



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

**Πειραματική διερεύνηση κυματικής διαταραχής  
στην περιοχή συστήματος κυματοθραυστών  
χαμηλής στέψης**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Καραντινός Μιχάλης**

**Επιβλέπων:** Κωνσταντίνος Μουτζούρης, Καθηγητής ΕΜΠ  
**Συνεπιβλέπουσα:** Θεοδώρα Γιαντσή, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2016



## **Πειραματική διερεύνηση κυματικής διαταραχής στην περιοχή συστήματος κυματοθραυστών χαμηλής στέψης**

**Λέξεις-Κλειδιά:** πειραματική διερεύνηση, κυματοθραύστες χαμηλής στέψης, μετάδοση κυμάτων, κυματική διαταραχή, συντελεστής μετάδοσης

## **Experimental investigation of wave disturbance around low- crested breakwaters system**

**Keywords:** experimental investigation, low-crested breakwaters, wave transmission, wave disturbance, transmission coefficient

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



## **Ευχαριστίες**

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Μουτζούρη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας μου τη δυνατότητα να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία. Ιδιαίτερες ευχαριστίες επίσης στην συνεπιβλέπουσα κ. Θεοδώρα Γιαντσή για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση της τόσο κατά τη διάρκεια των πειραμάτων όσο και κατά τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας.



# Περιεχόμενα

Περιεχόμενα .....	i
Περίληψη.....	iii
Abstract .....	v
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο της εργασίας .....	1
1.2 Δομή της εργασίας .....	1
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	3
2.1 Θαλάσσιοι Κυματισμοί .....	3
2.1.1 Μονοχρωματικοί Κυματισμοί.....	4
2.1.2 Φασματικοί κυματισμοί.....	4
2.2. Κυματοθραύστες .....	6
2.3 Μετάδοση Κυμάτων.....	7
3. Πειραματικές Εγκαταστάσεις Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων.....	11
3.1 Δεξαμενή Δοκιμών.....	11
3.2 Σύστημα παραγωγής κυματισμών.....	12
3.3 Μετρητές κύματος.....	13
4. Πειραματικές Διατάξεις-Πειραματική Διαδικασία .....	17
4.1 Φυσικό Προσομοίωμα.....	17
4.2 Πειραματική Διαδικασία .....	21
5. Αποτελέσματα Μετρήσεων .....	27
5.1 Αποτελέσματα μετρήσεων για τη Στάθμη 1.....	28
5.2 Αποτελέσματα μετρήσεων για τη Στάθμη 2.....	30
5.3 Αποτελέσματα μετρήσεων για τη Στάθμη 3.....	32
5.4 Συντελεστής Μετάδοσης.....	34
6. Επεξεργασία Αποτελεσμάτων .....	39
6.1 Συσχέτιση συντελεστή μετάδοσης με παραμέτρους .....	39
6.2 Σχετικοί συντελεστές κυματικής μετάδοσης.....	51
6.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων με σχέσεις από τη βιβλιογραφία .....	64
7. Συμπεράσματα.....	73
7.1 Συντελεστής Μετάδοσης.....	73

7.1.1 Συσχέτιση με παραμέτρους .....	73
7.1.2. Σύγκριση με σχέσεις της βιβλιογραφίας .....	74
7.2 Κυματική διαταραχή .....	74
7.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	75
Βιβλιογραφικές Αναφορές .....	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	80



## Περίληψη

Η χρήση κυματοθραυστών χαμηλής στέψης αυξάνεται συνεχώς λόγω κυρίως της μικρής τους επίδρασης στην αισθητική του φυσικού τοπίου, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για περιοχές ιδιαίτερης περιβαλλοντικής και οικονομικής αξίας. Επιπλέον, το χαμηλό ύψος της ελεύθερης στέψης επιτρέπει την κυματική υπερπήδηση και επομένως την ανταλλαγή νερού μεταξύ της ανοιχτής θάλασσας και της προστατευόμενης περιοχής, γεγονός πολύ σημαντικό για περιοχές που χαρακτηρίζονται από χαμηλά επίπεδα παλίρροιας, όπως οι περισσότερες μεσογειακές ακτές. Το αυξανόμενο αυτό ενδιαφέρον στη χρήση κυματοθραυστών χαμηλής στέψης με σκοπό την προστασία και σταθεροποίηση των ακτών, απαιτεί ακριβή εκτίμηση της μετάδοσης των κυματισμών πίσω από τον κυματοθραύστη.

Στην διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάζεται η διερεύνηση μέσω πειραματικών μετρήσεων του συντελεστή μετάδοσης και της κυματικής διαταραχής στην περιοχή συστήματος κυματοθραυστών χαμηλής στέψης από φυσικούς ογκόλιθους. Τα πειράματα έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και για την διενέργεια τους χρησιμοποιήθηκε φυσικό προσομοίωμα υπό μελέτη έργου για την προστασία ακτής, η επίδραση της οποίας απομονώθηκε με κατάλληλη τροποποίηση του μοντέλου.

Μέσω πειραματικών μετρήσεων για τρεις διαφορετικές στάθμες στέψης αντλήθηκαν τα χαρακτηριστικά των κυμάτων σε επιλεγμένα σημεία στην περιοχή των κυματοθραυστών και με κατάλληλη επεξεργασία αυτών προέκυψαν οι συντελεστές μετάδοσης για τους δύο κυματοθραύστες καθώς και σχετικοί συντελεστές μετάδοσης της κυματικής διαταραχής. Κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών έγινε συσχέτιση του μέσου συντελεστή μετάδοσης με άλλες παραμέτρους όπως επίσης και σύγκριση των μετρήσεων που προέκυψαν με αντίστοιχες από τη διεθνή βιβλιογραφία.



## **Abstract**

Low-crested structures, either surface-piercing or submerged, are now becoming popular mainly due to their low impact on the landscape, which makes them suitable for the protection of beaches of high naturalistic and economic value. Moreover, the low freeboard allows frequent overtopping which guarantees proper water exchange between the open sea and the protected area. This increasing interest in utilizing low-crested breakwaters for shoreline stabilization requires accurate estimation of wave transmission.

This diploma thesis presents the experimental investigation on a physical model of sea waves transmission through a system of two low crested breakwaters constructed by natural stones and the wave disturbance around the breakwaters. For this reason a physical model of two low crested breakwaters was used. It is a model of an under study project for the protection of the coastal area, which has been modified in order to eliminate the coastal effect. The experiments were performed at the Harbor Works Laboratory of National Technical University of Athens.

Three different crest levels were investigated through laboratory experiments leading to results referring to wave characteristics at selected point around the breakwaters. Transmission coefficient was calculated using the above mentioned results and compared to a range of other parameters and to numerical formulations. The relative wave disturbance transmission parameter was investigated as well.



# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση μέσω πειραματικών μετρήσεων σε φυσικό προσομοίωμα της κυματικής διαταραχής στην περιοχή γύρω από σύστημα κυματοθραυστών χαμηλής στέψης. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τρεις διαφορετικές στάθμες στέψης. Υπολογίστηκε ο συντελεστής μετάδοσης και συγκρίθηκε με διάφορες παραμέτρους της κατασκευής και των κυματισμών καθώς και με αριθμητικές σχέσεις προερχόμενες από τη βιβλιογραφία. Ακόμα μελετήθηκε η κυματική διαταραχή σε διάφορα σημεία γύρω από την κατασκευή.

Οι πειραματικές μετρήσεις έλαβαν χώρα στη Δεξαμενή Δοκιμών Δ2 του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## 1.2 Δομή της εργασίας

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως εξής:

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται το αντικείμενο και η δομή της εργασίας.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται θεωρητικά στοιχεία που αφορούν τους θαλάσσιους κυματισμούς, τους κυματοθραύστες, την κυματική διαταραχή και τον συντελεστή μετάδοσης. Επίσης παρουσιάζονται προτεινόμενοι από τη βιβλιογραφία αριθμητικοί σχηματισμοί υπολογισμού του συντελεστή μετάδοσης.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφονται οι εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων στις οποίες διεξήχθησαν τα πειράματα. Γίνεται αναφορά στη δεξαμενή που χρησιμοποιήθηκε, το σύστημα παραγωγής κυματισμών και τα όργανα μέτρησης. Παρατίθεται φωτογραφικό υλικό καθώς και σχέδια.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το φυσικό προσομοίωμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των πειραμάτων και περιγράφεται η πειραματική διαδικασία. Γίνεται αναφορά στις διατάξεις που ελέγχθηκαν και στα χαρακτηριστικά των κυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διαδικασία.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων τα χαρακτηριστικά των κυμάτων ανά θέση που προέκυψαν ως αποτελέσματα των πειραμάτων. Επίσης παρατίθενται πίνακες και διαγράμματα με τους συντελεστές μετάδοσης που προκύπτουν για τους δύο κυματοθραύστες.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα του συντελεστή μετάδοσης με παραμέτρους της κατασκευής και ορισμένα αδιάστατα μεγέθη για κάθε στάθμη στέψης, ενώ υπολογίζεται και ο σχετικός συντελεστής κυματικής μετάδοσης για διάφορα σημεία γύρω από την κατασκευή. Ακόμα γίνεται σύγκριση των τιμών του συντελεστή μετάδοσης που προκύπτουν από τις μετρήσεις με σχέσεις της διεθνούς βιβλιογραφίας.

Τέλος στο κεφάλαιο 7 παρατίθενται τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα πάνω στο αντικείμενο.



## 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Θαλάσσιοι Κυματισμοί

Η ταυτόχρονη δράση δυνάμεων απομακρύνσεως των υδάτινων σωματιδίων της θαλάσσιας μάζας από τη θέση ηρεμίας τους (γενεσιουργές δυνάμεις) και δυνάμεων επαναφοράς των σωματιδίων στις αρχικές θέσεις τους (επαναφέρουσες δυνάμεις), σε συνδυασμό με τη μεγάλη κινητικότητα των σωματιδίων, προκαλεί κάτω από ορισμένες συνθήκες τη δημιουργία κινήσεων ταλαντώσεως στα σωματίδια. Η συνισταμένη διαταραχή της θαλάσσιας μάζας από τις ταλαντώσεις των σωματιδίων οδηγεί στο θαλάσσιο κυματισμό. Τα κυριότερα γενεσιουργά αίτια των ταλαντώσεων είναι ο άνεμος οι σεισμικές δονήσεις, οι γρήγορες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσεως, η έλξη της σελήνης κλπ.

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

Η πιο συνήθης διάκριση των κυματισμών γίνεται βάση την περίοδο των ταλαντώσεων των σωματιδίων. Για περιόδους μεγαλύτερες των 5 λεπτών οι κυματισμοί ονομάζονται μεγάλης περιόδου. Οι κυματισμοί μικρότερων περιόδων και ιδιαίτερα περιόδων  $T < 30 \text{sec}$  ονομάζονται κυματισμοί μικρής περιόδου. Στους κυματισμούς μικρής περιόδου η γενεσιουργός δύναμη τις περισσότερες φορές προέρχεται από τον άνεμο και η επαναφέρουσα δύναμη από την βαρύτητα.

Οι πιο κοινοί κυματισμοί στη φύση είναι οι κυματισμοί βαρύτητας. Η δύναμη από την πνοή του ανέμου απομακρύνει τα υγρά σωματίδια από την θέση ισορροπίας. Η φορά της κινήσεως αντιστρέφεται από την επενέργεια της δυνάμεως βαρύτητας στα σωματίδια, οπότε τείνουν να επανέλθουν στην αρχική τους θέση. Οι αδρανειακές δυνάμεις τα επαναπομακρύνουν και ούτω καθεξής. Στα θαλάσσια τεχνικά έργα ο σημαντικότερος παράγοντας φορτίσεως είναι το μηχανικό ενεργειακό τους περιεχόμενο.

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

Η δεύτερη είναι η θεωρία είναι των πραγματικών κυματισμών και η μεθοδολογία εξετάσεως βασίζεται στη φασματική περιγραφή τους. Θεωρεί ότι η θαλάσσια επιφάνεια συντίθεται από απειροσειρά κυμάτων, με χαρακτηριστικά εμφανιζόμενα κατά στοχαστικό τρόπο (Μουτζούρης, 2007).

## 2.1.1 Μονοχρωματικοί Κυματισμοί

Ένας μονοχρωματικός κυματισμός περιγράφεται από τα χαρακτηριστικά του τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

Χαρακτηριστικά μονοχρωματικού κύματος:

**Υψος κύματος  $H$ :** η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κορυφής και της κοιλίας του κύματος

**Μήκος κύματος  $L$ :** η οριζόντια απόσταση (μετρούμενη κατά το μήκος διεύθυνσεως μεταδόσεως) μεταξύ δύο σωματιδίων που βρίσκονται στην ίδια φάση ταλαντώσεως

**Καμπυλότητα ή κυρτότητα  $\gamma$ :**  $H/L$

**Περίοδος  $T$ :** ο χρόνος μιας πλήρους ταλαντώσεως των σωματιδίων

**Συχνότητα  $F$ :**  $1/T$

**Διεύθυνση Μεταδόσεως:** η ευθεία πάνω στην οποία λαμβάνει χώρα η μετάδοση της ενέργειας του κύματος (για κύματα μετάδοσης) και η μεταφορά μάζας (για κύματα μεταφοράς)

## 2.1.2 Φασματικοί κυματισμοί

Η περιγραφή μιας κυματικής διαταραχής, όπως και οποιασδήποτε άλλης στοχαστικής διαδικασίας, προϋποθέτει την ύπαρξη καταγραφών και βασίζεται σε μεθόδους χρονοσειρών.

Οι καταγραφές κυματικής διαταραχής υφίστανται στατιστική επεξεργασία και φασματική ανάλυση. Κεντρική ιδέα της τελευταίας είναι η κατανόηση των ιδιοτήτων της καταγεγραμμένης συνάρτησης μέσω της αποσύνθεσής της σε αρμονικές διαφορετικών συχνοτήτων. Εργαλείο για την φασματική ανάλυση των καταγεγραμμένων χρονοσειρών αποτελεί η μέθοδος του διακριτού μετασχηματισμού Fourier, τα αποτελέσματα της οποίας μπορούν να εκτιμηθούν γρήγορα από τους υπολογιστές χρήσει αλγορίθμων γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (FFT).

Από την επεξεργασία των καταγραφών εξάγονται μεγέθη, τα οποία αποτελούν τις βασικές παραμέτρους περιγραφής μιας κυματικής διαταραχής και τα οποία αναφέρονται παρακάτω.

**$H_s$**  : χαρακτηριστικό ύψος κύματος, μέσο ύψος των υψηλότερων 33% των κυμάτων

**$H_{max}$**  : μέγιστο ύψος κύματος της καταγραφής

**$H_{min}$**  : ελάχιστο ύψος κύματος της καταγραφής

**$T_m$**  : μέση στατιστική περίοδος

**$T_p$**  : περίοδος του μέγιστου του φάσματος ενέργειας

Στη φασματική περιγραφή του πεδίου των κυματισμών στόχος είναι συνήθως η εύρεση ενός μονοχρωματικού κύματος, του λεγόμενου χαρακτηριστικού κύματος φάσματος, που αντιπροσωπεύει κατά το δυνατόν καλύτερα όλο το φάσμα. Μέσω μαθηματικών θεωριών προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά του πεδίου ροής.



Μέχρι σήμερα έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για τον προσδιορισμό των συναρτήσεων της ενέργειας  $S(f)$  μέσω μετρήσεων σε πολλές περιοχές της υδρογείου. Οι πιο χαρακτηριστικές έχουν την μορφή της σχέσης 2.1:

$$S(f) = C_1 f^{-1} \exp(-C_2 f^{-n}) \quad (2.1)$$

Οι Pierson-Moskowitz, βασιζόμενοι σε μετρήσεις που έγιναν στον Ατλαντικό Ωκεανό πρότειναν το ομώνυμο φάσμα-υπόδειγμα. Το συγκεκριμένο φάσμα-υπόδειγμα αφορά πλήρως αναπτυγμένη θαλάσσια διαταραχή.

Η ανάλυση μιας καταγραφής αρχίζει με τον προσδιορισμό των περιεχομένων κυμάτων. Ο προσδιορισμός γίνεται είτε με τη "μέθοδο τομής της μέσης στάθμης προς τα πάνω" ή απλούστερα "μέθοδος ανοδικού μηδενισμού" (zero up-crossing method) είτε με τη "μέθοδο τομής της μέσης στάθμης προς τα κάτω" ή απλούστερα "μέθοδος καθοδικού μηδενισμού" (zero down-crossing method). Για την παρούσα διπλωματική παρήχθησαν φασματικά κύματα 3D με τη χρήση του φάσματος JONSWAP.

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

Η περίοδος  $T_{max}$  του μέγιστου φάσματος δίνεται από τις σχέσεις 2.2 και 2.3 :

$$\text{Pierson-Moskowitz: } T_{max} = 0.785 U_{10} \text{ , όπου } T \text{ σε sec και } U_{10} \text{ σε m/sec} \quad (2.2)$$

$$\text{JONSWAP: } T_{max} = 0.605 X^{0.33} 0.785 U_{10}^{0.34} \text{ , όπου } X \text{ σε km} \quad (2.3)$$

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

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των φασματικών κυματισμών είναι πως δεν υπάρχει καμία εμφανής βραχυπρόθεσμη περιοδικότητα, δεδομένου ότι οι κινήσεις είναι τυχαίες και διαφέρουν συστηματικά από ημιτονοειδείς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι κινήσεις ενός σωματιδίου της ελεύθερης επιφάνειας προέρχονται από μια τυχαία διαδικασία. Η στοχαστικότητα συνεπάγεται ότι σπάνια μπορούν να ανευρεθούν δύο παρόμοιες κινήσεις σε συνάρτηση με το χρόνο. Βασική αιτία δημιουργίας τυχαίων διαδικασιών είναι οι συνεχείς μεταβολές των γενεσιουργών αιτιών. Στη περίπτωση των κινήσεων της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας όπως προαναφέρθηκε τέτοια βασική αιτία είναι οι μεταβολές του πεδίου του ανέμου. (Μουτζούρης, 2007).

## 2.2. Κυματοθραύστες

Τα έργα προστασίας της ακτής κατατάσσονται ανάλογα με τον προσανατολισμό του διαμήκους άξονά τους και την απόστασή τους από την ακτογραμμή στις εξής κατηγορίες:

- Θωράκιση μετώπου ακτής ή έργα στην ακτογραμμή
- Έργα παράλληλα ή σχεδόν παράλληλα σε απόσταση από την ακτογραμμή
- Έργα κάθετα ή σχεδόν κάθετα ή υπό γωνία ως προς την ακτογραμμή
- Αναπλήρωση παράκτιας ζώνης.

Στα έργα της δεύτερης κατηγορίας ανήκουν μαζί με τους φυσικούς αναβαθμούς οι κυματοθραύστες παράλληλα στην ακτή και αποσπασμένοι από αυτήν (δηλαδή χωρίς σημείο επαφής με αυτήν), οι οποίοι είναι το πλέον σύνηθες μέτρο προστασίας μιας ακτής από τη διάβρωση. Εξαιτίας της παρουσίας τους η κυματική δράση μειώνεται σημαντικά πίσω από αυτούς και έτσι προστατεύεται η ακτή από τη διαβρωτική δράση τους. Ταυτόχρονα δημιουργείται συνήθως απόθεση ιζημάτων μεταξύ του κυματοθραύστη και της ακτογραμμής, με αποτέλεσμα την δημιουργία της χαρακτηριστικής προσάμμωσης που ονομάζεται διεθνώς salient( Κωδωνοειδής απόθεση ιζημάτων) ή tombolo.

Οι κυματοθραύστες με κεκλιμένα πρηνή συνήθως κατασκευάζονται από φυσικούς ογκόλιθους και λίθους, από τεχνητούς ογκόλιθους από σκυρόδεμα ή από συνδυασμό των παραπάνω. Η επιλογή της τεχνολογίας εξαρτάται από το κυματικό κλίμα, το βάθος του πυθμένα στην περιοχή κατασκευής, την κατάσταση του πυθμένα και κυρίως από τα διαθέσιμα υλικά στην κοντινή ενδοχώρα και τα μηχανικά μέσα.

Όσον αφορά τη στάθμη της στέψεως, οι κυματοθραύστες διακρίνονται σε έξαλους, χαμηλής στέψης και ύφαλους κυματοθραύστες. Οι έξαλοι κυματοθραύστες φτάνουν σε μια ορισμένη στάθμη πάνω από τη στάθμη ηρεμίας της θάλασσας (ΣΗΘ), που εξαρτάται από τις χρήσεις της στέψεως, την ανώτατη στάθμη της πλημμυρίδας, το υψηλότερο κύμα σχεδιασμού και τη μέγιστη ανύψωση των κυμάτων. Σε γενικές γραμμές η τοποθέτηση της στέψεως σε μια στάθμη τουλάχιστον ίση με μιάμιση φορά το ύψος του υψηλότερου κύματος σχεδιασμού πάνω από την ανώτατη στάθμη πλημμυρίδας καθιστά την κατασκευή πρακτικά ανυπερπήδητη, που δεν είναι απαραίτητο για την προστασία της ακτής. Η στέψη των ύφαλων κυματοθραυστών βρίσκεται κάτω από τη ΣΗΘ και ορίζεται σε συνάρτηση με τον επιθυμητό βαθμό προστασίας. Η στέψη των κυματοθραυστών χαμηλής στέψης, οι οποίοι μελετώνται στην παρούσα εργασία, βρίσκεται πλησίον της ίσαλης γραμμής, επιτρέποντας τον κυματισμό να τους υπερπηδά και να διαδίδεται κατάντη. Λόγω της παρουσίας τους ένα μέρος της κυματικής ενέργειας ανακλάται προς τα ανοιχτά, ένα μέρος αποσβένεται και ένα μέρος της μεταδίδεται προς την ακτή. Η απόσβεση της κυματικής ενέργειας πραγματοποιείται μέσω της θραύσης πάνω στην κατασκευή ή/και μέσω των τυρβωδών ροών στην επιφάνεια και της ροής στο πορώδες. Κατασκευάζονται μεμονωμένοι ή ως σύστημα κυματοθραυστών με κενά ανάμεσά τους και συνήθως σε περιοχές με μικρό εύρος παλίρροιας, όπως οι ακτές της Μεσογείου (Μουτζούρης, 2005).

## 2.3 Μετάδοση Κυμάτων

Καθώς τα κύματα προσπίπτουν πάνω σε μία κατασκευή, όπως ένας κυματοθραύστης χαμηλής στέψης, δύναται να συμβούν διάφορες διαδικασίες-τα κύματα μπορεί να θραυτούν στην κατασκευή, να την υπερπηδήσουν (overtop), να παραχθούν κύματα πίσω από την κατασκευή και άλλα να ανακλαστούν. Μια άλλη επίδραση είναι η διείσδυση των κυμάτων μέσω των ανοιγμάτων μεταξύ των κατασκευών, καθώς και η περίθλαση των κυμάτων γύρω από τις κατασκευές. Τόσο η διείσδυση του νερού ανάμεσα απ' τις κατασκευές όσο και το φαινόμενο της περίθλασης δεν εξαρτώνται απ' το αν η κατασκευή είναι χαμηλής στέψης ή όχι (Van der Meer et al., 2005).

Η κύρια επίπτωση από έναν κυματοθραύστη χαμηλής στέψης είναι ότι η ενέργεια μπορεί να περάσει πάνω από τη στέψη και να παραχθούν κύματα πίσω από τον κυματοθραύστη. Η περιγραφή αυτής της μετάδοσης των κυματισμών (wave transmission) και η εξαγωγή συμπερασμάτων για το συντελεστή μετάδοσης  $K_t$ , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του μεταδιδόμενου προς το προσπίπτον ύψος κύματος, είναι και το κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (2.4)$$

Οι κύριες παράμετροι που περιγράφουν τη μετάδοση των κυματισμών φαίνονται στο Σχήμα 2.1 και είναι οι εξής:

$H_i$ = Τυχαίο προσπίπτον χαρακτηριστικό ύψος κύματος στον πόδα της κατασκευής

$H_t$ = Μεταδιδόμενο χαρακτηριστικό ύψος κύματος

$T_p$ = Περίοδος αιχμής

$T_m$ = Μέση περίοδος

$s_{op}$ = Καμπυλότητα του κύματος,  $s_{op}=2\pi H_i/(gT_p^2)$

$R_c$ = Ελεύθερο περιθώριο πάνω από τη Στάθμη Ηρεμίας

$h_c$ = Ύψος της κατασκευής

$B$ = Πλάτος στέψης

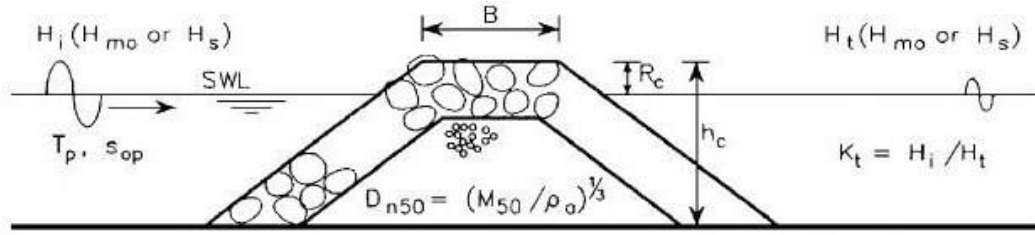
$D_{n50}$ = Μέση διάμετρος λίθων από τους οποίους αποτελείται η κατασκευή

$\xi_{op}$ = Παράμετρος θραύσης,  $\xi_{op}=\tan\alpha/(s_{op})^{0.5}$

$\tan\alpha$ = Κλίση της κατασκευής προς τη θάλασσα

$\beta$ = Γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών

Άλλες παράμετροι, αλλά πιθανώς μικρότερης σημασίας, είναι η τριβή/τραχύτητα του χρησιμοποιούμενου λίθου και το πορώδες/περατότητα του πυρήνα της κατασκευής. Τέλος, διαφορετική γωνία  $\beta$  των τυχαίων κυματισμών που προσπίπτουν, θα παρουσίαζε διαφορετικά αποτελέσματα (Van der Meer et al., 2005).



**Σχήμα 2.1.** Ορισμοί των κύριων παραμέτρων που υπεισέρχονται στη μετάδοση των κυματισμών (Van der Meer et al., 2005)

Η χρήση κυματοθραυστών χαμηλής στέψης, είτε έξαλλων είτε ύφαλων, αυξάνεται συνεχώς λόγω κυρίως της μικρής τους επίδρασης στην αισθητική του φυσικού τοπίου, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για περιοχές ιδιαίτερης περιβαλλοντικής και οικονομικής αξίας. Επιπλέον, το χαμηλό ύψος της ελεύθερης στέψης επιτρέπει την κυματική υπερπήδηση και επομένως την ανταλλαγή νερού μεταξύ της ανοιχτής θάλασσας και της προστατευόμενης περιοχής, γεγονός πολύ σημαντικό για περιοχές που χαρακτηρίζονται από χαμηλά επίπεδα παλίρροιας, όπως οι περισσότερες μεσογειακές ακτές (Vicinanza et al., 2009).

Το αυξανόμενο αυτό ενδιαφέρον στη χρήση κυματοθραυστών χαμηλής στέψης με σκοπό την προστασία των ακτών απαιτεί ακριβή εκτίμηση της μετάδοσης των κυματισμών πίσω από τον κυματοθραύστη.

Το 1991 οι Van der Meer and Daemen στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του δεύτερου πρότειναν την εξής σχέση για τον υπολογισμό του συντελεστή μετάδοσης σε συμβατικούς κυματοθραύστες:

$$K_t = \alpha \frac{R_c}{D_{n50}} + \beta \quad (2.5)$$

όπου

$$\alpha = 0.031 \frac{H_i}{D_{n50}} - 0.24 \quad (2.6)$$

$$\beta = -5.42s_{opp} + 0.0323 \frac{H_i}{D_{n50}} - 0.0017 \left[ \frac{B}{D_{n50}} \right]^{1.84} + 0.51 \quad (2.7)$$

και  $0,075 \leq Kt \leq 0,75$ .

Το 1996 οι d'Agremond et al. πρότειναν τη σχέση:

$$K_t = -0.4 \frac{R_c}{H_i} + 0.64 \left( \frac{B}{H_i} \right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5\xi}) , 0,075 \leq Kt \leq 0,8 \quad (2.8)$$

για κυματοθραύστες ύφαλους και χαμηλής στέψης.

Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα DELOS (Environmental Design of Low Crested Coastal Defence Structures), το οποίο στοχεύει στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό των συστημάτων κυματοθραυστών χαμηλής στέψης, κατέληξε πως σε αντίθεση με τους λείους κυματοθραύστες,

ο συντελεστής μετάδοσης στην περίπτωση των κυματοθραυστών από φυσικούς ογκόλιθους επηρεάζεται ελάχιστα από τη γωνία πρόσπτωσης των κυμάτων. Η εξάρτηση του μετρούμενου συντελεστή μετάδοσης από τη γωνία πρόσπτωσης  $\beta$  των τυχαίων κυματισμών στον πόδα της κατασκευής περιγράφεται από το μέγεθος  $(\cos\beta)^{2/3}$ . Ενσωματώνοντας το παραπάνω σε μια εμπειρική σχέση, οι Van der Meer et al. (2003) προτείνουν τον εξής σχηματισμό για τον υπολογισμό του συντελεστή μετάδοσης πλάγιων κυματισμών:

$$K_t = \left( -0.30 \frac{R_c}{H_{is}} + 0.75(1 - e^{-0.5\xi}) \right) (\cos\beta)^{2/3} \quad (2.9)$$

όπου  $\xi$  η παράμετρος θραύσης,  $R_c$  το ελεύθερο περιθώριο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας (αρνητικό όταν το ύψος στέψης είναι χαμηλότερο από τη στάθμη της θάλασσας-ύφαλοι κυματοθραύστες) και  $H_{is}$  το χαρακτηριστικό ύψος κύματος.

