



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

«Πειραματική Διερεύνηση Ανάκλασης και  
Υπερπήδησης Κυμάτων σε Κατακόρυφα Μέτωπα  
με Διατάξεις Απομείωσης Ενέργειας»

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΟΔΩΡΑΣ ΓΙΑΝΤΣΗ

ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κ.Ι.ΜΟΥΤΖΟΥΡΗΣ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

«Πειραματική Διερεύνηση Ανάκλασης και  
Υπερπήδησης Κυμάτων σε Κατακόρυφα Μέτωπα  
με Διατάξεις Απομείωσης Ενέργειας»

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΟΔΩΡΑΣ ΓΙΑΝΤΣΗ

ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κ.Ι.ΜΟΥΤΖΟΥΡΗΣ

*Το περιεχόμενο της ανά χείρας Διδακτορικής Διατριβής 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.*

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014





Αφιερώνεται  
στον πατέρα μου



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον μέντορα, επιβλέποντα Καθηγητή κ. Κώστα Μουτζούρη, για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια, τον Λέκτορα κ. Σαμψών Αζοράκο για τις πολύτιμες συμβουλές του και την Επίκουρο Καθηγήτρια κα Βίκυ Τσουκαλά, για την ψυχολογική υποστήριξη. Τελικά τα κατάφεραν να φτάσω εδώ.

Τον Καθηγητή κ. Αδέλκη Ρογκάν που πρώτος μου έδωσε την ευκαιρία να γνωρίσω το πείραμα.

Επίσης όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων ΕΜΠ, που όλα αυτά τα χρόνια ήταν πάντα παρόντες όταν τους ζητήθηκε, από τους πιο παλιούς, μέχρι τους νέους, τον Κώστα, την Έλενα, την Χρυσούλα, την Μαρία, την Ιωάννα, την Χριστίνα. Ιδιαίτερα τον Παναγιώτη και τον Στάθη που μαζί παλεύουμε τα κύματα και την Βαρβάρα που μας βοήθησε.

Τους φοιτητές που με βοήθησαν, τον Κώστα, τον Αγησίλαο, τον Σοφοκλή, τον Διονύση, τον Κυριάκο και τέλος τον Πολλάκι.

Τους φίλους που μου παραστάθηκαν, με ενθάρρυναν και με βοήθησαν Βίκυ, Νικηφόρο, Αγγελική και όλους αυτούς που με νοιάζονται.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Κ. Ασλανίδη και την ομάδα του, Μόντυ, Ηλία κλπ χωρίς την βοήθεια των οποίων δεν θα είχα φθάσει ως εδώ.

Τέλος ευχαριστώ την κόρη μου για την υποστήριξη και την δύναμη που μου δίνει.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή ασχολείται με την πειραματική διερεύνηση των φαινομένων της ανάκλασης των κυμάτων επί κατακορύφων μετώπων διαφόρων διατομών στις οποίες υπάρχει διαμορφωμένη διάταξη απομείωσης ενέργειας καθώς και με την υπερπήδηση των κυμάτων σε παρόμοιου τύπου διατομές. Τέλος γίνεται προσπάθεια συσχέτισμού της υπερπήδησης με την ανάκλαση των κυμάτων.

Η ύπαρξη των δύο φαινομένων δημιουργεί προβλήματα στην λειτουργικότητα περισσότερο, παρά στην ευστάθεια των λιμενικών και παράκτιων έργων, τόσο των εξωτερικών όσο και των εσωτερικών.

Ο διπλασιασμός ουσιαστικά του ύψους κύματος λόγω της δημιουργίας στάσιμου κύματος από την ανάκλαση των κυμάτων και ο συντονισμός της λιμενολεκάνης προκαλούν προβλήματα στην ναυσιπλοΐα, στην πρόσδεση και τον ελλιμενισμό των σκαφών και καθιστά πολλές φορές δυσχερή έως και απογορευτική την λειτουργία των λιμενικών εγκαταστάσεων. Εκτός των προβλημάτων εντός των λιμενολεκάνων, προβλήματα δημιουργούνται και σε περιπτώσεις ύπαρξης κατακορύφων εξωτερικών έργων με τον ανακλώμενο κυματισμό να δυσχεραίνει την ναυσιπλοΐα στην περιοχή των διερχόμενων σκαφών. Ταυτόχρονα, υπό την δράση των κυμάτων, τα εξωτερικά λιμενικά έργα και ιδιαίτερα αυτά με κατακόρυφα μέτωπα υπερπηδώνται, με αποτέλεσμα την δημιουργία προβλημάτων στην εσωτερική πλευρά των έργων.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, η επιστήμη των λιμενικών έργων προσπάθησε, με την κατάλληλη διαμόρφωση των κατακόρυφων μετώπων να μειώσει τα προκαλούμενα προβλήματα. Έτσι έχουν προταθεί διάφορων τύπων διατομές (π.χ. τύπου JARLAN, διάτρητοι, monopars, με ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών), για την μείωση της ενέργειας του κυματισμού.

Παρά τα υφιστάμενα προβλήματα και τις ειδικά διαμορφωμένες διατομές δεν υπάρχει σημαντική πειραματική διερεύνηση του φαινομένου της ανάκλασης σε μεσαίας και χαμηλής ανακλαστικότητας διατομές, το οποίο μελετήθηκε ως συμπληρωματικό της ευστάθειας των διατομών. Συνήθως το φαινόμενο της ανάκλασης διερευνήθηκε σε σχέση με την παράμετρο  $\xi$  η οποία προσδιορίζει πρακτικά την επίδραση της κλίσης του πυθμένα ή

της κλίσης της θωράκισης, εφόσον πρόκειται για έργα με πρανή, στην εκτίμηση της ανακλαστικότητας των έργων.

Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή για να διαπιστωθεί η ανακλαστικότητα κατακόρυφων μετώπων με διατάξεις απομείωσης ενέργειας υπό την δράση θαλασσιών κυματισμών καθώς και η επίδραση της παροχής υπερπήδησης στην ανάκλαση των κυμάτων, έγιναν μετρήσεις της κυματικής διαταραχής σε προκαθορισμένες θέσεις έμπροσθεν διατομών ώστε να υπολογιστεί ο μέσος συντελεστής ανάκλασης (Bulk reflection coefficient), των διατομών, ως ο μέσος όρος του φάσματος των συντελεστών ανάκλασης. Ταυτόχρονα σε ορισμένες περιπτώσεις έγιναν και μετρήσεις παροχής υπερπήδησης  $q$ , μετρούμενης σε ( $m^3/s/m$ ). Σημειώνεται ότι όλες οι μετρήσεις έγιναν για μη θραυόμενους κυματισμούς. Η θραύση ως φαινόμενο θα επηρέαζε τόσο την κυματική υπερπήδηση όσο και τον συντελεστή ανάκλασης, αφού τμήμα της ενέργειας θα καταστρεφόταν κατά το φαινόμενο της θραύσης.

Εκτελέσθηκαν 4 σειρές πειραμάτων οι οποίες χωρίζονται σε 2 ομάδες βάσει των χαρακτηριστικών τους, τις ακόλουθες:

A) Διατάξεις με κατακόρυφο μέτωπο και θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών κενό ή με λιθορριπή (Σειρά Πειραμάτων 1)

B) Διατάξεις με κατακόρυφο μέτωπο και με τοίχο επιστροφής κυματισμών σε μεικτή διατομή (Σειρές Πειραμάτων 2, 3 και 4)

Οι διατάξεις της Ομάδας A αποτελούνται από κατακόρυφο μέτωπο, στο επάνω τμήμα του οποίου υπάρχει θάλαμος απομείωσης κυματισμών. Ελέγχθηκαν 8 διατάξεις έργων. Οι βασικές διαφορές αφορούσαν τις διαστάσεις του θαλάμου εκτόνωσης των κυματισμών και στο υλικό πλήρωσης όταν υπήρχε. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων η διατομή εδραζόταν σε οριζόντιο πυθμένα με συνέπεια να μην είναι δυνατή η συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο  $\xi$ . Στις Διατάξεις της Ομάδας A ελέγχθηκε - υπολογίσθηκε μόνον ο συντελεστής ανάκλασης και συσχετίσθηκε με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής και του προσπίπτοντος κυματισμού, εν μέρει δε με τα χαρακτηριστικά του υλικού της λιθορριπής. Η υπερπήδηση στις διατάξεις αυτές δεν είναι το κρίσιμο φαινόμενο, αλλά δευτερεύον μη αποδεκτό και δεν μετρήθηκε. Βασική παράμετρος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η παράμετρος  $h^*$  ή  $d^*$  ανάλογα με τον τύπο της διατομής. Η παράμετρος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της κυματικής υπερπήδησης και στην παρούσα εργασία συσχετίσθηκε και με τον συντελεστή ανάκλασης.

Οι Σειρές πειραμάτων 2, 3 και 4 αναφέρονται σε κατακόρυφα μέτωπα με διαμορφωμένο τοίχο επιστροφής κυμάτων για την προστασία της ανωδομής από την κυματική υπερπήδηση. Οι μετρήσεις των Σειρών 2 και 3 αναφέρονται σε μετρήσεις σε τρισδιάστατα φυσικά προσομοιώματα υπό διαφορετική γεωμετρική κλίμακα. Στην Σειρά 2 ελέγχθηκαν 3 διατομές οι οποίες διαφοροποιούνται ως προς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους. Στις

διατάξεις της Σειράς 3 ελέγχθηκαν 2 διατομές εκ των οποίων η μία έχει τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά με μια διατομή της Σειράς 2. Στις σειρές αυτές ο πυθμένας ακολουθεί το φυσικό ανάγλυφο της περιοχής προσομοίωσης και φαίνεται ότι επιδρά στον συντελεστή ανάκλασης. Στην Σειρά 4 ελέγχθηκαν 2 διατομές όμοιες με τις διατομές της Σειράς 3 με την διαφορά ότι εδράσθησαν σε οριζόντιο πυθμένα. Στις Σειρές 3 και 4 οι έλεγχοι έγιναν για διάφορες στάθμες ύδατος, ενώ συγχρόνως μετρήθηκε και η κυματική υπερπήδηση. Για την συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης χρησιμοποιήθηκε επίσης η παράμετρος  $h^*$  ή  $d^*$  όπως και για την κυματική υπερπήδηση, όπου:

$$h_* = \frac{h_s}{H_s} \frac{h_s}{L_o} \quad \text{και} \quad d_* = \frac{h_s}{H_s} \frac{d_s}{L_o}$$

Έγιναν διαγράμματα του συντελεστή ανάκλασης με διάφορες παραμέτρους εκτός της παραμέτρου  $h^*$  ή  $d^*$ , όπως με το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο, με τον λόγο του ελεύθερου περιθωρίου ως προς το ύψος κύματος και τέλος με τον λόγο  $h/L_{m0}$  ο οποίος τελικά σε όλες τις αξιολογηθείσες μετρήσεις συσχετίζεται καλύτερα από οιαδήποτε άλλη παράμετρο με τον συντελεστή ανάκλασης κλπ. Σημειώνεται ότι η συσχέτιση αυτή δεν εμπεριέχει το ύψος κύματος του κυματισμού.

Οι ελεγχθείσες διατομές, ανάλογα με την συμπεριφορά τους ως προς τις διάφορες παραμέτρους, χωρίσθηκαν σε υποκατηγορίες.

Έγιναν συγκρίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων των Σειρών 3 και 4 και προέκυψε η επίδραση του ανάγλυφου του πυθμένα στην συμπεριφορά των διατομών.

Από την διαστατική ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν τον συντελεστή ανάκλασης με τα χαρακτηριστικά μεγέθη της διατομής και των προσπιπτόντων κυμάτων ανά υποκατηγορία έργου.

Επίσης συσχετίσθηκε η μεταβολή του συντελεστή ανάκλασης σε σχέση με την υπερπήδηση.

Τέλος ορίσθηκε ως σχετικός συντελεστής ανάκλασης ο λόγος του μετρηθέντος συντελεστή ανάκλασης προς τον λόγο του ελεύθερου περιθωρίου ως προς το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στον πόδα του έργου και συσχετίσθηκε με την παράμετρο  $h^*$  ή  $d^*$ .

Επίσης ο σχετικός ή σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης συσχετίζεται καλύτερα με την αδιάστατη παροχή υπερπήδησης.

Το σύνολο των μετρήσεων όλων των διατάξεων που ελέγχθησαν φαίνεται να ομαδοποιούνται σε διπλή λογαριθμική καμπύλη.





## **ABSTRACT**

The aim of this doctoral Thesis is to investigate the reflectivity of vertical seawalls with energy dissipation systems, under non breaking wave attack and the influence of the wave overtopping at the wave reflection.

In order to estimate the bulk reflection coefficient, as the mean reflection coefficient of irregular waves, wave measurements were undertaken in physical model conditions, in front of vertical seawalls with energy dissipation systems. In some cases, measurements of wave overtopping and waves were done simultaneously .

Four series of wave measurements were executed under 2 different types of vertical seawalls.

Type A: Vertical quay-wall with energy dissipation chamber, with or without riprap into the chamber

Type B: Composite vertical seawall with wave return

From the data analysis of the above mentioned measurements, formulae were proposed to correlate the reflection coefficient to the waves characteristics and to the characteristics of the tested sections. The wave overtopping discharge is correlated also to the reflection coefficient .

These formulae can be used a) to estimate the reflection coefficient in similar section in preliminary studies for the amelioration of the sections performance, b) for the estimation of the wave overtopping as a function of reflection coefficient and c) to calibrate mathematical models.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΣΚΟΠΟΣ .....	1
1.2	ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	5
1.3	ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	6
1.4	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	7
2.	ΟΡΙΣΜΟΙ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ .....	11
2.1	ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	11
2.1.1.	Συντελεστής ανάκλασης .....	11
2.1.2.	Υπολογισμός Συντελεστή ανάκλασης.....	11
2.1.3.	Ανακλαστικότητα κατασκευών .....	11
2.2	ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗ .....	12
2.2.1	Γενικά .....	12
2.2.2	Αδιάστατη παράμετρος $h^*$ .....	13
2.3	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΜΕΤΩΠΑ ΜΕ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	14
2.3.1	Κρηπιδότοιχοι .....	14
2.3.2.	ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΕΣ – ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΜΕΤΩΠΑ.....	16
3.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	19
3.1	ΑΝΑΚΛΑΣΗ.....	19
3.1.1	Ανάκλαση σε έργα με θωράκιση ογκολίθων .....	20
3.2.1	Ανάκλαση σε κατακόρυφο μέτωπο .....	20

3.1.3.	Ανάκλαση σε ομοιόμορφα μεταβαλλόμενο πυθμένα .....	23
3.1.4.	Χαμηλής ανακλαστικότητας κυματοθραύστες και κρηπιδότοιχοι.....	24
3.1.5.	Πρόσφατη έρευνα.....	27
3.2	ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗ .....	31
3.2.1.	Γενικά .....	31
3.2.2.	Υπερπήδηση σε διατομές με πρηνή .....	32
3.2.2.	Υπερπήδηση σε διατομές με κατακόρυφο μέτωπο .....	32
3.2.4.	Όρια αποδεκής κυματικής υπερπήδησης.....	34
3.2.5.	Πρόσφατη έρευνα.....	37
4.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ -ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ .....	41
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	41
4.2	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ Δ1 ΤΟΥ Ε.Λ.Ε.....	41
4.3	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ Δ2 ΤΟΥ Ε.Λ.Ε.....	42
4.4	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ .....	44
4.5	ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΚΥΜΑΤΟΣ .....	45
4.6.	ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ .....	45
4.7.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ .....	45
5.	ΦΥΣΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ .....	47
5.1.	ΓΕΝΙΚΑ .....	47
5.2.	ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑΣ .....	47
5.3.	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ .....	48
5.4.	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ .....	49
5.4.1	Κατασκευή Ψευδοδισδιάστατων φυσικών προσομοιωμάτων.....	49
5.4.2	Κατασκευή τρισδιάστατων φυσικών προσομοιωμάτων .....	55
5.4.3	Διαδικασία Μετρήσεων.....	56
6.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.....	57

6.1.	ΓΕΝΙΚΑ .....	57
6.2.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 1 .....	57
6.2.1.	Περιγραφή διατάξεων .....	57
6.2.2.	Πρόγραμμα μετρήσεων .....	61
6.3.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 2 .....	65
6.3.1.	Περιγραφή διατάξεων .....	65
6.3.2.	Πρόγραμμα μετρήσεων .....	68
6.4.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 3 .....	69
6.4.1.	Περιγραφή διατάξεων .....	69
6.4.2.	Πρόγραμμα μετρήσεων .....	74
6.5.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 4 .....	75
6.5.1.	Περιγραφή διατάξεων .....	75
6.5.2.	Πρόγραμμα μετρήσεων .....	79
7.	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	81
7.1	ΓΕΝΙΚΑ .....	81
7.2	ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΤΑΧΥΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER .....	81
7.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ .....	83
7.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ .....	86
7.5	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $h^*$ Η $d^*$ .....	89
7.6	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ -ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ .....	91
7.7	ΣΧΕΤΙΚΟ ΒΑΘΟΣ ΝΕΡΟΥ $h/L_{m0}$ .....	91
7.8	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ Η ΣΧΕΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ $Cr^*$ .....	91
7.9	ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ .....	92
8.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	93
9.	ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	97
9.1	ΓΕΝΙΚΑ .....	97

9.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 1.....	98
9.2.1 Γενικές παρατηρήσεις.....	99
9.2.2 Παράμετροι.....	100
9.2.3 Σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης Cr* .....	108
9.2.4 Συντελεστές επιρροής.....	112
9.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 2.....	116
9.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 3.....	118
9.4.1 Συντελεστής ανάκλασης .....	118
9.4.2 Παράμετροι.....	118
9.4.3 Παροχή υπερπήδησης .....	121
9.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 4.....	124
9.5.1 Συντελεστής ανάκλασης .....	124
9.5.2 Παράμετροι.....	124
9.5.2 Παροχή υπερπήδησης .....	132
9.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΕΙΡΩΝ 3 και 4 .....	136
10. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ .....	145
10.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ .....	145
10.2 ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ -ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	161
11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ –ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	163
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	167
ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Α.....	175
ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Β.....	197

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΣΚΟΠΟΣ

Το θέμα της παρούσας εργασίας άπτεται δύο σοβαρών φαινομένων, (ανάκλαση και υπερπήδηση), τα οποία εμφανίζονται στην διεπιφάνεια υγρού, στερεού. Η πρόσπτωση ή και κρούση του ύψους κύματος επί στερεών αδιαπέρατων ορίων προκαλεί: α) την ανάκλαση του, β) την αποκόληση τμήματος της φλέβας του υδάτινου σώματος και υπερπήδηση -πρόσπτωση επί του στερεού σώματος και γ) την απώλεια ενέργειας λόγω τριβών.

Η ύπαρξη των δύο πρώτων φαινομένων δημιουργεί προβλήματα στην λειτουργικότητα περισσότερο παρά στην ευστάθεια των λιμενικών και παράκτιων έργων, τόσο των εξωτερικών όσο και των εσωτερικών. Η μεγιστοποίηση του 3<sup>ου</sup> φαινομένου είναι το προσδοκώμενο για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των άλλων δύο.

Ο διπλασιασμός ουσιαστικά του ύψους κύματος λόγω της δημιουργίας στάσιμου κύματος εντός ή και εκτός της λιμενολεκάνης προκαλεί προβλήματα στην ναυσιπλοΐα, στην πρόσδεση και τον ελλιμενισμό των σκαφών και καθιστά πολλές φορές δυσχερή έως και απογορευτική την λειτουργία των λιμενικών εγκαταστάσεων. Εκτός των προβλημάτων εντός των λιμενολεκάνων, προβλήματα δημιουργούνται και σε περιπτώσεις ύπαρξης κατακορύφων εξωτερικών έργων (π.χ. Κυματοθραύστης Δραπετσώνας), με τον ανακλώμενο κυματισμό να δυσχεραίνει την ναυσιπλοΐα στην περιοχή των διερχόμενων σκαφών. Ταυτόχρονα, υπό την δράση των κυμάτων τα εξωτερικά λιμενικά έργα και ιδιαίτερα αυτά με κατακόρυφα μέτωπα υπερπηδώνται, με αποτέλεσμα την δημιουργία προβλημάτων στην εσωτερική πλευρά των έργων.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, η επιστήμη των λιμενικών έργων προσπάθησε, με την κατάλληλη διαμόρφωση των κατακόρυφων μετώπων να μειώσει τα προκαλούμενα προβλήματα. Έτσι έχουν προταθεί διάφορων τύπων διατομές (π.χ. τύπου JARLAN, διάτρητοι, moobars, με ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών), για την μείωση της ενέργειας του κυματισμού

Παρά τα υφιστάμενα προβλήματα και τις ειδικά διαμορφωμένες διατομές δεν υπάρχει σημαντική πειραματική διερεύνηση του φαινομένου της ανάκλασης, το οποίο μελετήθηκε ως συμπληρωματικό της ευστάθειας των διατομών.

Το φαινόμενο της υπερπήδησης μελετήθηκε εκτεταμένα τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα όμως σε έργα με πρηνή. Για την μείωση της υπερπήδησης χρησιμοποιήθηκαν επίσης διατομές με καμπύλο τοίχο επιστροφής κυμάτων. Η διαμόρφωση τέτοιου τύπου διατομής δύναται να εφαρμοστεί στο προστατευτικό τοίχιο της ανωδομής (crown wall)

κυματοθραύστη με πρηνή ή και στο σώμα κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο (sea wall). Οι διατομές αυτές ελέγχθηκαν σε υπερπήδηση και σε ευστάθεια. Η μελέτη της ανάκλασης σε διατομές κατακορύφων μετώπων με τέτοιου τύπου διαμόρφωση δεν έχει αναφερθεί διεθνώς βιβλιογραφικά, ούτε πολύ περισσότερο η συσχέτιση της ανάκλασης με την υπερπήδηση.

Σύμφωνα με την αρχή της διατήρησης της ενέργειας η προσπίπτουσα ενέργεια επί κατακορύφου μετώπου ισούται με το άθροισμα της μεταδιδόμενης, της ανακλώμενης και των απωλειών. Εφόσον το κατακόρυφο μέτωπο είναι αδιαπέρατο με θάλαμο απομείωσης, η μεταδιδόμενη ενέργεια διαχωρίζεται στην ενέργεια που αποσβένυται εντός των θαλάμων απομείωσης και σε αυτή που μεταδίδεται κατά την υπερπήδηση, το δε υπόλοιπο ανακλάται.

Στην παρούσα Διδακτορική διατριβή για να διαπιστωθεί η ανακλαστικότητα κάθετων μετώπων με διατάξεις απομείωσης ενέργειας υπό την δράση θαλασσιών κυματισμών καθώς και η επίδραση της παροχής υπερπήδησης στην ανάκλαση των κυμάτων, έγιναν μετρήσεις της κυματικής διαταραχής σε προκαθορισμένες θέσεις εμπροσθεν διατομών ώστε να υπολογιστεί ο συντελεστής ανάκλασης των διατομών ως ο λόγος του ανακλώμενου προς τον προσπίπτοντα κυματισμό. Ταυτόχρονα σε ορισμένες περιπτώσεις έγιναν και μετρήσεις παροχής υπερπήδησης  $q$  μετρούμενη σε ( $m^3/s/m$ ) Σημειώνεται ότι όλες οι μετρήσεις έγιναν για μη θραυόμενους κυματισμούς. Η θραύση, ως φαινόμενο, θα επηρέαζε τόσο την κυματική υπερπήδηση όσο και τον συντελεστή ανάκλασης, αφού τμήμα της ενέργειας θα καταστρεφόταν κατά το φαινόμενο της θραύσης. Οι ελεγχθείσες βασικές ομάδες διατάξεων είναι οι ακόλουθες:

A) Διατάξεις με κατακόρυφο μέτωπο και θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών κενό ή με λιθορριπή (Ομάδα A)

B) Διατάξεις με κατακόρυφο μέτωπο και με τοίχο επιστροφής κυματισμών σε μεικτή διατομή (Ομάδα B)

Οι διατάξεις της Ομάδας A χρησιμοποιούνται: α) σε εσωτερικά λιμενικά έργα, συνήθως προστατευμένα από τους προσπίπτοντες κυματισμούς και ως εκ τούτου η αναμενόμενη κυματική διαταραχή έχει μεγάλη περίοδο και μικρό ύψος κύματος (κύματα από περίθλαση ή swell) και β) σε εξωτερικά λιμενικά έργα σε περιοχές βαθέων υδάτων, όπου κυματοθραύστες με πρηνή δεν είναι εύκολο να κατασκευασθούν. Παρόμοιες διατομές με αυτές που ελέγχθηκαν έχουν κατασκευασθεί σε εσωτερικά και εξωτερικά λιμενικά έργα και τινές εξ αυτών έχουν ελεγχθεί σε φυσικό προσομοίωμα. Στις Διατάξεις της Ομάδας A ελέγχθηκε - υπολογίσθηκε μόνον ο συντελεστής ανάκλασης και συσχετίστηκε με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής και του προσπίπτοντος κυματισμού, εν μέρει δε με τα χαρακτηριστικά του υλικού της λιθορριπής. Η υπερπήδηση στις διατάξεις αυτές δεν είναι το κρίσιμο φαινόμενο, αλλά δευτερεύον και μη αποδεκτό.

Οι διατάξεις της Ομάδας Β χρησιμοποιούνται κυρίως για την αποφυγή της υπερπήδησης, ως εκ τούτου σε εξωτερικά λιμενικά έργα κατά κύριο λόγο. Στην παρούσα εργασία ελέγχθηκαν τέσσερις διατομές οι οποίες βασικό σκοπό είχαν την μείωση της κυματικής υπερπήδησης. Στις Διατάξεις της Ομάδας Β μετρήθηκε ο συντελεστής ανάκλασης και σε ορισμένες περιπτώσεις μετρήθηκε ταυτόχρονα και η παροχή υπερπήδησης. Σημειώνεται ότι σε τέτοιου είδους διατομές δεν έχει διερευνηθεί ο συντελεστής ανάκλασης καθότι πρωτεύοντα λόγο έχει η αποφυγή της υπερπήδησης των κυμάτων. Μια τέτοια κατασκευή όμως, ανακλά σημαντικά τον προσπίπτοντα κυματισμό και αλλοιώνει το κυματικό κλίμα της περιοχής.

Το σύνολο των μετρήσεων έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων ΕΜΠ (για συντομία Ε.Λ.Ε.) και συγκεκριμένα στις δύο Δεξαμενές Δοκιμών, τις οποίες διαθέτει. Έγιναν σε τρισδιάστατα φυσικά προσομοιώματα με κεκλιμένο τρισδιάστα πυθμένα των διατομών και επιβεβαιώθηκαν - επανελήφθησαν σε φυσικά προσομοιώματα με οριζόντιο ή δισδιάστατα μεταβαλλόμενο πυθμένα.

Χρησιμοποιήθηκαν φασματικοί κυματισμοί τύπου JONSWAP, οι οποίοι προσομοιώνουν ικανοποιητικά τους θαλάσσιους κυματισμούς της περιοχής της Ελλάδας. Χρησιμοποιήθηκε μεγάλο εύρος περιόδων και συνδυασμών υψών κύματος, έτσι ώστε να αναζητηθεί - διερευνηθεί πλήρως η επίδραση των χαρακτηριστικών μεγεθών των κυματισμών στην συμπεριφορά των δοκιμαζόμενων διατάξεων. Προτιμήθηκε η πειραματική διερεύνηση να γίνει με φασματικούς κυματισμούς, επειδή τα φάσματα εμπεριέχουν μεγάλο εύρος συχνοτήτων, αντί της μιας των μονοχρωματικών κυματισμών. Με τον τρόπο αυτό παρουσιάζεται ακριβέστερα η απόδοση των ελεγχθεισών διατάξεων. Για τις μετρήσεις της κυματικής διαταραχής χρησιμοποιήθηκαν μετρητές κύματος τύπου αντιστάσεως τους οποίους διαθέτει το Ε.Λ.Ε.

Για την μέτρηση της παροχής υπερπήδησης χρησιμοποιήθηκαν κυτία συλλογής ύδατος τα οποία τοποθετήθηκαν όπισθεν των κατακορύφων μετώπων. Με την μέθοδο συλλογής του υπερπηδούντος ύδατος εντός των κυτίων εκτιμάται η μέση παροχή υπερπήδησης, όπως διεθνώς έχει καθοριστεί. Δεν καταγράφονται όμως οι αιχμές. Για την παρούσα εργασία η μέθοδος αυτή είναι ικανοποιητική.

Οι μετρήσεις των κυμάτων αναλύθηκαν με την μέθοδο Fast Fourier Transformation (FFT) και προέκυψαν τα χαρακτηριστικά μεγέθη των φασμάτων των κυμάτων στις θέσεις μέτρησης. Για την εκτίμηση του συντελεστή ανάκλασης φασματικών κυμάτων χρησιμοποιήθηκε μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων υπολογισμού του. Με την μέθοδο αυτή υπολογίζονται: α) το προσπίπτον φάσμα του κύματος, β) το φάσμα του συντελεστή ανάκλασης και κατά συνέπεια και ο μέσος συντελεστής ανάκλασης ( $C_r$ ) και γ) η διαφορά φάσεως του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου φάσματος. Για την υπολογιστική μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε, απαιτούνται μετρήσεις σε τρία συν ένα σημεία έμπροσθεν της υπό έλεγχο διατομής, σε προκαθορισμένες αποστάσεις (3 σημεία για τον υπολογισμό και 1 για τον έλεγχο).



Μετά την αρχική φασματική και στατιστική επεξεργασία, από την οποία προέκυψαν τα πρωτογενή στοιχεία των αποτελεσμάτων (φασματικά χαρακτηριστικά μεγέθη κύματος, στατιστικά μεγέθη, συντελεστής ανάκλασης, παροχή υπερπήδησης κ.λ.π.), τα δεδομένα κατηγοριοποιήθηκαν με βάση την συμπεριφορά που επέδειξαν, ήτοι ανάλογα με τα κύρια μεγέθη από τα οποία συναρτώνται. Χρησιμοποιήθηκε και για την ανάκλαση, εκτός των άλλων αδιάστατων μεγεθών, αδιάστατη παράμετρος η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της κυματικής υπερπήδησης, με πολύ καλά αποτελέσματα. Έγινε διαστατική ανάλυση των δεδομένων και προέκυψαν διαγράμματα όπου εμφανίζονται οι τάσεις κατανομής των αδιάστατων μεγεθών. Όπου ήταν δυνατόν έγιναν συσχετίσεις και συγκρίσεις των αποτελεσμάτων με υπάρχουσες σχέσεις από την διεθνή βιβλιογραφία. Επίσης συσχετίστηκε η μέση αδιάστατη παροχή υπερπήδησης με τον μέσο συντελεστή ανάκλασης των διατομών.

Από την διαστατική ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν τον συντελεστή ανάκλασης με τα χαρακτηριστικά μεγέθη της διατομής και των προσπιπτόντων κυμάτων ανά υποκατηγορία έργου.

Τέλος προτάθηκε σχέση - μειωτικός συντελεστής που συνδέει την παροχή υπερπήδησης με τον συντελεστή ανάκλασης.

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων έγινε μια δημοσίευση σε διεθνές επιστημονικό περιοδικό και είναι υπό κρίση δημοσιεύσεις σε διεθνή και εθνικά συνέδρια (βλ. Συνημμένο Πίνακα Δημοσιεύσεων).

Οι εμπειρικές σχέσεις που προτείνονται βοηθούν :

- στην καταρχήν εκτίμηση της επίδρασης των έργων, κατασκευασμένων με διατομές των τύπων που ελέγχθηκαν, στο κυματικό κλίμα της περιοχής όπου πρόκειται να κατασκευασθούν
- στην διαστασιολόγηση των διατομών με βάση τις κυματικές συνθήκες των περιοχών όπου πρόκειται να κατασκευασθούν έργα, με τέτοιου είδους διατομές, για την βέλτιστη απόδοση αυτών
- Στην επίδραση που έχει η κυματική υπερπήδηση στην ανάκλαση των κυμάτων και κατά συνέπεια στο κυματικό κλίμα της περιοχής

Οι σχέσεις αυτές επίσης δύνανται, εκτός της χρήσης τους ως υπολογιστικά εργαλεία, να ενσωματωθούν σε μαθηματικούς κώδικες.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής αποτελούν ένα μικρό βήμα στην παρατήρηση της φύσης και στην προσπάθεια κατανόησης των μηχανισμών που διέπουν την ανάκλαση των θαλασσίων κυμάτων σε κατακόρυφα μέτωπα με διατάξεις απομείωσης ενέργειας καθώς και στην συσχέτιση της ανάκλασης με την υπερπήδηση.

## 1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η διάρθρωση της παρούσας εργασίας η οποία επιμερίζεται σε ένδεκα κεφάλαια ως ακολούθως:

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται η διάρθρωση, το αντικείμενο και ο σκοπός της εργασίας καθώς και οι συμβολισμοί οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι ορισμοί - βασικές έννοιες των παραμέτρων που θα διερευνηθούν στην συνέχεια, ήτοι των των φαινομένων της ανάκλασης θαλασσίων κυματισμών και της κυματικής υπερπήδησης. Στο τέλος παρουσιάζονται οι τύποι των κατακόρυφων μετώπων που χρησιμοποιούνται στα Λιμενικά έργα και που επηρεάζονται από τα φαινόμενα της ανάκλασης και της υπερπήδησης

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση των υφισταμένων ερευνητικών αναφορών σχετικών με παρόμοια θέματα

Οι Πειραματικές Εγκαταστάσεις στις οποίες έλαβαν χώρα τα πειράματα που αξιολογήθηκαν στην παρούσα εργασία και ο χρησιμοποιηθείς εξοπλισμός, περιγράφονται στο κεφάλαιο 4

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφονται συνοπτικά τα φυσικά προσομοιώματα επί των οποίων έγιναν οι πειραματικές μετρήσεις και οι μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν.

Οι πειραματικές διατάξεις που ελέγχθησαν παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 6 καθώς και τα προγράμματα των εκτελεσθέντων πειραμάτων

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται και ορίζονται οι παράμετροι βάσει των οποίων έγινε η επεξεργασία των μετρήσεων και στην συνέχεια η παραμετρική ανάλυση αυτών.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της κυματικής διαταραχής παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 8, ενώ στο Προσάρτημα Α επισυνάπτονται περαιτέρω στοιχεία της ανάλυσης των πρωτογενών στοιχείων

Στο κεφάλαιο 9 παρουσιάζεται η παραμετρική ανάλυση των μετρήσεων με την παράθεση διαγραμμάτων διαφόρων συσχετίσεων

Στο κεφάλαιο 10 παρατίθενται οι τελικώς επιλεχθείσες εμπειρικές σχέσεις συσχέτισης των μεγεθών

Τέλος στο κεφάλαιο 11 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

### 1.3 ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Τα κύρια στοιχεία πρωτοτυπίας της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής είναι τα ακόλουθα:

- Ο συντελεστής ανάκλασης θαλάσσιων κυματισμών σε κατακόρυφα μέτωπα με τοίχο επιστροφής δεν έχει διερευνηθεί πειραματικά μέχρι σήμερα.
- Η συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης κυματισμών με την κυματική υπερπήδηση δεν έχει συσχετισθεί πειραματικά μέχρι σήμερα
- Η διερεύνηση του συντελεστή ανάκλασης θαλασσίων κυματισμών σε διαφόρων τύπων διατομές και η προσπάθεια σύνδεσή τους κάτω από τους κοινούς νόμους που τους διέπουν, χρησιμοποιώντας α) αδιάστατη παράμετρο, η οποία χρησιμοποιείται στην υπερπήδηση, β) με την παράμετρο  $h/L_{m0}$  από την η οποία φαίνεται ότι εξαρτάται κυρίως ο συντελεστής ανάκλασης και γ) με έναν σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης ο οποίος φαίνεται ότι συνδέεται με την αδιάστατη παράμετρο που χρησιμοποιείται και στην υπερπήδηση .

Σημειώνεται ότι η μεταβολή του συντελεστή ανάκλασης θαλασσίων κυματισμών σε τμήμα των διατομών που ελέγχθηκαν, χωρίς την παρουσία λιθορριπής, δεν είναι σημαντική, όμως η επιμελέστερη ανάλυση βοηθά στην βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των λιμενικών έργων.

## 1.4 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

$B$	=	Ενεργό πλάτος του προβόλου του τοίχου επιστροφής	[m]
$B_c$	=	Ύψος του τοίχου επιστροφής	[m]
$B_t$	=	Συνολικό πλάτος του προβόλου του τοίχου επιστροφής	[m]
$C_r$	=	Μέσος συντελεστής ανάκλασης	
$C_{r*}$	=	Σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης	
$D$	=	Πλάτος θαλάμου εκτόνωσης	[m]
$d^*$	=	Αδιάστατη παράμετρος	
$D_{50}$		Μέση διάμετρος λίθου	[mm]
$d_s$	=	το βάθος του νερού στην στέψη της θωράκισης του πόδα	[m]
$d_t$	=	Βάθος του νερού στο αντισταθμιστικό ανάχωμα του έργου	[m]
$E$	=	Ενέργεια κύματος	[m/sec <sup>2</sup> ]
$E_{si}$	=	Προσπίπτουσα ενέργεια κύματος	[m/sec <sup>2</sup> ]
$E_{sr}$	=	Ανακλώμενη ενέργεια κύματος	[m/sec <sup>2</sup> ]
$F_r$	=	Αριθμός Froude	[-]
$g$	=	Επιτάχυνση βαρύτητας ( 9.81)	[m/sec <sup>2</sup> ]
$H$	=	Ύψος κύματος	[m]
$h^*$	=	Αδιάστατη παράμετρος	
$h, h_s$	=	Βάθος νερού στον πόδα του έργου	[m]
$H_{1/3}$	=	Ύψος κύματος εν τρίτον	[m]
$h_d$	=	Υψος του κατακόρυφου τμήματος της διατομής	[m]
$h_h$	=	Υψος του θαλάμου εκτόνωσης	[m]
$H_i$ ή $H_{si}$	=	Προσπίπτον χαρακτηριστικό ύψος κύματος	[m]
$H_{max}$	=	Μέγιστο Ύψος κύματος	[m]

$H_r$ ή $H_{sr}$	=	Ανακλώμενο χαρακτηριστικό ύψος κύματος	[m]
$H_{rms}$	=	Ύψος κύματος μέσης τετραγωνικής ρίζας	[m]
$H_{rms-i}$	=	Προσπίπτον Ύψος κύματος μέσης τετραγωνικής ρίζας	[m]
$H_{rms-r}$	=	Ανακλώμενο Ύψος κύματος μέσης τετραγωνικής ρίζας	[m]
$H_s$	=	Χαρακτηριστικό ύψος κύματος φασματικής ανάλυσης	[m]
$h_w$	=	το ύψος του νερού εντός του θαλάμου εκτόνωσης	[m]
$k$	=	$2\pi/L$ αριθμός κύματος	
$L$	=	Μήκος κύματος	[sec]
$L_0$		Μήκος κύματος στα βαθειά	
$L_{m0}$	=	Μήκος κύματος βάση της μέσης περιόδου στα βαθειά	[sec]
$L_{p0}$	=	Μήκος κύματος βάση της περιόδου αιχμής στα βαθειά	[sec]
$m_m$	=	Μάζα ομοιώματος	[t]
$m_p$	=	Μάζα πρωτότυπου	[t]
$N$	=	Αριθμός σημείων για την ανάλυση Fourier	
$n$	=	Ελεύθερη επιφάνεια	
$n_r$	=	το πορώδες, η τιμή του το οποίου κυμαίνεται από 35%έως 40%	
$P_c$	=	Ελεύθερο περιθώριο μείον το ύψος του προβόλου του τοίχου επιστροφής	[m]
$Q$	=	Παροχή υπερπήδησης	[m <sup>3</sup> /sec/m]
$q$	=	Αδιάστατη παροχή υπερπήδησης	
$R$	=	Ακτίνα καμπυλότητας του τοίχου επιστροφής.	[m]
$R(t)$	=	Η συνάρτηση διακύμανσης	
$R_c$	=	το ελεύθερο περιθώριο, ή η απόσταση από την επιφάνεια του ύδατος μέχρι την στάθμη στέψης της διατομής	[m]
$R_c^*$	=	Αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο	
$S_{,i}(f)$	=	Συνάρτηση της πυκνότητας του προσπίπτοντος φάσματος	[m <sup>2</sup> /Hz]
$S_{,r}(f)$	=	Συνάρτηση της πυκνότητας του ανακλώμενου φάσματος	[m <sup>2</sup> /Hz]

$S(f)$	=	Συνάρτηση πυκνότητας του φάσματος	[m <sup>2</sup> /Hz]
$T$	=	Περίοδος κύματος	[sec]
$T_m$	=	Μέση Περίοδος (από φασματική ανάλυση)	[sec]
$T_p$	=	Περίοδος κύματος αιχμής	[sec]
$U_p$	=	η μέγιστη ταχύτητα του υγρού σωματιδίου στο σώμα θωρακίσεως, η οποία κυμαίνεται από 0.5 έως 1.0 m/sec	[m/sec]
$\gamma$	=	Καμπυλότητα κύματος = $H/L$	
$\lambda$	=	Γεωμετρική κλίμακα	[-]
$\xi$	=	Παράμετρος θραύσεως	
$\xi_{m0}$	=	Παράμετρος θραύσεως για $T_m$	
$\xi_{mp}$	=	Παράμετρος θραύσεως για $T_p$	
$\xi_p$	=	Διορθωτικός συντελεστής υπολογισμού στρώσεων ογκολίθων σε προσομοίωμα	
$\rho_{fm}$	=	Πυκνότητα υγρού στο ομοίωμα ίση με 1,0 t/m <sup>3</sup>	[t/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{fp}$	=	Πυκνότητα υγρού στο πρωτότυπο ίση με 1,028 t/m <sup>3</sup>	[t/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{sm}$	=	Πυκνότητα στερεού στο ομοίωμα ίση με 2,65 t/m <sup>3</sup>	[t/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{sp}$	=	Πυκνότητα στερεού στο πρωτότυπο ίση με 2,65 t/m <sup>3</sup>	[t/m <sup>3</sup> ]



## 2. ΟΡΙΣΜΟΙ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

### 2.1 ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ

Η ενέργεια των θαλασσιών κυματισμών όταν προσπίπτουν σε σταθερό όριο ανακλάται. Η ανάκλαση είναι μερική ή ολική ανάλογα με το μέτωπο και την διαμόρφωσή του. Σε μέτωπα τα οποία καλύπτουν κατακόρυφα όλο ή μέρος του πεδίου ροής, η ανάκλαση είναι σχεδόν ολική. Σε κεκλιμένα μέτωπα ή σε μέτωπα ειδικά διαμορφωμένα για την απορρόφηση ενέργειας η ανάκλαση είναι μερική (Μουτζούρης, 1988).

#### 2.1.1. Συντελεστής ανάκλασης

Η ανάκλαση ποσοτικοποιείται βάσει του συντελεστή ανάκλασης,  $C_r$ , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του ύψους του ανακλώμενου κυματισμού,  $H_r$ , προς το ύψος του προσπίπτοντος κυματισμού,  $H_i$  στην περίπτωση μονοχρωματικών κυματισμών. ( $C_r = H_r/H_i$ )

Αντίθετα, στην περίπτωση φασματικών κυματισμών ο συντελεστής ανάκλασης,  $C_r$ , ορίζεται ως ο λόγος του ύψους κύματος  $H_{rms-r}$ , (μέσης τετραγωνικής ρίζας) του ανακλώμενου κυματισμού, προς το ύψος κύματος  $H_{rms-i}$  του προσπίπτοντος κυματισμού.

Στους φασματικούς κυματισμούς, αντί του συντελεστή ανάκλασης όπως ορίστηκε στην παραπάνω παράγραφο χρησιμοποιείται ο μέσος (bulk) συντελεστής ανάκλασης, ο οποίος ισούται με το μέσο όρο των συντελεστών ανάκλασης κάθε συχνότητας του φάσματος και είναι ίσος με το λόγο των ανακλώμενων ενεργειών προς τις προσπίπτουσες ανά συχνότητα ενέργειες.

#### 2.1.2. Υπολογισμός Συντελεστή ανάκλασης

Ο υπολογισμός του συντελεστή ανάκλασης των μετρήσεων των κυμάτων, στην παρούσα διδακτορική διατριβή, έγινε με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων η οποία είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη. Η μέθοδος περιγράφεται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο

#### 2.1.3. Ανακλαστικότητα κατασκευών

Για την διευκόλυνση της διερεύνησης του συντελεστή ανάκλασης και την κατηγοριοποίηση των παράκτιων κατασκευών ως προς την συμπεριφορά τους στο φαινόμενο της ανάκλασης, γίνεται ο παρακάτω διαχωρισμός ως προς τις τιμές του.

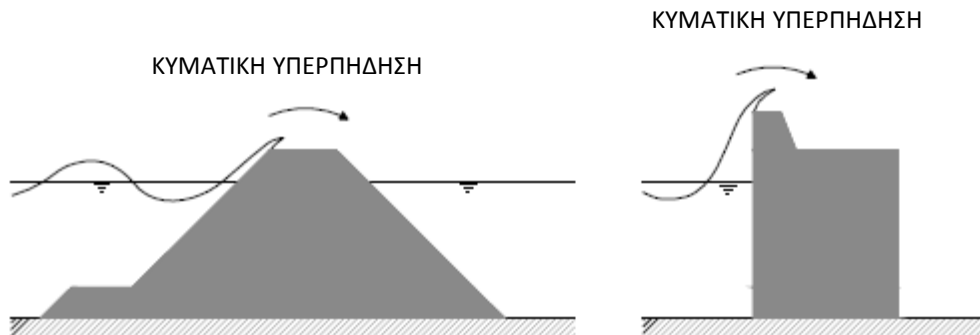
- Έργα υψηλής ανακλαστικότητας με :  $C_r > 0.85$
- Έργα μεσαίας ανακλαστικότητας με :  $0.85 > C_r > 0.50$
- Έργα χαμηλής ανακλαστικότητας με :  $C_r < 0.50$



## 2.2 ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗ

### 2.2.1 Γενικά

Η κυματική υπερπήδηση συμβαίνει όταν τα κύματα αναρριχόνται πάνω από το πρόσωπο του θαλασσιού μετώπου και ξεπερνούν την στέψη του εμποδίου-τοίχου, διαχωρίζεται δε σε τρεις βασικές κατηγορίες (EurOtop Manual 2007)



**Σχήμα 2.1.-** Ορισμός κυματικής υπερπήδησης σε παράκτιες κατασκευές

- Η πρώτη κατηγορία είναι η υπερπήδηση «πράσινου νερού» (green water) η οποία παρατηρείται όταν ένα συνεχές φύλλο νερού φθάνει μέχρι την στέψη του τοίχου και περνά πάνω από αυτόν. Σε περιπτώσεις κάθετων εμποδίων το κύμα κτυπά πάνω στο εμπόδιο και στέλνει μια κάθετη φλέβα νερού πάνω από την στέψη.
- Η δεύτερη μορφή της κυματικής υπερπήδησης παρατηρείται όταν τα κύματα θραύονται επί της προσήνεμης πλευράς της κατασκευής και παράγεται σημαντικός όγκος από αφρίζον ύδωρ (splash). Οι αφροί - σταγόνες μεταφέρονται πάνω από την στέψη είτε από την δική τους ορμή είτε σαν συνέπεια του πνέοντος ανέμου
- Η τρίτη κατηγορία και λιγότερο σημαντική παρατηρείται όταν σταγονίδια (spray) αποκολλώνται από την κορυφή των κυμάτων λόγω της πνοής του ανέμου αμέσως πριν το εμπόδιο. Ακόμη όμως και σε περιπτώσεις θυελλωδών ανέμων το ποσόν του υπερπηδούντος ύδατος της κατηγορίας αυτής δεν είναι σημαντικό και δεν λαμβάνεται υπόψιν σαν σημαντικός όγκος υπερπηδούντος ύδατος.

Οι τιμές της κυματικής υπερπήδησης που αναφέρονται παρακάτω και είτε μετρήθηκαν είτε υπολογίσθηκαν με βάση εμπειρικές μεθόδους αναφέρονται σε υπερπήδηση των δύο πρώτων κατηγοριών. Η επίδραση του ανέμου δεν έχει προσομοιωθεί στις μετρήσεις της παρούσας εργασίας, αλλά δεν έχει αναφερθεί στην βιβλιογραφία. Στις πλείστες των περιπτώσεων σημειώνεται ότι δεν έχει σημαντική επίδραση στην μέση παροχή. Η επίδραση της 3<sup>ης</sup> κατηγορίας εκτιμάται ότι δεν υπερβαίνει την τιμή του 1lt/s/m.

### 2.2.2 Αδιάστατη παράμετρος $h^*$

Για την διευκόλυνση της περαιτέρω ανάλυσης του φαινομένου της υπερπήδησης εισάγεται η αδιάστατη παράμετρος  $h^*$ , βάσει της οποίας, τα προσπίπτοντα κύματα, διαχωρίζονται σε «παλλόμενα» και «μη παλλόμενα» επί κατακορύφου μετώπου, όπου  $h^*$ :

$$h^* = \frac{h_s}{H_s} \frac{h_s}{L_o} \quad 2.1$$

Η παράμετρος εμπεριέχει δύο λόγους μαζί, το χαρακτηριστικό ύψος κύματος και το μήκος κύματος, και τα δύο μαζί συνδυασμένα με το τοπικό βάθος νερού  $h_s$ . Οι μη παλλόμενες κυματικές συνθήκες παρουσιάζονται για  $h^* < 0.3$  ενώ παλλόμενες κυματικές συνθήκες επικρατούν όταν  $h^* > 0.3$ . Η παράμετρος αυτή συνδυάστηκε με σχέσεις για μη παλλόμενες κυματικές συνθήκες και σε αδιάστατα μεγέθη όπως η αδιάστατη παροχή υπερπήδησης και το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο.

Τα κύματα που ερευνήθηκαν στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή ήταν παλλόμενα

## 2.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΜΕΤΩΠΑ ΜΕ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στην συνέχεια παρουσιάζονται επιλεγμένα και εν συντομία τύποι κατασκευών λιμενικών έργων με κατακόρυφα μέτωπα. Τα κατακόρυφα μέτωπα χωρίζονται βασικά σε δύο κατηγορίες α) τους κρηπιδότοιχους - εσωτερικά λιμενικά έργα που δέχονται κυματική ενέργεια από δευτερογενή πηγή (περίθλαση, κλπ) και β) τους κυματοθραύστες-κατακόρυφα μέτωπα εξωτερικά λιμενικά έργα που είναι εκτεθειμένα στην κυματική δράση

### 2.3.1 Κρηπιδότοιχοι

Οι κρηπιδότοιχοι χωρίζονται βασικά σε 3 κατηγορίες: α) έργα βαρύτητας, β) εύκαμπτα διαφράγματα και γ) κρηπιδότοιχοι ανοικτού τύπου (Μέμος 2008).

Και οι 3 κατηγορίες χωρίζονται σε υποκατηγορίες ως ακολούθως:

Στο Σχήμα 2 .1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι βασικές υποκατηγορίες κάθε κατηγορίας

#### 1. Τα έργα βαρύτητας

- Α) Με τεχνητούς Ογκόλιθους
- Β) Τύπου L
- Γ) Caisson
- Δ) Με πάκτωση άκαμπτου πετάσματος και ενίσχυση γαιών
- Ε) Με έγχυτο σκυρόδεμα

#### 2. Εύκαμπτα διαφράγματα

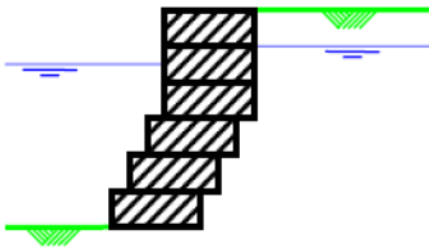
- ΣΤ) Πακτωμένοι πασσαλότοιχοι ή πασσαλοσανίδες
- Ζ) Πασσαλοσανίδες με αγκύρωση
- Η) Πακτωμένοι πασσαλότοιχοι με ανακουφιστική πλατφόρμα

#### 3. κρηπιδότοιχοι ανοικτού τύπου

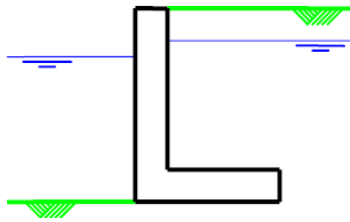
- Θ) Ανοικτοί κρηπιδότοιχοι
- Ι) Ανοικτοί κρηπιδότοιχοι με επίχωση λιθορριπής

**1. Κρηπιδότοιχοι βαρύτητας**

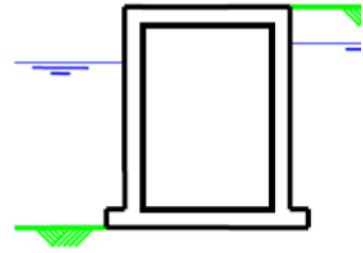
A) Με τεχνητούς Ογκολίθους



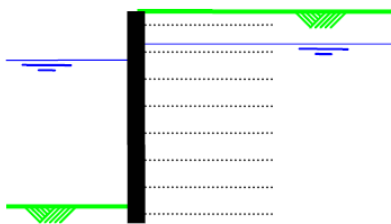
B) Τύπου L



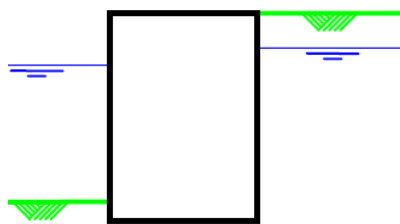
Γ) Caisson



Δ) Με πάκτωση άκαμπτου πετάσματος και ενίσχυση γαιών

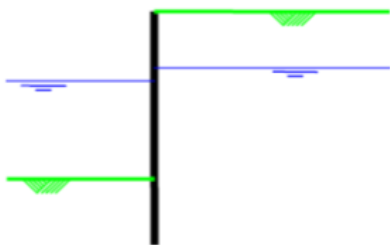


Ε) Με έγχυτο σκυρόδεμα

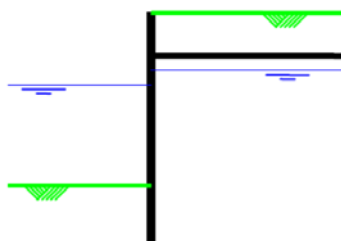


**2. Εύκαμπτα διαφράγματα**

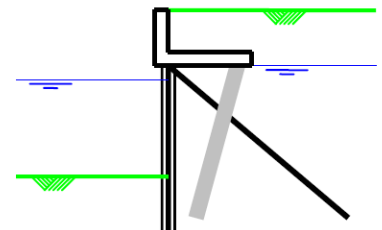
Στ) Πακτωμένοι πασσαλότοιχοι ή πασσαλοσανίδες



Ζ) Πασσαλοσανίδες με αγκύρωση

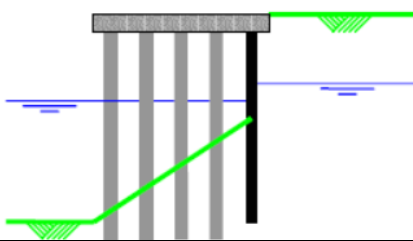


Η) Πακτωμένοι πασσαλότοιχοι με ανακουφιστική πλατφόρμα

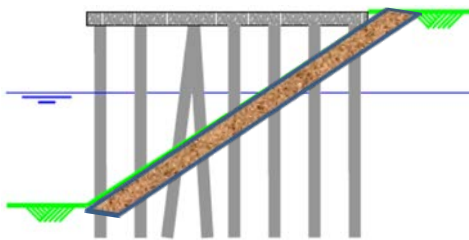


**3. Κρηπιδότοιχοι ανοικτού τύπου**

Θ) Ανοικτοί κρηπιδότοιχοι



ι) Ανοικτοί κρηπιδότοιχοι με επίχωση λιθορριπής

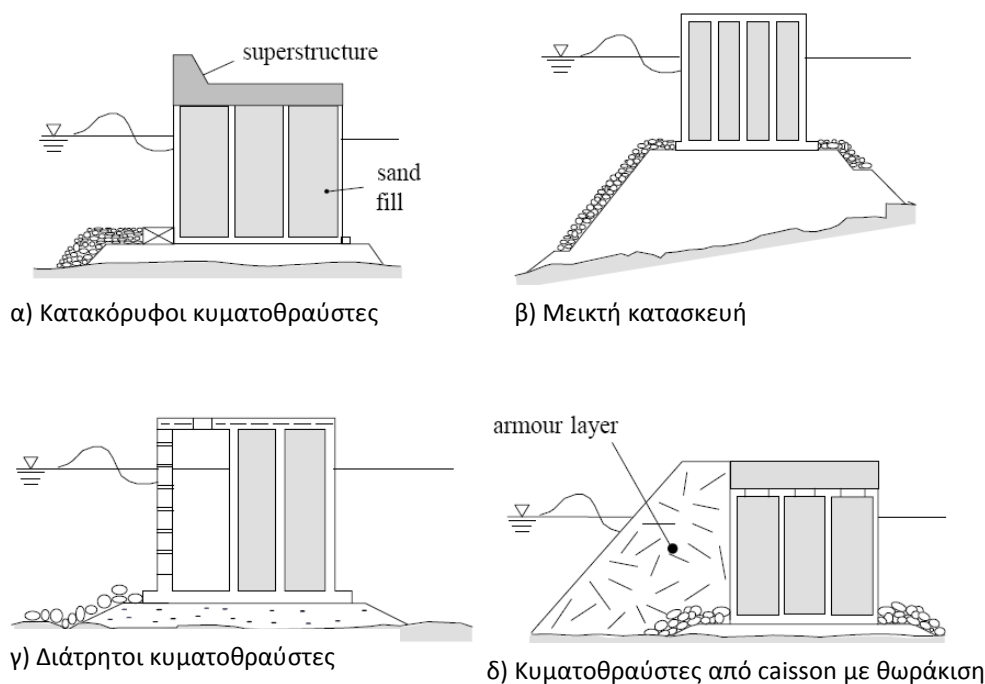


**Σχήμα 2.1** Τύποι κρηπιδοτοιχων

### 2.3.2. ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΕΣ – ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΜΕΤΩΠΑ

Οι κυματοθραύστες χωρίζονται βασικά σε δύο κατηγορίες: α) σε κυματοθραύστες με κατακόρυφα μέτωπα και β) σε κυματοθραύστες με πρανή.

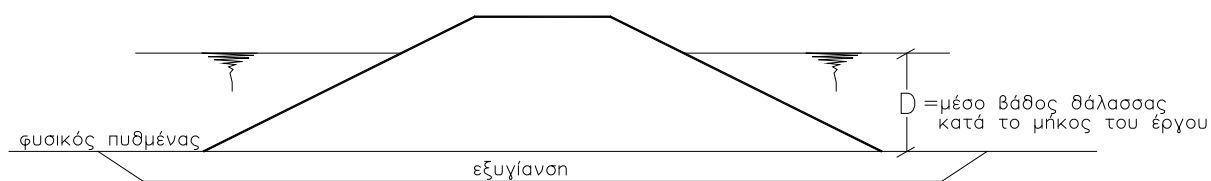
Στην 1<sup>η</sup> κατηγορία διακρίνονται τέσσερις βασικές υποκατηγορίες κατά PROVERBS 1999



**Σχήμα 2.2.** Κύριοι τύποι κατακόρυφων κυματοθραυστών (από PROVERBS )

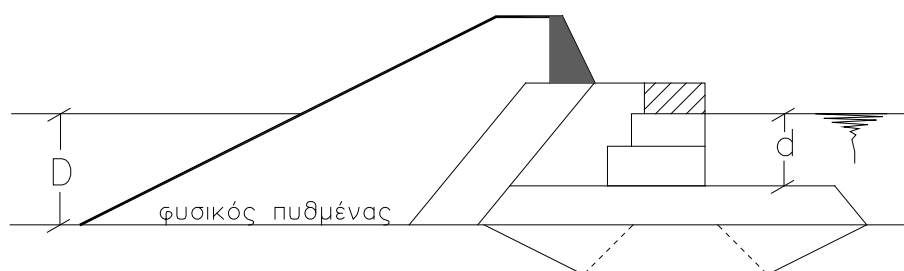
Οι κυματοθραύστες με πρανή χωρίζονται βασικά σε 2 κατηγορίες:

Στην 1<sup>η</sup> κατηγορία ανήκουν εκείνοι που και από τις 2 πλευρές έχουν πρανή θωρακισμένα με φυσικούς ή τεχνητούς ογκόλιθους. Τυπική διατομή δίνεται στο Σχήμα 2.3.



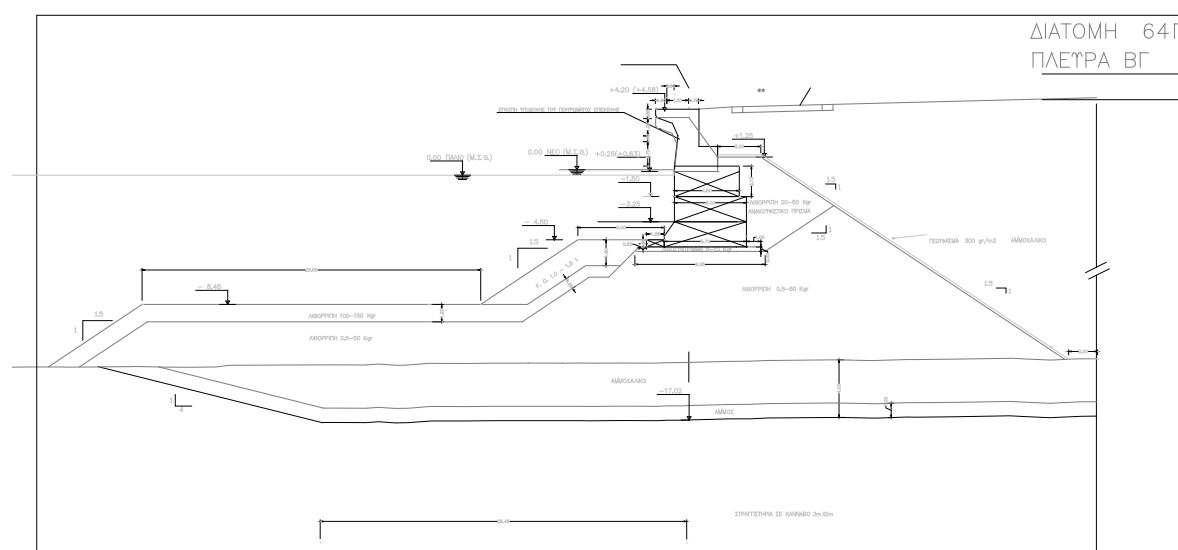
**Σχήμα 2.3** 1<sup>η</sup> κατηγορία κυματοθραύστη με πρανές.

Στην 2<sup>η</sup> κατηγορία ανήκουν όσοι κυματοθραύστες στην εσωτερική τους πλευρά έχουν κρηπίδωμα και μόνο στην εξωτερική πλευρά υπάρχει πρανές θωρακισμένο με φυσικούς ή τεχνητούς ογκόλιθους. (Βλέπε Σχήμα 2.4)



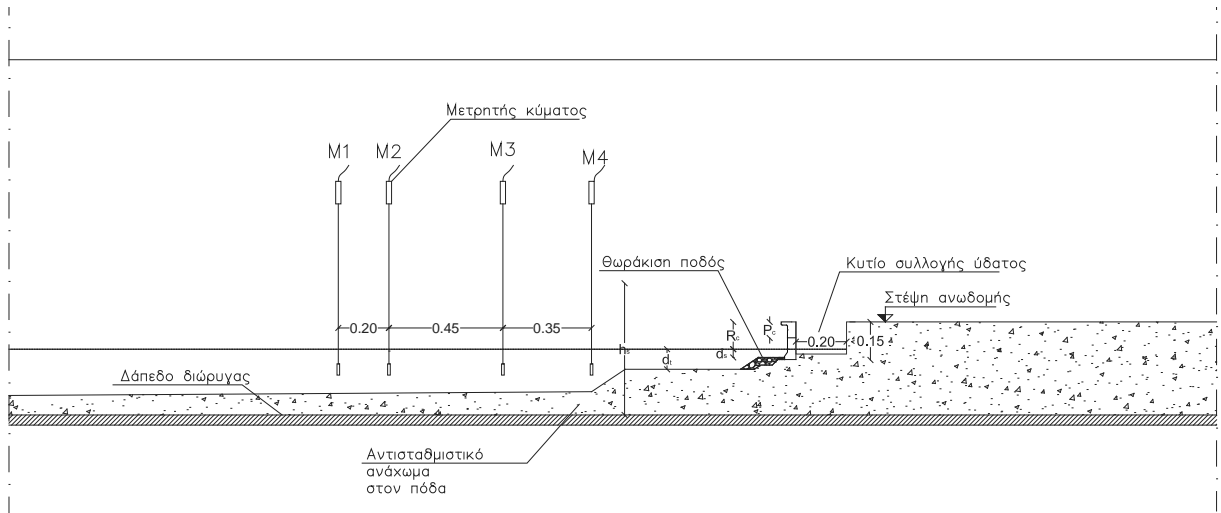
**Σχήμα 2.4** 2<sup>η</sup> κατηγορία κυματοθραύστη με πρανές.

Τέλος, ανάλογα με τις ανάγκες κάθε κατασκευής και τις ειδικές συνθήκες για τις οποίες θα χρησιμοποιηθεί, προσαρμόζονται οι προσήκουσες διατομές. Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζεται μια ειδικού τύπου διατομή, η οποία σχεδιάστηκε για να μειωθεί η κυματική υπερπήδηση στο νέο αεροδιάδρομο του αεροδρομίου ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ, στην Μίκρα- Θεσσαλονίκη. Το έξαλο τμήμα της ανωδομής σχεδιάστηκε με καμπύλο τοίχο επιστροφής κυμάτων για την μείωση της κυματικής υπερπήδησης.



**Σχήμα 2.5** Ειδικού τύπου διατομή με τοίχο επιστροφής κυμάτων (από την μελέτη του έργου)

Η παραπάνω διατομή ελέγχθηκε σε φυσικό προσομοίωμα στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π. Η τυπική διατομή της διάταξης του φυσικού προσομοιώματος φαίνεται στο Σχήμα 2.6 που ακολουθεί.



**Σχήμα 2.6** Ειδικού τύπου διατομή με τοίχο επιστροφής κυμάτων σε φυσικό προσομοίωμα

### 3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται βιβλιογραφικές αναφορές συνδεδεμένες με τα φαινόμενα της ανάκλασης και της υπερπήδησης. Στο πρώτο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι σχετικές αναφορές με την ανάκλαση των κυμάτων, ενώ στο δεύτερο, οι σχετικές με την υπερπήδηση των κυμάτων. Σε κάθε υποκεφάλαιο αρχικά παρουσιάζονται οι σχέσεις και τα διαγράμματα που αναφέρονται σε έγκυρα βιβλία-Manuals και στην συνέχεια αναφορές, ανά υποκατηγορία συναφούς περιεχομένου, σε διάφορα περιοδικά, πρακτικά συνεδρίων, κλπ αναφορές.

#### 3.1 ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Οι θαλάσσιες κατασκευές ανακλούν ποσοστό της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας. Εάν η ανάκλαση είναι σημαντική, η αλληλεπίδραση του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου κύματος δύναται να δημιουργήσει μια εξαιρετικά δυσμενή κυματική κατάσταση με πολύ στενά κύματα τα οποία συχνά θραύονται. Το γεγονός αυτό δημιουργεί σημαντικά προβλήματα ναυσιπλοΐας ιδιαίτερα στις εισόδους των λιμένων και στα κρηπιδώματα εφόσον είναι εκτεθειμένα. Η έντονη ανάκλαση επίσης προκαλεί διάβρωση και υποσκαφή των κρηπιδωμάτων, ενώ επιρρεάζονται και οι παρακείμενες ακτές οι οποίες διαβρώνονται

Τα μη υπερπηδόμενα αδιαπέρατα λεία κάθετα μέτωπα ανακλούν σχεδόν όλη την προσπίπτουσα ενέργεια, ενώ οι διαπερατές, μέσης κλίσης, κατασκευές από λιθορριπές απορροφούν ένα σημαντικό τμήμα της ενέργειας. Για την κατασκευή των κρηπιδωμάτων εντός των λιμενολεκάνων θα ήταν προτιμότερο να επιλεγούν διατομές που απορροφούν ενέργεια.

Γενικά η προσπίπτουσα κυματική ενέργεια, εν μέρει απορροφάται από την θραύση των κυμάτων, την τραχύτητα της επιφάνειας και την ροή εντός του πορώδους, εν μέρει μεταφέρεται εντός της λιμενολεκάνης λόγω υπερπήδησης και διείσδυσης και εν μέρει ανακλάται πίσω στην θάλασσα. (CEM 2011)

$$C_r = \frac{H_{sr}}{H_{st}} = \left( \frac{E_r}{E_t} \right)^{1/2} \quad [3.2]$$

Όπου  $H_{sr}$ ,  $H_{st}$  το ανακλώμενο και το προσπίπτον χαρακτηριστικό ύψος κύματος αντίστοιχα και  $E_r$ ,  $E_t$  οι αντίστοιχες κυματικές ενέργειες.

Τα πολύ μακρά κύματα (infragravity) και τα παλιρροιακά κύματα ανακλώνται σχεδόν πλήρως σε αδιαπέρατες κατασκευές. Τα ανεμογενή κύματα θραύονται υπό κλίσεις πυθμένα, με τον τύπο της θραύσης να συνδέεται με την παράμετρο Iribaren  $\xi$ , η οποία ορίζεται από την εξίσωση



$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H}{gT^2}}} \quad [3.3]$$

Όπου  $\tan \alpha$  η εφαπτομένη της κλίσης του πυθμένα ή της θωράκισης.

### 3.1.1 Ανάκλαση σε έργα με θωράκιση ογκολίθων

Η καταστροφή της ενέργειας στην θραύση είναι πολύ μεγαλύτερη συγκρινόμενη με την τραχύτητα της επιφάνειας και την ροή μέσω πορώδους μέσου για συμβατικές παράκτιες κατασκευές.

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H}{gT^2}}} \quad C_r = \frac{a\xi^2}{(b+\xi^2)} \quad [3.4]$$

Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές των  $a$  και  $b$  για διάφορες καταστάσεις σύμφωνα με τους ερευνητές:

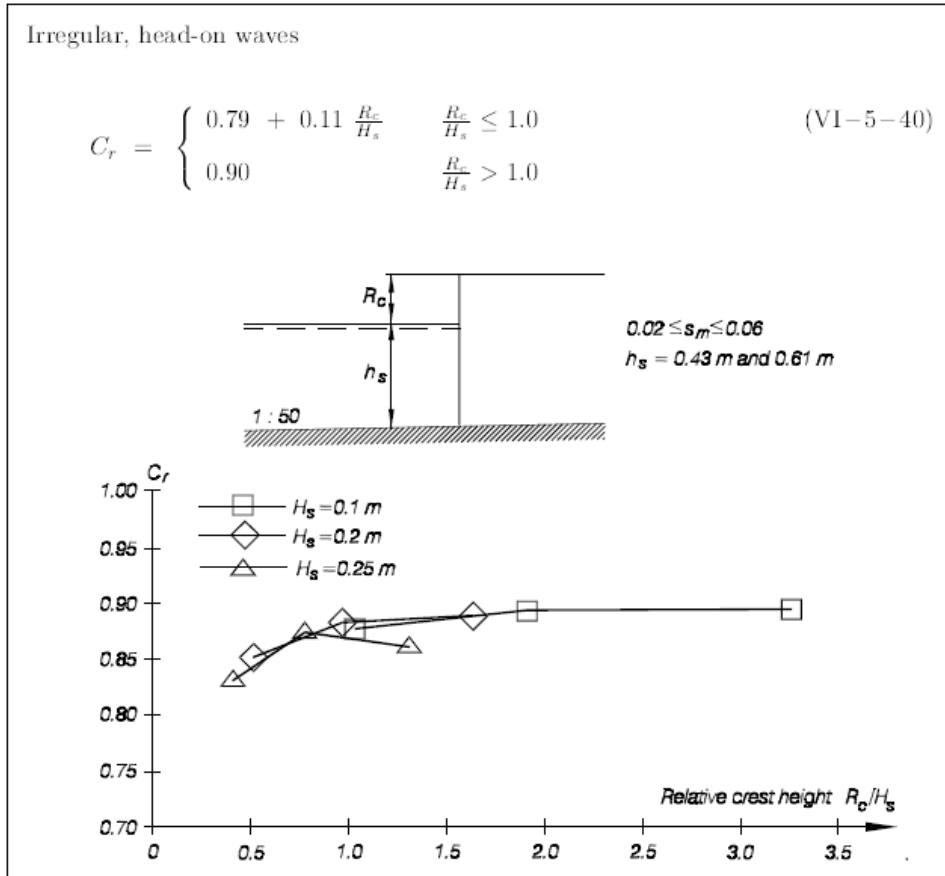
Η ανάκλαση των κυμάτων επί των μετώπων ερευνήθηκε και ερευνάται ως επί το πλείστον πειραματικά, διότι η καταστροφή της ενέργειας είναι δύσκολο να προσομοιωθεί αναλυτικά (Takahashi 1996)

### 3.2.1 Ανάκλαση σε κατακόρυφο μέτωπο

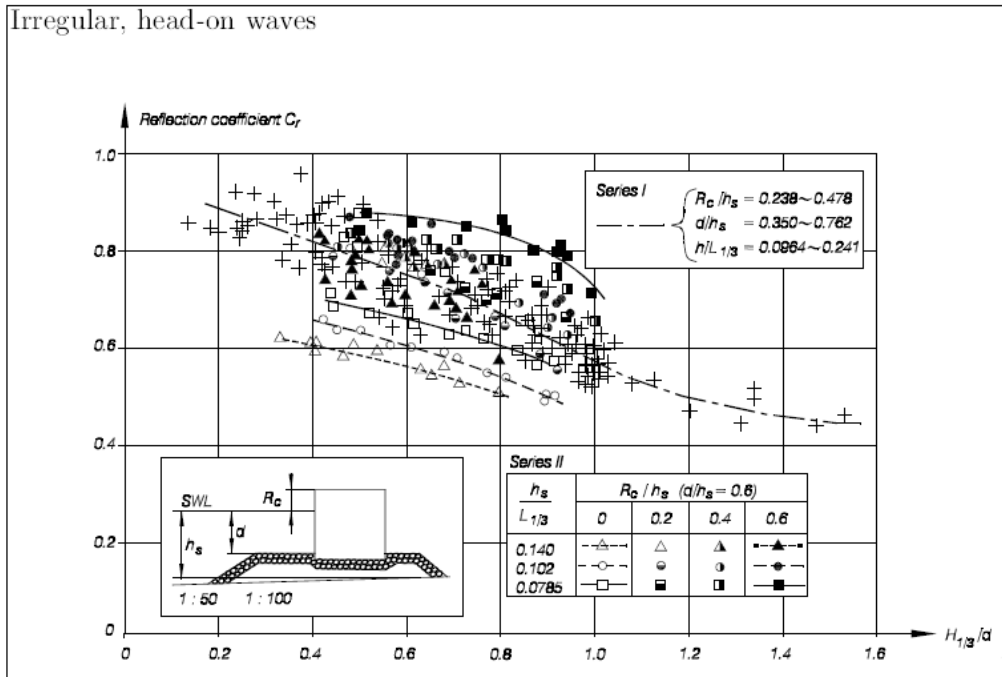
Με την ανάκλαση σε κατακόρυφο μέτωπο έχουν ασχοληθεί ιδιαίτερα Ιάπωνες ερευνητές. Στο βιβλίο του, ο Takahashi 1996, 2002 (DESIGN OF VERTICAL BREAKWATERS) αναφέρεται εκτενώς στην ανάκλαση επί κατακορύφων μετώπων. Ευρωπαίοι ερευνητές (Allsop, N. W., and Hettiarachchi, S. S. 1988, Allsop, N.W.H., Bray, R.N., 1994, Allsop, N. W., McBride, M. W. and Colombo D. 1994) επίσης έχουν ερευνήσει το θέμα. Στην συνέχεια παρουσιάζονται 4 διαγράμματα για τον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης σε διάφορες κατηγορίες κατακορύφων μετώπων. (CEM2011)

Ερευνητής	Παράμετρος	Κατασκευή	$\alpha$	$\beta$
Seeling (1983)	$2.5 \leq \xi \leq 6$ ημιτονοειδή κύματα	Αδιαπέρατη, λεία, επιφάνεια με ομοιόμορφη κλίση	1.0	5.5
Allsop and Hettiarachchi (1998)	$\xi$ ημιτονοειδή κύματα	Dolosse Κλίσεις: 1:1.5, 1:2, 1:3	0.56	10.0
	$\xi$ ημιτονοειδή κύματα	Cobs Κλίσεις: 1:1.5, 1:2, 1:3	0.50	6.54
	$\xi_{mo}$ φασματικά κύματα	Τετράποδα και Stabit Κλίσεις: 1:1.33, 1:5, 1:2	0.48	9.62
	$\xi_{mo}$ φασματικά κύματα	Τετράποδα και Stabit Κλίσεις: 1:1.33, 1:5, 1:2	0.49	7.94
Allsop (1990)	$3 \leq \xi_{mo} \leq 6$	Λεία και αδιαπέρατη	0.96	4.8
		1 στρώση ογκολίθων και υπόστρωση από λιθορριπή αδιαπέρατη κλίση (P=1)	0.64	7.22
		2 στρώσεις ογκολίθων και υπόστρωση από λιθορριπή αδιαπέρατη κλίση (P=1)	0.64	8.85
Benoit and Teisson (1994)	$2.7 \leq \xi_{mp} \leq 7$	2 στρώσεις ογκολίθων  Κλίση 1:1.33, 1:1.5, 1:2	0.60	6.60
Davidson et al (1994)	$8 \leq \xi_{mp} \leq 50$	Μετρήσεις πεδίου με κλίση ογκολίθων 1:1.1 Βάθος ύδατος h σε μέτρα		
		$h \leq 2.5$	0.65	25
		$h > 3.25$	0.60	35
		$2.5 \leq h \leq 3.25$	0.64	80

**Πίνακας 3.1** Τιμές παραμέτρων  $\alpha$  και  $\beta$  για τον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης



Σχήμα 3.1-Συντελεστές ανάκλασης κυμάτων για απολύτως κατακόρυφα μέτωπα σε κλίση πυθμένα 1:50 (Allsop, N. W., McBride, M. W., and Colombo, D. 1994)



Σχήμα 3.2-Συντελεστές ανάκλασης κυμάτων για απολύτως κατακόρυφα μέτωπα με έδραση σε λιθορριπή (Tanimoto, Takahashi and Kimura 1987)

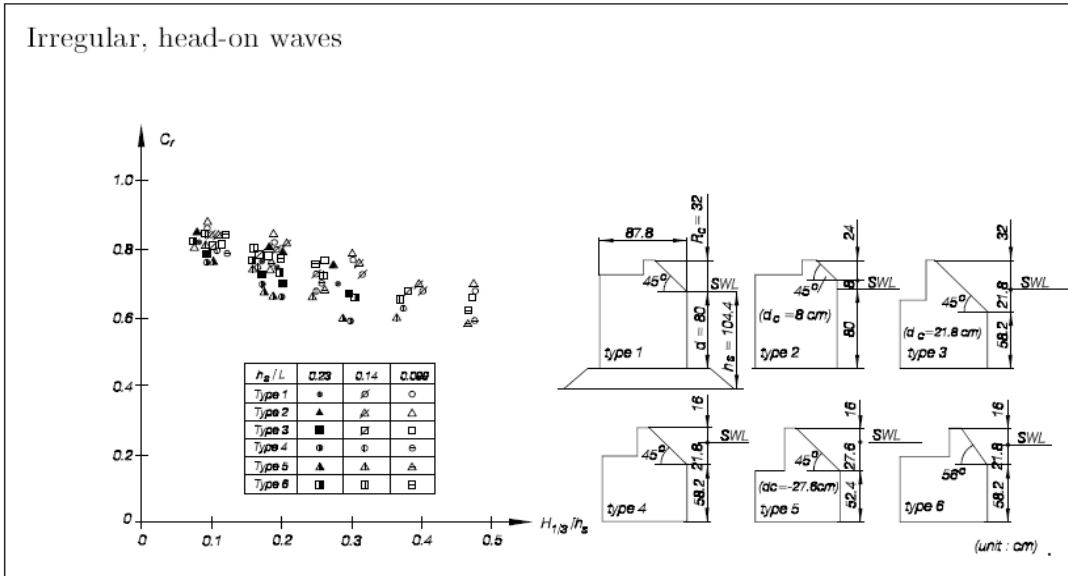
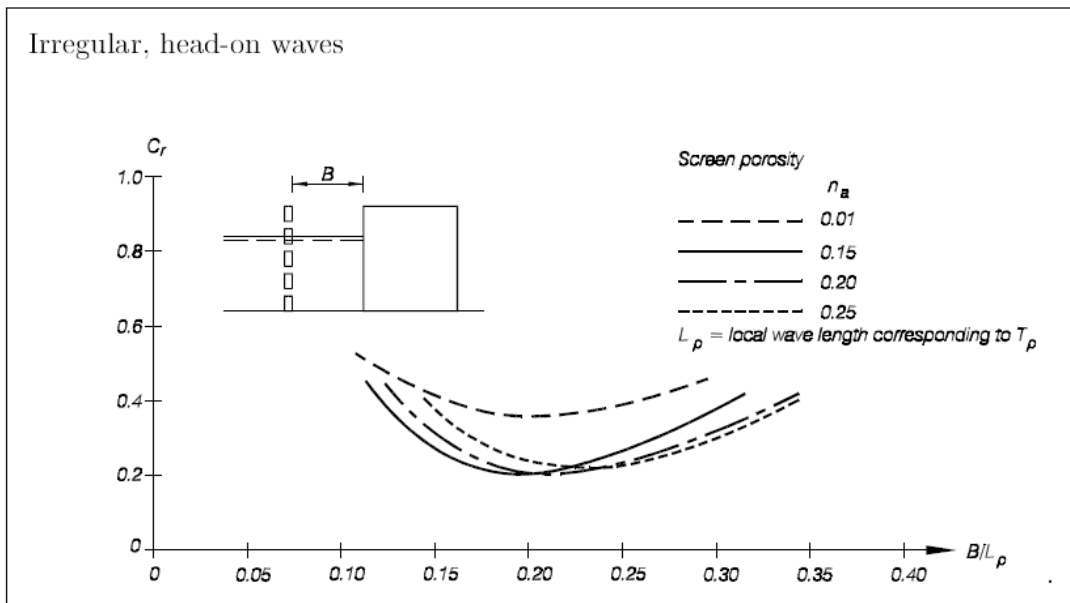


Figure VI-5-23. Wave reflection coefficients for sloping top breakwaters (Takahashi 1996)

Σχήμα 3.3-Συντελεστές ανάκλασης κυμάτων για κατακόρυφα μέτωπα με κεκλιμένη ανωδομή (Takahashi 1996)



Σχήμα 3.3-Συντελεστές ανάκλασης κυμάτων για διάτρητα caissons) κατακόρυφα μέτωπα με κεκλιμένη ανωδομή ( Allsop, N. W., and Hettiarachchi)

### 3.1.3. Ανάκλαση σε ομοιόμορφα μεταβαλλόμενο πυθμένα

Στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί δίνονται οι σχέσεις του συντελεστή ανάκλασης εξαρτημένου από την παράμετρο  $\xi$ , όπως προτάθηκαν από διάφορους ερευνητές. Η παράμετρος  $\xi$  αφορά γενικώς την κλίση του πυθμένα, εκτός και αν αλλιώς ορίζεται από τον ερευνητή.

Ερευνητής	Κύρια παράμετρος	Σχέση Συντελεστή ανάκλασης	Περιοχή εφαρμογής
Battjes (1974)	$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$	$0.1 \xi^2$	
Gimenez –Curto (1979)	$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$	$\frac{1}{2} - \frac{\exp(-0.125\xi)}{2}$	
Seeling & Ahrens 1981)	$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$	$\frac{0.6\xi^2}{6.6 + \xi^2}$	
Buerger et al. (1988)	$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$	$\frac{0.6\xi^2}{12 + \xi^2}$	
Postmar (1989)	$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$	$0.125\xi^{0.73}$	
Van der Meer (1992)	$\xi = \frac{\tan^{0.62} \alpha}{(H/L_0)^{0.46}}$	$0.07 (P^{-0.08} + \xi)_-$	
Hughes & Fowler (1995)	$\xi = \sqrt{\frac{h}{gT^2 \tan \alpha}}$	$\frac{1}{1 + 7.1\xi^{0.8}}$	
Davinson et al. (1996)	$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$	$0.298 \ln \xi + f(D, P, \alpha, H, L_0)$	
Zanuttigh & van der Meer (2006)	$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$	$\tanh(0.12\xi^{0.87})$	
Muttray et al.(2006)	$2\pi/L_0$	$Cr = \frac{1}{1.3 + 3h \frac{2\pi}{L_0}}$	

**Πίνακας 3.2 .** Σχέσεις υπολογισμού συντελεστή ανάκλασης προτεινόμενες από διάφορους ερευνητές.

Σημειώνεται ότι οι προταθείσες σχέσεις από τους Hughes & Fowler (1995) και Muttray et al.(2006) δεν εξαρτώνται από το ύψος κύματος.

### 3.1.4. Χαμηλής ανακλαστικότητας κυματοθραύστες και κρηπιδότοιχοι

Λόγω της υψηλής ανακλαστικότητας των κατακορύφων μετώπων αναζητήθηκαν τύποι κάθετων μετώπων με χαμηλή ανακλαστικότητα. Οι τύποι των καθέτων μετώπων με χαμηλή ανακλαστικότητα ερευνήθηκαν τόσο πειραματικά όσο και αναλυτικά και δύνανται να διαχωρισθούν σε 3 κατηγορίες: α) διάτρητα κατακόρυφα μέτωπα, β) απορροφητικά μέτωπα με θάλαμο απομείωσης ενέργειας και γ) συνδυασμός των 2 παραπάνω κατηγοριών.

Στην συνέχεια γίνεται μια σύντομη αναδρομή στην υπάρχουσα βιβλιογραφία.

Αρχικά ο Jarlan (1961) παρουσίασε τον πρώτο διάτρητο κυματοθραύστη, αποτελούμενο από ένα θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών με διάτρητο μέτωπο στο εμπρόσθιο τμήμα και συμπαγές κατακόρυφο μέτωπο το οπίσθιο τμήμα του θαλάμου. Αυτός ο τύπος κυματοθραύστη ονομάστηκε τύπου Jarlan. Τα πρώτα πειράματα εκτελέστηκαν από τον Jarlan (1961) και Marks and Jarlan (1968). Η πρώτη αναλυτική μέθοδος αναπτύχθηκε από τον Jarlan (1965). Το φαινόμενο της ανάκλασης των κυμάτων μελετήθηκε τόσο αριθμητικά όσο και πειραματικά. Οι ερευνητές αναζητούν τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα τέτοιων διατάξεων.

