



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΕ  
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΜΕΤΩΠΑ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ  
(ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ)



Καμπανής Ι. Πολάκης

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

Συνεπιβλέπουσα: Θ. Γιαντσή, Ε.Δι.Π. Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

# **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

## **ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΜΕΤΩΠΑ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ (ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ)**

Το Περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν 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.

**Καμπανής Ι. Πολάκης**

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

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

Συνεπιβλέπουσα: Θ. Γιαντσή, Ε.ΔΙ.Π Ε.Μ.Π.



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη Διπλωματική Εργασία, με την οποία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών, του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Κατά τη σύνταξη της διπλωματικής εργασίας έλαβα βοήθεια από διάφορα άτομα προς τα οποία θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Ι. Μουτζούρη, ο οποίος ανέλαβε την επίβλεψη αυτή της εργασίας στηρίζοντας την όλη μου προσπάθεια και δείχνοντας εμπιστοσύνη στο πρόσωπο μου.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την κα. Θεοδώρα Γιαντσή για την άρτια συνεργασία που είχαμε στην εκπόνηση των πειραμάτων και την ανάλυση των δεδομένων τους αλλά και για το χρόνο που διέθεσε, συμβάλλοντας καθοριστικά στην επίλυση όλων των εμποδίων και προβληματισμών που προέκυψαν. Επίσης, ευχαριστώ το προσωπικό του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων, του οποίου η βοήθεια ήταν άκρως απαραίτητη για την διεκπεραίωση των πειραμάτων.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και συναδέλφους μου Αποστόλου Σπύρο, Βλαχάκη Γιάννη, Κοτσίφη Φιλοκλή, Ποτουρίδη Στέφανο, Ρομποτή Νίκο, Σιανούδη Αλέξανδρο, Τσιούρη Χάρη, Χατζηγιακουμή Μιχάλη και Χονδρό Μιχάλη για τη βοήθεια, τη συμπαράσταση και τη στήριξή τους από την αρχή των φοιτητικών μου χρόνων.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τη γυναίκα μου και τη νεογέννητη κόρη μου για την ανελλιπή στήριξη καθώς και για τα συναισθήματα χαράς που μου προσφέρουν καθημερινά.

Τέλος, ένα τεράστιο ευχαριστώ στους γονείς μου και στα αδέρφια μου για την συνεχή -υλική και ψυχική- στήριξη αλλά και την υπομονή τους καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η συγκριτική αξιολόγηση διαφόρων πειραματικών μετρήσεων ανάκλασης σε κατακόρυφο μέτωπο με τοίχο επιστροφής κυμάτων. Για την διενέργεια των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν φυσικά προσομοιώματα, με κλίμακες 1:30 και 1:60, της επέκτασης μέσα στην θάλασσα του αεροδιαδρόμου 10-28 του αερολιμένα Θεσσαλονίκης "Μακεδονία" και αφορούσε συγκεκριμένα το περιμετρικό μέτωπο. Όλα τα πειράματα έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων, διαφόρων πειραματικών διατάξεων, της κυματικής ανάκλασης σε κατακόρυφο μέτωπο με τοίχο επιστροφής κυμάτων. Για την διεκπεραίωση της σύγκρισης αυτής, έχουν χρησιμοποιηθεί μετρήσεις-αποτελέσματα από παλαιότερες διπλωματικές εργασίες καθώς και μετρήσεις-αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά στην εργασία παρατίθενται θεωρητικά στοιχεία σε σχέση με τους θαλάσσιους κυματισμούς και το φαινόμενο της ανάκλασης των θαλάσσιων κυματισμών, με τις εγκαταστάσεις όπου έλαβαν χώρα τα πειράματα όπως και στοιχεία για τα φυσικά προσομοιώματα που χρησιμοποιήθηκαν και την πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε. Ύστερα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπό μορφή πινάκων. Ακολουθεί η κατάρτιση διαγραμμάτων που αφορούν το συντελεστή ανάκλασης και την συσχέτιση του με άλλες παραμέτρους αλλά και η συγκριτική απεικόνιση αυτών των διαγραμμάτων για διαφορετικές πειραματικές διατάξεις. Στο τέλος αναφέρονται τα γενικά συμπεράσματα αυτής της διπλωματικής.



## **ABSTRACT**

This diploma thesis presents the comparative evaluation of different experimental measurements of sea waves reflection on a vertical seawall with wave return. The experiments conducted at different physical models with a 1:30 or a 1:60 scale based on the extension inside the sea of the runway 10-28 of Thessaloniki's airport "Makedonia" and focused on the perimeter of the sea front. All experiments were performed at the Laboratory of Harbour Works, National Technical University of Athens.

The purpose of this study is mainly to compare the results of sea waves reflection on a vertical seawall with wave return, including the variety of facilities where the experiments were held. Measurements from previous Diploma Thesis and experiments conducted during this diploma thesis were used to compare results and scale effects.

The report begins with the presentation of theoretical data concerning the sea waves, the facilities where the experiments were held as well as details about the experimental procedure and the physical models that were used. Then the results of the investigation are presented in the form of tables, followed by the analysis and diagrams concerning the wave reflection and how they interact with various other parameters. The last part consists of the general conclusions of this diploma thesis.





<b>Ευχαριστίες</b> .....	i
<b>Περίληψη</b> .....	ii
<b>Abstract</b> .....	iii
<b>Περιεχόμενα</b> .....	iv
<b>1.Εισαγωγή</b> .....	1
<b>2.Θεωρητικό Υπόβαθρο</b> .....	2
2.1 Θαλάσσιοι κυματισμοί.....	2
2.2 Φασματικοί κυματισμοί.....	3
2.3 Συμβολισμοί.....	5
2.4 Επιδράσεις μετώπων.....	5
2.5 Ανάκλαση.....	7
<b>3.Πειραματικές Εγκαταστάσεις Ε.Λ.Ε</b> .....	9
3.1 Δεξαμενές δοκιμών.....	9
3.2 Σύστημα παραγωγής κυμάτων.....	13
3.3 Μετρητές κύματος.....	15
3.4 Συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων.....	16
<b>4.Πειραματικές Διατάξεις</b> .....	18
4.1 Εισαγωγή.....	18
4.2 Κατασκευαστικά στοιχεία προσομοιωμάτων.....	18
4.2.1 Προσομοίωμα Νο1.....	18
4.2.2 Προσομοίωμα Νο2.....	20

4.2.3 Προσομοίωμα $\text{No}_3$ .....	22
4.3 Τοποθέτηση Μετρητών.....	25
4.3 Πειραματική διαδικασία.....	28
<b>5.Αποτελέσματα Μετρήσεων</b>	
5.1 Πίνακες εκτελεσθέντων πειραμάτων	
5.2 Διαγράμματα με το συντελεστή ανάκλασης	
5.2.1 Διαγράμματα $C_{rr}$ - $H_s/R_c$	
5.2.2 Διαγράμματα $C_{rr}$ -Καμπυλότητα κυμάτων ( $\gamma=H_s/L$ )	
5.2.3 Διαγράμματα $C_{rr}$ - $d^*$	
5.2.4 Διαγράμματα $C_{rr}$ -σχετικό βάθος ( $h_s/L$ )	
<b>6.Αποτελέσματα μετρήσεων.....</b>	
Βιβλιογραφία.....	

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων, της κυματικής ανάκλασης σε κατακόρυφο μέτωπο με τοίχο επιστροφής κυμάτων διαφόρων πειραματικών διατάξεων. Για την διεκπεραίωση της σύγκρισης αυτής, έχουν χρησιμοποιηθεί μετρήσεις-αποτελέσματά από παλαιότερες διπλωματικές εργασίες καθώς και μετρήσεις-αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Δεδομένου ότι το συγκεκριμένο φαινόμενο της ανάκλασης είναι σύνθετο και πολύπλοκο, η εργαστηριακή έρευνα θεωρείται διεθνώς αξιόπιστη μέθοδος εκτίμησης του.

Οι πειραματικές μετρήσεις έλαβαν χώρα στις δύο δεξαμενές δοκιμών του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων (Ε.Λ.Ε.) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.). Στο 2ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά των θεωρητικών στοιχείων που αφορούν τους θαλάσσιους κυματισμούς και στη συνέχεια στο φαινόμενο της ανάκλασης. Στο πλαίσιο αυτό παρουσιάζονται βασικές έννοιες.

Στο 3ο κεφάλαιο περιγράφονται οι πειραματικές εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων καθώς και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης παρουσιάζεται η μέθοδος συλλογής και επεξεργασίας των μετρήσεων.

Στο 4ο κεφάλαιο περιγράφονται τα φυσικά προσομοιώματα τα οποία κατασκευάστηκαν για την εκτέλεση των πειραμάτων. Επίσης, γίνεται αναφορά στην πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκεντρωτικοί πίνακες με χαρακτηριστικά μεγέθη των κυμάτων καθώς και διαγράμματα σχετικά με τον Συντελεστή Ανάκλασης  $C_{rr}$ .

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν απ' τις μετρήσεις. Παρουσιάζονται συγκριτικές γραφικές παραστάσεις του συντελεστή ανάκλασης ως προς την καμπυλότητα των κυματισμών, το σχετικό βάθος, την αδιάστατη παράμετρο  $d^*$  και τον λόγο  $H_s/R_c$ .

Τέλος, στο κεφάλαιο 7 αναγράφονται τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε αυτή η διπλωματική εργασία.



## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

---

### 2.1. ΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ

---

Η ταυτόχρονη δράση δυνάμεων απομακρύνσεως 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 οι σεισμικές δονήσεις, οι γρήγορες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσεως, η έλξη της σελήνης κλπ.

Στην ανάλυση των κυμάτων στην περιοχή του χρόνου προσδιορίζονται οι χρονικές μεταβολές όπως είναι το ύψος και το μήκος ή η περίοδος του κύματος, με τη βασική παραδοχή, ότι το ένα ορισμένο κύμα είναι ανεξάρτητο από οποιοδήποτε άλλο. Περίοδος κύματος  $T$  είναι ο χρόνος μιας πλήρους ταλαντώσεως των σωματιδίων. Ορίζεται και σαν το χρονικό διάστημα μεταξύ της διελεύσεως δύο διαδοχικών κορυφών κύματος από ένα ορισμένο σημείο. Ύψος κύματος  $H$  είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κορυφής και της κοιλιάς του κύματος. Ισούται με το διπλάσιο του εύρους ταλαντώσεως των σωματιδίων.

Η πιο συνήθης διάκριση των κυματισμών γίνεται βάση την περίοδο των ταλαντώσεων των σωματιδίων. Για περιόδους μεγαλύτερες των 5 λεπτών 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 τις περισσότερες φορές προέρχεται από τον άνεμο και η επαναφέρουσα δύναμη από την βαρύτητα.

Οι πιο κοινοί κυματισμοί στη φύση είναι οι κυματισμοί βαρύτητας. Η δύναμη από την πνοή του ανέμου απομακρύνει τα υγρά σωματίδια από την θέση ισορροπίας. Η φορά της κινήσεως αντιστρέφεται από την επενέργεια της δυνάμεως βαρύτητας στα

σωματίδια, οπότε τείνουν να επανέλθουν στην αρχική τους θέση. Οι αδρανειακές δυνάμεις τα επαναπομακρύνουν και ούτω καθεξής. Στα θαλάσσια τεχνικά έργα ο σημαντικότερος παράγοντας φορτίσεως είναι το μηχανικό ενεργειακό τους περιεχόμενο.

Υπάρχουν δύο μεθοδολογίες βάση των οποίων εξετάζονται οι κυματισμοί: η πρώτη ονομάζεται μαθηματική θεωρία των κυματισμών και θεωρεί, ότι η διαταραγμένη επιφάνεια αποτελείται από μια σειρά μονοχρωματικών ή μια σειρά κυμάτων με συχνότητες πολλαπλάσιες της βασικής. Με τις παραδοχές και της χρήσης των θεωριών της υδραυλικής καταλήγει σε μαθηματικές εκφράσεις εκφράσεις για το πεδίο ροής.

Η δεύτερη είναι η θεωρία είναι των πραγματικών κυματισμών και η μεθοδολογία εξετάσεως βασίζεται στη φασματική περιγραφή τους. Θεωρεί ότι η θαλάσσια επιφάνεια συντίθεται από απειροσειρά κυμάτων, με χαρακτηριστικά εμφανιζόμενα κατά στοχαστικό τρόπο.

## 2.2. ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ

---

Βασικό χαρακτηριστικό των φασματικών κυματισμών είναι ότι 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 τέτοια βασική αιτία είναι οι μεταβολές του πεδίου του ανέμου. Η μεθοδολογία εξετάσεως τους βασίζεται στη φασματική περιγραφή τους (Κ.Ι.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2000).

Στη φασματική περιγραφή του πεδίου των κυματισμών συνήθως επιδιώκεται η αντιπροσώπευση του όλου φάσματος κυμάτων από ένα αντιπροσωπευτικό μονοχρωματικό κύμα, συνήθως το χαρακτηριστικό κύμα του φάσματος. Για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών του πεδίου ροής χρησιμοποιούνται μαθηματικές θεωρίες.

Στη φασματική ανάλυση προσδιορίζεται η ανώμαλη κίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας σαν μια επαλληλία αρμονικών ταλαντώσεων με διάφορες συχνότητες. Επιπλέον, περιγράφεται η θαλάσσια διαταραχή σε όλο το φάσμα συχνοτήτων και ενεργειών.

Η ανάλυση μιας καταγραφής αρχίζει με τον προσδιορισμό των περιεχομένων κυμάτων. Ο προσδιορισμός γίνεται είτε με τη μέθοδο «τομής της μέσης στάθμης προς τα πάνω» ή απλούστερα μέθοδος «ανοδικού μηδενισμού» (zero up-crossing method), είτε με τη μέθοδο «τομής της μέσης στάθμης προς τα κάτω» ή απλούστερα μέθοδος «καθοδικού μηδενισμού» (zero down-crossing method).

Οι Hasselmann et al (1973), αφού ανέλυσαν μετρήσεις που είχαν συλλεχθεί στη Βόρεια θάλασσα, ανακάλυψαν ότι το φάσμα δεν είναι ποτέ εντελώς ανεπτυγμένο, σε αντίθεση με ότι είχε ως παραδοχή το προηγούμενο φάσμα-υπόδειγμα των Pierson - Moskowitz. Έτσι διατύπωσαν τη θεωρία ότι οι κυματισμοί αναπτύσσονται συνεχώς μέσω μη γραμμικών σχέσεων για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα και αποστάσεις.

Οπότε πολλαπλασίασαν το φάσμα των Pierson- Moskowitz με μια παράμετρο  $\gamma^x$ , έτσι ώστε το φάσμα να ταιριάζει περισσότερο με τις μετρήσεις του 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 από τα πιο δημοφιλή φάσματα για το σχεδιασμό-ανάλυση και παραγωγή φασματικών κυματισμών (irregular waves). Στη παρούσα διπλωματική παρήχθησαν φασματικά κύματα (irregular waves), με τη χρήση του φάσματος- υποδείγματος Jonswap.



## 2.3 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

---

Οι συμβολισμοί των χαρακτηριστικών παραμέτρων, που χρησιμοποιούνται στη παρούσα διπλωματική, βασίζόμενοι στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι οι εξής:

- $H_s$ : το χαρακτηριστικό ύψος κύματος
- $T$ : η περίοδος του κυματισμού
- $T_p$ : η περίοδος στην αιχμή του φάσματος του κυματισμού
- $h_s$ : το βάθος του πυθμένα στο φυσικό προσομοίωμα
- $L$ : το μήκος κύματος στα ρηχά και ενδιάμεσα νερά
- $L_o$ : το μήκος κύματος στα βαθιά νερά
- $\alpha$ : η γωνία (κλίση) της διατομής σε ακτίνια
- $C_{rb}$ : ο μέσος συντελεστής ανάκλασης
- $C_{rr}$ : ο συντελεστής ανάκλασης συναρτήση της συχνότητας
- $S$ : η κυματική ενέργεια (energy density)
- $\gamma$ : η καμπυλότητα κυματισμού
- $\xi$ : ο συντελεστής θραύσεως (surf-similarity parameter)
- παράμετρος  $d^* = \frac{h_s \cdot d}{H_s \cdot L}$

## 2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΩΝ

---

Στη πρόσπτωση ενός κυματισμού σε ένα μέτωπο παρατηρείται το φαινόμενο της ανάκλασης και πιθανόν της περίθλασης ή και της υπερπήδησης του μετώπου. Η περίθλαση των κυματισμών είναι φυσικός μηχανισμός, στον οποίο λαμβάνει χώρα μετάδοση ενέργειας κατά μήκος κορυφογραμμών του προσπίπτοντος κύματος (Μουτζούρης, 2000 )

Καθώς όμως ο κυματισμός οδεύει από τα ανοιχτά προς το μέτωπο και για βάθη μικρότερα του μισού μήκους κύματος, γίνεται αισθητή η επίδραση του πυθμένα. Οι κυριότερες επιδράσεις πυθμένα που αφορούν το λιμενολόγο μηχανικό είναι οι παραμορφώσεις, η θραύση, η ρήγωση και η διάθλαση των κυμάτων.

Οι θαλάσσιοι κυματισμοί αλλάζουν εν γένει διεύθυνση μεταδόσεως όσο προσεγγίζουν την ακτή: η γωνία μεταξύ των καθέτων στο μέτωπο κύματος και στις ισοβαθείς του πυθμένα συνεχώς μειώνεται. Η ορθογωνική του κύματος τείνει να κινηθεί κάθετα προς τις ισοβαθείς και να καμπυλωθεί. Ο τύπος αυτών των παραμορφώσεων των θαλασσίων κυματισμών ονομάζεται διάθλαση. (Μουτζούρης, 2000)

Ως προς την θραύση, όταν οι παραμορφώσεις που εμφανίζονται στη διατομή του κύματος υπερβούν ορισμένα όρια, το κύμα θραύεται. Η θραύση οφείλεται στις μεγάλες παραμορφώσεις της διατομής από την επίδραση του πυθμένα. Σε γενικές γραμμές η θραύση εμφανίζεται στη βάση (θραύση εφορμήσεως) ή στο άνω μέρος του μετώπου (θραύση κυλίσεως) ή στην κορυφή (θραύση εκτινάξεως) της διατομής του κύματος. Η εμφάνιση μιας από αυτές τις βασικές μορφές θραύσεως εξαρτάται από τη γωνία του πυθμένα  $\alpha$  και την κυρτότητα  $\gamma$  του κύματος στα ανοιχτά. Όμως η γωνία του πυθμένα και η κυρτότητα  $\gamma$  σχετίζονται μέσω του συντελεστή θραύσης  $\xi$  (Iribarren number ή surf-similarity parameter), όπου:

$$\xi = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H_s}{L}}}$$

Η συσχέτιση του  $\xi$  με το μηχανισμό θραύσεως οδηγεί σε αντιστοιχία του  $\xi$  με το ποσοστό ανακλάσεως. Αυτός είναι ο πιο συνήθης συντελεστής που χρησιμοποιείται στην ανάκλαση, καθώς και στη θραύση.

## 2.5 ΑΝΑΚΛΑΣΗ

---

Η ενέργεια ενός κυματισμού που προσπίπτει σε ένα στερεό μέτωπο υφίσταται ανάκλαση η οποία μπορεί να είναι ολική ή μερική. Στην ολική ανάκλαση όλη η ενέργεια του προσπίπτοντος κύματος ανακλάται, ενώ στην μερική ανάκλαση μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε ενέργεια θραύσεως ή και τριβής.

Στην ανάκλαση η γωνία μεταξύ της καθέτου στο μέτωπο, στο σημείο προσπτώσεως και της διεύθυνσεως μεταδόσεως του προσπίπτοντος κύματος (γωνία προσπτώσεως) ισούται με τη γωνία μεταξύ της ίδιας καθέτου και της διεύθυνσεως μεταδόσεως του ανακλώμενου κύματος (γωνία ανακλάσεως). (Μουτζούρης, 2000)

Βασική παράμετρος με την οποία μετράται η ανάκλαση ενός κύματος είναι ο συντελεστής ανάκλασης  $C_r$  που ισούται με τον λόγο του ύψους του ανακλώμενου  $H_r$  προς το ύψος του προσπίπτοντος κύματος  $H_i$ .

$$C_r = \frac{H_r}{H_{in}} = \sqrt{\frac{E_r}{E_{in}}}$$

Φυσικά για τα φασματικά κύματα ο συντελεστής ανάκλασης διαφέρει για κάθε συχνότητα προσπίπτοντος κύματος. Ως μέσος συντελεστής ανάκλασης BRC (Bulk Reflection Coefficient) ορίζεται ο μέσος όρος των συντελεστών ανάκλασης, για όλες τις συχνότητες που δεν έχουν μηδενικό συντελεστή ανάκλασης. Ο συντελεστής ανάκλασης σε κάθε συχνότητα αντίστοιχα ισούται με το λόγο της ανακλώμενης ενέργειας προς την προσπίπτουσα ανάκλαση. Προφανώς ο συντελεστής ανάκλασης μπορεί να λάβει τιμές από 0 έως 1.

Ως προς το φάσμα του ανακλώμενου κυματισμού, είναι εξαρτώμενο κυρίως από παραμέτρους όπως η κλίση του μετώπου, η περίοδος του κυματισμού ( $T_p$ ), το προσπίπτον ύψος κύματος και από το είδος της κατασκευής.

Γενικά ο συντελεστής ανάκλασης μειώνεται όσο μειώνεται η περίοδος του κύματος και μεγαλώνει η κυρτότητα του, χωρίς να εξαρτάται ισχυρά από το ύψος κύματος (Postma 1989). Η μεγάλη τραχύτητα και διαπερατότητα του μετώπου έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη ανάκλαση.

Η φυσική εξήγηση είναι ότι στην πρόσπτωση ενός κυματος σε μία διατομή η ενέργεια του κυματισμού μετατρέπεται σε απώλειες, λόγω της γεωμετρίας της διατομής, σε ανακλώμενο κυματισμό, σε κυματισμό που διέρχεται διαμέσου του έργου στην άλλη πλευρά του (αν είναι πορώδης) και σε υπερπηδούμενο κυματισμό. Ωστόσο δεν υπάρχει περαιτέρω διερεύνηση σε δεδομένα που να συσχετίζουν ποσοτικά αυτές τις ενέργειες στη διεθνή βιβλιογραφία.

Με σκοπό να διευκολυνθεί η έρευνα για την ανάκλαση των κυματισμών και να ταξινομηθούν οι παράκτιες κατασκευές με βάση τη συμπεριφορά τους στο φαινόμενο της ανάκλασης, πραγματοποιείται η ακόλουθη διάκριση μεταξύ των τιμών που μπορεί να πάρει ο συντελεστής ανάκλασης.

- Κατασκευές υψηλής ανακλασιμότητας:  $C_r > 0.85$
- Κατασκευές μέσης ανακλασιμότητας:  $0.85 > C_r > 0.50$
- Κατασκευές χαμηλής ανακλασιμότητας:  $C_r < 0.50$

Η ανάκλαση των κυματισμών επί μετώπων θαλάσσιων κατασκευών έχει συσχετισθεί με την παράμετρο  $\xi$ .

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επειδή αυτό δεν πάντα δυνατόν να εκτιμηθεί η παράμετρος  $\xi$  χρησιμοποιήθηκε η παράμετρος  $d^*$  όπως αυτή ορίστηκε στους συμβολισμούς. Η παράμετρος  $d^*$  χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της παροχής υπερπήδησης των υπο εξέταση διατομών και για τον λόγο αυτό συσχετίστηκε και με τον συντελεστή ανάκλασης. Σημειώνεται ότι όλες οι εξετασθείσες διατομές έχουν ελεγχθεί πρότιστα για την εκτίμηση της υπερπήδησης

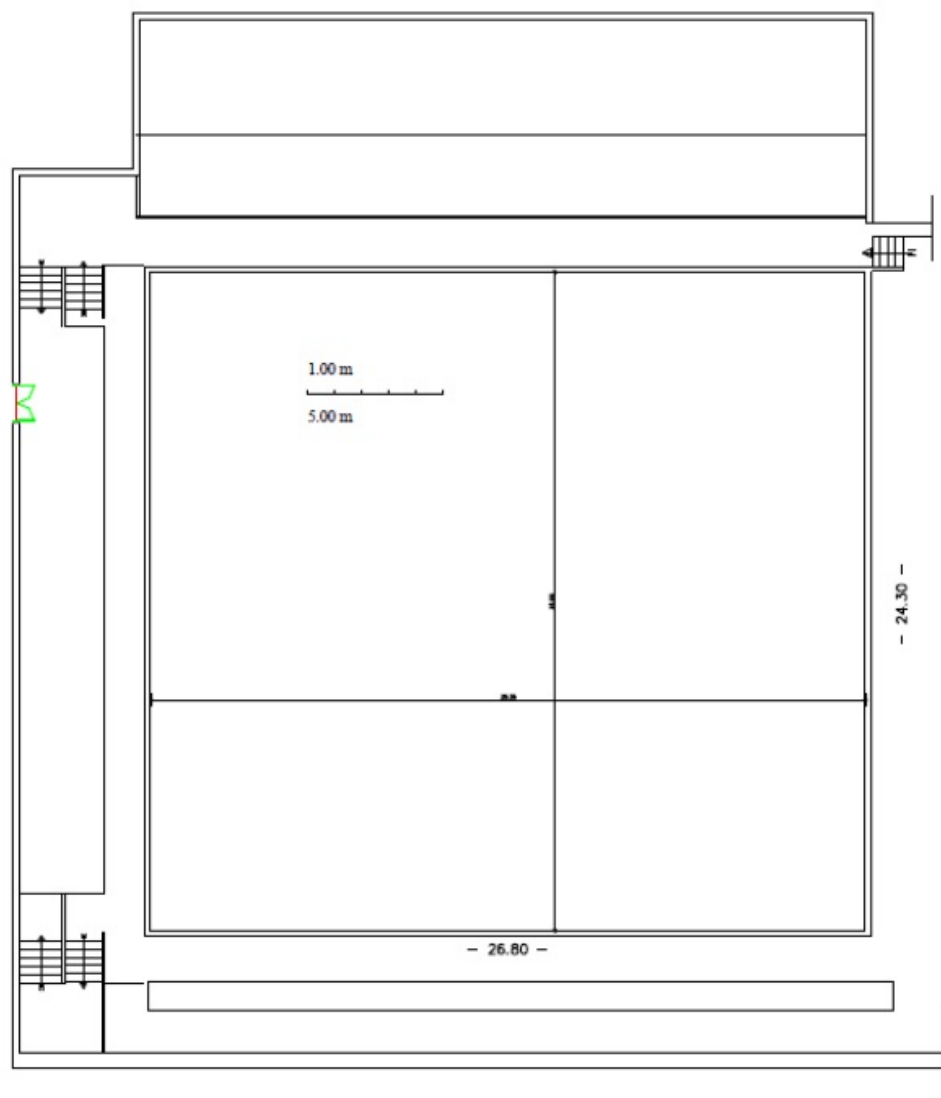


### 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ Ε.Λ.Ε.

#### 3.1. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ

Τα πειράματα που αξιολογήθηκαν στη παρούσα διπλωματική έλαβαν χώρα στις δεξαμενές Δ1 και Δ2 του Εργαστηρίου Λιμενικών έργων ΕΜΠ (για συντομία Ε.Λ.Ε.)

