



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ- ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ
ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ
ΚΥΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΠΛΑΓΙΑ
ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΣΕ
ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ
ΘΩΡΑΚΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΤΕΤΡΑΠΟΔΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Σταθάς

Επιβλέπων: Κ.Ι. Μουτζούρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Συνεπιβλέπουσα: Θ. Γιαντσή, Δρ. Πολ. Μηχ.

Αθήνα,
Νοέμβριος 2014

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ- ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ

ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΠΛΑΓΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΣΕ
ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΘΩΡΑΚΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΤΕΤΡΑΠΟΔΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Σταθάς

Επιβλέπων: Κ.Ι.Μουτζούρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπουσα: Θ. Γιαντσή, Δρ. Πολ. Μηχ.

Αθήνα, Νοέμβριος 2014

Το περιεχόμενο της ανά χείρας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Ι. Μουτζούρη για τα όσα πολλά και πολύτιμα με έχει διδάξει τόσο κατά το προπτυχιακό όσο και κατά το μεταπτυχιακό κύκλο σπουδών στην σχολή Πολιτικών Μηχανικών καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο ερευνητικό πρόγραμμα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στην επιβλέπουσά μου κ. Θεοδώρα Γιαντσή, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό, τόσο για την συνεχόμενη προσφορά γνώσεων και όσο και για την υποστήριξη που μου παρείχε σε όλη τη φάση εκτέλεσης της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τους κ.κ. Παναγιώτη Μαργαρώνη, ΕΤΕΠ, και Ευστάθιο Τσουνή, ΙΔΑΧ, για την άρτια συνεργασία που είχαμε κατά τη φάση διεξαγωγής των πειραμάτων.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και την κοπέλα μου, Κατερίνα, για την υπομονή και την ψυχολογική υποστήριξη που μου έδωσαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών

Με εκτίμηση

Σταθάς Κωνσταντίνος

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζεται η πειραματική διερεύνηση του φαινομένου της ανάκλασης και της υπερπήδησης θαλάσσιων κυματισμών σε θωρακισμένου με τετράποδα κυματοθραύστη. Για τη διενέργεια των πειραμάτων αξιοποιήθηκε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα του λιμένα Μαύρης Λιμνώνας, Σφακίων, το οποίο κατασκευάστηκε σε κλίμακα 1:75. Όλα τα πειράματα έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη της ανάκλασης και της υπερπήδησης των κυματισμών για τρεις διαφορετικές διευθύνσεις πρόσπτωσης. Εν συνεχεία γίνεται προσπάθεια η ανάκλαση και η υπερπήδηση να συσχετιστούν με άλλες παραμέτρους καθώς και να συγκριθούν τα αποτελέσματα που μας δίνουν με άλλες θεωρητικές σχέσεις από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Αρχικά στην εργασία αναφέρονται θεωρητικά στοιχεία που σχετίζονται με τους θαλάσσιους κυματισμούς και τα φαινόμενα της ανάκλασης και της υπερπήδησης ενώ γίνεται και μία σύντομη περιγραφή των πειραματικών διατάξεων και της πειραματικής διαδικασίας. Εν συνεχεία παρουσιάζονται υπό μορφή διαγραμμάτων και πινάκων τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις. Ακολουθεί η επεξεργασία τους και η σύνταξη διαγραμμάτων συσχέτισης του συντελεστή ανάκλασης και της υπερπήδησης με άλλες παραμέτρους αλλά και μεταξύ τους.

Τέλος αναφέρονται κάποια γενικά συμπεράσματα τα οποία βγαίνουν από τη μελέτη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Abstract

This diploma thesis present the experimental investigation on a physical model of the phenomenon of sea wave –reflection –and overtopping on a rubble mound breakwater armoured with tetrapods. The experiments took place at a three dimensional physical model with a 1:75 scale based on the port of "Mavri Limnona Sfakion". All experiments were performed at the Laboratory of Harbour Works which is part of National Technical University of Athens.

The purpose of this study is mainly to investigate the reflection coefficient and the wave overtopping for three different wave directions. Also, at the same time the reflection coefficient of the waves and wave overtopping are correlated with other parameters and finally compared with other relevant formulas from international literature.

The report begins with the presentation of data concerning the sea waves, the reflection coefficient and wave overtopping, as well as details about the experimental procedure and the facilities where the experiments were held. Then the results of the investigation are presented in the form of tables and graphs . Continuously follows the analysis of these diagrammas. Finally, the last part consists of the general conclusion of this diploma thesis.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	9
1.1. Αντικείμενο	9
1.2. Διάρθρωση εργασίας.....	9
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο	10
2.1. Θαλάσσιοι Κυματισμοί	10
2.2. Φασματικοί Κυματισμοί.....	11
2.3. Ανάκλαση Θαλάσσιων Κυματισμών.....	12
2.4. Κυματική υπερπήδηση	14
2.5. Χαρακτηριστικά μεγέθη μελέτης κυματισμών.....	15
3. Πειραματική διερεύνηση.....	17
3.1. Περιγραφή περιοχής έρευνας	17
3.2. Δεξαμενή Δοκιμών.....	19
3.3. Πειραματικό Προσομοίωμα	20
3.4. Σύστημα παραγωγής κυματισμών	24
3.5. Μετρητές κύματος.....	24
3.6. Παραγωγή κυμάτων	25
3.7. Συλλογή και ανάλυση Δεδομένων	26
3.8. Μετρήσεις υπερπήδησης.....	26
3.9. Πειραματική Διαδικασία.....	28
3.10. Πίνακες εκτελεσθέντων πειραμάτων.....	29
4. Αποτελέσματα μετρήσεων	32
4.1. Συσχέτιση ύψους κύματος και συντελεστή ανάκλασης	32
4.1.1. Νότια διεύθυνση.....	32
4.1.2. Νοτιοδυτική διεύθυνση	33
4.1.3. Δυτική διεύθυνση	36
4.2. Αποτελέσματα υπερπήδησης.....	38
4.2.1. Νοτιοδυτική διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων.....	38
4.2.2. Δυτική διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων.....	45
5. Επεξεργασία μετρήσεων	49
5.1. Νότια Διεύθυνση	49
5.2. Νοτιοδυτική Διεύθυνση.....	52
5.3. Δυτική Διεύθυνση	60
6. Συμπεράσματα.....	68

6.1.	Συγκριτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων κυματικής υπερπήδησης.....	68
6.2.	Συγκριτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων ανάκλασης κυμάτων.....	68
7.	Βιβλιογραφία.....	70

1. Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η πειραματική διερεύνηση υπερπήδησης και ανάκλασης κυμάτων υπό πλάγια πρόσπτωση σε κυματοθραύστη θωρακισμένο με τετράποδα.

Για τις ανάγκες της εργασίας αξιοποιήθηκε τρισδιάστατο προσομοίωμα του λιμένα "Μαύρης Λιμνώνας" Χώρας Σφακίων το οποίο έχει κατασκευασθεί στα πλαίσια Ερευνητικού Προγράμματος που διενεργείται αυτήν την περίοδο από το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (ΕΛΕ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) με θέμα "Εργαστηριακή Μελέτη σε Φυσικό Προσομοίωμα Βελτιώσεως Κυματικών Συνθηκών στον Λιμένα Μαύρης Λιμνώνας Χώρας Σφακίων"

Η πρώτη φάση του συγκεκριμένου ερευνητικού προγράμματος περιελάμβανε πειραματική διερεύνηση με σκοπό την αποτύπωση της κυματικής διαταραχής με τις υφιστάμενες κατασκευές, ενώ στη δεύτερη φάση αφού κατασκευασθούν κατάλληλα έργα προστασίας θα διενεργηθεί εκ νέου έρευνα προκειμένου να καταγραφούν οι νέες κυματικές συνθήκες.

1.2. Διάρθρωση εργασίας

Στο 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται θεωρητικά στοιχεία τα οποία σχετίζονται με θέματα που πραγματεύεται η εργασία. Πιο συγκεκριμένα γίνεται σύντομη αναφορά στους μονοχρωματικούς και φασματικούς κυματισμούς και στα φαινόμενα της ανάκλασης και της υπερπήδησης κατασκευών.

Στο 3^ο Κεφάλαιο περιγράφεται η πειραματική διαδικασία ενώ δίνονται πιο συγκεκριμένα στοιχεία σχετικά με την έρευνα.

Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων τα αποτελέσματα των πειραμάτων

Στο 5^ο Κεφάλαιο γίνεται συσχέτιση των αποτελεσμάτων με χαρακτηριστικά μεγέθη και συγκρίνονται με αντίστοιχους σχετικούς τύπους της βιβλιογραφίας.

Στο 6^ο Κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την έρευνα.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1. Θαλάσσιοι Κυματισμοί

Η ταυτόχρονη δράση δυνάμεων απομάκρυνσης των υδάτινων σωματιδίων της θαλάσσιας μάζας από τη θέση ηρεμίας τους (γενεσιουργές δυνάμεις) και δυνάμεων επαναφοράς των σωματιδίων στις αρχικές θέσεις τους (επαναφέρουσες δυνάμεις), σε συνδυασμό με τη μεγάλη κινητικότητα των σωματιδίων, προκαλεί κάτω από ορισμένες συνθήκες τη δημιουργία κινήσεων ταλαντώσεως στα σωματίδια. Η συνισταμένη διαταραχή της θαλάσσιας μάζας από τις ταλαντώσεις των σωματιδίων οδηγεί στο θαλάσσιο κυματισμό.

Τα κυριότερα γενεσιουργά αίτια των ταλαντώσεων είναι ο άνεμος (ανεμογενείς κυματισμοί), οι σεισμικές δονήσεις (τσουνάμια), οι γρήγορες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης (seiches), η έλξη της σελήνης (παλίρροια) κλπ. Κατά κύριο λόγο τον πολιτικό μηχανικό τον απασχολούν οι ανεμογενείς μηχανισμοί.

Οι κυριότερες επαναφέρουσες δυνάμεις προέρχονται από τη βαρύτητα, τη δύναμη Coriolis και την επιφανειακή τάση. Η δύναμη Coriolis υπεισέρχεται στους κυματισμούς μεγάλης κλίμακας, ενώ η επιφανειακή τάση υπεισέρχεται στους κυματισμούς μικρής κλίμακας, με μήκος κύματος μερικά μόνο εκατοστά.

Η συνηθέστερη διάκριση στους κυματισμούς γίνεται με βάση την περίοδο των ταλαντώσεων των σωματιδίων. Για περιόδους μεγαλύτερες των 5min οι κυματισμοί ονομάζονται μεγάλης περιόδου. Οι κυματισμοί μικρότερων περιόδων – και ιδιαίτερα περιόδων $T < 30\text{sec}$ ονομάζονται κυματισμοί μικρής περιόδου.

Στους κυματισμούς μικρής περιόδου η γενεσιουργός δύναμη προέρχεται από τον άνεμο και η επαναφέρουσα δύναμη από τη βαρύτητα. Για το λόγο αυτό οι όροι ‘κυματισμοί μικρής περιόδου’, ‘κυματισμοί βαρύτητας’ και ‘ανεμογενείς κυματισμοί’ χρησιμοποιούνται για την ίδια κατηγορία κυματισμών.

Οι πιο κοινοί κυματισμοί στη φύση είναι οι κυματισμοί βαρύτητας. Η δύναμη από την πνοή του ανέμου απομακρύνει τα υγρά σωματίδια από τη θέση ισορροπίας. Η φορά κινήσεων αντιστρέφεται από την επενέργεια της δυνάμεως βαρύτητας στα σωματίδια, οπότε τείνουν να επανέλθουν στην αρχική τους θέση.

Μια άλλη διάκριση που μπορεί να γίνει στους κυματισμούς είναι σε δισδιάστατους και τρισδιάστατους. Στην πρώτη κατηγορία οι τροχιές των ταλαντούμενων σωματιδίων είναι επίπεδες, ενώ στη δεύτερη τρισδιάστατες.

Ένας κυματισμός μεταδιδόμενος σε μία διεύθυνση ονομάζεται προοδευτικός κυματισμός. Η επαλληλία δύο ή περισσότερων προοδευτικών κυματισμών δίνει κυματισμούς πιο πολύπλοκης υφής. Η πολυπλοκότητα αυξάνει, αν οι διευθύνσεις μεταδόσεως και οι συχνότητες των κυματισμών είναι διαφορετικές. Από επαλληλία δύο κυματισμών της ίδιας διεύθυνσεως και συχνότητας αλλά διαφορετικής φοράς μεταδόσεως προκύπτει ένας στάσιμος κυματισμός.

Τέλος οι κυματισμοί διακρίνονται σε αναπτυσσόμενους, ανεπτυγμένους και αποσβηνόμενους ανάλογα με το αν τα μέσα χαρακτηριστικά διαδοχικών ομάδων κυματισμών αυξάνουν, μένουν σταθερά ή μειώνονται. (Κ.Ι. Μουτζούρης, Θαλάσσια Υδραυλική, 2006).

2.2. Φασματικοί Κυματισμοί

Η πιο πρόσφατη τάση στις μεθοδολογίες περιγραφής μίας καταστάσεως διαταραχής της θαλάσσιας επιφάνειας χρησιμοποιεί τη φασματική ανάλυση. Προσδιορίζεται το φάσμα ενέργειας, που εκφράζει την κατανομή της ενέργειας των κυμάτων στις διάφορες περιόδους. Στη θεωρία των φασματικών κυματισμών επιδιώκεται η αντιπροσώπευση του όλου φάσματος κυμάτων από ένα αντιπροσωπευτικό μονοχρωματικό κύμα.

Η ανάλυση μια καταγραφής αρχίζει με τον προσδιορισμό των περιεχομένων διαδοχικών κυμάτων. Ο προσδιορισμός γίνεται:

- ο Είτε με τη ‘μέθοδο της μέσης στάθμης προς τα πάνω’ ή ‘μέθοδο ανοδικού μηδενισμού’ (zero up crossing method)
- ο Είτε με τη ‘μέθοδο της μέσης στάθμης προς τα κάτω’ ή ‘μέθοδο καθοδικού μηδενισμού’ (zero down crossing method)

Για την παρούσα διπλωματική παρήχθησαν φασματικά κύματα 3D με τη χρήση του φάσματος JONSWAP. Το φάσμα JONSWAP προτάθηκε από τον Hasselmannetal το 1973, με βάση τα δεδομένα από το Joint North Sea Wave Program (JONSWAP) του 1969 στα δυτικά των ακτών της Δανίας. Πρόκειται για μια επέκταση του φάσματος Pierson-Moskowitz προς τις μερικά ανεπτυγμένες θαλάσσιες διαταραχές, που εισάγονται για μια νέα παράμετρο-συνάρτηση του αναπτύγματος πελάγους και της ταχύτητας U_{10} . Η νέα παράμετρος παρέχει την δυνατότητα για στενότερα και πιο απότομα φάσματα, χαρακτηριστικά αύξουσας θαλάσσιας διαταραχής.

Η περίοδος T_{max} του μέγιστου φάσματος δίνεται από τις σχέσεις :

- ο Pierson-Moskowitz: $T_{max} = 0.785 U_{10}$, όπου T σε sec και U_{10} σε m/sec (2.1)

- ο JONSWAP: $T_{max} = 0.605X^{0.33} 0.785 U_{10}^{0.34}$, όπου X σε km (2.2)

Στην ουσία αφού ανέλυσαν μετρήσεις που είχαν συλλεχθεί στη Βόρεια θάλασσα στο Project JONSWAP, βρήκαν ότι το φάσμα δεν είναι ποτέ εντελώς ανεπτυγμένο, σε αντίθεση με ότι είχε ως παραδοχή το προηγούμενο φάσμα-υπόδειγμα του Pierson-Moskowitz. Έτσι διατύπωσαν τη θεωρία ότι οι κυματισμοί αναπτύσσονται συνεχώς μέσω μη γραμμικών σχέσεων κύμα με κύμα για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα και αποστάσεις. Συνοπτικά αυτό που έκαναν είναι πως το διαμόρφωσαν έτσι ώστε το φάσμα να ταιριάζει περισσότερο με τις μετρήσεις τους και να συναρτάται από το ανάπτυγμα πελάγους (fetch) και όχι μόνο από τη

ταχύτητα του ανέμου (για άνεμο που φυσάει για μεγάλο χρονικό διάστημα). Το φάσμα JONSWAP είναι σήμερα το πιο διαδεδομένο και χρησιμοποιούμενο.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των φασματικών κυματισμών είναι πως δεν υπάρχει καμία εμφανής βραχυπρόθεσμη περιοδικότητα, δεδομένου ότι οι κινήσεις είναι τυχαίες και διαφέρουν συστηματικά από ημιτονοειδείς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι κινήσεις ενός σωματιδίου της ελεύθερης επιφάνειας προέρχονται από μια τυχαία διαδικασία. Η στοχαστικότητα συνεπάγεται ότι σπάνια μπορούν να ανευρεθούν δύο παρόμοιες κινήσεις σε συνάρτηση με το χρόνο. Βασική αιτία δημιουργίας τυχαίων διαδικασιών είναι οι συνεχείς μεταβολές των γενεσιουργών αιτιών. Στη περίπτωση των κινήσεων της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας όπως προαναφέρθηκε τέτοια βασική αιτία είναι οι μεταβολές του πεδίου του ανέμου. (Κ.Ι.Μουτζούρης, Θαλάσσια Υδραυλική).

2.3. Ανάκλαση Θαλάσσιων Κυματισμών

Οι διάφορες παράκτιες κατασκευές ανακλούν ένα ποσοστό της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας, το οποίο μπορεί να φτάσει μέχρι και το 100% σε κατακόρυφες κατασκευές. Εάν το ποσοστό αυτό της ανακλούμενης κυματικής ενέργειας είναι σημαντικό, είναι πιθανό να δημιουργηθούν γύρω από τις κατασκευές συνθήκες ακατάλληλες για τη ναυσιπλοΐα και τις θαλάσσιες μεταφορές, ιδιαίτερα σε κατασκευές σε εισόδους λιμανιών. Σημαντικά ποσοστά ανακλώμενων κυματισμών προκαλούν διάβρωση του πυθμένα μπροστά από τις κατασκευές ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις όπου προκαλούν διάβρωση σε γειτονικές ακτές (CEM 2006,PartVI-5-35).

Η ποσοτικοποίηση της ανάκλασης γίνεται μέσω του συντελεστή ανάκλασης, C_r , ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο του χαρακτηριστικού ύψους κύματος του ανακλώμενου κυματισμού, H_{sr} , προς το χαρακτηριστικό ύψος κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού, H_s .

$$C_r = \frac{H_{sr}}{H_s} \quad (2.3)$$

Στην περίπτωση φασματικών κυματισμών, ο συντελεστής ανάκλασης διαφέρει ανάλογα με τη συχνότητα κάθε προσπίπτοντος κυματισμού και ορίζεται ως το πηλίκο του μέσου τετραγωνικού ύψους του ανακλώμενου κυματισμού προς το μέσο τετραγωνικό ύψος του προσπίπτοντος κυματισμού.

Για την εκτίμηση του συντελεστή ανάκλασης έχουν δημιουργηθεί μαθηματικοί τύποι, οι οποίοι παίρνουν διαφορετική μορφή για διάφορες καταστάσεις ανάλογα με την κατασκευή μελέτης. Ακολουθεί ο βασικός τύπος εκτίμησης της ανάκλασης σύμφωνα με το CEM 2006,PartVI-5-35, στον οποίο συσχετίζεται ο συντελεστής της ανάκλασης με την παράμετρο θραύσης ξ (αριθμός Iribaren):

$$C_r = \frac{\alpha \xi^2}{(b + \xi^2)}, \quad (2.4)$$

όπου:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H}{gT^2}}}(2.5)$$

Οι συντελεστές α και b ορίζονται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα ανάλογα με το είδος της κατασκευής.

Συγγραφέας	Παράμετρος	Κατασκευή	a	b
Seeling (1983)	$2.5 \leq \xi \leq 6$ Ημιτονοειδή κύματα	Αδιαπέρατη, λεία, ομοιόμορφη κλίση	1.0	5.5
Allsop and Hettiararachchi (1988)	ξ Ημιτονοειδή κύματα	Dolosse Κλίσεις: 1:1.5, 1:2, 1:3	0.56	10.0
	ξ Ημιτονοειδή κύματα	Cobs Κλίσεις: 1:1.5, 1:2, 1:3	0.50	6.54
	ξ_{mo} Φασματικά κύματα	Τετράποδα και Stabit Κλίσεις: 1:1.33, 1:5, 1:2	0.48	9.62
	ξ_{mo} Φασματικά κύματα	Shed και Diode Κλίσεις: 1:1.33, 1:5, 1:2	0.49	7.94
Allsop (1990)	$3 \leq \xi_{mo} \leq 6$	Λεία και αδιαπέρατη κατασκευή	0.96	4.8

Πίνακας 2.1 Συντελεστές εκτίμησης συντελεστή ανάκλασης C_r σύμφωνα με το CEM 2006, Part VI-5-35

Σε έρευνες που ακολούθησαν, οι Barbara Zanuttigh και Jenstje W. Van der Meer προσπάθησαν να δημιουργήσουν έναν μαθηματικό τύπο ο οποίος θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικούς τύπους κατασκευών και θα συνεκτιμά και τον συντελεστή τραχύτητας γ_f . Ο τύπος που προέκυψε μετά από πειραματική διαδικασία ακολουθεί παρακάτω:

$$C_r = \tanh(a\xi_o^b) \quad (2.5)$$

όπου:

α, συντελεστής ο οποίος παίρνει τιμές σύμφωνα με την κατασκευή και b είναι σταθερό, 0,87.

Τέλος κατόπιν έρευνας των Muttray et al. (2006) προτάθηκε τύπος ο οποίος συσχετίζει τον συντελεστή μετάδοσης όχι με το την κλίση της κατασκευής αλλά με την αδιάστατη ποσότητα d/L:

$$C_r = \frac{1}{1.3 + 3 * \frac{d}{L} * 2 * \pi} \quad (2.6)$$

όπου:

d: το βάθος στον πόδα της κατασκευής και

L : το μήκος κύματος.

2.4. Κυματική υπερπήδηση

Όταν τα κύματα προσπίπτουν σε ένα θαλάσσιο μέτωπο υπερυψώνονται. Η μέγιστη υπερύψωση της κορυφής του κύματος κατά την επαφή του με το μέτωπο ορίζεται ως αναρρίχηση του κύματος, R (wave Run-up). Όταν η στάθμη στέψης του μετώπου της κατασκευής είναι χαμηλότερα από την αναρρίχηση του κύματος επί του μετώπου γίνεται υπερπήδηση του κυματισμού και μέρος της θαλάσσιας μάζας υπερχειλίζει προς την εσωτερική παρειά του μετώπου.

Το φαινόμενο της κυματικής υπερπήδησης (wave overtopping) ενός μετώπου ή μιας κατασκευής είναι ένα σύνθετο φαινόμενο, στο οποίο συμβάλλουν πολλές παράμετροι σχετικές με την μετάδοση του κυματισμού και την κυματική αναρρίχηση στις θαλάσσιες κατασκευές.

Η υπερπήδηση συμβολίζεται διεθνώς με Q και εκφράζεται σε μονάδες παροχής ανά τρέχον μέτρο κατασκευής ($m^3/sec/m$).

Η ποσότητα της επιτρεπόμενης κυματικής υπερπήδησης καθορίζεται από τη χρήση της κατασκευής. Η μέγιστη υπερπήδηση ως αναφορά τον σχεδιασμό της κατασκευής επηρεάζεται από την κάθετη απόσταση της μέσης στάθμης της θάλασσας και του ύψους της στέψης, το ελεύθερο περιθώριο, R_c.

Η υπερπήδηση των κυμάτων είναι άμεσα εξαρτημένη από το ελεύθερο ύψος (αυξάνεται με τη μείωσή του και αντίστροφα) και στα παράκτια αναχώματα με πρηνή περιγράφεται από τη μέση παροχή της q, η οποία μετριέται σε m^3/sec (ή lt/sec) ανά μέτρο μήκους διατομής.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο Eurotop (2007) για την εκτίμηση της υπερπήδησης είναι διαθέσιμες αρκετές μέθοδοι, ανάλογα με το είδος της κατασκευής και τις επικρατούσες κυματικές συνθήκες. Υπάρχουν εμπειρικοί τύποι οι οποίοι υπολογίζουν την υπερπήδηση σχετικά με τις βασικές παραμέτρους του κύματος και της κατασκευής. Το εγχειρίδιο του Eurotop συγκροτήθηκε πάνω σε μια έρευνα που έγινε στην ανάλυση της υπερπήδησης σε παράκτιες κατασκευές ανά την Ευρώπη. Όλες οι εξισώσεις σχεδιασμού απαιτούν την ύπαρξη στοιχείων σχετικά με τη στάθμη του ύδατος και τις συνθήκες κύματος στον πόδα της κατασκευής. Παρακάτω ακολουθεί μία βασική σχέση που αναφέρεται στο του Eurotop (2007) για την εκτίμηση της υπερπήδησης για την περίπτωση θωρακισμένων κρηπιδότοιχων είτε με τετράποδα είτε με φυσικούς ογκόλιθους.

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \times \exp\left(-2.6_* \frac{R_c}{H_{m0} * \gamma_f * \gamma_\beta}\right) \quad (2.6)$$

όπου:

q: η παροχή της υπερπήδησης

R_c : το ελεύθερο περιθώριο

γ_f : συντελεστής μείωσης λόγω τραχύτητας πρανούς

γ_β : συντελεστής μείωσης λόγω πρόσπτωσης κυματισμών υπό γωνία

Συνοπτικά κάποιιοι παράγοντες που μπορούν να συντελέσουν στην μείωση της κυματικής υπερπήδησης είναι: η μείωση του προσπίπτοντος κυματισμού, η αύξηση της καμπυλότητας του κύματος, η λοξή πρόσπτωση κυματισμών, η ήπια κλίση του θαλασσίου μετώπου, η αύξηση της τραχύτητας και της διαπερατότητας του μετώπου, και τέλος η αύξηση του εύρους στέψης του έργου.

2.5. Χαρακτηριστικά μεγέθη μελέτης κυματισμών.

Παρακάτω ακολουθούν τα σημαντικότερα γεωμετρικά και άλλα χαρακτηριστικά των δισδιάστατων μονοχρωματικών προοδευτικών κυματισμών βαρύτητας και φασματατικών κυματισμών τα οποία είναι απαραίτητα για τη μελέτη τους.

Ύψος κύματος H, είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κορυφής και της κοιλιάς του κύματος. Ισούται με το διπλάσιο του εύρους ταλαντώσεως των σωματιδίων.

Μήκος κύματος L, είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο σωματιδίων, που βρίσκονται στην ίδια φάση ταλαντώσεως. Μετράται κατά μήκος της διεύθυνσεως μεταδόσεως.

Μέτωπο κύματος, είναι ένα επίπεδο κάθετο προς το επίπεδο ταλαντώσεως και εφαπτόμενο στη διατομή του κύματος.

Διεύθυνση μεταδόσεως, (ή ακτίνα κύματος) είναι η κάθετη γραμμή προς το μέτωπο του κύματος.

Περίοδος κύματος T, είναι ο χρόνος μια πλήρους ταλαντώσεως των σωματιδίων. Ορίζεται και σαν το χρονικό διάστημα μεταξύ της διελεύσεως δύο διαδοχικών κορυφών κύματος από ένα ορισμένο σημείο.

Διατομή κύματος, είναι η κατακόρυφη διατομή του κατά τη διεύθυνση μεταδόσεως.

Κορυφή κύματος, είναι το υψηλότερο σημείο του πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία.

Κοιλιά κύματος, είναι το χαμηλότερο σημείο του κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία.

Βάθος νερού h , είναι η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας σε ηρεμία πάνω από τον πυθμένα.

Σχετικό βάθος, νερού h/L

$\Sigma\text{H}\Upsilon$, είναι η ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία (Στάθμη Ηρεμούντος Ύδατος).

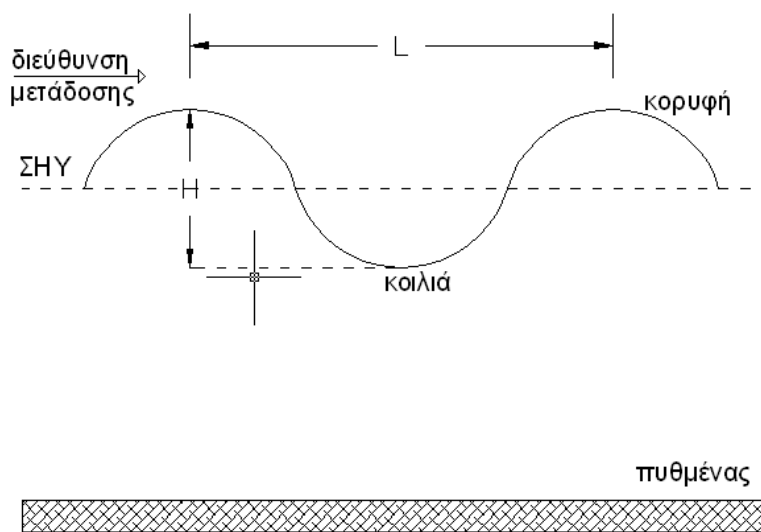
H_s , χαρακτηριστικό ύψος κύματος, μέσο ύψος των υψηλότερων 33% των κυμάτων

H_{\max} , μέγιστο ύψος κύματος της καταγραφής

H_{\min} , ελάχιστο ύψος κύματος της καταγραφής

T_m , μέση στατιστική περίοδος

T_p , περίοδος του μέγιστου του φάσματος ενέργειας



Σχήμα 2.2 Χαρακτηριστικά διαστάσεων κυματισμού

3. Πειραματική διερεύνηση

3.1. Περιγραφή περιοχής έρευνας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η πειραματική εκτίμηση της ανάκλασης και υπερπήδησης κυματισμών σε τρισδιάστατο προσομοίωμα προσήνεμου μόλου. Το προσομοίωμα το οποίο αξιοποιήθηκε αποτελεί τμήμα του λιμένα Μαύρης Λιμνιάνας, Χώρας Σφακίων, που βρίσκεται στη Νότια Κρήτη.

