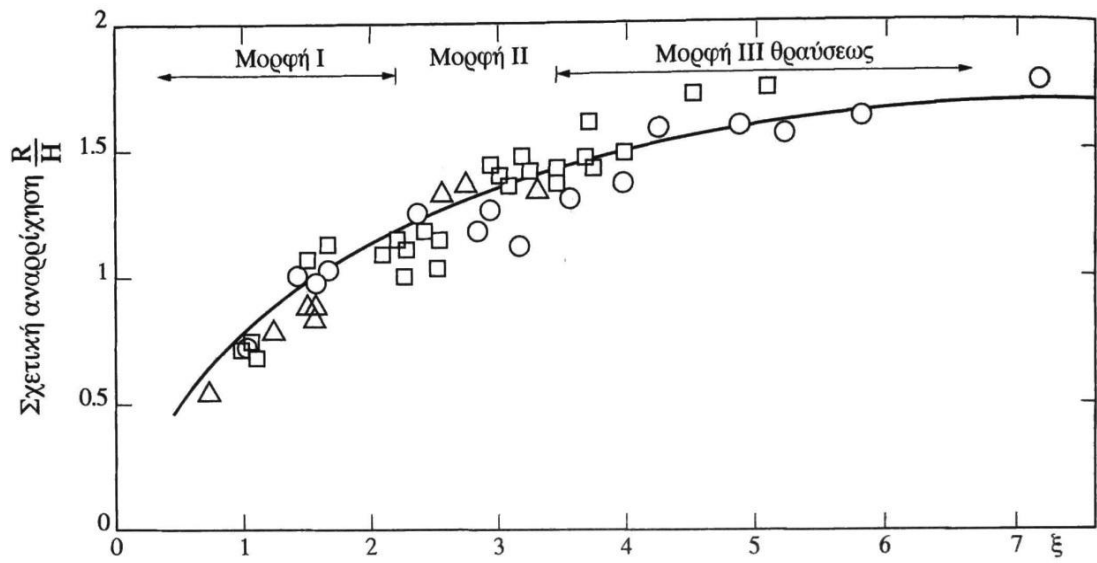


Εικόνα 6.5: Γραφική παράσταση σχετικής αναρρίχησης για τις διάφορες τιμές του ξ για βάθος $D=0.10$

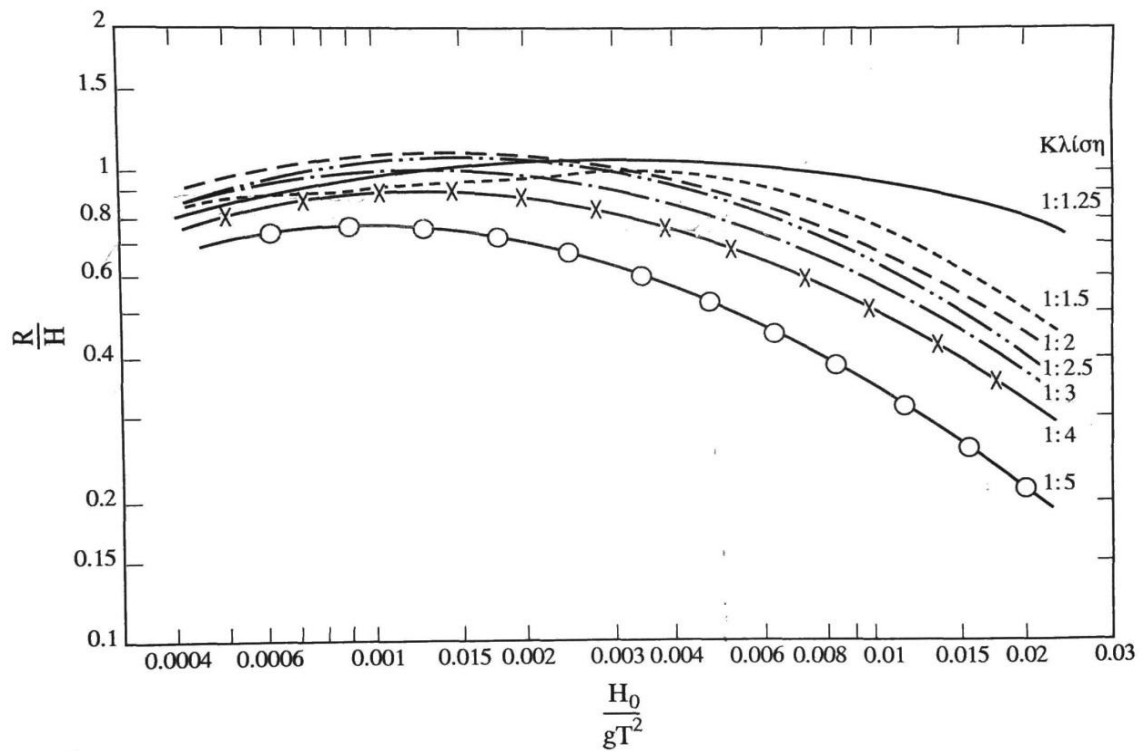
6.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ R/H ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ Ξ