Η Δεξαμενή Δοκιμών Δ1 του Ε.Λ.Ε., έχει εξωτερικές διαστάσεις 26,80 x 24,30 m και βάθος 1,1 m. Η κάτοψη της δεξαμενής παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1.

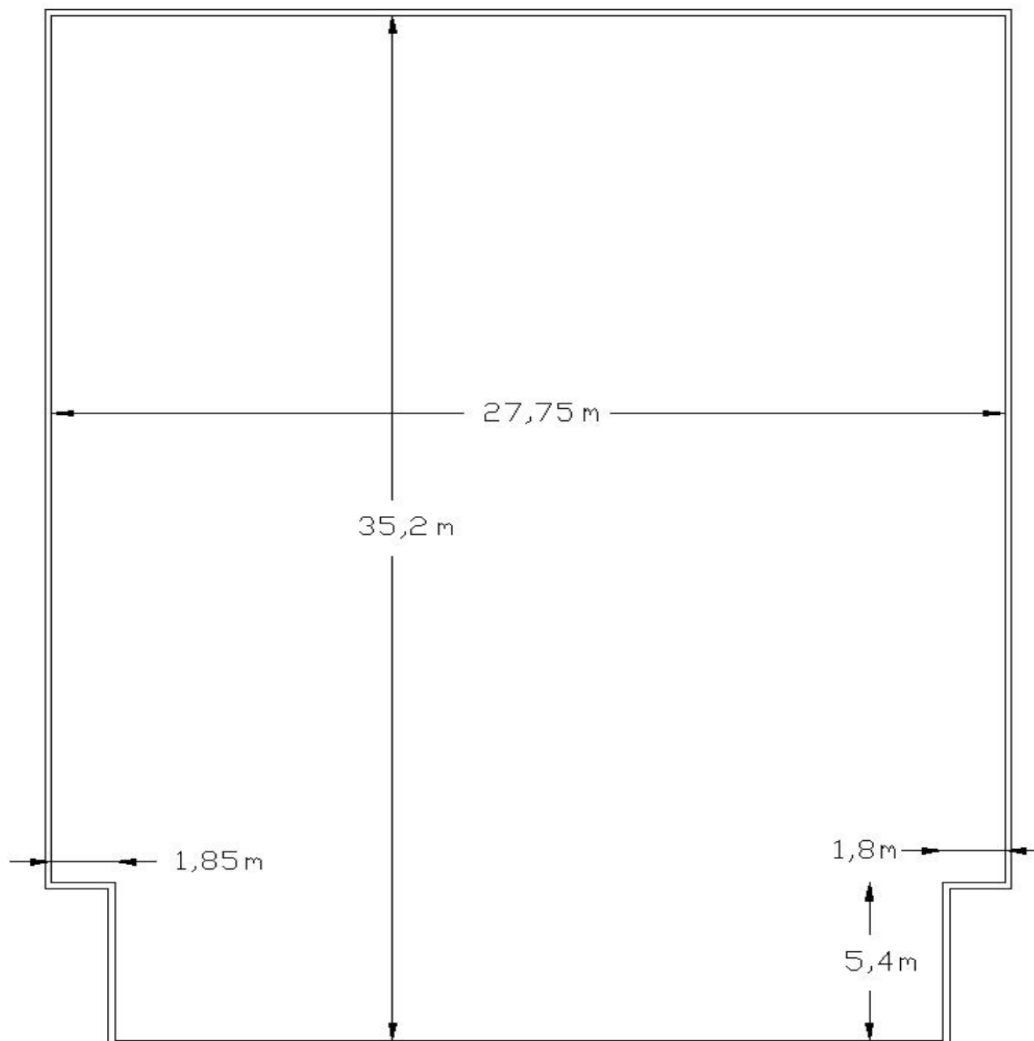


Σχήμα 3.1 Κάτοψη της Δεξαμενής Δοκιμών Δ1 του Ε.Λ.Ε



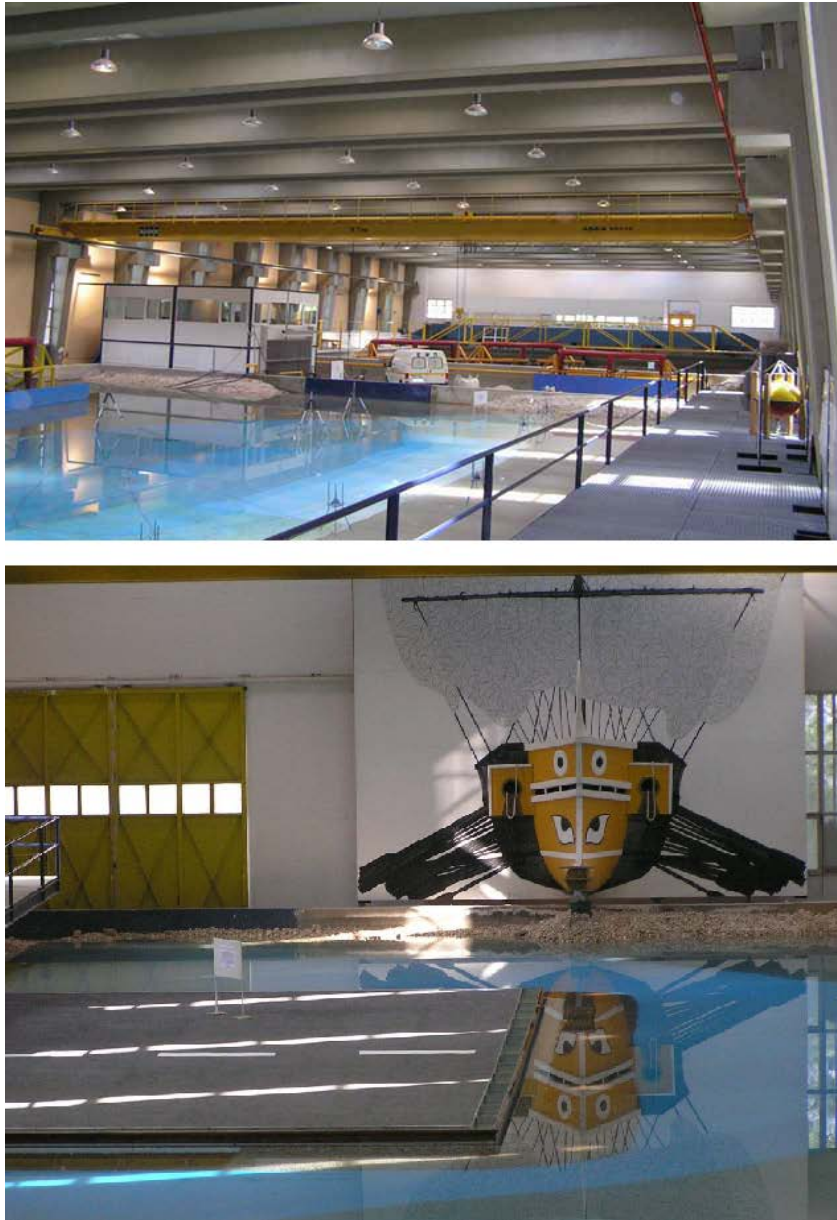
*Φωτ.3.1. Απόψεις της Δεξαμενή Δοκιμών 1 του Ε.Λ.Ε. και σχετικού προσομοιώματος*

Η Δεξαμενή Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε έχει εσωτερικές διαστάσεις 35,20x 27,75m και βάθος 1,0 m. Η κάτοψη της δεξαμενής παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Κάτοψη της Δεξαμενής Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε





*Φωτ.3.2. Απόψεις της Δεξαμενής Δοκιμών 2 του Ε.Λ.Ε. και σχετικού προσομοιώματος*

Στις δεξαμενές είναι εγκατεστημένο σύστημα παραγωγής τυχαίων κυματισμών (φάσματα κυμάτων).

### 3.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ

---



Φωτ.3.3 Συστήματα παραγωγής κυμάτων

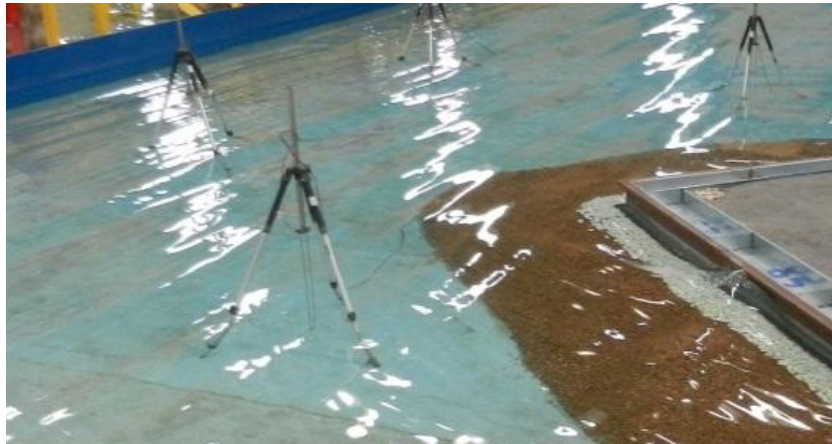
Το σύστημα παραγωγής κυμάτων κινείται υδραυλικά και αποτελείται από τα εξής τμήματα:

1. Υδραυλικό μηχανισμό-κινητήρα
2. Υδραυλικά έμβολα
3. Τρεις πανομοιότυπους κυματιστήρες
4. Σύστημα ελέγχου
5. Κατάλληλο λογισμικό (PC software)

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. Το μέτωπο της κάθε κυματογεννήτριας έχει πλάτος 8,0 m στην δεξαμενή Δ2 και 6,0 m στη Δ1.

Στα συγκεκριμένα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν από δύο έως τρεις κυματιστήρες. Χάρη στον εξοπλισμό του εργαστηρίου υπάρχει η δυνατότητα μετατοπίσεως των κυματογεννητριών, ώστε να ελέγχεται το προσομοίωμα με διαφορετικές διευθύνσεις προσπτώσεως κυμάτων. Η κίνηση των τριών κυματογεννητριών είναι ταυτόχρονη. Οι εντολές για την λειτουργία του υδραυλικού συστήματος δίνονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό στο σύστημα ελέγχου. Το λογισμικό, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των κυμάτων είναι το πακέτο Wavaegen SD της εταιρίας HR Wallingford. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα παραγωγής μονοχρωματικών (ημιτονοειδών) κυματισμών όπως και φασματικών διαταραχών διαφόρων μορφών τυχαίων κυματισμών.

### 3.3. ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΚΥΜΑΤΟΣ



*Φωτ.3.4 Μετρητές κατά την διάρκεια εκτέλεσης πειραματικών μετρήσεων*

Για την μέτρηση των κυμάτων στην δεξαμενή χρησιμοποιήθηκαν μετρητές κύματος τύπου αντιστάσεως, οι οποίοι μετρούν την στιγμιαία μεταβολή της στάθμης του ύδατος. Αποτελούνται από δύο σύρματα στερεωμένα σε στέλεχος στηριζόμενο σε τρίποδο (βάση). Η διαφορετική στάθμη ύδατος δημιουργεί διαφορετική διαφορά δυναμικού, από την οποία με την κατάλληλη βαθμονόμηση προκύπτει η μεταβολή της στάθμης. Οι μετρητές είναι συνδεδεμένοι με έναν ενισχυτή σήματος, ο οποίος στην συνέχεια μεταφέρει το σήμα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Ε.Μ.Π. διαθέτει δύο σειρές μετρητών κύματος. Η σειρά Α αποτελείται από μετρητές με κοντά στελέχη, ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση του

κύματος σε βάθος νερού πολύ μικρό ( $4\text{cm} < d < 20\text{cm}$ ). Η σειρά Β αποτελείται από μετρητές με μακρύτερα στελέχη και δύναται να μετρά σε μεγαλύτερα βάθη νερού ( $7\text{cm} < d < 80\text{cm}$ ).

### 3.4 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

---

Η συλλογή και η ανάλυση των μετρήσεων έγινε με το πρόγραμμα HR Wavedata της εταιρείας HR Wallingford.

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας συλλογής δεδομένων, πριν από τη διεξαγωγή μετρήσεων, είναι η βαθμονόμηση των μετρητών. Ουσιαστικά, αφού βρεθεί η γραμμική σχέση μεταξύ της μεταβολής των εμβαπτισμένων εντός του νερού μηκών των στελεχών των μετρητών και της διαφοράς δυναμικού σε volts. Οπότε σε ήρεμη δεξαμενή συλλέγονται μέσω υπολογιστή οι διαφορές δυναμικού σε τρεις τουλάχιστον στάθμες των μετρητών υψώνοντας ή χαμηλώνοντας τους. Από αυτές τις μετρήσεις εξάγεται μια γραμμική σχέση μεταξύ αυτών με ένα σφάλμα μετρήσεων ( $< 1\%$ ).

Για τη συλλογή δεδομένων, το πρόγραμμα HR Wavedata της εταιρείας HR Wallingford ρυθμίστηκε να συλλέγει δεδομένα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, 16384 δεδομένα σε κάθε πείραμα και οι μετρήσεις να έχουν συχνότητα 50 Hz, δηλαδή να λαμβάνονται 50 τιμές μετρήσης ανά δευτερόλεπτο από κάθε μετρητή.

Αρχικά παράγονται οι πρώτοι κυματισμοί χρησιμοποιώντας το πακέτο λογισμικού WAVEGEN SD της εταιρείας H.R. Wallingford. Ύστερα από αναμονή χρονικού διαστήματος, έτσι ώστε να διαδοθούν οι κυματισμοί σε όλους τους μετρητές, άρχισε η συλλογή δεδομένων, δηλαδή κυματομορφών (χρόνος-ύψος κύματος) από τους μετρητές που είναι τοποθετημένοι στη δεξαμενή. Είναι σημαντικό κάθε φορά ο χρόνος αναμονής μετά το πέρας κάθε πειράματος να είναι αρκετός, έτσι ώστε πριν παραχθεί ο επόμενος κυματισμός, η δεξαμενή να έχει ηρεμήσει.

Αφού έχουν συλλεχθεί τα δεδομένα, αναλύονται με το πρόγραμμα HR wavedata. Η ανάλυσή τους χωρίζεται σε διαφορετικούς τρόπους επεξεργασίας.

Αρχικά η στατιστική ανάλυσή τους γίνεται με τη μέθοδο Down crossing η οποία βασίζεται στη μέτρηση των κυμάτων μέσω της μέτρησης καθοδικής πορείας της κυματομορφής από το μέσο όρο των μετρήσεων. Η στατιστική ανάλυση έχει ως αποτελέσματα-τιμές το μέσο όρο τιμών των υψών των κυματισμών (mean value), τις μέγιστες (max value) και ελάχιστες τιμές τους (min value), την τυπική απόκλιση τους Std, το μέσο όρο με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (RMS), τον αριθμό των κυμάτων που μετρήθηκαν (N), τη μέση περίοδο τους ( $T_{bar}$ ), το τελικά μέγιστο κύμα ( $H_{max}$ ) και το ελάχιστο κύμα ( $H_{min}$ ). Επίσης υπολογίζει το μέσο ύψος των 10% μεγαλύτερων κυμάτων ( $H_{10}$ ), το μέσο ύψος των μεγαλύτερων 33% των κυμάτων ( $H_{1/3}$ ) και το μέσο ύψος κύματος με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων ( $H_{rms}$ ).

Μια δεύτερη επεξεργασία είναι η φασματική ανάλυση των κυματισμών χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Fourier. Αυτή η μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα να υπολογίζεται γραφικά η φασματική ενέργεια του κυματισμού (PSD) συναρτήσει της συχνότητάς του. Μέσω αυτού του γραφήματος υπολογίζεται το χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_s = 4 * \sqrt{m_0}$ , όπου  $m_0$  είναι η μηδενική ροπή του φάσματος και  $m_0 = \int S(f)$ , όπου  $S(f)$  είναι η φασματική ενέργεια των μετρώμενων κυματισμών. Το  $H_s$  αντιστοιχεί ως μέγεθος στο  $H_{1/3}$  της στατιστικής ανάλυσης (αν και δεν είναι ακριβώς ίσα) και είναι μέγεθος διαστασιολόγησης λιμενικών έργων. Άλλα αποτελέσματα της μεθόδου είναι το  $f_p$  (peak wave frequency), δηλαδή η συχνότητα που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη φασματική ενέργεια. Η  $T_p$  είναι η περίοδος που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη ενέργεια και η  $T_m(s)$  η μέση φασματική περίοδος.

Το πρόγραμμα HR wavegen έχει και άλλες συμπληρωματικές δυνατότητες. Η πιο σημαντική και χρήσιμη για τη παρούσα διπλωματική είναι αυτή με την οποία υπολογίζει το μέσο συντελεστή ανάκλασης  $C_{rb}$  καθώς και τα ενεργειακά φάσματα του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου κυματισμού μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων σε φασματικό παραγόμενο κυματισμό. Αυτή η μέθοδος είναι ένας συνδυασμός της προσέγγισης του Isaacson (1992) και των Zelt και Skjelbreia (1992).

Αυτή η εφαρμογή απαιτεί 4 μετρητές σε σειρά, σε ίδιο βάθος νερού σε συγκεκριμένες αποστάσεις από τη διατομή. Ο μέσος (bulk) συντελεστής ανάκλασης  $C_{rb}$  είναι ίσος με το μέσο όρο των συντελεστών ανάκλασης σε κάθε συχνότητα, που είναι ίσος με το λόγο των ανακλώμενων προς των προσπίπτοντων ενεργειών του κυματισμού ανά συχνότητα.



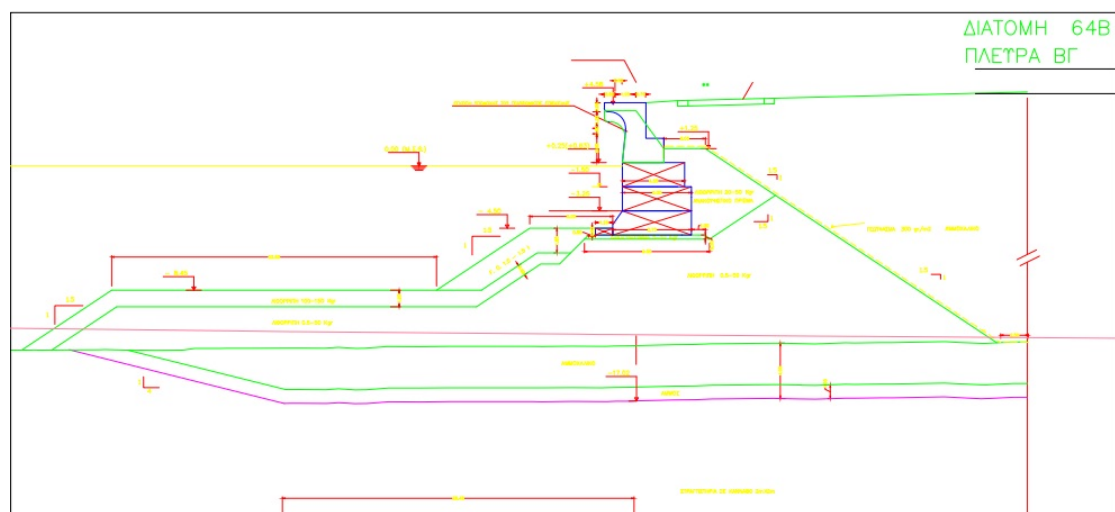
## 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια μικρή και σύντομη περιγραφή όλων των προσομοιωμάτων και των διατομών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Τα αποτελέσματα που θα παρατεθούν στην συνέχεια με σκοπό να συγκριθούν μεταξύ τους προέρχονται τόσο από παλαιότερες μετρήσεις άλλων διπλωματικών, όσο και από νέες μετρήσεις πάνω σε νέες διατομές.

Όλα τα προσομοιώματα αναφέρονται στο τμήμα της επέκτασης μέσα στην θάλασσα του νέου αεροδιαδρόμου, στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης "Μακεδονία".

Δίνεται περιμετρική διατομή του φυσικού προσομοιώματος:



Σχήμα 4.1 Περιμετρική διατομή προσομοιώματος



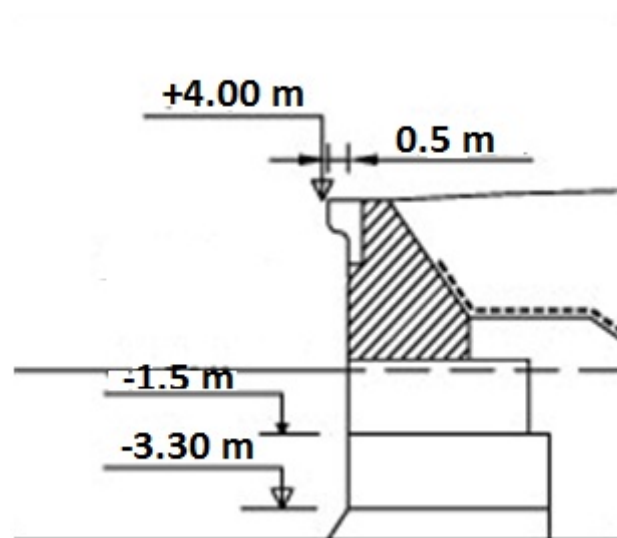
## 4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

### 4.2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Νο 1

Το φυσικό προσομοίωμα της κατασκευής του νέου αεροδιαδρόμου, στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης "Μακεδονία", που βρίσκεται μέσα στη θάλασσα, κατασκευάστηκε στη δεξαμενή Δ1 και είναι σε κλίμακα 1:60. Ο κυματισμός προσπίπτει κάθετα στο μέτωπο του έργου. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 5 μετρητές που τοποθετήθηκαν κάθετα στο μέτωπο του έργου. Οι μετρητές 2, 3, 4 τοποθετήθηκαν σε απόσταση 0,35m, 0,8m και 1m, αντίστοιχα από το μετρητή 1 και ο μετρητής 5 στα βαθιά νερά μακριά από τη διατομή.

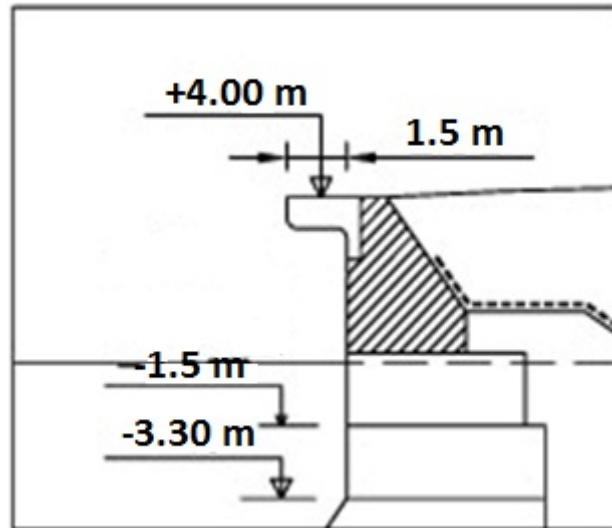
Ελέγχθηκαν τρεις διαφορετικές διατομές στο προσομοίωμα:

**Διατομή Α:** Η διατομή είναι μικτή με έξαλο ανακλαστικό τοιχείο και αποτελείται από τέσσερα επιμέρους τμήματα. Στο έξαλο μέρος της αποτελείται από ένα κατακόρυφο μέτωπο που ξεκινάει από στάθμη +6.6cm και φτάνει σε στάθμη -7,5cm. Το ιδιαίτερο αυτού του τμήματος είναι ο πρόβολος που προεξέχει κατά 0,8cm από το υπόλοιπο κατακόρυφο τμήμα.



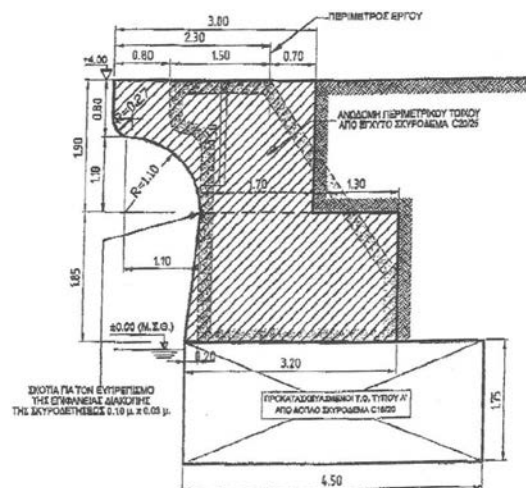
Σχήμα 4.2 Διατομή Α

**Διατομή Β :** Η διατομή είναι μικτή με κατακόρυφο μέτωπο στο άνω μέρος της, ίδια με τη διατομή Α με διαφορά ό,τι ο πρόβολος είναι 2,5 cm, δηλαδή τριπλάσιος σχεδόν από αυτόν της διατομής Α.