Ο λιμένας σήμερα χρησιμοποιείται ως αλιευτικό καταφύγιο και ως λιμένας πρόσδεσης επιβατικών και οχηματαγωγών πλοίων τα οποία εξυπηρετούν τη διασύνδεση της Χώρας Σφακίων με παρακείμενες περιοχές της Νότιας Κρήτης. Χωρίζεται σε δύο λιμενολεκάνες, την εξωτερική και την εσωτερική. Στην εξωτερική υπάρχει μια θέση πρυμνοδέτησης επιβατικών πλοίων, ενώ η εσωτερική χρησιμοποιείται για την πρόσδεση αλιευτικών σκαφών και σκαφών αναψυχής. Στην εσωτερική λιμενολεκάνη υπάρχει, επίσης, ράμπα καθέλκυσης/ανέλκυσης μικρών σκαφών.



Φωτογραφία 3.1 Βόρια άποψη λιμένα (Πηγή GoogleEarth).

Ο λιμένας της "Μαύρης Λιμνιάνας" έχει κατασκευασθεί προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως αλιευτικό καταφύγιο. Για το λόγο αυτό αρχικά κατασκευάστηκαν τα εξωτερικά λιμενικά έργα και στη συνέχεια προκειμένου να εξυπηρετηθούν μεγαλύτερα πλοία, για την ακτοπλοϊκή διασύνδεση της Χώρας Σφακίων, κατασκευάστηκαν τα εσωτερικά έργα. Δεδομένης της χωροταξίας του λιμένα και των κυματικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή, ιδιαίτερα σε περίπτωση Νότιας πρόσπτωσης κυματισμών μεγάλης έντασης, παρατηρείται

συχνά ιδιαίτερα μεγάλη κυματική υπερπήδηση του προσήνεμου μόλου καθώς και αυξημένη κυματική διείσδυση από την είσοδο του λιμένα. Ως εκ τούτου σε μεγάλης έκτασης καιρικά φαινόμενα, ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, υπάρχει περίπτωση να μην είναι δυνατή η πρόσδεση των πλοίων, ενώ συχνά έχουν προκληθεί και καταστροφές σε αλιευτικά σκάφη τα οποία βρίσκονται αραγμένα εντός του λιμένα.

Για το λόγο αυτό έχει αποφασιστεί η αναδιαμόρφωση των εξωτερικών λιμενικών έργων, ώστε να εξασφαλιστούν ήρεμες συνθήκες στη λιμενολεκάνη για την εξυπηρέτηση των επιβατικών σκαφών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, και βρίσκεται υπό εκπόνηση ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο “Εργαστηριακή Μελέτη σε Φυσικό Προσομοίωμα Βελτιώσεως Κυματικών Συνθηκών στον Λιμένα Μαύρης Λιμνώνας Χώρας Σφακίων” στο ΕΛΕ.

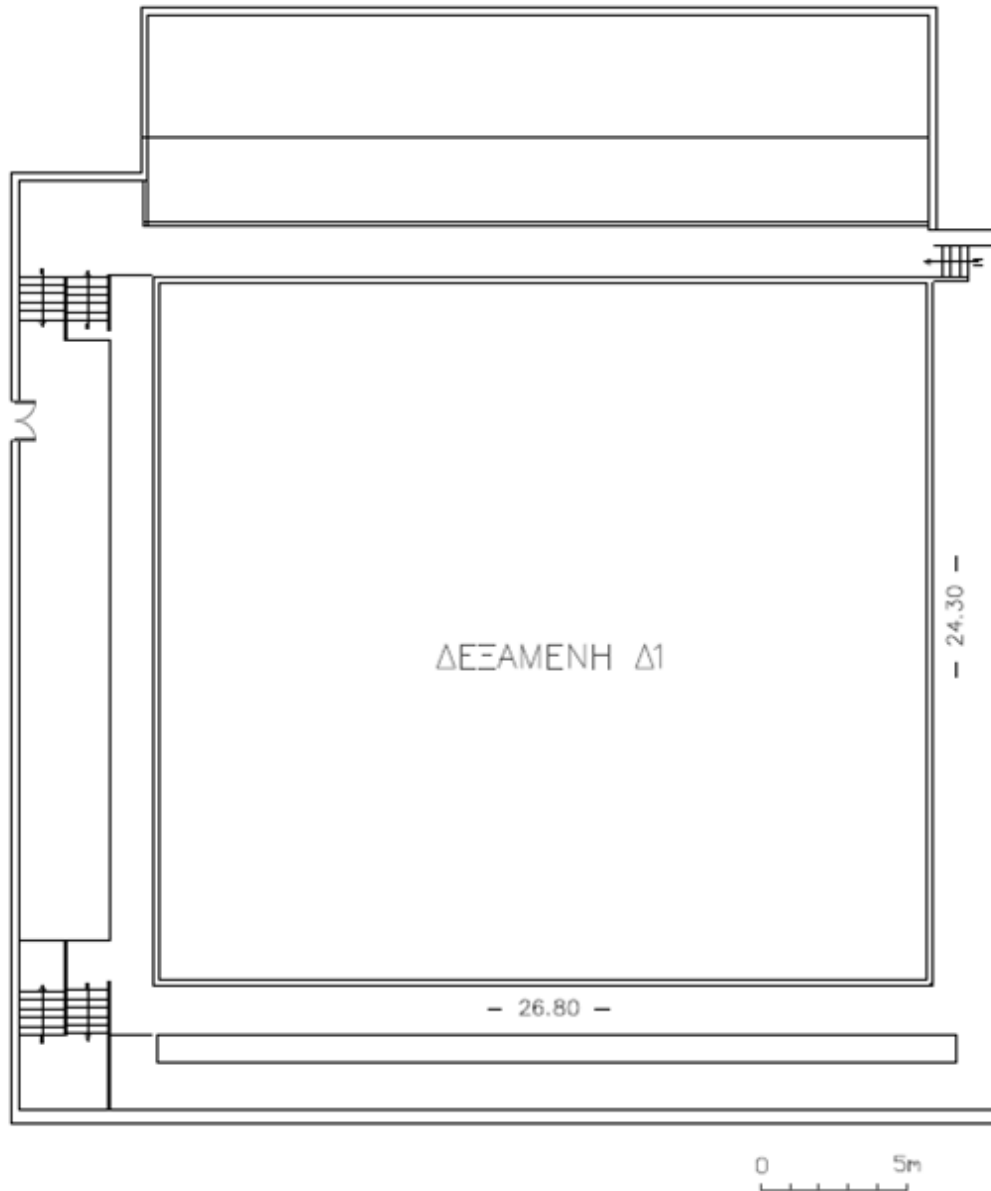
Προκειμένου να διερευνηθούν οι προτεινόμενες παρεμβάσεις βελτίωσης των λιμενικών υποδομών αρχικά διενεργήθηκαν πειράματα σε φυσικό προσομοίωμα του υφιστάμενου λιμένα προκειμένου να καταγραφούν οι συνθήκες που επικρατούν για διάφορες κυματικές διαταραχές.

Στη δεύτερη φάση ερευνών πρόκειται να κατασκευασθεί νέα διάταξη των λιμενικών έργων και να μελετηθούν εκ νέου οι επικρατούσες κυματικές συνθήκες.

Η συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα των πειραμάτων κυματικής διαταραχής για την υφιστάμενη διάταξη λιμενικών έργων.

3.2. Δεξαμενή Δοκιμών

Οι εργαστηριακές μετρήσεις οι οποίες αξιοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στη Δεξαμενή Δοκιμών 1. Οι διαστάσεις της δεξαμενής είναι 26,80m*24,30m.

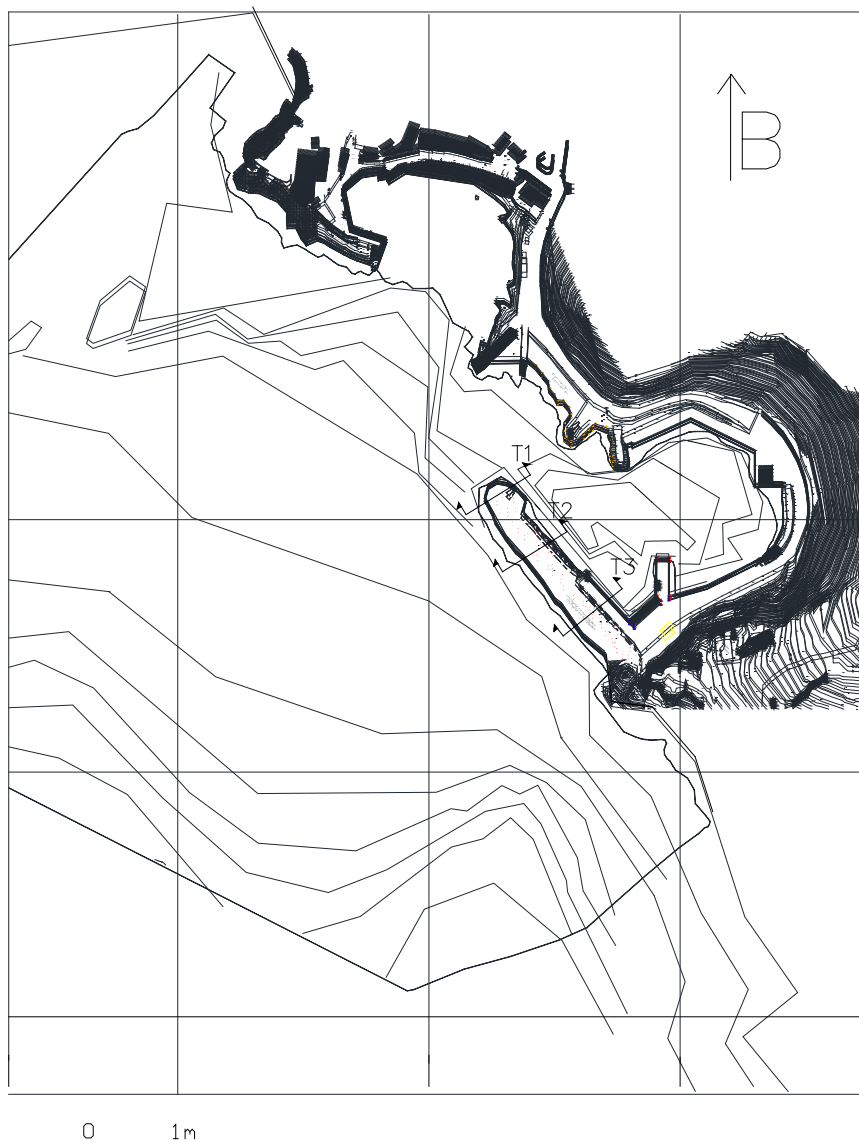


Σχήμα 3.1 Κάτοψη της Δεξαμενής Δοκιμών 1 του Ε.Λ.Ε.

3.3. Πειραματικό Προσομοίωμα

Η πειραματική προσομοίωση της περιοχής μελέτης περιελάμβανε την κατασκευή των παρακάτω λιμενικών έργων υπό κλίμακα 1:75 :

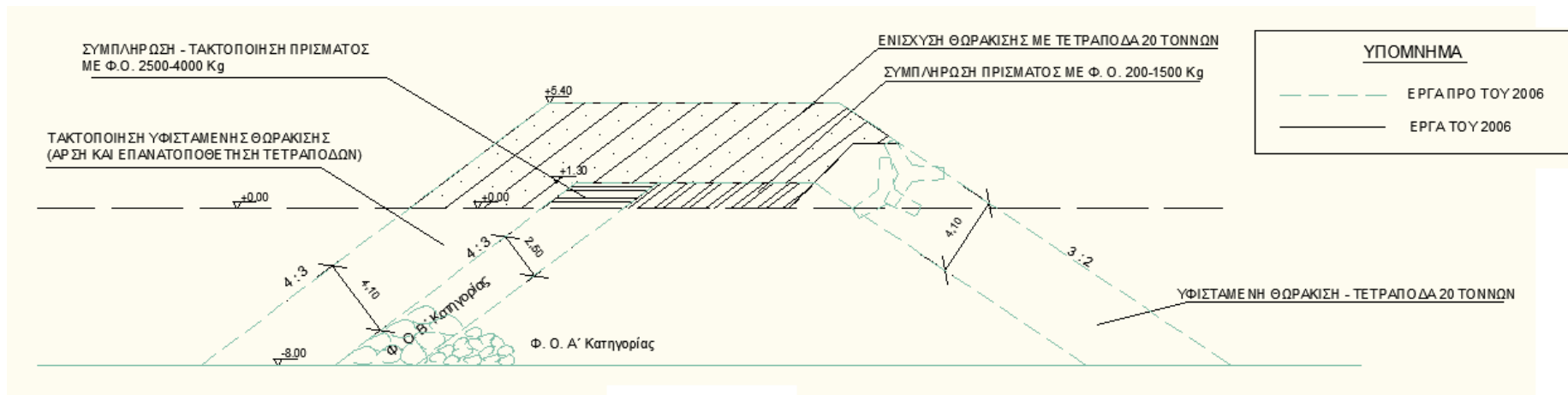
- Υφιστάμενα εξωτερικά και εσωτερικά έργα του λιμένα
- Βαθυμετρία πυθμένα
- Τμήμα παράπλευρης ακτής



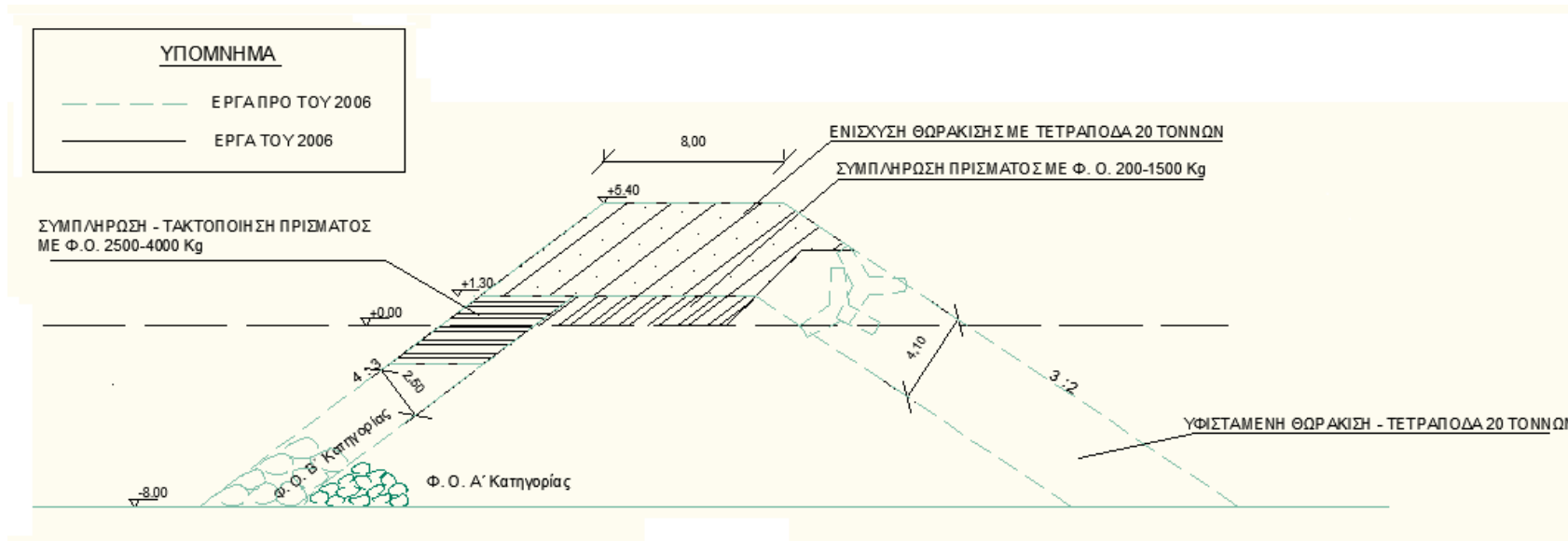
Σχήμα 3.2 Περιοχή προσομοίωσης (Πηγή ΕΛΕ 2014)

Οι μετρήσεις η οποίες αξιοποιήθηκαν αφορούν στο προσήνεμο μόλο που βρίσκεται στο Νότιο-Ανατολικό μέρος του λιμανιού διαστάσεων περίπου 23m*170m, ο οποίος στη

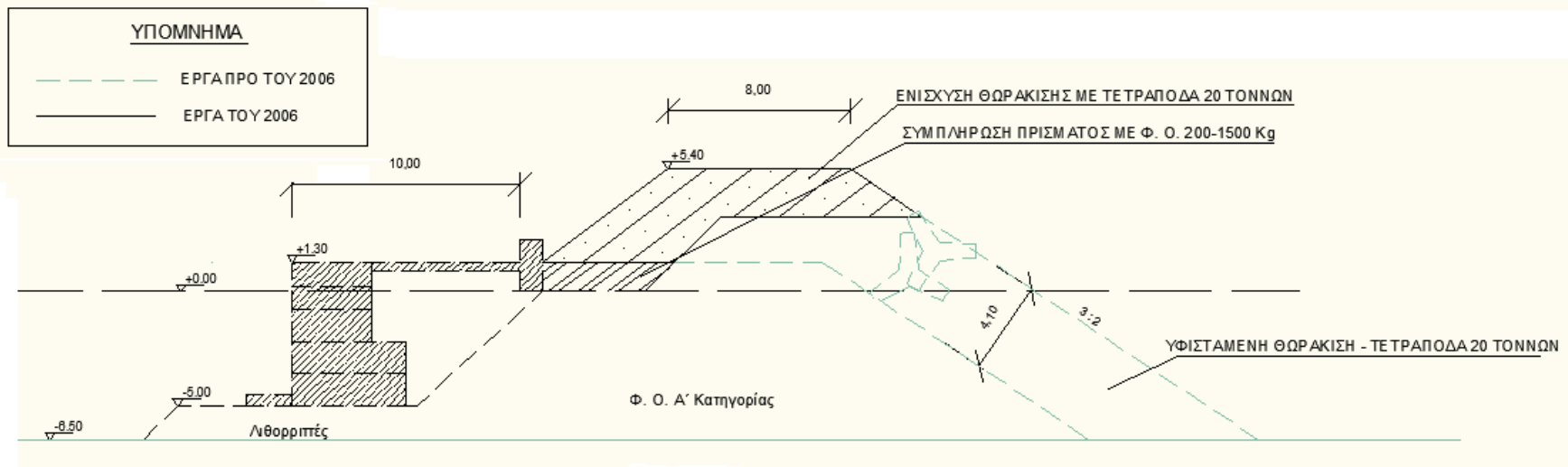
συγκεκριμένη φάση θωρακίζεται με τετράποδα. Η διατομή του μώλου μεταβάλλεται με το μήκος τους. Παρακάτω ακολουθούν οι τρεις διατομές όπως φαίνονται στο παραπάνω σχήμα, T1, T2, T3.



Σχήμα 3.3 Διατομή T1 υφιστάμενου προσήνεμου μόλου (Πηγή ΕΛΕ 2014)



Σχήμα 3.4 Διατομή T2 υφιστάμενου προσήνεμου μόλου (Πηγή ΕΛΕ 2014)



Σχήμα 3.5 Διατομή T3 υφιστάμενου προσήνεμου μόλου (Πηγή ΕΛΕ 2014)

3.4. Σύστημα παραγωγής κυματισμών

Το σύστημα παραγωγής κυμάτων κινείται υδραυλικά και αποτελείται από τα εξής τμήματα:

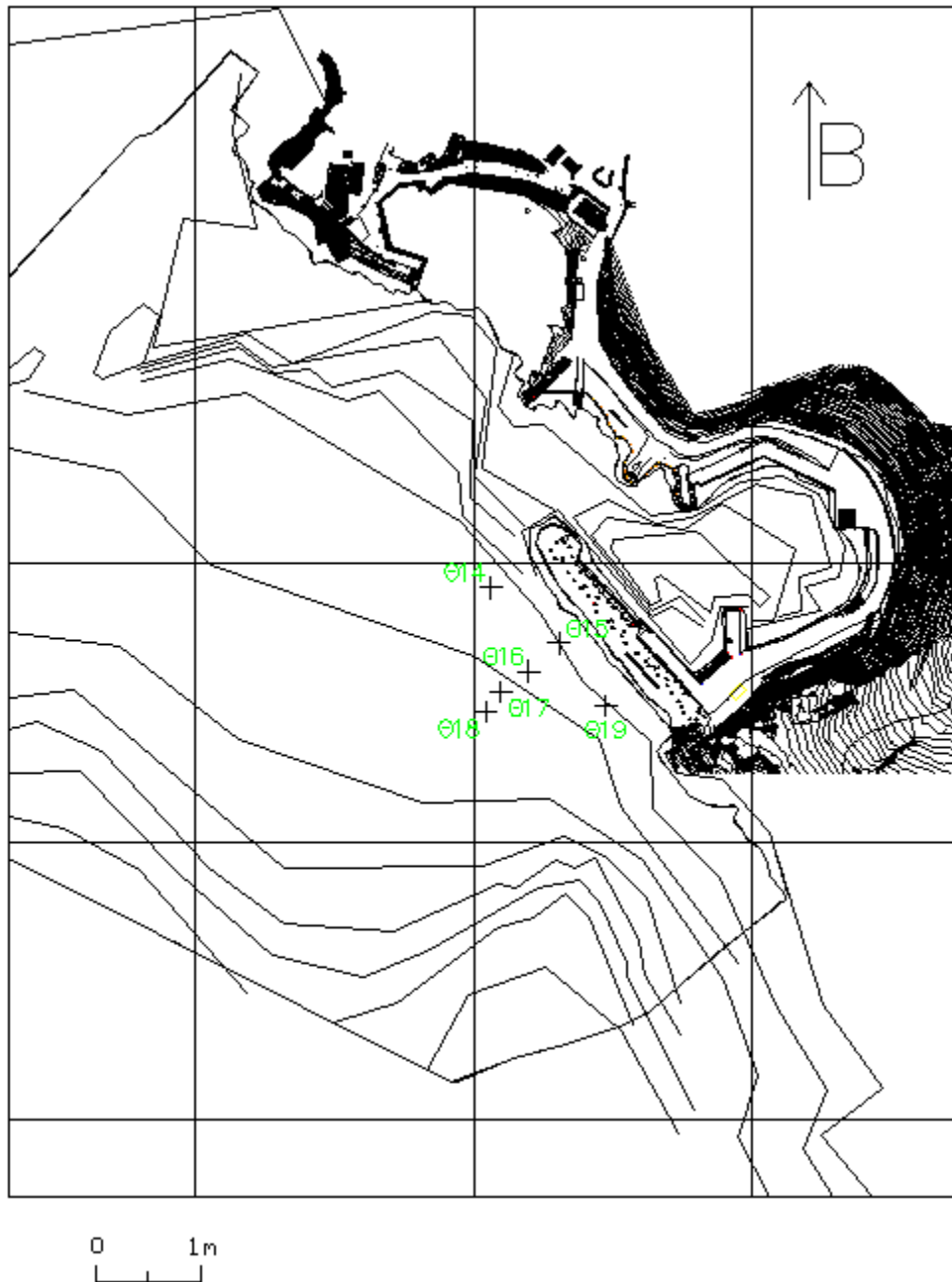
- Υδραυλικό μηχανισμό-κινητήρα
- Υδραυλικά έμβολα
- Τρεις πανομοιότυπους κυματιστήρες
- Σύστημα ελέγχου- (Wavegen)
- Κατάλληλο λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων

Ο υδραυλικός μηχανισμός αποτελείται από μία αντλία και ένα δοχείο λαδιού, το οποίο κινεί τα έμβολα. Τα έμβολα είναι εγκατεστημένα επί των κυματογεννητριών και κινούν τους βραχίονες των γεννητριών, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούν το κατακόρυφο μέτωπο των κυματογεννητριών και παράγονται τα κύματα. Στα συγκεκριμένα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν τρεις κυματιστήρες συνολικού μήκους 24μ. Με το πρόγραμμα ελέγχου των κυματιστήρων δίνεται στον μελετητή η δυνατότητα παραγωγής δυνατότητα παραγωγής μονοχρωματικών (ημιτονοειδών) κυματισμών όπως και φασματικών διαταραχών διαφόρων μορφών τυχαίων κυματισμών.

3.5. Μετρητές κύματος

Για τη μέτρηση των κυμάτων χρησιμοποιήθηκαν μετρητές κύματος του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων τύπου αντίστασης. Οι μετρητές, οι οποίοι αποτελούνται από δύο σύρματα στερεωμένα σε μεταλλική βάση(τρίποδο), μετρούν τη στιγμιαία μεταβολή της στάθμης του ύδατος μέσω διαφοράς δυναμικού. Μέσω κατάλληλων καλωδίων το "σήμα" μεταφέρεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή προς επεξεργασία.

Προκειμένου να καταγραφεί η κυματική διαταραχή τοποθετήθηκαν συνολικά έξι μετρητές, σταθεροί για κάθε διεύθυνση, στην προσήνεμη πλευρά κοντά στο λιμενοβραχίονα στις θέσεις που φαίνονται στο παρακάτω σχέδιο(Θ14, Θ15, Θ16, Θ17, Θ18, Θ19) και δύο μετρητές στην περιοχή κοντά στους κυματιστήρες (Θ1, Θ2).



Σχήμα 3.6 Θέσεις μετρητών στη γειτονιά του μοντέλου(Πηγή ΕΛΕ 2014)

3.6. Παραγωγή κυμάτων

Η παραγωγή των κυμάτων έγινε, όπως προαναφέρθηκε μέσω κατάλληλου λογισμικού το οποίο βρίσκεται στο κέντρο ελέγχου του Ε.Λ.Ε. βάσει των χαρακτηριστικών των κυμάτων H_s και T_p και της κλίμακας ομοιότητας. Παρακάτω φαίνονται τα χαρακτηριστικά των κυμάτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν.

Κωδική Ονομασία Κυματισμού	Πρωτότυπο			Προσομοίωμα		
	H _s (m)	T _p (sec)	f (sec ⁻¹)	H _s (cm)	T _p (sec)	f (sec ⁻¹)
SFAKIA 1	1.60	5.447	0.184	2.133	0.629	1.590
SFAKIA 2	3.40	7.940	0.126	4.467	0.917	1.091
SFAKIA 3	2.00	6.090	0.164	2.667	0.703	1.422
SFAKIA 4	5.10	9.724	0.103	6.453	1.123	0.890
SFAKIA 5	1.90	5.935	0.168	2.533	0.685	1.460
SFAKIA 6	4.80	9.434	0.106	6.120	1.089	0.918
SFAKIA 7	0.80	3.851	0.260	1.067	0.445	2.247
SFAKIA 8	8.30	12.405	0.081	10.133	1.432	0.698
SFAKIA 9	8.40	12.480	0.080	10.253	1.441	0.694
SFAOVER 1	5.50	10.098	0.099	10.253	1.166	0.858
SFAOVER 2	6.00	10.548	0.095	11.587	1.218	0.821
SFAOVER 3	6.50	10.978	0.091	12.920	1.268	0.789
SFAOVER 4	7.00	11.393	0.088	14.253	1.316	0.760
SFAOVER 6	7.50	11.792	0.085	15.587	1.362	0.734
SFAOVER 6	8.00	12.179	0.082	16.920	1.406	0.711

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά κυμάτων

3.7. Συλλογή και ανάλυση Δεδομένων

Επιλέχθηκε να γίνει διερεύνηση για τρεις πιθανές διευθύνσεις πρόσπτωσης κυματισμού, τη Νότια, τη Νοτιοδυτική και τη Δυτική. Δεδομένου του προσανατολισμού του υφιστάμενου λιμενοβραχίονα η Νοτιοδυτική διεύθυνση θεωρήθηκε πιο κρίσιμη για τη μελέτη της ανάκλασης και της υπερπήδησης.

Η συλλογή και η ανάλυση των μετρήσεων έγινε μέσω του προγράμματος Wavedata της εταιρείας HR Wallingford. Οι μετρητές ήταν συνδεδεμένοι με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή στο κέντρο έλεγχου του Ε.Λ.Ε. στον οποίο αποθηκεύονταν οι πληροφορίες για την μετέπειτα ανάλυση και επεξεργασία. Οι καταγραφές των κυμάτων αναλύθηκαν με τη μέθοδο Fast Fourier Transformation από την οποία υπολογίστηκαν βασικές παράμετροι των φασμάτων με τη χρήση λογισμικού πακέτου H.R. WaveData- Data acquisition and analysis software program της Αγγλικής εταιρείας H.R. .

3.8. Μετρήσεις υπερπήδησης

Προκειμένου να μετρηθεί η παροχή υπερπήδησης τοποθετήθηκαν κυτία κατάλληλων διαστάσεων στο εσωτερικό μέρος του λιμενοβραχίονα ώστε να συλλέγεται το νερό που τον υπερπηδά και στη συνέχεια να γίνεται η ογκομέτρησή του. Μετρήσεις υπερπήδησης έγιναν για τη Δυτική και Νοτιοδυτική διεύθυνση. Κατά τις μετρήσεις με Δυτική διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμών τοποθετήθηκαν 2 κυτία κατασκευασμένα από αλουμίνιο διαστάσεων 50cm*25cm*9.8cm. ενώ στην περίπτωση των μετρήσεων που αφορούσαν στη

Νοτιοδυτική διεύθυνση πρόσπτωσης τοποθετήθηκαν έξι συνολικά κυτία διαστάσεων 25cm*50cm*9.8cm σε όλο το μήκος του μοντέλου προκειμένου να γίνει πιο λεπτομερής καταγραφή της παροχής.



