



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

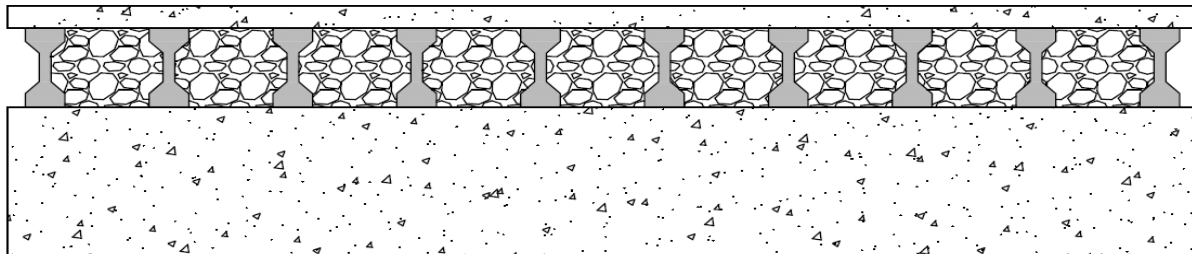
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Πειραματική διερεύνηση συντελεστή ανάκλασης σε απορροφητικό κρηπιδότοιχο»



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

Συνεπιβλέπουσα: Θεοδώρα Γιαντσή

Σοφοκλής Μελισσόβας

Αθήνα 2013

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
Βιβλιογραφικές Αναφορές 1 ^{ου} Κεφαλαίου	8
2. Θεωρητικά Στοιχεία.....	9
2.1 Θεωρία Κυμάτων.....	9
2.2 Φασματικοί Κυματισμοί.....	11
2.3 Κλίμακα ομοιότητας.....	12
2.4 Επιδράσεις Στερεών Ορίων	13
2.5 Ανάκλαση Κυμάτων	14
2.6 Λιμενικά Έργα.....	15
2.6.1 Έργα με πρηνή.....	16
2.6.2 Έργα με κατακόρυφο μέτωπο	16
2.6.3 Απορροφητικός Κρηπιδότοιχος.....	16
2.7 Υπολογισμός του μέσου συντελεστή ανάκλασης μέσω εμπειρικών τύπων.....	18
2.8 Χρησιμοποιούμενα Σύμβολα (Notations)	19
Βιβλιογραφικές Αναφορές 2 ^{ου} Κεφαλαίου	20
3. Πειραματικές Εγκαταστάσεις Ε.Λ.Ε.....	21
3.1 Πειραματικές Δεξαμενές	21
3.2 Λογισμικό και Υδραυλικό Σύστημα Παραγωγής Κυματισμών	23
3.3 Συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων.....	23
Βιβλιογραφικές Αναφορές 3 ^{ου} Κεφαλαίου	26
4. Πειραματικές Διατάξεις.....	27
4.1 Γενικά Στοιχεία	27
4.2 Διάταξη Α – Κάθετο Αδιαπέρατο Μέτωπο.....	28
4.3 Διάταξη Β - Κενός θάλαμος	30
4.4 Διατάξεις Γ και Δ – Θάλαμος πληρωμένος με πορώδες υλικό	32
4.5 Διατάξη Ε – Θάλαμος πληρωμένος με πορώδες υλικό.....	35
4.6 Διατάξεις Ζ,Η,Θ – Θάλαμος πληρωμένος με πορώδες υλικό	37
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	42
5.1 Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Α	42
5.2 Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Β	44

5.3	Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Γ.....	46
5.4	Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Δ.....	49
5.5	Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Ε.....	51
5.6	Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Ζ.....	53
5.7	Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Η.....	55
5.8	Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Θ.....	57
5.9	Αποτελέσματα Μέσου Συντελεστή Ανάκλασης.....	60
6.	Επεξεργασία Μετρήσεων.....	66
6.1	Εισαγωγή.....	66
6.2	Μέσος Συντελεστής Ανάκλασης ως προς το σχετικό βάθος h/L	67
6.3	Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς την κυρτότητα γ	68
6.4	Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς τον λόγο H_{ss}/H_{is}	70
6.5	Μέσος Συντελεστής ανάκλασης ως προς τον συντελεστή θραύσης ξ	71
6.6	Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς την αδιάστατη παράμετρο χ	73
6.7	Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς την τον λόγο R_c/H_{m4}	75
6.8	Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς τον λόγο $(R_c * d)/(H_{m4} * L)$	75
6.9	Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς το χαρακτηριστικό ύψος προσπίπτοντος κύματος.....	77
6.10	Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς το ποσοστό πλήρωσης του θαλάμου.....	78
6.11	Μέσος συντελεστής ανάκλασης ανά διάταξη.....	79
	Βιβλιογραφικές Αναφορές 6ου Κεφαλαίου.....	80
7.	Διαγράμματα συσχέτισης με εμπειρικούς τύπους.....	81
7.1	Προσεγγιστική καμπύλη Seelig και Ahrens.....	81
7.2	Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh.....	83
	Βιβλιογραφικές Αναφορές 7ου Κεφαλαίου.....	85
8.	Γενικά Συμπεράσματα.....	86
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	88
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	91

Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν, με καθοδήγησαν και που χωρίς την πολύτιμη συνεισφορά τους, η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δεν θα ήταν εφικτή.

Οφείλω αρχικά να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, Κωνσταντίνο Μουτζούρη που μου έδωσε την ευκαιρία να εκπονήσω την παρούσα πειραματική διπλωματική εργασία στο εργαστήριο λιμενικών έργων και προσέφερε την γενικότερη καθοδήγηση του σε κάθε στάδιο της παρούσας εργασίας. Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την συνεπιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας, κυρία Θεοδώρα Γιαντσή για τις ατέλειωτες ώρες που μου αφιέρωσε σε κάθε στάδιο αυτής της εργασίας, από την πειραματική φάση έως την επεξεργασία των μετρήσεων και την συγγραφή της εργασίας.

Τις ευχαριστίες μου οφείλω επίσης στην κυρία Βασιλική Τσουκαλά που ήταν πάντα πρόθυμη να προσφέρει την βοήθεια της και να λύσει την οποιαδήποτε απορία μου.

Δεν πρέπει βέβαια να ξεχάσω και το προσωπικό του εργαστηρίου λιμενικών έργων που προσέφερε τις πολύτιμες υπηρεσίες του και ιδιαίτερα τον κύριο Στάθη Τσούνη, που ακόμη και σε δύσκολες καιρικές συνθήκες, βοήθησε καθημερινά στην βαθμονόμηση των οργάνων.

Τέλος, ευχαριστώ τους αγαπητούς συναδέλφους Μανώλη Ζέρβα, Μανώλη Καραντινό και Χαράλαμπο Πατούνη που έβαλαν και αυτοί με την σειρά τους, το δικό τους λιθαράκι για να ολοκληρωθεί αυτή η διπλωματική εργασία.

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη διαφόρων διατάξεων ενός απορροφητικού κρηπιδότοιχου ως προς τον μέσο συντελεστή ανάκλασης και η σύγκρισή των αποτελεσμάτων με έναν συμβατικό κρηπιδότοιχο (κάθετο και αδιαπέρατο σε όλο του το ύψος), κρηπιδότοιχο. Επιπλέον, μελετήθηκε η συσχέτιση του μέσου συντελεστή ανάκλασης θαλασσιών κυματισμών με αδιάστατες παραμέτρους και διερευνήθηκε η σύγκλιση των αποτελεσμάτων με εμπειρικούς τύπους που προτείνονται από την βιβλιογραφία.

Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (Ε.Λ.Ε.) της Σχολής των Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Οι μετρήσεις επεξεργάστηκαν με κατάλληλο λογισμικό και προέκυψαν τα υδροδυναμικά μεγέθη των κυμάτων στις θέσεις μέτρησης καθώς και ο μέσος συντελεστής ανάκλασης σε κάθε διάταξη, για τον κάθε κυματισμό. Στην συνέχεια καταρτίστηκαν τα διαγράμματα που συσχετίζουν το μέσο συντελεστή ανάκλασης με αδιάστατες παραμέτρους και έγινε προσπάθεια να συγκριθούν με εμπειρικές σχέσεις που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η καταγραφή και η παρουσίαση των συμπερασμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Abstract

This diploma thesis deals with the phenomenon of the reflection of sea water irregular waves which normally incident upon different sections of quay walls. A new quay wall has been introduced and its bulk reflection coefficient results have been compared to those of a traditional quay wall. In addition, the bulk reflection coefficient has been associated with different non dimensional parameters. The experiments have been conducted in the laboratory of harbor works, at the school of Civil Engineering, National Technical University of Athens.

The measurements were analyzed with proper software. The results are the hydrodynamic measures of the sea waves at the measurement positions and the bulk reflection coefficient for every experiment. The bulk reflection coefficient is presented as a function of non dimensional parameters as the relative water depth, wave steepness, surf-similarity parameter and other parameters. A comparison between the measurements and empirical relationships proposed by different researchers has also been made.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας μεγάλος αριθμός λιμένων είναι λόγω θέσης, εκτεθειμένος στην κακοκαιρία με αποτέλεσμα, σε ακραίες καιρικές συνθήκες, να παρατηρούνται εντός της λιμενολεκάνης ιδιαίτερα μεγάλα ύψη κύματος. Σε ακραίες καιρικές συνθήκες λοιπόν, κυματισμοί, μεγάλου ύψους, εισέρχονται εντός του λιμένα και ανακλώνται στους κάθετους κρηπιδότοιχους του λιμένα. Ως αποτέλεσμα της ανάκλασης των κυματισμών, δεν επιτυγχάνονται ευνοϊκές συνθήκες ελλιμενισμού και πρόσδεσης των πλοίων και απειλείται ακόμη και η ευστάθεια τους. Απαιτείται λοιπόν η προστασία της λιμενολεκάνης έναντι έντονης κυματικής διαταραχής.

Για την επίλυση του προαναφερθέντος προβλήματος, προβλέπεται ο σχεδιασμός απορροφητικών κρηπιδότοιχων, όπως αυτός αναλύεται στο κεφάλαιο 2.6.3. Κατά τον σχεδιασμό όμως ενός απορροφητικού κρηπιδότοιχου τίθενται διάφορα ερωτήματα. Κατά αρχάς, πρέπει να καθοριστεί το βέλτιστο μέγεθος των ογκολίθων που θα χρησιμοποιηθούν για να πληρωθεί ο θάλαμος εκτόνωσης κυματισμών και η κλίση με την οποία πρέπει αυτοί να τοποθετηθούν. Επιπλέον, πρέπει να βρεθεί το βέλτιστο ύψος στο οποίο πρέπει να τοποθετηθεί ο θάλαμος εκτόνωσης κυματισμών σε σχέση με την στάθμη ηρεμίας. Ακόμη, πρέπει να διερευνηθεί η συσχέτιση του μέσου συντελεστή ανάκλασης των διατάξεων του απορροφητικού κρηπιδότοιχου με διάφορες αδιάστατες παραμέτρους που προτείνονται από την βιβλιογραφία για την μελέτη της ανάκλασης. Τέλος, πρέπει να εξεταστεί η σύγκλιση των αποτελεσμάτων του μέσου συντελεστή ανάκλασης με εμπειρικούς τύπους που προτείνονται από την βιβλιογραφία.

Η παρούσα διπλωματική εργασία φιλοδοξεί να απαντήσει σε όλα τα παραπάνω θέματα. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε σειρά πειραμάτων που προβλέπει την δημιουργία 162 διαφορετικών κυματισμών που προσπίπτουν σε οχτώ διαφορετικές διατάξεις κρηπιδότοιχων.

Σε ερευνητικό επίπεδο, το θέμα της ανάκλασης θαλάσσιων κυματισμών πάνω σε παράκτιες κατασκευές, ενώ έχει αρχίσει να διερευνάται από πολύ παλιά Miche (1951) [1.1], η έρευνα παραμένει ακόμη περιορισμένη. «Συχνά η μελέτη της ανάκλασης αντιμετωπίζεται από τους μελετητές σχεδόν ως παραπροϊόν της μελέτης για την ευστάθεια των παράκτιων κατασκευών, την υπερπήδηση και την μετάδοση των κυμάτων» Barbara Zanuttigh et al.(2008) [1.2]. Μέχρι στιγμής έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφοροι εμπειρικοί τύποι για τον προσδιορισμό του μέσου συντελεστή

ανάκλασης BRC (Bulk Reflection Coefficient), Seelig and Ahrens (1981) [1.3], έχουν όμως αξιολογηθεί σε ένα πολύ μικρό δείγμα δεδομένων και κατ' επέκταση η αξιοπιστία τους είναι αμφίβολη.

Ιδιαίτερα ως προς την έρευνα για κατασκευές που είναι περατές, όπως είναι ο θάλαμος εκτόνωσης κυματισμών στον απορροφητικό κρηπιδότοιχο, μέχρι στιγμής η έρευνα αφορά την συμπεριφορά ολικά περατών (perforated) τοίχων και έχει επικεντρωθεί στην θεωρητική ανάλυση Belorgey et al (2003) [1.4]. Ιδιαίτερα όμως για την μείωση ύψους κύματος μπροστά σε κάθετο ημιπερατό κρηπιδότοιχο ελάχιστη πειραματική διερεύνηση έχει αναφερθεί Theocharis et al (2011) [1.5]. Από τα παραπάνω είναι εμφανής η έλλειψη πειραματικής διερεύνησης σχετικά με την ανακλαστική συμπεριφορά απορροφητικών κρηπιδότοιχων. Συνεπώς, το θέμα της διπλωματικής παρουσιάζει ενδιαφέρον και από ερευνητική σκοπιά.

Ως προς την δομή, η διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε οχτώ κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται τα απαραίτητα θεωρητικά στοιχεία που δίνουν την δυνατότητα στον αναγνώστη να εμπλουτίσει το θεωρητικό του υπόβαθρο ώστε να κατανοήσει εις βάθος το περιεχόμενο της εργασίας. Παρατίθενται θεωρητικά στοιχεία που αφορούν τα κύματα, την ανάκλαση κυμάτων, καθώς και τις μεθόδους υπολογισμού του συντελεστή ανάκλασης. Επιπλέον, γίνεται μία σύντομη αναφορά στα λιμενικά έργα και επεξηγείται η λογική στον σχεδιασμό ενός απορροφητικού κρηπιδότοιχου.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι εγκαταστάσεις και η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε. Επιπλέον επεξηγείται η μέθοδος συλλογής και επεξεργασίας των μετρήσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται ενδελεχώς τα φυσικά προσομοιώματα για την κάθε διάταξη, παρέχονται σχέδια διατομών αλλά και φωτογραφίες από όλες τις φάσεις των μετρήσεων. Επιπλέον επισυνάπτεται το πλήρες πρόγραμμα των πειραματικών μετρήσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των κυμάτων υπό μορφή διαγραμμάτων και τα αποτελέσματα των μέσων συντελεστών ανάκλασης υπό μορφή πινάκων, για κάθε πείραμα.

Στο έκτο κεφάλαιο διερευνάται η σχέση του συντελεστή ανάκλασης με διάφορες αδιάστατες παραμέτρους, όπως η κυρτότητα και ο συντελεστής θραύσεως αλλά και με το ύψος προσπίπτοντος κύματος.

Στο έβδομο κεφάλαιο εξετάζεται η συσχέτιση με εμπειρικούς τύπους που προτείνονται από την βιβλιογραφία.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της διπλωματικής.

Βιβλιογραφικές Αναφορές 1^ο Κεφαλαίου

- [1.1] Miche, M., (1951). Le pouvoir réfléchissant des ouvrages maritimes exposés à l'action de la houle. Ann. Ponts Chaussées 121, 285–319.
- [1.2] Barbara Zanuttigh, Jentsje W. van der Meer,(2008), Wave reflection from coastal structures in design conditions, Coastal Engineering 55, 771–779.
- [1.3] Seelig, W.N., Ahrens, J.P., (1981). Estimation of wave reflection and energy dissipation coefficients for beaches, revetments and breakwaters. CERC Technical paper 81-1, Fort Belvoir, U.S.A.C.E. MS, Vicksburg.
- [1.4] Belorgey, M., Rousset, J. M. , Carpentier, G., (2003). Perforated breakwaters, Dieppe harbor Jarlancaisson: General schedule and acquired experience. In Proceedings of the 13th International Offshore and Polar Engineering Conference, Honolulu, USA, The International Society of Offshore and Polar Engineers, pp. 850–857.
- [1.5] Ioannis Theocharis, Eleni N. Anastasaki , Costantinos I. Moutzouris, Theodora Giantsi, (2011), A new wave absorbing quay-wall for wave height reduction in a harbor basin, Ocean Engineering 38, 1967–1978.

2. Θεωρητικά Στοιχεία

2.1 Θεωρία Κυμάτων

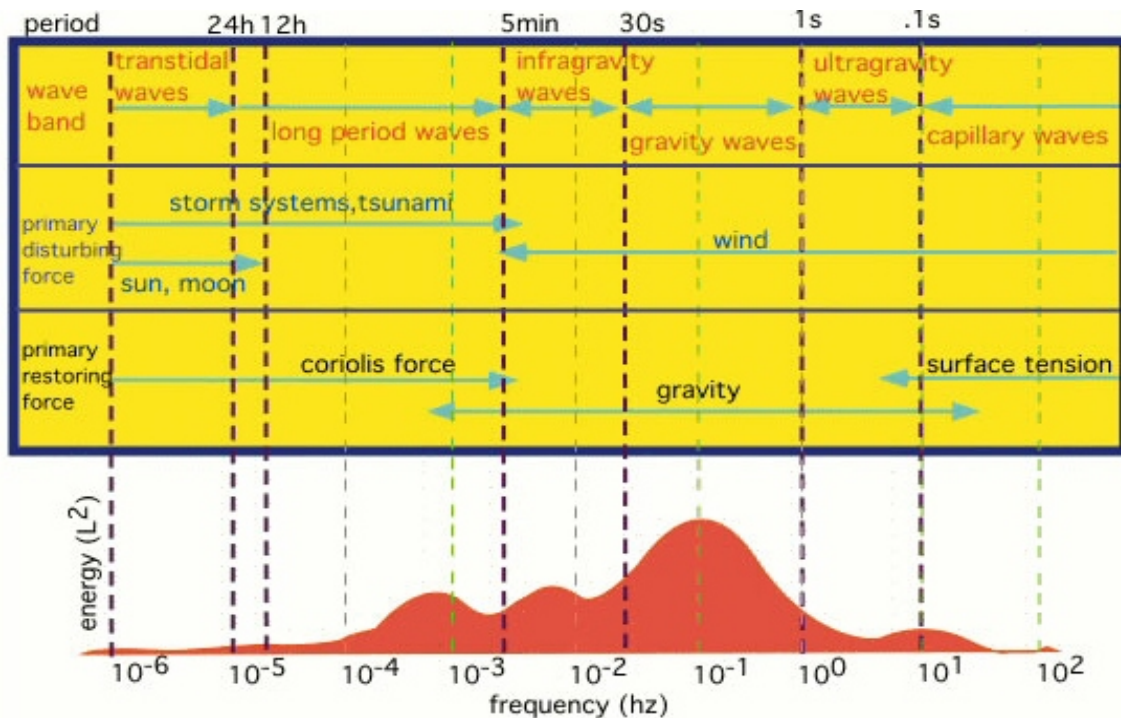
Ως κυματισμός, σε ένα συνεχές παραμορφώσιμο μέσο, ορίζεται η μη μόνιμη, περιοδική ή μη περιοδική διαταραχή της θέσεως των μορίων που το αποτελούν, γύρω από μία θέση ισορροπίας στο εσωτερικό ή στην επιφάνεια τους, Βαρδουλάκης,(2008), [2.1]. Στο θαλάσσιο περιβάλλον οι κυματισμοί προκύπτουν από την ταυτόχρονη δράση δυνάμεων απομακρύνσεως των υδάτινων σωματιδίων της θαλάσσιας μάζας από την θέση ηρεμίας τους (γενεσιουργές δυνάμεις) και των δυνάμεων επαναφοράς των σωματιδίων στις αρχικές θέσεις τους (επαναφέρουσες δυνάμεις).

Κύριες γενεσιουργές δυνάμεις των θαλάσσιων κυματισμών είναι ο άνεμος, οι σεισμικές δονήσεις, οι γρήγορες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσεως και η έλξη της σελήνης. Για τον πολιτικό μηχανικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν κυρίως οι ανεμογενείς κυματισμοί.

Οι κυριότερες επαναφέρουσες δυνάμεις είναι η βαρύτητα, η δύναμη Coriolis και η επιφανειακή τάση. Η δύναμη Coriolis αφορά κυρίως τους κυματισμούς μεγάλης κλίμακας, ενώ η επιφανειακή τάση αφορά τους κυματισμούς μικρής κλίμακας, με μήκος κύματος μερικών εκατοστών, Μουτζούρης,(2000),[2.2].

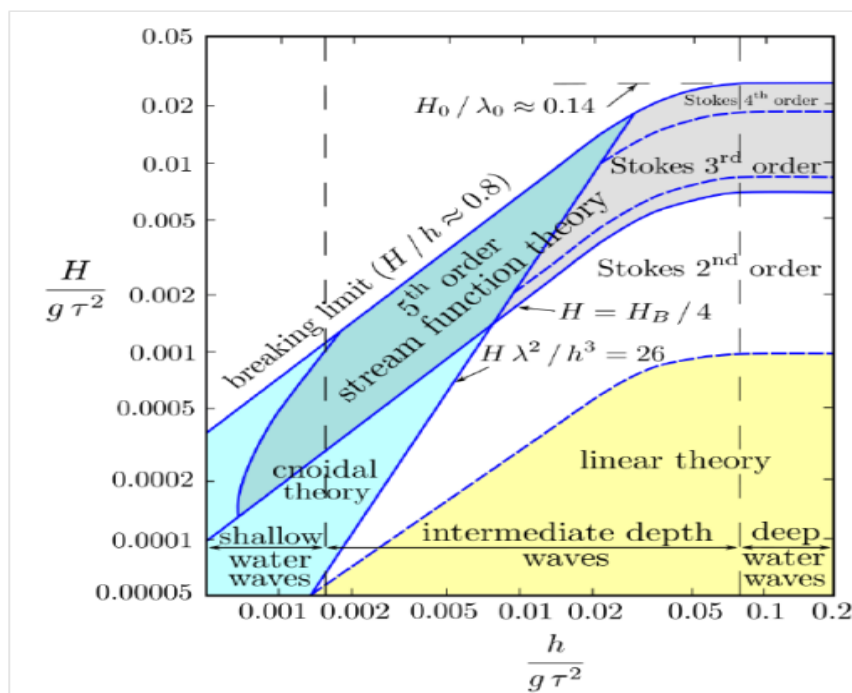
Μία άλλη συνήθης διάκριση στους κυματισμούς γίνεται με βάση την περίοδο των ταλαντώσεων των σωματιδίων. Για περιόδους μεγαλύτερες των 5 λεπτών οι κυματισμοί ονομάζονται μεγάλης περιόδου ενώ για μικρότερες περιόδους (ιδιαίτερα για περιόδους κάτω των 30 δευτερολέπτων) ονομάζονται κύματα μικρής περιόδου.

Ο Kinsman το 1965 παρουσίασε τις διάφορες κατηγορίες κυματισμών όπως αναλύθηκαν παραπάνω, σε σχέση με την συχνότητα των κυμάτων. Σχηματοποιημένη αυτή η διάκριση παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1.1 - Kinsman,(1965),[2.3].



Σχήμα 2.1.1 - Κατάταξη Κυματισμών κατά Kinsman

Οι κυματισμοί εξετάζονται με δύο μεθοδολογίες. Η πρώτη θεωρεί ότι η διαταραγμένη επιφάνεια αποτελείται από μια σειρά μονοχρωματικών κυμάτων ή μια σειρά κυμάτων με συχνότητες πολλαπλάσιες της βασικής. Με τις παραδοχές και την χρήση θεωριών της υδραυλικής καταλήγει σε μαθηματικές εκφράσεις για το πεδίο ροής. Αυτή είναι η μαθηματική θεωρία των κυματισμών. Οι κυριότερες μαθηματικές θεωρίες κυματισμών καθώς και το πεδίο εφαρμογής τους φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.1.2 - Πεδίο Εφαρμογής θεωριών Κύματος Le Méhauté (1976), [2.4]

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

2.2 Φασματικοί Κυματισμοί

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:

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

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. Οι Hasselman et al. (1973), [2.5] με βάση τα δεδομένα που συνέλεξαν από το ερευνητικό πρόγραμμα Joint North Sea Wave Program (JONSWAP) στα δυτικά των ακτών της Δανίας κατέληξαν ότι το φάσμα δεν είναι ποτέ εντελώς ανεπτυγμένο. Πρότειναν λοιπόν το φάσμα Jonswap που δεν συναρτάται μόνο από την ταχύτητα ανέμου αλλά και από το ανάπτυγμα πελάγους (fetch). Το φάσμα Jonswap είναι ένα από τα πιο ευρέως διαδεδομένα φάσματα για το σχεδιασμό και την παραγωγή φασματικών κυματισμών. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας παρήχθησαν φασματικά κύματα 3D (irregular waves), με τη χρήση του φάσματος-υποδείγματος Jonswap και κλίση 3,3.

2.3 Κλίμακα ομοιότητας

Για την εκλογή κλίμακας ομοιότητας λαμβάνονται υπόψη οι διαστάσεις της εγκαταστάσεως σε σχέση με τις διαστάσεις της περιοχής που πρόκειται να προσομοιωθεί και η δυνατότητα να προσομοιωθούν ικανοποιητικά οι μηχανισμοί λειτουργίας του έργου. Η προσομοίωση υδροδυναμικών μηχανισμών όπως η ανάκλαση, η διάθλαση και η περίθλαση απαιτούν ομοιότητα κατά Froude του προσομοιώματος προς το πρωτότυπο:

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

Όπου:

u είναι η χαρακτηριστική ταχύτητα, (m/sec)

g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, (m/sec²)

D το χαρακτηριστικό μήκος, (m)

Η ορθή προσομοίωση των μηχανισμών απαιτεί το ομοίωμα να έχει την ίδια κλίμακα ομοιότητας και προς τις τρεις διευθύνσεις. Η κλίμακα με την οποία προσομοιώνονται οι γραμμικές διαστάσεις του ομοιώματος είναι γνωστή ως γεωμετρική κλίμακα προσομοιώσεως (λ). Αφού ορισθεί η γεωμετρική κλίμακα προσομοιώσεως, οι κλίμακες για τις υδροδυναμικές παραμέτρους μπορούν να υπολογισθούν σύμφωνα με τους νόμους ομοιότητας. Στην συγκεκριμένη εργασία έχουμε επιλέξει γεωμετρική κλίμακα $\lambda=10$.

Επειδή η κύρια επαναφέρουσα δύναμη των κυματισμών είναι η βαρύτητα είναι απαραίτητο να διατηρείτε ο αριθμός Froude κατά το δυνατόν ίσος στο προσομοίωμα και στην φύση. Κατά αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι η σχέση βαρυτικών και αδρανειακών δυνάμεων παραμένει σταθερή.

Παράμετρος	Κλίμακα
Μήκος	$\lambda = \lambda$
Χρόνος	$\lambda_p = \lambda^{1/2}$
Ταχύτητα	$\lambda_\tau = \lambda^{1/2}$
Δύναμη	$\lambda_\delta = \lambda^3$
Όγκος	$\lambda_o = \lambda^3$
Μάζα	$\lambda_\mu = \lambda^3 \times (m_p/m_m)$
Επιτάχυνση	1

Σχήμα 2.3.1 – Τιμές Λόγων Ομοιότητας Διαφόρων Παραμέτρων

2.4 Επιδράσεις Στερεών Ορίων

Στη πρόσπτωση ενός κυματισμού σε ένα μέτωπο παρατηρείται το φαινόμενο της ανάκλασης και πιθανόν της περίθλασης ή και της υπερπήδησης του μετώπου. Η περίθλαση των κυματισμών είναι φυσικός μηχανισμός, στον οποίο λαμβάνει χώρα μετάδοση ενέργειας κατά μήκος κορυφογραμμών του προσπίπτοντος κύματος Μουτζούρης, (2000), [2.2].

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

Οι θαλάσσιοι κυματισμοί αλλάζουν εν γένει διεύθυνση μεταδόσεως όσο προσεγγίζουν την ακτή: η γωνία μεταξύ των καθέτων στο μέτωπο κύματος και στις ισοβαθείς του πυθμένα συνεχώς μειώνεται. Η ορθογωνική του κύματος τείνει να κινηθεί κάθετα προς τις ισοβαθείς και να καμπυλωθεί. Ο τύπος αυτών των παραμορφώσεων των θαλασσιών κυματισμών ονομάζεται διάθλαση, Μουτζούρης, (2000) [2.2].

Ως προς την θραύση, όταν οι παραμορφώσεις που εμφανίζονται στη διατομή του κύματος υπερβούν ορισμένα όρια, το κύμα θραύεται. Η θραύση οφείλεται στις μεγάλες παραμορφώσεις της διατομής από την επίδραση του πυθμένα. Σε γενικές γραμμές η θραύση εμφανίζεται στη βάση (θραύση εφορμήσεως) ή στο άνω μέρος του μετώπου (θραύση κυλίσεως) ή στην κορυφή (θραύση εκτινάξεως) της διατομής του κύματος.

Η εμφάνιση μιας από αυτές τις βασικές μορφές θραύσεως εξαρτάται από τη γωνία του πυθμένα α και την κυρτότητα γ του κύματος στα ανοιχτά. Όμως η γωνία του πυθμένα και η κυρτότητα γ σχετίζονται μέσω του συντελεστή θραύσης ξ (Iribarren number ή surf-similarity parameter), όπου:

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

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

2.5 Ανάκλαση Κυμάτων

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

Στην ανάκλαση η γωνία μεταξύ της καθέτου στο μέτωπο, στο σημείο προσπτώσεως και της διεύθυνσεως μεταδόσεως του προσπίπτοντος κύματος (γωνία προσπτώσεως) ισούται με τη γωνία μεταξύ της ίδιας καθέτου και της διεύθυνσεως μεταδόσεως του ανακλώμενου κύματος (γωνία ανακλάσεως) Μουτζούρης, (2000), [2.2].

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

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

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

Μία αδιάστατη παράμετρος που, σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, σχετίζεται με την ανάκλαση είναι η αδιάστατη παράμετρος χ . Οι Hughes and Fowler (1995), [2.10] πρότειναν την αδιάστατη παράμετρο χ , όπου:

$$\chi = \frac{f_p}{\tan\alpha} * \sqrt{\left(\frac{d}{g}\right)}$$

f_p : Η συχνότητα αιχμής.

$\tan\alpha$: Κλίση πρανούς έμπροσθεν της διάτομής.

d : Το βάθος του νερού στον πόδα της διατομής.

g : Η επιτάχυνση της βαρύτητας

Πρέπει να αποσαφηνιστεί ότι ο τύπος αφορά διατομές με πρανή.

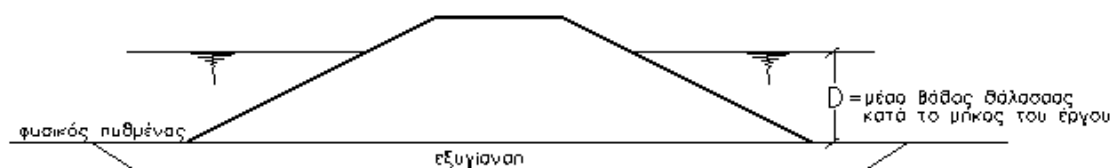
2.6 Λιμενικά Έργα

Τα λιμενικά έργα διαχωρίζονται ανάλογα με την θέση τους, δηλαδή εάν βρίσκονται εντός ή εκτός της λιμενολεκάνης, σε εσωτερικά ή εξωτερικά λιμενικά έργα. Τα εξωτερικά λιμενικά έργα, που συχνά ονομάζονται και έργα προστασίας λιμένα περιλαμβάνουν τους κυματοθραύστες, τους μώλους και τους βραχίονες και ως σκοπό έχουν να εξασφαλίσουν συνθήκες ηρεμίας εντός της λιμενολεκάνης. Τα εσωτερικά λιμενικά έργα περιλαμβάνουν τους περιμετρικούς κρηπιδότοιχους και τους προβλήτες με τον αντίστοιχο εξοπλισμό ελλιμενισμού.

Μία άλλη βασική διάκριση μεταξύ των λιμενικών έργων έχει να κάνει με την μορφή τους και κατά αυτό τον τρόπο διακρίνονται σε έργα με πρανή και σε έργα με κατακόρυφο μέτωπο.

2.6.1 Έργα με πρανή

Τα έργα με πρανή είναι κατεξοχήν εξωτερικά λιμενικά έργα, έχουν τραπεζοειδή, πρισματική μορφή (όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.6.1) και αποτελούνται από λιθορριπές. Η κεκλιμένη προς το πέλαγο παρειά συνιστά μηχανισμό απορρόφησης της ενέργειας των κυματισμών μέσω της θραύσης που προκαλεί, πλεονεκτώντας ως προς το κατακόρυφο μέτωπο που προκαλεί μόνιμο εξ ανακλάσεως κυματισμό.



Σχήμα 2.6.1– Τομή τυπικής διάταξης λιμενικού έργου με πρανή.

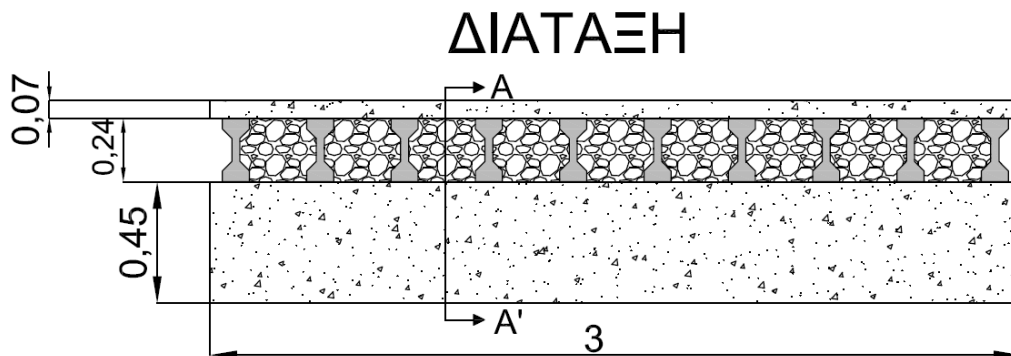
2.6.2 Έργα με κατακόρυφο μέτωπο

Τα έργα με κατακόρυφο μέτωπο μπορεί να είναι είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά λιμενικά έργα. Μειονεκτούν έναντι των έργων με πρανή ως προς το γεγονός ότι ο κυματισμός ανακλάται κατά την πρόσπτωση των κυματισμών και δεν θραύεται. Επιπλέον είναι πιο ευαίσθητα στις μετακινήσεις για αυτό και η θεμελίωση τους είναι πιο δαπανηρή σε σχέση με τα έργα με πρανή. Βέβαια, η κατασκευή κάθετων κρηπιδότοιχων στο εσωτερικό της λιμενολεκάνης είναι άκρως απαραίτητη αφού τα πλοία δεν θα μπορούσαν να προσεγγίσουν και να προσδέσουν στην προβλήτα, εάν υπήρχε επικλινές πρανές εντός της λιμενολεκάνης.