Σχήμα 4.3 Διατομή Β

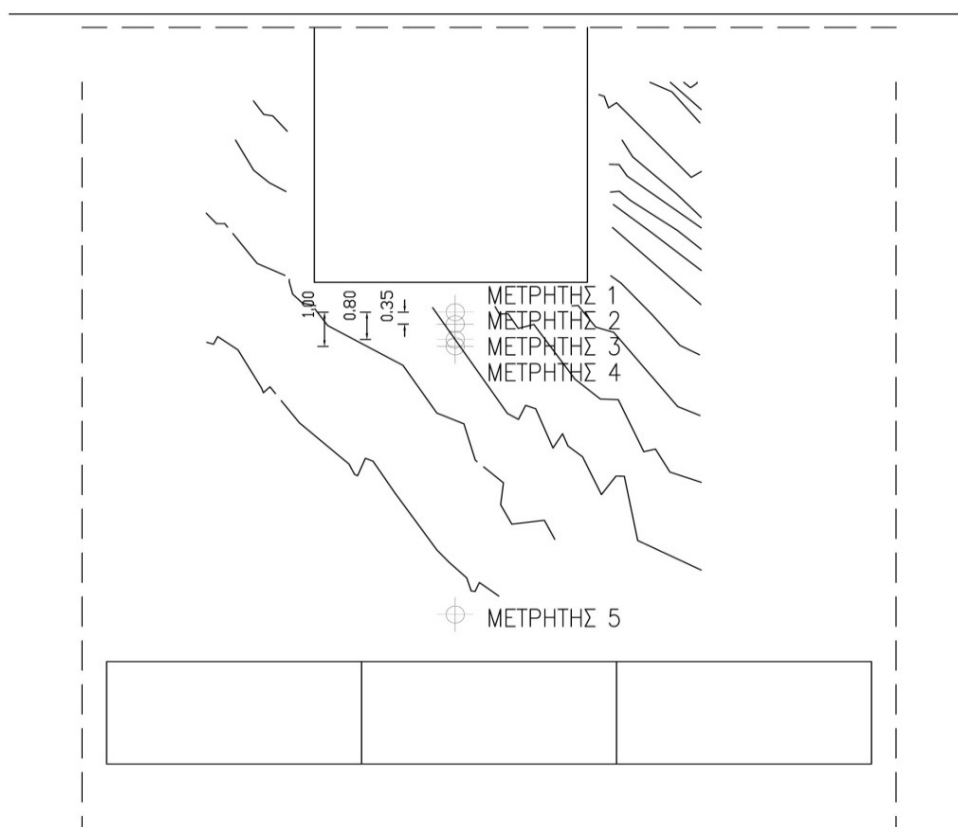
**Διατομή Γ :** έχει τροποποιημένο καμπύλο τμήμα σε σχέση με την Διατομή Α, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Η στάθμη στέψης της διατομής είναι στο +4,58 και η Μ.Σ.Θ. στα +0,38.



Σχήμα 4.4 Διατομή Γ

Για το προσομοίωμα Νο1

Χρησιμοποιήθηκαν 5 μετρητές που τοποθετήθηκαν κάθετα στη διεύθυνση του προσπίπτοντος κυματισμού. Οι μετρητές 2, 3, 4 τοποθετήθηκαν σε απόσταση 0,35m, 0,8m και 1m, αντίστοιχα από το μετρητή 1 και ο μετρητής 5 στα βαθιά νερά μακριά από τη διατομή (Σχ. 4.5).



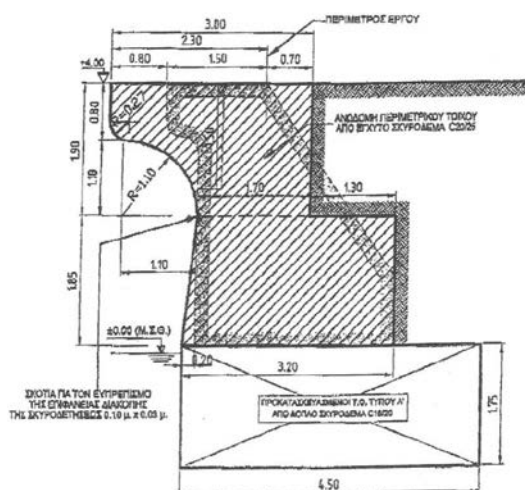
Σχήμα 4.5 Κάτοψη Προσομοιώματος Νο1 (Μετρητές & Κυματιστήρες)

#### 4.2.2 ΠΡΟΣΟΜΙΩΜΑ Νο 2

Για την συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκε φυσικό προσομοίωμα κλίμακας 1:30. Το ανάγλυφο του πυθμένα διαμορφώθηκε μέχρι το βάθος των 50 cm που αντιστοιχεί σε βάθος 15 m στη φύση.

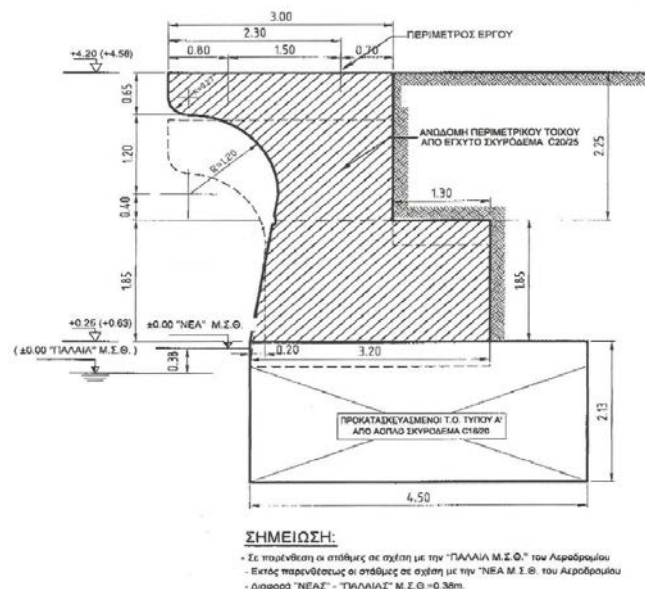
Μετά τα αποτελέσματα του φυσικού προσομοιώματος στην κλίμακα 1:60 επελέγη η Διατομή Γ να ελεγχθεί σε νέα στάθμη θάλασσας (υπό την νέα κλίμακα 1:30) (Διατομή Δ). Στην συνέχεια σχεδιάστηκε νέα διατομή με υψηλότερη στάθμη ανωδομής. (Διατομή Ε)

**Διατομή Δ :** περιμετρικά του επιχώματος προβλέπεται διατομή τοίχου με καμπύλο τμήμα (τοίχος επιστροφής), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4. Η διατομή είναι μικτή με έξαλο ανακλαστικό τοιχίο και αποτελείται από τέσσερα επιμέρους τμήματα. Στο έξαλο μέρος της αποτελείται από ένα κατακόρυφο μέτωπο ενώ το ιδιαίτερο αυτού του τμήματος είναι ο πρόβολος που προεξέχει από το υπόλοιπο κατακόρυφο τμήμα. Η στάθμη στέγης της διατομής είναι στα +4,00, ενώ η Μ.Σ.Θ. τέθηκε στο  $\pm 0.00$ . Η διατομή Δ ελέγχθηκε τελικά σε δυο στάθμες.



Σχήμα 4.6 Διατομή Δ

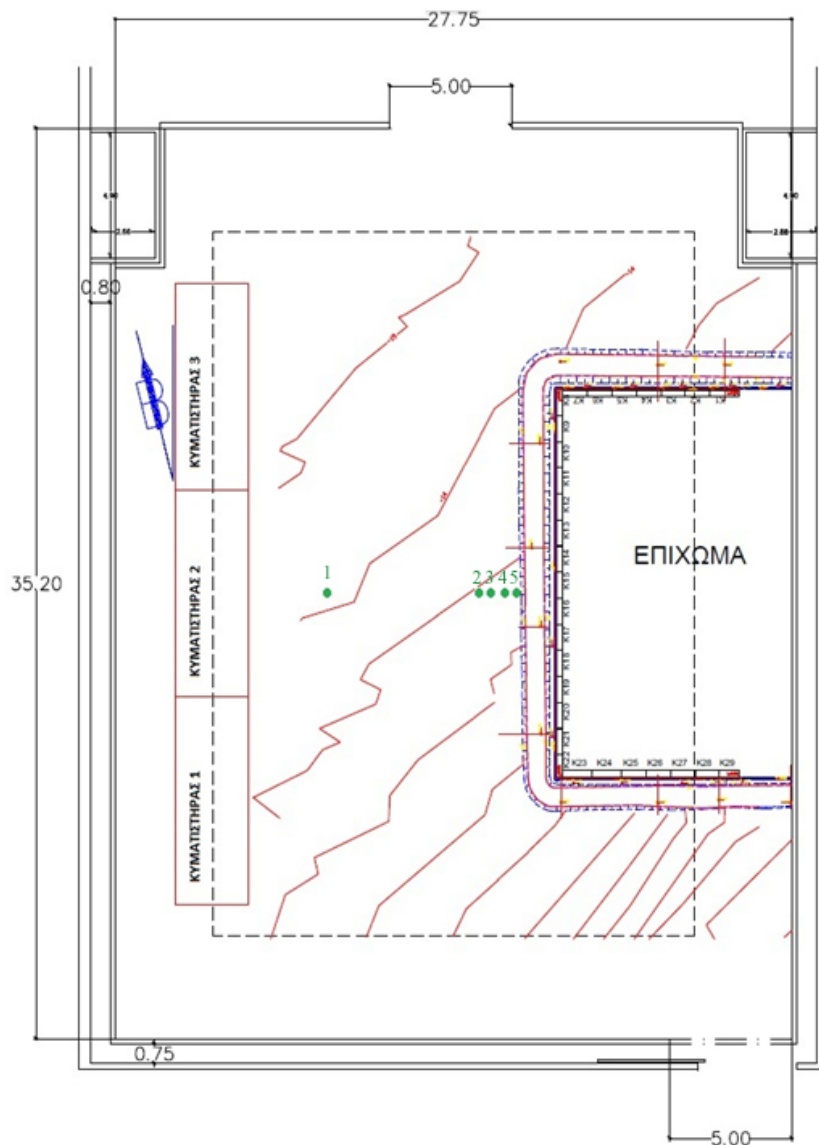
**Διατομή Ε** : έχει τροποποιημένο καμπύλο τμήμα σε σχέση με την Διατομή Δ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5. Η στάθμη στέψης της διατομής είναι στο +4,58 και η Μ.Σ.Θ. στα +0,38. Η διατομή Ε ελέγχθηκε σε τρεις στάθμες ύδατος.



Σχήμα 4.7 Διατομή Ε

### Για το προσομοίωμα Νο2

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 5 μετρητές, αλλά ουσιαστικά οι μετρήσεις της ανάκλασης έγιναν από τους 4 που βρίσκονται κοντά στο μέτωπο. Ο πίσω μετρητής τοποθετήθηκε κυρίως για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών τιμών των κυμάτων. Ο πρώτος μετρητής απέχει από το μέτωπο 8,87 m, ο δεύτερος 2,67 m, ο τρίτος 2,47 m, ο τέταρτος 2,02 m και τέλος ο πέμπτος 1,67 m. Όλοι οι μετρητές ήταν τοποθετημένοι πάνω σε μια νοητή ευθεία κάθετη στο μέτωπο, η οποία τέμνει το μοντέλο του αεροδιαδρόμου στη μέση (Σχ. 4.8).

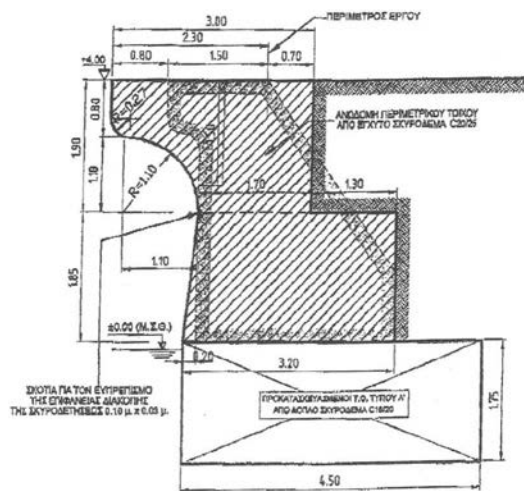


Σχήμα 4.8 Κάτοψη Προσομοιώματος Νο2 (Μετρητές & Κυματιστήρες)

### 4.2.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΝΟ 3

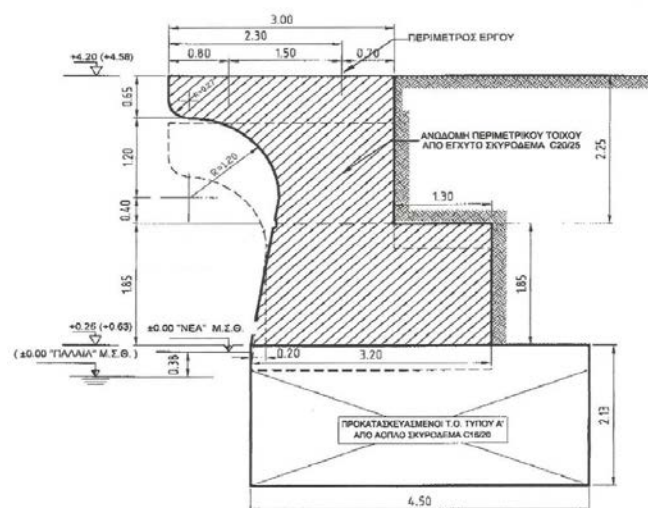
Επειδή τα Προσομοιώματα Νο1 και Νο2 ήταν τρισδιάστατα, για να ελεγχθεί η συμπεριφορά των διατομών Δ και Ε σε κάθετη πρόσπτωση κυμάτων χωρίς την επίδραση του τρισδιάστατου πυθμένα ελέγχθηκαν οι διατομές Δ και Ε με διαφορετική έδραση σε οριζόντιο πυθμένα και κάθετη πρόσπτωση κυμάτων σε διαφορφωμένη δώρυγα εντός της δεξαμενής δοκιμών Δ1. Επίσης ελέγχθηκε η διατομή με κατακόρυφο μέτωπο χωρίς διάταξη επιστροφής κυμάτων. Οι διατομές τελικά που ελέγησαν ήταν 3 οι ακόλουθες.

**Διατομή ΣΤ :** κατασκευαστικά στο έξαλο τμήμα είναι ίδια με την Διατομή Δ του προσομοιώματος Νο2.



Σχήμα 4.9 Διατομή ΣΤ

**Διατομή Ζ :** κατασκευαστικά στο έξαλο τμήμα είναι ίδια με τη Διατομή Ε του προσομοιώματος Νο2.

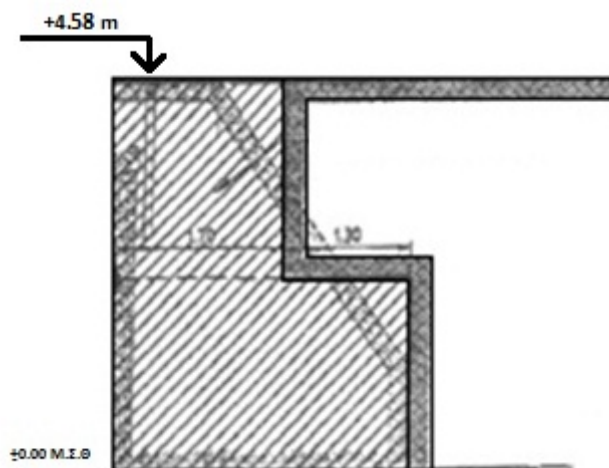


**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:**

- Σε παράθεση οι στάθμες σε σχέση με την "ΓΥΑΛΙΑ Μ.Σ.Θ." του Αεροδρόμιου
- Εκτός παρενθέσεως οι στάθμες σε σχέση με την "ΝΕΑ Μ.Σ.Θ." του Αεροδρόμιου
- Διαφορά "ΝΕΑΖ" - "ΓΥΑΛΙΑΖ" Μ.Σ.Θ. = 0.38m.

Σχήμα 4.10 Διατομή Ζ

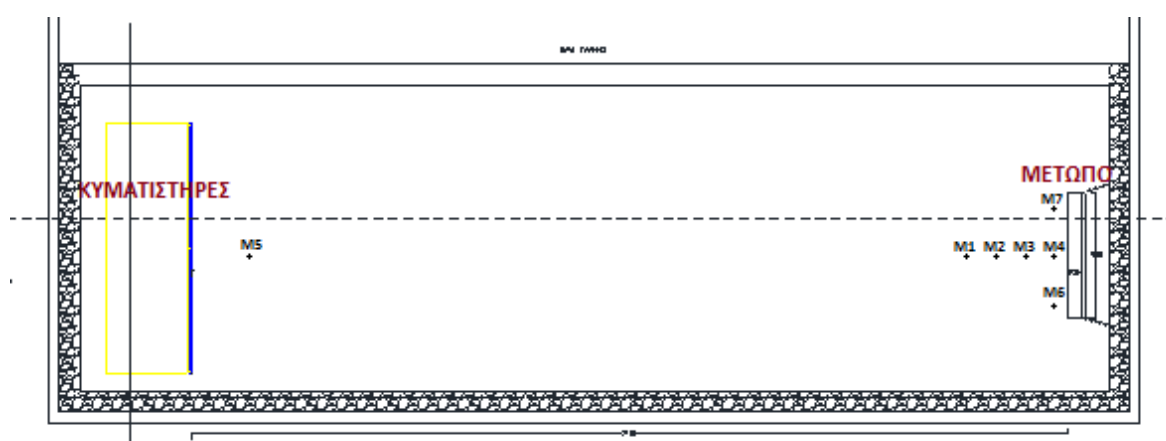
**Διατομή Η :** κατακόρυφο μέτωπο χωρίς πρόβολο.



Σχήμα 4.11 Διατομή Η

Για το προσομοίωμα Νο3

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 7 μετρητές, αλλά ουσιαστικά οι μετρήσεις της ανάκλασης έγιναν από 3 μετρητές που ήταν τοποθετημένοι μπροστά στο μέτωπο της κατασκευής. Ο πίσω μετρητής τοποθετήθηκε κυρίως για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών τιμών των κυμάτων (Σχ. 4.12).



Σχήμα 4.12 Κάτοψη Προσομοιώματος Νο3 (Μετρητές & Κυματιστήρες)



Διατομή	Διαμόρφωση ανωδομών	Χαρακτηριστικά μεγέθη ανωδομών		Υψόμετρο στέψης ανωδομών
<b>A</b>	Πρόβολος	μήκος προβόλου=0,5 m		4,00 m
<b>B</b>	Πρόβολος	μήκος προβόλου=1,5 m		4,00 m
<b>Γ</b>	Τοίχος Επιστροφής	R=1,10 m	Bc=0,80 m	4,00 m
<b>Δ</b>	Τοίχος Επιστροφής	R=1,10 m	Bc=0,80 m	4,00 m
<b>Ε</b>	Τοίχος Επιστροφής	R=1,20 m	Bc=0,65 m	4,58 m
<b>ΣΤ</b>	Τοίχος Επιστροφής	R=1,10 m	Bc=0,80 m	4,00 m
<b>Z</b>	Τοίχος Επιστροφής	R=1,20 m	Bc=0,65 m	4,58 m
<b>H</b>	Τοίχος Επιστροφής	κατακόρυφος		4,58 m

*Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη των διατομών & υψόμετρο στέψης*

#### 4.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

---

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

- Έλεγχος στάθμης νερού στην δεξαμενή.
- Βαθμονόμηση μετρητών κύματος.
- Αναμονή μέχρι να ηρεμήσει το νερό τελείως όταν οι κυματισμοί που θα ακολουθούσαν είχαν διαφορετική περίοδο από αυτούς που προηγήθηκαν.

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

- 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.

## 4.5 ΕΛΕΓΧΘΕΙΣΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

α/α	Διάταξη	Προσομοίωμα	Διατομή	Ελ.Περιθώριο	Κλίμακα	Δεξαμενή
1	Δ.1.1	No1	A	0,067 m	1:60	Δ1
2	Δ.1.2		B			Δ1
3	Δ.1.3		Γ			Δ1
4	Δ.2.1α	No2	Δ	0,120 m	1:30	Δ2
5	Δ.2.1β			0,133 m		
6	Δ.2.2α		E	0,120 m		Δ2
7	Δ.2.2β			0,140 m		
8	Δ.2.2γ		0,153 m			
9	Δ.3.1α	No3	ΣΤ	0,133 m	1:30	Δ1
10	Δ.3.1β			0,120 m		
11	Δ.3.1γ			0,100 m		
12	Δ.3.2α		Z	0,153 m		Δ1
13	Δ.3.2β			0,140 m		
14	Δ.3.2γ			0,133 m		
15	Δ.3.2δ			0,120 m		
16	Δ.3.2ε			0,100 m		
17	Δ.3.3α		H	0,120 m		Δ1
18	Δ.3.3β			0,100 m		

Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία και ονομασία των διατάξεων

#### 4.6 ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι πίνακες που ακολουθούν περιέχουν τα χαρακτηριστικά μεγέθη των κυμάτων των εκτελεσθέντων πειραμάτων (ύψη κύματος και τις αντίστοιχες περιόδους των κυματισμών). Ως ελεύθερο περιθώριο εννοείται το μέρος του μετώπου του προσομοιώματος που βρίσκεται πάνω από την στάθμη του νερού.

Προσομοίωμα Νο1		
Ελεύθερο Περιθώριο 0,067 (m)		
Χαρακτηρηστικά Κυμάτων		
α/α	Hs (m)	Tp (sec)
1	0,017	0,569
2	0,018	0,569
3	0,022	0,569
4	0,024	0,569
5	0,016	0,731
6	0,022	0,731
7	0,027	0,731
8	0,034	0,731
9	0,040	0,788
10	0,019	0,788
11	0,029	0,788
12	0,036	0,788
13	0,045	0,788
14	0,054	0,788
15	0,026	0,788
16	0,032	0,788
17	0,049	0,788
18	0,058	0,788
19	0,024	1,138
20	0,034	1,138
21	0,042	1,138
22	0,050	1,138

Πίνακας 4.3 Παραγόμενοι κυματισμοί στα εκτελεσθέντα πειράματα του προσομοιώματος Νο1

<b>Προσομοίωμα Νο2</b>		
<b>Ελεύθερα Περιθώρια:</b>		
<b>0,120 m, 0,133 m, 0,140 m, 0,153 m</b>		
<b>Χαρακτηρηστικά Κυμάτων</b>		
<b>α/α</b>	<b>Hs (m)</b>	<b>Tp (sec)</b>
1	<b>0,021</b>	<b>0,759</b>
2	<b>0,031</b>	<b>0,759</b>
3	<b>0,039</b>	<b>0,759</b>
4	<b>0,047</b>	<b>0,759</b>
5	<b>0,053</b>	<b>0,759</b>
6	0,042	0,931
7	0,049	0,931
8	0,061	0,931
9	<b>0,082</b>	<b>1,138</b>
10	<b>0,048</b>	<b>1,138</b>
11	<b>0,066</b>	<b>1,138</b>
12	<b>0,082</b>	<b>1,138</b>
13	<b>0,095</b>	<b>1,138</b>
14	<b>0,109</b>	<b>1,138</b>
15	0,063	1,205
16	0,085	1,205
17	0,104	1,205
18	0,121	1,205
19	0,138	1,205
20	0,061	1,205
21	0,086	1,205
22	0,108	1,205
23	0,125	1,205
24	0,139	1,205

*Πίνακας 4.4 Παραγόμενοι κυματισμοί στα εκτελεσθέντα πειράματα του προσομοιώματος N<sub>o</sub>2*

Προσομοίωμα Νο3		
Ελεύθερα Περιθώρια:		
0,100 m, 0,120 m, 0,133 m, 0,140 m, 0,153 m		
Χαρακτηριστικά Κυμάτων		
α/α	Hs (m)	Tp (sec)
1	<b>0,032</b>	<b>0,788</b>
2	<b>0,040</b>	<b>0,788</b>
3	<b>0,045</b>	<b>0,788</b>
4	<b>0,048</b>	<b>0,788</b>
5	0,040	1,024
6	0,054	1,024
7	0,062	1,024
8	0,076	1,024
9	0,070	1,024
10	0,042	1,024
11	0,055	1,024
12	0,065	1,024
13	0,074	1,024
14	0,080	1,024
15	0,072	1,024
16	0,083	1,024
17	0,093	1,024
18	0,050	1,024
19	0,063	1,024
20	0,072	1,024
21	<b>0,081</b>	<b>1,138</b>
22	<b>0,086</b>	<b>1,138</b>
23	0,084	1,280
24	<b>0,057</b>	<b>1,463</b>
25	<b>0,069</b>	<b>1,463</b>
26	<b>0,084</b>	<b>1,463</b>
27	<b>0,096</b>	<b>1,463</b>
28	<b>0,107</b>	<b>1,463</b>
29	<b>0,058</b>	<b>1,463</b>
30	<b>0,070</b>	<b>1,463</b>
31	<b>0,085</b>	<b>1,463</b>
32	<b>0,100</b>	<b>1,463</b>
33	<b>0,112</b>	<b>1,463</b>

Πίνακας 4.5 Παραγόμενοι κυματισμοί στα εκτελεσθέντα πειράματα του προσομοιώματος Νο3



## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

---

Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων προέκυψαν οι μέσοι συντελεστές ανάκλασης για κάθε μέτρηση καθώς και χαρακτηριστικά μεγέθη των κυμάτων εμπρός από τις υπό εξέταση διατάξεις. Αξίζει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις αυτές δεν πραγματοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσης διπλωματικής εργασίας, αλλά κατά την εκπόνηση άλλων, παλαιότερων διπλωματικών εργασιών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιώντας τα ανωτέρω αποτελέσματα που προέκυψαν γίνεται προσπάθεια συσχέτισης του συντελεστή ανάκλασης με χαρακτηριστικές παραμέτρους των υπό διερεύνηση διατομών.

Επιλέγησαν 4 παράμετροι για να συσχετισθούν με τον συντελεστή ανάκλασης.