Οι Tanimoto and Yoshimoto (1982) ερεύνησαν θεωρητικά και πειραματικά την ανακλαστικότητα μερικώς διάτρητων caissons. Ο Jianyi (1992) διερεύνησε πειραματικά ένα κυματοθραύστη πολλαπλών θαλάμων ο οποίος αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικός στην μείωση της ανάκλασης, της αναρρίχησης και της υπερπήδησης των κυμάτων.

Άλλοι ερευνητές παρουσίασαν τις εμπειρίες τους από την μελέτη και κατασκευή παρόμοιων διατάξεων όπως οι Allsop and Bray (1994), Franco (1994), και Takahashi (2006).

Οι Zhu and Chwang (2001) ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο για την μελέτη της ανάκλασης των κυμάτων σε ένα μέτωπο κυματοθραύστη με περσίδες (Slotted), το οποίο εκτείνεται από την επιφάνεια του νερού μέχρι τον πυθμένα. Οι Oumeraci and Kortenhuis (1999) μελέτησαν πειραματικά τις δυνάμεις που εξασκούνται επί των χαμηλής ανακλασιμότητας κυματοθραυστών καθώς και τον συντελεστή ανάκλασης. Οι Takahashi et al. (2002) χρησιμοποίησαν την αριθμητική μέθοδο προσομοίωσης όγκου ρευστού (volume of fluid (VOF)) για να αξιολογήσουν την απόδοση της ανάκλασης σε μερικώς διάτρητα caissons, για πλάγια πρόσπτωση κυμάτων. Οι Suh and Park (1995) ανέπτυξαν αναλυτικό μοντέλο για τον υπολογισμό της ανάκλασης ενός ολοκληρωτικά διάτρητου κυματοθραύστη σε μεικτή διατομή για μονοχρωματικά κύματα. Στην συνέχεια οι Suh et al. (2001, 2006) επέκτειναν το μοντέλο για φασματικά κύματα και για μερικώς διάτρητο caisson. Αργότερα οι Later Teng et al. (2004) πρότειναν μια αναλυτική λύση βασισμένη στην διαίρεση του ρευστού τομέα για μια άπειρη σειρά από διάτρητα caissons.

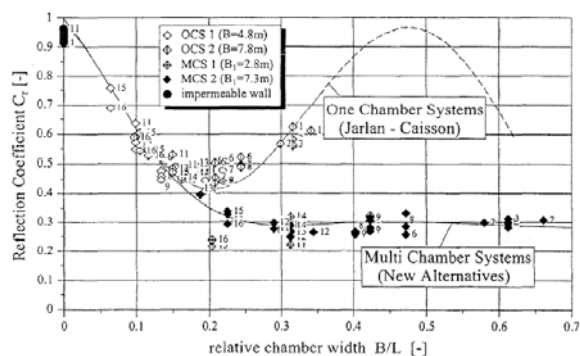
Άλλοι συγγραφείς επίσης μελέτησαν την ανάκλαση σε χαμηλής ανακλαστικότητας κυματοθραύστες με πολλούς θαλάμους. Ο Kondo (1979) παρουσίασε μια αναλυτική προσέγγιση βασισμένη στην θεωρία μακρών κυμάτων, χρησιμοποιώντας ημιτονοειδή κύματα για να εκτιμήσει τους συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης για Jarlan τύπου κυματοθραύστη ο οποίος είχε είτε 2 διάτρητους τοίχους, είτε 2 τοίχους με ανοίγματα (slotted). Οι Twu and Lin (1991) εξέτασαν την ανάκλαση από ένα πεπερασμένο αριθμό ποροδών πλακών. Οι Fugazza and Natale (1992) πρότειναν τύπους σχεδιασμού με ισχύ σε ημιτονοειδείς και φασματικούς κυματισμούς. Το μοντέλο αυτό βασίστηκε στην γραμμική θεωρία των κυμάτων και βαθμονομήθηκε στα πειραματικά δεδομένα που αναφέρθηκαν από τον Liberatore (1974) και τον Kondo (1979) για ημιτονοειδή κύματα και από τους Sawaragi and Iwata (1979) για φασματικά κύματα.

Οι Williams et al. (2000) προσομοίωσαν την απομείωση της ενέργειας στον θάλαμο, μέσω μιας συνάρτησης απόσβεσης. Οι Losada et al. (1993) χρησιμοποίησαν την γραμμική θεωρία για πλάγια πρόσπτωση κυμάτων σε πολυεπίπεδα μέσα διάχυσης- απομείωσης για να προσδιορίσουν τους συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης. Οι Li et al. (2003) εξέτασαν την ανάκλαση πλάγιας πρόσπτωσης κυμάτων με ένα μερικώς διάτρητο μετωπικό τοίχο, ο οποίος αποτελείται από έναν διπλό θάλαμο χαμηλής ανακλαστικότητας κυματοθραύστη. Ο Kakuno et al. (2003) χρησιμοποιώντας την μέθοδο αριθμητικής ολοκλήρωσης των ορίων (the numerical Boundary Integral Method) προσπάθησαν να υπολογίσουν τον συντελεστή ανάκλασης σε διπλό θάλαμο Jarlan τύπου κυματοθραύστη. Ο Huang (2006) παρουσίασε μια μέθοδο χρόνου - περιοχής, βασισμένη στην γραμμική θεωρία του δυναμικού της ταχύτητας, για να μελετήσει την αλληλεπίδραση μεταξύ στενού φάσματος σε τυχαίους κυματισμούς και χαμηλής ανακλαστικότητας κυματοθραύστες. Οι Liu et al. (2007) εξέτασαν την ανάκλαση πλάγιας προσπιπτόντων κυμάτων σε μια άπειρη περιοχή από μερικώς διάτρητους Jarlan τύπου κυματοθραύστες. Οι Garrido and Medina (2006, 2007), σε πειράματα σε φυσικό προσομοίωμα, διάτρητων και κυματοθραυστών με ανοίγματα (slotted), χρησιμοποιώντας ημιτονοειδείς και τυχαίους κυματισμούς, διαπίστωσαν την γραμμικότητα στην σχέση του συντελεστή ανάκλασης με την γεωμετρία της κατασκευής και τις προσπίπτουσες κυματικές συνθήκες. Οι Franco and Franco (1999) ανέλυσαν πειραματικά αποτελέσματα από δισδιάστατα και τρισδιάστατα φυσικά προσομοιώματα της συμπεριφοράς των μερικώς διάτρητων πολυθάλαμων Jarlan τύπου κυματοθραύστες, για να καταλήξουν σε σχέση πρόβλεψης της υπερπήδησης για κανονικούς και τυχαίους πλάγιας πρόσπτωσης, κυματισμούς

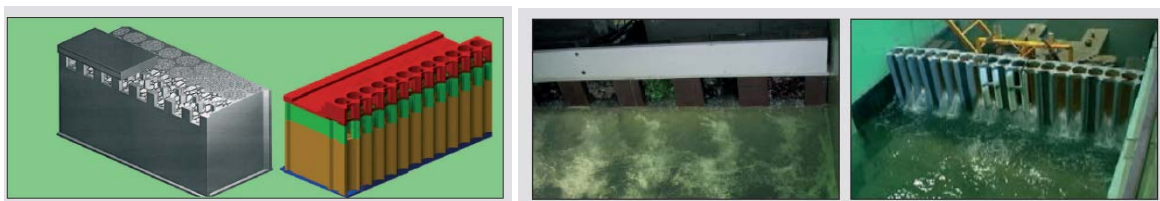
Για τον υπολογισμό των δυνάμεων, σε χαμηλής ανακλαστικότητας κατακόρυφους κυματοθραύστες, ασχολήθηκαν οι παρακάτω: Takahashi et al. (1994), Franco et al. (1998), Bergmann and Oumeraci (2000), Isaacson et al. (2000), Yip and Chwang (2000), Tabet-Aoul and Lambert (2003), Teng et al. (2004), Chen et al. (2007) and Liu et al. (2008).

Οι Bergman and Oumeraci (2000), συγκρίνοντας συμβατικούς Jarlan τύπου κυματοθραύστες με πολυθάλαμους Jarlan τύπου, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι πολυθάλαμοι δίνουν καλύτερα αποτελέσματα και εξαρτώνται λιγότερο από την συχνότητα των προσπιπτόντων κυματισμών όταν το συνολικό πλάτος του θαλάμου κυματοθραύστη είναι  $>0.3L$ . (Βλέπε Σχήμα 3.4)

Το Ισπανικό Κέντρο Ερευνών Λιμένων και Ακτών (CEDEX 2007) διερεύνησε πειραματικά απορροφητικούς κυματοθραύστες και κρηπιδότοιχους, με πολλά μικρά κελιά και πέτυχε συντελεστές ανάκλασης μέχρι 0.33. (Βλέπε Σχήμ 3.5)



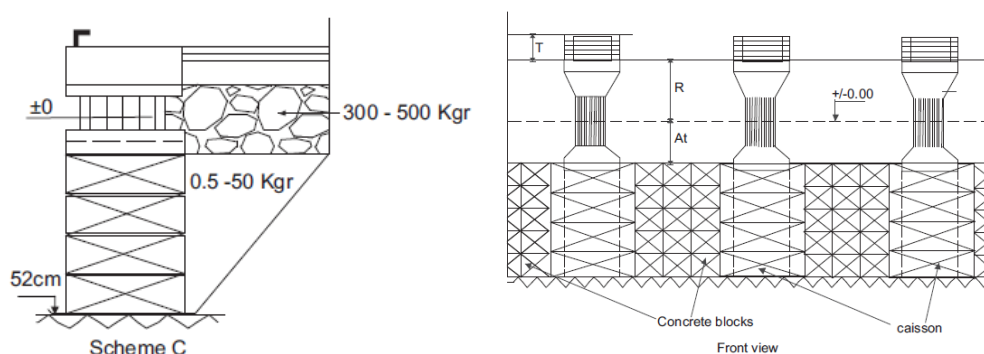
**Σχήμα 3.4.** Συσχετισμός συντελεστή ανάκλασης ως προς το σχετικό πλάτος του θαλάμου. Σύγκριση μεταξύ συμβατικών και πολυθάλαμων τύπου Jarlan κυματοθραυστών



**Σχήμα 3.5.** 3D προσομιώματα απορροφητικών διατάξεων του κυματοθραύστη, του κρηπιδώματος και φωτογραφίες πειραμάτων

### 3.1.5. Πρόσφατη έρευνα

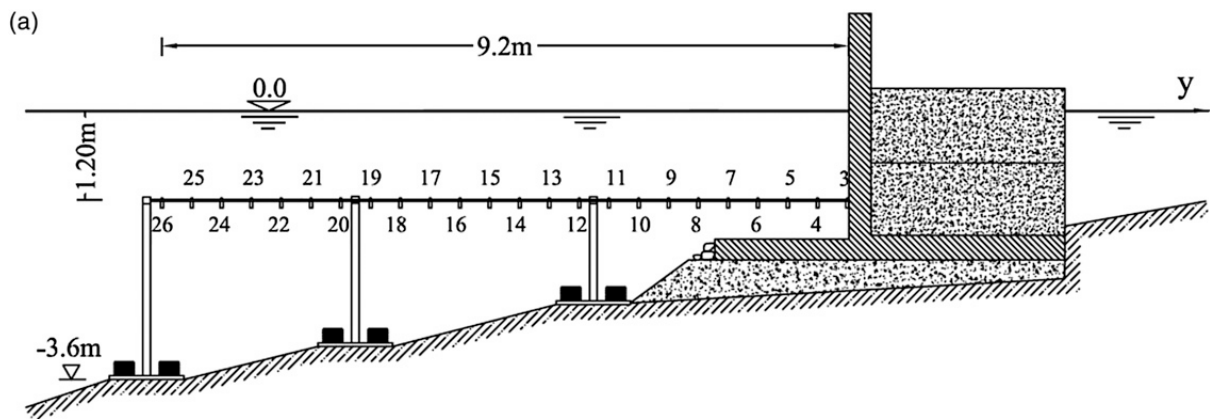
Ο Theocharis et al 2011 μελέτησαν πειραματικά απορροφητικό κρηπιδότοιχο, παρόμοιας μορφής με τμήμα ερευνηθέντων στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή και συσχέτισαν την κυματική διαταραχή, εμπρός από το μέτωπο του κυματοθραύστη, με τα χαρακτηριστικά μεγέθη του προσπίπτοντος κυματισμού και την γεωμετρία της κατασκευής. (Βλέπε Σχήμα 3.6)



**Σχήμα 3.6.** Τομή και όψη απορροφητικού κρηπιδότοιχου Theocharis et al.

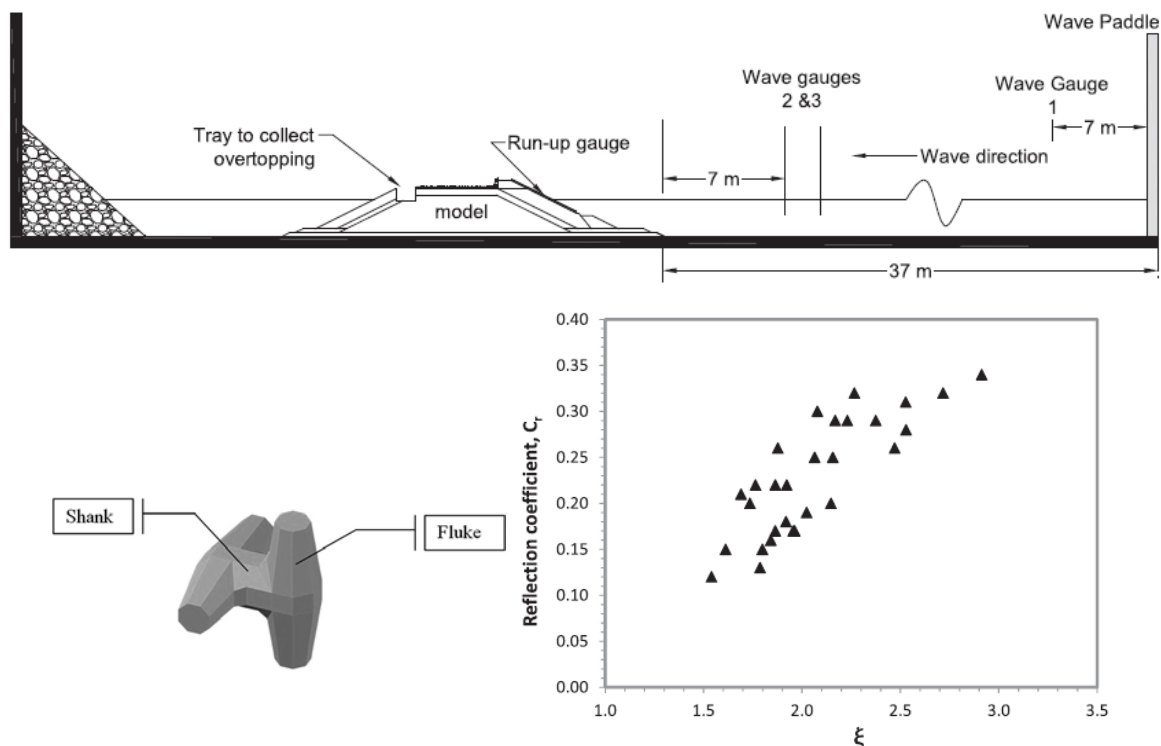






**Σχήμα 3.9.-** Πειραματική διάταξη μετρήσεων πιέσεων σε 26 σημεία στην προσήνεμη πλευρά κυματοθραύστη

Οι Avaneendran A., Sannasiraj S. A and Vallam S, 2013 μελέτησαν τις πιέσεις στο προστατευτικό τοίχιο κυματοθράστη (Crown Wall), θωρακισμένου με τους νέους Τεχνητούς Ογκόλιθους τύπου ΚΟΛΟΣ και μέτρησαν συγχρόνως τον συντελεστή ανάκλασης. (Βλέπε Σχήμα 3.10)

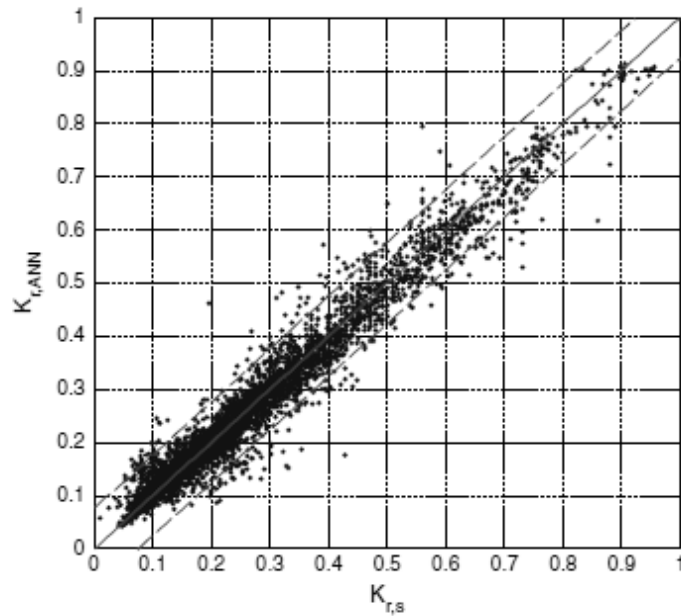


**Σχήμα 3.10.-** Πειραματική διάταξη μετρήσεων, νέος Τ.Ο. και αποτελέσματα.

Τα τελευταία χρόνια οι Zanuttigh, B., Van der Meer, J.W., 2006, Zanuttigh B., Van der Meer, J.W., 2008, και Zanuttigh B., Andersen Th. L., 2010, βασιζόμενοι σε μια τεράστια τράπεζα

δεδομένων και αποτελούμενη από πειραματικά και in situ δεδομένα, μελετούν την ανάκλαση διατομών με θωράκιση. Η σχέση που προτείνουν έχει ήδη συμπεριληφθεί στον Πίνακα 3.2

Τέλος οι Zanuttigh B., Formentina S.M. and Briganti R., 2013, ανέπτυξαν μέθοδο υπολογισμού του συντελεστή ανάκλασης σε παράκτιες και λιμενικές κατασκευές με την χρήση των νευρικών δικτύων (Βλέπε Σχήμα 3.11)

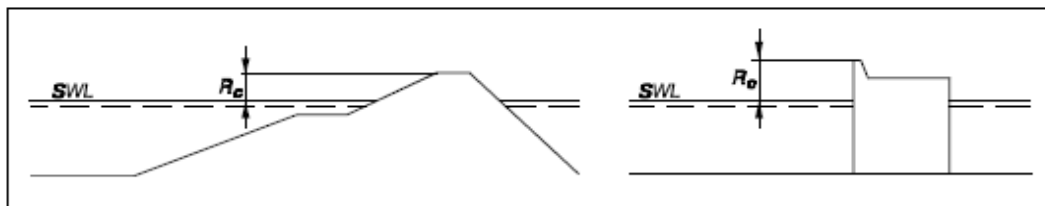


**Σχήμα 3.11.-** Σύγκριση μετρηθέντων και υπολογισθέντων τιμών συντελεστού ανάκλασης με την μέθοδο των νευρωνικών δικτύων κατά Zanuttigh B., Formentina S.M. and Briganti R., 2013

## 3.2 ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗ

### 3.2.1. Γενικά

Η υπερπήδηση συμβαίνει όταν η υψηλότερη αναρρίχηση περνά το ελεύθερο περιθώριο  $R_c$  της κατασκευής όπως αυτό ορίζεται στο Σχήμα 3.2.1



Σχήμα 3.12: Ορισμός υπερπήδησης

Το ποσόν της επιτρεπόμενης υπερπήδησης εξαρτάται από την χρήση κάθε κατασκευής. Μερικές χρήσεις έχουν αυστηρούς περιορισμούς στην επιτρεπόμενη παροχή υπερπήδησης. Παραδείγματος χάριν, οδοί προσπελάσεως και εγκαταστάσεις τοποθετημένες στην στέψη κυματοθραυστών ή κατακόρυφων μετώπων, νηοδόχοι, αεροδιάδρομοι, αυτοκινητόδρομοι, χερσαίες ζώνες, κτίρια κλπ, έχουν αυστηρούς περιορισμούς ως προς την υπερπήδηση. Τα κριτήρια σχεδιασμού των έργων θα πρέπει να έχουν δύο επίπεδα: Κυματική υπερπήδηση υπό κανονικές κυματικές συνθήκες και κυματική υπερπήδηση υπό ακραίες κυματικές συνθήκες. Στην δεύτερη περίπτωση επιτρέπονται μερικές ζημίες στις μόνιμες εγκαταστάσεις και στην κατασκευή. Υψηλές παροχές υπερπήδησης επιτρέπονται μόνον στους κυματοθραύστες με μοναδικό σκοπό την προστασία της εισόδου και του εξωτερικού τμήματος των λιμενολεκανών όπου δεν επιτρέπεται η πρόσδεση σκαφών. Παρά ταύτα η σημαντική υπερπήδηση δύναται να δημιουργήσει κυματική διαταραχή η οποία μπορεί να προκαλέσει ζημίες σε αγκυροβολημένα σκάφη. Ευτυχώς τα κύματα που δημιουργούνται από την υπερπήδηση συνήθως έχουν πολύ μικρότερη περίοδο, από τα προσπίπτοντα στην περιοχή.

Η παροχή υπερπήδησης είναι πολύ τυχαία κατανομημένη σε χώρο και χρόνο καθώς το ποσόν του υπερπηδούντος ύδατος ποικίλει από κύμα σε κύμα. Το μεγαλύτερο τμήμα του υπερπηδούντος όγκου, σε μια καταιγίδα ωφείλεται σε λίγα κύματα. Στην πραγματικότητα η τοπική - στιγμιαία παροχή υπερπήδησης, μετρούμενη σε  $m^3/sec$  ανά μέτρο κατασκευής, από ένα μοναδικό κύμα, μπορεί να είναι 100 φορές μεγαλύτερη από την μέση παροχή υπερπήδησης κατά την διάρκεια της ακμής της καταιγίδας.

Για τον υπολογισμό της παροχής υπερπήδησης, 2 βασικοί τύποι μαθηματικής συσχέτισης έχουν αναπτυχθεί:

ΤΥΠΟΣ Α  $q = \alpha \cdot \exp[-(b \cdot R^*)]$

ΤΥΠΟΣ Β  $q = \alpha \cdot R^{*-(b)}$

Όπου:

$R^*$ : Το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο

$Q$ : Η παροχή υπερπήδησης

$q$ : Η αδιάστατη παροχή υπερπήδησης

### 3.2.2. Υπερπήδηση σε διατομές με πρανή

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με το θέμα. Στην συνέχεια παρατίθεται Πίνακας με τις βασικότερες εμπειρικές σχέσεις που έχουν αναπτυχθεί.

Ερευνητής	ΤΥΠΟΣ ΣΧΕΣΗΣ	Αδιάστατη παροχή ( $q$ )	Αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο $R^*$
Owen (1980)	$q = \alpha \cdot \exp[-(b \cdot R^*)]$	$\frac{Q}{g H_s T_m}$	$\frac{R_c}{T_m \cdot \sqrt{g H_s}} \cdot \frac{1}{\gamma_f}$
TAW (2002)	$q = \alpha \cdot \exp[-(b \cdot R^*)]$	$\frac{Q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} \sqrt{\frac{s_0}{\tan \alpha}} \cdot \frac{1}{\gamma_b}$	$\frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{\sqrt{s_0}}{\tan \alpha \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v}$
		$\frac{Q}{\sqrt{g H_{m0}^3}}$	$\frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}$
		$\frac{Q}{\sqrt{g H_{m0}^3}}$	$\frac{R_c}{H_{m0} (0.33 + 0.22 \xi_0)} \cdot \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}$
Brandbury and Allsop(1988)	$q = \alpha \cdot R^{*-(b)}$	$\frac{Q}{g H_s T_m}$	$\frac{R_c}{H_s} \cdot d^*$

**Πίνακας 3.3.-** Εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού κυματικής υπερπήδησης σε έργα με πρανές

Επίσης έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι υπολογισμού της παροχής υπερπήδησης με νευρωνικά δίκτυα

### 3.2.2. Υπερπήδηση σε διατομές με κατακόρυφο μέτωπο

Για την υπερπήδηση σε κατακόρυφα μέτωπα έχουν επίσης αναπτυχθεί πολλές εμπειρικές σχέσεις βασιζόμενες επίσης στους 2 τύπους υπολογισμού της κυματικής υπερπήδησης.

Στον Πίνακα 3.4 που ακολουθεί παρατίθενται οι βασικότερες εξ αυτών.

Ερευνητής	ΤΥΠΟΣ ΣΧΕΣΗΣ	Αδιάστατη παροχή (q)	Αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο $R_c^*$
Ahrens and Heimbaugh (1986, 1988)	$q = a \cdot \exp[-(b \cdot R^*)]$	$\frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}}$	$\frac{R_c}{(H_s^2 \cdot L_{p0})^{1/3}}$
Franco et al.(1994, 1999)	$q = a \cdot \exp[-(b \cdot R^*)]$	$\frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}}$	$\frac{R_c}{H_s} \cdot \frac{1}{\gamma}$
Allsop et al.(1995)	$q = a \cdot \exp[-(b \cdot R^*)]$	$\frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}}$	$\frac{R_c}{H_s}$
	$q = a \cdot R^{*(b)}$	$\frac{Q}{\sqrt{gh^3 h^{*2}}}$	$\frac{R_c}{H_s} \cdot h^*$
Besley et al. (1998)	$q = a \cdot R^{*(b)}$	$\frac{Q}{\sqrt{g d^3 d^{*2}}}$	$\frac{R_c}{H_s} \cdot d^*$

**Πίνακας 3.3.-** Εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού κυματικής υπερπήδησης σε έργα με κατακόρυφο μέτωπο.

Για την μείωση της υπερπήδησης σε κατακόρυφα μέτωπα έχουν αναζητηθεί ειδικές διαμορφώσεις της ανωδομής ώστε να εκτρέπεται το προσπίπτον κύμα και να μην υπερπηδά την διατομή.

Το Eurotop(2007) προτείνει τους παρακάτω τύπους για τον υπολογισμό της κυματικής υπερπήδησης σε κατακόρυφα μέτωπα:

$$\text{Πιθανολογικός σχεδιασμός: } \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.04 \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \text{ valid for } 0.1 < R_c / H_{m0} < 3.5$$

$$\text{Ντετερμινιστικός Σχεδιασμός: } \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.04 \exp\left(-1.8 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \text{ valid for } 0.1 < R_c / H_{m0} < 3.5$$

$$\text{Όπου: } d_* = 1.35 \frac{d}{H_{m0}} \frac{2\pi h_s}{gT_{m-1.0}^2} \quad h_* = 1.35 \frac{h_s}{H_{m0}} \frac{2\pi h_s}{gT_{m-1.0}^2}$$

Και εφόσον υπάρχει προστατευτικό πρανές στον καμπύλο τοίχο επιστροφής κύματος τους εξής:

Πιθανολογικός Σχεδιασμός :  $\frac{q}{d_*^2 \sqrt{gH_{m0}^3}} = 4.1 \times 10^{-4} \left( d_* \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-2.9}$  ισχύων για

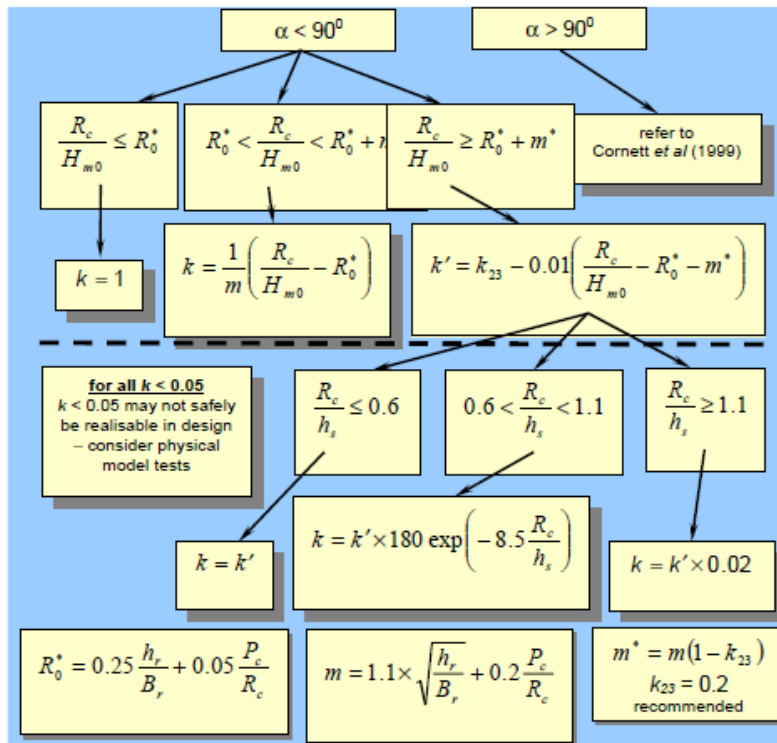
$$0.05 < d_* \frac{R_c}{H_{m0}} < 1.0 \text{ and } h_* < 0.3$$

Ντετερμινιστικός Σχεδιασμός:  $\frac{q}{d_*^2 \sqrt{gH_{m0}^3}} = 7.8 \times 10^{-4} \left( d_* \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-2.6}$  ισχύων για

$$0.05 < d_* \frac{R_c}{H_{m0}} < 1.0 \text{ and } h_* < 0.3$$

$$k = \frac{Q_{with\_recurve}}{Q_{without\_recurve}}$$

Η επιλογή των τιμών του k γίνεται βάση του παρακάτω Πίνακα 3.4

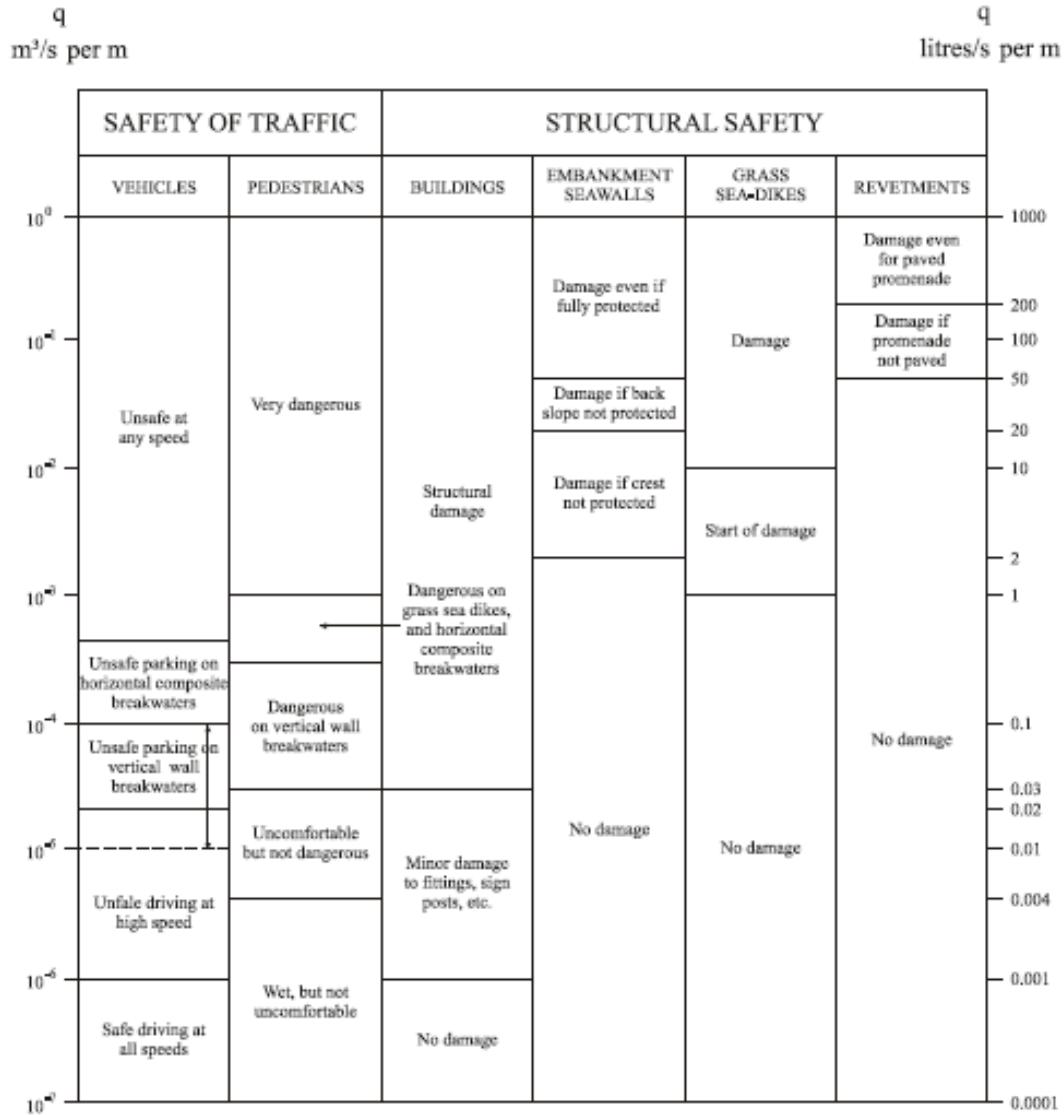


**Πίνακας 3.4.** Επιλογή αριθμού k για τον υπολογισμό της κυματικής υπερπήδησης σε έργα με καμπύλο τοίχο επιστροφής.

### 3.2.4. Όρια αποδεκής κυματικής υπερπήδησης.

Τα όρια για την αποδεκτή υπερπήδηση αναφέρονται στην μέση παροχή υπερπήδησης όπως αυτή έχει καθοριστεί διεθνώς. Η μέγιστη υπερπήδηση είναι μέχρι και 20 φορές μεγαλύτερη. Τα αποδεκτά όρια δεν έχουν αποσαφηνισθεί και είναι θέμα που συζητείται.

Παρά ταύτα οι Αμερικανοί (CEM2011) προτείνουν τον παρακάτω Πίνακα 3.5, ενώ οι τιμές που προτείνονται από τους Ευρωπαίους (Eurotop 2007) δίνονται ανά κατηγορία αντικειμένου και παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.6 έως και 3.9.



**Πίνακας 3.5.** Κρίσιμες τιμές μέσης παροχής υπερπήδησης (Κατά CEM2011)



<b>ΟΡΙΑ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΓΙΑ ΠΕΖΟΥΣ</b>		
<b>ΤΥΠΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΑΙΤΙΑ</b>	<b>Μέση παροχή Q (lt/sec/m)</b>	<b>Μέγιστος Όγκος V<sub>max</sub> (lt/m)</b>
Εκπαιδευμένο προσωπικό με σωστή ενδυμασία και υπόδηση με την δυνατότητα διαβροχής, επίπεδα υπερπήδησης χαμηλά, χωρίς εκτόξευση πηδάκων, μικρός κίνδυνος πτώσης στην διαδρομή	1-10	500
Γνώστες πεζοί , μη εύκολα φοβούμενοι , με την δυνατότητα να βραχούν ,	0.10	20-50

**Πίνακας 3.6.** Προτεινόμενα όρια κυματικής υπερπήδησης για την ασφαλή κίνηση των πεζών

<b>ΟΡΙΑ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ</b>		
<b>ΤΥΠΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΑΙΤΙΑ</b>	<b>Μέση παροχή Q (lt/sec/m)</b>	<b>Μέγιστος Όγκος V<sub>max</sub> (lt/m)</b>
Οδήγηση με χαμηλή ταχύτητα για παλόμενες συνθήκες σε μικρά βάθη, χωρίς εκτόξευση πηδάκων	10-50	100-1,000
Οδήγηση με μέση ή υψηλή ταχύτητα , με κύματα δόνονταυψηλούς πήδακες.	0.01-0.05	5-50

**Πίνακας 3.7.** Προτεινόμενα όρια κυματικής υπερπήδησης για την ασφαλή κίνηση των οχημάτων

<b>ΟΡΙΑ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΓΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΕΣ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ</b>		
<b>ΤΥΠΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΑΙΤΙΑ</b>	<b>Μέση παροχή Q (lt/sec/m)</b>	<b>Μέγιστος Όγκος V<sub>max</sub> (lt/m)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Σημαντική ζημία ή βύθιση μεγάλων γιωτ</li> </ul>	50	5,000-50,000
<ul style="list-style-type: none"> <li>Βύθιση μικρών σκαφών σε απόσταση 5-10 m από τον κυματοθραύστη</li> <li>Καταστροφές σε μεγάλα γιωτ</li> </ul>	10	1,000-10,000
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ζημίες στα στοιχεία των κατασκευών</li> </ul>	1	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>Καταστροφή εξοπλισμού σε απόσταση 5-10m από τον κυματοθραύστη</li> </ul>	0.4	-

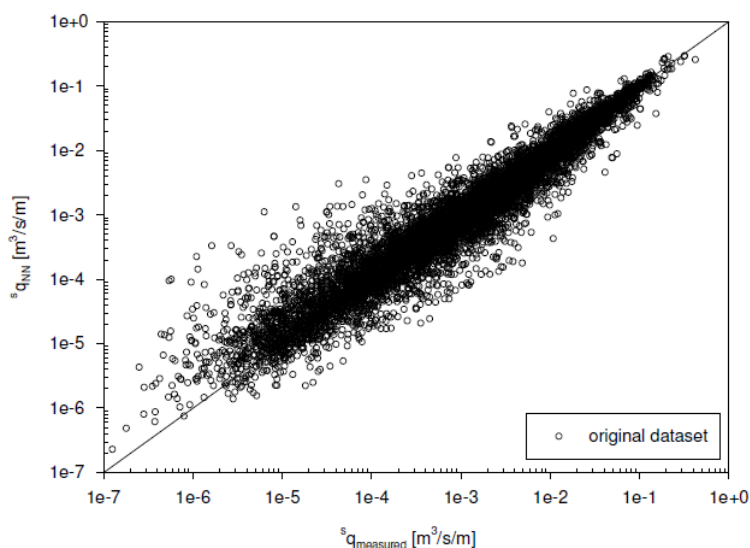
**Πίνακας 3.8.** Προτεινόμενα όρια κυματικής υπερπήδησης για την ασφάλεια ιδιοκτησιών πίσω από το έργο προστασίας

ΟΡΙΑ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΖΗΜΙΩΝ ΣΕ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΕΡΓΑ	
ΤΥΠΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΑΙΤΙΑ	Μέση παροχή Q (lt/sec/m)
ΠΡΟΒΛΗΤΕΣ, ΚΡΗΠΙΔΩΜΑΤΑ ΣΕ ΕΠΙΧΩΣΗ, ΘΩΡΑΚΙΣΕΙΣ ΑΚΤΩΝ, ΑΝΑΧΩΜΑΤΑ	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Χωρίς ζημίες εάν η στέψη και η πίσω πλευρά είναι καλά προστατευμένες</li> </ul>	50-200
<ul style="list-style-type: none"> <li>Χωρίς ζημίες στην στέψη και στην πίσω πλευρά εφόσον η χλωμάτινη επίχωση είναι καλυμμένη με γρασίδι</li> </ul>	1-10
<ul style="list-style-type: none"> <li>Χωρίς ζημίες στην στέψη και στην πίσω πλευρά εφόσον η επίχωση δεν είναι προστατευμένη</li> </ul>	0.1
ΠΡΟΚΥΜΑΙΑ Η ΕΠΕΝΔΕΔΥΜΕΝΟ ΜΕΤΩΠΟ	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ζημίες στο σκυρόδετο δάπεδο ανωδομής της προκυμιάς πίσω από τομέτωπο</li> </ul>	200
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ζημίες στο γρασίδι ή ελαφρά προστατευμένη προκυμιά ή κάλυψη επίχωσης</li> </ul>	50

**Πίνακας 3.9.** Προτεινόμενα όρια κυματικής υπερπήδησης για την ασφάλεια παράκτιων Έργων

### 3.2.5. Πρόσφατη έρευνα

Η Verhaeghe H., 2005, και οι Verhaeghe, H., De Rouck, J., Van der Meer, J., 2008, ανέπτυξαν μέθοδο υπολογισμού της κυματικής υπερπήδησης σε παράκτιες κατασκευές με την χρήση των νευρωνικών δικτύων. (Βλέπε Σχήμα 3.13)



**Σχήμα 3.13** Σύγκριση μετρηθείσας και υπολογισθείσας μέσης παροχής υπερπήδησης στο σύνολο των δεδομένων της Verhaeghe με την μέθοδο των νευρωνικών δικτύων.

Οι Tonelli M. and Petti, M., 2013, ανέπτυξαν αναλυτική μέθοδο για τον υπολογισμό της υπερπήδησης σε αναχώματα (dikes) και χαμηλής στέψης κατασκευές με χρήση ενός μοντέλου “shock-capturing” Boussinesq. Στο Σχήμα 3.14 παρουσιάζονται αποτελέσματα σύγκρισης της μεθόδου με πειραματικά αποτελέσματα άλλου ερευνητή.

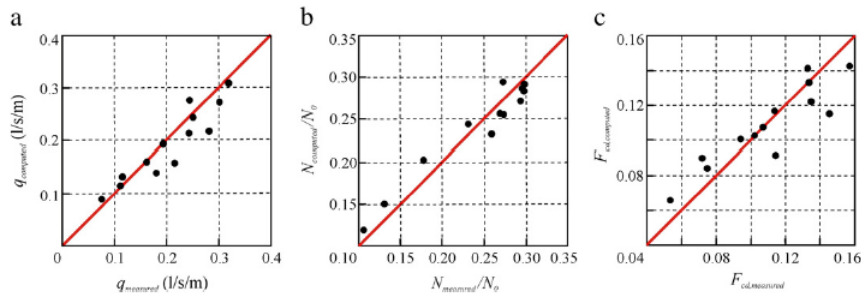
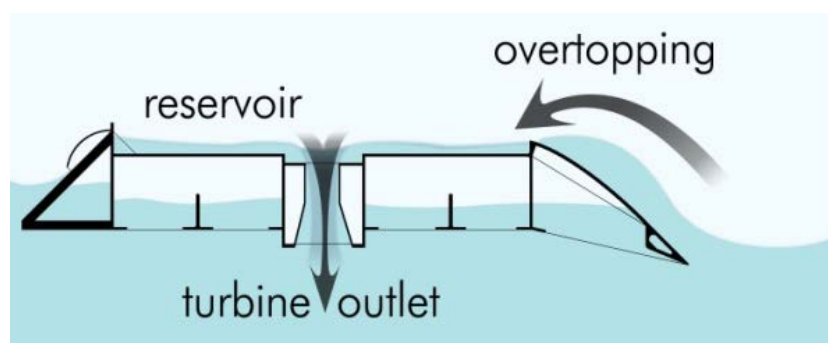


Fig. 10. Comparison of the numerical solution with the experimental data for the test cases on irregular wave overtopping (Tuan et al., 2006): (a) mean discharge; (b) relative number of overtopping events and (c) relative overtopping time.

### Σχήμα 3.14. Σύγκριση Αποτελεσμάτων με πειραματικά δεδομένα

Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται ραγδαία η έρευνα της κυματικής υπερπήδησης σε συσκευές - συστήματα παραγωγής ενέργειας. Σε αυτό τον τομέα έχουν να παρουσιάσουν έργο οι Victor L. and Troch P. 2012 και οι Vicinanza D, Nørgaard J.-H., Contestabile P and Andersen T.L., 2013.

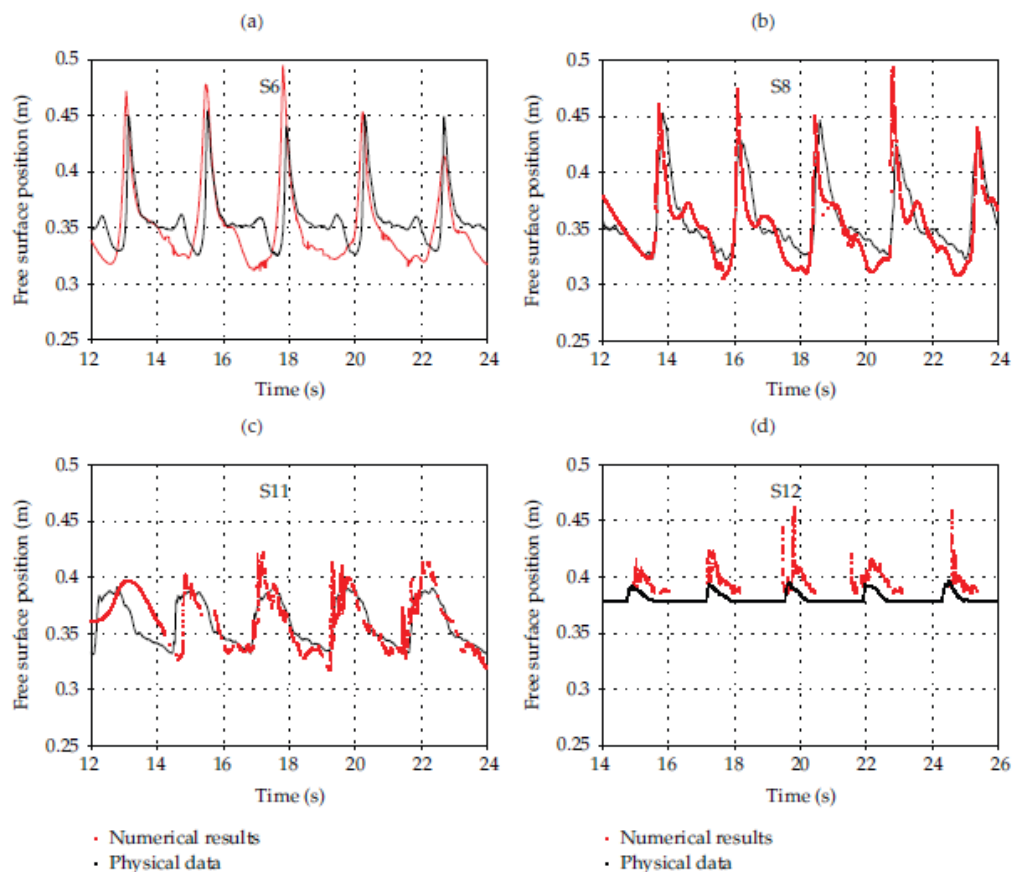
Ο Victor L., 2012, στην Διδακτορική του Διατριβή ερευνά την βελτιστοποίηση τέτοιων κατασκευών με πειραματικά δεδομένα, στα οποία μετρά τόσο την παροχή υπερπήδησης όσο και τον συντελεστή ανάκλασης των κατασκευών αυτών, οι οποίες είναι χαμηλής στέψης και λείες. (Βλέπε Σχήμα 3.15). Στην περίπτωση αυτή η υπερπήδηση είναι οδηγούμενη και επιθυμητή, σκοπός της μελέτης είναι η αύξησή της, εν αντιθέσει με τις ελεγχθείσες διατομές στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή, κατά την οποία σκοπός των κατακορύφων μετώπων ήταν η ελαχιστοποίηση της υπερπήδησης.



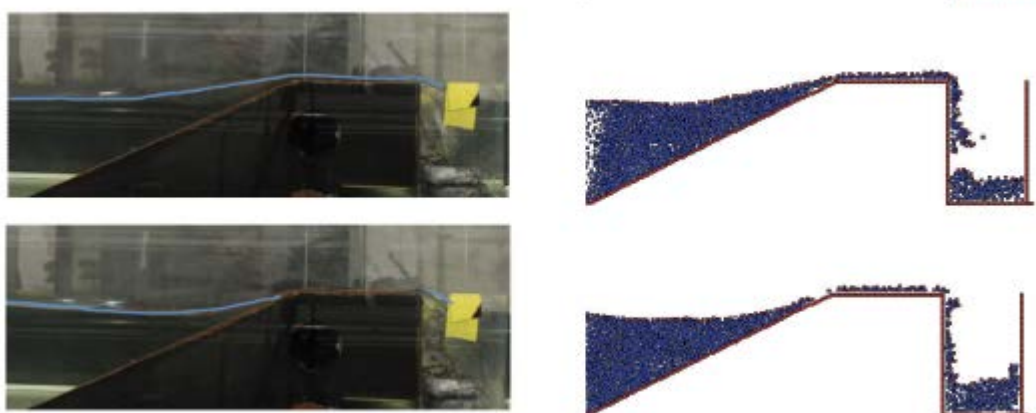
Σχήμα 3.15. Σκαρήφημα συσκευής παραγωγής ενέργειας από την κυματική υπερπήδηση (Victor L., 2012)

Τέλος οι Oliveira T.C.A., Sanchez-Arcilla A. and Gironella X., 2012, προσομοίωσαν σε μαθηματική δώρυγα κυμάτων την κυματική υπερπήδηση θαλασσιών κατασκευών με την μέθοδο Particle Finite Element Method (PFEM). Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιεί κানাβο αλλά είναι καθαρά Λαγκρανζιανή και επιμερίζει την κίνηση σε σωματίδια, ενώ

προσομοιώνει ουσιαστικά την διώρυγα και την κίνηση του υγρού. Στο Σχήμα 3.16 δίνονται συγκριτικά αποτελέσματα για πειραματικά και αριθμητικά αποτελέσματα, ενώ στο Σχήμα 3.17 οπτική σύγκριση του φαινομένου της υπερπήδησης σε φυσική και μαθηματική διώρυγα.



**Σχήμα 3.16** Σύγκριση πειραματικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων με την μέθοδο PFEM.



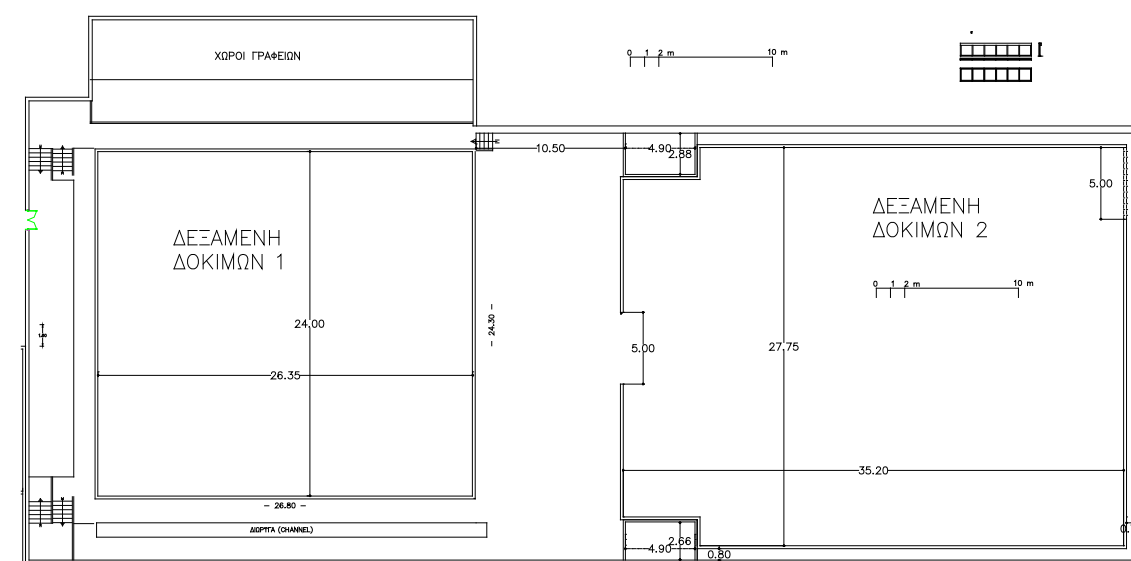
**Σχήμα 3.16** Οπτική σύγκριση φυσικής και μαθηματικής διώρυγας με την μέθοδο PFEM.



## 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ -ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πειράματα που αξιολογήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας αυτής έλαβαν χώρα στις Εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων ΕΜΠ. Βασικές εγκαταστάσεις ήταν οι δύο μεγάλες τρισδιάστατες Δεξαμενές Δοκιμών Δ1 και Δ2 του Ε.Λ.Ε. εξοπλισμένες με τα κατάλληλα όργανα και λογισμικό για την εκτέλεση παρομοίων δοκιμών. Στο Σχήμα 5.1 δίνεται κάτοψη του Εργαστηρίου με τις δύο Δεξαμενές Δοκιμών.



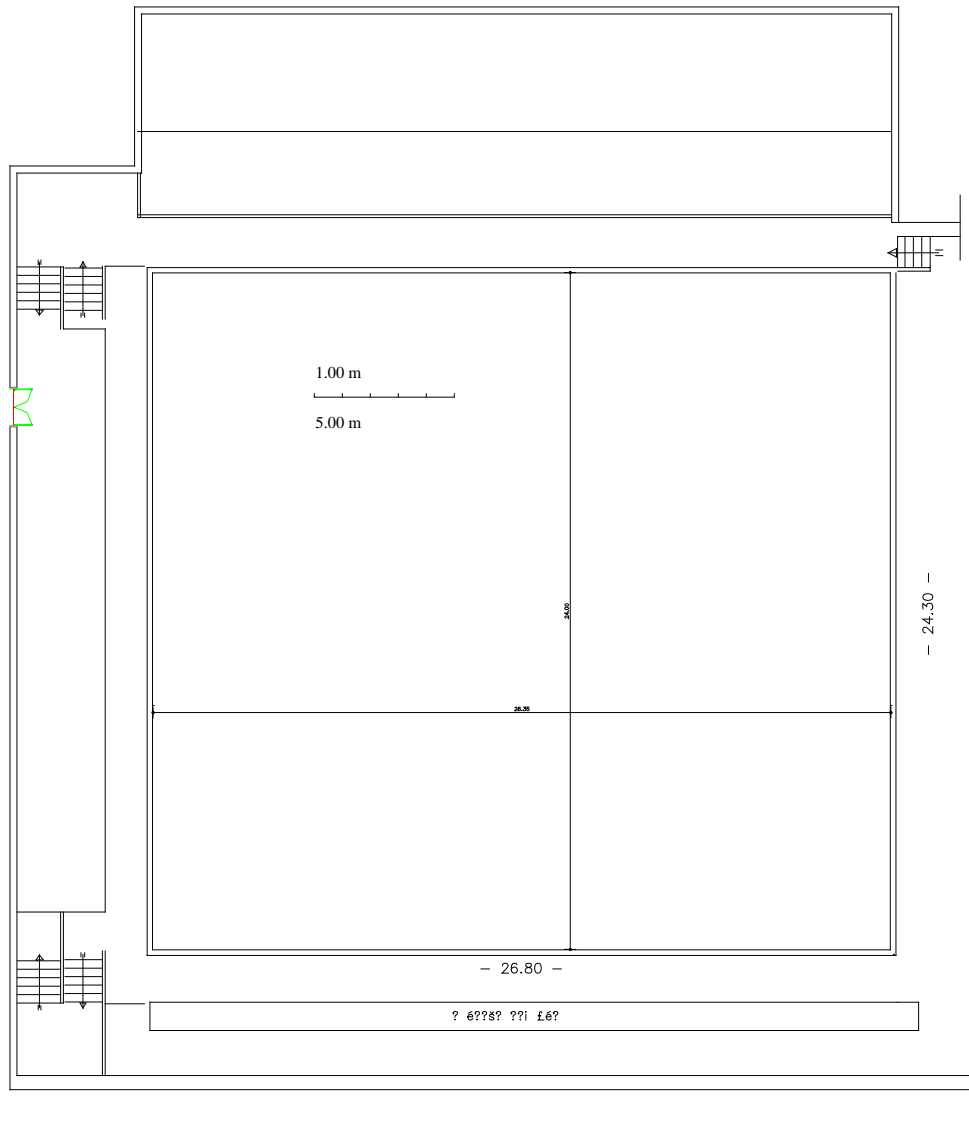
Σχήμα 4.1 -Κάτοψη των πειραματικών εγκαταστάσεων του Ε.Λ.Ε.

### 4.2 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ Δ1 ΤΟΥ 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 4.2.

Στην δεξαμενή είναι εγκατεστημένο σύστημα παραγωγής τυχαίων κυματισμών.

Για την απορρόφηση των προσπιπτόντων κυμάτων, στα τοιχώματα της έχουν κατασκευασθεί αποσβεστικές επενδύσεις από λιθορριπή. Η κλίση των πρανών των επενδύσεων είναι 1:2 και η κοκκομετρία της λιθορριπής είναι τέτοια, ώστε ο συντελεστής ανακλάσεως να είναι πολύ μικρός. Επιπλέον, για την περαιτέρω απορρόφηση των προσπιπτόντων εκεί κυμάτων, ιδιαίτερα στην περιοχή των κυματογεννητριών, τμήμα των αποσβεστικών επενδύσεων έχει καλυφθεί με γεωύφασμα.



Σχήμα 4.2 - Κάτοψη της Δεξαμενής Δοκιμών Δ1 του Ε.Λ.Ε.

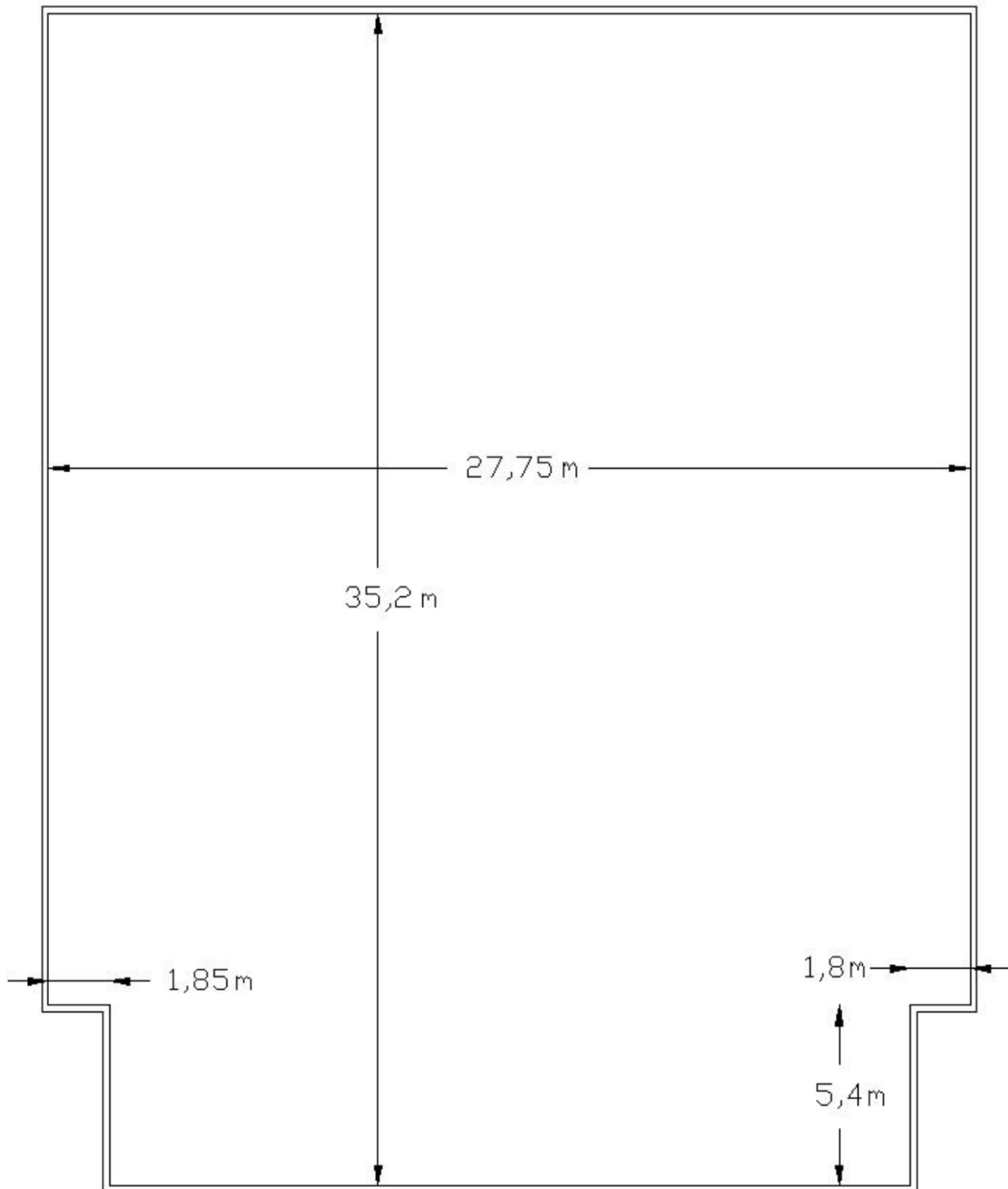
### 4.3 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ Δ2 ΤΟΥ Ε.Λ.Ε.

Η Δεξαμενή Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε., έχει εσωτερικές διαστάσεις 35,20 x 27,75 m και βάθος 1,0 m. Η κάτοψη της δεξαμενής παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.3.

Στην δεξαμενή είναι εγκατεστημένο σύστημα παραγωγής τυχαίων κυματισμών.

Για την απορρόφηση των προσπιπτόντων κυμάτων στα τοιχώματα της έχουν κατασκευασθεί αποσβεστικές επενδύσεις από λιθορριπή. Η κλίση των πρανών των επενδύσεων είναι 1:2 και η κοκκομετρία της λιθορριπής είναι τέτοια, ώστε ο συντελεστής ανακλάσεως να είναι πολύ μικρός. Επιπλέον, για την περαιτέρω απορρόφηση των

προσπιπτόντων εκεί κυμάτων, ιδιαίτερα στην περιοχή των κυματογεννητριών, τμήμα των αποσβεστικών επενδύσεων έχει καλυφθεί με γεωύφασμα.



Σχήμα 4.3 - Κάτοψη της Δεξαμενής Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε.



#### 4.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Το σύστημα παραγωγής κυμάτων είναι ενιαίο για τις δύο δεξαμενές, κινείται υδραυλικά και αποτελείται από τα εξής τμήματα:

Υδραυλικό μηχανισμό-κινητήρα

- Υδραυλικά έμβολα
- Τρεις κυματιστήρες για κάθε δεξαμενή δοκιμών
- Σύστημα ελέγχου
- Κατάλληλο λογισμικό

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 έκαστης κυματογεννήτριας της Δεξαμενής 1 έχει πλάτος 6,00 m και ύψος 1.20m, ενώ της Δεξαμενής 2, έχει μήκος 8m και ύψος 0.80m

Για την διεξαγωγή των Πειραμάτων που αξιολογήθηκαν στην παρούσα εργασία, κατασκευάσθηκαν φυσικά προσομοιώματα και στις 2 Δεξαμενές δοκιμών. Εφόσον τα φυσικά προσομοιώματα ήταν τρισδιάστατα χρησιμοποιούνταν και οι τρεις (3) κυματιστήρες της κάθε Δεξαμενής δοκιμών. Όταν τα φυσικά προσομοιώματα ήταν δισδιάστατα, τότε επιμεριζόταν τμήμα της δεξαμενής και χρησιμοποιείτο ένας κυματιστήρας, έτσι ώστε να λειτουργεί ως διώρυγα. Η συγκεκριμένη λύση επελέγη καθότι η υφιστάμενη διώρυγα δεν είναι εξοπλισμένη με την δυνατότητα παραγωγής φασματικών κυματισμών τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία.

Υπάρχει η δυνατότητα μετατοπίσεως των κυματογεννητριών, ώστε να ελέγχεται το προσομοίωμα με διαφορετικές διευθύνσεις προσπτώσεως κυμάτων. Η κίνηση των τριών (3) κυματογεννητριών είναι ταυτόχρονη. Οι εντολές για την λειτουργία του υδραυλικού συστήματος δίδονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό στο σύστημα ελέγχου.

Το λογισμικό, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των κυμάτων είναι το πακέτο WAVEGEN SD της Αγγλικής Εταιρίας H.R Wallingford, (Beresford P.J., 2005.) Έχει την δυνατότητα παραγωγής μονοχρωματικών (ημιτονοειδών) κυματισμών και φασματικών διαταραχών διαφόρων μορφών – τυχαίων κυματισμών.

#### **4.5 ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΚΥΜΑΤΟΣ**

Για την μέτρηση των κυμάτων στις δεξαμενές 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 νερού δημιουργεί διαφορετική διαφορά δυναμικού, από την οποία με την κατάλληλη βαθμονόμηση προκύπτει η μεταβολή της στάθμης. Οι μετρητές είναι συνδεδεμένοι με ενισχυτή σήματος, ο οποίος στην συνέχεια μεταφέρει το σήμα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Το Ε.Λ.Ε. 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 ( $20\text{ cm} > d > 4\text{ cm}$ ). Η σειρά Β αποτελείται από μετρητές με μακρύτερα στελέχη και δύναται να μετρά σε μεγαλύτερα βάθη νερού ( $80\text{ cm} > d > 7\text{ cm}$ ).

#### **4.6. ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ**

Για την συλλογή και ανάλυση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το λογιστικό πακέτο WAVEDATA της εταιρείας HR WALLINFORD. (Beresford P.J., Spencer J.M.A and Clarke J., 2006.)

#### **4.7. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ**

Στα εκτελεσθέντα πειράματα της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν κατ ελάχιστον τέσσερις (4) μετρητές κύματος οι οποίοι απαιτούνται για τον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης. Επιπλέον ένας πέμπτος μετρητής ήλεγχε το παραγόμενο κύμα κοντά στο μέτωπο του κυματιστήρα.



## 5. ΦΥΣΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ

### 5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι μετρήσεις που αξιολογήθηκαν στην παρούσα εργασία έγιναν σε διαφορετικά φυσικά προσομοιώματα δισδιάστατα ή και τρισδιάστατα. Το κάθε φυσικό προσομοίωμα κατασκευάστηκε υπό διαφορετική γεωμετρική κλίμακα. Στα επόμενα κεφάλαια της παρουσίασης των ελεγχθεισών διατάξεων, των αποτελεσμάτων και της επεξεργασίας των μετρήσεων, τα αρχικά αποτελέσματα είτε είναι ανηγμένα σε τιμές πρωτοτύπου εφόσον πρόκειται για μετρήσεις σε τρισδιάστατα φυσικά προσομοιώματα είτε παρουσιάζονται σε κλίμακα φυσικού προσομοιώματος. Σε κάθε περίπτωση αναφέρεται το που αναφέρονται. Τέλος τα διαγράμματα των επεξεργασιών των αποτελεσμάτων επειδή έχουν συντεταγμένες αδιάστατους συντελεστές μπορούν και ομαδοποιούνται.

Σε κάθε σειρά μετρήσεων, όπως αυτές καθορίζονται στην συνέχεια δηλώνεται και η κλίμακα ομοιώματος του φυσικού προσομοιώματος που χρησιμοποιήθηκε.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές αρχές με τις οποίες κατασκευάστηκαν τα φυσικά προσομοιώματα.

### 5.2. ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑΣ

Για την εκλογή της κλίμακας ομοιότητας λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράμετροι:

- Οι διαστάσεις της εγκατάστασης σε συνάρτηση με τις διαστάσεις της περιοχής που πρόκειται να προσομοιωθεί.
- Η δυνατότητα να προσομοιωθούν ικανοποιητικά οι μηχανισμοί λειτουργίας του έργου.

Η προσομοίωση υδροδυναμικών μηχανισμών όπως η ανάκλαση, διάθλαση και περίθλαση απαιτούν ομοιότητα κατά Froude του προσομοιώματος προς το πρωτότυπο:

$$F_r = \frac{u}{(gD)^{1/2}}$$

όπου  $u$  είναι χαρακτηριστική ταχύτητα, (m/sec )

“  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec<sup>2</sup>)

“  $D$  το χαρακτηριστικό μήκος (m)

Η ορθή προσομοίωση των μηχανισμών απαιτεί το ομοίωμα να έχει την ίδια κλίμακα ομοιότητας προς τις τρεις (3) διευθύνσεις. Η κλίμακα με την οποία προσομοιώνονται οι γραμμικές διαστάσεις του ομοιώματος είναι γνωστή ως γεωμετρική κλίμακα προσομοιώσεως ( $\lambda$ ).

Αφού ορισθεί η γεωμετρική κλίμακα προσομοιώσεως, οι κλίμακες για τις υδροδυναμικές παραμέτρους μπορούν να υπολογισθούν σύμφωνα με τους νόμους ομοιότητας.

Οι τιμές των λόγων ομοιότητας διαφόρων παραμέτρων δίνονται στον επόμενο Πίνακα 6.1 για γεωμετρική κλίμακα 1:30.

Παράμετρος	Κλίμακα	Τιμή
Μήκος	$\lambda = \lambda$	30
Χρόνος	$\lambda_p = \lambda^{1/2}$	5,477
Ταχύτητα	$\lambda_T = \lambda^{1/2}$	5,477
Δύναμη	$\lambda_\Delta = \lambda^3$	27.000
Όγκος	$\lambda_o = \lambda^3$	27.000
Μάζα	$\lambda_\mu = \lambda^3 \times (M_p/M_m)$	30.877,524
Επιτάχυνση	1	1

**Πίνακας 5.1-**Τιμές λόγων ομοιότητας διαφόρων παραμέτρων

### 5.3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Με βάση την γεωμετρική κλίμακα ομοιότητας ( $\lambda$ ) υπολογίζονται τα υπόλοιπα υδροδυναμικά μεγέθη σύμφωνα με τον νόμο του Froude. Για την προσομοίωση της μάζας των στοιχείων της θωράκισης ισχύει :

$$m_p/m_m = \lambda^3 \times (M_p/M_m)$$

Ο λόγος  $M_p/M_m$  δίνεται από την σχέση:

$$\frac{M_p}{M_m} = \frac{\rho_{sp}}{\rho_{sm}} \times \left[ \frac{\frac{\rho_{sm} - 1}{\rho_{fm}}}{\frac{\rho_{sp} - 1}{\rho_{fp}}} \right]^3$$

Όπου  $m_p$  = Μάζα πρωτότυπου

$m_m$  = Μάζα ομοιώματος

$\rho_{sp}$  = Πυκνότητα στερεού στο πρωτότυπο ίση με 2,65 t/m<sup>3</sup>

$\rho_{sm}$  = Πυκνότητα στερεού στο ομοίωμα ίση με 2,65 t/m<sup>3</sup>

$\rho_{fp}$  = Πυκνότητα υγρού στο πρωτότυπο ίση με 1,028 t/m<sup>3</sup>

$\rho_{fm}$  = Πυκνότητα υγρού στο ομοίωμα ίση με 1,0 t/m<sup>3</sup>

Για τον υπολογισμό της μάζας των στοιχείων των εσωτερικών στρώσεων χρησιμοποιήθηκε ο διορθωτικός συντελεστής  $\xi_\rho$ , ο οποίος σύμφωνα με μελέτες του Οίκου HR.WALLINFGORD δίνεται από την σχέση:

$$\xi_\rho = \frac{\beta_0}{\alpha_0} \times \frac{1}{n_r(1-n_r)^2} \times \frac{U_p D}{\nu}$$

Όπου  $\alpha_0$  και  $\beta_0$  είναι εμπειρικοί συντελεστές, οι τιμές των οποίων είναι οι παρακάτω:

$$\alpha_0 = 1500$$

$$\beta_0 = 3,6$$

$n_r$ : το πορώδες, η τιμή του το οποίου κυμαίνεται από 35% έως 40%

$U_p$ : η μέγιστη ταχύτητα του υγρού σωματιδίου στο σώμα θωρακίσεως, η οποία κυμαίνεται από 0.5 έως 1.0 m/sec

$D$ : Η διάμετρος του λίθου στο πρωτότυπο σε m

$\nu$ : Η κινηματική συνεκτικότητα του νερού σε  $m^2/sec$

Για την προσομοίωση της μάζας των εσωτερικών στρώσεων ισχύει ο λόγος:

$m_p/m_m = K^3 \times (M_p/M_m)$  όπου  $K$  δίνεται από την σχέση:

$$K = \frac{\xi_\rho}{2\lambda^{1/2}} \left[ \left( 1 + 4\lambda^{3/2} \frac{1 + \xi_\rho}{\xi_\rho^2} \right)^{1/2} - 1 \right]$$

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές εκτιμήθηκαν οι διαστάσεις των ογκολίθων και λίθων στα φυσικά προσομοιώματα

## 5.4. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

### 5.4.1 Κατασκευή Ψευδοδισδιάστατων φυσικών προσομοιωμάτων

Για την κατασκευή των δισδιάστατων φυσικών προσομοιωμάτων διαχωρίστηκε τμήμα της δεξαμενής πλάτους 7.50 m, μεγαλύτερο από το πλάτος του κυματιστήρα ώστε να δημιουργηθεί διώρυγα μήκους όσο το μήκος της δεξαμενής. Στο ένα άκρο της δημιουργηθείσας διώρυγας τοποθετήθηκε ένας κυματιστήρας ενώ στο άλλο άκρο τοποθετήθηκε το φυσικό προσομοίωμα προς έλεγχο. Ο πυθμένας της διώρυγας ήταν οριζόντιος. Τα φυσικά προσομοιώματα που ελέγχθησαν σε δισδιάστατη διώρυγα ήταν δύο

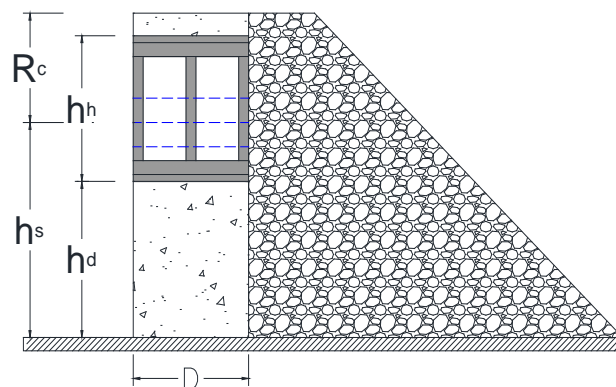
(2): α) το κατακόρυφο μέτωπο με θάλαμο εκτόνωσης και β) το κατακόρυφο μέτωπο με τοίχο επιστροφής.

#### A) Κατακόρυφο μέτωπο με θάλαμο εκτόνωσης.

Το κάτω τμήμα του κατακόρυφου μετώπου με θάλαμο εκτόνωσης αποτελείται από συμπαγές σκυρόδεμα, το οποίο επικάθησε επί του οριζόντιου πυθμένα. Επάνω στο συμπαγές σκυρόδεμα το οποίο αντιπροσωπεύει το κυρίως σώμα των τεχνητών ογκολίθων διαμορφώθηκε ο θάλαμος εκτόνωσης με σιδηρές διατομές τύπου **I**. Οι διαστάσεις του επάνω τμήματος όπως αυτές ορίζονται στο Σχήμα 5.1 καθ' ύψος και κατά πλάτος της διατομής διαφοροποιούνται στις εξετασθείσες διατάξεις. Επίσης εντός του θαλάμου, σε ορισμένες περιπτώσεις τοποθετήθηκε λιθορριπή, ενώ στην Φωτογραφία 5.1 φαίνεται άποψη του προσομοιώματος και στο Σχήμα 5.2 δίνεται όψι, κάτοψι και τομή του φυσικού προσομοιώματος.



**Φωτ.5.1-** Απόψεις κατακόρυφου μετώπου με θάλαμο εκτόνωσης ( Ψευδοδισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα)



ΤΟΜΗ ΑΑ'

**Σχήμα 5.1.** Τομή κατακόρυφου μετώπου με θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών

Όπου:

$h_s$ : το βάθος του νερού

$h_d$ : το ύψος του κατακορύφου τμήματος της διατομής

$R_c$ : το ελεύθερο περιθώριο, ή η απόσταση από την επιφάνεια του ύδατος μέχρι την στάθμη στέψης της διατομής

$h_w$ : το ύψος του νερού εντός του θαλάμου εκτόνωσης

$h_h$ : το ύψος του θαλάμου εκτόνωσης

$D$ : το πλάτος του θαλάμου εκτόνωσης

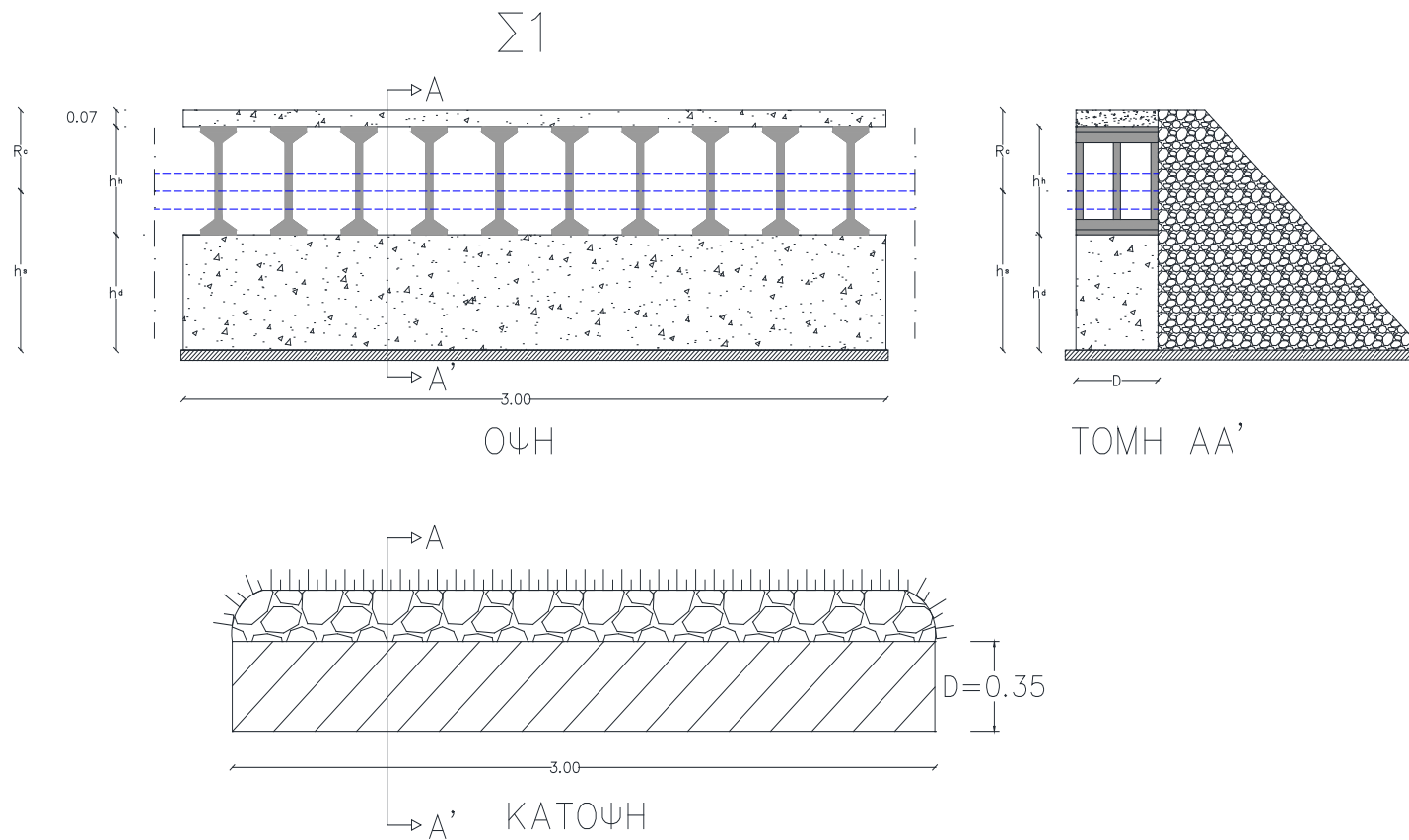
### **B) Κατακόρυφο μέτωπο με τοίχο επιστροφής**

Το φυσικό προσομοίωμα κατακορύφου μετώπου με τοίχο επιστροφής κυμάτων εδράζεται σε λιθορριπή. Το κάτω τμήμα είναι συμπαγές σκυρόδεμα το οποίο αντιπροσωπεύει τους Τεχνητούς Ογκολίθους ενώ στο επάνω τμήμα έχει διαμορφωθεί τοίχος επιστροφής κυμάτων. Στην Φωτογραφία 5.2 δίνεται άποψη του φυσικού προσομοιώματος. Οι λεπτομέρειες των διατάξεων που ελέγχθησαν παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο. Πίσω από τον τοίχο επιστροφής έχουν τοποθετηθεί κυτία συλλογής του ύδατος υπερπήδησης. Στο Σχήμα 5.3 δίνεται τυπική διατομή του κατακορύφου μετώπου με τοίχο επιστροφής και στο Σχήμα 5.4 λεπτομέρεια του τοίχου με τις γεωμετρικές παραμέτρους:



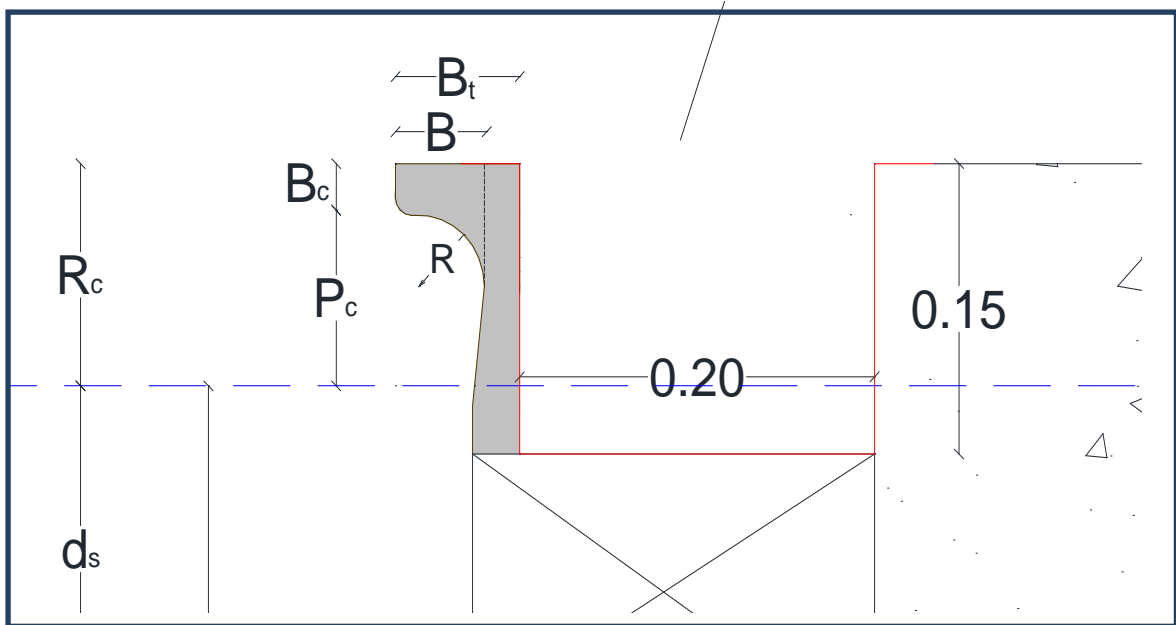
**Φωτ.5.2-** Απόψεις κατακορύφου μετώπου με τοίχο επιστροφής σε ψευδοδιδιάστατο φυσικό προσομοίωμα.





**Σχήμα 5.2-** Όψη, τομή και κάτοψη κατακορύφου μετώπου με θάλαμο εκτόνωσης





**Σχήμα 5.4.** Λεπτομέρεια ανωδομής δισδιάστατου φυσικού προσομοιώματος κατακόρυφου μετώπου με τοίχο επιστροφής κυμάτων.

Όπου:

$h_s$ : το βάθος του νερού στην δεξαμενή ή στον υφιστάμενο πυθμένα στον πόδα του αντισταθμιστικού αναχώματος

$d_t$ : το βάθος του νερού στο αντισταθμιστικό ανάχωμα του έργου

$d_s$ : το βάθος του νερού στην στέψη της θωράκισης του πόδα

$B_t$ : το συνολικό πλάτος του προβόλου του τοίχου επιστροφής

$B$ : το ενεργό πλάτος του προβόλου του τοίχου επιστροφής

$B_c$ : το ύψος του τοίχου επιστροφής

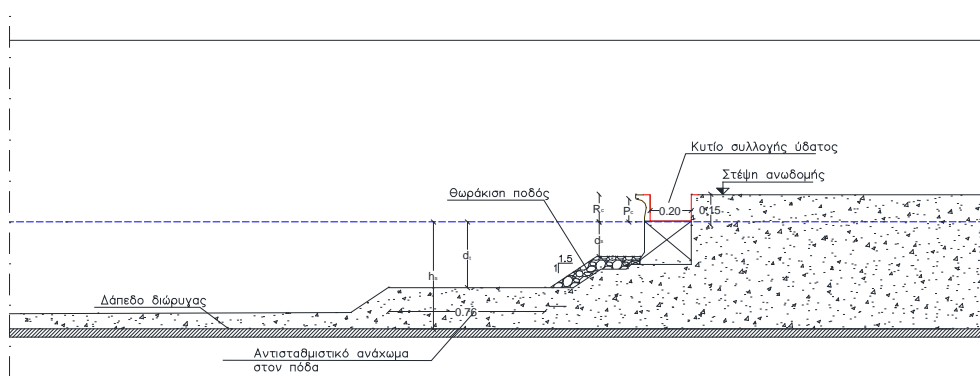
$R_c$ : το ελεύθερο περιθώριο, ή η απόσταση από την επιφάνεια του ύδατος μέχρι την στάθμη στέψης της διατομής

$P_c$ : το ελεύθερο περιθώριο μείον το ύψος του προβόλου

$R$ : η ακτίνα καμπυλότητας του τοίχου επιστροφής.

### 5.4.2 Κατασκευή τρισδιάστατων φυσικών προσομοιωμάτων

Η κατασκευή των τρισδιάστατων φυσικών προσομοιωμάτων έγινε με την κατασκευή καταρχήν του υφιστάμενου πυθμένα σύμφωνα με το βυθομετρικά στοιχεία της περιοχής. Επελέγη η κατωτάτη στάθμη με βάση την γεωμορφολογία της περιοχής και την γεωμετρική κλίμακα του φυσικού προσομοιώματος. Σε επόμενο κεφάλαιο αναφέρονται ανά πειραματική σειρά το μέγιστο βάθος προσομοιώσεως. Στο Σχήμα 5.5 δίνεται τυπική διατομή τρισδιάστατου φυσικού προσομοιώματος, ενώ στην Φωτογραφία 3 απόψεις τρισδιάστατων φυσικών προσομοιωμάτων. Οι γεωμετρικές παράμετροι του τρισδιάστατου φυσικού προσομοιώματος προσδιορίζονται όπως και στο δισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα (Βλέπε Σχήμα 5.4)



**Σχήμα 5.5.-** Τυπική διατομή τρισδιάστατου φυσικού προσομοιώματος κατακορύφου μετώπου με τοίχο επιστροφής και κυτίο συλλογής υπερπηδούντος ύδατος.