Φωτογραφία 3.1Κυτία συλλογής υπερπηδούμενης ποσότητας νερού

3.9. Πειραματική Διαδικασία

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε πριν από κάθε πείραμα ήταν η εξής:

- Έλεγχος στάθμης νερού στην δεξαμενή.
- Βαθμονόμηση μετρητών κύματος.
- Έλεγχος ότι όλα τα κυτία είναι τελείως άδεια.
- Αναμονή μέχρι να ηρεμήσει το νερό τελείως όταν οι κυματισμοί που θα ακολουθούσαν είχαν διαφορετική περίοδο από αυτούς που προηγήθηκαν.
- Επαναφορά της προστασίας του λιμενοβραχίονα στην αρχική της μορφή δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και ιδιαίτερα σε υψηλούς κυματισμούς τα τετράποδα αλλάζανε θέση και απομακρύνονταν από το λιμενοβραχίονα.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε μετά από κάθε πείραμα ήταν η εξής:

- Ογκομέτρηση με τη βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού του νερού που βρίσκεται σε κάθε κυτίο και καταγραφή της μέτρησης.
- Αποθήκευση των μετρήσεων που καταγράφηκαν από τους μετρητές στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του εργαστηρίου, σε αρχεία συμβατά με το λογισμικό Microsoft Excel πάνω στο οποίο έγινε και η περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία.

3.10. Πίνακες εκτελεσθέντων πειραμάτων

Παρακάτω ακολουθούν πίνακες των πειραμάτων που εκτελέστηκαν για τις τρεις πιθανές διευθύνσεις πρόσπτωσης κυματισμών.

α/α	Κωδική ονομασία πειρ/τος	Χαρακτηριστικά κύματος	
		H _s (mm)	T _p (sec)
1	1.1.1	10.67	0.445
2	1.1.2	10.67	0.445
3	1.1.3	10.67	0.445
4	1.2.1	26.67	0.703
5	1.2.2	26.67	0.703
6	1.2.3	26.67	0.703
7	1.3.1	44.67	0.917
8	1.3.2	44.67	0.917
9	1.3.3	44.67	0.917
10	1.4.1	61.20	1.089

Πίνακας 3.1 Πίνακας εκτελεσθέντων πειραμάτων για Νότια πρόσπτωση κυματισμών

α/α	Κωδική ονομασία πειρ/τος	Χαρακτηριστικά κύματος		α/α	Κωδική ονομασία πειρ/τος	Χαρακτηριστικά κύματος	
		H _s (mm)	T _p (sec)			H _s (mm)	T _p (sec)
1	2.1.1	10.67	0.445	42	2.12.1	142.53	1.316
2	2.1.2	10.67	0.445	43	2.12.2	142.53	1.316
3	2.1.3	10.67	0.445	44	2.12.3	142.53	1.316
4	2.2.1	26.67	0.703	45	2.12.4	142.53	1.316
5	2.2.2	26.67	0.703	46	2.12.5	142.53	1.316
6	2.2.3	26.67	0.703	47	2.12.6	142.53	1.316
7	2.3.1	44.67	0.917	48	2.13.1	102.53	1.441
8	2.3.2	44.67	0.917	49	2.14.1	44.67	0.917
9	2.3.3	44.67	0.917	50	2.14.2	44.67	0.917
10	2.4.1	61.20	1.089	51	2.15.1	61.20	1.089
11	2.4.2	61.20	1.089	52	2.15.2	61.20	1.089
12	2.4.3	61.20	1.089	53	2.15.3	61.20	1.089
13	2.5.1	64.53	1.123	54	2.16.1	64.53	1.123
14	2.5.2	64.53	1.123	55	2.16.2	64.53	1.123
15	2.5.3	64.53	1.123	56	2.16.3	64.53	1.123
16	2.6.1	44.67	0.917	57	2.17.1	102.53	1.166
17	2.6.2	44.67	0.917	58	2.17.2	102.53	1.166
18	2.7.1	61.20	1.089	59	2.17.3	102.53	1.166
19	2.7.2	61.20	1.089	60	2.17.4	102.53	1.166
20	2.7.3	61.20	1.089	61	2.18.1	115.87	1.218
21	2.7.4	61.20	1.089	62	2.18.2	115.87	1.218
22	2.8.1	64.53	1.123	63	2.18.3	115.87	1.218
23	2.8.2	64.53	1.123	64	2.18.4	115.87	1.218
24	2.8.3	64.53	1.123	65	2.18.5	115.87	1.218
25	2.8.4	64.53	1.123	66	2.18.6	115.87	1.218
26	2.9.1	115.87	1.218	67	2.19.1	129.20	1.268
27	2.9.2	115.87	1.218	68	2.19.2	129.20	1.268
28	2.9.3	115.87	1.218	69	2.19.3	129.20	1.268
29	2.9.4	115.87	1.218	70	2.19.4	129.20	1.268
30	2.9.5	115.87	1.218	71	2.19.5	129.20	1.268
31	2.9.6	115.87	1.218	72	2.19.6	129.20	1.268
32	2.10.1	102.53	1.166	73	2.20.1	142.53	1.316
33	2.10.2	102.53	1.166	74	2.20.2	142.53	1.316
34	2.10.3	102.53	1.166	75	2.20.3	142.53	1.316
35	2.10.4	102.53	1.166	76	2.20.4	142.53	1.316
36	2.11.1	129.20	1.268	77	2.20.5	142.53	1.316
37	2.11.2	129.20	1.268	78	2.20.6	142.53	1.316
38	2.11.3	129.20	1.268	79	2.21.1	102.53	1.441
39	2.11.4	129.20	1.268	80	2.21.2	102.53	1.441
40	2.11.5	129.20	1.268				
41	2.11.6	129.20	1.268				

Πίνακας 3.2 Πίνακας εκτελεσθέντων πειραμάτων για τη Νοτιοδυτική πρόπτωση κυματισμών

a/a	Κωδική ονομασία πειρ/τος	Χαρακτηριστικά κύματος		a/a	Κωδική ονομασία πειρ/τος	Χαρακτηριστικά κύματος	
		H _s (mm)	T _p (sec)			H _s (mm)	T _p (sec)
1	3.1.1	10.70	0.445	37	3.12.1	129.20	1.268
2	3.1.2	10.70	0.445	38	3.12.2	129.20	1.268
3	3.1.3	10.70	0.445	39	3.12.3	129.20	1.268
4	3.2.1	26.70	0.703	40	3.12.4	129.20	1.268
5	3.2.2	26.70	0.703	41	3.12.5	129.20	1.268
6	3.2.3	26.70	0.703	42	3.12.6	129.20	1.268
7	3.3.1	44.70	0.917	43	3.12.7	129.20	1.268
8	3.3.2	44.70	0.917	44	3.12.8	129.20	1.268
9	3.3.3	44.70	0.917	45	3.13.1	10.07	0.445
10	3.4.1	61.20	1.089	46	3.14.1	44.70	0.917
11	3.4.2	61.20	1.089	47	3.15.1	25.30	0.685
12	3.4.3	61.20	1.089	48	3.16.1	61.20	1.089
13	3.5.1	61.20	1.089				
14	3.5.2	61.20	1.089				
15	3.5.3	61.20	1.089				
16	3.6.1	64.50	1.123				
17	3.6.2	64.50	1.123				
18	3.6.3	64.50	1.123				
19	3.7.1	115.90	1.218				
20	3.7.2	115.90	1.218				
21	3.7.3	115.90	1.218				
22	3.7.4	115.90	1.218				
23	3.8.1	142.50	1.316				
24	3.8.2	142.50	1.316				
25	3.9.1	142.50	1.316				
26	3.9.2	142.50	1.316				
27	3.9.3	142.50	1.316				
28	3.9.4	142.50	1.316				
29	3.10.1	102.50	1.441				
30	3.10.2	102.50	1.441				
31	3.10.3	102.50	1.441				
32	3.10.4	102.50	1.441				
33	3.11.1	102.50	1.166				
34	3.11.2	102.50	1.166				
35	3.11.3	102.50	1.166				
36	3.11.4	102.50	1.166				

Πίνακας 3.3 Πίνακας εκτελεσθέντων πειραμάτων για Νότια πρόσπτωση κυματισμών

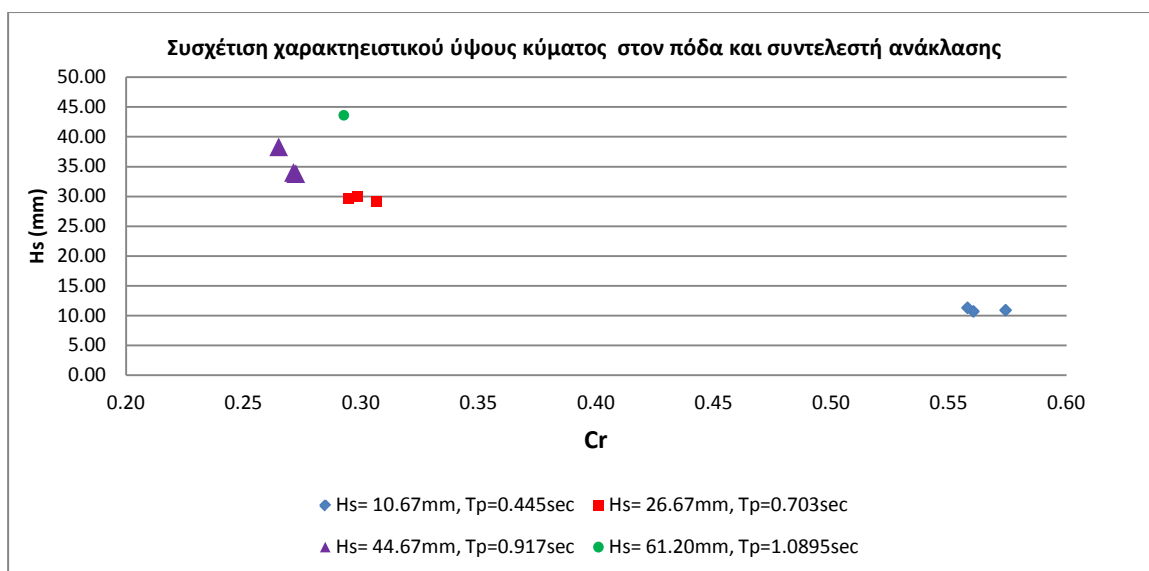
4. Αποτελέσματα μετρήσεων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις της κυματικής διαταραχής, της ανάκλασης των κυματισμών και της υπερπηδήσεως του μετώπου κατά την διάρκεια των επιμέρους πειραμάτων για τρεις διευθύνσεις.

4.1. Συσχέτιση ύψους κύματος και συντελεστή ανάκλασης

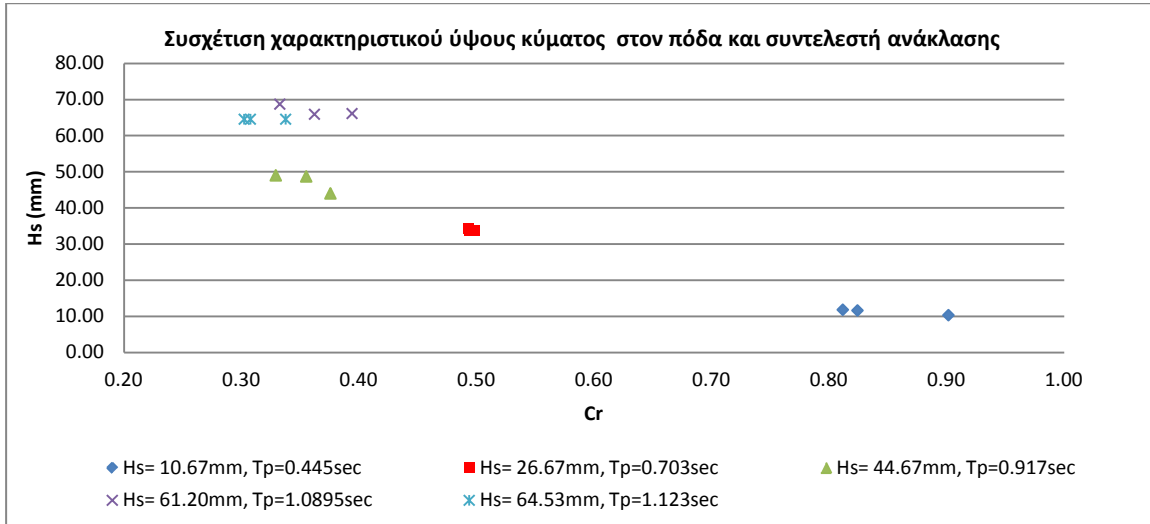
Παρακάτω ακολουθούν διαγράμματα συσχέτισης των καταγεγραμμένα υψών κύματος στον πόδα του προσήνεμου μόλου, (θέση Θ15) με τους αντίστοιχους συντελεστές ανάκλασης. Συγκεκριμένα για κάθε ομάδα μετρήσεων ανάλογα με τα κυματικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων κυματισμών φαίνεται ο συντελεστής ανάκλασης που προκύπτει για κάθε επανάληψη της μέτρησης όπως προέκυψε μετά από φασματική και στατιστική ανάλυση.

4.1.1. Νότια διεύθυνση

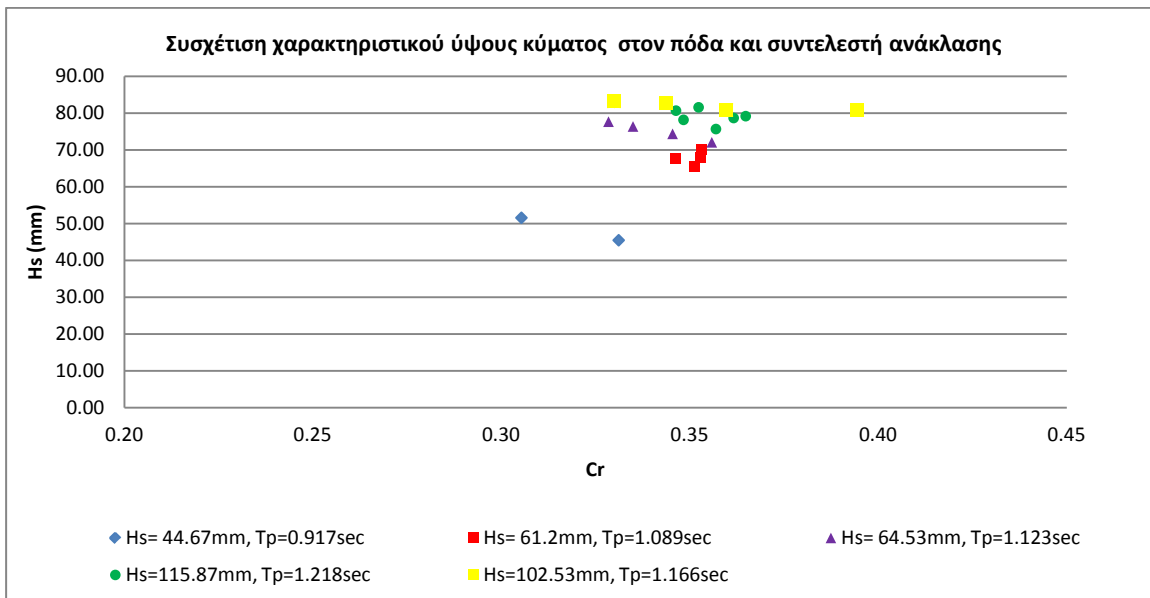


Γράφημα 4.1 Συσχέτιση καταγεγραμμένου ύψους κύματος στον πόδα της κατασκευής και συντελεστή ανάκλασης

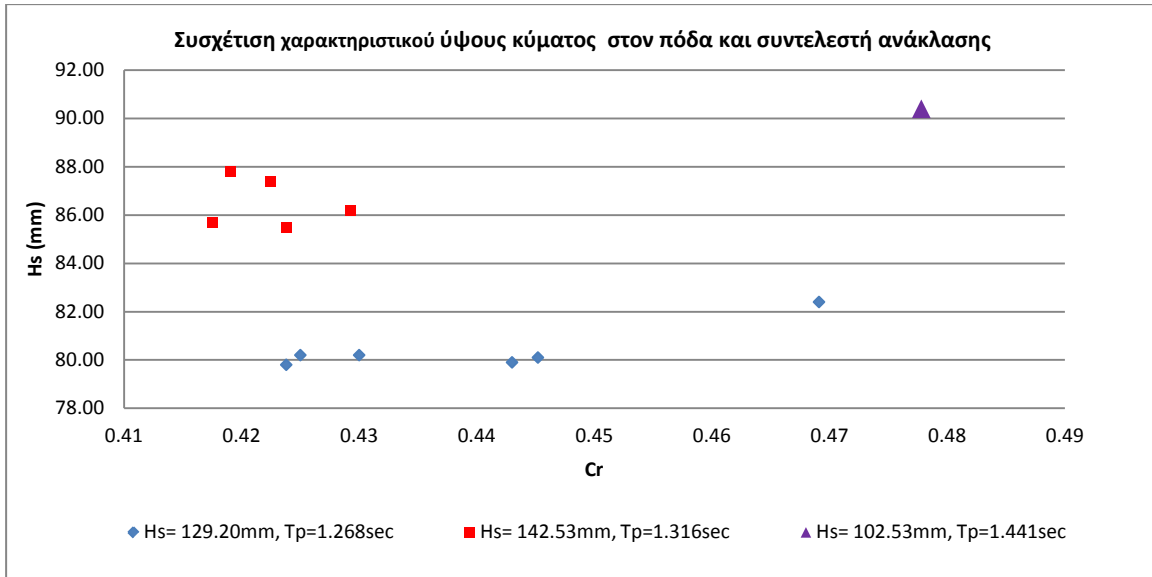
4.1.2. Νοτιοδυτική διεύθυνση



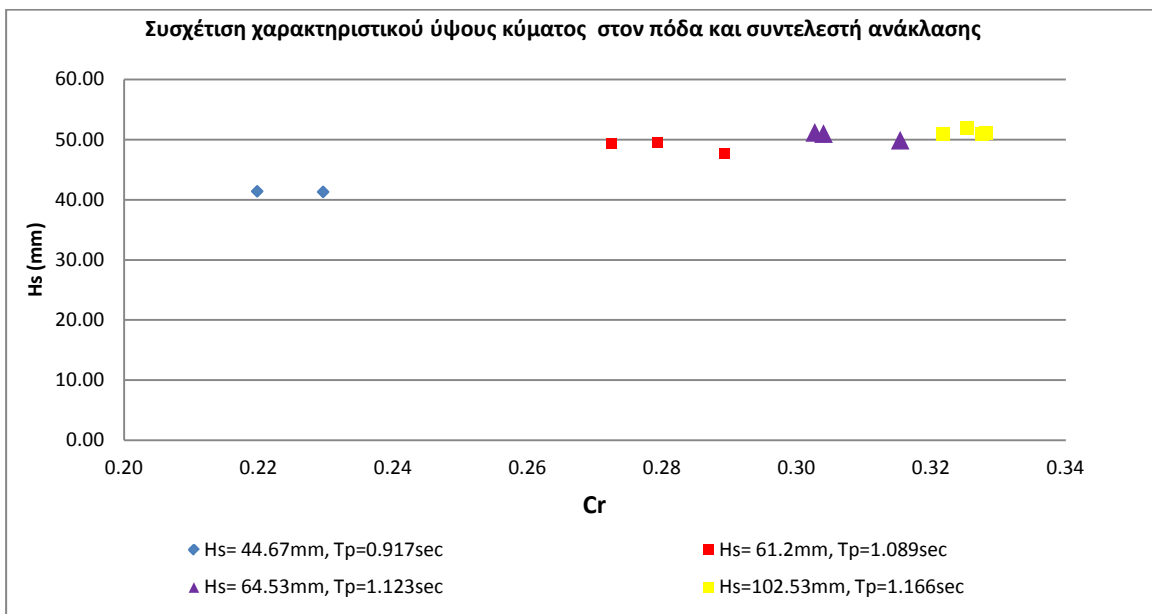
Γράφημα 4.2 Συσχέτιση χαρακτηριστικού ύψους κύματος στον πόδα της κατασκευής και συντελεστή ανάκλασης



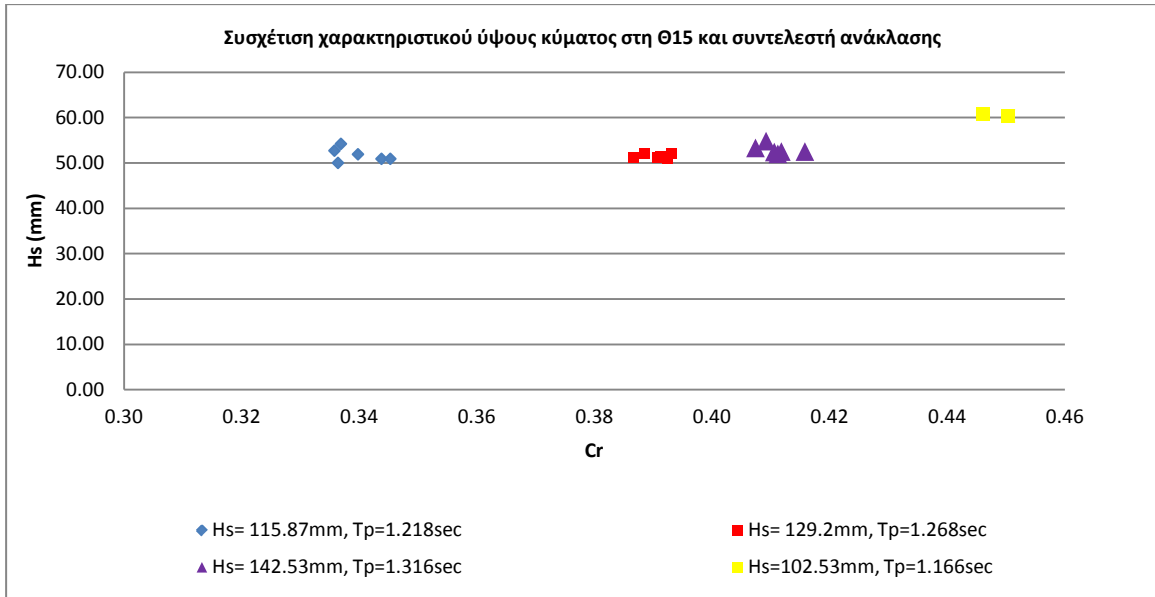
Γράφημα 4.3 Συσχέτιση χαρακτηριστικού ύψους κύματος στον πόδα της κατασκευής και συντελεστή ανάκλασης



Γράφημα 4.4 Συσχέτιση χαρακτηριστικού ύψους κύματος στον πόδα της κατασκευής και συντελεστή ανάκλασης

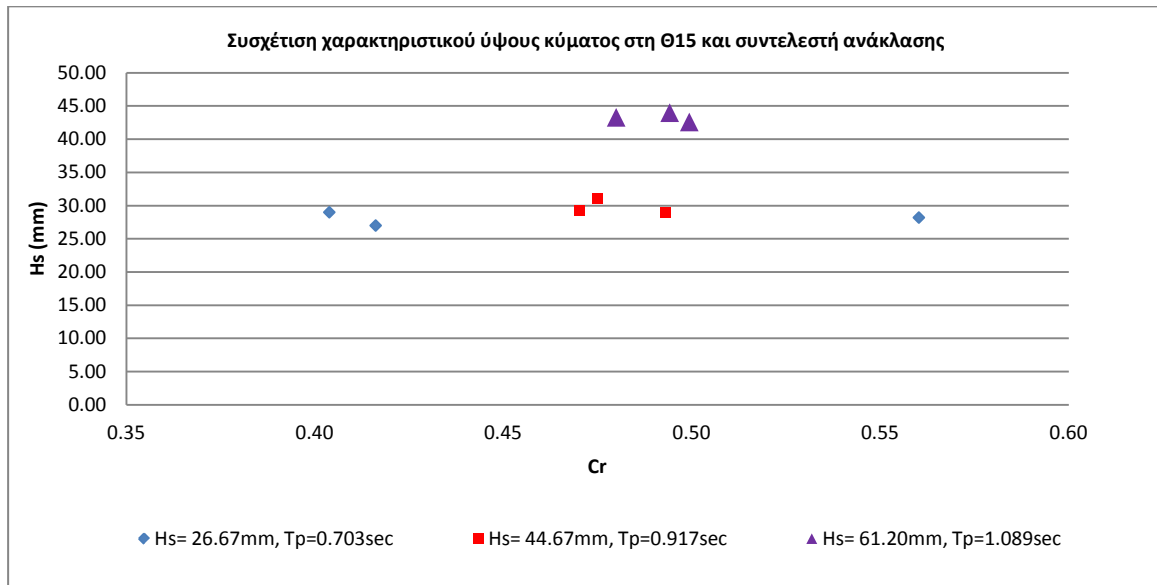


Γράφημα 4.5 Συσχέτιση χαρακτηριστικού ύψους κύματος στον πόδα της κατασκευής και συντελεστή ανάκλασης

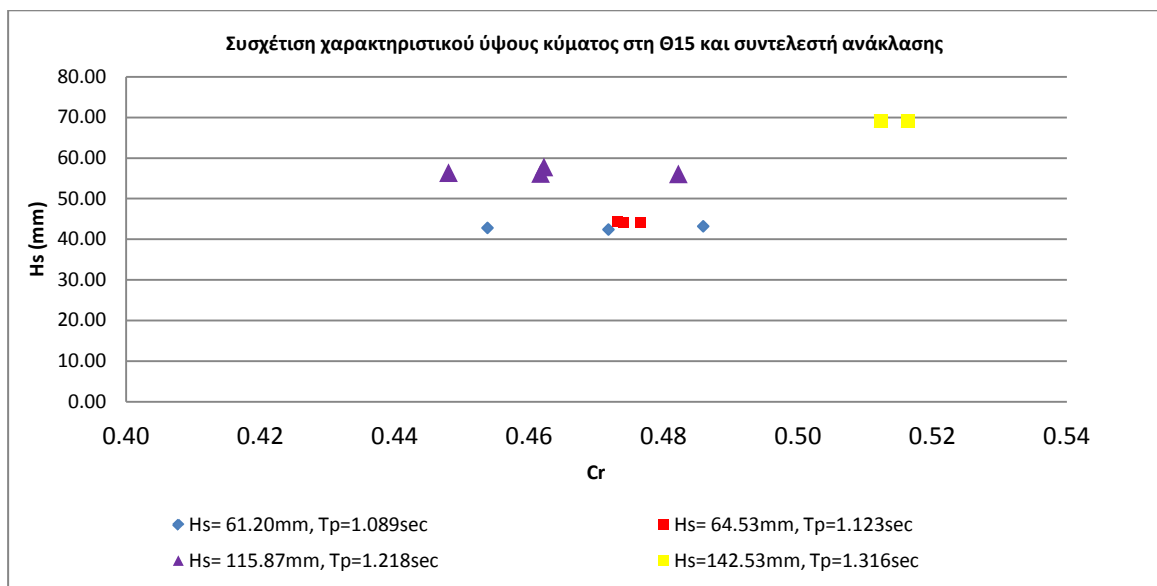


Γράφημα 4.6 Συσχέτιση χαρακτηριστικού ύψους κύματος στον πόδα της κατασκευής και συντελεστή ανάκλασης

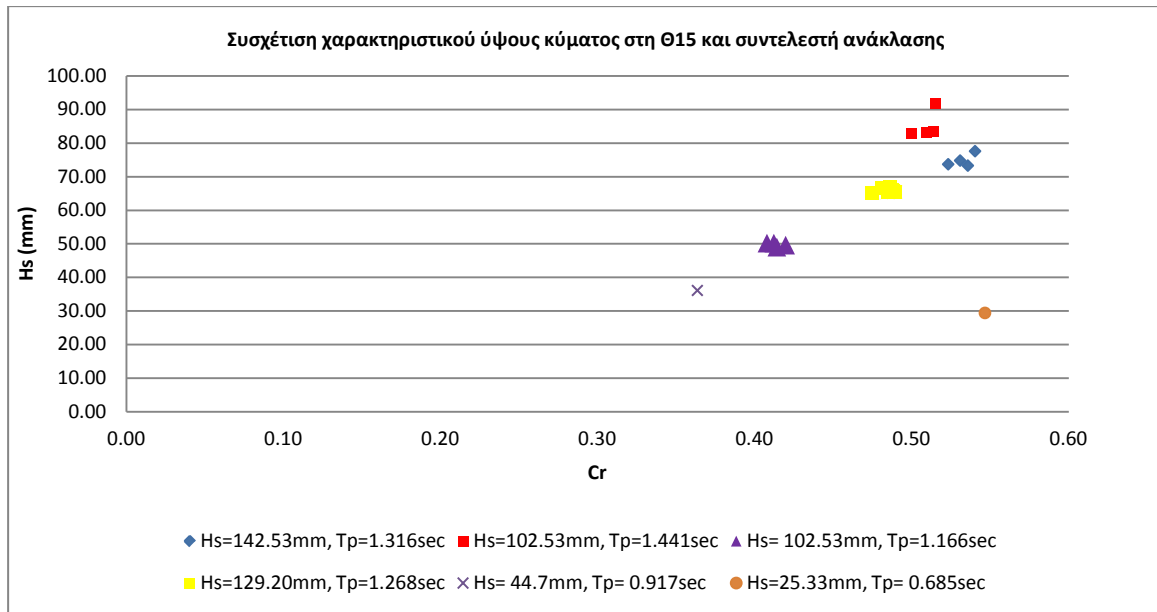
4.1.3. Δυτική διεύθυνση



Γράφημα 4.7 Συσχέτιση χαρακτηριστικού ύψους κύματος στον πόδα της κατασκευής και συντελεστή ανάκλασης



Γράφημα 4.8 Συσχέτιση χαρακτηριστικού ύψους κύματος στον πόδα της κατασκευής και συντελεστή ανάκλασης

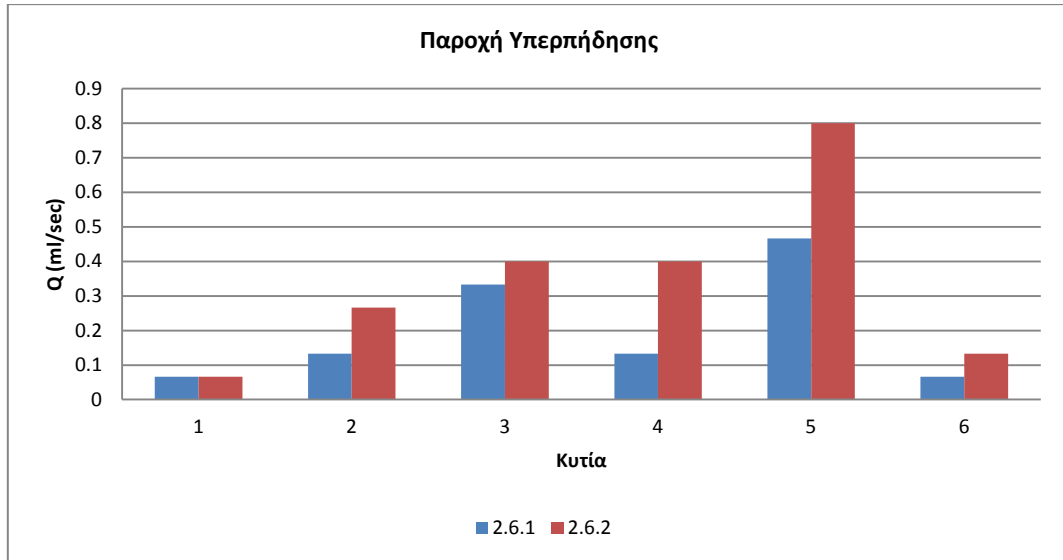


Γράφημα 4.9 Συσχέτιση χαρακτηριστικού ύψους κύματος στον πόδα της κατασκευής και συντελεστή ανάκλασης

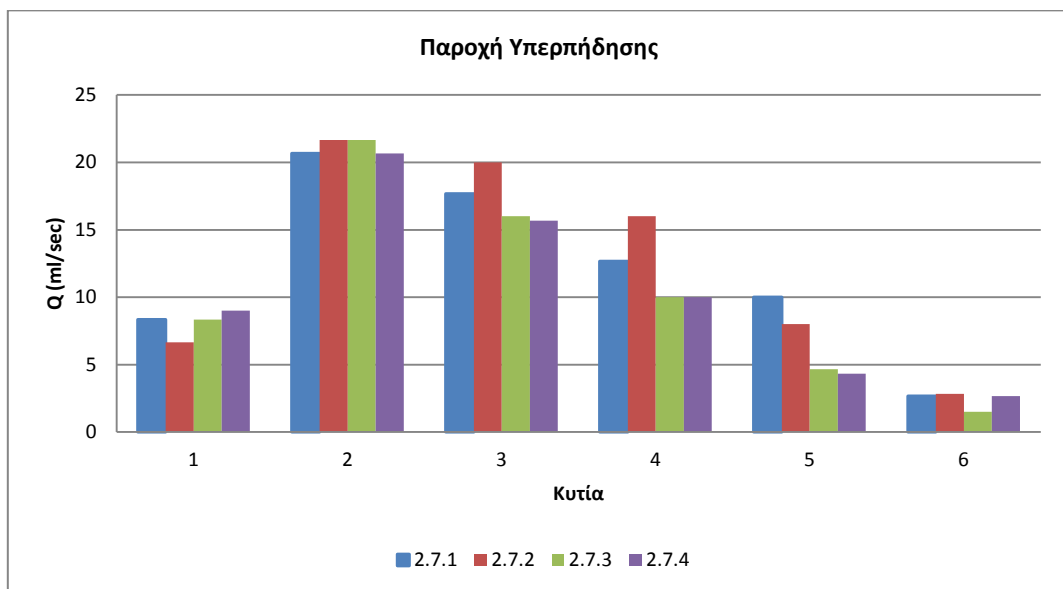
4.2. Αποτελέσματα υπερπήδησης

Παρακάτω ακολουθούν γραφήματα στα οποία φαίνεται η παροχή της υπερπήδησης για κάθε κυτίο όπως μετρήθηκε σε κάθε μέτρηση για τους κυματισμούς οι οποίοι την προκαλούσαν.