Ένα άλλο σχετικό ενδιαφέρον συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε η μελέτη των Wang et al. (2007) είναι πως η διεύθυνση των κυμάτων που μεταδίδονται συμπεριφέρεται διαφορετικά στην περίπτωση των κυματοθραυστών από φυσικούς ογκόλιθους και στην περίπτωση των λείων κυματοθραυστών.

Στην πρώτη περίπτωση (κυματοθραύστες από φυσικούς ογκόλιθους), η γωνία των μεταδιδόμενων κυματισμών είναι περίπου ίση με το 80% της γωνίας των κυματισμών που προσπίπτουν, ενώ στη δεύτερη περίπτωση (λείοι κυματοθραύστες), οι γωνίες παραμένουν ίδιες όταν η διεύθυνση είναι μικρότερη των  $45^\circ$ , ενώ για γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες των  $45^\circ$ , η διεύθυνση των μεταδιδόμενων κυματισμών μένει σταθερή στις  $45^\circ$ .



### 3. Πειραματικές Εγκαταστάσεις Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων

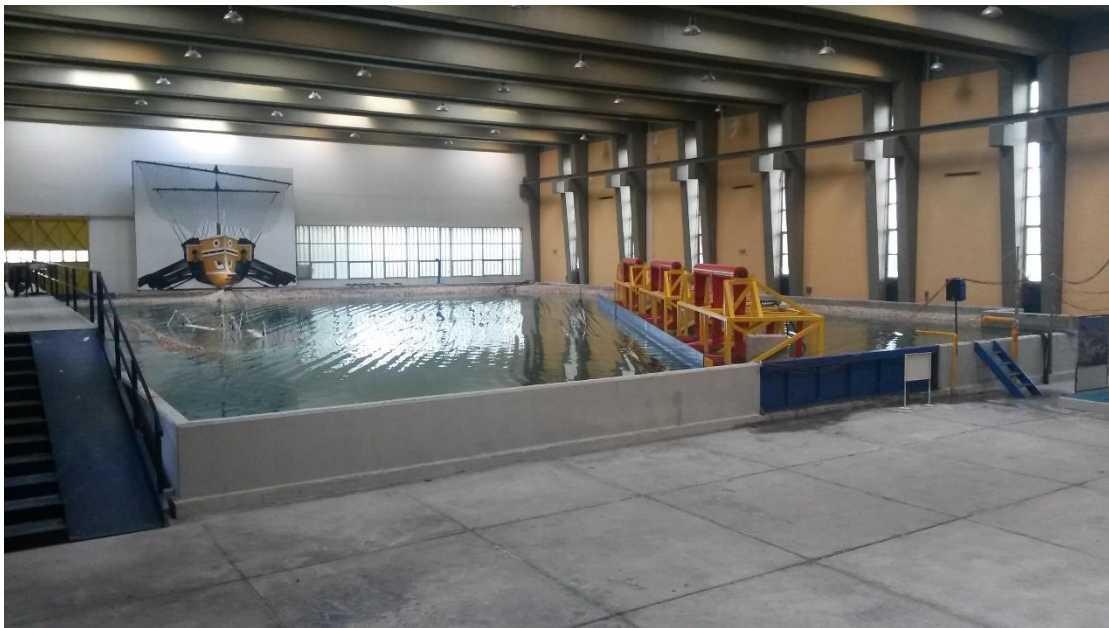
#### 3.1 Δεξαμενή Δοκιμών

Οι εργαστηριακές μετρήσεις διεξήχθησαν στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

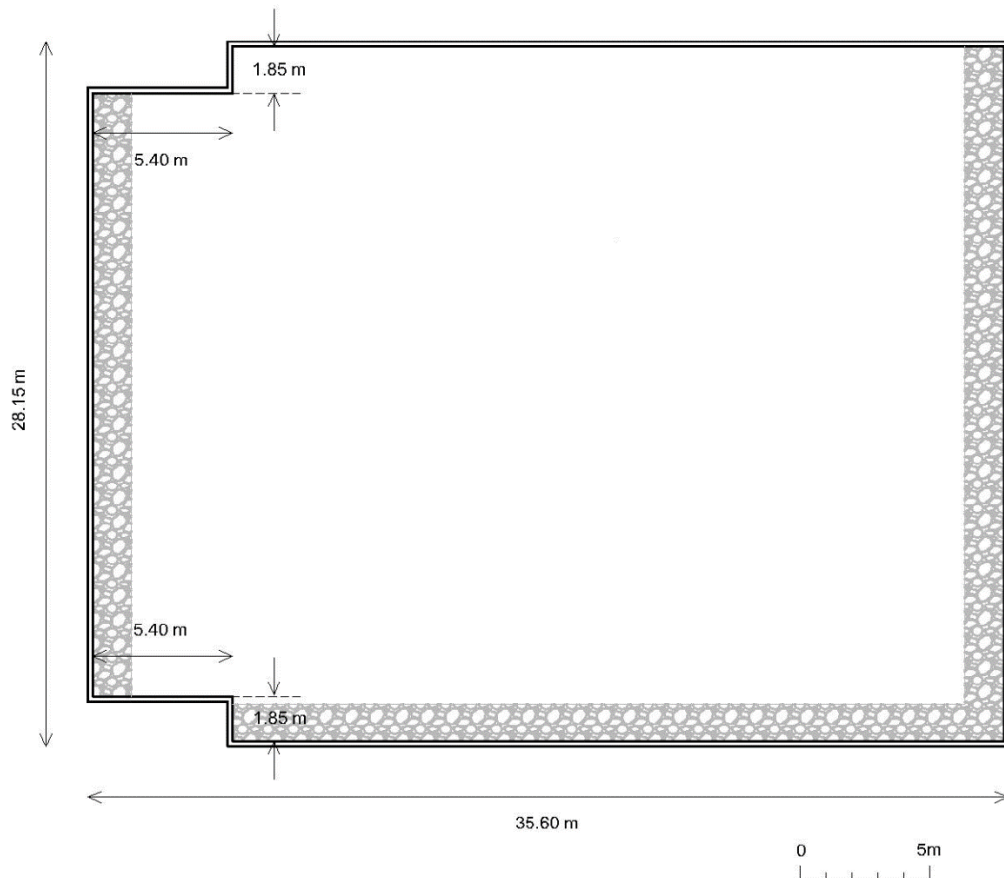
Το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (Ε.Λ.Ε.) του Ε.Μ.Π διαθέτει δύο πειραματικές δεξαμενές, Δ1 και Δ2, μοναδικές στο είδος τους στην Ελλάδα. Είναι εξοπλισμένες με ικανό αριθμό κυματιστήρων με δυνατότητα να μετακινηθούν ώστε να επιτυγχάνονται διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης κυμάτων στο φυσικό προσομοίωμα.

Η Δεξαμενή Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε. (Εικόνα 3.1) στην οποία διεξήχθησαν οι μετρήσεις, έχει διαστάσεις 35,60 x 28,15 m και βάθος 1 m και η κάτοψη της παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1. Για την απορρόφηση των προσπιπτόντων κυμάτων στα τοιχώματα της έχουν κατασκευασθεί αποσβεστικές επενδύσεις από λιθορριπή. Η κλίση της λιθορριπής είναι 1:2 και έχει τέτοια κοκκομετρία ώστε να ανακλάται όσο το δυνατόν μικρότερο ποσοστό του προσπίπτοντος κύματος.

Εντός της δεξαμενής έχει εγκατασταθεί ειδικό σύστημα παράγωγης κυματισμών ικανό να προσομοιώσει φυσικούς κυματισμούς. Με αυτό τον τρόπο και τη χρήση των φυσικών δεδομένων άλλα και τη χρήση λογισμικού, παράχθηκαν τα απαιτούμενα για το πείραμα κυματικά δεδομένα.



**Εικόνα 3.1.** Η δεξαμενή Δ2 του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων του Ε.Μ.Π.



**Σχήμα 3.1.** Κάτοψη δεξαμενής Δ2

### 3.2 Σύστημα παραγωγής κυματισμών

Το σύστημα παραγωγής κυματισμών (Εικόνα 3.2) κινείται υδραυλικά και αποτελείται από τα εξής τμήματα:

Υδραυλικό μηχανισμό-κινητήρα

Υδραυλικά έμβολα

Κυματιστήρες

Σύστημα ελέγχου

Κατάλληλο λογισμικό Η/Υ

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. Κάθε κυματογεννητρια έχει μέτωπο πλάτους 8 m. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν τρεις κυματιστήρες με συνολικό μέτωπο μήκους 24 m και ύψος 0,80 m. Η κίνηση των κυματιστήρων είναι ταυτόχρονη



ενώ υπάρχει και η δυνατότητα να μετατοπιστούν ώστε να εξεταστούν διαφορετικές διευθύνσεις προσπτώσεως των κυματισμών. Οι εντολές για τη 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 Εταιρίας H.R Wallingford.



**Εικόνα 3.2.** Κυματογεννήτριες

### **3.3 Μετρητές κύματος**

Για την μέτρηση των κυμάτων στη δεξαμενή χρησιμοποιήθηκαν δύο ειδών μετρητές:

Μετρητές τύπου αντιστάσεως (M)

Μετρητές με ηχοβολιστικούς αισθητήρες (S)

Οι μετρητές κύματος τύπου αντιστάσεως μετρούν τη στιγμιαία μεταβολή της στάθμης του ύδατος. Αποτελούνται από δύο σύρματα στερεωμένα σε στέλεχος στηριζόμενο σε βάση- τρίποδο. Λόγω της διαφορετικής στάθμης νερού δημιουργείται διαφορά δυναμικού από την οποία σε συνδυασμό με την κατάλληλη βαθμονόμηση προκύπτει η μεταβολή της στάθμης. Το σήμα μεταφέρεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ενισχυτή ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τους μετρητές. Το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων διαθέτει δύο σειρές μετρητών τύπου αντιστάσεως, Α και Β. Η σειρά Α (Εικόνα 3.3α) αποτελείται από μετρητές με κοντά στελέχη ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση του κύματος σε πολύ μικρό βάθος νερού ( $4\text{cm} < d < 20\text{cm}$ ). Η σειρά Β (Εικόνα 3.3β) αποτελείται από μετρητές με μακρύτερα στελέχη για μέτρηση σε μεγαλύτερα βάθη νερού ( $7\text{cm} < d < 80\text{cm}$ ). Χρησιμοποιήθηκαν οκτώ μετρητές σειράς Α και ένας μετρητής σειράς Β. Οι μετρητές αυτοί βαθμονομήθηκαν κάθε φορά πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων όπως απαιτείται.



(α)



(β)

**Εικόνα 3.3.** Μετρητές τύπου αντιστάσεως (α) σειράς Α, (β) σειράς Β

Οι μετρητές κύματος με ηχοβολιστικούς αισθητήρες (Εικόνα 3.4) μετρούν την απόσταση της ελεύθερης επιφάνειας των υδάτων από το σημείο στο οποίο είναι τοποθετημένος ο ηχοβολιστικός αισθητήρας. Οι μετρητές είναι συνδεδεμένοι με ενισχυτή σήματος μέσω του οποίου το σήμα μεταφέρεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ενώ δεν απαιτείται βαθμονόμηση των οργάνων. Χρησιμοποιήθηκαν επτά μετρητές με ηχοβολιστικούς αισθητήρες.



**Εικόνα 3.4.** Μετρητής με ηχοβολιστικούς αισθητήρες



## 4. Πειραματικές Διατάξεις-Πειραματική Διαδικασία

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται το φυσικό προσομοίωμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε και η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε. Περιλαμβάνονται στοιχεία για τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες και τα χαρακτηριστικά των κυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

### 4.1 Φυσικό Προσομοίωμα

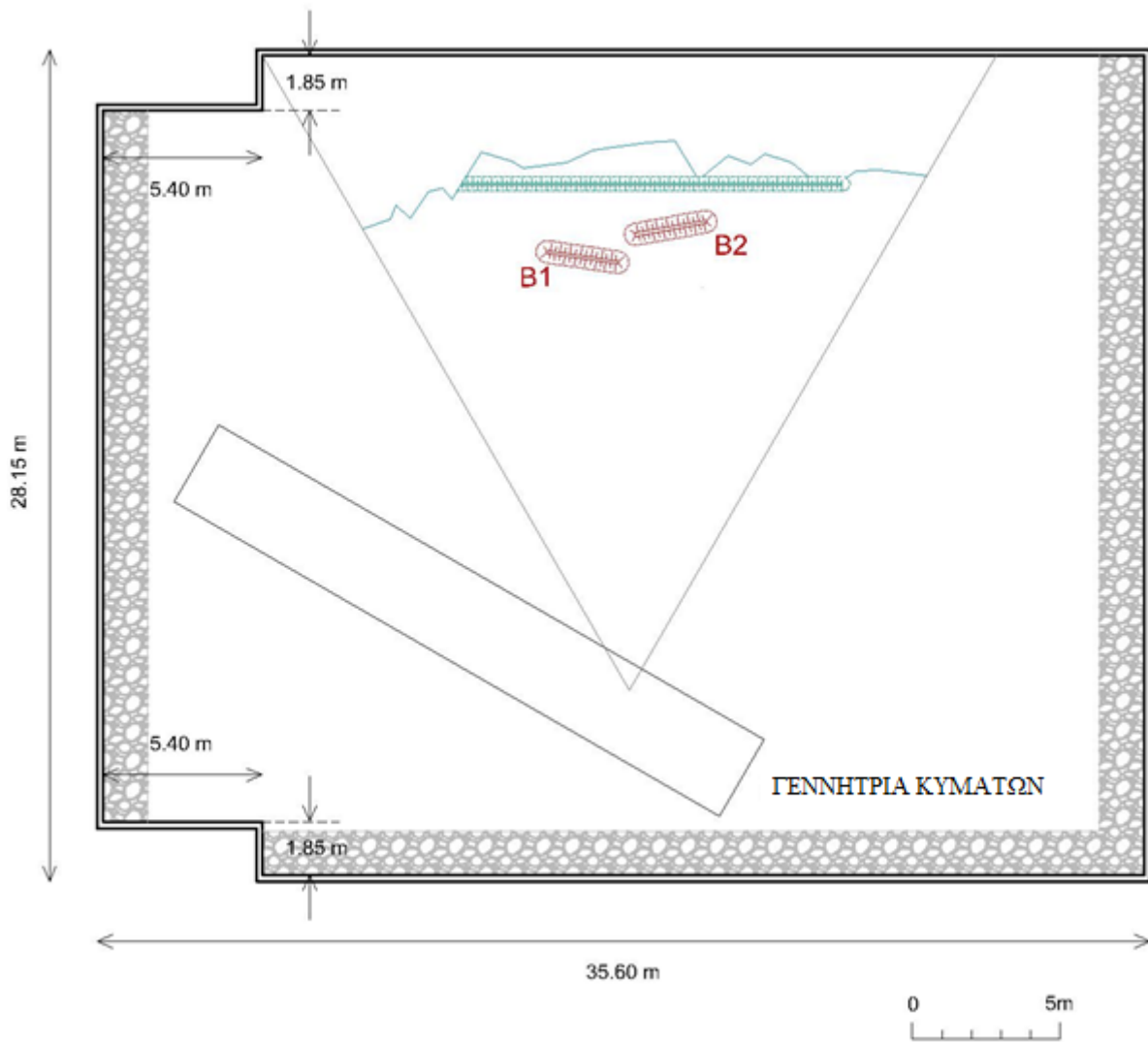
Το φυσικό προσομοίωμα (Εικόνες 4.1 , 4.2) που χρησιμοποιήθηκε είχε κατασκευαστεί για τις ανάγκες προηγούμενης έρευνας στα πλαίσια της μελέτης της συμπεριφοράς της ακτής προ του ξενοδοχείου Venus στην περιοχή της Πάφου στην Κύπρο σε κλίμακα 1:40. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα φυσικού προσομοιώματος για τη διερεύνηση της κυματικής διαταραχής μόνο στην περιοχή των κυματοθραυστών. Για το λόγο αυτό έγιναν παρεμβάσεις στο μοντέλο ώστε να απομονωθεί η επίδραση της ακτής (επένδυση από λιθορριπή κατάλληλης κοκομετρίας και κλίσης παράλληλα στην ακτή ώστε να ανακλάται όσο το δυνατόν μικρότερο ποσοστό του προσπίπτοντος κύματος).

Το φυσικό προσομοίωμα αποτελείται από δύο κυματοθραύστες με μήκος 2,50 m και πλάτος στέγης 112,5 mm τοποθετημένους όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Ο κυματοθραύστης B1 έχει ύψος 153 mm και ο κυματοθραύστης B2 138 mm. Η μέση ονομαστική διάμετρος των λίθων από τις οποίες αποτελείται το προσομοίωμα, Dn50, είναι 29 mm και η κλίση των πρανών  $\tan a = 2,5$  (Πίνακας 4.1).

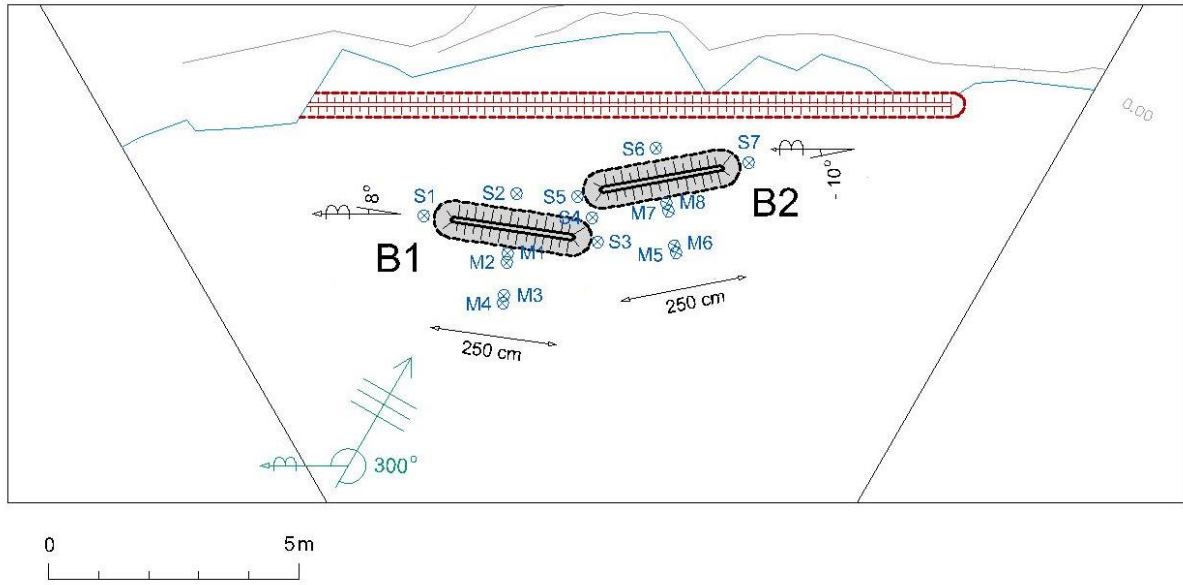
**Πίνακας 4.1.** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κυματοθραυστών B1 και B2

	<b>L(mm)</b>	<b>B(mm)</b>	<b>hc(mm)</b>	<b>Dn50(mm)</b>	<b>tan a</b>
<b>B1</b>	2500	112,5	153	29	2,5
<b>B2</b>	2500	112,5	138	29	2,5

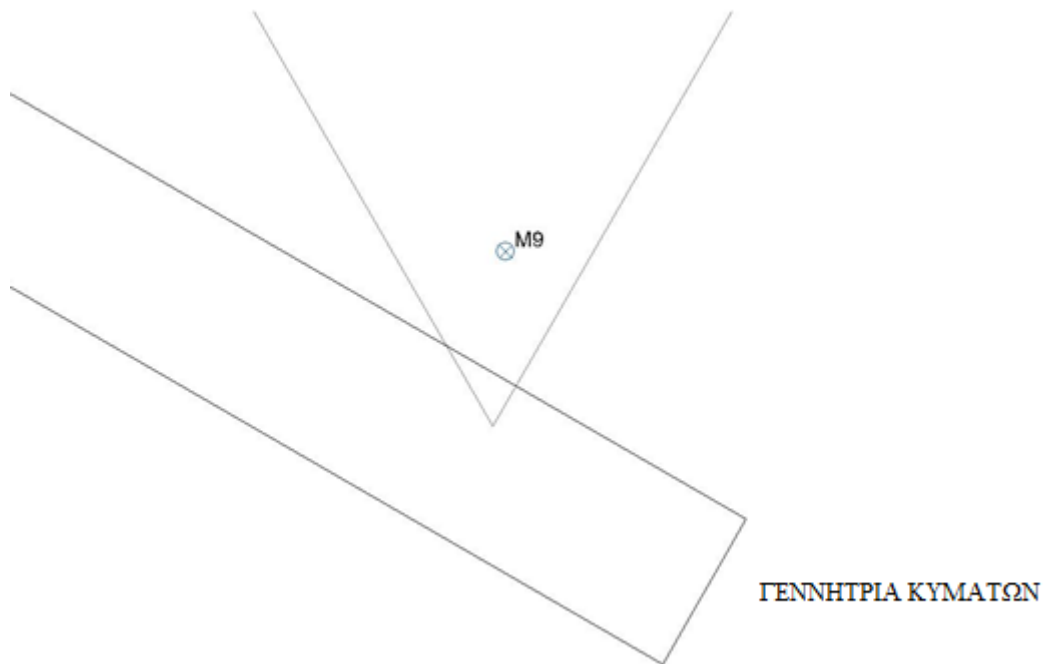
Τοποθετήθηκαν εννέα μετρητές τύπου αντιστάσεως, οκτώ σειράς A και ένας σειράς B, και επτά μετρητές με ηχοβολιστικούς αισθητήρες σε προκαθορισμένες θέσεις. Συγκεκριμένα ο μετρητής τύπου αντίστασης σειράς B τοποθετήθηκε ακριβώς μπροστά από τους κυματιστήρες, οι μετρητές τύπου αντίστασης σειράς A τοποθετήθηκαν στην προσήνεμη πλευρά των κυματοθραυστών σε σειρά, τέσσερις μπροστά από τον κάθε κυματοθραύστη στο μέσον αυτού, και οι μετρητές με ηχοβολιστικούς αισθητήρες τοποθετήθηκαν ως εξής: από ένας στο μέσον του κάθε κυματοθραύστη στην υπήνεμη πλευρά τους, από ένας στα άκρα τους και τρεις σε σειρά στο κομμάτι ανάμεσα στους δύο κυματοθραύστες. Η ακριβής θέση των μετρητών παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.2 και 4.3.



**Σχήμα 4.1.** Η θέση των κυματοθραυστών και των κυματογεννητριών στη δεξαμενή



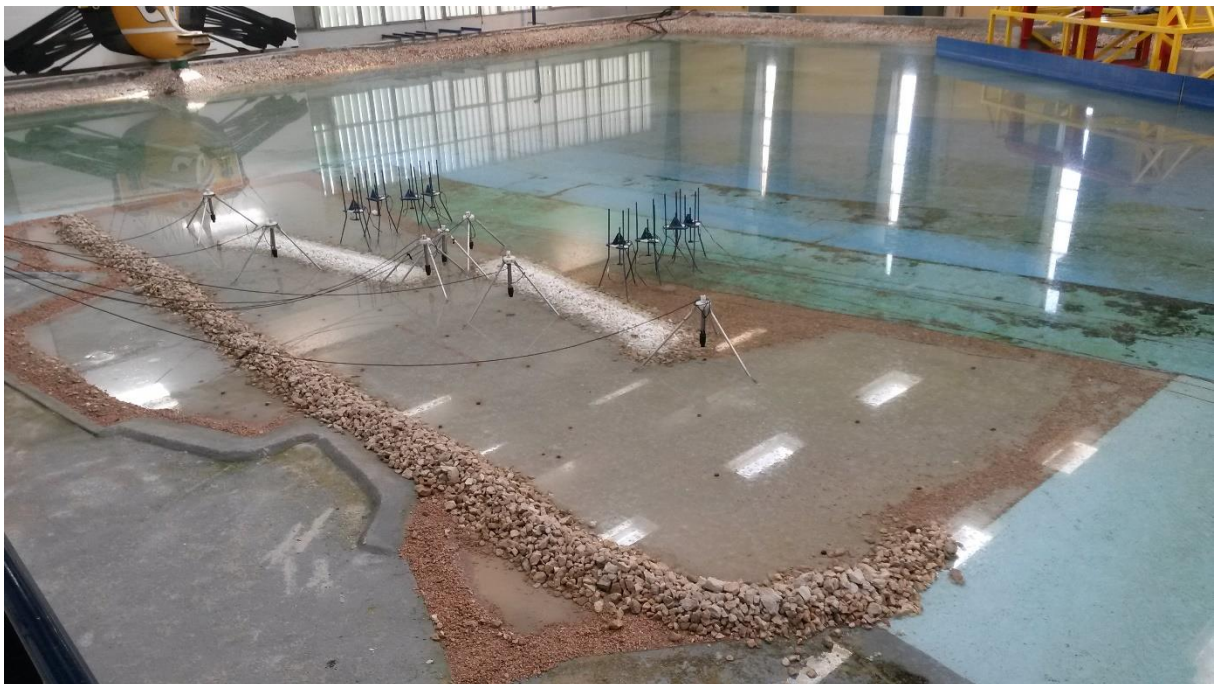
**Σχήμα 4.2.** Οι θέσεις των μετρητών στην περιοχή των κυματοθραυστών



**Σχήμα 4.3.** Θέση μετρητή M9 στην περιοχή των κυματογεννητριών



**Εικόνα 4.1.** Το φυσικό προσομοίωμα πριν την προσθήκη νερού στη δεξαμενή



**Εικόνα 4.2.** Το φυσικό προσομοίωμα με γεμάτη δεξαμενή



## 4.2 Πειραματική Διαδικασία

Κατά την πειραματική διαδικασία έγιναν μετρήσεις για τρεις στάθμες ηρεμίας στη δεξαμενή. Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κυματοθραυστών B1 και B2 για κάθε Στάθμη. Έγιναν είκοσι τέσσερις μετρήσεις για τις Στάθμες 1 και 2 και δώδεκα μετρήσεις για τη Στάθμη 3.

**Πίνακας 4.2.** Ελεύθερο περιθώριο ( $R_c$ ), βάθος νερού στον πόδα ( $d$ ), ύψος κατασκευής ( $hc$ ) και γωνία πρόσπτωσης κυματισμών ( $\beta$ ) για τους κυματοθραύστες B1 και B2 για κάθε Στάθμη.

	ΣΤΑΘΜΕΣ	$R_c$ (mm)	$d$ (mm)	$hc$ (mm)	$\beta$
<b>B1</b>	ΣΤΑΘΜΗ 1	55	98	153	22°
	ΣΤΑΘΜΗ 2	35	118	153	22°
	ΣΤΑΘΜΗ 3	15	138	153	22°
<b>B2</b>	ΣΤΑΘΜΗ 1	50	88	138	40°
	ΣΤΑΘΜΗ 2	30	108	138	40°
	ΣΤΑΘΜΗ 3	10	128	138	40°

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε κάθε πείραμα ήταν η εξής:

Αρχικά γινόταν έλεγχος της στάθμης του νερού στη δεξαμενή και αν χρειαζόταν προσθήκη ή αφαίρεση νερού ώστε να επιτύχουμε την επιθυμητή στάθμη για το εκάστοτε πείραμα. Στη συνέχεια γινόταν βαθμονόμηση των μετρητών τύπου αντιστάσεως. Πριν την έναρξη των πειραμάτων γινόταν φωτογράφιση του φυσικού προσομοι και των εγκαταστάσεων (Εικόνα 4.3).

Στη συνέχεια ξεκινούσε το πείραμα κατά τη διάρκεια του οποίου γινόταν φωτογράφιση (Εικόνες 4.4 , 4.5) και βιντεοσκόπηση της διαδικασίας. Μέσω κατάλληλου λογισμικού δινόταν οδηγία στους κυματιστήρες για παραγωγή κυμάτων διάρκειας περίπου δέκα λεπτών. Έγιναν μετρήσεις για είκοσι τέσσερα κύματα στις Στάθμες 1 και 2 και για δώδεκα κύματα στη Στάθμη 3. Το αναλυτικό πρόγραμμα των μετρήσεων φαίνεται στον Πίνακα 4.2.

Οι κυματογεννήτριες είχαν τέτοια κλίση ώστε τα κύματα να προσπίπτουν στον κυματοθραύστη B1 υπό γωνία 22° και στον κυματοθραύστη B2 υπό γωνία 40°.