**Φωτ.3.** Απόψεις από τρισδιάστατα φυσικά προσομοιώματα.

### 5.4.3 Διαδικασία Μετρήσεων

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για το σύνολο των μετρήσεων ήταν η εξής:

- Επιλογή των χαρακτηριστικών των φασμάτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις. Ελήφθη πρόνοια όπως τα φάσματα αυτά να δύνανται να παραχθούν από τις υφιστάμενες υποδομές. Επίσης επελέγησαν φάσματα ούτως ώστε να μην παρατηρείται θραύση στον οριζόντιο πυθμένα ή μέχρι την αρχή της μικτής διατομής.
- Με βάση τα δεδομένα των φασμάτων δημιουργήθηκαν αρχεία στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τα χαρακτηριστικά μεγέθη του κάθε φάσματος
- Στην συνέχεια έγινε βαθμονόμηση των κυμάτων ώστε να επιτευχθούν τα σχεδιασθέντα φάσματα.
- Τοποθετήθηκαν οι μετρητές κύματος σε προκαθορισμένες θέσεις για τον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης.
- Τοποθετήθηκαν τα κυτία συλλογής υπερπηδούντος ύδατος.
- Κάθε ημέρα κατά την οποία γινόταν μετρήσεις ελεγχόταν η στάθμη του ύδατος στις δεξαμενές και στην συνέχεια βαθμονομούντο οι μετρητές κύματος. Σε περίπτωση αλλαγής στάθμης νερού εντός της ημέρας οι μετρητές κύματος βαθμονομούντο εξ αρχής.
- Στην συνέχεια άρχιζαν οι μετρήσεις, η διάρκεια των οποίων των οποίων ως επί το πλείστον ήταν 655,36sec (32.768 μετρήσεις με 50 Hz καταγραφή)
- Κατά την διάρκεια των μετρήσεων γινόταν συνεχής καταγραφή των υψών κύματος
- Εφόσον υπήρχαν και μετρήσεις κυματικής υπερπήδησης η μέτρηση του υπερπηδούντος ύδατος γινόταν μετά το πέρας των μετρήσεων της κυματικής διαταραχής.
- Για την εκτίμηση της μέσης κυματικής υπερπήδησης χρησιμοποιήθηκαν 3 κυτία συλλογής νερού λόγω της στοχαστικότητας του φαινομένου.

## 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

### 6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι μετρήσεις που αξιολογήθηκαν στην παρούσα εργασία, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά στοιχεία της κάθε μιας, χωρίζονται σε 5 σειρές τις ακόλουθες:

**ΣΕΙΡΑ 1:** Μετρήσεις συντελεστή ανάκλασης σε δισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα σε κρηπιδότοιχο με θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών (8 διατάξεις) . μετρήσεις από 1 έως και 3 διαφορετικές στάθμες (σύνολο 560 μετρήσεις)

**ΣΕΙΡΑ 2:** Μετρήσεις συντελεστή ανάκλασης σε διατομές με τοίχο επιστροφής (3 διατάξεις) σε κλίμακα 1:60 σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα σε μία στάθμη (Σύνολο 75 μετρήσεις)

**ΣΕΙΡΑ 3:** Μετρήσεις συντελεστή ανάκλασης σε διατομές με τοίχο επιστροφής (2 διατάξεις) σε κλίμακα 1:30 σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα και ταυτόχρονες μετρήσεις υπερπήδησης, σε 2 έως και 3 στάθμες (Σύνολο 125 μετρήσεις)

**ΣΕΙΡΑ 4:** Μετρήσεις συντελεστή ανάκλασης και υπερπήδησης σε διδιάστατο φυσικό προσομοίωμα (2 διατάξεις) με τοίχο επιστροφής σε 3 έως και 5 στάθμες ~ 240 μετρήσεις

Στην συνέχεια περιγράφονται ανά σειρά, οι διατάξεις που ελέγχθηκαν, και παρουσιάζεται το πρόγραμμα των εκτελεσθέντων πειραμάτων

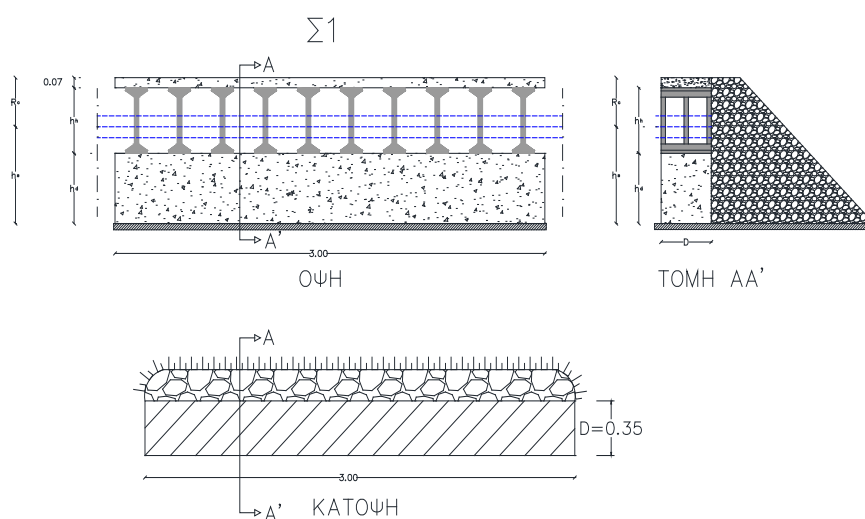
### 6.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 1

#### 6.2.1. Περιγραφή διατάξεων

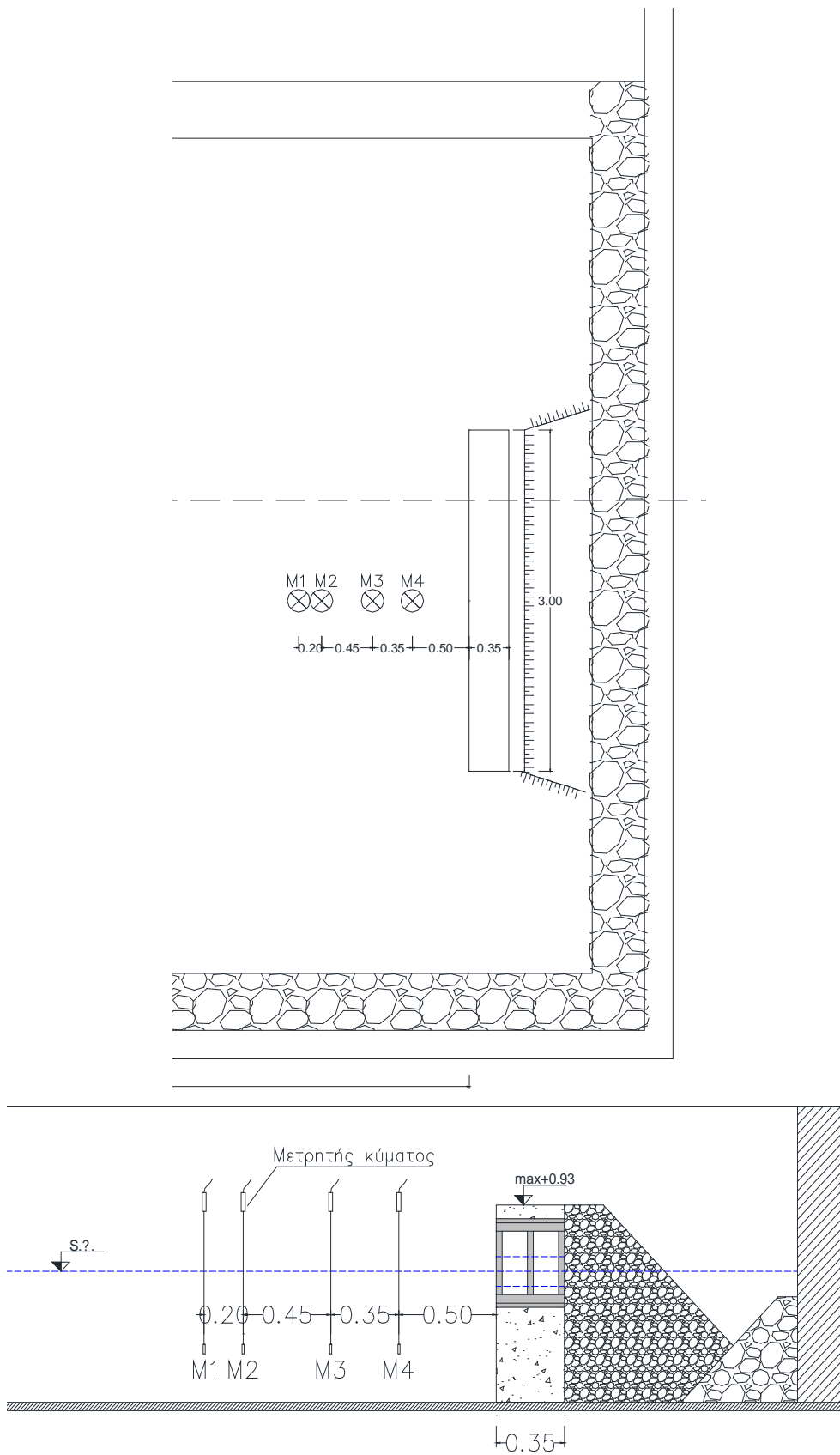
Οι διατάξεις της ΣΕΙΡΑΣ 1 αφορούν δισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα σε κρηπιδότοιχο με θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών. Το φυσικό προσομοίωμα κατασκευάστηκε στην Δεξαμενή Δοκιμών 1 του Ε.Λ.Ε. Στο Σχήμα 6.1 δίνονται οι όψη, κάτοψη και πλάγια όψη του προσομοιώματος. Το ύψος του κατακόρυφου κρηπιδότοιχου  $h_d$  ισούται σε όλες τις περιπτώσεις με 0.45m. Στην συνέχεια κατασκευάζεται ο θάλαμος εκτόνωσης των κυματισμών, το ύψος του οποίου κυμαίνεται από  $h_h = 0.24$  m έως 0.41 m. Το πλάτος D του θαλάμου είναι, στις 7 από τις 8 διατάξεις που ελέγχθηκαν 0.35m, ενώ στην μια διάταξη μειώθηκε στο μισό ήτοι 0.175 m. Οι βασικές παράμετροι που διαφοροποιήθηκαν στις διατάξεις είναι το ύψος  $h_h$  του θαλάμου εκτόνωσης, το πλάτος D του θαλάμου εκτόνωσης καθώς και το υλικό πλήρωσης, ως προς την κοκκομετρία και την κλίση πρανών, ενώ το

ύψος του συμπαγούς μετώπου παρέμεινε σταθερό για όλες τις διατάξεις. Τέλος το πίσω τμήμα του θαλάμου ήταν αδιαπέρατο για τις 5 διατάξεις ενώ ήταν διαπερατό για τις 3 διατάξεις. Το μήκος του προσομοιώματος είναι 3 m. Το ύψος του νερού στην δεξαμενή  $h_s$  κυμάνθηκε από 0.55m έως και 0.69 m.

Για την εκτίμηση του συντελεστή ανάκλασης τοποθετήθηκαν 4 μετρητές σε αποστάσεις τέτοιες ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του μέσου συντελεστή ανάκλασης για το σύνολο των συχνοτήτων των κυμάτων που ελέγχθησαν. Οι διαστάσεις μεταξύ των μετρητών κύματος (λεπτομέρεια των θέσεων των τεσσάρων μετρητών) εμπρός από το φυσικό προσομοίωμα δίνεται στο Σχήμ 6.2. Στο Σχήμα 6.3 παρουσιάζονται οι τομές των 8 διατάξεων που ελέγχθηκαν στο φυσικό προσομοίωμα.. Η διάταξη του φυσικού προσομοιώματος του κυματιστήρα και των μετρητών κυμάτων σε κάτοψη και κατά μήκος τομή φαίνονται στο Σχήμα 6.4

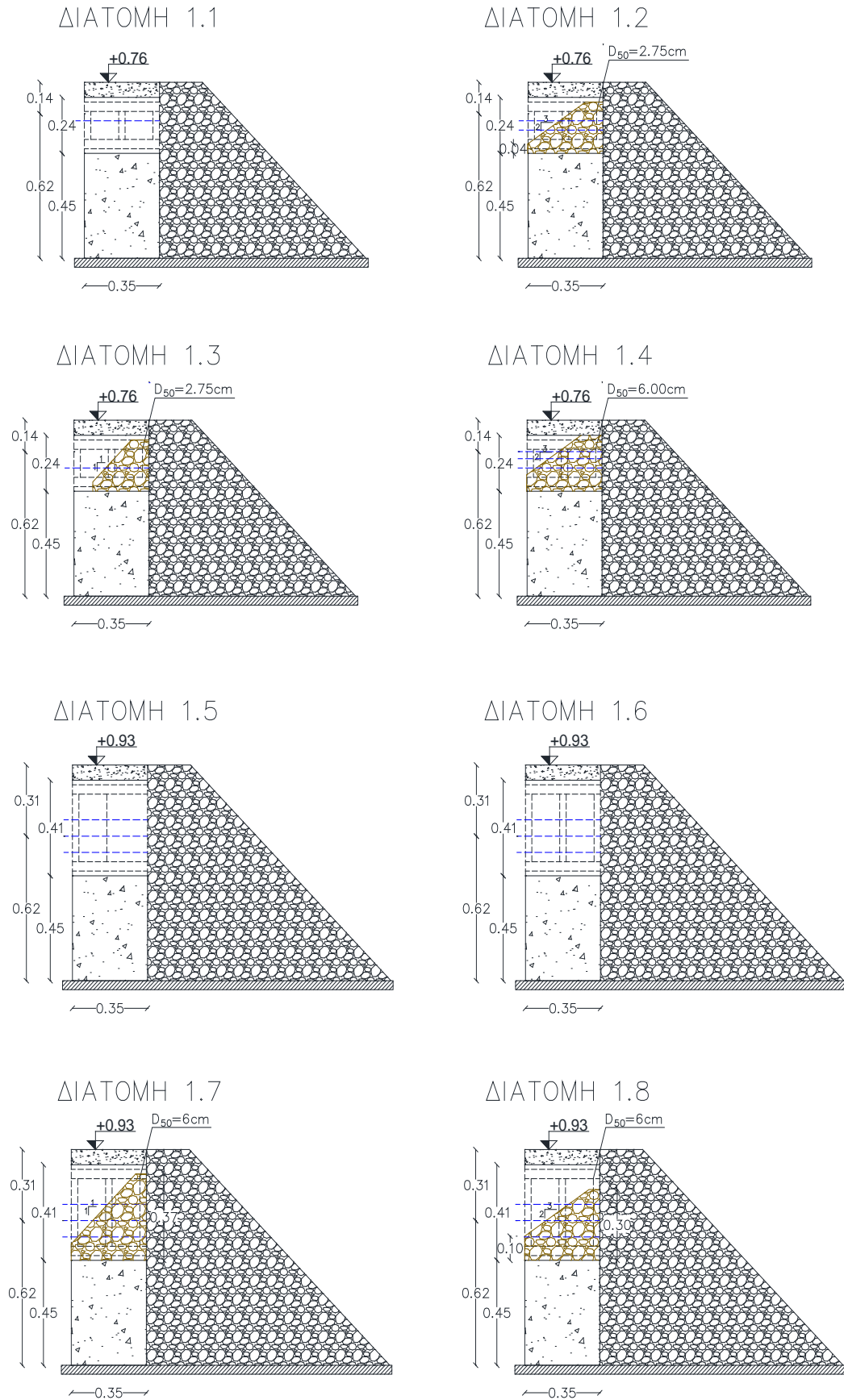


**Σχήμα 6.1** – Όψη, τομή και κάτοψη φυσικού προσομοιώματος Σειράς 1



**Σχήμα 6.2** Θέσεις μετρητών κύματος εμπρός από το φυσικό προσομοίωμα για τις μετρήσεις της Σειρά 1. (τομή και κάτοψη)





**Σχήμα 6.3** Τυπικές διατομές των 8 ελεγχθεισών διατάξεων της Σειράς 1

Η κάθε διάταξη ελέγχθηκε για διάφορες στάθμες νερού και για διάφορες κυματικές συνθήκες, όχι πάντοτε τις ίδιες. Γενικώς ελέγχθησαν από τέσσερις (4) έως επτά (7) διαφορετικές Περίοδοι κυματισμού για τρία (3) έως πέντε (5) διαφορετικά ύψη κύματος ανά περίοδο. Η γεωμετρική κλίμακα προσομοιώσεως ήταν 1:20.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των οκτώ (8) διατάξεων που ελέγχθησαν

Στον Πίνακα 6.2 δίνονται τα χαρακτηριστικά των κυμάτων που ελέγχθηκαν.

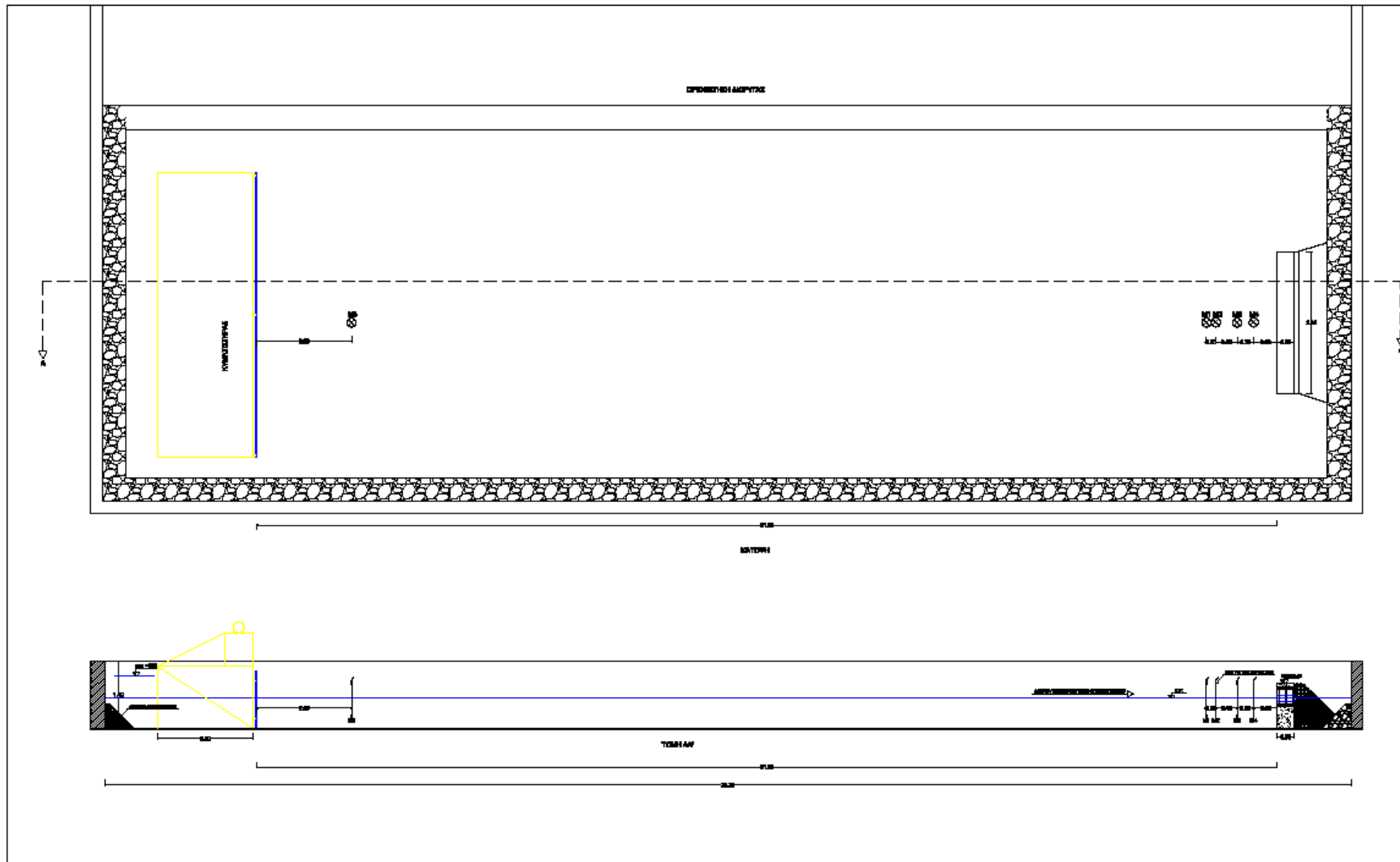
Σημειώνεται ότι δεν ελέγχθηκαν όλες οι διατάξεις στο σύνολο των κυματικών διαταραχών του Πίνακα 6.2 . Οι Διατάξεις Σ1.1 έως και Σ1.4 ελέγχθηκαν για τις κυματικές διαταραχές Κ1.1, Κ1.3, Κ1.5 και Κ1.7. Οι διατάξεις Σ1.5 έως και Σ1.8 ελέγχθησαν για το σύνολο των κυματικών διαταραχών.

### **6.2.2. Πρόγραμμα μετρήσεων**

Στο ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Α παρουσιάζεται το Πρόγραμμα των μετρήσεων των διατάξεων της ΣΕΙΡΑΣ 1

Το Σύνολο των αξιολογηθεισών μετρήσεων ανέρχεται σε 560.

Η Σειρά 1 περιλαμβάνει οκτώ (8) διατάξεις κατακόρυφου μετώπου με θάλαμο απομείωσης ενέργειας κυματισμών. Ελέγχθησαν από μία (1) έως και τρεις (3) στάθμες ύδατος για την κάθε διατομή. Τελικά αξιολογήθηκαν περισσότερες από 560 μετρήσεις.



**Σχήμα 6.4** – Θέσεις κυματιστήρα, μετρητών κύματος και φυσικού προσομιώματος Σειράς 1 εντός της Δεξαμενής Δοκιμών Δ1, σε κάτοψη και κατάμικρος τομή

ΔΙΑΤΑΞΗ	ΥΨΟΣ ΘΑΛΑΜΟΥ	ΠΛΑΤΟΣ ΘΑΛΑΜΟΥ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΜΕΤΩΠΟ	ΛΙΘΟΡΡΙΠΗ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΛΙΘΩΝ	ΠΟΡΩΔΕΣ	ΚΛΙΣΗ ΠΡΑΝΟΥΣ	Συνολικό ύψος	Ελεύθερο περιθώριο (Rc)	ΒΑΘΗ (h)
	(m)	(m)			cm					
Σ1.1	0.24	0.35	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΟΧΙ				0.76	0.17	0.59
Σ1.2α	0.24	0.35	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	2.75	33	1:1.5	0.76	0.17	0.59
Σ1.2β	0.24	0.35	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	2.75	33	1:1.5	0.76	0.21	0.55
Σ1.3	0.24	0.35	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	2.75	40	1:1	0.76	0.21	0.55
Σ1.4α	0.41	0.35	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	6			0.76	0.17	0.59
Σ1.4β	0.41	0.35	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	6			0.76	0.14	0.62
Σ1.4γ	0.41	0.35	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	6			0.76	0.21	0.55
Σ1.5α	0.41	0.35	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΟΧΙ				0.93	0.24	0.69
Σ1.5β	0.41	0.35	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΟΧΙ				0.93	0.31	0.62
Σ1.5γ	0.41	0.35	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΟΧΙ				0.93	0.38	0.55
Σ1.6α	0.41	0.175	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΟΧΙ				0.93	0.24	0.69
Σ1.6β	0.41	0.175	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΟΧΙ				0.93	0.31	0.62
Σ1.6γ	0.41	0.175	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΟΧΙ				0.93	0.38	0.55
Σ1.7α	0.41	0.35	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	6	40	1:1	0.93	0.24	0.69
Σ1.7β	0.41	0.35	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	6	40	1:1	0.93	0.31	0.62
Σ1.7γ	0.41	0.35	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	6	40	1:1.5	0.93	0.38	0.55
Σ1.8α	0.41	0,35	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	6	40	1:1.5	0.93	0.24	0.69
Σ1.8β	0.41	0.35	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	6	40	1:1.5	0.93	0.31	0.62
Σ1.8γ	0.41	0.35	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	ΝΑΙ	6	40	1:1.5	0.93	0.38	0.55

**Πίνακας 6.1** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ελεγχθεισών διατάξεων Σειράς 1

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Πρωτότυπο)			ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)		
		H <sub>s</sub> (m)	T <sub>p</sub> (sec)	F (HZ)	H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)	F (HZ)
1	K1.1.1	0.133	2.485	0.402	0.666	0.556	1.800
2	K1.1.2	0.200	2.485	0.402	0.999	0.556	1.800
3	K1.1.3	0.266	2.485	0.402	1.332	0.556	1.800
4	K1.1.4	0.333	2.485	0.402	1.665	0.556	1.800
5	K1.1.5	0.400	2.485	0.402	2.000	0.556	1.800
6	K1.1.6	0.466	2.485	0.402	2.331	0.556	1.800
7	K1.2.1	0.249	3.400	0.294	1.247	0.760	1.315
8	K1.2.2	0.374	3.400	0.294	1.870	0.760	1.315
9	K1.2.3	0.499	3.400	0.294	3.117	0.760	1.315
10	K1.2.4	0.623	3.400	0.294	3.741	0.760	1.315
11	K1.2.5	0.748	3.400	0.294	4.364	0.760	1.315
12	K1.2.6	0.873	3.400	0.294	4.364	0.760	1.315
13	K1.3.1	0.431	4.472	0.224	2.157	1.000	1.000
14	K1.3.2	0.647	4.472	0.224	3.236	1.000	1.000
15	K1.3.3	0.863	4.472	0.224	4.314	1.000	1.000
16	K1.3.4	1.079	4.472	0.224	5.393	1.000	1.000
17	K1.3.5	1.294	4.472	0.224	6.472	1.000	1.000
18	K1.3.6	1.510	4.472	0.224	7.550	1.000	1.000
19	K1.4.1	1.011	5.590	0.179	5.055	1.250	0.800
20	K1.4.2	1.348	5.590	0.179	6.740	1.250	0.800
21	K1.4.3	1.685	5.590	0.179	8.425	1.250	0.800
22	K1.4.4	2.022	5.590	0.179	10.110	1.250	0.800
23	K1.4.5	2.359	5.590	0.179	11.795	1.250	0.800
24	K1.5.1	1.456	6.708	0.149	7.281	1.500	0.667
25	K1.5.2	1.942	6.708	0.149	9.708	1.500	0.667
26	K1.5.3	2.427	6.708	0.149	12.135	1.500	0.667
27	K1.5.4	2.912	6.708	0.149	14.562	1.500	0.667
28	K1.5.5	3.398	6.708	0.149	16.989	1.500	0.667
29	K1.6.1	1.979	7.820	0.128	9.894	1.749	0.572
30	K1.6.2	2.638	7.820	0.128	13.192	1.749	0.572
31	K1.6.3	3.298	7.820	0.128	16.490	1.749	0.572
32	K1.6.4	3.958	7.820	0.128	19.788	1.749	0.572
33	K1.6.5	4.617	7.820	0.128	23.086	1.749	0.572
34	K1.7.1	2.588	8.944	0.112	12.942	2.000	0.500
35	K1.7.2	3.451	8.944	0.112	17.256	2.000	0.500
36	K1.7.3	4.314	8.944	0.112	21.570	2.000	0.500
37	K1.7.4	5.177	8.944	0.112	25.884	2.000	0.500
38	K1.7.5	6.040	8.944	0.112	30.198	2.000	0.500

**Πίνακας 6.2.** Χαρακτηριστικά κυμάτων που ελέγχθησαν στην Σειρά 1

## 6.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 2

### 6.3.1. Περιγραφή διατάξεων

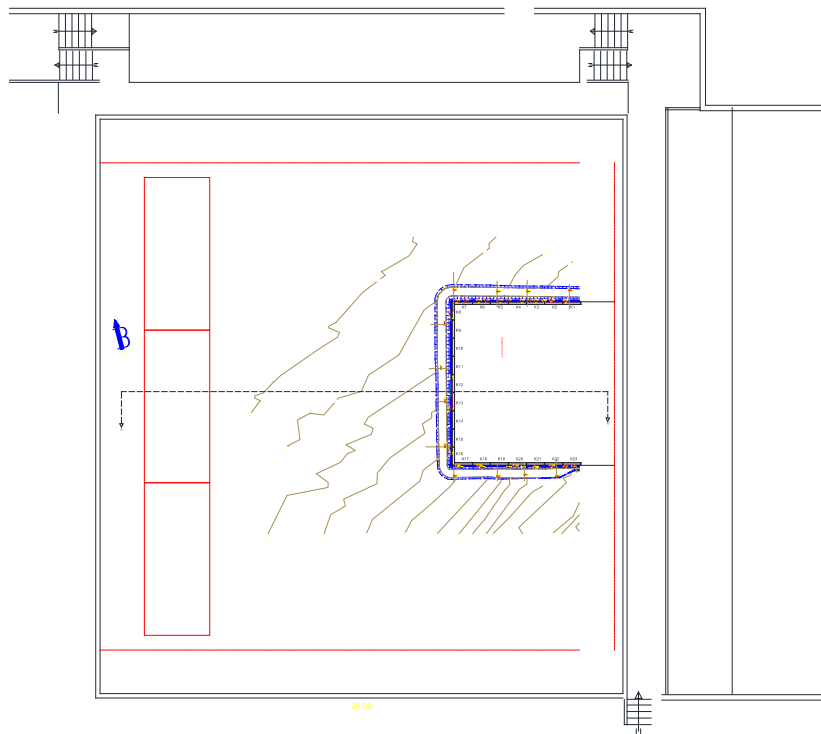
Οι διατάξεις της ΣΕΙΡΑΣ 2 αφορούν τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα σε κατακόρυφο κρηπιδότοιχο με τοίχο επιστροφής. Οι μετρήσεις έγιναν στο φυσικό προσομοίωμα του νέου αεροδιαδρόμου του αεροδρομίου «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ», ο οποίος εκτείνεται εντός της θαλάσσης. Η γεωμετρική κλίμακα του προσομοιώματος ήταν 1:60. Το φυσικό προσομοίωμα κατασκευάστηκε στην Δεξαμενή Δοκιμών 1 του Ε.Λ.Ε.

Για την εκτίμηση του συντελεστή ανάκλασης τοποθετήθηκαν 4 μετρητές κύματος σε αποστάσεις τέτοιες ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του μέσου συντελεστή ανάκλασης εμπρός από το κεντρικό τμήμα του φυσικού προσομοιώματος. Η διάταξη του φυσικού προσομοιώματος στην δεξαμενή φαίνεται στο Σχήμα 6.5. Στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζονται οι θέσεις των μετρητών στην δεξαμενή σε λεπτομέρεια. Ελέγχθηκαν 2 διαφορετικές διατάξεις.

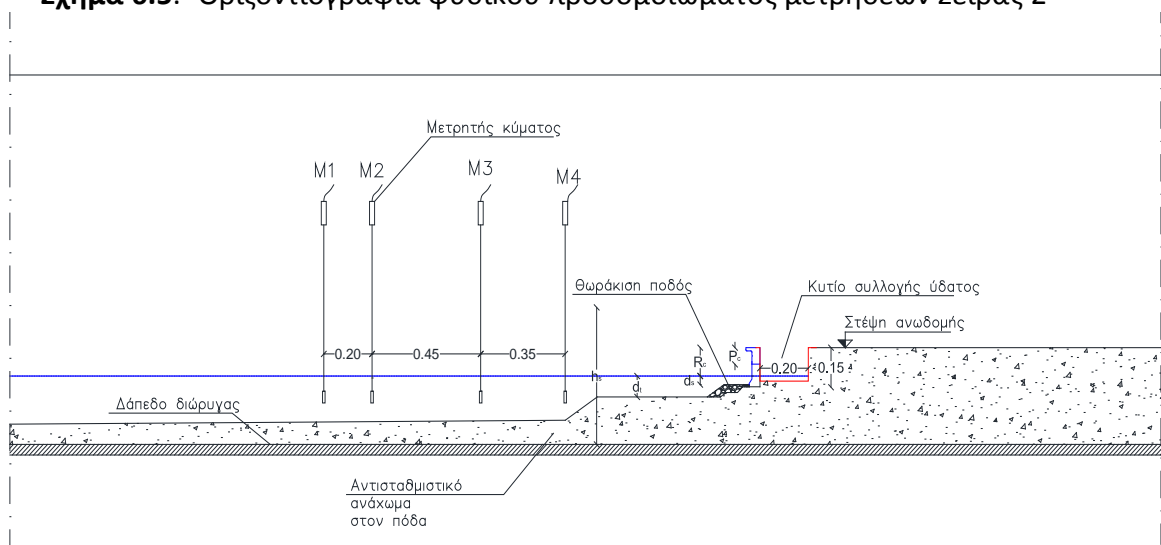
Οι βασικές παράμετροι που διαφοροποιήθηκαν στις διατάξεις ήταν η διαμόρφωση του τοίχου επιστροφής. Η διάταξη Σ2.1 αποτελείται από κατακόρυφο μέτωπο με πρόβολο μήκους  $B=0.80$  m σε πρωτότυπο. Η Διάταξη Σ2.2 αποτελείται από κατακόρυφο μέτωπο με πρόβολο  $B=1.80$ m σε πρωτότυπο. Στο Σχήμα 6.7 παρουσιάζεται τυπική διατομή του έργου, ενώ στο Σχήμα 6.8 δίνονται σε λεπτομέρεια οι διατομές των ανωδομών που ελέγχθηκαν.

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των κυμάτων που ελέγχθηκαν.

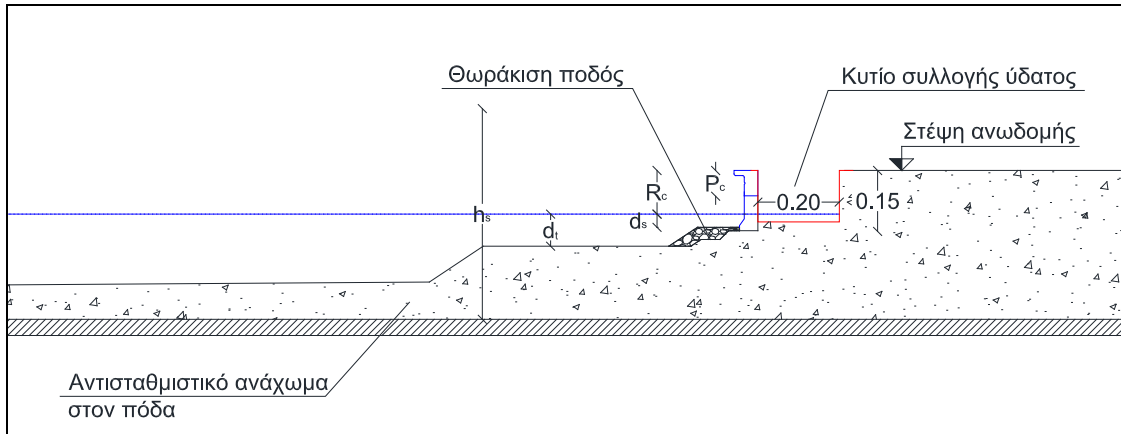
Κατα την μέτρηση του συντελεστή ανάκλασης δεν μετρήθηκε ταυτόχρονα κυματική υπερπήδηση.



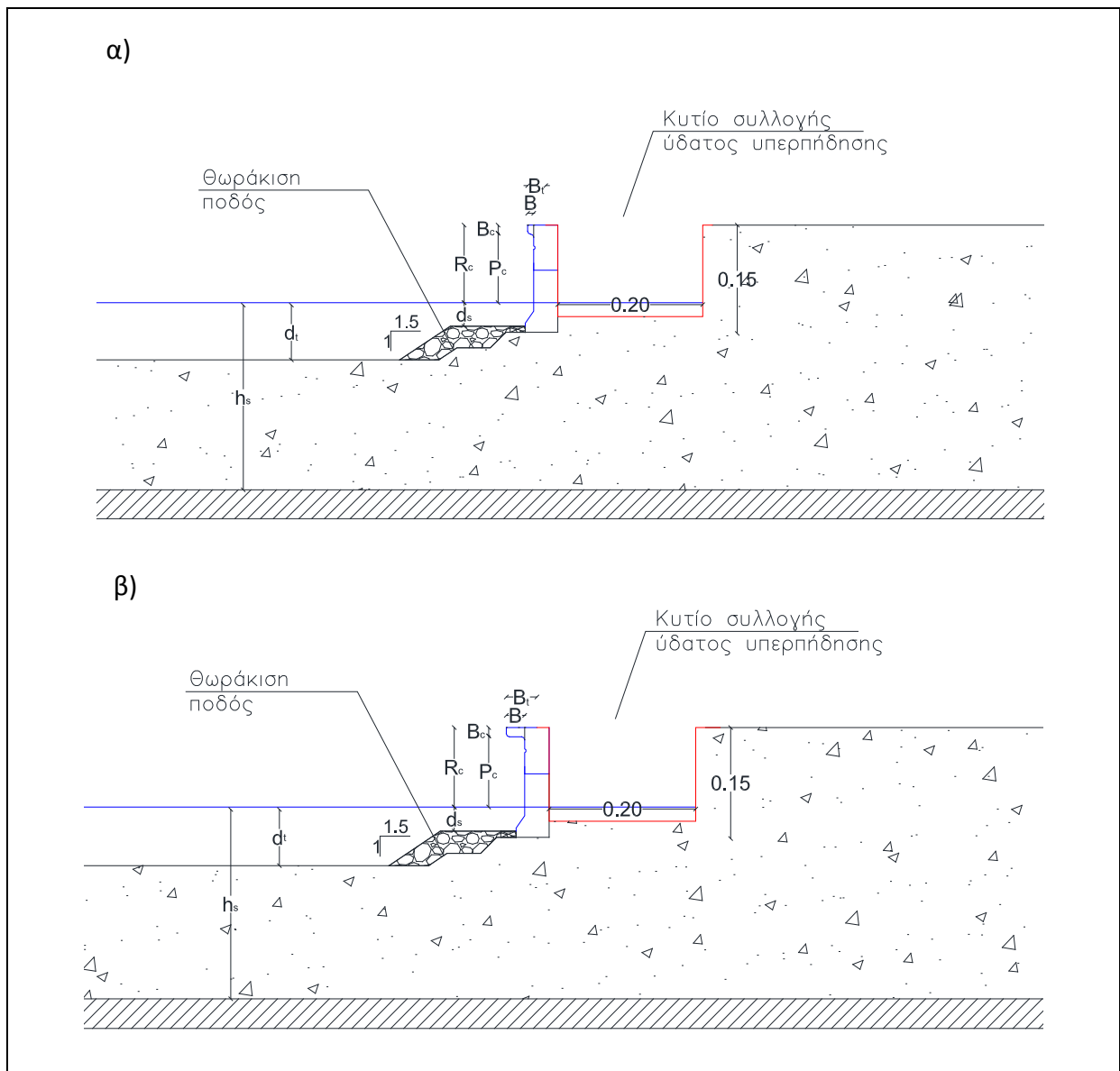
**Σχήμα 6.5.-** Οριζοντιογραφία φυσικού προσομιώματος μετρήσεων Σειράς 2



**Σχήμα 6.6.-** Θέσεις μετρητών στην δεξαμενή μετρήσεων Σειράς 2



Σχήμα 6.7 .-Τυπική διατομή του φυσικού προσομιώματος της Σειράς 2



Σχήμα 6.8 .-Τυπικές διατομές ελεγχθεισών διατάξεων της Σειράς 2, α) 2.1 και β) 2.2



Κωδικοί	Πρωτότυπο			Προσομοίωμα		
	Hs (m)	Tp (sec)	f	Hs (mm)	Tp (sec)	f
K3.1.1	0.75	4.306	0.232	25.00	0.786	1.272
K3.1.2	1.00	4.306	0.232	33.33	0.786	1.272
K3.1.3	1.25	4.306	0.232	41.67	0.786	1.272
K3.1.4	1.50	4.306	0.232	50.00	0.786	1.272
K3.1.5	1.75	4.306	0.232	58.33	0.786	1.272
K3.2.1	1.09	5.447	0.184	36.33	0.994	1.006
K3.2.2	1.44	5.447	0.184	48.00	0.994	1.006
K3.2.3	1.89	5.447	0.184	63.00	0.994	1.006
K3.2.4	2.18	5.447	0.184	72.67	0.994	1.006
K3.2.5	2.53	5.447	0.184	84.33	0.994	1.006
K3.3.1	1.28	6.090	0.164	42.67	1.112	0.899
K3.3.2	1.72	6.090	0.164	57.33	1.112	0.899
K3.3.3	2.14	6.090	0.164	71.33	1.112	0.899
K3.3.4	2.56	6.090	0.164	85.33	1.112	0.899
K3.3.5	3.00	6.090	0.164	100.00	1.112	0.899
K3.4.1	1.50	6.808	0.147	50.00	1.243	0.804
K3.4.2	2.00	6.808	0.147	66.67	1.243	0.804
K3.4.3	2.50	6.808	0.147	83.33	1.243	0.804
K3.4.4	3.00	6.808	0.147	100.00	1.243	0.804
K3.4.5	3.50	6.808	0.147	116.67	1.243	0.804
K3.5.1	1.59	7.075	0.141	53.00	1.292	0.774
K3.5.2	2.14	7.075	0.141	71.33	1.292	0.774
K3.5.3	2.67	7.075	0.141	89.00	1.292	0.774
K3.5.4	3.21	7.075	0.141	107.00	1.292	0.774
K3.5.5	3.75	7.075	0.141	125.00	1.292	0.774

**Πίνακας 6.3** Χαρακτηριστικά κυμάτων σειράς Σ2

### 6.3.2. Πρόγραμμα μετρήσεων

Οι Πίνακες των εκτελεσθέντων Πειραμάτων της Σειράς 2 δίνονται στο ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Α. Εγιναν και αξιολογήθηκαν 75 Πειράματα, ανά 25 σε κάθε ελεγχθείσα διατομή.

## 6.4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 3

### 6.4.1. Περιγραφή διατάξεων

Οι διατάξεις της ΣΕΙΡΑΣ 3 αφορούν τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα σε κατακόρυφο κρηπιδότοιχο με τοίχο επιστροφής. Εγιναν μετρήσεις ανάκλασης και κυματικής υπερπήδησης ταυτόχρονα. Οι μετρήσεις έγιναν στο φυσικό προσομοίωμα του νέου αεροδιαδρόμου του αεροδρομίου «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ», ο οποίος εκτείνεται εντός της θάλασσας. Το φυσικό προσομοίωμα κατασκευάσθηκε στην Δεξαμενή Δοκιμών 2 του Ε.Λ.Ε. υπό κλίμακα 1:30.

Για την εκτίμηση του συντελεστή ανάκλασης τοποθετήθηκαν 4 μετρητές κύματος σε αποστάσεις τέτοιες ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του μέσου συντελεστή ανάκλασης εμπρός από το κεντρικό τμήμα του φυσικού προσομοιώματος. Η διάταξη του φυσικού προσομοιώματος και των θέσεων των μετρητών στην δεξαμενή φαίνεται στα Σχήματα 6.9 και 6.10.

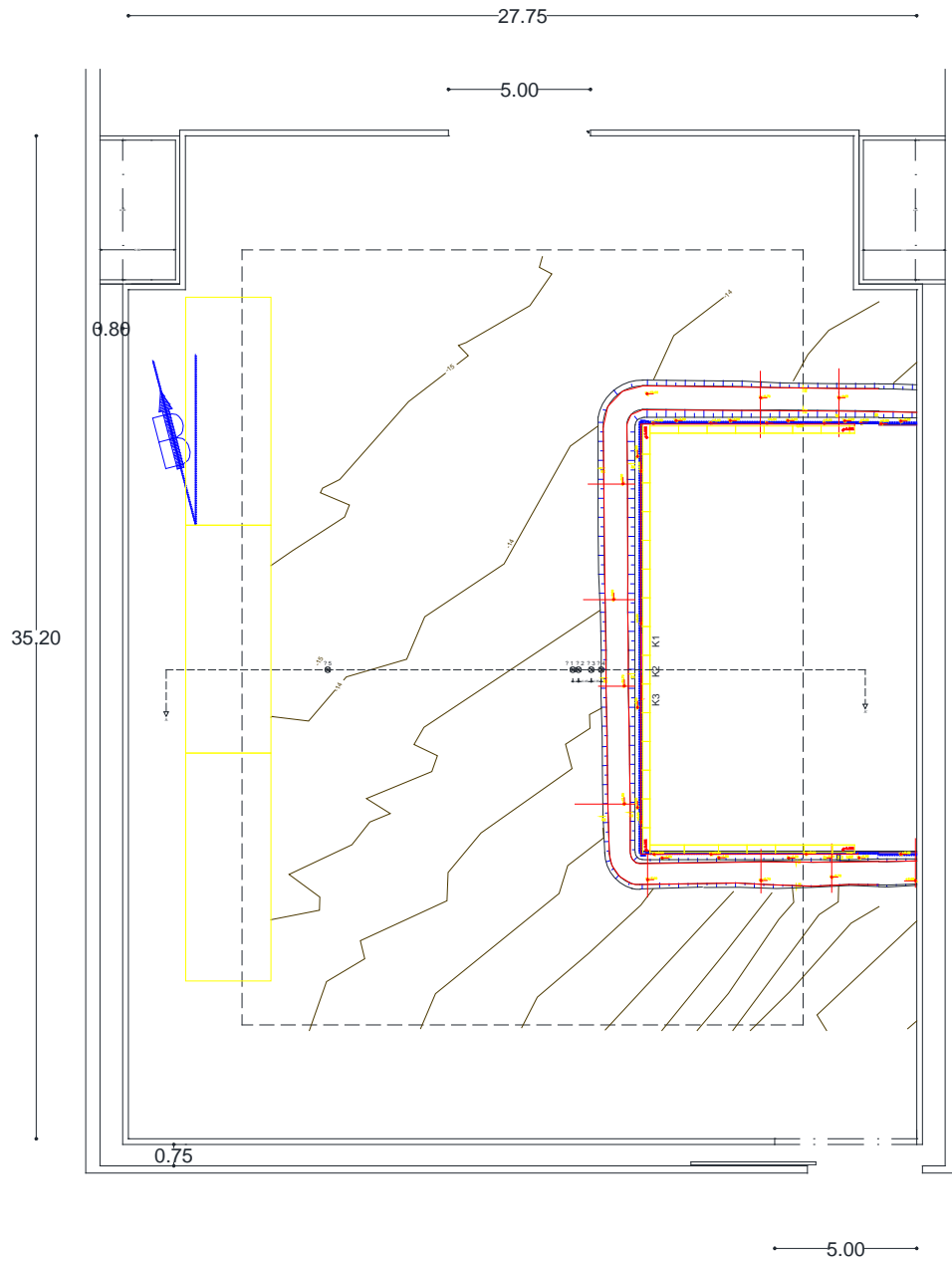
Για την μέτρηση της κυματικής υπερπήδησης τοποθετήθηκαν τρία κυτία επί του φυσικού προσομοιώματος. Στο Σχήμα 6.11 παρουσιάζονται οι θέσεις των κυτίων στην δεξαμενή

Ελέγχθησαν 2 διατάξεις. Οι βασικές παράμετροι που διαφοροποιήθηκαν στις διατάξεις ήταν η διαμόρφωση του τοίχου επιστροφής. Στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζεται τυπική διατομή του έργου ενώ στο Σχήματα 6.13 σε λεπτομέρεια οι διατομές των διατάξεων που ελέγχθηκαν με τα βασικά χαρακτηριστικά.

Η διατομή Σ3.1 ελέγχθηκε σε 2 στάθμες ύδατος ενώ η Διατομή Σ3.2 σε 3 στάθμες ύδατος. Στον Πίνακα 6.5 δίνονται τα γεωμετρικά μεγέθη που διαφοροποιούνται στις 2 διατάξεις σε μονάδες φυσικού προσομοιώματος.

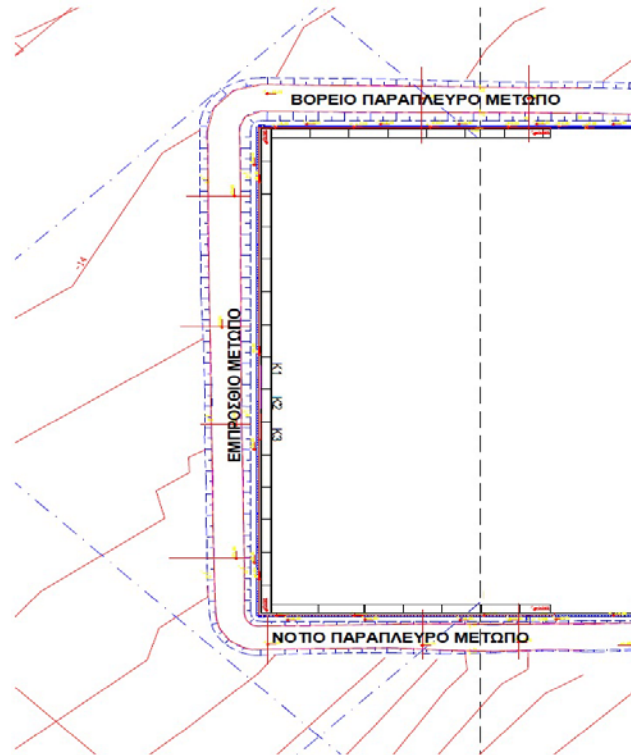
ΔΙΑΤΟΜΗ	ΣΤΑΘΜΗ ΣΤΕΨΗΣ (από Πυθμένα)	Βάθος νερού στην δεξαμενή	$R_c$	R	$B_c$
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
S3.1a	0,633	0.513	0,120	1.1	0.8
S3.1b	0,633	0,500	0,133	1.1	0.8
S3.2a	0,653	0.533	0.12	1.2	0.65
S3.2b	0,653	0.513	0.14	1.2	0.65
S3.2c	0,653	0.5	0.153	1.2	0.65

**Πίνακας 6.4** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ελεγχθεισών διατάξεων Σειράς 3

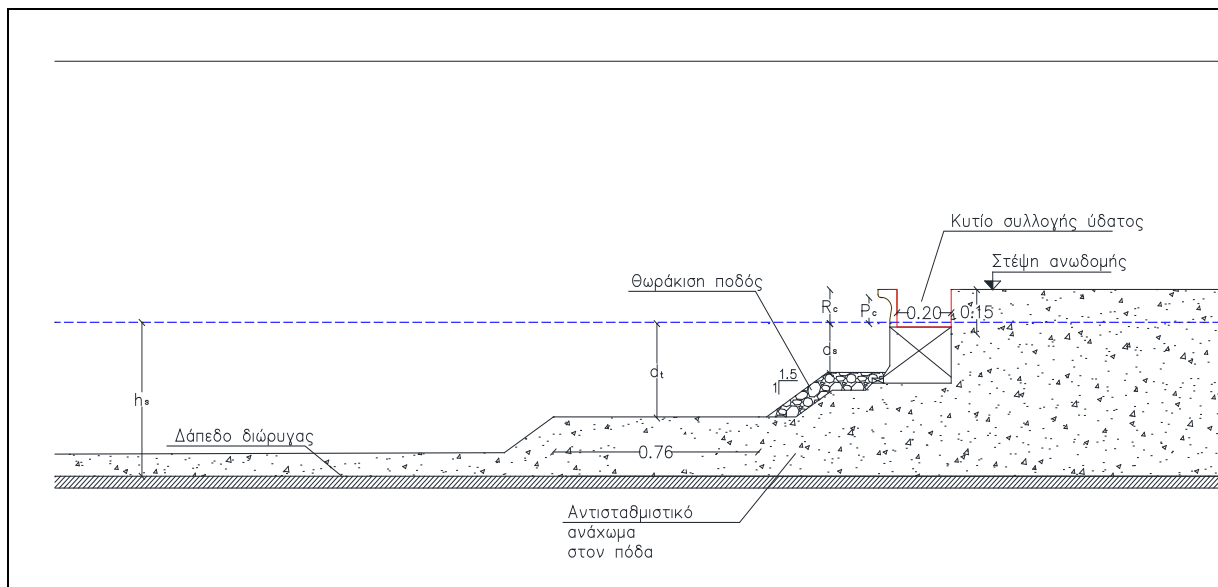


**Σχήμα 6.9** -Κάτοψη φυσικού προσομιώματος στην δεξαμενή και θέσεις μετρητών κύματος Σειράς 3

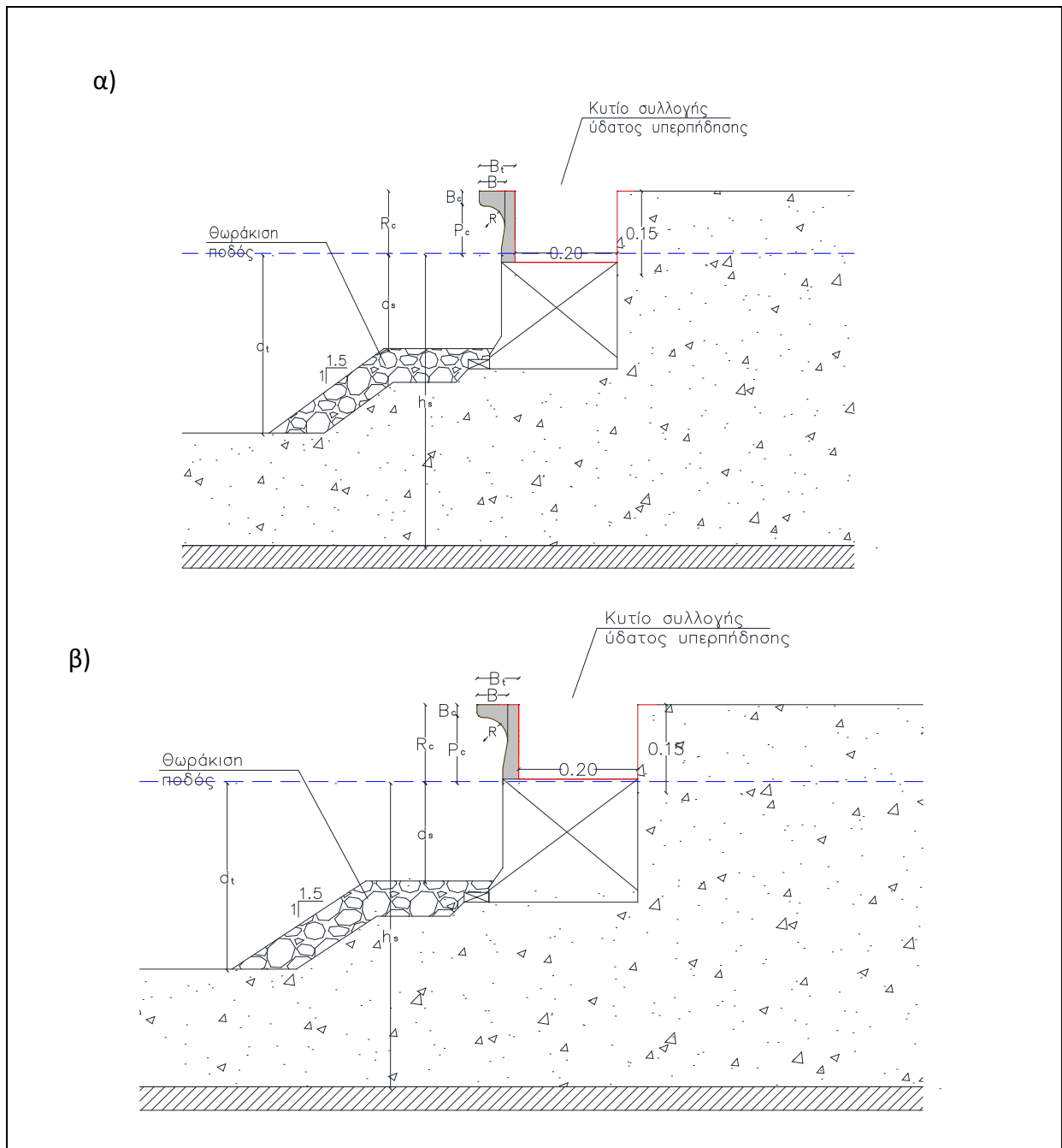




**Σχήμα 6.11.** Διάταξη φυσικού προσομοιώματος στην δεξαμενή και θέσεις κυτίων συλλογής υπερπηδούντος ύδατος Σειράς 3



**Σχήμα 6.12 .-**Τυπική διατομή του περιμετρικού τοίχου του φυσικού προσομοιώματος Σειράς 3



Σχήμα 6.13 .-Τυπικές διατομές ελεγχθεισών διατάξεων της Σειράς 3, α) 3.1 και β) 3.2

Στον Πίνακα 6.5 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των κυμάτων που ελέγχθησαν.

Κωδικοί	Πρωτότυπο			Προσομοίωμα		
	Hs (m)	Tp (sec)	f	Hs (mm)	Tp (sec)	f
K3.1.1	0.75	4.306	0.232	25.00	0.786	1.272
K3.1.2	1.00	4.306	0.232	33.33	0.786	1.272
K3.1.3	1.25	4.306	0.232	41.67	0.786	1.272
K3.1.4	1.50	4.306	0.232	50.00	0.786	1.272
K3.1.5	1.75	4.306	0.232	58.33	0.786	1.272
K3.2.1	1.09	5.447	0.184	36.33	0.994	1.006
K3.2.2	1.44	5.447	0.184	48.00	0.994	1.006
K3.2.3	1.89	5.447	0.184	63.00	0.994	1.006
K3.2.4	2.18	5.447	0.184	72.67	0.994	1.006
K3.2.5	2.53	5.447	0.184	84.33	0.994	1.006
K3.3.1	1.28	6.090	0.164	42.67	1.112	0.899
K3.3.2	1.72	6.090	0.164	57.33	1.112	0.899
K3.3.3	2.14	6.090	0.164	71.33	1.112	0.899
K3.3.4	2.56	6.090	0.164	85.33	1.112	0.899
K3.3.5	3.00	6.090	0.164	100.00	1.112	0.899
K3.4.1	1.50	6.808	0.147	50.00	1.243	0.804
K3.4.2	2.00	6.808	0.147	66.67	1.243	0.804
K3.4.3	2.50	6.808	0.147	83.33	1.243	0.804
K3.4.4	3.00	6.808	0.147	100.00	1.243	0.804
K3.4.5	3.50	6.808	0.147	116.67	1.243	0.804
K3.5.1	1.59	7.075	0.141	53.00	1.292	0.774
K3.5.2	2.14	7.075	0.141	71.33	1.292	0.774
K3.5.3	2.67	7.075	0.141	89.00	1.292	0.774
K3.5.4	3.21	7.075	0.141	107.00	1.292	0.774
K3.5.5	3.75	7.075	0.141	125.00	1.292	0.774

**Πίνακας 6.5.-** Χαρακτηριστικά κυμάτων Σειράς 3

#### 6.4.2. Πρόγραμμα μετρήσεων

Οι Πίνακες των εκτελεσθέντων Πειραμάτων της Σειράς 3 δίνονται στο ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Α. Εγιναν και αξιολογήθηκαν 125 Πειράματα, ανά 25 σε κάθε ελεγχθείσα στάθμη.

## 6.5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 4

### 6.5.1. Περιγραφή διατάξεων

Οι διατάξεις αφορούν δισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα σε κατακόρυφο κρηπιδότοιχο με τοίχο επιστροφής. Εγιναν μετρήσεις ανάκλασης και κυματικής υπερπήδησης. Το φυσικό προσομοίωμα κατασκευάσθηκε στην Δεξαμενή Δοκιμών 1 του Ε.Λ.Ε. υπό κλίμακα 1:30

Για την εκτίμηση του συντελεστή ανάκλασης τοποθετήθηκαν 6 μετρητές κύματος σε αποστάσεις τέτοιες ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του μέσου συντελεστή ανάκλασης εμπρός από το φυσικό προσομοίωμα. Στο Σχήμα 6.14 δίνεται τυπική διατομή του έργου .

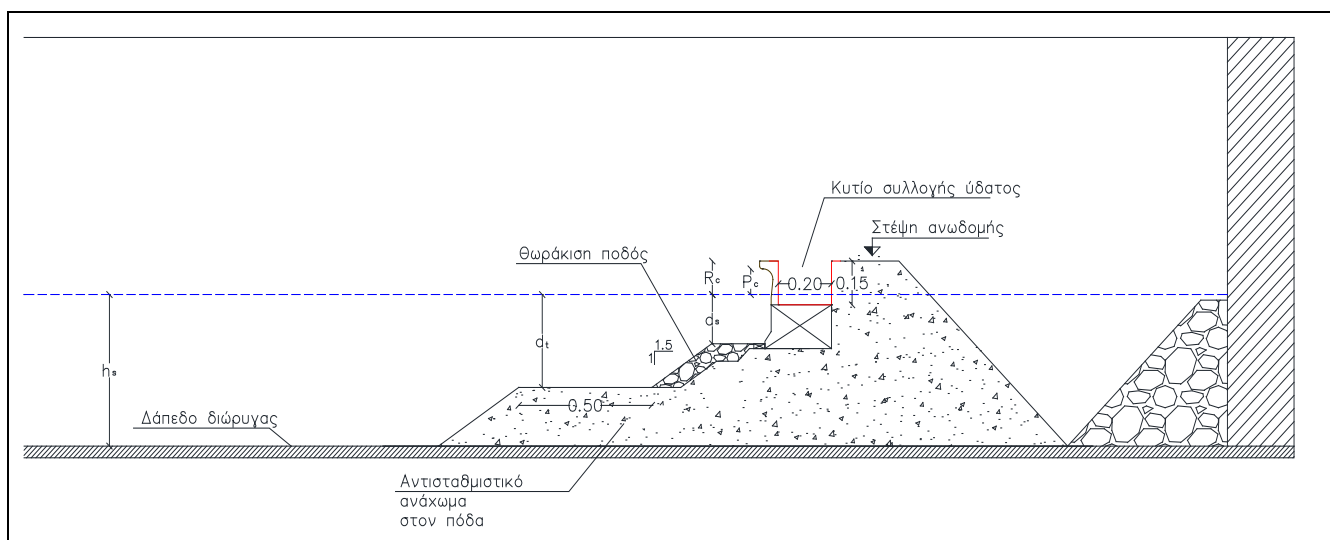
Για την μέτρηση της κυματικής υπερπήδησης τοποθετήθηκαν 3 κυτία επί του φυσικού προσομοιώματος. Στο Σχήμα 6.15 φαίνονται οι θέσεις των μετρητών κύματος σε τομή. Στο Σχήμα 6.16 παρουσιάζονται η διάταξη του φυσικού προσομοιώματος στην δεξαμενή σε κάτοψη και τομή. Οι βασικές παράμετροι που διαφοροποιήθηκαν στις διατάξεις ήταν οι διαστάσεις και η διαμόρφωση του τοίχου επιστροφής. Ελέγχθησαν 2 διατομές οι ίδιες με την Σειρά 3. Στον Πίνακα 6.6 παρουσιάζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ελεγχθεισών διατάξεων. Η διατομή Σ4.1 ελέγχθηκε σε τρεις στάθμες ύδατος, ενώ η Διατομή Σ4.2 σε 5 στάθμες ύδατος. Στο Σχήμα 6.17 παρουσιάζονται σε λεπτομέρεια οι διατομές των ανωδομών που ελέγχθηκαν.

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΣΤΑΘΜΗ ΣΤΕΨΗ (από Πυθμένα)	Βάθος νερού στην δεξαμενή	$R_c$	R	$B_c$
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
s4.1a	0.633	0.500	0.133	1.1	0.8
s4.1b	0.633	0.523	0.100	1.1	0.8
S4.1c	0.633	0.513	0,121	1.1	0.8
s4.2a	0.653	0.500	0.153	1.2	0.65
s4.2b	0.653	0.513	0.140	1.2	0.65
s4.2c	0,653	0.52	0.133	1.2	0.65
s4.2d	0.653	0.533	0.120	1.2	0.65
Σ4.2e	0.653	0.543	0.100	1.2	0.65

**Πίνακας 6.6** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ελεγχθεισών διατάξεων Σειράς 4

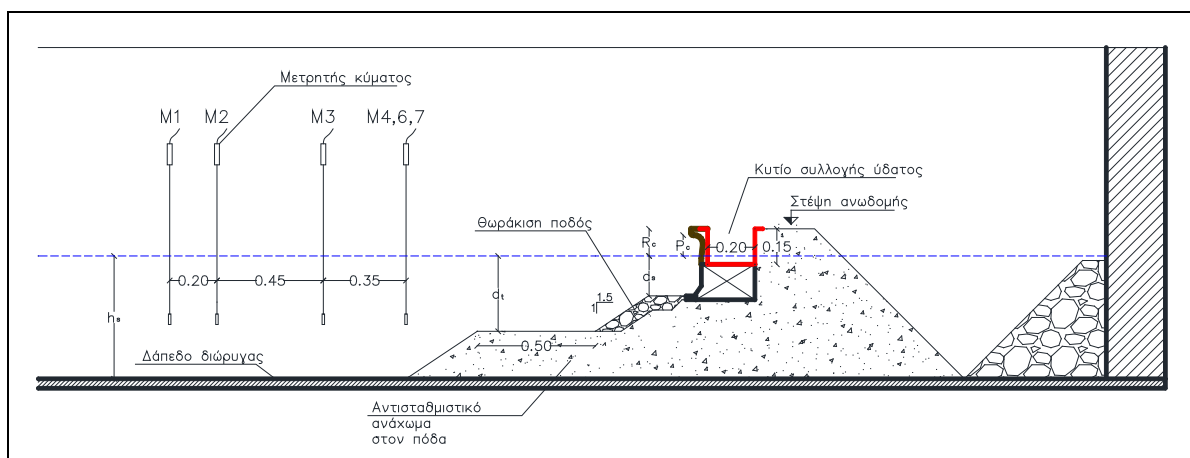
Στον Πίνακα 6.7 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των κυμάτων που ελέγχθησαν



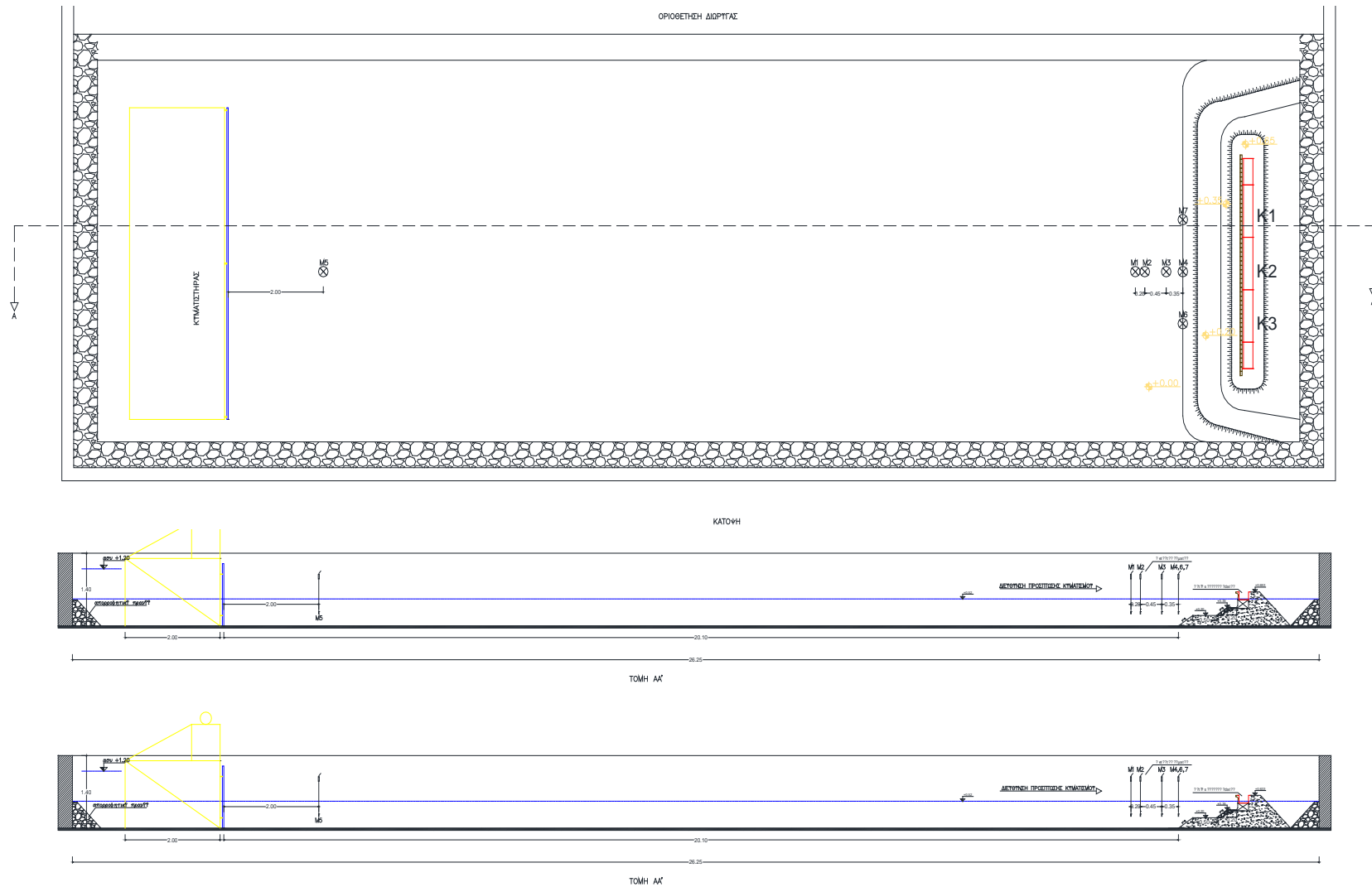


**Σχήμα 6.14.** Τυπική διατομή σειράς Σ4

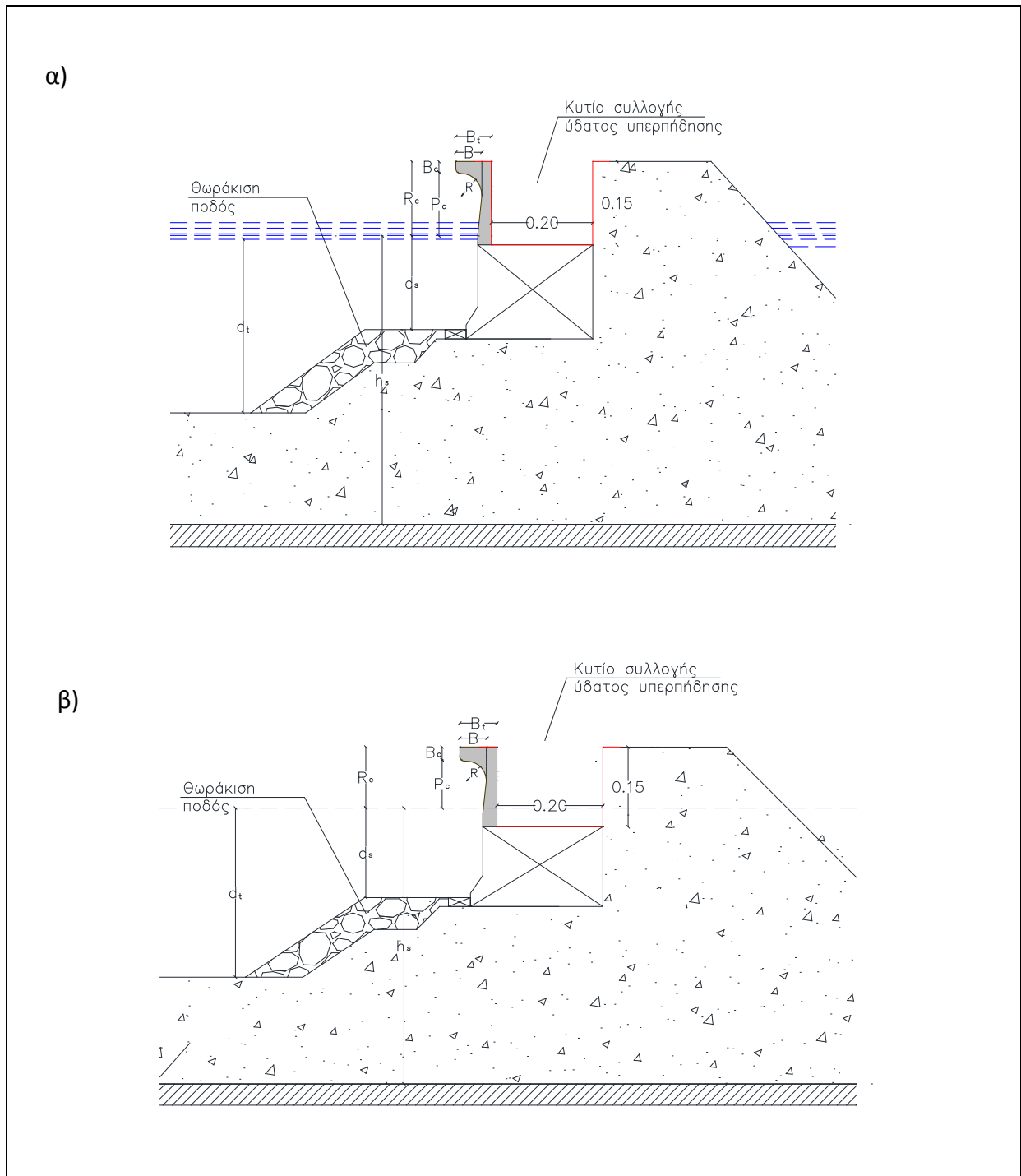
Στον Πίνακα 6.2 δίνονται τα χαρακτηριστικά των κυμάτων που ελέγχθηκαν. Σημειώνεται ότι δεν ελέγχθηκαν όλες οι διατάξεις στο σύνολο των κυματικών διαταραχών του Πίνακα 6.2



**Σχήμα 6.15-** Θέσεις μετρητών κύματος εμπρός από το φυσικό προσομοίωμα για τις μετρήσεις της Σειράς 4



**Σχήμα 6.16** – Θέσεις κυματιστήρα μετρητών κύματος, κυτίνων συλλογής ύδατος και φυσικού προσομοιώματος Σειράς 4 εντός της Δεξαμενής Δοκιμών Δ1 σε κάτοψη και κατά μήκος τομές ανά διάταξη



Σχήμα 6.17 .-Τυπικές διατομές ελεγχθεισών διατάξεων της Σειράς 4, α) 4.1 και β) 4.2

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
		Πρωτότυπο		Προσομοίωμα	
		$H_s$ (m)	$T_p$ (sec)	$H_s$ (m)	$T_p$ (sec)
1	K4.1.1	0.600	4.306	0.020	0.786
2	K4.1.2	0.800	4.306	0.027	0.786
3	K4.1.3	1.000	4.306	0.033	0.786
4	K4.1.4	1.200	4.306	0.040	0.786
5	K4.1.5	1.400	4.306	0.047	0.786
6	K4.2.1	0.960	5.447	0.032	0.994
7	K4.2.2	1.280	5.447	0.043	0.994
8	K4.2.3	1.600	5.447	0.053	0.994
9	K4.2.4	1.920	5.447	0.064	0.994
10	K4.2.5	2.240	5.447	0.075	0.994
11	K4.3.1	1.200	6.090	0.040	1.112
12	K4.3.2	1.600	6.090	0.053	1.112
13	K4.3.3	2.000	6.090	0.067	1.112
14	K4.3.4	2.400	6.090	0.080	1.112
15	K4.3.5	2.800	6.090	0.093	1.112
16	K4.4.1	1.620	7.075	0.054	1.292
17	K4.4.2	2.160	7.075	0.072	1.292
18	K4.4.3	2.700	7.075	0.090	1.292
19	K4.4.4	3.240	7.075	0.108	1.292
20	K4.4.5	3.780	7.075	0.126	1.292
21	K4.5.1	1.800	7.458	0.060	1.362
22	K4.5.2	2.400	7.458	0.080	1.362
23	K4.5.3	3.000	7.458	0.100	1.362
24	K4.5.4	3.600	7.458	0.120	1.362
25	K4.5.5	4.200	7.458	0.140	1.362
26	K4.6.1	1.920	7.703	0.064	1.406
27	K4.6.2	2.560	7.703	0.085	1.406
28	K4.6.3	3.200	7.703	0.107	1.406
29	K4.6.4	3.840	7.703	0.128	1.406
30	K4.6.5	4.480	7.703	0.149	1.406

Πίνακας 6.5 .Χαρακτηριστικά κυμάτων που ελέγχθησαν στην σειρά 4

### 6.5.2 Πρόγραμμα μετρήσεων

Το πρόγραμμα των εκτελεσθέντων πειραμάτων παρουσιάζεται στο ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Α .



## 7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι μετρήσεις που έγιναν στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή αφορούν είτε μετρήσεις κυμάτων είτε μετρήσεις παροχής υπερπήδησης κυμάτων. Όσον αφορά τις μετρήσεις κυμάτων έγιναν σε προκαθορισμένα σημεία ούτως ώστε μετά την επεξεργασία τους να υπολογισθούν παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια στην παραμετρική ανάλυση και να εξαχθούν συμπεράσματα για την συμπεριφορά των διατομών .

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι τρόποι επεξεργασίας των αρχικών δεδομένων (RAW DATA) τα οποία είναι για μεν τα κύματα οι καταγραφές του ύψους κύματος και για την υπερπήδηση, η καταμέτρηση του όγκου του υπερπηδούντος ύδατος κατά την διάρκεια των πειραμάτων.

### 7.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΤΑΧΥΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER

Ο προσδιορισμός του φάσματος της ενέργειας των καταγραφών των κυμάτων έγινε με την μέθοδο της φασματικής ανάλυσης, η οποία αποτελεί μεθοδολογία περιγραφής μιας κατάστασης διαταραχής της θαλάσσιας επιφάνειας. Το φάσμα ενέργειας εκφράζει την κατανομή της ενέργειας του κάθε κύματος στις διάφορες συχνότητες και συνεπώς Περιόδους.

Σκοπός της φασματικής ανάλυσης είναι ο υπολογισμός της συνάρτησης πυκνότητας φάσματος ή απλά φάσμα ενέργειας απομακρύνσεων  $n(t)$  της θαλάσσιας επιφάνειας.

$$S(f) = \frac{2}{\pi} \int_0^{+\infty} R(\tau) * \cos f\tau dt$$

Η συνάρτηση  $S(f)$  ονομάζεται συνάρτηση πυκνότητας φάσματος ή απλά φάσμα ενέργειας απομακρύνσεων  $n(t)$  της θαλάσσιας επιφάνειας.

Όπου η συνάρτηση διακύμανσης  $R(\tau)$  δίνεται από την σχέση :

$$R(\tau) = \frac{1}{D} * \int_0^D \{(n(t) - \bar{n}) * (n(t + \tau) - \bar{n})\} * dt$$

όπου:  $n(t)$  η συνεχής καμπύλη της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας, όπως αυτή καταγράφηκε σε συνάρτηση με το χρόνο  $t$  για χρονικό διάστημα  $D$ ,

Η μέση στάθμη της θάλασσας  $\bar{n}$  μπορεί να ορισθεί είτε από την καμπύλη  $n(t)$ , είτε από το πλήθος  $N$  των τιμών της  $n(t)$  σε προκαθορισμένο χρονικό βήμα  $\Delta t$  με  $D = N * \Delta t$  και

$$\bar{n} = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N n_i$$

Για τον υπολογισμό του φάσματος των καταγραφών κάθε μετρητή για κάθε διαφορετική δοκιμή-πείραμα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Ταχέως Μετασχηματισμού Fourier (FAST FOURIER TRANSFORMATION) η οποία ευρέως χρησιμοποιείται για την ανάλυση καταγραφών σημάτων.

Η μέθοδος του Ταχέως Μετασχηματισμού Fourier, εξασφαλίζει την πιο σύντομη και ακριβή εκτίμηση της συνάρτησης  $S(f)$  κατευθείαν από τη χρονοσειρά  $N$  και αποτελεί ένα γρήγορο και αποδοτικό τρόπο υπολογισμού του διακριτού μετασχηματισμού Fourier (Discrete Fourier Transform).

Στην πράξη ο ταχύς μετασχηματισμός Fourier αποσυνθέτει το σύνολο του προς μετασχηματισμό στοιχείων, σε μία σειρά υποσυνόλων. Στη συνέχεια αποσυνθέτει τα υποσύνολα σε ακόμη μικρότερα σύνολα στοιχείων. Σε κάθε στάδιο της επεξεργασίας τα αποτελέσματα του προηγούμενου σταδίου συνδυάζονται με ειδικό τρόπο. Τέλος υπολογίζει τον διακριτό μετασχηματισμό Fourier κάθε μικρού συνόλου στοιχείων.

Ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier πραγματοποιεί  $N^2$  πράξεις για  $N$  σημεία. Με δεδομένο ότι σε οποιοδήποτε στάδιο ο υπολογισμός που απαιτείται για να συνδυάσει τους διακριτούς μετασχηματισμούς μικρότερων συνόλων σε διακριτούς μετασχηματισμούς μεγαλύτερων συνόλων, είναι ανάλογος προς το  $N * \log_2(N)$ . Επομένως ο λόγος μεταξύ ενός διακριτού μετασχηματισμού και ενός ταχέως μετασχηματισμού είναι ανάλογος προς το  $\frac{N}{\log_2(N)}$ .

Σε περιπτώσεις που το  $N$  είναι μικρό η παραπάνω αναλογία δεν είναι σημαντική, αλλά όταν το  $N$  αυξάνεται η αναλογία αυξάνεται σημαντικά. Η χρήση του ταχέως μετασχηματισμού Fourier επιτυγχάνει τη διαδικασία υπολογισμού και περιορίζει τις απαιτήσεις σε μνήμη στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η μέθοδος του ταχέως μετασχηματισμού βασίζεται στην υποδιαίρεση της χρονοσειράς  $X_r$  σε δύο υποσειρές  $y_r$  και  $z_r$ , που απαρτίζονται από άρτιους και περιττούς όρους της αρχικής σειράς

$$Y_r = X_{2r}, Z_r = X_{2r+1}$$

Όπου  $r=1,2,3,\dots,N/2$ .

Ο μετασχηματισμός Fourier της αρχικής σειράς  $X_k$ , προκύπτει από τους μετασχηματισμούς Fourier  $Y_k$  και  $Z_k$  των υποσειρών  $y_r$  και  $z_r$  αντίστοιχα σύμφωνα με τη σχέση:

$$X_k = \frac{1}{2} * [Y_k + e^{-i(2k\pi)} * N * Z_k]$$

Με βάση την παραπάνω σχέση η αρχική σειρά υποδιαιρείται διαδοχικά σε υποσειρές άρτιων και περιττών όρων, μέχρι η τελευταία τάξη υποσειρών να αποτελείται από έναν όρο. Ο μετασχηματισμός Fourier μίας σειράς με έναν όρο είναι ο ίδιος ο όρος. Τέλος εφαρμόζεται διαδοχικά αλλά με αντίστροφη φορά η παραπάνω σχέση και προκύπτει μετασχηματισμός Fourier της αρχικής χρονοσειράς.

Στην παρούσα εργασία ο αριθμός που N που χρησιμοποιήθηκε είναι N=512. Από την μέχρι σήμερα εμπειρία διαπιστώθηκε ότι ανάλυση με μικρότερο N δεν δίνει ακριβή αποτελέσματα ενώ η χρήση μεγαλύτερου αριθμού οδηγεί σε φάσματα με πολλές διακυμάνσεις.

Παρά ταύτα η εκτίμηση της περιόδου αιχμής  $T_p$  περιορίζεται στον καταμερισμό των συχνοτήτων βάση του αριθμού N, με συνέπεια για την ακριβέστερη περιγραφή του φάσματος να προτιμάται η χρήση της μέσης περιόδου  $T_m$  η οποία φασματικά υπολογίζεται ως το ολοκλήρωμα της συνάρτησης της ροπής  $m_0$

### 7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα εργασία για την φασματική ανάλυση των μετρήσεων των κυμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο του HR WALLINFORD HR WAVE DATA ACQUISITION AND ANALYSIS το οποίο χρησιμοποιεί τον Ταχύ Μετασχηματισμό Fourier για τον υπολογισμό χαρακτηριστικών μεγεθών των φασμάτων. Στον Πίνακα 7.1 που ακολουθεί δίνονται οι παράμετροι που υπολογίζονται για κάθε μετρητή σε κάθε μέτρηση. Στην συνέχεια δίνονται οι τιμές των φασμάτων για την πυκνότητα ενέργειας, ροπές μηδενικής, 2<sup>ας</sup>, 4<sup>ης</sup> τάξεως, το RMS, της μέσης Περιόδου και του E.