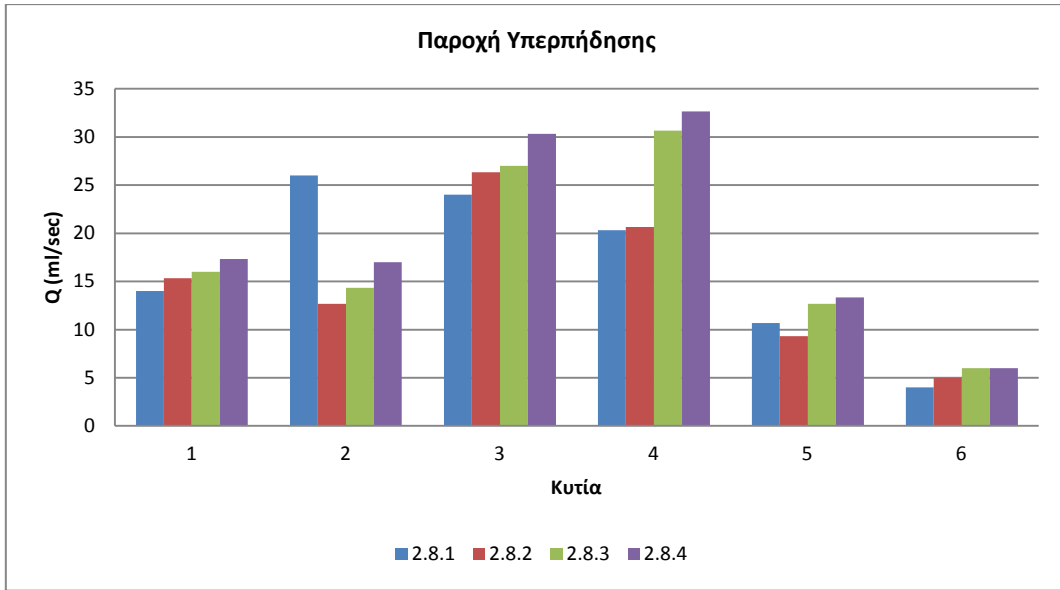
4.2.1. Νοτιοδυτική διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων



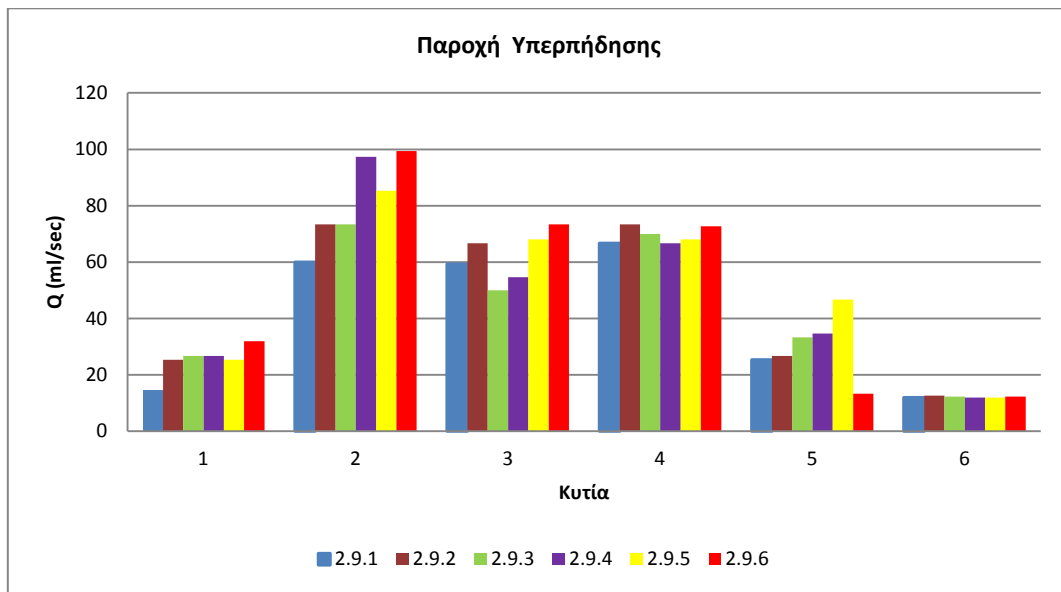
Γράφημα 4.10 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 44.67\text{mm}$, $T_p = 0.917\text{sec}$



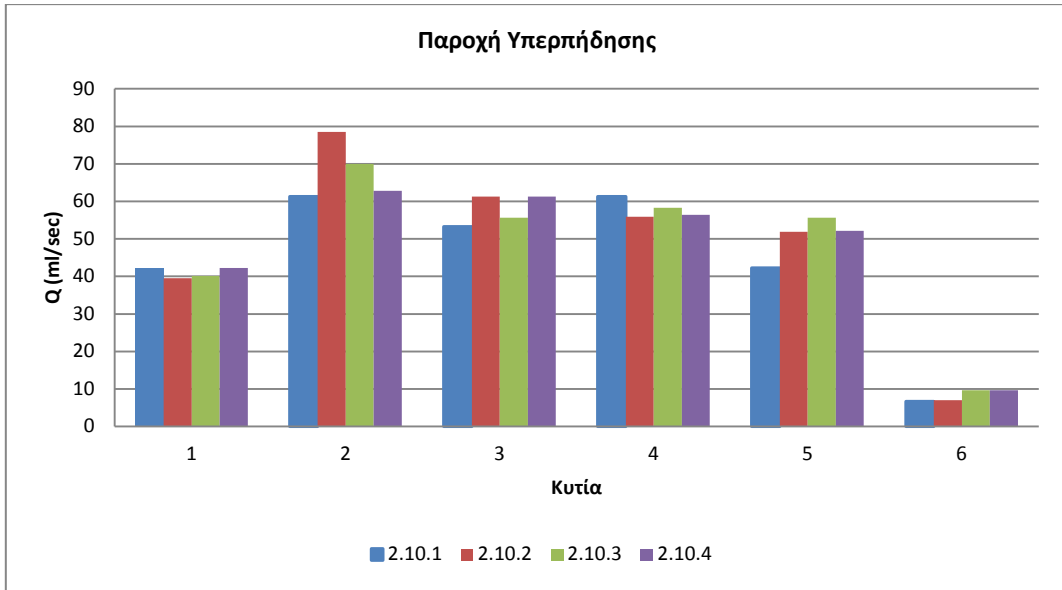
Γράφημα 4.11 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 61.20\text{mm}$, $T_p = 1.089\text{sec}$



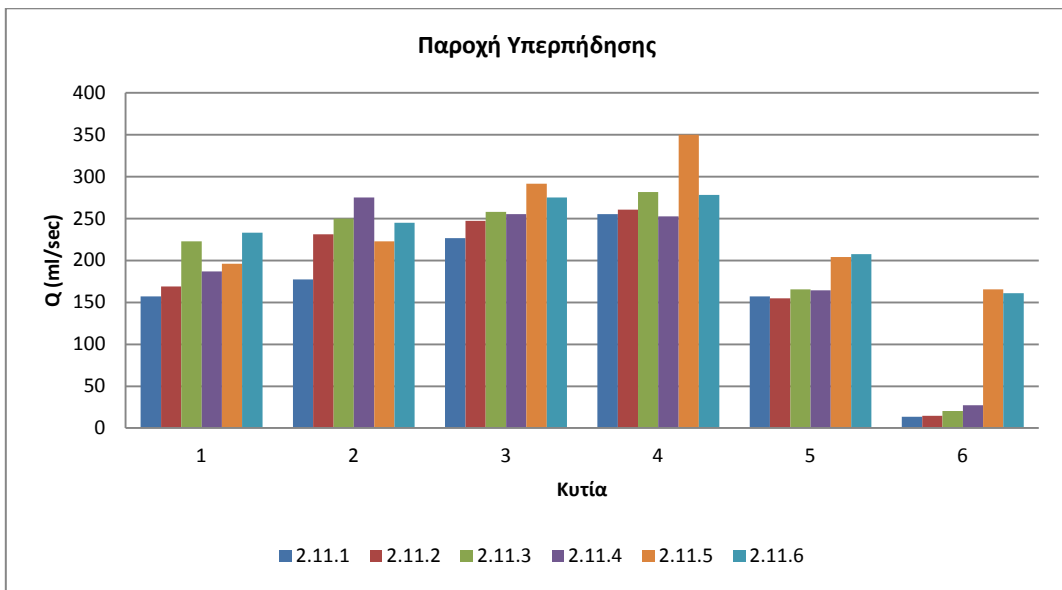
Γράφημα 4.12 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 64.53\text{mm}$, $T_p = 1.123\text{sec}$



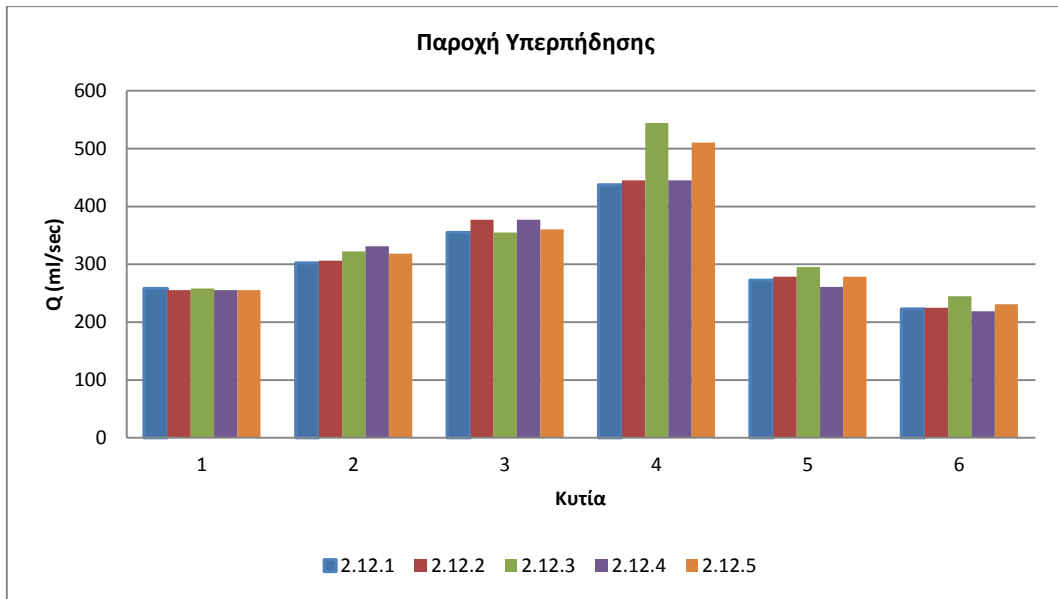
Γράφημα 4.13 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 115.87\text{mm}$, $T_p = 1.218\text{sec}$



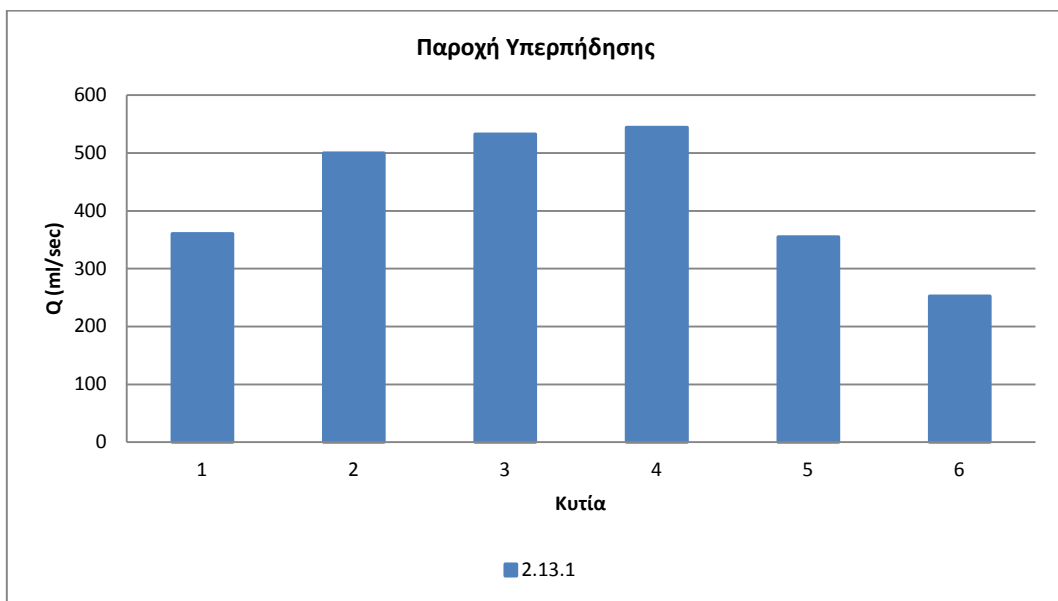
Γράφημα 4.14 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 102.53\text{mm}$, $T_p = 1.166\text{sec}$



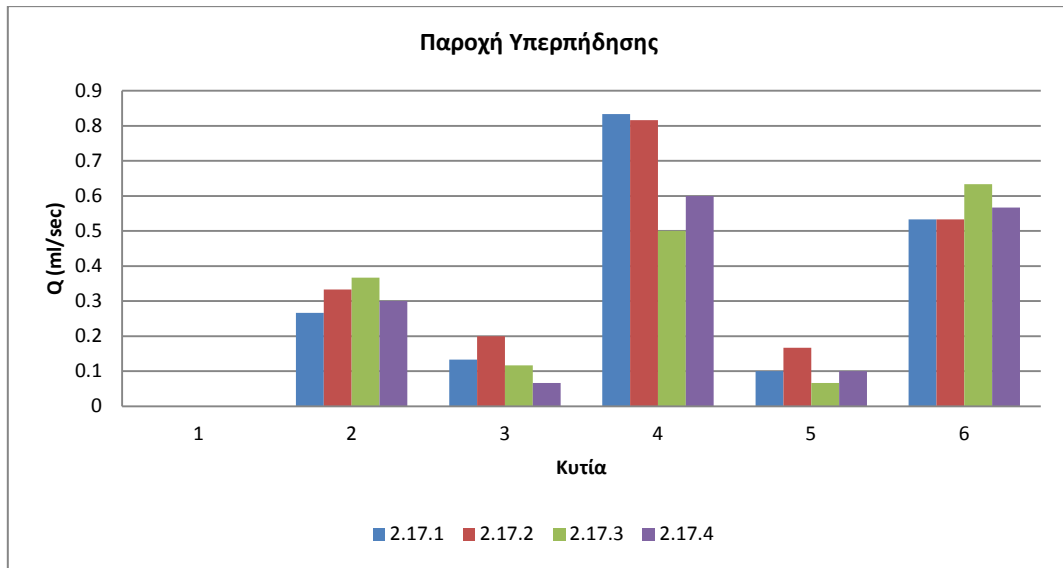
Γράφημα 4.15 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 129.20\text{mm}$, $T_p = 1.268\text{sec}$



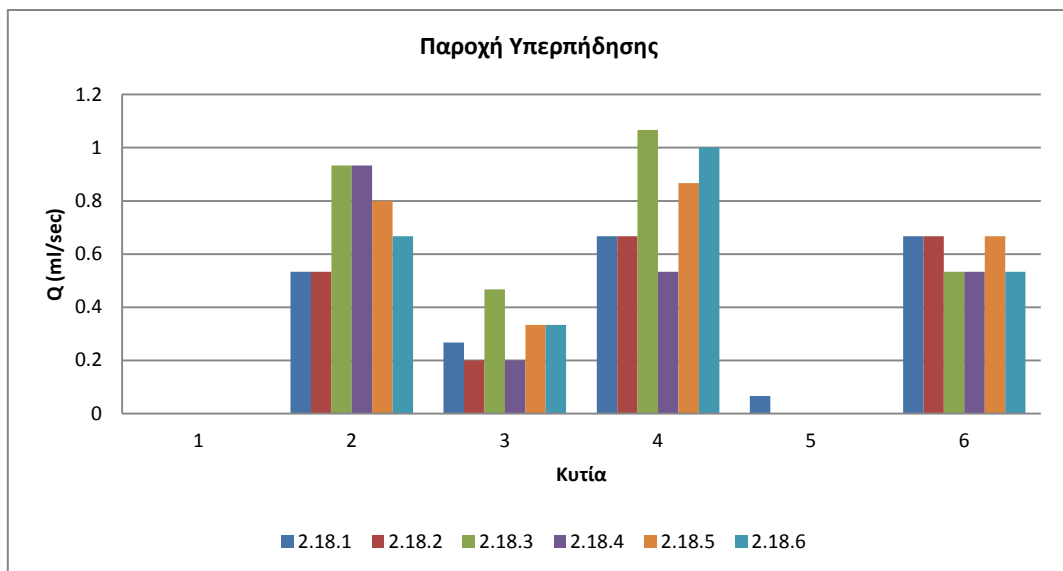
Γράφημα 4.16 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 142.53\text{mm}$, $T_p = 1.316\text{sec}$



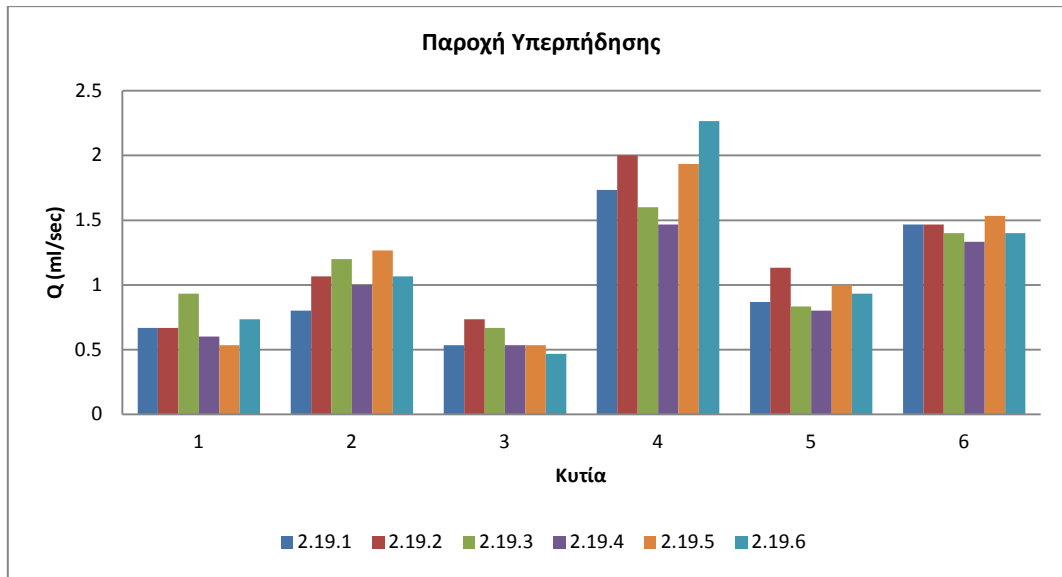
Γράφημα 4.17 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 102.53\text{mm}$, $T_p = 1.166\text{sec}$



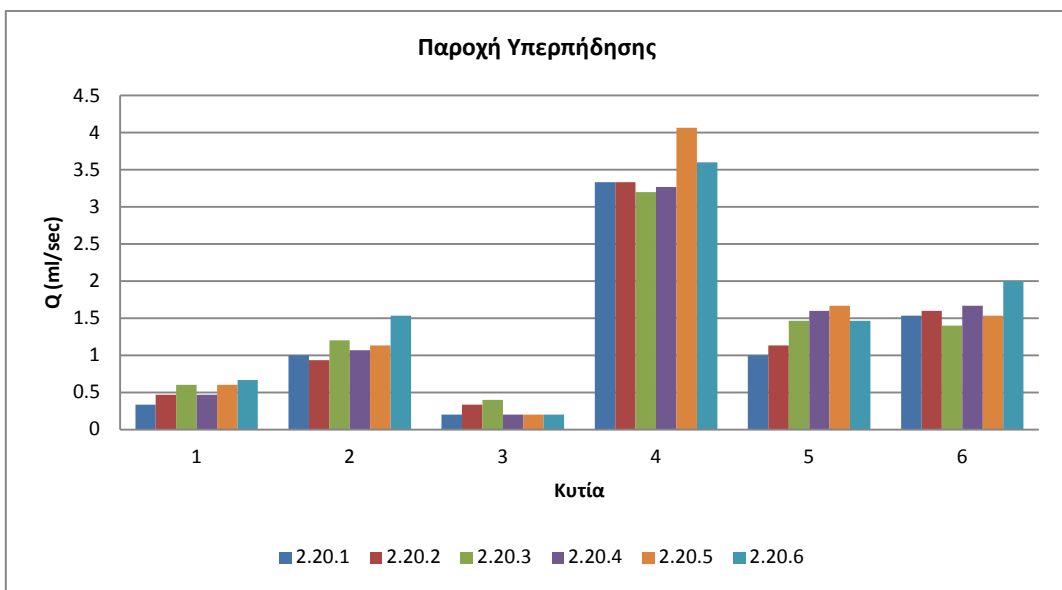
Γράφημα 4.18 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 102.53\text{mm}$, $T_p = 1.166\text{sec}$



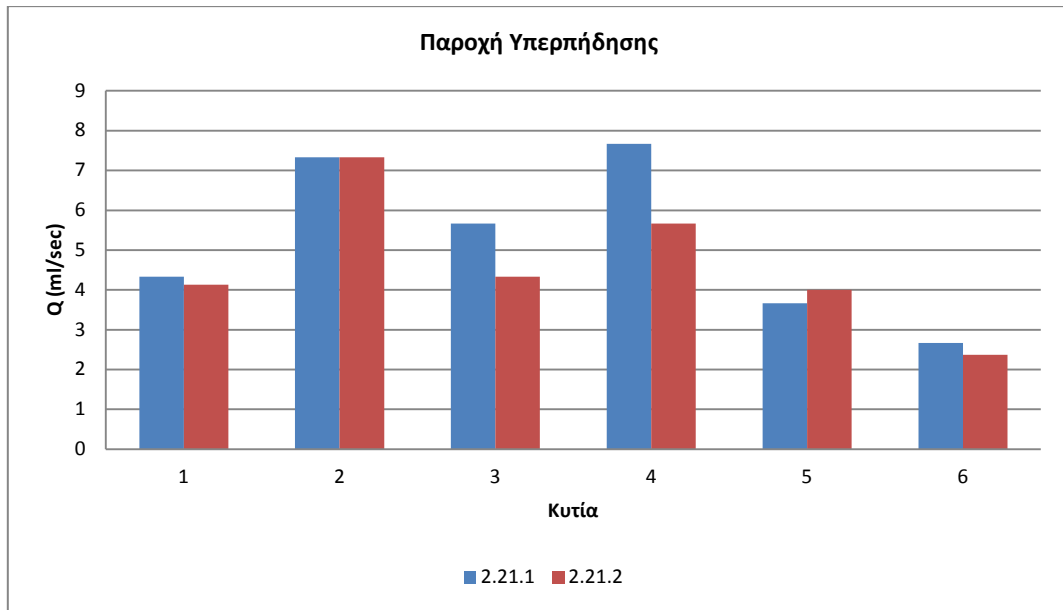
Γράφημα 4.19 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 115.87\text{mm}$, $T_p = 1.218\text{sec}$



Γράφημα 4.20 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 129.20\text{mm}$, $T_p = 1.268\text{sec}$

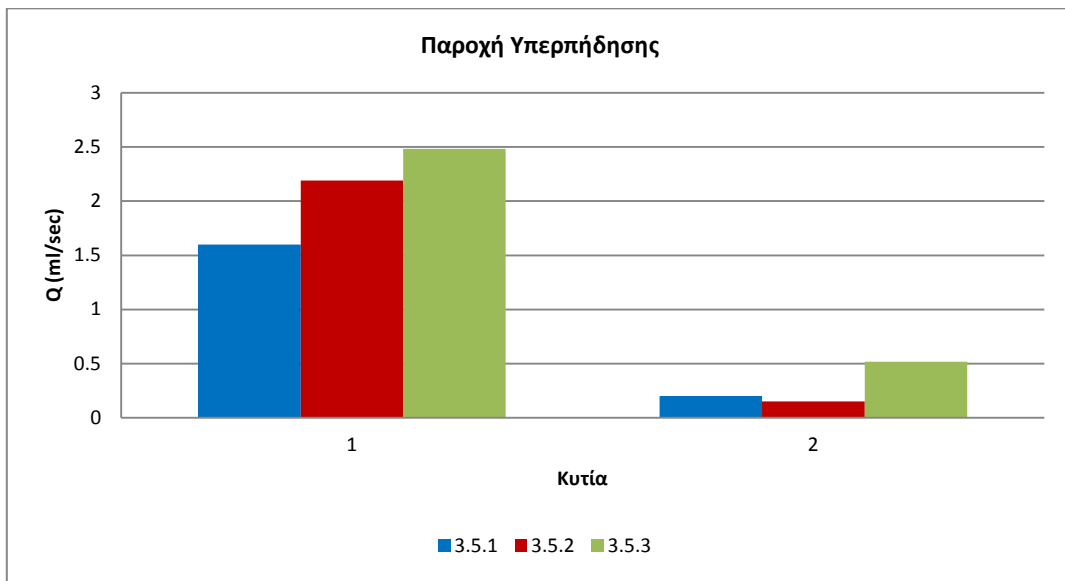


Γράφημα 4.21 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 142.53\text{mm}$, $T_p = 1.316\text{sec}$