**Πίνακας 4.3.** Πρόγραμμα πειραμάτων. Κωδικός Πειράματος (Κ.Π.),Κωδικός Μέτρησης (Κ.Μ.)

Α/Α	Κ.Π.	Κ.Μ.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	
			Hs(mm)	Tp(sec)
<b>ΣΤΑΘΜΗ 1</b>				
1	1.1	1	9,550	0,569
2	1.2	2	11,900	0,569
3	1.3	3	14,500	0,569
4	1.4	4	17,600	0,683
5	1.5	5	26,463	0,683
6	1.6	6	35,000	0,683
7	1.7	7	19,900	0,853
8	1.8	8	31,600	0,853
9	1.9	9	44,400	0,853
10	1.10	10	28,400	0,931
11	1.11	11	41,000	0,931
12	1.12	12	54,300	0,931
13	1.13	13	42,300	1,140
14	1.14	14	59,600	1,140
15	1.15	15	78,300	1,140
16	1.16	16	58,800	1,280
17	1.17	17	82,300	1,280
18	1.18	18	105,000	1,280
19	1.19	19	99,400	1,460
20	1.20	20	132,000	1,460
21	1.21	21	156,000	1,460
22	1.22	22	116,000	1,710
23	1.23	23	149,000	1,710
24	1.24	24	170,000	1,710

**ΣΤΑΘΜΗ 2**

<b>25</b>	<b>2.1</b>	<b>1</b>	10,900	0,569
<b>26</b>	<b>2.2</b>	<b>2</b>	12,900	0,569
<b>27</b>	<b>2.3</b>	<b>3</b>	14,900	0,569
<b>28</b>	<b>2.4</b>	<b>4</b>	18,500	0,683
<b>29</b>	<b>2.5</b>	<b>5</b>	26,800	0,683
<b>30</b>	<b>2.6</b>	<b>6</b>	35,500	0,731
<b>31</b>	<b>2.7</b>	<b>7</b>	20,900	0,853
<b>32</b>	<b>2.8</b>	<b>8</b>	32,400	0,853
<b>33</b>	<b>2.9</b>	<b>9</b>	45,100	0,853
<b>34</b>	<b>2.10</b>	<b>10</b>	30,700	0,931
<b>35</b>	<b>2.11</b>	<b>11</b>	44,000	0,931
<b>36</b>	<b>2.12</b>	<b>12</b>	57,821	0,931
<b>37</b>	<b>2.13</b>	<b>13</b>	45,500	1,140
<b>38</b>	<b>2.14</b>	<b>14</b>	64,400	1,140
<b>39</b>	<b>2.15</b>	<b>15</b>	82,900	1,140
<b>40</b>	<b>2.16</b>	<b>16</b>	62,800	1,280
<b>41</b>	<b>2.17</b>	<b>17</b>	85,900	1,280
<b>42</b>	<b>2.18</b>	<b>18</b>	109,000	1,280
<b>43</b>	<b>2.19</b>	<b>19</b>	106,000	1,460
<b>44</b>	<b>2.20</b>	<b>20</b>	122,100	1,460
<b>45</b>	<b>2.21</b>	<b>21</b>	166,000	1,460
<b>46</b>	<b>2.22</b>	<b>22</b>	119,000	1,710
<b>47</b>	<b>2.23</b>	<b>23</b>	152,000	1,710
<b>48</b>	<b>2.24</b>	<b>24</b>	180,000	1,710

**ΣΤΑΘΜΗ 3**

<b>49</b>	<b>3.1</b>	<b>1</b>	10,535	0,569
<b>50</b>	<b>3.2</b>	<b>2</b>	12,950	0,569

51	3.3	3	15,576	0,569
52	3.4	4	18,818	0,683
53	3.5	5	27,319	0,683
54	3.6	6	36,112	0,683
55	3.7	7	21,338	0,853
56	3.8	8	33,582	0,853
57	3.9	9	46,485	0,853
58	3.10	10	30,379	0,931
59	3.11	11	43,670	0,931
60	3.12	12	57,001	0,931

---



**Εικόνα 4.3.** Φωτογραφία της δεξαμενής πριν την έναρξη του πειράματος



**Εικόνα 4.4.** Φωτογραφία κατά τη διάρκεια πειράματος



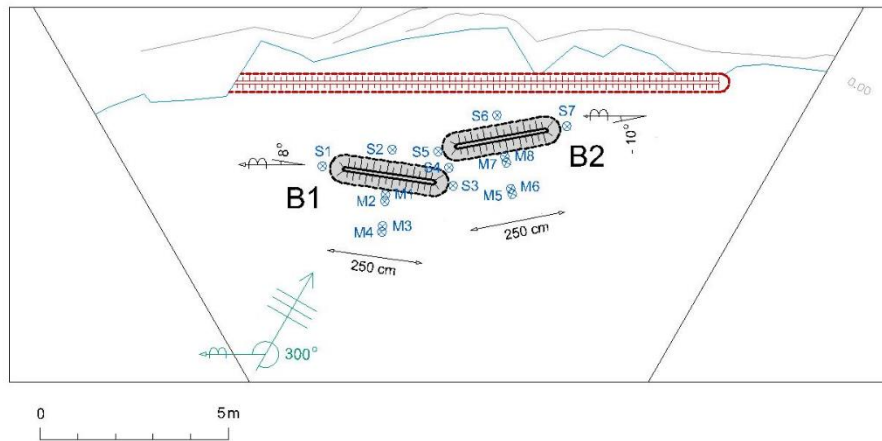
**Εικόνα 4.5.** Φωτογραφία κατά τη διάρκεια πειράματος



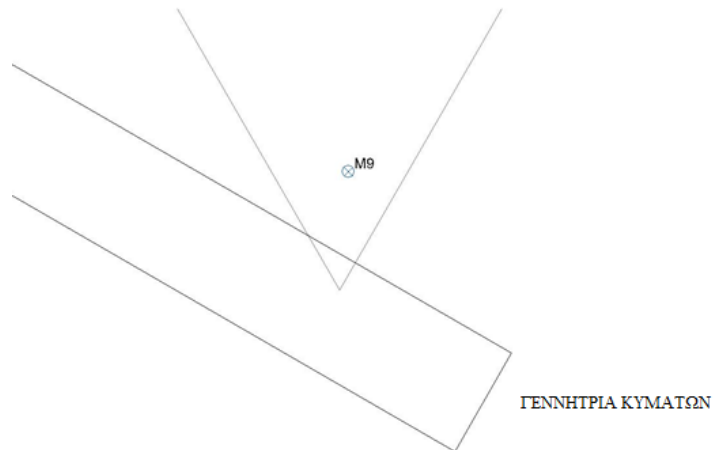
## 5. Αποτελέσματα Μετρήσεων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία για το χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_s$  και τη μέση περίοδο  $T_m$  για κάθε στάθμη ξεχωριστά. Επίσης υπολογίζεται ο συντελεστής μετάδοσης  $K_t$  για τους δύο κυματοθραύστες.

Υπενθυμίζεται η διάταξη των μετρητών στα Σχήματα 5.1 και 5.2:



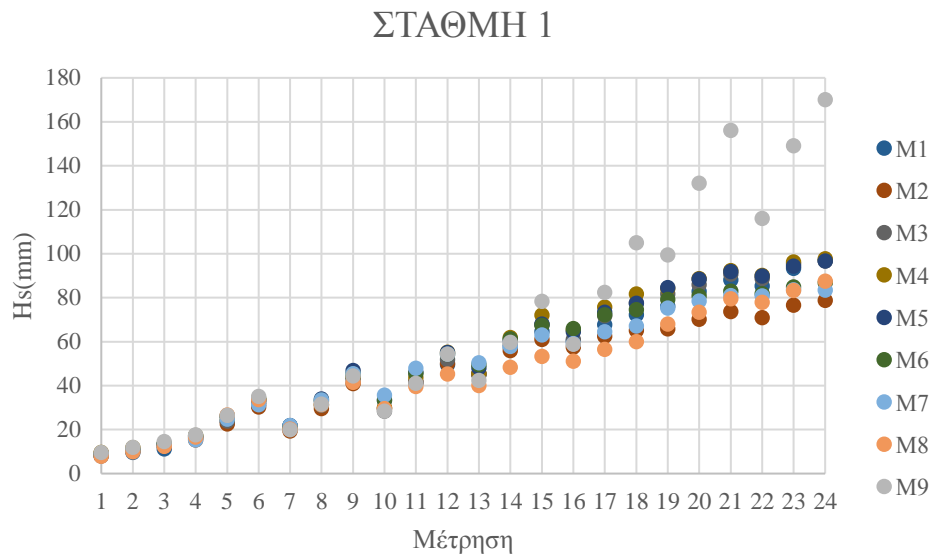
Σχήμα 5.1. Θέσεις μετρητών στην περιοχή των κυματοθραυστών



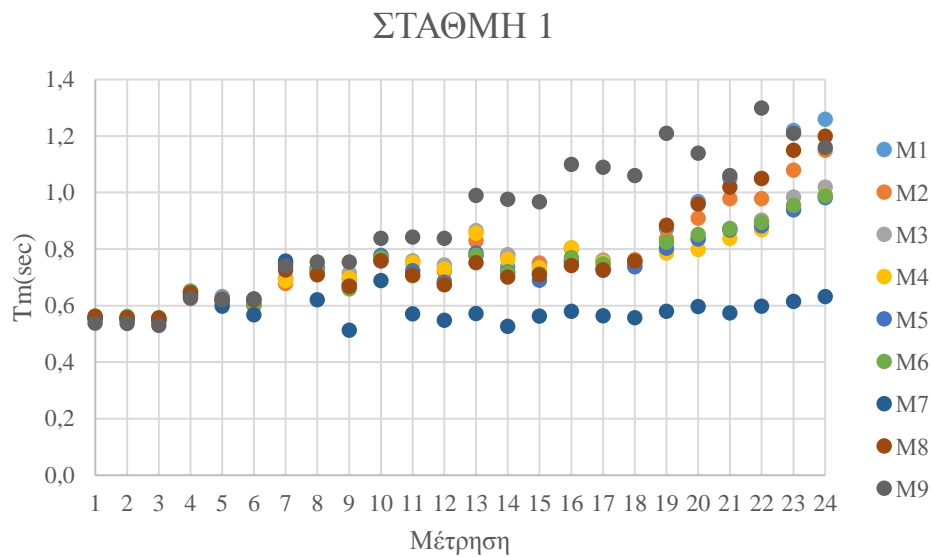
Σχήμα 5.2. Θέση μετρητή M9 στην περιοχή των κυματογεννητριών

## 5.1 Αποτελέσματα μετρήσεων για τη Στάθμη 1

### Μετρητές τύπου αντιστάσεως



Σχήμα 5.3. Χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_s$  (mm) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 1

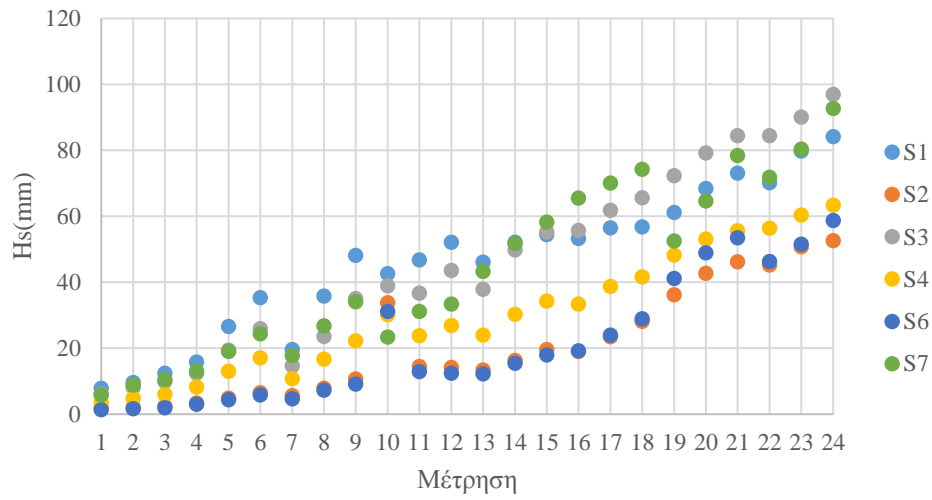


Σχήμα 5.4. Μέση περίοδος  $T_m$  (sec) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 1



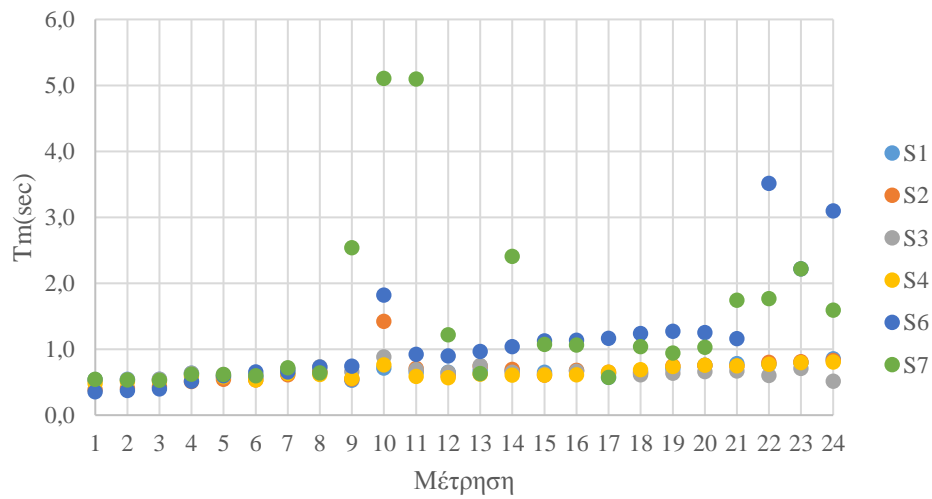
## Μετρητές με ηχοβολιστικούς αισθητήρες

### ΣΤΑΘΜΗ 1



Σχήμα 5.5. Χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_s$  (mm) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 1

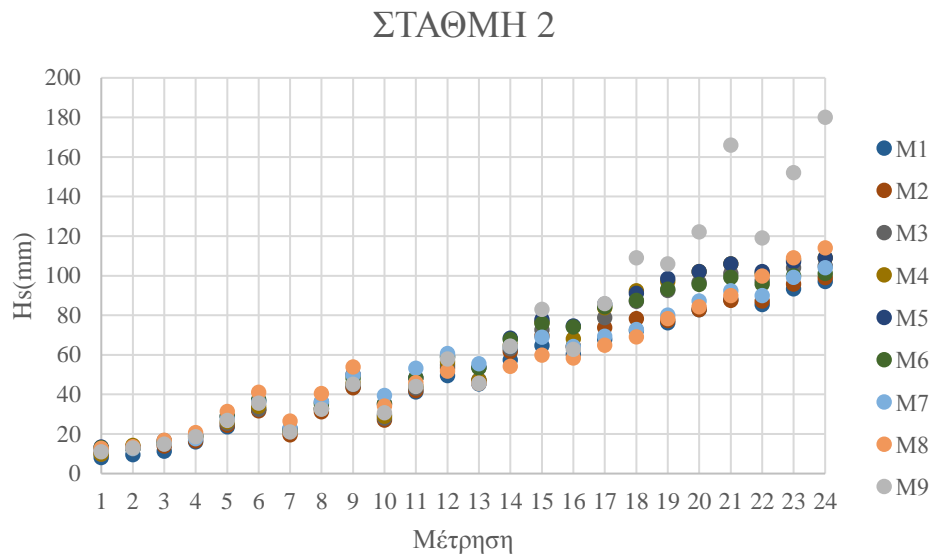
### ΣΤΑΘΜΗ 1



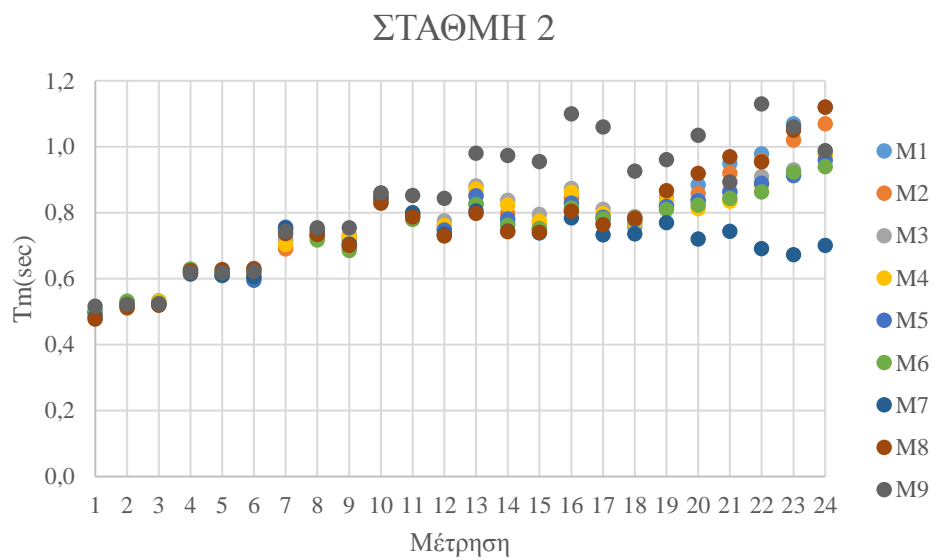
Σχήμα 5.6. Μέση περίοδος  $T_m$  (sec) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 1

## 5.2 Αποτελέσματα μετρήσεων για τη Στάθμη 2

### Μετρητές τύπου αντιστάσεως



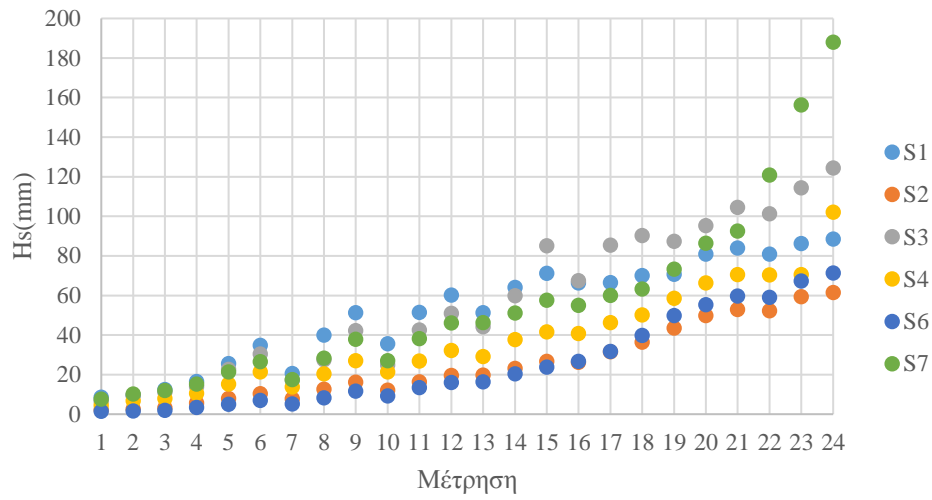
Σχήμα 5.7. Χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_s$  (mm) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 2



Σχήμα 5.8. Μέση περίοδος  $T_m$  (sec) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 2

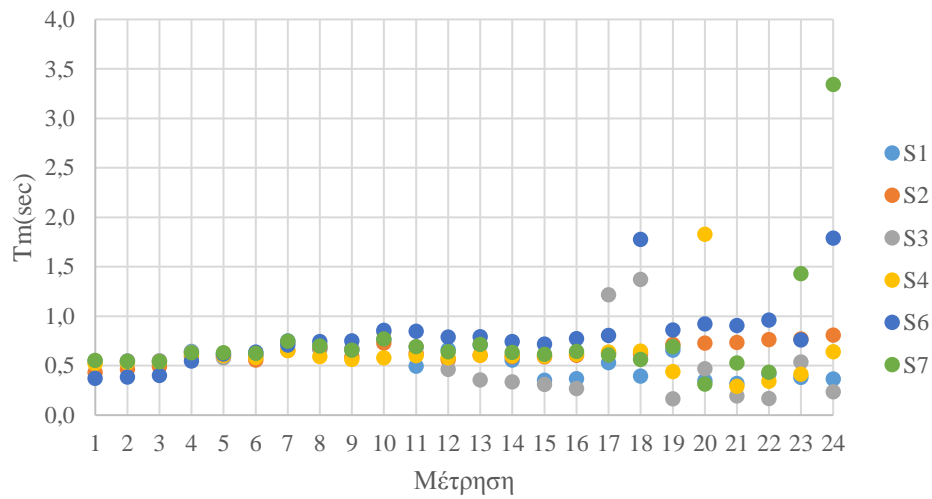
## Μετρητές με ηχοβολιστικούς αισθητήρες

### ΣΤΑΘΜΗ 2



Σχήμα 5.9. Χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_s$  (mm) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 2

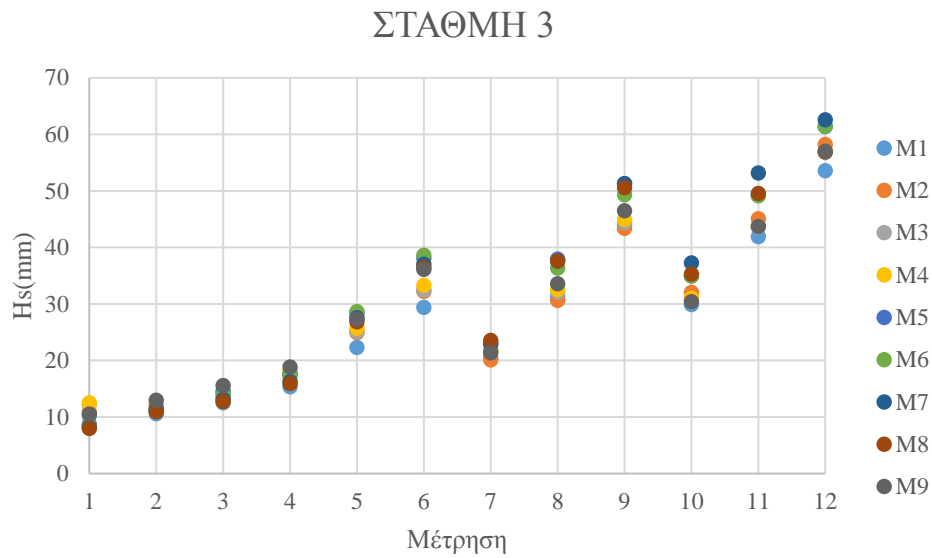
### ΣΤΑΘΜΗ 2



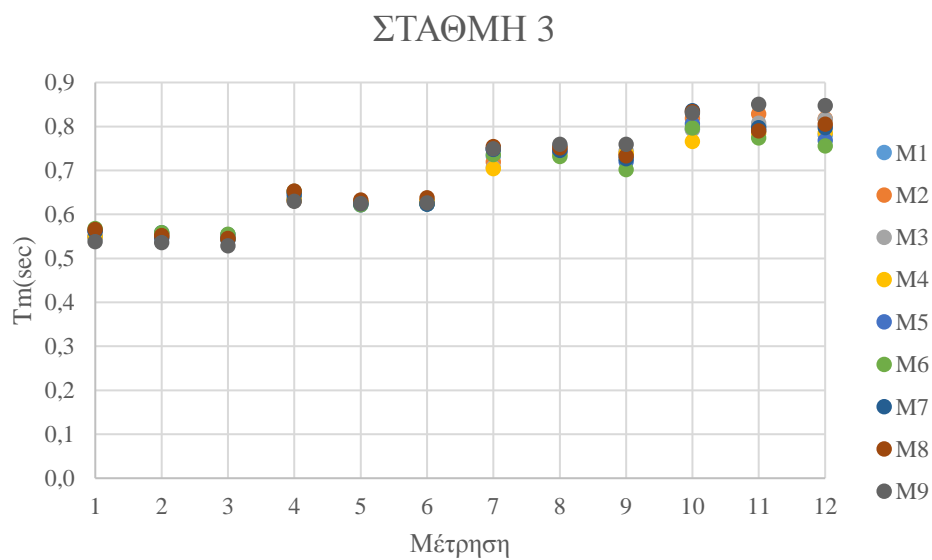
Σχήμα 5.10. Μέση περίοδος  $T_m$  (sec) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 2

### 5.3 Αποτελέσματα μετρήσεων για τη Στάθμη 3

#### Μετρητές τύπου αντιστάσεως



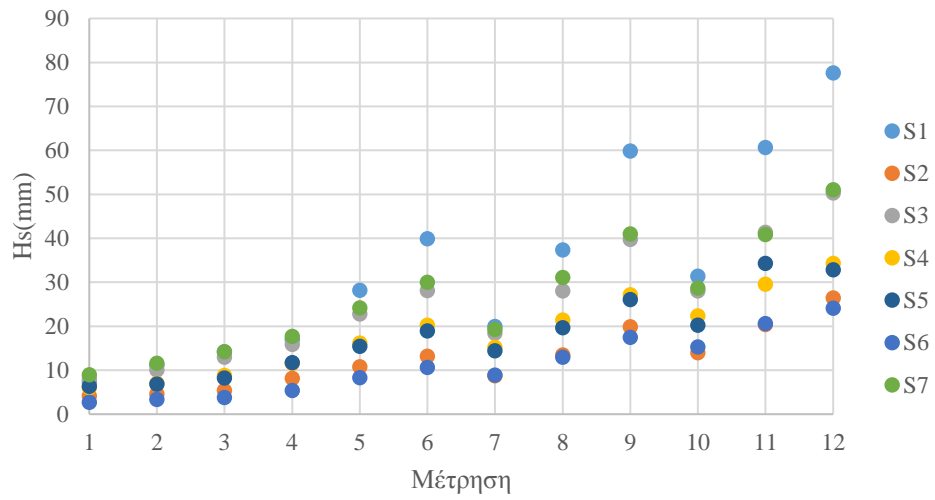
Σχήμα 5.11. Χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_s$  (mm) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 3



Σχήμα 5.12. Μέση περίοδος  $T_m$  (sec) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 3

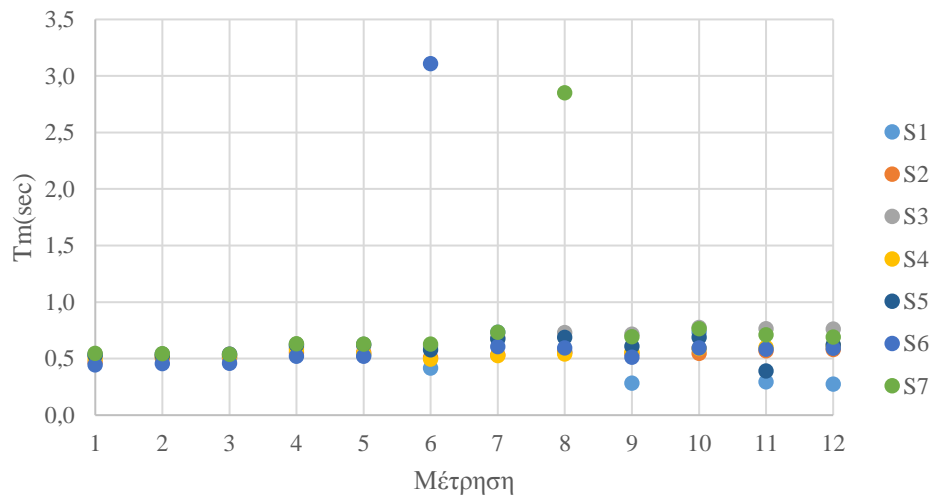
## Μετρητές με ηχοβολιστικούς αισθητήρες

### ΣΤΑΘΜΗ 3



Σχήμα 5.13. Χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_s$  (mm) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 3

### ΣΤΑΘΜΗ 3



Σχήμα 5.14. Μέση περίοδος  $T_m$  (sec) για κάθε μέτρηση για τη Στάθμη 3

## 5.4 Συντελεστής Μετάδοσης

Ο συντελεστής μετάδοσης για τους δύο κυματοθραύστες B1 και B2 υπολογίζεται από τον τύπο:

$$Kt = \frac{Ht}{Hi} \quad (5.1)$$

όπου για τον B1 ισχύει  $H_i=H_{M1}$  και  $H_t=H_{S2}$  και για τον B2  $H_i=H_{M8}$  και  $H_t=H_{S6}$ .