2.6.3 Απορροφητικός Κρηπιδότοιχος

Ο σχεδιασμός ενός απορροφητικού κρηπιδότοιχου έχει ως στόχο να εισαγάγει τα πλεονεκτήματα μίας διάταξης με πρανή στον σχεδιασμό ενός κρηπιδότοιχου. Η λογική πίσω από τον σχεδιασμό του είναι η δημιουργία μίας ζώνης εντός του κρηπιδότοιχου, η οποία θα πληρούται με πορώδες μέσο, θα βρίσκεται στο ύψος της στάθμης ηρεμίας και θα προσομοιάζει την λειτουργία μίας διάταξης με πρανή. Αντί λοιπόν ο κυματισμός να προσκρούει σε κάθετο αδιαπέρατο τοίχιο και να ανακλάται πλήρως, συνεχίζει να κινείται εντός του πορώδους μέσου. Μέσα από τη κίνηση του κυματισμού εντός του

πορώδους μέσου, ένα μέρος της ενέργειας του προσπίπτοντος κύματος «εκτονώνεται», με αποτέλεσμα να ανακλάται μικρότερο μέρος της ενέργειας προσπίπτοντος κύματος, να παρατηρούνται δηλαδή μικρότερα ύψη ανακλώμενου κύματος και συνεπώς μικρότεροι συντελεστές ανάκλασης. Από αυτό το σημείο και έπειτα η προαναφερθείσα ζώνη εντός του κρηπιδότοιχου θα ονομάζεται «θάλαμος εκτόνωσης κυματισμών». Η διάταξη που επιλέχθηκε, αποτελείται από ένα κάθετο μέτωπο ύψους... από σκυρόδεμα, άνωθεν του οποίου βρίσκεται θάλαμος εκτόνωσης κυματισμών ύψους ... και άλλο ένα κάθετο μέτωπο ύψους, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.6.3



Σχήμα 2.6.3– Τυπική διάταξη απορροφητικού κρηπιδότοιχου.

2.7 Υπολογισμός του μέσου συντελεστή ανάκλασης μέσω εμπειρικών τύπων.

Μεγάλη ερευνητική προσπάθεια έχει καταβληθεί για τον προσδιορισμό εμπειρικών τύπων που ανάλογα με την γεωμετρία του έργου και το κύμα σχεδιασμού, προσδιορίζουν τον συντελεστή ανάκλασης. Μετά από μεγάλο αριθμό μετρήσεων οι Seelig και Ahrens (1981), [2.7] κατέληξαν στον παρακάτω τύπο:

$$\text{BRC} = \alpha * \frac{\xi^2}{b + \xi^2}$$

Οι συντελεστές a και b εξαρτώνται από την γεωμετρία της κατασκευής και δίδονται από τους μελετητές για κάποιες κατηγορίες διατομών. Βέβαια ο τύπος αυτός αναφέρεται σε διατομές με πρηνή. Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η δυνατότητα εφαρμογής του τύπου σε διατάξεις με θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, θεωρώντας ως κλίση του πρηνούς την κλίση του πορώδους εντός του θαλάμου κυματισμών.

Τα τελευταία χρόνια την προσπάθεια έχουν συνεχίσει ερευνητικές ομάδες υπό την καθγήτρια του πανεπιστημίου της Bologna, Barbara Zanuttigh. Η πρώτη ομάδα Zanuttigh, B. et al. (2009) [2.8] κατέληξε στην παρακάτω σχέση:

$$\text{BRC} = \tanh(a * \xi_0^b)$$

Οι συντελεστές a και b προκύπτουν ως συνάρτηση της τραχύτητας του μετώπου γ_f .

Ο παραπάνω τύπος όμως έχει το μειονέκτημα ότι δεν λαμβάνει υπόψη την γωνία προσπτώσεως. Έτσι οι Zanuttigh B., Andersen T.L., (2010) [2.9] κατέληξαν στον παρακάτω τύπο που λαμβάνει υπόψη και την γωνία προσπτώσεως μέσω ενός μειωτικού συντελεστή:

$$\text{BRC}(\varphi) = \text{BRC}(\varphi = 0) * \cos\varphi$$

Όπου φ , είναι η γωνία προσπτώσεως του κύματος στο μέτωπο και με την προϋπόθεση ότι $0^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$.

2.8 Χρησιμοποιούμενα Σύμβολα (Notations)

- H_s : το χαρακτηριστικό ύψος κύματος
- T_m : η μέση περίοδος του κυματισμού
- T_p : η περίοδος αιχμής του φάσματος του κυματισμού
- h : το βάθος του πυθμένα στο φυσικό προσομοίωμα
- L : το μήκος κύματος στα ρηγά και ενδιάμεσα νερά
- L_o : το μήκος κύματος στα βαθιά νερά
- α : η γωνία του πορώδους εντός του θαλάμου κυματισμών
- BRC : ο μέσος συντελεστής ανάκλασης
- S : η κυματική ενέργεια (energy density)
- S_{rr} : η κυματική ενέργεια ανακλώμενου φασματικού κυματισμού
- S_{ii} : η κυματική ενέργεια προσπίπτοντος φασματικού κυματισμού
- γ : η κυρτότητα κυματισμού
- ξ : ο συντελεστής θραύσεως (surf-similarity parameter)
- χ : αδιάστατη παράμετρος στην ανάκλαση
- Fr : αριθμός Froude

Βιβλιογραφικές Αναφορές 2^ο Κεφαλαίου

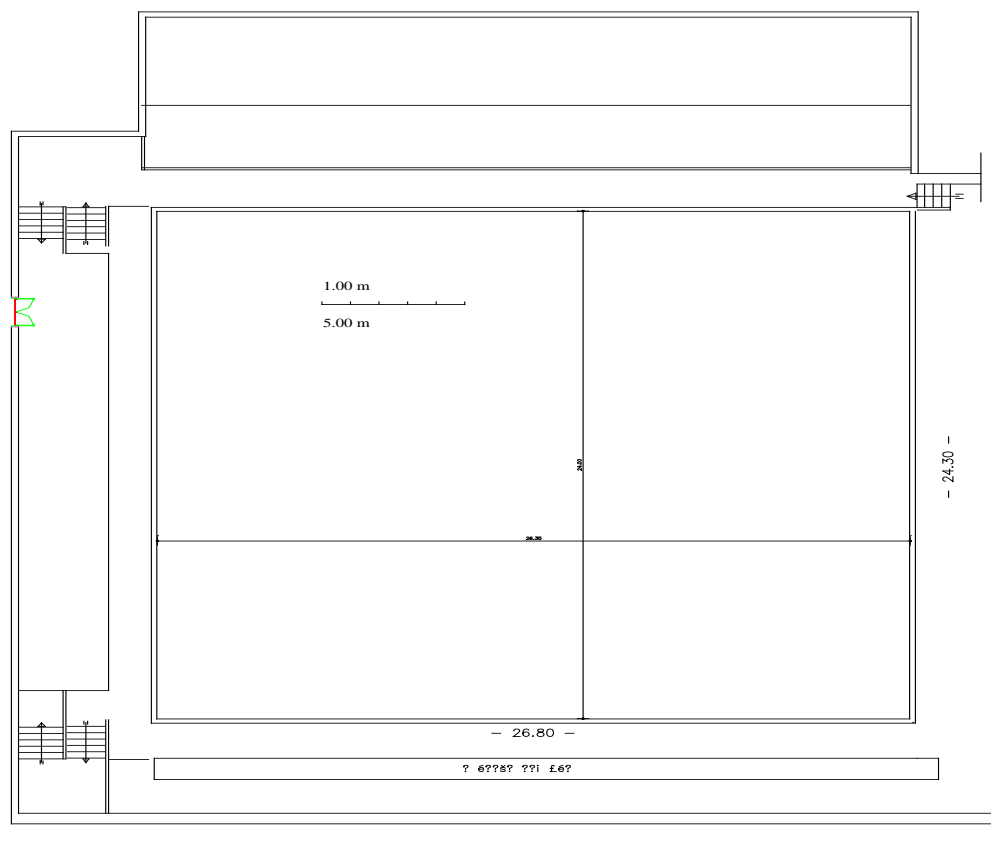
- [2.1] Βαρδουλάκης Ι., (2008), Εισαγωγή στη Μηχανική του Συνεχούς Μέσου., Εκδόσεις Συμμετρία.
- [2.2] Μουτζούρης Κ.Ι.,(2000), Θαλάσσια Υδραυλική, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- [2.3] Kinsman B., (1965), Wind Waves: Their Generation and Propagation on the Ocean Surface, Prentice-Hall
- [2.4] Le Méhauté, B. (1976), An introduction to hydrodynamics and water waves, Springer.
- [2.5] Hasselmann, D. E., Dunckel M., Ewing J. A., (1980), Directional Wave Spectra Observed during JONSWAP 1973., J. Phys. Oceanogr., 10, 1264–1280.
- [2.6] Εργαστήριο Λιμενικών Έργων, (2011), Σημειώσεις με τίτλο <<Προσομοίωση Λιμενικών Έργων>>.
- [2.7] Seelig W.N., Ahrens J.P., (1981), Estimation of wave reflection and energy dissipation coefficients for beaches, revetments, and breakwaters, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Technical Paper Volume 81-1, 1981, 40p
- [2.8] Zanuttigh, B, Van Der Meer, J.W., Andersen, T.L., Lara, J.L., Losada, I.J.(2009), Analysis of wave reflection from structures with berms through an extensive database and 2DV numerical modeling, Proceedings of the 31st International Conference on Coastal Engineering, Pages 3285-3297
- [2.9] Zanuttigh B., Andersen T.L.,(2010), Wave reflection in 3D conditions, Coastal Engineering, Volume 57, Issue 5, May 2010, Pages 531-538
- [2.10] Hughes, S. A.. and Fowler, J. E. (1995). "Estimating wave-induced kinematics at sloping structures." J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engrg., ASCE, 121(4),209-215.

3. Πειραματικές Εγκαταστάσεις Ε.Λ.Ε.

3.1 Πειραματικές Δεξαμενές

Το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων 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, Β.Κ Τσουκαλά, Θ. Γιαντσή, Ε.Ν. Αναστασάκη, (2011), [3.1].

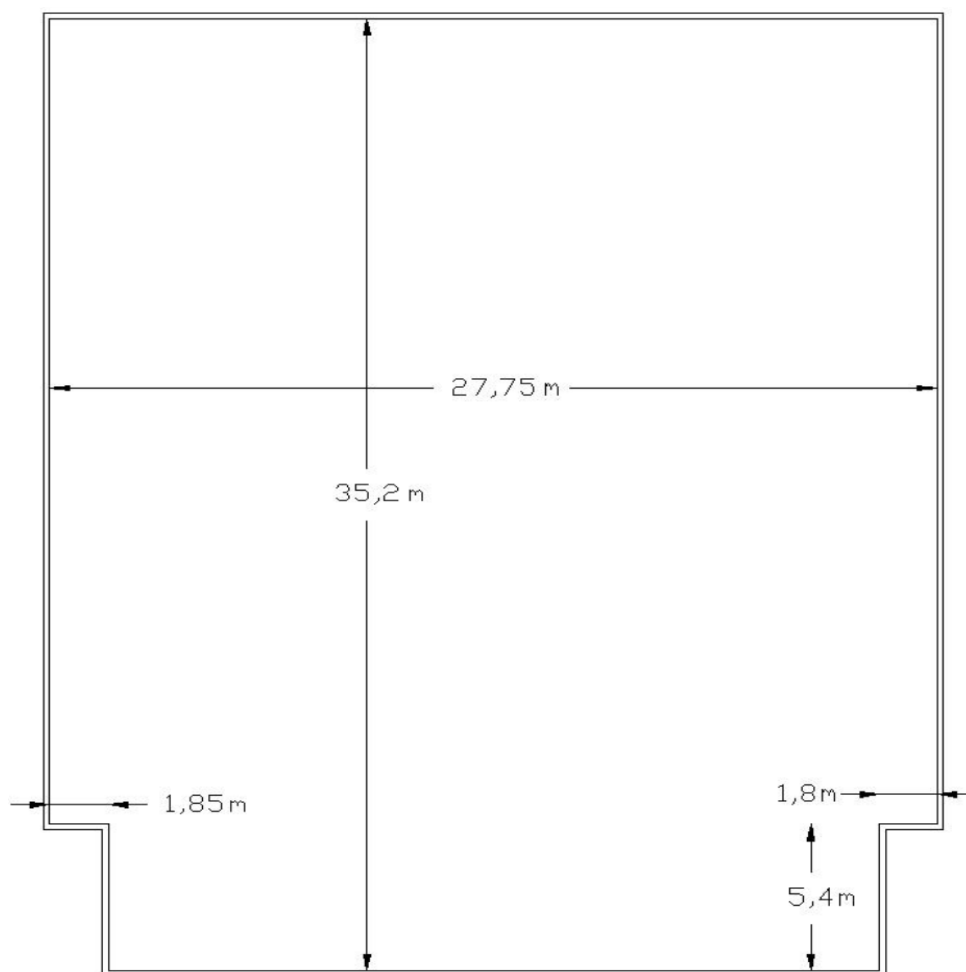
Η Δεξαμενή Δοκιμών Δ1 του Ε.Λ.Ε., έχει εσωτερικές διαστάσεις 26,80 x 24,30 m και βάθος 1,1 m. Για την απορρόφηση των προσπιπτόντων κυμάτων στα τοιχώματα της έχουν κατασκευασθεί αποσβεστικές επενδύσεις από λιθορριπή. Η κλίση της λιθορριπής είναι 1:2 και έχει τέτοια κοκκομετρία ώστε να ανακλάται όσο το δυνατόν μικρότερο ποσοστό του προσπίπτοντος κύματος.



Σχήμα 3.1.1 : Κάτοψη Δεξαμενής Δ1

Η δεξαμενή Δ2 έχει εσωτερικές διαστάσεις 35,20x 27,75m και βάθος 1,0 m. Παρατίθεται η κάτοψη στο Σχήμα 3.1.2. Στην δεξαμενή περιμετρικά έχουν κατασκευασθεί αποσβεστικές επενδύσεις από λιθορριπή κλίσεως 1:2, με κοκκομετρία που εξασφαλίζει κατά το δυνατόν ελάχιστο συντελεστή ανάκλασης.

Για τις ανάγκες των πειραματικών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε τμήμα της δεξαμενής Δ1 όπου χρησιμοποιήθηκε ένας κυματιστήρας μήκους 6 m και ύψους 1 m τοποθετημένος παράλληλα ως προς το προσομοίωμα ώστε να παράγει κυματισμούς που προσπίπτουν κάθετα στο προσομοίωμα.



Σχήμα 3.1.2 : Κάτοψη Δεξαμενής Δ2

3.2 Λογισμικό και Υδραυλικό Σύστημα Παραγωγής Κυματισμών

Η παραγωγή κυματισμών γίνεται μέσω ενός συστήματος που περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Υδραυλικό μηχανισμό, κινητήρα
- Υδραυλικά έμβολα
- Κυματιστήρες
- Σύστημα ελέγχου
- Λογισμικό Η/Υ

Από την ελαιοδεξαμενή μέσω μίας αντλίας και ελαστικών σωληνώσεων, τα έλαια της δεξαμενής κινούνται υπό πίεση στον κυματιστήρα όπου κινούν τα έμβολα. Τα έμβολα με την σειρά τους κινούν το κατακόρυφο μέτωπο που έχει διαστάσεις 6 m x 1 m και παράγει τον κυματισμό.

Ο χειρισμός του υδραυλικού συστήματος παραγωγής κυματισμών γίνεται μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή εξοπλισμένου με το λογισμικό WAVEGEN SD της εταιρείας H.R. Wallingford το οποίο έχει την δυνατότητα παραγωγής μονοχρωματικών αλλά και φασματικών κυματισμών.

3.3 Συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων

Η συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων έγινε σε άλλο ηλεκτρονικό υπολογιστή εξοπλισμένο με το λογισμικό HR Wavedata της εταιρείας HR Wallingford.

Καθημερινά πριν ξεκινήσει η διαδικασία των μετρήσεων γινόταν βαθμονόμηση των μετρητών σύμφωνα με τις διαδικασίες που προτείνει ο κατασκευαστής. Αρχικά καθαριζόταν με προσοχή οι μετρητές για να εξασφαλιστεί η απουσία αλάτων που αλλοιώνουν τις μετρήσεις. Στην συνέχεια λαμβάνονταν μετρήσεις της στάθμης ηρεμίας για τρία τουλάχιστον διαφορετικά μήκη εμβαπτισμού ανά μετρητή. Μεγάλη προσοχή δινόταν στην προσπάθεια να μεσολαβεί ικανό χρονικό διάστημα μεταξύ της τελευταίας μετακίνησης του εργαστηριακού βοηθού που βρισκόταν εντός της δεξαμενής και της λήψης της μέτρησης, ώστε να εξασφαλίζεται η ηρεμία του νερού αφού απαιτείται η απόλυτη ηρεμία του νερού για την λήψη των μετρήσεων. Οι δεδομένες μετακίνησης των μετρητών μέσα στο νερό αντιστοιχιζόταν με τις μετρημένες διαφορές δυναμικού.

Μέσω του προγράμματος βρισκόταν μία γραμμική σχέση μεταξύ της μεταβολής του μήκους των μετρητών σε εκατοστά και της διαφοράς δυναμικού σε volts. Με αυτό τον τρόπο το πρόγραμμα μετατρέπει, με σφάλμα κατά πολύ μικρότερο του 1%, την διαφορά δυναμικού που λαμβάνει από τους μετρητές σε μέτρηση για το ύψος κύματος.

Η συλλογή των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα HR Wavedata της εταιρείας HR Wallingford. Λήφθηκαν 32.768 δεδομένα σε κάθε πείραμα και οι μετρήσεις είχαν συχνότητα 60 Hz, δηλαδή λαμβάνονταν 60 τιμές μέτρησης ανά δευτερόλεπτο από κάθε μετρητή.

Για την παραγωγή των κυματισμών χρησιμοποιήθηκε λογισμικό WAVEGEN SD της εταιρείας H.R. Wallingford, Bersford P.J.,(2003),[3.2]. Η συλλογή των μετρήσεων ξεκινούσε 150 sec αφού είχε ξεκινήσει η παραγωγή των κυματισμών ώστε να έχει διαδοθεί ο κυματισμός σε όλη την δεξαμενή. Οι μετρητές μετρούσαν κυματομορφές δηλαδή το ύψος του κύματος στην μονάδα του χρόνου. Μετά το πέρας του κάθε πειράματος παρεμβαλλόταν ικανός χρόνος ώστε να έχουν επικρατήσει συνθήκες ηρεμίας στην δεξαμενή, πριν την έναρξη μετρήσεων για την επόμενη φάση πειραμάτων.

Ως προς το πλήθος των μετρήσεων στην μονάδα του χρόνου και των δεδομένων που συλλέγονται ανά πείραμα υπάρχουν κάποιες ελάχιστες απαιτήσεις. Πιο συγκεκριμένα, για να είναι αξιόπιστη η ανάλυση των δεδομένων πρέπει τα δεδομένα να είναι περισσότερα από 4096 και η συχνότητα μέτρησης να είναι μεγαλύτερη από $30 \cdot f_p$. Και οι δύο προϋποθέσεις τηρούνται, καθώς σε κάθε πείραμα συλλέγονται 32.768 δεδομένα, περισσότερα από 4096 και η δεύτερη συνθήκη τηρείται, αφού η συχνότητα μέτρησης έχει οριστεί 60 Hz και η συχνότητα αιχμής f_p δεν υπερβαίνει την τιμή 2, για όλους τους παραγόμενους κυματισμούς.

Μετά την συλλογή ακολουθεί ανάλυση των δεδομένων με το πρόγραμμα HR wavedata, Bersford P.J., J.M.A Spencer, J. Clarke, (2003) [3.3]. Η ανάλυσή των δεδομένων γίνεται σε διαφορετικά στάδια επεξεργασίας. Αρχικά η στατιστική ανάλυσή τους γίνεται με τη μέθοδο Down crossing η οποία βασίζεται στη μέτρηση των κυμάτων μέσω της μέτρησης καθοδικής πορείας της κυματομορφής από το μέσο όρο των μετρήσεων. Μέσα από την στατιστική ανάλυση προκύπτει ο μέσος όρος τιμών των υψών των κυματισμών (mean value), τις μέγιστες (max value) και ελάχιστες τιμες (min value), την τυπική απόκλιση τους Std, το μέσο όρο με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (RMS), τον αριθμό των κυμάτων που μετρήθηκαν (N), τη μέση περίοδο τους (T_{bar}), το

μέγιστο ύψος κύματος (H_{max}) και το ελάχιστο ύψος κύματος (H_{min}). Επίσης υπολογίζονται το μέσο ύψος των 10% μεγαλύτερων κυμάτων (H_{10}), το μέσο ύψος των μεγαλύτερων 33% των κυμάτων ($H_{1/3}$) και το μέσο ύψος κύματος με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (H_{rms}).

Αφού ολοκληρωθεί η στατιστική ανάλυση ακολουθεί το επόμενο στάδιο ανάλυσης που είναι η φασματική ανάλυση των κυματισμών μέσω του μετασχηματισμού Fourier. Μέσω αυτής της μεθόδου υπολογίζεται γραφικά η φασματική ενέργεια του κυματισμού (PSD) συναρτήσει της συχνότητάς του. Από το παραπάνω διάγραμμα υπολογίζεται το χαρακτηριστικό ύψος κύματος $H_s = 4 * \sqrt{m_0}$, όπου m_0 είναι η μηδενική ροπή του φάσματος και $m_0 = \int S(f)$, όπου $S(f)$ είναι η φασματική ενέργεια των μετρημένων κυματισμών. Το H_s αντιστοιχεί ως μέγεθος στο $H_{1/3}$ της στατιστικής ανάλυσης και είναι από τα βασικότερα μεγέθη διαστασιολόγησης λιμενικών έργων. Άλλα αποτελέσματα της μεθόδου είναι το f_p (peak wave frequency), δηλαδή η συχνότητα που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη φασματική ενέργεια. Το T_p είναι η περίοδος που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη ενέργεια και το $T_m(s)$ η μέση φασματική περίοδος.

Το πρόγραμμα HR wavedata όμως μπορεί να κάνει και άλλες επεξεργασίες. Η πιο σημαντική και χρήσιμη για τη παρούσα διπλωματική είναι αυτή με την οποία υπολογίζει το μέσο συντελεστή ανάκλασης BRC (Bulk Reflection Coefficient) καθώς και τα ενεργειακά φάσματα του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου κυματισμού μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων σε φασματικό παραγόμενο κυματισμό. Αυτή η μέθοδος είναι ένας συνδυασμός της προσέγγισης του Isaacson και των Zelt και Skjelbreia.

Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου απαιτούνται 4 μετρητές σε σειρά, σε ίδιο βάθος νερού και σε συγκεκριμένες αποστάσεις από τη διατομή. Συγκεκριμένα ο πρώτος μετρητής απέχει από τον δεύτερο 35 cm, ο πρώτος από τον τρίτο 80 cm και ο πρώτος από τον τέταρτο 1 m. Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης BRC είναι ίσος με το μέσο όρο των συντελεστών ανάκλασης σε κάθε συχνότητα, που είναι ίσος με το λόγο των ανακλώμενων προς των προσπιπτόντων ενεργειών του κυματισμού ανά συχνότητα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές 3^ο Κεφαλαίου

- [3.1] Β.Κ Τσουκαλά, Θ. Γιαντσή, Ε.Ν. Αναστασάκη, (2011), Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας, εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- [3.2] Bersford P.J., (2003), HR Wave Maker - Wave Generation control program, Software manual, Report IT 453 Issue 5, H.R. Wallingford.
- [3.3] Bersford P.J., J.M.A Spencer, J. Clarke, (2003), HR Wave Data - Data Acquisition and analysis software program User manual, Report IT 493, H.R. Wallingford.

4. Πειραματικές Διατάξεις

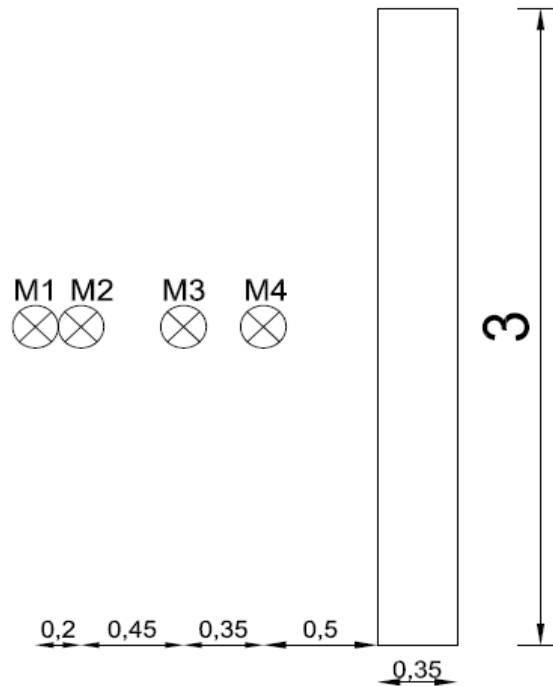
4.1 Γενικά Στοιχεία

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εξετάστηκαν οχτώ διαφορετικές διατάξεις. Τα πειράματα έγιναν στην Δεξαμενή Δ1 και το προσομοίωμα ήταν τοποθετημένο παράλληλα στον κυματιστήρα ώστε οι κυματισμοί να προσπίπτουν κάθετα σε αυτό. Η γενική διάταξη φαίνεται στο σχήμα 4.1.1. Στα αριστερά διακρίνεται ο κυματιστήρας ενώ στα δεξιά διακρίνεται το προσομοίωμα.



Σχήμα 4.1.1 – Γενική διάταξη στην δεξαμενή Δ1

Καθημερινά γινόταν βαθμονόμηση των οργάνων και ακολουθούσαν η πειραματική διαδικασία όπως αυτή περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στο σχήμα 4.1.2 φαίνονται οι τέσσερις μετρητές όπως έχουν τοποθετηθεί και στις οχτώ διατάξεις. Είναι κεντρικά τοποθετημένοι μπροστά στην εκάστοτε διάταξη, σε αποστάσεις όπως αυτές διακρίνονται στο σχήμα. Ο μετρητής ένα είναι ο πιο απομακρυσμένος από την διατομή ενώ ο μετρητής τέσσερα να είναι ο εγγύτερος στην διατομή. Υπάρχει και ένας πέμπτος μετρητής κοντά στον κυματιστήρα, ο οποίος όμως χρησιμοποιείται ως μετρητής ελέγχου. Στην συνέχεια παρέχονται αναλυτικές πληροφορίες για κάθε διάταξη, το πρόγραμμα μετρήσεων καθώς και λεπτομερή σχέδια της κάθε διάταξης.



Σχήμα 4.1.2 – Θέσεις μετρητών σε σχέση με το προσομοίωμα.

4.2 Διάταξη Α – Κάθετο Αδιαπέρατο Μέτωπο

Η διάταξη Α έχει μήκος 3.00 m, πλάτος 0.35 m και ύψος 0.75 m. Η στάθμη στην δεξαμενή Δ1 ήταν στα 0.59 μέτρα και η πειραματική διάταξη είναι τοποθετημένη παράλληλα στον κυματιστήρα έτσι ώστε τα κύματα να προσπίπτουν κάθετα σε αυτήν. Η διάταξη Α είναι αδιαπέρατη καθ' όλον το ύψος της και προσομοιάζει έναν συνήθη κρηπιδότοιχο και τα αποτελέσματα της διάταξης χρησιμοποιούνται ως μέτρο σύγκρισης με τα αποτελέσματα των διαφόρων απορροφητικών κρηπιδότοιχων. Παρατίθενται το πρόγραμμα μετρήσεων με το χαρακτηριστικό ύψος προσπίπτοντος κύματος, την περίοδο αιχμής και τον κωδικό μέτρησης, σχέδια που περιλαμβάνουν όψη, κάτοψη και τομή του μοντέλου καθώς και φωτογραφία της διάταξης Α, όπως αυτή κατασκευάστηκε.



Σχήμα 4.2.1 – Όψη, Κάτοψη και τομή της διάταξης Α.

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
				Hs Inc (mm)	Tp(s)
1	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.1.1	0.6923	0.556
2	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.1.2	1.035	0.556
3	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.1.3	1.249	0.556
4	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.1.4	1.653	0.556
5	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.1.5	2.057	0.556
6	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.1.6	3.152	0.556
7	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.1.7	2.988	0.556
8	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.2.1	21.33	1
9	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.2.2	36.13	1
10	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.2.3	45.01	1
11	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.2.4	56.11	1
12	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.2.5	61.08	1
13	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.2.6	66.06	1
14	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.3.1	47.86	1.5
15	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.3.2	67.22	1.5
16	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.3.3	90.06	1.5
17	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.3.4	107.2	1.5
18	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.3.5	120.3	1.5
19	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.4.1	56.41	2
20	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.4.2	68.14	2
21	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.4.3	93.39	2
22	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.4.4	101.9	2
23	A	ΚΑΘΕΤΟ ΜΕΤΩΠΟ	A.4.5	110.1	2

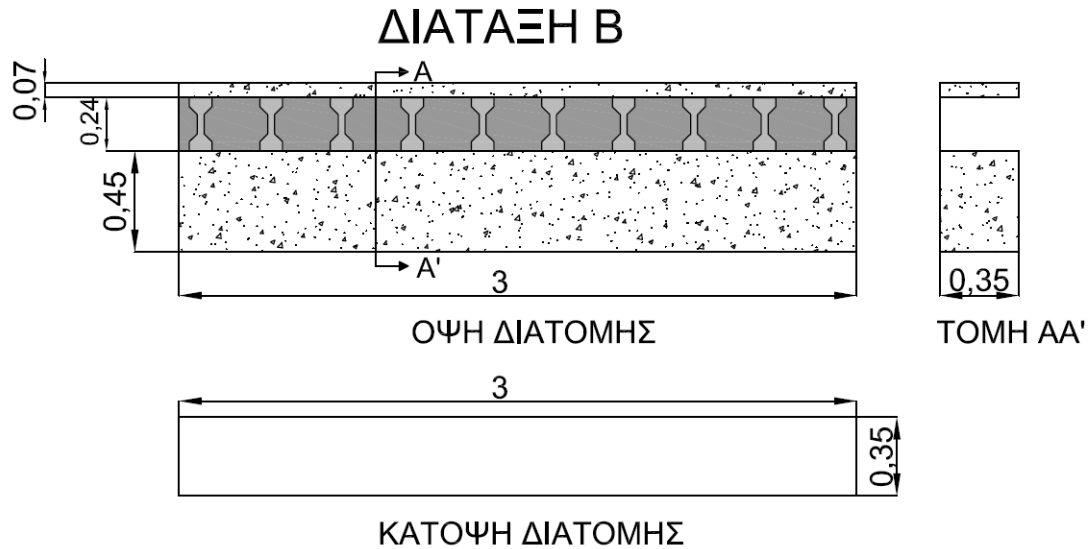
Πίνακας 4.2.2: Πρόγραμμα Μετρήσεων Διάταξης Α.



Φωτογραφία 4.2.3 –Διάταξη Α.

4.3 Διάταξη Β - Κενός θάλαμος

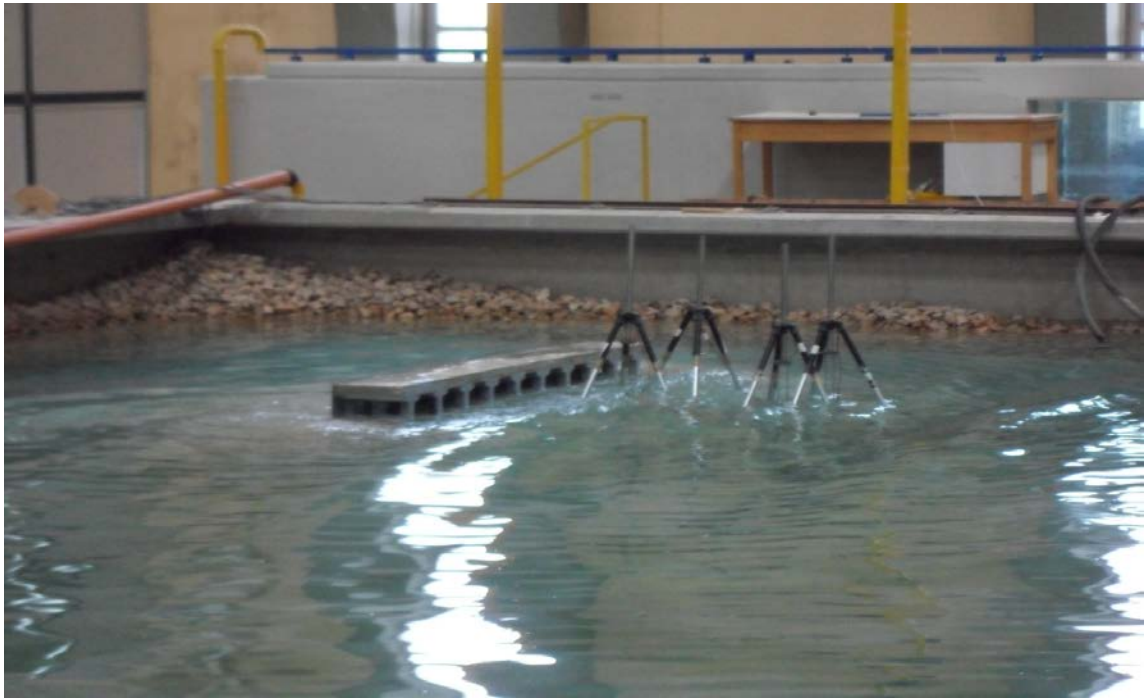
Η διάταξη Β έχει μήκος 3.00 m, πλάτος 0.35 m και ύψος 0.75 m. Η στάθμη στην δεξαμενή Δ1 ήταν στα 0.59 μέτρα και η πειραματική διάταξη είναι τοποθετημένη παράλληλα στον κυματιστήρα έτσι ώστε τα κύματα να προσπίπτουν κάθετα σε αυτήν. Η διάταξη Β περιέχει θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος είναι κενός και κλεισμένος με αδιαπέρατο μέτωπο στην πίσω παρειά. Παρατίθενται το πρόγραμμα μετρήσεων με το χαρακτηριστικό ύψος προσπίπτοντος κύματος, την περίοδο αιχμής και τον κωδικό μέτρησης, σχέδια που περιλαμβάνουν όψη, κάτοψη και τομή του μοντέλου καθώς και φωτογραφία της διάταξης Β, όπως αυτή κατασκευάστηκε.