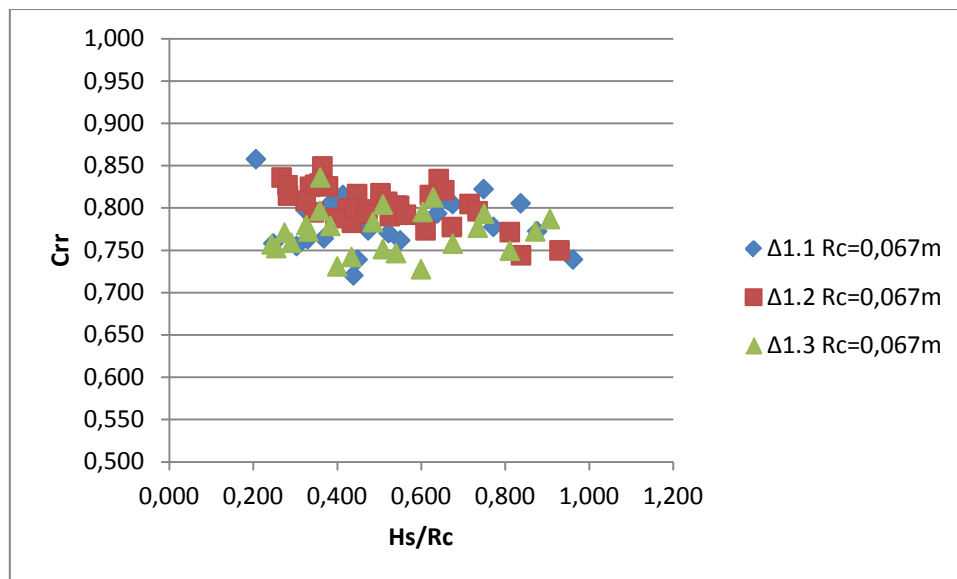
- Ο λόγος  $H_s/R_c$
- Η καμπυλότητα  $H_s/L$
- Η παράμετρος  $d^*$
- Το σχετικό βάθος  $h_s/L$

### 5.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $C_{rr} - H_s/R_c$

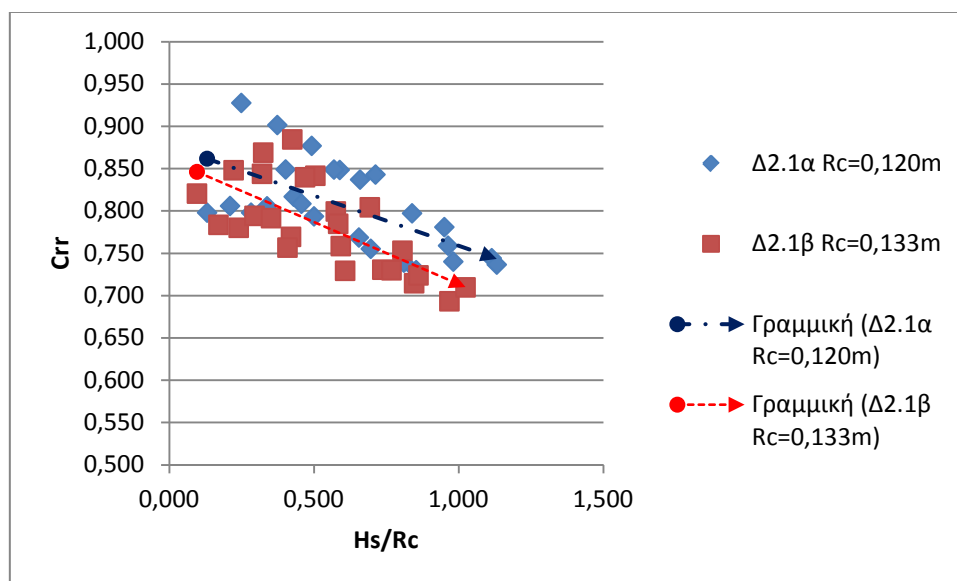
---

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η συσχέτιση του Μέσου Συντελεστή Ανάκλασης (Μ.Σ.Α) με τον λόγο του ύψους κύματος προς το ελεύθερο περιθώριο ( $H_s/R_c$ ), για το σύνολο των μετρήσεων, για κάθε διατομή καθενός από τα προσομοιώματα.

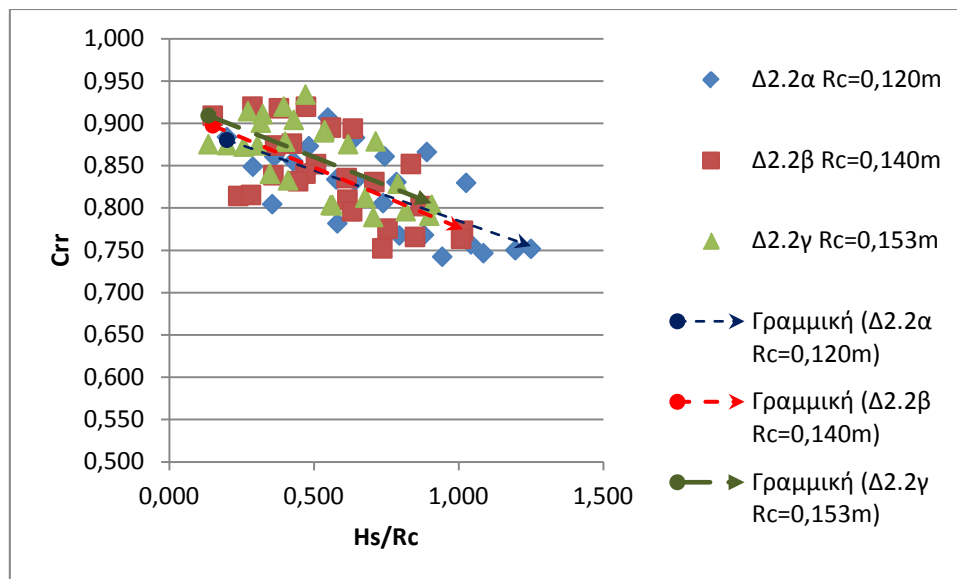




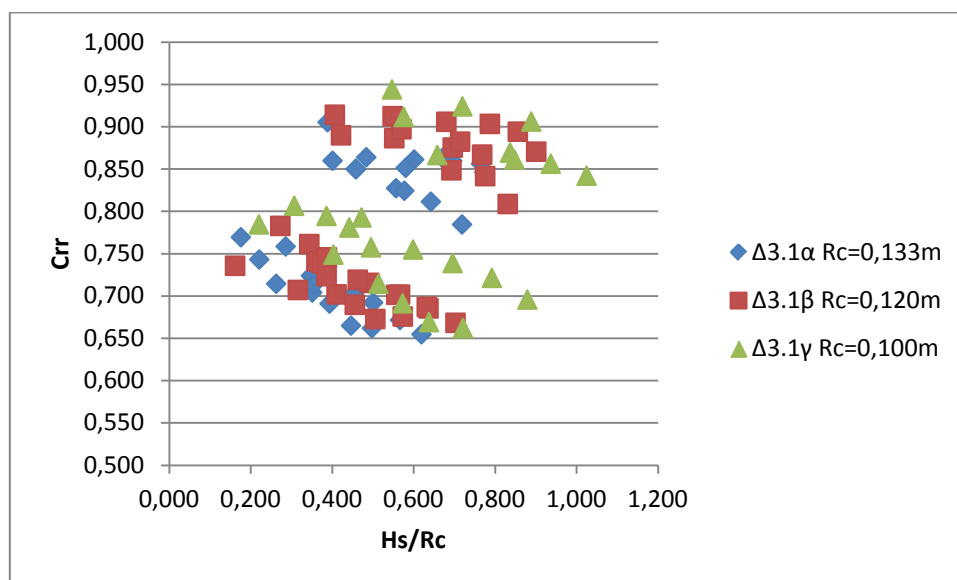
Διάγραμμα 5.1.1 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/R_c$  (Προσομοιώματος 1, για τις 3 διατομές)



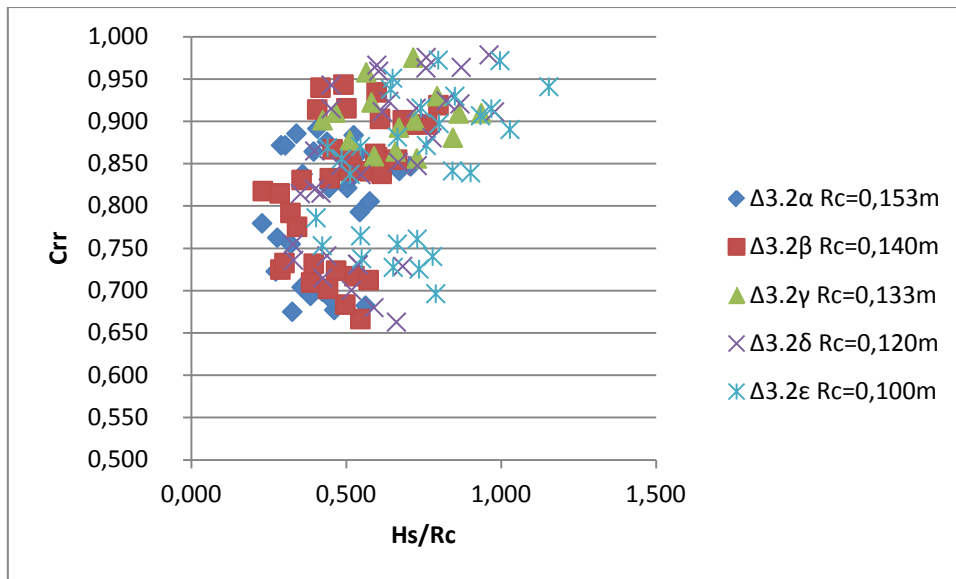
Διάγραμμα 5.1.2 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/R_c$  (Προσομοιώματος 2, για την Δ διατομή)



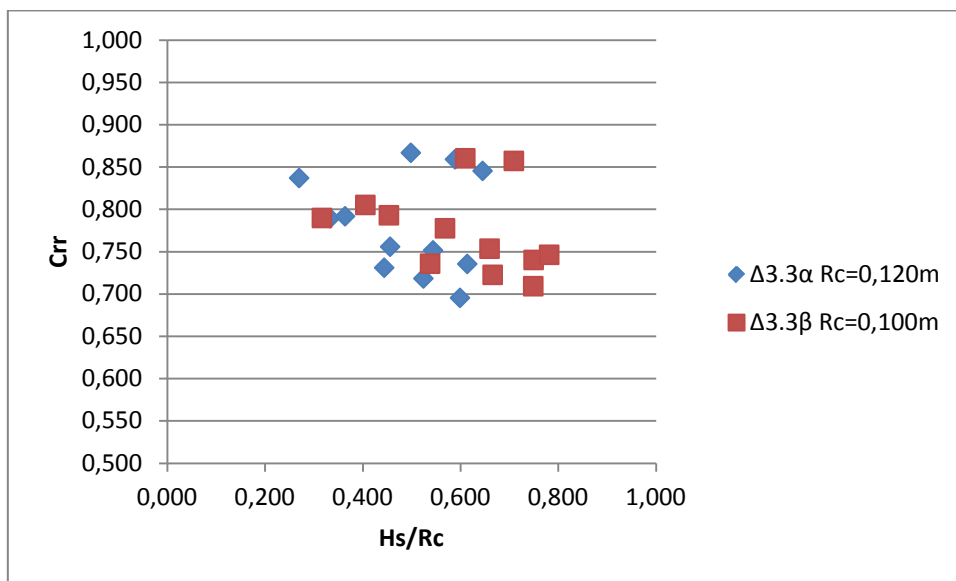
Διάγραμμα 5.1.3 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/R_c$  (Προσομοιώματος 2, για την Ε διατομή)



Διάγραμμα 5.1.4 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/R_c$  (Προσομοιώματος 3, για την ΣΤ διατομή)



Διάγραμμα 5.1.5 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $Hs/Rc$  (Προσομοιώματος 3, για την Z διατομή)

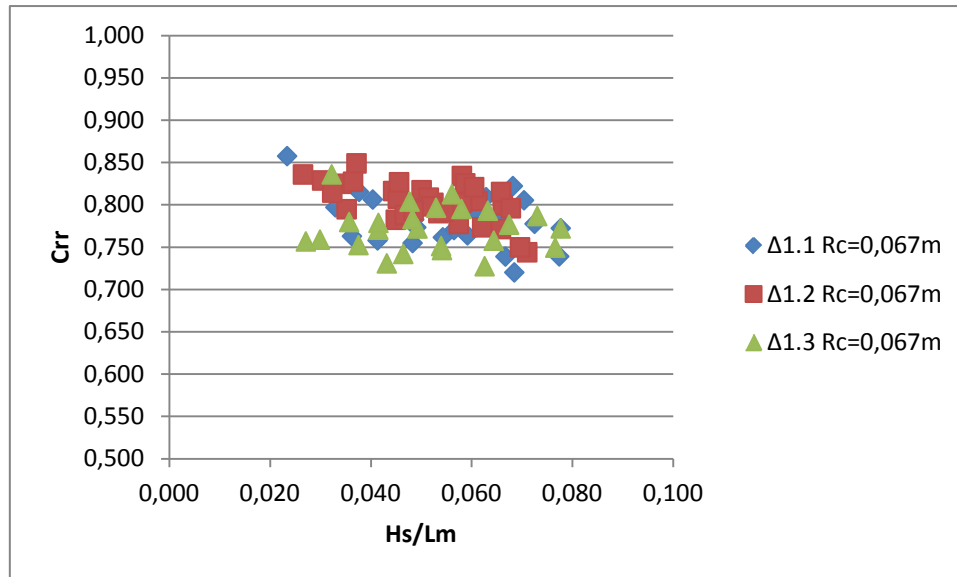


Διάγραμμα 5.1.6 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $Hs/Rc$  (Προσομοιώματος 3, για την H διατομή)

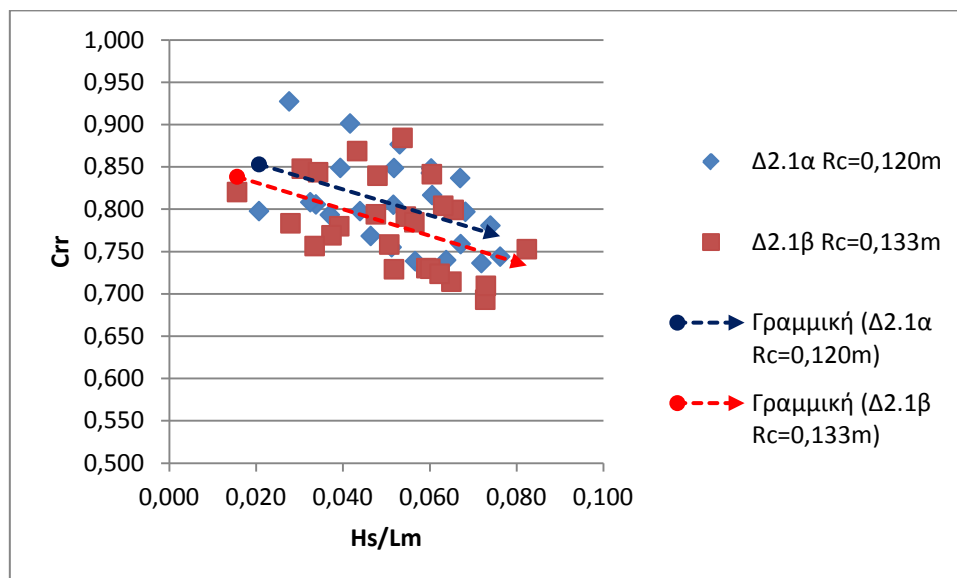
Διαπιστώνεται ότι με την αύξηση του λόγου  $Hs/Rc$  μειώνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης, φαινόμενο που φαίνεται πιο έντονα στα πειράματα που έγιναν στις Διατομές Δ και Ε.

## 5.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ Crr – ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ( $\gamma=Hs/L$ )

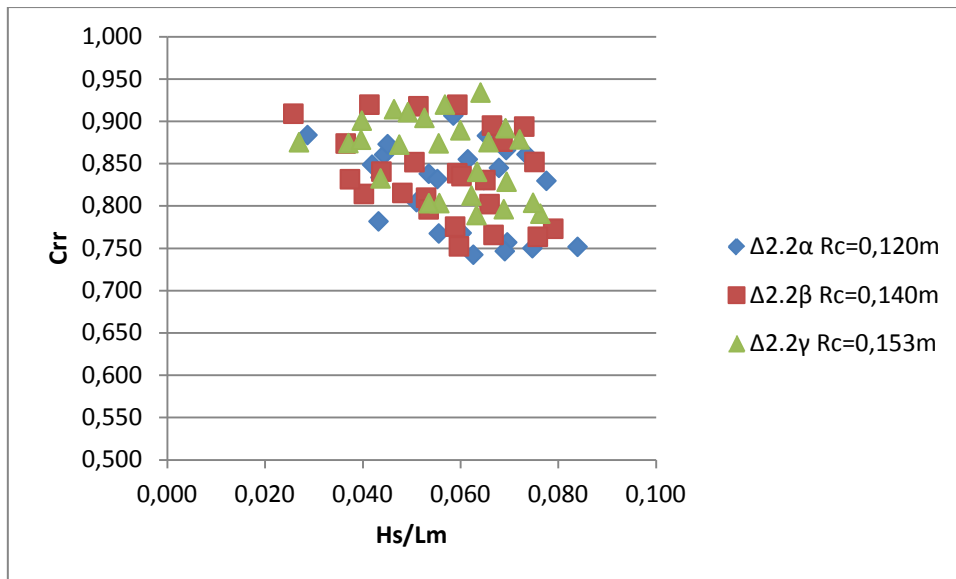
Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση του Μέσου Συντελεστή Ανάκλασης προς την καμπυλότητα  $\gamma$  των κυματισμών ( $Hs/L$ ).



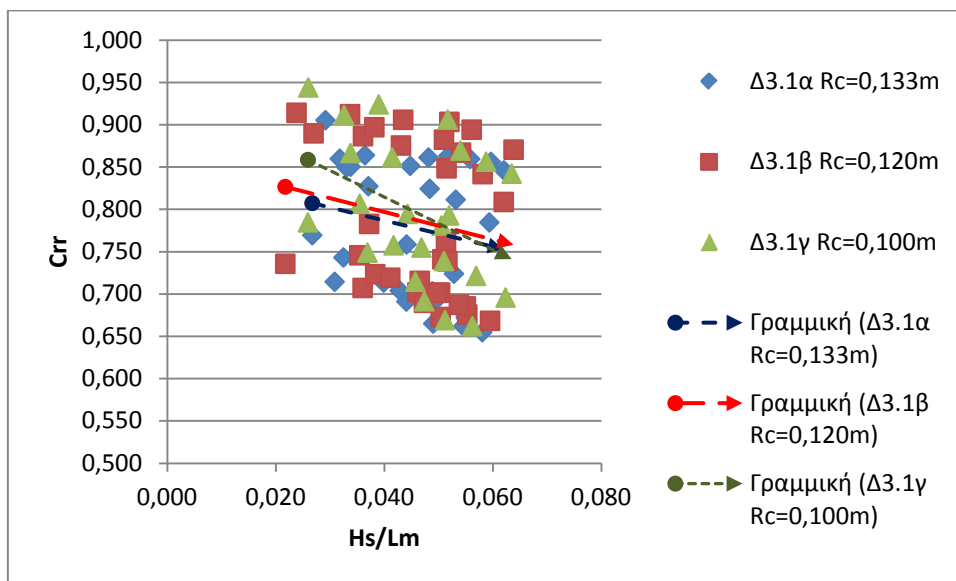
Διάγραμμα 5.2.1 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $Hs/L$  (Προσομοιώματος 1, για τις 3 διατομές)



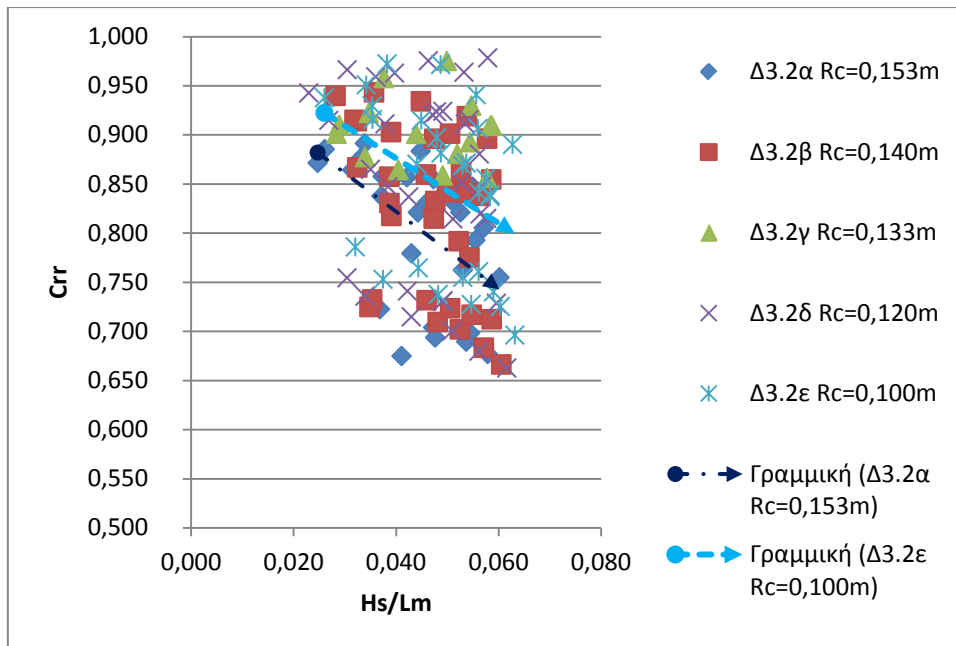
Διάγραμμα 5.2.2 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $Hs/L$  (Προσομοιώματος 2, για την Δ διατομή)



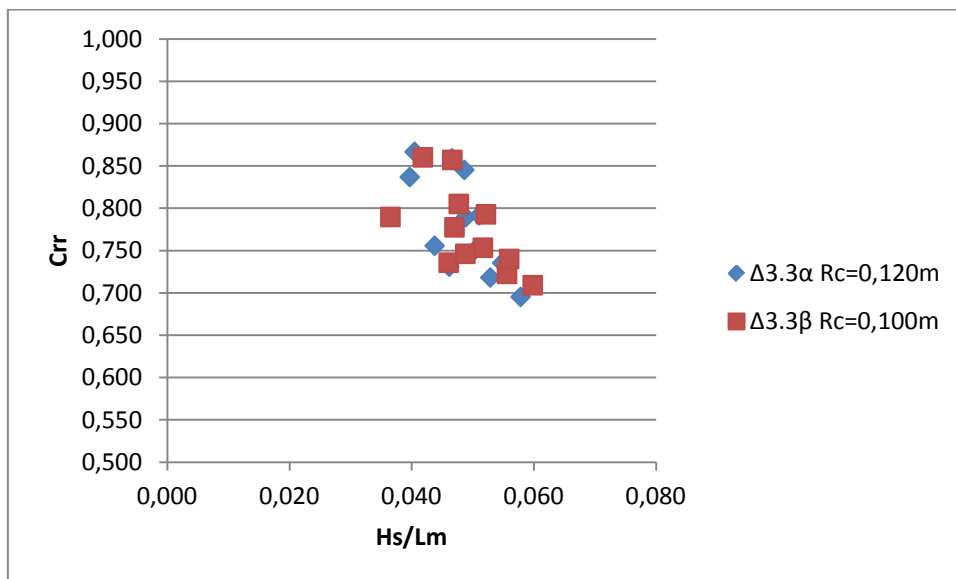
Διάγραμμα 5.2.3 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/L$  (Προσομοιώματος 2, για την Ε διατομή)



Διάγραμμα 5.2.4 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/L$  (Προσομοιώματος 3, για την ΣΤ διατομή)



Διάγραμμα 5.2.5 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/L$  (Προσομοιώματος 3, για την Z διατομή)



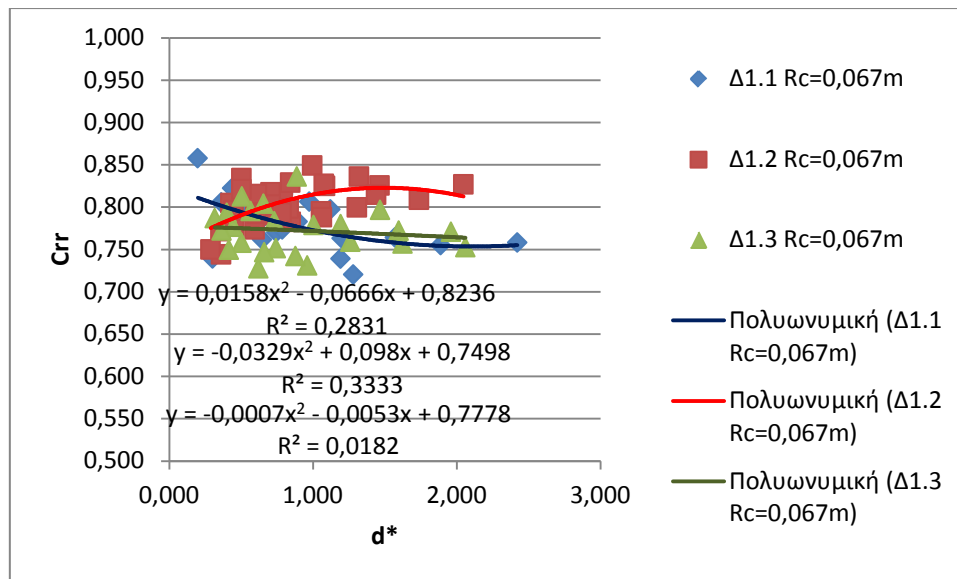
Διάγραμμα 5.2.6 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/L$  (Προσομοιώματος 3, για την H διατομή)

Διαπιστώνεται ότι με την αύξηση της καμπυλότητας του προσπίπτοντος κυματισμού διατομής μειώνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης.

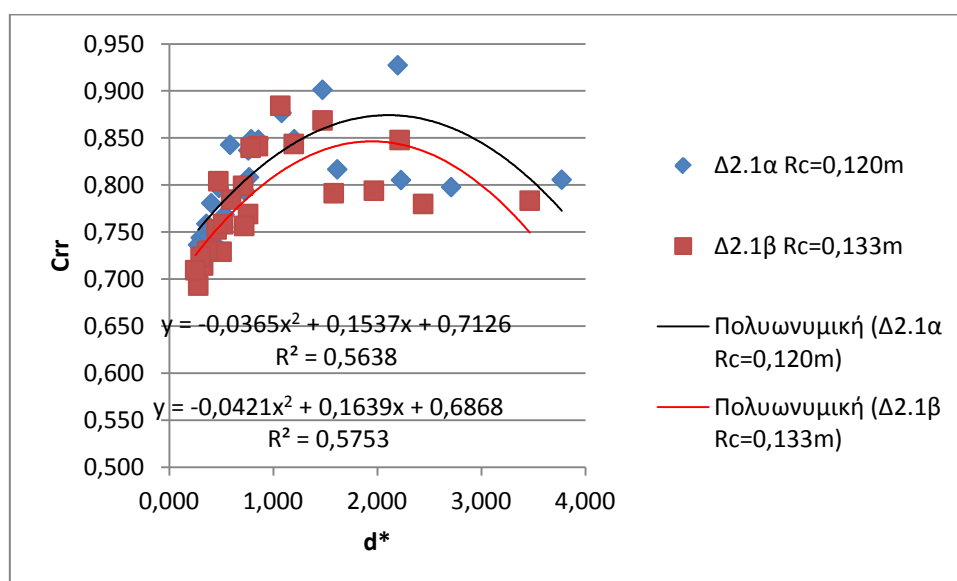
### 5.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ Crr – d\*

Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση του Μέσου Συντελεστή Ανάκλασης προς την παράμετρο d\*.