Προκύπτουν έτσι για τις τρεις Στάθμες οι τιμές του συντελεστή μετάδοσης για τους δύο κυματοθραύστες B1 και B2 όπως φαίνονται στους Πίνακες 5.1 , 5.2 , 5.3:

**Πίνακας 5.1.** Συντελεστής μετάδοσης  $K_t$  για τη Στάθμη 1

	<b>B1</b>	<b>B2</b>
<b>1.1</b>	0,233	0,183
<b>1.2</b>	0,226	0,175
<b>1.3</b>	0,224	0,159
<b>1.4</b>	0,216	0,183
<b>1.5</b>	0,207	0,167
<b>1.6</b>	0,202	0,175
<b>1.7</b>	0,258	0,231
<b>1.8</b>	0,243	0,236
<b>1.9</b>	0,245	0,220
<b>1.10</b>	0,465	0,380
<b>1.11</b>	0,353	0,328
<b>1.12</b>	0,288	0,276
<b>1.13</b>	0,296	0,307
<b>1.14</b>	0,284	0,320
<b>1.15</b>	0,305	0,338
<b>1.16</b>	0,316	0,379
<b>1.17</b>	0,348	0,425

<b>1.18</b>	0,390	0,483
<b>1.19</b>	0,476	0,607
<b>1.20</b>	0,516	0,668
<b>1.21</b>	0,525	0,674
<b>1.22</b>	0,531	0,596
<b>1.23</b>	0,544	0,619
<b>1.24</b>	0,543	0,673

---

**Πίνακας 5.2.** Συντελεστής μετάδοσης Kt για τη Στάθμη 2

	<b>B1</b>	<b>B2</b>
<b>2.1</b>	0,236	0,124
<b>2.2</b>	0,229	0,128
<b>2.3</b>	0,249	0,117
<b>2.4</b>	0,349	0,167
<b>2.5</b>	0,323	0,164
<b>2.6</b>	0,321	0,171
<b>2.7</b>	0,376	0,201
<b>2.8</b>	0,383	0,205
<b>2.9</b>	0,359	0,219
<b>2.10</b>	0,430	0,273
<b>2.11</b>	0,384	0,294
<b>2.12</b>	0,369	0,311
<b>2.13</b>	0,451	0,362
<b>2.14</b>	0,407	0,379
<b>2.15</b>	0,413	0,399
<b>2.16</b>	0,442	0,458

<b>2.17</b>	0,457	0,489
<b>2.18</b>	0,487	0,577
<b>2.19</b>	0,557	0,638
<b>2.20</b>	0,587	0,656
<b>2.21</b>	0,583	0,665
<b>2.22</b>	0,583	0,593
<b>2.23</b>	0,596	0,617
<b>2.24</b>	0,587	0,626

---

**Πίνακας 5.3.** Συντελεστής μετάδοσης Kt για τη Στάθμη 3

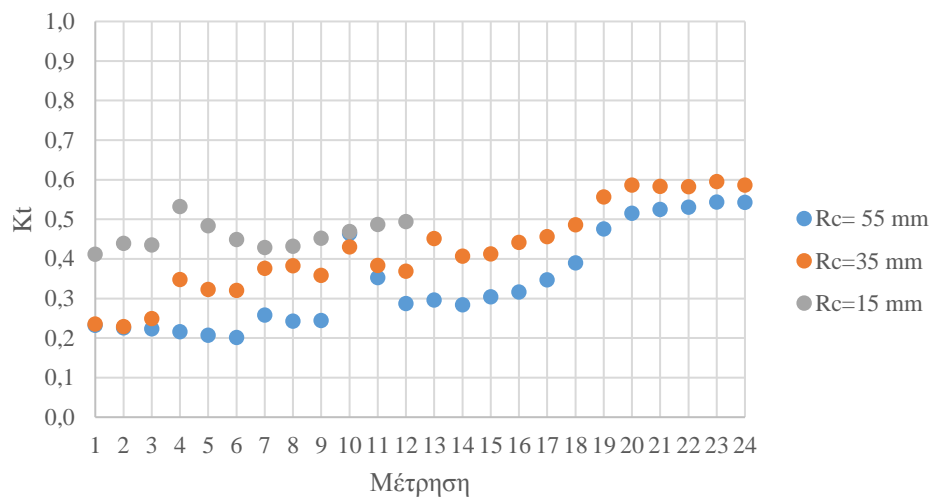
	<b>B1</b>	<b>B2</b>
<b>3.1</b>	0,412	0,343
<b>3.2</b>	0,439	0,311
<b>3.3</b>	0,436	0,299
<b>3.4</b>	0,533	0,342
<b>3.5</b>	0,484	0,309
<b>3.6</b>	0,449	0,292
<b>3.7</b>	0,429	0,379
<b>3.8</b>	0,433	0,346
<b>3.9</b>	0,453	0,347
<b>3.10</b>	0,470	0,434
<b>3.11</b>	0,487	0,416
<b>3.12</b>	0,494	0,424

---



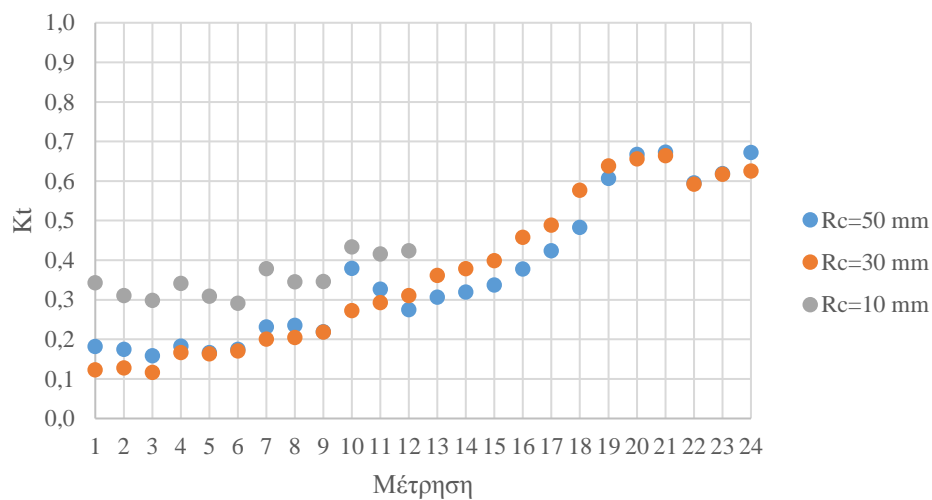
Συγκριτικά για τις τρεις Στάθμες λοιπόν προκύπτει :

### ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ B1

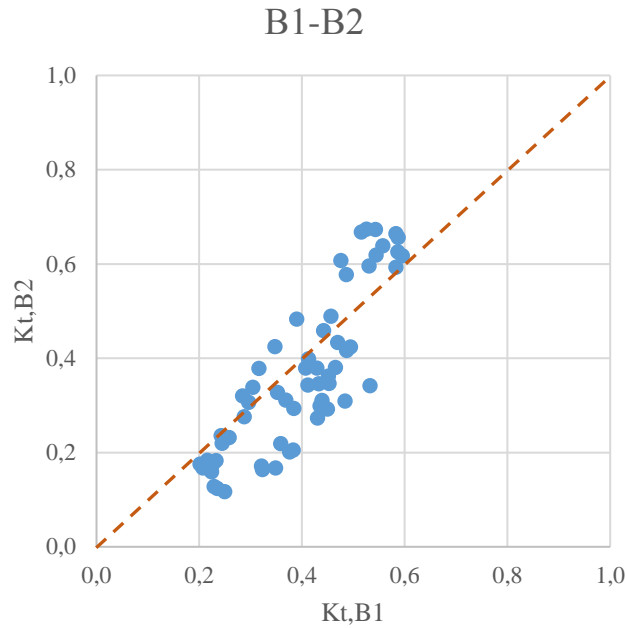


**Σχήμα 5.15.** Συντελεστής μετάδοσης  $K_t$  για κάθε μέτρηση για τον κυματοθραύστη B1 ανά Στάθμη

### ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ B2



**Σχήμα 5.16** Συντελεστής μετάδοσης  $K_t$  για κάθε μέτρηση για τον κυματοθραύστη B2 ανά Στάθμη



**Σχήμα 5.17.** Διάγραμμα συντελεστών μετάδοσης για τους κυματοθραύστες B1, B2

Όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.15 και 5.16 ο συντελεστής μετάδοσης είναι αντιστρόφως ανάλογος του ελεύθερου περιθωρίου  $R_c$  και για τους δύο κυματοθραύστες. Τα διαγράμματα του συντελεστή μετάδοσης των δύο κυματοθραυστών παρουσιάζουν την ίδια μορφή σε σχέση με τις μετρήσεις. Ο συντελεστής μετάδοσης του κυματοθραύστη B2 παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος τιμών ( $0,117 \div 0,674$ ) σε σχέση με τον B1 ( $0,202 \div 0,596$ ), ενώ στο Σχήμα 5.17 οι συντελεστές των B1 και B2 φαίνεται να παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη σύγκλιση. Από την τελευταία αυτή παρατήρηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι η γωνία πρόσπτωσης  $\beta$  των κυματισμών δεν έχει μεγάλη επίδραση στην τιμή του συντελεστή μετάδοσης και συνεπώς στην κυματική μετάδοση πίσω από τον κυματοθραύστη.

## 6. Επεξεργασία Αποτελεσμάτων

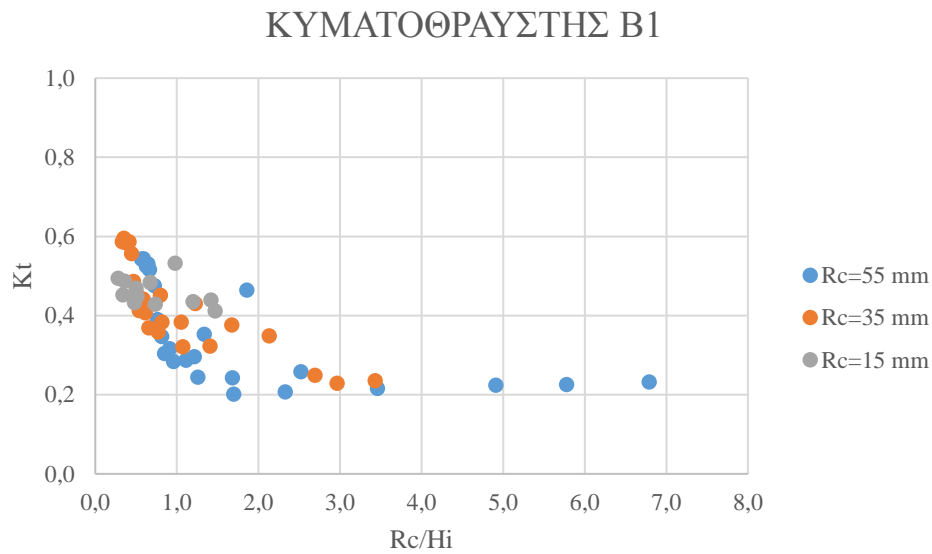
Κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε συσχέτιση του συντελεστή μετάδοσης με ορισμένες αδιάστατες παραμέτρους όπως αυτές προτείνονται από την βιβλιογραφία και οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά στο Κεφάλαιο 6.1 παρακάτω. Επίσης μελετήθηκε η κυματική διαταραχή σε διάφορα σημεία γύρω από τους κυματοθραύστες μέσω του σχετικού συντελεστή κυματικής διαταραχής  $R_{Kh}$ . Ακόμα έγινε σύγκριση του συντελεστή μετάδοσης όπως προέκυψε από τις μετρήσεις με το συντελεστή μετάδοσης που προκύπτει από τη βιβλιογραφία.

### 6.1 Συσχέτιση συντελεστή μετάδοσης με παραμέτρους

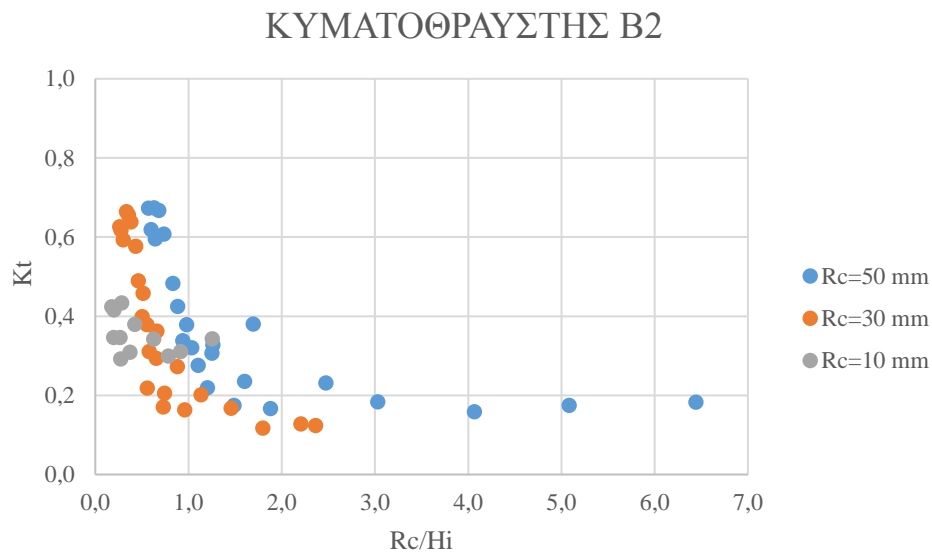
Ακολουθεί η συσχέτιση του συντελεστή μετάδοσης  $K_t$  με τις εξής παραμέτρους:

- Ελεύθερο περιθώριο προς εισερχόμενο ύψος κύματος ( $R_c/H_i$ )
- Πλάτος στέψης προς ύψος εισερχόμενου κύματος ( $B/H_i$ )
- Πλάτος στέψης προς μήκος εισερχόμενου κύματος ( $B/L_{om}$ )
- Παράμετρος θραύσης  $\xi$  ( $\xi_{om}$ ,  $\xi_{op}$ )
- Ύψος εισερχόμενου κύματος προς μέση διάμετρο λίθων ( $H_i/D_n50$ )
- Βάθος στον πόδα του κυματοθραύστη προς μήκος εισερχόμενου κύματος ( $d/L_{om}$ )

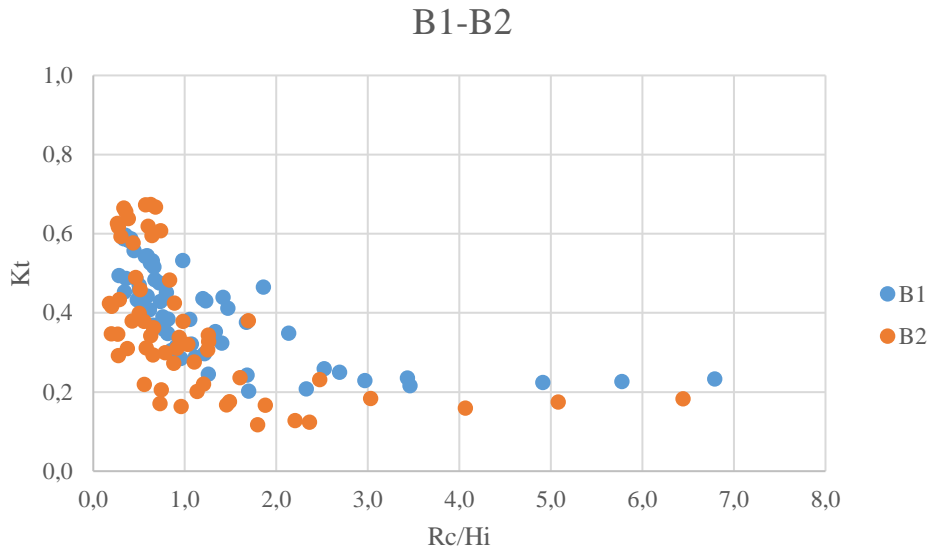
## Συντελεστής μετάδοσης $K_t$ -ελεύθερο περιθώριο προς εισερχόμενο ύψος κύματος ( $R_c/H_i$ )



**Σχήμα 6.1.** Διάγραμμα  $K_t$ - $R_c/H_i$  για τον κυματοθραύστη Β1 ανά Στάθμη



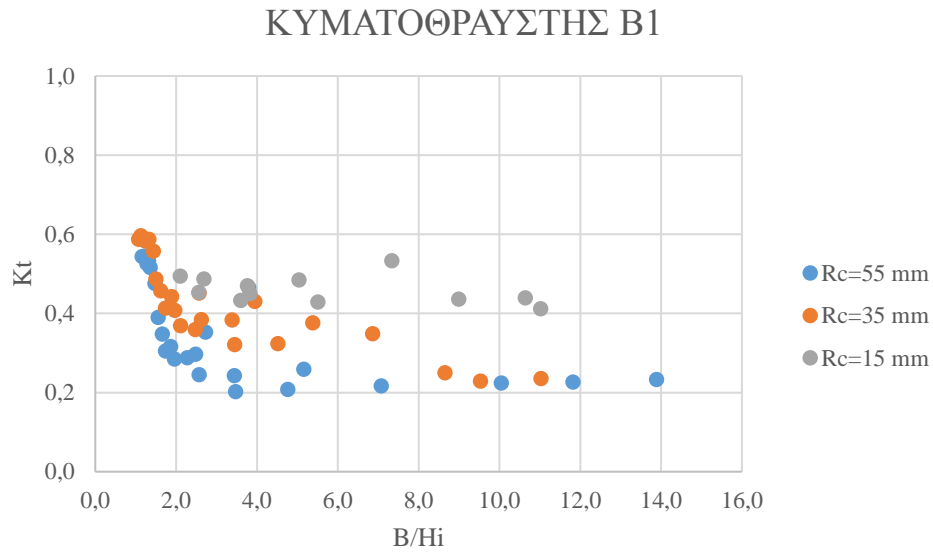
**Σχήμα 6.2.** Διάγραμμα  $K_t$ - $R_c/H_i$  για τον κυματοθραύστη Β2 ανά Στάθμη



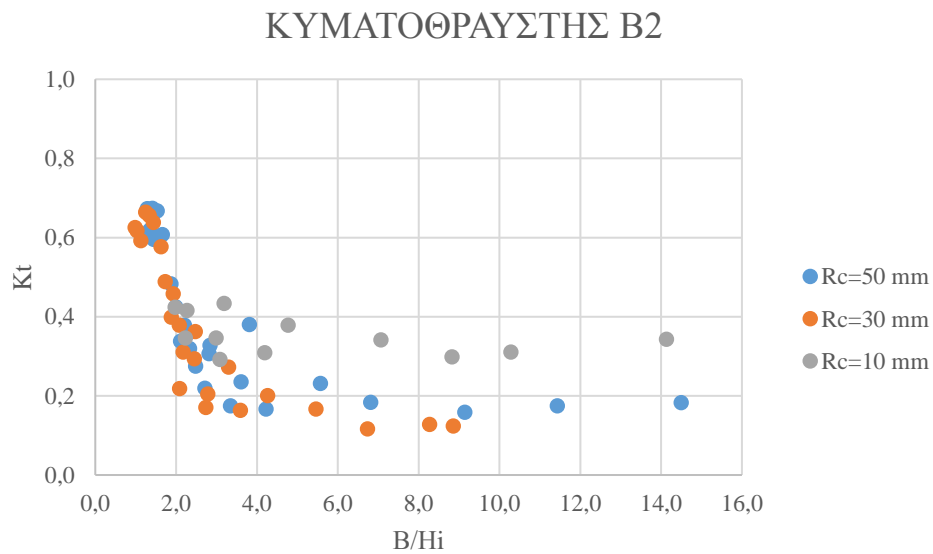
**Σχήμα 6.3.** Διάγραμμα  $K_t$ - $R_c/H_i$  συγκριτικό για τους κυματοθραύστες B1, B2

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα (Σχήματα 6.1, 6.2, 6.3) αύξηση του λόγου  $R_c/H_i$  συνεπάγεται μείωση του συντελεστή μετάδοσης  $K_t$ . Ειδικότερα για τον κυματοθραύστη B2 (Σχήμα 6.2) παρατηρείται ότι μικρή αύξηση του λόγου  $R_c/H_i$  έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη μείωση της τιμής του συντελεστή μετάδοσης. Για μεγάλες τιμές του λόγου ο συντελεστής μετάδοσης τείνει να σταθεροποιηθεί. Τα παραπάνω ισχύουν σε μικρότερο βαθμό για την Στάθμη 3 (μικρότερο ελεύθερο περιθώριο) όπου παρατηρείται μια σχετική σταθερότητα του συντελεστή μετάδοσης παρά το γεγονός ότι ο λόγος  $R_c/H_i$  παίρνει μόνο μικρές τιμές σε σχέση με τις άλλες δύο Στάθμες.

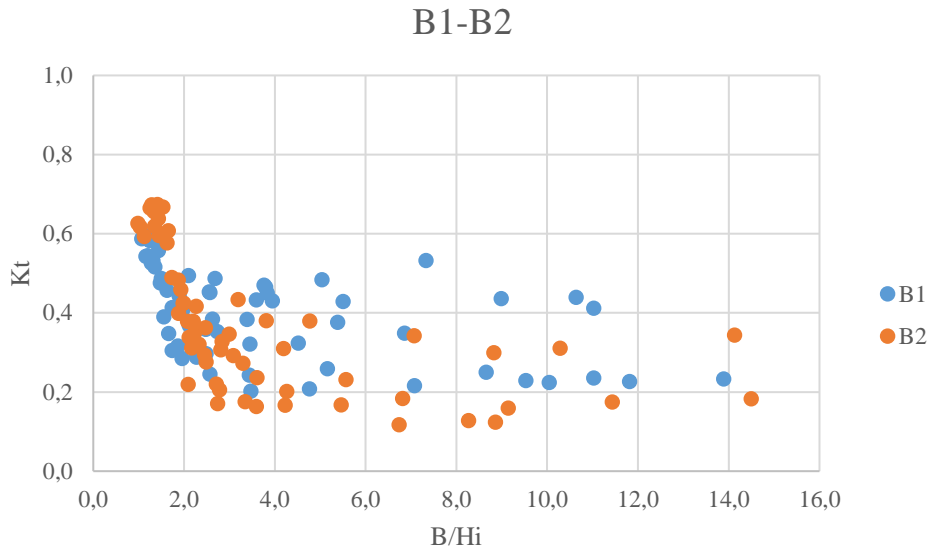
Συντελεστής μετάδοσης Kt-πλάτος στέγης προς ύψος εισερχόμενου κύματος (B/Hi)



Σχήμα 6.4. Διάγραμμα Kt-B/Hi για τον κυματοθραύστη B1 ανά Στάθμη



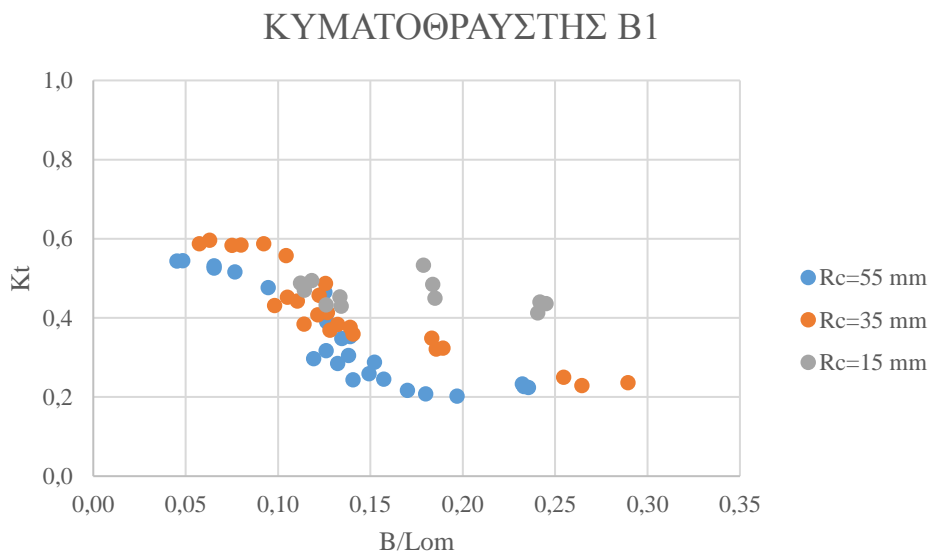
Σχήμα 6.5. Διάγραμμα Kt-B/Hi για τον κυματοθραύστη B2 ανά Στάθμη



**Σχήμα 6.6.** Διάγραμμα  $K_t$ - $B/H_i$  συγκριτικό για τους κυματοθραύστες B1, B2

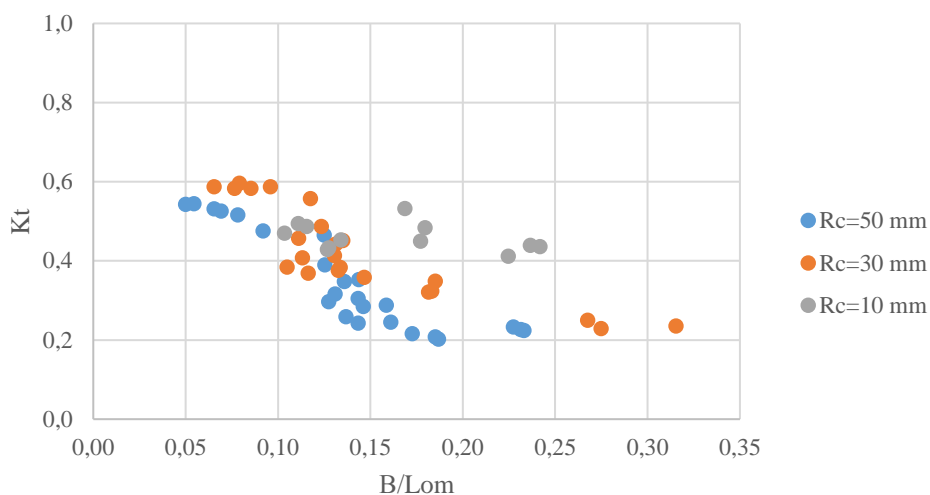
Αντιστρόφως ανάλογη προκύπτει η σχέση του συντελεστή μετάδοσης με το λόγο του πλάτους στέψης προς το εισερχόμενο ύψος κύματος ( $B/H_i$ ). Για τον κυματοθραύστη B2 η επίδραση αυτή είναι εντονότερη ενώ για τιμές του λόγου  $B/H_i$  μεγαλύτερες από 4 ο συντελεστής μετάδοσης τείνει να σταθεροποιηθεί και για τους δύο κυματοθραύστες.

**Συντελεστής μετάδοσης  $K_t$ -πλάτος στέψης προς μήκος εισερχόμενου κύματος ( $B/L_{om}$ )**



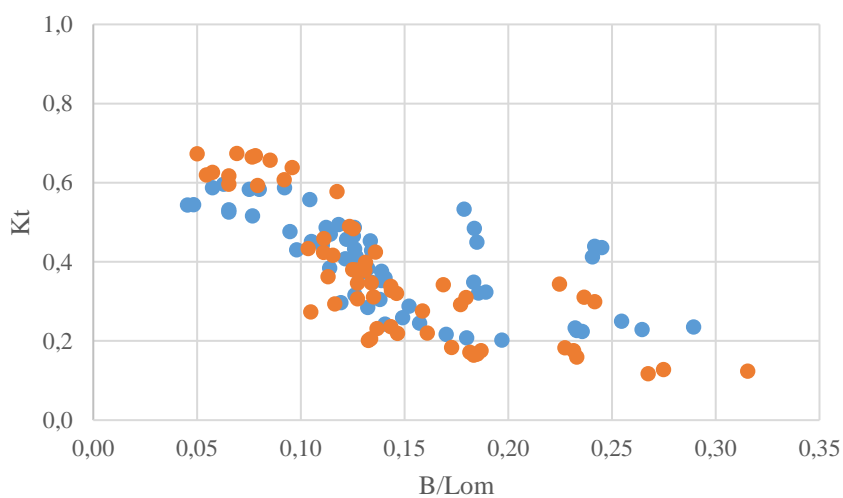
**Σχήμα 6.7.** Διάγραμμα  $K_t$ - $B/L_{om}$  για τον κυματοθραύστη B1 ανά Στάθμη

### ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ B2



Σχήμα 6.8. Διάγραμμα  $K_t$ - $B/L_{om}$  για τον κυματοθραύστη B2 ανά Στάθμη

### B1-B2

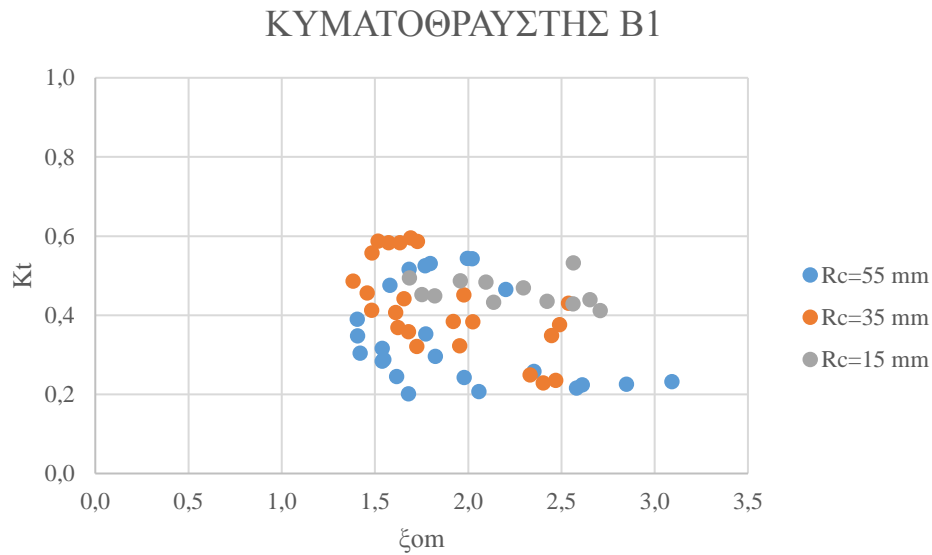


Σχήμα 6.9. Διάγραμμα  $K_t$ - $B/L_{om}$  συγκριτικό για τους κυματοθραύστες B1, B2

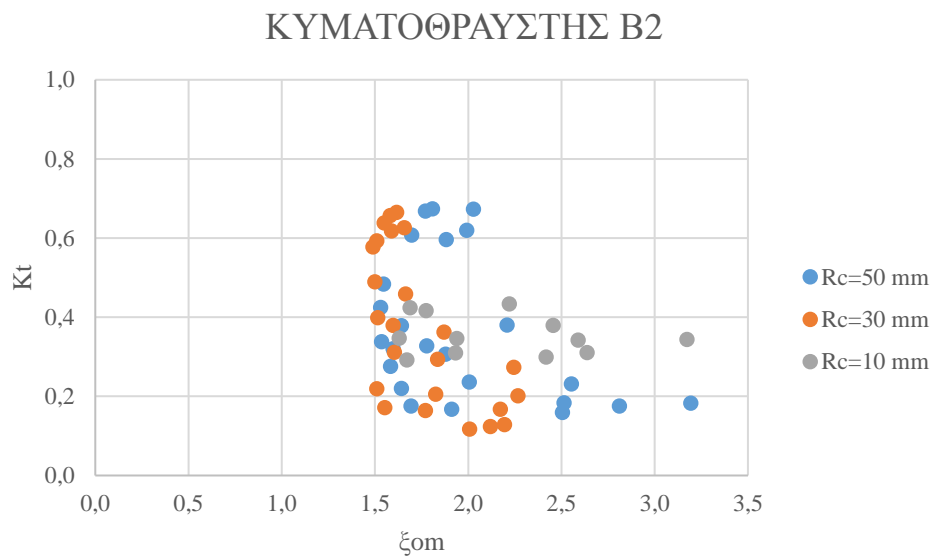
Σχεδόν γραμμική μείωση παρουσιάζει ο συντελεστής μετάδοσης  $K_t$  ως αποτέλεσμα αύξησης του λόγου του πλάτους στέψης προς το μήκος του εισερχόμενου κύματος ( $B/L_{om}$ ). Ειδικότερα για τιμές του  $B/L_{om}$  μεταξύ 0,10 και 0,20 παρατηρείται μεγαλύτερη επιρροή της παραμέτρου αυτής στο συντελεστή μετάδοσης, καθώς μικρές μεταβολές της τιμής του  $B/L_{om}$  συνεπάγονται απότομες μεταβολές του  $K_t$ .