Σχήμα 4.3.1 – Όψη, Κάτοψη και τομή της διάταξης Β.

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
				Hs Inc (mm)	Tp(s)
24	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.1.1	0,5338	0.556
25	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.1.2	0,8535	0.556
26	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.1.3	1,212	0.556
27	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.1.4	1,541	0.556
28	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.1.5	1,809	0.556
29	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.1.6	2,233	0.556
30	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.2.1	21,79	1
31	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.2.2	31,96	1
32	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.2.3	41,16	1
33	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.2.4	49,19	1
34	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.2.5	56,21	1
35	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.2.6	60,84	1
36	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.3.1	48,8	1.5
37	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.3.2	64,76	1.5
38	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.3.3	88,35	1.5
39	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.3.4	107,2	1.5
40	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.3.5	125,5	1.5
41	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.3.6	135,5	1.5
42	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.4.1	53,05	2
43	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.4.2	65,16	2
44	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.4.3	87,26	2
45	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.4.4	96,2	2
46	B	ΚΕΝΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ	B.4.5	105,4	2

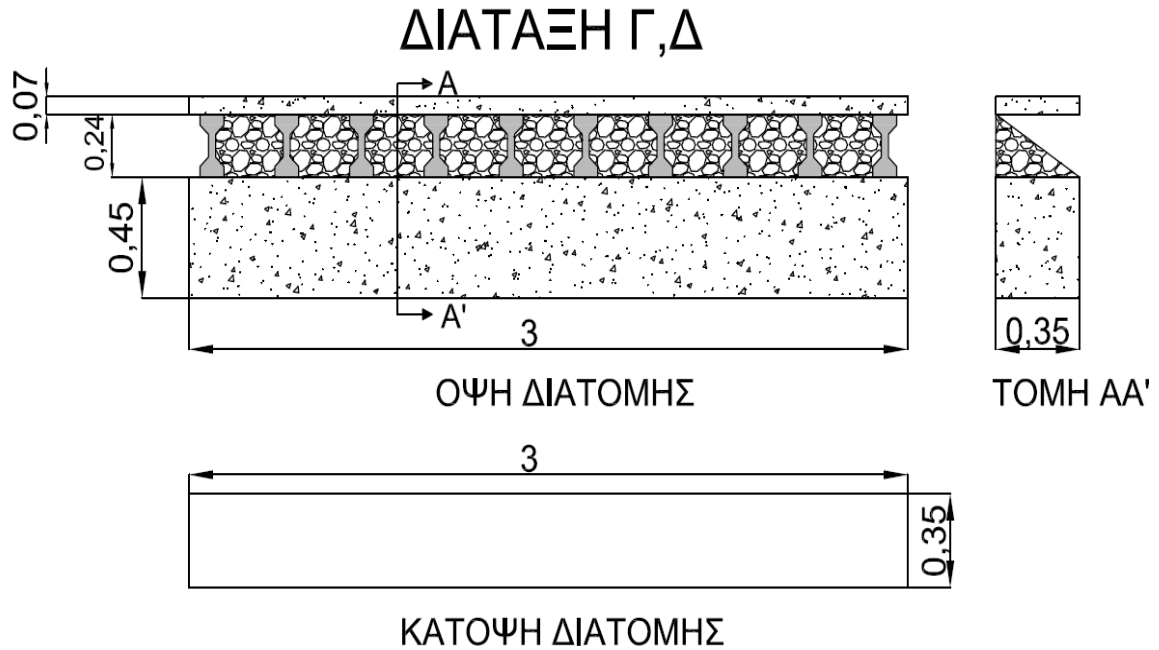
Πίνακας 4.3.2: Πρόγραμμα μετρήσεων διάταξης Β.



Φωτογραφία 4.3.3 – Διάταξη Β.

4.4 Διατάξεις Γ και Δ – Θάλαμος πληρωμένος με πορώδες υλικό

Οι διατάξεις Γ και Δ έχουν μήκος 3.00 m, πλάτος 0.35 m και ύψος 0.75 m. Η στάθμη στην δεξαμενή Δ1 ήταν στα 0.59 μέτρα για την διάταξη Γ και στα 0.55 μέτρα για την διάταξη Δ και η πειραματική διάταξη είναι τοποθετημένη παράλληλα στον κυματιστήρα έτσι ώστε τα κύματα να προσπίπτουν κάθετα σε αυτήν. Οι διατάξεις Γ και Δ περιέχουν θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος πληρούται με λιθορριπή βάρους 25-55 gr ανά λίθο, με πορώδες $n=0,33$ και $d_m=2.75$ cm υπό γωνία 35 μοιρών εντός του θαλάμου όπως φαίνεται και στην τομή. Παρατίθενται το πρόγραμμα μετρήσεων με το χαρακτηριστικό ύψος προσπίπτοντος κύματος, την περίοδο αιχμής και τον κωδικό μέτρησης, σχέδια που περιλαμβάνουν όψη, κάτοψη και τομή του μοντέλου καθώς και φωτογραφία των διατάξεων Γ και Δ, όπως αυτές κατασκευάστηκαν.



Σχήμα 4.4.1– Όψη, Κάτοψη και τομή των διατάξεων Γ,Δ.

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
				Hs Inc (mm)	Tp(s)
47	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.1.1	-	0.556
48	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.1.2	0,9481	0.556
49	Γ	Γωνία Υλικού 35ο	Γ.1.3	1,241	0.556
50	Γ	Γωνία Υλικού 35ο	Γ.1.4	1,764	0.556
51	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.1.5	2,36	0.556
52	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.1.6	3,174	0.556
53	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.2.1	20,99	1
54	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.2.2	31,75	1
55	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.2.3	39,37	1
56	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.2.4	45,91	1
57	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.2.5	51,88	1
58	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.2.6	53,84	1
59	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.3.1	45,23	1.5
60	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.3.2	65,29	1.5
61	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.3.3	83,3	1.5
62	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.4.1	51,65	2
63	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.4.2	63,25	2
64	Γ	Γωνία Υλικού 35°	Γ.4.3	86,1	2

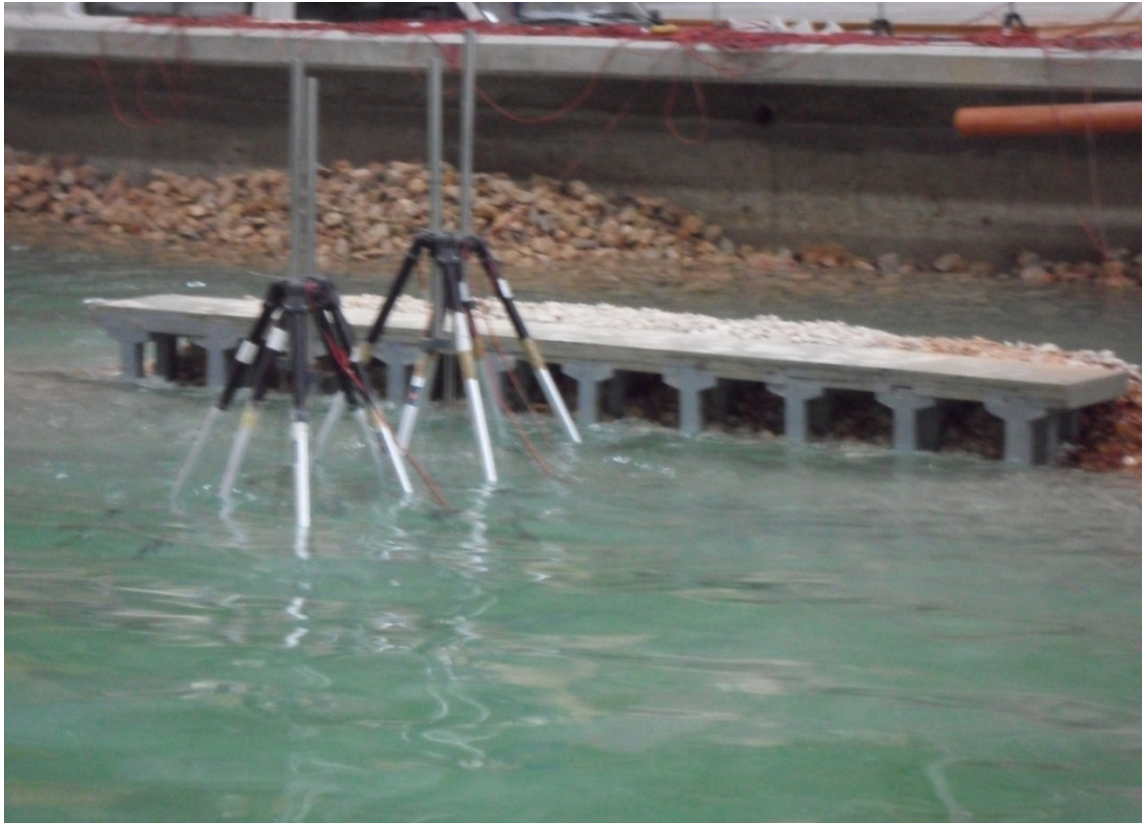
Πίνακας 4.4.2: Πρόγραμμα μετρήσεων διάταξης Γ.



Φωτογραφία 4.4.3 – Διάταξη Γ.

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
				Hs Inc (mm)	Tp(s)
65	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.1.1	0,9158	0.556
66	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.1.2	1,553	0.556
67	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.1.3	1,808	0.556
68	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.1.4	2,24	0.556
69	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.1.5	2,541	0.556
70	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.1.6	3,06	0.556
71	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.2.1	21,45	1
72	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.2.2	31,41	1
73	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.2.3	39,66	1
74	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.2.4	44,6	1
75	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.2.5	52,46	1
76	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.2.6	55,5	1
77	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.3.1	43,54	1.5
78	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.3.2	62,08	1.5
79	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.3.3	88,99	1.5
80	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.4.1	49,72	2
81	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.4.2	60,02	2
82	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.4.3	80,99	2
83	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.4.4	91,08	2
84	Δ	Γωνία Υλικού 35°	Δ.4.5	98,31	2

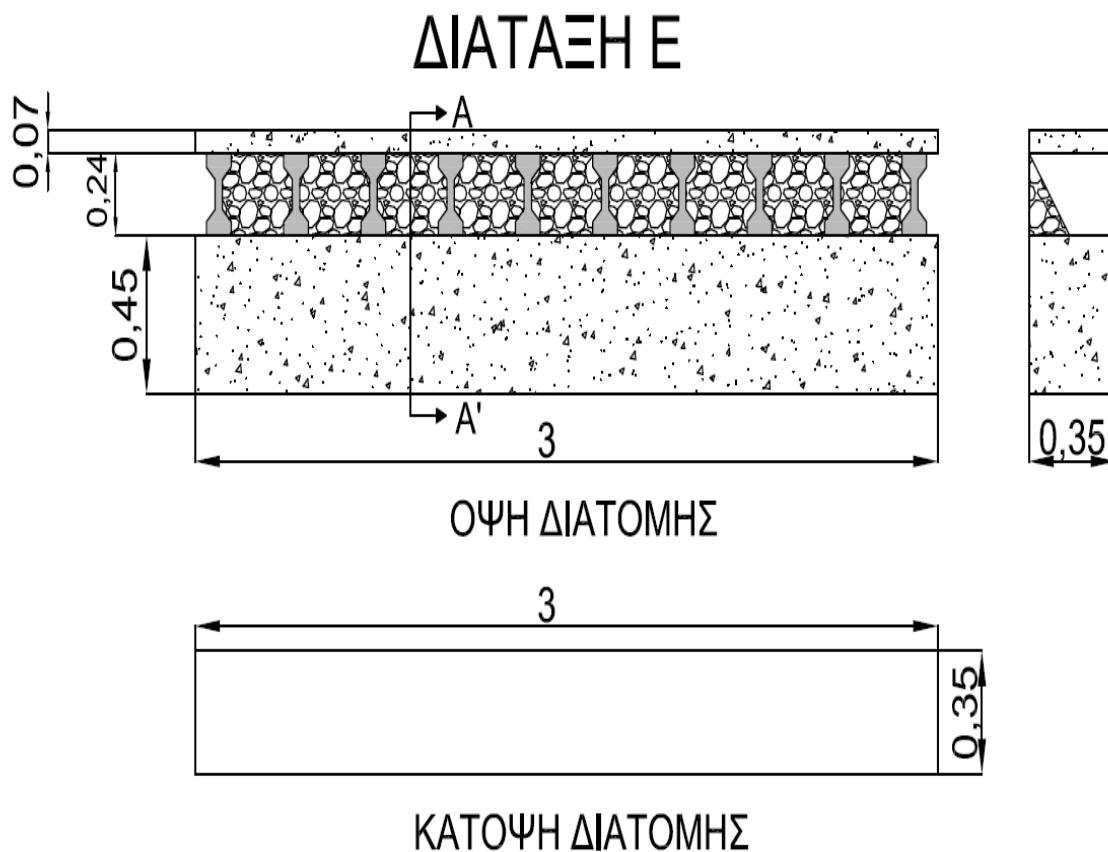
Πίνακας 4.4.4: Πρόγραμμα μετρήσεων διάταξης Δ.



Φωτογραφία 4.4.5 – Διάταξη Δ.

4.5 Διατάξη E – Θάλαμος πληρωμένος με πορώδες υλικό.

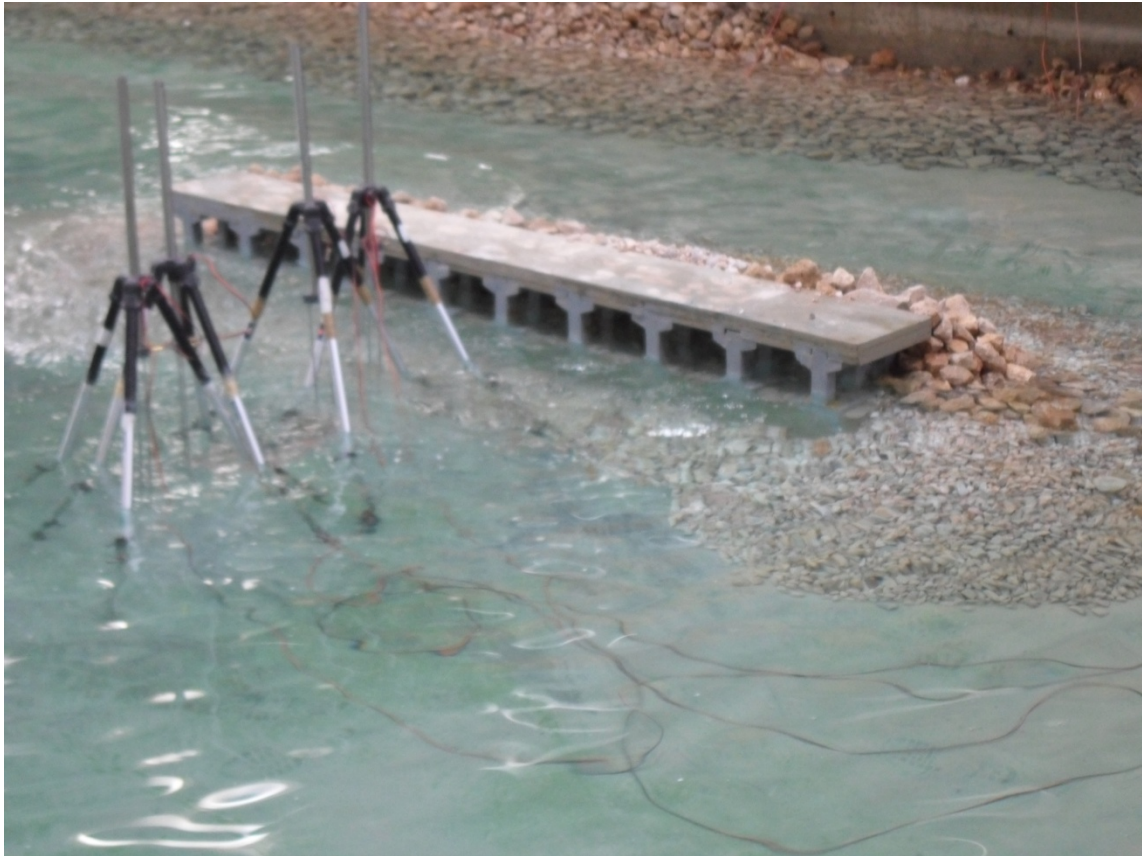
Η διάταξη E έχει μήκος 3.00 m, πλάτος 0.35 m και ύψος 0.75 m. Η στάθμη στην δεξαμενή Δ1 ήταν στα 0.55 μέτρα για την διάταξη E και η πειραματική διάταξη είναι τοποθετημένη παράλληλα στον κυματιστήρα έτσι ώστε τα κύματα να προσπίπτουν κάθετα σε αυτήν. Η διάταξη E περιέχει θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, που πληρούται με λιθορριπή βάρους 25-55 gr, ανά λίθο με πορώδες $n=0,33$, $d_m=2.75$ cm υπό γωνία 55 μοιρών εντός του θαλάμου όπως φαίνεται και στην τομή. Παρατίθενται το πρόγραμμα μετρήσεων με το χαρακτηριστικό ύψος προσπίπτοντος κύματος, την περίοδο αιχμής και τον κωδικό μέτρησης, σχέδια που περιλαμβάνουν όψη, κάτοψη και τομή του μοντέλου καθώς και φωτογραφία της διάταξης E, όπως αυτή κατασκευάστηκε.



Σχήμα 4.5.1– Όψη, Κάτοψη και τομή των διάταξης Ε.

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
				Hs Inc (mm)	Tp(s)
85	E	Γωνία Υλικού 55°	E.1.1	1.161	0.556
86	E	Γωνία Υλικού 55°	E.1.2	2.218	0.556
87	E	Γωνία Υλικού 55°	E.1.3	2.997	0.556
88	E	Γωνία Υλικού 55°	E.1.4	3.218	0.556
89	E	Γωνία Υλικού 55°	E.1.5	3.373	0.556
90	E	Γωνία Υλικού 55°	E.1.6	3.647	0.556
91	E	Γωνία Υλικού 55°	E.3.1	41.16	1.5
92	E	Γωνία Υλικού 55°	E.3.2	58.81	1.5
93	E	Γωνία Υλικού 55°	E.3.3	78.53	1.5
94	E	Γωνία Υλικού 55°	E.4.1	31.77	2
95	E	Γωνία Υλικού 55°	E.4.2	47.25	2
96	E	Γωνία Υλικού 55°	E.4.3	58.88	2
97	E	Γωνία Υλικού 55°	E.4.4	69.56	2

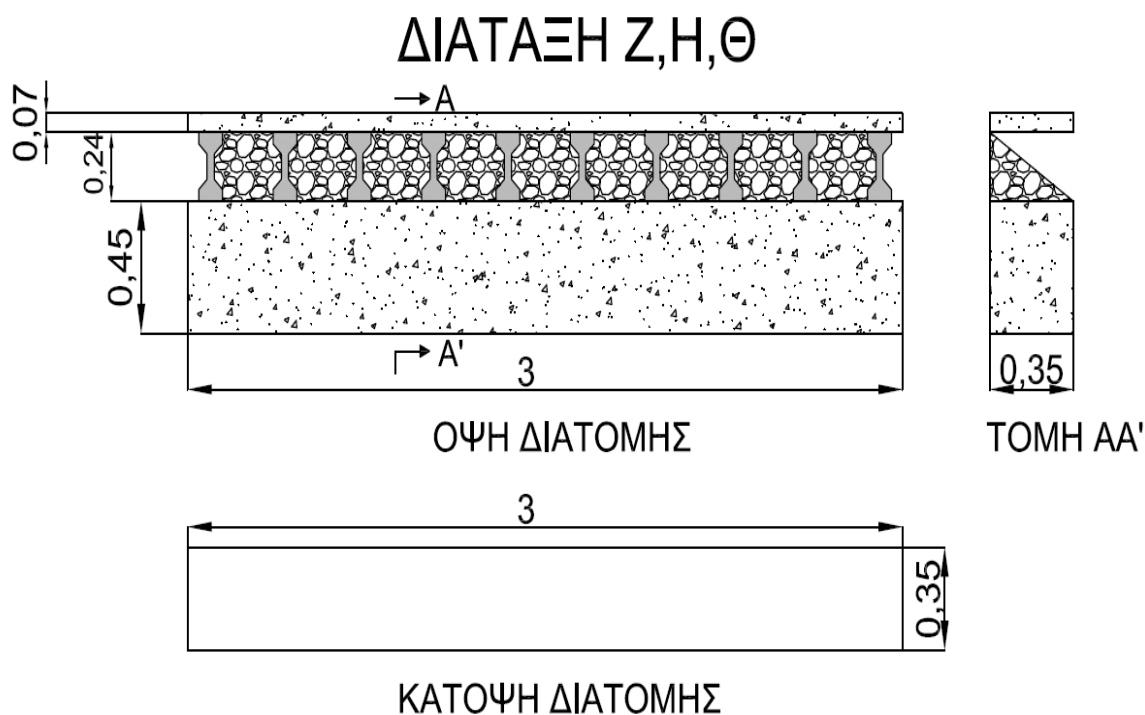
Πίνακας 4.5.2 : Πρόγραμμα μετρήσεων Διάταξης Ε.



Φωτογραφία 4.5.3 – Διάταξη Ε.

4.6 Διατάξεις Z,H,Θ – Θάλαμος πληρωμένος με πορώδες υλικό.

Οι διατάξεις Z, H και Θ έχουν μήκος 3.00 m, πλάτος 0.35 m και ύψος 0.75 m. Η στάθμη στην δεξαμενή Δ1 ήταν στα 0.55 μέτρα για την διάταξη Z, στα 0.59 μέτρα για την διάταξη H και στα 0.61 μέτρα για την διάταξη Θ. Η πειραματική διάταξη είναι τοποθετημένη παράλληλα στον κυματιστήρα έτσι ώστε τα κύματα να προσπίπτουν κάθετα σε αυτήν. Οι διατάξεις Z, H και Θ περιέχουν θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος πληρούται με υλικό βάρους 300-500 gr, ανά λίθο, με πορώδες $n=0,41$ και $d_m=6.00$ cm, υπό γωνία 35 μοιρών εντός του θαλάμου όπως φαίνεται και στην τομή. Παρατίθενται το πρόγραμμα μετρήσεων με το χαρακτηριστικό ύψος προσπίπτοντος κύματος, την περίοδο αιχμής και τον κωδικό μέτρησης, σχέδια που περιλαμβάνουν όψη, κάτοψη και τομή του μοντέλου καθώς και φωτογραφία των διατάξεων Z, H και Θ όπως αυτές κατασκευάστηκαν.



Σχήμα 4.6.1– Όψη, Κάτοψη και τομή των διατάξεων Ζ,Η,Θ.

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
				Hs Inc (mm)	Tr(s)
98	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.1.1	1.23	0.556
99	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.1.2	1.975	0.556
100	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.1.3	2.89	0.556
101	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.1.4	3.014	0.556
102	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.1.5	3.616	0.556
103	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.1.6	3.844	0.556
104	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.2.1	19.55	1
105	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.2.2	29.4	1
106	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.2.3	37.65	1
107	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.2.4	36.5	1
108	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.2.5	43.63	1
109	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.3.1	34.89	1.5
110	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.3.2	48.19	1.5
111	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.3.3	52.49	1.5
112	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.3.4	62.47	1.5
113	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.3.5	72.54	1.5
114	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.4.1	31.71	2
115	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.4.2	49.75	2
116	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.4.3	60.97	2
117	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.4.4	69.9	2
118	Z	Γωνία Υλικού 55°	Z.4.5	82.82	2

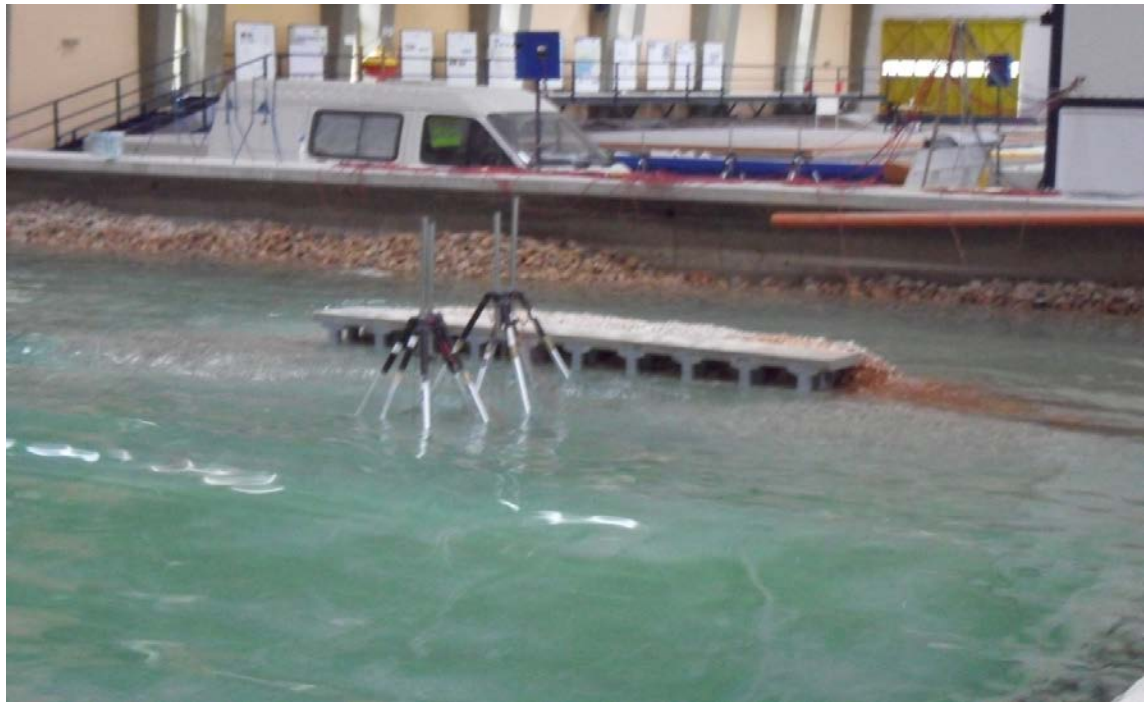
Πίνακας 4.6.2 : Πρόγραμμα μετρήσεων διάταξης Ζ.



Φωτογραφία 4.6.3 – Διάταξη Ζ.

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
				Hs Inc (mm)	Tp(s)
119	H	Γωνία Υλικού 35°	H.1.1	0.8592	0.556
120	H	Γωνία Υλικού 35°	H.1.2	1.943	0.556
121	H	Γωνία Υλικού 35°	H.1.3	2.977	0.556
122	H	Γωνία Υλικού 35°	H.1.4	3.72	0.556
123	H	Γωνία Υλικού 35°	H.1.5	3.549	0.556
124	H	Γωνία Υλικού 35°	H.1.6	4.107	0.556
125	H	Γωνία Υλικού 35°	H.2.1	20.03	1
126	H	Γωνία Υλικού 35°	H.2.2	29.61	1
127	H	Γωνία Υλικού 35°	H.2.3	36.4	1
128	H	Γωνία Υλικού 35°	H.2.4	42.68	1
129	H	Γωνία Υλικού 35°	H.2.5	49.36	1
130	H	Γωνία Υλικού 35°	H.2.6	54.74	1
131	H	Γωνία Υλικού 35°	H.3.1	35.55	1.5
132	H	Γωνία Υλικού 35°	H.3.2	44.92	1.5
133	H	Γωνία Υλικού 35°	H.3.3	53.28	1.5
134	H	Γωνία Υλικού 35°	H.3.4	64.4	1.5
135	H	Γωνία Υλικού 35°	H.3.5	74.85	1.5
136	H	Γωνία Υλικού 35°	H.4.1	32.53	2
137	H	Γωνία Υλικού 35°	H.4.2	49.94	2
138	H	Γωνία Υλικού 35°	H.4.3	62.52	2
139	H	Γωνία Υλικού 35°	H.4.4	72.69	2
140	H	Γωνία Υλικού 35°	H.4.5	85.07	2

Πίνακας 4.6.4 : Πρόγραμμα μετρήσεων διάταξης Η.



Φωτογραφία 4.6.5 – Διάταξη Η.

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
				Hs Inc (mm)	Tp(s)
140	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.1.1	0.9258	0.556
141	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.1.2	1.582	0.556
142	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.1.3	2.746	0.556
143	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.1.4	3.782	0.556
144	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.1.5	4.095	0.556
145	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.1.6	4.1	0.556
146	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.2.1	20.41	1
147	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.2.2	30.63	1
148	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.2.3	36.96	1
149	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.2.4	41.99	1
150	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.2.5	47.22	1
151	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.2.6	51.77	1
152	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.3.1	38.74	1.5
153	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.3.2	44.87	1.5
154	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.3.3	57.58	1.5
155	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.3.4	66.74	1.5
156	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.3.5	78.22	1.5
157	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.4.1	33.82	2
158	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.4.2	52.31	2
159	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.4.3	65.78	2
160	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.4.4	75.6	2
161	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.4.5	90.95	2
162	θ	Γωνία Υλικού 35°	Θ.4.6	110.1	2

Πίνακας 4.6.6 : Πρόγραμμα μετρήσεων διάταξης Θ.