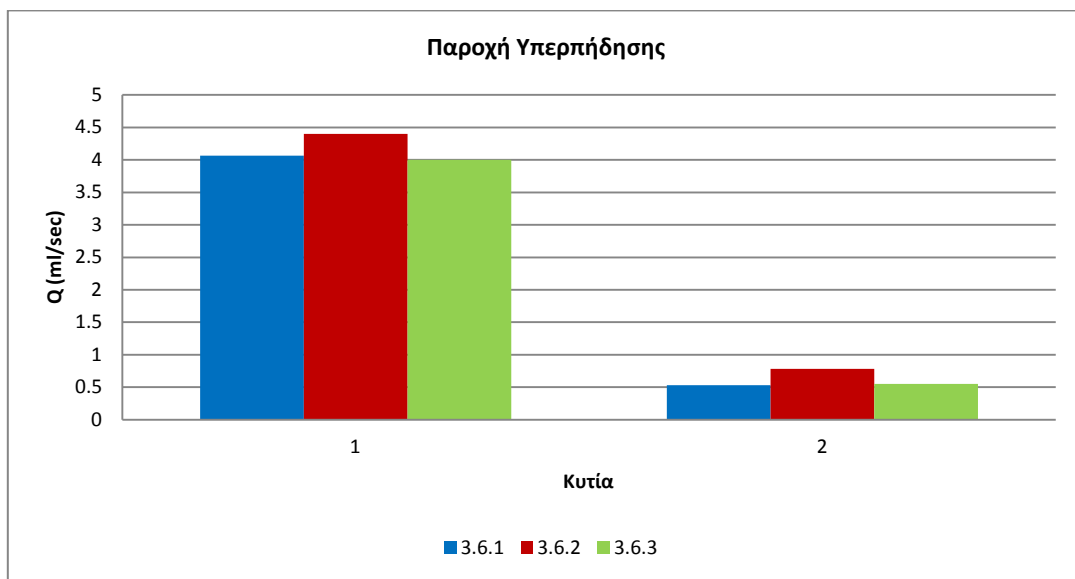


Γράφημα 4.22 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s= 102.53\text{mm}$, $T_p= 1.441\text{sec}$

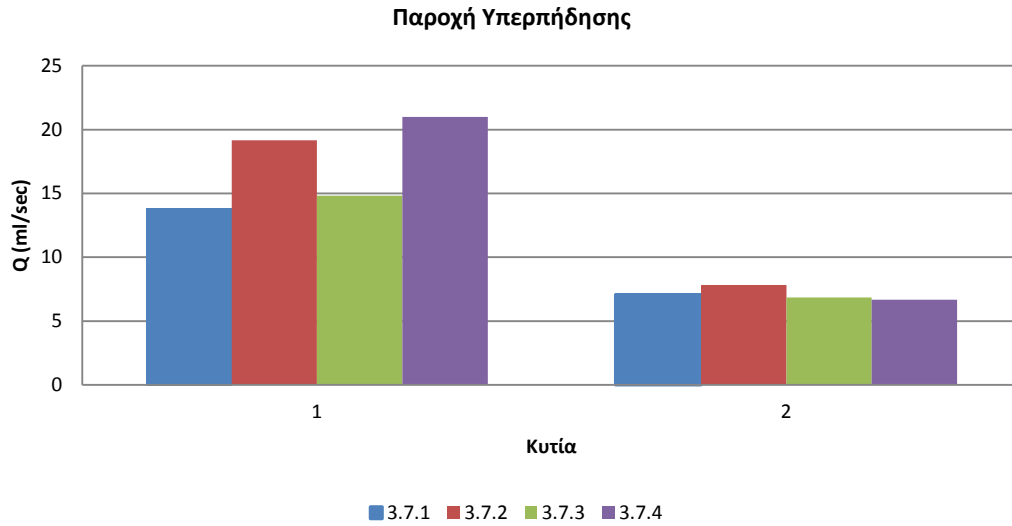
4.2.2. Δυτική διεύθυνση_πρόσπτωσης κυμάτων



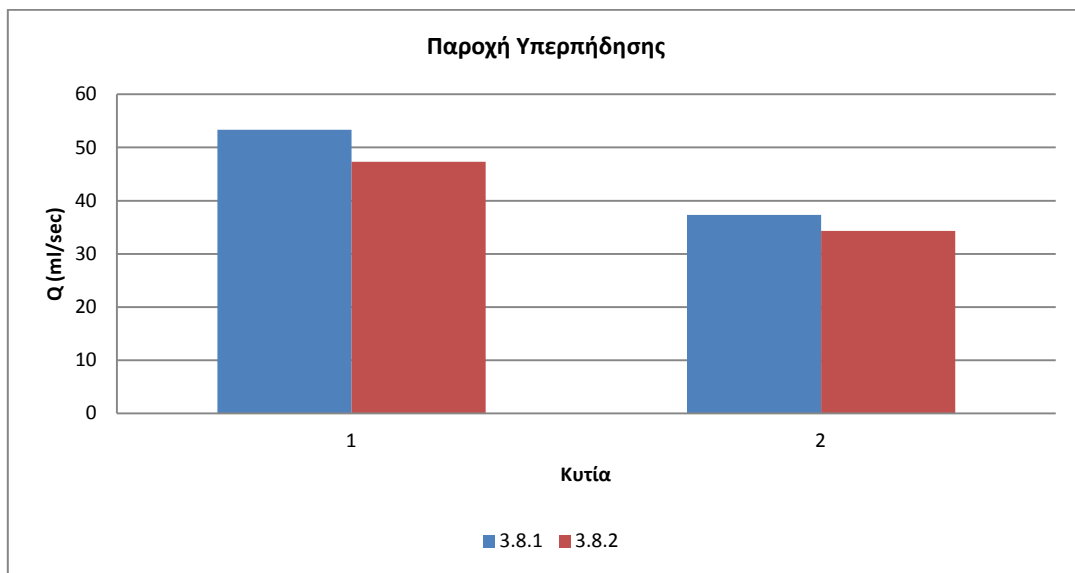
Γράφημα 4.23 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s= 61.20\text{mm}$, $T_p= 1.089\text{sec}$



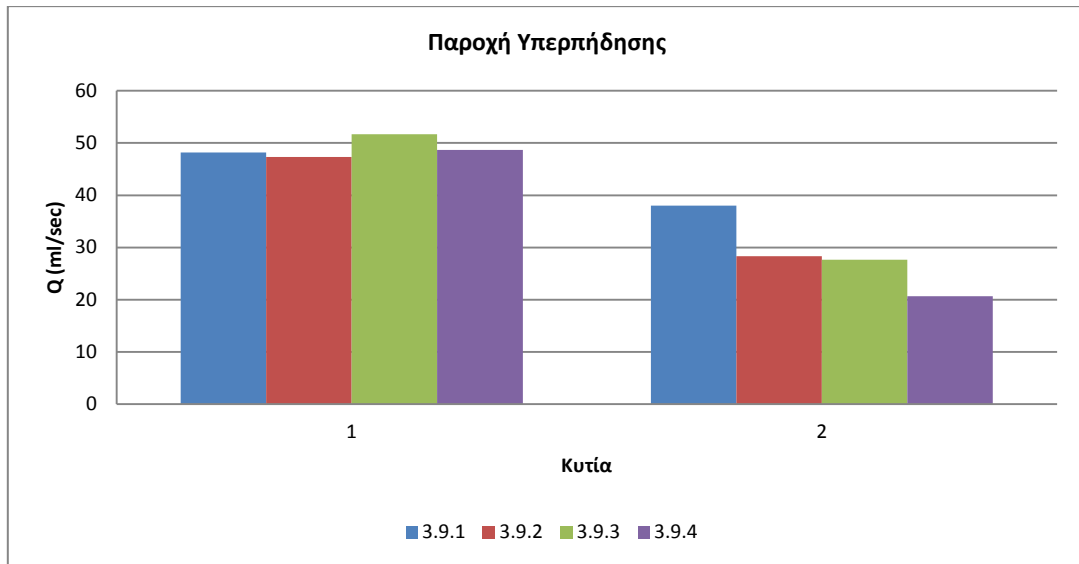
Γράφημα 4.24 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s= 64.53\text{mm}$, $T_p= 1.123\text{sec}$



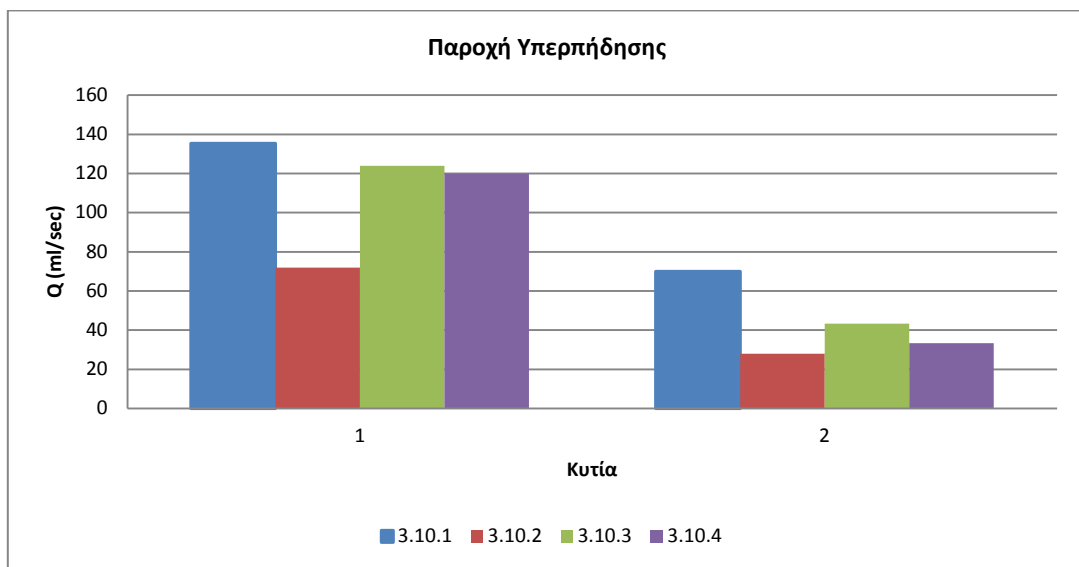
Γράφημα 4.25 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s= 115.90\text{mm}$, $T_p= 1.218\text{sec}$



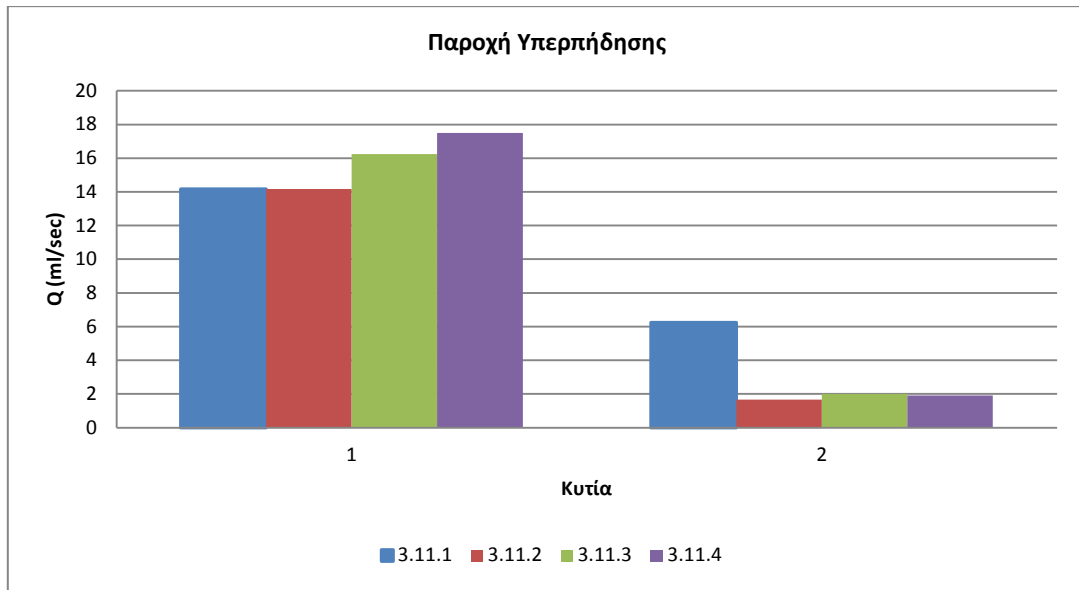
Γράφημα 4.26 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s= 142.50\text{mm}$, $T_p= 1.316\text{sec}$



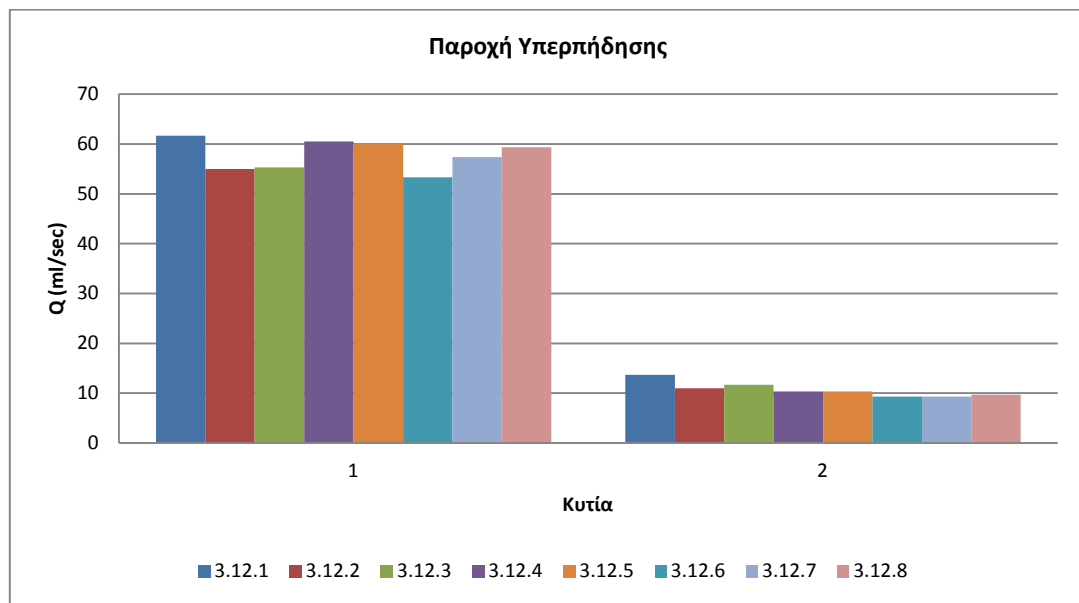
Γράφημα 4.27 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 142.50\text{mm}$, $T_p = 1.316\text{sec}$



Γράφημα 4.28 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s = 102.53\text{mm}$, $T_p = 1.441\text{sec}$



Γράφημα 4.29 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s= 102.53\text{mm}$, $T_p= 1.166\text{sec}$



Γράφημα 4.30 Χαρακτηριστικά παραγόμενου κυματισμού $H_s= 129.20\text{mm}$, $T_p= 1.268\text{sec}$

5. Επεξεργασία μετρήσεων

Παρακάτω ακολουθούν διαγράμματα στα οποία γίνεται συσχέτιση των μεγεθών του συντελεστή ανάκλασης και της υπερπήδησης με τις σχέσεις, οι οποίες αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, για τις τρεις διευθύνσεις πρόσπτωσης κυμάτων που μελετήθηκαν

5.1. Νότια Διεύθυνση

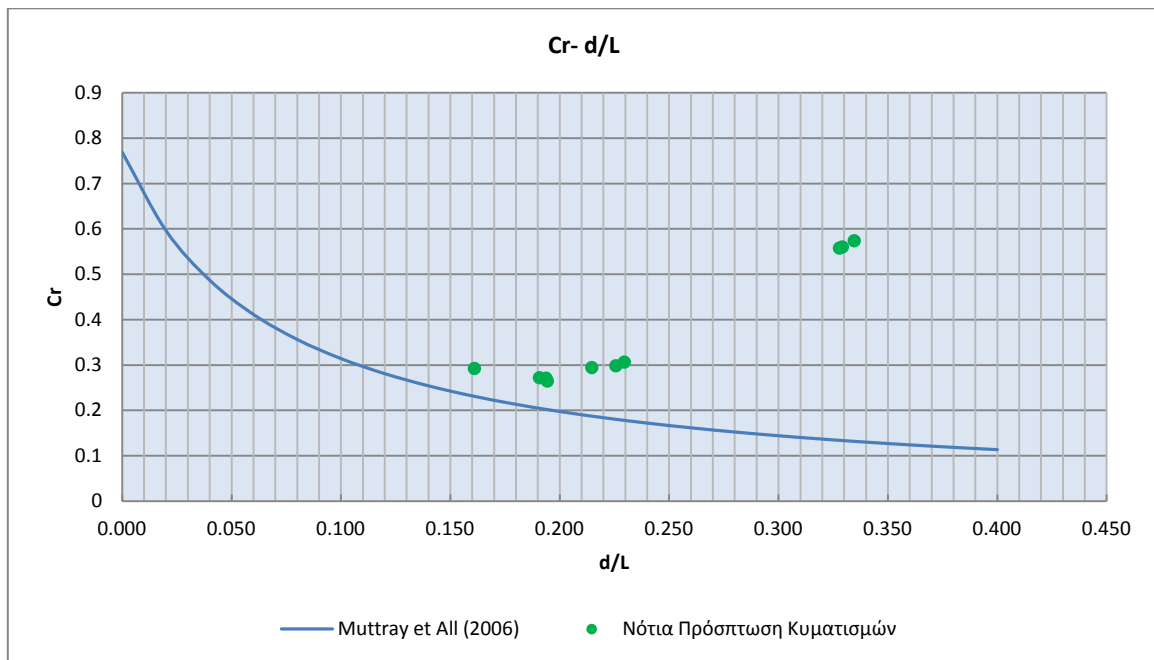
5.1.1. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την αδιάστατη ποσότητα d/L (σχετικό βάθος νερού) και σύγκριση με την σχέση των Muttray et Al (2006). Υπενθυμίζεται ότι ο τύπος παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$C_r = \frac{1}{1.3 + 3 * \frac{d}{L} * 2 * \pi} \quad (2.6)$$

όπου:

d : το βάθος στον πόδα της κατασκευής και

L : το μήκος κύματος.



5.1.2. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο Iribaren και σύγκριση με τους τύπους των Allsop και Hettirachi (1998) και Zanuttigh and Van der Meer(2005).

Ο τύπος των Allsop και Hettirachi(1998) για την υπό μελέτη κατασκευή(τετράποδα) παίρνει τη μορφή:

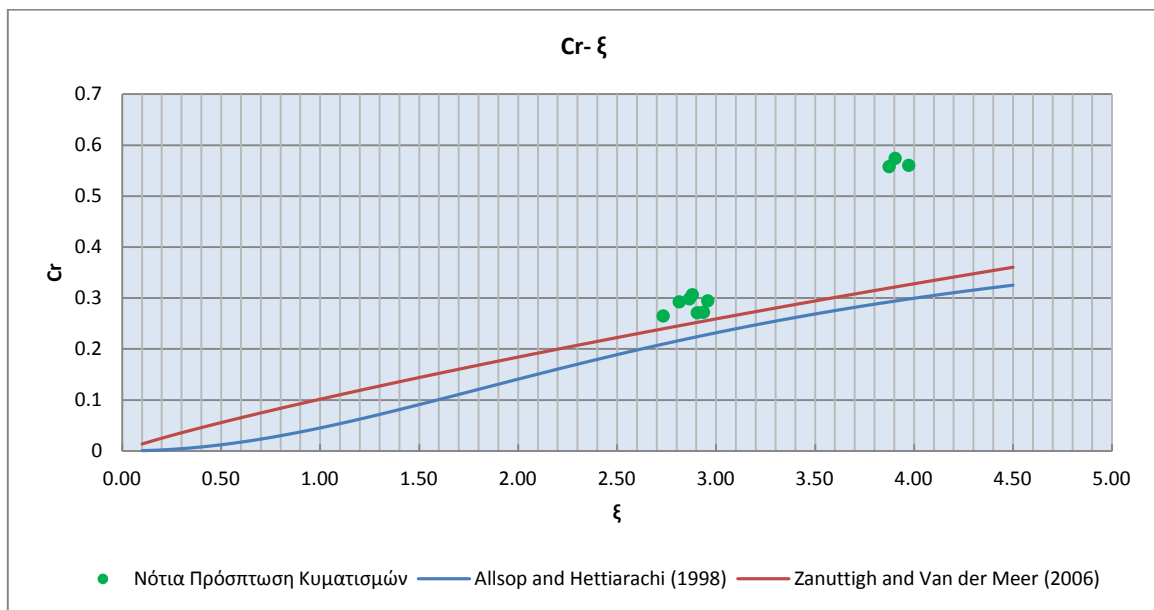
$$Cr = \frac{0,49\xi^2}{(7,94+\xi^2)} \quad (2.4)$$

Όπου ξ ο αριθμός Iribarren , ο οποίος δίνεται από την σχέση:

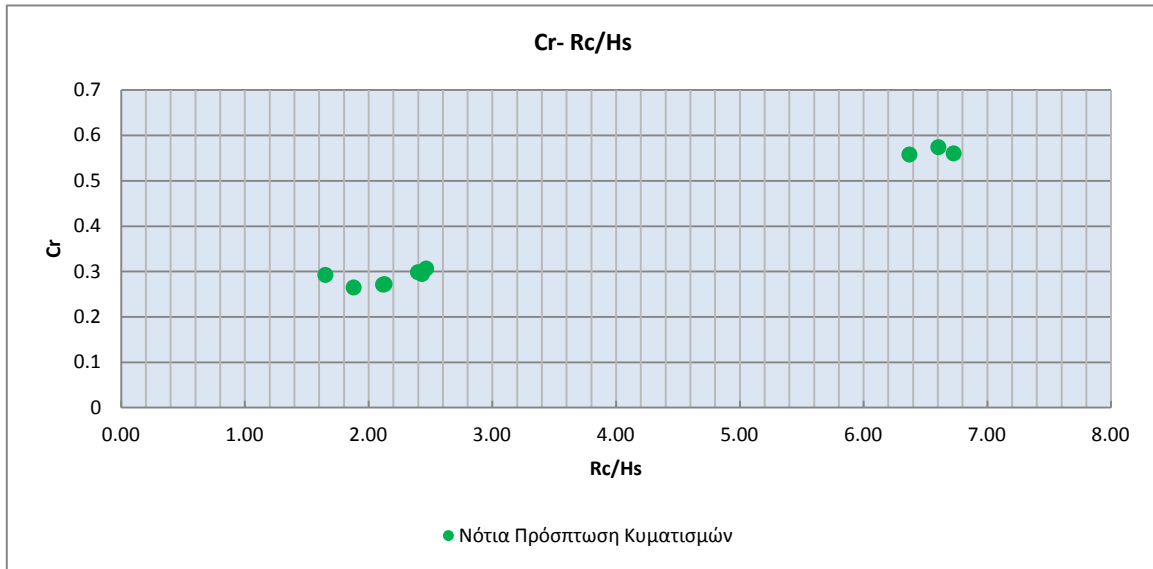
$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H}{gT^2}}} \quad (2.5)$$

Ο τύπος των Zanuttigh and Van der Meer(2005) για την υπό μελέτη κατασκευή(τετράποδα) παίρνει τη μορφή

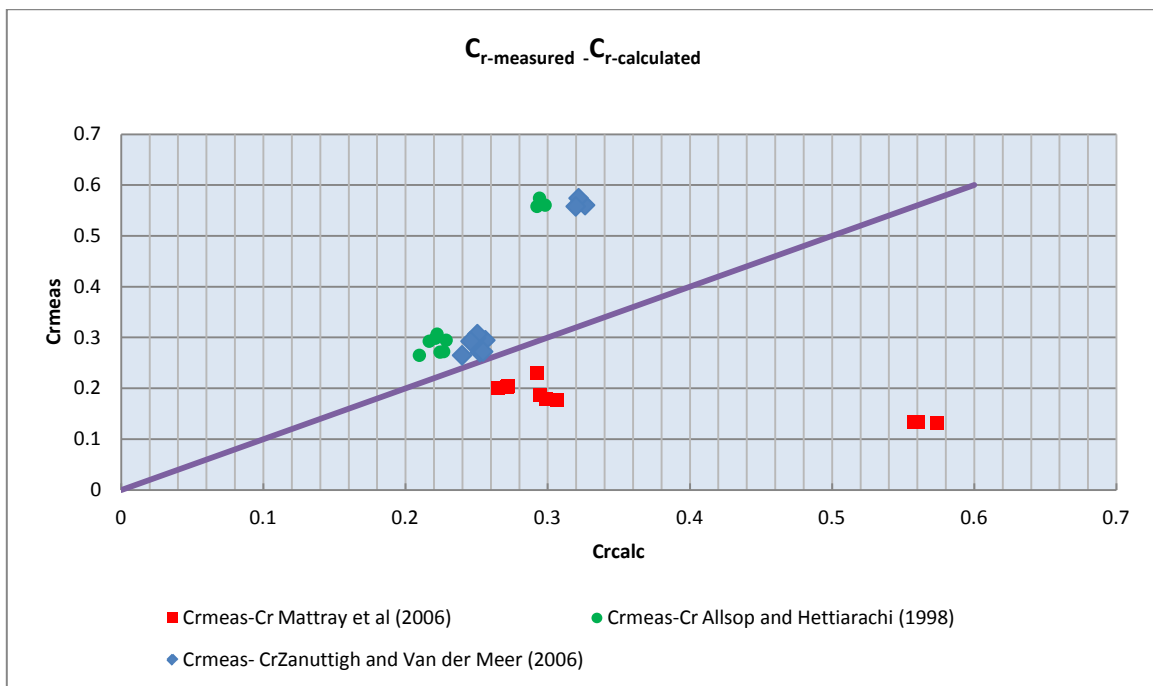
$$C_r = \tanh(0.102\xi_o^{0.87})$$



5.1.3. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο R_c/H_s



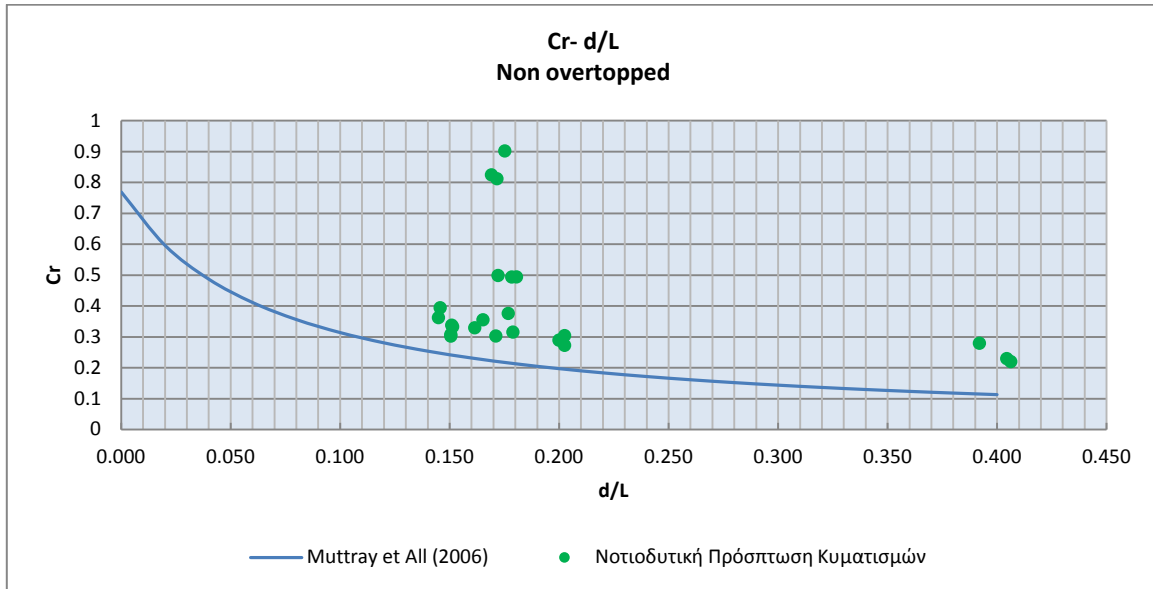
5.1.4. Συσχέτιση του μετρημένου συντελεστή ανάκλασης με τον συντελεστή ανάκλασης που προκύπτει από τους θεωρητικούς τύπους.



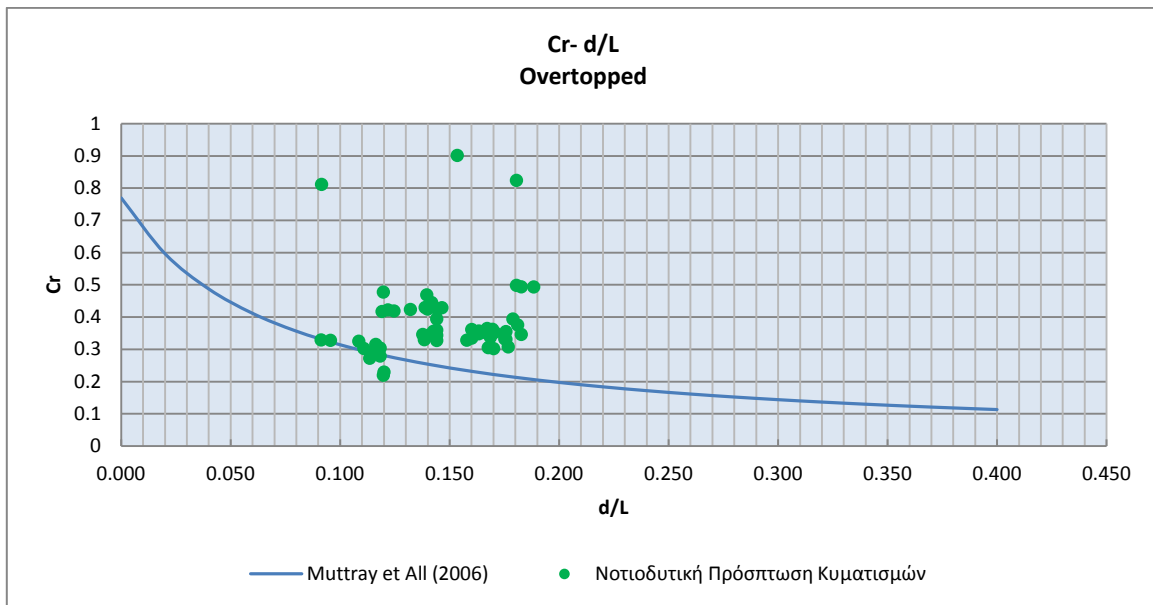
Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι οι τύποι των Zanuttighi and Van der Meer και Allsop and Hettiarachi υποεκτιμούν τον συντελεστή ανάκλασης σε σχέση και με το μετρημένο και με τον τύπο του Matrray.