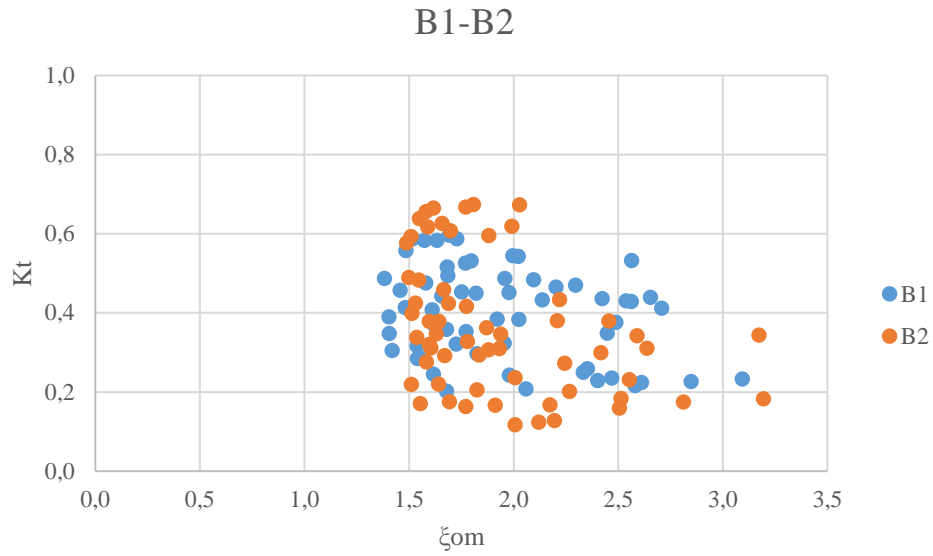
Συντελεστής μετάδοσης  $K_t$ -Παράμετρος θραύσης  $\xi$  (υπολογισμένη με βάση το  $T_m$  και το  $T_p$ )



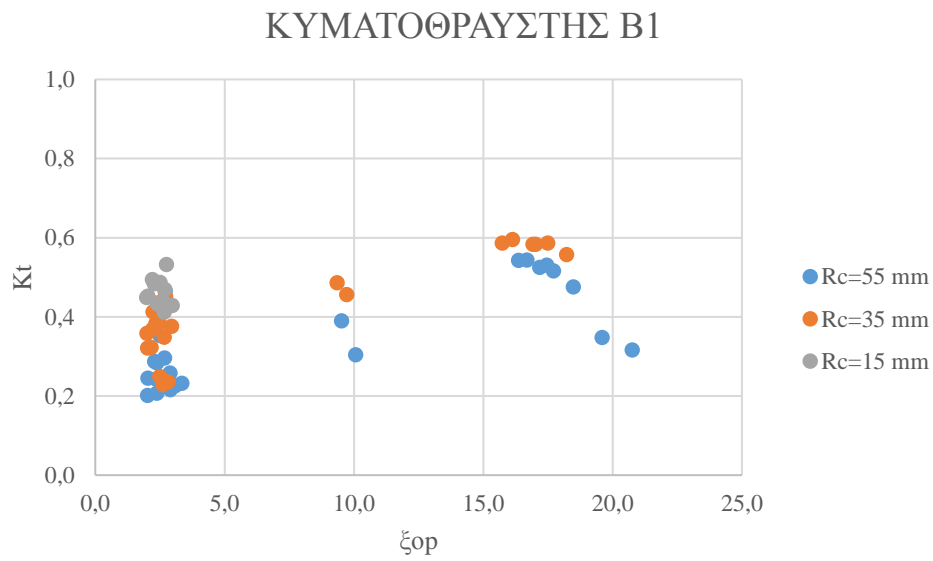
Σχήμα 6.10. Διάγραμμα  $K_t$ - $\xi_{om}$  για τον κυματοθραύστη Β1 ανά Στάθμη



Σχήμα 6.11. Διάγραμμα  $K_t$ - $\xi_{om}$  για τον κυματοθραύστη Β2 ανά Στάθμη

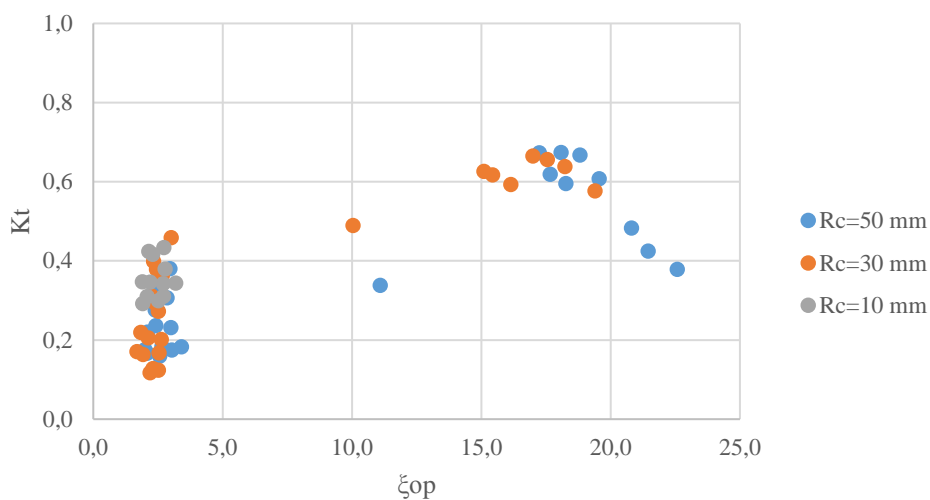


**Σχήμα 6.12.** Διάγραμμα  $K_t$ - $\xi_{om}$  συγκριτικό για τους κυματοθραύστες B1, B2



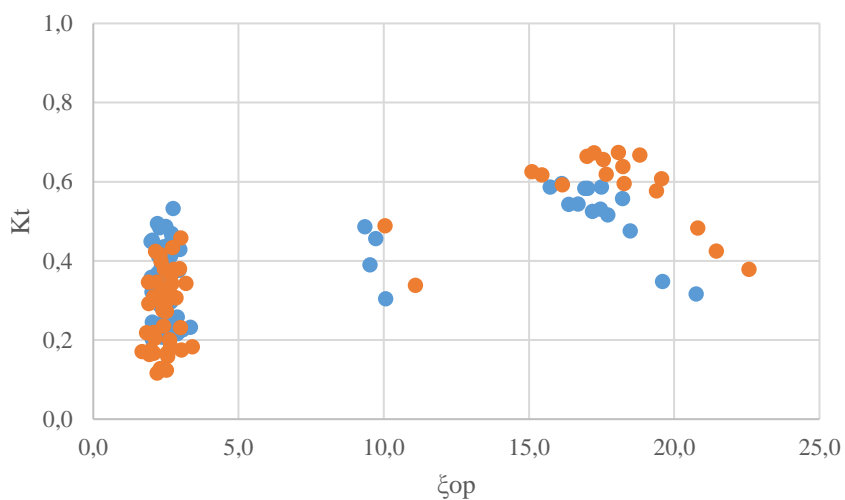
**Σχήμα 6.13.** Διάγραμμα  $K_t$ - $\xi_{op}$  για τον κυματοθραύστη B1 ανά Στάθμη

### ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ B2



Σχήμα 6.14. Διάγραμμα  $K_t$ - $\xi_{op}$  για τον κυματοθραύστη B2 ανά Στάθμη

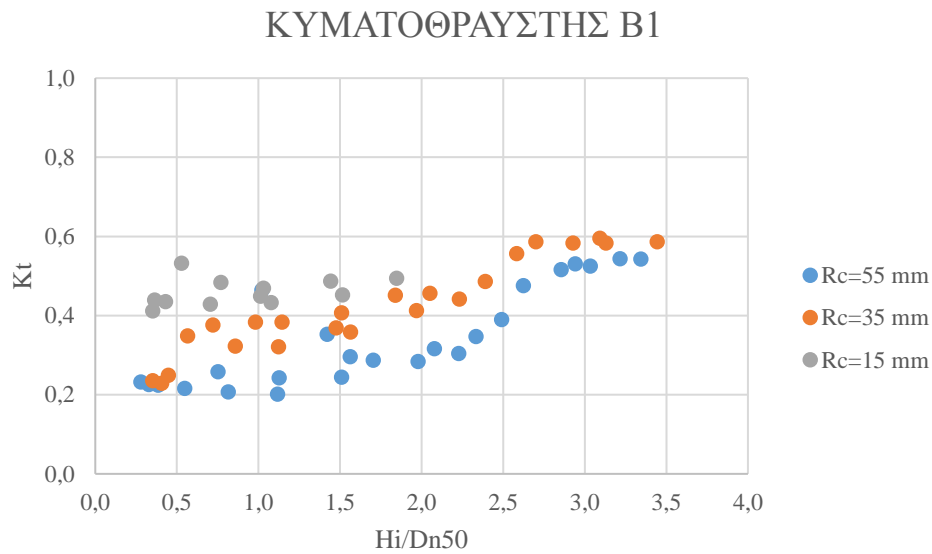
### B1-B2



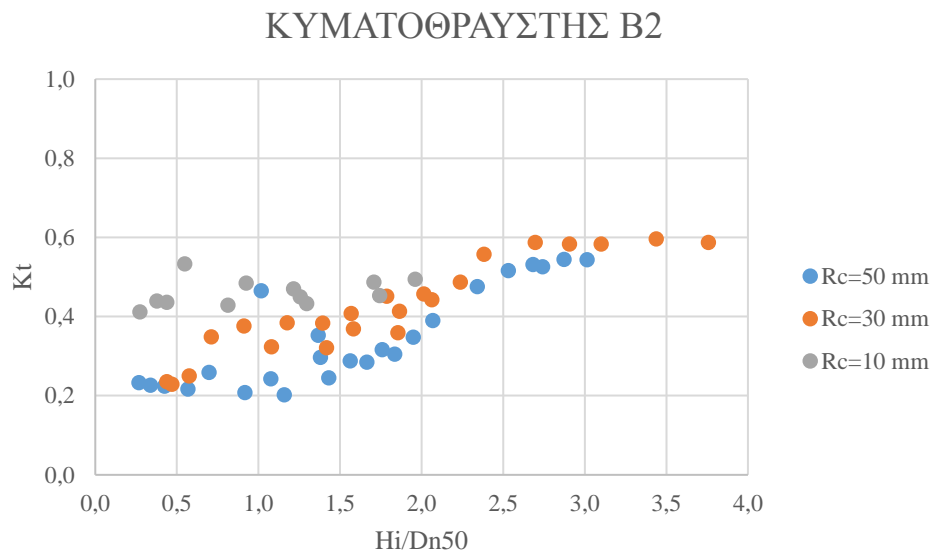
Σχήμα 6.15. Διάγραμμα  $K_t$ - $\xi_{op}$  συγκριτικό για τους κυματοθραύστες B1, B2

Από τη μορφή των παραπάνω διαγραμμάτων (Σχήματα 6.10-6.15) δε φαίνεται να μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για την επίδραση του συντελεστή θραύσεως  $\xi$  στον συντελεστή μετάδοσης καθώς δεν μπορεί να εντοπιστεί κάποιος κανόνας επίδρασης της παραμέτρου στην τιμή του συντελεστή μετάδοσης.

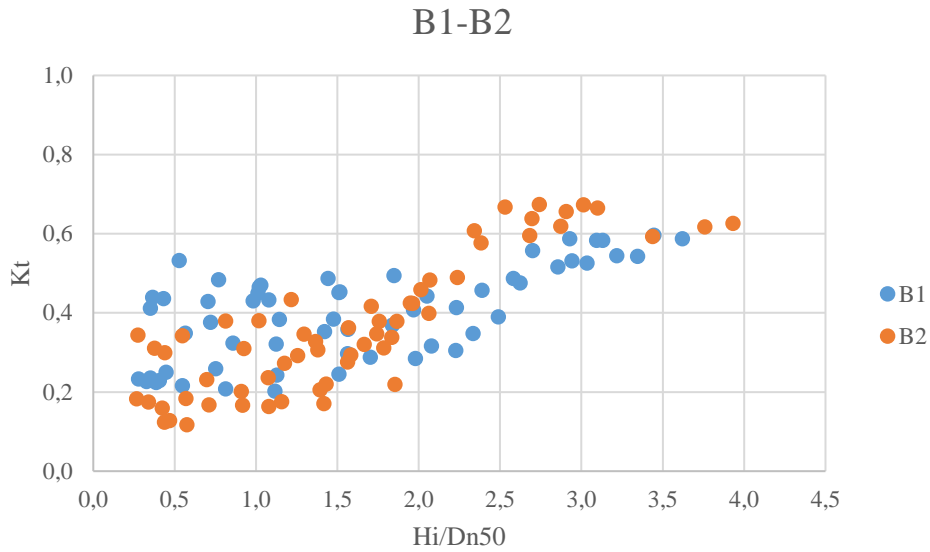
Συντελεστής μετάδοσης  $K_t$ -εισερχόμενο ύψος κύματος προς μέση διάμετρο λίθων  
( $H_i/D_{n50}$ )



Σχήμα 6.16. Διάγραμμα  $K_t$ - $H_i/D_{n50}$  για τον κυματοθραύστη Β1 ανά Στάθμη



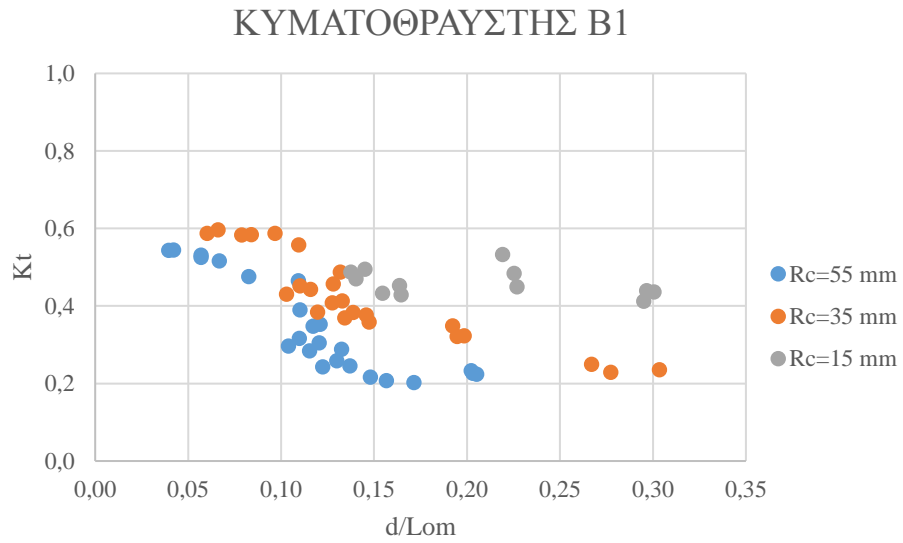
Σχήμα 6.17. Διάγραμμα  $K_t$ -  $H_i/D_{n50}$  για τον κυματοθραύστη Β2 ανά Στάθμη



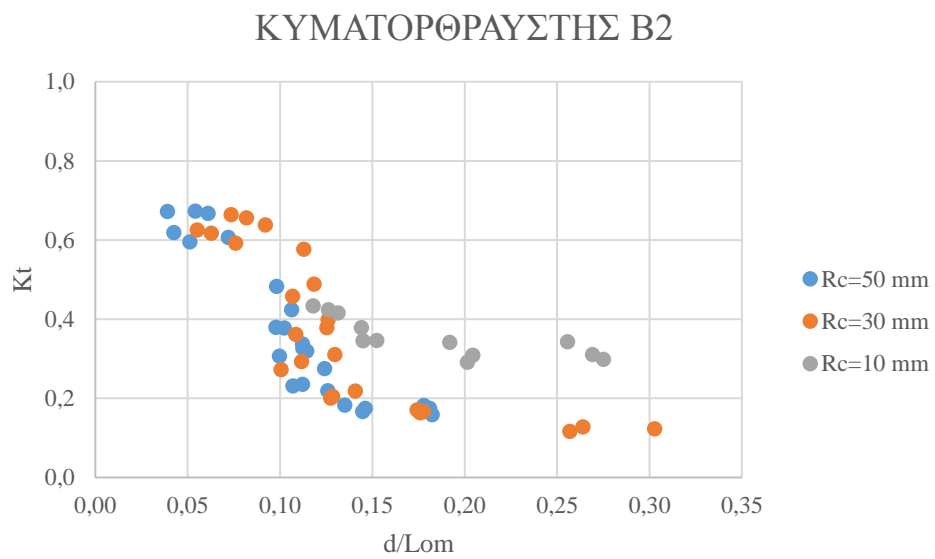
**Σχήμα 6.18.** Διάγραμμα  $K_t$ - $H_i/D_n50$  συγκριτικό για τους κυματοθραύστες B1, B2

Από τα Σχήματα 6.16 6.17 και 6.18 προκύπτει σχέση ανάλογη του συντελεστή μετάδοσης με το λόγο  $H_i/D_n50$  αφού αύξηση του  $H_i/D_n50$  συνεπάγεται αύξηση και του  $K_t$  για τις Στάθμες 1 και 2 (μεγάλο και μεσαίο ελεύθερο περιθώριο αντίστοιχα) και για τους δύο κυματοθραύστες και μάλιστα παρατηρείται μικρή αύξηση του  $K_t$  ως αποτέλεσμα αύξησης του  $H_i/D_n50$  για τιμές του τελευταίου μέχρι 2, για τιμές του λόγου  $H_i/D_n50$  από 2 έως 2,5 η αύξηση του  $K_t$  είναι εντονότερη, ενώ ο συντελεστής μετάδοσης τείνει να σταθεροποιηθεί για τιμές του  $H_i/D_n50$  μεγαλύτερες από 2,5. Για τη Στάθμη 3, με το μικρότερο ελεύθερο περιθώριο, ο συντελεστής μετάδοσης παρουσιάζει σταθερότητα με μικρές διακυμάνσεις.

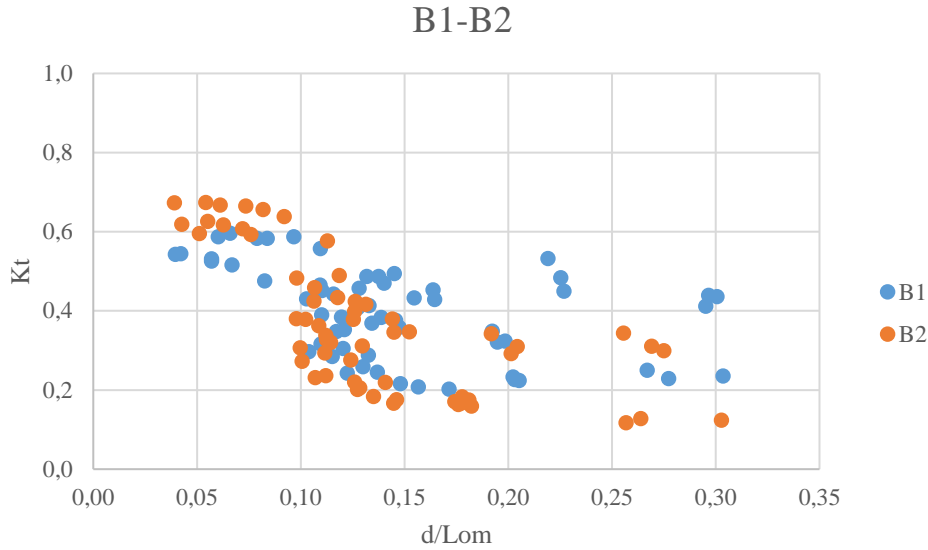
**Συντελεστές μετάδοσης  $K_t$ - Βάθος στον πόδα του κυματοθραύστη προς μήκος εισερχόμενου κύματος ( $d/L_{om}$ )**



**Σχήμα 6.19.** Διάγραμμα  $K_t$ -  $d/L_{om}$  για τον κυματοθραύστη Β1 ανά Στάθμη



**Σχήμα 6.20.** Διάγραμμα  $K_t$ - $d/L_{om}$  για τον κυματοθραύστη Β2 ανά Στάθμη



**Σχήμα 6.21.** Διάγραμμα Kt-d/Lom για τους κυματοθραύστες B1, B2

Αντιστρόφως ανάλογη προκύπτει η σχέση των δύο μεγεθών αφού αύξηση του λόγου d/Lom συνεπάγεται μείωση του συντελεστή μετάδοσης Kt. Ελαφρώς εντονότερη η μείωση για τον κυματοθραύστη B2 για μικρές τιμές του λόγου d/Lom.

## 6.2 Σχετικοί συντελεστές κυματικής μετάδοσης

Για να διερευνηθεί η κυματική διαταραχή στην περιοχή των κυματοθραυστών υπολογίστηκαν οι σχετικοί συντελεστές κυματικής μετάδοσης RKh για διάφορα σημεία, οι οποίοι ορίστηκαν:

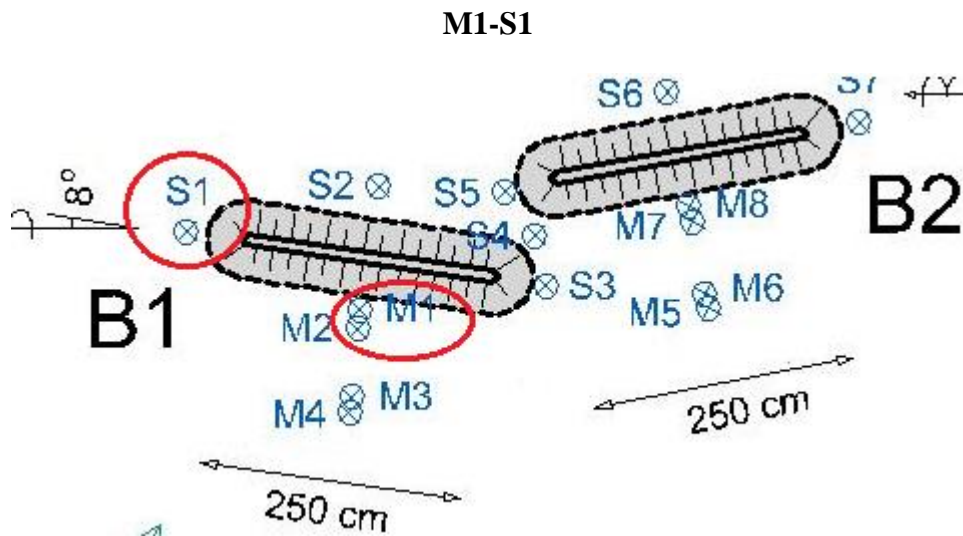
$$RKh = \frac{Ht}{Hi} \quad (6.1)$$

Συγκεκριμένα υπολογίστηκε ο συντελεστής Rh μεταξύ των εξής μετρητών:

- M1-S1, Ht=H<sub>S1</sub> και Hi=H<sub>M1</sub>
- M8-S7, Ht=H<sub>S7</sub> και Hi=H<sub>M8</sub>
- M1-S4, Ht=H<sub>S4</sub> και Hi=H<sub>M1</sub>
- M8-S4, Ht=H<sub>S4</sub> και Hi=H<sub>M8</sub>
- S3-S5 μόνο για τη στάθμη 3, Ht=H<sub>S5</sub> και Hi=H<sub>S3</sub>

Οι σχετικοί αυτοί συντελεστές που υπολογίστηκαν συγκρίθηκαν με τον συντελεστή μετάδοσης του κυματοθραύστη με τον οποίο αλληλεπιδρούν.

Οι τιμές που προέκυψαν παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.1- 6.5



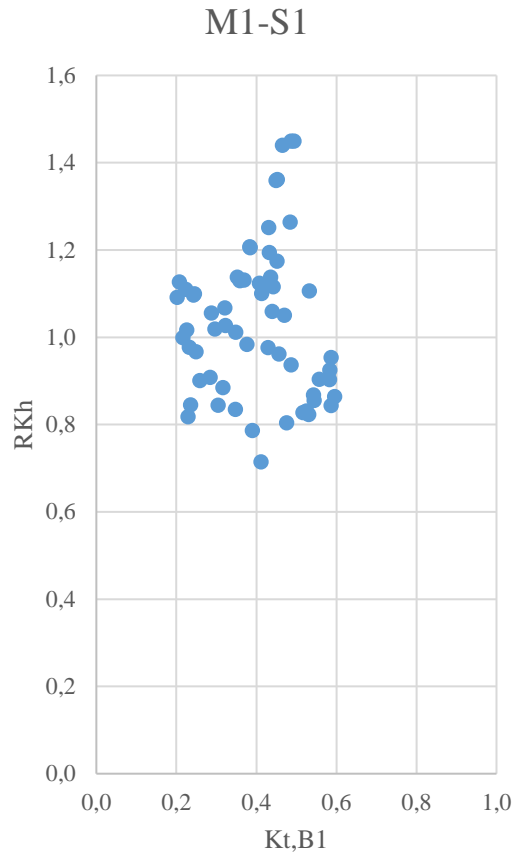
Σχήμα 6.22. Θέσεις μετρητών

Πίνακας 6.1. Τιμές συντελεστή RKh μεταξύ μετρητών M1-S1

ΣΤΑΘΜΗ 1		ΣΤΑΘΜΗ 2		ΣΤΑΘΜΗ 3	
Κωδικός πειράματος	RKh	Κωδικός πειράματος	RKh	Κωδικός πειράματος	RKh
1.1	0,977	2.1	0,845	3.1	0,715
1.2	1,017	2.2	0,818	3.2	1,059
1.3	1,110	2.3	0,967	3.3	1,137
1.4	0,999	2.4	1,011	3.4	1,106
1.5	1,127	2.5	1,027	3.5	1,264
1.6	1,091	2.6	1,067	3.6	1,359
1.7	0,901	2.7	0,983	3.7	0,977
1.8	1,096	2.8	1,207	3.8	1,194
1.9	1,099	2.9	1,130	3.9	1,362
1.10	1,440	2.10	1,252	3.10	1,050
1.11	1,137	2.11	1,205	3.11	1,450
1.12	1,056	2.12	1,131	3.12	1,449



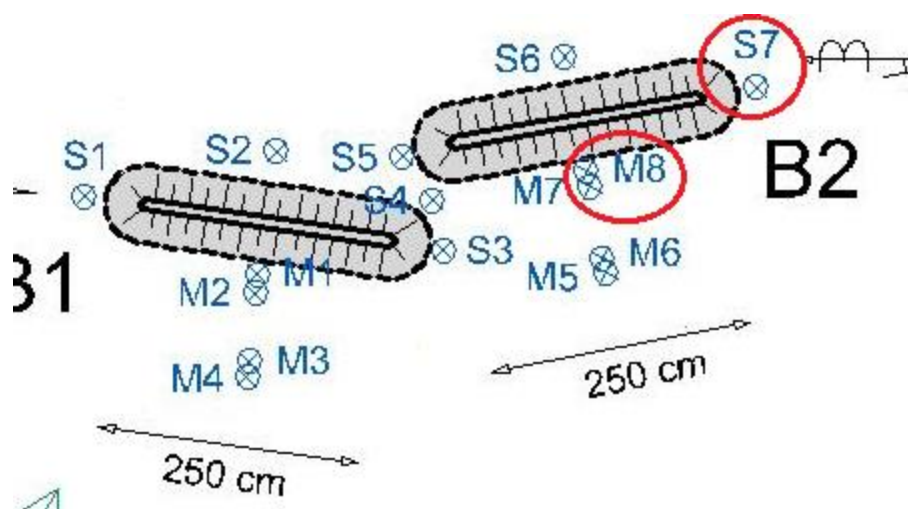
<b>1.13</b>	1,019	<b>2.13</b>	1,174
<b>1.14</b>	0,908	<b>2.14</b>	1,123
<b>1.15</b>	0,844	<b>2.15</b>	1,100
<b>1.16</b>	0,884	<b>2.16</b>	1,116
<b>1.17</b>	0,835	<b>2.17</b>	0,961
<b>1.18</b>	0,786	<b>2.18</b>	0,936
<b>1.19</b>	0,804	<b>2.19</b>	0,904
<b>1.20</b>	0,827	<b>2.20</b>	0,953
<b>1.21</b>	0,831	<b>2.21</b>	0,925
<b>1.22</b>	0,823	<b>2.22</b>	0,903
<b>1.23</b>	0,855	<b>2.23</b>	0,864
<b>1.24</b>	0,868	<b>2.24</b>	0,843



**Σχήμα 6.23.** Διάγραμμα Kt,B1-RKh μεταξύ μετρητών M1-S1

Μεγάλες διακυμάνσεις παρουσιάζει ο σχετικός συντελεστής RKh για μικρό εύρος τιμών του συντελεστή μετάδοσης Kt όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.23. Η μετάδοση των κυματισμών στο πλάι του κυματοθραύστη B1 (θέση μετρητή S1), την οποία απεικονίζει ο συντελεστής RKh, είναι για όλες τις μετρήσεις μεγαλύτερη από την μετάδοση πίσω από τον B1, την οποία απεικονίζει ο συντελεστής μετάδοσης Kt. Ακόμα παρατηρείται ότι για τιμή του συντελεστή μετάδοσης (η οποία δεν είναι η μέγιστη) κοντά στο 0,5 , ο συντελεστής RKh μεγιστοποιείται και φτάνει κοντά στο 1,5.