Φωτογραφία 4.6.7 – Διάταξη Θ.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Α

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηριστικού ύψους κύματος H_s και για τους τέσσερις μετρητές που βρίσκονται εμπροσθεν της διάταξης Α με κατακόρυφο, αδιαπέρατο μέτωπο. Η στάθμη στην δεξαμενή σε συνθήκες ηρεμίας ήταν 0,59 μέτρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο με την μορφή πινάκων, όσο και με την μορφή διαγραμμάτων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	A.1.1	A.1.2	A.1.3	A.1.4	A.1.5	A.1.6	A.1.7
Μετρητής 1	10,095	13,775	17,083	20,149	23,482	26,055	25,414
Μετρητής 2	10,150	14,049	16,697	19,630	23,692	25,943	25,879
Μετρητής 3	10,061	13,462	16,640	20,081	23,888	26,837	26,214
Μετρητής 4	10,833	14,440	16,303	18,926	22,595	26,069	25,782

Πίνακας 5.1.1 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	A.2.1	A.2.2	A.2.3	A.2.4	A.2.5	A.2.6
Μετρητής 1	38,046	65,992	80,771	99,500	107,830	116,516
Μετρητής 2	35,591	59,349	72,008	87,383	92,989	97,115
Μετρητής 3	37,654	64,501	78,957	100,217	110,059	120,900
Μετρητής 4	29,337	49,952	60,240	73,239	77,346	79,364

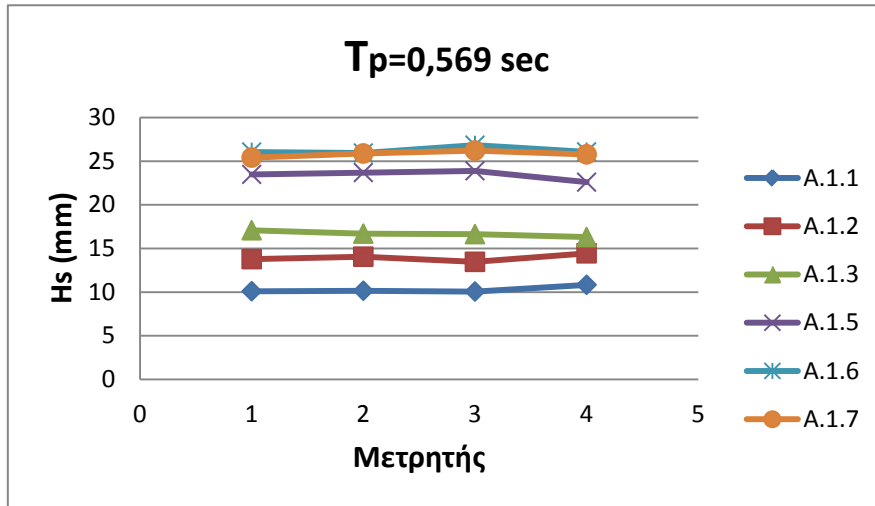
Πίνακας 5.1.2 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	A.3.1	A.3.2	A.3.3	A.3.4	A.3.5
Μετρητής 1	92,200	130,650	175,021	209,397	235,336
Μετρητής 2	89,958	126,084	168,054	199,548	223,246
Μετρητής 3	55,776	76,793	100,043	116,431	128,223
Μετρητής 4	58,834	80,509	107,577	126,778	143,047

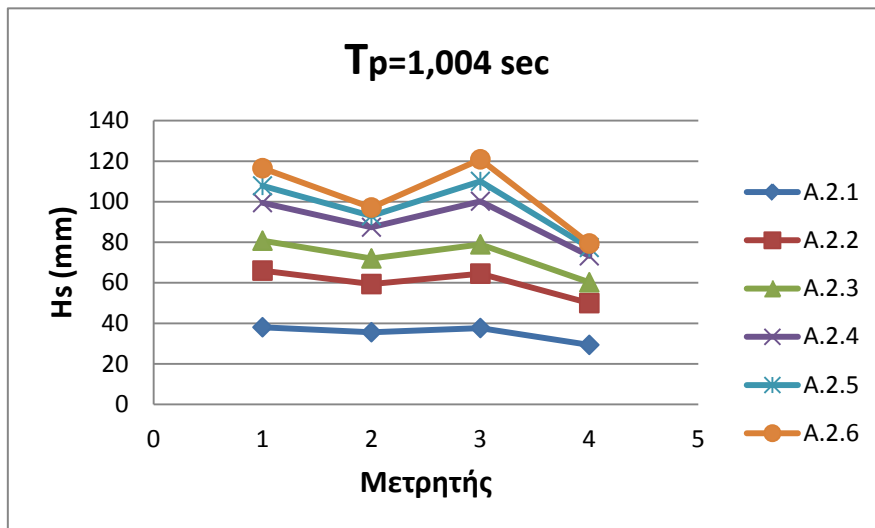
Πίνακας 5.1.3 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.422$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	A.4.1	A.4.2	A.4.3	A.4.4	A.4.5
Μετρητής 1	97,450	136,186	163,846	149,539	131,730
Μετρητής 2	83,843	120,202	145,565	133,261	124,929
Μετρητής 3	75,908	105,803	129,882	116,407	106,833
Μετρητής 4	109,413	146,783	173,383	159,677	152,905

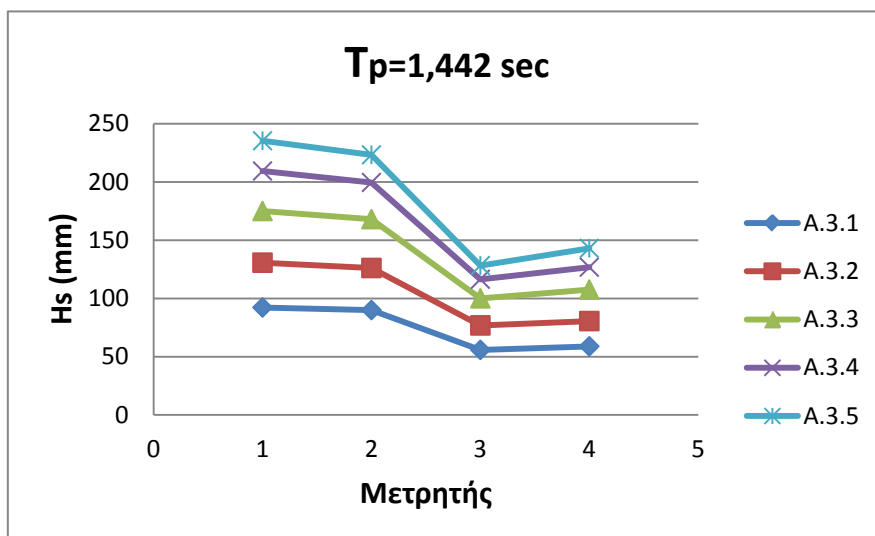
Πίνακας 5.1.4 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec



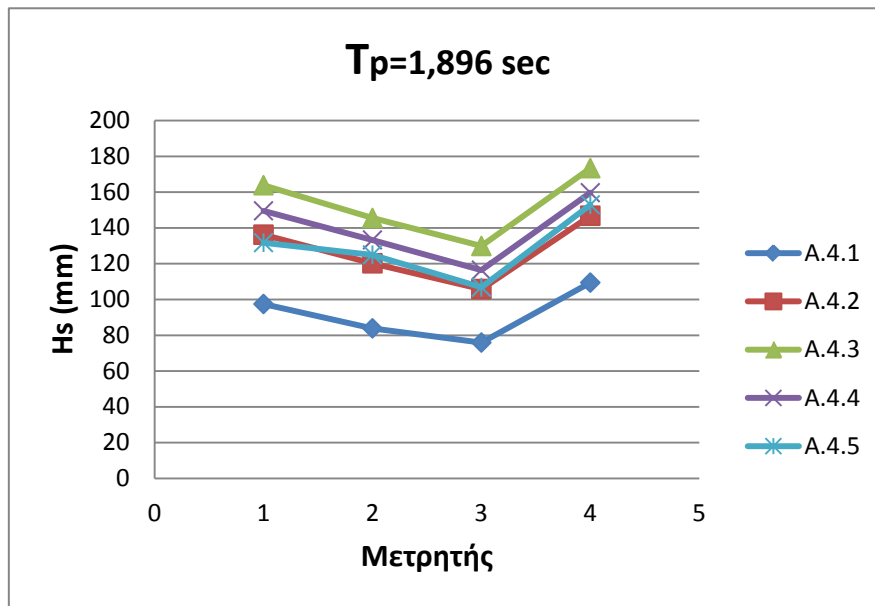
Διάγραμμα 5.1.5 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec



Διάγραμμα 5.1.6 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec



Διάγραμμα 5.1.7 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.442$ sec



Διάγραμμα 5.1.8 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec

5.2 Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Β

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηριστικού ύψους κύματος H_s όπως μετρήθηκε και για τους τέσσερις μετρητές που βρίσκονται εμπροσθεν της πειραματικής διάταξης. Η διάταξη Β περιέχει κενό θάλαμο κυματισμών με αδιαπέρατο πίσω μέτωπο. Η στάθμη στην δεξαμενή σε συνθήκες ηρεμίας ήταν 0,59 μέτρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο με την μορφή πινάκων, όσο και με την μορφή διαγραμμάτων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	B.1.1	B.1.2	B.1.3	B.1.4	B.1.5	B.1.6
Μετρητής 1	8,933	12,905	16,943	18,946	20,490	23,059
Μετρητής 2	8,487	11,985	15,962	17,910	19,103	21,838
Μετρητής 3	9,077	12,667	16,280	18,461	20,536	23,188
Μετρητής 4	9,132	12,509	16,011	18,903	20,798	23,358

Πίνακας 5.2.1 : H_s σε mm ανά μετρητή με $T_p = 0.569$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	B.2.1	B.2.2	B.2.3	B.2.4	B.2.5	B.2.6
Μετρητής 1	33,277	47,597	59,389	69,843	77,391	81,099
Μετρητής 2	31,123	44,204	55,325	63,356	70,131	74,395
Μετρητής 3	35,416	51,261	64,047	75,378	84,283	90,182
Μετρητής 4	25,958	36,329	44,119	49,753	54,509	58,437

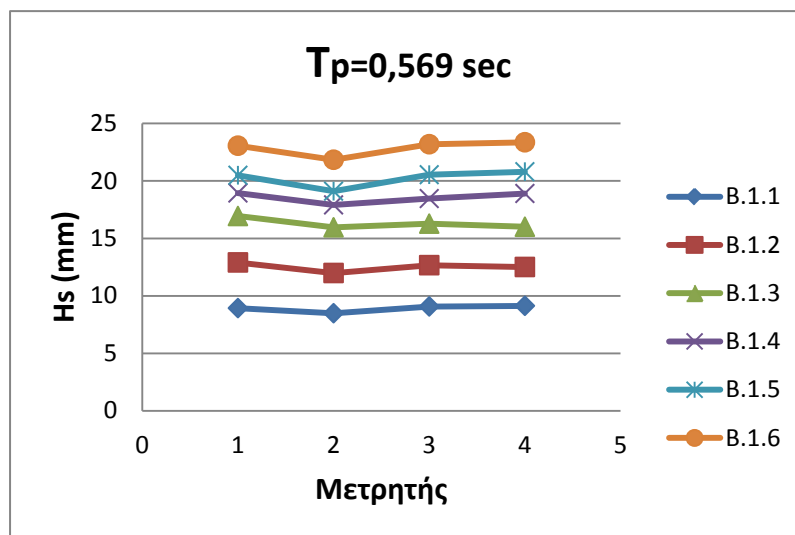
Πίνακας 5.2.2 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	B.3.1	B.3.2	B.3.3	B.3.4	B.3.5	B.3.6
Μετρητής 1	65,100	82,343	104,047	124,481	146,721	159,813
Μετρητής 2	61,330	79,864	101,316	120,761	141,352	150,008
Μετρητής 3	64,848	81,615	100,553	115,824	125,044	132,004
Μετρητής 4	70,470	89,859	112,823	124,613	135,551	142,038

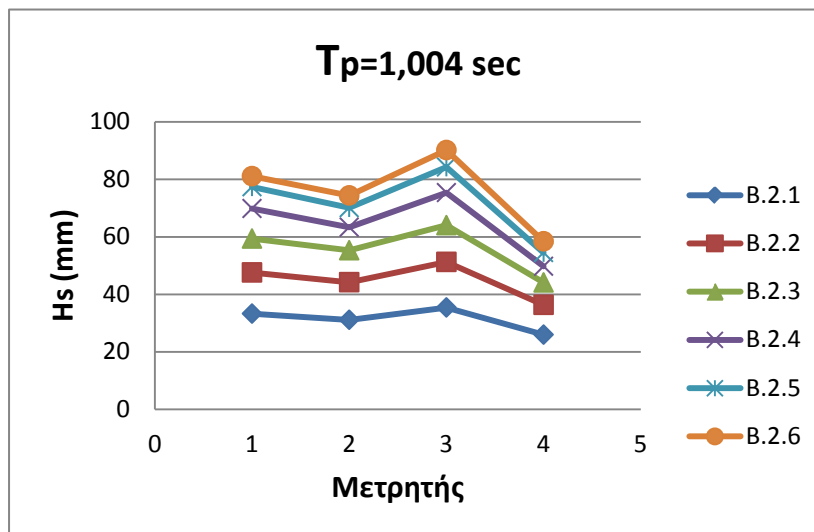
Πίνακας 5.2.3 : Hs σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.422$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	B.4.1	B.4.2	B.4.3	B.4.4	B.4.5
Μετρητής 1	64,310	77,522	101,453	112,373	117,901
Μετρητής 2	60,407	72,009	94,020	103,689	108,288
Μετρητής 3	54,244	64,320	81,629	90,497	95,957
Μετρητής 4	55,568	66,907	88,314	99,226	109,771

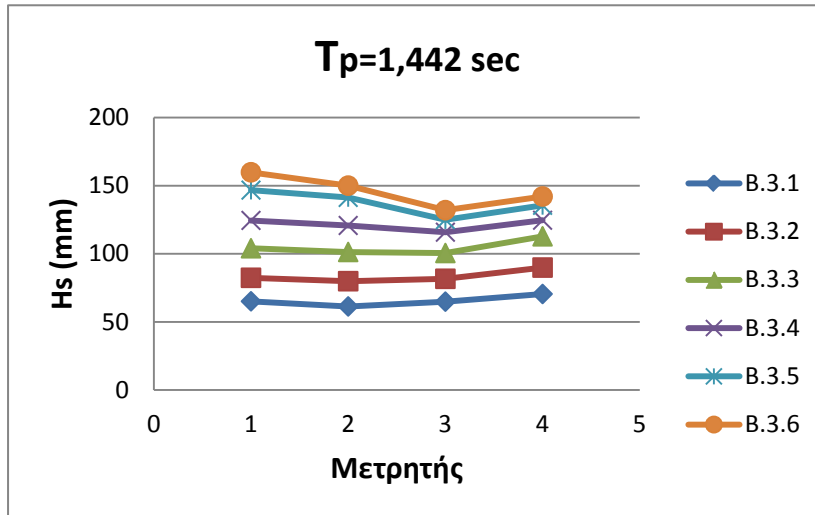
Πίνακας 5.2.4 : Hs σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec



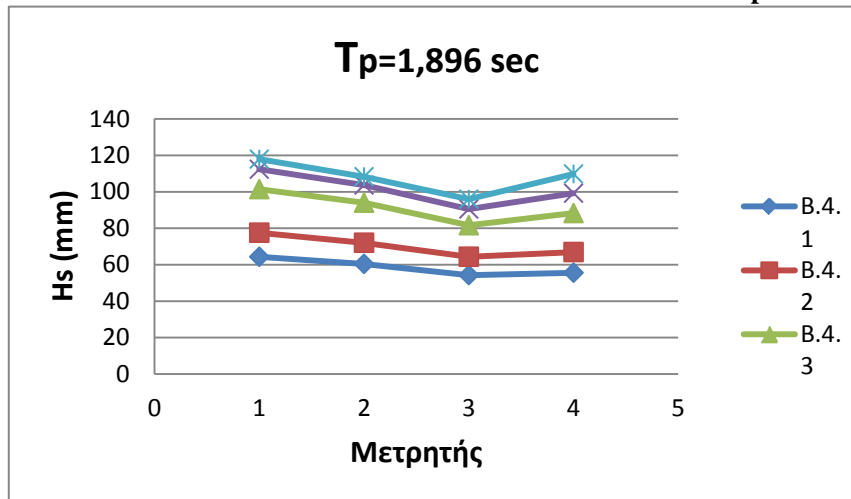
Διάγραμμα 5.2.5 : Hs σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec



Διάγραμμα 5.2.6 : Hs σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec



Διάγραμμα 5.2.7 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.442$ sec



Διάγραμμα 5.2.8 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec

5.3 Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Γ

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηριστικού ύψους κύματος H_s και για τους τέσσερις μετρητές που βρίσκονται εμπροσθεν της πειραματικής διάταξης. Η διάταξη περιέχει θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος πληρούται με λιθορριπή βάρους 25-55 gr ανά λίθο, με πορώδες $n=0,33$ και $d_m=2.75$ cm, υπό γωνία 35 μοιρών εντός του θαλάμου. Η στάθμη στην δεξαμενή σε συνθήκες ηρεμίας ήταν 0,59 μέτρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο με την μορφή πινάκων, όσο και με την μορφή διαγραμμάτων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Γ.1.1	Γ.1.2	Γ.1.3	Γ.1.4	Γ.1.5
Μετρητής 1	10,023	12,667	16,641	18,395	19,087
Μετρητής 2	9,649	11,998	16,222	17,632	17,706
Μετρητής 3	10,022	12,180	15,311	16,330	16,941
Μετρητής 4	10,457	11,868	15,388	16,076	16,227

Πίνακας 5.3.1 : H_s σε mm ανά μετρητή με $T_p = 0.569$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Γ.2.1	Γ.2.2	Γ.2.3	Γ.2.4	Γ.2.5	Γ.2.6
Μετρητής 1	29,264	43,067	50,871	57,330	61,576	63,986
Μετρητής 2	27,263	39,792	46,801	52,748	57,876	60,234
Μετρητής 3	30,655	44,577	53,013	61,109	66,296	68,456
Μετρητής 4	24,124	34,103	38,619	43,306	48,335	49,226

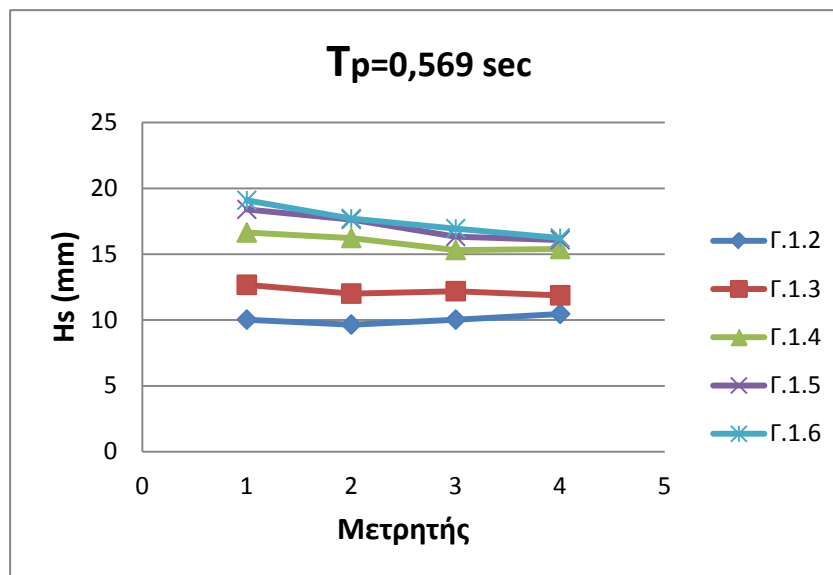
Πίνακας 5.3.2 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Γ.3.1	Γ.3.2	Γ.3.3
Μετρητής 1	50,954	73,510	94,988
Μετρητής 2	48,854	70,319	90,713
Μετρητής 3	48,880	66,954	84,379
Μετρητής 4	49,984	67,997	86,272

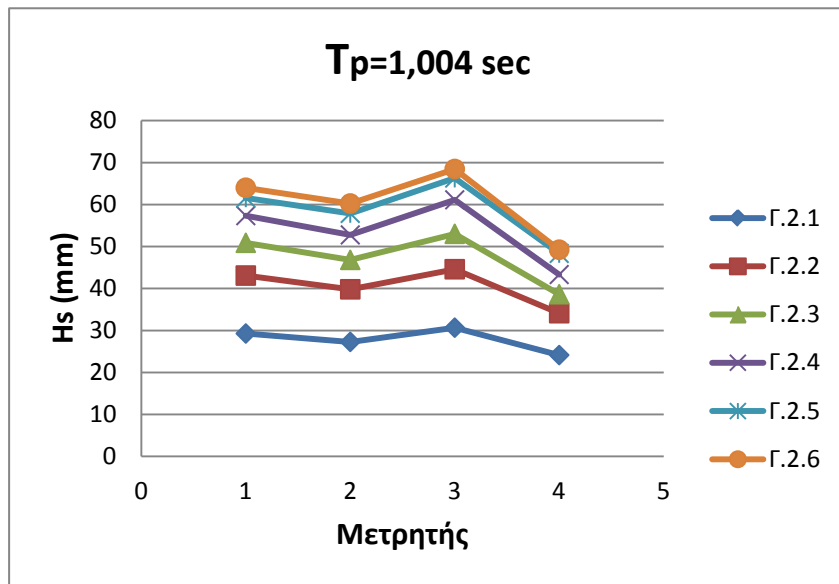
Πίνακας 5.3.3 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.422$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Γ.4.1	Γ.4.2	Γ.4.3
Μετρητής 1	63,044	77,333	102,606
Μετρητής 2	57,188	69,883	92,381
Μετρητής 3	46,509	57,265	76,258
Μετρητής 4	47,120	58,589	80,399

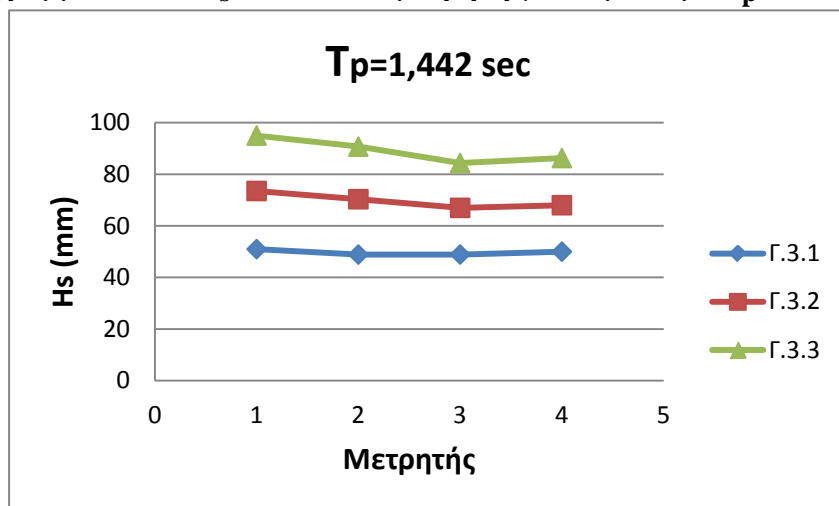
Πίνακας 5.3.4 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec



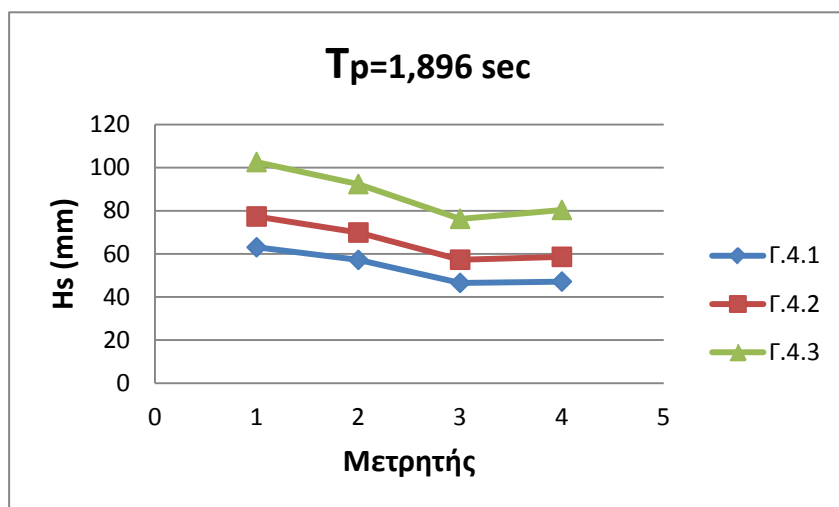
Διάγραμμα 5.3.5 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec



Διάγραμμα 5.3.6 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec



Διάγραμμα 5.3.7 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.442$ sec



Διάγραμμα 5.3.8 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec

5.4 Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Δ

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηριστικού ύψους κύματος H_s και για τους τέσσερις μετρητές που βρίσκονται έμπροσθεν της πειραματικής διάταξης, Η διάταξη Δ περιέχει θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος πληρούται με λιθορριπή βάρους 25-55 gr ανά λίθο, με πορώδες $n=0,33$ και $d_m=2.75$ cm, υπό γωνία 35 μοιρών εντός του θαλάμου. Η στάθμη στην δεξαμενή σε συνθήκες ηρεμίας ήταν 0,55 μέτρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο με την μορφή πινάκων, όσο και με την μορφή διαγραμμάτων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Δ.1.2	Δ.1.3	Δ.1.4	Δ.1.5	Δ.1.6
Μετρητής 1	12,152	16,551	17,017	16,585	17,253
Μετρητής 2	11,855	15,992	16,601	15,534	16,082
Μετρητής 3	12,293	16,092	16,284	15,696	15,984
Μετρητής 4	12,291	16,132	16,346	15,257	15,657

Πίνακας 5.4.1 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Δ.2.1	Δ.2.2	Δ.2.3	Δ.2.4	Δ.2.5	Δ.2.6
Μετρητής 1	30,105	42,633	51,328	57,250	65,343	68,830
Μετρητής 2	28,437	39,382	46,866	51,696	59,078	62,990
Μετρητής 3	31,561	44,439	53,760	59,935	69,061	73,842
Μετρητής 4	26,348	34,886	39,784	41,859	47,391	51,108

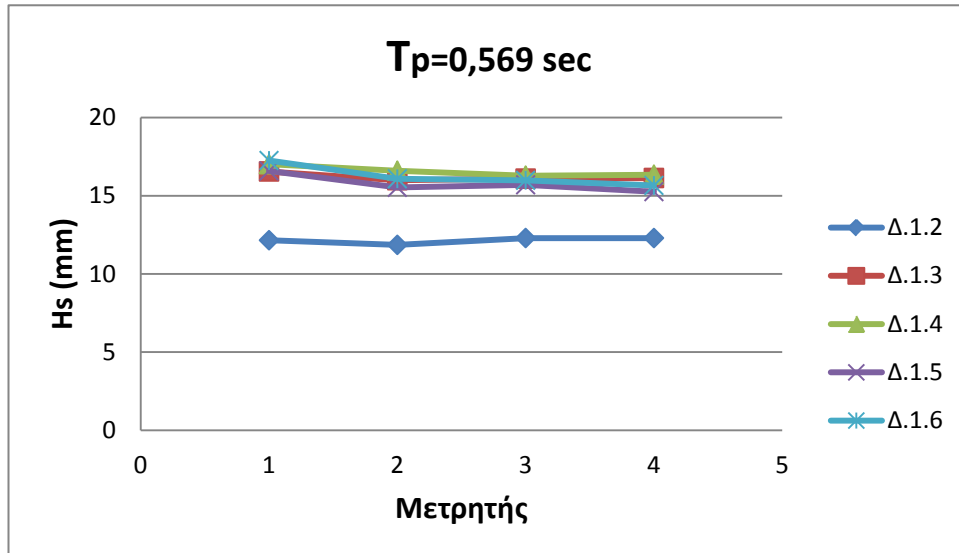
Πίνακας 5.4.2 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Δ.3.1	Δ.3.2	Δ.3.3
Μετρητής 1	53,837	74,354	105,352
Μετρητής 2	50,442	71,433	102,771
Μετρητής 3	42,168	55,278	78,733
Μετρητής 4	52,551	72,462	99,422

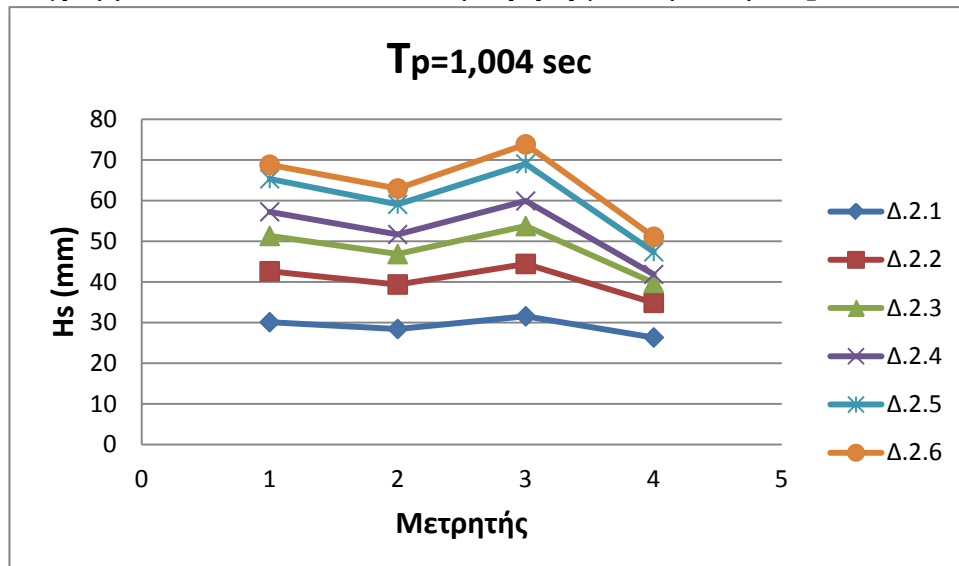
Πίνακας 5.4.3 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.422$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Δ.4.1	Δ.4.2	Δ.4.3	Δ.4.4	Δ.4.5
Μετρητής 1	58,049	70,031	94,294	106,973	114,118
Μετρητής 2	53,142	63,844	85,884	97,284	103,552
Μετρητής 3	43,559	51,622	69,085	80,645	86,782
Μετρητής 4	49,209	60,377	82,821	92,779	99,328

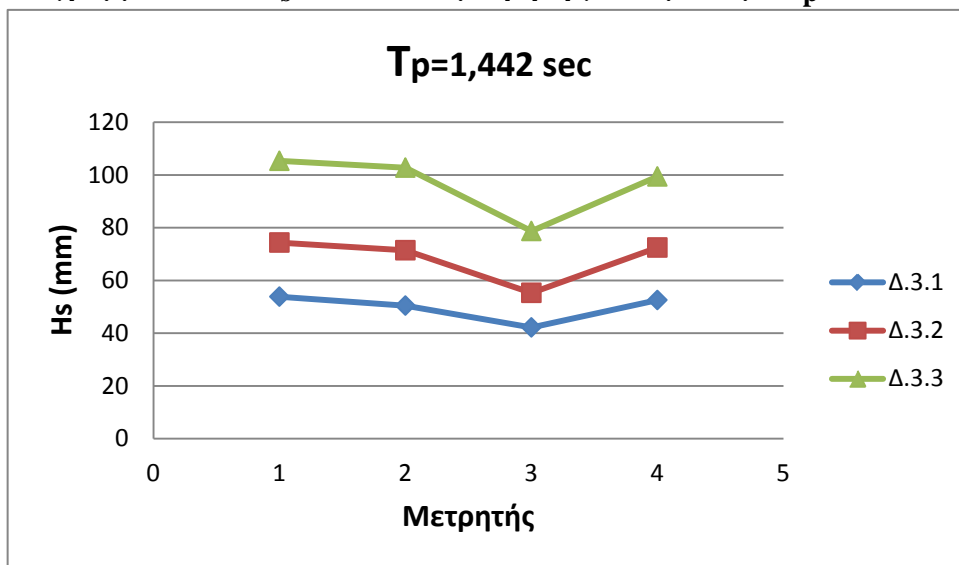
Πίνακας 5.4.4 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec



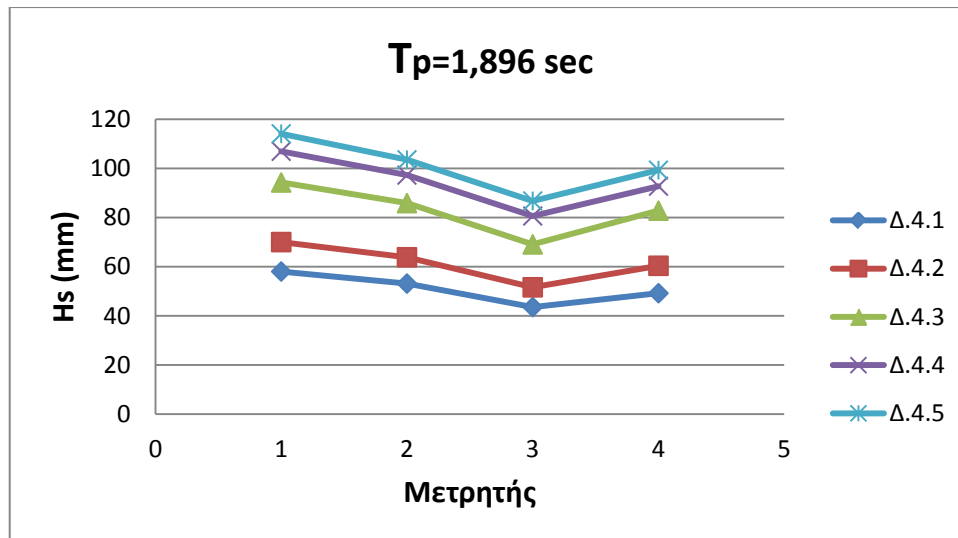
Διάγραμμα 5.3.5 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec



Διάγραμμα 5.3.6 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec



Διάγραμμα 5.3.7 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.442$ sec



Διάγραμμα 5.3.8 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec

5.5 Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης E

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηριστικού ύψους κύματος H_s και για τους τέσσερις μετρητές που βρίσκονται έμπροσθεν της πειραματικής διάταξης. Η διάταξη E περιέχει θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών που πληρούται με λιθορριπή βάρους 25-55 gr ανά λίθο, με πορώδες $n=0,33$ και $d_m=2.75$ cm, υπό γωνία 55 μοιρών εντός του θαλάμου. Η στάθμη στην δεξαμενή σε συνθήκες ηρεμίας ήταν 0,55 μέτρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο με την μορφή πινάκων, όσο και με την μορφή διαγραμμάτων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	E.1.1	E.1.2	E.1.3	E.1.4	E.1.5	E.1.6
Μετρητής 1	2,663	8,451	13,451	14,768	15,598	16,211
Μετρητής 2	2,779	8,408	13,094	14,197	15,282	15,040
Μετρητής 3	2,625	8,322	12,879	13,908	14,303	14,398
Μετρητής 4	2,764	8,786	13,239	14,018	14,448	14,085

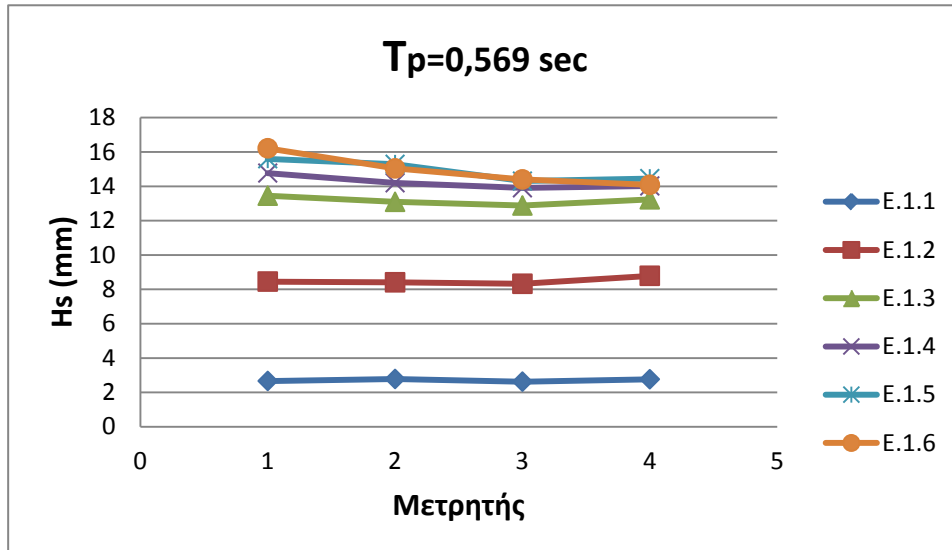
Πίνακας 5.5.1 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	E.3.1	E.3.2	E.3.3
Μετρητής 1	53,199	77,197	99,298
Μετρητής 2	55,945	81,566	104,277
Μετρητής 3	40,125	58,126	76,100
Μετρητής 4	31,502	46,255	63,166

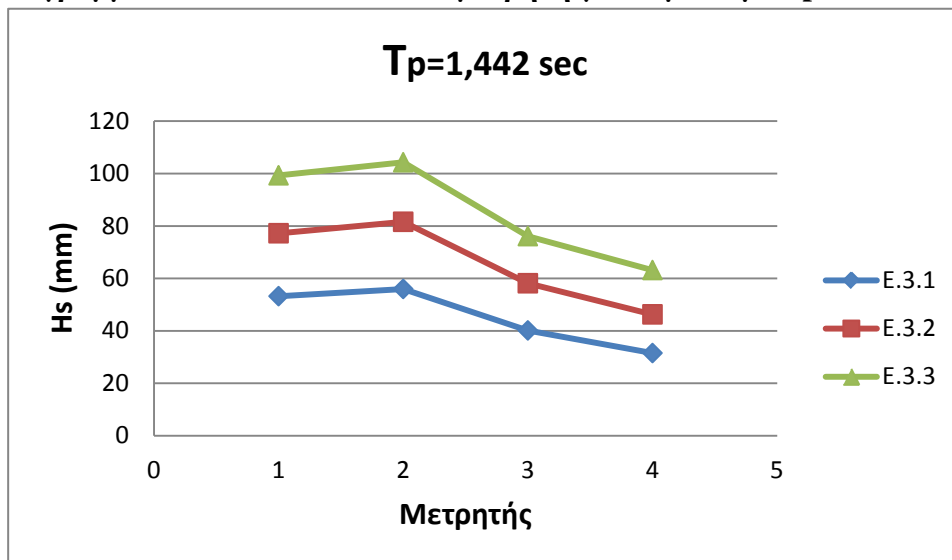
Πίνακας 5.5.2 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.422$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	E.4.1	E.4.2	E.4.3	E.4.4
Μετρητής 1	39,838	59,765	73,737	86,729
Μετρητής 2	35,283	52,511	65,308	77,700
Μετρητής 3	24,964	36,114	45,377	56,026
Μετρητής 4	29,833	45,783	56,531	67,649