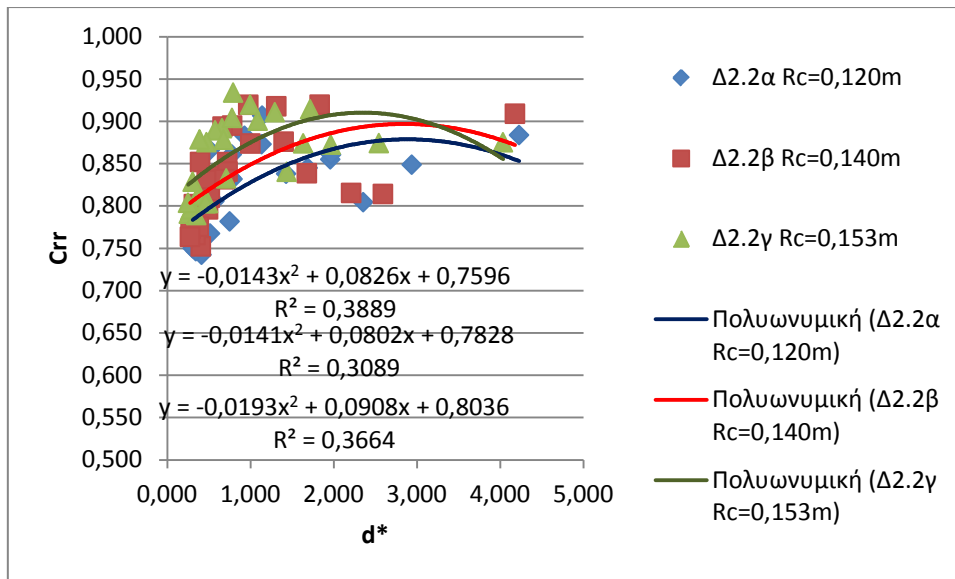
$$d^* = \frac{hs \cdot d}{Hs \cdot L}$$



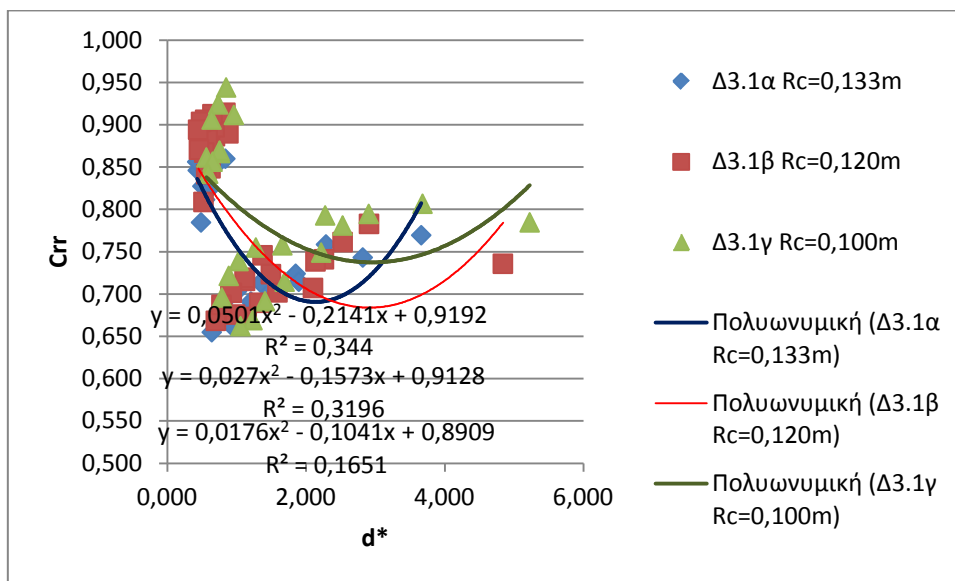
Διάγραμμα 5.3.1 Μ.Σ.Α προς το d\* (Προσομοιόματος 1, για τις 3 διατομές)



Διάγραμμα 5.3.2 Μ.Σ.Α προς το d\* (Προσομοιόματος 2, για την Δ διατομή)

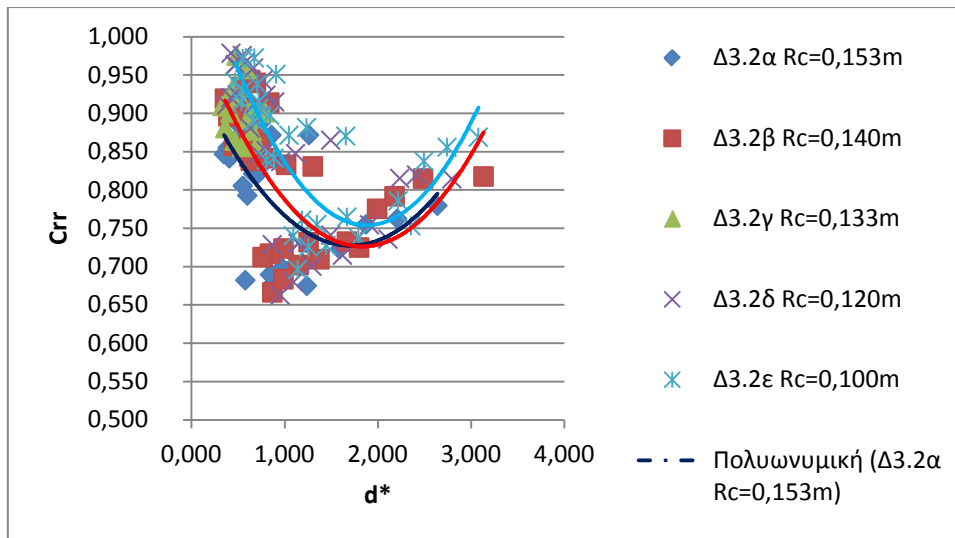


Διάγραμμα 5.3.3 Μ.Σ.Α προς το  $d^*$  (Προσομοιώματος 2, για την E διατομή)

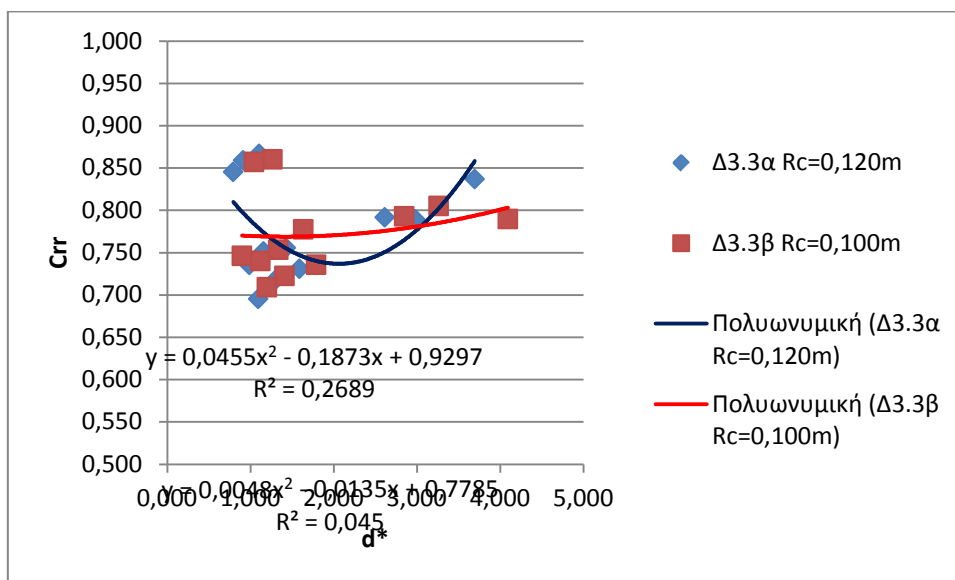


Διάγραμμα 5.3.4 Μ.Σ.Α προς το  $d^*$  (Προσομοιώματος 3, για την ΣΤ διατομή)





Διάγραμμα 5.3.5 Μ.Σ.Α προς το  $d^*$  (Προσομοιώματος 3, για την Z διατομή)



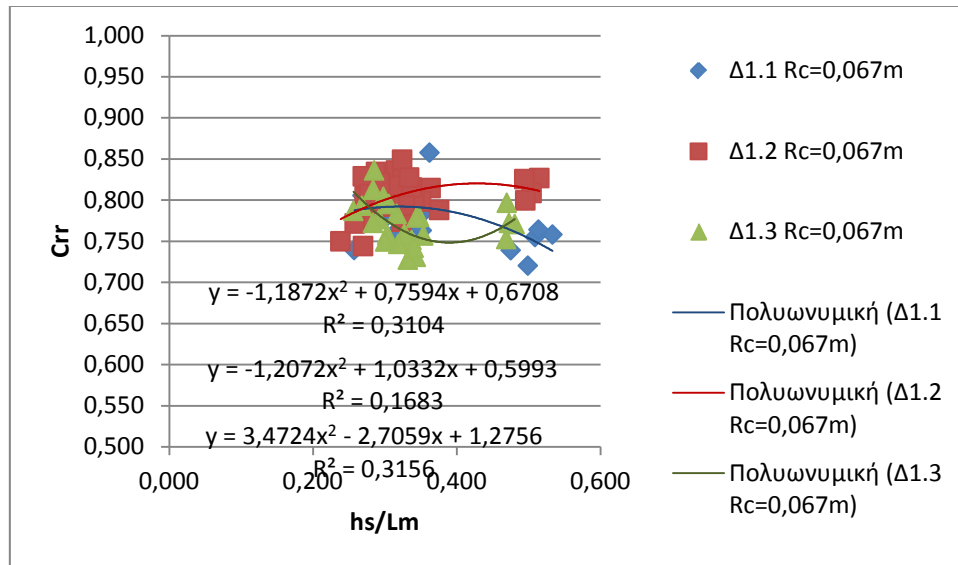
Διάγραμμα 5.3.6 Μ.Σ.Α προς το  $d^*$  (Προσομοιώματος 3, για την H διατομή)

Παρατηρείται ότι στις Διατομές Δ και Ε η αύξηση του  $d^*$ , έως τις τιμές μεταξύ 2,000-3,000, οδηγεί και στην αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Από εκεί και πέρα διαπιστώνεται μια μικρή μείωσή του. Στις Διατομές ΣΤ, Ζ και Η, αντίθετα με τα παραπάνω, διαπιστώνεται ότι η αύξηση του  $d^*$ , έως τις τιμές 2,000-3,000, οδηγεί στη μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης και από εκεί και πέρα διαπιστώνεται μια μικρή αύξησή του. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί να έγκειται στο γεγονός ότι οι

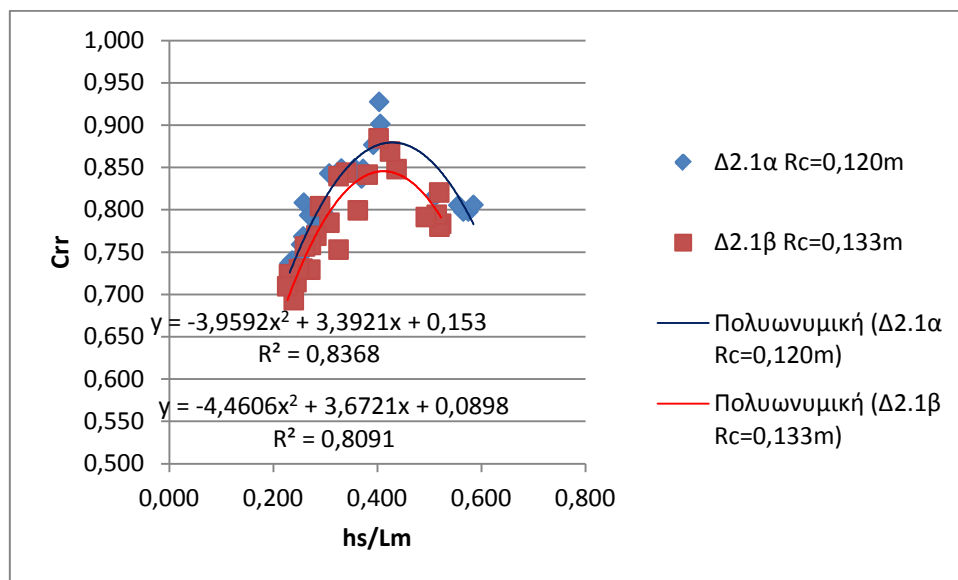
Διατομές Δ και Ε έχουν κεκλιμένο πυθμένα ενώ οι Διατομές ΣΤ, Ζ και Η οριζόντιο. Όσον αφορά το προσομοίωμα Νο1 και τις Διατομές Α, Β και Γ, διαπιστώνεται ότι για την κάθε διατομή, η παράμετρος  $d^*$  με τον συντελεστή ανάκλασης δίνουν και διαφορετικές καμπύλες. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην μικρότερη κλίμακα (1:60) στην οποία κατασκευάστηκε το προσομοίωμα.

#### 5.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $C_{tr}$ – ΣΧΕΤΙΚΟ ΒΑΘΟΣ ( $hs/L$ )

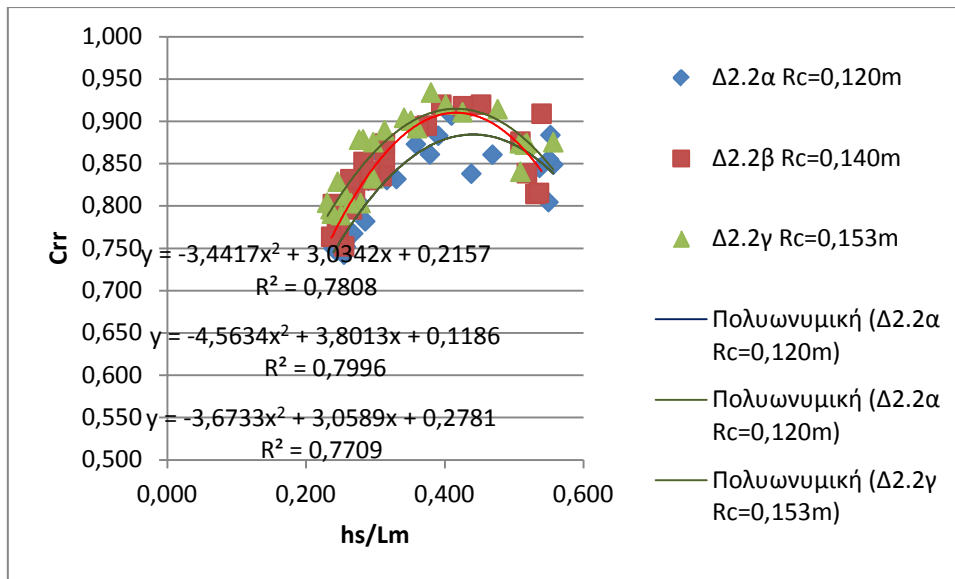
Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση του Μέσου Συντελεστή Ανάκλασης προς το σχετικό βάθος  $h/L$ .



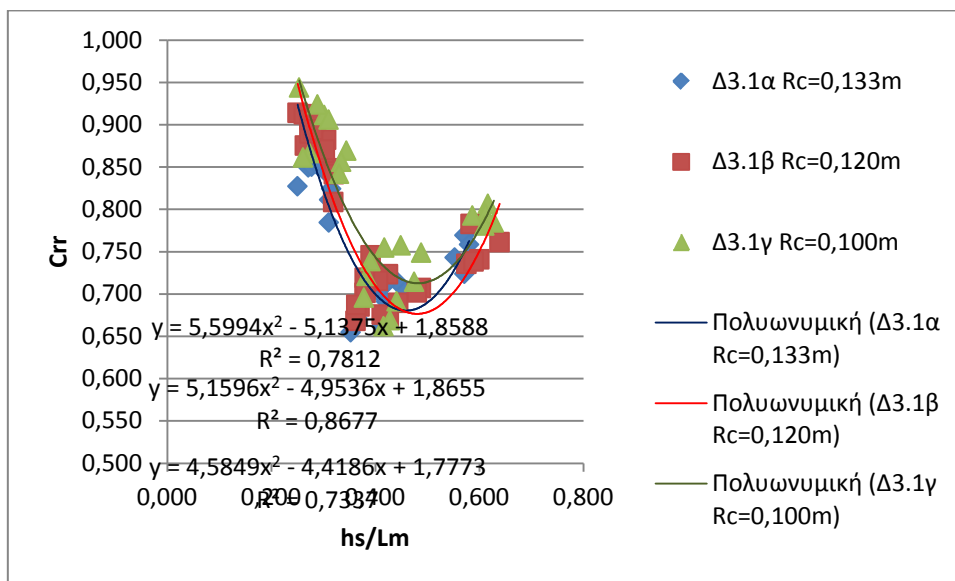
Διάγραμμα 5.4.1 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  (Προσομοιώματος 1, για τις 3 διατομές)



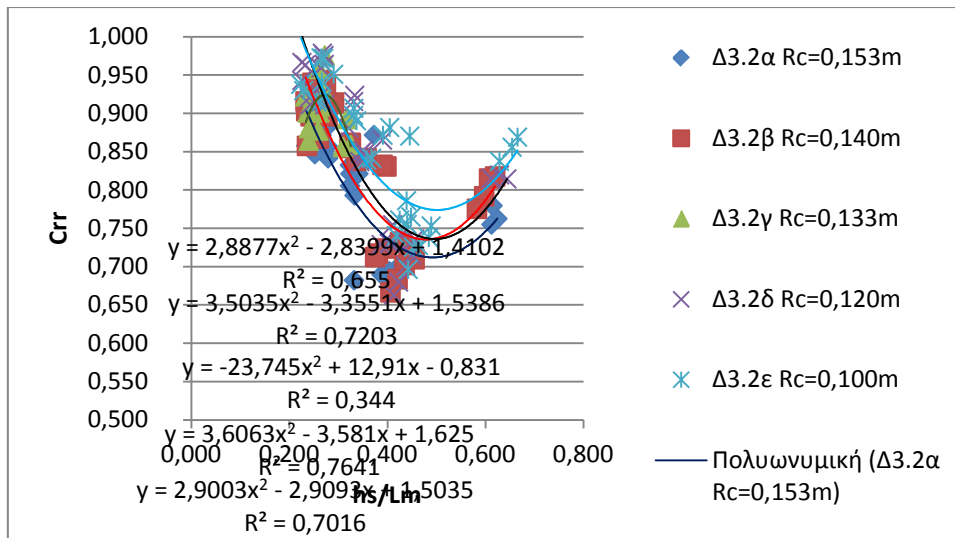
Διάγραμμα 5.4.2 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  (Προσομοιώματος 2, για την Δ διατομή)



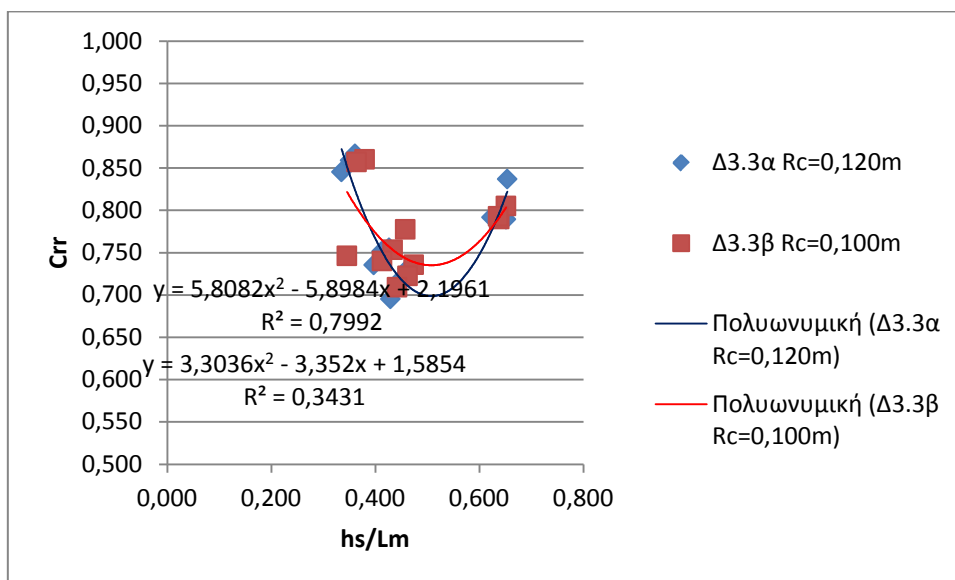
Διάγραμμα 5.4.3 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  (Προσομοιώματος 2, για την Ε διατομή)



Διάγραμμα 5.4.4 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  (Προσομοιώματος 3, για την ΣΤ διατομή)



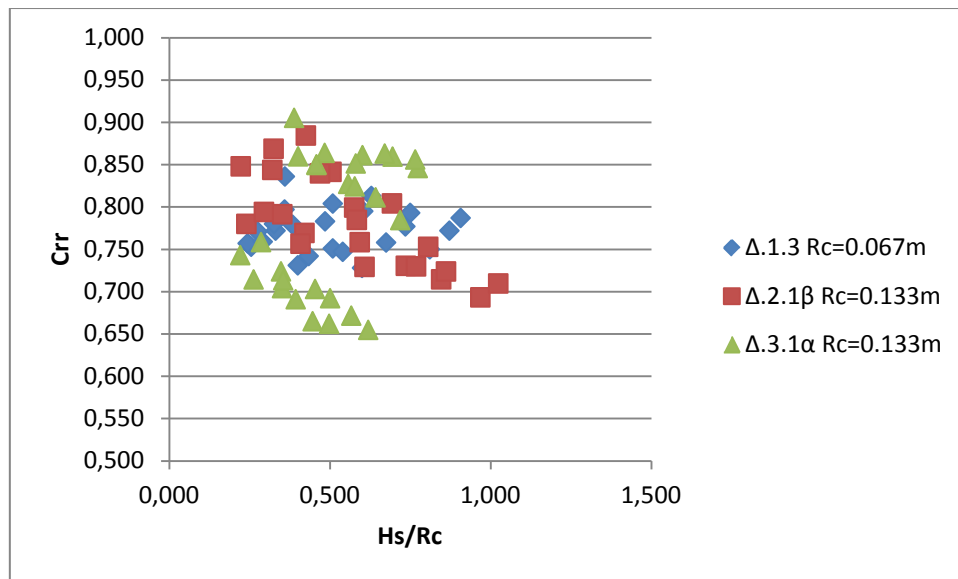
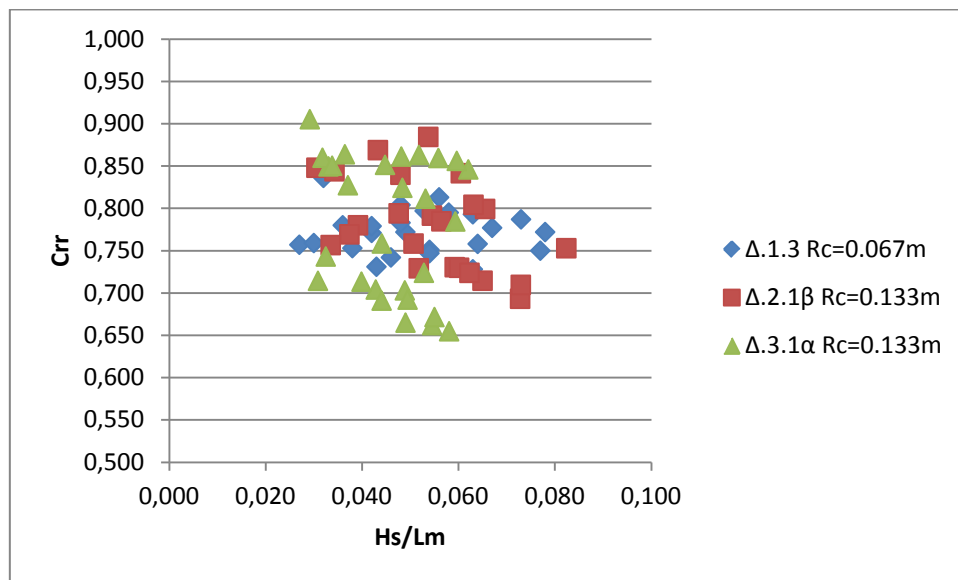
Διάγραμμα 5.4.5 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  (Προσομοιώματος 3, για την Z διατομή)

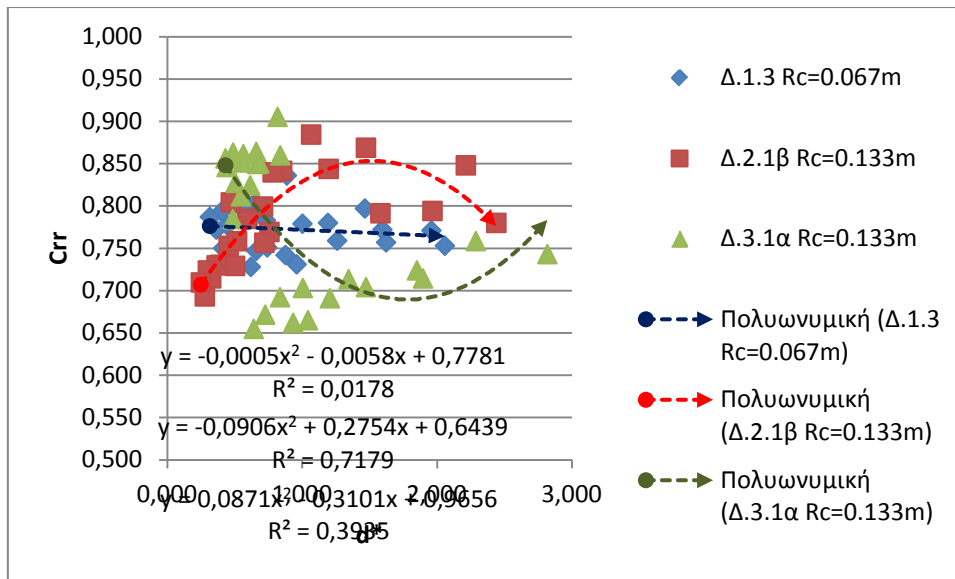


Διάγραμμα 5.4.6 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  (Προσομοιώματος 3, για την H διατομή)

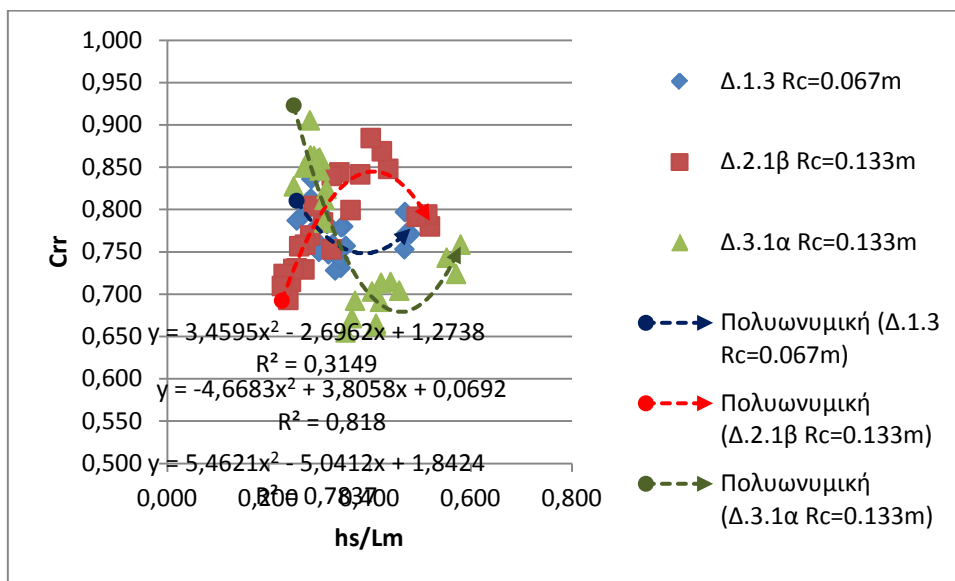
Στις διατομές Α, Β και Γ δεν παρατηρείται καλή συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με το σχετικό βάθος, πράγμα το οποίο μπορεί να οφείλεται στην μεγάλη κλίμακα. (η περιοχή που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης ήταν 60m, ενώ στις άλλες περιπτώσεις ήταν 30 m).