Με βάση τα στοιχεία αυτά δύνανται να εκτυπωθούν τα αντίστοιχα φάσματα όπως π.χ. το φάσμα της πυκνότητας ενέργειας (Βλ. Σχήμα 7.1)

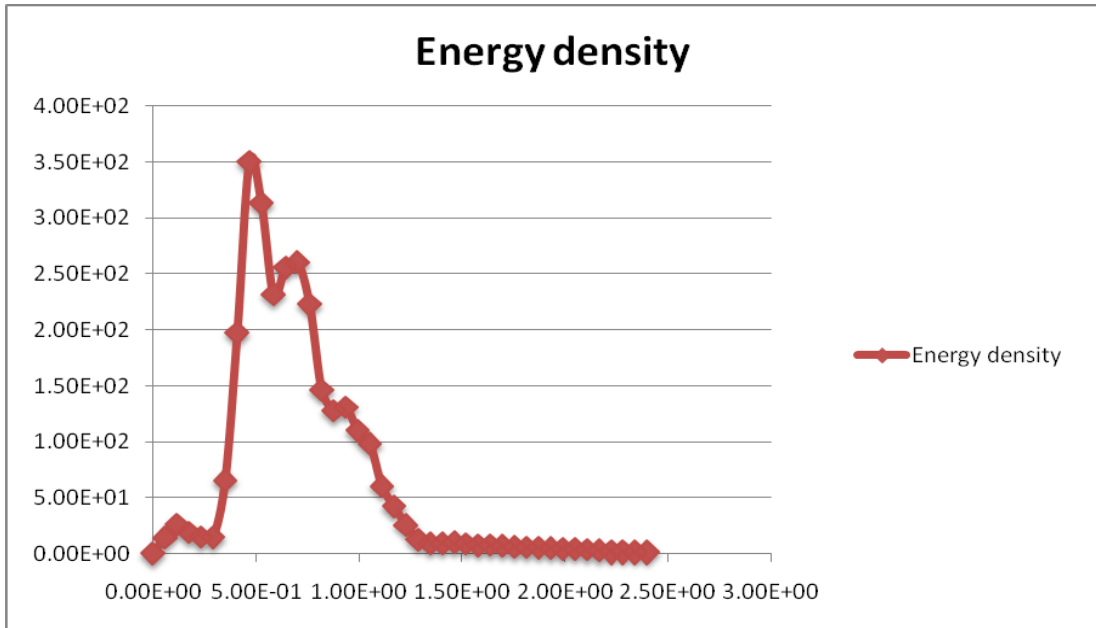




## \*\*\*\* SPECTRAL ANALYSIS \*\*\*\*

Frequency	Period	Energy density	m0 (cumulative)	m2 (cumulative)	m4 (cumulative)	RMS (cumulative)	Tm (cumulative)	Epsilon (cumulative)
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5.86E-02	1.71E+01	1.42E+01	4.16E-01	1.43E-03	4.91E-06	6.45E-01	1.71E+01	0.00E+00
1.17E-01	8.53E+00	2.59E+01	1.59E+00	1.33E-02	1.53E-04	1.26E+00	1.09E+01	5.25E-01
1.76E-01	5.69E+00	1.90E+01	2.91E+00	4.09E-02	8.28E-04	1.70E+00	8.43E+00	5.52E-01
2.34E-01	4.27E+00	1.49E+01	3.90E+00	8.21E-02	2.68E-03	1.98E+00	6.89E+00	5.95E-01
2.93E-01	3.41E+00	1.46E+01	4.76E+00	1.43E-01	7.14E-03	2.18E+00	5.78E+00	6.33E-01
3.52E-01	2.84E+00	6.54E+01	7.11E+00	4.16E-01	3.96E-02	2.67E+00	4.13E+00	6.19E-01
4.10E-01	2.44E+00	1.97E+02	1.48E+01	1.62E+00	2.32E-01	3.85E+00	3.02E+00	4.82E-01
4.69E-01	2.13E+00	3.50E+02	3.08E+01	4.85E+00	8.90E-01	5.55E+00	2.52E+00	3.79E-01
5.27E-01	1.90E+00	3.13E+02	5.02E+01	9.65E+00	2.09E+00	7.09E+00	2.28E+00	3.39E-01
5.86E-01	1.71E+00	2.32E+02	6.62E+01	1.45E+01	3.60E+00	8.14E+00	2.13E+00	3.39E-01
6.45E-01	1.55E+00	2.56E+02	8.05E+01	2.00E+01	5.69E+00	8.97E+00	2.01E+00	3.60E-01
7.03E-01	1.42E+00	2.60E+02	9.56E+01	2.68E+01	8.85E+00	9.78E+00	1.89E+00	3.85E-01
7.62E-01	1.31E+00	2.23E+02	1.10E+02	3.44E+01	1.29E+01	1.05E+01	1.79E+00	4.06E-01
8.20E-01	1.22E+00	1.46E+02	1.21E+02	4.11E+01	1.70E+01	1.10E+01	1.71E+00	4.23E-01
8.79E-01	1.14E+00	1.28E+02	1.29E+02	4.68E+01	2.12E+01	1.13E+01	1.66E+00	4.42E-01
9.38E-01	1.07E+00	1.31E+02	1.36E+02	5.31E+01	2.64E+01	1.17E+01	1.60E+00	4.64E-01
9.96E-01	1.00E+00	1.10E+02	1.43E+02	5.96E+01	3.25E+01	1.20E+01	1.55E+00	4.86E-01
1.05E+00	9.48E-01	9.81E+01	1.49E+02	6.60E+01	3.93E+01	1.22E+01	1.50E+00	5.06E-01
1.11E+00	8.98E-01	6.03E+01	1.54E+02	7.14E+01	4.55E+01	1.24E+01	1.47E+00	5.21E-01
1.17E+00	8.53E-01	4.20E+01	1.57E+02	7.53E+01	5.06E+01	1.25E+01	1.44E+00	5.34E-01
1.23E+00	8.13E-01	2.54E+01	1.59E+02	7.81E+01	5.46E+01	1.26E+01	1.43E+00	5.44E-01

Πίνακας 7.2 Αποτελέσματα φασματικής ανάλυσης μετρήσεως κύματος



Σχήμα 7.1 Φάσμα πυκνότητας ενέργειας

#### 7.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Ο υπολογισμός του συντελεστή ανάκλασης των μετρήσεων των κυμάτων έγινε με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Η μέθοδος αρχικά αναπτύχθηκε από τους Mansard and Funke (1980) και εξελίχθηκε από τους Beresford and all (2005) λαμβάνοντας υπόψιν την μη συνέχεια των αποστάσεων των μετρητών κυμάτων και ψευδοτριδιάστατες κυματικές καταστάσεις σύμφωνα με την μέθοδο του Isaacson(1991) καθώς και τον αυθαίρετο αριθμό μετρητών κύματος με τους συντελεστές βαρύτητας σύμφωνα με τους Zelt and Skejlbreia (1992). Η μέθοδος καταλήγει σε 3 εξισώσεις, οι οποίες επιλυόμενες δίνουν τα επιθυμητά αποτελέσματα και επιτρέπουν τον υπολογισμό του προσπίπτοντος φάσματος του κυματισμού, τον συντελεστή ανάκλασης του φάσματος και την μεταβολή της φάσης του φάσματος .

Οι τρεις εξισώσεις είναι οι ακόλουθες:

$$a_n = |Z_{In}|$$

$$C_{rn} = \frac{Z_{Rn}}{Z_{In}}$$

$$\gamma_n = \arg(Z_{Rn}) - \arg(Z_{In}) - 2k_{xn}x1 = \Psi_{I1n} - \Psi_{R1n} - 2k_{xn}x1$$

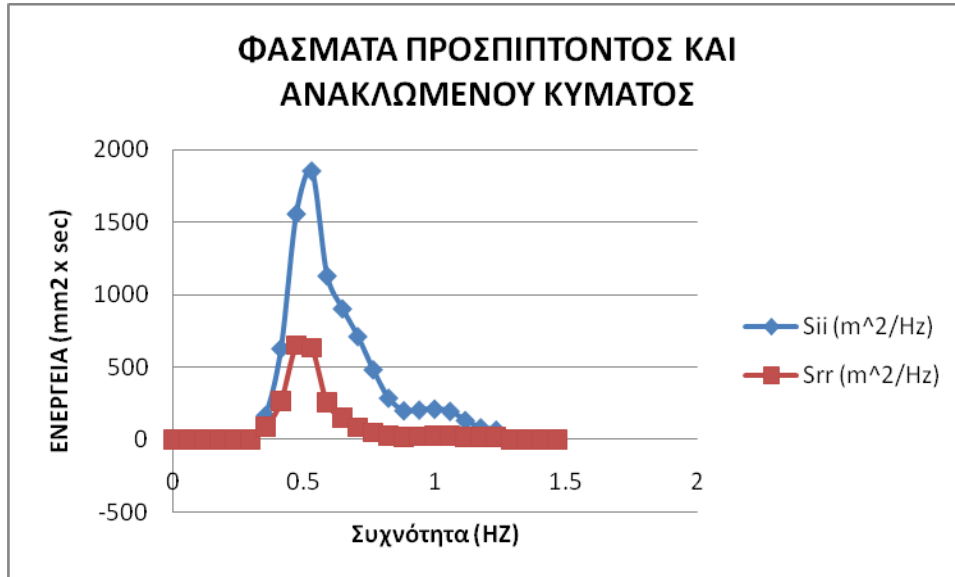
Όπου  $\Psi$  οι φάσεις.  $Z$  οι συντελεστές Fourier

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας παρουσιάζονται σε μορφή Πίνακα ως ακολούθως

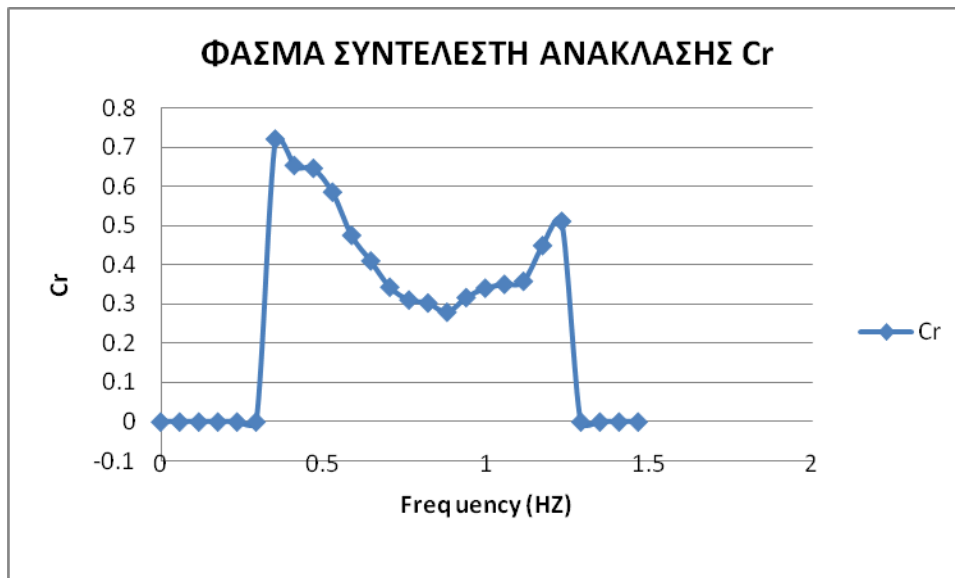
C:\HR		Wavedata\sofok13\Test_0009_2013Feb04h13m55.rfl		
smoothing:		512		
Bulk	Reflection	Coefficient:		0.5144
Spectra				
Sii	-	incident	spectrum	
Srr	-	reflected	spectrum	
Crr	-	reflection	coefficient	
Freq	Sii	Srr	Crr	
(Hz)	(m <sup>2</sup> /Hz)	(m <sup>2</sup> /Hz)		
0	0	0	0	
0.058594	0	0	0	
0.117188	0	0	0	
0.175781	0	0	0	
0.234375	0	0	0	
0.292969	0	0	0	
0.351563	167.6499	86.72094	0.719218	
0.410157	628.5082	267.4683	0.65235	
0.46875	1558.381	648.6005	0.645137	
0.527344	1854.152	633.288	0.584424	
0.585938	1129.985	254.4172	0.474501	
0.644532	903.7083	151.5389	0.409494	
0.703126	712.1404	83.77772	0.34299	
0.76172	483.2301	46.51512	0.310256	
0.820313	287.5304	26.31402	0.302518	
0.878907	200.3368	15.60208	0.279069	
0.937501	205.6373	20.60198	0.316522	
0.996095	211.7405	24.51496	0.340262	
1.054689	196.9693	24.14845	0.350143	
1.113282	133.354	17.06964	0.357774	
1.171876	83.25293	16.76312	0.448722	
1.23047	66.76871	17.38405	0.510257	
1.289064	0	0	0	
1.347658	0	0	0	
1.406251	0	0	0	
1.464845	0	0	0	
1.523439	0	0	0	
1.582033	0	0	0	
5.097661	0	0	0	

**Πίνακας 7.3** Αποτελέσματα υπολογισμού ανάκλασης κυμάτων

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα εκτυπώνονται τα παρακάτω διαγράμματα για κάθε σετ υπολογισμού ανάκλασης, για το οποίο απαιτούνται καταγραφές από 4 μετρητές κύματος τοποθετημένους σε προκαθορισμένες θέσεις.



**Σχήμα 7.2** Φάσμα πυκνότητας ενέργειας για το προσπίπτον και το ανακλώμενο κύμα



**Σχήμα 7.3** Φάσμα συντελεστού ανάκλασης ανά συχνότητα

## 7.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ $h^*$ Η $d^*$

Γενικώς όλες οι μέχρι σήμερα συσχετίσεις του συντελεστή ανάκλασης συνδέονται με την παράμετρο θραύσεως του κυματισμού  $\xi$ , όπου  $\xi$

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

7.1

Όπου:

$\tan\alpha$  η κλίση του πυθμένα . Σημειώνεται ότι σε ορισμένες σχέσεις που συνδέουν τον συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο  $\xi$  και αναφέρονται σε διατομές με θωράκιση ή πρανές λαμβάνεται ως  $\tan\alpha$  η κλίση του πρανούς. Αυτό προσδιορίζεται από τον συγγραφέα.

Η το ύψος κύματος και  $T$  η περίοδος του κύματος και προσδιορίζονται ανάλογα στις διάφορες σχέσεις.

Σύμφωνα με τις εμπειρικές σχέσεις που προτείνονται για τον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης, ουσιαστικά αναφέρονται στην επίδραση που έχει ο πυθμένας ή το πρανές στην απορρόφηση ενέργειας και ουσιαστικά αγνοούν την διατομή του έργου. Στην περίπτωση οριζόντιου πυθμένα, η κλίση του πρανούς ή πυθμένα απειρίζεται και η τιμή του συντελεστή ανάκλασης σε κατακόρυφα μέτωπα τείνει στην μονάδα. Στην πράξη όμως όταν υπάρχει διάταξη απομείωσης ενέργειας, όχι κατ' ανάγκη με λιθορριπή, η παράμετρος  $\xi$  δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Εξάλλου οι σχέσεις αυτές αναπτύχθηκαν κυρίως για θάλασσες με ήπιες κλίσεις.

Οι προσπάθειες που έγιναν για τον υπολογισμό της ανακλαστικότητας διάτρητων κατακόρυφων μετώπων ουσιαστικά οδηγούν στην προσπάθεια του υπολογισμού της απώλειας ενέργειας μέσω των οπών, σχισμών κλπ. Τα πειραματικά αποτελέσματα δεν οδήγησαν σε εμπειρικές σχέσεις αλλά περισσότερο χρησιμοποιήθηκαν για να αναπτυχθούν αριθμητικές λύσεις .

Οι περιπτώσεις κατακορύφου μετώπου που μελετήθηκαν, είχαν σαν απώτερο στόχο την χρήση παρόμοιων κατασκευών είτε σε εσωτερικές λιμενολεκάνες, άρα συχνά με οριζόντιο πυθμένα, είτε σε βαθιά νερά με απότομες κλίσεις που δεν επιδρούν στα κυματικά χαρακτηριστικά. Για τον λόγο αυτό τμήμα των μετρήσεων που αξιολογήθηκαν στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή έγιναν σε επίπεδο πυθμένα. Με βάση τα στοιχεία αυτά και την ύπαρξη θαλάμου απομείωσης κυματισμών, αναζητήθηκε μια αδιάστατη παράμετρος για την συσχέτιση της με τον συντελεστή ανάκλασης.

Από την διερεύνηση της βιβλιογραφίας για την υπερπήδηση και επειδή τμήμα της Διατριβής αφορά στην υπερπήδηση, επελέγη να χρησιμοποιηθεί η αδιάστατη παράμετρος  $h_*$ , βάση της οποίας διαχωρίζονται σε «παλλόμενα» και «μη παλλόμενα» τα προσπίπτοντα κύματα επί κατακορύφου μετώπου, όπου  $h_*$ :

$$h_* = \frac{h_s}{H_s} \frac{h_s}{L_o} \quad 7.2$$

Η παράμετρος εμπεριέχει δύο λόγους μαζί, το χαρακτηριστικό ύψος κύματος και το μήκος κύματος και τα δύο μαζί, συνδυασμένα με το τοπικό βάθος νερού  $h_s$ . Οι μη παλλόμενες κυματικές συνθήκες παρουσιάζονται για  $h_* < 0.3$  ενώ παλλόμενες κυματικές συνθήκες επικρατούν όταν  $h_* > 0.3$ . Η παράμετρος αυτή συνδυάστηκε με σχέσεις για μη παλλόμενες κυματικές συνθήκες και σε αδιάστατα μεγέθη όπως η αδιάστατη παροχή υπερπήδησης και το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο όπως αυτό αναφέρεται στην συνέχεια. Το σύνολο σχεδόν των μετρήσεων ανήκει σε παλλόμενες κυματικές συνθήκες.

Με την παράμετρο  $h_*$  γίνεται προσπάθεια να διερευνηθεί η σχέση του συντελεστή ανάκλασης με τα χαρακτηριστικά του κύματος, του τοπικού βάθους  $h_s$  και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής. Η ίδια παράμετρος επίσης επελέγει να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση του συντελεστή ανάκλασης στις περιπτώσεις των κατακόρυφων μετώπων με τοίχο επιστροφής κυμάτων καθώς και για την εκτίμηση της παροχής υπερπήδησης, ούτως ώστε να είναι δυνατόν να συσχετισθούν τα δύο φαινόμενα. Στην περίπτωση κατά την οποία το κατακόρυφο μέτωπο εδράζεται σε μικτή διατομή, η παράμετρος  $h_*$  αντικαθίσταται από την παράμετρο  $d_*$ , όπου:

$$d_* = \frac{h_s}{H_s} \frac{d_s}{L_o} \quad 7.3$$

Όπου:  $d_s$  το τοπικό βάθος νερού στην στέψη της θωράκισης της μικτής διατομής.

$H_s$  το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στην θέση  $h_s$

$L_o$  το μήκος κύματος στην θέση  $h_s$  για βαθιά νερά, υπολογισμένο βάσει της μέσης περιόδου από την φασματική ανάλυση

Στην προκειμένη περίπτωση κατά την οποία υπάρχουν 2 ενδιάμεσες στάθμες ως  $h_s$  και ως  $d_s$  ελήφθησαν το βάθος όπου τοποθετήθηκε ο μετρητής κύματος ο πλησιέστερος στην διατομή και το βάθος της στέψης των ογκολίθων αντιστοίχως. Το βάθος του αντισταθμιστικού περιμετρικού αναχώματος δεν ελήφθη υπόψιν. Υπολογισμοί οι οποίοι το συμπεριέλαβαν έδειξαν μικρή διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων.

## 7.6 ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ -ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ

Ως ελεύθερο περιθώριο ορίζεται η απόσταση από την ελεύθερη επιφάνεια του ύδατος μέχρι την στέψη της ανωδομής της διατομής.

Όπου αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο  $R_c^*$  ορίσθηκε ο λόγος:

$$R_c^* = h_s \frac{R_c}{H_s} \quad 7.4$$

Αντικαθιστώντας την αδιάστατο παράμετρο  $h^*$  με την σχέση ορισμού της καταλήγει το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο στην παρακάτω σχέση:

$$h_s \frac{R_c}{H_s} = \frac{h_s}{H_s} \frac{h_s}{L_{mo}} \frac{R_c}{H_s} \quad 7.5$$

Παρατηρώντας τον παρονομαστή της σχέσης 7.5 διακρίνεται ότι περιέχει τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ενέργειας του κύματος, ως εκ τούτου αναζητείται η σύνθεση του αριθμητή που θα καθορίσει το ποσόν ενέργειας που απορροφάται ή χάνεται ώστε να εκτιμηθεί ο συντελεστής ανάκλασης.

Βασική παράμετρος που θα χρησιμοποιηθεί για την συσχέτιση του μέσου συντελεστή ανάκλασης είναι το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο όπως καθορίσθηκε παραπάνω.

## 7.7 ΣΧΕΤΙΚΟ ΒΑΘΟΣ ΝΕΡΟΥ $h/L_{mo}$

Η παράμετρος  $h/L_{mo}$  (Σχετικό βάθος νερού) είναι η πιο κοινή χρησιμοποιούμενη παράμετρος στην θαλάσσια Υδραυλική. Βάσει αυτής υπολογίζεται η μεταβολή του μήκους και του ύψους κύματος λόγω της επίδρασης του πυθμένα.

## 7.8 ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ Η ΣΧΕΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ $Cr^*$

Οι διατομές που ελέγχθησαν στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή είχαν σημαντικές διαφορές στην ανακλαστικότητα με συνέπεια ο μέσος συντελεστής ανάκλασης που υπολογίσθηκε να διαφοροποιείται σημαντικά. Επιπλέον, από την παραμετρική ανάλυση εμφανίζεται να επηρεάζεται, ο μέσος συντελεστής ανάκλασης, από διάφορες παραμέτρους με διαφορετική επιρροή στην ίδια σειρά μετρήσεων. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να σταθμιστεί ο συντελεστής ανάκλασης ούτως ώστε να εξομαλυνθούν μερικές παράμετροι. Ορίσθηκε ως σταθμισμένος ή σχετικός μέσος συντελεστής ανάκλασης ο λόγος του μέσου συντελεστή ανάκλασης προς τον λόγο του ελεύθερου περιθωρίου προς το μετρηθέν χαρακτηριστικό ύψος κύματος στον πόδα του έργου, ήτοι:



$$C_r^* = \frac{C_r}{\frac{R_c}{H_s}}$$

7.6

Ο σταθμισμένος ή σχετικός συντελεστής ανάκλασης συσχετίστηκε με την παράμετρο  $h^*$ .

## 7.9 ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ

Για την εκτίμηση της μέσης παροχής υπερπήδησης χρησιμοποιήθηκαν ειδικά κυτία τα οποία τοποθετήθηκαν ακριβώς πίσω από τις διατομές των έργων.

Ως μέση παροχή υπερπήδησης ορίζεται ο λόγος του όγκου δια του χρόνου κατά τον οποίο συλλέχθηκε το ύδωρ της υπερπήδησης. Για την εκτίμηση του μέσης παροχής υπερπήδησης χρειάζονται τουλάχιστον 1000 κύματα. Στην συγκεκριμένη εργασία και επειδή σκοπός της δεν ήταν η εκτίμηση της μέσης παροχής υπερπήδησης αλλά ο συσχετισμός της με τον συντελεστή ανάκλασης, ως μέση παροχή υπερπήδησης θεωρείται ο μέσος όρος των παροχών των 3 κυτίων τα οποία τοποθετήθηκαν πίσω από τις διατομές και συλλέγαν το υπερπηδόν ύδωρ. Ως μέγιστη μέση παροχή υπερπήδησης ορίστηκε η μεγαλύτερη παροχή υπερπήδησης που καταγράφηκε κατά την διάρκεια κάθε πειράματος.

Ως αδιάστατη παροχή υπερπήδησης ορίζεται ο λόγος:

$$q = \frac{Q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}}$$

7.7

Κατά την μελέτη τόσο της ανάκλασης όσο και της κυματικής υπερπήδησης, το ελεύθερο περιθώριο αδιαστατοποιήθηκε. Η κυματική υπερπήδηση αδιαστατοποιήθηκε επίσης και συσχετίστηκε με το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο. (Eurotop 2007)

Για τον υπολογισμό της παροχής υπερπήδησης μέσω της αδιάστατης παροχής υπερπήδησης έχουν προταθεί από το (Eurotop 2007) οι παρακάτω σχέσεις.

Πιθανολογικός Σχεδιασμός:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.04 \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \text{ με ισχύ για } 0.1 < R_c / H_{m0} < 3.5 \quad 7.8$$

Ντετερμινιστικός Σχεδιασμός:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.04 \exp\left(-1.8 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \text{ με ισχύ για } 0.1 < R_c / H_{m0} < 3.5 \quad 7.9$$

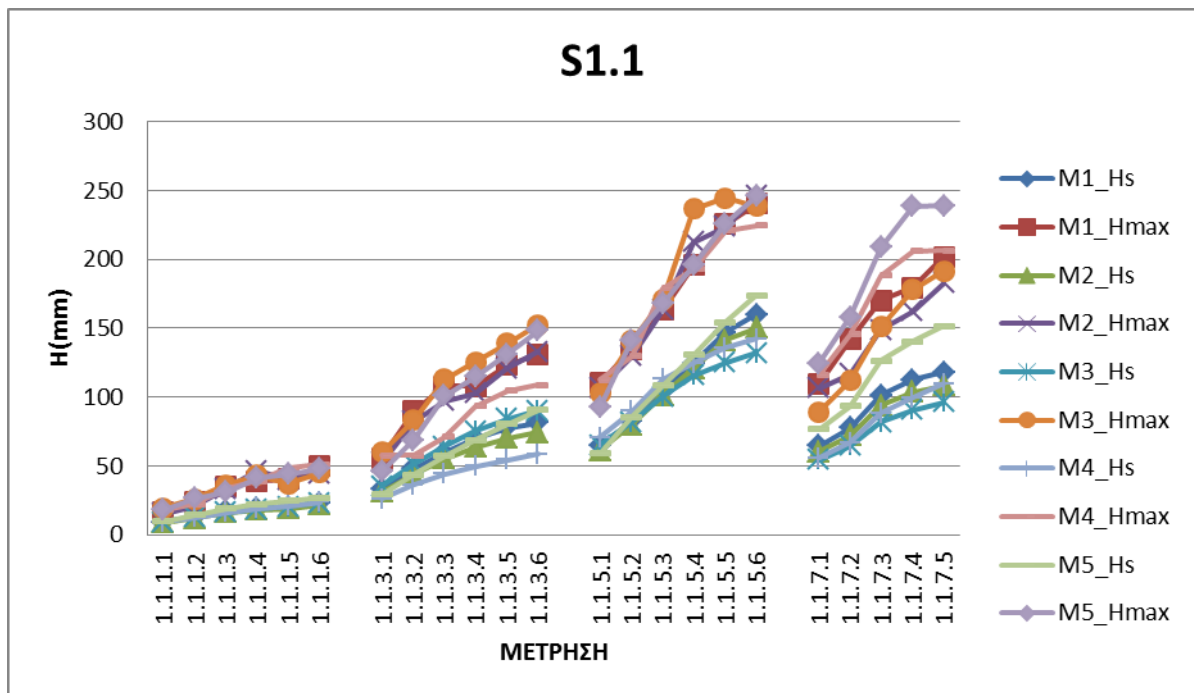
## 8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι μετρήσεις όλων των σειρών κατ αρχήν επεξεργάστηκαν με την μέθοδο του ταχέως μετασχηματισμού Fourier όπως αυτή περιγράφηκε στο κεφάλαιο 7. Για κάθε μετρητή κύματος σε κάθε μέτρηση προεκυψε ένα αρχείο με τα στοιχεία της φασματικής και αναλυτικής επεξεργασίας. Στην συνέχεια για κάθε μέτρηση υπολογίσθηκαν τα φάσματα του προσπίπτοντος, του ανακλώμενου κυματισμού και του συντελεστού ανάκλασης.

Με βάση τα στοιχεία των παραπάνω επεξεργασιών συμπλήρώθηκαν πίνακες με τις βασικότερες παραμέτρους κάθε μετρητή κύματος και στην συνέχεια έγιναν τα σχετικά συγκεντρωτικά διαγράμματα.

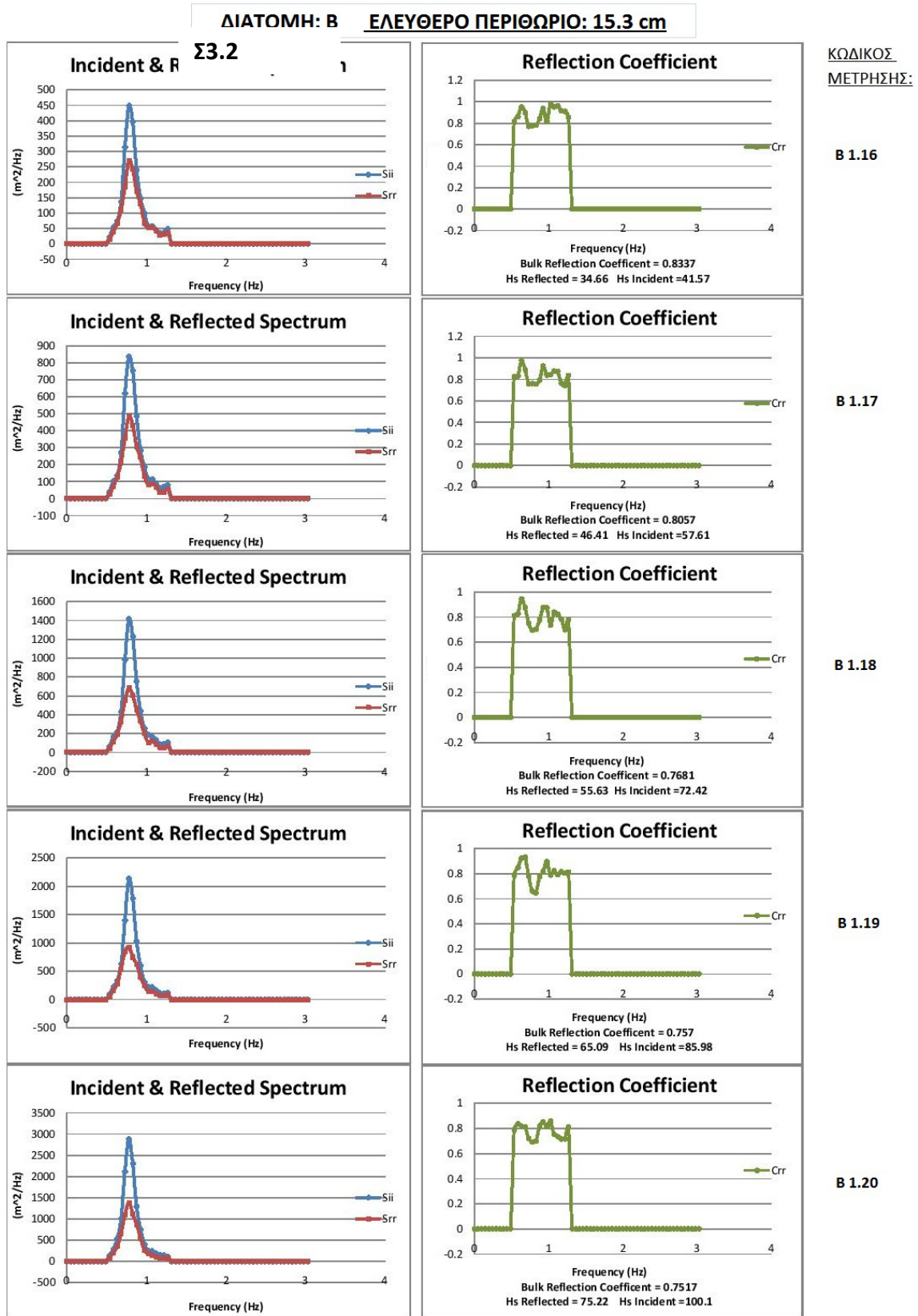
Λόγω του μεγάλου όγκου των αποτελεσμάτων παρατίθενται ενδεικτικά τμήμα αυτών ενώ το σύνολο παρουσιάζεται στο ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Β

Στον Πίνακα που ακολουθεί δίνονται συγκεντρωτικά αποτελέσματα της διάταξης Σ1.1 που αφορούν την κυματική διαταραχή. Για κάθε μέτρηση παρουσιάζονται τα Χαρακτηριστικά ύψη κύματος στις θέσεις των μετρητών (από M1 έως και M5) καθώς και τα μέγιστα καταγραφέντα στις ίδιες θέσεις.



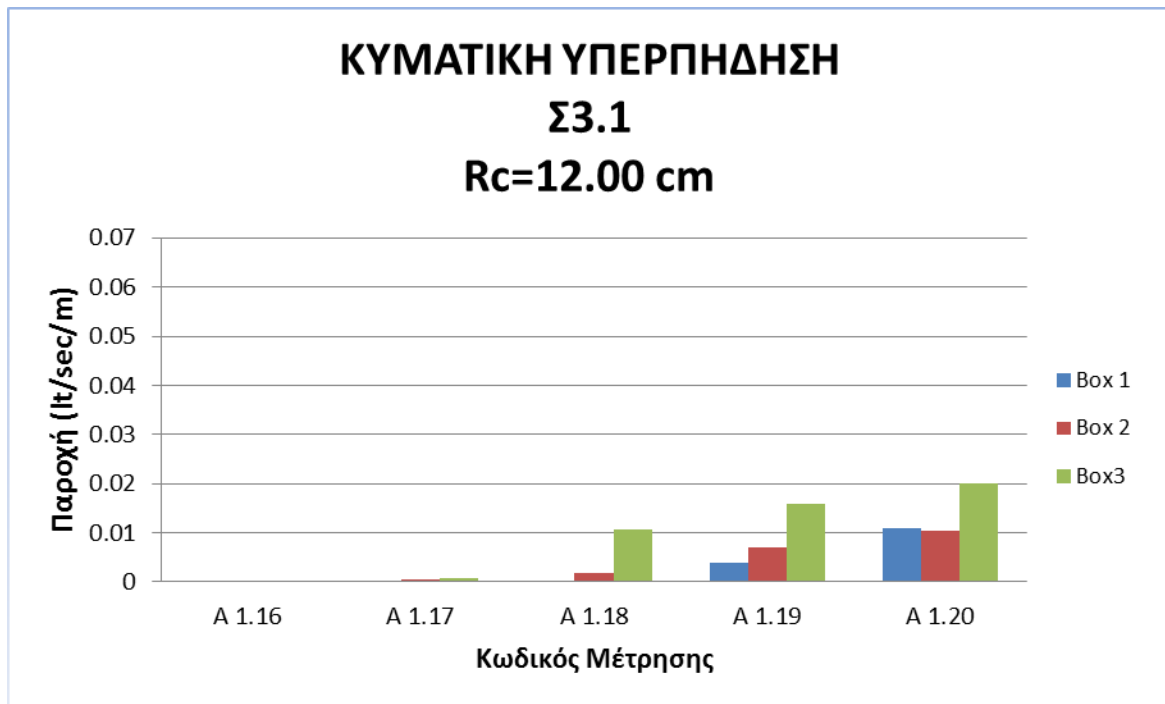
**Διάγραμμα 8.1** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.1

Στο Διάγραμμα 8.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται ανά μέτρηση τα φάσματα των προσπιπτόντων των ανακλωμένων κυμάτων και των συντελεστών ανάκλασης



**Διάγραμμα 8.2.** Φάσματα προσπιπτοντος, ανακλώμενου κυματισμού και συντελεστή ανάκλασης της Σειράς 3.

Στο Διάγραμμα 3 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παροχές υπερπήδησης όπως υπολογίσθηκαν ανά κωδικό



**Διάγραμμα 8.3.** Μετρήσεις κυματικής υπερπήδησης.



## 9. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### 9.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η διαφορετικότητα τόσο των πειραματικών διατάξεων όσο και των παραμέτρων που υπεισήλθαν στα πειραματικά αποτελέσματα που καλείται να διαχειρισθεί η παρούσα Διδακτορική Διατριβή αποτελούν πρόκληση για την εύρεση και συσχέτιση παραμέτρων που να περικλείουν το σύνολο των δεδομένων.

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων αναζητήθηκαν οι παράμετροι οι οποίες θα οδηγήσουν στην καλύτερη συσχέτιση αυτών και στην εύρεση εμπειρικών σχέσεων για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή ανάκλασης καθώς και της συσχέτισης του συντελεστή ανάκλασης με την μέση παροχή υπερπήδησης κυμάτων.

Η μέχρι τώρα πειραματική αναζήτηση του συντελεστή ανάκλασης καθορίστηκε από τον αριθμό θραύσεως  $\xi$ . Χωρίς να μειώνεται η σημασία του συντελεστή αυτού είμαστε υποχρεωμένοι να αναζητήσουμε και άλλες διαδρομές όταν ο συντελεστής  $\xi$  δεν μπορεί να υπολογιστεί καθότι η κλίση του πυθμένα είναι μηδενική .

Στην παρακάτω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν, ως κυματικά χαρακτηριστικά στον πόδα των έργων, τα εξής μεγέθη, τα οποία βασικά εισήλθαν στην παραμετρική ανάλυση:

**Χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_s$ :** όπως υπολογίσθηκε από την φασματική ανάλυση.

**Μέση Περίοδος  $T_m$ :** όπως υπολογίσθηκε από την φασματική ανάλυση.

**Μήκος κύματος  $L_{m0}$ :** υπολογισμένο από τον τύπο  $L_{m0} = 9.81 \times T_m^2 / 2\pi$ .

Σημειώνεται ότι δεν χρησιμοποιήθηκε το μήκος κύματος σε συγκεκριμένο βάθος, διότι ο υπολογισμός της τιμής στην ρήχωση γίνεται με την παραδοχή της αμελητέας ανάκλασης του πυθμένα (Μουτζούρης 1989), το οποίο δεν γίνεται αποδεκτό στην συγκεκριμένη έρευνα. Εξάλλου και στην διεθνή βιβλιογραφία αυτή η τιμή του μήκους κύματος χρησιμοποιείται.

Στις αρχικές μετρήσεις υπήρχε η τάση να εξαρτηθεί ο συντελεστής ανάκλασης από την καμπυλότητα του κύματος και για τον λόγο αυτό ελεγχόταν, για κάθε περίοδο 5 διαφορετικά ύψη κύματος. Κατά την διάρκεια όμως της επεξεργασίας διαπιστώθηκε ότι μεγαλύτερη επίδραση είχαν τα διαφορετικά βάθη ύδατος και οι διαφορετικές περίοδοι. Για τον λόγο αυτό οι αρχικές μετρήσεις Σ1.1 έως Σ1.4, και Σ2 εστιάζουν περισσότερο στις μετρήσεις με πολλά ύψη κύματος και λίγες στάθμες. Στην συνέχεια η διερεύνηση συνεχίσθηκε σε περισσότερες περιόδους και στάθμες και λιγότερα ύψη κύματος.

Χρησιμοποιήθηκαν επίσης η αδιάστατη παράμετρος  $h^*$ , ή  $d^*$ , το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο  $R_c^*$ , τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατομών και των λιθορριπών

αδιαστατοποιημένα, το σχετικό βάθος νερού  $h/L_{m0}$ , ήτοι ουσιαστικά ο αριθμός κύματος επί το βάθος  $kh = 2\pi h/L_{m0}$  και τέλος υπολογίστηκε ο σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης.

Έγινε επίσης προσπάθεια να υπολογιστούν συντελεστές επιρροής διαφόρων μεγεθών στην σύγκριση των υψών κύματος στον πόδα του έργου, όπου ήταν δυνατόν, καθώς και στον συντελεστή ανάκλασης.

Τέλος για τις διατομές των Σειρών 3 και 4 οι οποίες είναι όμοιες στο κατακόρυφο μέτωπο αλλά ελέγχθηκαν σε τρισδιάστατο και δισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα αντίστοιχα, έγινε συσχέτιση των ιδίων μεγεθών ή και παραμέτρων και διαπιστώθηκαν ομοιότητες ή διαφορές.

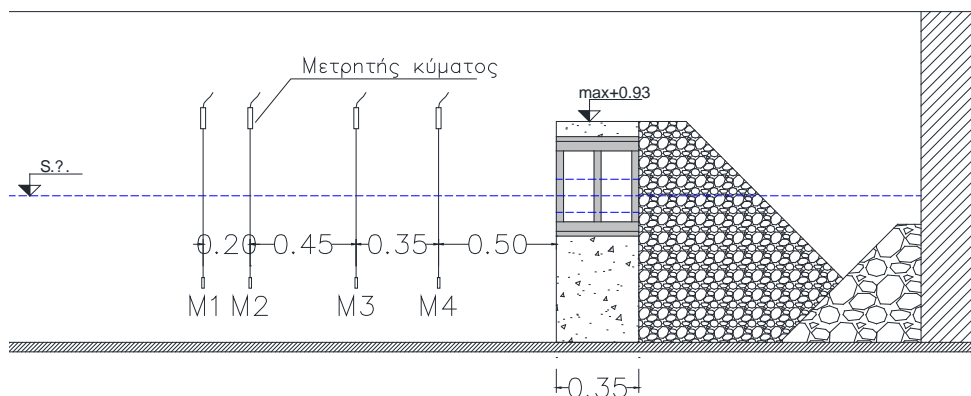
Στην συνέχεια παρουσιάζονται διαγράμματα με τις σημαντικότερες συσχετίσεις ανά Σειρά μετρήσεων. Αρχικά παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα κάθε Σειράς μετρήσεων όσο χαοτικά και αν φαίνονται από την πρώτη ματιά ενώ στην συνέχεια η ανάλυση περιορίζεται ανά ομοειδή αποτελέσματα. Σημειώνεται ότι λόγω της διαφορετικής συμπεριφοράς της ανακλαστικότητας των διατομών, διαφορετικά διαγράμματα επελέγησαν να παρουσιαστούν ανά κατηγορία

Στο Υπόμνημα των διαγραμμάτων που συσχετίζουν τον συντελεστή ανάκλασης με τις διάφορες παραμέτρους η σήμανση αναφέρεται ως ακολούθως:

$S_n.m.i$  όπου  $S_n$  η Σειρά,  $m$  η διάταξη και  $i$  το διαφορετικό ελεύθερο περιθώριο ή βάθος ύδατος.

## 9.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 1

Στην Σειρά 1 ελέγχθηκαν 8 διαφορετικές διατάξεις. Στο Σχήμα 9.1 δίνεται τυπική διατομή του φυσικού προσομοιώματος της Σειράς 1. Οι διατομές των 8 διατάξεων δίνονται στο κεφάλαιο 6



**Σχήμα 9.1.-** Τυπική τομή φυσικού προσομοιώματος και θέσεις μετρητών μετρήσεων Σειράς 1

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα διαγράμματα της συσχέτισης του συντελεστή ανάκλασης με τις ακόλουθες παραμέτρους:  $h^*$ , το αδιάστατο ελεύθερο

περιθώριο το οποίο ισούται με:  $(R_c/H_s) \times h^*$ , και το σχετικό βάθος ( $h_s/L_{m0}$ ). Κατόπιν έγινε προσπάθεια συσχέτισης μεγεθών συγκρίσιμων διατάξεων και τέλος παρουσιάζεται ο σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης  $Cr^*$  σε σχέση με την παράμετρο  $h^*$ .

Στην συνέχεια σχολιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

### 9.2.1 Γενικές παρατηρήσεις

Από το σύνολο των διαγραμμάτων 9.1 έως και 9.6 καθίσταται σαφές ότι η συμπεριφορά των έργων και συγκεκριμένα η καμπύλη του συντελεστή ανάκλασης διαχωρίζεται σε 2 βασικούς τύπους ως προς την συμπεριφορά της ανά παράμετρο:

**ΤΥΠΟΣ Α:** Ο συντελεστής ανάκλασης βαίνει αυξανόμενος καταρχήν ή και μειούμενος, αυξανόμενης της τιμής της υπό εξέταση παραμέτρου με κοίλη καμπύλη.

**ΤΥΠΟΣ Β:** Ο συντελεστής ανάκλασης βαίνει μειούμενος καταρχήν, αυξανόμενης της τιμής της υπό εξέταση παραμέτρου με κυρτή καμπύλη.

Ο συντελεστής ανάκλασης ακολουθεί τον **ΤΥΠΟ Α** για τις διατάξεις με κενό θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών και με πλήρωση του θαλάμου με λεπτόκοκκη λιθορριπή για όλες τις ελεγχθείσες παραμέτρους.

Ο συντελεστής ανάκλασης ακολουθεί τον **ΤΥΠΟ Β** για τις διατάξεις με πλήρωση του θαλάμου με χονδρόκοκκο υλικό για όλες τις ελεγχθείσες παραμέτρους. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζουν και άλλοι ερευνητές. Επίσης σε όλες τις αναφορές διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν αυτές οι τάσεις. Λόγω του περιορισμού των πειραμάτων για μη θραυόμενα κύματα, και των δυνατοτήτων των φυσικών προσομοιωμάτων δεν διαπιστώθηκε αν οι καμπύλες είναι ασυμπτωτικές ή περιοδικές. Αυξανόμενου του  $X$  παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά με μικρότερη περίοδο.

Οι διατάξεις με κενό θάλαμο ανήκουν στη κατηγορία των έργων με υψηλή ανακλαστικότητα,  $C_r > 0.80$ , ως επί το πλείστον και μόνον κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες – οι οποίες εξαρτώνται βασικά από το ύψος νερού εντός της δεξαμενής, εντός του θαλάμου και τις προσπίπτουσες κυματικές συνθήκες, εντάσσονται εν μέρει στην κατηγορία της μεσαίας ανακλαστικότητας. Άρα για να αποδώσουν οι διατάξεις με θάλαμο εκτόνωσης πρέπει να πληρωθούν με λιθορριπή.

Από όλες τις ελεγχθείσες διατάξεις μόνον η διάταξη Σ1.4 με πλήρωση του θαλάμου με λεπτόκοκκη λιθορριπή ανήκει στην κατηγορία της μεσαίας ανακλαστικότητας αποκλειστικά ή οποία ωφείλεται και στην ημιδιαπερατότητα του θαλάμου.

Οι διατάξεις με πλήρωση του θαλάμου με χονδρόκοκκη λιθορριπή, (Σ1.3, Σ1.4, Σ1.7, Σ1.8) αν και σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν πολύ χαμηλή ανακλαστικότητα αρχίζουν από υψηλές τιμές του συντελεστή ανάκλασης, ιδιαίτερα για μικρές τιμές του σχετικού βάθους  $h/L_{m0}$ , ήτοι



για κύματα σε ρηχά νερά. Επίσης τα κύματα με μικρά χαρακτηριστικά μεγέθη σε σχέση με την μέση διάμετρο των κόκκων δείχνουν μεσαία προς υψηλή ανακλαστικότητα.

Επισημαίνεται ότι οι κυματικές συνθήκες που ελέγχθησαν ήταν μη θραυόμενες. Ως εκ τούτου ορισμένες τιμές των παραμέτρων που ελέγχθησαν είχαν όριο.

### 9.2.2 Παράμετροι

#### Παράμετρος $h^*$ και αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο $R_c^*$

Από το διάγραμμα 9.1 είναι εμφανές ότι για τις διατάξεις με κενό θάλαμο, ο συντελεστής ανάκλασης, για τιμές της παραμέτρου  $h^*$  έως και 10 βαίνει αυξανόμενος ενώ στην συνέχεια μειώνεται, παραμένοντας όμως σε υψηλές τιμές σε περιοχή υψηλής ανακλαστικότητας. Οι μέγιστες τιμές βρίσκονται στην περιοχή του  $h^*=10$ . Αντίθετα ο συντελεστής ανάκλασης για τις διατάξεις με πλήρωση του θαλάμου με χονδρόκοκκο υλικό βαίνει μειούμενος μέχρι την τιμή του  $h^*=10$  περίπου, ενώ στην συνέχεια βαίνει αυξανόμενος παραμένοντας σε περιοχή μεσαίας ανακλαστικότητας. Σημειώνεται ότι η κλίμακα των παραμέτρων είναι λογαριθμική.

Για τις διατάξεις που ανήκουν αποκλειστικά στην περιοχή της υψηλής ανακλαστικότητας παρουσιάζεται νέφος σημείων στην περιοχή της κρίσιμης τιμής  $h^*=10$ . Οι διατάξεις αυτές είναι η διάταξη με μικρό πλάτος θαλάμου, οι διατάξεις με κενό θάλαμο και με μικρά ελεύθερα περιθώρια.

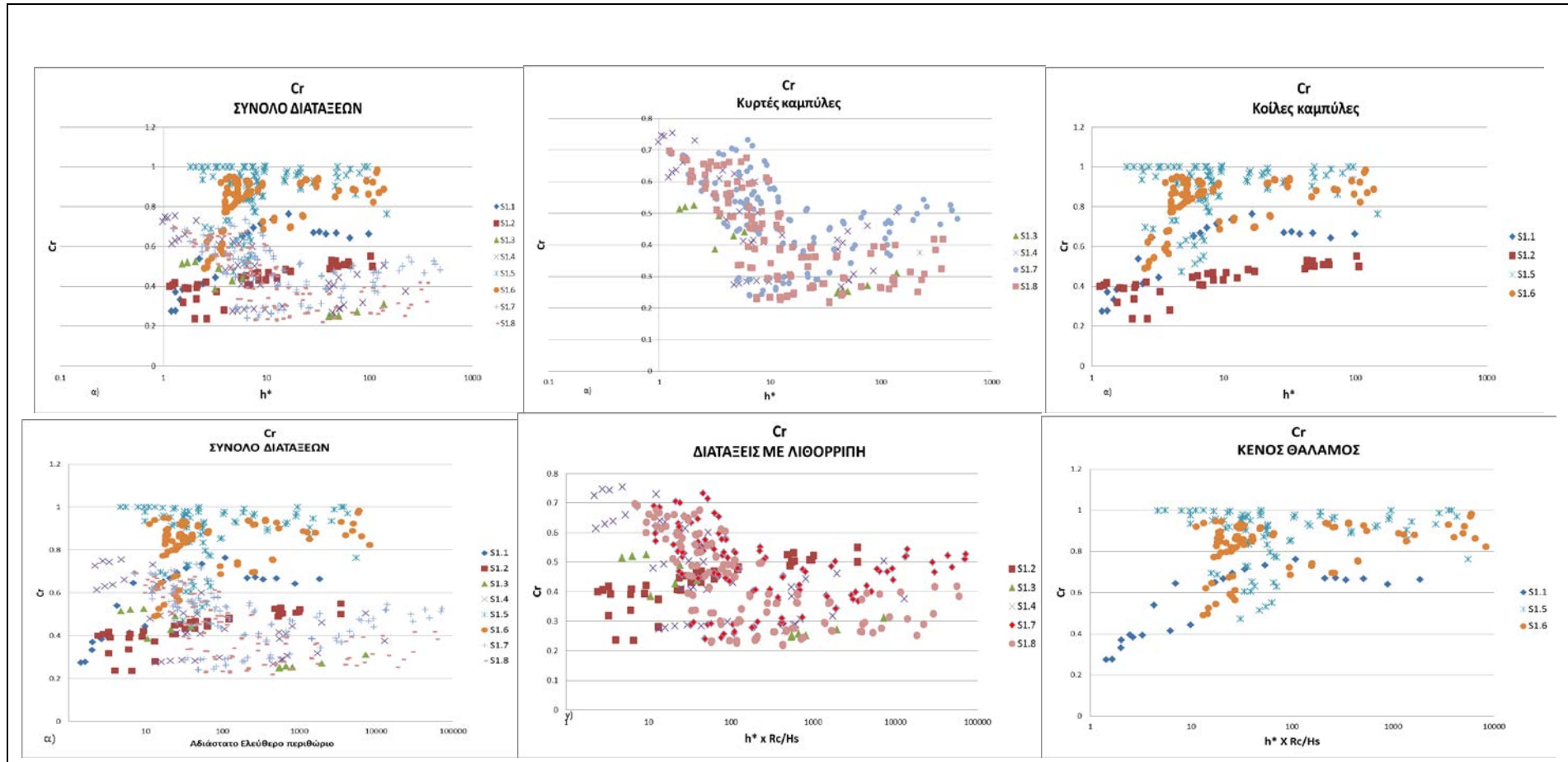
Η παράμετρος  $h^*$  φαίνεται να συνδέεται με τον συντελεστή ανάκλασης, δεν αρκεί όμως για την εκτίμησή του.

Οι καμπύλες του συντελεστή ανάκλασης είναι παρόμοιες για τις δύο παραμέτρους  $h^*$  και  $R_c^*$ . Στο διάγραμμα 9.1, επίσης εμφανίζεται νέφος σημείων για διατάξεις υψηλής ανακλαστικότητας.

Από την σύγκριση των διαγραμμάτων 9.1 δεν φαίνεται ουσιαστική διαφοροποίηση μεταξύ των αντίστοιχων καμπυλών. Η επίδραση του λόγου  $R_c/H$  στην παράμετρο  $h^*$  δεν αλλάζει την συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης.

Στα διαγράμματα 9.1 ο διαχωρισμός γίνεται ανά διάταξη και όχι ανά ελεύθερο περιθώριο με συνέπεια να μην διαχωρίζονται τα επί μέρους σετ μετρήσεων, ανά διαφορετικό βάθος ύδατος, με αποτέλεσμα να έχουν μεγάλη διασπορά τα στοιχεία κάθε διάταξης.

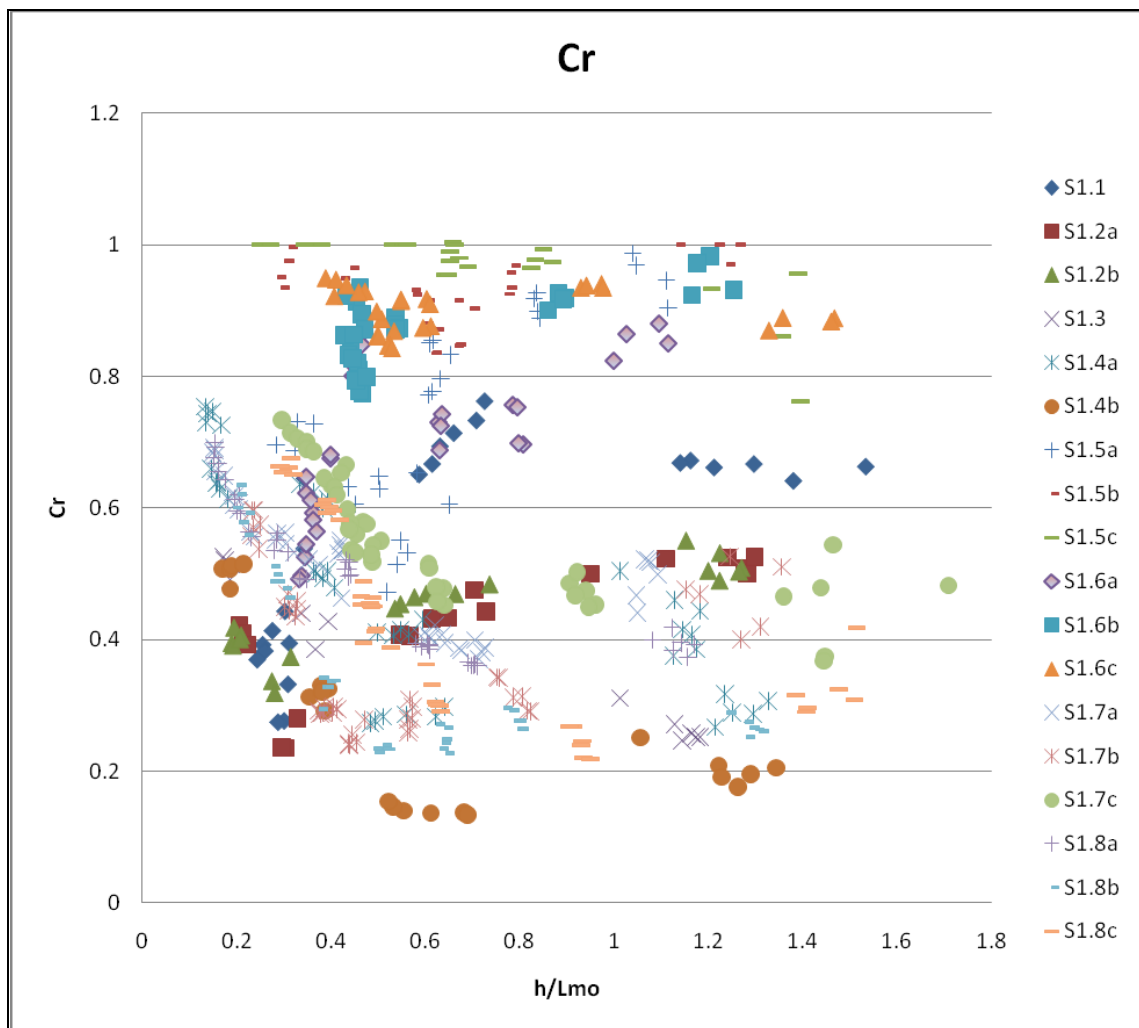
Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι ο συντελεστής ανάκλασης διαφοροποιείται περισσότερο με την αλλαγή της στάθμης του ύδατος εντός της δεξαμενής παρά με τις υπόλοιπες παραμέτρους



**Διάγραμμα 9.1** Συντελεστής ανάκλασης ως προς την αδιάστατη παράμετρο  $h^*$  και το αδιάστατο περιθώριο  $R_c^*$

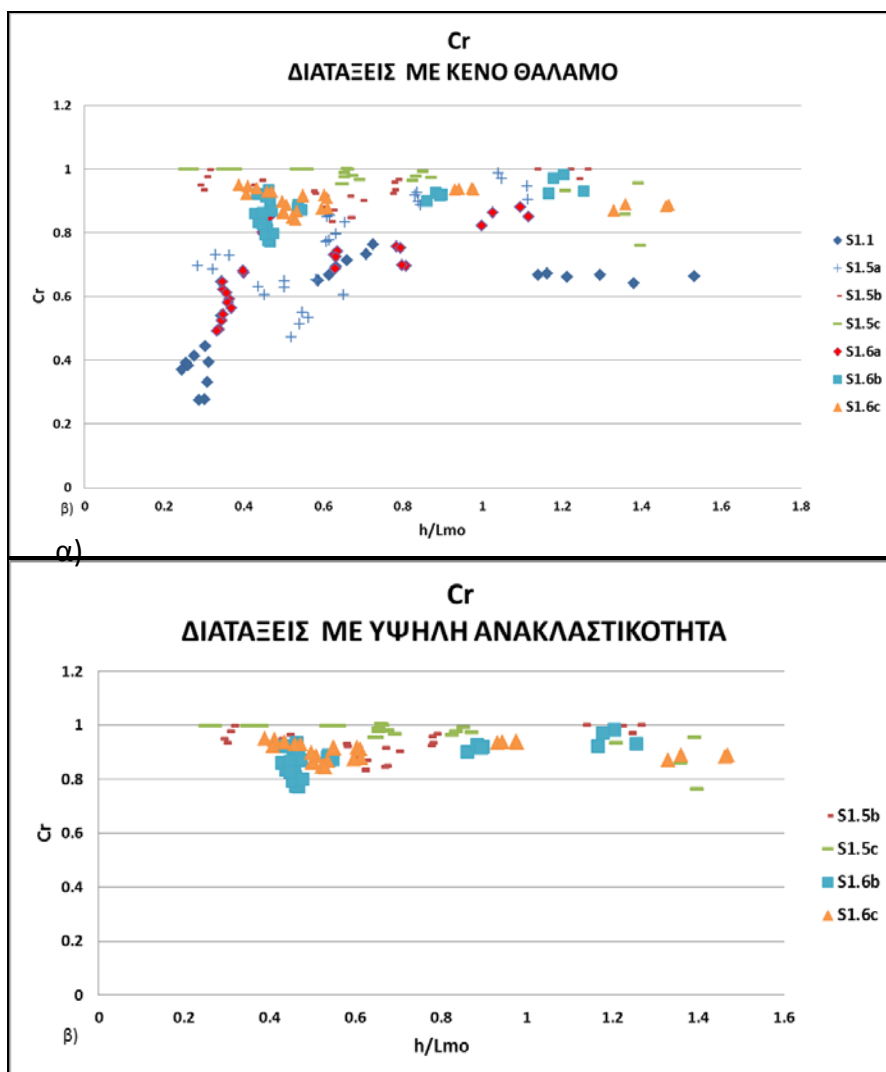
### Σχετικό βάθος νερού $h/L_{m0}$

Η τρίτη παράμετρος που συσχετίστηκε ο συντελεστής ανάκλασης ήταν ο λόγος  $h/L_{m0}$  (Σχετικό βάθος νερού) Προτιμήθηκε ο λόγος  $h/L_{m0}$  αντί του  $kh(=2\pi h_s/L_{m0})$  διότι είναι πιο κατανοητή η σχέση του βάθους προς το μήκος κύματος, αφού βάση αυτής εκτιμάται εάν το κύμα βρίσκεται σε περιοχή βαθέων ή ρηχών υδάτων. Στο διάγραμμα 9.2 εμφανίζονται οι 8 διατάξεις ανά ελεύθερο περιθώριο και είναι επίσης χαοτικό, παρά ταύτα διακρίνονται καμπύλες παρόμοιες που μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Η κλίμακα της παραμέτρου είναι γραμμική. Και εδώ παρατηρούνται οι ιδίου τύπου καμπύλες για τον συντελεστή ανάκλασης (**ΤΥΠΟΥ Α** κοίλες και **ΤΥΠΟΥ Β** κυρτές) σε πιο ήπια μορφή.



**Διάγραμμα 9.2** Συντελεστής ανάκλασης ως προς το σχετικό βάθος  $h/L_{m0}$  για το σύνολο των διατάξεων, της Σειράς 1, ανά ελεύθερο περιθώριο

Στο Διάγραμμα 9.3α παρουσιάζονται οι καμπύλες του συντελεστή ανάκλασης για κενό θάλαμο, ενώ στο 9.3β για τις πλέον ανακλαστικές διατάξεις. Ουσιαστικά εξαιρούνται η διάταξη Σ1.1 καθώς και οι διατάξεις Σ1.5α και Σ1.6α από το σύνολο των διατάξεων με κενό θάλαμο. Τα υψηλά βάθη ύδατος στην δεξαμενή οδηγούν σε υψηλή ανακλαστικότητα. Σημειώνεται ότι το ύψος του ύδατος εντός της δεξαμενής ήταν πάντα μεγαλύτερο από το κατακόρυφο συμπαγές τμήμα της διατομής. Δεδομένης της ύπαρξης κατακόρυφου εσωτερικού μετώπου η αύξηση του βάθους του ύδατος, ιδιαίτερα όταν ο θάλαμος είναι κενός και με μικρό πλάτος, οδηγεί σε υψηλές ανακλαστικότητες.



**Διάγραμμα 9.3** Συντελεστής ανάκλασης ως προς το σχετικό βάθος νερού  $h/L_{mo}$  για διατάξεις α) με κενό θάλαμο και β) με υψηλή ανακλαστικότητα

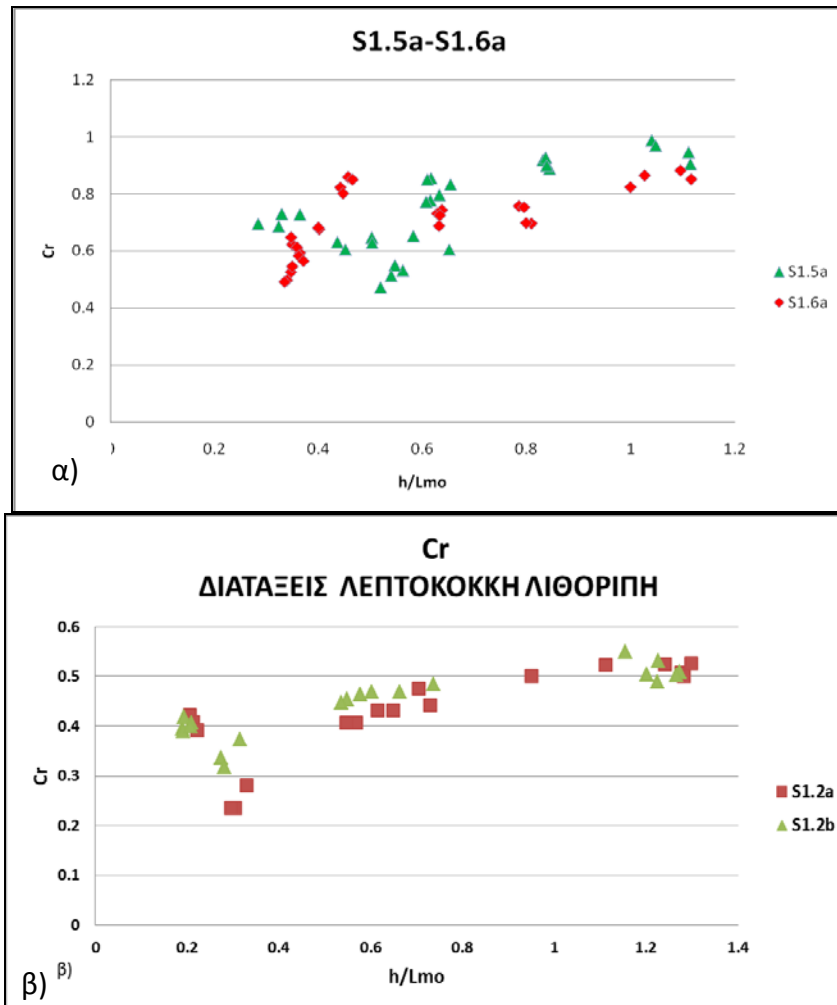
Για διατομές με υψηλή ανακλαστικότητα δεν έχει σημασία η συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με άλλες παραμέτρους. Παρά ταύτα και εδώ εμφανίζεται η κοίλη καμπύλη μεταξύ των τιμών του σχετικού βάθους  $0.5 < h/L_{mo} < 1.4$  με μέγιστες τιμές κοντά στο  $h/L_{mo} = 1$  έως 1.2.

Από τις διατάξεις Σ1.5 και Σ1.6 μόνον η έχουσα το μεγαλύτερο ελεύθερο περιθώριο είναι στην κατηγορία της μεσαίας ανακλαστικότητας. Η καμπύλη Σ1.1 αν και με κενό θάλαμο βρίσκεται στην κατηγορία της μεσαίας ανακλαστικότητας ( $0.50 < C_r < 0.80$ ) λόγω του ημιαδιαπέρατου κατακορύφου εσωτερικού μετώπου.

Στο Διάγραμμα 9.4α παρουσιάζονται οι καμπύλες για τις διατάξεις με κενό θάλαμο μεσαίας ανακλαστικότητας. Η καμπύλη με τον μικρότερο πλάτος θαλάμου Σ1.5α, ακολουθεί πτωτική τάση στην περιοχή της μετάβασης από τα ρηχά στα βαθιά ύδατα,  $0.3 < h/L_{mo} < 0.5$  και στην συνέχεια έχει αυξητική τάση, ενώ αντίστοιχα η Σ1.6α έχει αυξητική τάση για  $h/L_{mo} > 0.2$ . Οι μέγιστες τιμές της Σ1.5 είναι μεγαλύτερες από αυτές της Σ1.6, που επιβεβαιώνει την επίδραση του πλάτους του θαλάμου.

Στο διάγραμμα 9.4β παρουσιάζεται η καμπύλη του συντελεστή ανάκλασης για πλήρωση του θαλάμου με λεπτόκοκκη λιθορριπή. Η καμπύλη ξεκινά από τιμές  $C_r \approx 0.4$ , μειώνεται στην συνέχεια μέχρι το 0.23 και στη συνέχεια βαίνει αυξανόμενη μέχρι την τιμή 0.53 οπότε φαίνεται να σταθεροποιείται. Η ελάχιστη τιμή παρατηρείται για το μικρότερο βάθος που ελέγχθηκε, το οποίο βρίσκεται σε περιοχή ρηχών υδάτων, για βάθος ύδατος στην διώρυγα  $h=0.55\text{m}$  και εντοπίζεται στην τιμή του σχετικού βάθους νερού  $h/L_{mo} \approx 0.3$ , το οποίο αποτελεί σημείο αλλαγής συμπεριφοράς του συντελεστή ανάκλασης, όπως διαπιστώθηκε από τις μετρήσεις. Η καμπύλη εκατέρωθεν της ελαχίστης τιμής είναι σχετικά απότομη. Αντίστοιχα στο διάγραμμα 9.3β στο οποίο παρουσιάζονται οι συντελεστές ανάκλασης για τις πλέον ανακλαστικές διατομές και η Σ1.5α στην τιμή του σχετικού βάθους  $h/L_{mo} \approx 0.4 \div 0.5$ , παρατηρούνται μικρές μεταβολές και συσώρευση σημείων. Το ίδιο συμβαίνει και στην καμπύλη της Σ1.5α. Οι υπόλοιπες κοίλες καμπύλες αλλάζουν επίσης κλίση στο σημείο αυτό και γίνονται πιο ήπιες.

Οι διατάξεις που δίνουν κυρτές καμπύλες είναι αυτές στις οποίες υπάρχει χονδρόκοκκη λιθορριπή εντός του θαλάμου. Η συσχέτιση με το σχετικό βάθος είναι αρκετά καλή αν και παρατηρείται σημαντική διασπορά για την ίδια διάταξη με διαφορετικό βάθος ύδατος που επιβεβαιώνει την επίδραση του βάθους του ύδατος.

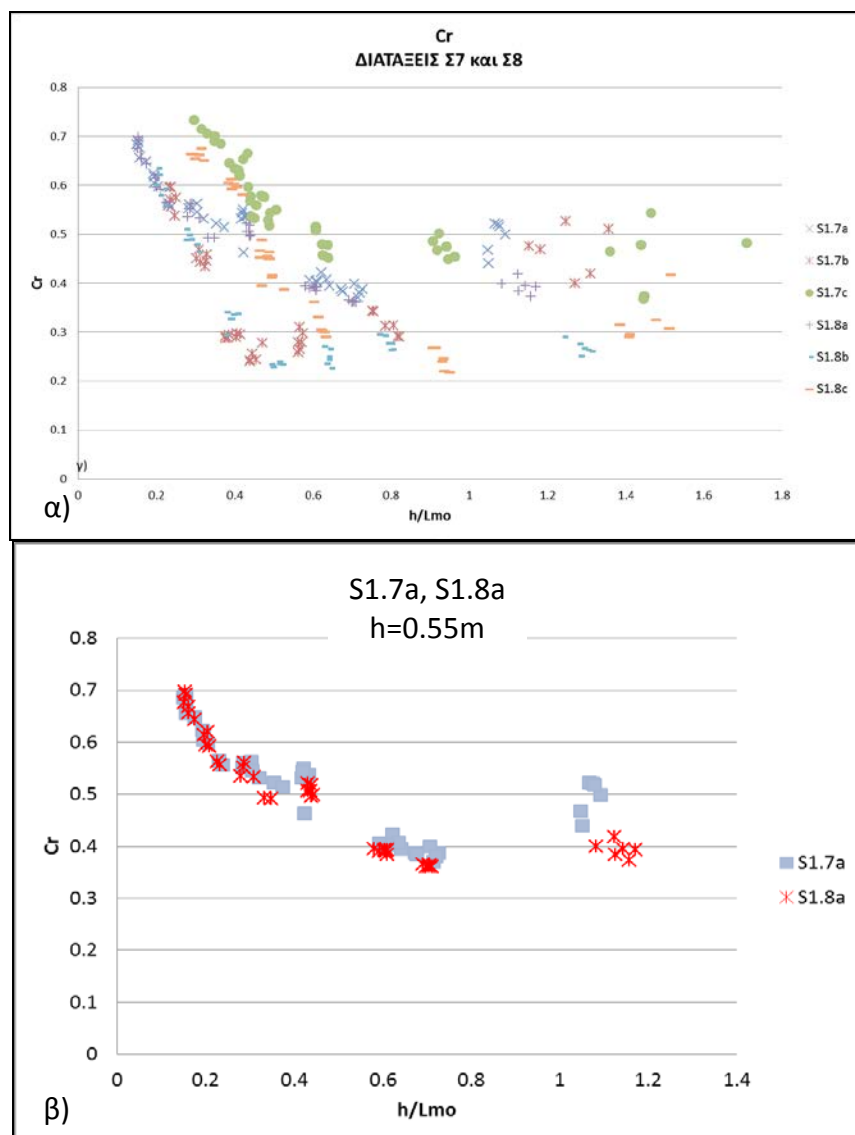


**Διάγραμμα 9.4** Συντελεστής ανάκλασης ως προς το σχετικό βάθος νερού  $h/L_{m0}$  α) Διατάξεις με λεπτόκοκκη λιθορριπή, β) διατάξεις με υψηλή ανακλαστικότητα, γ) διατάξεις με κενό θαλαμο μεσαίας ανακλαστικότητας

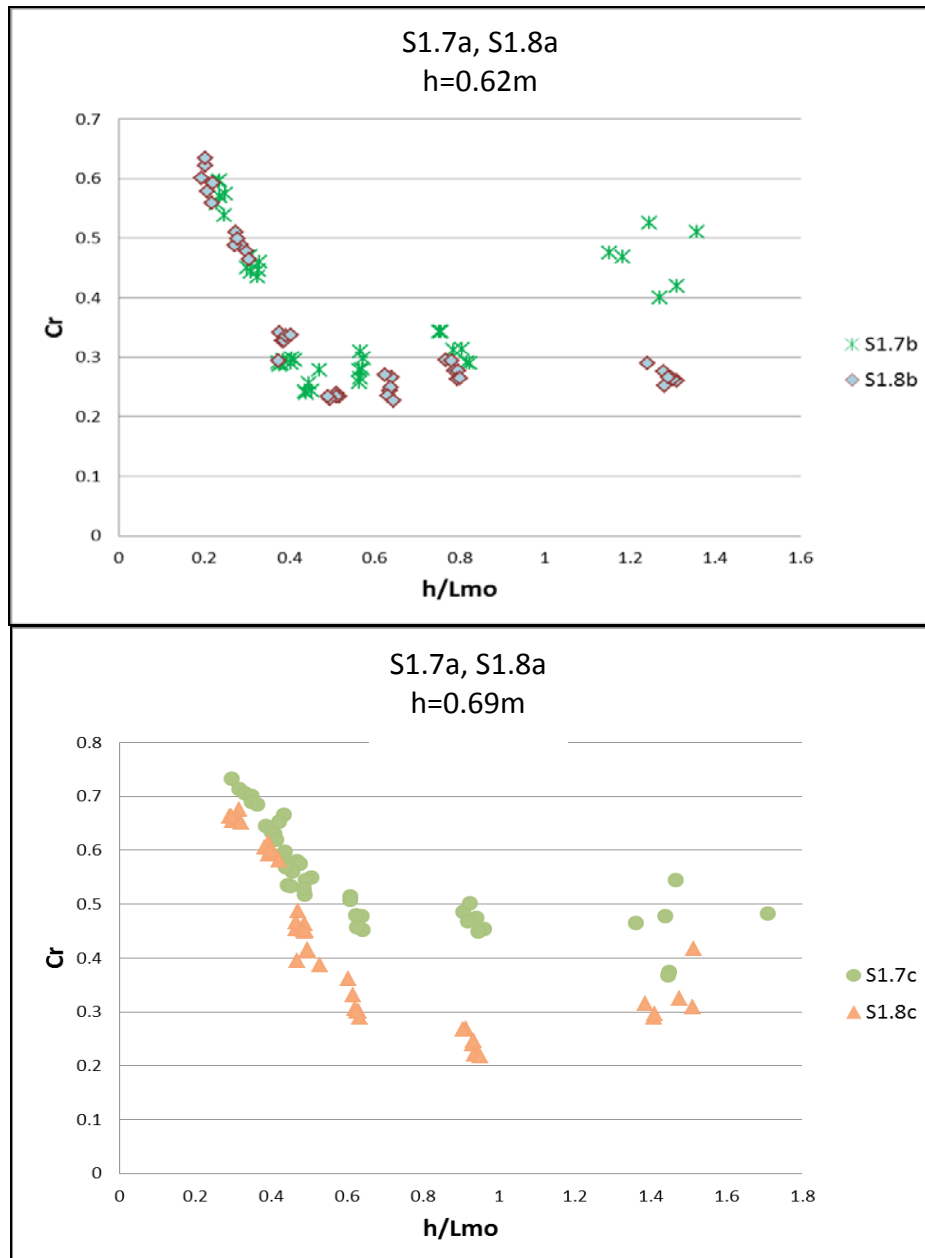
Συγκρίνοντας τις καμπύλες 2 διατάξεων, Σ1.7 και Σ1.8, η βασική διαφορά των οποίων είναι η διαφοροποίηση της κλίσης της λιθορριπής εντός του θαλάμου, διαπιστώθηκε ότι η μεταβολή της κλίσης δεν είναι τόσο σημαντική όσο το ύψος του ύδατος στην δεξαμενή. (Βλέπε Σχήμα 9.5α). Στα διαγράμματα 9.5β, 9.6α, 9.6β παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή ανάκλασης για τα ίδια ελεύθερα περιθώρια. Για την χαμηλότερη στάθμη, οι τιμές του συντελεστή ανάκλασης σχεδόν ταυτίζονται ως προς το σχετικό βάθος νερού  $h/L_{m0}$ . Και στις 2 καμπύλες στην περιοχή του λόγου=0.4 παρατηρείται μικρή συγκέντωση τιμών ενώ η αλλαγή της κλίσης γίνεται στην τιμή του  $h/L_{m0}=0.80$ . Στην συνέχεια για  $h/L_{m0}>1.2$  οι τιμές διαφοροποιούνται. Στην μεσαία στάθμη, οι τιμές του  $C_r$  ταυτίζονται μέχρι την τιμή του σχετικού βάθους  $h/L_{m0}=0.50$ , το οποίο αποτελεί και σημείο καμπής με την καμπύλη της ηπιότερης κλίσης να αυξάνεται σημαντικά περισσότερο.

Αυτό δικαιολογείται διότι πίσω από την λιθορριπή υπάρχει ο κατακόρυφος ανακλαστικός εσωτερικός τοίχος του θαλάμου. Στην περίπτωση της ηπιότερης κλίσης μεγαλύτερο τμήμα

του εισερχόμενου κυματισμού εντός του θαλάμου προσπίπτει επί αυτού. Μέχρι την τιμή του  $h/L_{mo}=0.80$  η διαφορά των συντελεστών ανάκλασης είναι μικρή στην συνέχεια όμως μεγαλώνει. Τέλος, για την υψηλότερη στάθμη του ύδατος, οι 2 καμπύλες συμπίπτουν μέχρι την τιμή του λόγου  $h/L_{mo}=0.50$ , ενώ στην συνέχεια διαφοροποιούνται σημαντικά. Σημείο καμπής, η τιμή του λόγου  $h/L_{mo}=1.00$  περίπου. Για μεγαλύτερες από 1,4 τιμές του σχετικού βάθους τα σημεία διασπείρονται. Λόγω της αύξησης του βάθους μετατοπίζεται η περιοχή μεταβολής της καμπύλης. Οι τιμές των χαρακτηριστικών κυμάτων με τις υψηλότερες τιμές του σχετικού βάθους είναι πολύ μικρές, στα όρια λειτουργίας των μηχανημάτων, παρά ταύτα η διαφοροποίηση είναι συστηματική.



**Διάγραμμα 9.5** Συντελεστής ανάκλασης ως προς το σχετικό βάθος νερού  $h/L_{mo}$ : α) διατάξεις Σ1.7 και Σ1.8, β) Σ1.7α και Σ1.8α.



**Διάγραμμα 9.6** Συντελεστής ανάκλασης ως προς σχετικό βάθος : α) για τις διατάξεις Σ1.7β και Σ1.8β, β) για τις διατάξεις Σ1.7γ και Σ1.8γ.

Γενικά για το σύνολο των διατάξεων που ελέγχθηκαν, αυξανόμενος ή μειούμενος ο συντελεστής ανάκλασης, φαίνεται να αλλάζει συμπεριφορά στην περιοχή μετάβασης από τα βαθιά στα ρηχά ύδατα, ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις που ο συντελεστής ανάκλασης είναι **ΤΥΠΟΥ Α** (κοίλη καμπύλη). Η μεταβολή αρχίζει περίπου για  $h/L_{mo} > 0.3$  ενώ η μεταβολή ολοκληρώνεται για  $h/L_{mo} < 0.6$ , δηλαδή στην περιοχή που αρχίζουν να μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των κυμάτων λόγω της επίδρασης του πυθμένα. Το άλλο σημείο αλλαγής της κλίσης είναι όταν  $h/L_{mo} \approx 1.2$  στην περιοχή βαθέων υδάτων, από εκεί και πέρα αλλάζει πάλι η κλίση της καμπύλης του συντελεστή ανάκλασης.



Γενικά για όλες τις παραμέτρους φαίνεται ότι οι υψηλής ανακλαστικότητας διατάξεις συσσωρεύουν σημεία στην περιοχή, συνήθως εκεί, όπου οι υπόλοιπες διατάξεις αλλάζουν συμπεριφορά και από ότι φαίνεται είναι η περιοχή μετάβασης από τα βαθειά στα ρηχά ύδατα.

### 9.2.3 Σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης Cr\*

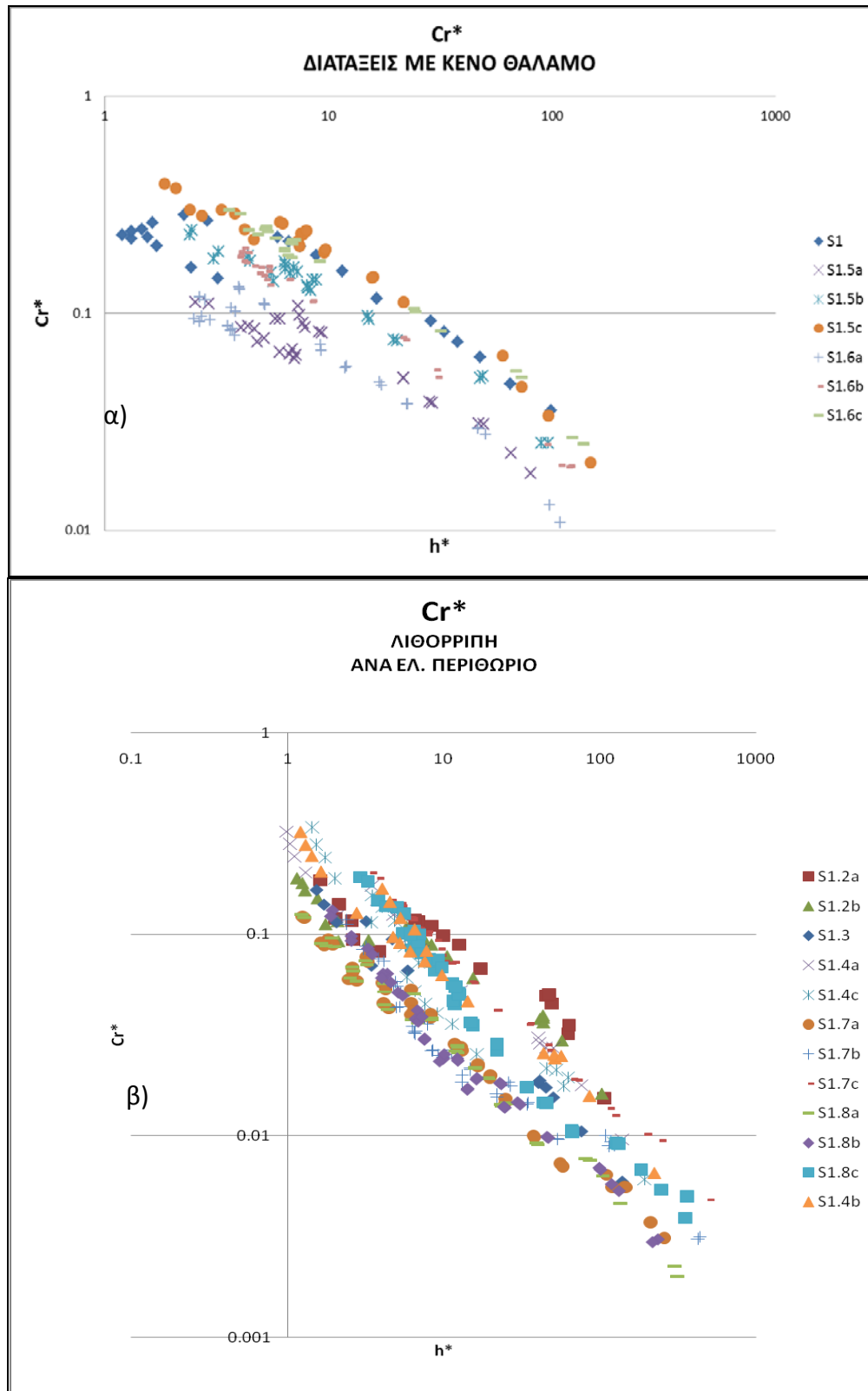
Από τα διαγράμματα του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης φαίνεται ότι τα σημεία της συσχέτισης ακολουθούν διπλή λογαριθμική καμπύλη. Κάθε διάταξη, σε κάθε ελεύθερο περιθώριο συσχετίζεται σχεδόν σε ευθεία διπλής λογαριθμικής κλίμακας, αν και διαφαίνεται μια κυρτότητα ή αντίστοιχα καμπυλότητα στις καμπύλες. Σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζεται αλλαγή της κλίσης η οποία προσδιορίζεται στην περιοχή μετάβασης από τα βαθειά στα ρηχά ύδατα. Οι πλέον ανακλαστικές διατάξεις ως επί το πλείστον ακολουθούν αυτόν τον κανόνα, δηλαδή αλλάζουν κλίση και σχηματίζουν ένα S πεπλατισμένο. Την ίδια συμπεριφορά έχουν και οι διατάξεις με λεπτόκοκκη λιθορριπή. Το σημείο αυτό για τις περιπτώσεις αυτές βρίσκεται σε υψηλές τιμές του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης.

Αντίθετα οι διατάξεις με χονδρόκοκκο υλικό πλήρωσεως έχουν ομαλότερη μεταβολή της κλίσης και σε πιο χαμηλές τιμές του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης. Οι διάφορες στάθμες που ελέγχθηκαν δίνουν σχεδόν παράλληλες καμπύλες μεταξύ τους, για την ίδια διάταξη με (διαφορετικό ελεύθερο περιθώριο). Η υψηλότερη ανακλαστικότητα βρίσκεται στα δεξιά της καμπύλης ενώ η υποδιάταξη με την χαμηλότερη ανακλαστικότητα στα αριστερά του δημιουργούμενου νέφους σημείων.

Στο Διάγραμμα 9.7 δίνονται οι καμπύλες του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης για την περίπτωση α) των διατάξεων με κενό θάλαμο και β) των διατάξεων με λιθορριπή

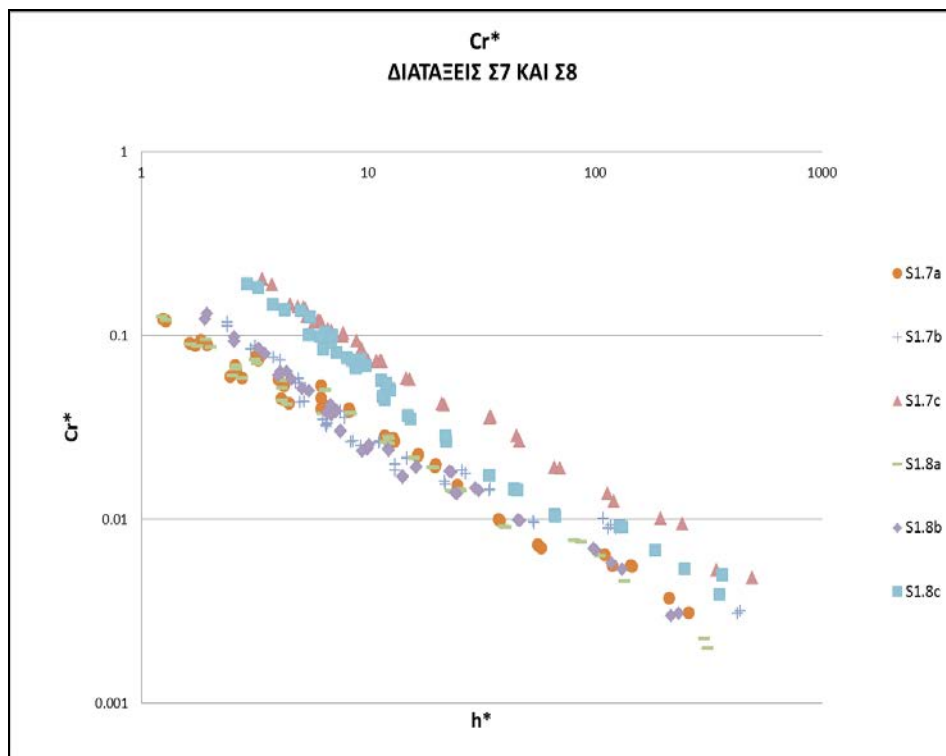
Στην καμπύλη 9.7α εμφανίζεται μια ανωμαλία - αλλαγή συμπεριφοράς, -παλλινδρόμιση της καμπύλης-, στην περιοχή του  $h^* \approx 8 \div 10$ , όπως εμφανίζεται και στις καμπύλες του διαγράμματος 9.1. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται για την καμπύλη Σ1.1, η οποία αν και βρίσκεται σε περιοχή μεσαίας ανακλαστικότητας και είναι με κενό θάλαμο, το μεγαλύτερο τμήμα της βρίσκεται στην δεξιά περιβάλλουσα. Το υπόλοιπο τμήμα της, το οποίο ανήκει σε ρηχά ύδατα βρίσκεται σε μετατοπισμένη καμπύλη.