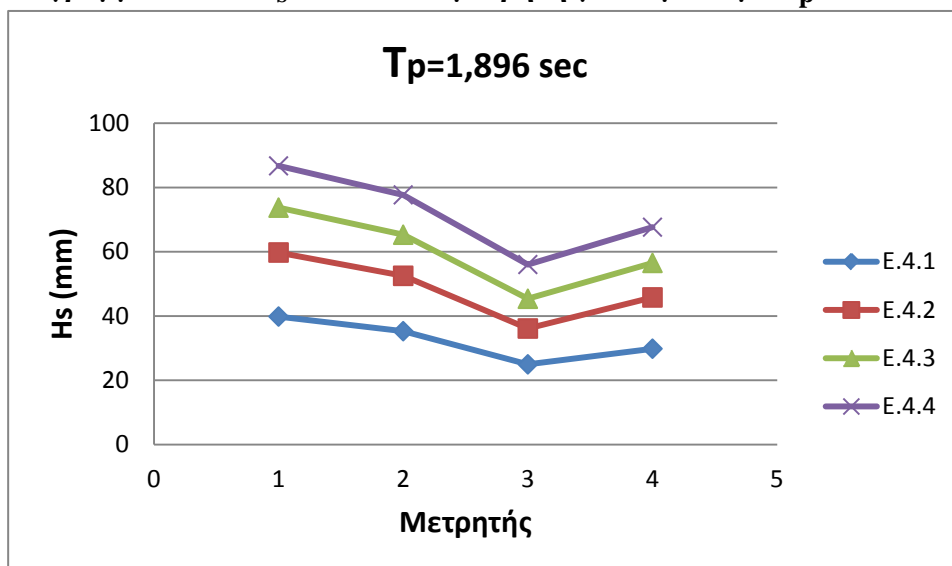
Πίνακας 5.5.3 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec



Διάγραμμα 5.5.5 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec



Διάγραμμα 5.5.6 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.442$ sec



Διάγραμμα 5.5.8 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec

5.6 Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Z

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηριστικού ύψους κύματος H_s και για τους τέσσερις μετρητές που βρίσκονται εμπροσθεν της πειραματικής διάταξης. Η διάταξη περιέχει θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος πληρούται με λιθορριπή βάρους 300-500 gr ανά λίθο, με πορώδες $n=0,41$ και $d_m=6.00$ cm υπό γωνία 35 μοιρών εντός του θαλάμου όπως φαίνεται και στην τομή. Η στάθμη στην δεξαμενή σε συνθήκες ηρεμίας ήταν 0,55 μέτρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο με την μορφή πινάκων, όσο και με την μορφή διαγραμμάτων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Z.1.1	Z.1.2	Z.1.3	Z.1.4	Z.1.5	Z.1.6
Μετρητής 1	4,005	8,217	13,400	15,055	16,815	17,324
Μετρητής 2	4,037	8,284	13,124	14,566	16,181	16,348
Μετρητής 3	3,842	7,876	12,370	14,280	15,440	15,608
Μετρητής 4	4,003	8,146	12,923	14,159	15,562	15,666

Πίνακας 5.6.1 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Z.2.1	Z.2.2	Z.2.3	Z.2.4	Z.2.5
Μετρητής 1	26,954	39,624	48,529	47,932	55,547
Μετρητής 2	26,514	38,476	46,730	46,107	52,712
Μετρητής 3	26,991	38,672	48,099	47,807	54,963
Μετρητής 4	25,360	35,598	43,041	42,550	47,863

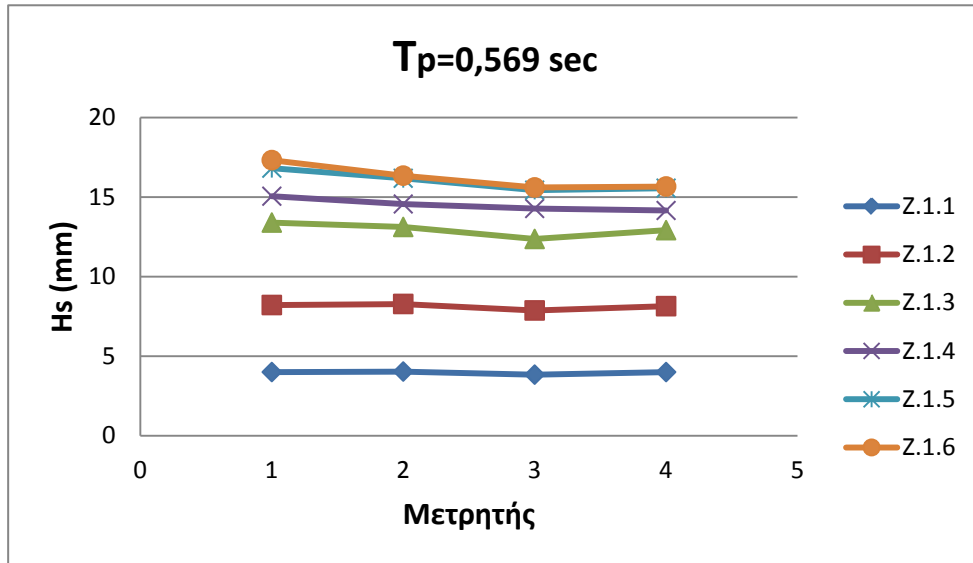
Πίνακας 5.6.2 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Z.3.1	Z.3.2	Z.3.3	Z.3.4	Z.3.5
Μετρητής 1	49,708	69,747	76,294	92,717	106,191
Μετρητής 2	50,705	70,325	77,888	94,255	108,488
Μετρητής 3	33,808	48,034	50,421	59,541	71,600
Μετρητής 4	28,837	40,233	42,028	49,253	60,053

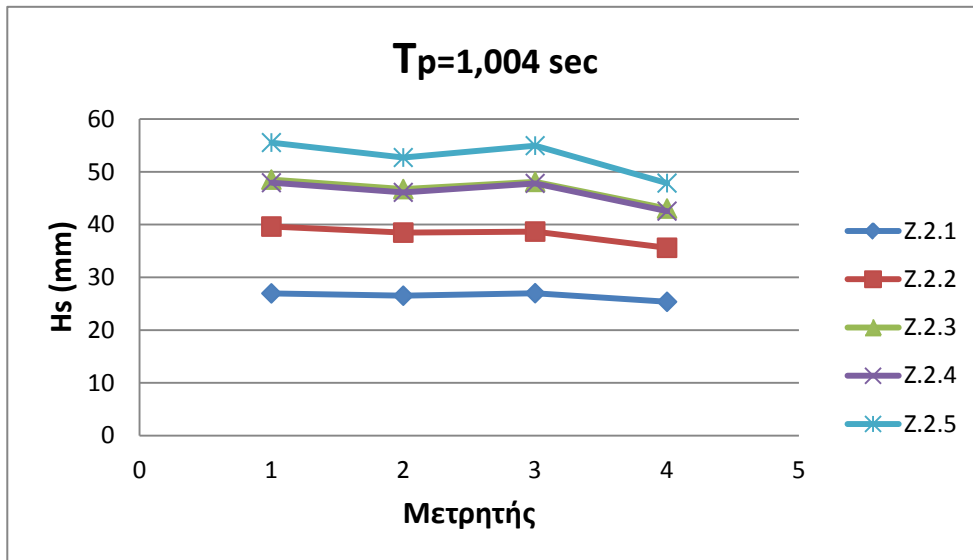
Πίνακας 5.6.3 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.422$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Z.4.1	Z.4.2	Z.4.3	Z.4.4	Z.4.5
Μετρητής 1	41,670	67,147	81,629	94,522	111,555
Μετρητής 2	35,166	56,535	69,452	81,028	97,251
Μετρητής 3	24,538	38,314	47,361	56,318	69,836
Μετρητής 4	35,643	56,449	68,909	79,172	93,628

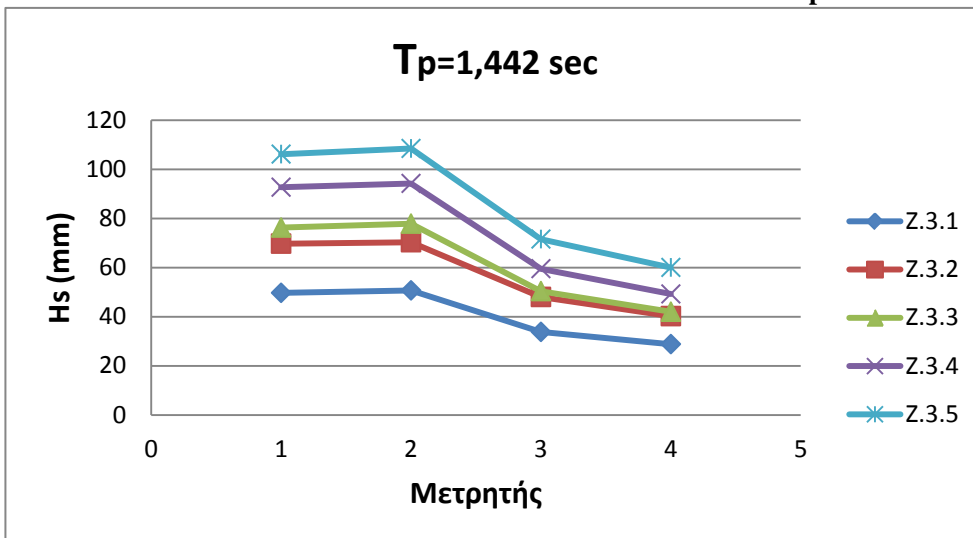
Πίνακας 5.6.4 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec



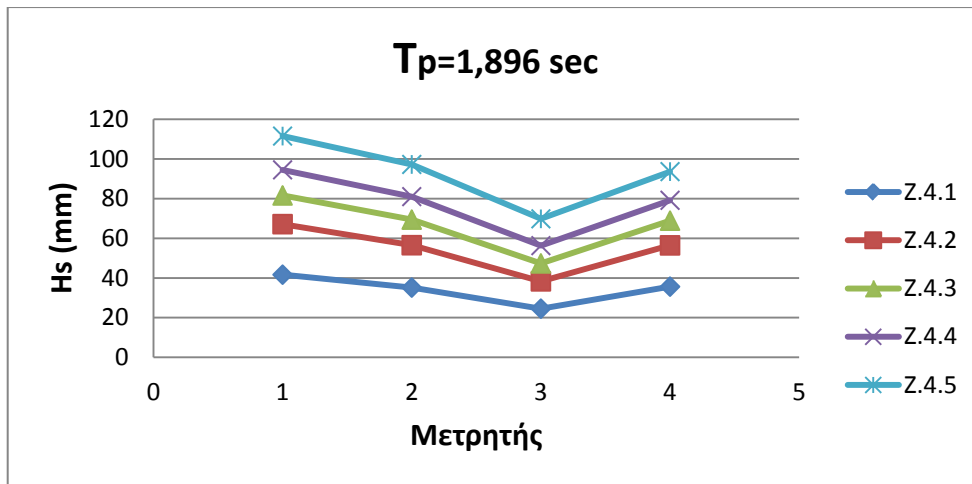
Διάγραμμα 5.6.5 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec



Διάγραμμα 5.6.6 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec



Διάγραμμα 5.6.7 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.442$ sec



Διάγραμμα 5.6.8 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec

5.7 Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης H

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηριστικού ύψους κύματος H_s και για τους τέσσερις μετρητές που βρίσκονται εμπροσθεν της πειραματικής διάταξης. Η διάταξη περιέχει θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος πληροúται με λιθορριπή βάρους 300-500 gr ανά λίθο, με πορώδες $n=0,41$ και $d_m=6.00$ cm υπό γωνία 35 μοιρών εντός του θαλάμου. Η στάθμη στην δεξαμενή σε συνθήκες ηρεμίας ήταν 0,59 μέτρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο με την μορφή πινάκων, όσο και με την μορφή διαγραμμάτων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	H.1.1	H.1.2	H.1.3	H.1.4	H.1.5	H.1.6
Μετρητής 1	3,165	8,983	15,521	17,638	17,276	16,079
Μετρητής 2	3,142	8,835	15,373	17,329	16,231	15,076
Μετρητής 3	2,943	8,333	14,287	16,567	15,517	14,404
Μετρητής 4	2,962	8,465	14,266	16,381	14,917	13,804

Πίνακας 5.7.1 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	H.2.1	H.2.2	H.2.3	H.2.4	H.2.5	H.2.6
Μετρητής 1	26,688	38,139	45,231	51,857	59,067	64,508
Μετρητής 2	27,192	38,636	45,226	51,110	57,532	62,854
Μετρητής 3	25,874	36,787	43,725	50,696	57,724	64,114
Μετρητής 4	26,494	37,660	43,613	49,429	55,574	60,269

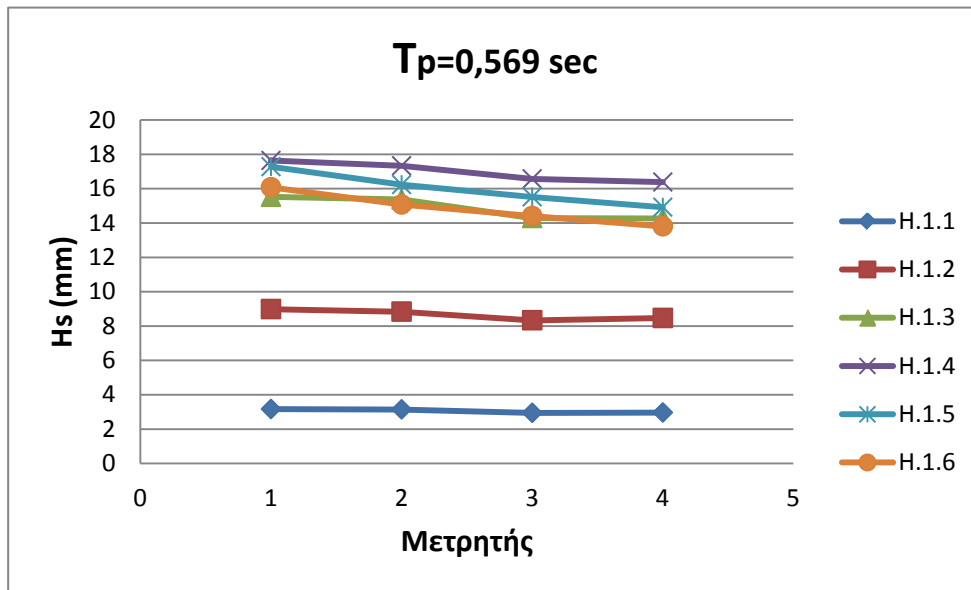
Πίνακας 5.7.2 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	H.3.1	H.3.2	H.3.3	H.3.4	H.3.5
Μετρητής 1	47,423	61,455	72,808	87,657	101,224
Μετρητής 2	48,726	63,444	74,609	90,318	104,123
Μετρητής 3	34,335	44,737	51,069	61,576	72,640
Μετρητής 4	28,102	35,684	40,631	50,035	59,768

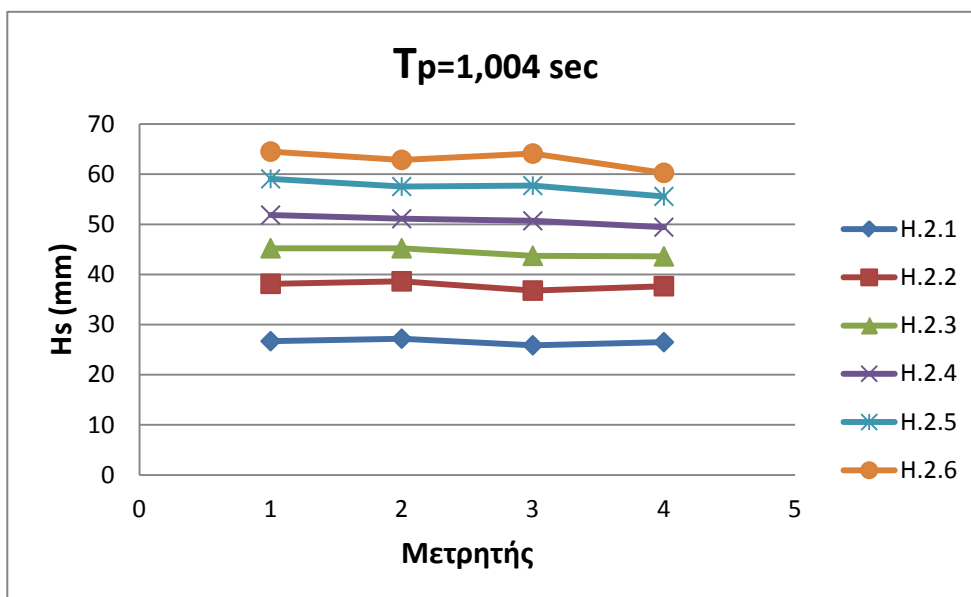
Πίνακας 5.7.3 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.422$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	H.4.1	H.4.2	H.4.3	H.4.4	H.4.5
Μετρητής 1	41,403	63,865	79,169	90,932	107,628
Μετρητής 2	35,893	54,945	68,847	79,947	95,520
Μετρητής 3	25,066	37,931	48,427	56,886	69,762
Μετρητής 4	33,913	52,701	65,238	74,959	89,170

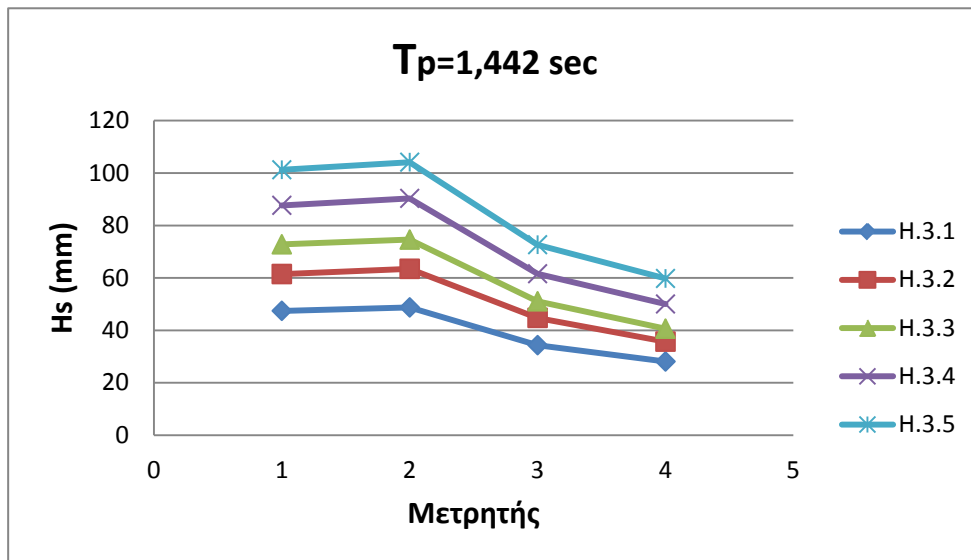
Πίνακας 5.7.4 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με T_p = 1.896 sec



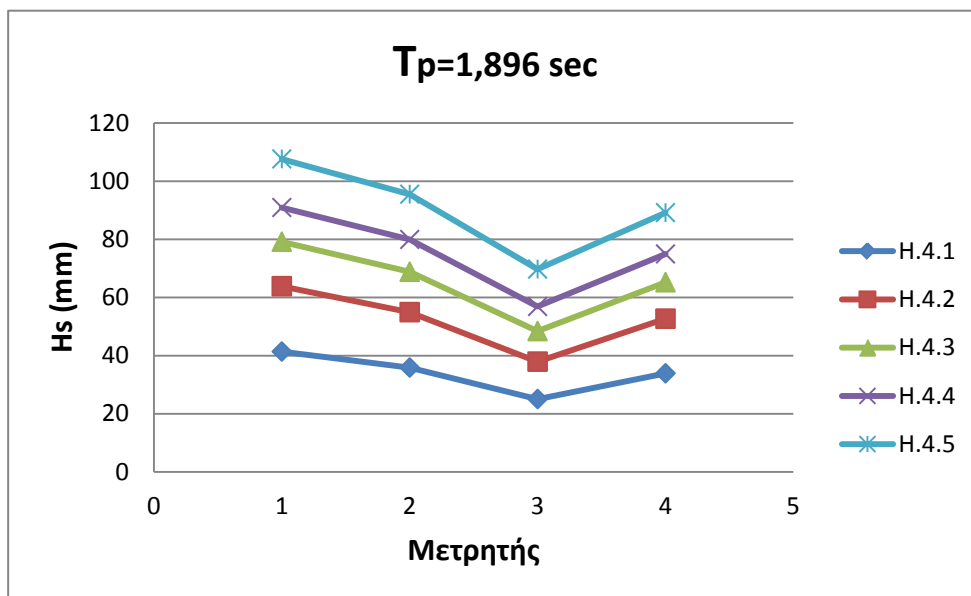
Διάγραμμα 5.7.5 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με T_p = 0.569 sec



Διάγραμμα 5.7.6 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με T_p = 1.004 sec



Διάγραμμα 5.7.7 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.442$ sec



Διάγραμμα 5.7.8 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec

5.8 Αποτελέσματα Μετρήσεων Διάταξης Θ

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηριστικού ύψους κύματος H_s και για τους τέσσερις μετρητές που βρίσκονται εμπροσθεν της πειραματικής διάταξης. Η διάταξη περιέχει θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος πληρούται με λιθορριπή βάρους 300-500 gr ανά λίθο, με πορώδες $n=0.41$, $d_m=6.00$ cm υπό γωνία 35 μοιρών εντός του θαλάμου. Η στάθμη στην δεξαμενή σε συνθήκες ηρεμίας ήταν 0,62 μέτρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο με την μορφή πινάκων, όσο και με την μορφή διαγραμμάτων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Θ.1.1	Θ.1.2	Θ.1.3	Θ.1.4	Θ.1.5	Θ.1.6
Μετρητής 1	2,950	6,669	13,111	17,875	15,773	13,711
Μετρητής 2	3,034	6,459	13,126	17,847	15,363	13,582
Μετρητής 3	2,944	6,155	12,235	16,837	14,560	12,959
Μετρητής 4	3,394	6,186	12,980	17,188	15,217	13,303

Πίνακας 5.8.1 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Θ.2.1	Θ.2.2	Θ.2.3	Θ.2.4	Θ.2.5	Θ.2.6
Μετρητής 1	26,280	39,080	44,179	47,993	53,650	59,113
Μετρητής 2	26,445	39,271	43,826	47,464	52,675	58,094
Μετρητής 3	26,613	39,256	44,728	48,662	54,959	60,607
Μετρητής 4	25,946	37,634	41,837	45,023	50,143	55,753

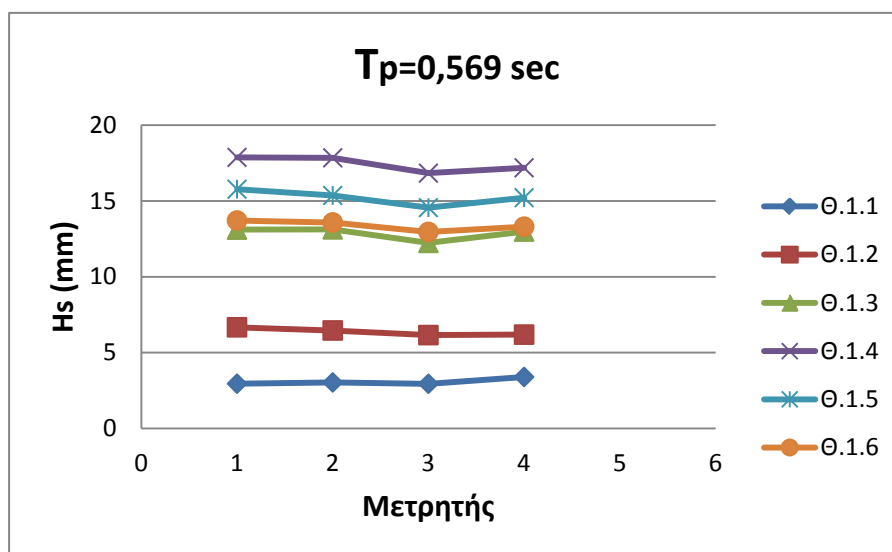
Πίνακας 5.8.2 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Θ.3.1	Θ.3.2	Θ.3.3	Θ.3.4	Θ.3.5
Μετρητής 1	47,871	56,266	72,588	85,013	98,618
Μετρητής 2	47,786	55,957	72,334	84,490	98,170
Μετρητής 3	37,120	42,396	54,468	62,867	74,235
Μετρητής 4	34,721	38,967	50,169	58,216	68,153

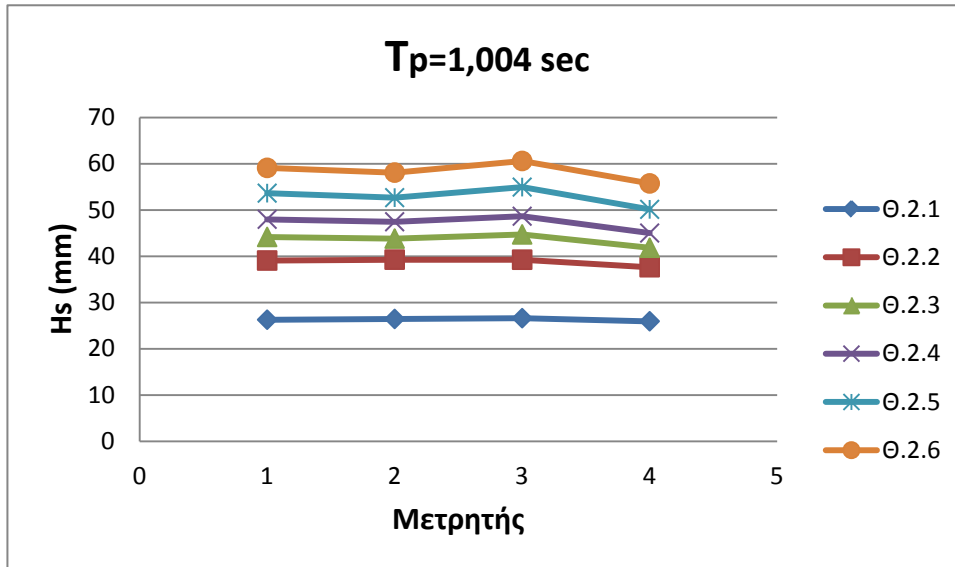
Πίνακας 5.8.3 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.422$ sec

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Θ.4.1	Θ.4.2	Θ.4.3	Θ.4.4	Θ.4.5
Μετρητής 1	39,847	61,720	77,937	90,086	108,236
Μετρητής 2	35,066	53,880	68,525	79,842	96,977
Μετρητής 3	26,491	40,198	51,818	60,473	74,694
Μετρητής 4	33,568	52,246	66,165	76,344	92,464

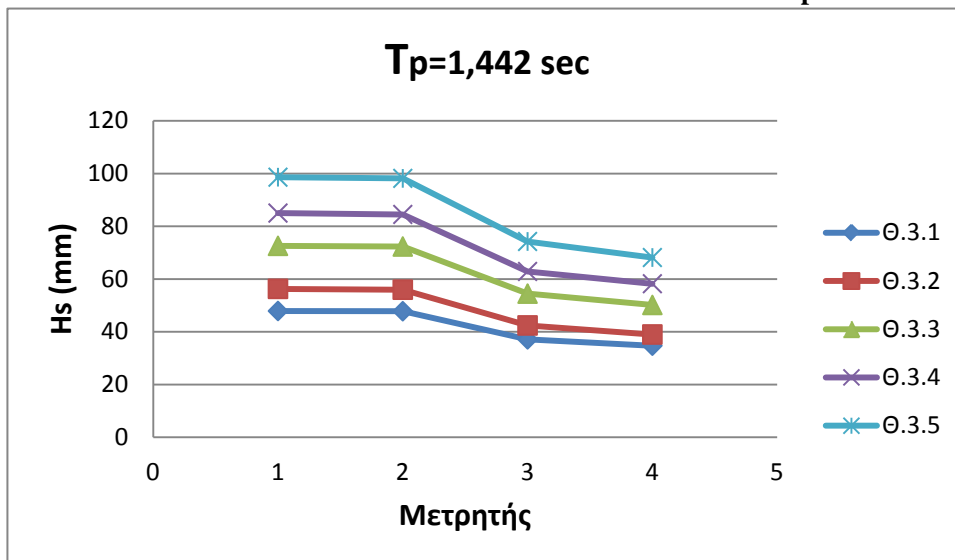
Πίνακας 5.8.4 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec



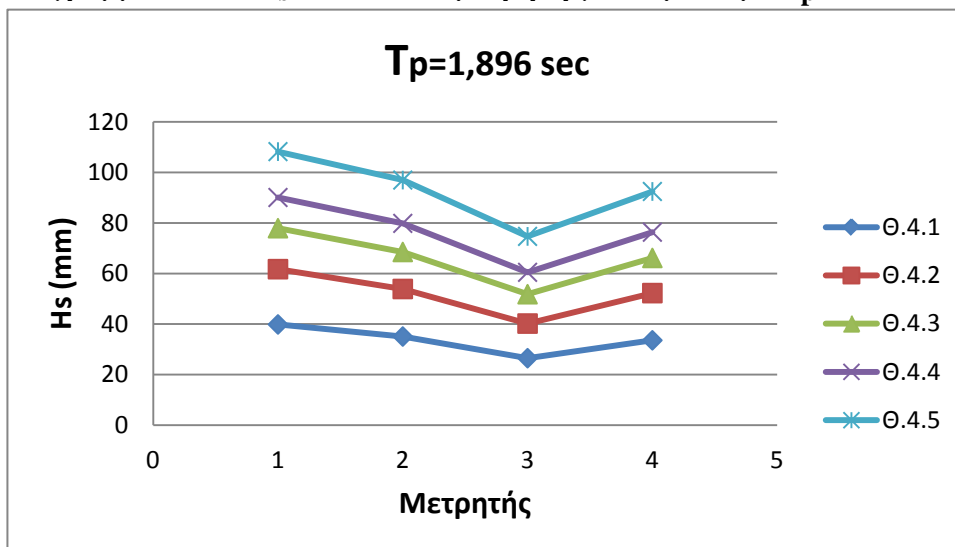
Διάγραμμα 5.8.5 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 0.569$ sec



Διάγραμμα 5.8.6 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.004$ sec



Διάγραμμα 5.8.7 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.442$ sec



Διάγραμμα 5.8.8 : H_s σε mm ανά μετρητή για κύματα με $T_p = 1.896$ sec

5.9 Αποτελέσματα Μέσου Συντελεστή Ανάκλασης

Μέσω επεξεργασίας των κυματομορφών με το πρόγραμμα επεξεργασίας HR Wavedata προέκυψε ο μέσος συντελεστής ανάκλασης μέσω της διαδικασίας που έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3.3. Στην συνέχεια εμφανίζεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης (BRC, Bulk Reflection Coefficient) για κάθε κύμα που μετρήθηκε, σε κάθε μία από τις οχτώ πειραματικές διατάξεις.

Πρέπει να επισημανθεί σε αυτό το σημείο ότι λόγω της πειραματικής διάταξης ανάκλαση συντελείται και στο τοιχίο της δεξαμενής που βρίσκεται όπισθεν της διατομής. Ως αποτέλεσμα παρατηρούνται μετρούμενοι συντελεστές ανάκλασης μεγαλύτεροι από το αναμενόμενο, αλλά στην παρούσα εργασία ενδιαφέρει προτίστως η σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών διατάξεων και όχι η ακριβής τιμή του συντελεστή ανάκλασης. Τα αποτελέσματα γίνονται δεκτά με την επισήμανση ότι στην πραγματικότητα αναμένονται τιμές μέσου συντελεστή ανάκλασης ελαφρώς μειωμένες σε σχέση με τις τιμές που καταγράφονται παρακάτω.