Παρατηρείται ότι στις Διατομές A, B, Δ και E η αύξηση του λόγου του βάθους προς του μήκους κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού, για τιμές έως 0,4-0,5, οδηγεί και στην αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Από εκεί και πέρα διαπιστώνεται μια μικρή μείωσή του. Αντίθετα, στις Διατομές Γ, ΣΤ, Ζ και Η η αύξηση του λόγου του βάθους προς του μήκους κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού, για τιμές έως 0,4-0,5, οδηγεί και στη μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Από εκεί και πέρα διαπιστώνεται μια μικρή αύξησή του.

5.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ Γ, Δ, ΣΤ ΜΕ  $Rc=0.133\text{ m}$ Διάγραμμα 5.5.1 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/R_c$  Διατομών Γ, Δ, ΣΤΔιάγραμμα 5.5.2 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/L$  Διατομών Γ, Δ, ΣΤ



Διάγραμμα 5.5.3 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $d^*$  Διατομών Γ, Δ, ΣΤ



Διάγραμμα 5.5.4 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  Διατομών Γ, Δ, ΣΤ

Ο συντελεστής ανάκλασης  $C_{rr}$  κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,710-0,830 για την διατομή Γ. Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη Διατομή Δ παρατηρείται ότι όσο αυξάνονται οι λόγοι  $Hs/Rc$  και  $Hs/L$  τόσο μειώνεται ο συντελεστής ανάκλασης ενώ στα διαγράμματα του  $d^*$  και του  $hs/L$  μέχρι τις τιμές 1,000 και 0,400 αντίστοιχα, παρατηρείται μια σχετική αύξηση του συντελεστή ανάκλασης, ο οποίος

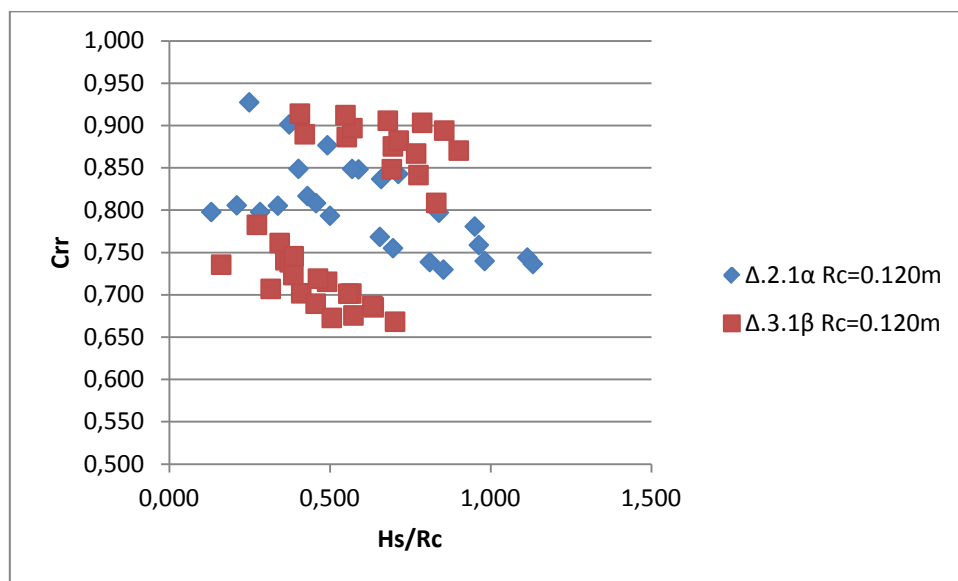


μειώνεται για μεγαλύτερες τιμές. Παρομοίως για τη Διατομή ΣΤ παρατηρείται ότι όσο αυξάνονται οι λόγοι  $H_s/R_c$  και  $H_s/L$  τόσο μειώνεται ο συντελεστής ανάκλασης, ενώ αντίθετα με τη Διατομή Δ, στα διαγράμματα του  $d^*$  και του  $h_s/L$  μέχρι τις τιμές 1,000 και 0,400 αντίστοιχα, παρατηρείται μια σχετική μείωση του συντελεστή ανάκλασης, ο οποίος αυξάνεται για μεγαλύτερες τιμές. Παρατηρείται τέλος ότι στα διαγράμματα  $H_s/R_c$ ,  $H_s/L$  και  $d^*$  ότι για κάποιες τιμές των λόγων αυτών προκύπτουν δύο διαφορετικές τιμές για τον συντελεστή ανάκλασης.

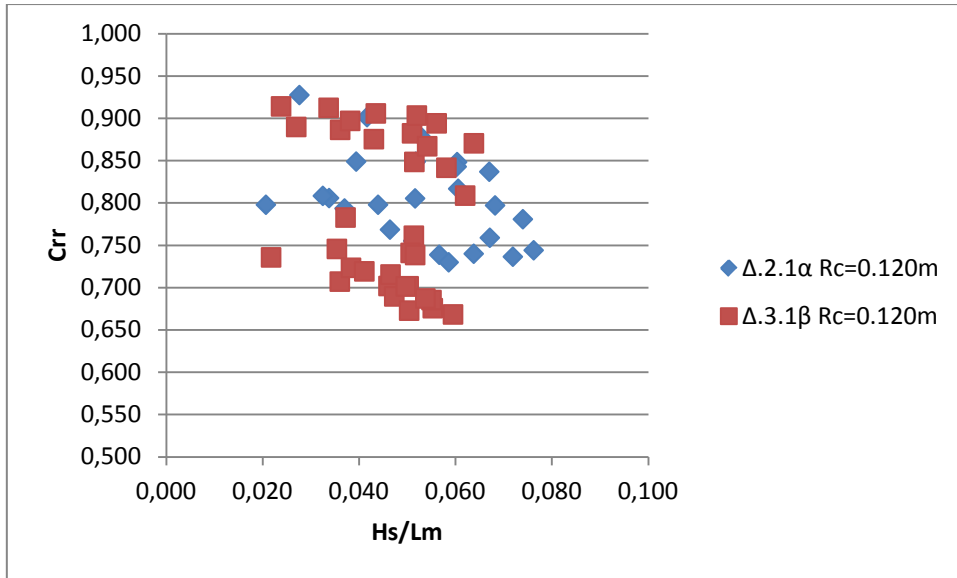
## 5.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ Δ & ΣΤ

Στην συνέχεια παρατίθενται συγκριτικά διαγράμματα μεταξύ των διατομών Δ & ΣΤ (κατασκευαστικά ίδιες στο έξαλο τμήμα) για δυο ελεύθερα περιθώρια ( $R_c=0.120\text{ m}$  &  $R_c=0.133\text{ m}$ ).

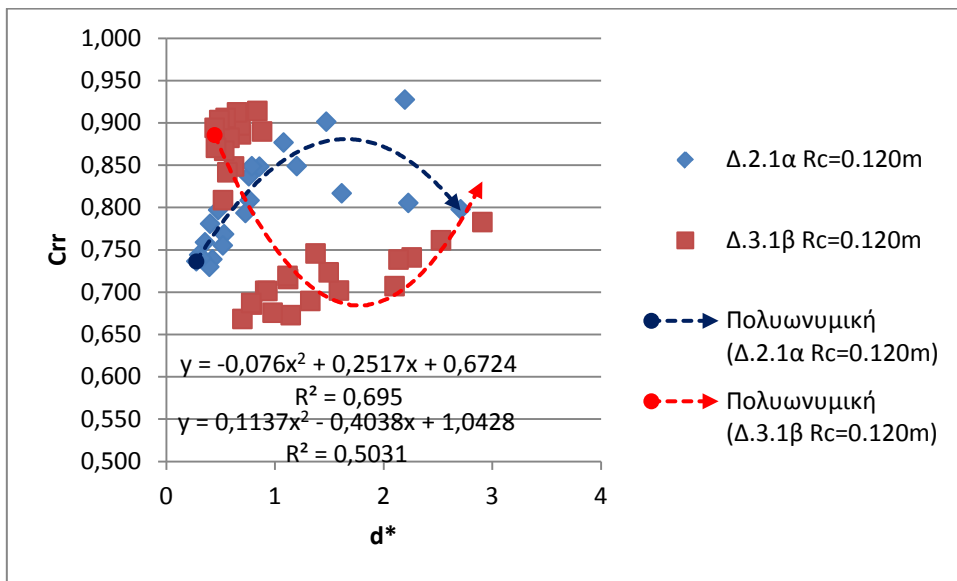
- **ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ  $R_c=0.120\text{ m}$**



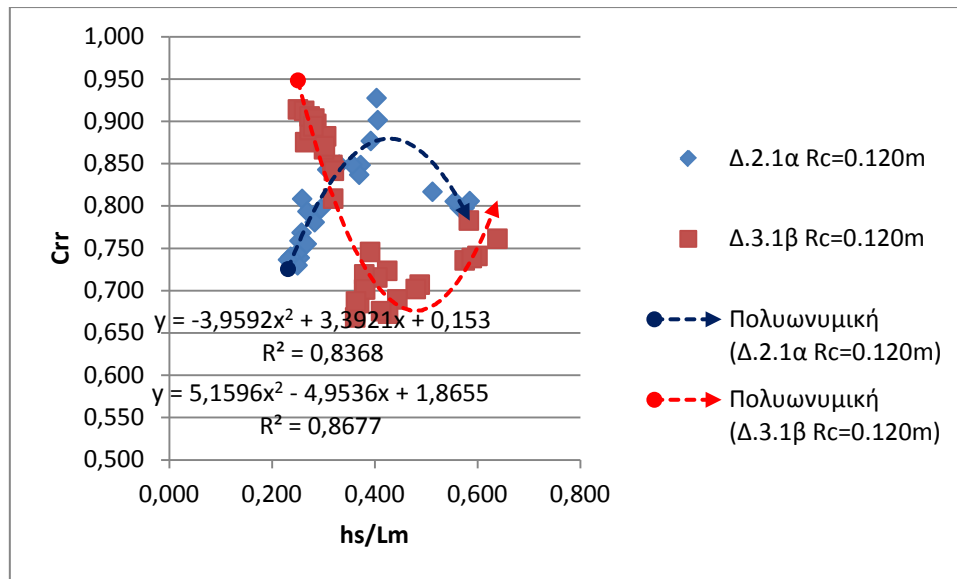
Διάγραμμα 5.6.1 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/R_c$  Διατομών Δ, ΣΤ



Διάγραμμα 5.6.2 Μ.Σ.Α προς το λόγο Hs/L Διατομών Δ, ΣΤ

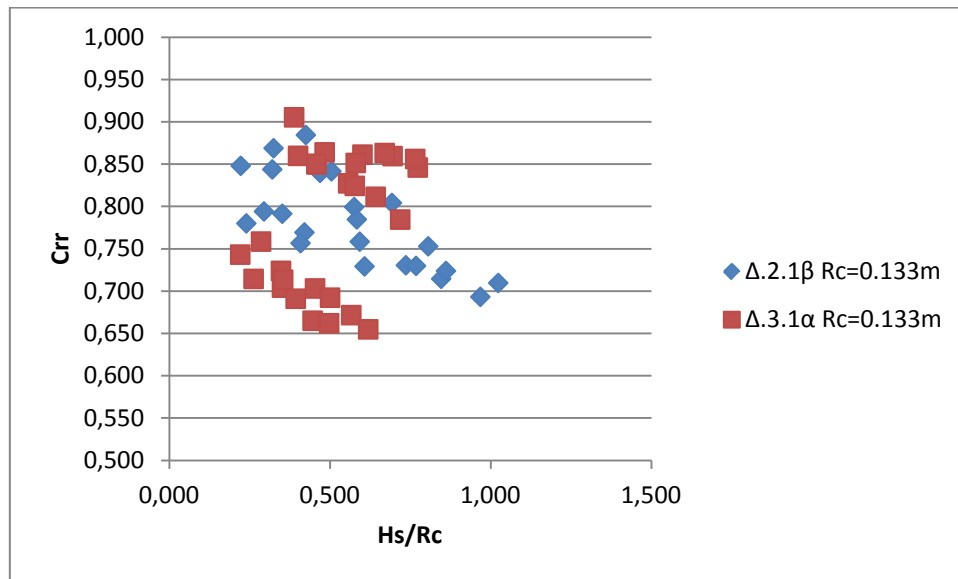


Διάγραμμα 5.6.3 Μ.Σ.Α προς το λόγο d\* Διατομών Δ, ΣΤ

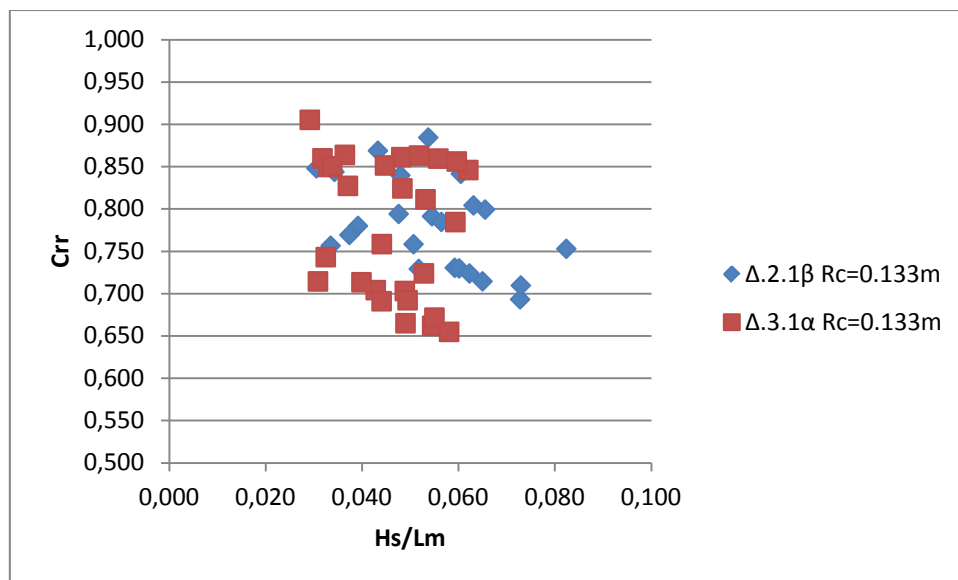


Διάγραμμα 5.6.4 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  Διατομών Δ, ΣΤ

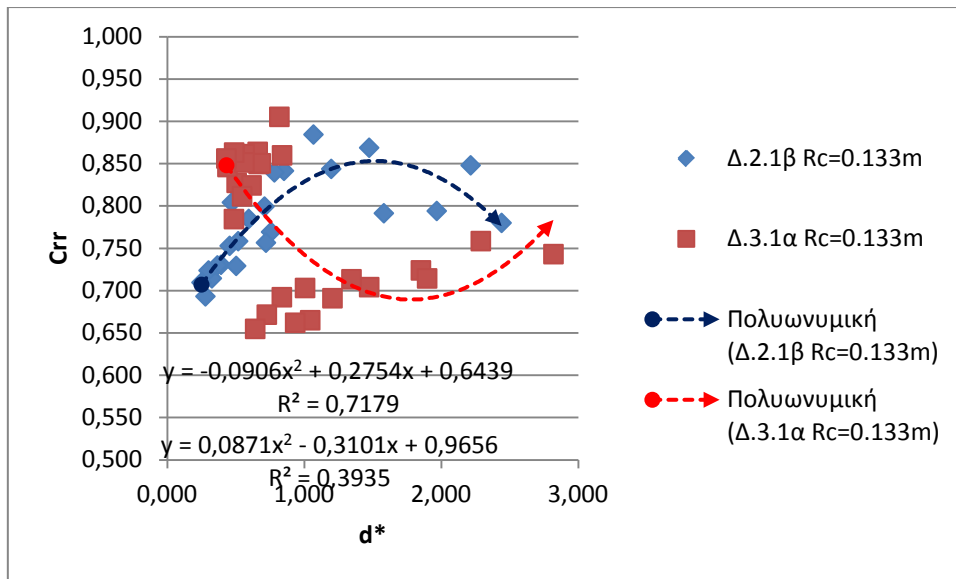
- ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ  $Rc=0.133\text{ m}$



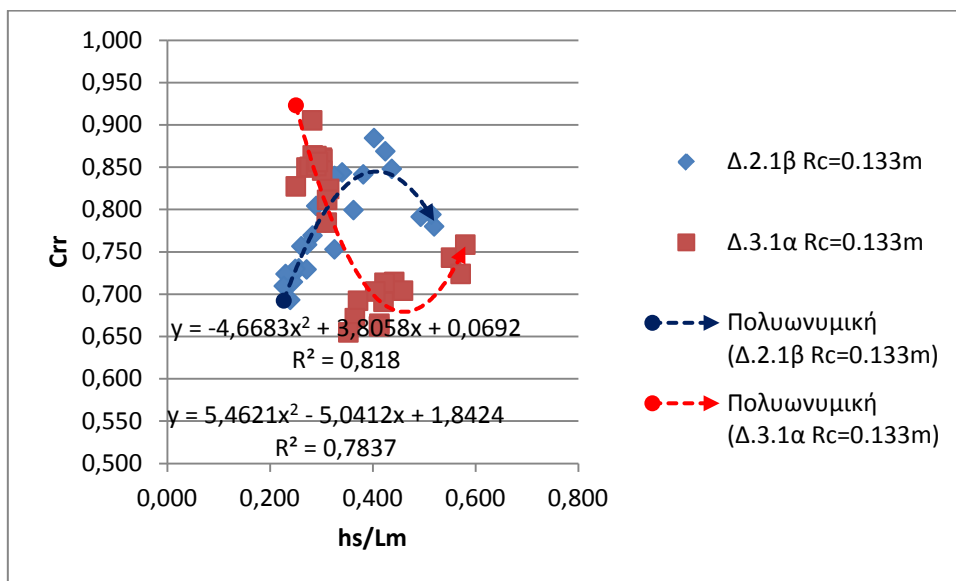
Διάγραμμα 5.6.5 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $Hs/Rc$  Διατομών Δ, ΣΤ



Διάγραμμα 5.6.6 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $Hs/L$  Διατομών Δ, ΣΤ



Διάγραμμα 5.6.7 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $d^*$  Διατομών  $\Delta$ ,  $\Sigma T$



Διάγραμμα 5.6.8 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  Διατομών  $\Delta$ ,  $\Sigma T$

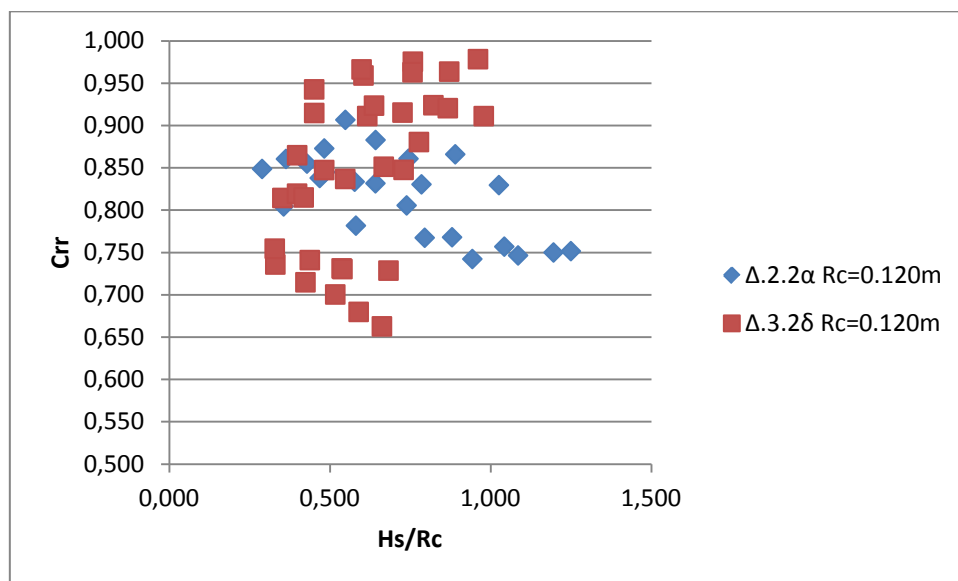
Στα παραπάνω διαγράμματα (με ελεύθερο περιθώριο 0,120 m και 0,133 m) διαπιστώθηκε για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη Διατομή  $\Delta$ , πως όσο αυξάνονται οι παράμετροι  $H_s/R_c$  και  $H_s/L$  τόσο μειώνεται ο συντελεστής ανάκλασης, όπως επίσης το ίδιο συμβαίνει και για τη Διατομή  $\Sigma T$  με τη διαφορά ότι για ορισμένες τιμές των λόγων  $H_s/R_c$  και  $H_s/L$  προκύπτουν δύο διαφορετικές τιμές του συντελεστή

ανάκλασης. Όσον αφορά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη Διατομή Δ, διαπιστώθηκε αύξηση του συντελεστή ανάκλασης μέχρι τις τιμές 1,500 και 0,400 των παραμέτρων  $d^*$  και  $hs/L$  αντίστοιχα, ενώ για τιμές μεγαλύτερες αυτών, ο συντελεστής ανάκλασης μειώνεται. Αντίθετα, όσον αφορά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη Διατομή ΣΤ, διαπιστώθηκε μείωση του συντελεστή ανάκλασης μέχρι τις τιμές 2,000 και 0,450 των παραμέτρων  $d^*$  και  $hs/L$  αντίστοιχα, ενώ για τιμές μεγαλύτερες αυτών, ο συντελεστής ανάκλασης αυξάνεται.

## 5.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ E & Z

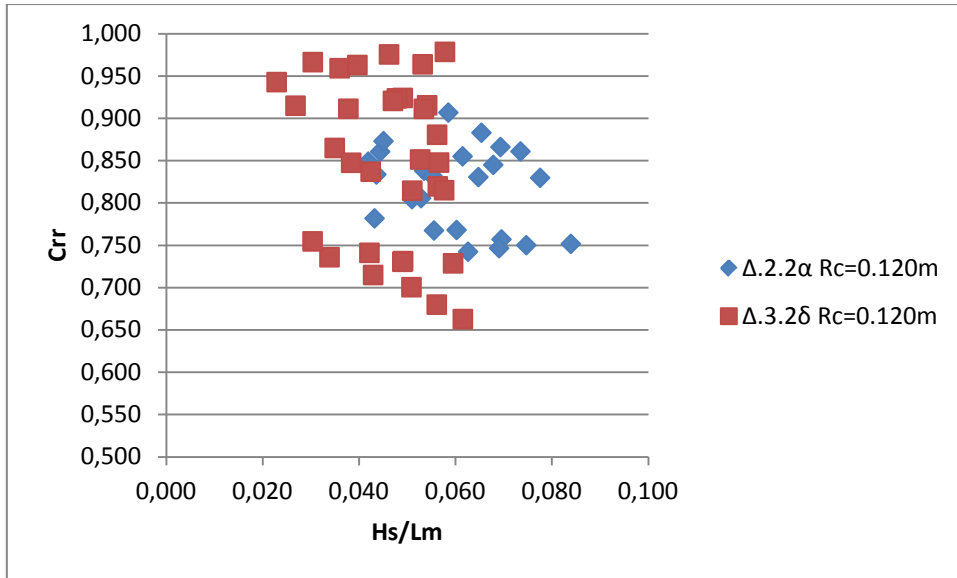
Στην συνέχεια παρατίθενται συγκριτικά διαγράμματα μεταξύ των διατομών E & Z (κατασκευαστικά ίδιες στο έξαλο τμήμα) για τρία ελεύθερα περιθώρια ( $R_c=0.120\text{ m}$ ,  $R_c=0.140\text{ m}$  &  $R_c=0.153\text{ m}$ ).