Όσον αφορά τις καμπύλες του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο  $h^*$ , η αλλαγή συμπεριφοράς γίνεται σε πολύ μεγαλύτερη τιμή του  $h^* \approx 80 \div 100$ . Στην καμπύλη αυτή δεξιά περιβάλλουσα είναι η διάταξη με λεπτόκοκκο υλικό πλήρωσης του θαλάμου, ενώ στην αριστερή περιβάλλουσα βρίσκονται οι καμπύλες με χονδρόκοκκο υλικό και χαμηλό βάθος ύδατος. Η ελαφρά τάση κοίλου για τις καμπύλες **ΤΥΠΟΥ Α** των διαγραμμάτων 9.1 παραμένει όπως και η ελαφρά κυρτότητα των καμπύλων **ΤΥΠΟΥ Β**.



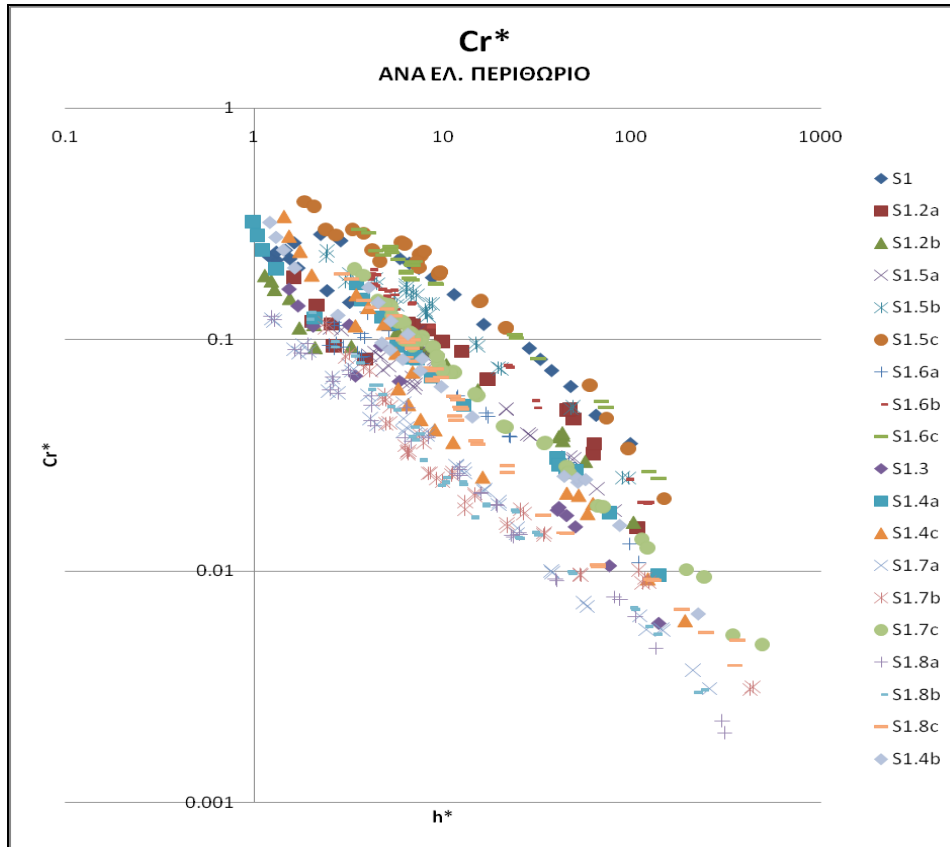
**Διάγραμμα 9.7** Σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης των μετρήσεων της Σειράς 1 προς την παράμετρο  $h^*$ , ανά διάταξη και ελεύθερο περιθώριο (σε διπλή Λογαριθμική κλίμακα) α) με κενό θάλαμο, β) με λιθορριπή εντός του θαλάμου,

Στο Διάγραμμα 9.8 παρουσιάζονται οι καμπύλες του  $Cr^*$  για τις διατάξεις Σ1.7 και Σ1.8 ανά ελεύθερο περιθώριο. Οι διατάξεις με το μικρότερο ελεύθερο περιθώριο Σ1.7γ και Σ1.8γ, βρίσκονται στην δεξιά περιβάλλουσα της καμπύλης και σχεδόν ταυτίζονται στο αρχικό τους τμήμα, ενώ στην συνέχεια γίνονται παράλληλες. Οι υπόλοιπες διατάξεις σχεδόν ταυτίζονται. Ουσιαστικά οι καμπύλες του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης επιβεβαιώνουν τα στοιχεία των άλλων καμπυλών με πιο ευκρινή μορφή. Στο Σχήμα 9.9 δίνεται ο  $Cr^*$  προς το  $h^*$ , για το σύνολο των διατάξεων της Σειράς 1, ανά ελεύθερο περιθώριο και τέλος στο διάγραμμα 9.10 συγκεντρωτικά το νέφος όλων των μετρήσεων της Σειράς 1 με τις περιβάλλουσες καμπύλες. Στο Σχήμα 9.9 προτιμήθηκε η παρουσίαση ανά ελεύθερο περιθώριο διότι παρά την πληθώρα των αποτελεσμάτων οι γραμμές είναι πιο καθαρές.

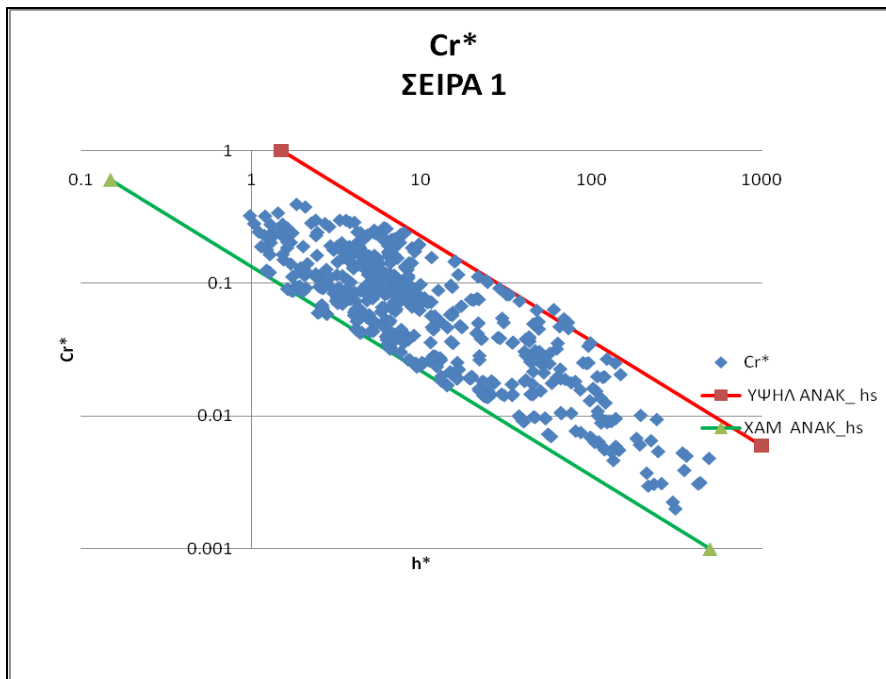


**Διάγραμμα 9.8** Σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης των μετρήσεων Σ1.7 και Σ1.8 προς την παράμετρο  $h^*$ , ανά ελεύθερο περιθώριο

Με βάση τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι επικρατούσα παράμετρος για την καλύτερη και ευκολότερη συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης είναι ο λόγος  $h/L_{m0}$ . Αυτό οδηγεί σε αναξαρτητοποίηση του συντελεστού ανάκλασης από το χαρακτηριστικό προσπίπτον κύμα. Καμπύλες όπως του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης μας βοηθούν να κατανοήσουμε ότι και το ύψος κύματος έχει τον ρόλο του, ο οποίος επισκιάζεται από την μεταβολή της περιόδου και του μήκους κύματος.



**Διάγραμμα 9.9** Σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης όλων των μετρήσεων της Σειράς 1 ως προς την παράμετρο  $h^*$ , ανά διάταξη

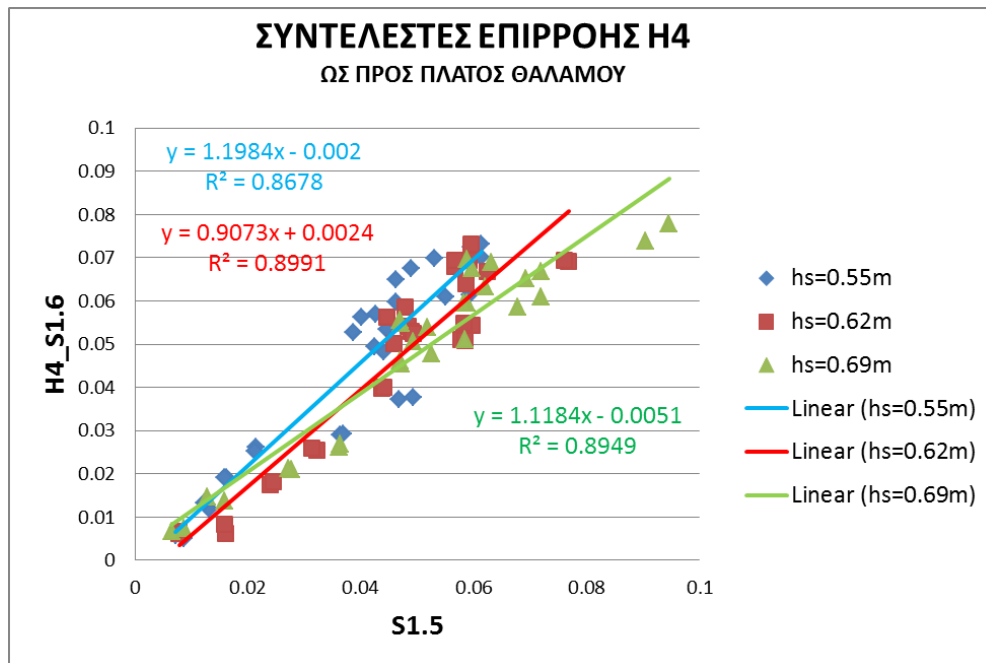


**Διάγραμμα 9.10** Σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης συγκεντρωτικά όλων των μετρήσεων της Σειράς 1 ως προς την παράμετρο  $h^*$ ,

### 9.2.4 Συντελεστές επιρροής

Στις διατάξεις της Σειράς 1 υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις λόγω των πολλών παραμέτρων που υπεισέρχονται και είναι δύσκολη η εκτίμηση συντελεστών επιρροής μεταξύ των διατάξεων. Επελέγησαν να εκτιμηθούν συντελεστές επιρροής για 2 χαρακτηριστικά μεγέθη, για τα οποία υπάρχουν τουλάχιστον 3 μετρήσεις με τα ίδια χαρακτηριστικά της διατομής και διαφορετικά ελεύθερα περιθώρια ή 3 ύψη ύδατος στην δεξαμενή.

Τα μεγέθη που διαφοροποιούνται και επελέγησαν είναι το πλάτος του θαλάμου και η κλίση του πρανού εντός του θαλάμου. Και για τα 2 μεγέθη υπάρχουν 3 μετρήσεις με διαφορετικό ελεύθερο περιθώριο

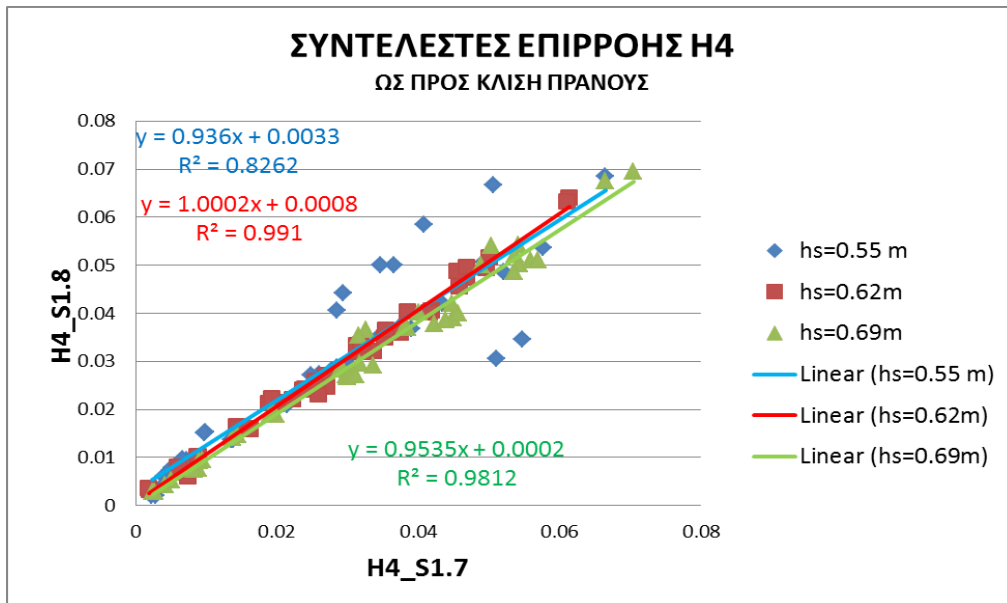


**Διάγραμμα 9.11** Συντελεστής επιρροής του πλάτους του θαλάμου στο χαρακτηριστικό ύψος κύματος του μετρητή M4 (στον πόδα του έργου) για τις διατάξεις Σ1.5 και Σ1.6 (Κενός θάλαμος)

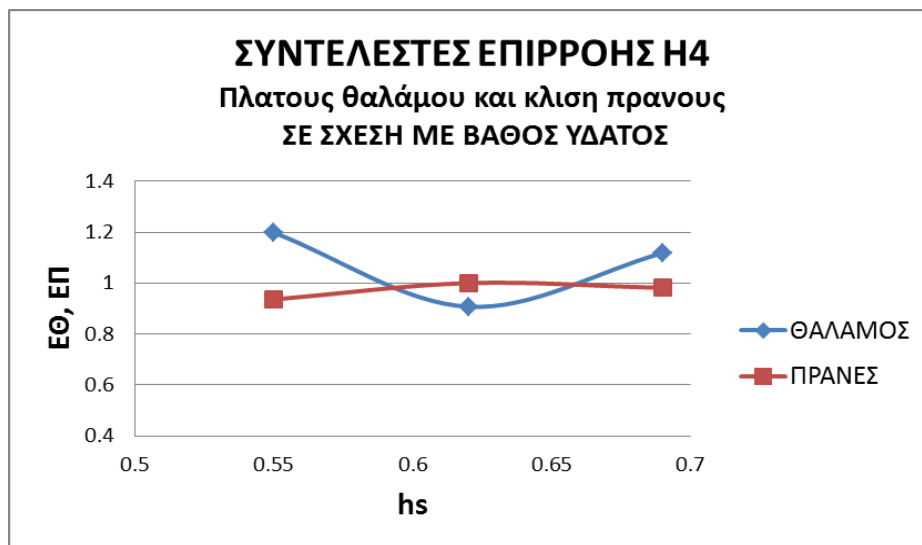
Οι συντελεστές επιρροής αναφέρονται στις διατάξεις Σ1.5 και Σ1.6 για το πλάτος του θαλάμου και στις Σ1.7 και Σ1.8 για την κλίση του πρανού. Τα μεγέθη που συγκρίθηκαν ήταν το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στον πόδα του έργου (μετρητής M4) και ο συντελεστής ανάκλασης όπως υπολογίσθηκε για τις αντίστοιχες μετρήσεις. Οι συντελεστές επιρροής φαίνεται ότι είναι πολύ κοντά στην μονάδα για όλες τις ελεγχθείσες διατάξεις. Από το διάγραμμα 9.11 είναι εμφανής η καλή συσχέτιση μεταξύ των μετρηθέντων τιμών των χαρακτηριστικών υψών κύματος ανά διαφορετικό ελεύθερο περιθώριο. Η χειρότερη συσχέτιση παρατηρείται στο χαμηλότερο βάθος ύδατος, ιδιαίτερα για μεσαία έως υψηλά ύψη κύματος. Παρατηρείται όμως ότι ενώ το μεγαλύτερο και το μικρότερο ελεύθερο περιθώριο έχουν τιμές μεγαλύτερης της μονάδας 1.12 και 1.20 αντίστοιχα, το μεσαίο έχει τιμή μικρότερη της μονάδας ίση με 0.91. Η ίδια διαπίστωση παρατηρείται και στο διάγραμμα

9.12, της επιρροής της κλίσης του πρανούς. Τέλος στο διάγραμμα 9.13 μορφοποιείται αυτή η διαφορά. Η μη γραμμικότητα των συντελεστών επιρροής δύναται να εξηγηθεί λόγω της ύπαρξης κατακορύφου, πλήρως αδιαπέρατου και πλήρως ανακλαστικού εσωτερικού τοίχου, όμως δυσχεραίνει την περαιτέρω διερεύνηση του προβλήματος λόγω ελλειπών στοιχείων.

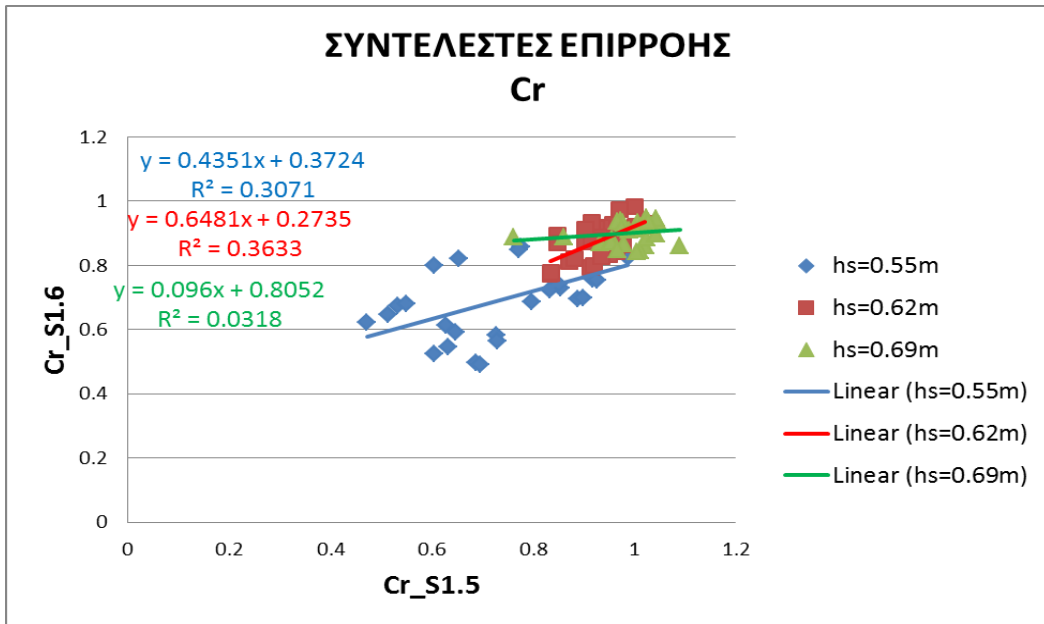
Στην συνέχεια συσχετίσθηκαν ο συντελεστής ανάκλασης και ο σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης για τις ίδιες διατάξεις.



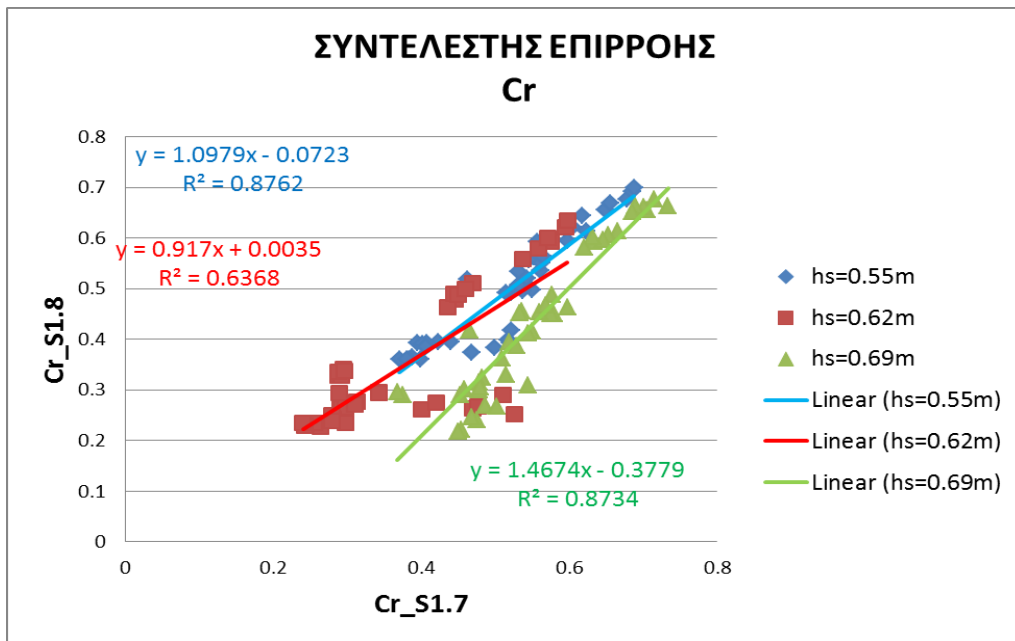
**Διάγραμμα 9.12** Συντελεστής επιρροής της κλίσεως του πρανούς εντός του θαλάμου, στο χαρακτηριστικό ύψος κύματος του μετρητή M4 (στον πόδα του έργου) για τις διατάξεις Σ1.7 και Σ1.8 (Χονδρόκοκκη λιθορριπή)



**Διάγραμμα 9.13** Συντελεστής επιρροής του πλάτους του θαλάμου και της κλίσεως του πρανούς εντός του θαλάμου, στο χαρακτηριστικό ύψος κύματος του μετρητή M4 (στον πόδα του έργου) ως προς το βάθος

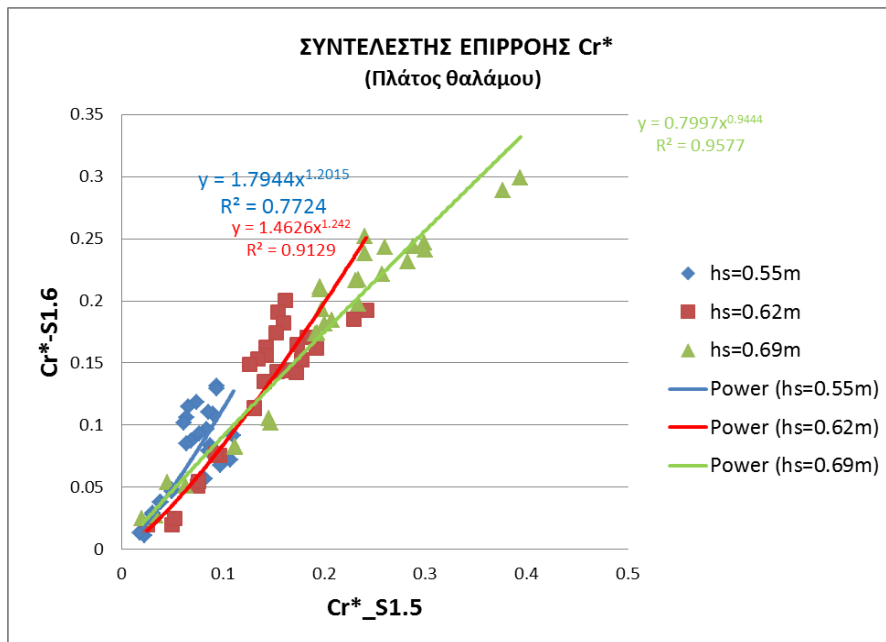


**Διάγραμμα 9.14** Συντελεστής επιρροής πλάτους του θαλάμου, στον συντελεστή ανάκλασης Cr για τις διατάξεις Σ1.5 και Σ1.6

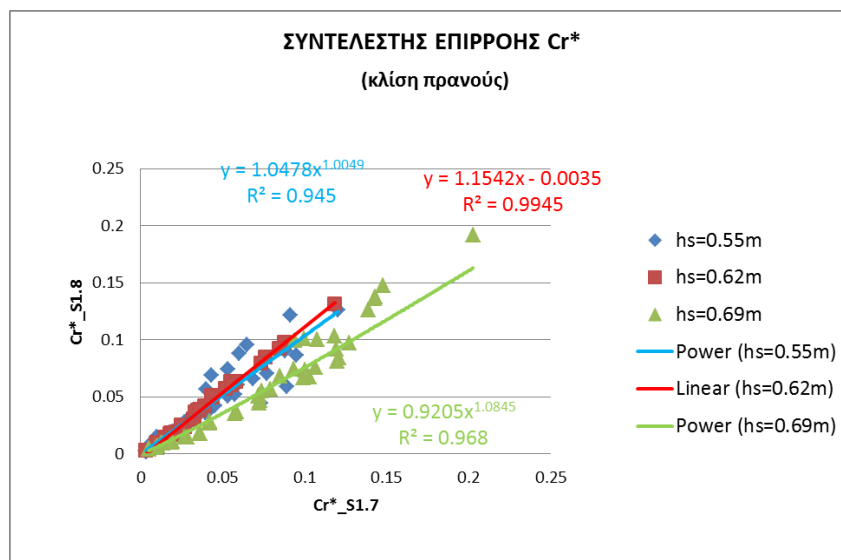


**Διάγραμμα 9.15** Συντελεστής επιρροής της κλίσεως του πρανούς εντός του θαλάμου, στον συντελεστή ανάκλασης Cr για τις διατάξεις Σ1.7 και Σ1.8 (Χονδρόκοκκη λιθορριπή)

Από τα διαγράμματα 9.14 και 9.15 καθίσταται σαφές ότι ο συντελεστής επιρροής του συντελεστή ανάκλασης, δεν ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη τάση ιδιαίτερα στις διατάξεις με κενό θάλαμο. Οι δυνατότητες που υπήρχαν για την μεταβολή του πλάτους περιοριζόταν από το φυσικό προσομοίωμα πλάτους 0.35m. Η τιμή αυτή μειώθηκε κατά το ήμισυ, πλάτος το οποίο είναι σημαντικά μικρό για να δράσει. Στην διάταξη Σ1.5γ, ιδιαίτερα με το χαμηλότερο ελεύθερο περιθώριο, ο συντελεστής ανάκλασης είναι σχεδόν παράλληλος με



**Διάγραμμα 9.16** Συντελεστής επιρροής πλάτους του θαλάμου, στον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης  $Cr^*$  για τις διατάξεις Σ1.5 και Σ1.6



**Διάγραμμα 9.17** Συντελεστής επιρροής της κλίσεως του πρανούς εντός του θαλάμου, στον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης  $Cr$  για τις διατάξεις Σ1.7 και Σ1.8 (Χονδρόκοκκη λιθορριπή)

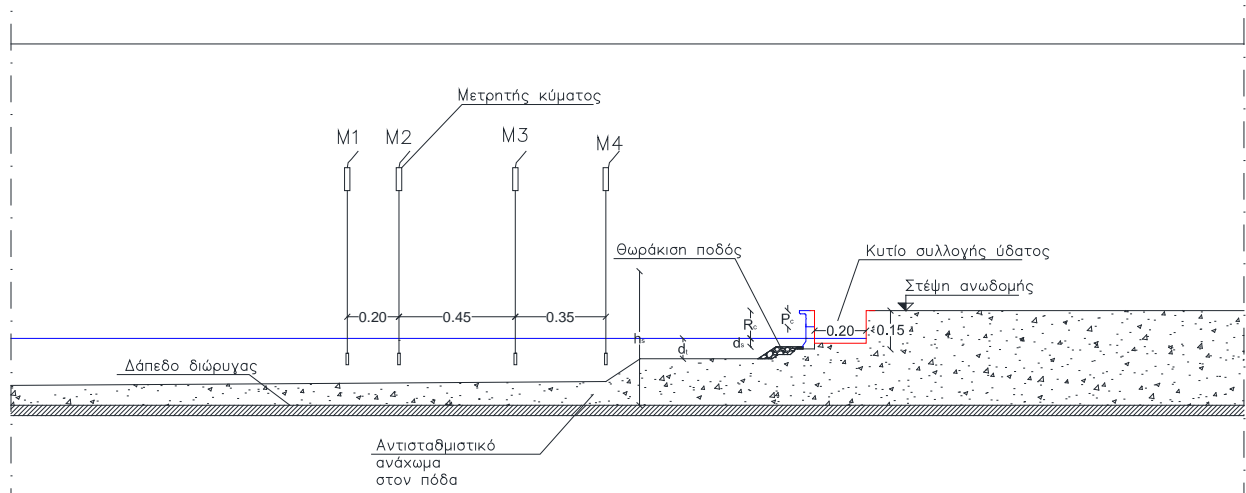


τον άξονα των Χ, δηλαδή πλήρως ανακλαστικό μέτωπο.

Αντίθετα η επιρροή του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης είναι εμφανής (βλέπε διαγράμματα 9.16 και 9.17). Ιδιαίτερα η επιρροή του πρσανούς δίνει συντελεστή συσχέτισης  $R^2$  κοντά στην μονάδα. Η σοβαρότερη απόκλιση παρατηρείται στο μικρότερο ελεύθερο περιθώριο για μεγάλες τιμές του  $C_r^*$ .

### 9.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 2

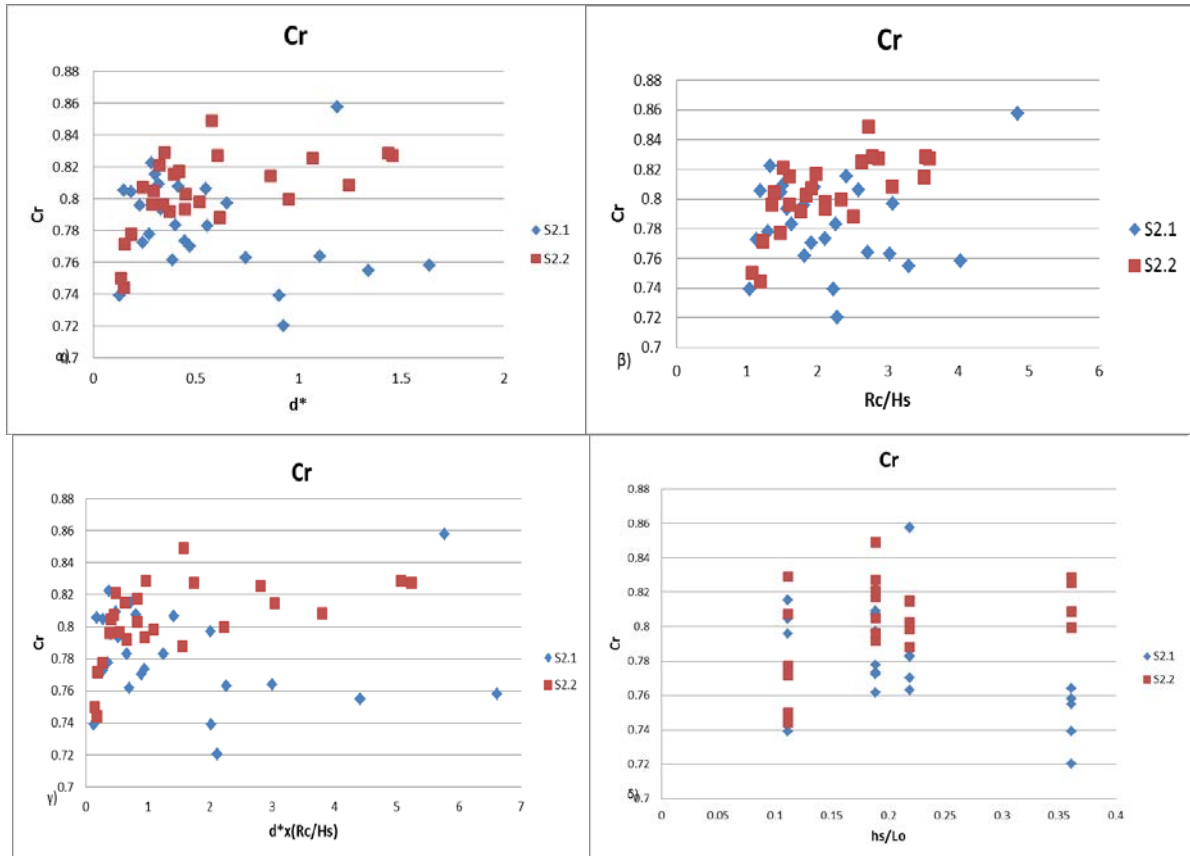
Οι μετρήσεις της Σειράς 2 αποτελούν τις πρώτες μετρήσεις του συντελεστή ανάκλασης σε κατακόρυφα μέτωπα με τοίχο επιστροφής, έγιναν σε κλίμακα 1:60 και αναλύθηκαν με την Περίοδο αιχμής. Ελέχθηκαν 2 διατομές. Τυπική τομή δίνεται στο Σχήμα 9.2. Εδώ πλέον υπεισέρχεται η παράμετρος  $d^*$  αντί της  $h^*$ . Στα διαγράμματα που έπονται επιβεβαιώνονται όλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την συνολική επεξεργασία όλων των μετρήσεων, ως προς την συμπεριφορά των διατομών που ελέγχθησαν.



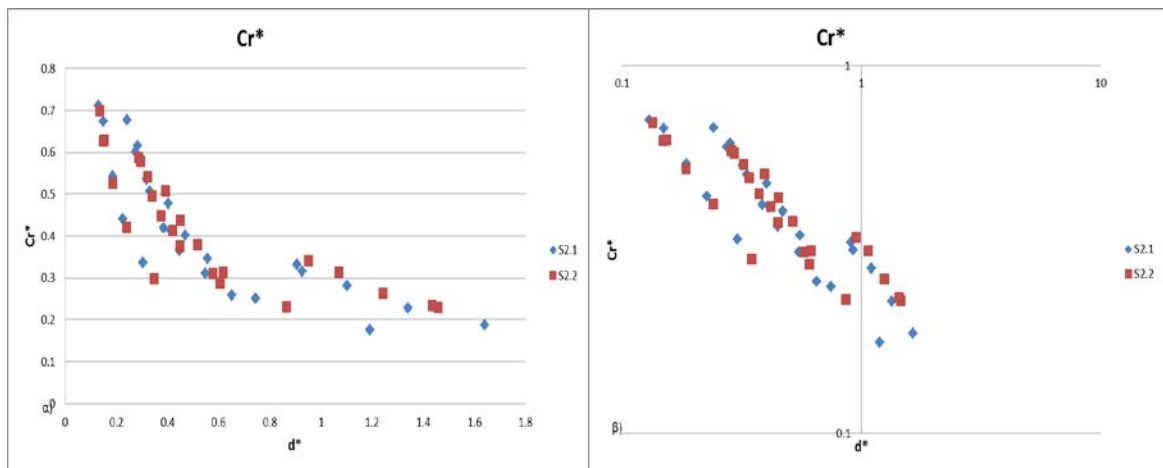
**Σχήμα 9.2** Τυπική τομή φυσικού προσομοιώματος Σειράς 2, θέσεις μετρητών κύματος και κυτίο συλλογής υπερπηδούντος ύδατος..

Απο τα διαγράμματα 9.18 φαίνεται ότι ο συντελεστής ανάκλασης είναι ΤΥΠΟΥ Α και βαίνει αυξανόμενος αυξανόμενης της σχετιζόμενης παραμέτρου

Στο διάγραμμα 9.18 παρατίθεται η καμπύλη του σταθμισμένου συντελεστή  $C_r^*$  ως προς την παράμετρο  $d^*$ .



**Διάγραμμα 9.18.** Συντελεστής ανάκλασης ως προς: α) την παράμετρο  $d^*$ , β) τον λόγο  $R_c/H_s$ , γ) το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο το οποίο ισούται με:  $(R_c/H_s) \times d^*$  και δ) το σχετικό βάθος νερού  $h_s/L_o$  για τις διατάξεις της Σειράς 2.

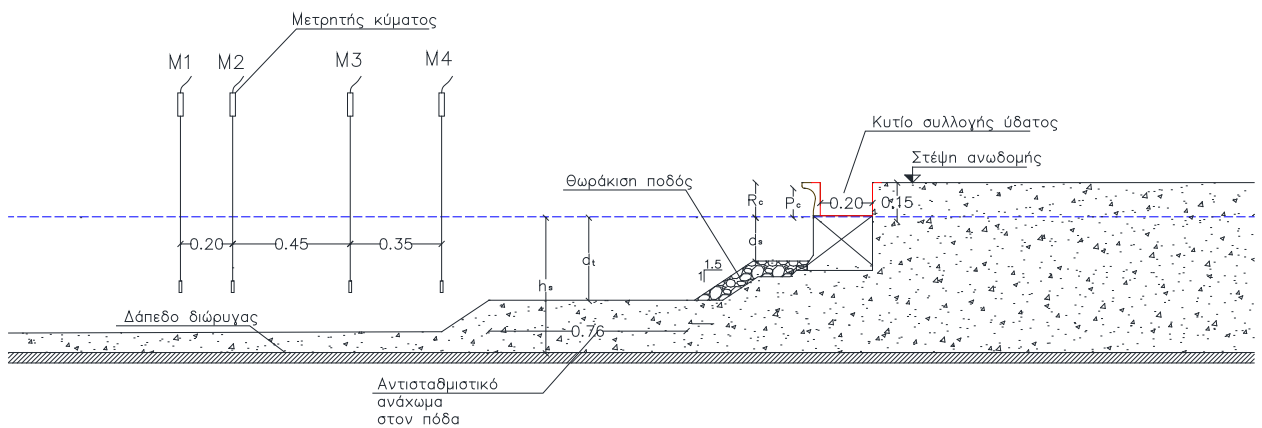


**Διάγραμμα 9.19.** Σταθμισμένος Συντελεστής ανάκλασης ως προς την παράμετρο  $d^*$  σε: α) γραμμική κλίμακα και β) σε διπλή λογαριθμική.

## 9.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 3

### 9.4.1 Συντελεστής ανάκλασης

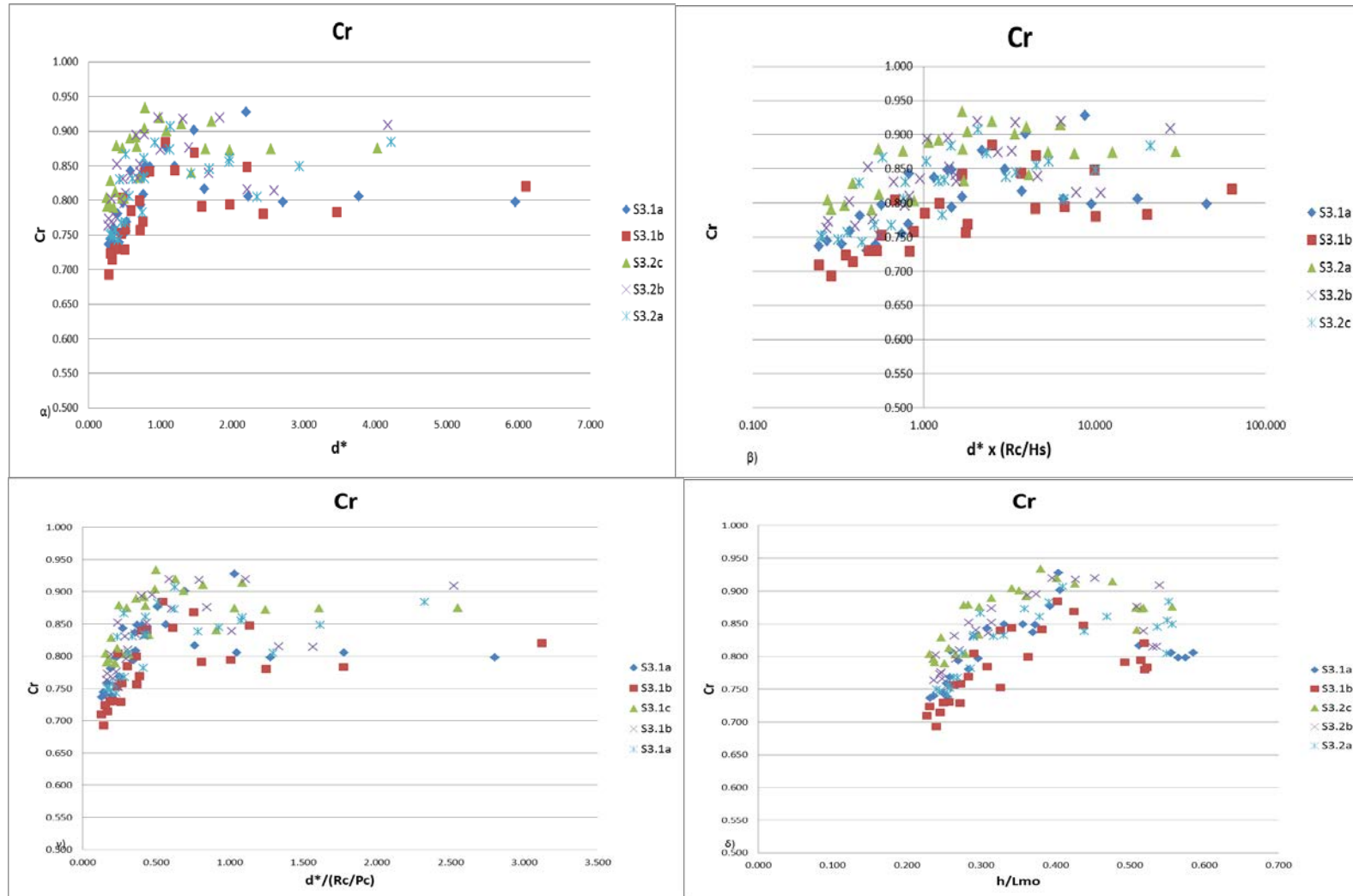
Η Σειρά 3 περιλαμβάνει ταυτόχρονες μετρήσεις συντελεστού ανάκλασης και κυματικής υπερπήδησης. Στο Σχήμα 9.3 δίνεται τυπική τομή του φυσικού προσομοιώματος με τις θέσεις μετρητών κύματος και το κούτιο συλλογής υπερπηδούντος ύδατος. Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται τα διαγράμματα του συντελεστού ανάκλασης ως προς τις επιλεχθείσες παραμέτρους για το σύνολο των μετρήσεων οι οποίες είναι: η παράμετρος  $d^*$ , το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο το οποίο ισούται με:  $(R_c/H_s) \times d^*$ , ο λόγος  $d^*/(R_c/P_c)$  και ο λόγος  $h/L_{m0}$ . Στην συνέχεια διαχωρίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε αυτά κατά τα οποία υπάρχει υπερπήδηση και στα υπόλοιπα κατά τα οποία οι διατομές δεν υπερπηδώνται. Τέλος υπολογίζεται και παρουσιάζεται ο σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης ως προς την παράμετρο  $d^*$



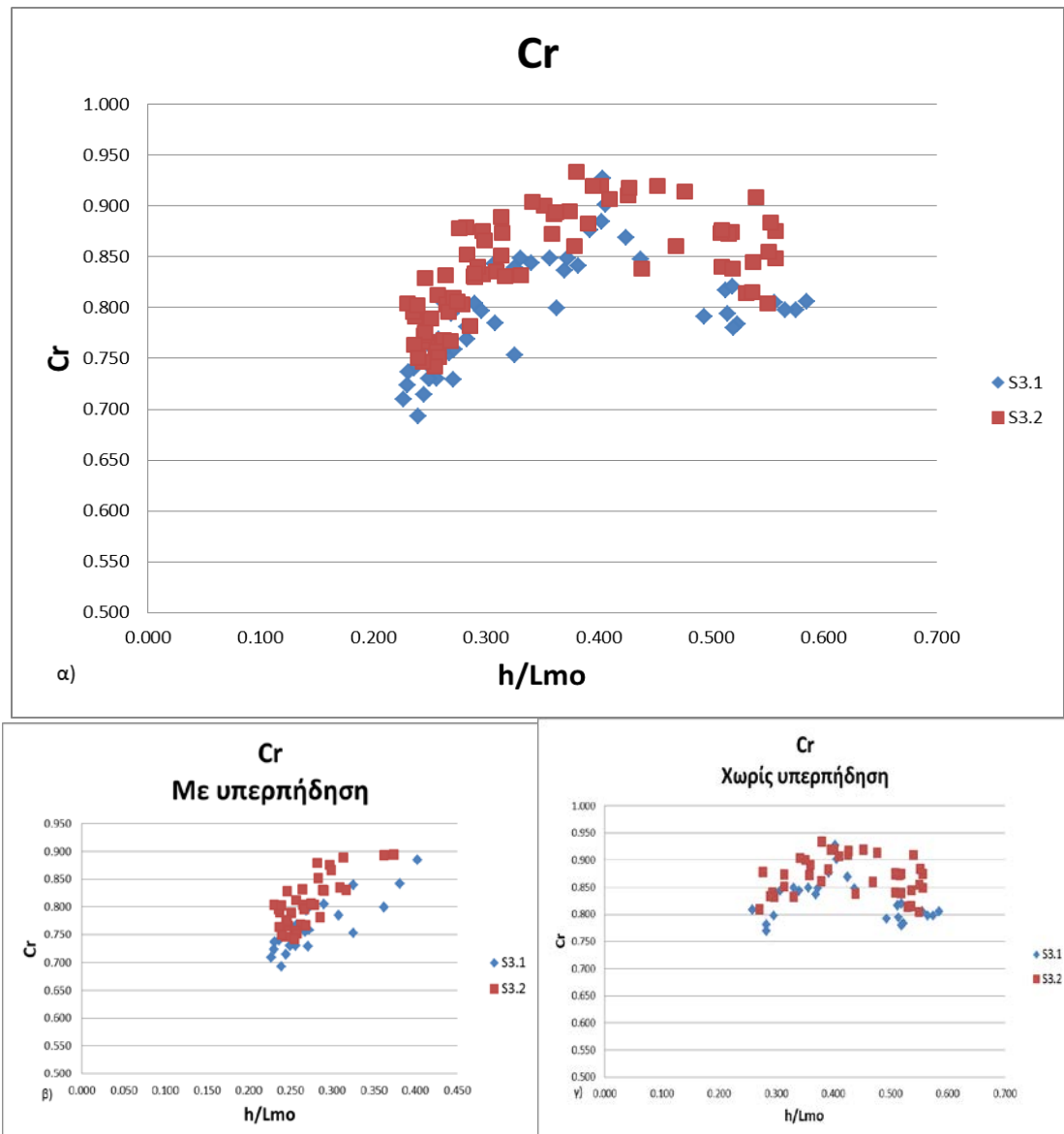
**Σχήμα 9.3** Τυπική τομή φυσικού προσομοιώματος Σειράς 3, θέσεις μετρητών κύματος και κούτιο συλλογής υπερπηδούντος ύδατος..

### 9.4.2 Παράμετροι

Από τα διαγράμματα 9.20 και 9.21 φαίνεται ότι ο συντελεστής ανάκλασης είναι **ΤΥΠΟΥ Α** για όλες τις παραμέτρους που συσχετίστηκε και βαίνει καταρχήν αυξανόμενος με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου. Καλή συσχέτιση φαίνεται να έχει το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο και το σχετικό βάθος  $h/L_{m0}$ . Ιδιαίτερα καλή συσχέτιση έχει το σχετικό βάθος νερού  $h/L_{m0}$  με πολυωνυμική καμπύλη 2ας τάξεως. Ο διαχωρισμός σε κυματικά χαρακτηριστικά που προκαλούν κυματική υπερπήδηση και σε κυματικά χαρακτηριστικά που δεν προκαλούν υπερπήδηση διαχώρισε ουσιαστικά την καμπύλη σε 2 τμήματα.



**Διάγραμμα 9.20.** Συντελεστής ανάκλασης ως προς: α) την παράμετρο  $d^*$ , β) το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο το οποίο ισούται με:  $(R_c/H_s) \times d^*$  γ) τον λόγο  $d^* R_c/P_c$  και δ) το σχετικό βάθος νερού  $h/L_{mo}$  για τις διατάξεις της Σειράς 3, ανά ελεύθερο περιθώριο.

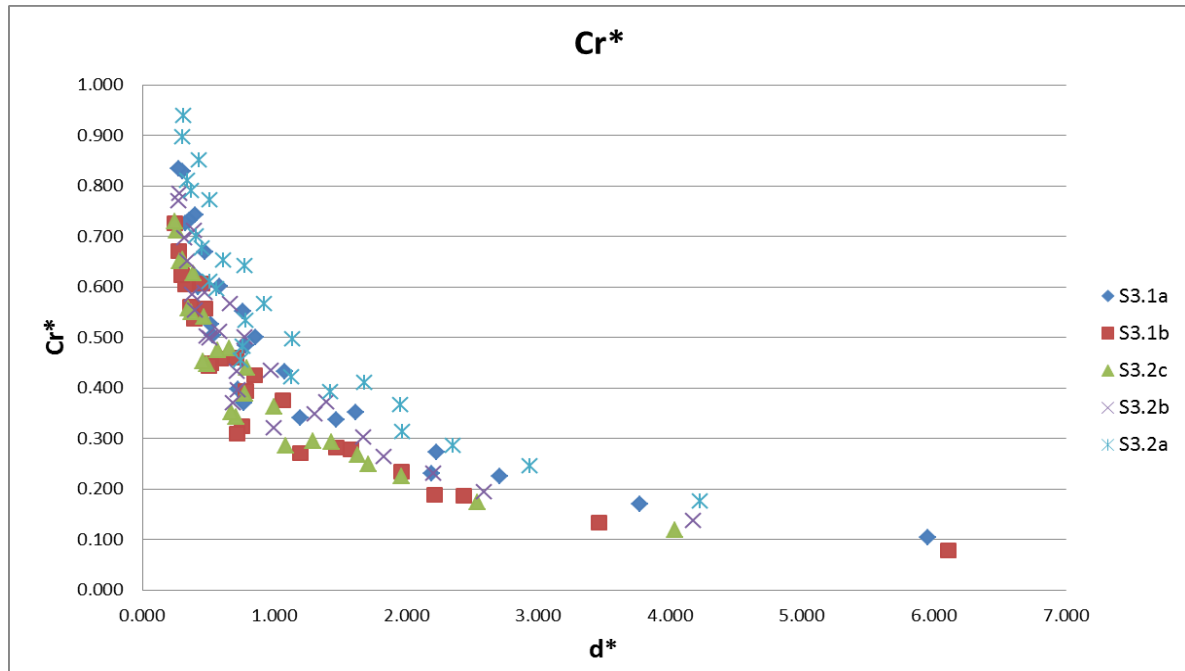


**Διάγραμμα 9.21** Συντελεστής ανάκλασης ως προς το σχετικό βάθος νερού  $h/L_{mo}$  : α) για τις διατάξεις της Σειράς 3 συνολικά, β) για τις μετρήσεις με υπερπήδηση κυμάτων και γ) για τις μετρήσεις χωρίς υπερπήδηση κυμάτων

Οι τιμές του συντελεστή ανάκλασης για την διατομή Σ3.1 είναι ελαφρώς μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές της διατομής Σ3.2. Επίσης ανά διάταξη οι μικρότερες τιμές λαμβάνονται για μικρότερα βάθη ύδατος στην δεξαμενή. Επισημαίνεται ότι οι 2 διατομές έχουν διαφορετική στάθμη στέψης, οπότε το ίδιο ελεύθερο περιθώριο στις 2 διατομές, δεν αντιστοιχεί και σε ίδιο βάθος νερού.

Στο διάγραμμα 9.22 παρουσιάζεται ο Σταθμισμένος Συντελεστής ανάκλασης  $C_r^*$  ως προς την παράμετρο  $d^*$ , των μετρήσεων της Σειράς 3 σε γραμμική κλίμακα. Και στην περίπτωση της Σειράς 3 ο σταθμισμένος συντελεστής ομαλοποιεί την καμπύλη, με δεξιά περιβάλλουσα τις

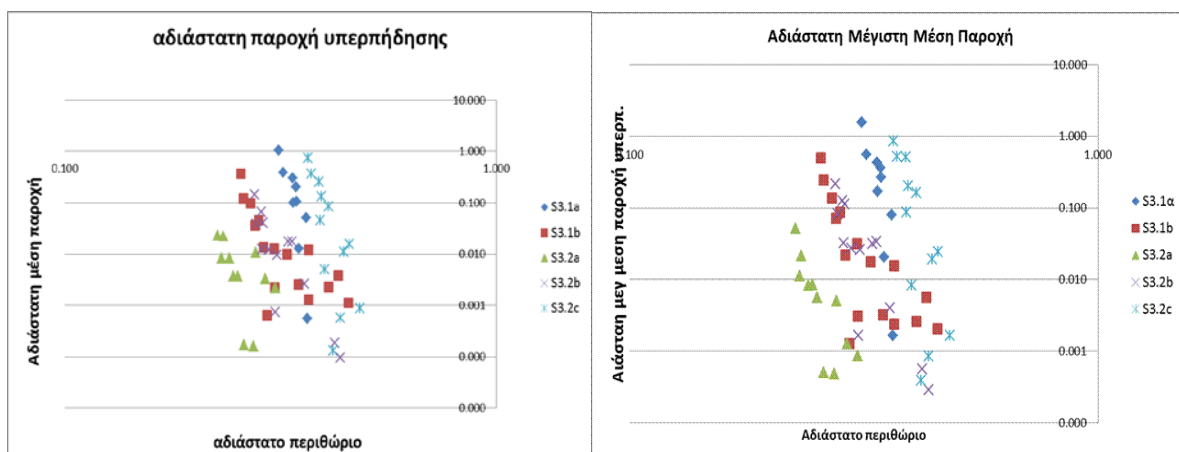
τιμές της διάταξης S3.2 με το μικρότερο ελεύθερο περιθώριο. Μικρές διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στην τιμή  $d^* = 1$ .



**Διάγραμμα 9.22** Σταθμισμένος Συντελεστής ανάκλασης ως προς την παράμετρο  $d^*$ , των μετρήσεων της Σειράς 3

### 9.4.3 Παροχή υπερπήδησης

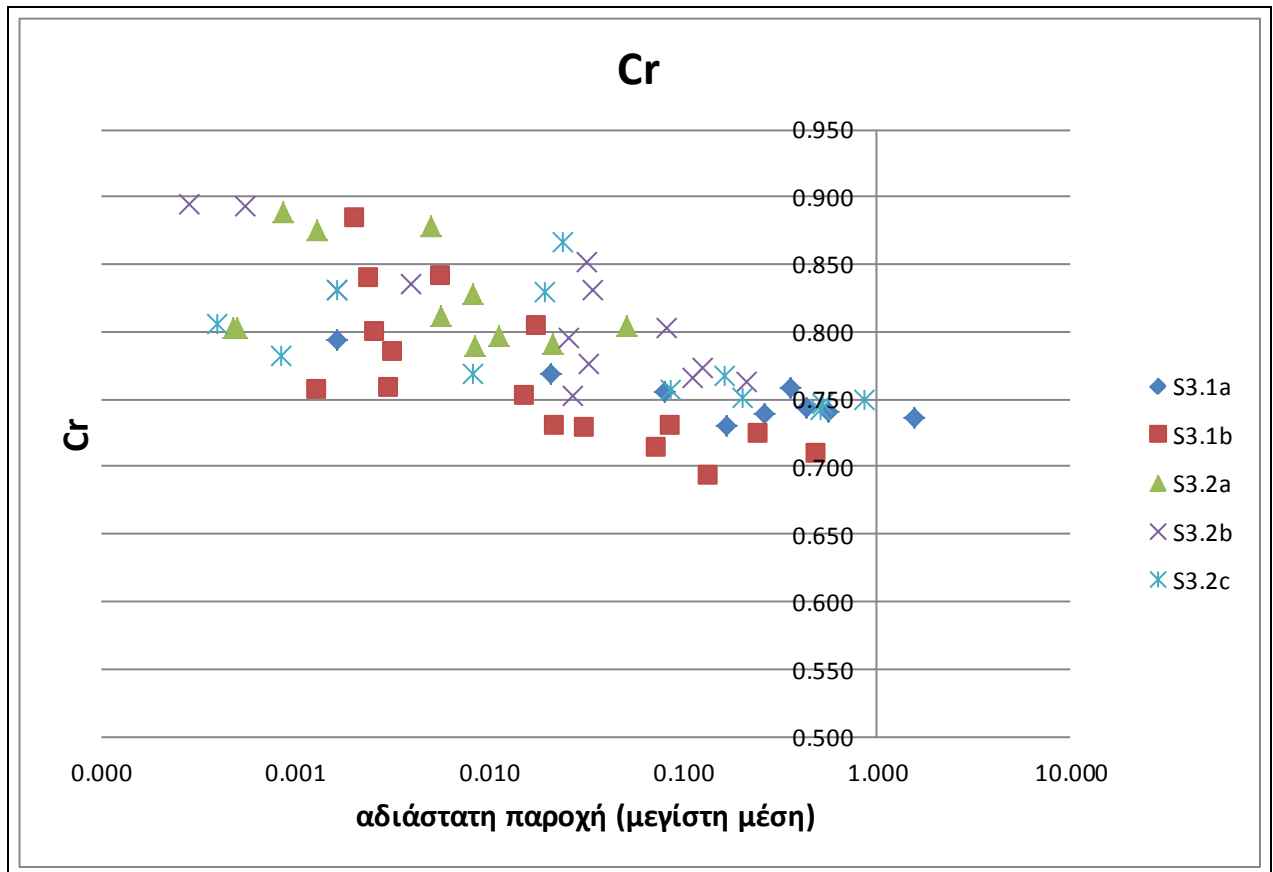
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα διαγράμματα της συσχέτισης της αδιάστατης παροχής υπερπήδησης όπως αυτή ορίσθηκε προς το αδιάστατο περιθώριο, όπως αυτό ορίσθηκε, τον συντελεστή ανάκλασης και τον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης.



**Διάγραμμα 9.23** Αδιάστατη μέση και μέγιστη μέση παροχή υπερπήδησης ως προς το αδιάστατο περιθώριο, ανά διάταξη των μετρήσεων της Σειράς 3.

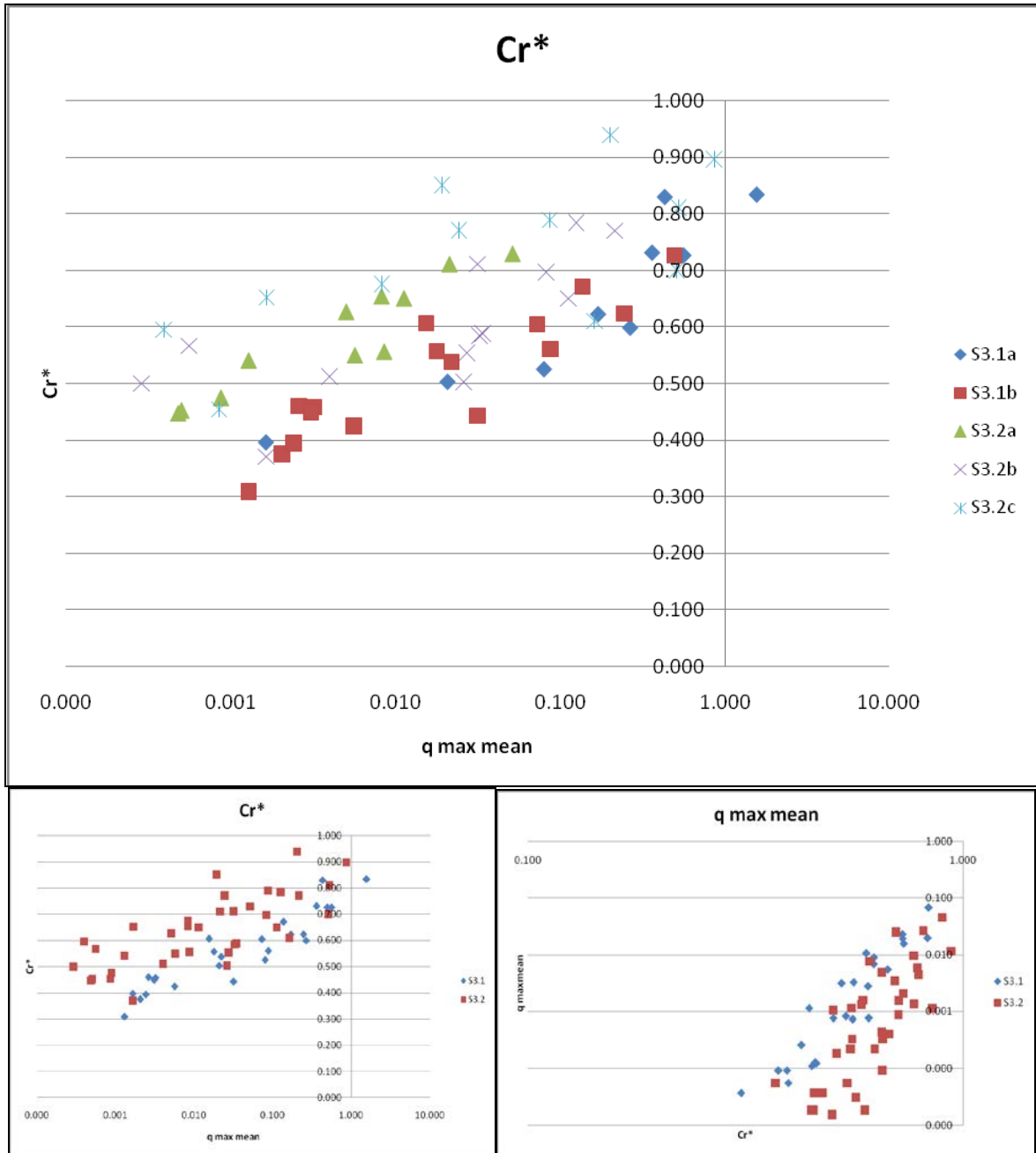
Από το διάγραμμα 9.23 φαίνεται ότι η μέση και μέγιστη μέση παροχή υπερπήδησης όπως ορίστηκαν στο κεφάλαιο 7 συναρτώνται με το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο με εμφανή την επίδραση της κάθε στάθμης ανά καμπύλη.

Στο διάγραμμα 9.24 παρουσιάζεται η συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης προς την αδιάστατη μέση μέγιστη παροχή υπερπήδησης. Υπάρχει συσχέτιση στο σύνολο των σημείων, δεν υπάρχει διαστρωμάτωση καθαρή ανά ελεύθερο περιθώριο.



**Διάγραμμα 9.24** Συντελεστής ανάκλασης ως προς την μέγιστη μέση παροχή υπερπήδησης ανά διάταξη των μετρήσεων της Σειράς 3.

Στο διάγραμμα 9.25 παρουσιάζεται η συσχέτιση του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης με την μέγιστη μέση αδιάστατη παροχή υπερπήδησης. Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται καλύτερη η συσχέτιση του  $C_r^*$  σε σχέση με τον  $C_r$



**Διάγραμμα 9.25** Σταθμισμένος Συντελεστής ανάκλασης ως προς την μέγιστη μέση παροχή υπερπήδησης ανά διάταξη των μετρήσεων της Σειράς 3.

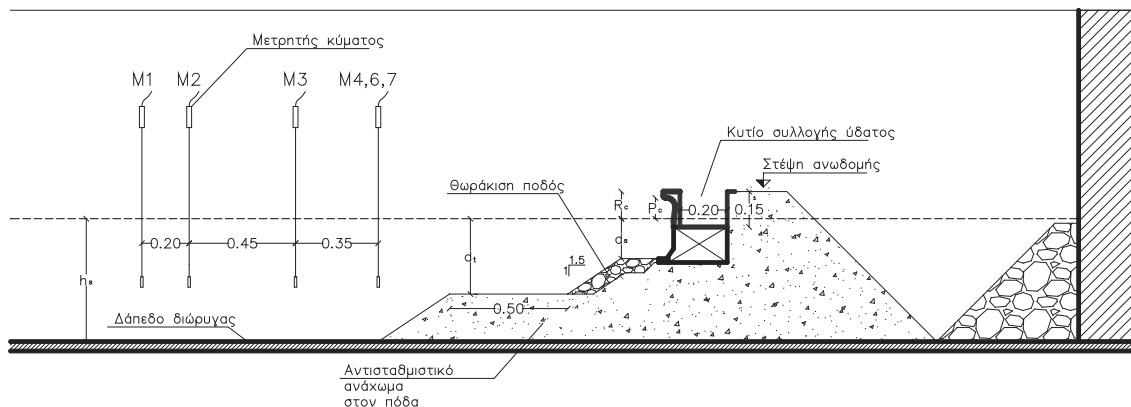


## 9.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕΙΡΑΣ 4

### 9.5.1 Συντελεστής ανάκλασης

Η Σειρά 4 περιλαμβάνει ταυτόχρονες μετρήσεις συντελεστού ανάκλασης και κυματικής υπερπήδησης. Στο Σχήμα 9.4 δίνεται τυπική τομή του φυσικού προσομοιώματος με τις θέσεις μετρητών κύματος και το κούτιο συλλογής υπερπηδούντος ύδατος.

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται τα διαγράμματα του συντελεστού ανάκλασης ως προς τις επιλεγθείσες παραμέτρους για το σύνολο των μετρήσεων οι οποίες είναι: η παράμετρος  $d^*$ , το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο το οποίο ισούται με:  $(R_c/H) \times d^*$  και ο λόγος  $h/L_{m0}$ . Στην συνέχεια διαχωρίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε αυτά κατά τα οποία υπάρχει υπερπήδηση και στα υπόλοιπα κατά τα οποία οι διατομές δεν υπερπηδώνται. Τέλος, υπολογίζεται και παρουσιάζεται ο σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης ως προς την παράμετρο  $d^*$



**Σχήμα 9.4** Τυπική τομή φυσικού προσομοιώματος Σειράς 4, θέσεις μετρητών κύματος και κούτιο συλλογής υπερπηδούντος ύδατος.

### 9.5.2 Παράμετροι

Στις μετρήσεις της Σειράς 4 ο συντελεστής ανάκλασης εμφανίζεται να είναι ΤΥΠΟΥ Α για τις παραμέτρους  $d^*$ ,  $d^* \times (R_c/H)$ ,  $R_c/H$ , με μια ιδιαιτερότητα, να διαχωρίζονται σημεία μετρήσεων και να συγκεντρώνονται σε περιοχή υψηλής ανακλαστικότητας, δημιουργώντας 2 ανεξάρτητα νέφη σημείων. Ακόμη και στην περίπτωση που διαχωρίζονται τα δεδομένα σε δεδομένα με υπερπήδηση και χωρίς υπερπήδηση πάλι εμφανίζεται το ίδιο φαινόμενο. Ιδιαίτερα στα δεδομένα με κυματική υπερπήδηση η συγκέντρωση των σημείων σε υψηλή ανακλαστικότητα είναι μεγαλύτερη. (Βλέπε διαγράμματα 9.26 έως και 9.28). Τα σημεία αυτά είναι σημεία μετρήσεων κυμάτων τα οποία έχουν εισέλθει σε περιοχή ρηχών υδάτων.

Ο συντελεστής ανάκλασης, αντίθετα με τις άλλες παραμέτρους, είναι ΤΥΠΟΥ Β για τον λόγο  $h/L_{m0}$ . Στην Σειρά 1 ακολουθούσε σε όλες τις παραμέτρους με τις οποίες συσχετίσθηκε, τον ίδιο τύπο είτε Α είτε Β, όπως και στην Σειρά 3.

Ο συντελεστής ανάκλασης συσχετίζεται πολύ καλά με πολυωνυμική καμπύλη 2<sup>ας</sup> τάξεως, χωρίς να εμφανίζεται ο διαχωρισμός των σημείων. Οι υψηλές τιμές εμφανίζονται για τιμές μικρότερες του 0.33  $h/L_{m0}$ .

Τα σημεία που συγκεντρώνονται στην περιοχή υψηλής ανακλαστικότητας στην καμπύλη συσχέτισης του συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο  $d^*$ , εξαλείφονται όταν ληφθεί υπόψιν ο περιορισμός για τιμές του σχετικού βάθους  $h/L_{m0} > 0.33$ . (Βλέπε διάγραμμα 9.29). Τότε τα εναπομείναντα σημεία ακολουθούν καμπύλη ΤΥΠΟΥ Α χωρίς την συγκέντρωση των σημείων σε υψηλής ανακλαστικότητας περιοχή. Άρα η επίδραση της μεταβολής του πυθμένα σε συνδυασμό με την μεταβολή της  $T_m$  στον συντελεστή ανάκλασης είναι βασικός παράγοντας, ίσως βασικότερος και από την μορφή του έξαλου τμήματος της διατομής. Επίσης φαίνεται ότι η παράμετρος  $d^*$  συσχετίζει πολύ καλά τα δεδομένα και των 2 διατάξεων, αφού σχεδόν συμπίπτουν οι 2 καμπύλες, όταν αφαιρεθούν τα κύματα στα ρηχά ύδατα.

Από την παρατήρηση των φασμάτων, τόσο των κυμάτων στον πόδα του έργου και του συντελεστού ανάκλασης, παρατηρούνται τα εξής :

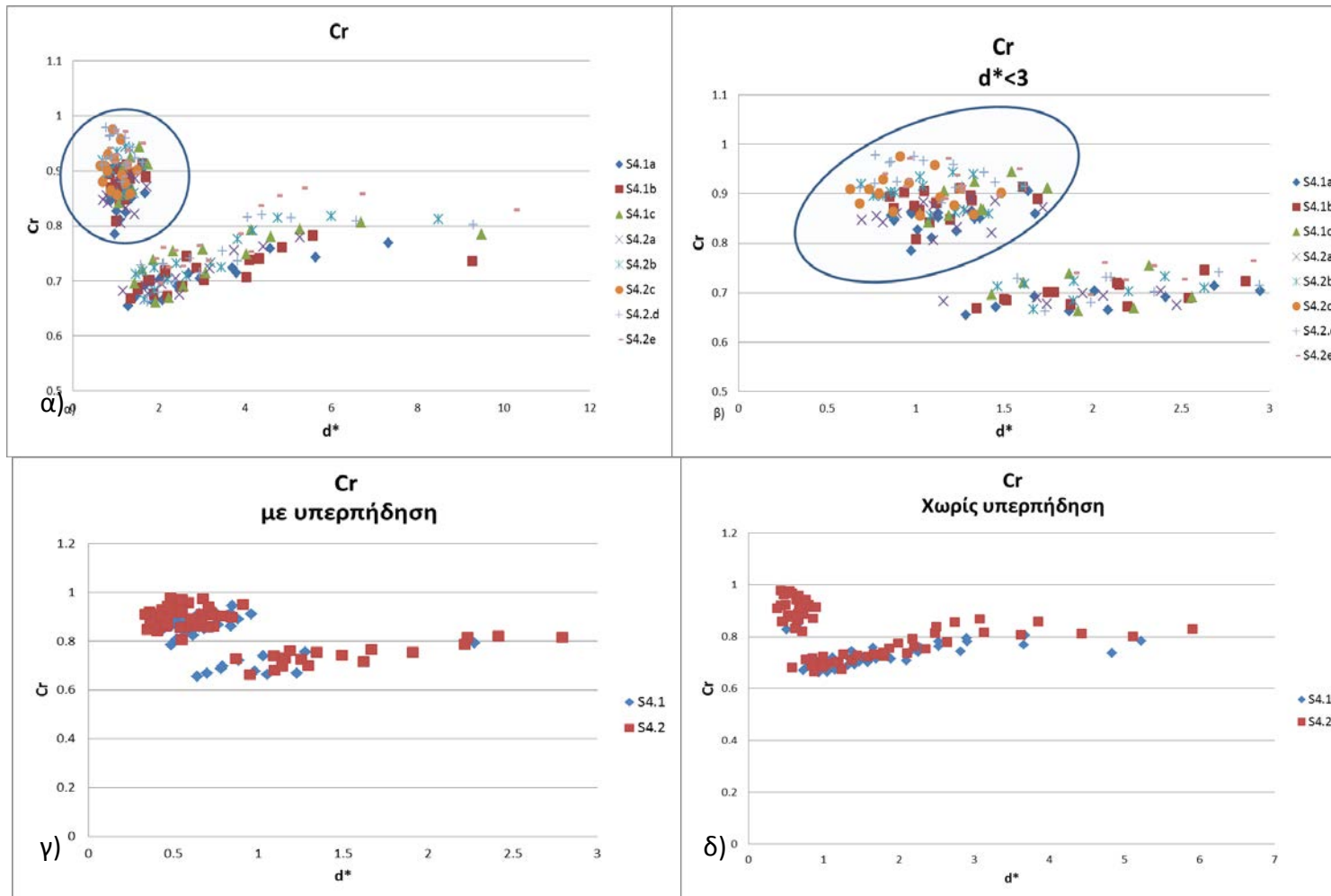
- Διπλή κορυφή στο ενεργειακό φάσμα.
- Μεγάλες τιμές του συντελεστή ανάκλασης στην περιοχή της πρώτης κορυφής του φάσματος.

Η απότομη μεταβολή του βάθους στον πόδα του αντισταθμιστικού αναχώματος προκαλεί συντονισμό σε κάποια συχνότητα, με αποτέλεσμα την αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Η μεταβολή - παραμόρφωση του ενεργειακού φάσματος φαίνεται ότι επιδρά σημαντικά και στο φαινόμενο της ανάκλασης, αφού κάθε συχνότητα έχει ιδιαίτερη συμπεριφορά.

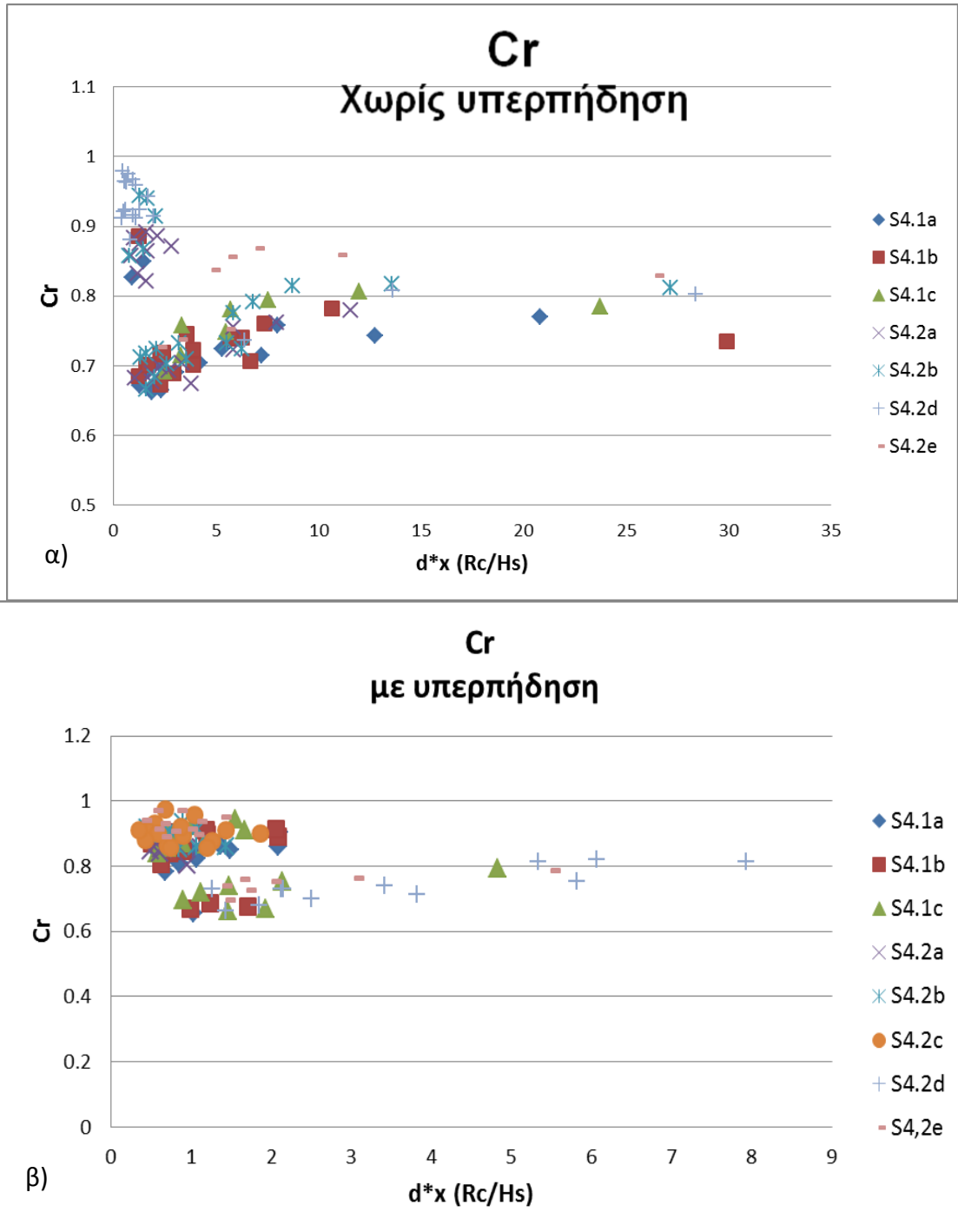
Τα αποτελέσματα της Σειράς 4 βοηθούν στην κατανόηση της συμπεριφοράς των κατακορύφων μετώπων από την επίδραση του πυθμένα .

Η επίδραση της απότομης μεταβολής του πυθμένα μακριά από το κατακόρυφο μέτωπο, σε απόσταση 1 έως 2 μήκη κύματος, φαίνεται να επιδρά περισσότερο από την ύπαρξη της θωράκισης στον πόδα του κατακορύφου μετώπου.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι βασική παράμετρος για την εκτίμηση του συντελεστή ανάκλασης είναι ο λόγος  $h/L_{m0}$  (σχετικό βάθος).

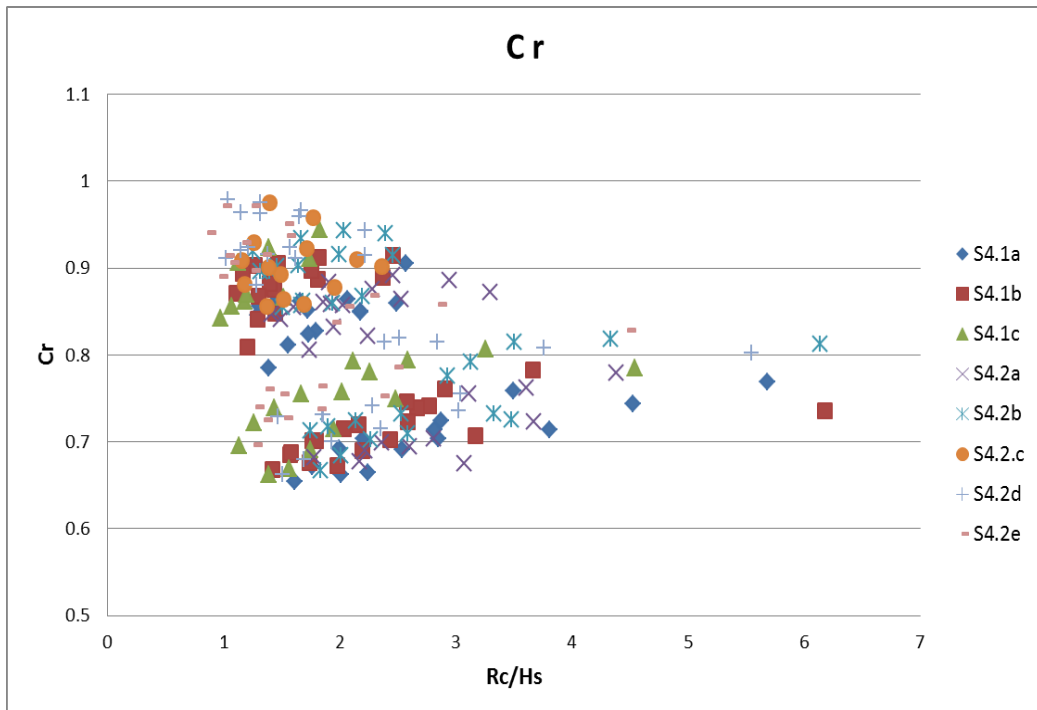


**Διάγραμμα 9.26** Συντελεστής ανάκλασης ως προς παράμετρο  $d^*$  των μετρήσεων της Σειράς 4: α) Για το σύνολο των μετρήσεων, β) για  $d^* < 3$ , γ) χωρίς υπερπήδηση και δ) με υπερπήδηση

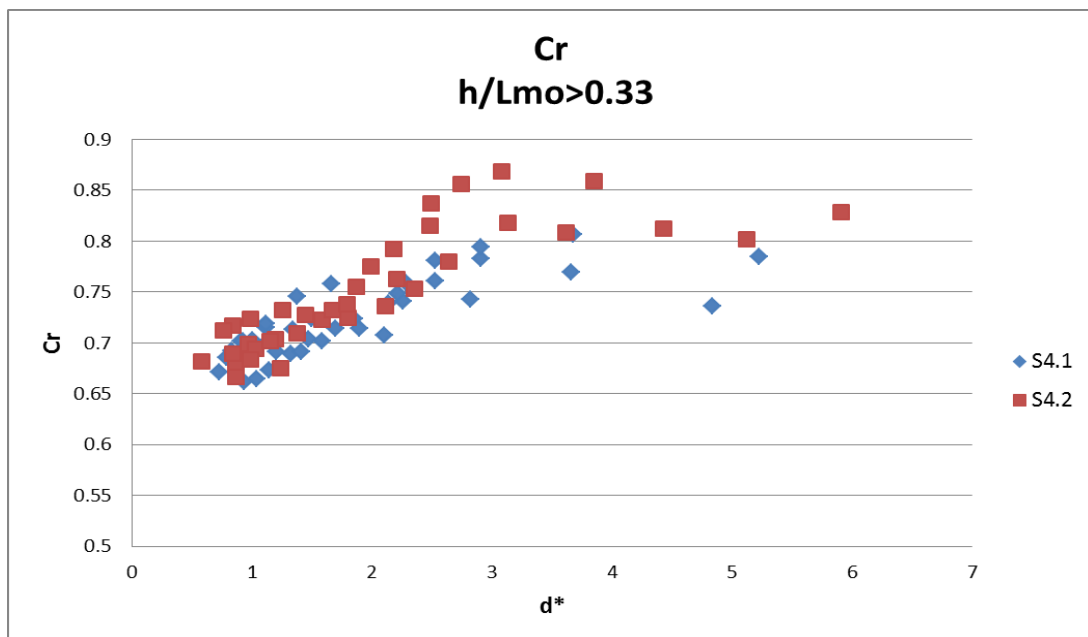


**Διάγραμμα 9.27** Συντελεστής ανάκλασης ως προς το αδιάστατο περιθώριο της Σειράς 4: α) χωρίς υπερπήδηση, β) με υπερπήδηση,

Θα πρέπει πλέον να διερευνηθεί η μεταβολή της περιόδου του προσπίπτοντος κυματισμού από τα βαθιά στα ρηχά και να μην θεωρείται σταθερή και δεδομένη. Όπως φαίνεται η περίθλαση, η διάθλαση και η ανάκλαση επηρεάζουν σημαντικά την μεταβολή της περιόδου του κύματος στα ρηχά στους τυχαίους κυματισμούς.