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Αποτελέσματα				ΣΤΑΘΜΗ (cm)
		Hs Inc (mm)	Hs Ref (mm)	BRC	Tr(s)	
1	A.1.1	0,6923	0,6281	0,9072	0,569	59
2	A.1.2	1,035	0,9057	0,8751	0,569	59
3	A.1.3	1,249	1,073	0,8587	0,569	59
4	A.1.4	1,653	1,425	0,862	0,569	59
5	A.1.5	2,057	1,721	0,8368	0,569	59
6	A.1.6	3,152	2,689	0,8532	0,569	59
7	A.1.7	2,988	2,657	0,8893	0,569	59
8	A.2.1	21,33	22,25	1,043	1,004	59
9	A.2.2	36,13	37,17	1,029	1,004	59
10	A.2.3	45,01	46	1,022	1,004	59
11	A.2.4	56,11	58,79	1,048	1,004	59
12	A.2.5	61,08	64,34	1,053	1,004	59
13	A.2.6	66,06	71,23	1,078	1,004	59
14	A.3.1	47,86	55,98	1,17	1,422	59
15	A.3.2	67,22	79,26	1,179	1,422	59
16	A.3.3	90,06	104,3	1,158	1,422	59
17	A.3.4	107,2	123,5	1,152	1,422	59
18	A.3.5	120,3	140,6	1,169	1,422	59
19	A.4.1	56,41	65,39	1,159	1,896	59
20	A.4.2	68,14	79,2	1,162	1,896	59
21	A.4.3	93,39	107	1,145	1,896	59
22	A.4.4	101,9	116,4	1,142	1,896	59
23	A.4.5	110,1	124,4	1,13	1,896	59

Πίνακας 5.9.1 : Αποτελέσματα Συντελεστή Ανάκλασης Διάταξης Α

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Αποτελέσματα				ΣΤΑΘΜΗ (cm)
		Hs Inc (mm)	Hs Ref (mm)	BRC	Τρ(s)	
24	B.1.1	0,5338	0,3541	0,6633	0,569	59
25	B.1.2	0,8535	0,5477	0,6416	0,569	59
26	B.1.3	1,212	0,8091	0,6673	0,569	59
27	B.1.4	1,541	1,02	0,662	0,569	59
28	B.1.5	1,809	1,217	0,6725	0,569	59
29	B.1.6	2,233	1,494	0,6689	0,569	59
30	B.2.1	21,79	16,62	0,7628	1,004	59
31	B.2.2	31,96	23,44	0,7335	1,004	59
32	B.2.3	41,16	29,4	0,7143	1,004	59
33	B.2.4	49,19	34,15	0,6942	1,004	59
34	B.2.5	56,21	37,51	0,6673	1,004	59
35	B.2.6	60,84	39,63	0,6513	1,004	59
36	B.3.1	48,8	31,49	0,6453	1,422	59
37	B.3.2	64,76	34,89	0,5387	1,422	59
38	B.3.3	88,35	34,86	0,3946	1,422	59
39	B.3.4	107,2	35,63	0,3323	1,422	59
40	B.3.5	125,5	34,7	0,2766	1,422	59
41	B.3.6	135,5	37,24	0,2747	1,422	59
42	B.4.1	53,05	23,51	0,4433	1,896	59
43	B.4.2	65,16	26,96	0,4137	1,896	59
44	B.4.3	87,26	34,25	0,3924	1,896	59
45	B.4.4	96,2	36,83	0,3829	1,896	59
46	B.4.5	105,4	38,97	0,3697	1,896	59

Πίνακας 5.9.2 : Αποτελέσματα Συντελεστή Ανάκλασης Διάταξης Β

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Αποτελέσματα				ΣΤΑΘΜΗ (cm)
		Hs Inc (mm)	Hs Ref (mm)	BRC	Tr(s)	
47	Γ.1.1	-	-	-	0,569	59
48	Γ.1.2	0,9481	0,4954	0,5225	0,569	59
49	Γ.1.3	1,241	0,6301	0,5079	0,569	59
50	Γ.1.4	1,764	0,8836	0,5009	0,569	59
51	Γ.1.5	2,36	1,238	0,5246	0,569	59
52	Γ.1.6	3,174	1,668	0,5257	0,569	59
53	Γ.2.1	20,99	9,979	0,4754	1,004	59
54	Γ.2.2	31,75	14,06	0,4428	1,004	59
55	Γ.2.3	39,37	17,03	0,4326	1,004	59
56	Γ.2.4	45,91	19,82	0,4317	1,004	59
57	Γ.2.5	51,88	21,06	0,406	1,004	59
58	Γ.2.6	53,84	21,93	0,4073	1,004	59
59	Γ.3.1	45,23	12,69	0,2804	1,422	59
60	Γ.3.2	65,29	15,38	0,2355	1,422	59
61	Γ.3.3	83,3	19,69	0,2363	1,422	59
62	Γ.4.1	51,65	21,75	0,4211	1,896	59
63	Γ.4.2	63,25	25,85	0,4086	1,896	59
64	Γ.4.3	86,1	33,77	0,3922	1,896	59

Πίνακας 5.9.3 : Αποτελέσματα Συντελεστή Ανάκλασης Διάταξης Γ

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Αποτελέσματα				ΣΤΑΘΜΗ (cm)
		Hs Inc (mm)	Hs Ref (mm)	BRC	Tr(s)	
65	Δ.1.1	0,9158	0,5037	0,55	0,569	55
66	Δ.1.2	1,553	0,7899	0,5087	0,569	55
67	Δ.1.3	1,808	0,9089	0,5028	0,569	55
68	Δ.1.4	2,24	1,096	0,4891	0,569	55
69	Δ.1.5	2,541	1,28	0,504	0,569	55
70	Δ.1.6	3,06	1,625	0,531	0,569	55
71	Δ.2.1	21,45	10,37	0,4836	1,004	55
72	Δ.2.2	31,41	14,73	0,469	1,004	55
73	Δ.2.3	39,66	18,61	0,4692	1,004	55
74	Δ.2.4	44,6	20,7	0,4642	1,004	55
75	Δ.2.5	52,46	23,79	0,4535	1,004	55
76	Δ.2.6	55,5	24,82	0,4469	1,004	55
77	Δ.3.1	43,54	16,26	0,3735	1,422	55
78	Δ.3.2	62,08	20,91	0,3367	1,422	55
79	Δ.3.3	88,99	28,35	0,3185	1,422	55
80	Δ.4.1	49,72	19,61	0,3943	1,896	55
81	Δ.4.2	60,02	23,46	0,3903	1,896	55
82	Δ.4.3	80,99	33,85	0,418	1,896	55
83	Δ.4.4	91,08	36,99	0,4061	1,896	55
84	Δ.4.5	98,31	39,36	0,4003	1,896	55

Πίνακας 5.9.4 : Αποτελέσματα Συντελεστή Ανάκλασης Διάταξης Δ

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Αποτελέσματα				ΣΤΑΘΜΗ (cm)
		Hs Inc (mm)	Hs Ref (mm)	BRC	Tr(s)	
85	E.1.1	1,161	0,3613	0,311	0,569	55
86	E.1.2	2,218	0,6015	0,2712	0,569	55
87	E.1.3	2,997	0,7549	0,2519	0,569	55
88	E.1.4	3,218	0,8281	0,2573	0,569	55
89	E.1.5	3,373	0,8331	0,247	0,569	55
90	E.1.6	3,647	0,919	0,252	0,569	55
91	E.3.1	41,16	18,11	0,4401	1,422	55
92	E.3.2	58,81	25,14	0,4275	1,422	55
93	E.3.3	78,53	30,24	0,385	1,422	55
94	E.4.1	31,77	15,59	0,4907	1,896	55
95	E.4.2	47,25	24,81	0,5251	1,896	55
96	E.4.3	58,88	30,63	0,5202	1,896	55
97	E.4.4	69,56	35,73	0,5137	1,896	55

Πίνακας 5.9.5 : Αποτελέσματα Συντελεστή Ανάκλασης Διάταξης E

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Αποτελέσματα				ΣΤΑΘΜΗ (cm)
		Hs Inc (mm)	Hs Ref (mm)	BRC	Tr(s)	
98	Z.1.1	1,23	0,6198	0,5039	0,569	55
99	Z.1.2	1,975	0,9093	0,4604	0,569	55
100	Z.1.3	2,89	1,281	0,4433	0,569	55
101	Z.1.4	3,014	1,227	0,4071	0,569	55
102	Z.1.5	3,616	1,501	0,415	0,569	55
103	Z.1.6	3,844	1,481	0,3854	0,569	55
104	Z.2.1	19,55	8,418	0,4307	1,004	55
105	Z.2.2	29,4	12	0,4083	1,004	55
106	Z.2.3	37,65	15,29	0,4063	1,004	55
107	Z.2.4	36,5	15,16	0,4152	1,004	55
108	Z.2.5	43,63	17,95	0,4113	1,004	55
109	Z.3.1	34,89	20,93	0,5997	1,422	55
110	Z.3.2	48,19	29,53	0,6136	1,422	55
111	Z.3.3	52,49	32,76	0,6241	1,422	55
112	Z.3.4	62,47	39,71	0,6356	1,422	55
113	Z.3.5	72,54	44,18	0,609	1,422	55
114	Z.4.1	31,71	23,15	0,7301	1,896	55
115	Z.4.2	49,75	37,5	0,7537	1,896	55
116	Z.4.3	60,97	45,33	0,7435	1,896	55
117	Z.4.4	69,9	52,21	0,7469	1,896	55
118	Z.4.5	82,82	60,1	0,7257	1,896	55

Πίνακας 5.9.6 : Αποτελέσματα Συντελεστή Ανάκλασης Διάταξης Z

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Αποτελέσματα				ΣΤΑΘΜΗ (cm)
		Hs Inc (mm)	Hs Ref (mm)	BRC	Tp(s)	
119	H.1.1	0,8592	0,3225	0,3754	0,569	59
120	H.1.2	1,943	0,616	0,3169	0,569	59
121	H.1.3	2,977	0,8599	0,2888	0,569	59
122	H.1.4	3,72	0,9929	0,2669	0,569	59
123	H.1.5	3,549	1,02	0,2875	0,569	59
124	H.1.6	4,107	1,259	0,3066	0,569	59
125	H.2.1	20,03	5,97	0,2981	1,004	59
126	H.2.2	29,61	8,387	0,2832	1,004	59
127	H.2.3	36,4	10,42	0,2863	1,004	59
128	H.2.4	42,68	12,09	0,2832	1,004	59
129	H.2.5	49,36	13,68	0,2771	1,004	59
130	H.2.6	54,74	14,97	0,2735	1,004	59
131	H.3.1	35,55	17,81	0,5011	1,422	59
132	H.3.2	44,92	22,65	0,50422	1,422	59
133	H.3.3	53,28	26,88	0,5046	1,422	59
134	H.3.4	64,4	31,72	0,4925	1,422	59
135	H.3.5	74,85	35,84	0,4789	1,422	59
136	H.4.1	32,53	20,81	0,6399	1,896	59
137	H.4.2	49,94	32,96	0,66	1,896	59
138	H.4.3	62,52	39,85	0,6374	1,896	59
139	H.4.4	72,69	45,76	0,6294	1,896	59
140	H.4.5	85,07	52,19	0,6135	1,896	59

Πίνακας 5.9.7 : Αποτελέσματα Συντελεστή Ανάκλασης Διάταξης Η

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Αποτελέσματα				ΣΤΑΘΜΗ (cm)
		Hs Inc (mm)	Hs Ref (mm)	BRC	Tr(s)	
141	Θ.1.1	0,9258	0,2324	0,251	0,569	62
142	Θ.1.2	1,582	0,3303	0,2088	0,569	62
143	Θ.1.3	2,746	0,5241	0,1909	0,569	62
144	Θ.1.4	3,782	0,669	0,1763	0,569	62
145	Θ.1.5	4,095	0,7999	0,1953	0,569	62
146	Θ.1.6	4,1	0,8423	0,2054	0,569	62
147	Θ.2.1	20,41	2,796	0,137	1,004	62
148	Θ.2.2	30,63	4,088	0,1335	1,004	62
149	Θ.2.3	36,96	5,032	0,1361	1,004	62
150	Θ.2.4	41,99	5,887	0,1402	1,004	62
151	Θ.2.5	47,22	6,898	0,1461	1,004	62
152	Θ.2.6	51,77	7,964	0,1538	1,004	62
153	Θ.3.1	38,74	11,3	0,2916	1,422	62
154	Θ.3.2	44,87	14,05	0,3132	1,422	62
155	Θ.3.3	57,58	18,72	0,3252	1,422	62
156	Θ.3.4	66,74	22,04	0,3303	1,422	62
157	Θ.3.5	78,22	25,07	0,3204	1,422	62
158	Θ.4.1	33,82	16,13	0,477	1,896	62
159	Θ.4.2	52,31	26,59	0,5083	1,896	62
160	Θ.4.3	65,78	33,48	0,5082	1,896	62
161	Θ.4.4	75,6	38,72	0,5122	1,896	62
162	Θ.4.5	90,95	46,78	0,5144	1,896	62

Πίνακας 5.9.8 : Αποτελέσματα Συντελεστή Ανάκλασης Διάταξης Θ

6. Επεξεργασία Μετρήσεων

6.1 Εισαγωγή

Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων συσχετίστηκε ο μέσος συντελεστής ανάκλασης με διάφορες αδιάστατες παραμέτρους, όπως αυτές προτείνονται από την βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα και για τις οχτώ διατάξεις παρουσιάζονται τα διαγράμματα που συσχετίζουν το συντελεστή ανάκλασης με:

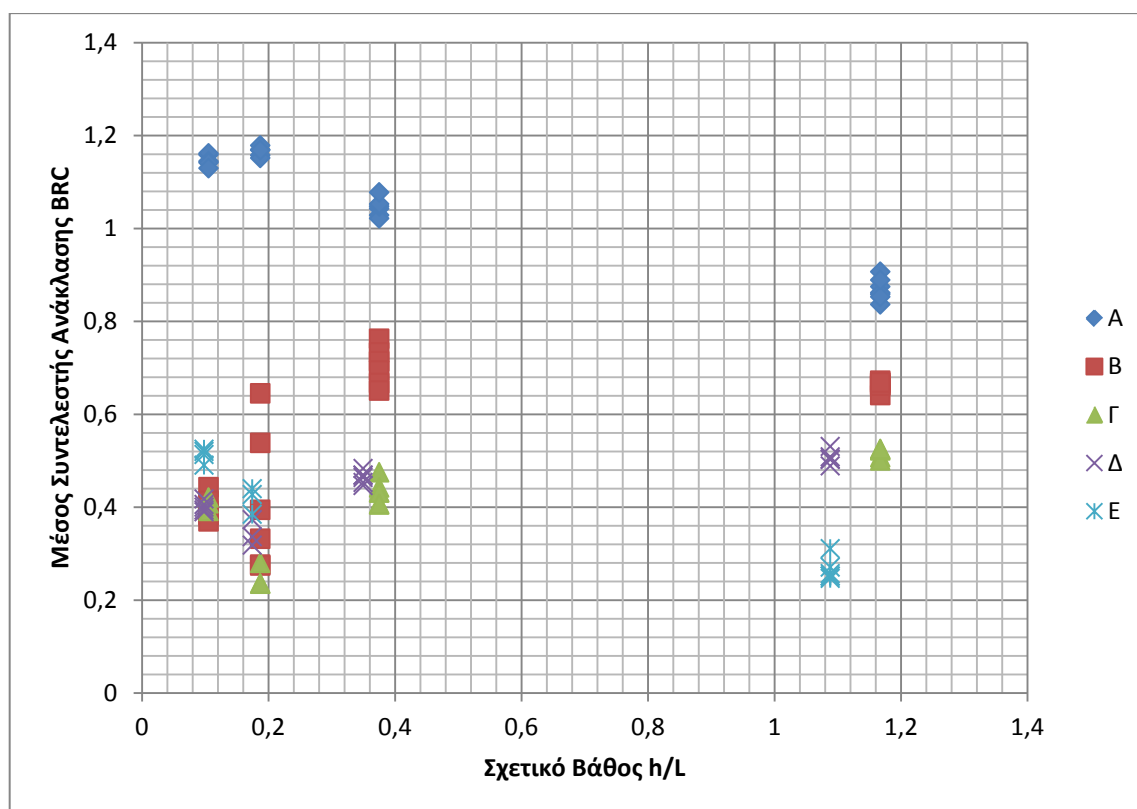
- το λόγο του βάθους στο πόδα της διατομής προς το μήκος κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού (h/L_0)
- τη κυρτότητα κυματισμού ($\gamma=H/L$)
- το λόγο του χαρακτηριστικού ύψους κύματος μακριά από τη διατομή προς το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στο πόδα της διατομής (H_{ss}/H_{is})
- το συντελεστή θραύσης $\xi = \frac{\tan(a)}{\sqrt{\frac{H_s}{L}}}$
- την αδιάστατη παράμετρο $\chi = \frac{f_P}{\tan a} * \sqrt{\left(\frac{d}{g}\right)}$,

όπως προτείνονται από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Επιπλέον διερευνάται η σχέση άλλων αδιάστατων συντελεστών που κατασκευάστηκαν για να διερευνηθεί η σχέση παραμέτρων όπως το ελεύθερο περιθώριο, με τον συντελεστή ανάκλασης σε κάθε διατομή.

Τέλος παρατίθενται τα διαγράμματα ύψους κύματος και μέσου συντελεστή ανάκλασης που διευκολύνουν την σύγκριση της αποδοτικότητας της κάθε διατομής ως προς την μείωση του συντελεστή ανάκλασης.

6.2 Μέσος Συντελεστής Ανάκλασης ως προς το σχετικό βάθος h/L

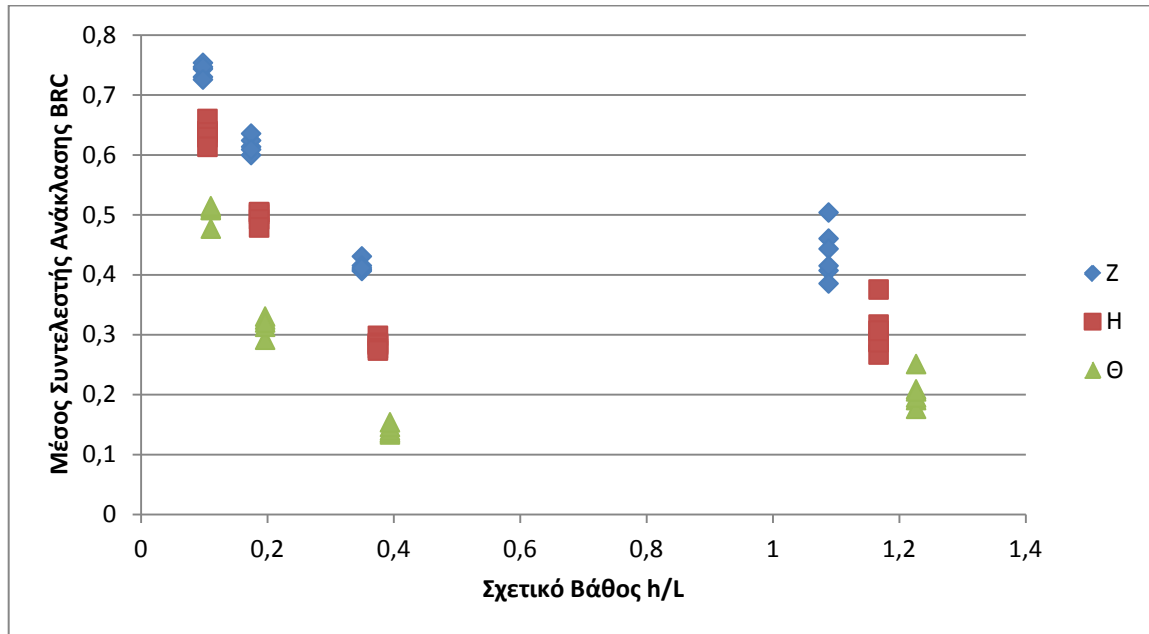


Διάγραμμα 6.2.1 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς σχετικό βάθος.

Είναι εμφανές ότι η σε κάθε διάταξη η μεταβολή του σχετικού βάθους προκαλεί διαφορετική μεταβολή του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Πιο συγκεκριμένα η αύξηση του σχετικού βάθους για την διάταξη A και E προκαλεί μείωση του συντελεστή ανάκλασης. Η διάταξη B, με την μεγάλη διασπορά στις τιμές του συντελεστή ανάκλασης, ειδικά για $h/L=0.2$, δεν προσφέρεται για ασφαλή συμπεράσματα, ενώ για τις διατάξεις Γ και Δ ενώ η αύξηση του σχετικού βάθους αρχικά προκαλεί μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης για σχετικά βάθη μεγαλύτερα του 0.2 προκαλεί μικρή αύξηση του συντελεστή ανάκλασης.

Ένα πρώτο συμπέρασμα είναι πως το σχετικό βάθος φαίνεται να έχει σχέση με τον μέσο συντελεστή ανάκλασης αλλά αυτή η σχέση είναι πλήρως εξαρτημένη από το μέγεθος των ογκολίθων και την κλίση τους στο θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών. Για τις διατάξεις A και E, που η πρώτη έχει κάθετο μέτωπο και η δεύτερη πολύ μεγάλη γωνία πορώδους μέσο, η αύξηση του σχετικού βάθους οδηγεί σε μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Παρουσιάζουν κοινή δηλαδή συμπεριφορά. Το ίδιο συμβαίνει και με τις διατάξεις Γ και Δ, οι οποίες έχουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά, εκτός από την στάθμη του νερού στην δεξαμενή. Στο επόμενο διάγραμμα που αφορά τις διατάξεις

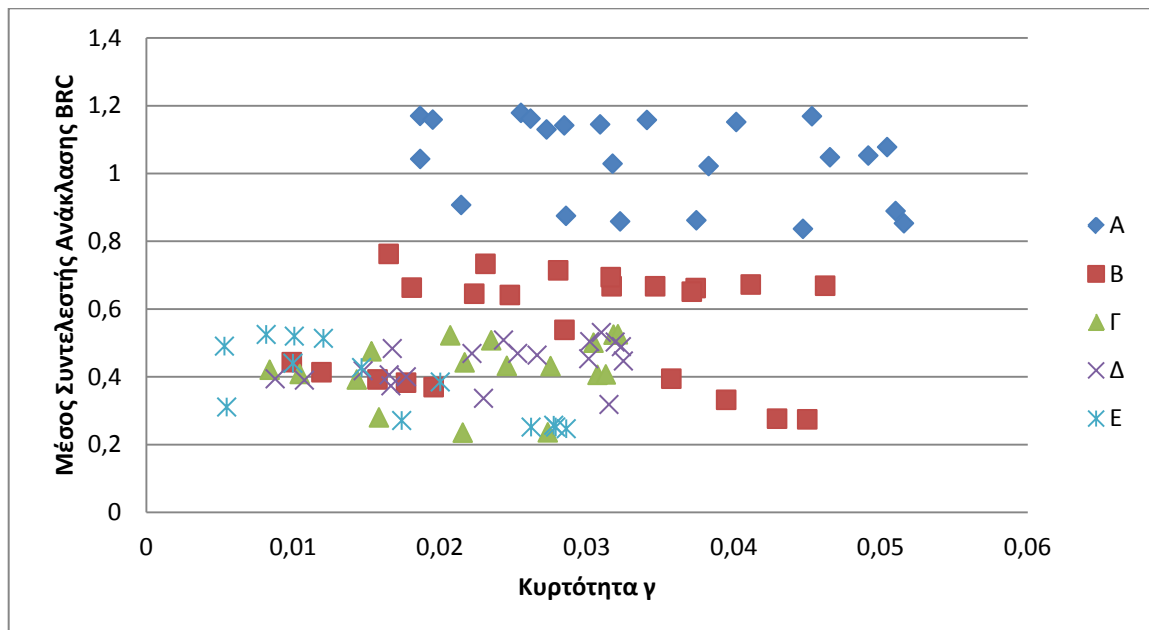
Z,H,Θ, που διαφέρουν μόνο ως προς την στάθμη, επιβεβαιώνονται πλήρως τα παραπάνω συμπεράσματα.



Διάγραμμα 6.2.2 : Μέσος Συντελεστής Ανάκλασης ως προς σχετικό βάθος.

Για τις διατάξεις Z,H,Θ η αύξηση του σχετικού βάθους μέχρι και την τιμή 0,4 προκαλεί δραστική μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης ενώ για αύξηση πέραν της τομής 0,4 προκαλείται μια μικρή αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης.

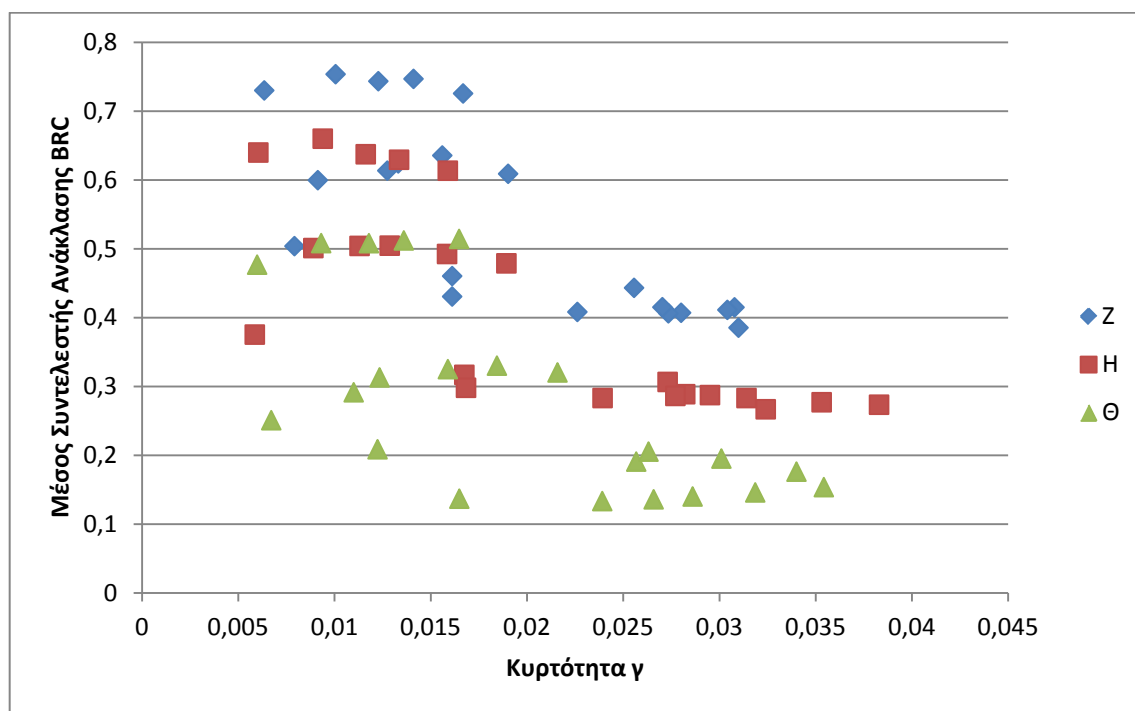
6.3 Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς την κυρτότητα γ



Διάγραμμα 6.3.1 : Μέσος Συντελεστής Ανάκλασης ως προς την κυρτότητα γ .

Από το παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανές ότι δεν υπάρχει εμφανής συσχέτιση της κυρτότητας γ και του μέσου συντελεστή ανάκλασης στις διατάξεις A, B, Γ, Δ, E. Για τις διατάξεις A,B και E παρατηρείται μια μικρή μειωτική τάση του μέσου συντελεστή ανάκλασης για αύξηση της τιμής της κυρτότητας, ενώ για τις διατάξεις Γ και Δ ο συντελεστής ανάκλασης παραμένει περίπου σταθερός για αύξηση της κυρτότητας γ .

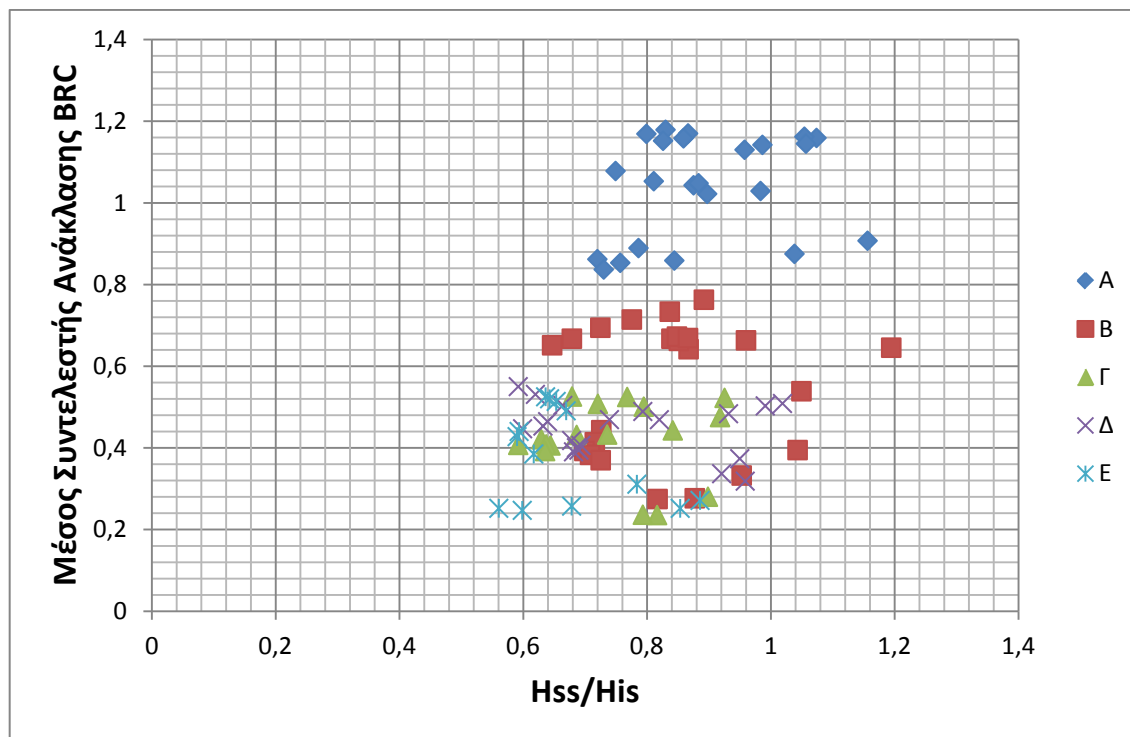
Σε κάθε περίπτωση και για την κυρτότητα διαφαίνεται μια αρκετά διαφορετική συμπεριφορά ανά διάταξη. Αυτή η διαπίστωση επιβεβαιώνεται στο επόμενο διάγραμμα όπου και είναι εμφανής μια έντονη μειωτική τάση του συντελεστή ανάκλασης για αύξηση της κυρτότητας. Βέβαια η πανομοιότυπη συμπεριφορά των διατάξεων Z,H,Θ, ως προς τον μέσο συντελεστή ανάκλασης οφείλεται στο γεγονός ότι η μόνη διαφορά αυτών των διατάξεων είναι η διαφορετική στάθμη.



Διάγραμμα 6.3.2 : Μέσος Συντελεστής Ανάκλασης ως προς την κυρτότητα γ .

6.4 Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς τον λόγο H_{ss}/H_{is}

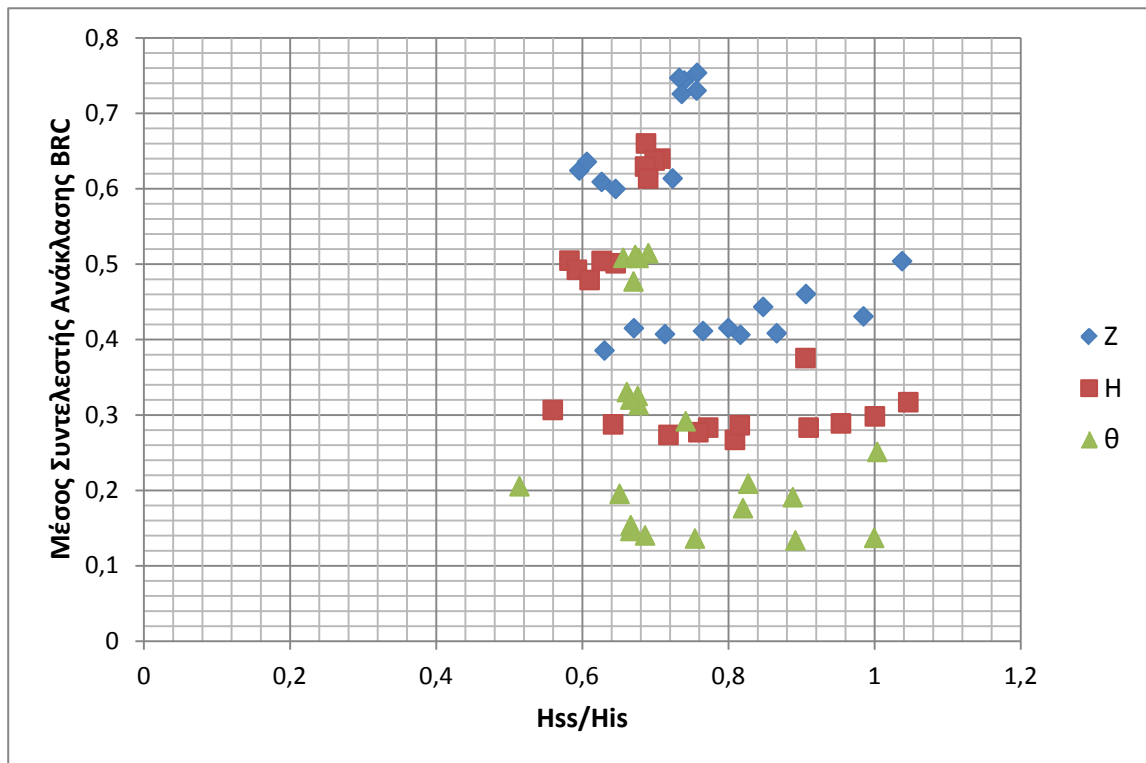
Το H_{ss} και το H_{is} είναι το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στον πόδα της διατομής και μακριά από τη διατομή, αντίστοιχα. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 6.4.1 δεν φαίνεται κάποια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του λόγου του προσπίπτοντος προς τον παραγόμενο κυματισμό και του μέσου συντελεστή ανάκλασης για τις διατάξεις A, B, Γ, Δ και Ε.



Διάγραμμα 6.4.1 : Μέσος Συντελεστής Ανάκλασης ως προς τον λόγο H_{ss}/H_{is} .

Στο διάγραμμα 6.4.2 που δείχνει την σχέση του μέσου συντελεστή ανάκλασης και του λόγου του προσπίπτοντος προς τον παραγόμενο κυματισμό για τις διατάξεις Z, Η, Θ, φαίνεται πως για τις μεγαλύτερες τιμές του προσπίπτοντος προς τον παραγόμενο κυματισμό παρατηρούνται οι μικρότερες τιμές του μέσου συντελεστή ανάκλασης.

Ωστόσο τα παραπάνω συμπεράσματα χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης, γιατί μακριά από τη διάταξη ο κυματισμός δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως, αφού μόλις έχει παραχθεί.



Διάγραμμα 6.4.2 : Μέσος Συντελεστής Ανάκλασης ως προς τον λόγο Hss/His.

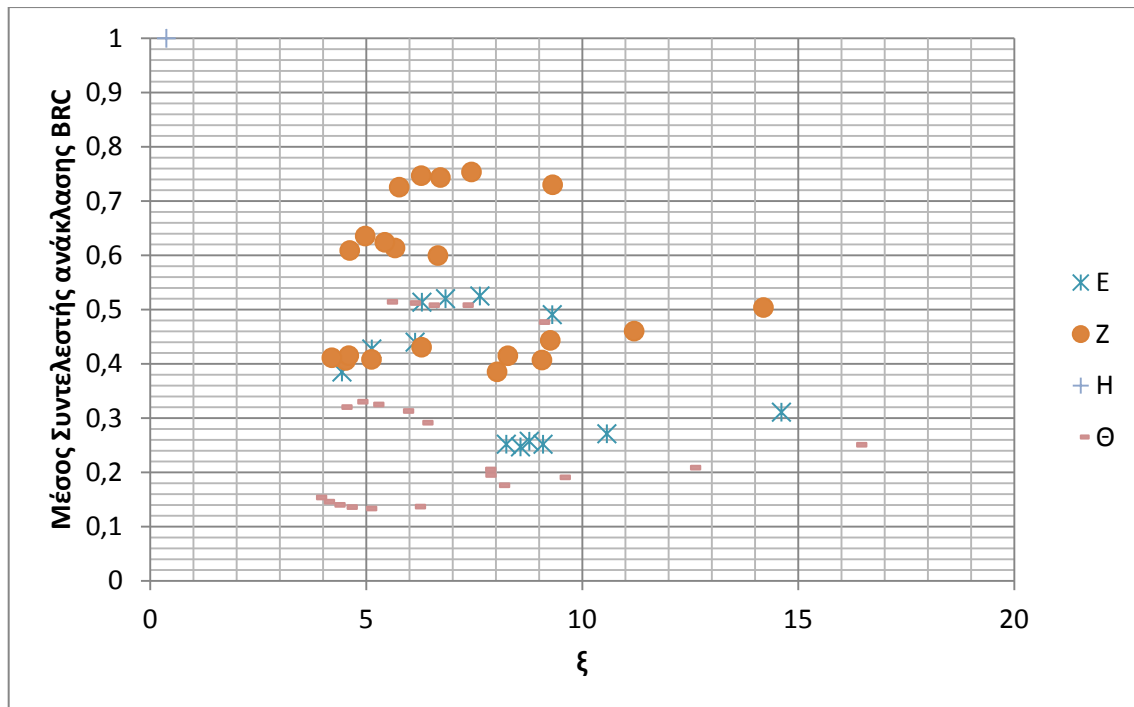
6.5 Μέσος Συντελεστής ανάκλασης ως προς τον συντελεστή θραύσης ξ

Ο συντελεστής θραύσεως αφορά διατομές με πρηνή και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\xi = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\left(\frac{Hs}{Lo}\right)}}$$

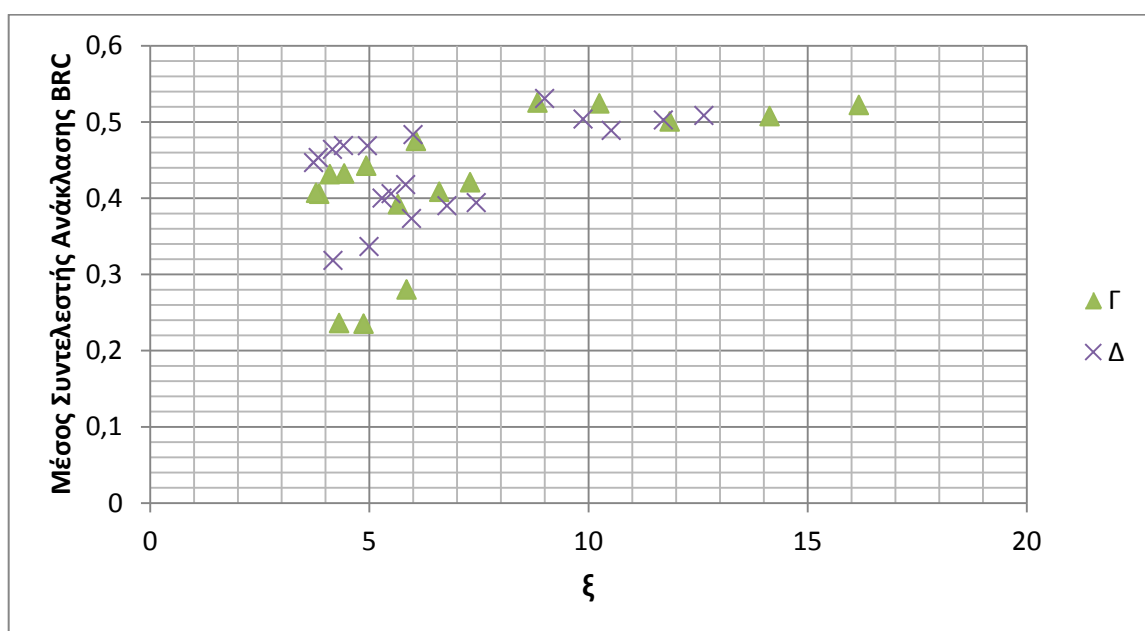
Στην παρούσα διπλωματική εργασία έχουν εξεταστεί διατάξεις που δεν έχουν πρηνή. Οι διατάξεις όμως περιέχουν πορώδες μέσο με κλίση $\tan(\alpha)$. Στις διατάξεις αυτές ως κλίση $\tan(\alpha)$ λήφθηκε η κλίση του πορώδους μέσου εντός του θαλάμου κυματισμών.