5.2. Νοτιοδυτική Διεύθυνση

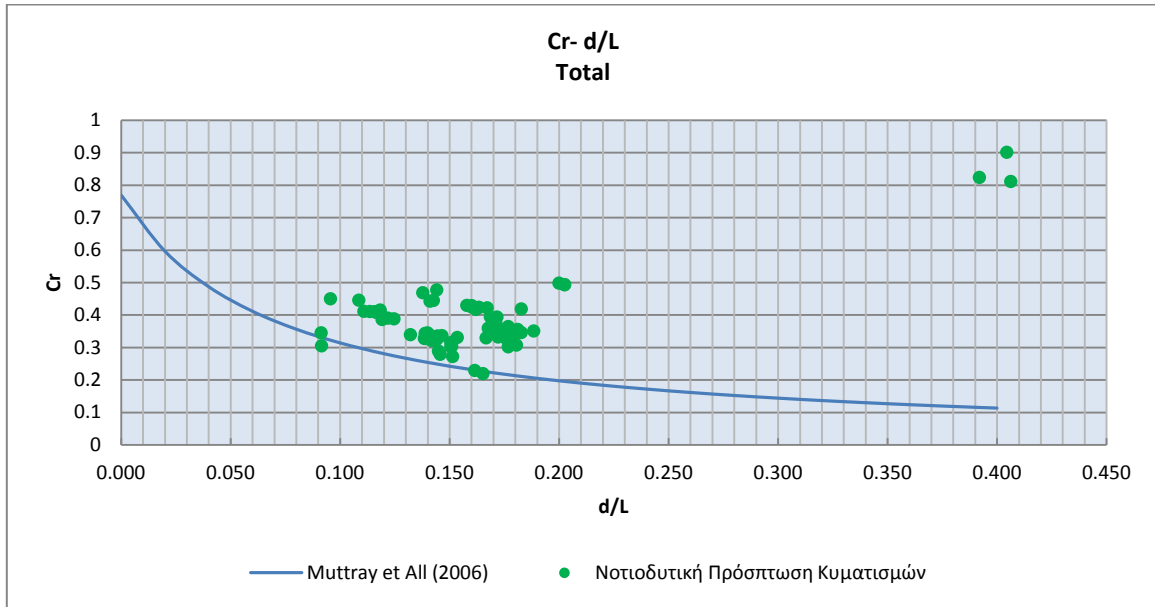
5.2.1. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο d/L και σύγκριση με τον τύπο των Muttray et Al(2006) για μη υπερπηδούμενους κυματισμούς.



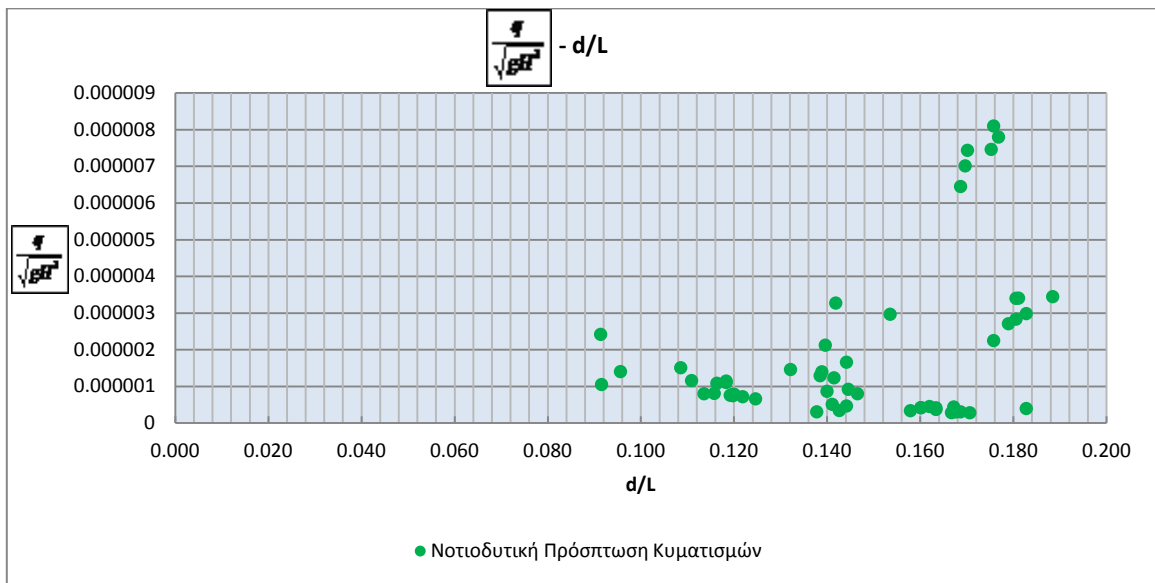
5.2.2. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο d/L (σχετικό βάθος) και σύγκριση με τον τύπο των Muttray et Al(2006) για υπερπηδούμενους κυματισμούς.



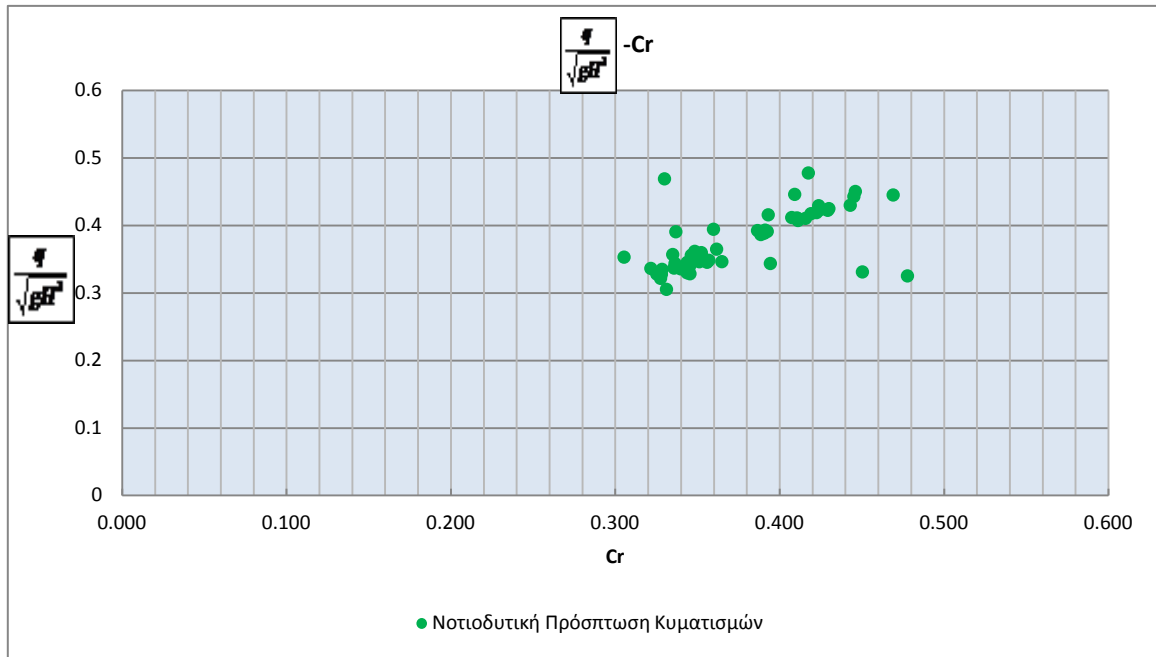
5.2.3. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο d/L και σύγκριση με τον τύπο των Muttray et Al(2006) για όλους τους κυματισμούς.



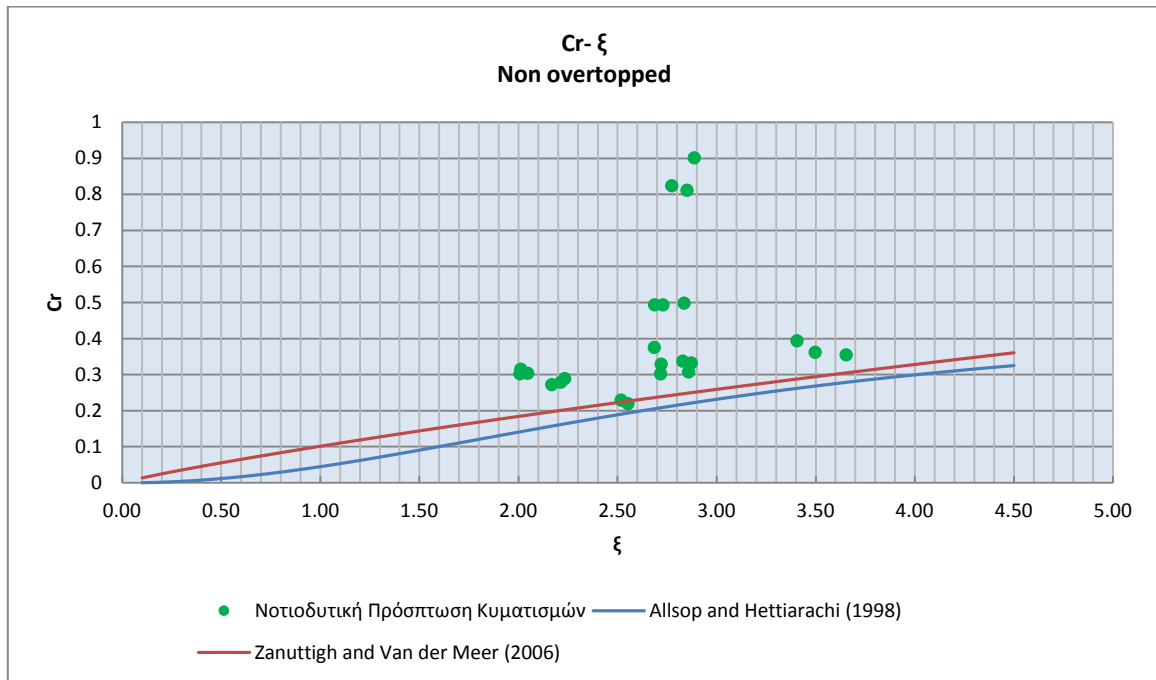
5.2.4. Συσχέτιση του λόγου $q/\sqrt{gH^3}$ με τον αδιάστατο λόγο d/L



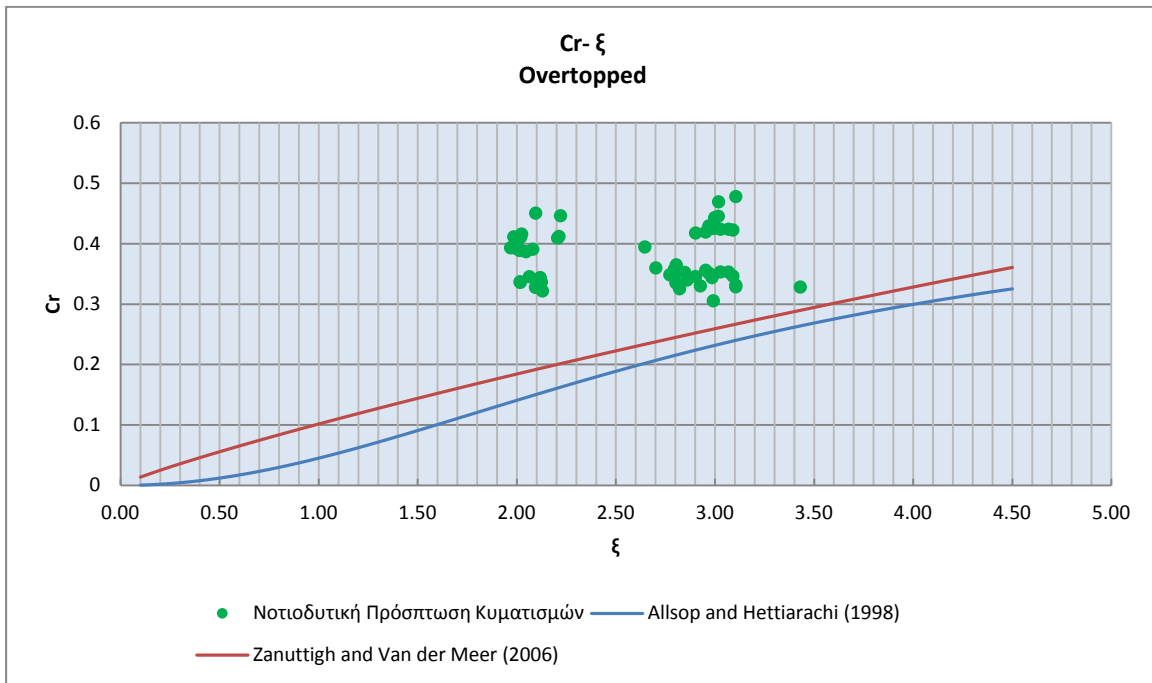
5.2.5. Συσχέτιση του λόγου $q/\sqrt{gH^3}$ με τον συντελεστή ανάκλασης Cr



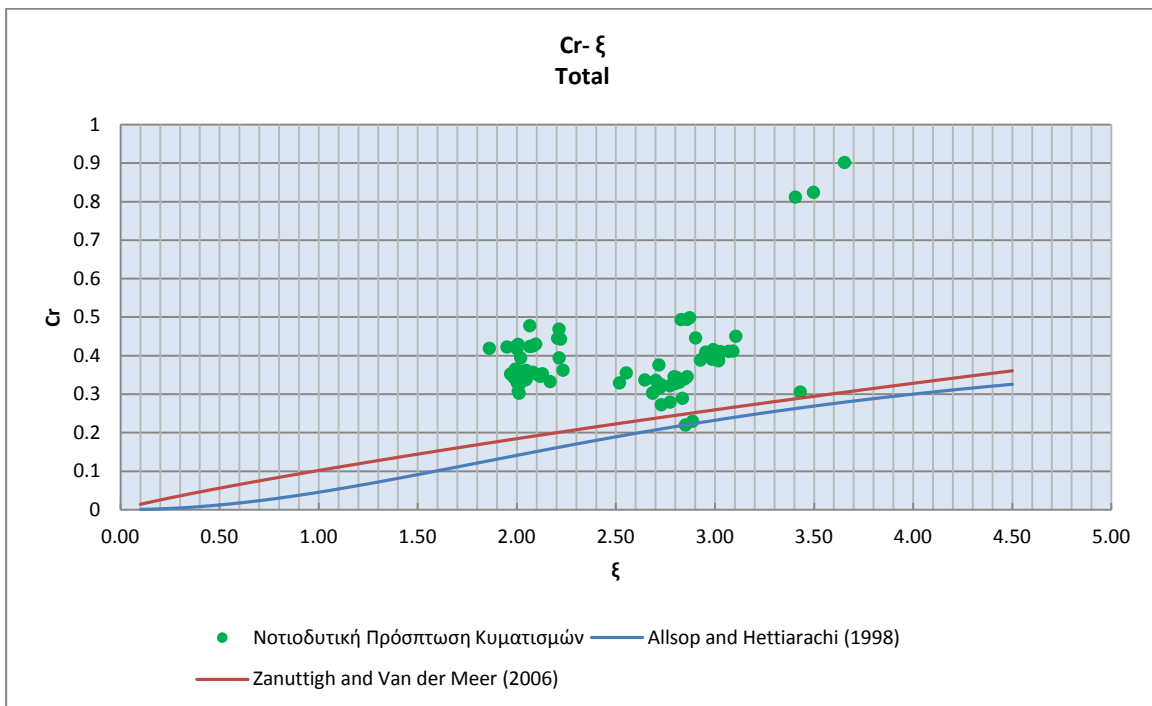
5.2.6. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο Iribarren ξ και σύγκριση με τους τύπους των Allsop και Hettiarachi (1998) και Zanuttigh and Van der Meer(2005) για μη υπερπηδούμενους κυματισμούς



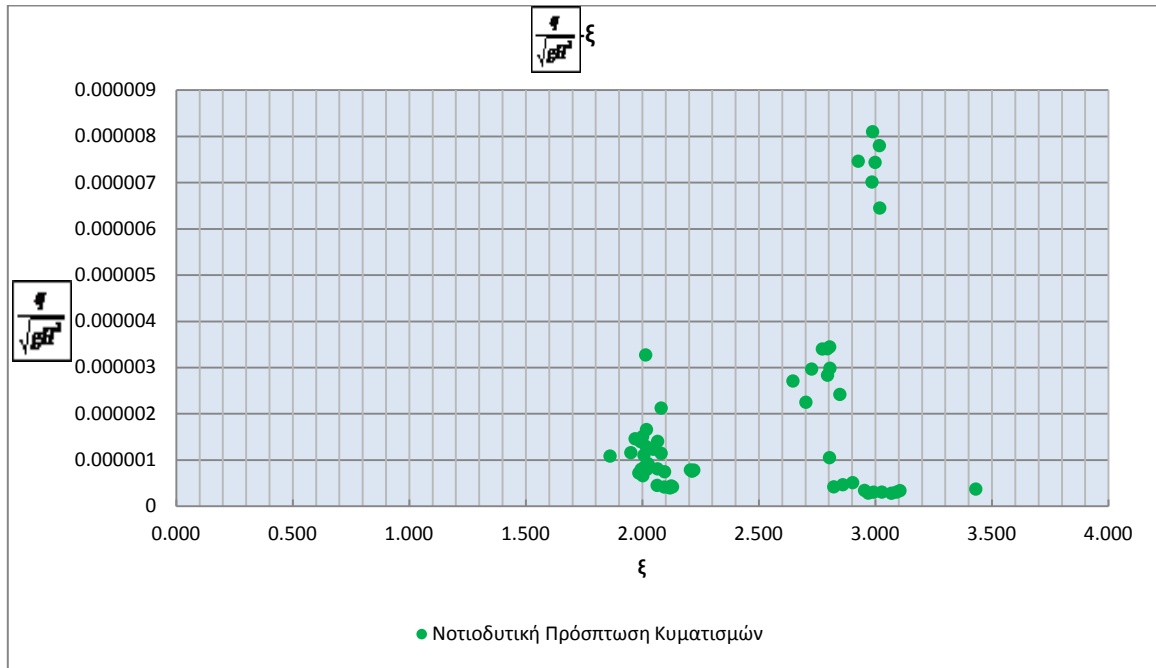
5.2.7. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο Iribaren ξ και σύγκριση με τους τύπους των Allsop και Hettiarachi (1998) και Zanuttigh and Van der Meer(2005) για υπερηδούμενους κυματισμούς



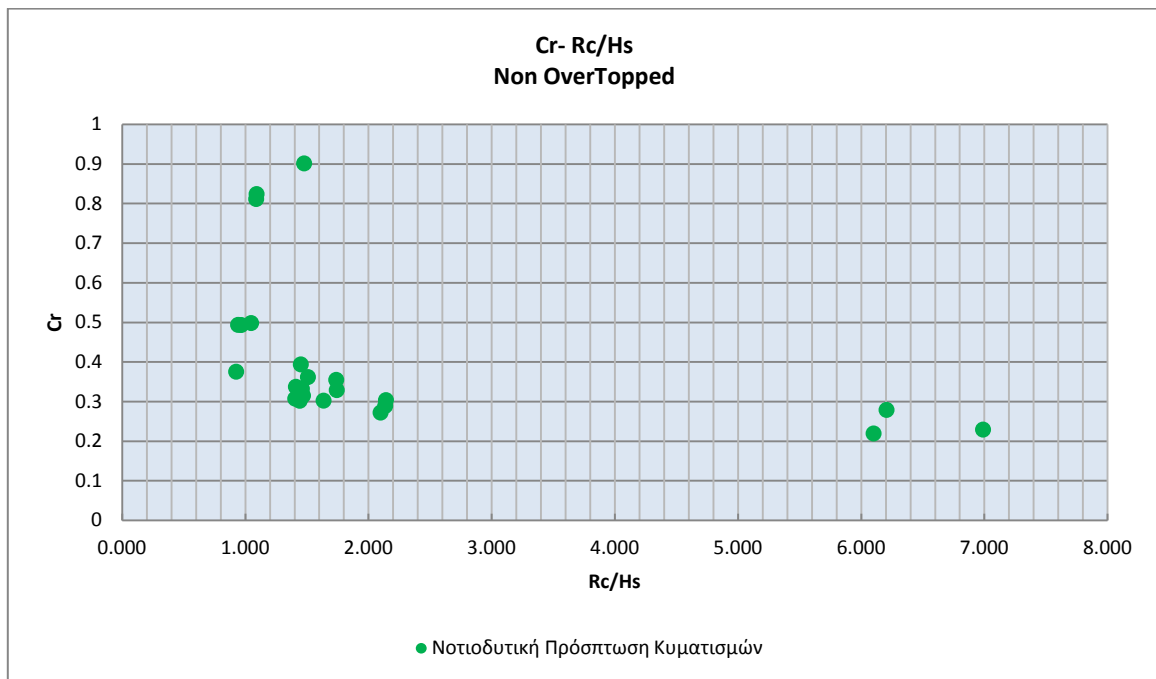
5.2.8. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο Iribaren ξ και σύγκριση με τους τύπους των Allsop και Hettiarachi (1998) και Zanuttigh and Van der Meer(2005) για όλους τους κυματισμούς



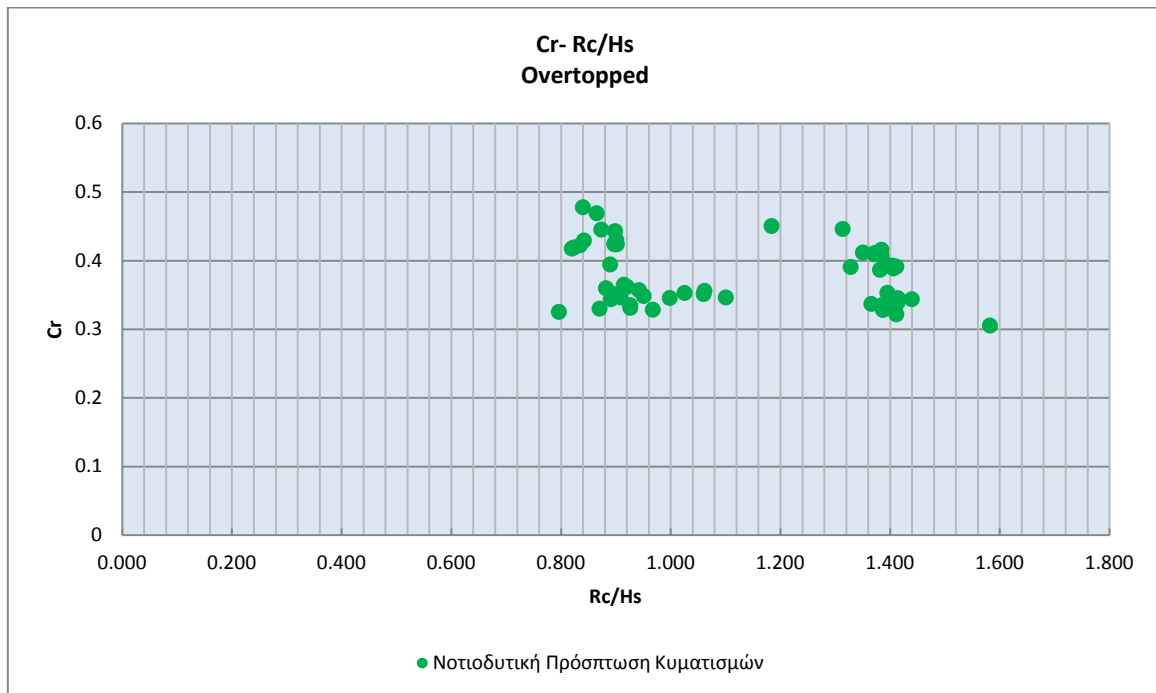
5.2.9. Συσχέτιση του λόγου $q/\sqrt{gH^3}$ με την παράμετρο Iribaren ξ



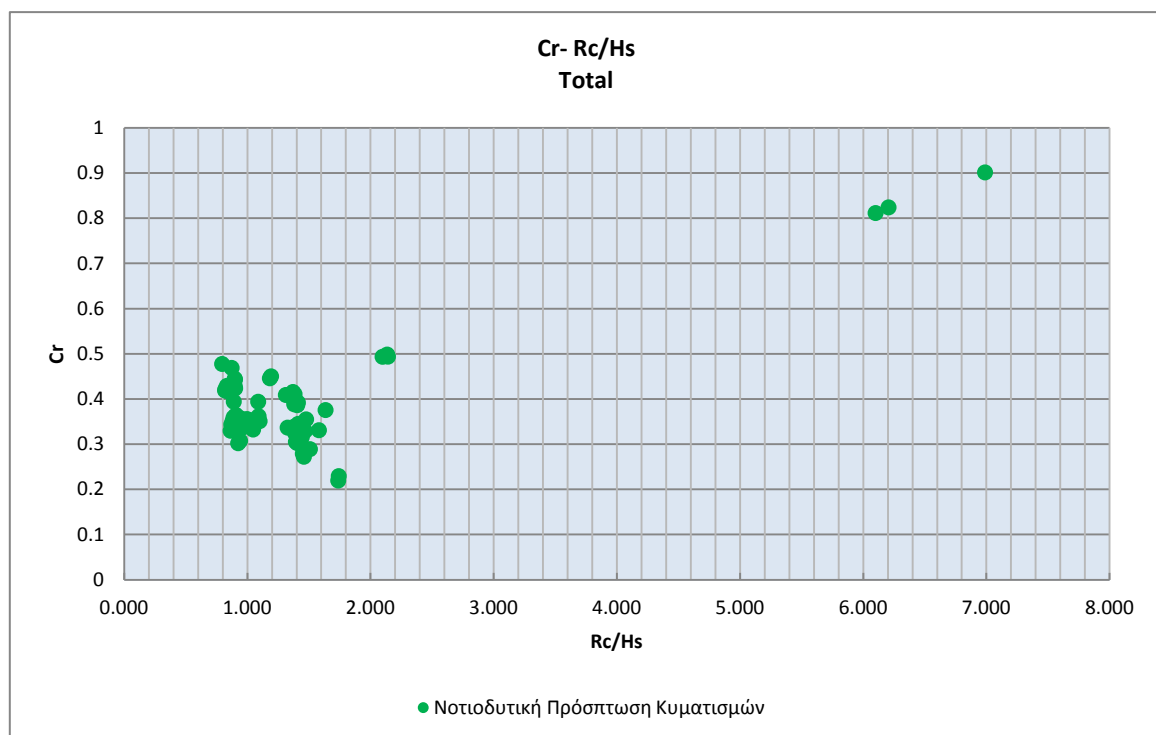
5.2.10. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο Rc/H_s για μη υπερπηδούμενους κυματισμούς



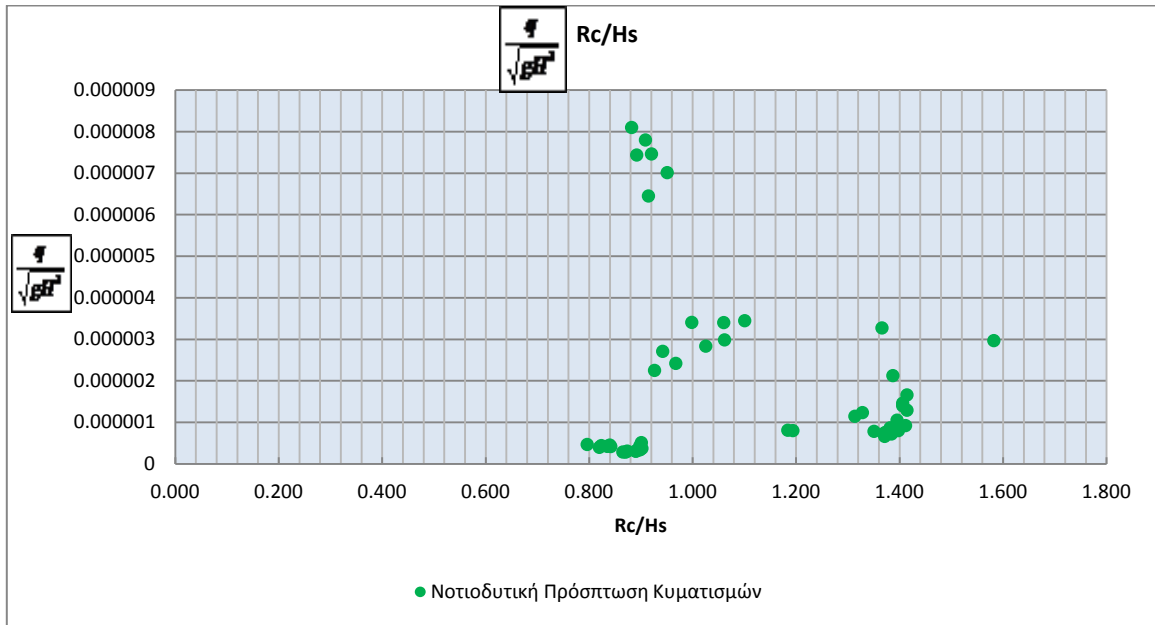
5.2.11. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο R_c/H_s για υπερπηδούμενους κυματισμούς