- **ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ  $R_c=0.120\text{ m}$**

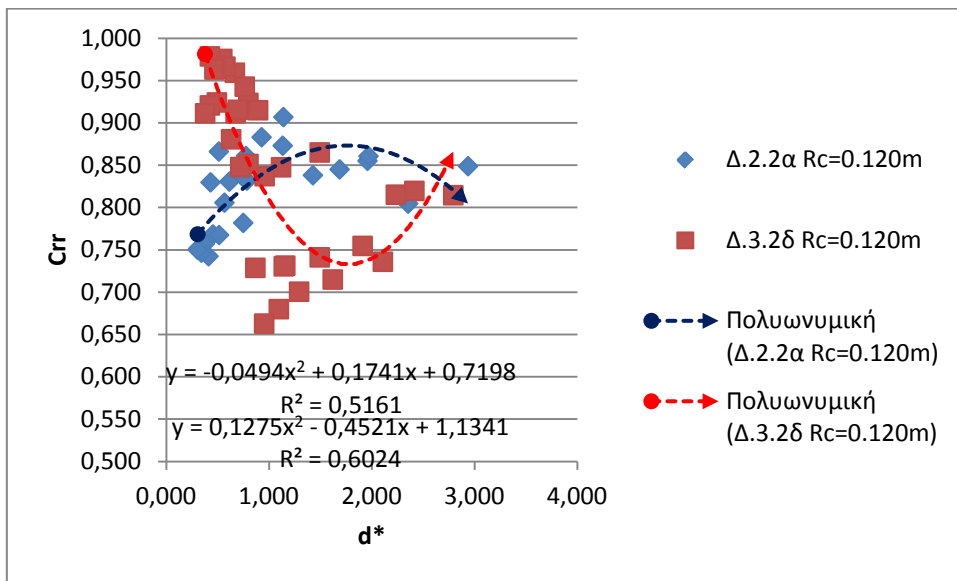


Διάγραμμα 5.7.1 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/R_c$  Διατομών E, Z

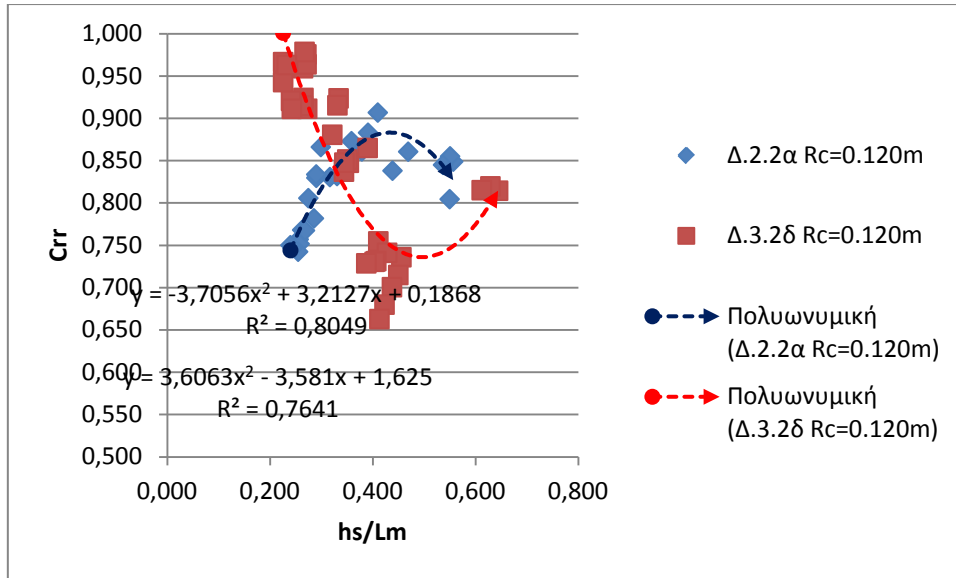




Διάγραμμα 5.7.2 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/L$  Διατομών E, Z

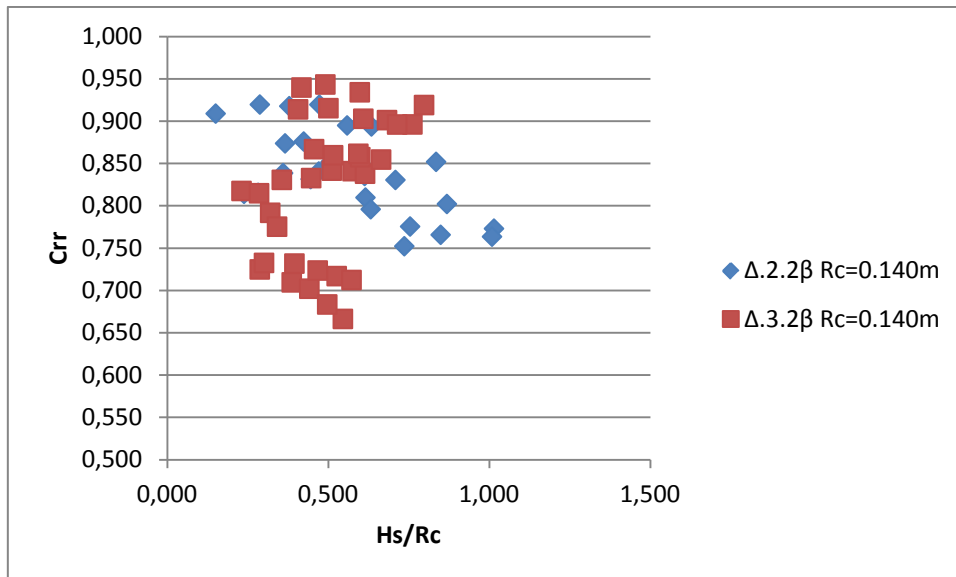


Διάγραμμα 5.7.3 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $d^*$  Διατομών E, Z

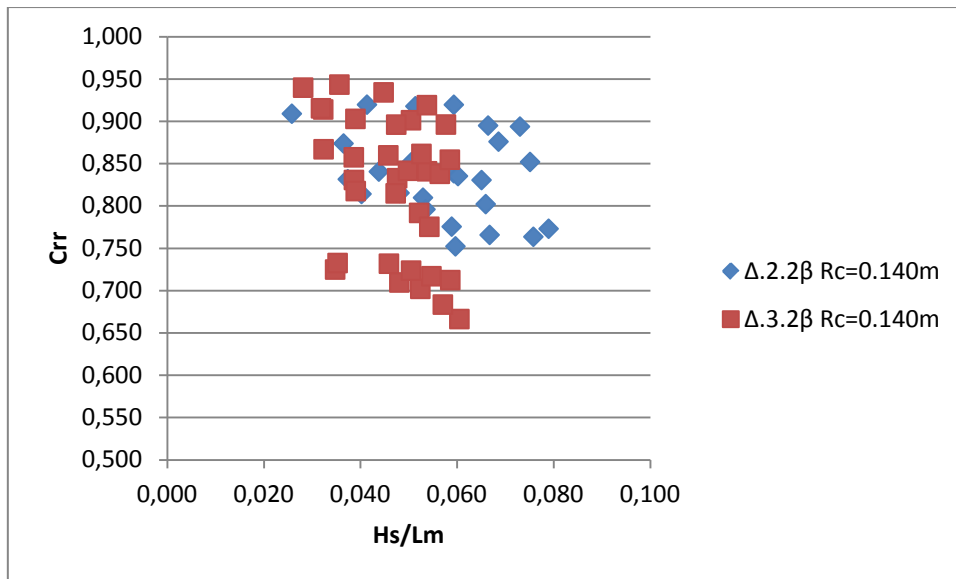


Διάγραμμα 5.7.4 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  Διατομών E, Z

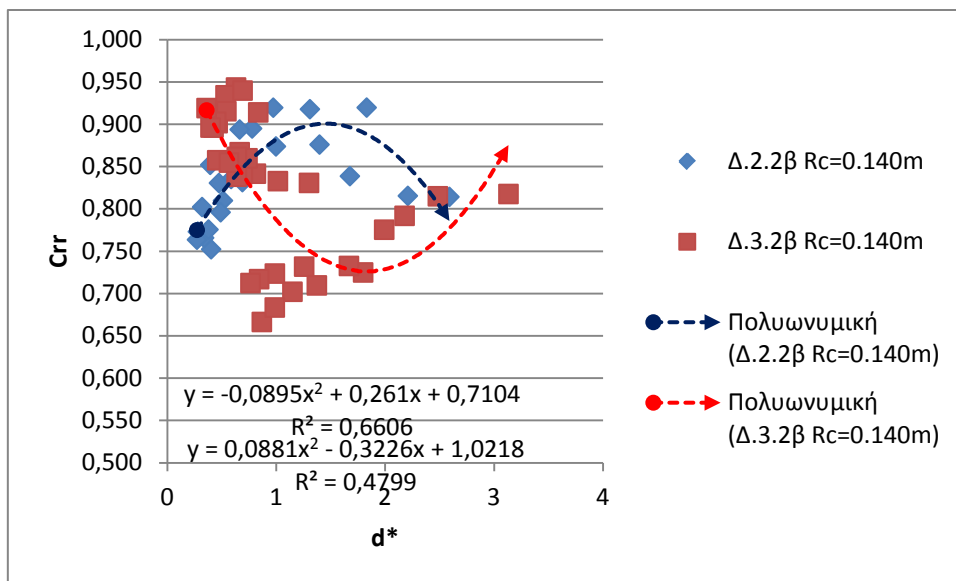
• **ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ  $R_c=0.140m$**



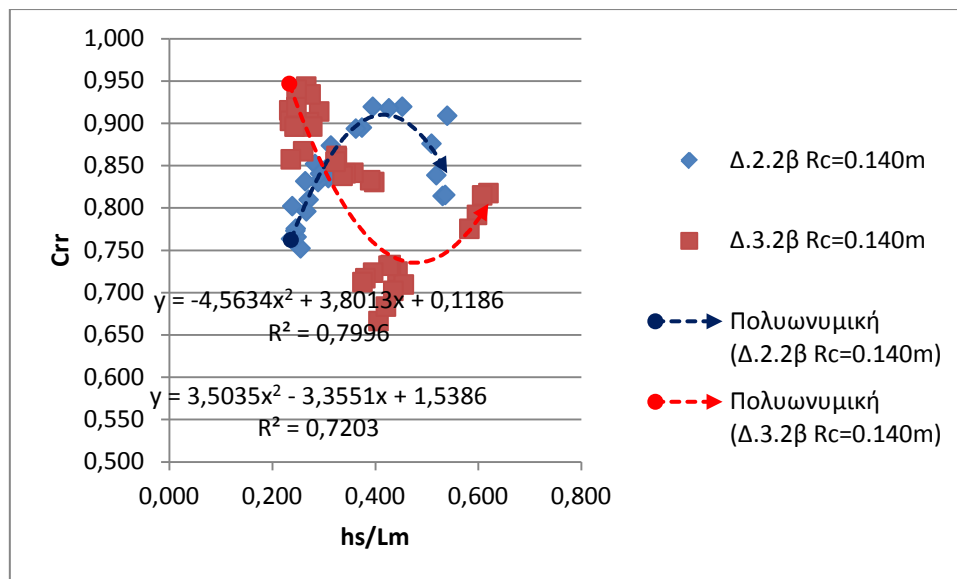
Διάγραμμα 5.7.5 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $Hs/R_c$  Διατομών E, Z



Διάγραμμα 5.7.6 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/L$  Διατομών E, Z

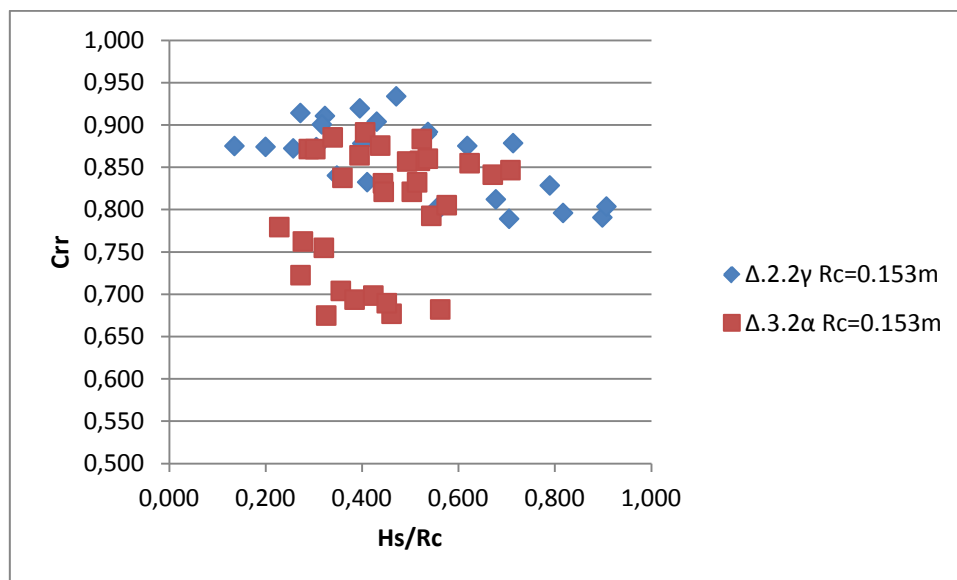


Διάγραμμα 5.7.7 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $d^*$  Διατομών E, Z

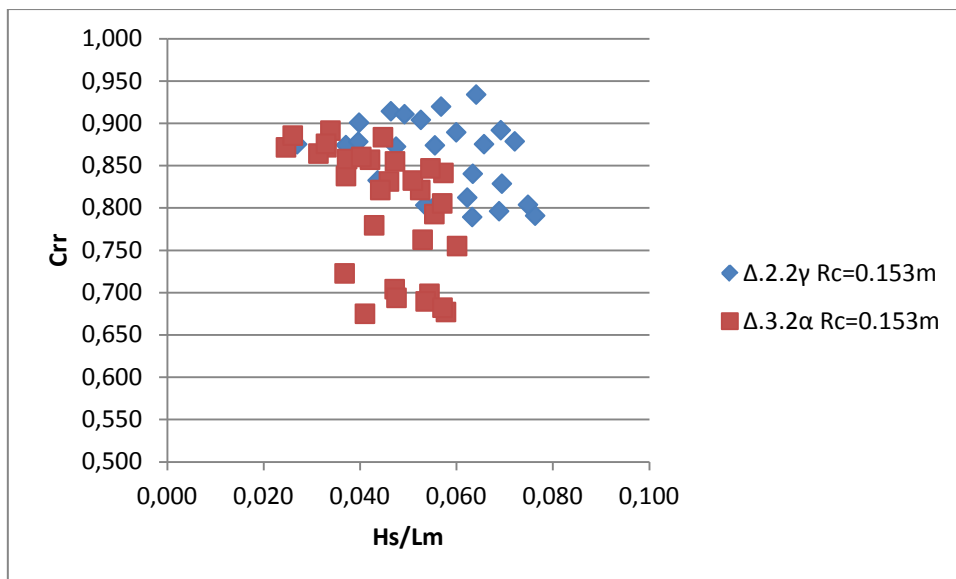


Διάγραμμα 5.7.8 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  Διατομών E, Z

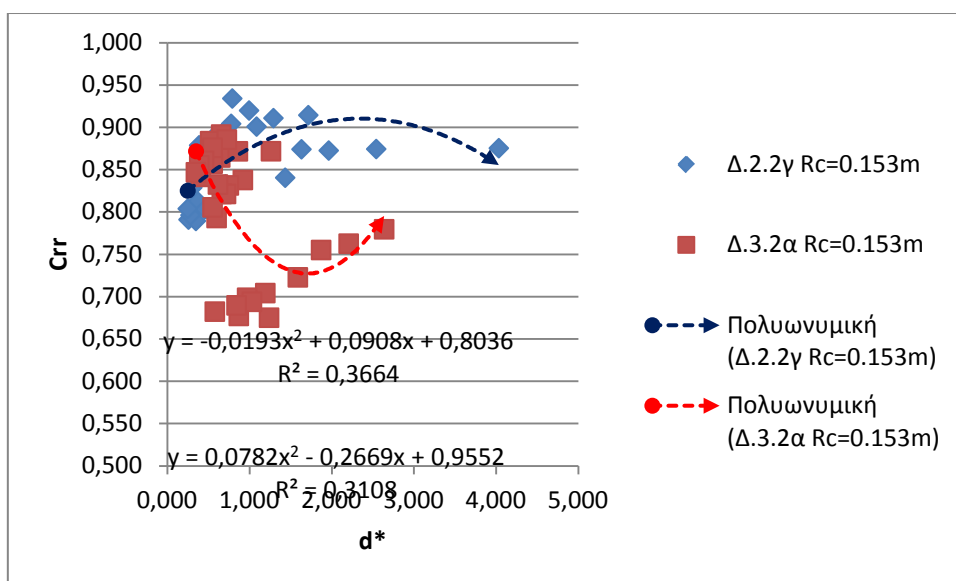
- **ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ  $Rc=0.153m$**



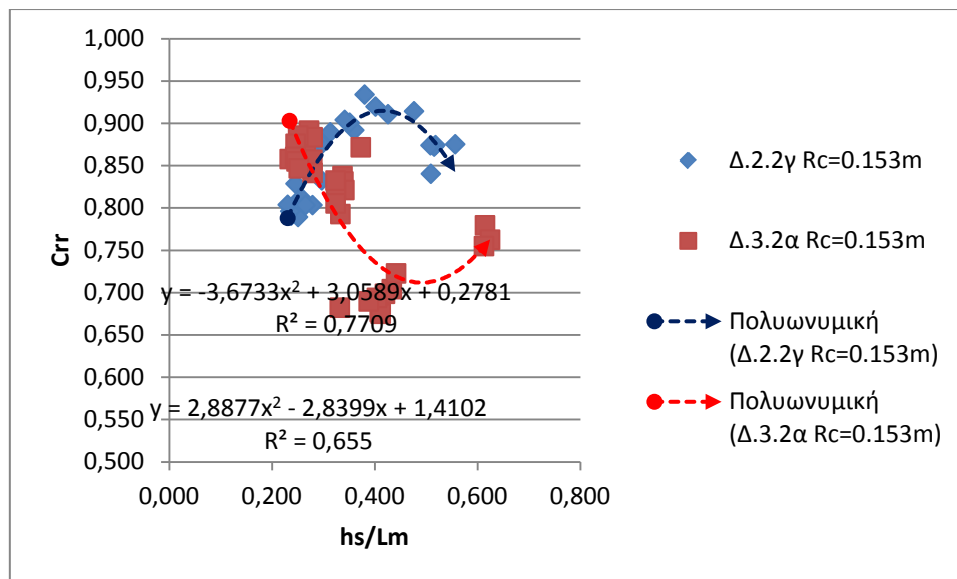
Διάγραμμα 5.7.9 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $Hs/Rc$  Διατομών E, Z



Διάγραμμα 5.7.10 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/L$  Διατομών E, Z



Διάγραμμα 5.7.11 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $d^*$  Διατομών E, Z

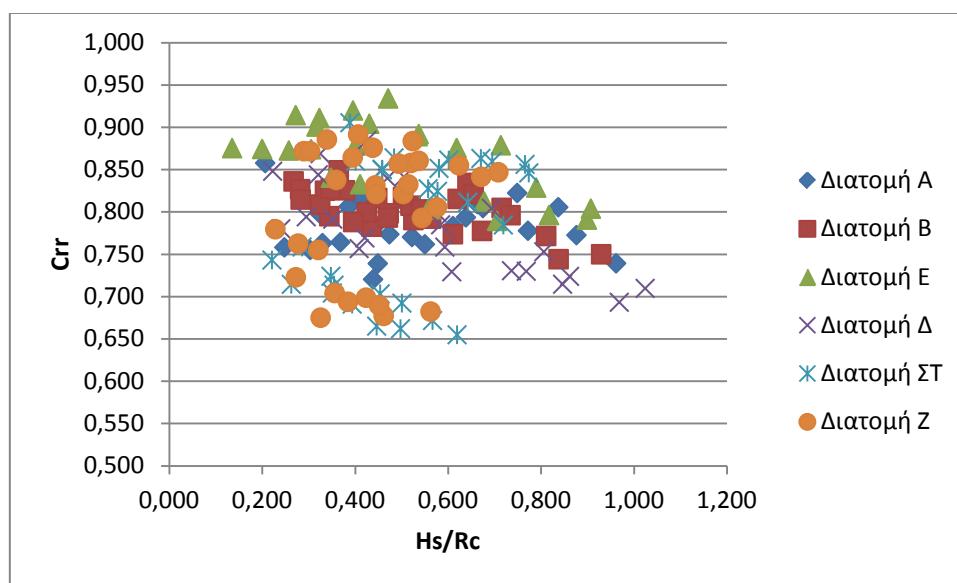


Διάγραμμα 5.7.12 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  Διατομών E, Z

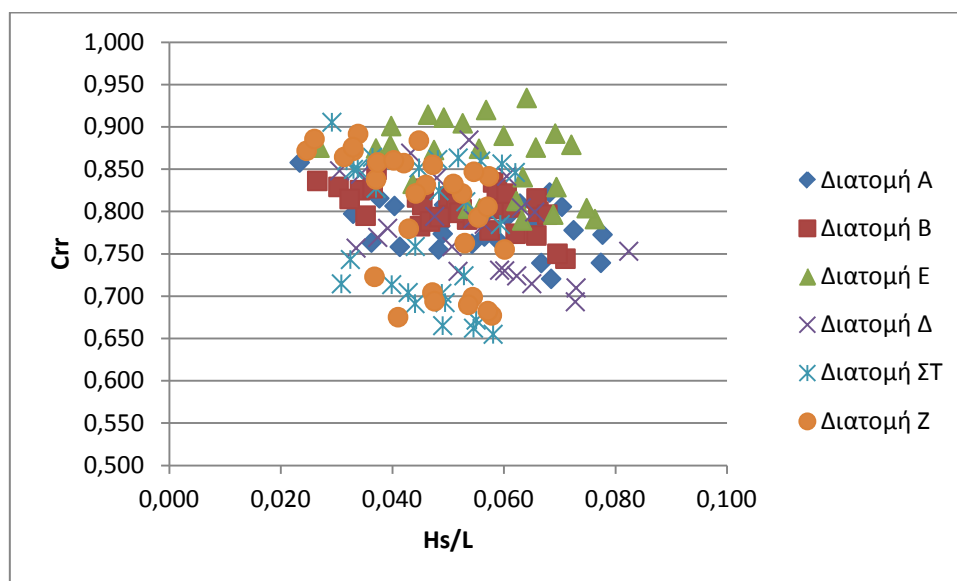
Στα παραπάνω διαγράμματα (με ελεύθερο περιθώριο 0,120 m, 0,140 m & 0.153 m) διαπιστώθηκε για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη Διατομή E, πως όσο αυξάνονται οι παράμετροι  $Hs/Rc$  και  $Hs/L$ , υπάρχει μια μικρή μείωση του συντελεστή ανάκλασης. Όσον αφορά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη Διατομή Z, η συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης σε σχέση με τις παραμέτρους  $Hs/Rc$  και  $Hs/L$ , δεν είναι απολύτως ξεκάθαρη αφού σε άλλα διαγράμματα μειώνεται με την αύξηση των παραμέτρων και σε άλλα αυξάνεται. Για τη Διατομή E, διαπιστώθηκε αύξηση του συντελεστή ανάκλασης μέχρι ορισμένες τιμές των παραμέτρων  $d^*$  και  $hs/L$ , που διαφέρουν ανάλογα με το ελεύθερο περιθώριο, ενώ για τιμές μεγαλύτερες αυτών, ο συντελεστής ανάκλασης μειώνεται. Αντίθετα, όσον αφορά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη Διατομή Z, διαπιστώθηκε μείωση του συντελεστή ανάκλασης μέχρι τις τιμές 1,500-2,000 και 0,450 των παραμέτρων  $d^*$  και  $hs/L$  αντίστοιχα, ενώ για τιμές μεγαλύτερες αυτών, ο συντελεστής ανάκλασης αυξάνεται.

## 5.8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΙΔΙΟ ΒΑΘΟΣ ΝΕΡΟΥ

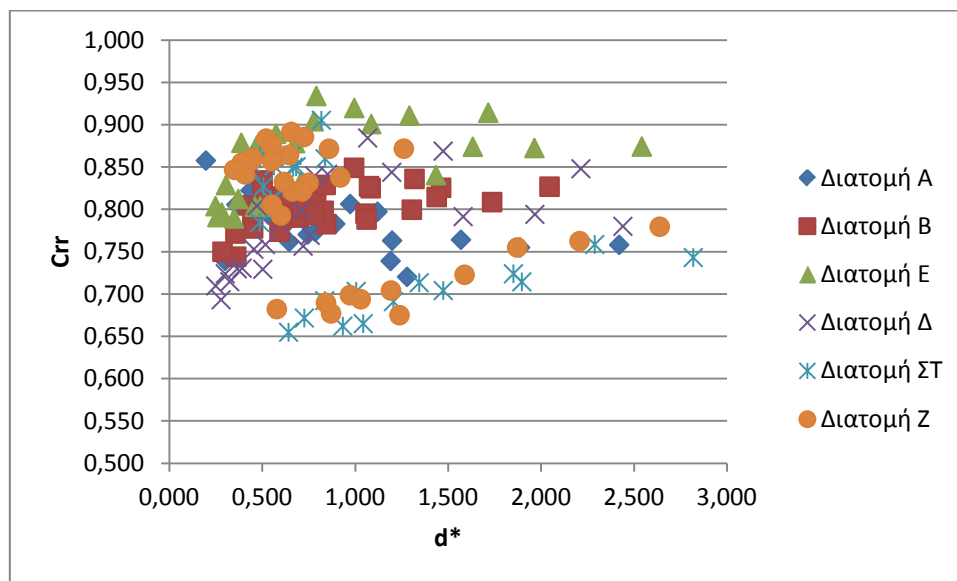
Παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε διατομές με το ίδιο βάθος νερού. Έχουν ελεχθεί και συγκριθεί μεταξύ τους μόνο οι διατομές Α, Β, Δ, Ε, ΣΤ & Ζ διότι στις υπόλοιπες (Γ & Η) δεν είχε πραγματοποιηθεί κάποια μέτρηση στο ίδιο βάθος.