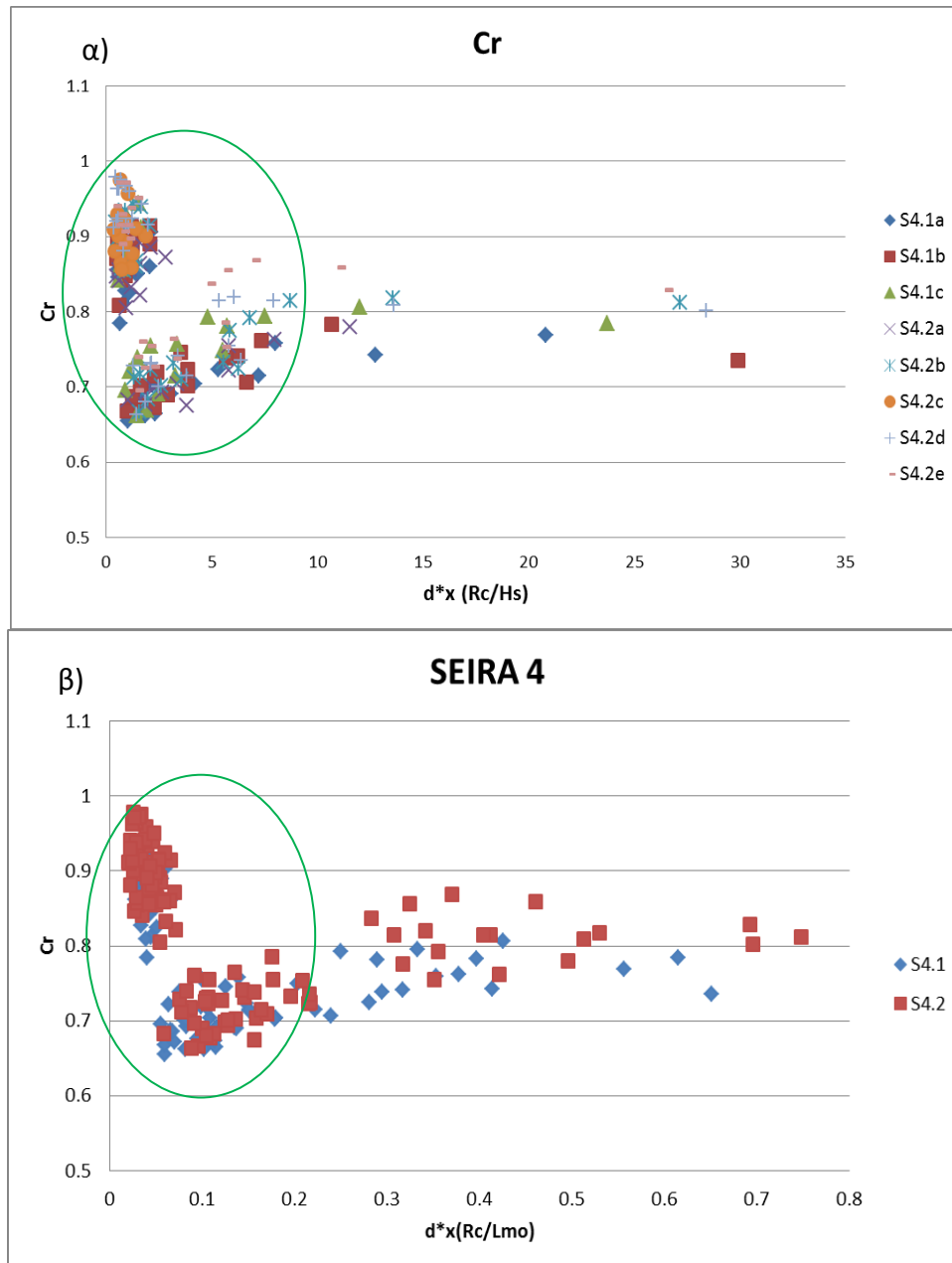


**Διάγραμμα 9.28** Συντελεστής ανάκλασης της Σειράς 4 ως προς παράμετρο α)  $R_c/H_s$



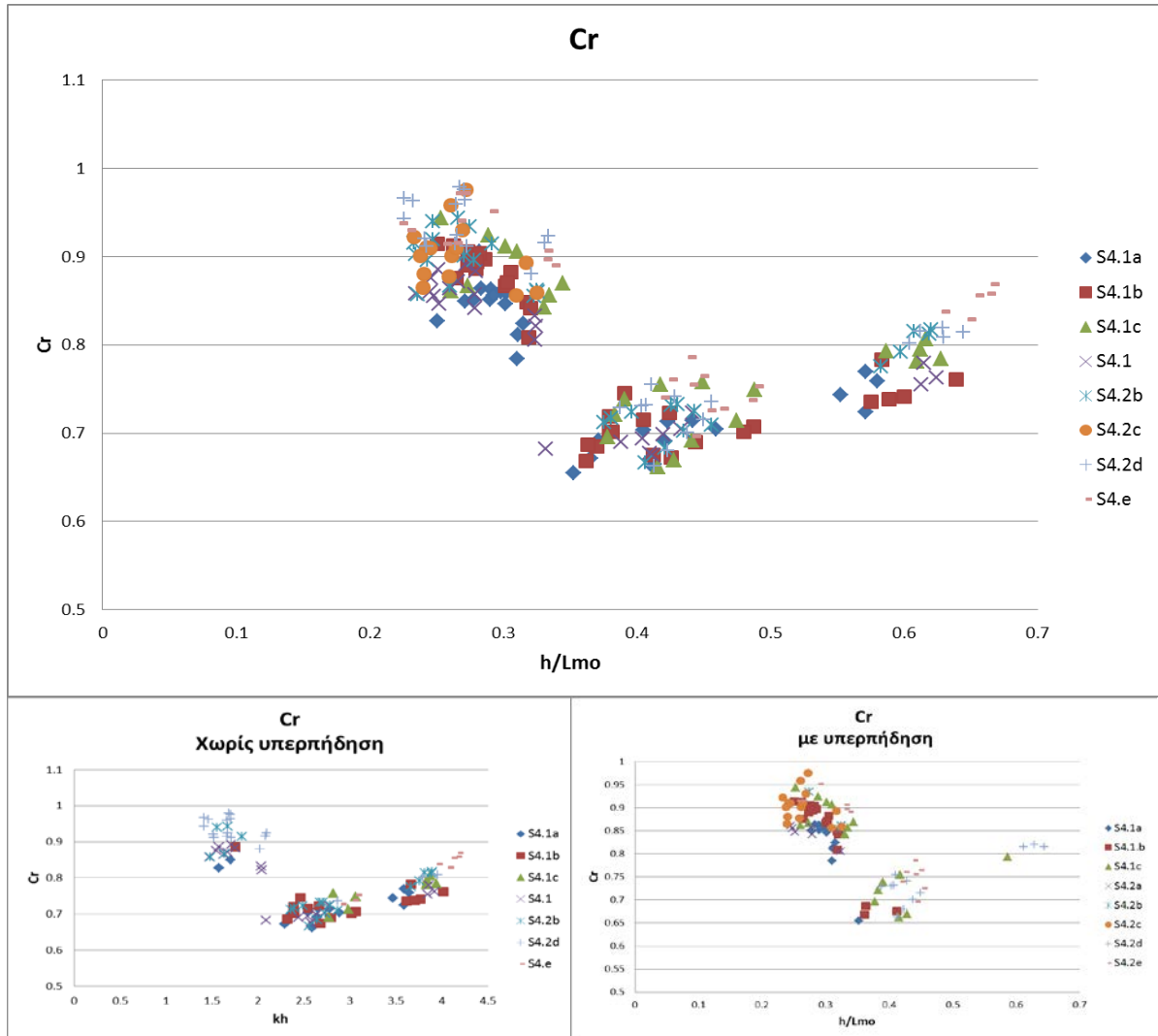
**Διάγραμμα 9.29** Συντελεστής ανάκλασης ως προς παράμετρο  $d^*$  για  $h/L_{mo} > 0.33$  Σειράς 4

Για την διερεύνηση της επίδρασης του μήκους κύματος στον συντελεστή ανάκλασης αντικαταστάθηκε στο αδιάστατο περιθώριο ο λόγος  $R_c/H_s$  με τον λόγο  $R_c/L_{mo}$ . Στο διάγραμμα 9.30 φαίνεται πως μετατοπίζονται τα νέφη των σημείων (πράσινες ελλείψεις). (Οι κλίμακες είναι γραμμικές, αλλά διαφορετικά τα όρια.) Άρα η αλλαγή της παραμέτρου, με την ενίσχυση της βαρύτητας του μήκους κύματος και την μείωση της βαρύτητας του ύψους κύματος βοηθά στην ομογενοποίηση των δεδομένων.



**Διάγραμμα 9.30** Συντελεστής ανάκλασης της Σειράς 4 ως προς παράμετρο: α)  $d^* x ( R_c/H )$  και β)  $d^* x ( R_c/L_{m0})$

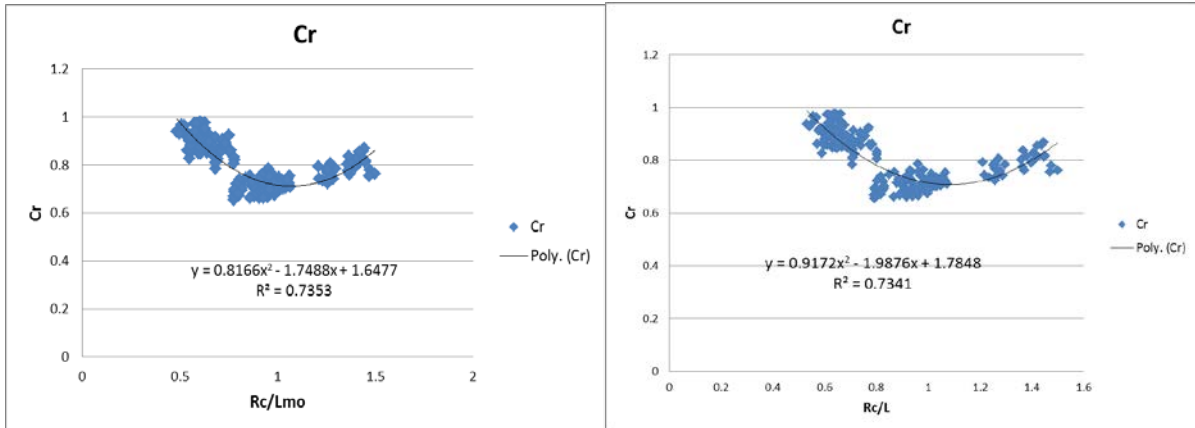
Αφαιρόντας εντελώς την επίδραση του ύψους κύματος στην συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης επελέγη να συσχετισθεί ο λόγος  $h/L_{m0}$ . Στο Διάγραμμα 9.31 συσχετίζεται ο συντελεστής ανάκλασης με τον λόγο  $h/L_{m0}$  α) για το σύνολο των μετρήσεων, β) για τις μετρήσεις που δεν καταγράφηκε υπερπήδηση και γ) για τις μετρήσεις που μετρήθηκε υπερπήδηση. Όπως φαίνεται το νέφος των σημείων ακολουθεί πολυωνυμική κατανομή.



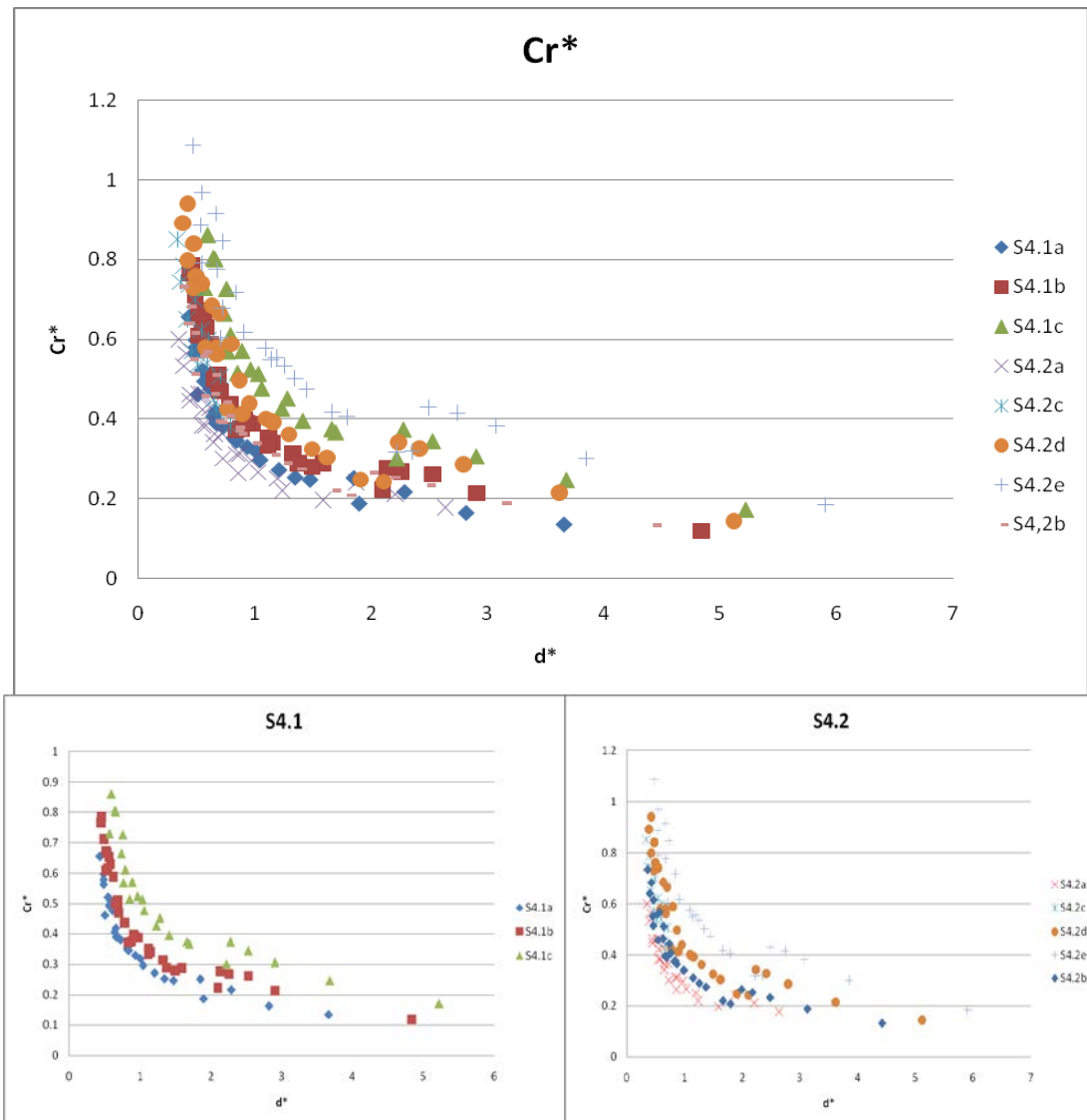
**Διάγραμμα 9.31** Συντελεστής ανάκλασης ως προς το σχετικό βάθος νερού  $h/L_{m0}$  της Σειράς 4: α) Συνολικά, β) χωρίς υπερπήδηση, και γ) με υπερπήδηση

Για την διαπίστωση της επίδρασης του μήκους κύματος λαμβάνοντας υπόψιν την ρήγωση, έγιναν τα διαγράμματα συσχέτισης για μια τυχαία μεταβλητή την  $R_c/L$ . Για το σύνολο των μετρήσεων έγιναν τα διαγράμματα συσχέτισης του συντελεστή ανάκλασης με τον λόγο α)  $R_c/L_0$  και β)  $R_c/L$  όπου  $L$  το μήκος κύματος με ρήγωση. Ο συντελεστής συσχέτισης είναι ελαφρώς καλύτερος για την πρώτη περίπτωση. Το ίδιο παρατηρήθηκε όσες φορές έγινε αντίστοιχη προσπάθεια. Συγγρόνως στην διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται αυτό το μήκος κύματος.

Στην συνέχεια συσχετίστηκε ο σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης με την παράμετρο  $d^*$  (βλέπε διάγραμμα 9.33). Και στην σειρά 4 ακολουθεί την ίδια μορφή καμπύλης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η αλλαγή κλίσης γίνεται στην τιμή  $d^* = 2$  περίπου, ενώ οι καμπύλες είναι αυστηρά μορφοποιημένες ανά ελεύθερο περιθώριο για κάθε εξετασθείσα διάταξη.



**Διάγραμμα 9.32** Συγκριτικά αποτελέσματα μετρήσεων με την χρήση  $L_{mo}$  και  $L_m$

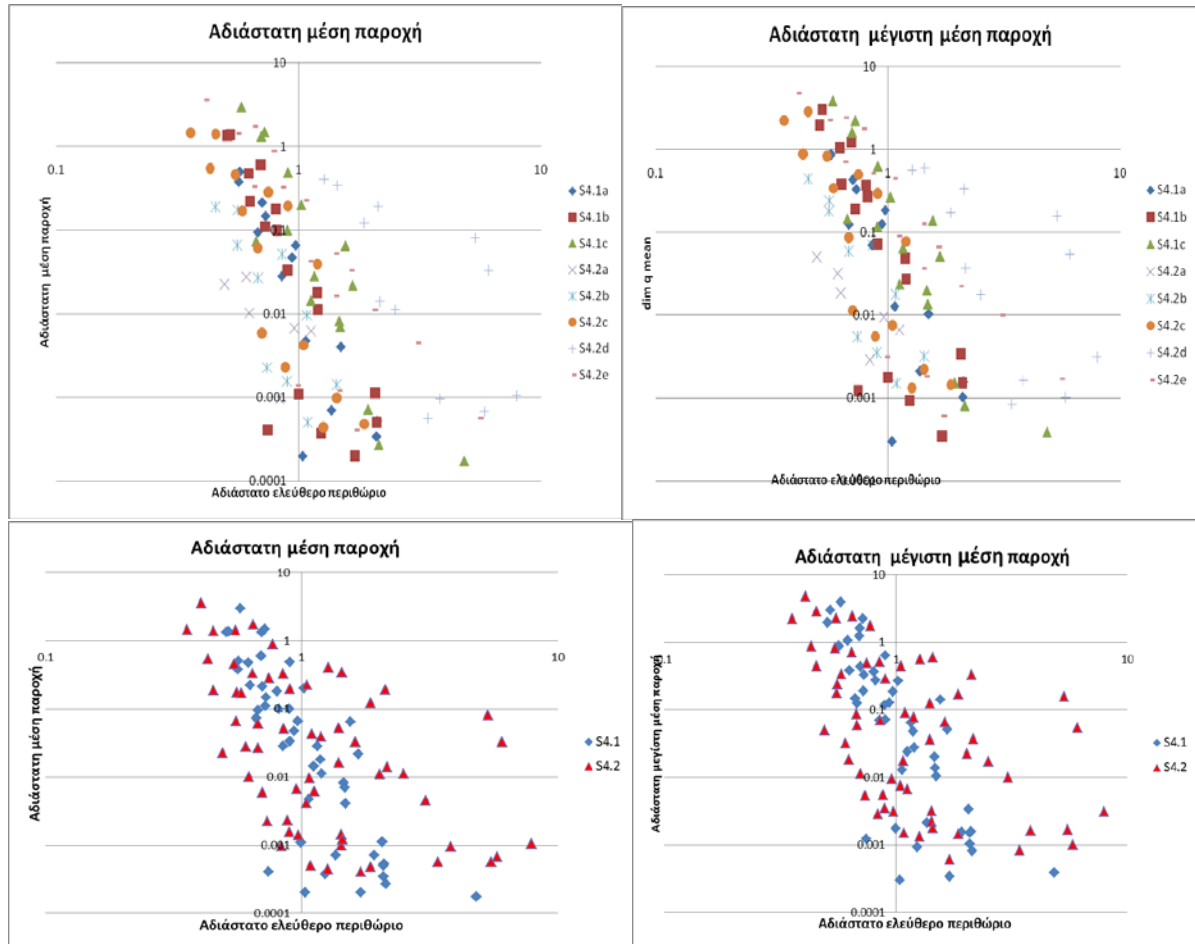


**Διάγραμμα 9.33** Σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης ως προς την παράμετρο  $d^*$  για τις μετρήσεις της Σειράς 4.



### 9.5.2 Παροχή υπερπήδησης

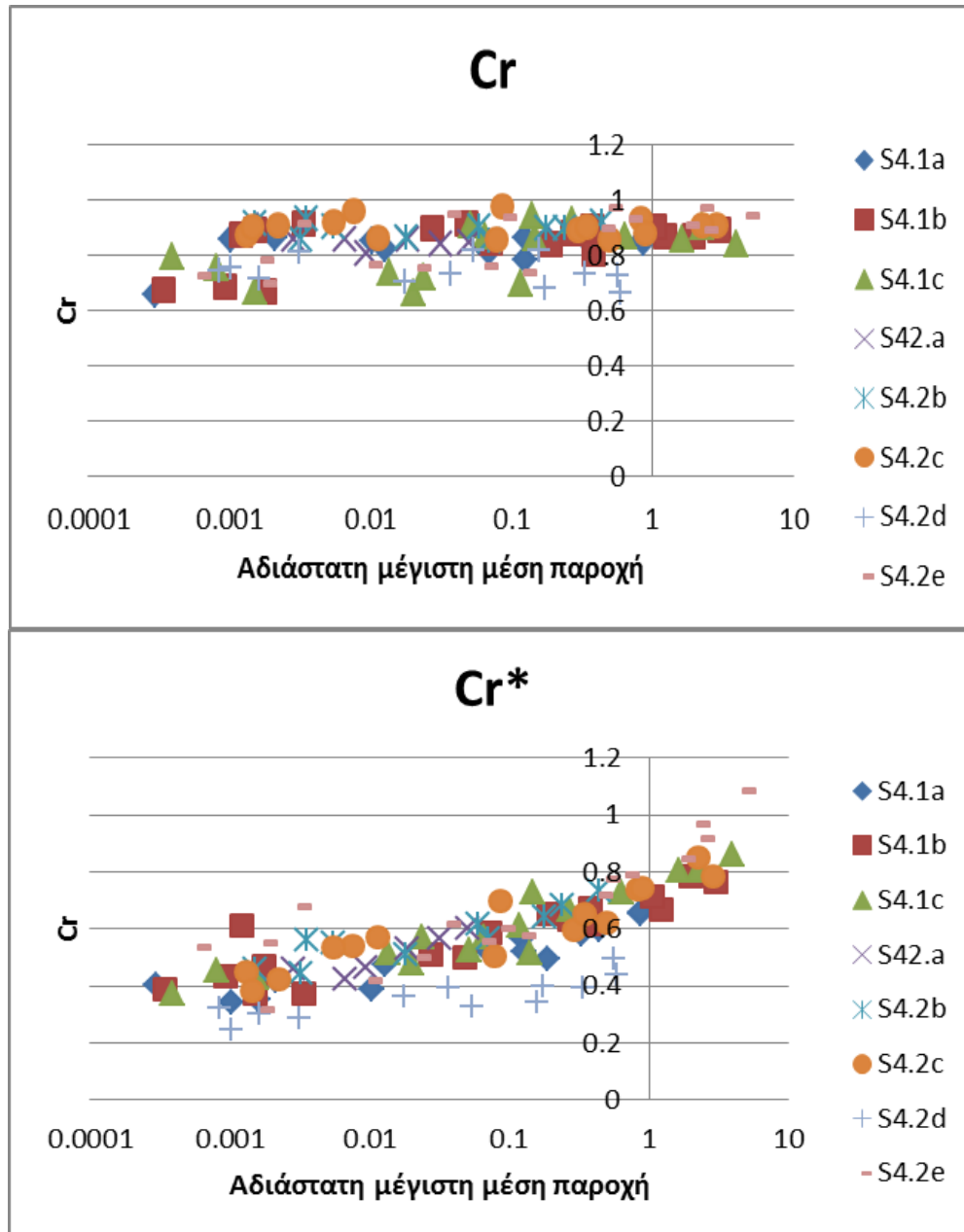
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα διαγράμματα της συσχέτισης της αδιάστατης παροχής υπερπήδησης όπως αυτή ορίσθηκε προς το αδιάστατο περιθώριο, τον συντελεστή ανάκλασης και τον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης.



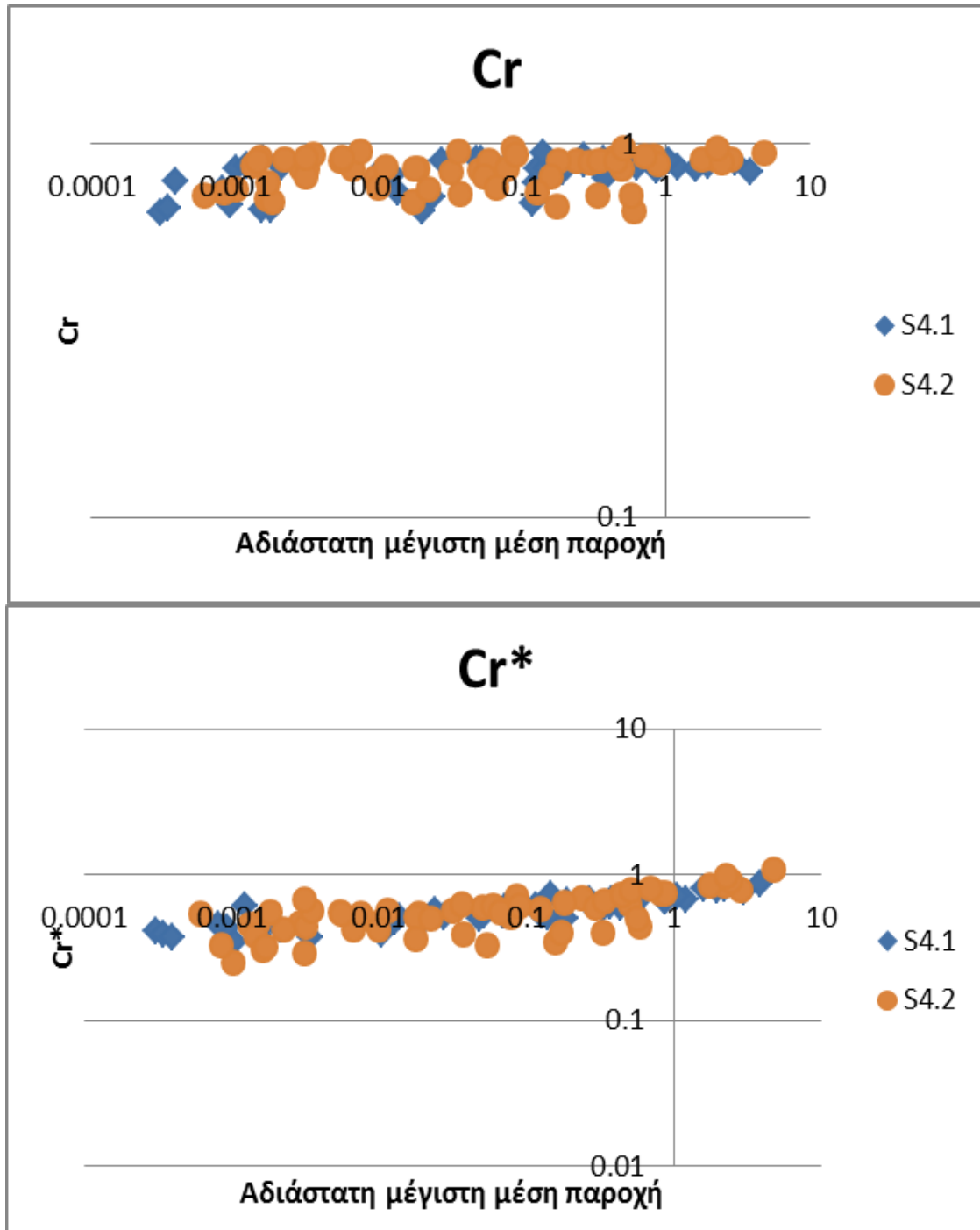
**Διάγραμμα 9.34** Αδιάστατη μέση και μέγιστη μέση παροχή υπερπήδησης προς το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο

Από το Διάγραμμα 9.34 φαίνεται η συσχέτιση της αδιάστατης παροχής υπερπήδησης με το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο σε διπλή λογαριθμική καμπύλη. Παραπλήσιες καμπύλες έχουν προέλθει από άλλους ερευνητές (Eurotop 2007). Όπως διακρίνεται η διάταξη S4.1 έχει μικρότερη διασπορά από την S4.2. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στην Σειρά 3.

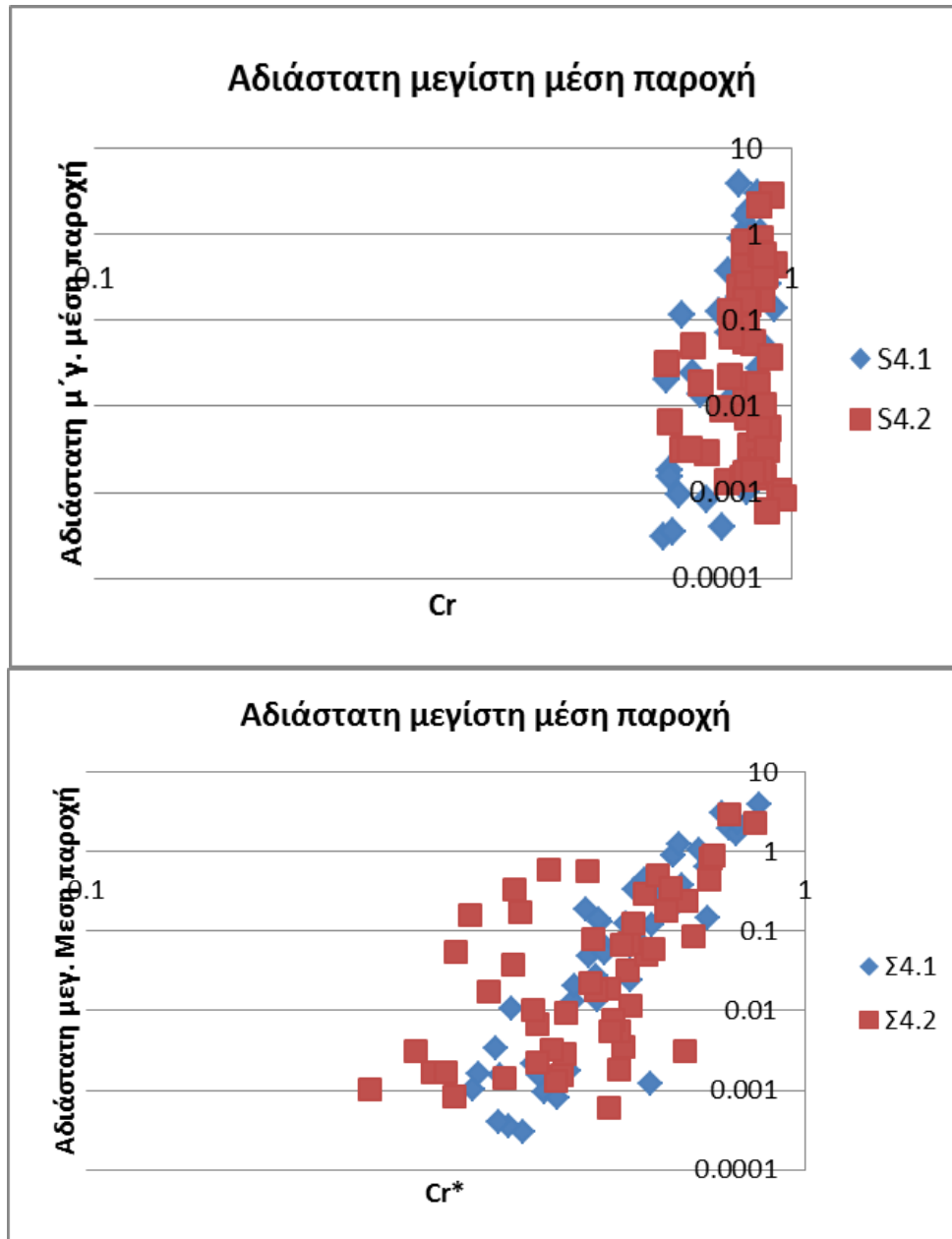
Στα Διάγραμμα 9.35 και 9.36 συσχετίζονται η αδιάστατη μέγιστη μέση παροχή υπερπήδησης με τον συντελεστή ανάκλασης και τον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης ανά διάταξη και ανά ελεύθερο περιθώριο. Η συσχέτιση με τον συντελεστή ανάκλασης παραπέμπει σε ευθεία παράλληλη με τον άξονα των Χ, ενώ με τον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης υπάρχει κλίση.



**Διάγραμμα 9.35** Αδιάστατη μέγιστη μέση παροχή υπερπήδησης ως προς τον συντελεστή ανάκλασης και τον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης ανά ελεύθερο περιθώριο



**Διάγραμμα 9.36** Συντελεστής ανάκλασης και σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης προς την αδιάστατη μέγιστη μέση παροχή ανά διάταξη



**Διάγραμμα 9.37** Αδιάστατη μέγιστη μέση παροχή υπερπήδησης προς τον συντελεστή ανάκλασης και τον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης

## 9.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΕΙΡΩΝ 3 και 4

Στην παρούσα παράγραφο γίνεται καταρχήν σύγκριση των μετρήσεων με τα ίδια κυματικά χαρακτηριστικά δεδομένα, για τα χαρακτηριστικά μεγέθη  $H_s$ ,  $T_p$ ,  $T_m$ ,  $L_{m0}$  των μετρηθέντων κυμάτων στον πόδα των έργων, ήτοι στην θέση του μετρητή M4. (Βλέπε Σχήματα 9.3 και 9.4)

Στην συνέχεια συγκρίνονται οι παράμετροι  $d^*$ ,  $(R_c/H_s)$ ,  $d^* (R_c/H_s)$  και  $h/L_{m0}$  όπως προέκυψαν από την ανάλυση των μετρήσεων, ενώ τέλος συγκρίθηκαν και οι συντελεστές ανάκλασης και σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης.

### Χαρακτηριστικό ύψος κύματος

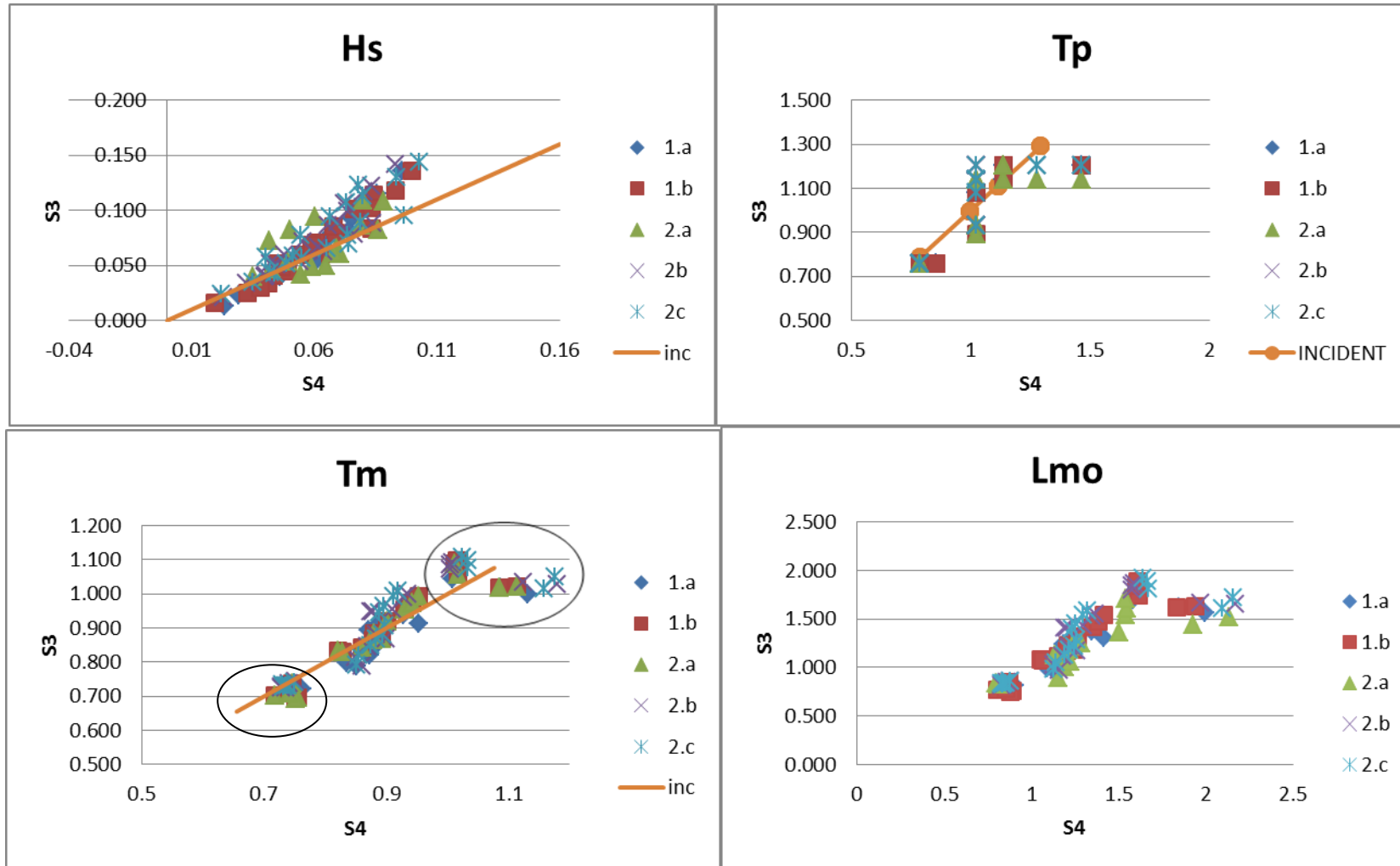
Τα χαρακτηριστικά ύψη κύματος συσχετίζονται πολύ καλά για όλες τις μετρήσεις μέχρι μιας ορισμένης τιμής  $\sim 0.006m$ . Στην συνέχεια οι τιμές της διάταξης 3 είναι ελαφρώς πιο αυξημένες με τάση να μεγαλώσουν οι διαφορές. Μόνον για το μικρότερο βάθος πυθμένα οι τιμές παραμένουν οι ίδιες, ενώ οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται για το μικρότερο ελεύθερο περιθώριο. (Βλέπε Διάγραμμα 38)

### Περίοδοι κύματος $T_p$ και $T_m$

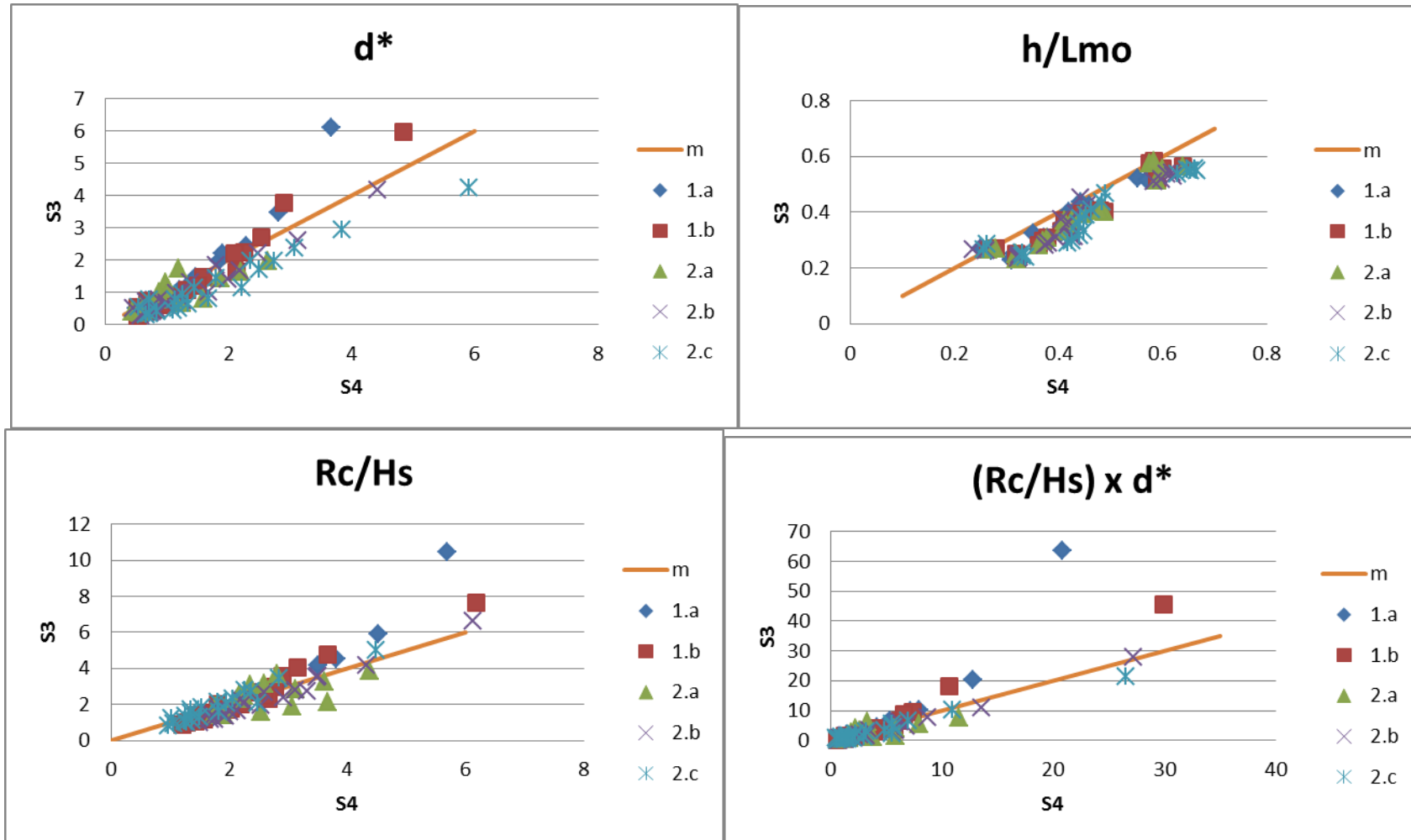
Οι περίοδοι των μετρηθέντων φασμάτων καταρχήν διαφοροποιούνται από τα αρχικά δεδομένα προσπίπτοντα κύματα. Η Περίοδος αιχμής είναι κατανοητό να μετατοπίζεται σύμφωνα με την ανάλυση του ταχέως μετασχηματισμού Fourier. Στις μετρήσεις της Σειράς 3 υπάρχει μικρότερη απομάκρυνση από τις αρχικά προσπίπτουσες περιόδους. Στις μετρήσεις της Σειράς 4 υπάρχει μεγαλύτερη διασπορά, με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται από ένα σημείο και ύστερα. Από τα δεδομένα φαίνεται ότι υπάρχει συντονισμός σε κάποια συχνότητα με αποτέλεσμα η περίοδος αιχμής να παραμένει σταθερή από την τιμή  $T_p=1$  sec και πάνω για την Σειρά 4. Από την φασματική ανάλυση φάνηκε ότι υπάρχει διπλή κορυφή. Επίσης διαπιστώθηκε σημαντική επιβάρυνση του συντελεστή ανάκλασης στην περιοχή αυτών των συχνοτήτων. . (Βλέπε Διάγραμμα 38)

### Μήκη Κύματος

Τα μήκη κύματος ακολουθούν και αυτά την συμπεριφορά των περιόδων εις το τετράγωνο και τελικά παρουσιάζεται μια αύξηση των μηκών στην Σειρά 4 (Βλέπε Διάγραμμα 38).



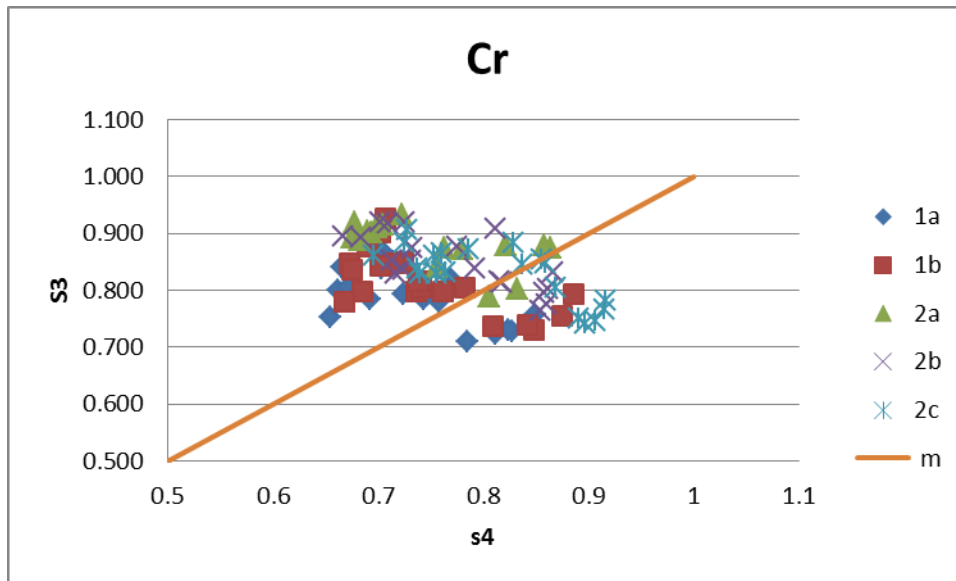
Διάγραμμα 38 Σύγκριση χαρακτηριστικών μεγεθών κυμάτων ( $H_s$ ,  $T_p$ ,  $T_m$  και  $L_{m0}$ ) Σειρών 3 και 4.



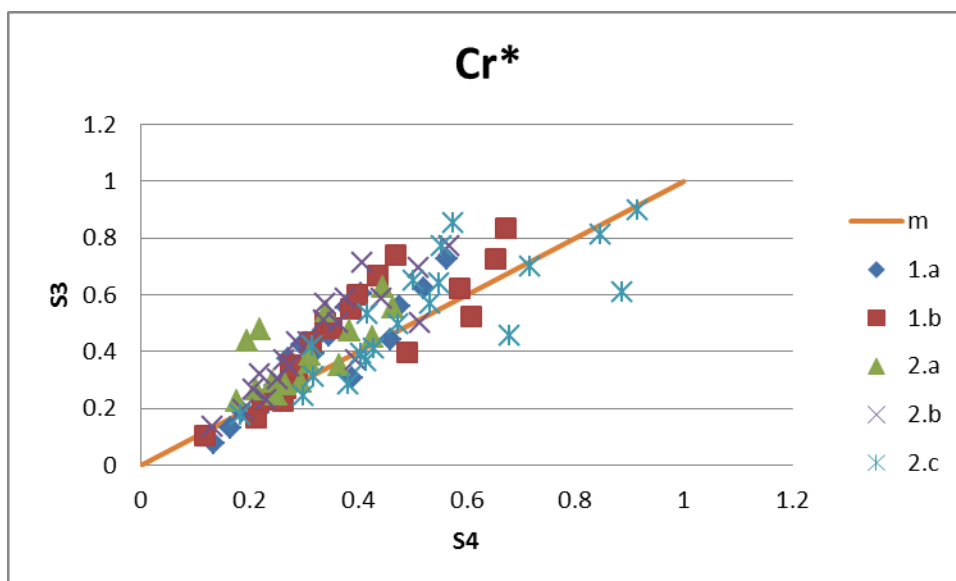
**Διάγραμμα 39** Σύγκριση των παραμέτρων  $d^*$ ,  $(R_c/H_s)$ ,  $d^*(R_c/H_s)$  και  $h/L_{mo}$  των Σειρών 3 και 4.

### Αδιάστατες Παράμετροι

Όλες οι παράμετροι ( $d^*$ ,  $(R_c/H_s)$ ,  $d^*(R_c/H_s)$  και  $h/L_{mo}$ ) που συγκρίθηκαν είχαν καλή συσχέτιση μεταξύ τους. Οι 3 πρώτες έχουν πολύ καλή συσχέτιση για τα κύματα με μεγάλα χαρακτηριστικά μεγέθη (μικρές τιμές των παραμέτρων), ιδιαίτερα για την διατομή 1 (Σ3.1 και Σ4.1) ενώ διαφοροποιούνται σημαντικά στα πολύ μικρά κυματικά χαρακτηριστικά της διατομής 1 (Βλέπε Διάγραμμα 39).

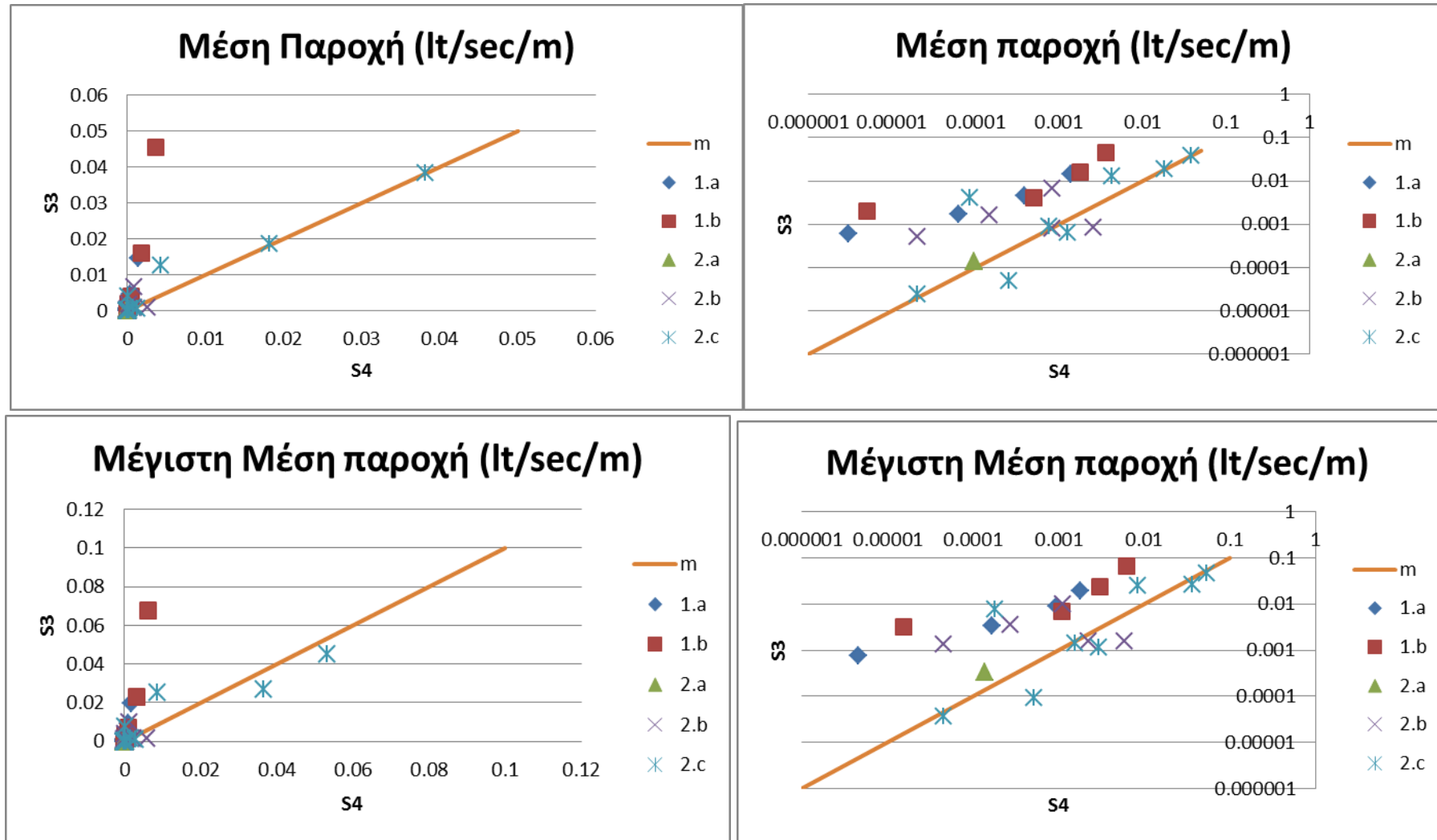


**Διάγραμμα 40** Σύγκριση του συντελεστή ανάκλασης μετρήσεων των Σειρών 3 και 4.

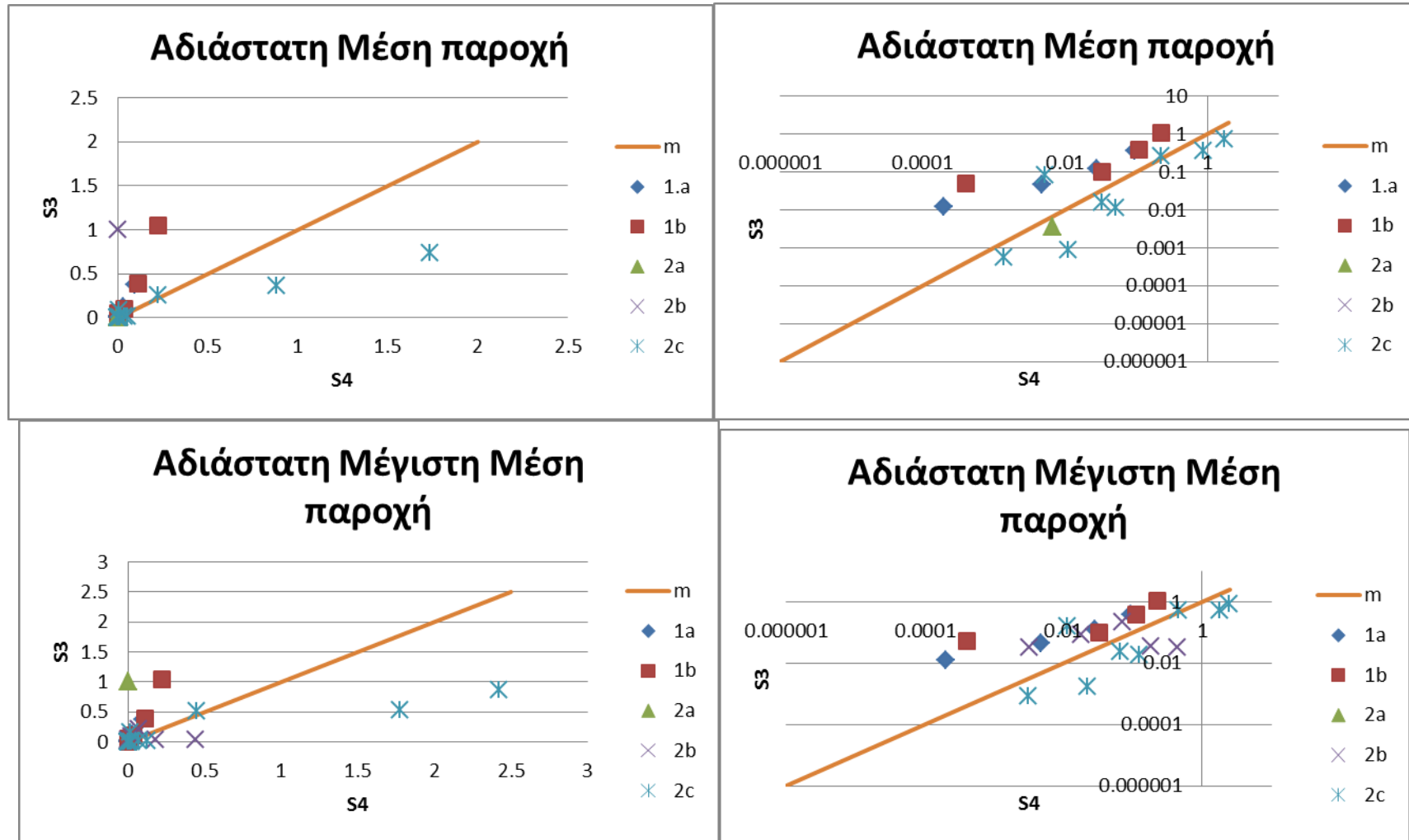


**Διάγραμμα 41** Σύγκριση του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης μετρήσεων των Σειρών 3 και 4.





**Διάγραμμα 42** Σύγκριση της μέσης και της μέγιστης μέσης παροχής υπερπήδησης των Σειρών 3 και 4 σε γραμμική και λογαριθμική κλίμακα.



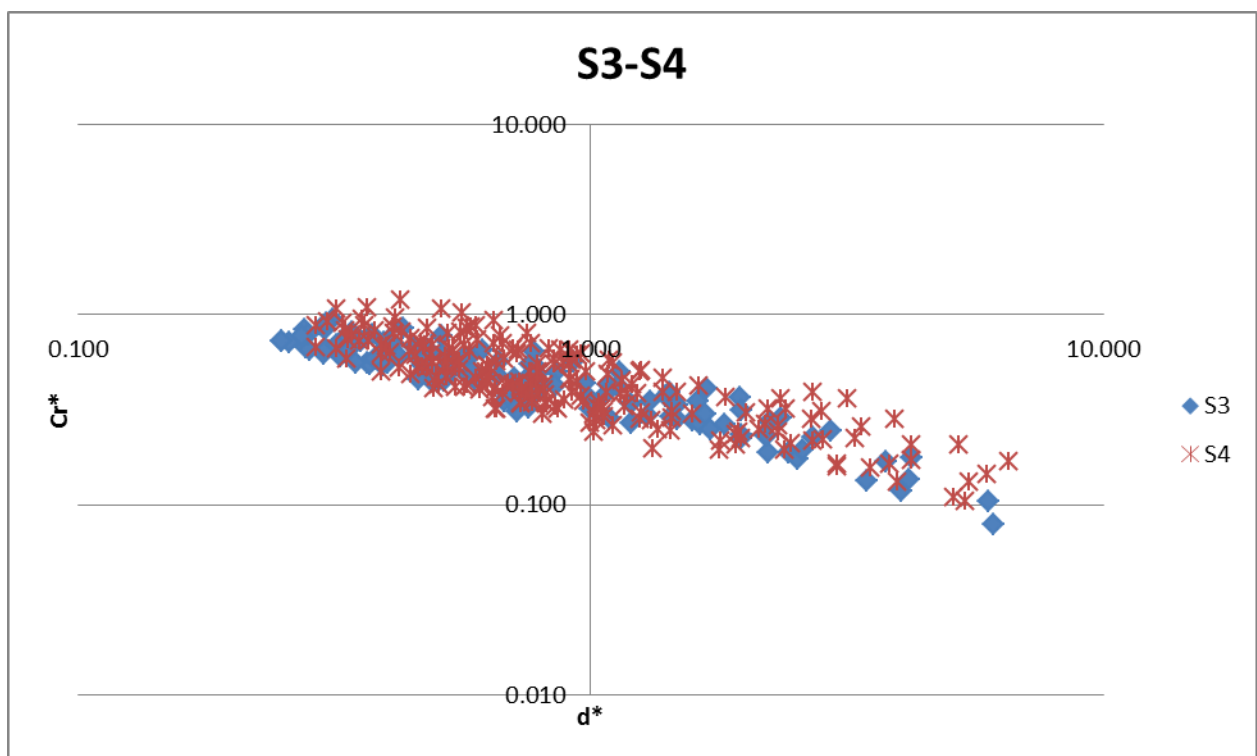
**Διάγραμμα 43** Σύγκριση της μέσης και της μέγιστης μέσης αδιάστατης παροχής υπερπήδησης των Σειρών 3 και 4 σε γραμμική και λογαριθμική κλίμακα.

Η διατομή 2 έχει λίγο μεγαλύτερες αποκλίσεις στο σύνολο των διατάξεων που ελέγχθηκαν. Σε αντιδιαστολή το σχετικό βάθος νερού  $h/L_{m0}$  κυμαίνεται κάτω από την μέση ευθεία προς την πλευρά της Σ4 δηλαδή τα μήκη κύματος επιμηκύνθηκαν ιδιαίτερα στα κύματα με μεγάλα χαρακτηριστικά μεγέθη (Βλέπε Διάγραμμα 40).

Όσον αφορά τον συντελεστή ανάκλασης η συσχέτιση δεν είναι καθόλου καλή. Οι τιμές βρίσκονται εκατέρωθεν της μέσης ευθείας με επιβαρυμένη πλευρά την Σειρά 3. Οι μέσες τιμές των διαφορετικών ελεύθερων περιθωρίων να είναι σχεδόν παράλληλες προς τον άξονα των Χ.

Ο σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης εν αντιθέσει με τον συντελεστή ανάκλασης συσχετίζεται πολύ καλύτερα στις 2 Σειρές πειραμάτων (Βλέπε Διάγραμμα 41) με επιβαρυμένη την Σειρά 3 για το μεγαλύτερο μέρος των στοιχείων.

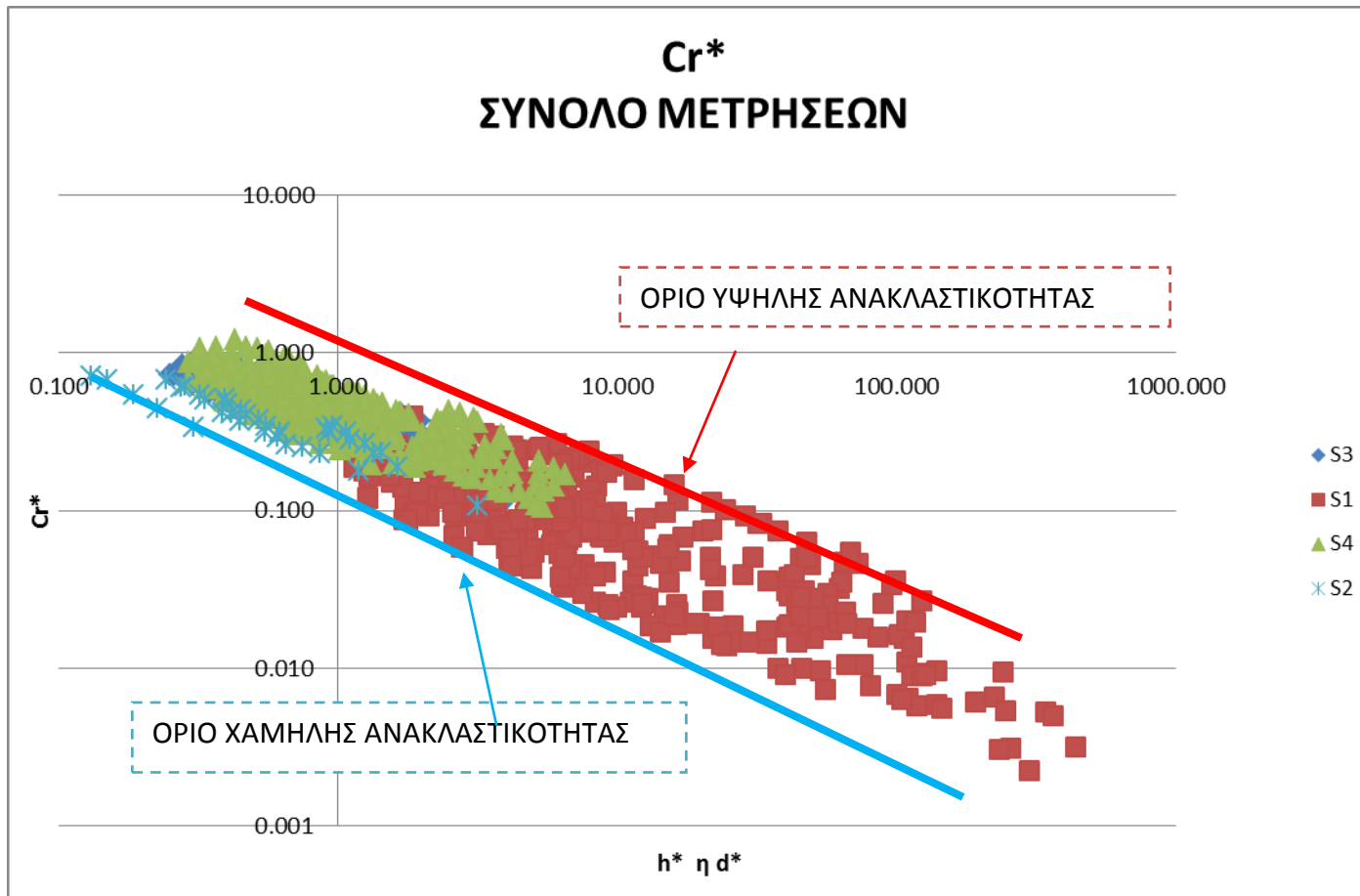
Οι απόλυτες μέσες παραχές είναι επιβαρυμένες προς την Σειρά 3 ιδιαίτερα για την διατομή Σ3.1, Σ4.1. Οι αδιάστατες παροχές είναι πιο ισορροπημένα κατανομημένες, με ελαφρά επιβάρυνση προς την Σειρά 3 για την διατομή 1 ενώ για την δεύτερη διατομή ισοκατανέμονται ανάλογα με το ελεύθερο περιθώριο (Βλέπε Διαγράμματα 42 και 43.)



**Διάγραμμα 44** Σταθμισμένοι συντελεστές ανάκλασης μετρήσεων των Σειρών 3 και 4.

Στο Διάγραμμα 44 παρουσιάζονται οι σταθμισμένοι συντελεστές ανάκλασης των Σειρών 3 και 4 σε ενιαίο διάγραμμα στο οποίο τα 2 νέφη εμπλέκονται ουσιαστικά σε ένα με μεγαλύτερη διασπορά στην Σειρά 4 όπως ήταν αναμενόμενο διότι υπάρχουν μετρήσεις σε μεγαλύτερο εύρος ελευθέρων περιθωρίων.

Τέλος στο Διάγραμμα 45 παρουσιάζονται οι σταθμισμένοι συντελεστές ανάκλασης όλων των Σειρών που αξιολογήθηκαν στην παρούσα εργασία, παρά το ότι ανόμοια δεν συγκρίνονται.



**Διάγραμμα 45** Συγκεντρωτικό διάγραμμα των σταθμισμένων συντελεστών ανάκλασης για όλες τις σειρές μετρήσεων.

## 10. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

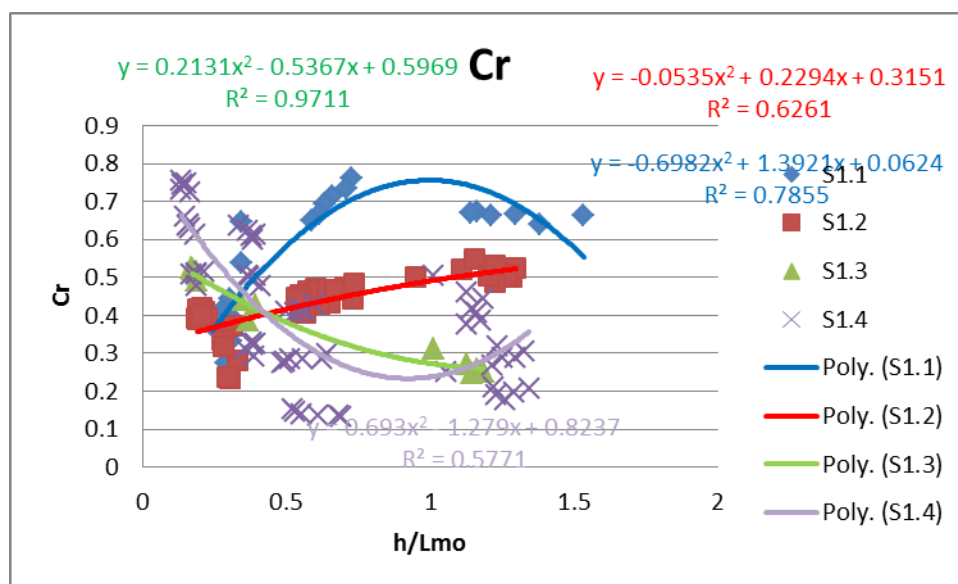
### 10.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Μετά τα αποτελέσματα των μετρήσεων της Σειράς 4 επανεξετάσθηκε το σύνολο των αποτελεσμάτων και διαπιστώθηκε ότι είναι δυνατόν να εξαχθούν σχέσεις με βασική παράμετρο τον λόγο βάθους προς μήκος κύματος στα βαθιά, το οποίο σημαίνει ότι πολύ εύκολα μπορεί να δοθεί μια πρώτη εκτίμηση για τον συντελεστή ανάκλασης κατασκευών με κατακόρυφο μέτωπο και διάταξη απομείωσης ενέργειας. Σε παρόμοιο συμπέρασμα κατέληξε και ο Muttray et al( 2006) για την ανάκλαση σε διατομές με θωράκιση αφού η σχέση που προτείνει εξαρτάται από τον αριθμό  $kh$ , καθώς και αποτελέσματα άλλων ερευνητών δείχνουν την τάση εξάρτησης από το μήκος κύματος.

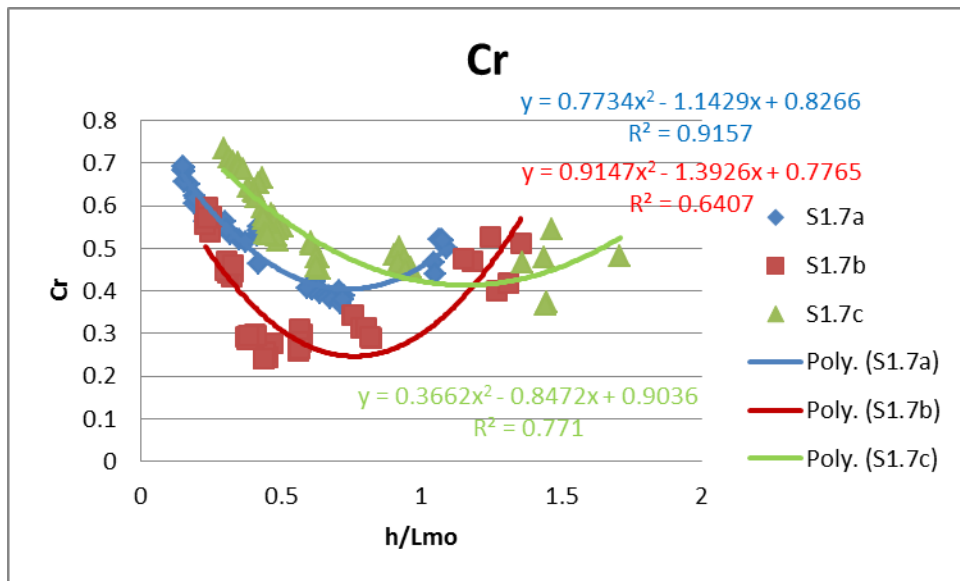
Επίσης διαπιστώθηκε ότι η πολυωνυμική καμπύλη 2ας τάξεως δίνει συντελεστές συσχέτισης πολύ υψηλούς για συσχέτιση με μόνη βασική παράμετρο τον λόγο βάθους προς μήκος.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την χρήση μιας μεθόδου υπολογισμού, καθοριστικό λόγο έχει η αξιοπιστία της στο κατά πόσο τα ποσοτικά αποτελέσματα που προκύπτουν για την συμπεριφορά ενός έργου στους κυματισμούς είναι ρεαλιστικά (Αζοράκος 2006).

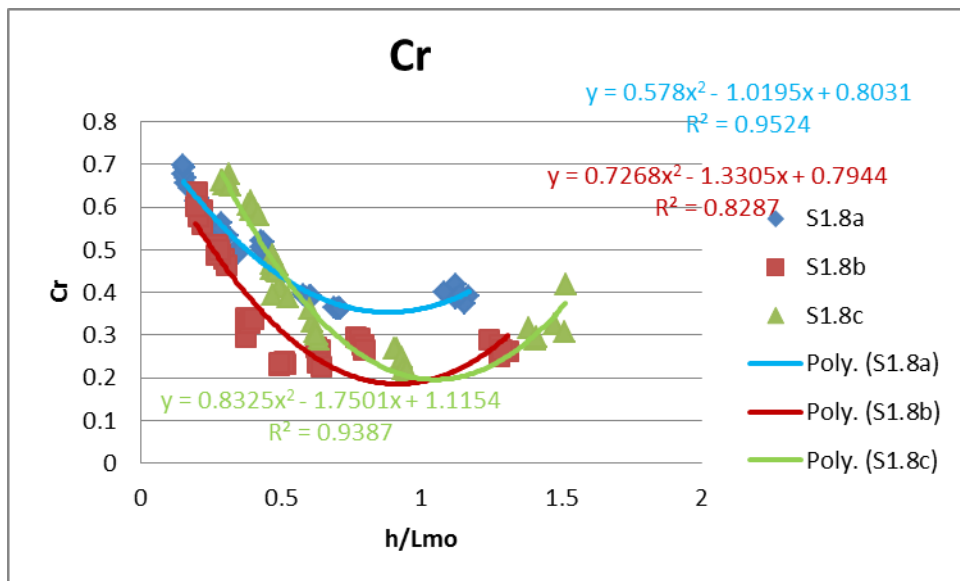
Στην συνέχεια παρατίθενται ανά σειρά, διαγράμματα με τις καμπύλες προσαρμογής με τους συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις με ικανοποιητικό συντελεστή συσχέτισης.



**Διάγραμμα 10.1.** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις Σ1.1, Σ1.2, Σ1.3 και Σ1.4



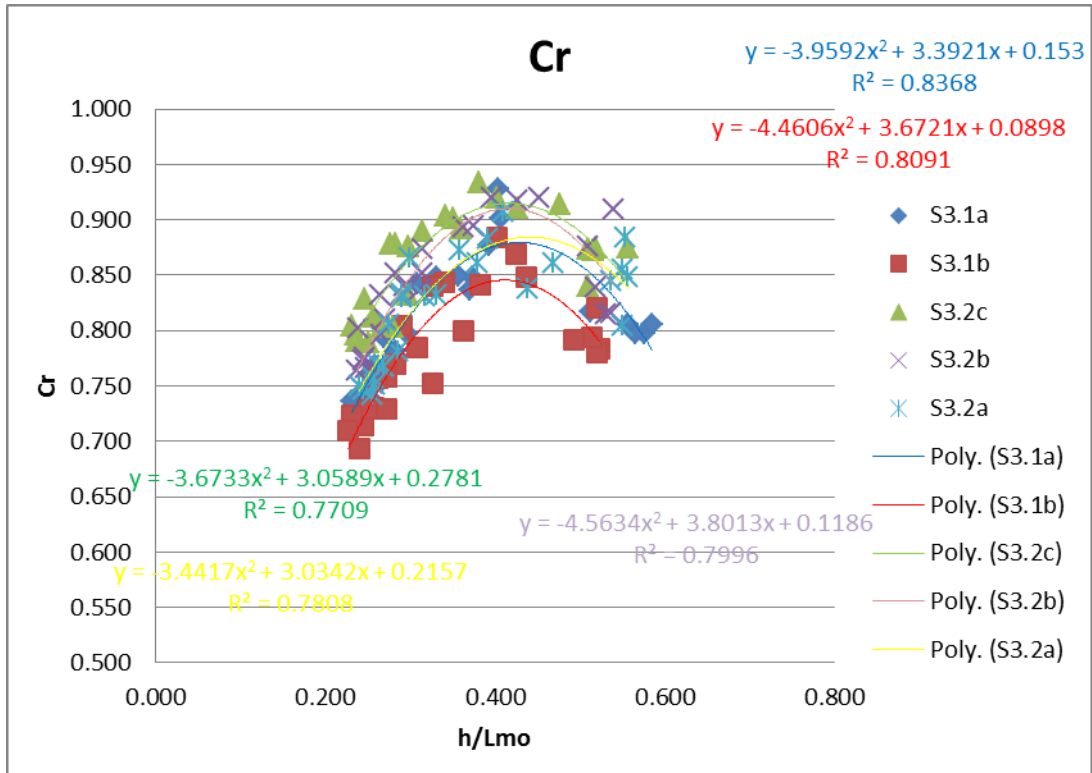
**Διάγραμμα 10.2** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις Σ1.7



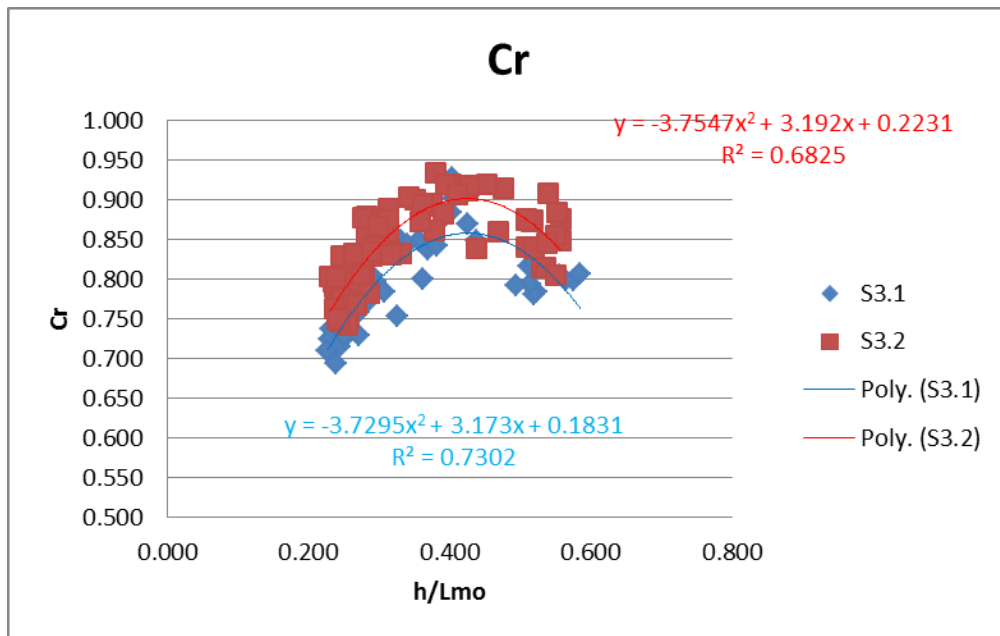
**Διάγραμμα 10.2** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις Σ1.8

Οι καμπύλες προσαρμογής της Σειράς 1 έχουν εφαρμογή μόνον τις συγκεκριμένες διατάξεις. Θα πρέπει να συμπεριληφθούν και άλλες παράμετροι για να καταλήξουν σε σχέση.

Για την Σειρά 2, επειδή χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση το μήκος κύματος βασισμένο στην περίοδο αιχμής του φάσματος, δεν έγινε προσαρμογή καμπύλης.



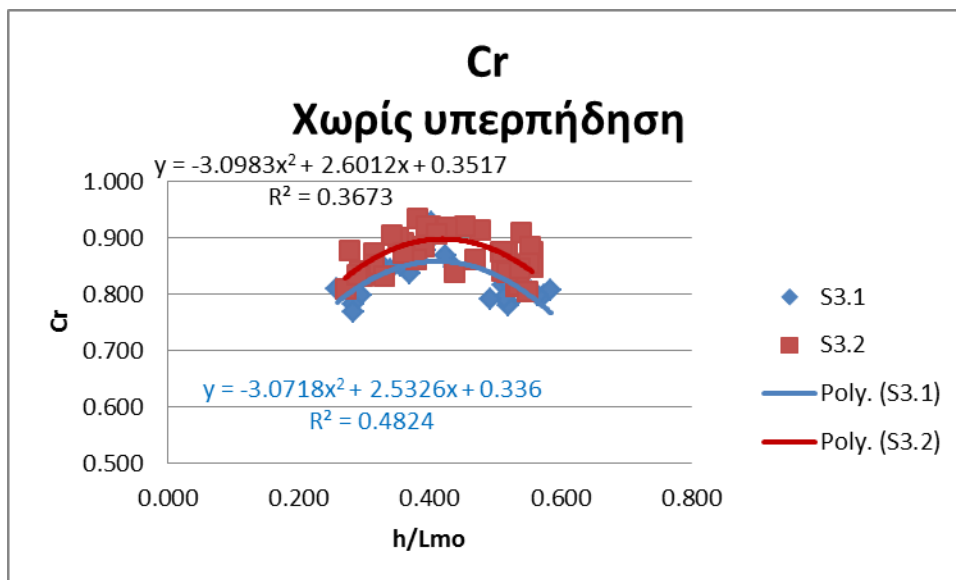
**Διάγραμμα 10.3** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις Σ3.1 και Σ3.2 ανά ελεύθερο περιθώριο



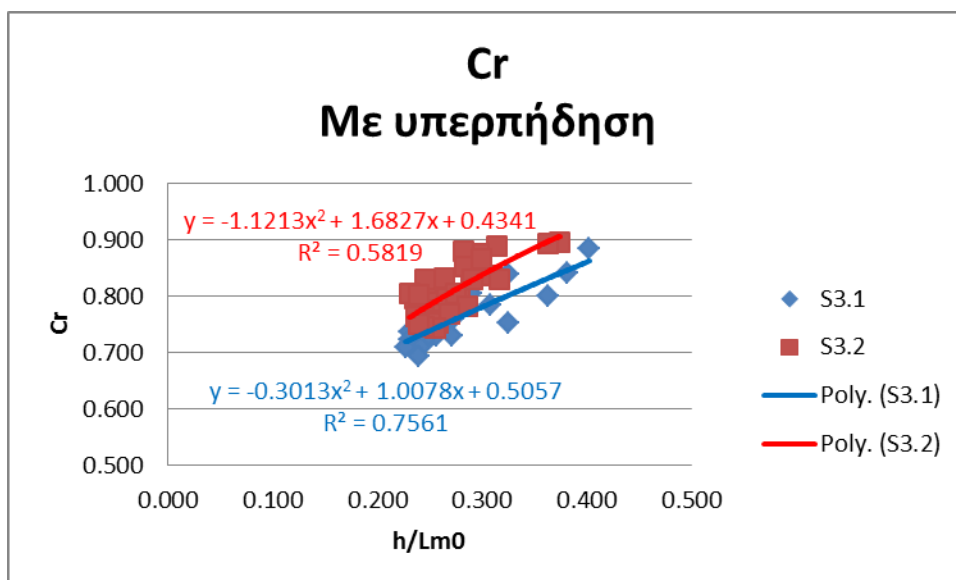
**Διάγραμμα 10.4** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις Σ3.1 και Σ3.2



Οι μετρήσεις της Σειράς 3 προσαρμόζονται πολύ καλά με πολυωνυμικές συναρτήσεις 2ας τάξεως ανά ελεύθερο περιθώριο. Ακόμη όμως και με μόνη παράμετρο τον λόγο  $h/L_{m0}$  προκύπτουν σχέσεις που μπορούν να εκτιμήσουν τον συντελεστή ανάκλασης. Προτείνεται να συμπεριληφθούν όλες οι τιμές των πειραμάτων με και χωρίς υπερπήδηση. Ο διαχωρισμός των πειραμάτων σε 2 τμήματα μειώνει σημαντικά τους συντελεστές συσχέτισης και για τα 2 τμήματα.



**Διάγραμμα 10.5** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις Σ3.1 και Σ3.2 βασισμένες σε αποτελέσματα μετρήσεως χωρίς υπερπήδηση



**Διάγραμμα 10.6** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις Σ3.1 και Σ3.2 βασισμένες σε αποτελέσματα μετρήσεως με υπερπήδηση

Αφαιρώντας τα κύματα σε ρηχά ύδατα, προέκυψε η σχέση υπολογισμού (10.1) του συντελεστή ανάκλασης με βασική παράμετρο την αδιάστατη παράμετρο  $d^*$  συμπεριλαμβανομένου του λόγου  $R_c/P_c$  της Σειράς 3 και για τις 2 διατομές με βάση τα χαρακτηριστικά τους (Διάγραμμα 10.7).

$$C_r = \frac{a}{b + \left( \frac{d^*}{\left( \frac{R_c}{P_c} \right)^d} \right)^c}$$

## 10.1

Με παραμέτρους όπως εκτιμήθηκαν και παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.1

## Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	28.171	17.494	-6.549	62.892
c	-.873	.223	-1.316	-.430
b	29.475	19.372	-8.973	67.923
d	6.140	.971	4.212	8.067

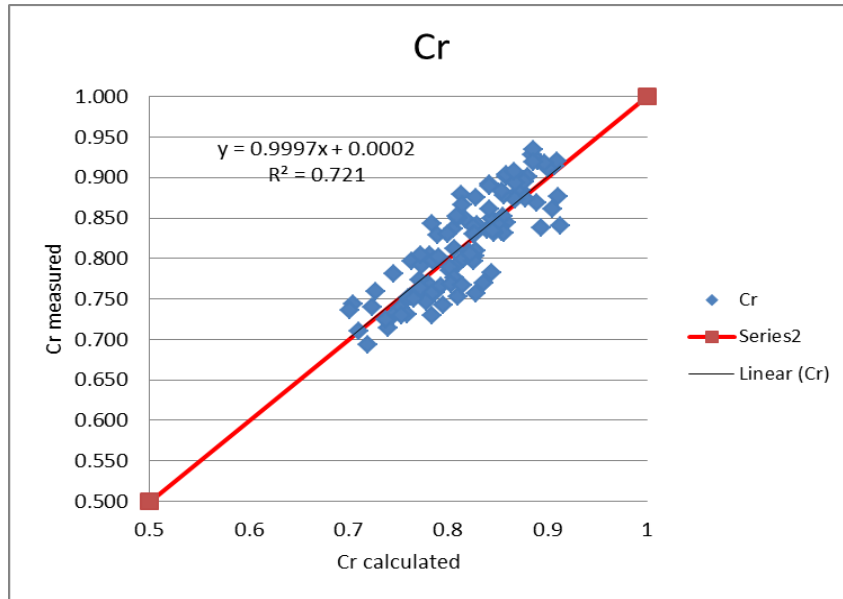
**Πίνακας 10.1** Εκτίμηση παραμέτρων σχέσης 10.1

Η Σχέση 10.1 τελικά διαμορφώνεται στην παρακάτω:

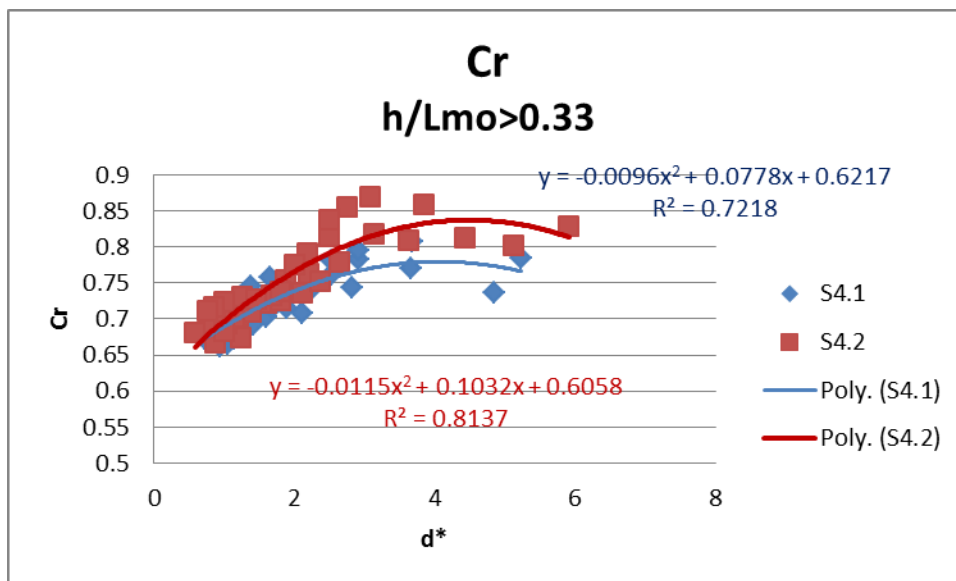
$$C_r = \frac{28.171}{29.475 + \left( \frac{d^*}{\left( \frac{R_c}{P_c} \right)^{6.140}} \right)^{-0.873}}$$

10.2

Επίσης αφαιρώντας τα μεγάλα κύματα με βάση την αδιάστατη παράμετρο  $d^*$  προέκυψαν πολυωνυμικές σχέσεις 2ας τάξεως για κάθε διατομή.

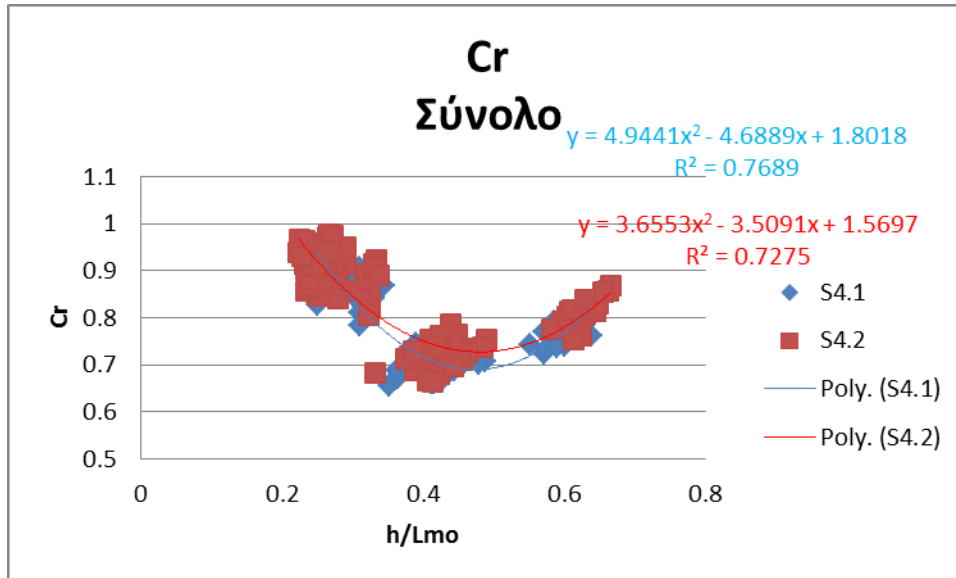


**Διάγραμμα 10.7** Συγκριτικά αποτελέσματα συντελεστού ανάκλασης μετρηθέντων και υπολογισθέντων τιμών Σειράς 3

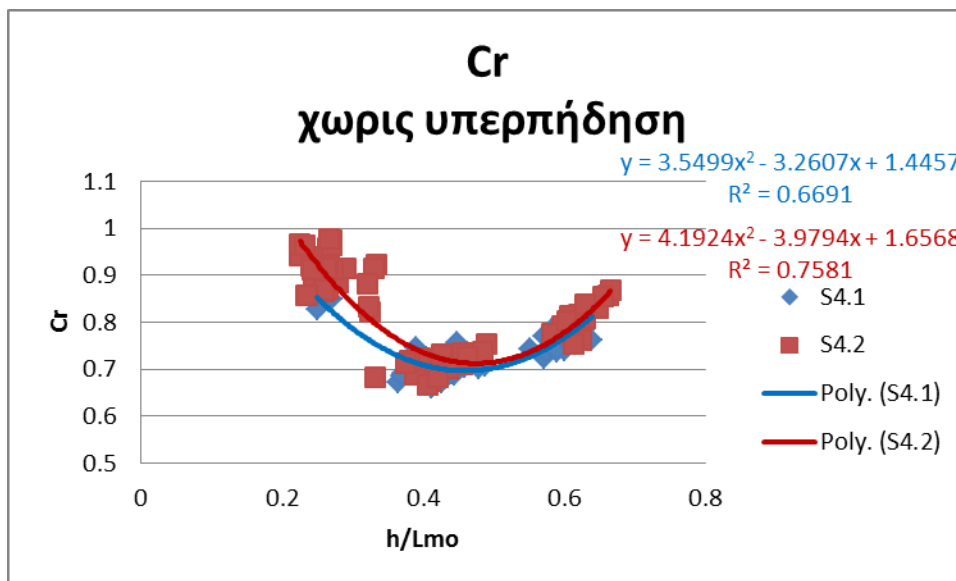


**Διάγραμμα 10.8** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις Σ3.1 και Σ3.2 με βάση την παράμετρο  $d^*$  και για τον λόγο  $h/L_{mo} > 0.33$ .