Τα διαγράμματα που προέκυψαν από το πειραματικό μέρος σε αυτό το σημείο θα τα παραθέσουμε με τα διαγράμματα που έχουν θεσπιστεί από τη θεωρία των παράκτιων λιμενικών έργων. Η πειραματική συσχέτιση της αδιάστατης αναρρίχησης R/H με την παράμετρο ξ δίνεται από τα σχήματα που ακολουθούν. Τα σχήματα έχουν αντιγραφεί από το πανεπιστημιακό εγχειρίδιο του καθηγητή Χ. Κουτίτα, με τίτλο «Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα». Το εγχειρίδιο (Κουτίτας, 1996) υπήρξε βασικό εργαλείο στη διεκπεραίωση και στην επεξήγηση πολλών σημείων της εν λόγω πτυχιακής εργασίας. Στο διάγραμμα έχουμε εφαρμογή μόνο περιπτώσεων με πρανή λιθοριπών που εμφανίζονται στους κυματοθραύστες. Το πρανές που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της δικίας μας πειραματικής εργασίας ήταν τεχνητό πρανές (plexy glass) χαρακτηριστικό γνώρισμα του οποίου ήταν η συμπαγής δομή και ο μικρός βαθμός τριβής σε πρώτη φάση (πειραματικός κύκλος με λεία επιφάνεια τριβής) και σε δεύτερη φάση πετύχαμε μεγαλύτερο βαθμό τριβής(πειραματικός κύκλος με τραχεία επιφάνεια τριβής).

Το παραπάνω θεωρητικό χωρίο δεν έχει εφαρμογή στο δικό μας πειραματικό τμήμα καθώς έχουμε ομογενές πρανές και όχι σύνθετο. Επιπλέον είναι λογικό τα θεωρητικά διαγράμματα να μην μοιάζουν με τα διαγράμματα που προέκυψαν από τη διαδικασία του πειράματος, για τον λόγο του ότι τα δεύτερα προέκυψαν αποκλειστικά από τα αποτελέσματα του πειράματος χωρίς καμία επεξεργασία.



Αναρρίχηση σε πρανές από διαβαθμισμένη λιθορριπή



Αναρρίχηση σε ογκόλιθους θωρακίσεως

Εικόνα 6.5: (Κουτίτας 1996)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

7,1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία είχε αντικείμενο έρευνας την διερεύνηση της αναρρίχησης των θαλάσσιων κυμάτων σε πρηνή κυματοθραύστη. Η διαδικασία της διερεύνησης ξεκίνησε μέσα από μελέτη του φαινομένου σε θεωρητικό επίπεδο. Επίσης προβήκαμε και σε σωστή ενημέρωση όσον αφορά τους ορισμούς και το θεωρητικό μέρος, για να υπάρξει σωστή θεωρητική γνώση κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Όσον αφορά το πειραματικό μέρος απαρτίζεται από δύο ευρύτερους κύκλους εργασιών. Ο πρώτος κύκλος αφορά την πειραματική διεργασία κατά την οποία η επιφάνεια του πρηνούς είχε λεία επιφάνεια (συντελεστής τριβής μειωμένος). Ο δεύτερος κύκλος εργασιών αφορά πρηνές με τραχεία επιφάνεια (αυξημένος συντελεστής τριβής). Σε κάθε κύκλο οι εργασίες που αφορούσαν την διερεύνηση της υπερπήδησης του νερού ήταν ίδιες, όπως και οι παράμετροι της πειραματικής διαδικασίας. Ο λόγος για τον οποίο προβήκαμε σε μελέτη και αποπεράτωση εργασιών που αφορούσαν ένα ικανοποιητικό 'φάσμα' παραμέτρων (πέντε διαφορετικές κλίσεις πρηνούς, πέντε διαφορετικές περιόδους κύματος και δύο βάθη νερού). Ο λόγος για τον οποίο οι πειραματικοί παράμετροι ήταν πολλοί, ήταν για να υπάρχει μεγάλο φάσμα αποτελεσμάτων για σύγκριση και μελέτη στο τέλος του πειραματικού μέρους.