Για τις διατάξεις A, B προφανώς δεν ορίζεται ξ , αφού δεν περιέχουν πορώδες μέσο. Για τις διατάξεις E, Z, H, Θ βλέπουμε στο διάγραμμα 6.5.1 πως ο συντελεστής ξ δεν συσχετίζεται καλά με τον μέσο συντελεστή ανάκλασης. Επιπλέον η διερεύνηση για συσχέτιση με εμπειρικούς τύπους που περιέχουν τον συντελεστή θραύσης ξ έδειξε ότι δεν υπάρχει καθόλου καλή συσχέτιση με τους εμπειρικούς τύπους. Συνεπώς για τις διατομές E, Z, H, και Θ ο συντελεστής θραύσης ξ δεν φαίνεται να είναι καλά ορισμένος και θα πρέπει να αποφεύγεται.



Διάγραμμα 6.5.1 : Συντελεστής Ανάκλασης ως προς τον συντελεστή θραύσης ξ .

Αντίθετα για τις διατάξεις Γ και Δ, οι οποίες περιέχουν θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος πληρούται με ογκόλιθους βάρους 25-55 gr, με πορώδες $n=0,33$ και $dm=2.75$ cm υπό γωνία 35 μοιρών και το διάγραμμα που ακολουθεί αλλά και η πολύ καλή συσχέτιση με εμπειρικούς τύπους που προτείνονται από την βιβλιογραφία, οδηγούν στο συμπέρασμα πως ο συντελεστής ξ είναι καλά ορισμένος για αυτές τις διατάξεις. Η αύξηση του συντελεστή ξ οδηγεί σε αύξηση και του μέσου συντελεστή ανάκλασης.



Διάγραμμα 6.5.2 : Συντελεστής Ανάκλασης ως προς τον συντελεστή θραύσης ξ .

6.6 Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς την αδιάστατη παράμετρο χ .

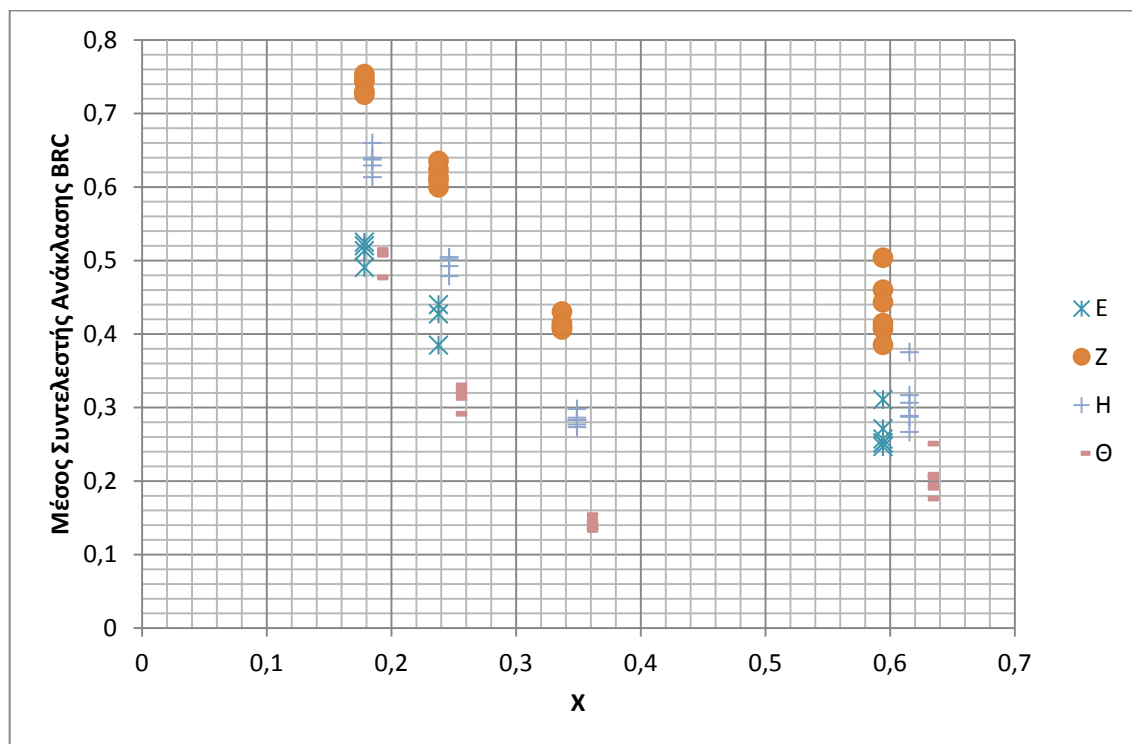
Μία αδιάστατη παράμετρος που, σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, σχετίζεται με την ανάκλαση είναι η αδιάστατη παράμετρος χ . Οι Hughes and Fowler (1995), [6.1] πρότειναν την αδιάστατη παράμετρο χ , όπου:

$$\chi = \frac{f_P}{\tan \alpha} * \sqrt{\left(\frac{d}{g}\right)}$$

Πρέπει βέβαια να τονιστεί πως και αυτή η αδιάστατη παράμετρος αφορά διατάξεις με πρηνή και πως και σε αυτή την περίπτωση έγινε η παραδοχή ότι η κλίση του πρηνούς είναι στην περίπτωση μας η κλίση του πορώδους εντός του θαλάμου κυματισμών.

Οι James Sunderland και Tom O Donogue (1998), [6.2] αποδεικνύουν ότι η αδιάστατη παράμετρος χ δεν αποτελεί καλή παράμετρο για τη συσχέτιση της με το συντελεστή ανάκλασης παρά μόνο για σχετικά μικρά ύψη κύματος επειδή εξαρτάται έμμεσα από το ύψος.

Σε όλες όμως τις διατάξεις το ύψος κύματος είναι αρκετά μικρό σε σχέση με το ύψος του νερού στην δεξαμενή, συνεπώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον συντελεστή χ .

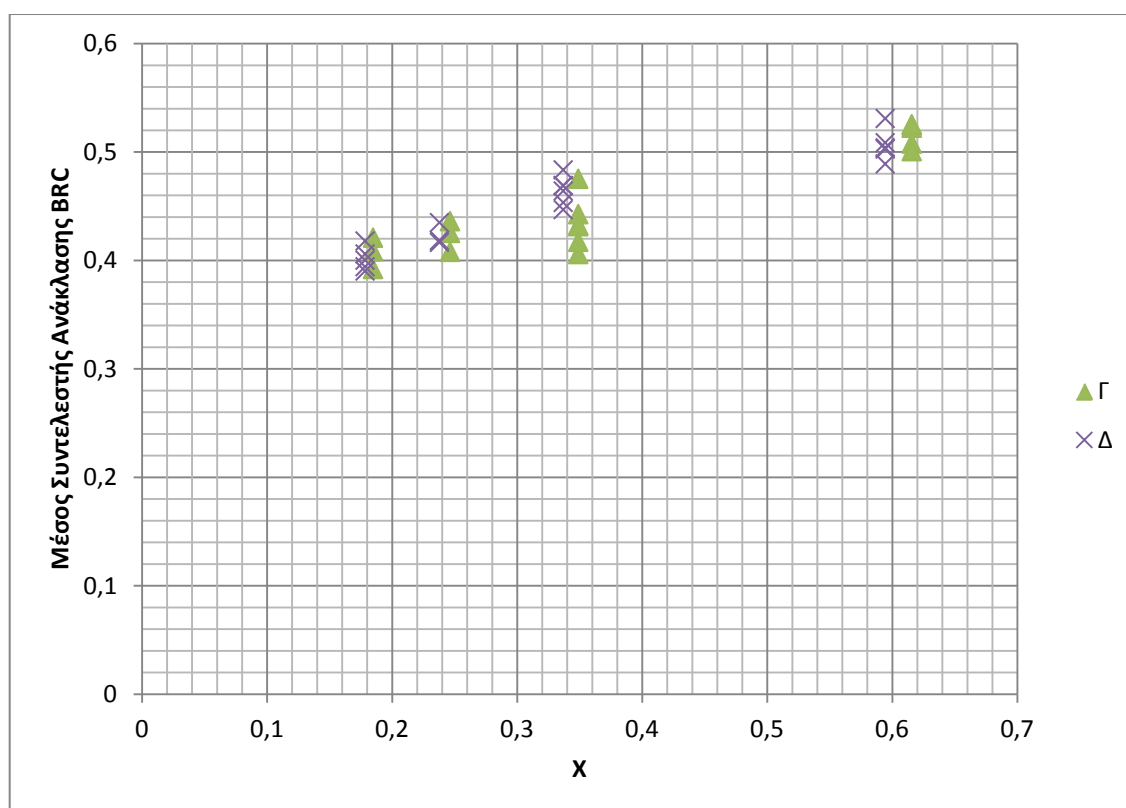


Διάγραμμα 6.6.1 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς την παράμετρο χ .

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.6.1 για τις διατάξεις E, Z, H, Θ η αύξηση του συντελεστή χ για τιμές μέχρι 0,4 συσχετίζεται με απότομη μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Η περαιτέρω αύξηση του συντελεστή χ προκαλεί μια μικρή αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης και αρκετά μεγάλη διασπορά στις τιμές που λαμβάνει.

Αφού σε κάθε διάταξη όλες οι παράμετροι που σχετίζονται με τον συντελεστή χ παραμένουν σταθερές, η διαφορετικές τιμές του χ οφείλονται στις διαφορετικές συχνότητες, δηλαδή στις διαφορετικές περιόδους. Όσο μικρότερος ο συντελεστής χ , τόσο μικρότερη η συχνότητα άρα μεγαλύτερη η περίοδος. Συνεπώς, για μικρότερη περίοδο παρατηρούνται μικρότεροι μέσοι συντελεστές ανάκλασης, ενώ στην μικρότερη περίοδο παρατηρείται μεγάλη διασπορά στις τιμές του μέσου συντελεστή ανάκλασης.

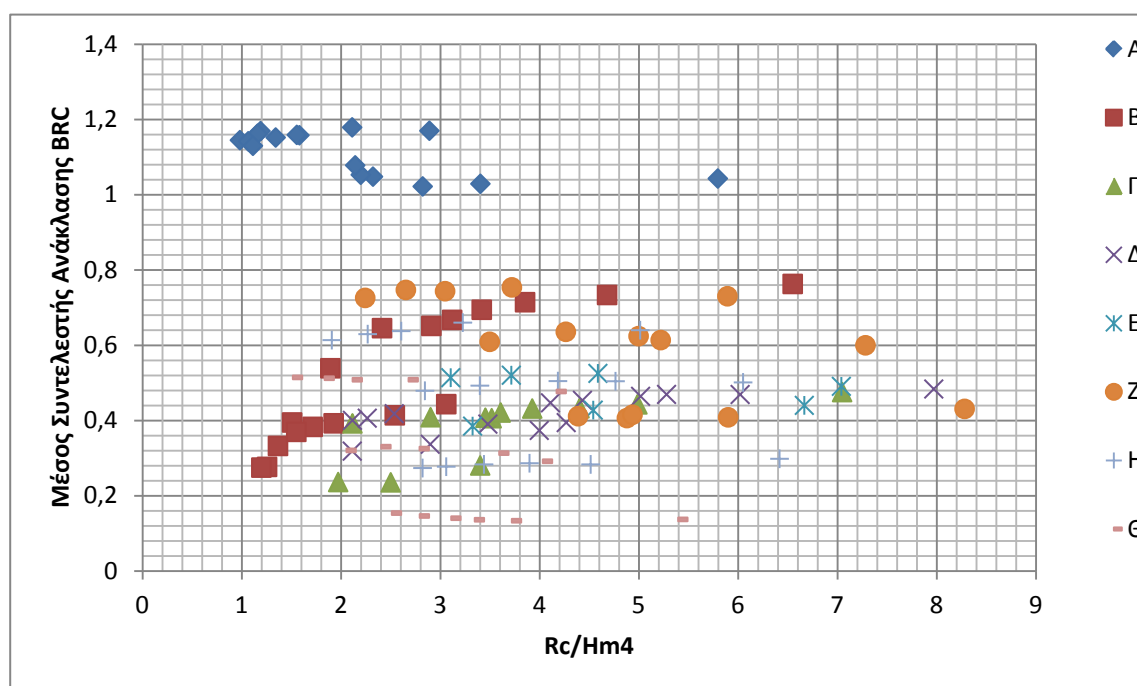
Στο διάγραμμα 6.6.2 που ακολουθεί φαίνεται η διαφορετική συμπεριφορά των διατάξεων Γ, Δ. Η αύξηση του συντελεστή χ , που οφείλεται σε μικρότερη περίοδο, οδηγεί σε μικρή αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης.



Διάγραμμα 6.6.2 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς την παράμετρο χ .

6.7 Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς τον λόγο R_c/H_{m4}

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η συσχέτιση του λόγου R_c/H_{m4} προς τον μέσο συντελεστή ανάκλασης. Το R_c είναι το ελεύθερο περιθώριο και H_{m4} είναι το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφει ο μετρητής τέσσερα, που είναι ο εγγύτερος προς την διάταξη. Ο λόγος του ελεύθερου περιθωρίου προς το χαρακτηριστικό ύψος κύματος κοντά στην διάταξη φαίνεται να συσχετίζεται με τον μέσο συντελεστή ανάκλασης, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 6.7.1, αλλά η συσχέτιση αυτή χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

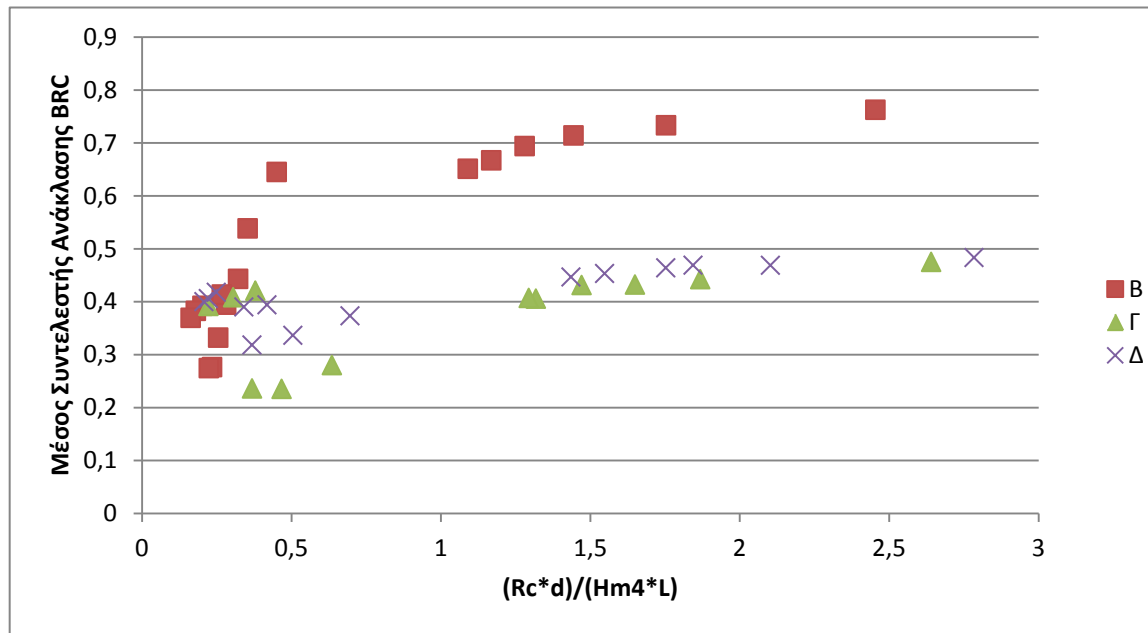


Διάγραμμα 6.7.1 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς τον λόγο R_c/H_{m4} .

6.8 Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς τον λόγο $(R_c*d)/(H_{m4}*L)$

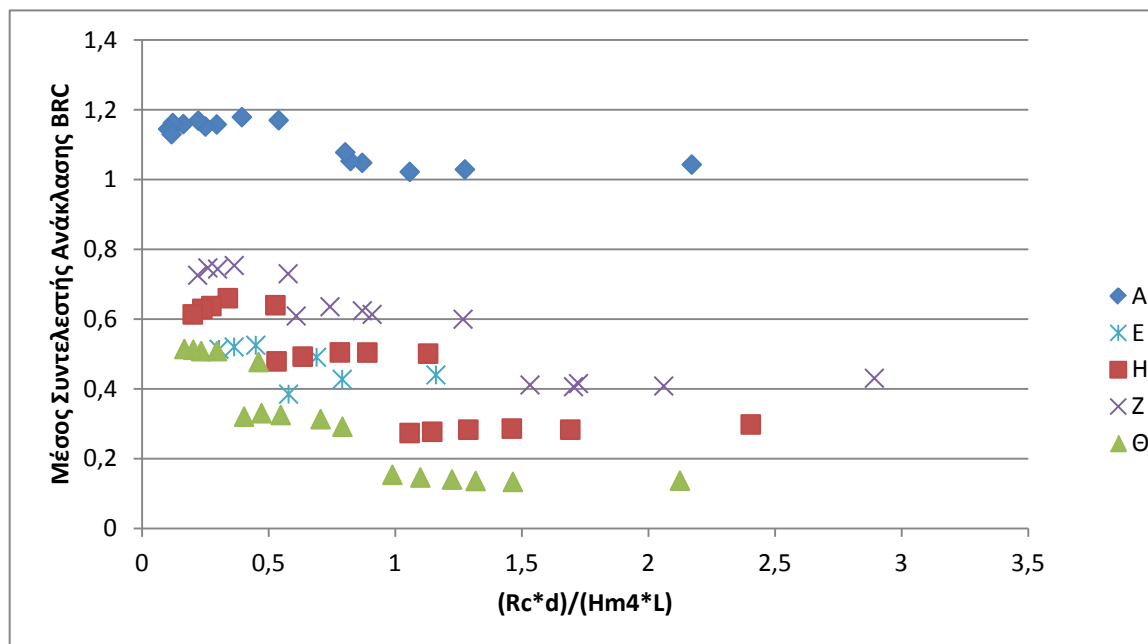
Διερευνήθηκε επίσης η ύπαρξη συσχέτισης με τον αδιάστατο συντελεστή $(R_c*d)/(H_{m4}*L)$ όπου R_c είναι το ελεύθερο περιθώριο, d το βάθος του νερού στον πόδα της διατομής, H_{m4} το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στον εγγύτερο μετρητή ως προς την διατομή και L το μήκος κύματος. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί για τις διατάξεις Β,Γ,Δ η αύξηση του λόγου $(R_c*d)/(H_{m4}*L)$ οδηγεί σε αύξηση του συντελεστή ανάκλασης. Σε κάθε διάταξη ο αριθμητής παραμένει σταθερός και παρατηρούμε ότι οι μετρήσεις εμφανίζονται κατά «ομάδες». Οι «ομάδες» αυτές έχουν κοινή περίοδο, άρα το μόνο που αλλάζει είναι το H_{m4} . Συνεπώς σε κάθε «ομάδα» η αύξηση του λόγου $(R_c*d)/(H_{m4}*L)$ ισοδυναμεί με μείωση του H_{m4} .

Σύμφωνα, λοιπόν με το διάγραμμα 6.7.1 για τις διατομές Β,Γ,Δ για ίδια περίοδο όσο μειώνεται το ύψος κύματος Hm_4 , ο μέσος συντελεστής ανάκλασης αυξάνεται.



Διάγραμμα 6.8.1 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς τον λόγο $(Rc*d)/(Hm_4*L)$.

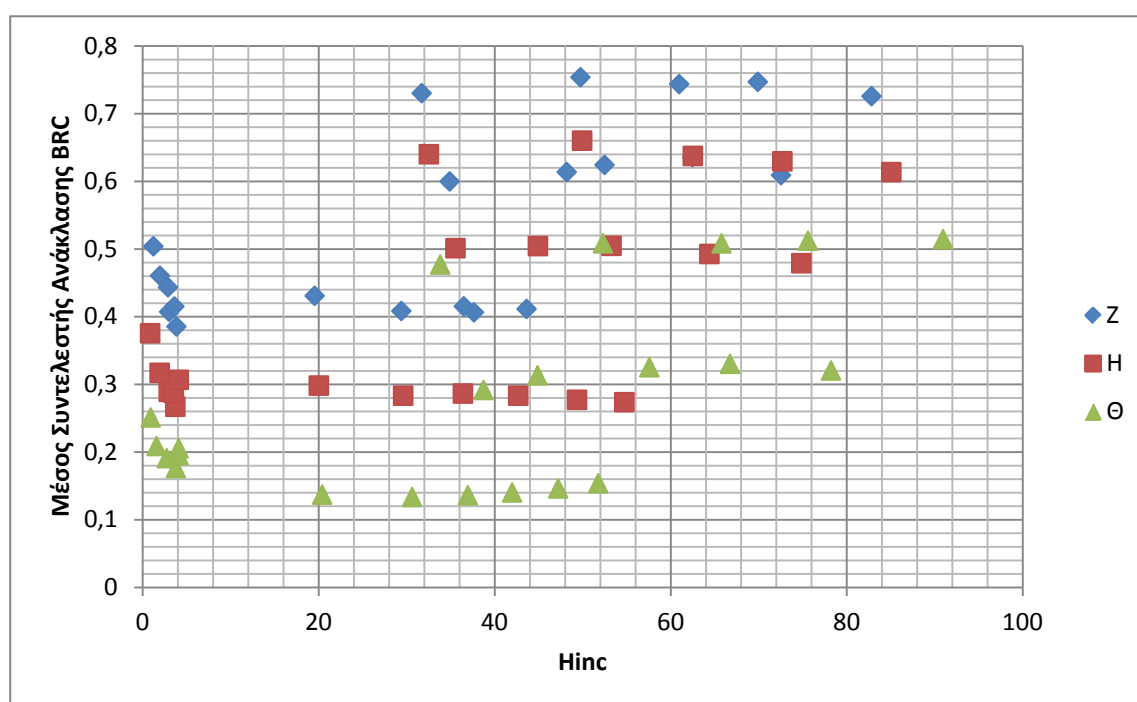
Αντίστοιχα για τις διατάξεις Α, Ε, Ζ, Η, Θ όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα 6.8.2 για την ίδια περίοδο άρα και ίδιο μήκος κύματος, όσο το ύψος κύματος Hm_4 μειώνεται, ο μέσος συντελεστής ανάκλασης δεν επηρεάζεται και παραμένει σταθερός. Επιπλέον στις μικρές περιόδους, που αντιστοιχούν μικρότερα μήκη κύματος άρα μεγαλύτεροι λόγοι $(Rc*d)/(Hm_4*L)$ αντιστοιχούν μικρότεροι μέσοι συντελεστές ανάκλασης.



Διάγραμμα 6.8.1 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς τον λόγο $(Rc*d)/(Hm_4*L)$.

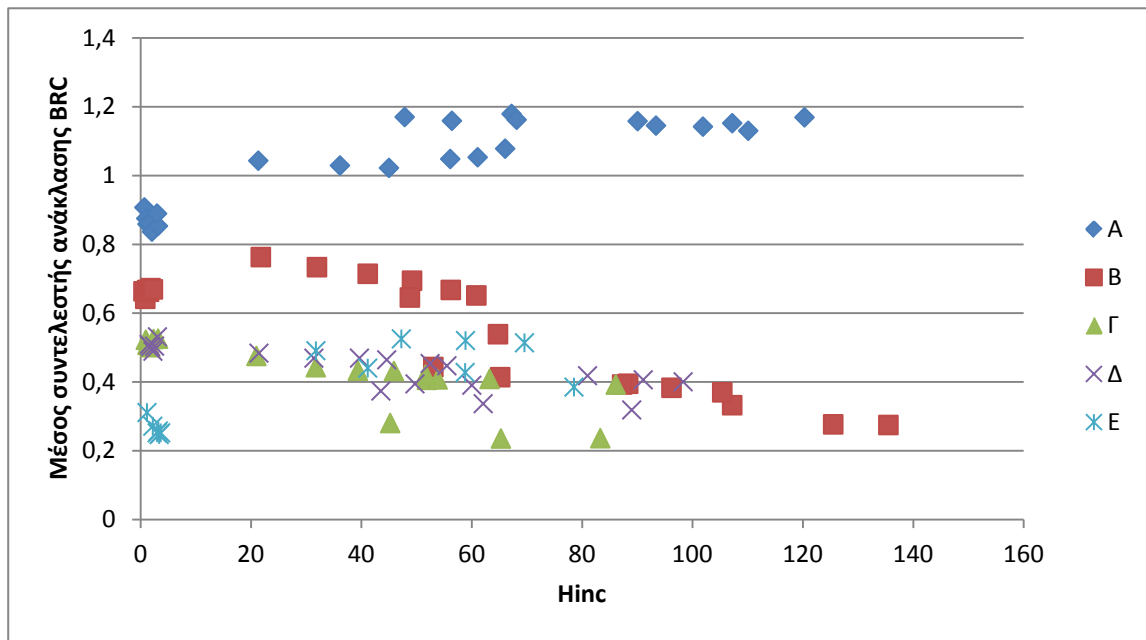
6.9 Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς το χαρακτηριστικό ύψος προσπίπτοντος κύματος.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.9.1 οι μετρήσεις για τις διατάξεις Z, H, Θ κατηγοριοποιούνται σε ομάδες ανάλογα με την περίοδο. Με εξαίρεση τα κύματα με πολύ μικρά ύψη κύματος, στα οποία η μικρή αύξηση του ύψους κύματος οδηγεί σε μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης, για ίδια περίοδο η αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους προσπίπτοντος κύματος δεν οδηγεί σε διαφοροποίηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Επιπλέον τα κύματα με μεγαλύτερη περίοδο έχουν μεγαλύτερες τιμές μέσου συντελεστή ανάκλασης.



Διάγραμμα 6.9.1 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς το H_{inc} .

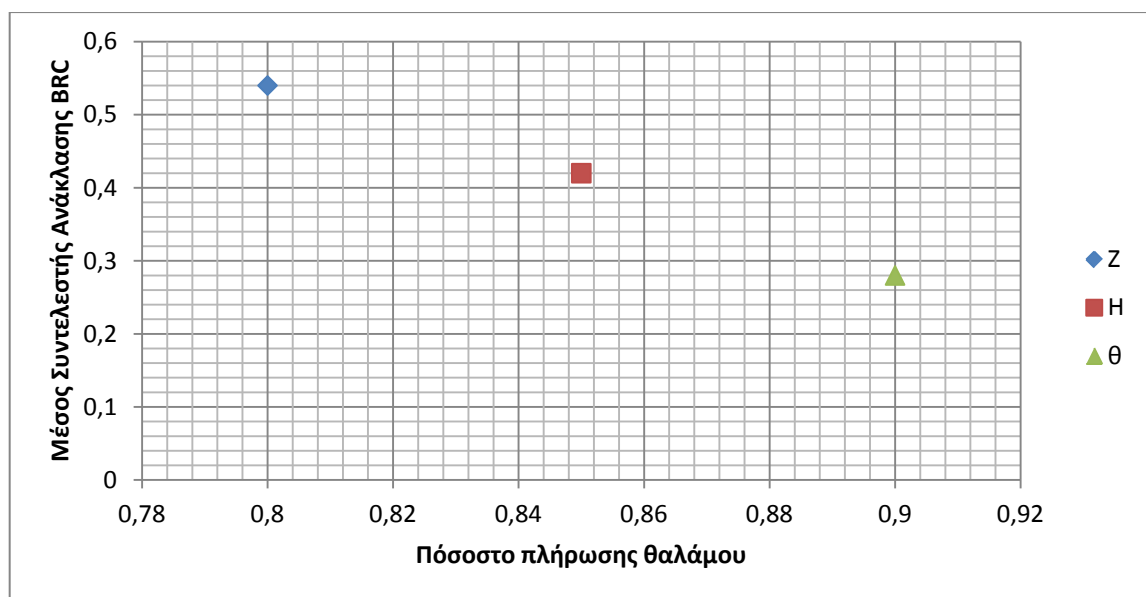
Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί, τα ίδια συμπεράσματα ισχύουν και για τις διατάξεις A, Γ, Δ, E. Για την διάταξη B όμως δεν ισχύουν τα ίδια συμπεράσματα. Στην διάταξη B η αύξηση του ύψους κύματος προκαλεί την ραγδαία μείωση του συντελεστή ανάκλασης. Η εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι ότι η διάταξη B περιέχει θάλαμο κενό που στην πίσω παρειά έχει αδιαπέρατο όριο. Όταν το ύψος κύματος ξεπερνάει ένα όριο, το κύμα προσπίπτει όχι μόνο στο πίσω, κάθετο, αδιαπέρατο μέτωπο αλλά και στο πάνω οριζόντιο μέτωπο με αποτέλεσμα ο συντελεστής ανάκλασης να μειώνεται αρκετά.



Διάγραμμα 6.9.2 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς το H_{inc} .

6.10 Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς το ποσοστό πλήρωσης του θαλάμου.

Οι διατάξεις Z, H, Θ διαφέρουν μόνο ως προς την στάθμη, δηλαδή το ποσοστό πλήρωσης του θαλάμου. Η διάταξη Z, έχει στάθμη 55 cm, η διάταξη H, 59 cm και η διάταξη Θ, 55 cm. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 6.10.1 η αύξηση του ποσοστού πλήρωσης του θαλάμου, δηλαδή της στάθμης, οδηγεί σε μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης.



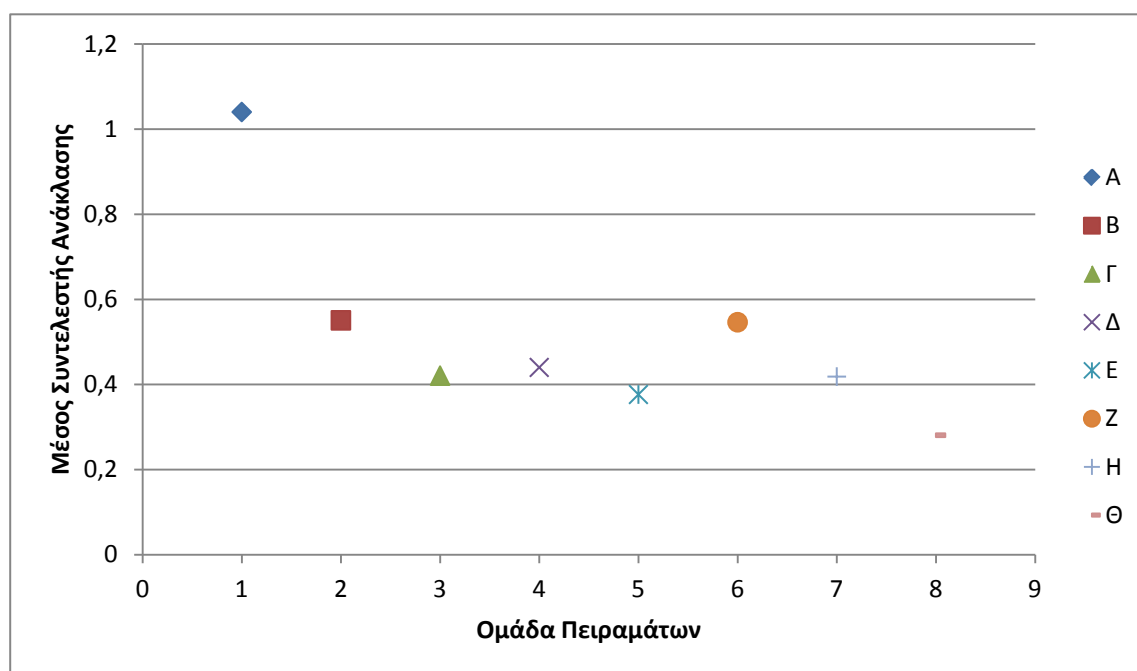
Διάγραμμα 6.10.1 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς το ποσοστό πλήρωσης θαλάμου

6.11 Μέσος συντελεστής ανάκλασης ανά διάταξη

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 6.11.1 αλλά και στο διάγραμμα 6.11.2, ο απορροφητικός κρηπιδότοιχος, σε όλες του τις εκδοχές παρουσιάζει σημαντικά μικρότερο συντελεστή ανάκλασης σε σχέση με έναν κάθετο αδιαπέρατο κρηπιδότοιχο. Πιο συγκεκριμένα η μικρότερη μείωση του συντελεστή ανάκλασης επιτυγχάνεται με την διάταξη Β και είναι της τάξης του 47%, ενώ για την διάταξη Θ επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης, 73%. Οι διατάξεις Δ και Ζ έχουν την ίδια στάθμη νερού (55cm) ενώ διαφέρουν ως προς το μέγεθος των ογκολίθων. Σε αυτή την στάθμη η διάταξη Δ έχει αρκετά μικρότερο συντελεστή ανάκλασης (0,44) σε σχέση με την διάταξη Ζ (0,54). Σε μεγαλύτερη στάθμη όμως δεν υπάρχει πρακτικά διαφορά στον συντελεστή ανάκλασης αφού οι διατάξεις Γ και Η που διαφέρουν μόνο ως προς το μέγεθος των ογκολίθων και έχουν στάθμη 59 cm έχουν τον ίδιο μέσο συντελεστή ανάκλασης. Οι διατάξεις Δ και Ε διαφέρουν μόνο ως προς την κλίση των ογκολίθων. Η διάταξη Ε που έχει μεγαλύτερη κλίση πορώδους μέσου, παρουσιάζει μικρότερο μέσο συντελεστή ανάκλασης σε σχέση με την διάταξη Δ, που έχει ηπιότερη κλίση.