M8-S7

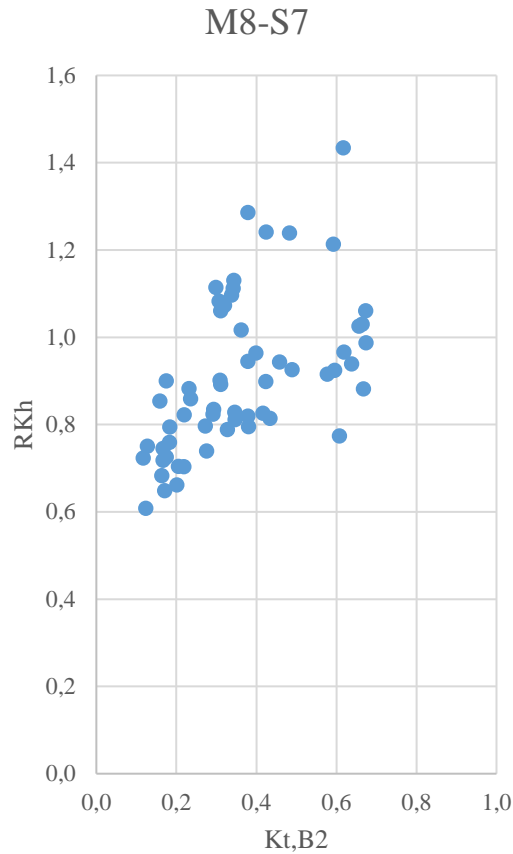


Σχήμα 6.24. Θέσεις μετρητών

Πίνακας 6.2. Τιμές συντελεστή RKh μεταξύ μετρητών M8-S7

ΣΤΑΘΜΗ 1		ΣΤΑΘΜΗ 2		ΣΤΑΘΜΗ 3	
Κωδικός πειράματος	RKh	Κωδικός πειράματος	RKh	Κωδικός πειράματος	RKh
1.1	0,759	2.1	0,608	3.1	1,130
1.2	0,900	2.2	0,750	3.2	1,061
1.3	0,854	2.3	0,723	3.3	1,114
1.4	0,795	2.4	0,745	3.4	1,112
1.5	0,718	2.5	0,683	3.5	0,901
1.6	0,726	2.6	0,649	3.6	0,824
1.7	0,882	2.7	0,661	3.7	0,819
1.8	0,859	2.8	0,704	3.8	0,828
1.9	0,822	2.9	0,704	3.9	0,811

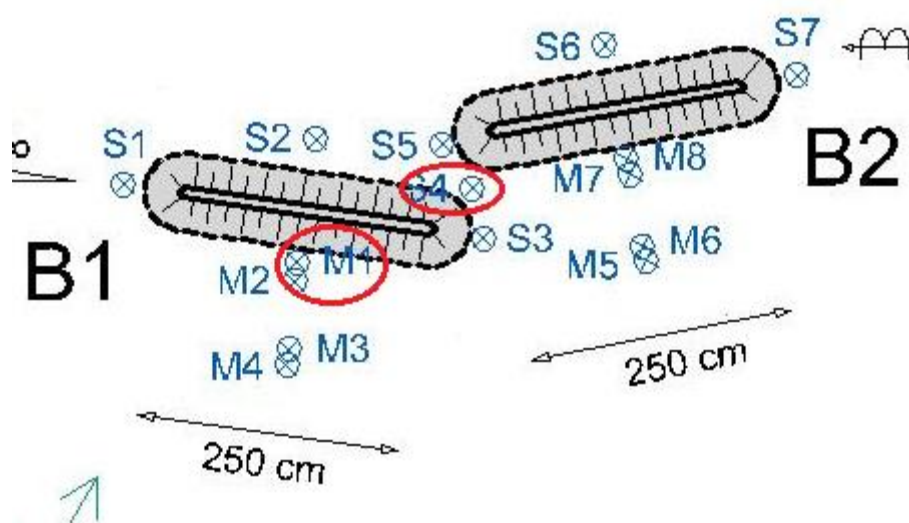
<b>1.10</b>	0,795	<b>2.10</b>	0,797	<b>3.10</b>	0,814
<b>1.11</b>	0,788	<b>2.11</b>	0,834	<b>3.11</b>	0,825
<b>1.12</b>	0,739	<b>2.12</b>	0,892	<b>3.12</b>	0,898
<b>1.13</b>	1,083	<b>2.13</b>	1,017		
<b>1.14</b>	1,073	<b>2.14</b>	0,945		
<b>1.15</b>	1,096	<b>2.15</b>	0,964		
<b>1.16</b>	1,285	<b>2.16</b>	0,943		
<b>1.17</b>	1,241	<b>2.17</b>	0,926		
<b>1.18</b>	1,239	<b>2.18</b>	0,915		
<b>1.19</b>	0,774	<b>2.19</b>	0,939		
<b>1.20</b>	0,882	<b>2.20</b>	1,025		
<b>1.21</b>	0,987	<b>2.21</b>	1,030		
<b>1.22</b>	0,924	<b>2.22</b>	1,213		
<b>1.23</b>	0,966	<b>2.23</b>	1,434		
<b>1.24</b>	1,061	<b>2.24</b>	1,650		



**Σχήμα 6.25.** Διάγραμμα Kt,B1-RKh μεταξύ μετρητών M8-S7

Παρατηρείται αναλογική σχέση της κυματικής μετάδοσης στο πλάι του κυματοθραύστη B2 (θέση μετρητή S7) και του συντελεστή μετάδοσης πίσω από αυτόν, με τιμές του σχετικού συντελεστή RKh από 0,6 έως και λίγο πάνω από 1 για το μεγαλύτερο εύρος τιμών του συντελεστή μετάδοσης Kt. Μόνο για κάποιες τιμές του συντελεστή Kt από 0,4 έως και 0,6 περίπου παρατηρείται πολύ έντονη αύξηση του συντελεστή RKh και συνεπώς της μετάδοσης στο πλάι του B2.

M1-S4



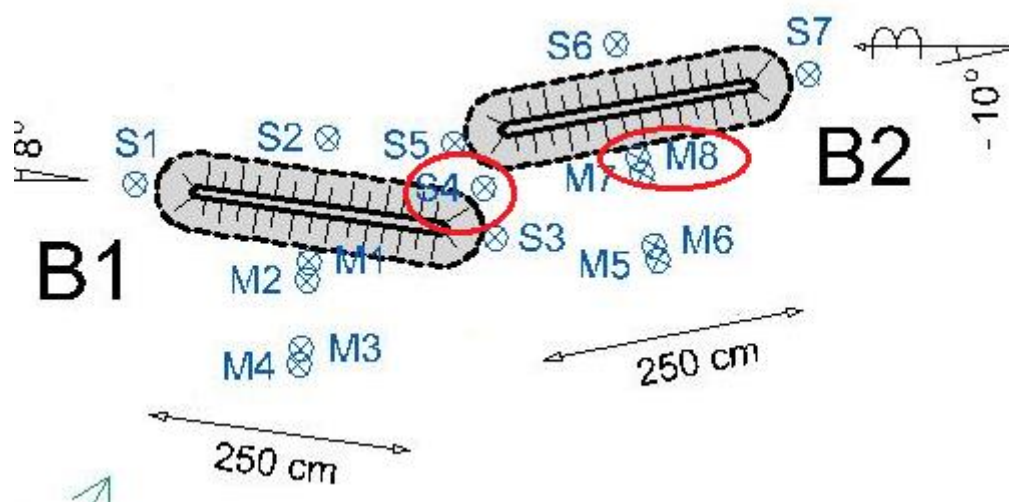
Σχήμα 6.26. Θέσεις μετρητών

Πίνακας 6.3. Τιμές συντελεστή RKh μεταξύ μετρητών M1-S4

ΣΤΑΘΜΗ 1		ΣΤΑΘΜΗ 2		ΣΤΑΘΜΗ 3	
Κωδικός πειράματος	RKh	Κωδικός πειράματος	RKh	Κωδικός πειράματος	RKh
1.1	0,442	2.1	0,455	3.1	0,595
1.2	0,516	2.2	0,583	3.2	0,666
1.3	0,542	2.3	0,613	3.3	0,706
1.4	0,520	2.4	0,646	3.4	0,757
1.5	0,552	2.5	0,611	3.5	0,727
1.6	0,530	2.6	0,659	3.6	0,691
1.7	0,497	2.7	0,661	3.7	0,746
1.8	0,513	2.8	0,617	3.8	0,686
1.9	0,507	2.9	0,596	3.9	0,618
1.10	1,022	2.10	0,754	3.10	0,748

<b>1.11</b>	0,578	<b>2.11</b>	0,628	<b>3.11</b>	0,707
<b>1.12</b>	0,545	<b>2.12</b>	0,604	<b>3.12</b>	0,640
<b>1.13</b>	0,530	<b>2.13</b>	0,666		
<b>1.14</b>	0,529	<b>2.14</b>	0,660		
<b>1.15</b>	0,531	<b>2.15</b>	0,644		
<b>1.16</b>	0,554	<b>2.16</b>	0,686		
<b>1.17</b>	0,573	<b>2.17</b>	0,670		
<b>1.18</b>	0,577	<b>2.18</b>	0,671		
<b>1.19</b>	0,635	<b>2.19</b>	0,748		
<b>1.20</b>	0,642	<b>2.20</b>	0,783		
<b>1.21</b>	0,632	<b>2.21</b>	0,777		
<b>1.22</b>	0,661	<b>2.22</b>	0,785		
<b>1.23</b>	0,648	<b>2.23</b>	0,707		
<b>1.24</b>	0,654	<b>2.24</b>	0,972		

### M8-S4



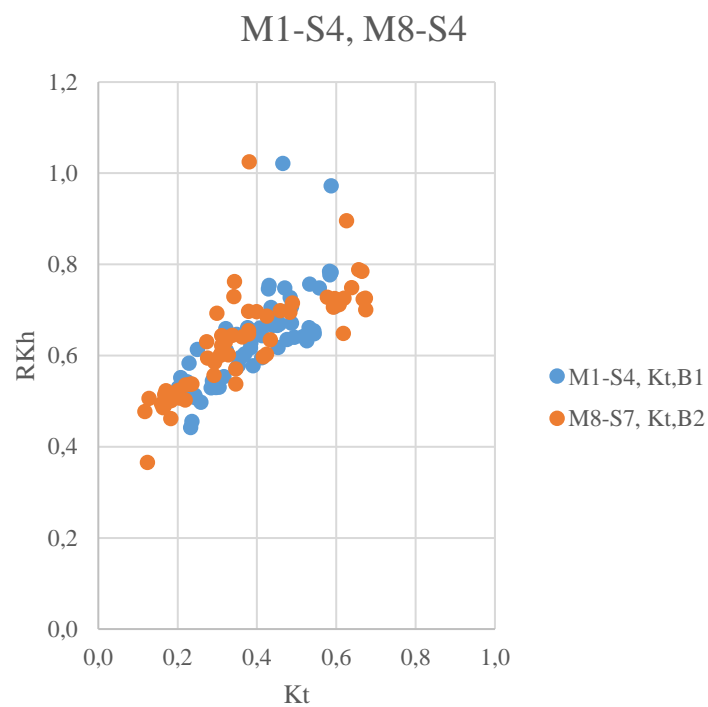
Σχήμα 6.27. Θέσεις μετρητών

Πίνακας 6.4. Τιμές συντελεστή RKh μεταξύ μετρητών M8-S4

ΣΤΑΘΜΗ 1		ΣΤΑΘΜΗ 2		ΣΤΑΘΜΗ 3	
Κωδικός πειράματος	RKh	Κωδικός πειράματος	RKh	Κωδικός πειράματος	RKh
1.1	0,462	2.1	0,365	3.1	0,762
1.2	0,499	2.2	0,506	3.2	0,644
1.3	0,494	2.3	0,477	3.3	0,693
1.4	0,501	2.4	0,514	3.4	0,729
1.5	0,490	2.5	0,486	3.5	0,604
1.6	0,511	2.6	0,523	3.6	0,557
1.7	0,537	2.7	0,523	3.7	0,647
1.8	0,538	2.8	0,507	3.8	0,571
1.9	0,535	2.9	0,503	3.9	0,537
1.10	1,025	2.10	0,630	3.10	0,634
1.11	0,602	2.11	0,585	3.11	0,597
1.12	0,594	2.12	0,622	3.12	0,603

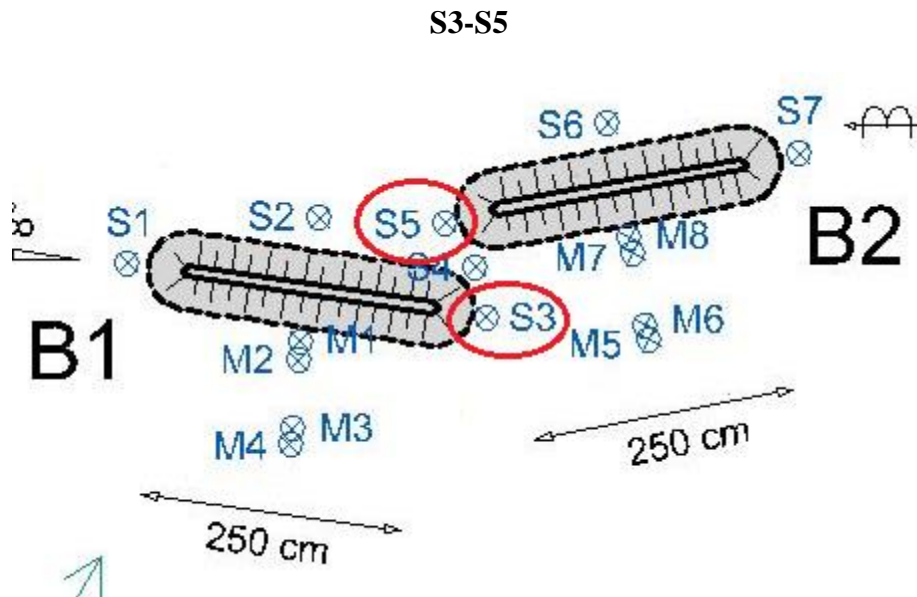


<b>1.13</b>	0,600	<b>2.13</b>	0,641
<b>1.14</b>	0,629	<b>2.14</b>	0,697
<b>1.15</b>	0,644	<b>2.15</b>	0,696
<b>1.16</b>	0,655	<b>2.16</b>	0,699
<b>1.17</b>	0,686	<b>2.17</b>	0,715
<b>1.18</b>	0,695	<b>2.18</b>	0,728
<b>1.19</b>	0,712	<b>2.19</b>	0,749
<b>1.20</b>	0,724	<b>2.20</b>	0,788
<b>1.21</b>	0,700	<b>2.21</b>	0,785
<b>1.22</b>	0,725	<b>2.22</b>	0,706
<b>1.23</b>	0,726	<b>2.23</b>	0,648
<b>1.24</b>	0,726	<b>2.24</b>	0,895



**Σχήμα 6.28.** Διάγραμμα Kt-RKh μεταξύ μετρητών M1-S4 και M8-S4

Στην περιοχή ανάμεσα στους δύο κυματοθραύστες (θέση μετρητή S4) παρατηρείται σχετικά σταθερή αύξηση του σχετικού συντελεστή RKh για αύξηση του συντελεστή μετάδοσης Kt τόσο για τον κυματοθραύστη B1 όσο και για τον B2. Η κυματική διαταραχή στην περιοχή αυτή είναι για όλες τις μετρήσεις ελαφρώς μεγαλύτερη από την αντίστοιχη πίσω από τους κυματοθραύστες με εξαίρεση μερικές μεμονωμένες τιμές του συντελεστή RKh που φτάνουν λίγο πάνω από το 1, για συντελεστή μετάδοσης Kt κοντά στο 0,4 τόσο για τον B1 όσο και για τον B2.



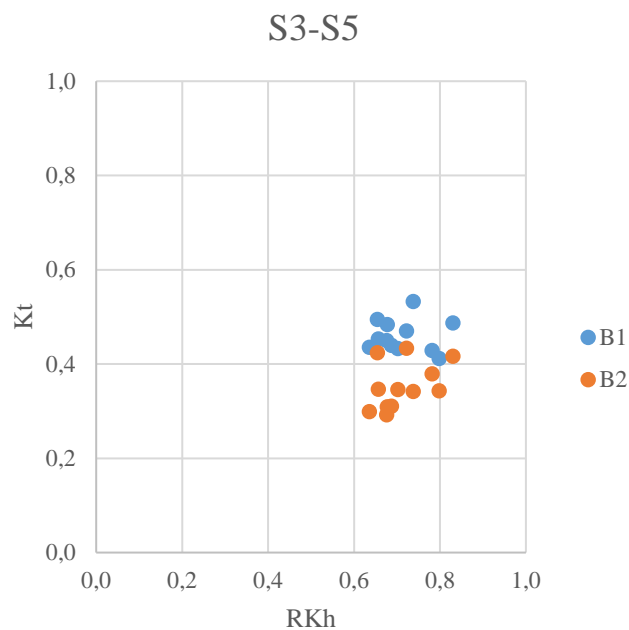
Σχήμα 6.29. Θέσεις μετρητών

Πίνακας 6.5. Τιμές συντελεστή RKh μεταξύ μετρητών S3-S5

ΣΤΑΘΜΗ 3	
Κωδικός πειράματος	RKh
3.1	0,798
3.2	0,686
3.3	0,635
3.4	0,737
3.5	0,677
3.6	0,676

<b>3.7</b>	0,781
<b>3.8</b>	0,701
<b>3.9</b>	0,656
<b>3.10</b>	0,722
<b>3.11</b>	0,830
<b>3.12</b>	0,654

---



**Σχήμα 6.30.** Διάγραμμα Kt-RKh,S3-S5

Η κυματική μετάδοση μεταξύ των θέσεων των μετρητών S3 και S5, δηλαδή διαμέσου των B1 και B2, μελετήθηκε μόνο για την Στάθμη 3 με το μικρότερο ελεύθερο περιθώριο. Προκύπτει για τον κυματοθραύστη B1 σταθερή και ελαφρώς μεγαλύτερη από τη μετάδοση πίσω από τον κυματοθραύστη, ενώ για τον B2 επίσης μεγαλύτερη από την μετάδοση πίσω από τον κυματοθραύστη και με ελαφριά αύξηση ως αποτέλεσμα αύξησης του συντελεστή μετάδοσης.

### 6.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων με σχέσεις από τη βιβλιογραφία

Η σύγκριση γίνεται ανάμεσα στα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα και τους τύπους στους οποίους κατέληξαν οι Van der Meer and Daemen για συμβατικούς κυματοθραύστες το 1991, οι d'Agremond et al. για βυθισμένους και χαμηλής στέψης κυματοθραύστες το 1996 καθώς και οι Van der Meer et al. το 2003.

**Van der Meer and Daemen (1991):**

$$K_t = \alpha \frac{R_c}{D_{n50}} + \beta \quad (6.2)$$

όπου

$$\alpha = 0.031 \frac{H_i}{D_{n50}} - 0.24 \quad (6.3)$$

$$\beta = -5.42s_{op} + 0.0323 \frac{H_i}{D_{n50}} - 0.0017 \left[ \frac{B}{D_{n50}} \right]^{1.84} + 0.51 \quad (6.4)$$

και  $0,075 \leq K_t \leq 0,75$

**d'Agremond et al. (1996):**

$$K_t = -0.4 \frac{R_c}{H_i} + 0.64 \left( \frac{B}{H_i} \right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5\xi}) \quad (6.5)$$

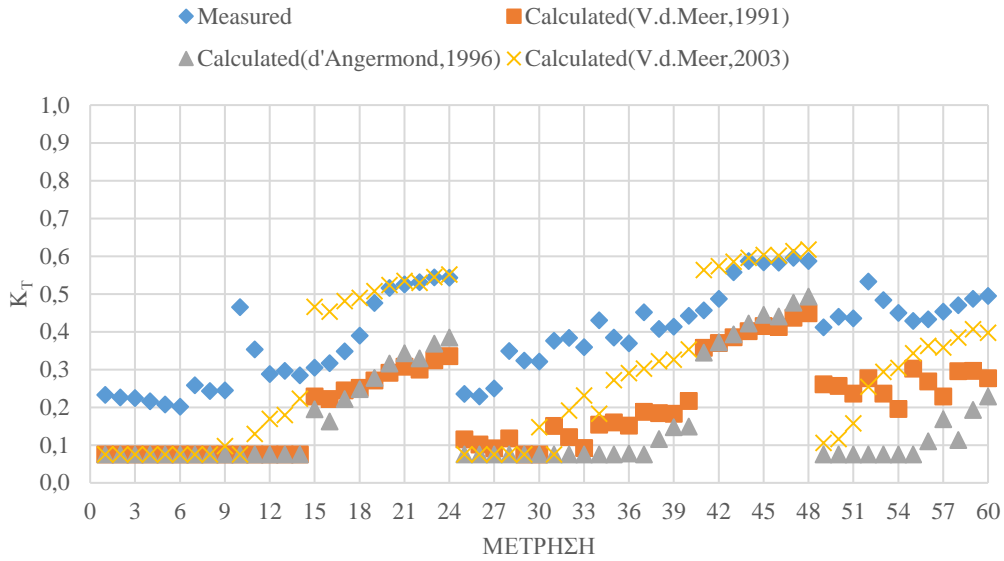
Και  $0,075 \leq K_t \leq 0,8$

**Van der Meer et al. (2003):**

$$K_t = \left( -0.30 \frac{R_c}{H_{is}} + 0.75(1 - e^{-0.5\xi}) \right) (\cos \beta)^{2/3} \quad (6.6)$$

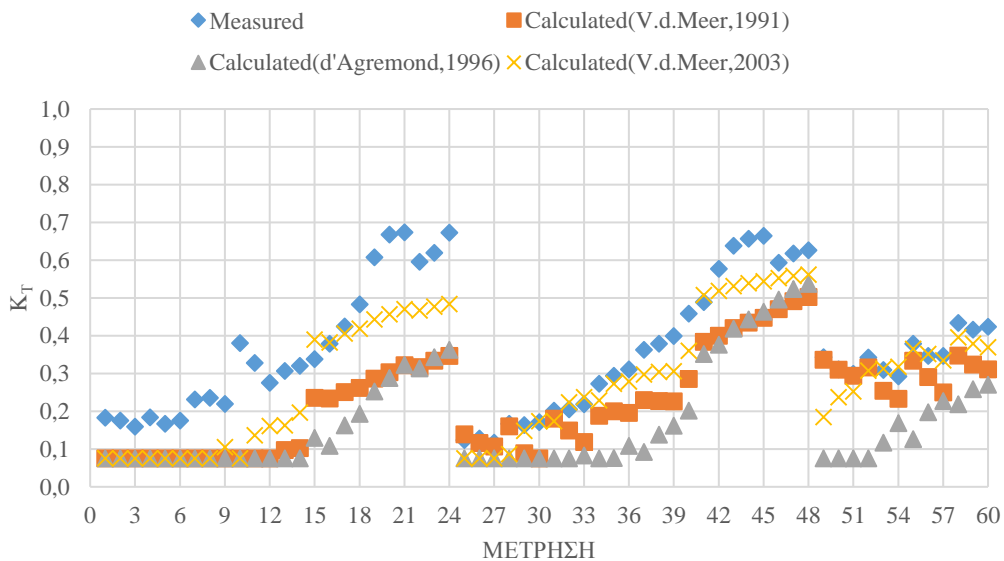
Στα παρακάτω Σχήματα 6.31 και 6.32 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που έδωσαν οι σχέσεις αυτές σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις.

## ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ B1



Σχήμα 6.31. Τιμές  $K_t$  για κάθε μέτρηση για τον κυματοθραύστη B1

## ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ B2



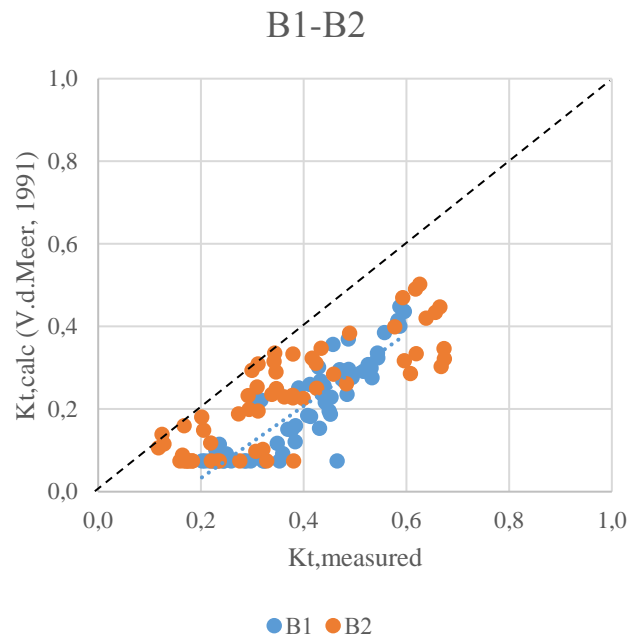
Σχήμα 6.32. Τιμές  $K_t$  για κάθε μέτρηση για τον κυματοθραύστη B2

Παρατηρείται ότι τα πειράματα έδωσαν στην πλειοψηφία των περιπτώσεων μεγαλύτερους συντελεστές μετάδοσης συγκριτικά με τις σχέσεις της βιβλιογραφίας ειδικά για την Στάθμη 1 (μεγαλύτερο  $R_c$ ), όπου ο μετρημένος συντελεστής μετάδοσης παίρνει τιμές ακόμα και διπλάσιες από τις αντίστοιχες που προκύπτουν από τις σχέσεις των Van der Meer and Daemen και d'Agremond. Αντίθετα μικρότερες είναι οι διαφορές με τη σχέση των Van der Meer et al. του 2003. Στις Στάθμες 2 και 3 (μεσαίο και μικρό  $R_c$  αντίστοιχα) τα αποτελέσματα

παρουσιάζουν μεγαλύτερη σύγκλιση και οι διαφορές των πειραματικών με τα υπολογισμένα μεγέθη είναι μικρότερες. Τη μεγαλύτερη απόκλιση σε σχέση με τα μετρημένα μεγέθη παρουσιάζει και πάλι η σχέση των d'Agremond et al, ενώ τα αποτελέσματα των σχέσεων των Van der Meer and Daemen του 1991 και Van der Meer et al του 2003 παρουσιάζουν ικανοποιητική σύγκλιση με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από τις μετρήσεις. Ακόμα αξίζει να αναφερθεί ότι για τις Στάθμες 1 και 2 οι σχέσεις δίνουν σαν αποτέλεσμα την ελάχιστη τιμή  $K_t=0,075$  για μικρά ύψη κύματος.

Στα επόμενα διαγράμματα φαίνεται η συσχέτιση των μετρημένων συντελεστών μετάδοσης με τους υπολογισμένους από τις τρεις σχέσεις.

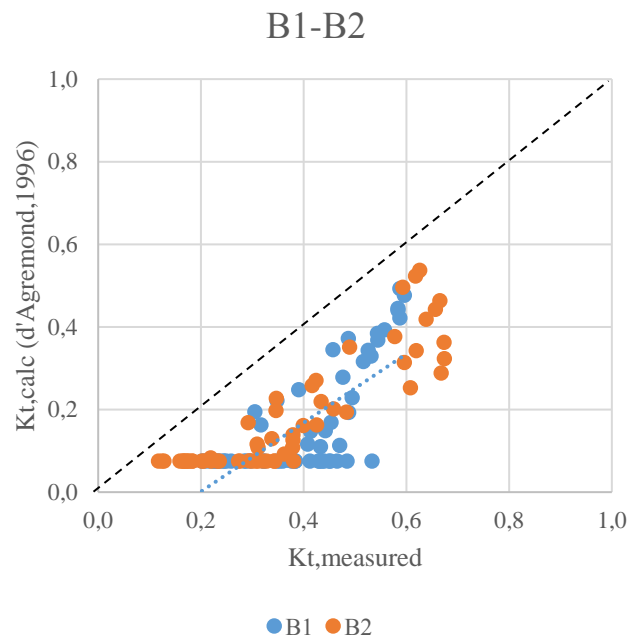
Στο Σχήμα 6.33 γίνεται συσχέτιση με τον τύπο των Van der Meer and Daemen του 1991 για τους κυματοθραύστες B1 και B2.