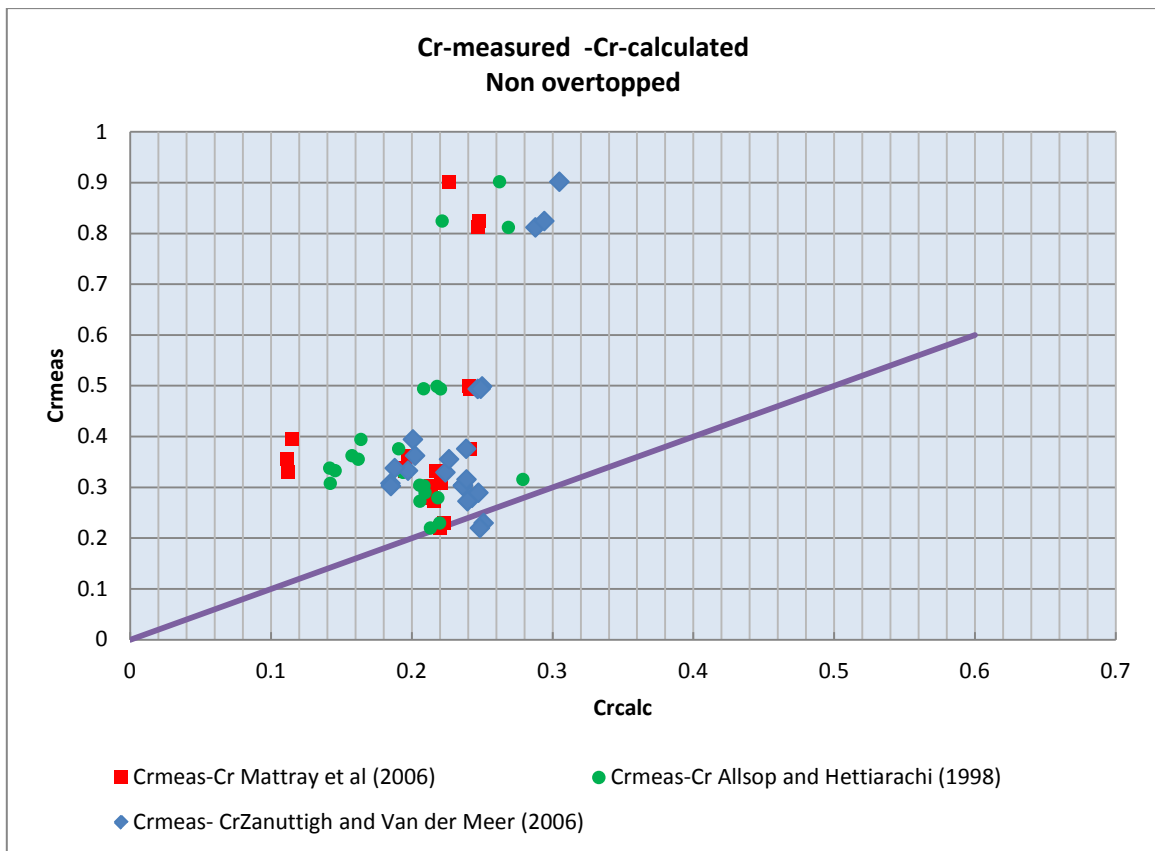
5.2.12. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο R_c/H_s για όλους τους κυματισμούς



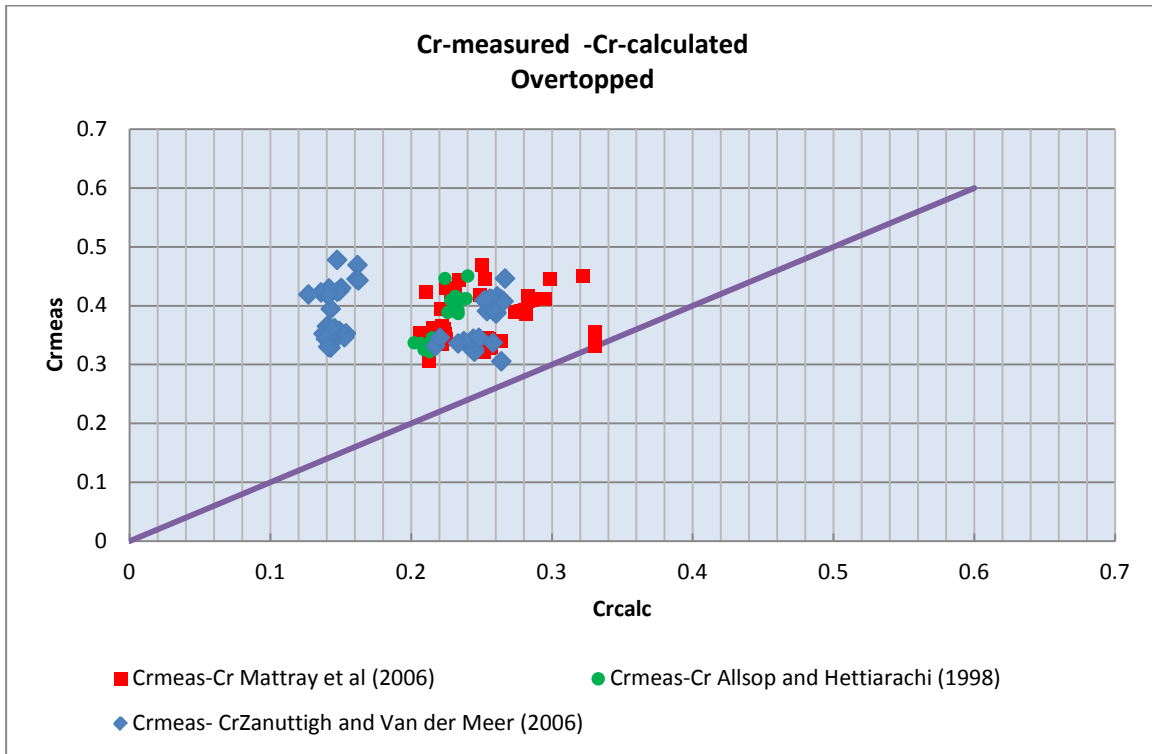
5.2.13. Συσχέτιση της ποσότητας $q/\sqrt{gH^3}$ με τον αδιάστατο λόγο Rc/Hs



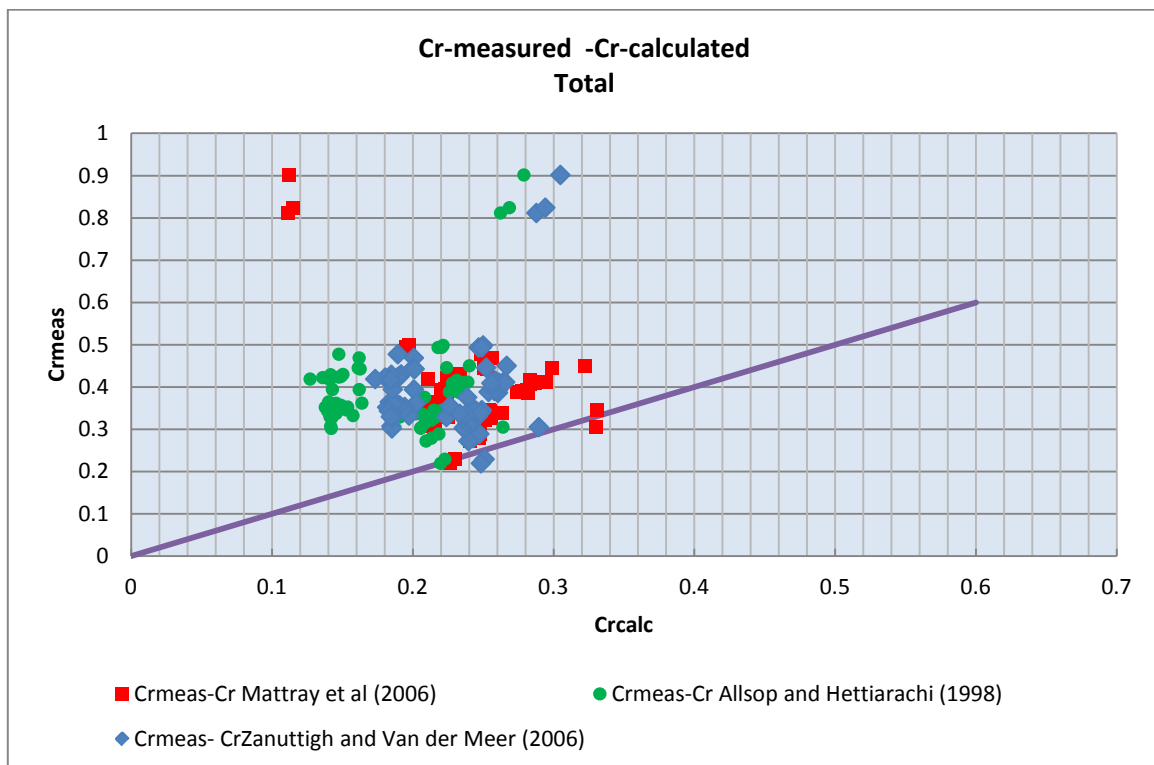
5.2.14. Συσχέτιση του μετρημένου συντελεστή ανάκλασης με τον συντελεστή ανάκλασης που προκύπτει από τους θεωρητικούς τύπους για μη υπερπηδούμενους κυματισμούς.



5.2.15. Συσχέτιση του μετρημένου συντελεστή ανάκλασης με τον συντελεστή ανάκλασης που προκύπτει από τους θεωρητικούς τύπους για υπερπηδούμενους κυματισμούς.

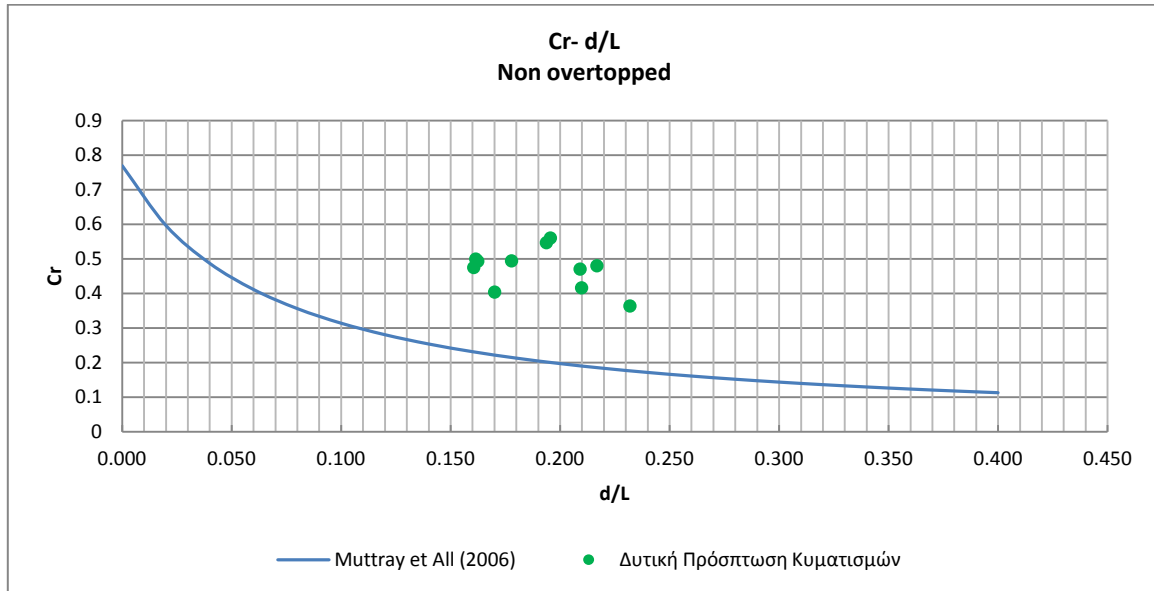


5.2.16. Συσχέτιση του μετρημένου συντελεστή ανάκλασης με τον συντελεστή ανάκλασης που προκύπτει από τους θεωρητικούς τύπους για όλους του κυματισμούς.

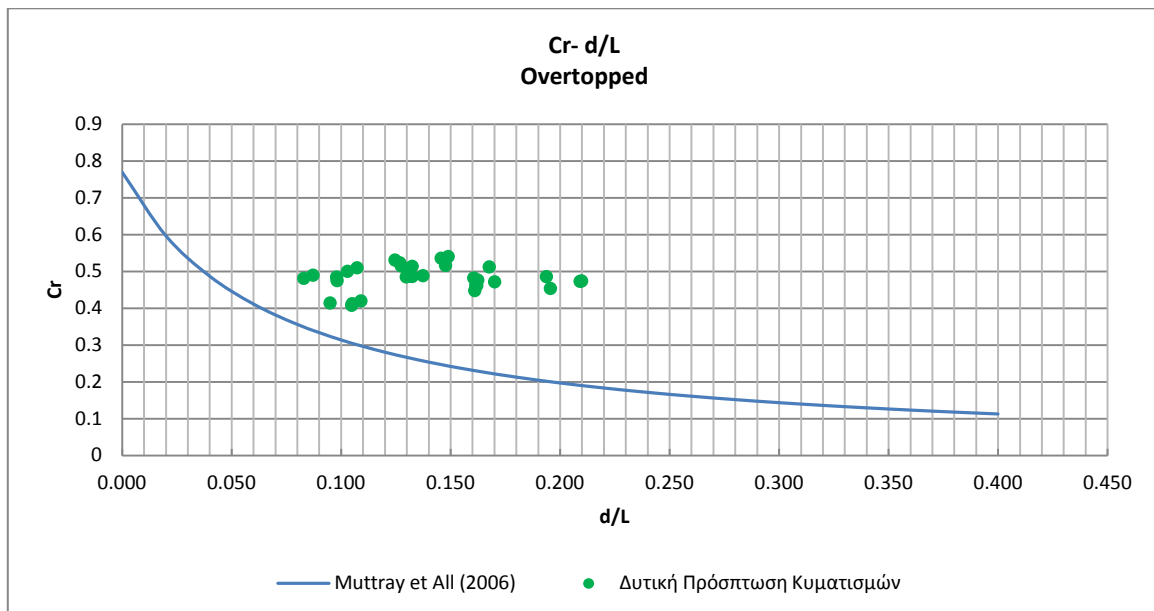


5.3. Δυτική Διεύθυνση

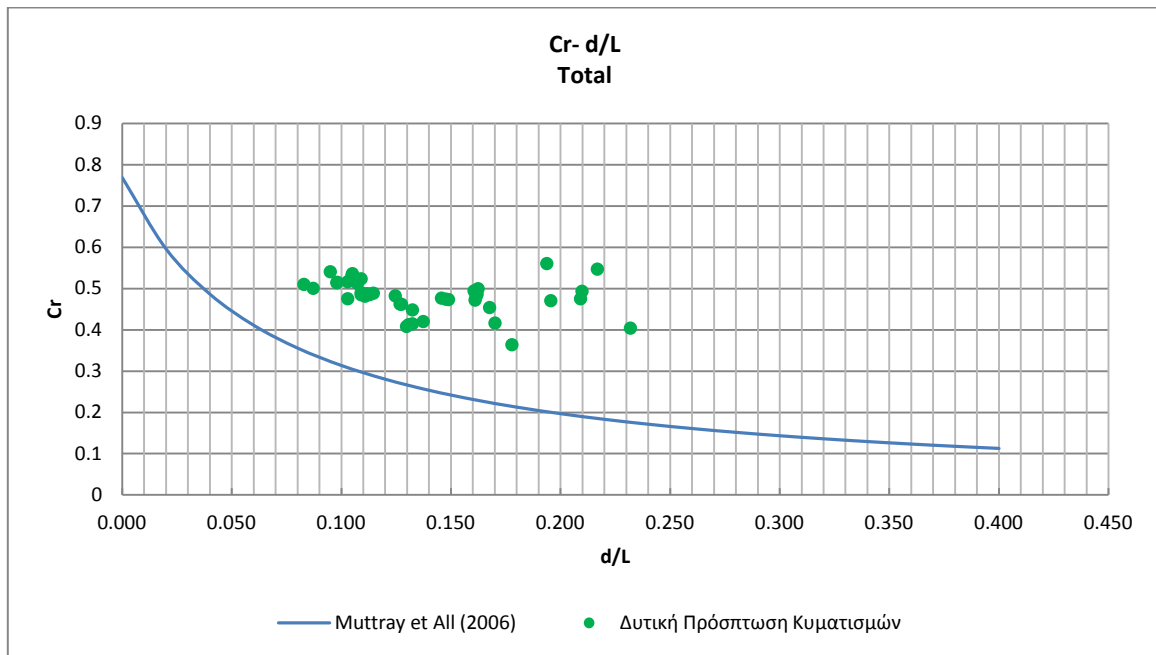
5.3.1. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο d/L και σύγκριση με τον τύπο των Muttray et Al(2006) για μη υπερπηδούμενους κυματισμούς.



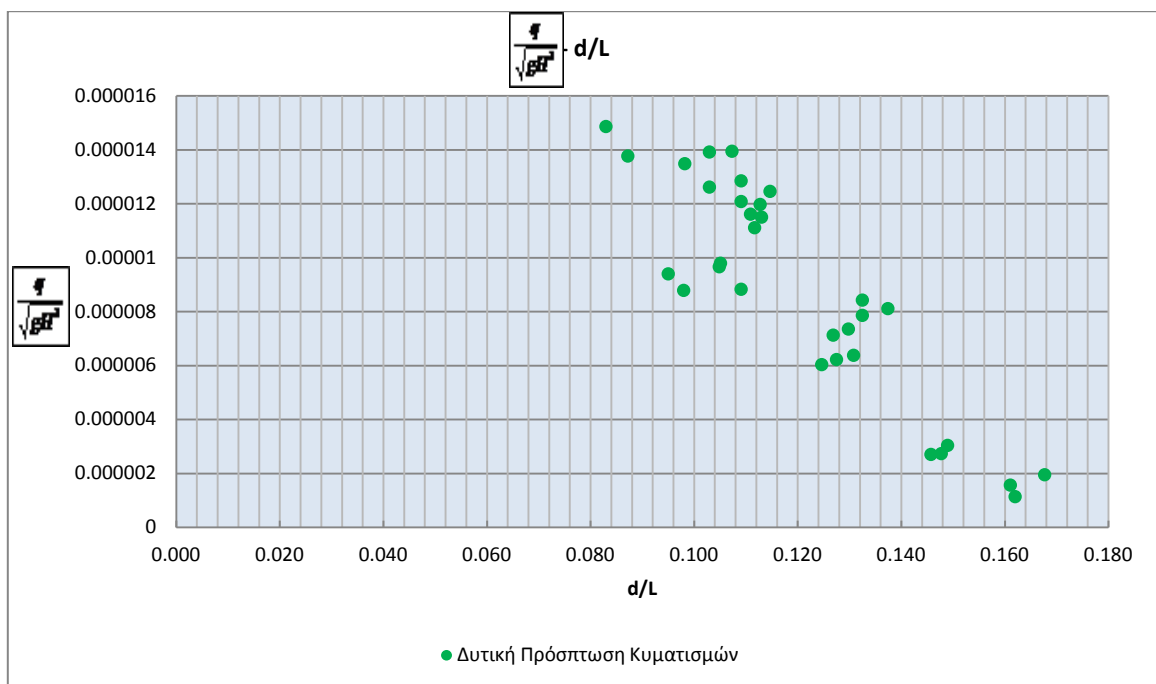
5.3.2. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο d/L και σύγκριση με τον τύπο των Muttray et Al(2006) για υπερπηδούμενους κυματισμούς.



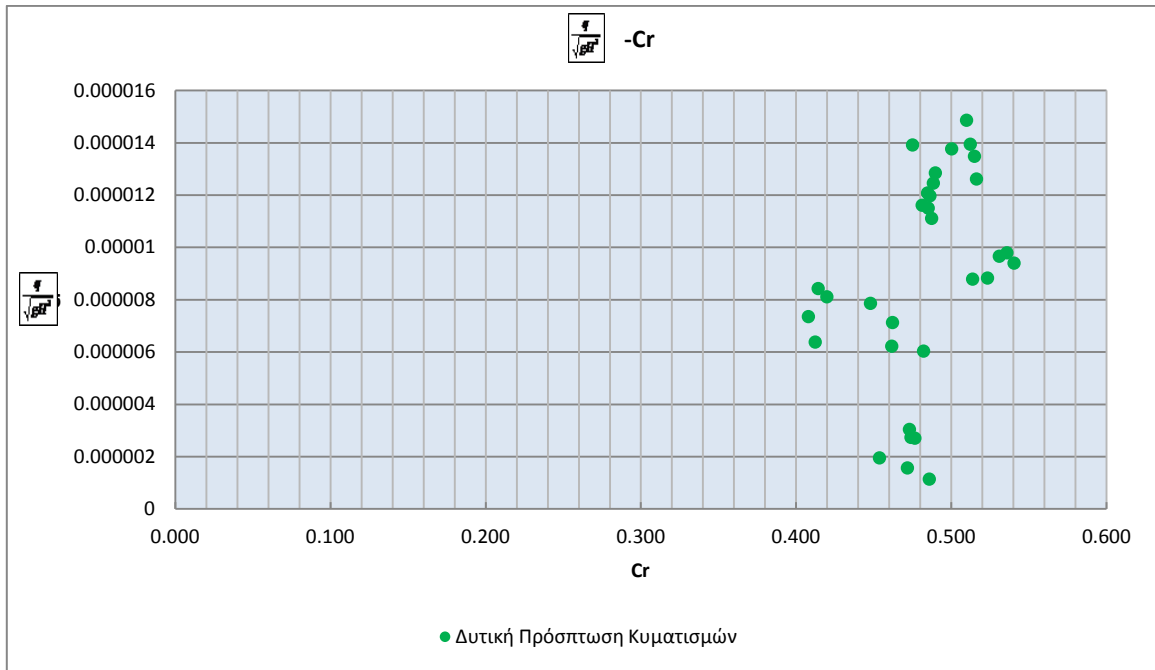
5.3.3. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο d/L και σύγκριση με τον τύπο των Muttray et Al(2006) για όλους τους κυματισμούς.



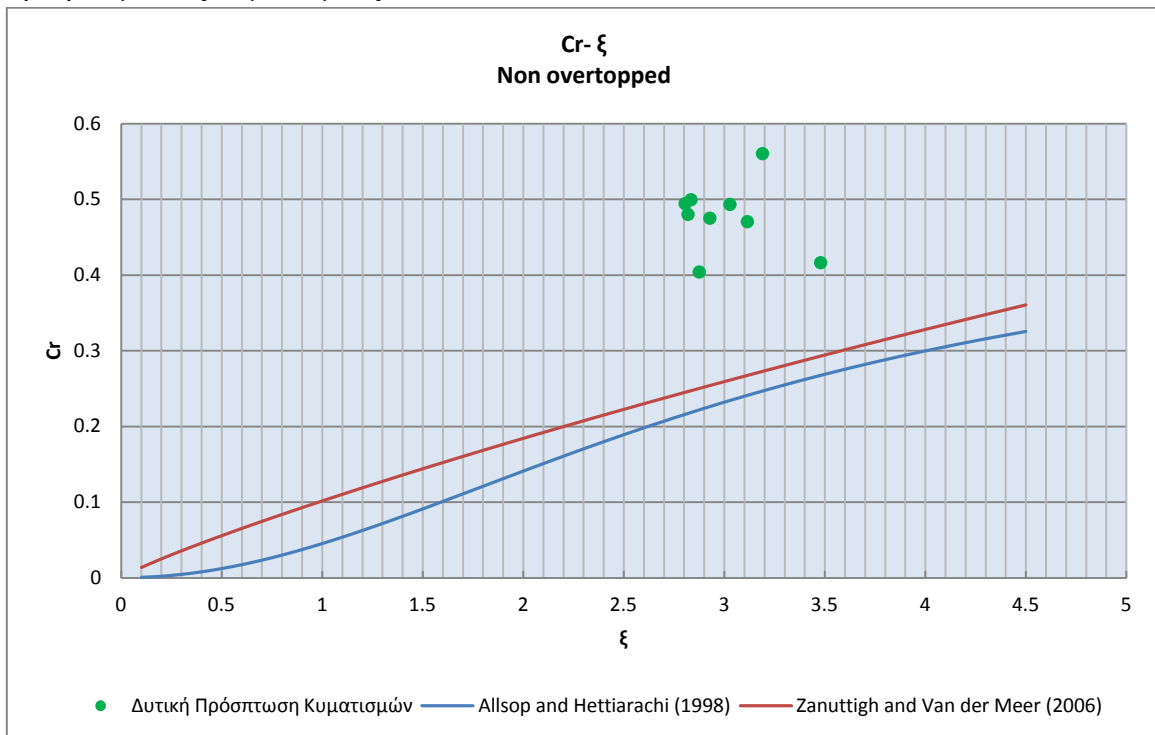
5.3.4. Συσχέτιση του λόγου $q/\sqrt{gH^3}$ με τον αδιάστατο λόγο d/L



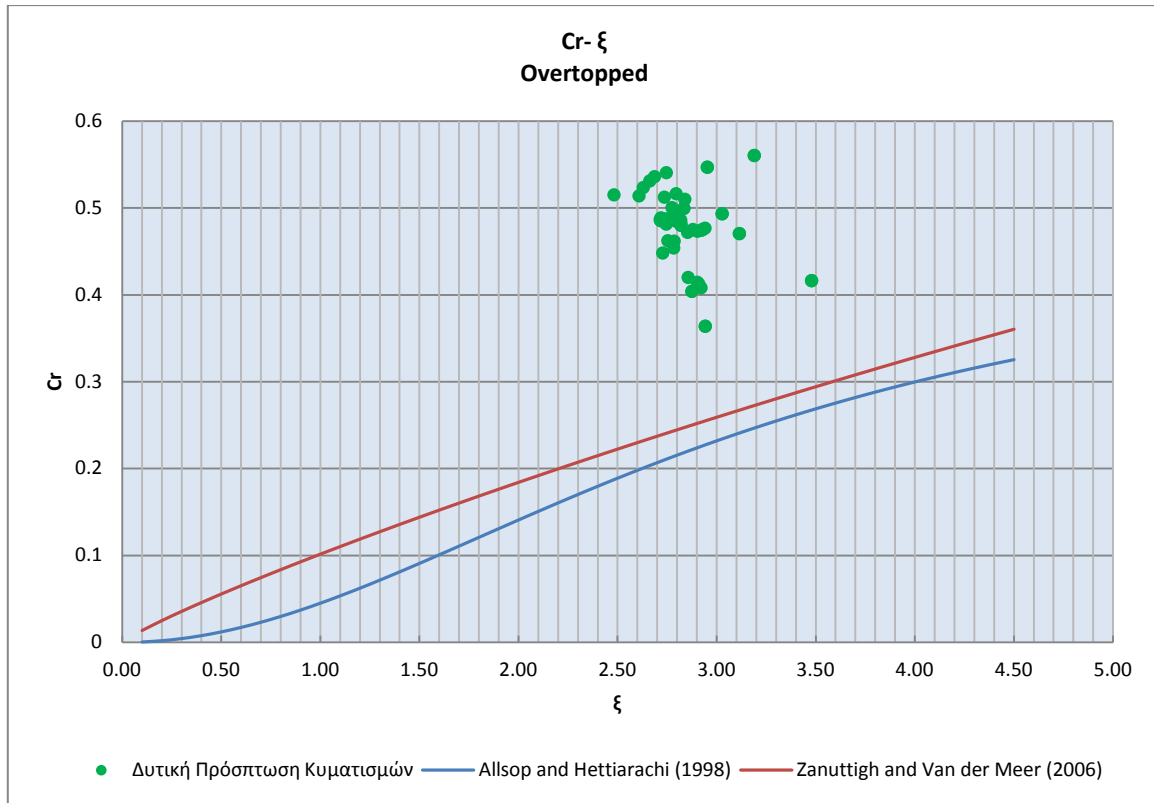
5.3.5. Συσχέτιση του αδιάστατου λόγου $q/\sqrt{gH^3}$ με τον συντελεστή ανάκλασης Cr



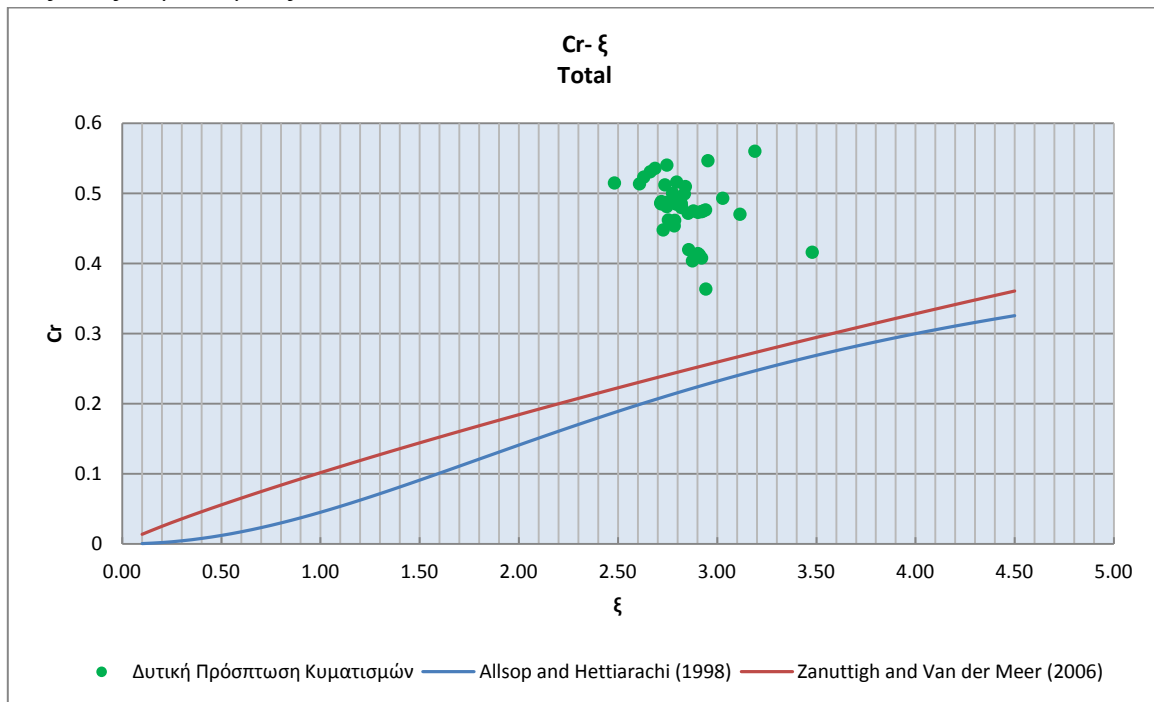
5.3.6. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο Iribaren ξ και σύγκριση με τους τύπους των Allsop και Hettirachi (1998) και Zanuttigh and Van der Meer(2005) για μη υπερπηδούμενους κυματισμούς