Για τις διατομές της Σειράς 4 προέκυψαν επίσης πολυωνυμικές καμπύλες 2ας τάξεως σε κάθε εξετασθείσα διατομή, για το σύνολο των μετρήσεων (βλέπε Διάγραμμα 10.9). Η δοκιμή να χωρισθούν οι μετρήσεις σε 2 τμήματα πάλι απέτυχε, χωρίς υπερπήδηση - με υπερπήδηση (βλέπε Διάγραμμα 10.10).

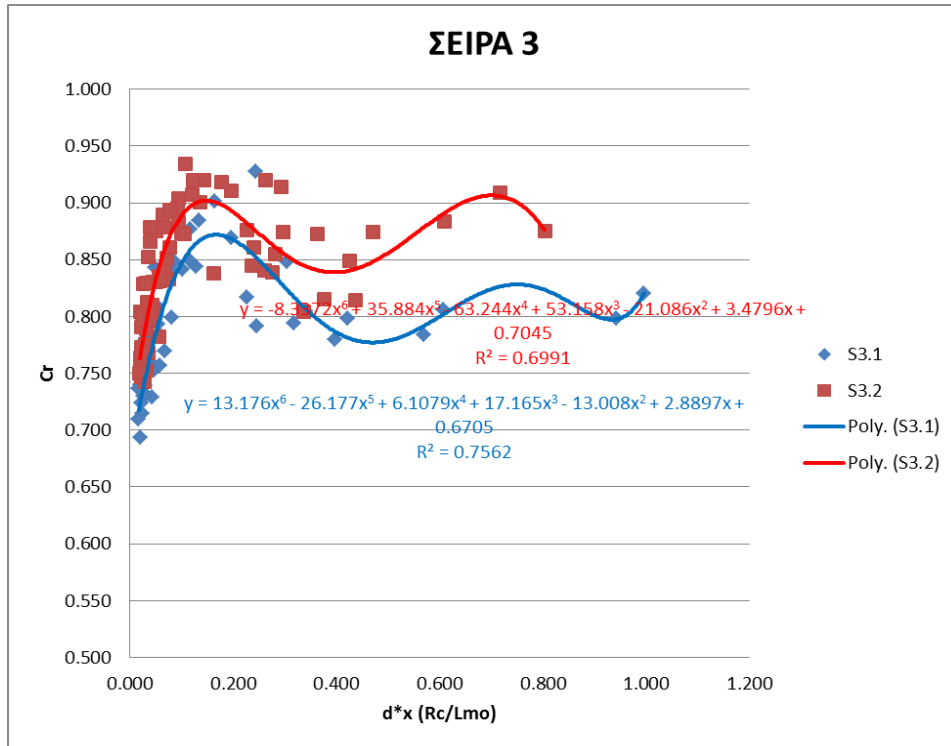


**Διάγραμμα 10.9** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις Σ4.1 και Σ4.2

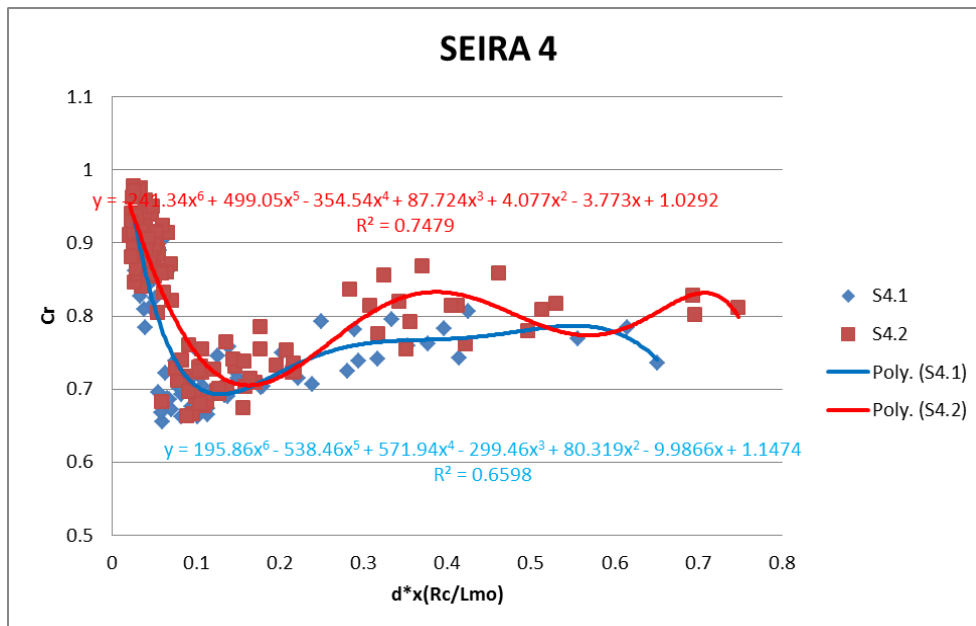


**Διάγραμμα 10.10** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστές συσχέτισης για τις διατάξεις Σ4.1 και Σ4.2 για μετρήσεις χωρίς κυματική υπερπήδηση

Τέλος, έγινε προσπάθεια να συσχετισθεί ο συντελεστής ανάκλασης στις Σειρές 3 και 4 με την αδιάστατη παράμετρο  $d^*x$  ( $R_c/L_{m0}$ ). Στα διαγράμματα 10.11 και 10.12 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες, σε κάθε περίπτωση, καμπύλες προσαρμογής οι οποίες είναι πολυωνυμικές 6<sup>ης</sup> τάξεως. Οι καμπύλες αυτές δεν έχουν τόσο καλή συσχέτιση όσο οι καμπύλες με παράμετρο το σχετικό βάθος  $h/L_{m0}$  αλλά ανοίγουν μια πόρτα περαιτέρω έρευνας, για την εισαγωγή ημιτονοειδούς μιγαδικού όρου στον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης, ο οποίος θα συμπεριλάβει το ύψος κύματος που προς το παρόν εξαιρέθηκε.



**Διάγραμμα 10.11** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστής συσχέτισης για τις διατάξεις Σ3.1 και Σ3.2 ως προς την παράμετρο  $d*x (R_c/L_{m0})$



**Διάγραμμα 10.12** Καμπύλες προσαρμογής συντελεστή ανάκλασης και συντελεστής συσχέτισης για τις διατάξεις Σ4.1 και Σ4.2 ως προς την παράμετρο  $d*x (R_c/L_{m0})$

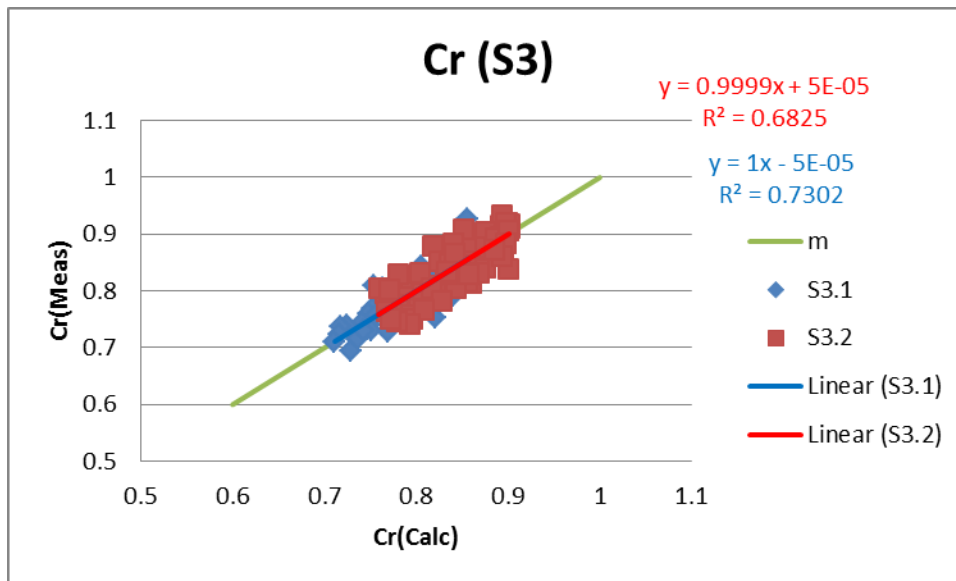
Στον Πίνακα 10.2 που ακολουθεί δίνονται οι εξισώσεις και ο συντελεστής συσχέτισης που τελικά επιλέγησαν για τις διατάξεις Σ3 και Σ4 αντίστοιχα, ενώ στην συνέχεια τα συγκριτικά διαγράμματα των υπολογισθέντων και μετρηθέντων τιμών του συντελεστή ανάκλασης, σύμφωνα με τις προτεινόμενες εξισώσεις. Από τα διαγράμματα 10.13 και 10.14 φαίνεται η καλή συσχέτιση για τον συντελεστή ανάκλασης σύμφωνα με τις προτεινόμενες σχέσεις.

Επειδή δεν υπάρχει σαφές όριο για το ποιά εξίσωση από τις 2 θα πρέπει να επιλεγεί, υπολογίσθηκε ο συντελεστής ανάκλασης κάθε σειράς με την εξίσωση της άλλης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα διαγράμματα 10.15 και 10.16.

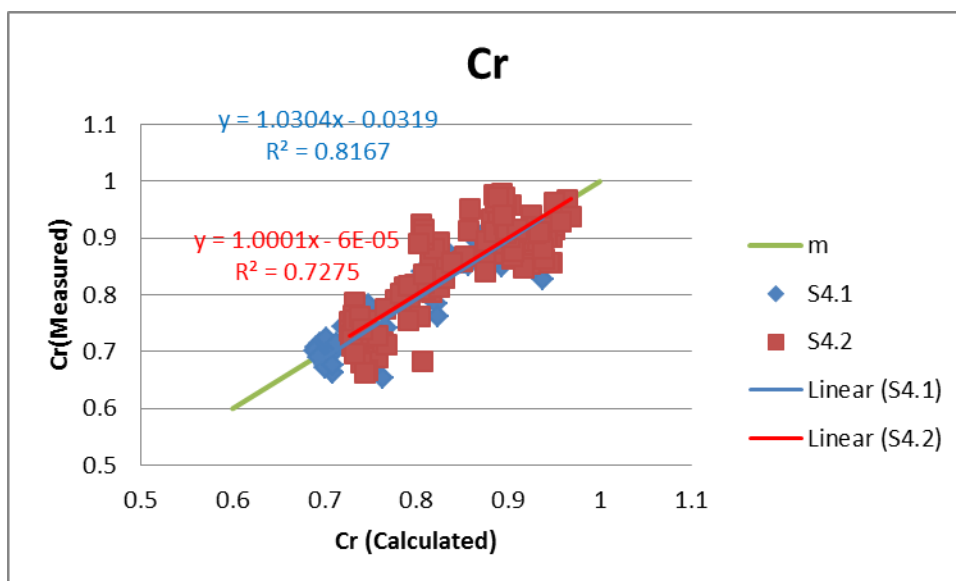
Εφόσον χρησιμοποιηθούν οι αντίστροφες εξισώσεις παρατηρείται όπως είναι φυσικό μεγαλύτερη διασπορά, Όταν χρησιμοποιηθεί η εξίσωση από το διδιάστατο φυσικό προσομοίωμα στο τρισδιάστατο, οι υπολογισθέντες συντελεστές ανάκλασης έχουν αρκετό καλό συντελεστή συσχέτισης και είναι περισσότερο ισοκατανεμημένοι ως προς την μέση τιμή.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΞΙΣΩΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (R <sup>2</sup> )	ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	No
d*	$C_r = \frac{28.171}{\left(29.475 + \frac{d^*}{\left(\frac{R_c}{P_c}\right)^{6.14}}\right)^{-0.873}}$	0.721	Σ3 (βαθειά νερά)	10.2
$\frac{h}{L_{m0}}$	$C_r = -3.7295 \cdot \left(\frac{h}{L_{m0}}\right)^2 + 3.173 \cdot \left(\frac{h}{L_{m0}}\right) + 0.1831$	0.7302	Σ3.1	10.3
$\frac{h}{L_{m0}}$	$C_r = -3.7547 \cdot \left(\frac{h}{L_{m0}}\right)^2 + 3.192 \cdot \left(\frac{h}{L_{m0}}\right) + 0.2231$	0.6825	Σ3.2	10.4
$\frac{h}{L_{m0}}$	$C_r = +4.944 \cdot \left(\frac{h}{L_{m0}}\right)^2 - 4.6889 \cdot \left(\frac{h}{L_{m0}}\right) + 1.8018$	0.7689	Σ4.1	10.5
$\frac{h}{L_{m0}}$	$C_r = +3.6553 \cdot \left(\frac{h}{L_{m0}}\right)^2 - 3.5091 \cdot \left(\frac{h}{L_{m0}}\right) + 1.5697$	0.7275	Σ4.2	10.6

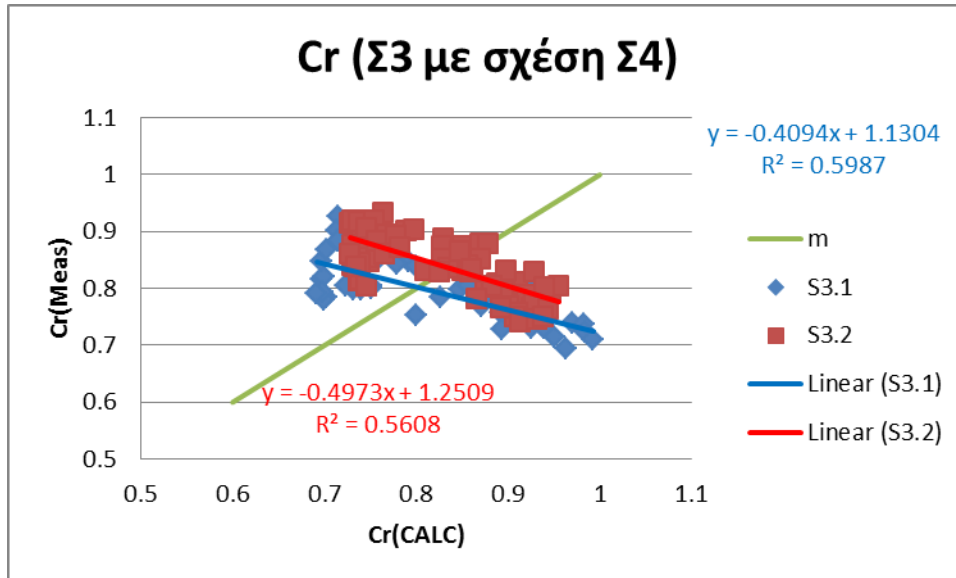
**Πίνακας 10.2** Προτεινόμενες σχέσεις για τον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης σε κατακόρυφο μέτωπο με τοίχο επιστροφής.



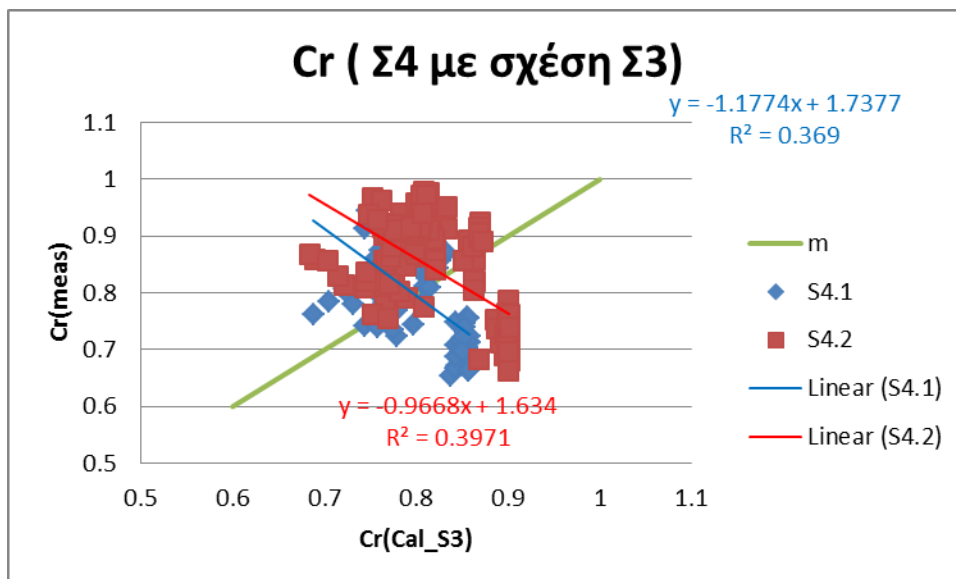
**Διάγραμμα 10.13** Συγκριτικά αποτελέσματα μετρηθέντων και υπολογισθέντων τιμών συντελεστή ανάκλασης βάση της προτεινόμενης σχέσης για την Σειρά 3.



**Διάγραμμα 10.14** Συγκριτικά αποτελέσματα μετρηθέντων και υπολογισθέντων τιμών συντελεστή ανάκλασης βάση της προτεινόμενης σχέσης για την Σειρά 4.



**Διάγραμμα 10.15** Συγκριτικά αποτελέσματα μετρηθέντων και υπολογισθέντων τιμών συντελεστή ανάκλασης βάσει της προτεινόμενης σχέσης της Σειράς 4 για την Σειρά 3.



**Διάγραμμα 10.16** Συγκριτικά αποτελέσματα μετρηθέντων και υπολογισθέντων τιμών συντελεστή ανάκλασης βάσει της προτεινόμενης σχέσης της Σειράς 3 για την Σειρά 3.

Στα Διαγράμματα 10.17 έως 10.19 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα σύγκρισης του συντελεστή ανάκλασης βάσει των σχέσεων 10.2 (Εκθετική σχέση όπως υπολογίσθηκε από τα δεδομένα μόνον της Σειράς 3 με βασική παράμετρο την αδιάστατη παράμετρο  $d^*$ ) και αντίστοιχα των πολυωνυμικών σχέσεων 10.3 έως και 10.6 με βασική παράμετρο το σχετικό βάθος  $h/L_{m0}$ , με τον μετρηθέντα συντελεστή ανάκλασης και για τις 2 Σειρές πειραμάτων.



Από τα διαγράμματα παρατηρείται καλή σύμπτωση όπως αναμενόταν για τα δεδομένα της Σειράς 3 και για τις 2 σχέσεις. Η Σχέση 10.2 αστοχεί σε ομάδα κυμάτων όπως είναι φυσικό αφού έχουν εξαιρεθεί τα στοιχεία εκείνης της περιοχής.

Τα αποτελέσματα της Σχέσης 10.2 συγκρινόμενα με τα μετρηθέντα της Σειράς 4 όπως ήταν αναμενόμενο δεν έχουν καλή σύμπτωση, όμως ακολουθούν παράλληλες διαδομές.. Επισημαίνεται ότι στο ήμισυ των περιπτώσεων υπόεκτιμά τον συντελεστή ανάκλασης, ενώ στο άλλο ήμισυ τον υπερεκτιμά.

Αντίθετα οι πολυωνυμικές σχέσεις έχουν καλύτερη σύμπτωση, αν και διαφέρουν ανά περίπτωση.



**Διάγραμμα 10.17** Συγκριτικά αποτελέσματα μετρηθέντων και υπολογισθέντων τιμών συντελεστή ανάκλασης της Σειράς Σ3 βάση των προτεινόμενων πολυωνυμικών εξίσωσης της Σειράς 3 και βάση της εκθετικής ενιαίας προτεινόμενης εξίσωσης της Σειράς 3



**Διάγραμμα 10.18** Συγκριτικά αποτελέσματα μετρηθέντων και υπολογισθέντων τιμών συντελεστή ανάκλασης της Σειράς Σ4.1 βάση των προτεινόμενων πολυωνυμικών εξισώσεων της Σειράς 4 και βάση της εκθετικής ενιαίας προτεινόμενης εξίσωσης της Σειράς 3



**Διάγραμμα 10.19** Συγκριτικά αποτελέσματα μετρηθέντων και υπολογισθέντων τιμών συντελεστή ανάκλασης της Σειράς Σ4.2 βάση των προτεινόμενων πολυωνυμικών εξισώσεων της Σειράς 4 και βάση της εκθετικής ενιαίας προτεινόμενης εξίσωσης της Σειράς 3

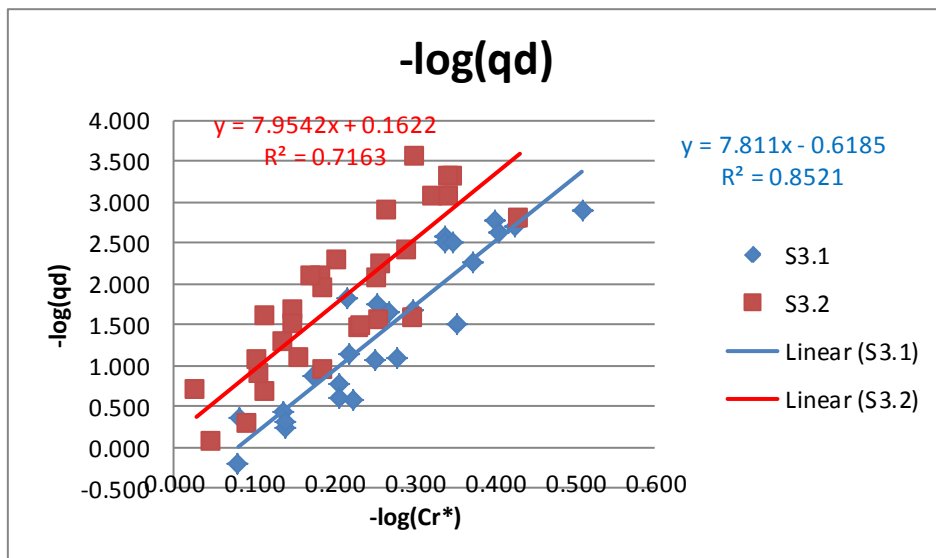


## 10.2 ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ -ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

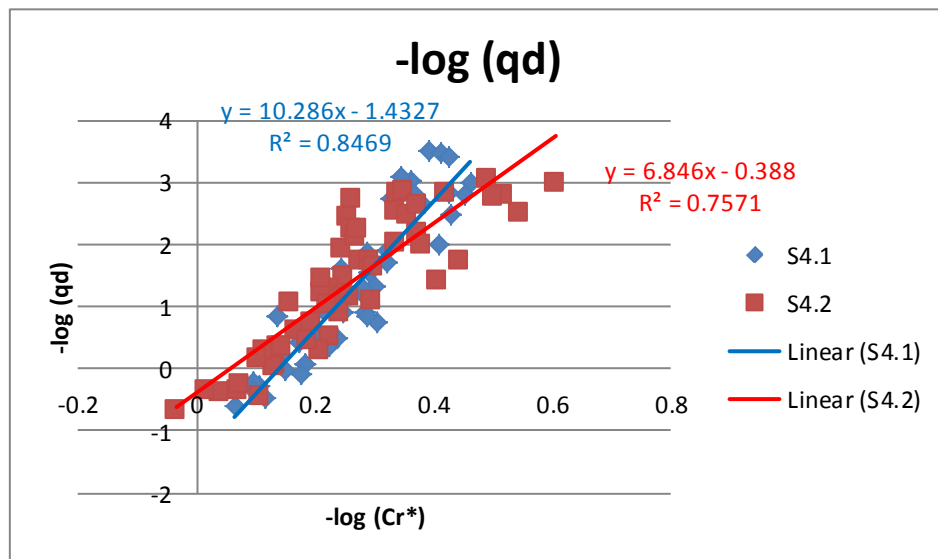
Από τα διάγραμματα 9.24, 9.25 , 9.36 και 9.37 διαπιστώθηκε ότι η συσχέτιση της αδιάστατης παροχής με τον συντελεστή ανάκλασης είναι δύσκολη υπόθεση καθώς τείνουν σε ευθεία παράλληλη με τον άξονα των Χ, προτιμήθηκε η συσχέτιση με τον σταθμισμένο συντελεστή  $Cr^*$  σε διπλή λογαριθμική κλίμακα. Για την διευκόλυνση της συσχέτισης χρησιμοποιήθηκε ο αρνητικός λογάριθμος των παραμέτρων.

Στα διαγράμματα 10.20 και 10.21 παρουσιάζονται οι σχέσεις για την εκτίμηση της παροχής υπερπήδησης σε συνάρτηση του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης.

Ο συντελεστής συσχέτισης και για τις 2 διατάξεις είναι πολύ καλός



**Διάγραμμα 10.20** Καμπύλες προσαρμογής μεγιστης μέσης αδιάστατης παροχής υπερπήδησης με τον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης για τις διατάξεις Σ3.1 και Σ3.2.



**Διάγραμμα 10.21** Καμπύλες προσαρμογής μεγιστης μέσης αδιάστατης παροχής υπερπήδησης με τον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης για τις διατάξεις Σ4.1 και Σ4.2.

## 11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή διερευνάται η ανακλαστικότητα κατακόρυφων μετώπων με διατάξεις απομείωσης ενέργειας υπό την δράση θαλασσίων κυματισμών καθώς και η επίδραση της παροχής υπερπήδησης στην ανάκλαση των κυμάτων. Έγιναν μετρήσεις της κυματικής διαταραχής σε προκαθορισμένες θέσεις εμπροσθεν διατομών ώστε να υπολογιστεί ο μέσος συντελεστής ανάκλασης  $C_r$  (Bulk reflection coefficient), των διατομών, ως ο μέσος όρος των συντελεστών ανάκλασης. Ταυτόχρονα σε ορισμένες περιπτώσεις έγιναν και μετρήσεις παροχής υπερπήδησης  $q$ . Όλες οι μετρήσεις έγιναν για μη θραυόμενους κυματισμούς. Η θραύση ως φαινόμενο θα επηρέαζε τόσο την κυματική υπερπήδηση όσο και τον συντελεστή ανάκλασης, αφού τμήμα της ενέργειας θα καταστρεφόταν κατά την θραύση.

Εκτελέστηκαν 2 ομάδες πειραμάτων βάσει των χαρακτηριστικών των διατομών τους, τις ακόλουθες:

A) Διατάξεις με κατακόρυφο μέτωπο και θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών κενό ή με λιθορριπή

B) Διατάξεις με κατακόρυφο μέτωπο και με τοίχο επιστροφής κυματισμών σε μεικτή διατομή

**Οι διατάξεις της Ομάδας A** αποτελούνται από κατακόρυφο μέτωπο, στο επάνω τμήμα του οποίου υπάρχει θάλαμος απομείωσης κυματισμών. Ελέγχθηκαν 8 διατάξεις έργων. Οι βασικές διαφορές αφορούσαν τις διαστάσεις του θαλάμου εκτόνωσης των κυματισμών και το υλικό πλήρωσης όταν υπήρχε. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων η διατομή εδραζόταν σε οριζόντιο πυθμένα με συνέπεια να μην είναι δυνατή η συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την παράμετρο  $\xi$  (αρθμός θραύσης κύματος). Στις Διατάξεις της Ομάδας A ελέγχθηκε - υπολογίσθηκε μόνον ο συντελεστής ανάκλασης και συσχετίσθηκε με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής και του προσπίπτοντος κυματισμού, εν μέρει δε με τα χαρακτηριστικά του υλικού της λιθορριπής. Η υπερπήδηση στις διατάξεις αυτές δεν είναι το κρίσιμο φαινόμενο, αλλά δευτερεύον μη αποδεκτό και δεν μετρήθηκε.

**Οι διατάξεις της Ομάδας B** περιλαμβάνουν κατακόρυφα μέτωπα με τοίχο επιστροφής κυμάτων για την προστασία της ανωδομής από την κυματική υπερπήδηση. Ελέχθησαν βασικά 2 διατομές εδραζόμενες με 2 διαφορετικούς τρόπους. Αρχικά σε τρισδιάστατο φυσικά μεταβαλλόμενο πυθμένα και στην συνέχεια σε οριζόντιο πυθμένα με απότομο αλλαγή της κλίσης του πρανούς έδρασης. Στις διατάξεις της Ομάδας B υπολογίσθηκε ο συντελεστής ανάκλασης και μετρήθηκε η μέση κυματική υπερπήδηση.



Οι βασικές παραμετροί με τις οποίες συσχετίστηκε ο συντελεστής ανάκλασης είναι:

A) η αδιάστατη παράμετρος:  $h^*$  ή  $d^*$  ( $h^* = \frac{h_s}{H_s} \frac{h_s}{L_o}$  και  $d^* = \frac{h_s}{H_s} \frac{d_s}{L_o}$ )

B) το αδιάστατο ελεύθερο περιθώριο:  $R_c^* = h_s \frac{R_c}{H_s}$

Γ) το σχετικό βάθος νερού:  $h/L_{m0}$

Εκτός της συσχέτισης του συντελεστή ανάκλασης με τις παραπάνω παραμέτρους ορίστηκε και υπολογίστηκε ο σταθμισμένος συντελεστής ανάκλασης  $C_r^* [= C_r/(R_c/H_s)]$

Από την ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων των πειραμάτων που αξιολογήθηκαν στη παρούσα Διδακτορική Διατριβή εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα για την συμπεριφορά των κατακορύφων μετώπων στην ανάκλαση.

### Γενικά Συμπεράσματα

- Όλες οι καμπύλες συσχέτισης που προέκυψαν από τον συντελεστή ανάκλασης και τις διάφορες υπό εξέταση παραμέτρους, χωρίζονται σε δύο βασικούς τύπους. Σε καμπύλες κοίλες – (ΤΥΠΟΣ Α) και σε καμπύλες κυρτές – (ΤΥΠΟΣ Β).
- Όπως προέκυψε από την αξιολόγηση και των 4 Σειρών πειραμάτων, η **κλίση του πυθμένα** και κυρίως το **σχετικό βάθος νερού** ( $h/L_{m0}$ ) καθορίζουν την συμπεριφορά των έργων απέναντι στην κυματική δράση. Η επίδραση όμως αυτή δεν φαίνεται να είναι μονοσήμαντα καθορισμένη. Ο τρόπος μεταβάσεως των κυμάτων από τα βαθιά στα ρηχά ύδατα φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά της κατασκευής στην ανάκλαση. Για τιμές του σχετικού βάθους  $h/L_{m0} < 0.33$  παρατηρήθηκε διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των έργων.
- Επίσης διαπιστώθηκε ότι ενώ η σύγκριση του συντελεστή ανάκλασης σε διατάξεις με μια διαφορετική παράμετρο δεν είναι σε αποδεκτά επίπεδα, ενώ αντίθετα η αντίστοιχη σύγκριση του σταθμισμένου συντελεστή ανάκλασης είναι εξαιρετικά καλή, με αποτέλεσμα την επανεισαγωγή του ύψους κύματος στην συνάρτηση με την ανάκλαση.
- Η **αδιάστατη παροχή υπερπήδησης** παρατηρήθηκε ότι συσχετίζεται αρκετά καλά με τον σταθμισμένο συντελεστή ανάκλασης και διατυπώθηκε εμπειρική εξίσωση.

### Συμπεράσματα από τις διατάξεις της Ομάδας Α

- Σε Διατομές με κενό θάλαμο ή λεπτόκοκκη λιθορριπή οι καμπύλες συσχέτισης των διαφόρων παραμέτρων είναι καμπύλες ΤΥΠΟΥ Α
- Σε διατομές με χονδρόκοκκη λιθορριπή οι καμπύλες συσχέτισης των διαφόρων παραμέτρων είναι καμπύλες ΤΥΠΟΥ Β
- Οι κρίσιμες τιμές του σχετικού βάθους νερού  $h/L_{m0}$  για τις οποίες παρατηρούνται από απότομες μεταβολές των τιμών μέχρι αλλαγές στην κλίση των καμπυλών είναι:  $0.33 < h/L_{m0} < 0.50$  και  $1 < h/L_{m0} < 1.4$ .
- Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την διερεύνηση των επιμέρους παραμέτρων των διατάξεων που ελέχθησαν

### Συμπεράσματα από τις διατάξεις της Ομάδας Β

- Η απότομη **μεταβολή του βάθους** επιδρά στη μορφή του φάσματος με αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή ανάκλασης στην περιοχή του έργου. Σημειώνεται ότι η επίδραση στο ύψος κύματος δεν φαίνεται να είναι σημαντική στο σημείο αυτό, για αυτό άλλωστε και τα μετρηθέντα ύψη κύματος δεν διαφοροποιούνται σημαντικά. Η επίδραση στα αποτελέσματα όμως του συντελεστή ανάκλασης είναι σημαντική.
- Κατά τη συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με τις αδιάστατες παραμέτρους που περιέχουν το ύψος κύματος παρατηρήθηκε ότι στην περίπτωση απότομης μεταβολής του βάθους, το νέφος των σημείων της συσχέτισης του συντελεστή ανάκλασης χωρίζεται σε 2 ανεξάρτητα τμήματα. Στην περίπτωση ομαλά μεταβαλλόμενου πυθμένα οι καμπύλες συσχέτισης είναι ομαλές. Με τη χρήση της παραμέτρου του σχετικού βάθους νερού η καμπύλη ομαλοποιείται με την διαφορά ότι η καμπύλη για απότομη μεταβολή του βάθους είναι σχεδόν συμμετρική ως προς άξονα με την προκύπτουσα καμπύλη στον ομαλά μεταβαλλόμενο πυθμένα.
- Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων ομοίων κατασκευών με καμπύλο τοίχο επιστροφής κυμάτων εδραζομένων σε διαφορετικό πυθμένα, παρατηρήθηκε ότι παρά τη διαφορετική συμπεριφορά των κατασκευών συναρτήσει του πυθμένα, είναι δυνατή και στις 2 περιπτώσεις η εξαγωγή εμπειρικών εξισώσεων για τον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης συναρτήσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των διατομών και το σχετικό βάθος. Οι εξισώσεις αυτές ακολουθούν συμμετρικές ως προς άξονα καμπύλες ΤΥΠΟΥ Α ή ΤΥΠΟΥ Β.
- Για την περίπτωση κατά την οποία η διατομή εδράζεται σε φυσικό πυθμένα, προέκυψε εμπειρική εξίσωση για τον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης εξαρτώμενου από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μεγέθη της διατομής και της αδιάστατης παραμέτρου  $d^*$ .

### **Περαιτέρω έρευνα**

Η χρήση των εμπειρικών εξισώσεων του σχετικού βάθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προκαταρκτικό επίπεδο διερεύνησης παρόμοιων διατάξεων. Παρόλα αυτά η τελική επιλογή των λύσεων θα πρέπει να γίνεται με τη χρήση τρισδιάστατου φυσικού προσομοιώματος ώστε να ενσωματώνονται όλες οι παράμετροι.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δύναται να χρησιμοποιηθούν για την βαθμονόμηση σύγχρονων ανοικτών μαθηματικών κωδίκων όπως π.χ. Νευρωνικών δικτύων ή την μέθοδο Σωματιδίων Πεπερασμένων Στοιχείων (Particle Finite Element Method).

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ahrens, J. P. 1981a. "Irregular Wave Run-up on Smooth Slopes," Technical Aid No. 81-17, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Ahrens, J. P. 1981b. "Design of Riprap Revetments for Protection Against Wave Attack," Technical Paper TP-81-5, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Ahrens, J. P., and Heinbaugh, M. S. 1988a. "Approximate Upper Limit of Irregular Wave Runup on Riprap," Technical Report CERC-88-5, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Ahrens, J. P., and Heinbaugh, M. S. 1988b. "Seawall Overtopping Model," Proceedings of the 21st International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 1, pp 795-806.
- Allsop, N. W. 1983. "Low-Crest Breakwaters, Studies in Random Waves," Proceedings of Coastal Structures '83, American Society of Civil Engineers, pp 94-107.
- Allsop, N. W. 1990. "Reflection Performance of Rock Armoured Slopes in Random Waves," Proceedings of the 22nd International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 2, pp 1460-1472.
- Allsop, N. W. 1995. "Stability of Rock Armour and Riprap on Coastal Structures," River, Coastal and Shoreline Protection: Erosion Control Using Riprap and Armourstone, C. R. Thorne, S. R. Abt, F. B. Barends, S. T. Maynard, and R. W. Pilarczyk, eds., John Wiley and Sons, New York, pp 213-226.
- Allsop, N. W., and Hettiarachchi, S. S. 1988. "Reflections from Coastal Structures," Proceedings of the 21st International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 1, pp 782-794. Allsop et al. 1985
- Allsop, N. W., Hawkes, P. I., Jackson, F. A., and Franco, L. 1985. "Wave Run-Up on Steep Slopes - Model Tests Under Random Waves," Report No. SR2, Hydraulics Research Station, Wallingford, England.
- Allsop, N. W., McBride, M. W., and Colombo, D. 1994. "The Reflection Performance of Vertical Walls and Low Reflection Alternatives: Results of Wave Flume Tests," Proceedings of the 3rd MCSP Project Workshop, MAS2-CT92-0047, Monolithic (Vertical) Coastal Structures, De Voorst, The Netherlands.
- Allsop, N.W.H., Bray, R.N., 1994. Vertical breakwaters in the United Kingdom: historical and recent experience. Proceedings of the International Workshop on Wave Barriers in Deepwaters. Port and Harbour Research Institute, pp. 76–128.
- Altomare C., Gironella X., Sanchez-Arcilla A., et Sospedra J., Wave reflection on Dissipative quay walls: An experimental study, Proceeding of Coastlab 12, Ghent, Belgium
- Aminti, P., and Franco, L. 1988. "Wave Overtopping on Rubble Mound Breakwaters," Proceedings of the 21st International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 1, pp 770-781.
- Avaneendran A., Sannasiraj S. A and Vallam S, 2013, Pressures on the Crown Wall of Breakwater Formed by New Armor Block KOLOS due to Regular Waves, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, American Society of Civil Engineers, V. 139, pp.518-526.
- Αζοράκος, Σ., 2006, Σημειώσεις Θαλασσιών Κατασκευών, Αθήνα
- Barnett, M. R., and Wang, H. 1988. "Effects of a Vertical Seawall on Profile Response," Proceedings of the 21st International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 2, pp 1493-1507.
- Battjes, J. A. 1974. "Computation of Set-Up, Longshore Currents, Run-Up, and Overtopping Due to Wind-Generated Waves," Report 74-2, Committee on Hydraulics, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, The Netherlands.
- Battjes, J. A. 1974b. "Surf Similarity," Proceedings of the 14th International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 1, pp 466-479
- Benoit, M. and Teisson, C. 1994. "Laboratory Study of Breakwater Reflection - Effect of Wave Obliquity, Wave Steepness and Mound Slope," International Symposium: Waves - Physical and Numerical Modelling, Vol 2, pp 1021-1030.

- Beresford P.J., 2005. "HR Wave Maker - Wave Generation control program". Software manual. Report IT 453(5). H.R. Wallingford.
- Beresford P.J., Spencer J.M.A and Clarke J., 2006. "HR Wave Data - Data Acquisition and analysis software program". User manual. Report IT 494.H.R. Wallingford.
- Bergmann, H., Oumeraci, H., 2000. Wave loads on perforated caisson breakwaters. Proceedings of the 27th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp. 1622–1635.
- Besley, P., 1999, Overtopping of seawalls – design and assessment manual. R&D Technical Report W 178, Environment Agency, UK (ISBN 1 85705 069 X).
- Boccotti P., Arena F. and Fiamma V., 2013, Distributions of Wave Heights in Time Domain in Stationary Sea States, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, V. 139, pp.147-156.
- Boccotti P. 2013, Field Verification of Quasi-Determinism Theory for Wind Waves Interacting with Vertical Breakwater, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, V 139, pp.358-364.
- Bradbury, A. P., and Allsop, N. W. 1988. "Hydraulic Effects of Breakwater Crown Walls," Proceedings of the Breakwaters '88 Conference, Institution of Civil Engineers, Thomas Telford Publishing, London, UK, pp 385-396.
- Bradbury, A. P., Allsop, N. W., and Stephens, R. V. 1988. "Hydraulic Performance of Breakwater Crown Walls," Report No. SR146, Hydraulics Research, Wallingford, UK.
- Bruining, J. W. 1994. "Wave Forces on Vertical Breakwaters. Reliability of Design Formula," Delft Hydraulics Report H 1903, MAST II contract MAS2-CT92-0047.
- Burcharth, H. F. 1998. "Breakwater with Vertical and Inclined Concrete Walls: Identification and Evaluation of Design Tools," Report of Sub-group A, Working Group 28, PIANC PTCII.
- Camfield, F. E. 1991. "Wave Forces on Wall," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol 117, No. 1, pp 76-79.
- Chen, T. C. 1961. "Experimental Study on the Solitary Wave Reflection Along a Straight Sloped Wall at Oblique Angle of Incidence," Technical Memorandum No. 124, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Washington, DC.
- Chen H.-B., Tsai C.-P., Chiu J.-R., 2006, Wave reflection from vertical breakwater with porous structure, *Ocean Engineering*, 33 pp 1705-1717.
- Chen, X.F., Li, Y.C., Teng, B., 2007. Numerical and simplified methods for the calculation of the total horizontal wave force on a perforated caisson with a top cover. *Coastal Engineering* 54, 67–75.
- Davidson, M. A., Bird, P. A., Bullock, G. N., and Huntley, D. A. 1994. "Wave Reflection: Field Measurements, Analysis and Theoretical Developments," Proceedings of Coastal Dynamics '94, American Society of Civil Engineers, pp 642-655.
- Davidson, M.A.; Bird, P.A.D.; Huntley, D.A.; Bullock, G.N. (1996): A new non-dimensional number for the analysis of wave reflection from rubble mound breakwaters. *Coastal Engineering*, Vol. 28, pp. 93-120.
- Deo, M.C., 2010. Artificial neural networks in coastal and ocean engineering. *Indian Journal of Marine Science* 39 (4), 589–596.
- de Gerloni, M, Cris, E., Franco, L., and Passoni, G. 1991. "The Safety of Breakwaters Against Wave Overtopping," Proceedings of the Coastal Structures and Breakwaters Conference, Institution of Civil Engineers, Thomas Telford, London, UK, pp 335-342.
- de Waal, J. P., and van der Meer, J. W. 1992. "Wave Run-Up and Overtopping on Coastal Structures," Proceedings of the 23rd International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 2, pp 1758-1771.
- Endoh, K., and Takahashi, S. 1994. "Numerically Modelling Personnel Danger on a Promenade Breakwater Due to Overtopping Waves," Proceedings of the 24th International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 1, pp 1016-1029.
- Franco, L., 1994. Vertical breakwaters: the Italian experience. *Coastal Engineering* 22, 31–55.
- Franco, L., de Gerloni, M., and van der Meer, J. W. 1994. "Wave Overtopping on Vertical and Composite Breakwaters," Proceedings of the 24th International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 1, pp 1030-1045.
- Franco, C., van der Meer, J. W., and Franco, L. 1996. "Multidirectional Wave Loads on Vertical Breakwaters," Proceedings of the 25th International Coastal Engineering Conference, Vol 2, pp 2008-2021.

- Franco, L., de Gerloni, M., Passoni, G., Zacconi, D., 1998. Wave forces on solid and perforated caisson breakwaters: comparison of field and laboratory measurements, ASCE. Proceedings of the 26th International Conference on Coastal Engineering, pp. 1945–1958.
- Franco, C., and Franco, L. 1999. "Overtopping Formulas for Caisson Breakwaters with Nonbreaking 3D Waves," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol 125, No. 2, pp 98-108.
- Fugazza, M., Natale, L., 1992. Hydraulic performance of perforated breakwater. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE 118 (1), 1–14.
- Fukuda, N., Uno, T., and Irie, I. 1974. "Field Observations of Wave Overtopping of Wave Absorbing Revetment," *Coastal Engineering in Japan*, Vol 17, pp 117-128.
- Garrido, J.M., Medina, J.R., 2006. Study of reflection of perforated vertical breakwaters. Proceedings of the 30th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp . 4325–4336.
- Garrido, J.M., Ponce de León, D., Berruguete, A., Martínez, S., Manuel, J., Fort, L., Yagüe, D., González-Escrivá, J.A., Medina, J.R., 2010. Study of reflection of new lowreflectivity quay wall caissons. Proceedings of the 32nd International Conference on Coastal Engineering, ASCE, p. 27. Paper No. 213/ structures.
- Garrido, J.M., Medina, J.R., 2012. New neural network-derived empirical formulas for estimating wave reflection on Jarlan-type breakwaters. *Coastal Engineering* 62, 9–18.
- Goda, Y. 1969. "Reanalysis of Laboratory Data on Wave Transmission Over Breakwaters," Report of Port and Harbour Research Institute, Japan, Vol 8, No. 3, pp 3-18.
- Goda, Y. 1970. "Estimation of the Rate of Irregular Overtopping of Seawalls," Report of Port and Harbor Research Institute, Vol 9, No 4, 1970 (in Japanese).
- Goda, Y. 1974. "New Wave Pressure Formulae for Composite Breakwaters," Proceedings of the 14th International Coastal Engineering Conference, Vol 3, pp 1702-1720.
- Goda, Y. 1985. *Random Seas and Design of Maritime Structures*, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.
- Goda, Y., and Suzuki, Y. 1976. "Estimation of Incident and Reflected Waves in Random Wave Experiments," Proceedings of the 15th International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 1, pp 828-845.
- Hanbin G.U., Pengzhi L., Yanbao L., Taiwan H.S.U. and Jianlue H.S.U., 2003, Wave characteristics in front of vertical sea-walls, Proceedings of International Conference on Estuaries and Coasts, Hangzhou, China pp 389-396.
- Huang, Z.H., 2006. A method to study interactions between narrow-banded random waves and multi-chamber perforated structures. *Acta Mechanica Sinica* 22 (4), 285–292.
- Hughes, S.A.; Fowler, J.E. (1995): Estimating wave-induced kinematics at sloping structures. *Journal of Waterway*, Vol. 121, No. 4, pp. 209–215.
- Isaacson, M., Baldwin, J., Allyn, N., Cowdell, S., 2000. Wave interactions with perforated breakwater. *Journal of Waterway Port, Coastal, and Ocean Engineering*, ASCE 126 (5), 229–235.
- Jarlan, G.E., 1961. A perforated vertical breakwater. *The Dock and Harbour Authority* 41(486), 394–398.
- Jarlan, G.E., 1965. The application of acoustic theory to the reflective properties of coastal engineering structures. *Quart. Bulletin National Research Council Canada*. 23–64.
- Jianyi, W., 1992. Experimental study of perforated caisson breakwaters. *China Ocean Engineering* 6, 65–78.
- Juhl, J. and van der Meer, J. W. 1992. "Quasi-Static Forces on Vertical Structures. Re-Analysis of Data at the Danish Hydraulic Institute and Delft Hydraulics," Report MAST G6-S, Coastal Structures, Project 2.
- Kakuno, S., Tsujimoto, G., Shiozaki, Y., 2003. A design method for double slit-wall breakwaters. Proceedings of Coastal Structures 2003, ASCE, pp. 295–304.
- Kim, D.H., Park, W.S., 2005. Neural network for design and reliability analysis of rubble mound breakwaters. *Ocean Engineering* 32 (11–12), 1332–1349.
- Kondo, H., 1979. Analysis of breakwaters having two porous walls. Proceedings of Coastal Structures. ASCE.
- Kortenhaus, A., and Oumeraci, H. 1998. "Classification of Wave Loading on Monolithic Coastal Structures," Proceedings of the 26th International Coastal Engineering Conference, Vol 1, pp

- Li, Y.C., Dong, G.H., Liu, H.J., Sun, D.P., 2003. The reflection of oblique incident waves by breakwaters with double-layered perforated walls. *Coastal Engineering* 50, 47–60.
- Liberatore, L., 1974. Experimental investigation on wave-induced forces on Jarlan-type perforated breakwaters. *Atti del XIV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*. Napoli, Italy.
- Lillevang, O. V. 1977. "Breakwater Subjected to Heavy Overtopping; Concept Design, Construction, and Experience," *Proceedings of Ports '77*, American Society of Civil Engineers, New York, pp 61-93.
- Liu, Y., Li, Y.C., Teng, B., 2007. The reflection of oblique waves by an infinite number of partially perforated caissons. *Ocean Engineering* 34, 1965–1976.
- Liu, Y., Li, Y., Teng, B., Jiang, J., Ma, B., 2008. Total horizontal and vertical forces of irregular waves on partially perforated caisson breakwaters. *Coastal Engineering* 55, 537–552.
- Losada, I.J., Losada, M.A., Baquerizo, A., 1993. An analytical method to evaluate the efficiency of porous screens as wave dampers. *Applied Ocean research* 15, 207–215.
- Losada, I. J., Silva, R, and Losada, M. A. 1997. "Effects of Reflective Vertical Structures Permeability on Random Wave Kinematics," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol 123, No. 6, pp 347-353.
- Mansard, E.P.D. and Funke, E.R., (1980). The measurement of incident and reflected spectra using a least squares method., *Proc.17th ICCE*, Sydney.pp154-172.
- Marks, W., Jarlan, G.E., 1968. Experimental studies on fixed perforated breakwater. *Coastal Engineering* 68, 121–1140.
- Mase, H., Sakamoto, M., Sakai, T., 1995. Neural network for stability of rubble mound breakwaters. *Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering Division* 121 (6), 294–299.
- Medina, J.R., 1999. Neural network modelling of runup and overtopping. In: Balkema, A.A. (Ed.), *Proceedings of Coastal Structures*, Vol. 1, pp. 421–429.
- Medina, J.R., 2001. Estimation of incident and reflected waves using simulated annealing. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 127 (4), 213–221.
- Medina, J.R., Serrano-Hidalgo, O., 2004. Interpolation of time series of sea state variables using neural networks. *Proceedings of the 29th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE 1, 985–996.
- Medina, J.R., González-Escrivá, J.A., Garrido, J.M., De Rouck, J., 2002. Overtopping analysis using neural networks. *Proceedings of the 28th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 2165–2177.
- Medina, J.R., Garrido, J.M., Gómez-Martín, M.E., Vidal, C., 2003. Armor damage analysis using neural networks. *Proceeding of Coastal Structures 2003*, ASCE, pp. 236–246.
- Medina, J.R., Muñoz, J.J., Gómez-Pina, G., 2006. Transmission and reflection of modular detached breakwaters. *Proceedings of the 30th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE 5, 4350–4361.
- Melito I., Melby A. J., 2002 Wave runup, transmission, and reflection for structures armored with CORE-LOC, *Coastal Engineering*, 45, pp 33-52
- Μέμος Κ., 1999, Νέα έκδοση 2008, Εισαγωγή στα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις Συμμετρία
- Moody, J.E., 1992. The effective number of parameters: an analysis of generalization and regularization in nonlinear learning systems. In: Moody, J.E., Hanson, S.J., Lippmann, R.P. (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems 4*. Morgan Kaufmann, San Mateo, California, USA.
- Μουτζούρης, Κ.Ι., 1983, επανέκδοση 2007, Θαλάσσια Υδραυλική, Αθήνα
- Muttray M., H. Oumeraci H., E. ten Oever, 2006, Wave reflection and wave run-up at rubble mound breakwaters, *International Conference on Coastal Engineering*. San Diego, September 2006
- O'Donoghue, T., and Goldsworthy, C. J. 1995. "Random Wave Kinematics in Front of Sea Wall," *Proceedings of Breakwaters '95*, Institution of Civil Engineering, London, UK, pp 1-12.
- Oliveira T.C.A., Sanchez-Arcilla A. and Gironella X., 2012, Simulation of Wave Overtopping of Maritime Structures in a Numerical Wave Flume, *Journal of Applied Mathematics*, Volume 2012, Article ID 246146, 19 pages.
- Oumeraci, H. 1991. "Dynamic Loading and Response of Caisson Breakwaters - Results of Large-Scale Model Tests," *MAST G6-S, Project 2 Report*, Franzius Institute, University of Hannover, Hannover, Germany.

- Oumeraci, H., Kortenhaus, A., 1999. Probabilistic design tool for Vertical Breakwaters. Final Report PROVERBS-ProyectFirst ed. University of Braunschweig, Germany.
- Owen, M. W. 1980. "Design of Seawalls Allowing for Wave Overtopping," Report No. 924, Hydraulics Research Station, Wallingford, UK.
- Owen, M. W. 1982. "The Hydraulic Design of Seawall Profiles," Proceedings of the Coastal Protection Conference, Institution of Civil Engineers, Thomas Telford Publishing, London, UK, pp 185-192.
- Owen M.W. and Steele A.A.J., revision 1993, Effectiveness of recurved wave return walls, Report 261, HR Wallingford.
- Pearson J., Bruce T., Allsop W., Kortenhaus A. and Van der Meer J.W., 2005, Effectiveness of recurved walls in reducing wave overtopping on seawalls and breakwaters, Proceedings of 29th Inter. Conf. on Coastal Engineering ICCE 2004, Lisbon, 4404-4416
- Pedersen, J. 1996. "Experimental Study of Wave Forces and Wave Overtopping on Breakwater Crown Walls," Series paper 12, Hydraulics & Coastal Engineering Laboratory, Department of Civil Engineering, Aalborg University, Denmark.
- Pedersen, J. 1997. "Dynamic Response of Caisson Breakwaters Subjected to Impulsive Wave Loading - Design Diagrams for Dynamic Load Factors," Proceedings, Annex 2 C, 1st overall Workshop, EU-MASTIII project PROVERBS, Las Palmas, Gran Canaria, Spain.
- Pedersen, J., and Burcharth, H. F. 1992. "Wave Forces on Crown Walls," Proceedings of the 23rd International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 2, pp 1489-1502.
- Perroud, P. H. 1957. "The Solitary Wave Reflection Along a Straight Vertical Wall at Oblique
- Pilarczyk, Krystian, W. 1990. "Design of Seawalls and Dikes - Including Overview of Revetments," Coastal Protection, K. Pilarczyk, ed., A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, The Netherlands.
- Postma, G. M. 1989. "Wave Reflection from Rock Slopes Under Random Wave Attack," M.S. thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- PROVERBS 2, Edited by N.W.H. Allsop April 1999
- PROVERBS 1 , H. Oumeraci, N.W.H. Allsop, M.B. de Groot, R.S. Crouch, J.K. Vrijling, April 1999
- Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H., van der Meer, J.W. (Eds. Overtopping Manual, 2007.), Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures – Assessment Manual. [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com).
- Quinn, A. D. 1972. Design and Construction of Ports and Marine Structures. McGraw-Hill, New York.
- Ripoll E., Gonzales-Escriva J.A. and Medina J.R., 2010, Experimental study of wave absorbing-type elements on quay wall design, Proceedings of Coastlab10, paper No 52.
- Sainflou, M. 1928. "Treatise on Vertical Breakwaters," Annals des Ponts et Chaussee, Paris, France (Translated by W. J. Yardoff, U.S. Army Corps of Engineers.)
- Sawaragi, T., Iwata, K., 1979. Irregular wave attenuation due to a vertical breakwater with air chamber. Proceedings of Coastal Structures 1979, ASCE, pp. 29–47.
- Seelig, W.N., Ahrens, J.P., 1981. Estimation of wave reflection and energy dissipation coefficients for beaches, revetments and breakwaters. CERC Technical paper 81-1, Fort Belvoir, U.S.A.C.E. MS, Vicksburg.
- Seelig, W. N. 1980. "Two-Dimensional Tests of Wave Transmission and Reflection Characteristics of Laboratory Breakwaters," Technical Report No. 80-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Seelig, W. N. 1983. "Wave Reflection from Coastal Structures," Proceedings of Coastal Structures '83, American Society of Civil Engineers, pp 961-973.
- Shore Protection Manual. 1977. 3rd ed., U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Shore Protection Manual. 1984. 4th ed., U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Smith, G. M., Seiffert, J. W., and van der Meer, J. W. 1994. "Erosion and Overtopping of a Grass Dike: Large Scale Model Tests," Proceedings of the 24th International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 3, pp 2639-2652.
- Stuckrath, T. 1996. "Recommendation for the Construction of Breakwaters With Vertical and Inclined Concrete Walls," Report of Sub-Group C, Working Group 28, PIANC PTC II.
- Suh, K.D., Park, W.S., 1995. Wave reflection from perforated-wall caisson breakwaters. Coastal Engineering 26, 177–193.



- Suh, K.D., Choi, J.C., Kim, B.H., Park, W.S., Lee, K.S., 2001. Reflection of irregular waves from perforated-wall caisson breakwaters. *Coastal Engineering* 44 (2), 141–151.
- Suh, K.D., Park, J.K., Park, W.S., 2006. Wave reflection from partially perforated-wall caisson breakwaters. *Ocean Engineering* 33 (2), 264–280.
- Suh K.D, Kim Y.W. and Ji C.-H., 2011, An empirical formula for friction coefficient of a perforated wall with vertical slits, *Coastal Engineering*, 58, pp 85-93.
- Sutherland, J., and O'Donoghue, T. 1997. "CRF Study of Wave Kinematics in Front of Coastal Structures," *Proceedings of Coastal Dynamics '97*, American Society of Civil Engineers, pp 694-703.
- Sutherland, J., and O'Donoghue, T. 1998a. "Wave Phase Shift at Coastal Structures," *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol 124, No. 2, pp 90-98.
- Sutherland, J., and O'Donoghue, T. 1998b. "Characteristics of Wave Reflection Spectra," *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol 124, No. 6, pp 303-311.
- Tabet-Aoul, E., Lambert, E., 2003. Tentative new formula for maximum horizontal wave forces acting on perforated breakwater caisson. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 129, 34–40.
- Takahashi, S., 1996. "Design of Vertical Breakwaters," Reference Documents, No. 34, Port and Harbour Research Institute, Japan.
- Takahashi, S., Tanimoto, K., and Shimosako, K. 1990. "Wave and Block Forces on a Caisson Covered With Wave Dissipating Blocks," Report of Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan, Vol 30, No. 4, pp 3-34 (in Japanese).
- Takahashi, S., Shimosako, K., and Sasaki, H. 1991. "Experimental Study on Wave Forces Acting on Perforated Wall Caisson Breakwaters," Report of Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan, Vol 30, No. 4, pp 3-34 (in Japanese).
- Takahashi, S., Tanimoto, K., and Shimosako, K. 1994a. "A Proposal of Impulsive Pressure Coefficient for Design of Composite Breakwaters," *Proceedings of the International Conference on Hydro-Technical Engineering for Port and Harbor Construction*, Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan, pp 489-504.
- Takahashi, S., Tanimoto, K., and Shimosako, K. 1994. "Wave Pressure on Perforated Wall Caissons," *Proceeding of International Conference on Hydro-Technical Engineering for Port and Harbor Construction*, Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan, pp 747-764.
- Tanimoto, K., Moto, K., Ishizuka, S., and Goda Y. 1976. "An Investigation on Design Wave Force Formulae of Composite-Type Breakwaters," *Proceedings of the 23rd Japanese Conference on Coastal Engineering*, pp 11-16 (in Japanese).
- Tanimoto, K., Takahashi, K., and Kitatani, T. 1981. "Experiment Study of Impact Breaking Wave Forces on a Vertical Wall Caisson of Composite Breakwater," Report of Port and Harbour Research Institute, Vol 20, No. 2, pp 3-39 (in Japanese).
- Tanimoto, T., Yagyu, T., and Goda, Y. 1982. "Irregular Wave Tests for Composite Breakwater Foundations," *Proceedings of the 18th International Coastal Engineering Conference*, American Society of Civil Engineers, Vol 3, pp 2144-2163.
- Tanimoto, K, Haranaka, S., and Yamazaki, K. 1985. "Experimental Study of Wave Dissipating Concrete Blocks Against Irregular Waves," Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol 24, No. 2, pp 85-121 (in Japanese).
- Tanimoto, K., Takahashi, S., and Kimura, K. 1987. "Structures and Hydraulic Characteristics of Breakwaters - The State of the Art of Breakwater Design in Japan," Report of the Port and Harbour Research Institute, Japan, Vol. 26, No. 5, pp 11-15.
- Teng, B., Zhang, X.T., Ning, D.Z., 2004. Interaction of oblique waves with infinite number of perforated caissons. *Ocean Engineering* 31, 615–632.
- Theocharis I., Anastasaki E., Moutzouris C.I. and Giantsi Th., 2011, A new wave absorbing quay-wall for wave height reduction in a harbor basin, *Ocean Engineering* 38, 1967-1976.
- Tonelli M. and Petti, M., 2013, Numerical simulation of wave overtopping at coastal dikes and, low-crested structures by means of a shock-capturing Boussinesq model, *Coastal Engineering*, Vol. 79, pp 75–88.

- Tsuruta, S., and Goda, Y. 1968. "Expected Discharge of Irregular Wave Overtopping," Proceedings of the 11th International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 2, pp 833-852.
- Twu, S.W., Lin, D.T., 1991. On a highly effective wave absorber. *Coastal Engineering* 15, 389–405.
- van der Meer, J.W. (1992): Conceptual design of rubble mound breakwaters. Proc. of the Short Course on Design and Reliability of Coastal Structures, pp. 447-510, Bologna.
- van der Meer, J. W., and Janssen, W. 1995. "Wave Run-Up and Wave Overtopping at Dikes," In *Wave Forces on Inclined and Vertical Wall Structures*, Kobayashi and Demirebilek, eds., American Society of Civil Engineers, pp 1-27.
- van der Meer, J. W., and Stam C. M. 1992. "Wave Run-Up on Smooth and Rock Slopes of Coastal Structures," *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 118, No. 5, pp 534-550.
- van der Meer, J. W., d=Angremond, K., and Juhl, J. 1994. "Probabilistic Calculation of Wave Forces on Vertical Structures," Proceedings of the 24th International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 2, pp 1754-1769.
- Van Gent, M.R.A., Van den Boogaard, H.F.P., Pozueta, B., Medina, J.R., 2007. Neural network modelling of wave overtopping at coastal structures. *Coastal Engineering* 54 (8), 586–593.
- Verhaeghe H., 2005, Neural Network Prediction of Wave Overtopping at Coastal Structures, Phd Thesis, Ghent University, Belgium.
- Verhaeghe, H., De Rouck, J., Van der Meer, J., 2008. Combined classifier–quantifier model: a 2-phases neural model for prediction of wave overtopping at coastal structures. *Coastal Engineering* 55 (5), 357–374.
- Vicinanza D, Nørgaard J.-H., Contestabile P and Andersen T.L., 2013, Wave loadings acting on Overtopping Breakwater for Energy Conversion. In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and O’Hare, T.J. (eds.), Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, pp. 1669-1674, ISSN 0749-0208.
- Victor L. and Troch P. 2012, Wave overtopping at smooth impermeable steep slopes with low crest freeboards, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 138, pp. 372-385.
- Victor L., 2012, Optimization of the Hydrodynamic Performance of Overtopping WaveEnergy Converters: Experimental Study of Optimal Geometry and Probability Distribution of Overtopping Volumes, Phd Thesis, Univeristy of Ghent, Belgium
- Williams, A.N., Mansour, A.-E.M., Lee, H.S., 2000. Simplified analytical solutions for wave interaction with absorbing-type caisson breakwaters. *Ocean Engineering* 27, 1231–1248.
- Yip, T.L., Chwang, A.T., 2000. Perforated wall breakwater with internal horizontal plate. *Journal of Engineering Mechanics* 126 (5), 533–538.
- Zanuttigh, B., Van der Meer, J.W., 2006. Wave reflection from coastal structures, Proc. XXX Int. Conf. Coast. Eng. vol. 5, 4337–4349.
- Zanuttigh B., Van der Meer, J.W., 2008, Wave reflection from coastal structures in design conditions, *Coastal Engineering* 55, 771-779.
- Zanuttigh B., Andersen Th. L., 2010, Wave reflection in 3D conditions, *Coastal Engineering* 57, 531-538.
- Zanuttigh B., Formentina S.M. and Briganti R., 2013, A neural network for the prediction of wave reflection from coastal and harbor structures, *Coastal Engineering* 80, 49-67.
- Zelt, J.A. and Skjelbreia, J.E., (1992). Estimating incident and reflected wave fields using an arbitrary number of wave gauges. Proc.23th ICCE, Venice, pp 777-788
- Zhu, S., Chwang, A.T., 2001. Investigations on the reflection behaviour of a slotted seawall. *Coastal Engineering* 43 (2), 93–104.
- Zhu, D., Zhu, S., 2010. Impedance analysis of hydrodynamic behaviors for a perforated wall caisson breakwater under regular wave orthogonal attack. *Coastal Engineering* 57 (8), 722–731.



## **ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Α**

### **Πίνακες εκτελεσθέντων Πειραμάτων**

Στους παρακάτω Πίνακες παρουσιάζεται το Πρόγραμμα των εκτελεσθέντων πειραμάτων

**ΔΙΑΤΑΞΗ: Σ1.1**

Υψος θαλάμου: 0.24m Πλάτος θαλάμου: 0.35m

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	Ελεύθερο περιθώριο	ΘΑΛΑΜΟΣ	D <sub>50</sub>	tana	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
			(m)				H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
1	1.1.1.1	K1.1.1	0.17	ΚΕΝΟΣ			0.666	0.556
2	1.1.1.2	K1.1.2	0.17				0.999	0.556
3	1.1.1.3	K1.1.3	0.17				1.332	0.556
4	1.1.1.4	K1.1.4	0.17				1.665	0.556
5	1.1.1.5	K1.1.5	0.17				2.000	0.556
6	1.1.1.6	K1.1.6	0.17				2.331	0.556
7	1.1.3.1	K1.3.1	0.17	ΚΕΝΟΣ			2.157	1.000
8	1.1.3.2	K1.3.2	0.17				3.236	1.000
9	1.1.3.3	K1.3.3	0.17				4.314	1.000
10	1.1.3.4	K1.3.4	0.17				5.393	1.000
11	1.1.3.5	K1.3.5	0.17				6.472	1.000
12	1.1.3.6	K1.3.5	0.17				7.550	1.000
13	1.1.5.1	K1.5.1	0.17	ΚΕΝΟΣ			7.281	1.500
14	1.1.5.2	K1.5.2	0.17				9.708	1.500
15	1.1.5.3	K1.5.3	0.17				12.135	1.500
16	1.1.5.4	K1.5.4	0.17				14.562	1.500
17	1.1.5.5	K1.5.5	0.17				16.989	1.500
18	1.1.7.1	K1.7.1	0.17	ΚΕΝΟΣ			12.942	2.000
18	1.1.7.2	K1.7.2	0.17				17.256	2.000
20	1.1.7.3	K1.7.3	0.17				21.570	2.000
21	1.1.7.4	K1.7.4	0.17				25.884	2.000
22	1.1.7.5	K1.7.5	0.17				30.198	2.000

**Διάταξη Σ1.2**

Υψος θαλάμου: 0.24m Πλάτος θαλάμου: 0.35m

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	Ελεύθερο περιθώριο	ΠΟΡΩ ΔΕΣ	D <sub>50</sub>	tana	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
			(m)				H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
23	1.2.1.1α	K1.1.1	0.17	33%	27.5	0.70	0.666	0.556

24	1.2.1.2α	K1.1.2	0.17				0.999	0.556
25	1.2.1.3α	K1.1.3	0.17				1.332	0.556
26	1.2.1.4α	K1.1.4	0.17				1.665	0.556
27	1.2.1.5α	K1.1.5	0.17				2.000	0.556
28	1.2.1.6α	K1.1.6	0.17				2.331	0.556
29	1.2.3.1α	K1.3.1	0.17	33%	27.5	0.70	2.157	1.000
30	1.2.3.2α	K1.3.2	0.17				3.236	1.000
31	1.2.3.3α	K1.3.3	0.17				4.314	1.000
32	1.2.3.4α	K1.3.4	0.17				5.393	1.000
33	1.2.3.5α	K1.3.5	0.17				6.472	1.000
34	1.2.3.6α	K1.3.6	0.17				7.550	1.000
35	1.2.5.1α	K1.5.1	0.17	33%	27.5	0.70	7.281	1.500
36	1.2.5.2α	K1.5.2	0.17				9.708	1.500
37	1.2.5.3α	K1.5.3	0.17				12.135	1.500
38	1.2.5.4α	K1.5.4	0.17				14.562	1.500
39	1.2.5.5α	K1.5.5	0.17				16.989	1.500
40	1.2.7.1α	K1.7.1	0.17	<b>ΚΕΝΟΣ</b>			12.942	2.000
41	1.2.7.2α	K1.7.2	0.17				17.256	2.000
42	1.2.7.3α	K1.7.3	0.17				21.570	2.000
43	1.2.7.4α	K1.7.4	0.17				25.884	2.000
44	1.2.7.5α	K1.7.5	0.17				30.198	2.000
45	1.2.1.1β	K1.1.1	0.21	33%	27.5	0.70	0.666	0.556
46	1.2.1.2β	K1.1.2	0.21				0.999	0.556
47	1.2.1.3β	K1.1.3	0.21				1.332	0.556
48	1.2.1.4β	K1.1.4	0.21				1.665	0.556
49	1.2.1.5β	K1.1.5	0.21				2.000	0.556
50	1.2.1.6β	K1.1.6	0.21				2.331	0.556
51	1.2.3.1β	K1.3.1	0.21	33%	27.5	0.70	2.157	1.000
52	1.2.3.2β	K1.3.2	0.21				3.236	1.000
53	1.2.3.3β	K1.3.3	0.21				4.314	1.000
54	1.2.3.4β	K1.3.4	0.21				5.393	1.000
55	1.2.3.5β	K1.3.5	0.21				6.472	1.000
56	1.2.3.6β	K1.3.6	0.21				7.550	1.000
57	1.2.5.1β	K1.5.1	0.21	33%	27.5	0.70	7.281	1.500
58	1.2.5.2β	K1.5.2	0.21				9.708	1.500
59	1.2.5.3β	K1.5.3	0.21				12.135	1.500
60	1.2.5.4β	K1.5.4	0.21				14.562	1.500
61	1.2.5.5β	K1.5.5	0.21				16.989	1.500
62	1.2.7.1β	K1.7.1	0.21	<b>ΚΕΝΟΣ</b>			12.942	2.000
63	1.2.7.2β	K1.7.2	0.21				17.256	2.000
64	1.2.7.3β	K1.7.3	0.21				21.570	2.000
65	1.2.7.4β	K1.7.4	0.21				25.884	2.000
66	1.2.7.5β	K1.7.5	0.21				30.198	2.000

## Διάταξη Σ1.3

Υψος θαλάμου: 0.24m Πλάτος θαλάμου: 0.35m

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	Ελεύθερο περιθώριο	ΠΟΡΩ ΔΕΣ	D <sub>50</sub>	tana	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
			(m)		mm		H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
45	1.2.1.1	K1.1.1	0.21	33%	27.5	1.40	0.666	0.556
46	1.2.1.2	K1.1.2	0.21				0.999	0.556
47	1.2.1.3	K1.1.3	0.21				1.332	0.556
48	1.2.1.4	K1.1.4	0.21				1.665	0.556
49	1.2.1.5	K1.1.5	0.21				2.000	0.556
50	1.2.1.5	K1.1.5	0.21				2.331	0.556
51	1.2.3.1	K1.3.1	0.21	33%	27.5	1.4	2.157	1.000
52	1.2.3.2	K1.3.2	0.21				3.236	1.000
53	1.2.3.3	K1.3.3	0.21				4.314	1.000
54	1.2.3.4	K1.3.4	0.21				5.393	1.000
55	1.2.3.5	K1.3.5	0.21				6.472	1.000
56	1.2.3.6	K1.3.5	0.21				7.550	1.000
57	1.2.3.6	K1.3.5	0.21				7.550	1.000
58	1.2.5.1	K1.5.1	0.21	33%	27.5	1.4	7.281	1.500
59	1.2.5.2	K1.5.2	0.21				9.708	1.500
60	1.2.5.3	K1.5.3	0.21				12.135	1.500
61	1.2.5.4	K1.5.4	0.21				14.562	1.500
62	1.2.5.5	K1.5.5	0.21				16.989	1.500
63	1.2.7.1	K1.7.1	0.21	ΚΕΝΟΣ			12.942	2.000
64	1.2.7.2	K1.7.2	0.21				17.256	2.000
65	1.2.7.3	K1.7.3	0.21				21.570	2.000
66	1.2.7.4	K1.7.4	0.21				25.884	2.000
67	1.2.7.5	K1.7.5	0.21				30.198	2.000

## Διάταξη Σ1.4

Υψος θαλάμου: 0.24m Πλάτος θαλάμου: 0.35m

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	Ελεύθερο περιθώριο	ΠΟΡΩ ΔΕΣ	D <sub>50</sub>	tana	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
			(m)		(mm)		H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
23	1.4.1.1α	K1.1.1	0.21	41%	60.0	0.70	0.666	0.556
24	1.4.1.2α	K1.1.2	0.21				0.999	0.556

25	1.4.1.3α	K1.1.3	0.21				1.332	0.556
26	1.4.1.4α	K1.1.4	0.21				1.665	0.556
27	1.4.1.5α	K1.1.5	0.21				2.000	0.556
28	1.4.1.6α	K1.1.6	0.21				2.331	0.556
29	1.4.3.1α	K1.3.1	0.21	41%	60.0	0.70	2.157	1.000
30	1.4.3.2α	K1.3.2	0.21				3.236	1.000
31	1.4.3.3α	K1.3.3	0.21				4.314	1.000
32	1.4.3.4α	K1.3.4	0.21				5.393	1.000
33	1.4.3.5α	K1.3.5	0.21				6.472	1.000
34	1.4.3.6α	K1.3.6	0.21				7.550	1.000
35	1.4.5.1α	K1.5.1	0.21	41%	60.0	0.70	7.281	1.500
36	1.4.5.2α	K1.5.2	0.21				9.708	1.500
37	1.4.5.3α	K1.5.3	0.21				12.135	1.500
38	1.4.5.4α	K1.5.4	0.21				14.562	1.500
39	1.4.5.5α	K1.5.5	0.21				16.989	1.500
40	1.4.7.1α	K1.7.1	0.21	41%	60.0	0.70	12.942	2.000
41	1.4.7.2α	K1.7.2	0.21		17.256		2.000	
42	1.4.7.3α	K1.7.3	0.21		21.570		2.000	
43	1.4.7.4α	K1.7.4	0.21		25.884		2.000	
44	1.4.7.5α	K1.7.5	0.21		30.198		2.000	
45	1.4.1.1β	K1.1.1	0.17	41%	60.0	0.70	0.666	0.556
46	1.4.1.2β	K1.1.2	0.17				0.999	0.556
47	1.4.1.3β	K1.1.3	0.17				1.332	0.556
48	1.4.1.4β	K1.1.4	0.17				1.665	0.556
49	1.4.1.5β	K1.1.5	0.17				2.000	0.556
50	1.4.1.6β	K1.1.6	0.17				2.331	0.556
51	1.4.3.1β	K1.3.1	0.17	41%	60.0	0.70	2.157	1.000
52	1.4.3.2β	K1.3.2	0.17				3.236	1.000
53	1.4.3.3β	K1.3.3	0.17				4.314	1.000
54	1.4.3.4β	K1.3.4	0.17				5.393	1.000
55	1.4.3.5β	K1.3.5	0.17				6.472	1.000
56	1.4.3.6β	K1.3.6	0.17				7.550	1.000
57	1.4.5.1β	K1.5.1	0.17	41%	60.0	0.70	7.281	1.500
58	1.4.5.2β	K1.5.2	0.17				9.708	1.500
60	1.4.5.3β	K1.5.3	0.17				12.135	1.500
61	1.4.5.4β	K1.5.4	0.17				14.562	1.500
62	1.4.5.5β	K1.5.5	0.17				16.989	1.500
63	1.4.7.1β	K1.7.1	0.17	41%	60.0	0.70	12.942	2.000
64	1.4.7.2β	K1.7.2	0.17				17.256	2.000
65	1.4.7.3β	K1.7.3	0.17				21.570	2.000
66	1.4.7.4β	K1.7.4	0.17				25.884	2.000
67	1.4.7.5β	K1.7.5	0.17				30.198	2.000
	1.4.1.1γ	K1.1.1	0.15	41%	60.0	0.70	0.666	0.556



	1.4.1.2γ	K1.1.2	0.15				0.999	0.556
	1.4.1.3γ	K1.1.3	0.15				1.332	0.556
	1.4.1.4γ	K1.1.4	0.15				1.665	0.556
	1.4.1.5γ	K1.1.5	0.15				2.000	0.556
	1.4.1.6γ	K1.1.6	0.15				2.331	0.556
	1.4.3.1γ	K1.3.1	0.15	41%	60.0	0.70	2.157	1.000
	1.4.3.2γ	K1.3.2	0.15				3.236	1.000
	1.4.3.3γ	K1.3.3	0.15				4.314	1.000
	1.4.3.4γ	K1.3.4	0.15				5.393	1.000
	1.4.3.5γ	K1.3.5	0.15				6.472	1.000
	1.4.3.6γ	K1.3.6	0.15				7.550	1.000
	1.4.5.1γ	K1.5.1	0.15	41%	60.0	0.70	7.281	1.500
	1.4.5.2γ	K1.5.2	0.15				9.708	1.500
	1.4.5.3γ	K1.5.3	0.15				12.135	1.500
	1.4.5.4γ	K1.5.4	0.15				14.562	1.500
	1.4.5.5γ	K1.5.5	0.15				16.989	1.500
	1.4.7.1γ	K1.7.1	0.15	41%	60.0	0.70	12.942	2.000
	1.4.7.2γ	K1.7.2	0.15				17.256	2.000
	1.4.7.3γ	K1.7.3	0.15				21.570	2.000
	1.4.7.4γ	K1.7.4	0.15				25.884	2.000
	1.4.7.5γ	K1.7.5	0.15				30.198	2.000

## ΔΙΑΤΑΞΗ Σ1.5

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	Ελεύθερο περιθώριο (m)	ΠΟΡΩ ΔΕΣ	D <sub>50</sub> (mm)	tana	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
							H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
	1.5.1.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,31				1.332	0.556
	1.5.1.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.4					1.665	0.556
	1.5.1.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.5					2.000	0.556
	1.5.2.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,31				3.117	0.760
	1.5.2.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.4					3.741	0.760
	1.5.2.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.5					4.364	0.760
	1.5.3.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,31				4.314	1.000
	1.5.3.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.4					5.393	1.000
	1.5.3.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.5					6.472	1.000
	1.5.4.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,31				6.740	1.250
	1.5.4.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.3					8.425	1.250
	1.5.4.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.4					10.110	1.250
	1.5.5.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,31				9.708	1.500

	1.5.5.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.3					12.135	1.500
	1.5.5.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.4					14.562	1.500
	1.5.6.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,31				13.192	1.749
	1.5.6.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.3					16.490	1.749
	1.5.6.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.4					19.788	1.749
	1.5.7.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,31				17.256	2.000
	1.5.7.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.3					21.570	2.000
	1.5.7.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.4					25.884	2.000
	1.5.1.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,34				1.332	0.556
	1.5.1.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.4					1.665	0.556
	1.5.1.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.5					2.000	0.556
	1.5.2.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,34				3.117	0.760
	1.5.2.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.4					3.741	0.760
	1.5.2.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.5					4.364	0.760
	1.5.3.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,34				4.314	1.000
	1.5.3.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.4					5.393	1.000
	1.5.3.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.5					6.472	1.000
	1.5.4.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,34				6.740	1.250
	1.5.4.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.3					8.425	1.250
	1.5.4.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.4					10.110	1.250
	1.5.5.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,34				9.708	1.500
	1.5.5.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.3					12.135	1.500
	1.5.5.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.4					14.562	1.500
	1.5.6.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,34				13.192	1.749
	1.5.6.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.3					16.490	1.749
	1.5.6.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.4					19.788	1.749
	1.5.7.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,34				17.256	2.000
	1.5.7.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.3					21.570	2.000
	1.5.7.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.4					25.884	2.000
	1.5.1.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,38				1.332	0.556
	1.5.1.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.4					1.665	0.556
	1.5.1.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.5					2.000	0.556
	1.5.2.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,38				3.117	0.760
	1.5.2.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.4					3.741	0.760
	1.5.2.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.5					4.364	0.760
	1.5.3.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,38				4.314	1.000
	1.5.3.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.4					5.393	1.000
	1.5.3.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.5					6.472	1.000
	1.5.4.2 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,38				6.740	1.250
	1.5.4.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.4.3					8.425	1.250
	1.5.4.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.4.4					10.110	1.250
	1.5.5.2 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,38				9.708	1.500
	1.5.5.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.5.3					12.135	1.500
	1.5.5.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.5.4					14.562	1.500

	1.5.6.2 <sup>Y</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,38				13.192	1.749
	1.5.6.3 <sup>Y</sup> (i,ii)	K1.6.3					16.490	1.749
	1.5.6.4 <sup>Y</sup> (i,ii)	K1.6.4					19.788	1.749
	1.5.7.2 <sup>Y</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,38				17.256	2.000
	1.5.7.3 <sup>Y</sup> (i,ii)	K1.7.3					21.570	2.000
	1.5.7.4 <sup>Y</sup> (i,ii)	K1.7.4					25.884	2.000

#### ΔΙΑΤΑΞΗ Σ1.6

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	Ελεύθερο περιθώριο	ΠΟΡΩ ΔΕΣ	D <sub>50</sub>	tana	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
			(m)		(mm)		H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
	1.6.1.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,31				1.332	0.556
	1.6.1.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.4					1.665	0.556
	1.6.1.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.5					2.000	0.556
	1.6.2.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,31				3.117	0.760
	1.6.2.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.4					3.741	0.760
	1.6.2.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.5					4.364	0.760
	1.6.3.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,31				4.314	1.000
	1.6.3.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.4					5.393	1.000
	1.6.3.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.5					6.472	1.000
	1.6.4.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,31				6.740	1.250
	1.6.4.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.3					8.425	1.250
	1.6.4.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.4					10.110	1.250
	1.6.5.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,31				9.708	1.500
	1.6.5.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.3					12.135	1.500
	1.6.5.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.4					14.562	1.500
	1.6.6.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,31				13.192	1.749
	1.6.6.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.3					16.490	1.749
	1.6.6.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.4					19.788	1.749
	1.6.7.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,31				17.256	2.000
	1.6.7.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.3					21.570	2.000
	1.6.7.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.4					25.884	2.000
	1.6.1.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,34				1.332	0.556
	1.6.1.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.4					1.665	0.556
	1.6.1.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.5					2.000	0.556
	1.6.2.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,34				3.117	0.760
	1.6.2.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.4					3.741	0.760
	1.6.2.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.5					4.364	0.760
	1.6.3.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,34				4.314	1.000

	1.6.3.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.4					5.393	1.000
	1.6.3.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.5					6.472	1.000
	1.6.4.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,34				6.740	1.250
	1.6.4.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.3					8.425	1.250
	1.6.4.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.4					10.110	1.250
	1.6.5.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,34				9.708	1.500
	1.6.5.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.3					12.135	1.500
	1.6.5.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.4					14.562	1.500
	1.6.6.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,34				13.192	1.749
	1.6.6.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.3					16.490	1.749
	1.6.6.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.4					19.788	1.749
	1.6.7.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,34				17.256	2.000
	1.6.7.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.3					21.570	2.000
	1.6.7.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.4					25.884	2.000
	1.6.1.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,38				1.332	0.556
	1.6.1.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.4					1.665	0.556
	1.6.1.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.5					2.000	0.556
	1.6.2.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,38				3.117	0.760
	1.6.2.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.4					3.741	0.760
	1.6.2.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.5					4.364	0.760
	1.6.3.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,38				4.314	1.000
	1.6.3.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.4					5.393	1.000
	1.6.3.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.5					6.472	1.000
	1.6.4.2 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,38				6.740	1.250
	1.6.4.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.4.3					8.425	1.250
	1.6.4.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.4.4					10.110	1.250
	1.6.5.2 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,38				9.708	1.500
	1.6.5.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.5.3					12.135	1.500
	1.6.5.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.5.4					14.562	1.500
	1.6.6.2 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,38				13.192	1.749
	1.6.6.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.6.3					16.490	1.749
	1.6.6.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.6.4					19.788	1.749
	1.6.7.2 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,38				17.256	2.000
	1.6.7.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.7.3					21.570	2.000
	1.6.7.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.7.4					25.884	2.000

## ΔΙΑΤΑΞΗ Σ1.7

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	Ελεύθερο περιθώριο	ΠΟΡΩ ΔΕΣ	D <sub>50</sub>	tana	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
			(m)		(mm)		H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
	1.7.1.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,31				1.332	0.556
	1.7.1.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.4					1.665	0.556
	1.7.1.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.5					2.000	0.556
	1.7.2.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,31				3.117	0.760
	1.7.2.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.4					3.741	0.760
	1.7.2.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.5					4.364	0.760
	1.7.3.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,31				4.314	1.000
	1.7.3.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.4					5.393	1.000
	1.7.3.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.5					6.472	1.000
	1.7.4.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,31				6.740	1.250
	1.7.4.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.3					8.425	1.250
	1.7.4.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.4					10.110	1.250
	1.7.5.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,31				9.708	1.500
	1.7.5.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.3					12.135	1.500
	1.7.5.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.4					14.562	1.500
	1.7.6.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,31				13.192	1.749
	1.7.6.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.3					16.490	1.749
	1.7.6.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.4					19.788	1.749
	1.7.7.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,31				17.256	2.000
	1.7.7.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.3					21.570	2.000
	1.7.7.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.4					25.884	2.000
	1.7.1.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,34				1.332	0.556
	1.7.1.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.4					1.665	0.556
	1.7.1.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.5					2.000	0.556
	1.7.2.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,34				3.117	0.760
	1.7.2.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.4					3.741	0.760
	1.7.2.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.5					4.364	0.760
	1.7.3.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,34				4.314	1.000
	1.7.3.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.4					5.393	1.000
	1.7.3.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.5					6.472	1.000
	1.7.4.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,34				6.740	1.250
	1.7.4.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.3					8.425	1.250
	1.7.4.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.4					10.110	1.250
	1.7.5.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,34				9.708	1.500
	1.7.5.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.3					12.135	1.500
	1.7.5.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.4					14.562	1.500

	1.7.6.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,34				13.192	1.749
	1.7.6.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.3					16.490	1.749
	1.7.6.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.4					19.788	1.749
	1.7.7.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,34				17.256	2.000
	1.7.7.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.3					21.570	2.000
	1.7.7.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.4					25.884	2.000
	1.7.1.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,38				1.332	0.556
	1.7.1.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.4					1.665	0.556
	1.7.1.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.5					2.000	0.556
	1.7.2.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,38				3.117	0.760
	1.7.2.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.4					3.741	0.760
	1.7.2.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.5					4.364	0.760
	1.7.3.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,38				4.314	1.000
	1.7.3.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.4					5.393	1.000
	1.7.3.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.5					6.472	1.000
	1.7.4.2 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,38				6.740	1.250
	1.7.4.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.4.3					8.425	1.250
	1.7.4.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.4.4					10.110	1.250
	1.7.5.2 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,38				9.708	1.500
	1.7.5.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.5.3					12.135	1.500
	1.7.5.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.5.4					14.562	1.500
	1.7.6.2 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,38				13.192	1.749
	1.7.6.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.6.3					16.490	1.749
	1.7.6.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.6.4					19.788	1.749
	1.7.7.2 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,38				17.256	2.000
	1.7.7.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.7.3					21.570	2.000
	1.7.7.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.7.4					25.884	2.000