**Σχήμα 6.33.** Διάγραμμα  $K_{t,measured}$ - $K_{t,calculated}$  (V.d.Meer,1991) για τους κυματοθραύστες B1, B2

B2

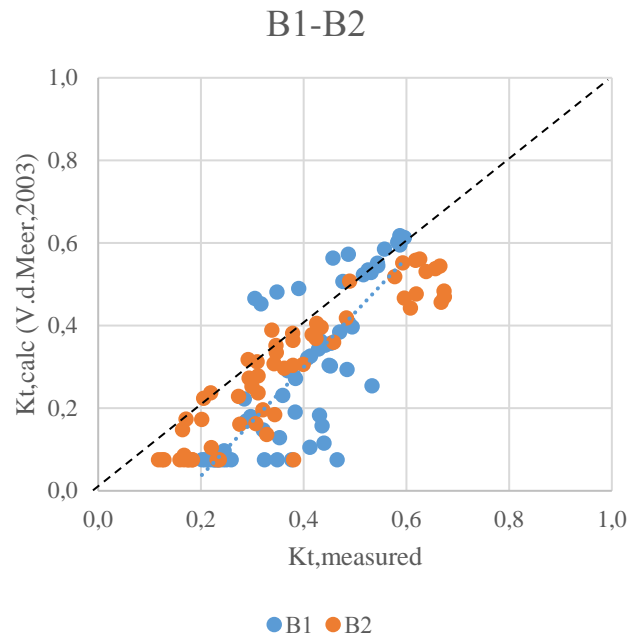
Στο Σχήμα 6.34 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ μετρημένων και προερχόμενων από τον τύπο των d'Agremond et al. του 1996 για B1 και B2.



**Σχήμα 6.34.** Διάγραμμα  $K_{t,measured}$ - $K_{t,calculated}$  (d'Agremond,1996) για τους κυματοθραύστες B1, B2

Και στις δύο περιπτώσεις (Σχήματα 6.33 και 6.34) παρατηρείται απόκλιση των μετρημένων με τα υπολογισμένα αποτελέσματα για τον συντελεστή μετάδοσης. Παρόλα αυτά η κλίση των διαγραμμάτων προσεγγίζει τη θεωρητική περίπτωση όπου οι τιμές των δύο μεγεθών συμπίπτουν. Αυτό σημαίνει ότι με κατάλληλη διερεύνηση των τιμών των σταθερών συντελεστών που υπεισέρχονται στις δύο αριθμητικές σχέσεις μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητική σύγκλιση.

Τέλος στο Σχήμα 6.35 παρουσιάζεται η συσχέτιση με τον τύπο που προτάθηκε από τους V.d.Meer et al. το 2003 για τους κυματοθραύστες B1 και B2.



**Σχήμα 6.35.** Διάγραμμα  $K_{t,measured}$ - $K_{t,calculated}$  (V.d.Meer,2003) για τους κυματοθραύστες B1, B2

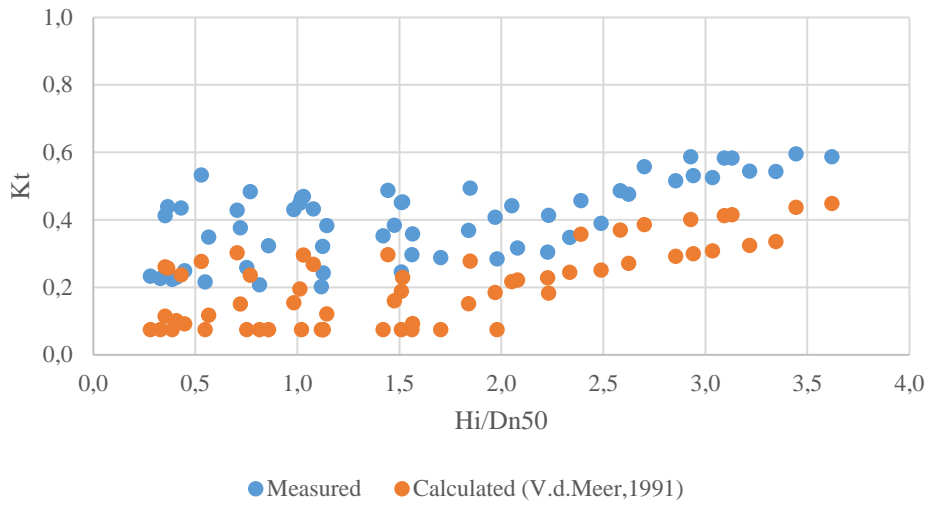
Σύμφωνα με το Σχήμα 6.35 τα προερχόμενα από τις μετρήσεις αποτελέσματα για τον συντελεστή μετάδοσης παρουσιάζουν μεγάλη σύγκλιση με τα αντίστοιχα υπολογισμένα μέσω της σχέσης των Van der Meer et al. του 2003, η οποία λαμβάνει υπόψιν της τη γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών, αντίθετα με τις άλλες δύο σχέσεις που διερευνήθηκαν.

Τέλος στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η σχέση των υπολογισμένων μεγεθών με παραμέτρους που υπεισέρχονται στις μαθηματικές σχέσεις σε σύγκριση με την αντίστοιχη συσχέτιση για τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Συγκεκριμένα για την σχέση των Van der Meer and Daemen με την παράμετρο  $H_i/D_n50$  (Σχήματα 6.36 και 6.37), για την σχέση των d'Agremond et al. με την παράμετρο  $R_c/H_i$  (Σχήματα 6.38 και 6.39) και για την σχέση των Van der Meer et al. επίσης με την παράμετρο  $R_c/H_i$  (Σχήματα 6.40 και 6.41).

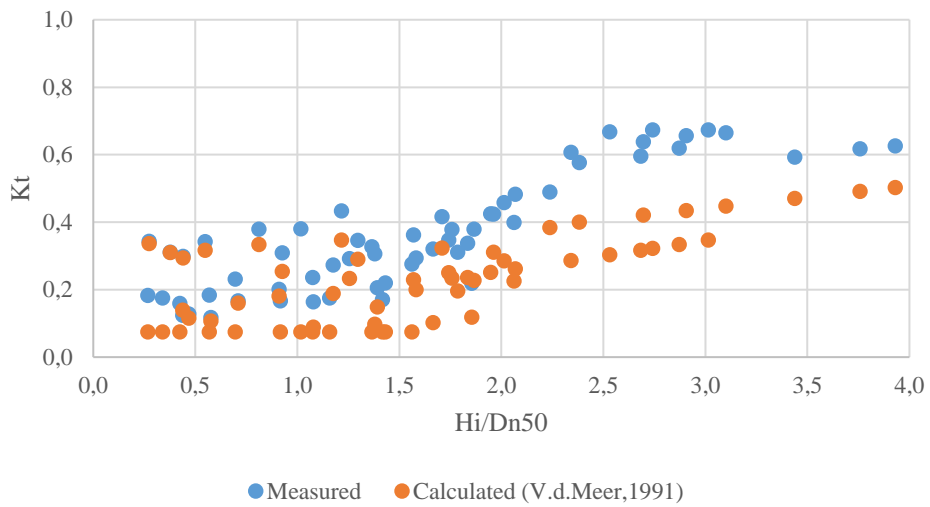


### ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ Β1



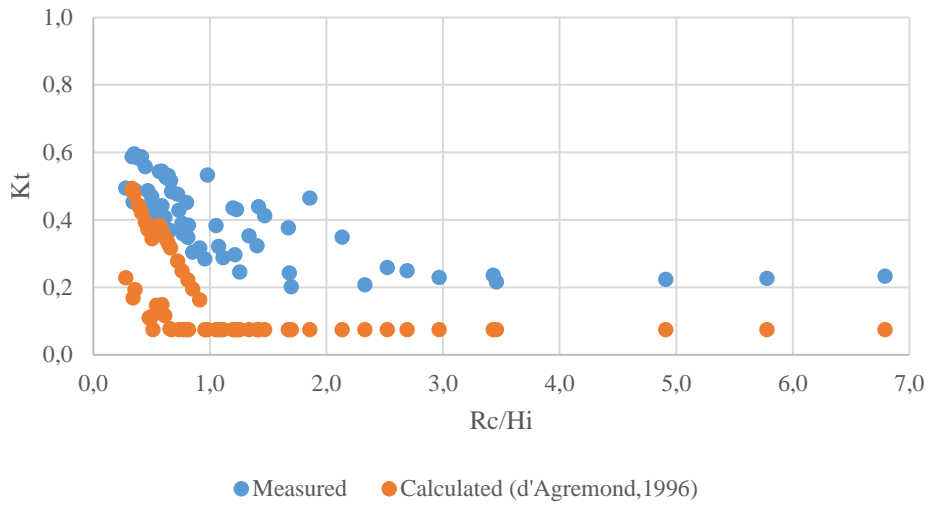
Σχήμα 6.36. Διάγραμμα  $K_t$ (μετρημένο και υπολογισμένο)- $H_i/D_n50$  για τον κυματοθραύστη Β1

### ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ Β2



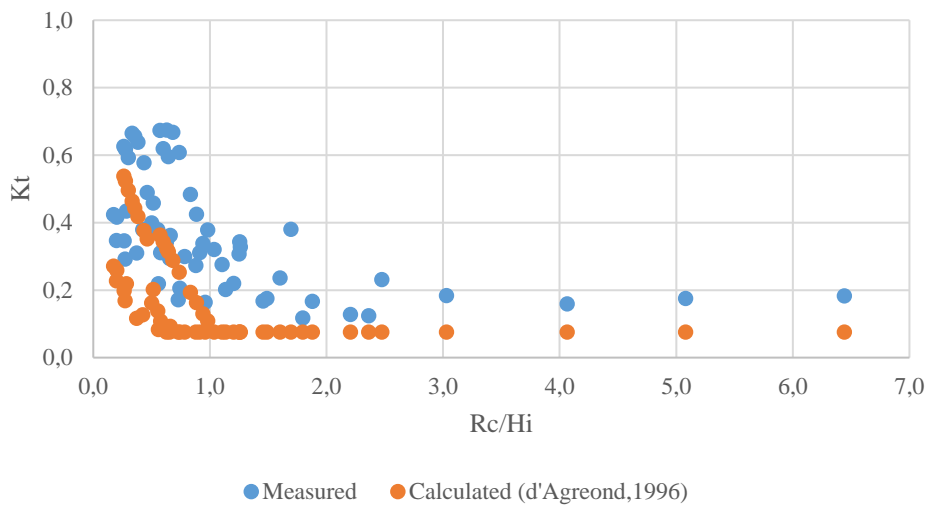
Σχήμα 6.37. Διάγραμμα  $K_t$ (μετρημένο και υπολογισμένο)- $H_i/D_n50$  για τον κυματοθραύστη Β2

### ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ Β1



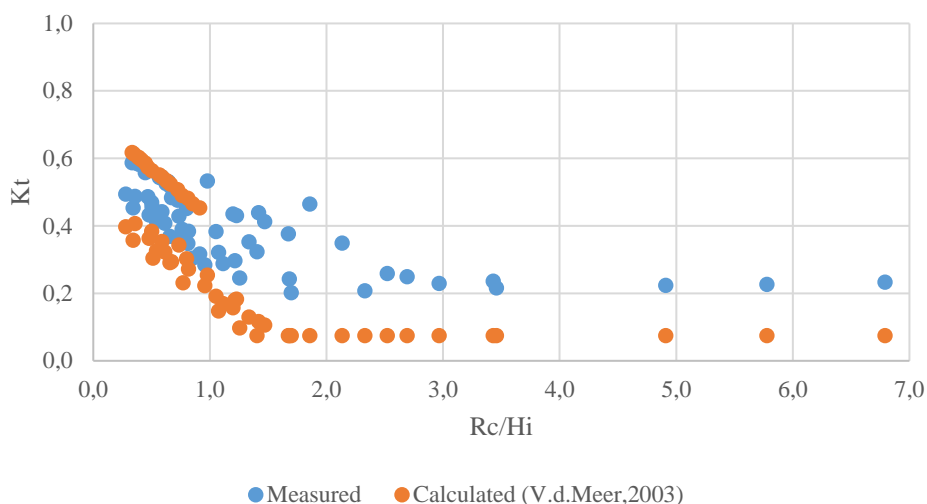
Σχήμα 6.38. Διάγραμμα  $K_t$ (μετρημένο και υπολογισμένο)- $R_c/H_i$  για τον κυματοθραύστη Β1

### ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ Β2



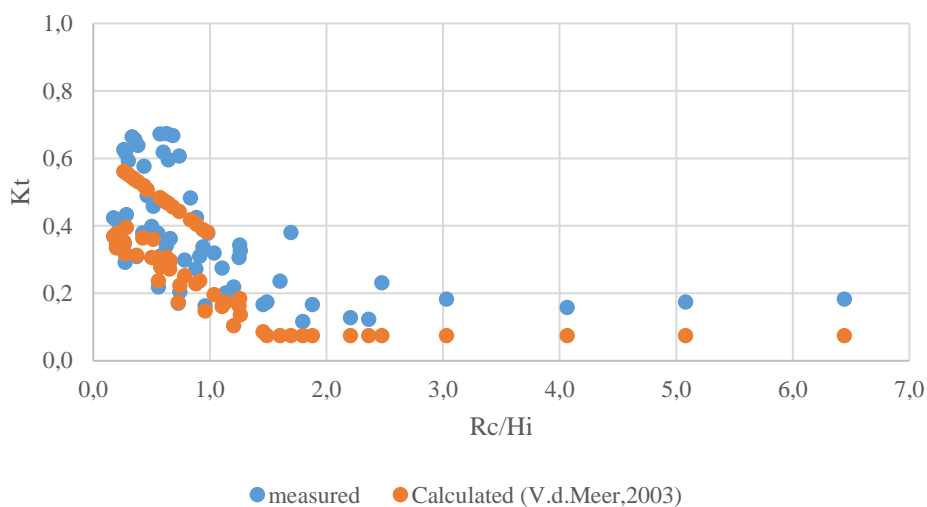
Σχήμα 6.39. Διάγραμμα  $K_t$ (μετρημένο και υπολογισμένο)- $R_c/H_i$  για τον κυματοθραύστη Β2

### ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ Β1



Σχήμα 6.40. Διάγραμμα  $K_t$ (μετρημένο και υπολογισμένο)- $R_c/H_i$  για τον κυματοθραύστη Β1

### ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ Β2



Σχήμα 6.41. Διάγραμμα  $K_t$ (μετρημένο και υπολογισμένο)- $R_c/H_i$  για τον κυματοθραύστη Β1

Η συσχέτιση του συντελεστή μετάδοσης με τις παραμέτρους αυτές προκύπτει της ίδιας μορφής για τα προερχόμενα από τις μετρήσεις και τα υπολογισμένα μέσω αριθμητικών σχέσεων αποτελέσματα. Άλλωστε οι παράμετροι αυτές δεν επιλέχθηκαν τυχαία αλλά επειδή υπεισέρχονται στις αντίστοιχες σχέσεις για τον υπολογισμό του συντελεστή μετάδοσης.



## 7. Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η διπλωματική αυτή εργασία. Αρχικά αναλύονται οι συσχετισμοί που διερευνήθηκαν μεταξύ του συντελεστή μετάδοσης και διαφόρων παραμέτρων. Στη συνέχεια γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων για τον συντελεστή μετάδοσης που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις με αυτά που υπολογίστηκαν από σχέσεις της διεθνούς βιβλιογραφίας. Ακόμα αναλύονται μέσω του υπολογισμένου με βάση τις μετρήσεις σχετικού συντελεστή κυματικής διαταραχής τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την κυματική διαταραχή γύρω από τους δύο κυματοθραύστες. Τέλος αναφέρονται επιγραμματικά προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και διερεύνηση.

### 7.1 Συντελεστής Μετάδοσης

Ο συντελεστής μετάδοσης προκύπτει όπως ήταν αναμενόμενο αντιστρόφως ανάλογος του ελεύθερου περιθωρίου  $R_c$  και για τους δύο κυματοθραύστες. Οι συντελεστές των κυματοθραυστών B1 και B2 φαίνεται να παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη σύγκλιση, με τον συντελεστή του B2 να έχει ελαφρώς μεγαλύτερο εύρος τιμών. Η σύγκλιση αυτή των αποτελεσμάτων δείχνει ότι η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης των κυματισμών στην κυματική μετάδοση είναι μικρή.

#### 7.1.1 Συσχέτιση με παραμέτρους

**Kt-Rc/Hi:** Προκύπτει αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση του συντελεστή μετάδοσης με το μέγεθος  $R_c/Hi$  και ειδικότερα σε ότι αφορά τις Στάθμες 1 και 2 (μεγάλο και μεσαίο ελεύθερο περιθώριο αντίστοιχα) και τον κυματοθραύστη B2 καθώς για μικρή αύξηση του  $R_c/Hi$  παρατηρείται μεγάλη μείωση του  $K_t$ .

**Kt-B/Hi:** Για τον κυματοθραύστη B1 παρατηρείται σχετική σταθερότητα του συντελεστή μετάδοσης όσο μεγαλώνει ο λόγος  $B/Hi$  και για τις τρεις Στάθμες. Αντίθετα για τον κυματοθραύστη B2 έχουμε μεγάλη μείωση του συντελεστή μετάδοσης ως αποτέλεσμα της αύξησης του λόγου  $B/Hi$  για τις Στάθμες 1 και 2 (μεγάλο και μεσαίο ελεύθερο περιθώριο αντίστοιχα) και σταθεροποίηση του μόνο όταν ο λόγος παίρνει αρκετά μεγάλες τιμές. Σταθερότητα παρουσιάζει ο συντελεστής μετάδοσης για τη Στάθμη 3 (μικρό ελεύθερο περιθώριο).

**Kt-B/Lo:** Μικρή και σχετικά σταθερή μείωση παρουσιάζει ο συντελεστής μετάδοσης ως αποτέλεσμα της αύξησης του λόγου  $B/Lo$  και για τους δύο κυματοθραύστες.

**Kt-ξ:** Δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για την επιρροή του συντελεστή θραύσης  $\xi$  στον συντελεστή μετάδοσης καθώς δεν παρατηρείται κάποιος κανόνας στη συμπεριφορά του ως αποτέλεσμα μεταβολών της παραμέτρου  $\xi$ .

**Kt-Hi/Dn50:** Αύξηση του λόγου στον προσπίπτοντος ύψους κύματος  $Hi$  προς την ονομαστική διάμετρο των λίθων  $Dn50$  έχει ως αποτέλεσμα σταθερή σχεδόν γραμμική αύξηση του συντελεστή μετάδοσης  $K_t$  για τις Στάθμες 1 και 2 (μεγάλο και μεσαίο ελεύθερο περιθώριο

αντίστοιχα) ενώ αρκετά μικρότερη είναι η αύξηση για την Στάθμη 3 (μικρό ελεύθερο περιθώριο).

**Kt-d/L<sub>0</sub>:** Αντιστρόφως ανάλογη προκύπτει η σχέση των δύο μεγεθών αφού αύξηση του λόγου d/L<sub>0</sub> συνεπάγεται μείωση του συντελεστή μετάδοσης Kt. Ελαφρώς εντονότερη η μείωση για τον κυματοθραύστη B2 για μικρές ειδικά τιμές του λόγου d/L<sub>0</sub>.

### 7.1.2. Σύγκριση με σχέσεις της βιβλιογραφίας

Οι τιμές του μέσου συντελεστή μετάδοσης που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία συγκρίθηκαν με αντίστοιχους που υπολογίστηκαν για τα ίδια κυματικά μεγέθη με βάση σχέσεις που προέρχονται από τη διεθνή βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα υπολογίστηκε ο συντελεστής μετάδοσης με βάση τη σχέση που αναπτύχθηκε από τους Van der Meer και Daemen το 1991, τη σχέση που αναπτύχθηκε από τους d'Agremond et al. το 1996 και τη σχέση που προτάθηκε από τους Van der Meer et al. το 2003. Και για τα τρία αριθμητικά σχήματα προέκυψαν στις περισσότερες των περιπτώσεων τιμές του συντελεστή μετάδοσης μικρότερες από τις αντίστοιχες μετρημένες και μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις ειδικά για τη Στάθμη 1 (μεγάλο ελεύθερο περιθώριο) και την σχέση των d'Agremond et al. με μεγάλες αποκλίσεις. Αντίθετα στις Στάθμες 2 και 3 (μεσαίο και μικρό ελεύθερο περιθώριο αντίστοιχα) παρατηρήθηκε σχετική σύγκλιση των μετρημένων με τα υπολογισμένα αποτελέσματα. Την καλύτερη σύγκλιση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσίασαν οι τιμές που προέκυψαν από την σχέση των Van der Meer et al του 2003. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η συγκεκριμένη σχέση λαμβάνει υπόψη της τη γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών με τον όρο  $(\cos\beta)^{2/3}$ . Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι για μικρά ύψη εισερχόμενου κύματος για κάθε στάθμη υπολογίστηκαν τιμές μικρότερες από τις ελάχιστες που δέχονται οι σχέσεις αυτές, οπότε ο συντελεστής μετάδοσης έλαβε για αυτές τις μετρήσεις την ελάχιστη αυτή τιμή. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό κατά τον υπολογισμό του συντελεστή μετάδοσης με την σχέση των d'Agremond et al. η οποία και γενικότερα είχε τη μικρότερη σύγκλιση με τις τιμές των πειραμάτων. Για την περίπτωση της Στάθμης 1 όπου το ελεύθερο περιθώριο είναι μεγάλο αυτό εξηγείται καθώς η σχέση των d'Agremond et al. είναι για κυματοθραύστες ύψους και χαμηλής στέψης οπότε για μεγάλο ελεύθερο περιθώριο και μικρό ύψος κύματος (πρώτες μετρήσεις Στάθμης 1) οι κυματοθραύστες B1 και B2 δεν πληρούν τις προϋποθέσεις χαμηλής στέψης.

## 7.2 Κυματική διαταραχή

Σύμφωνα με τις τιμές του σχετικού συντελεστή κυματικής μετάδοσης RKh, όπως αυτός ορίστηκε για διάφορα σημεία γύρω από τους κυματοθραύστες, προκύπτει το συμπέρασμα ότι για την εν λόγω διάταξη κυματοθραυστών και γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών παρατηρείται έντονη κυματική διαταραχή γύρω από τους κυματοθραύστες λόγω του φαινομένου της περίθλασης. Συγκεκριμένα εντοπίστηκαν αρκετά μεγάλες τιμές του συντελεστή για τους μετρητές που βρίσκονται στα άκρα των κυματοθραυστών, ενώ οι τιμές

του ήταν μικρές όταν ελέγχθηκε η μετάδοση ανάμεσα στους δύο κυματοθραύστες. Άρα στην περιοχή αυτή για τη συγκεκριμένη διάταξη των κυματοθραυστών δεν αναπτύσσεται έντονη κυματική διαταραχή.

### **7.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Για την επίτευξη όσο το δυνατόν ακριβέστερης εκτίμησης του φαινομένου της κυματικής μετάδοσης σε κυματοθραύστες χαμηλής στέψης με στόχο την καλύτερη δυνατή προστασία και σταθεροποίηση των ακτών, προτείνονται η διεξαγωγή πειραμάτων για διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης των κυματισμών, καθώς και η αλλαγή του πλάτους στέψης του κυματοθραύστη για τη διερεύνηση της επίδρασης των παραμέτρων αυτών στην κυματική μετάδοση. Ενδιαφέρον τέλος θα παρουσίαζε η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ περατού κυματοθραύστη που αποτελείται από φυσικούς ογκόλιθους (rubble-mound permeable breakwater) όπως μελετήθηκε εδώ, με τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν από τη χρήση ενός λείου μη περατού κυματοθραύστη (smooth impermeable breakwater).







## Βιβλιογραφικές Αναφορές

Μουτζούρης Κ.Ι., 2005, *Εισαγωγή στην Ακτομηχανική*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα

Μουτζούρης Κ.Ι., 2007, *Θαλάσσια Υδραυλική*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα

D'Angremond K., Van Der Meer J.W., De Jong R.J., 1996, Wave Transmission at low-crested structures, Delft University of Technology, P.O. Box 5048, 2600 GA Delft, the Netherlands

Hasselmann D.E., Dunckel M., Ewing J.A., 1980, *Directional Wave Spectra Observed during JONSWAP 1973*, J. Phys. Oceanogr, 10, 1264-1280

Van der Meer J.W., Briganti R., Zanuttigh B. and Wang B., 2005, Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change, *Coastal Engineering*, 52, 915-929

Van der Meer J.W., Wang B., Zanuttigh B., Kramer M., 2003, Oblique wave transmission over low-crested structures, *Coastal Structure*, Portland, Oregon, USA, 567-579

Vicinanza D., Caceres I., Buccino M., Gironella X. and Calabrese M., 2009, Wave disturbance behind low-crested structures: Diffraction and overtopping effects, *Coastal Engineering*, 56, 1173-1185

Wang B., Otta A.K. and Chadwick A.J., 2006, Transmission of obliquely incident waves at low-crested breakwaters: Theoretical interpretations of experimental observations, *Coastal Engineering*, 54, 333-344



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

## Αποτελέσματα πειραμάτων για κάθε μετρητή

Πίνακας Π.1. Μετρητές τύπου αντιστάσεως M1 M2 M3 M4 M5. Hs (mm), Tm (sec), Tp (sec)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	M1			M2			M2			M4			M5		
	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp
<b>1.1</b>	8,100	0,557	0,602	9,060	0,554	0,569	9,160	0,555	0,569	9,610	0,556	0,569	8,030	0,555	0,569
<b>1.2</b>	9,520	0,556	0,602	10,700	0,553	0,569	11,100	0,551	0,539	11,700	0,552	0,539	10,300	0,557	0,569
<b>1.3</b>	11,200	0,553	0,569	12,500	0,551	0,569	12,700	0,548	0,539	13,500	0,548	0,539	13,400	0,551	0,569
<b>1.4</b>	15,900	0,651	0,731	15,300	0,626	0,640	16,300	0,636	0,683	17,300	0,639	0,683	16,900	0,651	0,683
<b>1.5</b>	23,620	0,633	0,731	22,519	0,615	0,683	23,815	0,627	0,683	25,025	0,621	0,731	25,962	0,615	0,683
<b>1.6</b>	32,400	0,605	0,731	30,300	0,601	0,683	31,600	0,623	0,683	33,400	0,619	0,731	33,500	0,605	0,683
<b>1.7</b>	21,800	0,695	0,853	19,300	0,679	0,853	20,500	0,699	0,853	20,800	0,689	0,853	21,700	0,751	0,853
<b>1.8</b>	32,700	0,716	0,853	29,500	0,718	0,853	31,000	0,736	0,853	31,400	0,723	0,853	33,900	0,731	0,853
<b>1.9</b>	43,800	0,677	0,853	40,800	0,692	0,853	42,800	0,716	0,853	44,100	0,698	0,853	46,800	0,670	0,853
<b>1.10</b>	29,600	0,758	0,931	29,500	0,773	1,020	28,400	0,778	0,931	29,900	0,774	0,931	33,300	0,777	1,020
<b>1.11</b>	41,200	0,720	1,020	41,600	0,753	1,020	41,700	0,759	1,020	43,700	0,752	0,931	45,900	0,724	1,020
<b>1.12</b>	49,400	0,688	1,020	50,100	0,722	1,020	51,800	0,745	1,020	55,200	0,730	0,931	55,000	0,683	1,020

<b>1.13</b>	45,300	0,777	1,140	45,200	0,829	1,140	44,800	0,866	1,140	45,500	0,857	1,140	48,000	0,787	1,140
<b>1.14</b>	57,400	0,738	1,140	55,800	0,779	1,140	58,800	0,781	1,140	61,800	0,764	1,140	60,600	0,720	1,140
<b>1.15</b>	64,600	0,722	5,120	61,000	0,751	1,140	67,800	0,737	1,140	72,000	0,733	1,140	67,900	0,690	1,140
<b>1.16</b>	60,300	0,756	10,200	57,400	0,802	1,280	60,900	0,803	1,280	65,200	0,806	1,280	64,400	0,758	1,460
<b>1.17</b>	67,700	0,732	10,200	62,400	0,762	10,200	71,700	0,760	1,460	75,600	0,754	1,280	73,300	0,725	1,460
<b>1.18</b>	72,200	0,755	5,120	65,000	0,763	10,200	77,600	0,747	10,200	81,600	0,740	1,280	77,400	0,738	1,710
<b>1.19</b>	76,100	0,872	10,200	65,800	0,836	10,200	81,600	0,795	10,200	84,100	0,787	1,710	84,500	0,803	1,710
<b>1.20</b>	82,800	0,969	10,200	70,200	0,910	10,200	85,800	0,837	10,200	88,600	0,799	10,200	88,300	0,836	10,200
<b>1.21</b>	88,000	1,050	10,200	73,600	0,979	10,200	90,600	0,874	10,200	92,300	0,838	10,200	91,800	0,868	10,200
<b>1.22</b>	85,300	1,050	10,200	70,900	0,979	10,200	88,700	0,903	10,200	90,100	0,869	10,200	89,800	0,883	10,200
<b>1.23</b>	93,300	1,220	10,200	76,600	1,080	10,200	95,400	0,985	10,200	96,200	0,939	10,200	94,300	0,939	10,200
<b>1.24</b>	97,000	1,260	10,200	78,800	1,150	10,200	96,700	1,020	10,200	97,600	0,991	10,200	96,700	0,982	10,200
<b>2.1</b>	10,200	0,499	0,569	10,600	0,497	0,569	9,700	0,498	0,569	9,750	0,497	0,569	13,300	0,498	0,569
<b>2.2</b>	11,800	0,522	0,569	12,600	0,518	0,539	13,600	0,523	0,569	14,200	0,522	0,569	13,200	0,530	0,569
<b>2.3</b>	13,000	0,532	0,569	13,900	0,528	0,569	14,800	0,533	0,569	15,400	0,532	0,569	16,600	0,522	0,539
<b>2.4</b>	16,400	0,627	0,683	16,500	0,615	0,683	17,900	0,620	0,683	18,600	0,620	0,731	19,300	0,628	0,683
<b>2.5</b>	24,900	0,617	0,683	24,400	0,610	0,683	25,400	0,628	0,683	26,100	0,625	0,683	28,900	0,610	0,683
<b>2.6</b>	32,600	0,623	0,731	31,700	0,613	0,683	32,500	0,631	0,731	33,900	0,629	0,683	36,700	0,595	0,731