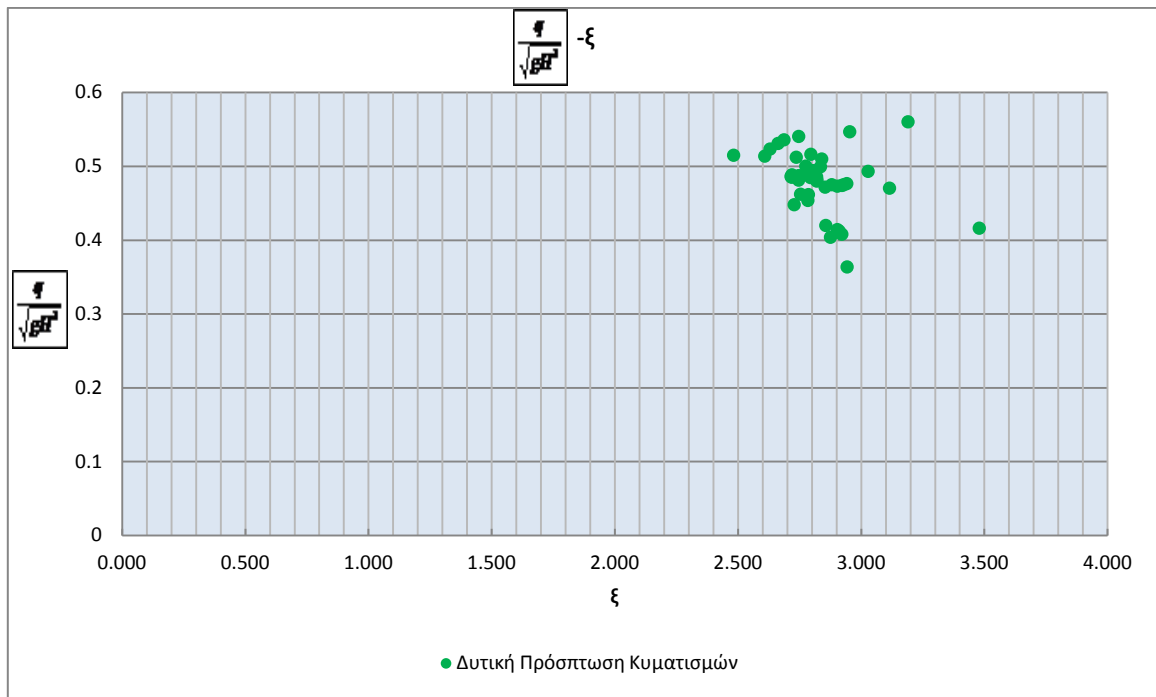
5.3.7. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο Iribaren ξ και σύγκριση με τους τύπους των Allsop και Hettirachi (1998) και Zanuttigh and Van der Meer(2005) για υπερπηδούμενους κυματισμούς



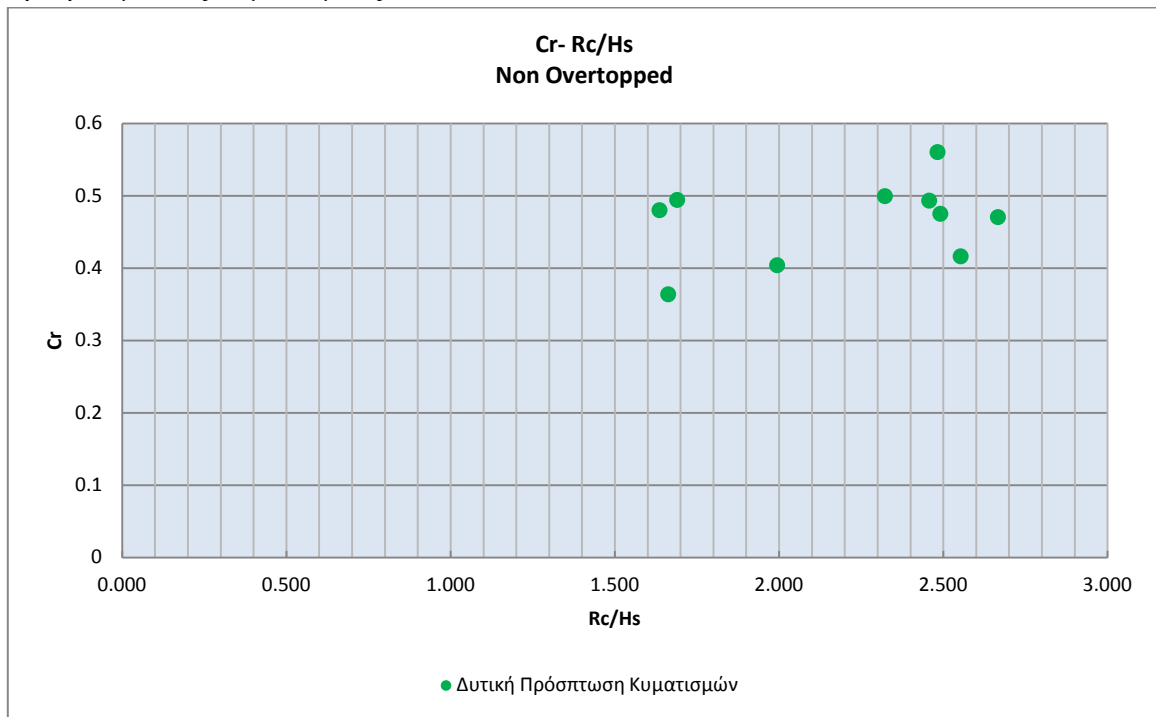
5.3.8. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο Iribaren ξ και σύγκριση με τους τύπους των Allsop και Hettirachi (1998) και Zanuttigh and Van der Meer(2005) για όλους τους κυματισμούς



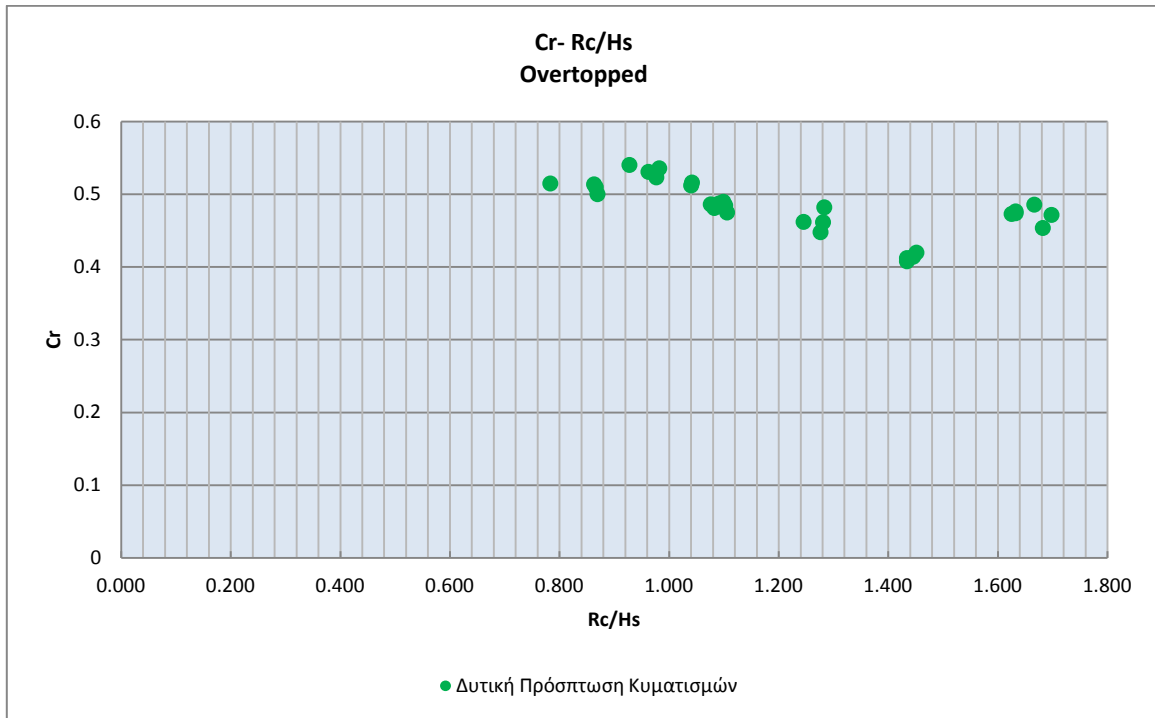
5.3.9. Συσχέτιση της ποσότητας $q/\sqrt{gH^3}$ με την αδιάστατη ποσότητα d/L



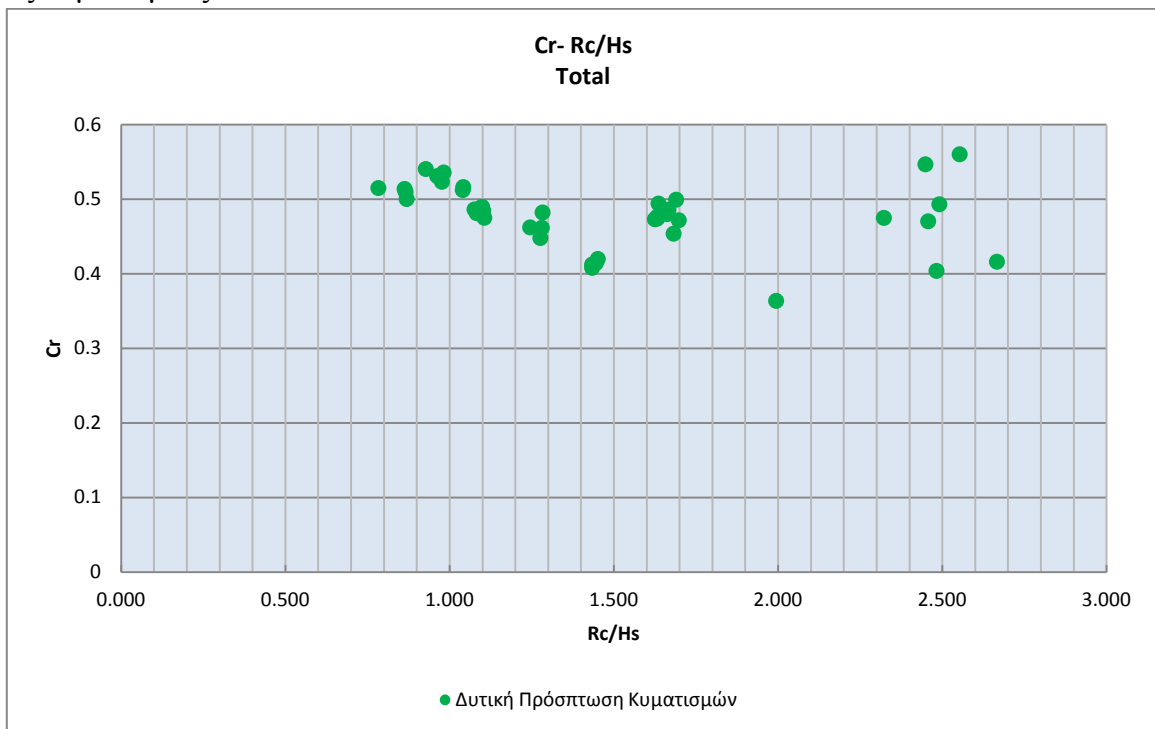
5.3.10. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τον αδιάστατο λόγο Rc/H_s για μη υπερηδούμενους κυματισμούς



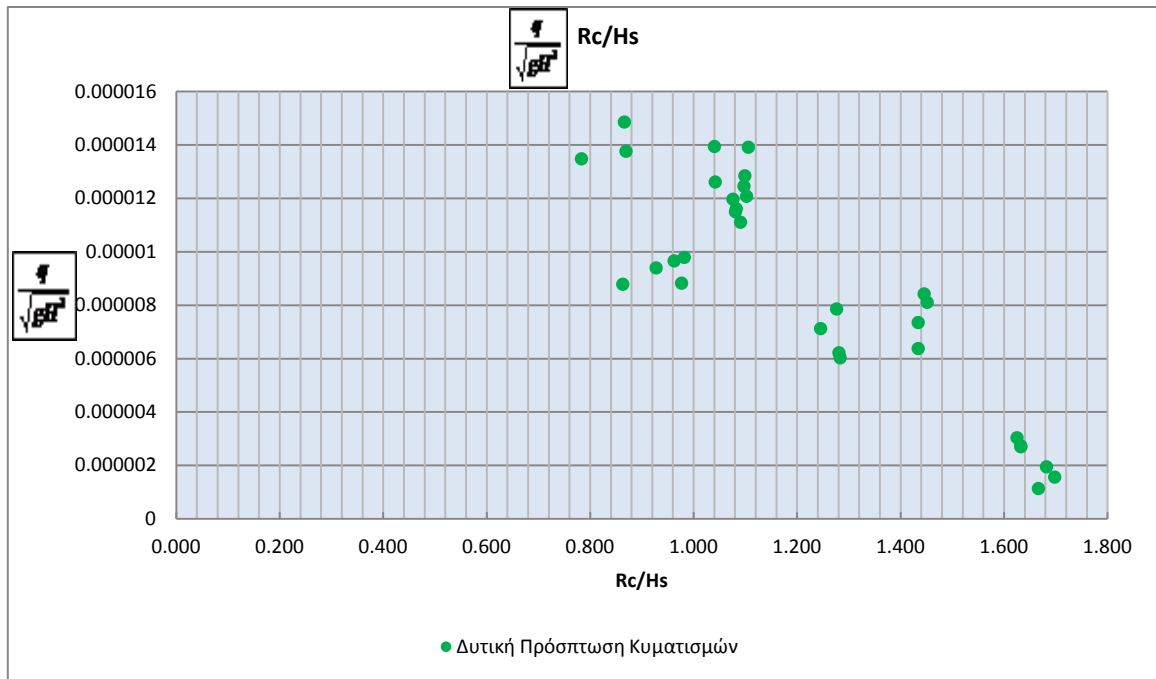
5.3.11. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την αδιάστατη ποσότητα R_c/H_s για υπερπηδούμενους κυματισμούς



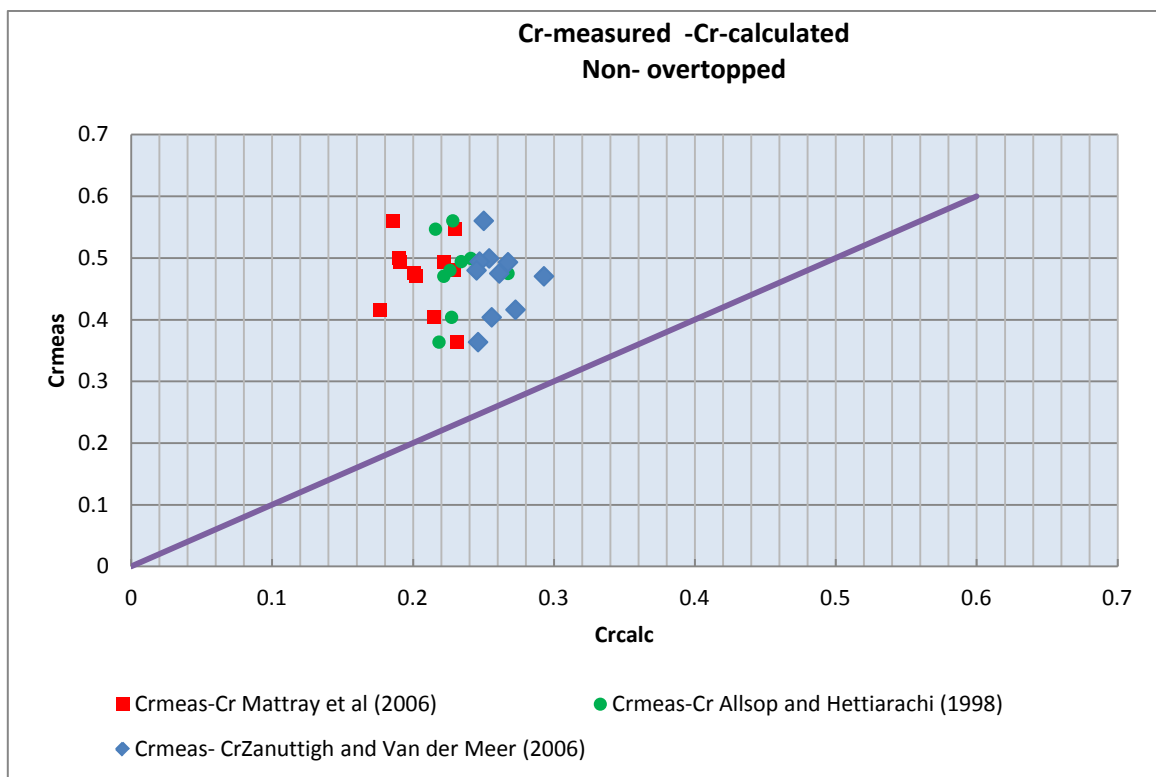
5.3.12. Συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την αδιάστατη ποσότητα R_c/H_s για όλους τους κυματισμούς



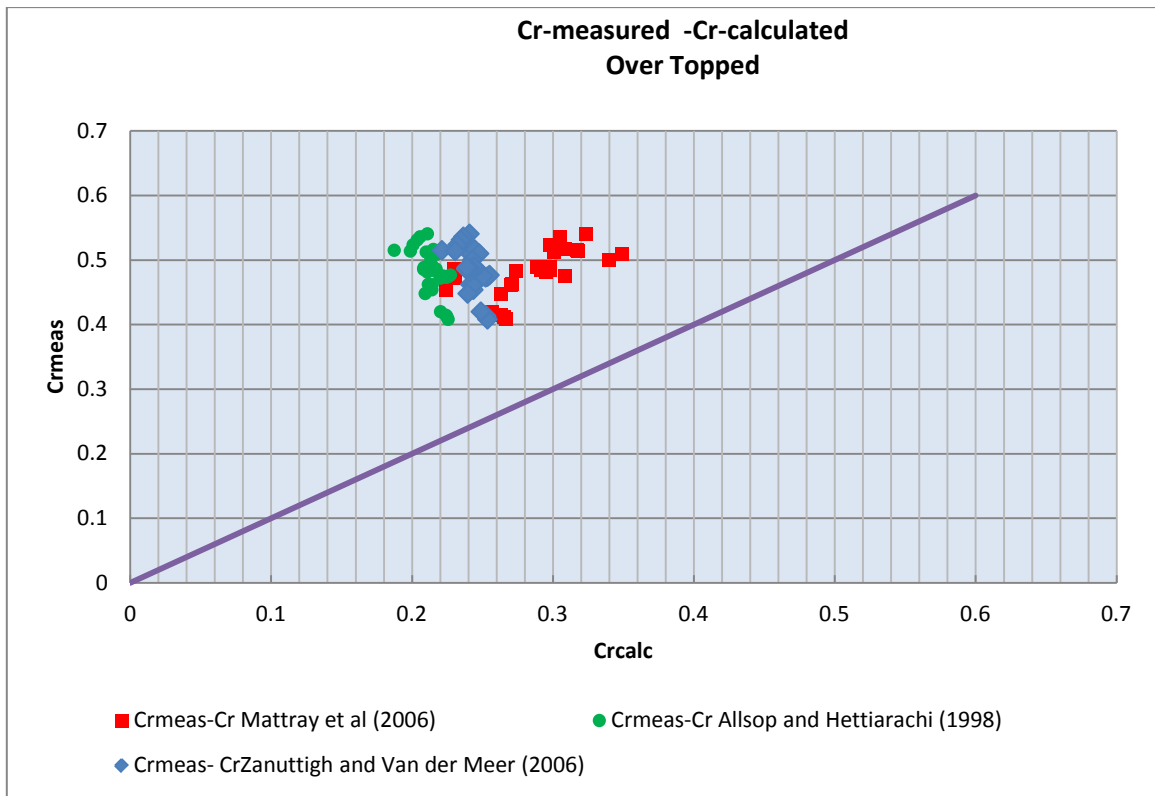
5.3.13. Συσχέτιση της ποσότητας $q/\sqrt{gH^3}$ με την αδιάστατη ποσότητα Rc/Hs



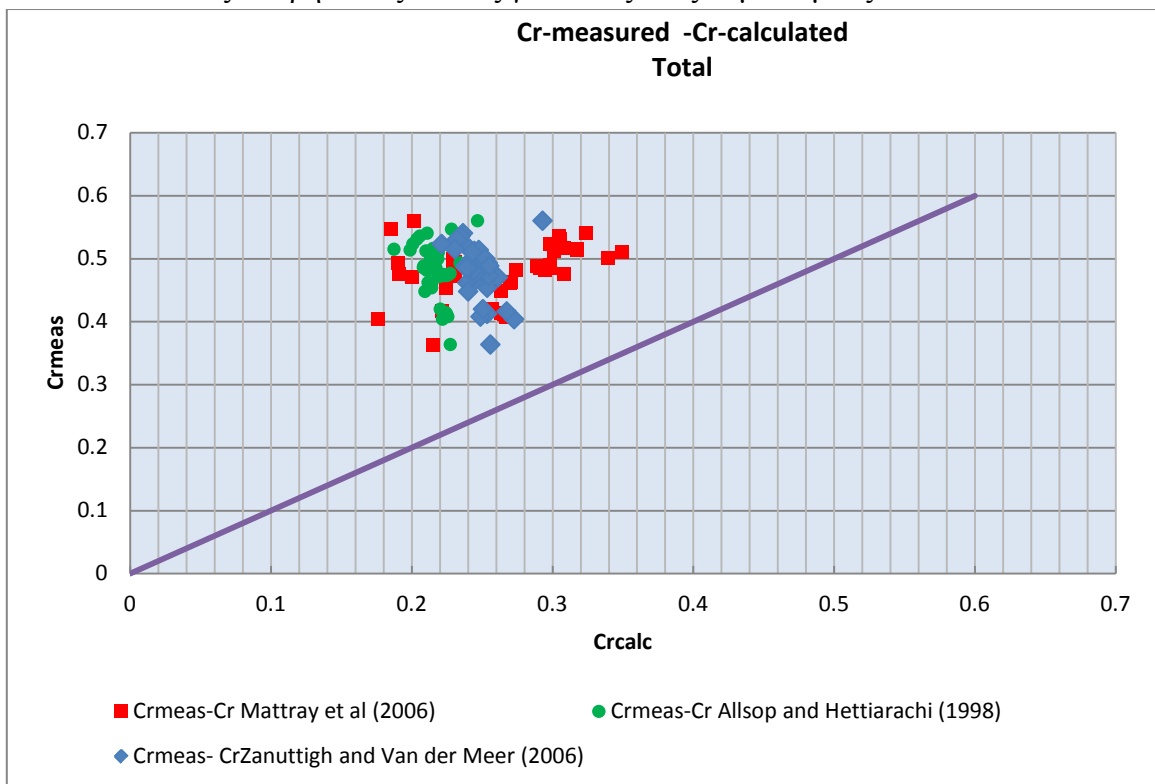
5.3.14. Συσχέτιση του μετρημένου συντελεστή ανάκλασης με τον συντελεστή ανάκλασης που προκύπτει από τους θεωρητικούς τύπους για μη υπερπηδούμενους κυματισμούς.



5.3.15. Συσχέτιση του μετρημένου συντελεστή ανάκλασης με τον συντελεστή ανάκλασης που προκύπτει από τους θεωρητικούς τύπους για υπερπηδούμενους κυματισμούς.



5.3.16. Συσχέτιση του μετρημένου συντελεστή ανάκλασης με τον συντελεστή ανάκλασης που προκύπτει από τους θεωρητικούς τύπους για όλους τους κυματισμούς.



6. Συμπεράσματα

Η ανάκλαση και η υπερπήδηση μίας κατασκευής είναι, όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διπλωματικής, φαινόμενα τα οποία εκτός της θεωρητικής ανάλυσης χρειάζονται εργαστηριακές μετρήσεις επί τρισδιάστου φυσικού προσομοιώματος, προκειμένου να ληφθούν υπόψη όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν τα συγκεκριμένα φαινόμενα

6.1. Συγκριτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων κυματικής υπερπήδησης

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων της κυματικής υπερπήδησης εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Επιβεβαιώνεται ότι η κρισιμότερη διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμών είναι η Νοτιοδυτική, η οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι σχεδόν κάθετη στον άξονα του έργου..
- Παρατηρείται ότι για δεδομένο ύψος κύματος καθώς μειώνεται η περίοδος μειώνεται η παροχή της κυματικής υπερπήδησης όπως ήταν αναμενόμενο.
- Επιβεβαιώνεται ότι υπερπήδηση θαλάσσιας κατασκευής από κυματισμούς αυξάνεται με την αύξηση των χαρακτηριστικών μεγεθών (H_s , T_p) του προσπίπτοντος κυματισμού.
- Παρατηρείται ότι η αδιάστατη παροχή υπερπήδησης συσχετίζεται με τον λόγο R_c/H_s
- Επίσης παρατηρείται συσχέτιση της αδιάστατης παροχής υπερπήδησης και του λόγου d/L
- Τέλος η υπερπήδηση φαίνεται ότι συσχετίζεται και με τον συντελεστή ανάκλασης C_r

6.2. Συγκριτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων ανάκλασης κυμάτων

- Φαίνεται ότι υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στον συντελεστή ανάκλασης C_r και την υπερπήδηση καθώς και την αδιάστατη ποσότητα R_s/H_s , ο οποία μπορεί να διερευνηθεί με τη διεξαγωγή παραπάνω αριθμού μετρήσεων.
Όσον αφορά τον συντελεστή ανάκλασης παρατηρούνται τα ακόλουθα:
- Ο μετρηθείς συντελεστής ανάκλασης στο σύνολο των μετρήσεων είναι μεγαλύτερος από ότι οι εκτιμηθέντες με όλους τους τύπους που χρησιμοποιήθηκαν
- Ο μετρηθείς συντελεστής ανάκλασης συσχετίζεται ικανοποιητικά με τον λόγο d/L και συνεπώς και με τον τύπο του Muttray.
- Επίσης ο συντελεστής ανάκλασης φαίνεται να συσχετίζεται και με τον λόγο R_c/H_s , όχι όμως καλά με την παράμετρο ξ .
- Καλύτερη συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης παρουσιάζεται για την Νοτιοδυτική διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμών (σχεδόν κάθετη στον μόλο)

- Ο συντελεστής ανάκλασης στην περίπτωση των υπερπηδούντων κυμάτων ήταν πάντοτε μικρότερος του 0.6, ενώ σε μη υπερπηδώντα κύματα παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές του συντελεστή ανάκλασης που φθάνει το 0.90.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το φυσικό προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν τρισδιάστατο, ότι ο πυθμένας ήταν πολύ απότομος στην περιοχή εκτίμησης του συντελεστή ανάκλασης και ότι η κλίση των πρανών ήταν πιο απότομη στην πραγματικότητα από όσο στα Σχέδια και τους υπολογισμούς (τόσο στο πρωτότυπο όσο και στο φυσικό προσομοίωμα)

7. Βιβλιογραφία

- Γιαντσή Θ. (2014), *“Προσομοίωση Λιμενικών Έργων”*, Σημειώσεις για το μάθημα Πειραματική Υδραυλική 8^ο εξαμήνου Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, σελ. 2
- Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (2014), Τεχνική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος *“Εργαστηριακή Μελέτη σε Φυσικό Προσομοίωμα Βελτιώσεως Κυματικών Συνθηκών στον Λιμένα Μαύρης Λιμνώνας Χώρας Σφακίων”*
- Μουτζούρης Κ. Ι. (2005), *“Εισαγωγή στην Ακτομηχανική”*, Εκδόσεις ΕΜΠ, σελ. 8-32
- Μουτζούρης Κ. Ι. (2009), *“Θαλάσσια Υδραυλική”*, Εκδόσεις ΕΜΠ, σελ. 11-12, 26-27, 53-54, 59-64, 70-75, 85-116
- CEM (2006), *“Coastal Engineering manual”*, Coastal Engineering Research Center, Dept. of Army Corps of Engineers, US, Chapter 1 (part 2) & Chapter 5 (part 2)
- Eurotop (2007) *Wave overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*
- Muttray M., Oumeraci H., ten Oever E. (2006), *“Wave Reflection and Wave Run-up at Rubble Mound Breakwaters”*, ICCE, Abstract 713, pp 1-12
- Violante-Carvalho N., Parente C.E., Robinson I.S. and Nunes I.M.P (2002), *“On the Growth of Wind Generated Waves in a Swell Dominated Region in the South Atlantic”*, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 124, pp 14-21
- Wiegel R.L. (1964), *“Oceanographical Engineering”*, Prentice-Hall International Series in Theoretical and Applied Mechanics, Fluid Mechanics Series, pp. 186-187
- Zanuttigh B. & Van der Meer J. W. (2008), *“Wave Reflection from Coastal Structures in Design Conditions”*, Coastal Engineering, Vol. 55, pp. 771-779
- Zanuttigh B. & Van der Meer J. W. (2008), *“Analysis of wave reflection from structures with berms through an extensive database and 2DV numerical model”*.
- Yong Liu. Hua- Jum Li (2013), *“Wave Reflection and transmission by porous breakwaters: A new analytical solution, pp 46-52*