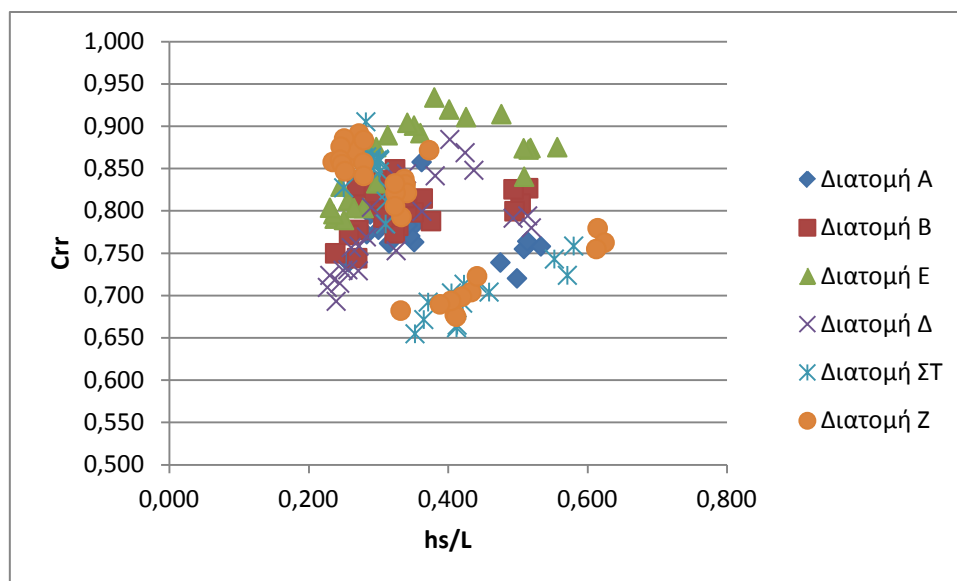
Διάγραμμα 5.8.1 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/R_c$  Διατομών Α, Β, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ



Διάγραμμα 5.8.2 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $H_s/L$  Διατομών Α, Β, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ



Διάγραμμα 5.8.3 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $d^*$  Διατομών A, B, Δ, E, ΣΤ, Ζ

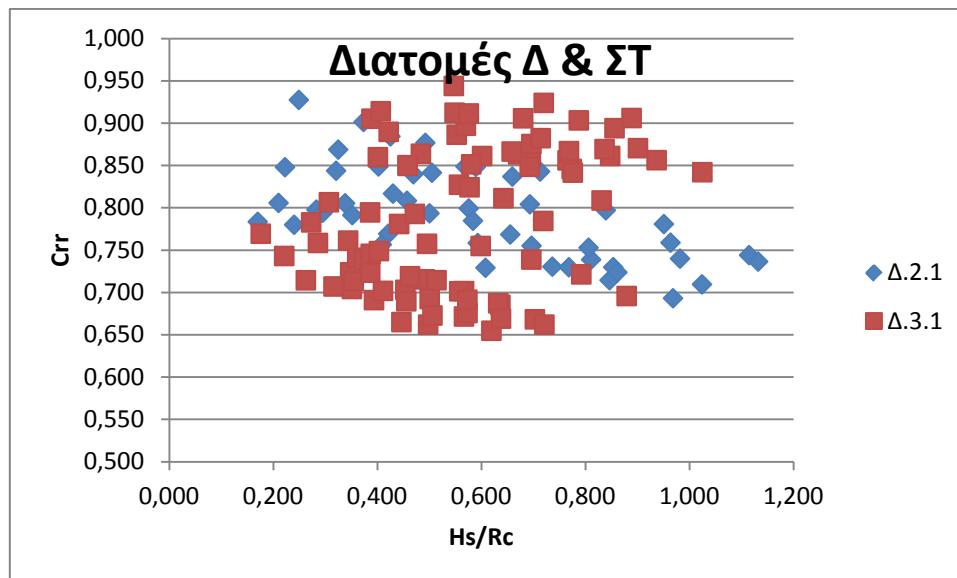


Διάγραμμα 5.8.4 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  Διατομών A, B, Δ, E, ΣΤ, Ζ

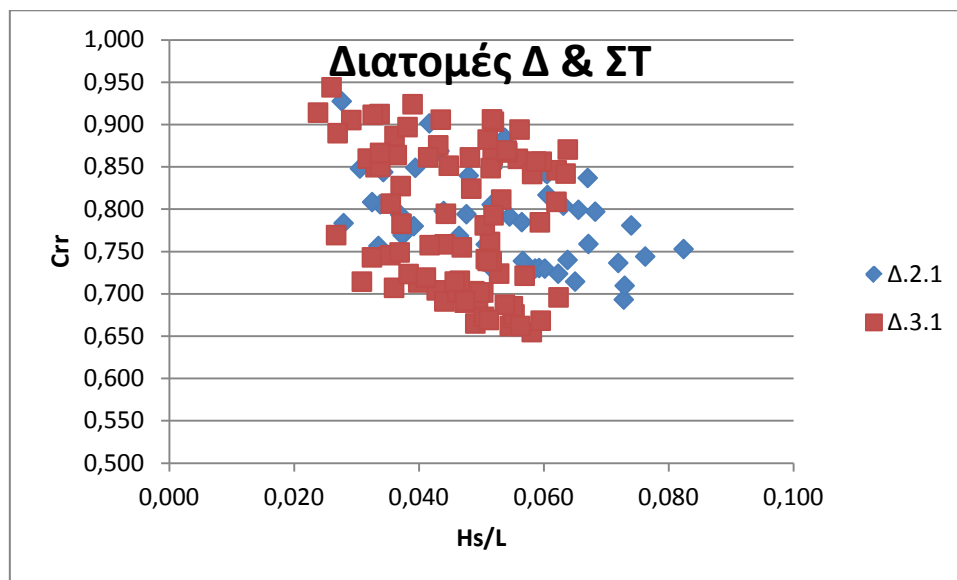
Από τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνεται πως τις μεγαλύτερες τιμές για τον συντελεστή ανάκλασης τις δίνει η διατομή E, ενώ οι μικρότερες τιμές του προκύπτουν από τις διατομές ΣΤ & Ζ..



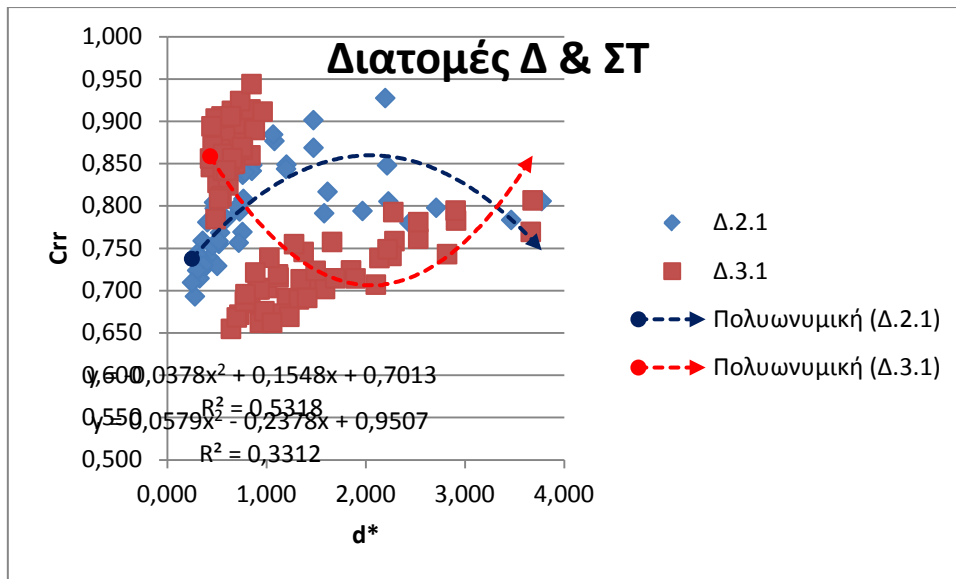
## 5.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ Δ &amp; ΣΤ



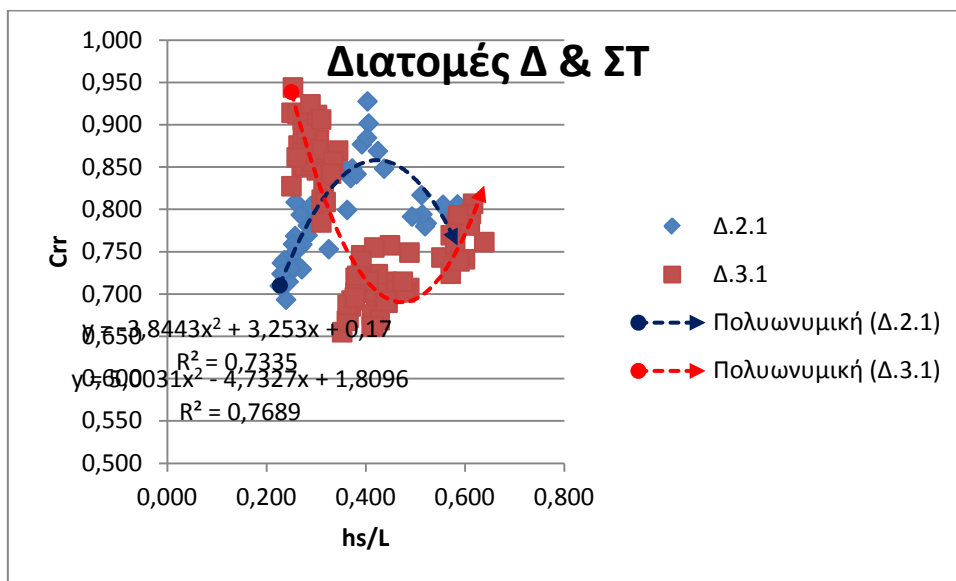
Διάγραμμα 5.9.1 Μ.Σ.Α προς το λόγο Hs/Rc Διατομών Δ, ΣΤ



Διάγραμμα 5.9.2 Μ.Σ.Α προς το λόγο Hs/L Διατομών Δ, ΣΤ



Διάγραμμα 5.9.3 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $d^*$  Διατομών Δ, ΣΤ

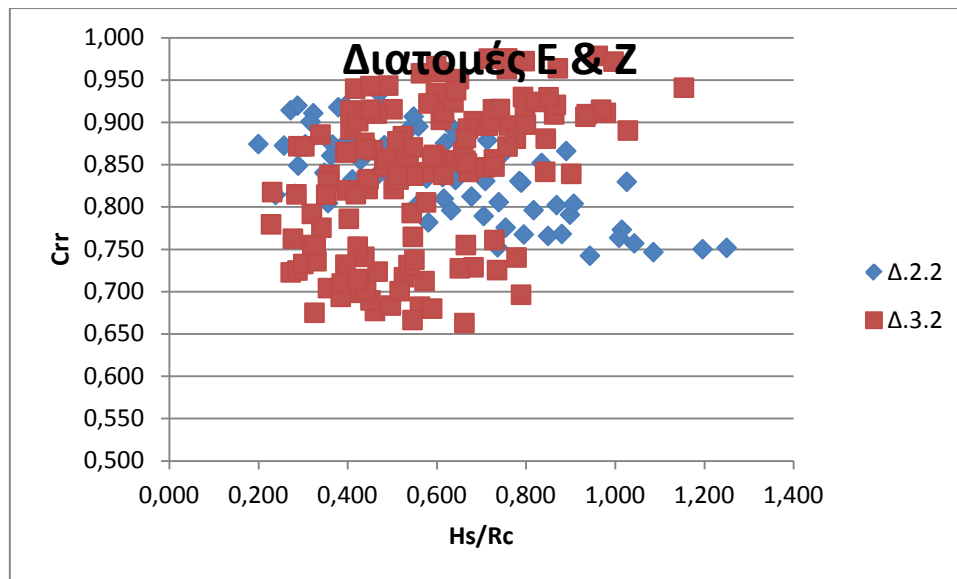


Διάγραμμα 5.9.4 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  Διατομών Δ, ΣΤ

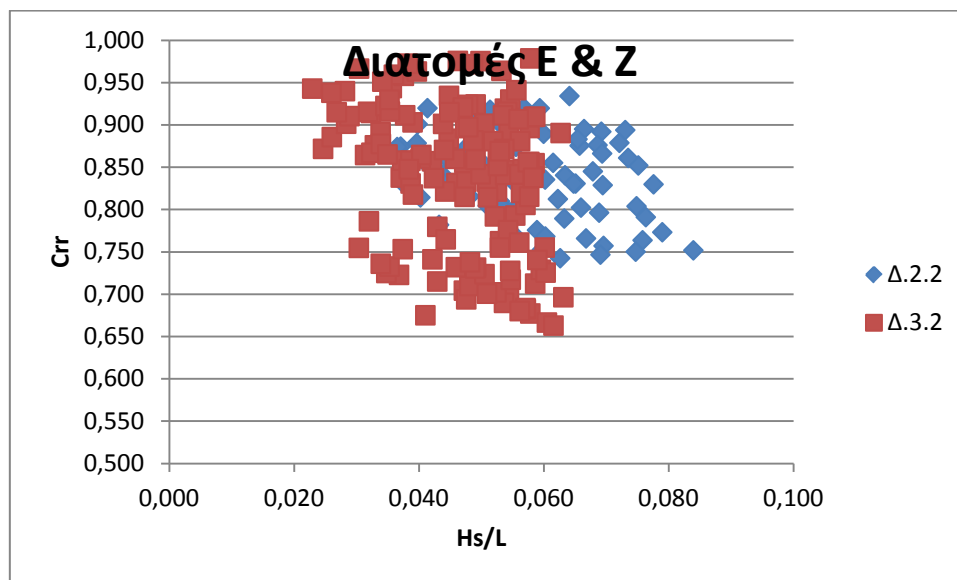
Από τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνεται ότι η διατομή Δ ανήκει κυρίως στις κατασκευές μέσης ανακλασιμότητας ( $0,85 < Cr < 0,5$ ) με ελάχιστες τιμές πάντως του συντελεστή ανάκλασης να βρίσκονται στην περιοχή κατασκευών υψηλής ανακλασιμότητας. Οι τιμές του συντελεστή ανάκλασης για τη διατομή ΣΤ ανήκουν είτε στη περιοχή υψηλής ανακλασιμότητας είτε στην περιοχή μέσης ανακλασιμότητας. Επίσης, διαπιστώνεται πως ο συντελεστής διασποράς ( $R^2$ ) είναι

καλύτερος όταν εξετάζεται το κάθε ελεύθερο περιθώριο ξεχωριστά (βλ. Διάγραμμα 5.4.2 – Διάγραμμα 5.4.4) και μειώνεται όταν εξετάζονται όλα τα ελεύθερα περιθώρια μιας διατομής μαζί (βλ. Διάγραμμα 5.9.4).

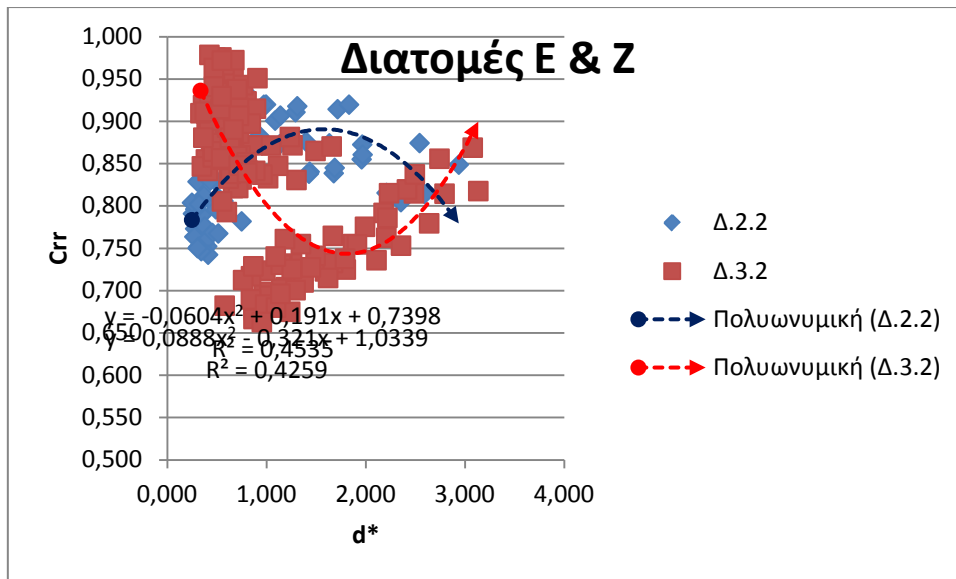
## 5.10 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ E & Z



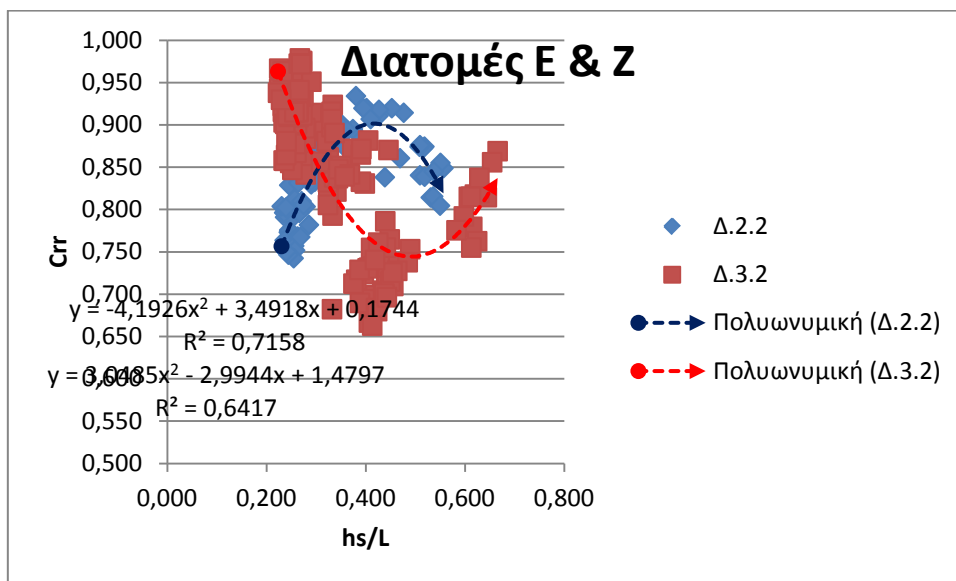
Διάγραμμα 5.10.1 Μ.Σ.Α προς το λόγο Hs/Rc Διατομών E, Z



Διάγραμμα 5.10.2 Μ.Σ.Α προς το λόγο Hs/L Διατομών E, Z



Διάγραμμα 5.10.3 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $d^*$  Διατομών E, Z



Διάγραμμα 5.10.4 Μ.Σ.Α προς το λόγο  $hs/L$  Διατομών E, Z

Από τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνεται ότι οι τιμές του συντελεστή ανάκλασης για τις διατομές E & Z ανήκουν είτε στη περιοχή υψηλής ανακλασιμότητας είτε στην περιοχή μέσης ανακλασιμότητας. Άρα οι διατομές E & Z μπορούν να θεωρηθούν -κατά περίπτωση- και κατασκευές υψηλής ανακλασιμότητας αλλά και κατασκευές μέσης ανακλασιμότητας. Παρομοίως με τις διατομές Δ & ΣΤ,

διαπιστώνεται πως ο συντελεστής διασποράς ( $R^2$ ) είναι καλύτερος όταν εξετάζεται το κάθε ελεύθερο περιθώριο ξεχωριστά (βλ. Διάγραμμα 5.4.3 – Διάγραμμα 5.4.5) και μειώνεται όταν εξετάζονται όλα τα ελεύθερα περιθώρια μιας διατομής μαζί (βλ. Διάγραμμα 5.10.4).



## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

1. Με βάση τις τιμές του συντελεστή ανάκλασης που προκύπτουν από τις μετρήσεις, οι διατομές κατατάσσονται σε διατομές χαμηλής, μέσης αλλά και υψηλής ανακλασιμότητας. Οι διατομές με:

- ✓ Πρόβολο μήκους 0,5 m και υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,00 m (υπό κλίμακα 1:60) σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα
- ✓ Πρόβολο μήκους 1,5 m και υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,00 m (υπό κλίμακα 1:60) σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα
- ✓ Τοίχο επιστροφής με ακτίνα  $R=1,10$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,80$  και υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,00 m (υπό κλίμακα 1:60) σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα
- ✓ Τοίχο επιστροφής με ακτίνα  $R=1,10$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,80$  m και υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,00 m (υπό κλίμακα 1:30) σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα
- ✓ Κατακόρυφο τοίχο επιστροφής με υψόμετρο στέψης ανωδομής 4,58 m (υπό κλίμακα 1:30) σε επίπεδο πυθμένα

ανήκουν στις κατασκευές μέσης ανακλασιμότητας. Οι κατασκευές με:

- ✓ Τοίχο επιστροφής με ακτίνα  $R=1,20$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,65$  m και υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,58 m (υπό κλίμακα 1:30) σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα
- ✓ Τοίχο επιστροφής με ακτίνα  $R=1,10$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,80$  m και υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,00 m (υπό κλίμακα 1:30) σε επίπεδο πυθμένα
- ✓ Τοίχο επιστροφής με ακτίνα  $R=1,20$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,65$  m και υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,58 m (υπό κλίμακα 1:30) σε επίπεδο πυθμένα

ανήκουν στις κατασκευές που μπορούν να θεωρηθούν και μέσης αλλά και υψηλής ανακλασιμότητας.

2. Ο τοίχος επιστροφής με ακτίνα  $R=1,10$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,80$  m και υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,00 m (υπό κλίμακα 1:30) σε επίπεδο πυθμένα,



- δίνει χαμηλότερες τιμές για τον συντελεστή ανάκλασης σε σχέση με τον τοίχο επιστροφής με τα ίδια χαρακτηριστικά ανωδομής υπό την ίδια κλίμακα σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα.
3. Στη διατομή του τοίχου επιστροφής με ακτίνα  $R=1.10$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0.80$  m και υψόμετρο στέψης ανωδομής  $+4,00$  m (υπό κλίμακα 1:30) σε επίπεδο πυθμένα διαπιστώνεται πως όσο αυξάνεται το ελεύθερο περιθώριο (και άρα μειώνεται το βάθος νερού), τόσο μειώνεται η ανακλασιμότητα. Παρομοίως, στη διατομή του τοίχου επιστροφής με τα ίδια χαρακτηριστικά ανωδομής υπό την ίδια κλίμακα σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα διαπιστώνεται πως όσο αυξάνεται το ελεύθερο περιθώριο (και άρα μειώνεται το βάθος νερού), τόσο μειώνεται η ανακλασιμότητα.
  4. Ο τοίχος επιστροφής με ακτίνα  $R=1,20$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,65$  m και υψόμετρο στέψης ανωδομής  $+4,58$  m (υπό κλίμακα 1:30) σε οριζόντιο πυθμένα δίνει χαμηλότερες τιμές για τον συντελεστή ανάκλασης σε σχέση με τον τοίχο επιστροφής με τα ίδια χαρακτηριστικά ανωδομής υπό την ίδια κλίμακα σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα.
  5. Στην διατομή του τοίχου επιστροφής με ακτίνα  $R=1,20$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,65$  m και υψόμετρο στέψης ανωδομής  $+4,58$  m (υπό κλίμακα 1:30) σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα διαπιστώνεται πως όσο αυξάνεται το ελεύθερο περιθώριο (και άρα μειώνεται το βάθος νερού), τόσο αυξάνεται η ανακλασιμότητα. Αντίθετα, στη διατομή του τοίχου επιστροφής με τα ίδια χαρακτηριστικά ανωδομής υπό την ίδια κλίμακα σε οριζόντιο πυθμένα διαπιστώνεται πως όσο αυξάνεται το ελεύθερο περιθώριο (και άρα μειώνεται το βάθος νερού), τόσο μειώνεται η ανακλασιμότητα.
  6. Στα διαγράμματα του συντελεστή ανάκλασης προς το σχετικό βάθος και του συντελεστή ανάκλασης προς την παράμετρο  $d^*$ , παρατηρείται πως η καμπύλη του τοίχου επιστροφής με ακτίνα  $R=1,10$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,80$  m και υψόμετρο στέψης ανωδομής  $+4,00$  m (υπό κλίμακα 1:30) σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα, αυξάνεται και μετά μειώνεται, ενώ αντίθετα η καμπύλη του τοίχου επιστροφής με τα ίδια χαρακτηριστικά ανωδομής υπό ίδια κλίμακα σε οριζόντιο πυθμένα, μειώνεται και μετά αυξάνεται.
  7. Στα διαγράμματα του συντελεστή ανάκλασης προς το σχετικό βάθος και του συντελεστή ανάκλασης προς την παράμετρο  $d^*$ , παρατηρείται πως η καμπύλη του τοίχου επιστροφής με ακτίνα  $R=1,20$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,65$  m και

- υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,58 m (υπό κλίμακα 1:30) σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα, αυξάνεται και μετά μειώνεται, ενώ αντίθετα η καμπύλη του τοίχου επιστροφής με τα ίδια χαρακτηριστικά ανωδομής υπό την ίδια κλίμακα σε οριζόντιο πυθμένα, μειώνεται και μετά αυξάνεται.
8. Ένα ακόμα συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως η μορφολογία του πυθμένα παίζει σημαντικό ρόλο στην ανακλασιμότητα των διατομών. Προκύπτουν δηλαδή δύο διαφορετικές συμπεριφορές του πυθμένα.
  9. Γενικότερα οι κατακόρυφες διατομές, όπως είναι ο κατακόρυφος τοίχος επιστροφής με υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,58 m που μελετήθηκε, δίνουν μεγάλες τιμές του συντελεστή ανάκλασης. Στην προκειμένη περίπτωση, όμως, επειδή κατά τα πειράματα παρουσιάστηκε μεγάλη υπερπήδηση, διαπιστώθηκε μια μείωση στην ανακλασιμότητά της.
  10. Παρατηρείται πως η διασπορά των τιμών της ανάκλασης για τη διατομή του τοίχου επιστροφής με ακτίνα  $R=1,10$  m, ύψος μετώπου  $B_c=0,80$  m και υψόμετρο στέψης ανωδομής +4,00 m (υπό κλίμακα 1:60) σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα, είναι αισθητά μικρότερη από αυτή των τιμών της ανάκλασης για τη διατομή του τοίχου επιστροφής με τα ίδια χαρακτηριστικά ανωδομής (υπό κλίμακα 1:30) σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα αλλά και από τη διασπορά των τιμών της ανάκλασης για τη διατομή του τοίχου επιστροφής με τα ίδια χαρακτηριστικά ανωδομής (υπό κλίμακα 1:30) σε οριζόντιο πυθμένα. Διαπιστώνεται λοιπόν πως πέρα από την επίδραση της έδρασης του πυθμένα, σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα παίζει και η επίδραση της κλίμακας (Scale Effect).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Μουτζούρης Κ. Ι.** (2000), Θαλάσσια Υδραυλική, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
- **Κουτίτας Χ. Γ.** (1998), Εισαγωγή στη παράκτια τεχνική και λιμενικά έργα, Εκδόσεις Ζητη, Θεσσαλονίκη
- **Παπαδόπουλος Α.** (2011), Πειραματική Διερεύνηση Ανάκλασης Και Υπερπήδησης Τοίχου Επιστροφής Σε Κυματική Δράση, Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων: Κ.Μουτζούρης)
- **Θεοχάρης Κ.** (2011), Συντελεστής Ανάκλασης Θαλασσίων Κυματισμών Σε Μικτές Διατομές, Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων: Κ.Μουτζούρης)
- **Μελισσόβας Σ.** (2013), Πειραματική Διερεύνηση Συντελεστή Ανάκλασης Σε Απορροφητικό Κρηπιδότοιχο, Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων: Κ.Μουτζούρης)
- **Παπαδάκης Κ.** (σε εκπόνηση), Πειραματική Διερεύνηση Ανάκλασης Και Υπερπήδησης Κυμάτων Σε Κατακόρυφο Μέτωπο Με Τοίχο Επιστροφής, Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων: Κ.Μουτζούρης)
- **Giantsi Th., Kalogeris D. & Moutzouris C. I.** (2014), Wave Reflection On A Vertical Quay-Wall With Wave Chamber, Coastlab, Varna-Bulgaria
- **Giantsi Th., Papadopoulos A., Moutzouris C. I.** (2014), 3D Experimental Investigation Of Wave Reflection On A Vertical Seawall With Wave Return, 3rd Europe Congress, Porto-Portugal
- **Eurotop** (2007), Wave Overtopping Of Sea Defences and Related Structures, [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com)