Αναλυτικότερα, εξάγαμε τα εξής συμπεράσματα όσον αφορά την αναρρίχηση του νερού σε πρηνές:

- 1) Την μεγαλύτερη αναρρίχηση του νερού στο πρηνές την είχαμε στην κλίση $1/2$ (δεύτερη πιο απότομη κλίση του πειράματος).
- 2) Παρατηρήθηκε ότι η κλίση όσο 'εξελισσόταν' από ομαλή σε απότομη είχαμε αύξηση της αναρρίχησης, παρόλο αυτά όμως στις περισσότερες περιπτώσεις μετά την κλίση $1/2$ παρατηρούσαμε μείωση της αναρρίχησης του νερού. Το φαινόμενο που προαναφέραμε γινόταν εύκολα αντιληπτό και κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, και στην συνέχεια με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων επιβεβαιώθηκε η παρατήρηση που είχε γίνει αρχικά.

- 3) Όταν το βάθος του νερού στο κανάλι ήταν 15 cm το φαινόμενο της αναρρίχησης ήταν πιο έντονο απ' ό τι στα 10 cm.
- 4) Στην τραχεία επιφάνεια του πρανούς λόγω του μεγαλύτερου συντελεστή τριβής παρατηρούσαμε μικρότερη αναρρίχηση (γεγονός αναμενόμενο, εξάλλου η εξής σκέψη υπήρχε εξαρχής). Λόγω της μικρής διαφοράς στην αναρρίχηση του νερού στις δύο διαφορετικές επιφάνειες, μέσα από τους πίνακες εξαγωγής των αποτελεσμάτων επιβεβαιώθηκε η 'υποψία' ότι στην λεία επιφάνεια θα έχουμε μεγαλύτερη αναρρίχηση.
- 5) Ένα σημαντικό φαινόμενο που μας προβλημάτισε από την αρχή του πειράματος ήταν το φαινόμενο της ανάκλασης του κύματος. Έπρεπε μέσα από κάποια διεργασία να καταφέρουμε να εξαλείψουμε αυτό το φαινόμενο το οποίο θα επηρέαζε και το αποτέλεσμα της εργασίας. Το πρόβλημα της ανάκλασης αντιμετωπίστηκε με την χρήση μιας πρόχειρης ειδικής διάταξης αγωγών απορρόφησης, που την αποτελούσαν καλαμάκια (όλα στο ίδιο μήκος).
- 6) Συγκρίνοντας τους δύο πίνακες του μήκους κύματος, τον Πίνακα 4.11 των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας και τους πίνακες του θεωρητικού μέρους, θα παρατηρήσουμε μια διαφορά της τάξεως περίπου 0,01-0,1 m. Αυτή διαφορά μεταξύ θεωρητικού και πειραματικού αποτελέσματος μπορεί να θεωρηθεί ελάχιστη.
- 7) Σαν τελευταία παρατήρηση θα επισημάνουμε ότι το αριθμητικό μοντέλο σε αρκετές παραμέτρους του πειράματος δεν συμφωνεί με το αντίστοιχο πειραματικό αποτέλεσμα. Η μόνη περίπτωση στην οποία έχουμε 'ταύτιση' των αποτελεσμάτων είναι εκείνη με τις εξής παραμέτρους:
- α) περίοδος $T = 1,5 \text{ sec}$
β) βάθος νερού $d = 0.15 \text{ m}$
- στην συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία το αριθμητικό μοντέλο με το πειραματικό μοντέλο της τραχείας επιφάνειας παρουσιάζουν κατά προσέγγιση σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα, ενώ το πειραματικό μοντέλο για την λεία επιφάνεια παρουσιάζει μεγαλύτερη αναρρίχηση. Τέλος, παρατηρούμε ότι και στις τρεις περιπτώσεις μεγαλύτερη αναρρίχηση έχουμε για κλίση πρανούς $1/2$.