<b>2.7</b>	20,900	0,720	0,853	19,500	0,690	0,853	21,200	0,713	0,853	21,300	0,704	0,853	22,600	0,756	0,853
<b>2.8</b>	33,200	0,738	0,853	31,100	0,730	0,853	32,800	0,735	0,853	32,800	0,728	0,853	36,000	0,728	0,853
<b>2.9</b>	45,400	0,716	0,853	43,300	0,722	0,853	45,000	0,733	0,853	45,500	0,728	0,853	50,100	0,695	0,853
<b>2.10</b>	28,500	0,857	0,931	27,000	0,859	1,020	28,000	0,852	0,931	28,900	0,849	0,931	35,200	0,839	0,931
<b>2.11</b>	42,800	0,795	1,020	41,900	0,791	1,020	43,200	0,800	0,931	44,100	0,793	0,931	48,300	0,791	1,020
<b>2.12</b>	53,334	0,750	1,024	53,346	0,759	1,024	54,735	0,776	1,024	56,391	0,761	0,931	59,097	0,748	1,024
<b>2.13</b>	43,800	0,828	1,140	46,700	0,852	1,140	47,400	0,882	1,140	47,100	0,872	1,140	53,600	0,851	1,140
<b>2.14</b>	57,100	0,770	1,140	61,600	0,798	1,140	63,000	0,838	1,140	64,800	0,823	1,140	68,400	0,782	1,140
<b>2.15</b>	64,700	0,754	1,140	69,700	0,773	1,140	72,600	0,795	1,140	76,500	0,774	1,140	77,700	0,750	1,140
<b>2.16</b>	59,500	0,808	1,280	64,100	0,845	1,280	64,200	0,874	1,280	68,000	0,862	1,280	74,600	0,829	1,460
<b>2.17</b>	69,300	0,768	5,120	73,800	0,784	1,280	78,800	0,811	1,460	83,700	0,797	1,280	85,600	0,786	1,460
<b>2.18</b>	74,900	0,757	5,120	78,300	0,770	5,120	87,000	0,788	1,460	92,400	0,769	1,280	91,000	0,779	1,460
<b>2.19</b>	78,300	0,831	10,200	77,300	0,818	10,200	92,500	0,848	1,710	97,000	0,837	1,710	98,400	0,819	1,710
<b>2.20</b>	84,900	0,884	10,200	82,800	0,858	10,200	96,600	0,839	10,200	102,000	0,813	1,710	102,000	0,837	1,710
<b>2.21</b>	90,800	0,949	10,200	87,400	0,920	10,200	101,000	0,866	10,200	106,000	0,835	10,200	106,000	0,862	10,200
<b>2.22</b>	89,700	0,979	10,200	87,100	0,958	10,200	97,500	0,910	10,200	101,000	0,884	10,200	102,000	0,889	10,200
<b>2.23</b>	99,900	1,070	10,200	95,800	1,020	10,200	104,000	0,930	10,200	108,000	0,915	10,200	107,000	0,913	10,200
<b>2.24</b>	105,000	1,120	10,200	99,000	1,070	10,200	105,000	0,982	10,200	109,000	0,975	10,200	109,000	0,959	10,200

<b>3.1</b>	10,205	0,547	0,539	10,918	0,551	0,569	12,209	0,550	0,539	12,486	0,549	0,539	8,721	0,563	0,602
<b>3.2</b>	10,572	0,546	0,539	11,226	0,549	0,539	12,077	0,556	0,539	12,248	0,555	0,539	11,577	0,559	0,569
<b>3.3</b>	12,512	0,542	0,539	13,309	0,543	0,569	14,105	0,546	0,569	14,497	0,546	0,569	14,509	0,554	0,569
<b>3.4</b>	15,338	0,635	0,683	17,182	0,631	0,683	17,753	0,635	0,683	18,215	0,635	0,683	17,603	0,651	0,683
<b>3.5</b>	22,317	0,626	0,683	24,898	0,628	0,683	25,073	0,629	0,683	25,696	0,629	0,683	28,473	0,622	0,683
<b>3.6</b>	29,359	0,624	0,683	32,176	0,630	0,683	32,404	0,629	0,731	33,300	0,631	0,683	38,081	0,625	0,731
<b>3.7</b>	20,432	0,733	0,853	20,102	0,719	0,853	21,533	0,707	0,853	21,879	0,704	0,853	22,998	0,750	0,853
<b>3.8</b>	31,280	0,756	0,853	30,636	0,753	0,853	32,090	0,745	0,853	32,524	0,736	0,853	37,927	0,742	0,853
<b>3.9</b>	43,963	0,735	0,853	43,333	0,739	0,853	44,378	0,745	0,853	44,949	0,740	0,853	51,246	0,720	0,853
<b>3.10</b>	29,884	0,794	0,931	32,058	0,819	0,806	30,858	0,793	1,024	31,032	0,766	0,931	34,978	0,806	1,024
<b>3.11</b>	41,866	0,801	1,024	45,041	0,829	1,024	43,637	0,808	1,024	43,695	0,785	0,931	49,217	0,792	1,024
<b>3.12</b>	53,577	0,781	1,024	58,184	0,818	1,024	56,759	0,816	1,024	56,923	0,786	0,931	61,378	0,769	1,024



**Πίνακας Π.2.** Μετρητές τύπου αντιστάσεως M6 M7 M8 M9. Hs (mm), Tm (sec), Tp (sec)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	M6			M7			M8			M9		
	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp
<b>1.1</b>	8,410	0,562	0,569	8,680	0,557	0,569	7,760	0,563	0,602	9,550	0,538	0,569
<b>1.2</b>	10,500	0,562	0,569	10,500	0,552	0,569	9,840	0,558	0,602	11,900	0,537	0,569
<b>1.3</b>	13,500	0,558	0,569	12,800	0,549	0,569	12,300	0,556	0,569	14,500	0,530	0,569
<b>1.4</b>	17,100	0,652	0,683	15,200	0,637	0,683	16,500	0,646	0,683	17,600	0,628	0,683
<b>1.5</b>	26,257	0,623	0,683	24,750	0,599	0,683	26,611	0,624	0,683	26,463	0,622	0,683
<b>1.6</b>	34,100	0,607	0,731	31,300	0,568	0,731	33,600	0,621	0,731	35,000	0,625	0,683
<b>1.7</b>	21,500	0,748	0,853	21,800	0,758	0,853	20,200	0,726	0,853	19,900	0,741	0,853
<b>1.8</b>	33,300	0,723	0,853	33,400	0,621	0,853	31,200	0,709	0,853	31,600	0,755	0,853
<b>1.9</b>	45,200	0,660	0,853	45,400	0,513	0,853	41,500	0,669	0,853	44,400	0,755	0,853
<b>1.10</b>	33,300	0,769	1,020	35,600	0,689	1,020	29,500	0,759	1,020	28,400	0,839	0,931
<b>1.11</b>	45,500	0,706	1,020	47,800	0,571	1,020	39,600	0,708	1,020	41,000	0,843	0,931
<b>1.12</b>	54,100	0,675	1,020	54,200	0,549	1,020	45,300	0,674	1,020	54,300	0,838	0,931
<b>1.13</b>	49,400	0,779	1,140	50,300	0,572	1,140	40,000	0,752	1,140	42,300	0,990	1,140

<b>1.14</b>	61,200	0,716	1,140	57,700	0,527	1,140	48,300	0,702	1,140	59,600	0,977	1,140
<b>1.15</b>	67,400	0,713	1,140	63,000	0,563	1,140	53,200	0,709	5,120	78,300	0,968	1,140
<b>1.16</b>	65,900	0,771	1,460	59,000	0,580	1,280	51,000	0,742	10,200	58,800	1,100	1,280
<b>1.17</b>	72,200	0,748	1,460	64,400	0,564	1,460	56,500	0,728	10,200	82,300	1,090	1,280
<b>1.18</b>	74,500	0,758	1,710	67,100	0,558	10,200	60,000	0,758	10,200	105,000	1,060	1,280
<b>1.19</b>	79,200	0,825	1,710	75,300	0,580	10,200	67,900	0,885	10,200	99,400	1,210	1,460
<b>1.20</b>	80,700	0,852	10,200	78,500	0,597	10,200	73,400	0,960	10,200	132,000	1,140	1,460
<b>1.21</b>	83,000	0,872	10,200	80,900	0,575	10,200	79,500	1,020	10,200	156,000	1,060	1,460
<b>1.22</b>	81,800	0,895	10,200	80,700	0,599	10,200	77,800	1,050	10,200	116,000	1,300	1,710
<b>1.23</b>	84,900	0,955	10,200	83,500	0,616	10,200	83,300	1,150	10,200	149,000	1,210	1,710
<b>1.24</b>	86,700	0,989	10,200	83,400	0,632	10,200	87,400	1,200	10,200	170,000	1,160	1,710
<b>2.1</b>	13,000	0,502	0,539	12,100	0,484	0,569	12,700	0,478	0,569	10,900	0,517	0,569
<b>2.2</b>	12,800	0,532	0,569	12,500	0,516	0,569	13,600	0,512	0,539	12,900	0,522	0,569
<b>2.3</b>	16,200	0,526	0,539	15,800	0,522	0,569	16,700	0,519	0,569	14,900	0,523	0,569
<b>2.4</b>	18,900	0,629	0,683	17,600	0,615	0,683	20,600	0,624	0,731	18,500	0,618	0,683
<b>2.5</b>	28,900	0,610	0,683	27,600	0,611	0,683	31,300	0,627	0,683	26,800	0,618	0,683
<b>2.6</b>	37,300	0,605	0,683	36,100	0,605	0,731	41,100	0,630	0,683	35,500	0,622	0,731
<b>2.7</b>	21,800	0,750	0,853	23,000	0,753	0,853	26,400	0,737	0,853	20,900	0,744	0,853

<b>2.8</b>	35,000	0,717	0,853	36,400	0,747	0,853	40,400	0,734	0,853	32,400	0,754	0,853
<b>2.9</b>	48,200	0,685	0,853	49,700	0,705	0,853	53,800	0,701	0,853	45,100	0,754	0,853
<b>2.10</b>	35,200	0,830	1,020	39,400	0,846	1,020	34,100	0,829	0,931	30,700	0,860	0,931
<b>2.11</b>	48,300	0,780	1,020	53,200	0,800	1,020	45,900	0,787	1,020	44,000	0,852	0,931
<b>2.12</b>	58,770	0,730	1,024	60,595	0,735	1,024	51,790	0,731	1,024	57,821	0,844	0,931
<b>2.13</b>	53,300	0,825	1,140	55,400	0,806	1,140	45,500	0,798	1,140	45,500	0,981	1,140
<b>2.14</b>	67,700	0,762	1,140	64,200	0,745	1,140	54,100	0,743	1,140	64,400	0,974	1,140
<b>2.15</b>	75,900	0,752	1,140	68,900	0,739	1,140	59,800	0,741	1,140	82,900	0,955	1,140
<b>2.16</b>	74,000	0,815	1,460	64,100	0,784	1,280	58,400	0,805	1,460	62,800	1,100	1,280
<b>2.17</b>	84,200	0,782	1,460	69,400	0,733	1,280	64,900	0,764	5,120	85,900	1,060	1,280
<b>2.18</b>	87,500	0,784	1,460	72,800	0,736	10,200	69,100	0,783	10,200	109,000	0,926	1,280
<b>2.19</b>	93,100	0,810	1,710	80,000	0,770	10,200	78,200	0,867	10,200	106,000	0,961	1,460
<b>2.20</b>	95,600	0,823	10,200	87,100	0,720	10,200	84,300	0,919	10,200	122,100	1,035	1,460
<b>2.21</b>	99,100	0,844	10,200	92,300	0,744	10,200	89,900	0,970	10,200	166,000	0,893	1,460
<b>2.22</b>	95,800	0,863	10,200	89,900	0,691	10,200	99,700	0,954	10,200	119,000	1,130	1,710
<b>2.23</b>	100,000	0,923	10,200	99,200	0,673	10,200	109,000	1,050	10,200	152,000	1,060	1,710
<b>2.24</b>	101,000	0,940	10,200	104,000	0,701	10,200	114,000	1,120	10,200	180,000	0,988	1,710
<b>3.1</b>	8,447	0,568	0,569	8,216	0,562	0,539	7,961	0,566	0,569	10,535	0,538	0,569

<b>3.2</b>	11,147	0,559	0,569	11,165	0,549	0,539	10,938	0,552	0,569	12,950	0,536	0,569
<b>3.3</b>	13,886	0,555	0,569	13,099	0,544	0,569	12,742	0,546	0,569	15,576	0,529	0,569
<b>3.4</b>	17,510	0,653	0,683	16,260	0,645	0,683	15,918	0,654	0,683	18,818	0,630	0,683
<b>3.5</b>	28,655	0,622	0,683	27,531	0,625	0,683	26,846	0,633	0,683	27,319	0,625	0,683
<b>3.6</b>	38,611	0,624	0,731	37,039	0,623	0,683	36,427	0,638	0,731	36,112	0,626	0,683
<b>3.7</b>	21,753	0,736	0,853	22,966	0,748	0,853	23,566	0,754	0,853	21,338	0,749	0,853
<b>3.8</b>	36,351	0,732	0,853	37,600	0,746	0,853	37,584	0,752	0,853	33,582	0,760	0,853
<b>3.9</b>	49,287	0,702	0,853	51,295	0,727	0,853	50,543	0,733	0,853	46,485	0,760	0,853
<b>3.10</b>	34,910	0,797	1,024	37,270	0,836	1,024	35,266	0,834	1,024	30,379	0,831	0,931
<b>3.11</b>	49,116	0,774	1,024	53,137	0,797	1,024	49,546	0,790	1,024	43,670	0,851	0,931
<b>3.12</b>	61,436	0,756	1,024	62,538	0,798	1,024	56,890	0,806	1,024	57,001	0,848	0,931

**Πίνακας Π.3.** Μετρητές με ηχοβολιστικούς αισθητήρες S1 S2 S3 S4 Hs (mm), Tm (sec), Tp (sec)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	S1			S2			S3			S4		
	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp
<b>1.1</b>	7,911	0,538	0,569	1,885	0,386	0,569	6,163	0,526	0,569	3,582	0,479	0,569
<b>1.2</b>	9,681	0,545	0,569	2,152	0,406	0,569	8,183	0,535	0,569	4,910	0,506	0,569
<b>1.3</b>	12,428	0,542	0,569	2,509	0,430	0,569	9,900	0,541	0,569	6,073	0,520	0,569
<b>1.4</b>	15,887	0,636	0,731	3,438	0,509	0,731	12,438	0,633	0,731	8,271	0,593	0,731
<b>1.5</b>	26,609	0,582	0,731	4,901	0,541	0,853	19,493	0,615	0,640	13,028	0,580	0,731
<b>1.6</b>	35,358	0,581	0,731	6,538	0,533	0,853	25,917	0,600	0,731	17,161	0,531	0,731
<b>1.7</b>	19,634	0,694	0,853	5,634	0,612	1,024	14,653	0,692	0,853	10,840	0,629	0,853
<b>1.8</b>	35,852	0,654	0,853	7,939	0,664	1,024	23,638	0,730	0,853	16,774	0,617	0,853
<b>1.9</b>	48,142	0,528	0,853	10,727	0,546	1,024	35,082	0,660	0,853	22,222	0,556	0,853
<b>1.10</b>	42,616	0,713	1,024	33,833	1,423	5,120	38,955	0,882	5,120	30,237	0,760	5,120
<b>1.11</b>	46,855	0,648	1,024	14,530	0,708	5,120	36,691	0,687	1,024	23,823	0,585	1,024
<b>1.12</b>	52,150	0,649	1,024	14,215	0,595	1,280	43,609	0,645	1,024	26,910	0,566	1,024
<b>1.13</b>	46,159	0,680	1,280	13,427	0,743	1,280	37,875	0,749	1,280	24,000	0,620	1,280
<b>1.14</b>	52,133	0,673	1,024	16,320	0,692	1,280	49,829	0,648	1,280	30,365	0,608	1,280

<b>1.15</b>	54,526	0,648	1,024	19,675	0,608	5,120	55,233	0,619	1,280	34,274	0,605	1,280
<b>1.16</b>	53,330	0,673	1,280	19,077	0,677	5,120	55,780	0,662	1,280	33,390	0,610	1,280
<b>1.17</b>	56,523	0,573	1,280	23,538	0,650	5,120	61,916	0,628	1,280	38,780	0,649	5,120
<b>1.18</b>	56,782	0,652	5,120	28,153	0,637	5,120	65,668	0,612	1,280	41,678	0,688	5,120
<b>1.19</b>	61,177	0,702	5,120	36,209	0,748	5,120	72,348	0,635	5,120	48,323	0,739	5,120
<b>1.20</b>	68,486	0,756	5,120	42,723	0,751	5,120	79,257	0,657	5,120	53,136	0,756	5,120
<b>1.21</b>	73,115	0,781	5,120	46,234	0,740	5,120	84,459	0,669	5,120	55,656	0,747	5,120
<b>1.22</b>	70,187	0,769	5,120	45,290	0,801	5,120	84,449	0,601	5,120	56,414	0,773	5,120
<b>1.23</b>	79,815	0,794	5,120	50,765	0,811	5,120	90,152	0,705	5,120	60,447	0,794	5,120
<b>1.24</b>	84,192	0,855	5,120	52,676	0,829	5,120	97,022	0,512	5,120	63,449	0,804	5,120
<b>2.1</b>	8,619	0,545	0,569	2,402	0,429	0,640	6,723	0,547	0,569	4,642	0,520	0,569
<b>2.2</b>	9,652	0,547	0,569	2,700	0,461	0,640	9,642	0,547	0,569	6,882	0,530	0,569
<b>2.3</b>	12,567	0,548	0,569	3,243	0,491	0,640	11,256	0,550	0,569	7,970	0,535	0,569
<b>2.4</b>	16,587	0,644	0,731	5,716	0,591	0,731	13,984	0,637	0,640	10,596	0,611	0,731
<b>2.5</b>	25,572	0,618	0,731	8,046	0,589	0,731	22,642	0,577	0,640	15,208	0,602	0,731
<b>2.6</b>	34,789	0,603	0,731	10,466	0,557	0,731	30,451	0,608	0,731	21,485	0,582	0,731
<b>2.7</b>	20,551	0,749	0,853	7,862	0,651	0,853	17,284	0,730	0,853	13,812	0,653	0,853
<b>2.8</b>	40,087	0,666	0,853	12,725	0,680	0,853	27,508	0,694	0,853	20,474	0,590	0,853

<b>2.9</b>	51,288	0,662	0,853	16,281	0,588	0,853	42,216	0,677	0,853	27,043	0,562	0,853
<b>2.10</b>	35,672	0,762	1,024	12,267	0,726	1,024	24,902	0,840	1,024	21,484	0,579	1,024
<b>2.11</b>	51,591	0,496	1,024	16,438	0,625	1,024	42,564	0,689	1,024	26,861	0,600	1,024
<b>2.12</b>	60,303	0,663	1,024	19,670	0,559	1,024	50,985	0,461	1,024	32,202	0,580	1,024
<b>2.13</b>	51,425	0,709	1,024	19,775	0,605	1,280	44,305	0,355	1,280	29,156	0,605	1,280
<b>2.14</b>	64,148	0,557	1,280	23,261	0,591	1,280	59,925	0,337	1,280	37,691	0,600	1,280
<b>2.15</b>	71,199	0,353	1,280	26,711	0,589	1,280	85,236	0,309	5,120	41,646	0,595	1,280
<b>2.16</b>	66,374	0,369	1,280	26,304	0,603	5,120	67,605	0,268	1,280	40,794	0,616	1,280
<b>2.17</b>	66,625	0,531	1,280	31,642	0,628	5,120	85,472	1,216	5,120	46,415	0,638	1,280
<b>2.18</b>	70,127	0,393	1,280	36,454	0,622	5,120	90,377	1,371	5,120	50,277	0,646	1,707
<b>2.19</b>	70,748	0,656	5,120	43,627	0,715	5,120	87,459	0,165	5,120	58,577	0,440	5,120
<b>2.20</b>	80,949	0,348	5,120	49,843	0,726	5,120	95,348	0,469	5,120	66,456	1,827	5,120
<b>2.21</b>	83,978	0,318	5,120	52,964	0,736	5,120	104,530	0,192	5,120	70,552	0,291	5,120
<b>2.22</b>	80,970	0,417	5,120	52,308	0,764	5,120	101,329	0,166	5,120	70,411	0,341	5,120
<b>2.23</b>	86,289	0,380	5,120	59,507	0,771	5,120	114,492	0,537	5,120	70,673	0,414	5,120
<b>2.24</b>	88,555	0,366	5,120	61,612	0,808	5,120	124,458	0,236	5,120	102,077	0,639	5,120
<b>3.1</b>	7,292	0,536	0,569	4,203	0,467	0,569	7,951	0,541	0,569	6,070	0,502	0,569
<b>3.2</b>	11,197	0,541	0,569	4,644	0,505	0,640	10,044	0,541	0,569	7,039	0,522	0,569

<b>3.3</b>	14,231	0,505	0,569	5,450	0,514	0,640	12,955	0,540	0,569	8,829	0,523	0,569
<b>3.4</b>	16,964	0,603	0,640	8,168	0,553	0,731	15,931	0,627	0,640	11,604	0,581	0,640
<b>3.5</b>	28,205	0,533	0,731	10,801	0,554	0,731	22,838	0,614	0,640	16,220	0,542	0,731
<b>3.6</b>	39,894	0,416	0,731	13,194	0,510	0,731	28,109	0,608	0,731	20,278	0,496	0,731
<b>3.7</b>	19,954	0,734	0,853	8,762	0,532	0,853	18,451	0,685	0,853	15,240	0,526	0,853
<b>3.8</b>	37,361	0,561	0,853	13,534	0,554	0,853	28,027	0,730	0,853	21,444	0,541	0,853
<b>3.9</b>	59,861	0,281	0,853	19,905	0,542	0,853	39,756	0,717	0,853	27,157	0,556	0,853
<b>3.10</b>	31,384	0,733	1,024	14,037	0,545	1,024	28,076	0,774	1,024	22,365	0,588	1,024
<b>3.11</b>	60,693	0,294	1,024	20,392	0,568	1,024	41,353	0,765	1,024	29,591	0,601	1,024
<b>3.12</b>	77,654	0,274	1,024	26,479	0,580	1,024	50,327	0,761	1,024	34,291	0,614	1,024



**Πίνακας Π.4.** Μετρητές με ηχοβολιστικούς αισθητήρες S5 S6 S7 . Hs (mm), Tm (sec), Tp (sec)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	S5			S6			S7		
	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp	Hs	Tm	Tp
<b>1.1</b>	3,849	0,432	0,569	1,418	0,352	0,569	5,892	0,540	0,569
<b>1.2</b>	4,910	0,534	0,569	1,721	0,374	0,569	8,852	0,531	0,569
<b>1.3</b>	6,283	0,357	0,569	1,954	0,396	0,569	10,500	0,528	0,569
<b>1.4</b>	8,492	0,349	0,640	3,027	0,514	0,853	13,111	0,620	0,731
<b>1.5</b>	131,614	1,595	5,120	4,438	0,597	0,853	19,099	0,615	0,731
<b>1.6</b>	0,001	0,519	5,120	5,881	0,654	5,120	24,377	0,594	0,731
<b>1.7</b>				4,673	0,652	0,853	17,817	0,718	0,853
<b>1.8</b>	15,462	0,168	2,560	7,358	0,729	0,853	26,800	0,639	0,853
<b>1.9</b>	22,722	0,182	5,120	9,116	0,742	5,120	34,120	2,537	5,120
<b>1.10</b>	30,923	0,194	5,120	31,153	1,820	5,120	23,447	5,104	5,120
<b>1.11</b>	58,206	0,245	5,120	12,969	0,924	5,120	31,224	5,094	5,120
<b>1.12</b>	52,388	0,221	5,120	12,486	0,899	5,120	33,479	1,217	5,120
<b>1.13</b>	313,856	3,462	5,120	12,265	0,967	5,120	43,300	0,631	1,280
<b>1.14</b>	0,021	0,768	5,120	15,462	1,038	5,120	51,814	2,404	5,120

<b>1.15</b>	0,025	1,070	5,120	17,980	1,123	5,120	58,331	1,070	5,120
<b>1.16</b>	0,038	1,064	5,120	19,305	1,135	5,120	65,558	1,064	5,120
<b>1.17</b>	0,011	0,572	5,120	23,993	1,162	5,120	70,137	0,572	5,120
<b>1.18</b>	0,035	1,036	5,120	28,986	1,235	5,120	74,332	1,036	5,120
<b>1.19</b>	0,026	0,939	5,120	41,238	1,272	5,120	52,551	0,939	5,120
<b>1.20</b>	0,044	1,028	5,120	49,004	1,251	5,120	64,719	1,028	5,120
<b>1.21</b>	0,153	1,742	5,120	53,562	1,159	5,120	78,458	1,742	5,120
<b>1.22</b>	0,192	1,766	5,120	46,341	3,512	5,120	71,911	1,766	5,120
<b>1.23</b>	0,233	2,218	5,120	51,564	2,218	5,120	80,458	2,218	5,120
<b>1.24</b>	163,592	2,351	5,120	58,813	3,094	5,120	92,713	1,592	5,120
<b>2.1</b>	0,002	0,637	5,120	1,572	0,371	0,569	7,721	0,552	0,569
<b>2.2</b>	0,007	0,409	5,120	1,740	0,383	0,640	10,206	0,544	0,569
<b>2.3</b>	6,223	0,090	5,120	1,955	0,402	0,731	12,071	0,538	0,569
<b>2.4</b>	0,004	0,388	5,120	3,444	0,547	0,731	15,348	0,632	0,731
<b>2.5</b>	6,199	0,090	2,560	5,121	0,617	0,731	21,374	0,630	0,731
<b>2.6</b>	6,199	0,090	2,560	7,024	0,637	0,731	26,660	0,623	0,731
<b>2.7</b>	8,784	0,090	2,560	5,311	0,707	1,024	17,457	0,745	0,853
<b>2.8</b>	6,175	0,090	2,560	8,292	0,744	1,024	28,454	0,699	0,853

<b>2.9</b>		0,090	2,560	11,770	0,749	1,024	37,851	0,656	0,853
<b>2.10</b>	107,572	1,846	5,120	9,302	0,857	1,024	27,163	0,768	1,024
<b>2.11</b>	345,469	3,838	5,120	13,475	0,846	1,024	38,297	0,692	1,024
<b>2.12</b>	0,022	0,498	5,120	16,105	0,788	1,024	46,189	0,642	1,024
<b>2.13</b>	0,027	0,565	5,120	16,481	0,792	5,120	46,268	0,715	1,280
<b>2.14</b>	0,031	0,602	5,120	20,494	0,743	5,120	51,113	0,635	1,280
<b>2.15</b>	6,850	0,099	2,560	23,851	0,718	5,120	57,624	0,614	1,280
<b>2.16</b>	16,869	0,218	5,120	26,760	0,774	5,120	55,076	0,644	1,280
<b>2.17</b>	209,103	2,471	5,120	31,749	0,806	5,120	60,085	0,609	1,280
<b>2.18</b>	0,130	1,371	5,120	39,873	1,775	5,120	63,254	0,564	5,120
<b>2.19</b>	6,208	0,215	2,560	49,917	0,859	5,120	73,404	0,692	5,120
<b>2.20</b>	67,233	0,282	5,120	55,324	0,922	5,120	86,446	0,314	5,120
<b>2.21</b>	72,355	0,296	5,120	59,747	0,904	5,120	92,593	0,528	5,120
<b>2.22</b>	93,290	0,207	5,120	59,093	0,962	5,120	120,965	0,434	5,120
<b>2.23</b>	85,249	0,247	5,120	67,292	0,759	5,120	156,325	1,429	5,120
<b>2.24</b>	66,046	0,200	5,120	71,348	1,788	5,120	188,116	3,342	5,120
<b>3.1</b>	6,342	0,529	0,569	2,733	0,444	0,569	9,000	0,547	0,569
<b>3.2</b>	6,895	0,526	0,569	3,399	0,456	0,569	11,600	0,542	0,569

<b>3.3</b>	8,230	0,537	0,569	3,810	0,458	0,569	14,200	0,538	0,569
<b>3.4</b>	11,748	0,619	0,731	5,444	0,521	0,853	17,700	0,630	0,731
<b>3.5</b>	15,465	0,626	0,731	8,304	0,519	0,731	24,200	0,628	0,731
<b>3.6</b>	18,994	0,576	0,731	10,633	3,107	5,120	30,000	0,628	0,731
<b>3.7</b>	14,412	0,672	0,853	8,934	0,605	1,024	19,309	0,734	0,853
<b>3.8</b>	19,659	0,687	0,853	13,007	0,593	1,024	31,126	2,851	5,120
<b>3.9</b>	26,098	0,609	0,853	17,514	0,511	1,024	41,000	0,693	0,853
<b>3.10</b>	20,259	0,687	1,024	15,292	0,594	1,024	28,700	0,765	1,024
<b>3.11</b>	34,311	0,390	1,024	20,621	0,581	1,024	40,900	0,710	1,024
<b>3.12</b>	32,896	0,624	1,024	24,118	0,591	1,024	51,100	0,691	1,024