## ΔΙΑΤΑΞΗ Σ1.8

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	Ελεύθερο περιθώριο	ΠΟΡΩ ΔΕΣ	D <sub>50</sub>	tana	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
			(m)		(mm)		H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
	1.8.1.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,31				1.332	0.556
	1.8.1.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.4					1.665	0.556
	1.8.1.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.1.5					2.000	0.556
	1.8.2.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,31				3.117	0.760
	1.8.2.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.4					3.741	0.760
	1.8.2.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.2.5					4.364	0.760
	1.8.3.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,31				4.314	1.000

	1.8.3.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.4				5.393	1.000
	1.8.3.5 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.3.5				6.472	1.000
	1.8.4.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,31			6.740	1.250
	1.8.4.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.3				8.425	1.250
	1.8.4.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.4.4				10.110	1.250
	1.8.5.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,31			9.708	1.500
	1.8.5.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.3				12.135	1.500
	1.8.5.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.5.4				14.562	1.500
	1.8.6.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,31			13.192	1.749
	1.8.6.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.3				16.490	1.749
	1.8.6.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.6.4				19.788	1.749
	1.8.7.2 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,31			17.256	2.000
	1.8.7.3 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.3				21.570	2.000
	1.8.7.4 <sup>α</sup> (i,ii)	K1.7.4				25.884	2.000
	1.8.1.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,34			1.332	0.556
	1.8.1.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.4				1.665	0.556
	1.8.1.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.1.5				2.000	0.556
	1.8.2.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,34			3.117	0.760
	1.8.2.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.4				3.741	0.760
	1.8.2.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.2.5				4.364	0.760
	1.8.3.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,34			4.314	1.000
	1.8.3.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.4				5.393	1.000
	1.8.3.5 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.3.5				6.472	1.000
	1.8.4.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,34			6.740	1.250
	1.8.4.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.3				8.425	1.250
	1.8.4.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.4.4				10.110	1.250
	1.8.5.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,34			9.708	1.500
	1.8.5.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.3				12.135	1.500
	1.8.5.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.5.4				14.562	1.500
	1.8.6.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,34			13.192	1.749
	1.8.6.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.3				16.490	1.749
	1.8.6.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.6.4				19.788	1.749
	1.8.7.2 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,34			17.256	2.000
	1.8.7.3 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.3				21.570	2.000
	1.8.7.4 <sup>β</sup> (i,ii)	K1.7.4				25.884	2.000
	1.8.1.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.3	0,38			1.332	0.556
	1.8.1.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.4				1.665	0.556
	1.8.1.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.1.5				2.000	0.556
	1.8.2.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.3	0,38			3.117	0.760
	1.8.2.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.4				3.741	0.760
	1.8.2.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.2.5				4.364	0.760
	1.8.3.3 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.3	0,38			4.314	1.000
	1.8.3.4 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.4				5.393	1.000
	1.8.3.5 <sup>γ</sup> (i,ii)	K1.3.5				6.472	1.000

	1.8.4.2 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.4.2	0,38				6.740	1.250
	1.8.4.3 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.4.3					8.425	1.250
	1.8.4.4 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.4.4					10.110	1.250
	1.8.5.2 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.5.2	0,38				9.708	1.500
	1.8.5.3 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.5.3					12.135	1.500
	1.8.5.4 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.5.4					14.562	1.500
	1.8.6.2 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.6.2	0,38				13.192	1.749
	1.8.6.3 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.6.3					16.490	1.749
	1.8.6.4 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.6.4					19.788	1.749
	1.8.7.2 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.7.2	0,38				17.256	2.000
	1.8.7.3 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.7.3					21.570	2.000
	1.8.7.4 <sup>y</sup> (i,ii)	K1.7.4					25.884	2.000



## ΔΙΑΤΑΞΗ Σ2.1

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ (cm)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
					H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
1	2.1.1.1	K2.1.1	Σ2.1	6.667	1.26	0.556
2	2.1.1.2	K2.1.2		6.667	1.68	0.556
3	2.1.1.3	K2.1.3		6.667	2.1	0.556
4	2.1.1.4	K2.1.4		6.667	2.52	0.556
5	2.1.1.5	K2.1.5		6.667	2.94	0.556
6	2.1.2.1	K2.2.1		6.667	1.6	0.708
7	2.1.2.2	K2.2.2		6.667	2.134	0.708
8	2.1.2.3	K2.2.3		6.667	2.667	0.708
9	2.1.2.4	K2.2.4		6.667	3.2	0.708
10	2.1.2.5	K2.2.5		6.667	3.734	0.708
11	2.1.3.1	K2.3.1		6.667	2	0.786
12	2.1.3.2	K2.3.2		6.667	2.667	0.786
13	2.1.3.3	K2.3.3		6.667	3.333	0.786
14	2.1.3.4	K2.3.4		6.667	4	0.786
15	2.1.3.5	K2.3.5		6.667	4.667	0.786
16	2.1.4.1	K2.4.1		6.667	2.5	0.879
17	2.1.4.2	K2.4.2		6.667	3.834	0.879
18	2.1.4.3	K2.4.3		6.667	4.167	0.879
19	2.1.4.4	K2.4.4		6.667	5	0.879
20	2.1.4.5	K2.4.5		6.667	5.834	0.879
21	2.1.5.1	K2.5.1		6.667	2.7	0.913
22	2.1.5.2	K2.5.2		6.667	3.6	0.913
23	2.1.5.3	K2.5.3		6.667	4.5	0.913
24	2.1.5.4	K2.5.4		6.667	5.4	0.913
25	2.1.5.5	K2.5.5		6.667	6.3	0.913

## ΔΙΑΤΑΞΗ Σ2.2

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΩΡΙΟ (cm)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
					H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
1	2.2.1.1	K2.1.1	Σ2.2	6.667	1.26	0.556
2	2.2.1.2	K2.1.2		6.667	1.68	0.556
3	2.2.1.3	K2.1.3		6.667	2.1	0.556
4	2.2.1.4	K2.1.4		6.667	2.52	0.556
5	2.2.1.5	K2.1.5		6.667	2.94	0.556
6	2.2.2.1	K2.2.1		6.667	1.6	0.708
7	2.2.2.2	K2.2.2		6.667	2.134	0.708
8	2.2.2.3	K2.2.3		6.667	2.667	0.708
9	2.2.2.4	K2.2.4		6.667	3.2	0.708
10	2.2.2.5	K2.2.5		6.667	3.734	0.708
11	2.2.3.1	K2.3.1		6.667	2	0.786
12	2.2.3.2	K2.3.2		6.667	2.667	0.786
13	2.2.3.3	K2.3.3		6.667	3.333	0.786
14	2.2.3.4	K2.3.4		6.667	4	0.786
15	2.2.3.5	K2.3.5		6.667	4.667	0.786
16	2.2.4.1	K2.4.1		6.667	2.5	0.879
17	2.2.4.2	K2.4.2		6.667	3.834	0.879
18	2.2.4.3	K2.4.3		6.667	4.167	0.879
19	2.2.4.4	K2.4.4		6.667	5	0.879
20	2.2.4.5	K2.4.5		6.667	5.834	0.879
21	2.2.5.1	K2.5.1		6.667	2.7	0.913
22	2.2.5.2	K2.5.2		6.667	3.6	0.913
23	2.2.5.3	K2.5.3		6.667	4.5	0.913
24	2.2.5.4	K2.5.4		6.667	5.4	0.913
25	2.2.5.5	K2.5.5		6.667	6.3	0.913

## ΔΙΑΤΑΞΗ Σ3.1

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ (cm)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
					H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
1	3.1.1.1	K2.1.1	Σ3.1	6.667	25.00	0.786
2	3.1.1.2	K2.1.2		6.667	33.33	0.786
3	3.1.1.3	K2.1.3		6.667	41.67	0.786
4	3.1.1.4	K2.1.4		6.667	50.00	0.786
5	3.1.1.5	K2.1.5		6.667	58.33	0.786
6	3.1.2.1	K2.2.1		6.667	36.33	0.994
7	3.1.2.2	K2.2.2		6.667	48.00	0.994
8	3.1.2.3	K2.2.3		6.667	63.00	0.994
9	3.1.2.4	K2.2.4		6.667	72.67	0.994
10	3.1.2.5	K2.2.5		6.667	84.33	0.994
11	3.1.3.1	K2.3.1		6.667	42.67	1.112
12	3.1.3.2	K2.3.2		6.667	57.33	1.112
13	3.1.3.3	K2.3.3		6.667	71.33	1.112
14	3.1.3.4	K2.3.4		6.667	85.33	1.112
15	3.1.3.5	K2.3.5		6.667	100.00	1.112
16	3.1.4.1	K2.4.1		6.667	50.00	1.243
17	3.1.4.2	K2.4.2		6.667	66.67	1.243
18	3.1.4.3	K2.4.3		6.667	83.33	1.243
19	3.1.4.4	K2.4.4		6.667	100.00	1.243
20	3.1.4.5	K2.4.5		6.667	116.67	1.243
21	3.1.5.1	K2.5.1		6.667	53.00	1.292
22	3.1.5.2	K2.5.2		6.667	71.33	1.292
23	3.1.5.3	K2.5.3		6.667	89.00	1.292
24	3.1.5.4	K2.5.4		6.667	107.00	1.292
25	3.1.5.5	K2.5.5		6.667	125.00	1.292

## ΔΙΑΤΑΞΗ Σ3.2

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ (cm)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
					H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
1	3.2.1.1	K2.1.1	Σ3.1	6.667	25.00	0.786
2	3.2.1.2	K2.1.2		6.667	33.33	0.786
3	3.2.1.3	K2.1.3		6.667	41.67	0.786
4	3.2.1.4	K2.1.4		6.667	50.00	0.786
5	3.2.1.5	K2.1.5		6.667	58.33	0.786
6	3.2.2.1	K2.2.1		6.667	36.33	0.994
7	3.2.2.2	K2.2.2		6.667	48.00	0.994
8	3.2.2.3	K2.2.3		6.667	63.00	0.994
9	3.12.4	K2.2.4		6.667	72.67	0.994
10	3.2.2.5	K2.2.5		6.667	84.33	0.994
11	3.2.3.1	K2.3.1		6.667	42.67	1.112
12	3.2.3.2	K2.3.2		6.667	57.33	1.112
13	3.2.3.3	K2.3.3		6.667	71.33	1.112
14	3.2.3.4	K2.3.4		6.667	85.33	1.112
15	3.2.3.5	K2.3.5		6.667	100.00	1.112
16	3.2.4.1	K2.4.1		6.667	50.00	1.243
17	3.2.4.2	K2.4.2		6.667	66.67	1.243
18	3.2.4.3	K2.4.3		6.667	83.33	1.243
19	3.2.4.4	K2.4.4		6.667	100.00	1.243
20	3.2.4.5	K2.4.5		6.667	116.67	1.243
21	3.2.5.1	K2.5.1		6.667	53.00	1.292
22	3.2.5.2	K2.5.2		6.667	71.33	1.292
23	3.2.5.3	K2.5.3		6.667	89.00	1.292
24	3.2.5.4	K2.5.4		6.667	107.00	1.292
25	3.2.5.5	K2.5.5		6.667	125.00	1.292

## ΔΙΑΤΑΞΗ S4.1

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ (cm)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
					H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
1	4.1.1.1	K4.1.1	Σ4.1	6.667	25.00	0.786
2	4.1.1.2	K4.1.2		6.667	33.33	0.786
3	4.1.1.3	K4.1.3		6.667	41.67	0.786
4	4.1.1.4	K4.1.4		6.667	50.00	0.786
5	4.1.1.5	K4.1.5		6.667	58.33	0.786
6	4.1.2.1	K4.2.1		6.667	36.33	0.994
7	4.1.2.2	K4.2.2		6.667	48.00	0.994
8	4.1.2.3	K4.2.3		6.667	63.00	0.994
9	4.1.2.4	K4.2.4		6.667	72.67	0.994
10	4.1.2.5	K4.2.5		6.667	84.33	0.994
11	4.1.3.1	K4.3.1		6.667	42.67	1.112
12	4.1.3.2	K4.3.2		6.667	57.33	1.112
13	4.1.3.3	K4.3.3		6.667	71.33	1.112
14	4.1.3.4	K4.3.4		6.667	85.33	1.112
15	4.1.3.5	K4.3.5		6.667	100.00	1.112
16	4.1.4.1	K4.4.1		6.667	50.00	1.243
17	4.1.4.2	K4.4.2		6.667	66.67	1.243
18	4.1.4.3	K4.4.3		6.667	83.33	1.243
19	4.1.4.4	K4.4.4		6.667	100.00	1.243
20	4.1.4.5	K4.4.5		6.667	116.67	1.243
21	4.1.5.1	K4.5.1		6.667	53.00	1.292
22	4.1.5.2	K4.5.2		6.667	71.33	1.292
23	4.1.5.3	K4.5.3		6.667	89.00	1.292
24	4.1.5.4	K4.5.4		6.667	107.00	1.292
25	4.1.5.5	K4.5.5		6.667	125.00	1.292

## ΔΙΑΤΑΞΗ S4.2

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ (cm)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
					H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
1	4.2.1.1	K4.1.1	Σ4.2	6.667	25.00	0.786
2	4.2.1.2	K4.1.2		6.667	33.33	0.786
3	4.2.1.3	K4.1.3		6.667	41.67	0.786
4	4.2.1.4	K4.1.4		6.667	50.00	0.786
5	4.2.1.5	K4.1.5		6.667	58.33	0.786
6	4.2.2.1	K4.2.1		6.667	36.33	0.994
7	4.2.2.2	K4.2.2		6.667	48.00	0.994
8	4.2.2.3	K4.2.3		6.667	63.00	0.994
9	4.2.2.4	K4.2.4		6.667	72.67	0.994
10	4.2.2.5	K4.2.5		6.667	84.33	0.994
11	4.2.3.1	K4.3.1		6.667	42.67	1.112
12	4.2.3.2	K4.3.2		6.667	57.33	1.112
13	4.2.3.3	K4.3.3		6.667	71.33	1.112
14	4.2.3.4	K4.3.4		6.667	85.33	1.112
15	4.2.3.5	K4.3.5		6.667	100.00	1.112
16	4.2.4.1	K4.4.1		6.667	50.00	1.243
17	4.2.4.2	K4.4.2		6.667	66.67	1.243
18	4.2.4.3	K4.4.3		6.667	83.33	1.243
19	4.2.4.4	K4.4.4		6.667	100.00	1.243
20	4.2.4.5	K4.4.5		6.667	116.67	1.243
21	4.2.5.1	K4.5.1		6.667	53.00	1.292
22	4.2.5.2	K4.5.2		6.667	71.33	1.292
23	4.2.5.3	K4.5.3		6.667	89.00	1.292
24	4.2.5.4	K4.5.4		6.667	107.00	1.292
25	4.2.5.5	K4.5.5		6.667	125.00	1.292

## ΔΙΑΤΑΞΗ Σ4.3

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ (cm)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
					H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
1	4.3.1.1	K4.1.1	Σ4.3	6.667	25.00	0.786
2	4.3.1.2	K4.1.2		6.667	33.33	0.786
3	4.3.1.3	K4.1.3		6.667	41.67	0.786
4	4.3.1.4	K4.1.4		6.667	50.00	0.786
5	4.3.1.5	K4.1.5		6.667	58.33	0.786
6	4.3.2.1	K4.2.1		6.667	36.33	0.994
7	4.3.2.2	K4.2.2		6.667	48.00	0.994
8	4.3.2.3	K4.2.3		6.667	63.00	0.994
9	4.3.2.4	K4.2.4		6.667	72.67	0.994
10	4.3.2.5	K4.2.5		6.667	84.33	0.994
11	4.3.3.1	K4.3.1		6.667	42.67	1.112
12	4.3.3.2	K4.3.2		6.667	57.33	1.112
13	4.3.3.3	K4.3.3		6.667	71.33	1.112
14	4.3.3.4	K4.3.4		6.667	85.33	1.112
15	4.3.3.5	K4.3.5		6.667	100.00	1.112
16	4.3.4.1	K4.4.1		6.667	50.00	1.243
17	4.3.4.2	K4.4.2		6.667	66.67	1.243
18	4.3.4.3	K4.4.3		6.667	83.33	1.243
19	4.3.4.4	K4.4.4		6.667	100.00	1.243
20	4.3.4.5	K4.4.5		6.667	116.67	1.243
21	4.3.5.1	K4.5.1		6.667	53.00	1.292
22	4.3.5.2	K4.5.2		6.667	71.33	1.292
23	4.3.5.3	K4.5.3		6.667	89.00	1.292
24	4.3.5.4	K4.5.4		6.667	107.00	1.292
25	4.3.5.5	K4.5.5		6.667	125.00	1.292

## ΔΙΑΤΑΞΗ Σ4.4

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ (cm)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (Προσομοίωμα)	
					H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
1	4.4.1.1	Κ4.1.1	Σ4.2	6.667	25.00	0.786
2	4.4.1.2	Κ4.1.2		6.667	33.33	0.786
3	4.4.1.3	Κ4.1.3		6.667	41.67	0.786
4	4.4.1.4	Κ4.1.4		6.667	50.00	0.786
5	4.4.1.5	Κ4.1.5		6.667	58.33	0.786
6	4.4.2.1	Κ4.2.1		6.667	36.33	0.994
7	4.4.2.2	Κ4.2.2		6.667	48.00	0.994
8	4.4.2.3	Κ4.2.3		6.667	63.00	0.994
9	4.4.2.4	Κ4.2.4		6.667	72.67	0.994
10	4.4.2.5	Κ4.2.5		6.667	84.33	0.994
11	4.4.3.1	Κ4.3.1		6.667	42.67	1.112
12	4.4.3.2	Κ4.3.2		6.667	57.33	1.112
13	4.4.3.3	Κ4.3.3		6.667	71.33	1.112
14	4.4.3.4	Κ4.3.4		6.667	85.33	1.112
15	4.4.3.5	Κ4.3.5		6.667	100.00	1.112
16	4.4.4.1	Κ4.4.1		6.667	50.00	1.243
17	4.4.4.2	Κ4.4.2		6.667	66.67	1.243
18	4.4.4.3	Κ4.4.3		6.667	83.33	1.243
19	4.4.4.4	Κ4.4.4		6.667	100.00	1.243
20	4.4.4.5	Κ4.4.5		6.667	116.67	1.243
21	4.4.5.1	Κ4.5.1		6.667	53.00	1.292
22	4.4.5.2	Κ4.5.2		6.667	71.33	1.292
23	4.4.5.3	Κ4.5.3		6.667	89.00	1.292
24	4.4.5.4	Κ4.5.4		6.667	107.00	1.292
25	4.4.5.5	Κ4.5.5		6.667	125.00	1.292



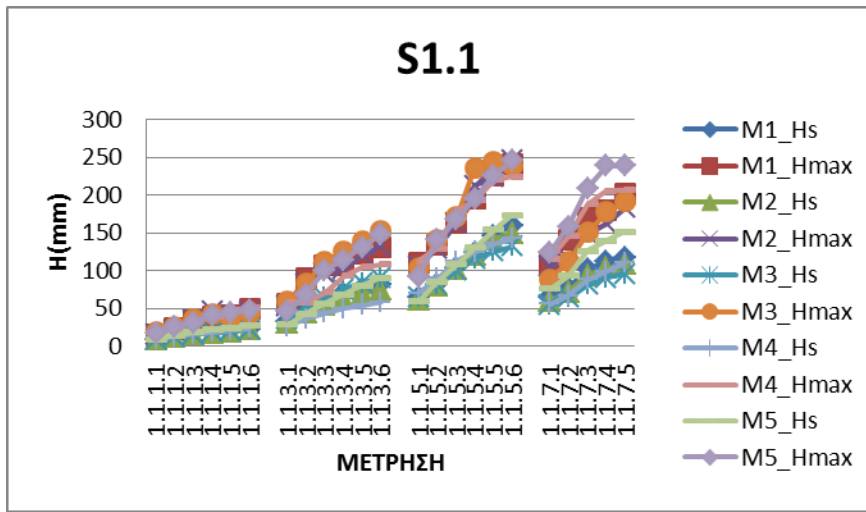


## **ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Β**

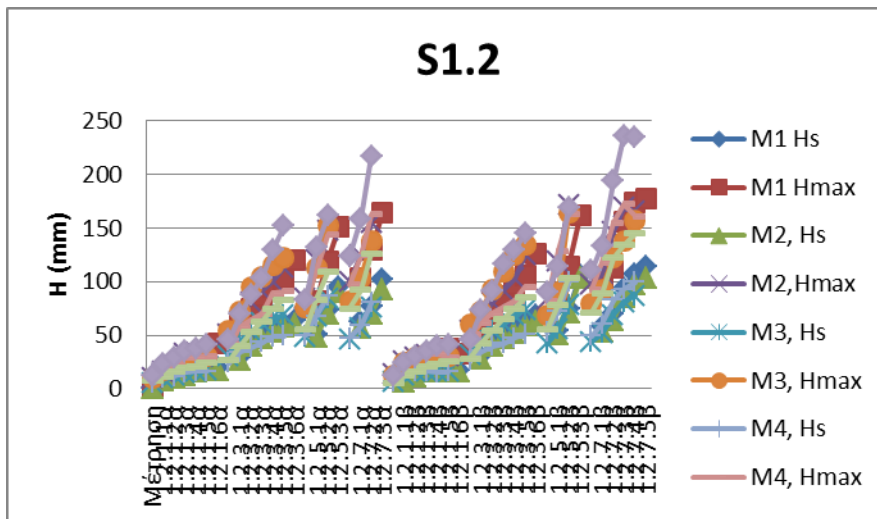
### **ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΩΝ**

Στα διαγράμματα που ακολουθούν δίνονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των κυμάτων

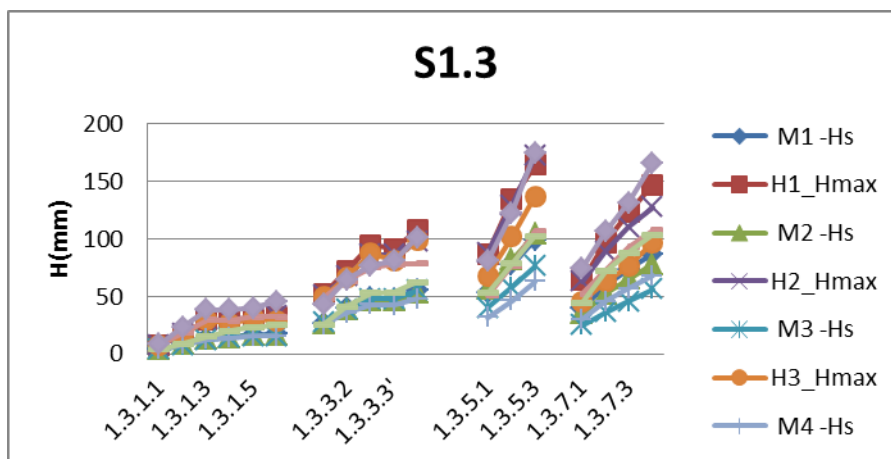
**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΙΡΑΣ 1**



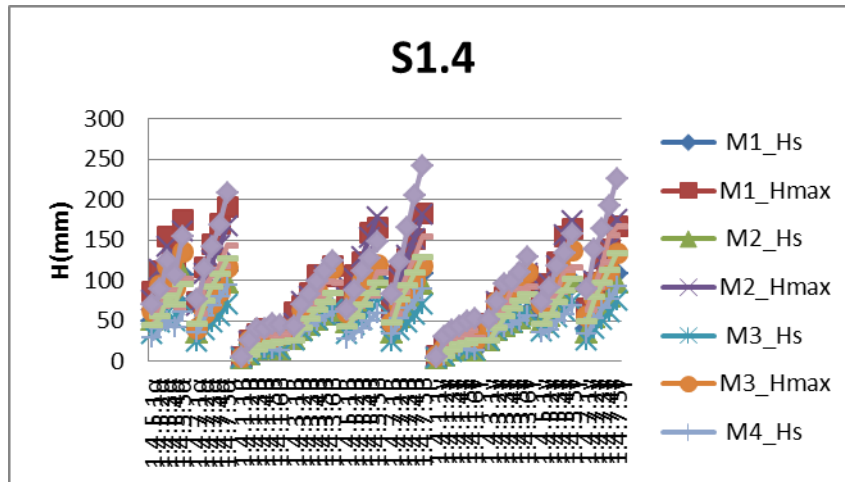
**Διάγραμμα Β.1** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.1



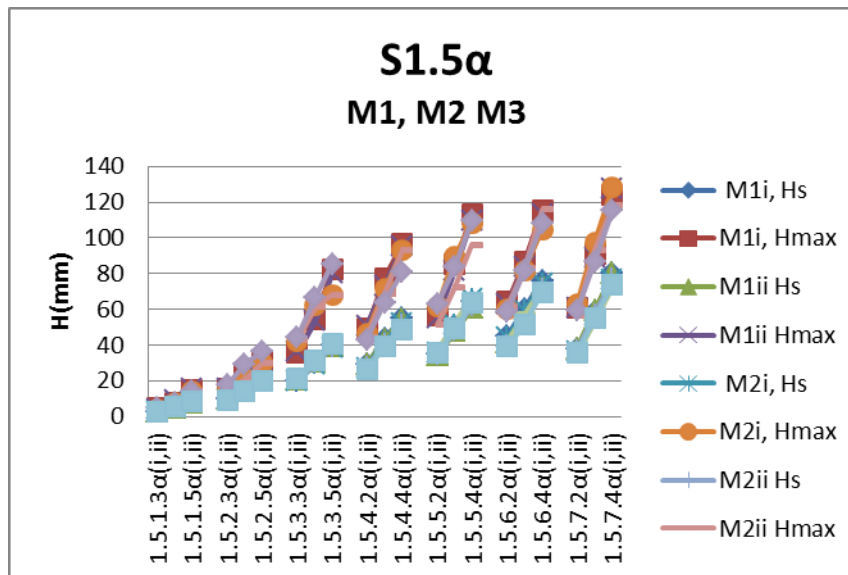
**Διάγραμμα Β.2** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.2



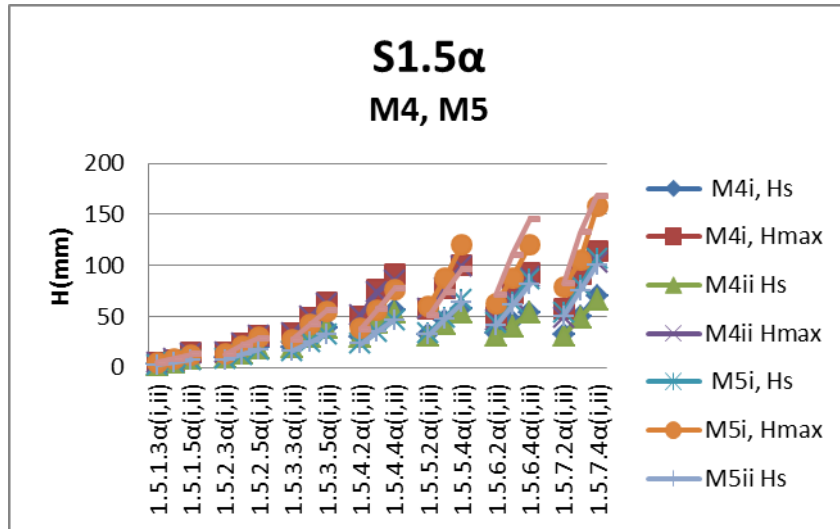
**Διάγραμμα Β.3** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.3



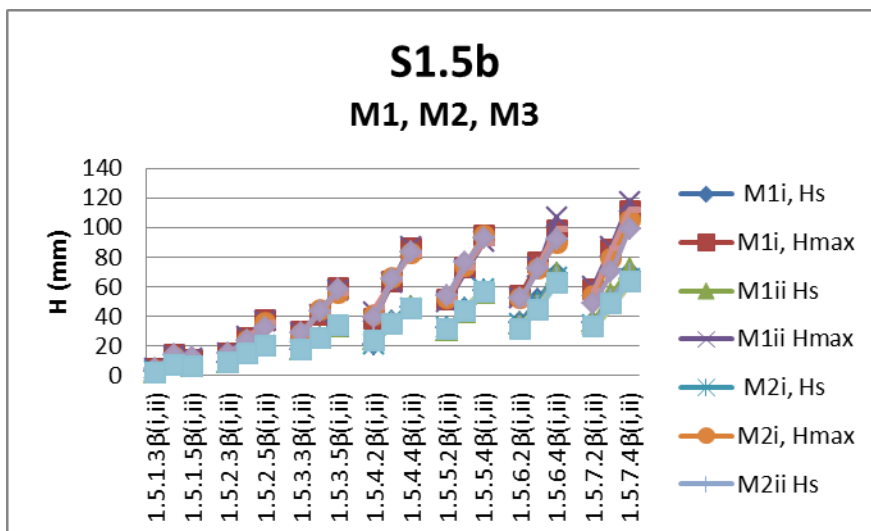
**Διάγραμμα Β.4** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.4



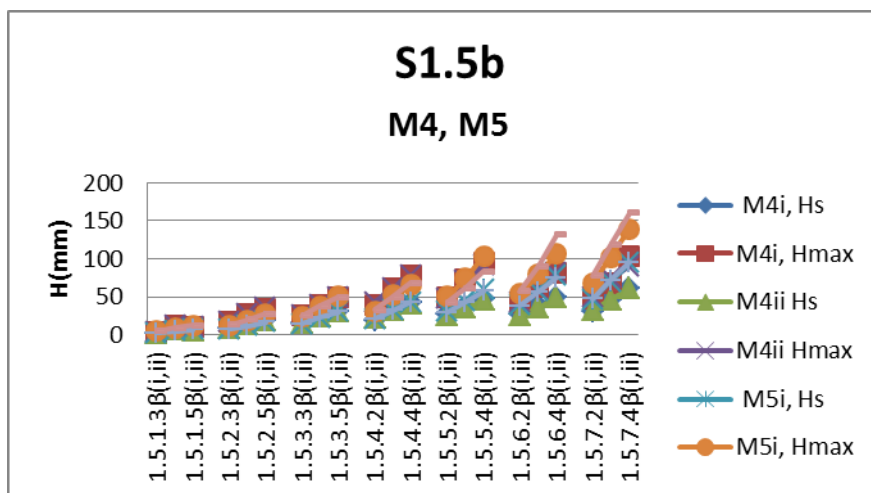
**Διάγραμμα Β.5** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.5α (M1,M2,M3)



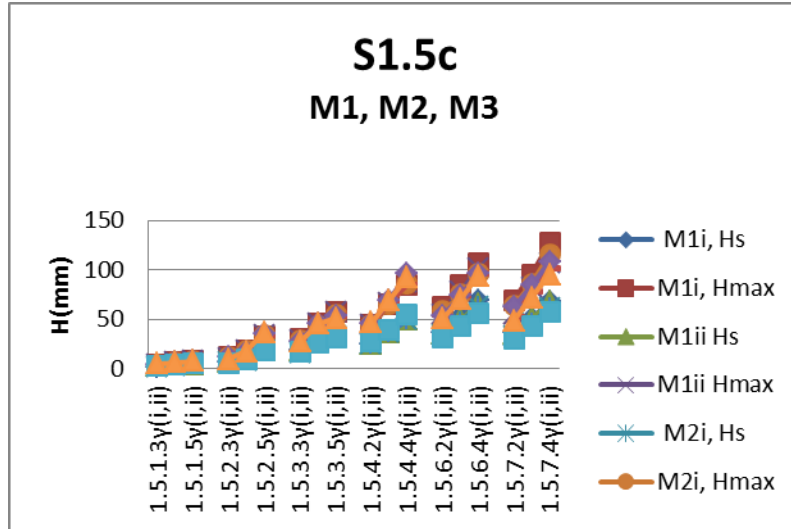
**Διάγραμμα Β.6** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.5α (M4, M5)



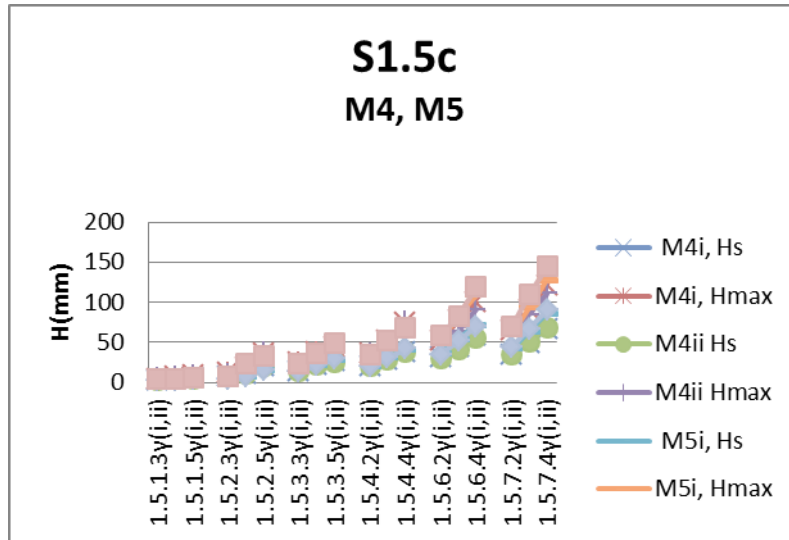
**Διάγραμμα Β.7** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.5b (M1, M2, M3)



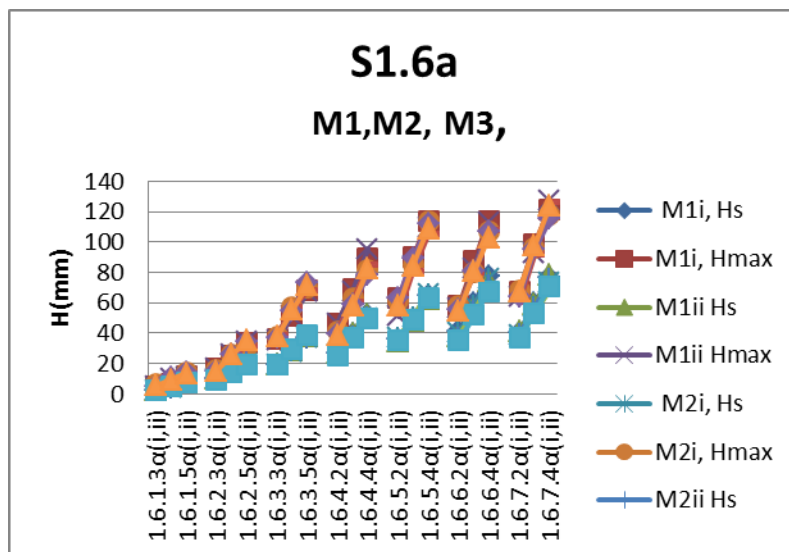
**Διάγραμμα Β.8** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.5b (M4, M5)



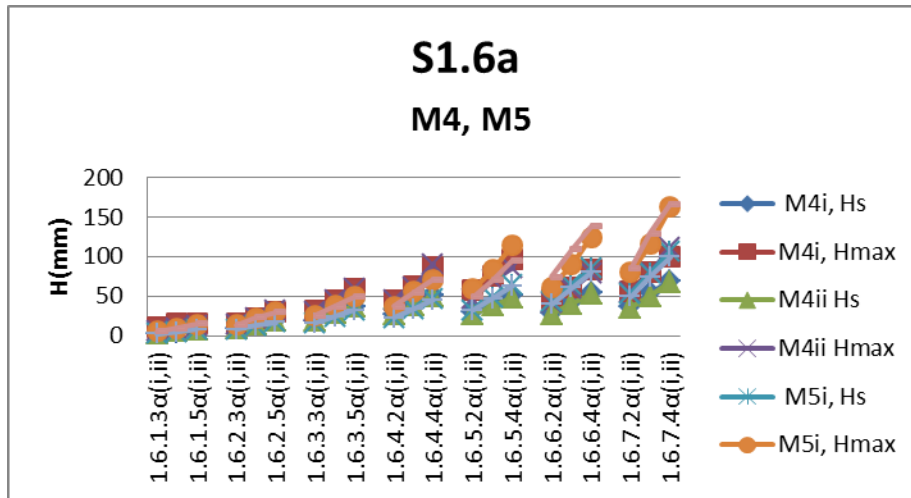
**Διάγραμμα Β.9** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.5c (M1, M2,M3)



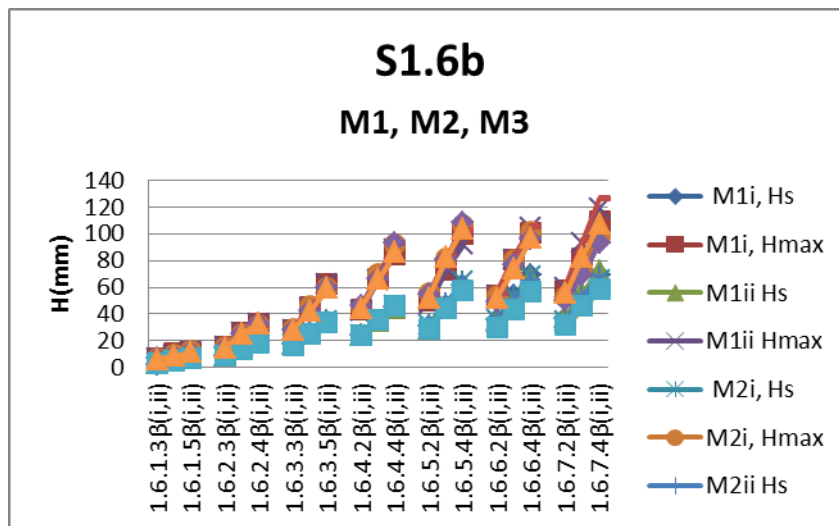
**Διάγραμμα Β.10** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.5c (M4, M5)



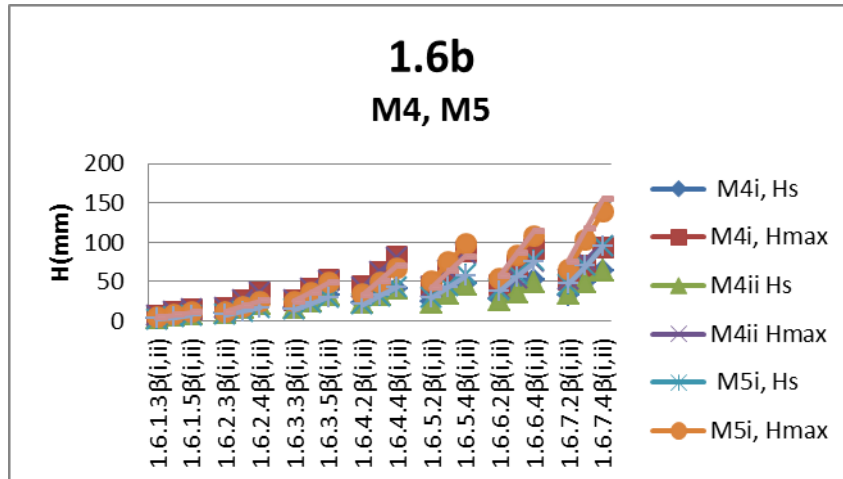
**Διάγραμμα Β.11** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.6α (M1, M2,M3)



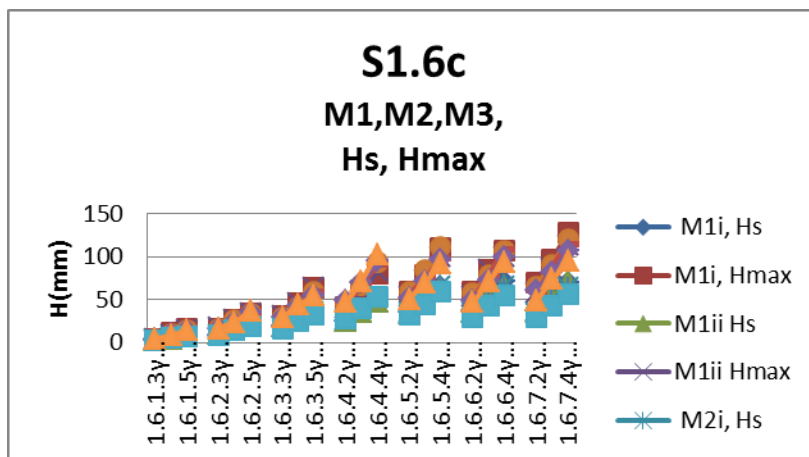
**Διάγραμμα Β.12** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.5α (M4, M5)



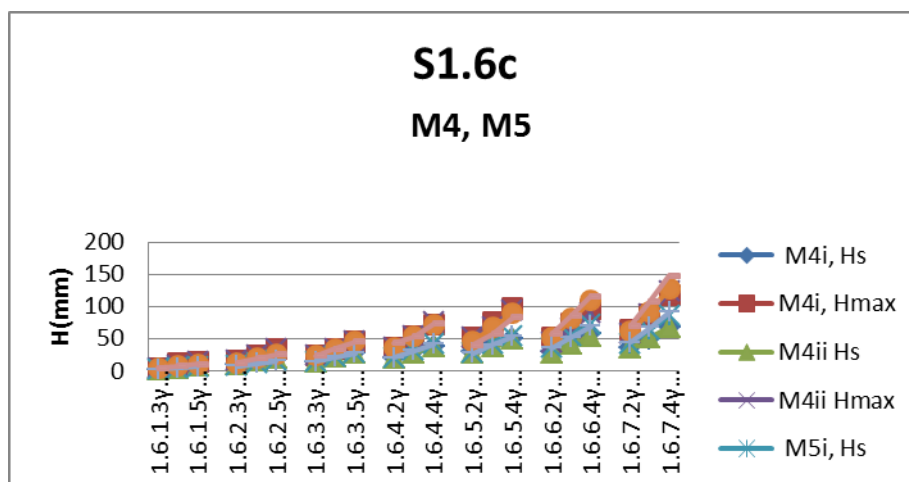
**Διάγραμμα Β.13** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.6b (M1, M2, M3)



**Διάγραμμα Β.14** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς 1.6b (M4, M5)

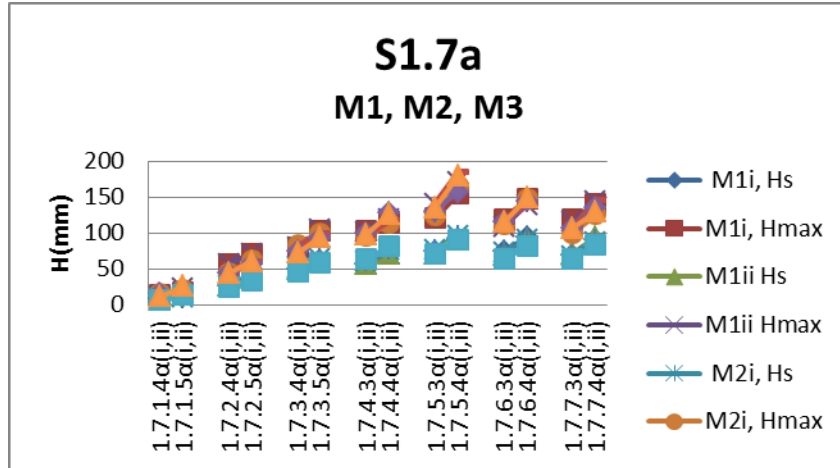


**Διάγραμμα Β.15** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς S1.6c (M1, M2, M3) Hs, Hmax

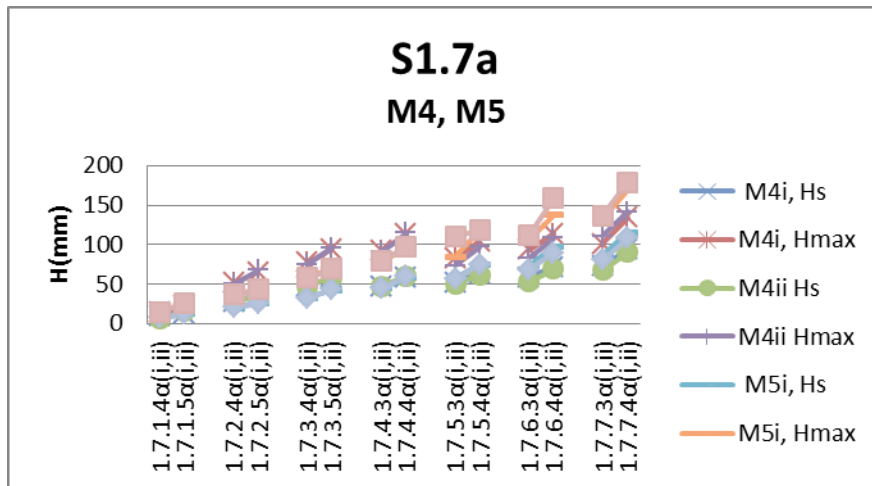


**Διάγραμμα Β.16** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς S1.6c (M4, M5)

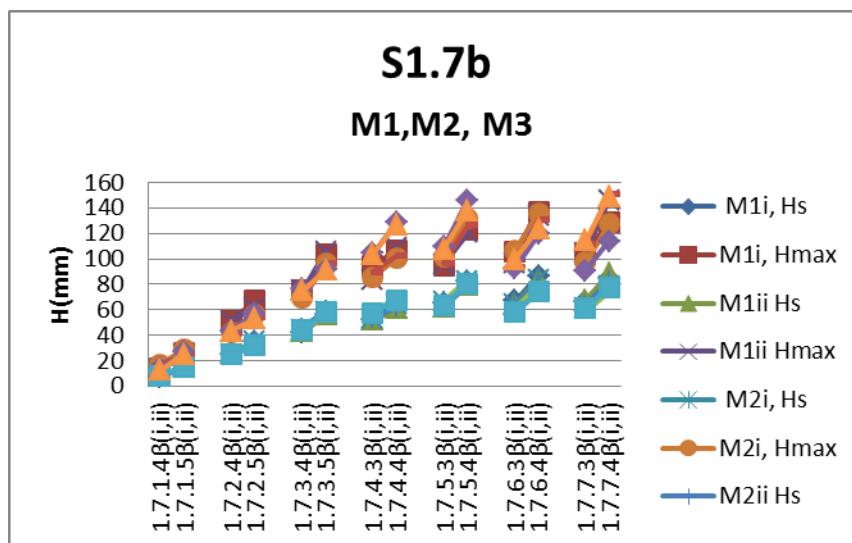




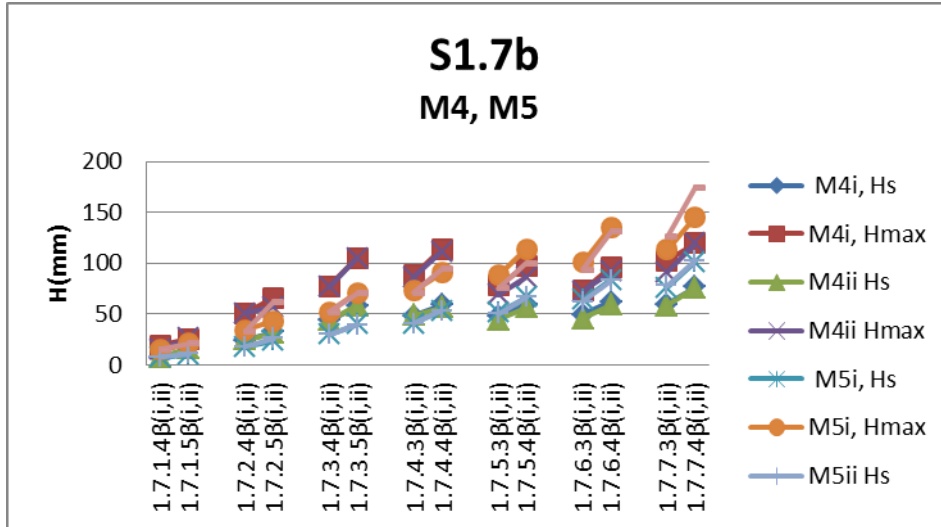
**Διάγραμμα Β.17** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.7α (M1, M2, M3)



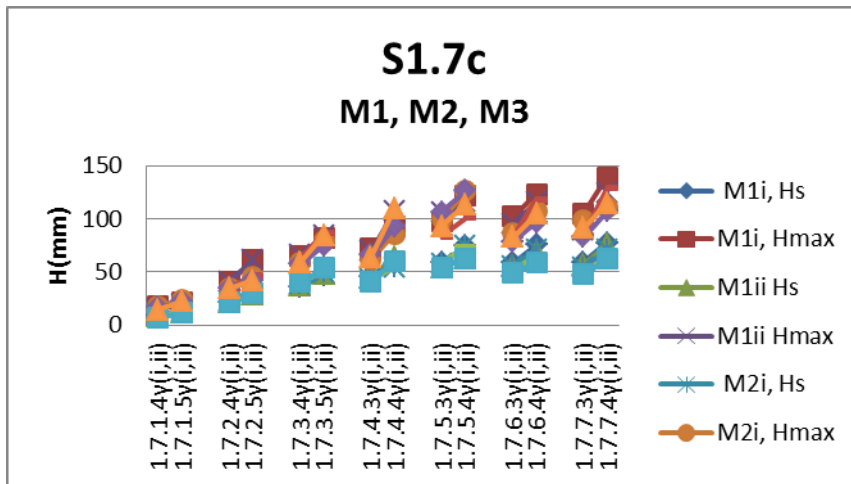
**Διάγραμμα Β.18** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.7α (M4, M5)



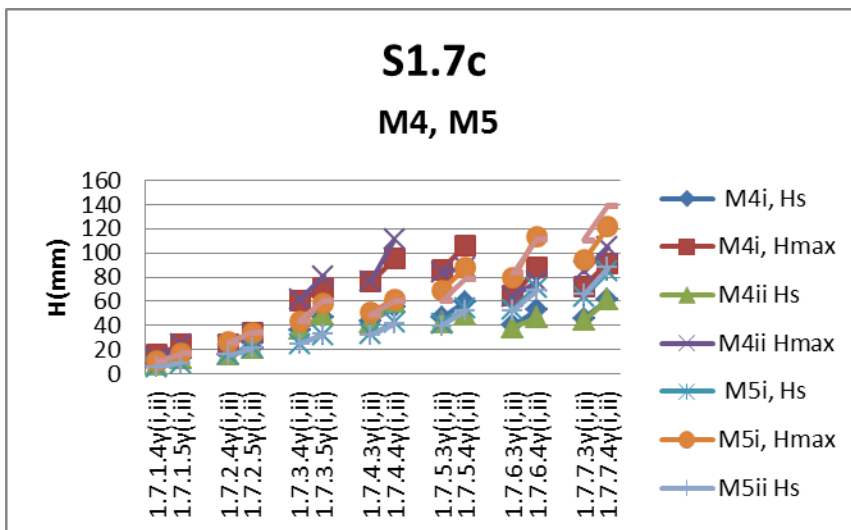
**Διάγραμμα Β.19** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.7b (M1, M2, M3)



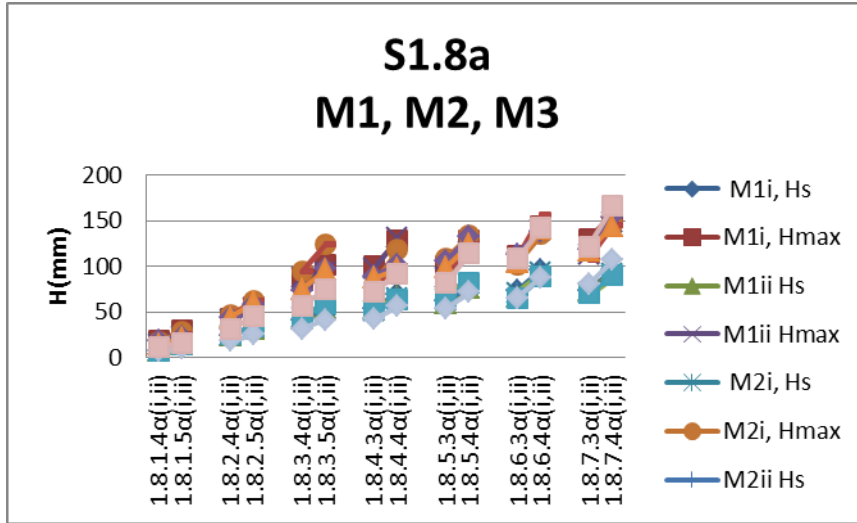
**Διάγραμμα Β.20** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.7b (M4, M5)



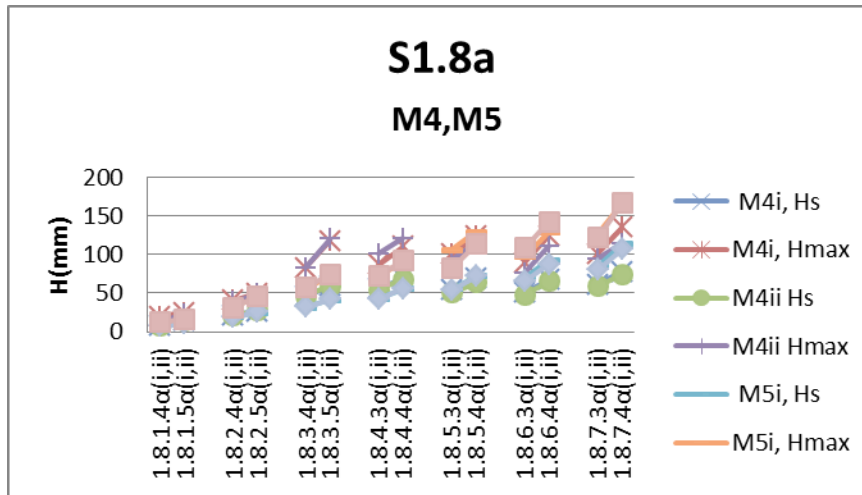
**Διάγραμμα Β.21** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.7c (M1, M2, M3)



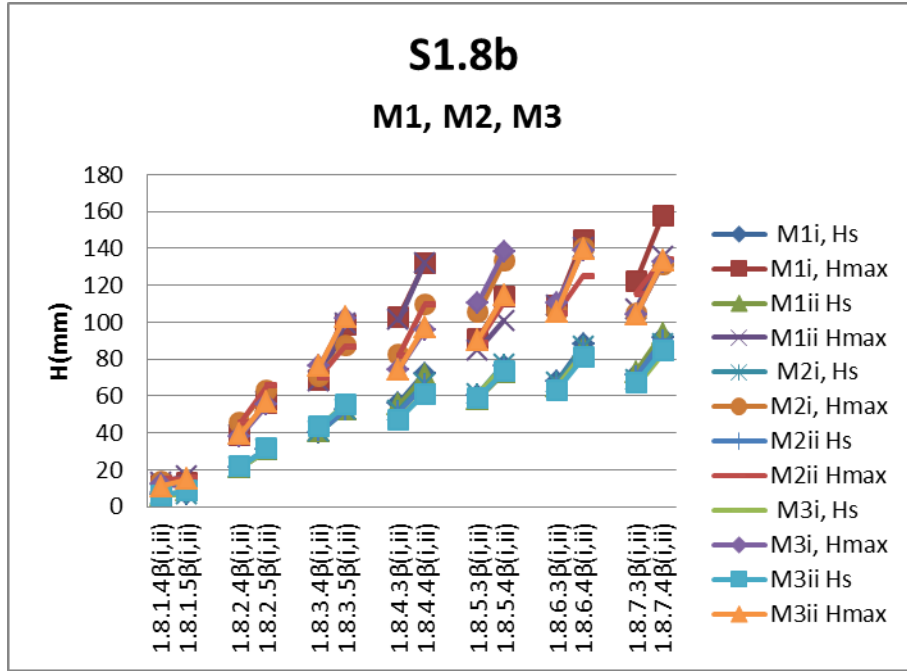
**Διάγραμμα Β.22** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.7c (M4, M5)



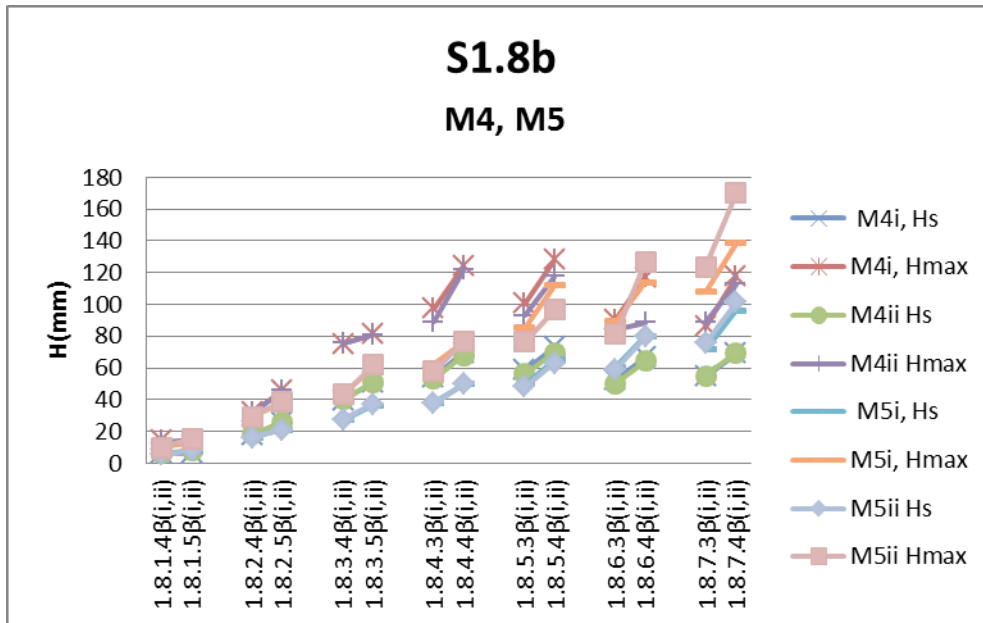
**Διάγραμμα Β.23** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.8α (M1, M2,M3)



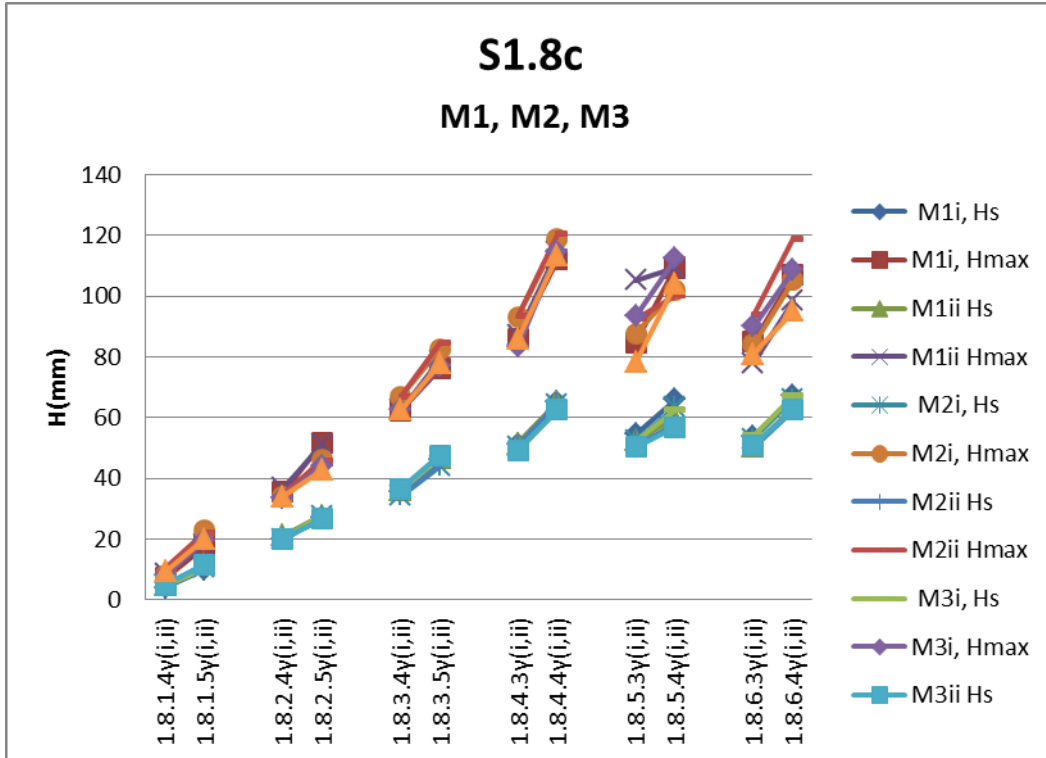
**Διάγραμμα Β.24** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.8α (M4, M5)



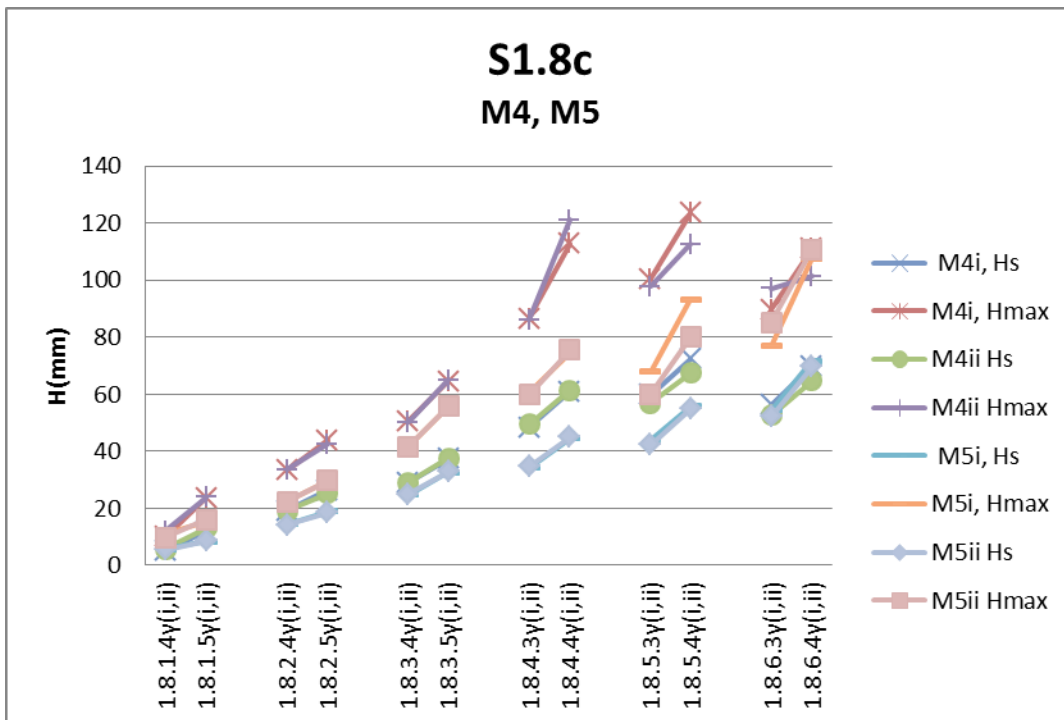
**Διάγραμμα Β.25** Συγκεντρικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.8b (M1, M2, M3)



**Διάγραμμα Β.26** Συγκεντρικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.8b (M4, M5)

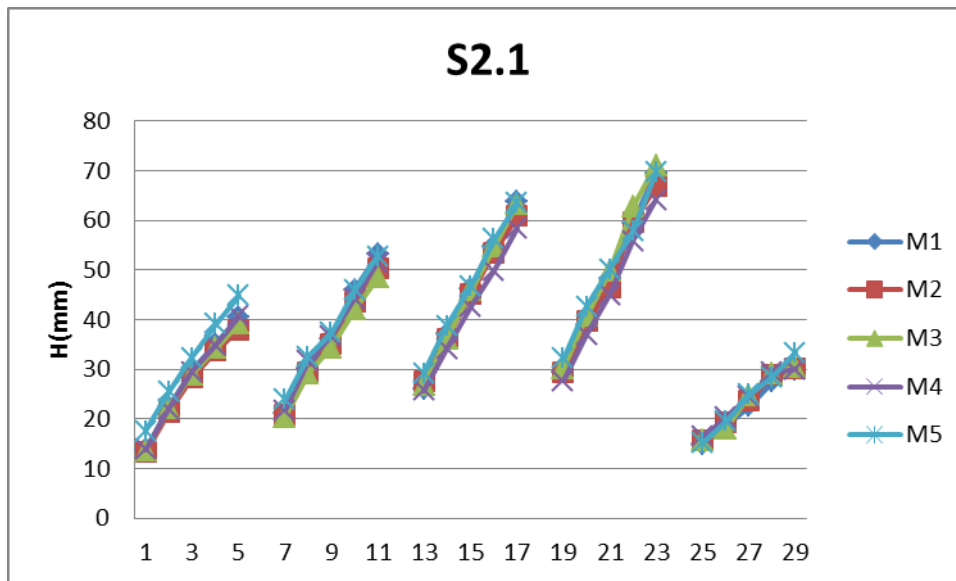


Διάγραμμα Β.27 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.8b (M1, M2, M3)

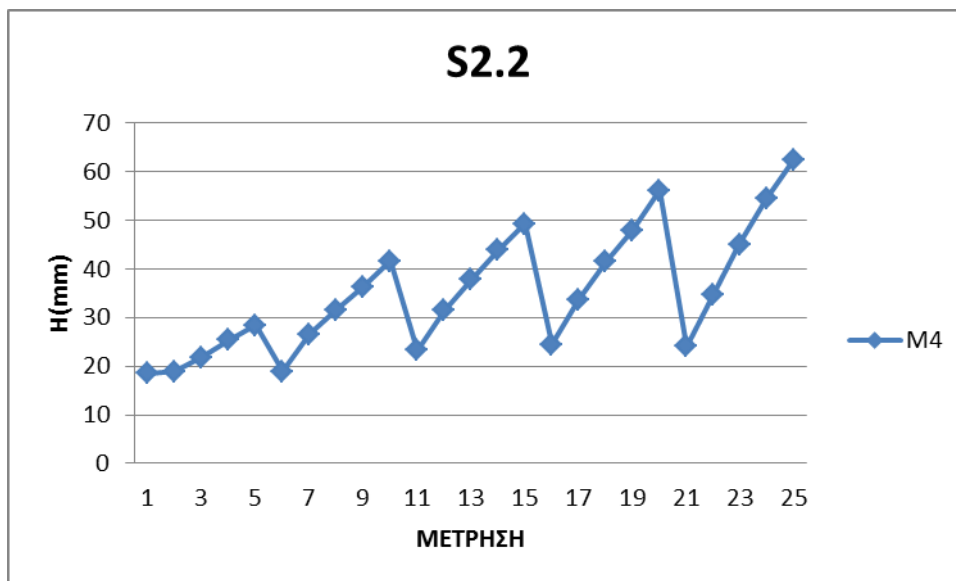


Διάγραμμα Β.28 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ1.8c (M4, M5)

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΙΡΑΣ 2

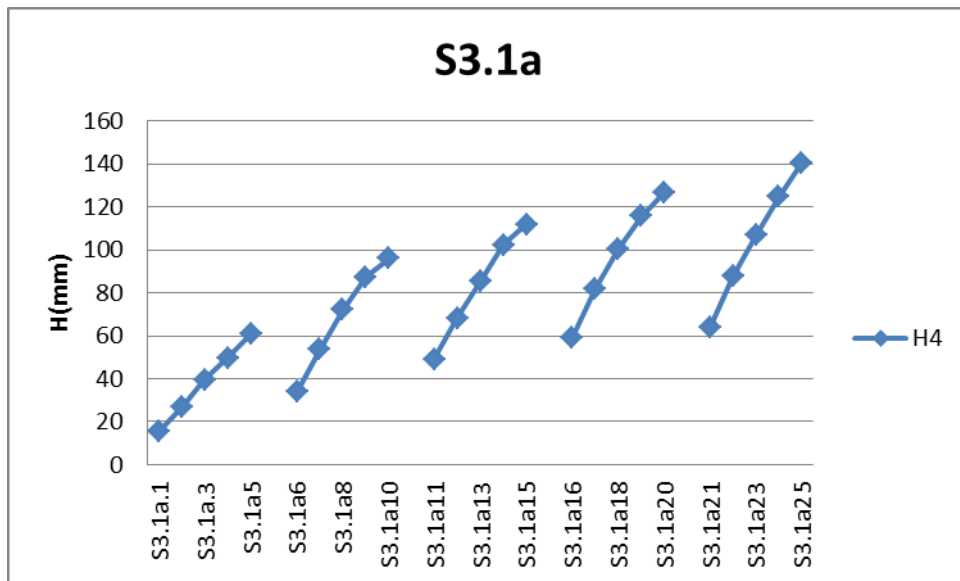


**Διάγραμμα Β.29** Συγκεντρικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ2.1.

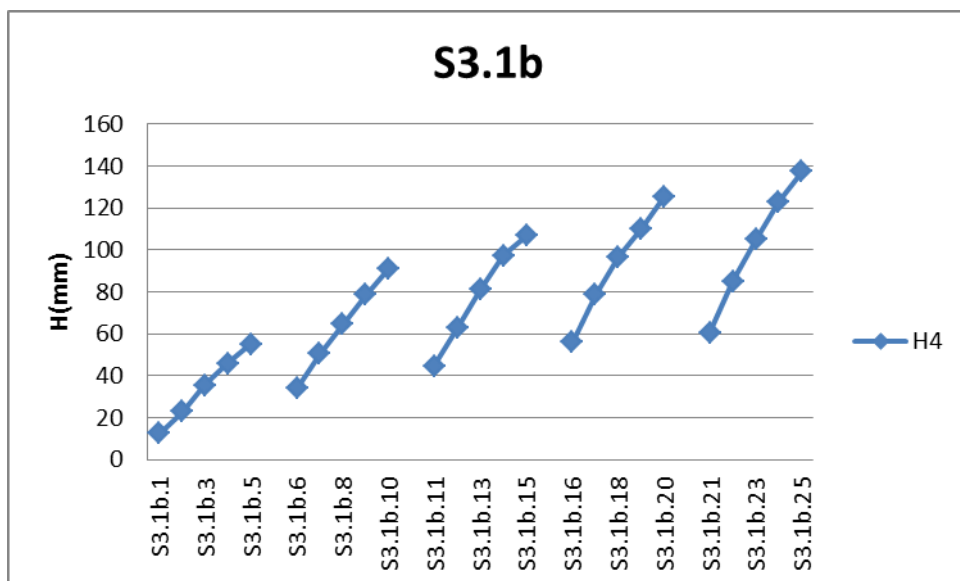


**Διάγραμμα Β.30** Συγκεντρικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ2.2.

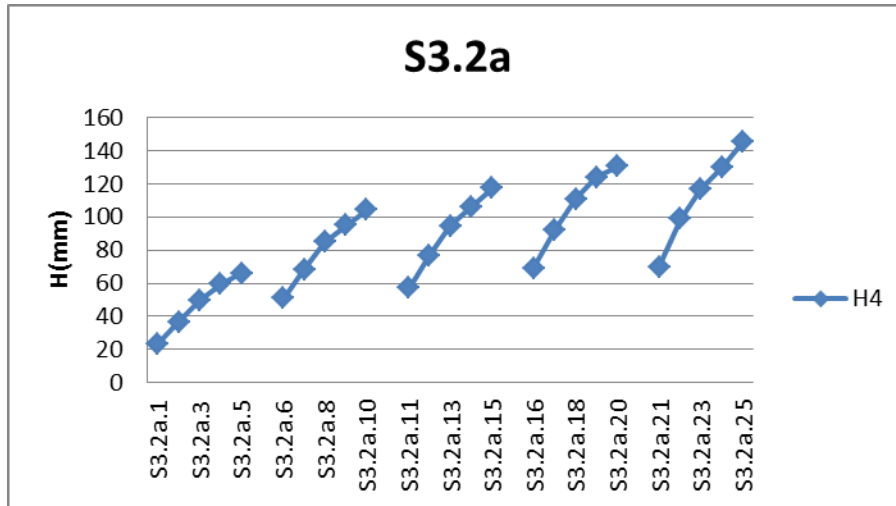
### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΙΡΑΣ 3



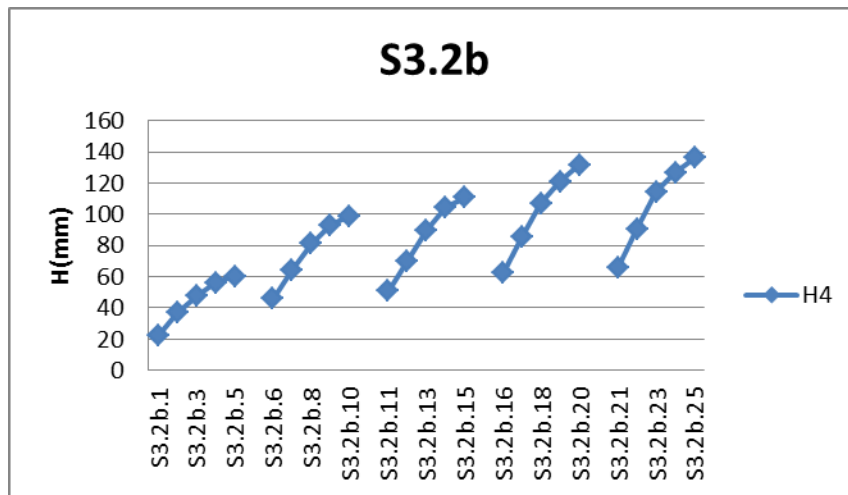
**Διάγραμμα B.32** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ3.1a



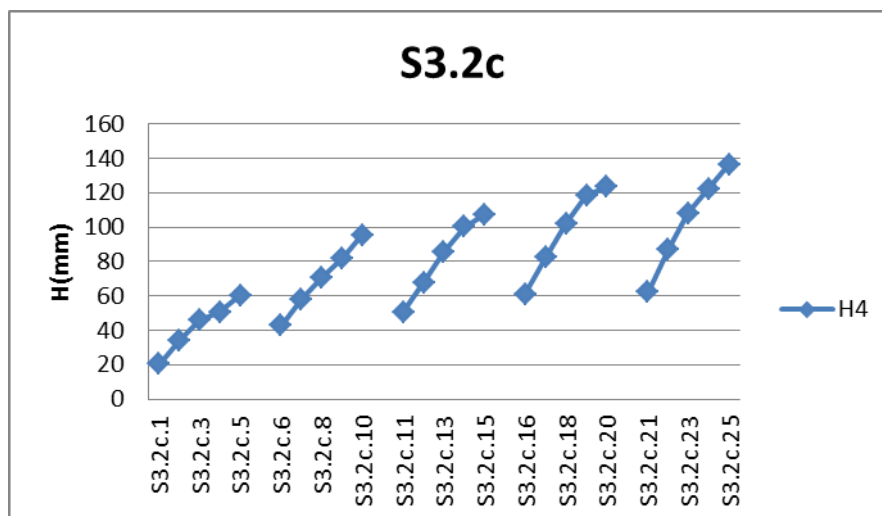
**Διάγραμμα B.33** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ3.1b



**Διάγραμμα B.34** Συγκεντρικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ3.2a



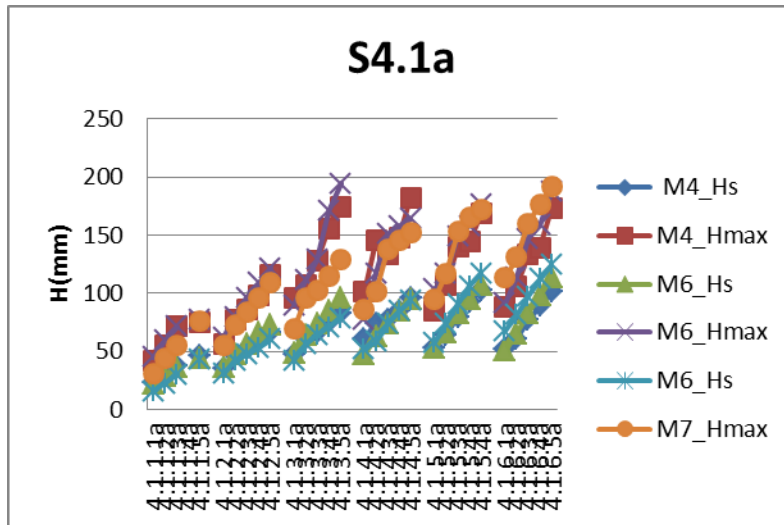
**Διάγραμμα B.35** Συγκεντρικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ3.2b



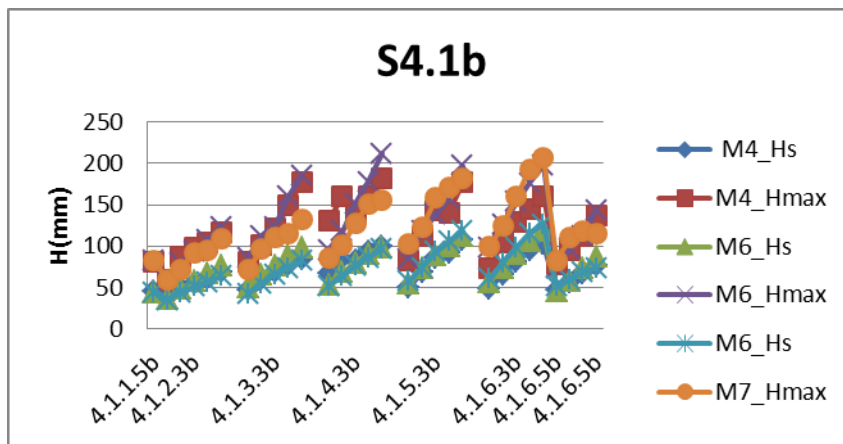
**Διάγραμμα B.36** Συγκεντρικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ3.2c



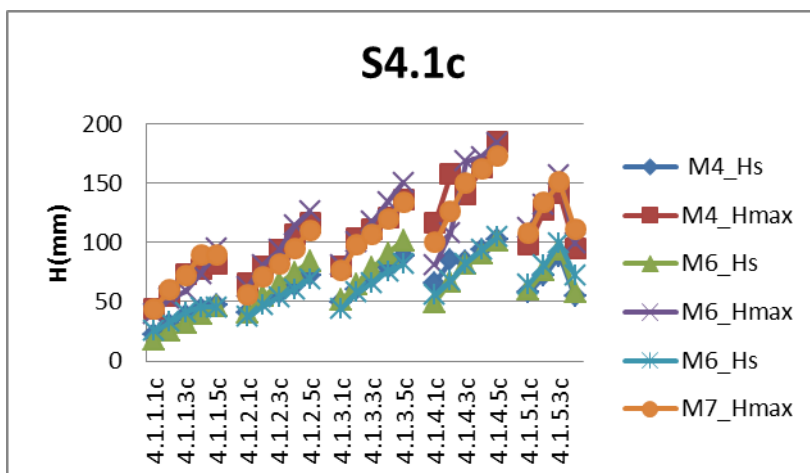
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΙΡΑΣ 4



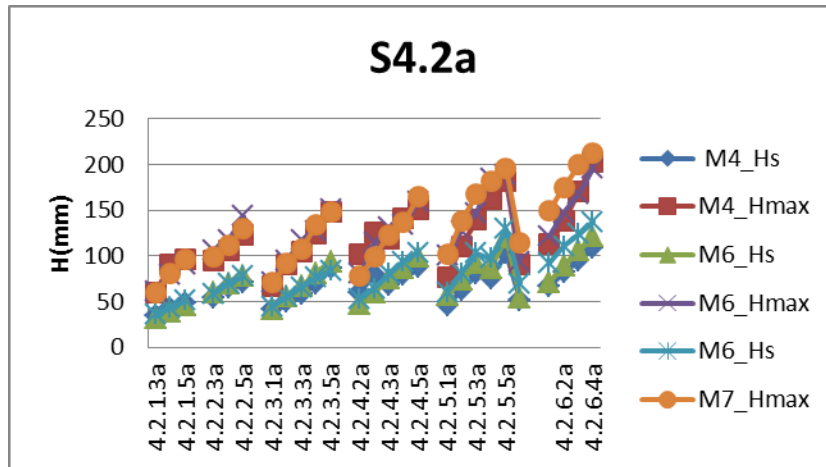
Διάγραμμα 37. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ4.1a



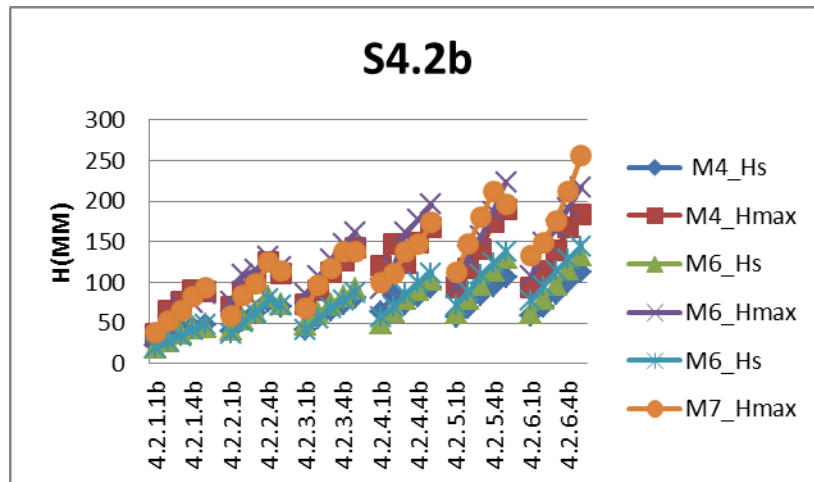
Διάγραμμα B.38 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ4.1b



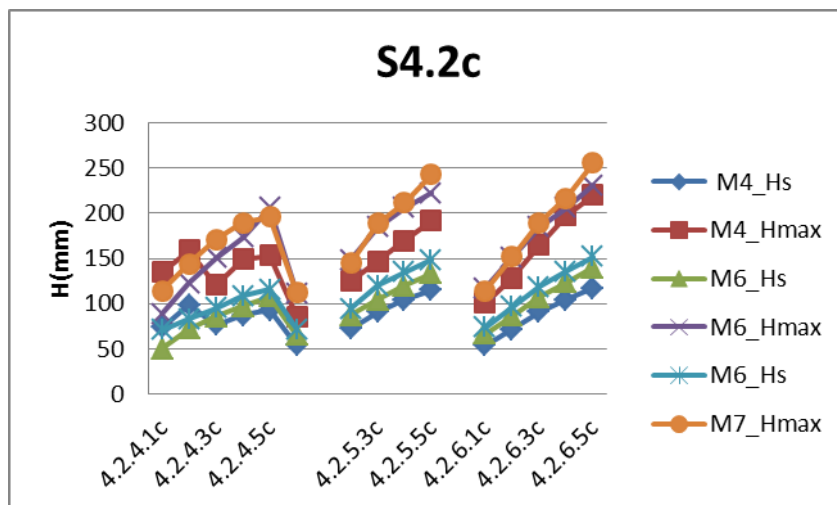
Διάγραμμα B.39 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ4.1c



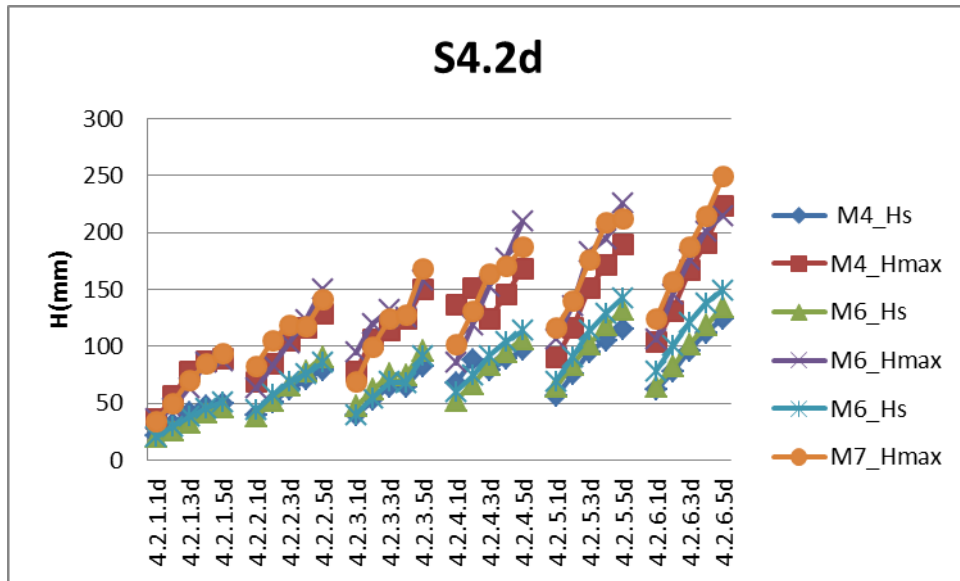
**Διάγραμμα Β.40** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ4.2a



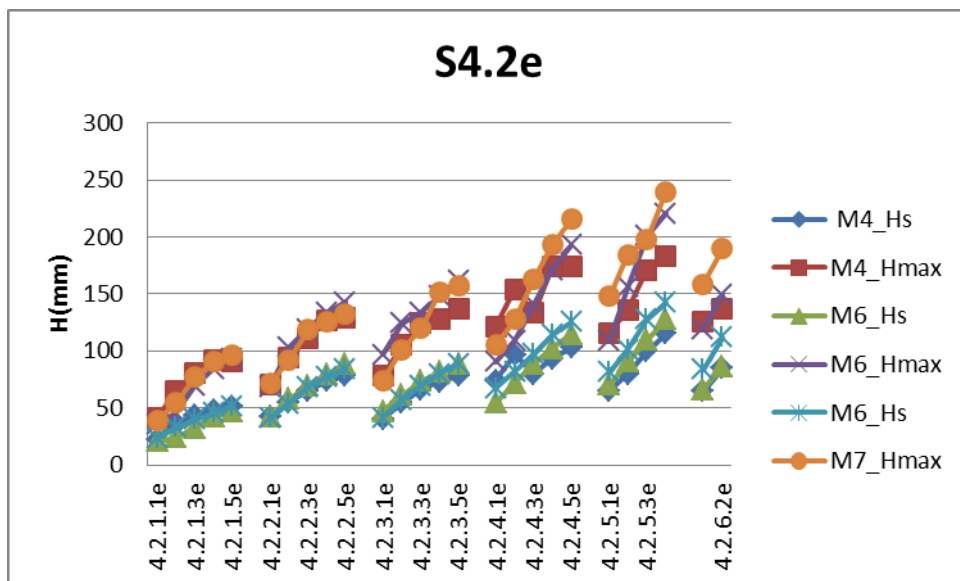
**Διάγραμμα Β.42** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ4.2b



**Διάγραμμα Β.43** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ4.2c



**Διάγραμμα B.44** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ4.2d



**Διάγραμμα B.45** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων κυμάτων Σειράς Σ4.2e