7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΕΤΕΡΩ ΕΡΥΝΑ

Μελλοντικά θα ήταν καλό να γίνει διερεύνηση του φαινομένου της κυματικής αναρρίχησης και με τα εναλλακτικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής για να έχουμε έτσι 'σφαιρική εικόνα' του φαινομένου. Επίσης σε μελλοντικά πειράματα προτείνεται η χρήση ειδικών μετρητικών οργάνων για τη μέτρηση της κυματικής αναρρίχησης για λόγους ακρίβειας και εξοικονόμησης χρόνου. Συγκεκριμένα είναι επίπονη και χρονοβόρα η διαδικασία που ακολουθήθηκε όσον αφορά την μέτρηση των αποτελεσμάτων στην παρούσα εργασία. Επιπλέον είναι πολύ σημαντική η μελέτη όσον αφορά την γωνία πρόσπτωσης του νερού στο πρανές. Στην παρούσα εργασία το νερό έφτανε στο πρανές χωρίς γωνία πρόσπτωσης (έφτανε κάθετα). Ενδιαφέρον παρουσιάζει και μελέτη πρανούς το οποίο παρουσιάζει καμπυλότητα όσον αφορά την μορφή του πρανούς. Πιο συγκεκριμένα θα μπορούσε να γίνει μελέτη αναρρίχησης του νερού σε πρανές κοίλο η κυρτό. Τέλος πολύ σημαντικό είναι να γίνει έρευνα όσον αφορά την ενεργειακή εκμετάλλευση που εκτονώνεται στο περιβάλλον από το φαινόμενο της αναρρίχησης του νερού ή της υπερπήδησης του. Αυτή η κυματική ενεργεί θα μπορούσε να γίνει εκμεταλλεύσιμη από τον ανθρώπινο παράγοντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εν λόγω πειραματική πτυχιακή εργασία αφορά την διερεύνηση του κύματος σε πρηνή υπο διαφορετικές κλίσεις. Αρχικά γίνεται αναφορά στο αντικείμενο της εργασίας, παρουσιάζονται αναλυτικά οι βασικοί όροι που μας εισάγουν στην έννοια της θεματολογίας και στην συνέχεια ξεκινάει το θεωρικό μέρος το οποίο αποτελεί και «υπόβαθρο». Το κύριο μέρος της εργασίας απαρτίζεται από το πειραματικό κομμάτι στο οποίο παρουσιάζονται, η πειραματικά διαδικασία και τα αποτελέσματα που εξάγονται από αυτήν. Τέλος υπάρχει εμπεριστατωμένος σχολιασμός των αποτελεσμάτων και προτροπή των μελλοντικών ερευνητών σε περαιτέρω έρευνα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο ABSTRACT

This experimental thesis concerns the investigation of the wave on slopes under different slopes. Initially referring to the subject of work, presented in detail the basic terms that introduce us to the concept of themes and then starts the theory part which is a "background". The main part of the work consists of experimental piece that presents the experimental procedure and the results that are extracted from it. Finally there is a thorough discussion of the results and encouragement of future researchers in further research

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Χριστόφορος Γ. Κουτίτας (1998). 'Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα' εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
2. Μανόλης Κ. Δασκαλάκης (1999). 'Λιμάνια- θαλάσσια κύματα- λιμενικά έργα, Τόμος Α', τυπογραφείο Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα
3. Τζαφέρης Αλέξανδρος και Φυτόπουλος Κυριάκος (2014) " Θεωρητική διερεύνηση της κυματικής αναρρίχησης και υπερπήδησης σε κυματοθραύστη με κεκλιμένα πρηνή και κυματοθραύστη με αναβαθμό ", διπλωματική εργασία Πολυτεχνική σχολή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
4. Θωμάς Βύζικας (2012). 'Ανάλυση της συμπεριφοράς διατρητών Caisson σε κυματική διέγερση για παραγωγή ενέργειας', διπλωματική εργασία Πολυτεχνικής σχολής Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
5. Λάζαρος Κ. Χαϊλατζίδης (2010) 'Πειραματική διερεύνηση κυματικής υπερπηδήσεως κυματοθραύστη με πρηνές', Μεταπτυχιακή εργασία Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.
6. Βέρα Λεοντιάδη και Βιργινία Σταυλά (2008), «Πειραματική διερεύνηση κυματικής υπερπήδησης σε κεκλιμένο αδιαπέραστο κυματοθραύστη με αναβαθμό», Μεταπτυχιακή εργασία Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.
7. Βιργινία Π. Σταύλα (2008) 'Πειραματική διερεύνηση κυματικής Υπερπήδησης σε κεκλιμένο Αδιαπέραστο κυματοθραύστη με Αναβαθμό Μέρος ΙΙ', Μεταπτυχιακή εργασία Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.
8. Χατζόπουλος Ε. Χρήστος (2012) 'Πειραματική διερεύνηση υπερπήδησης μετώπου με πρηνές υπό λοξή γωνία πρόσπτωσης κυματισμών', Διπλωματική εργασία Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.
9. Κωνσταντίνος Πεχλιβάνογλου και Νικηφόρος Κυπραίος (8ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας) 'Αξιοποίηση ωκεανογραφικών - γεωλογικών δεδομένων στην προσομοίωση της αναρρίχησης των κυμάτων στην ακτή για τον καθορισμό της ζώνης του αιγιαλού'.
10. Λεονταρίδης (1995) "Εισαγωγή στην Ωκεανογραφία" Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1995
11. US Army Corps of Engineers, Costal Engineering Manual (CEM), 2013

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. www.siemens.com