Διάταξη	A	B	Γ	Δ	Ε	Ζ	Η	Θ
BRC	1,04	0,55	0,42	0,44	0,37	0,54	0,42	0,28

Πίνακας 6.11.1 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ανά διάταξη.



Διάγραμμα 6.11.2 : Μέσος συντελεστής ανάκλασης ανά διάταξη.

Βιβλιογραφικές Αναφορές βου Κεφαλαίου

- [6.1] Hughes, S. A.. and Fowler, J. E. (1995). "Estimating wave-induced kinematics at sloping structures." J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engrg.,ASCE, 121(4),209-215.
- [6.2] James Sunderland and Tom O Donogue (1998), J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng. 124, 303

7. Διαγράμματα συσχέτισης με εμπειρικούς τύπους

7.1 Προσεγγιστική καμπύλη Seelig και Ahrens

Οι Seelig and Ahrens (1981) διατύπωσαν τη σχέση:

$$C_{rb} = a * \frac{\xi^2}{b + \xi^2}$$

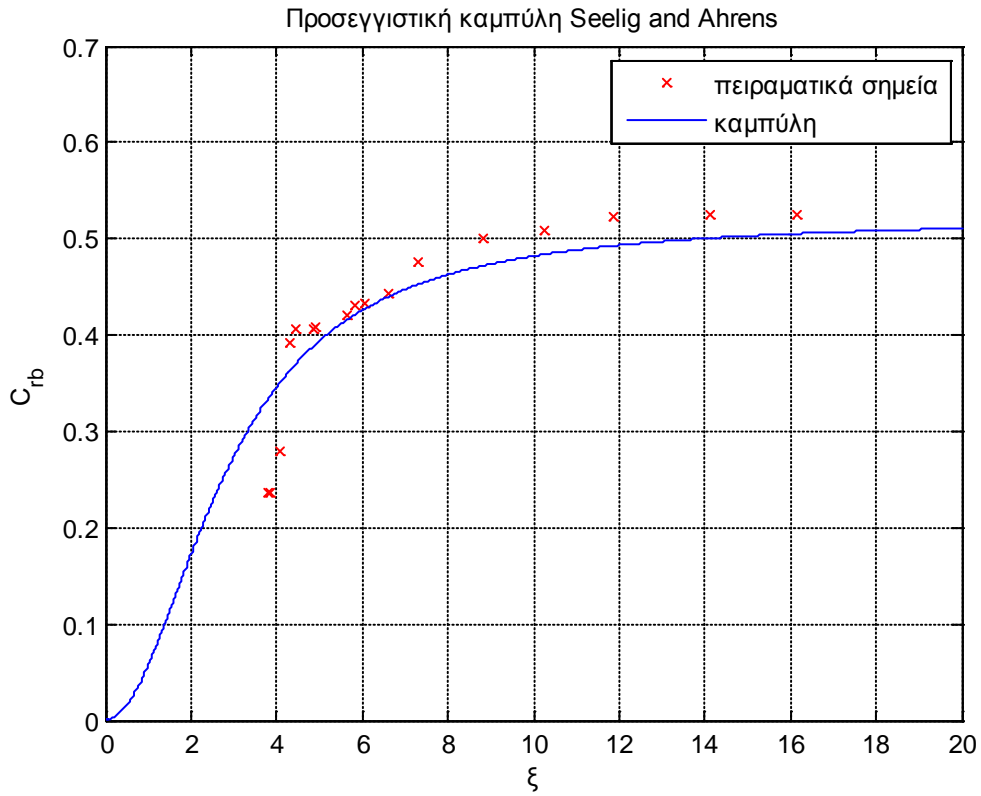
όπου a και b παράμετροι που εξαρτώνται από το τύπο και τη γεωμετρία της κατασκευής και δίνονται από πίνακες για απλές διατομές. Αυτός ο τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για κάθετη πρόσπτωση.

Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι ο εμπειρικός αυτός τύπος αφορά διατομές με πρηνή. Και σε αυτή την περίπτωση ως κλίση του πρηνούς θεωρήθηκε η κλίση του πορώδους στο εσωτερικό του θαλάμου εκτόνωσης κυματισμών.

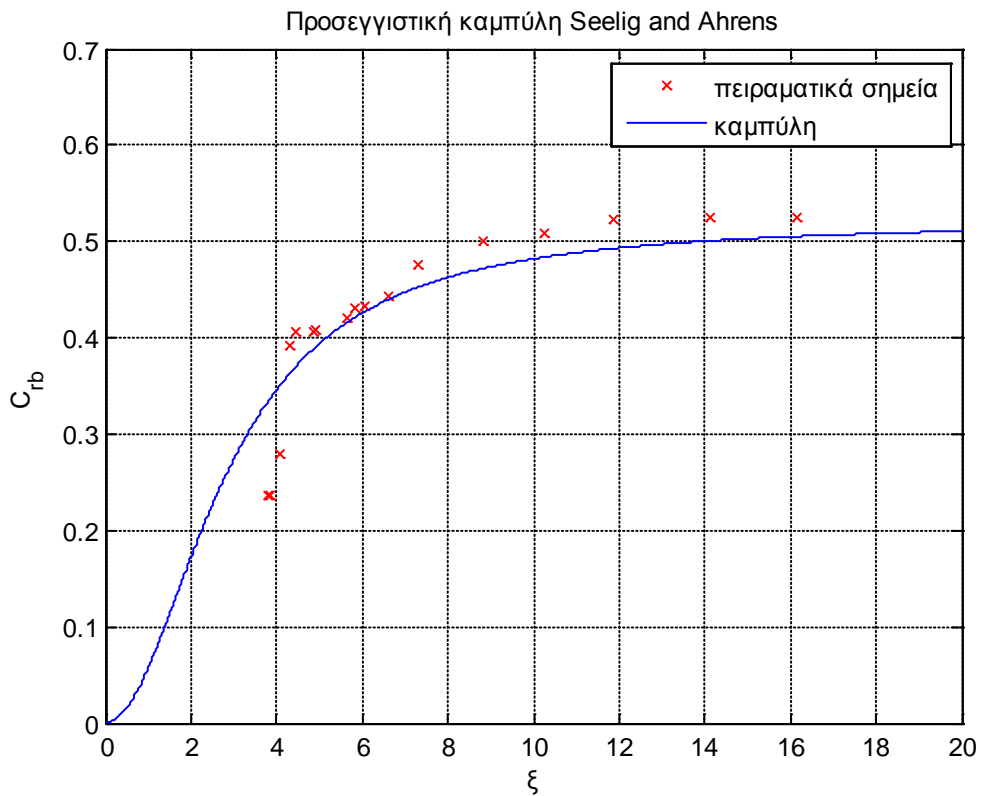
Επομένως, μέσα από βελτιστοποίηση για τους συντελεστές a , b με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (με εφαρμογή που αναπτύχθηκε σε προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB και παρατίθεται στο παράρτημα Α) έγινε προσπάθεια να ελεγχθεί κατά πόσο μπορούν να προσομοιωθούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων με τον παραπάνω εμπειρικό τύπο. Ελέγχθηκαν και οι οχτώ διατάξεις εκ των οποίων μόνο οι διατάξεις Γ και Δ, οι οποίες περιέχουν θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος πληρούται με λιθορριπή βάρους 25-55 gr ανά λίθο, με πορώδες $n=0,33$ και $dm=2.75$ cm υπό γωνία 35 μοιρών, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Για την Διάταξη Γ, με στάθμη 59 cm, ο βέλτιστος συνδυασμός πραγματοποιείται για $a=0.5210$ $b=8.0955$ και προσεγγίζει αρκετά καλά τις μετρήσεις, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.1.1.

Για την Διάταξη Δ, με στάθμη 55 cm, ο βέλτιστος συνδυασμός πραγματοποιείται για $a=0.4838$ $b=3.1342$ και προσεγγίζει σχετικά καλά τις μετρήσεις, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.1.2.



Διάγραμμα 7.1.1 : Προσεγγιστική καμπύλη Seelig και Ahrens Διάταξης Γ.



Διάγραμμα 7.1.2 : Προσεγγιστική καμπύλη Seelig και Ahrens Διάταξης Δ.

7.2 Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh

Οι Zanuttigh, B, Van Der Meer, J.W., Andersen, T.L., Lara, J.L., Losada, I.J.(2009), [7.2], διατύπωσαν τη σχέση:

$$C_{rb} = \tanh(a * \xi_0^b)$$

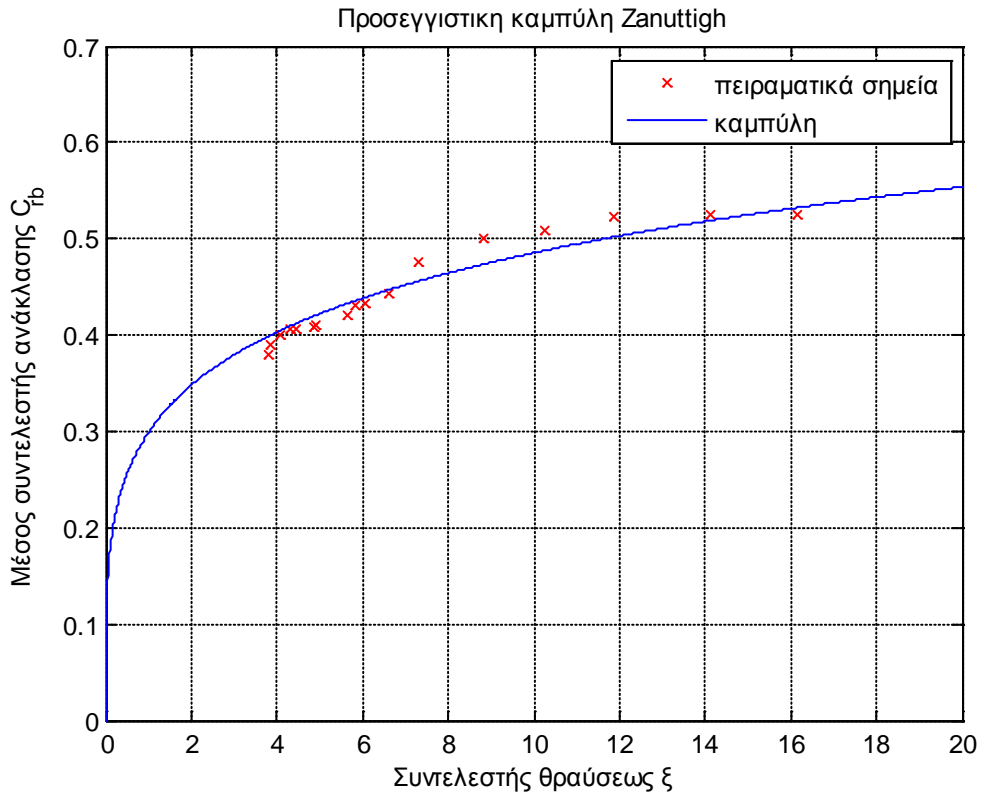
όπου a και b παράμετροι που εξαρτώνται από το τύπο και τη γεωμετρία της κατασκευής και δίνονται από πίνακες για απλές διατομές. Και αυτός ο τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για κάθετη πρόσπτωση.

Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι ο εμπειρικός αυτός τύπος αφορά διατομές με πρανή. Και σε αυτή την περίπτωση ως κλίση του πρανούς θεωρήθηκε η κλίση του πορώδους στο εσωτερικό του θαλάμου εκτόνωσης κυματισμών.

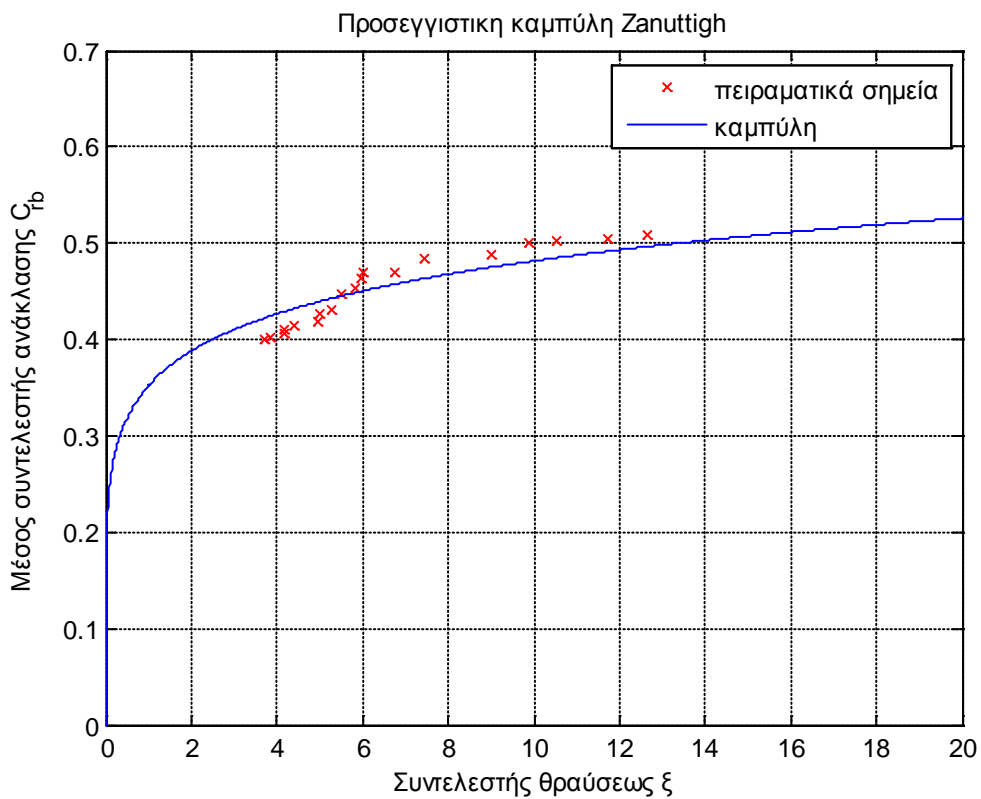
Επομένως, μέσα από βελτιστοποίηση για τους συντελεστές a , b με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (με εφαρμογή που αναπτύχθηκε σε προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB και παρατίθεται στο παράρτημα Α) έγινε προσπάθεια να ελέγξουμε κατά πόσο μπορούν να προσομοιωθούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων με τον παραπάνω εμπειρικό τύπο. Ελέγχθηκαν και οι οχτώ διατάξεις εκ των οποίων μόνο οι διατάξεις Γ και Δ , οι οποίες περιέχουν θάλαμο εκτόνωσης κυματισμών, ο οποίος πληρούται με λιθορριπή βάρους 25-55 gr ανά λίθο, με πορώδες $n=0,33$ και $dm=2.75$ cm υπό γωνία 35 μοιρών, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Για την Διάταξη Γ , με στάθμη 59 cm, ο βέλτιστος συνδυασμός πραγματοποιείται για $a=0.3081$ και $b=0.2355$ και προσεγγίζει αρκετά καλά τις μετρήσεις, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.2.1.

Για την Διάταξη Δ , με στάθμη 55 cm, ο βέλτιστος συνδυασμός πραγματοποιείται για $a=0.3673$ και $b=0.1552$ και προσεγγίζει σχετικά καλά τις μετρήσεις, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.2.2.



Διάγραμμα 7.1.1 : Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh Διάταξης Γ.



Διάγραμμα 7.1.2 : Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh Διάταξης Δ.

Βιβλιογραφικές Αναφορές 7ου Κεφαλαίου

- [7.1] Seelig W.N., Ahrens J.P., (1981), Estimation of wave reflection and energy dissipation coefficients for beaches, revetments, and breakwaters, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Technical Paper Volume 81-1, 1981, 40p.
- [7.2] Zanuttigh, B, Van Der Meer, J.W., Andersen, T.L., Lara, J.L., Losada, I.J.(2009), Analysis of wave reflection from structures with berms through an extensive database and 2DV numerical modeling, Proceedings of the 31st International Conference on Coastal Engineering, Pages 3285-3297.

8. Γενικά Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την επεξεργασία των μετρήσεων και έχουν αναπτυχθεί ενδελεχώς στα κεφάλαια που προηγήθηκαν.

Αρχικά αποδείχθηκε η αποτελεσματικότητα του απορροφητικού κρηπιδότοιχου στην μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης κυμάνθηκε από 47% έως 73%, σε σχέση με τον μέσο συντελεστή ανάκλασης ενός κρηπιδότοιχου με κάθετο αδιαπέρατο μέτωπο.

Ως προς τον σχεδιασμό του θαλάμου εκτόνωσης κυματισμών, του απορροφητικού κρηπιδότοιχου, προέκυψε πως οι πιο απότομες κλίσεις πορώδους μέσου είναι πιο αποτελεσματικές στην μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης σε σχέση με ηπιότερες κλίσεις. Επιπλέον, η χρήση μικρότερων ογκόλιθων οδηγεί σε μικρότερους μέσους συντελεστές ανάκλασης. Όμως για ποσοστά πλήρωσης του θαλάμου εκτόνωσης κυματισμών άνω του 85%, ο μέσος συντελεστής ανάκλασης δεν επηρεάζεται από το μέγεθος των ογκολίθων.

Για την θέση του θαλάμου κυματισμών σε σχέση με την στάθμη ηρεμίας, αποδείχθηκε πως πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να εξασφαλίζονται κατά το δυνατόν μεγάλα ποσοστά πλήρωσης του θαλάμου. Ειδικότερα, για την ίδια διάταξη και ποσοστό πλήρωσης θαλάμου 80% υπολογίστηκε μέσος συντελεστής ανάκλασης 0,54 ενώ για ποσοστό πλήρωσης 90%, ο μέσος συντελεστής ανάκλασης ήταν 0,28.

Σημαντικά ήταν και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν για την συσχέτιση του μέσου συντελεστή ανάκλασης με αδιάστατες παραμέτρους που προτείνονται από την διεθνή βιβλιογραφία. Αρχικά, το σχετικό βάθος (h/L) σχετίζεται με τον συντελεστή ανάκλασης αλλά αυτή η σχέση είναι πλήρως εξαρτημένη από το υλικό πλήρωσης του θαλάμου κυματισμών και την κλίση με την οποία έχει τοποθετηθεί στον θάλαμο. Το ποσοστό πλήρωσης του θαλάμου εκτόνωσης κυματισμών, δεν επηρεάζει την σχέση μέσου συντελεστή ανάκλασης και σχετικού βάθους, αφού οι διατάξεις Z, H, Θ έχουν ακριβώς την ίδια συμπεριφορά παρά την διαφορετική στάθμη.

Ως προς την κυρτότητα γ , δεν διαφαίνεται να συσχετίζεται με τον μέσο συντελεστή ανάκλασης, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την βιβλιογραφία.

Επιπλέον, δεν υπάρχει κάποια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του λόγου του προσπίπτοντος προς τον παραγόμενο κυματισμό και του μέσου συντελεστή ανάκλασης.

Ως προς τον συντελεστή ξ , η αύξηση του συντελεστή ξ οδηγεί σε αύξηση και του μέσου συντελεστή ανάκλασης για τις διατάξεις Γ και Δ ενώ δεν διαφαίνεται καλή συσχέτιση του ξ , με τον μέσο συντελεστή ανάκλασης στις υπόλοιπες διατάξεις.

Ακόμη, η αύξηση του συντελεστή χ , που οφείλεται σε μικρότερη περίοδο, οδηγεί σε μικρή αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης για τις διατάξεις Γ και Δ . Για τις διατάξεις E , Z , H , Θ η αύξηση του συντελεστή χ για τιμές μέχρι 0,4 συσχετίζεται με απότομη μείωση του συντελεστή ανάκλασης ενώ, η περαιτέρω αύξηση του συντελεστή χ προκαλεί μια μικρή αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης και αρκετά μεγάλη διασπορά στις τιμές που λαμβάνει.

Για τον λόγο του ελεύθερου περιθωρίου προς το χαρακτηριστικό ύψος κύματος κοντά στην διάταξη, διαφαίνεται συσχέτιση με τον μέσο συντελεστή ανάκλασης, η οποία όμως χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Επιπλέον, για τις διατάξεις B, Γ, Δ η αύξηση του λόγου $(Rc*d)/(Hm^4*L)$ οδηγεί σε αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης ενώ για τις διατάξεις A , E , Z , H , Θ , για ίδια περίοδο, για αύξηση του λόγου $(Rc*d)/(Hm^4*L)$, ο μέσος συντελεστής ανάκλασης παραμένει αμετάβλητος.

Ακόμη, ως προς το ύψος προσπίπτοντος κύματος, για τις διατάξεις Z , H , Θ με εξαίρεση τα κύματα με πολύ μικρά ύψη κύματος, στα οποία η μικρή αύξηση του ύψους κύματος οδηγεί σε μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης, για ίδια περίοδο η αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους προσπίπτοντος κύματος δεν οδηγεί σε διαφοροποίηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Επιπλέον τα κύματα με μεγαλύτερη περίοδο έχουν μεγαλύτερες τιμές μέσου συντελεστή ανάκλασης. Τα ίδια συμπεράσματα ισχύουν και για τις διατάξεις A , Γ , Δ , E . Για την διάταξη B όμως δεν ισχύουν τα ίδια συμπεράσματα. Στην διάταξη B η αύξηση του ύψους κύματος προκαλεί την ραγδαία μείωση του συντελεστή ανάκλασης, αφού όταν το κύμα ξεπεράσει μια τιμή ύψους δεν προσπίπτει μόνο στο πίσω κάθετο αδιαπέρατο μέτωπο αλλά και στο οριζόντιο τμήμα του θαλάμου εκτόνωσης κυματισμών.

Τέλος, τα αποτελέσματα του μέσου συντελεστή ανάκλασης των διατάξεων Γ και Δ συγκλίνουν με αυτά που προκύπτουν από τους εμπειρικούς τύπους Seelig & Ahrens και Zannutigh, για τιμές των συντελεστών a και b , όπως αυτές υπολογίστηκαν.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

**ΠΗΓΑΙΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ
ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΑΤΛΑΒ**

Υπολογισμός α, b με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για τη καμπύλη Seelig Ahrens και σχεδίαση διαγράμματος για τις διατάξεις Γ και Δ.

```
function start(xdata,ydata)

temp1 = [xdata; ydata];
temp2 = sort(temp1,2);

xseira = temp2(1,:);
yseira = temp2(2,:);

x0 = [0.5; 0.5] % Αρχική τιμή για 'a' και 'b'
[ab,resnorm] = lsqcurvefit(@myfun,x0,xdata,ydata)

xaxis = 0:0.01:20; %5 και 12 είναι η αρχή και τέλος για τη γραφική
parastasi
f = ab(1)*xaxis.^2./(ab(2)+xaxis.^2);
plot(xseira,yseira,'rx',xaxis,f)
xlabel('ξ')
ylabel('C_r_b')
title('Προσεγγιστική καμπύλη Seelig and Ahrens')
legend('πειραματικά σημεία','καμπύλη')
grid on

fprintf('Το a είναι %1.4f\n',ab(1))
fprintf('Το b είναι %2.4f\n',ab(2))
end

function F = myfun(x,xdata)
F = (x(1)*xdata.*xdata)./(x(2)+xdata.*xdata);
End
```

Υπολογισμός α , b με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για τη καμπύλη Zannutghi και σχεδίαση διαγράμματος για τις διατάξεις Γ και Δ .

```
function start(xdata,ydata)

temp1 = [xdata ; ydata];
temp2 = sort(temp1,2);

xseira = temp2(1,:);
yseira = temp2(2,:);

x0 = [0.5; 0.5] % Αρχικι timi gia 'a' kai 'b'
[ab,resnorm] = lsqcurvefit(@myfun,x0,xdata,ydata)

xaxis = 0:0.01:20; %5 kai 12 einai h arxh kai telos gia th grafiki
parastasi
f= tanh(ab(1)*(xaxis.^ab(2)));
plot(xseira,yseira,'rx',xaxis,f)
xlabel('Συντελεστής θραύσεως  $\xi$ ')
ylabel('Μέσος συντελεστής ανάκλασης  $C_{r_b}$ ')
title('Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh')
legend('πειραματικά σημεία','καμπύλη')
grid on

fprintf('To a einai %1.4f\n',ab(1))
fprintf('To b einai %2.4f\n',ab(2))
end

function F = myfun(x,xdata)
F = tanh(x(1)*(xdata.^x(2)));
end
```

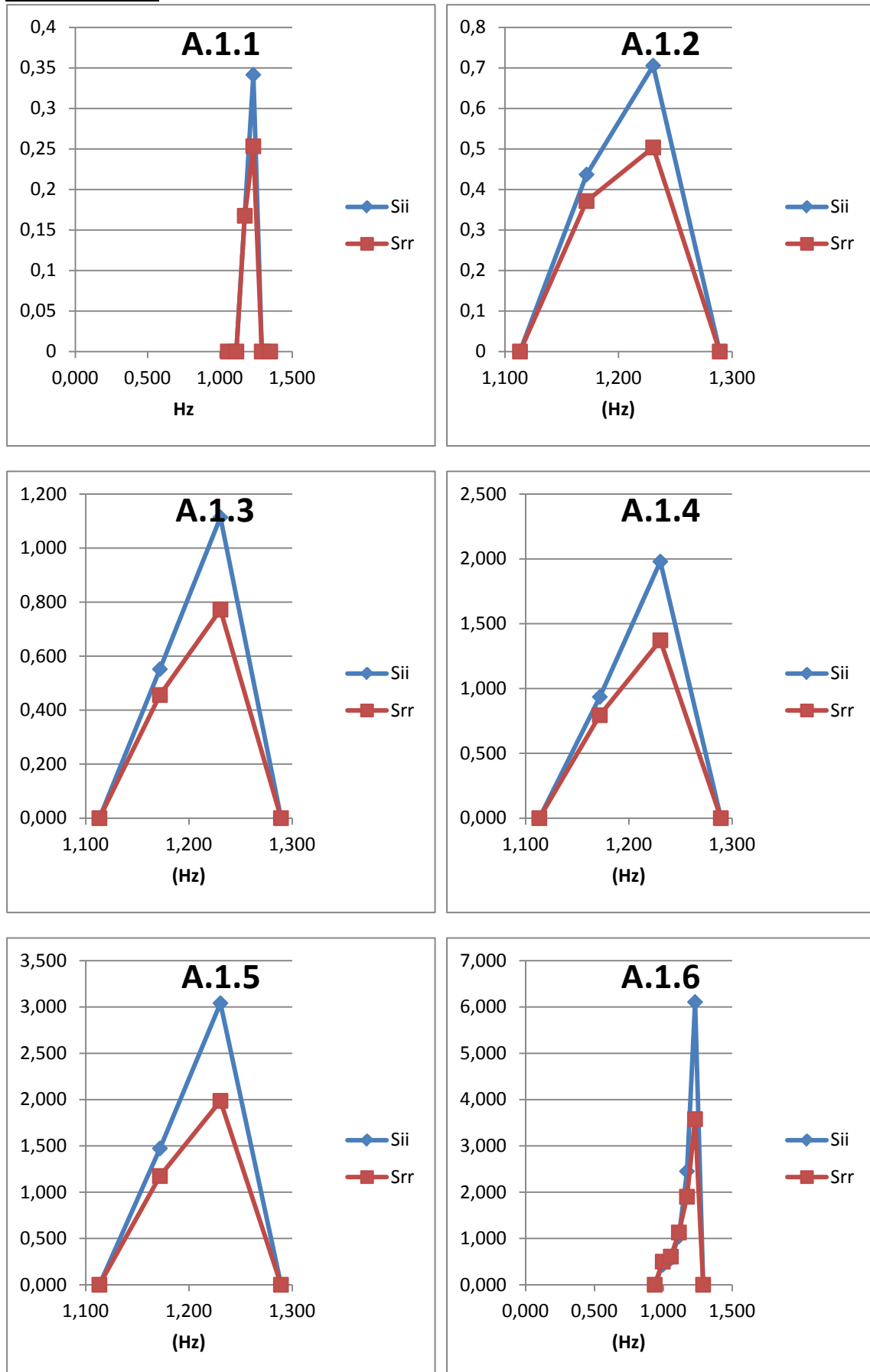
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

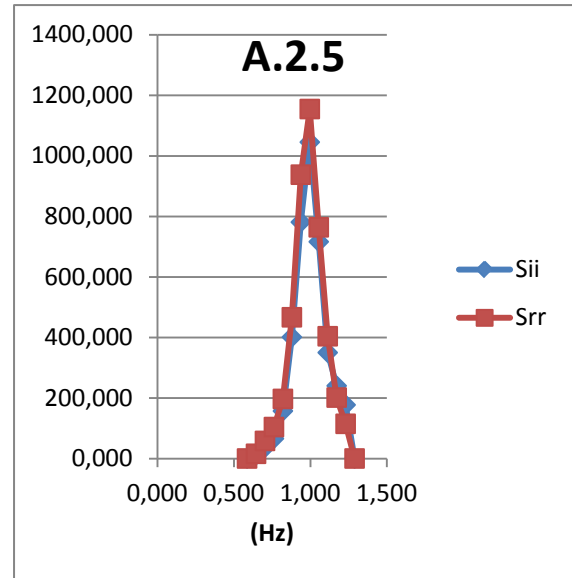
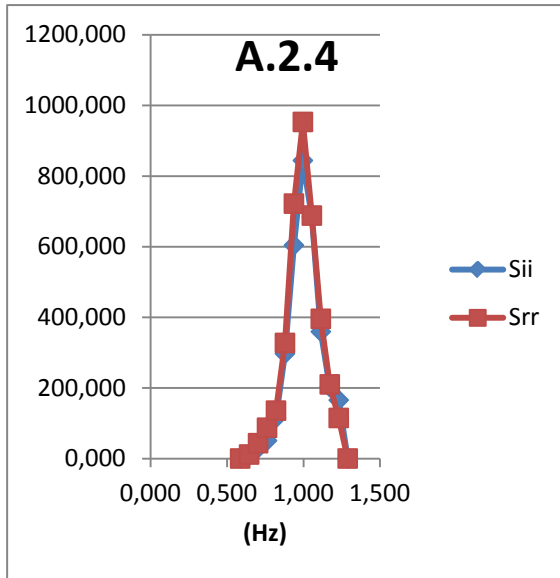
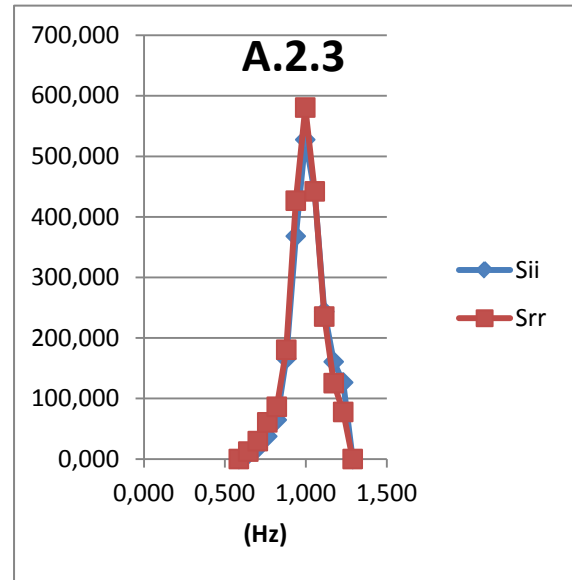
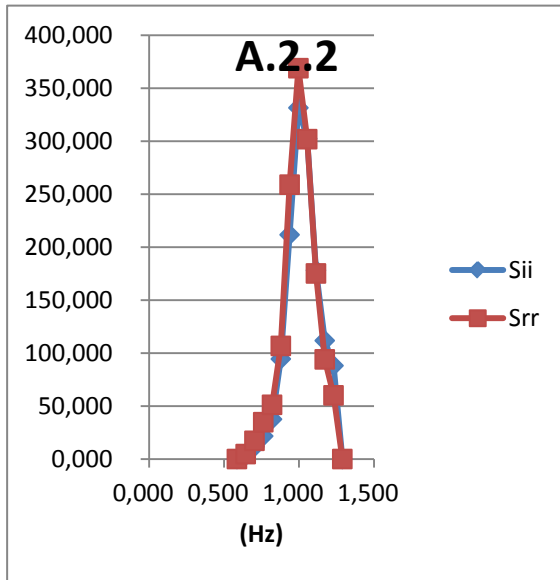
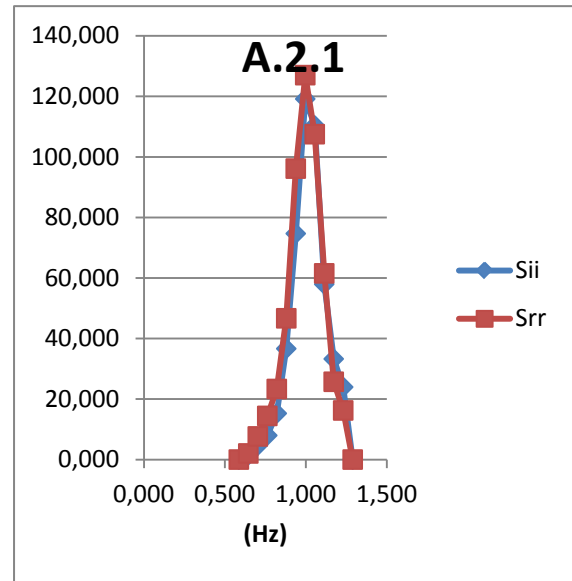
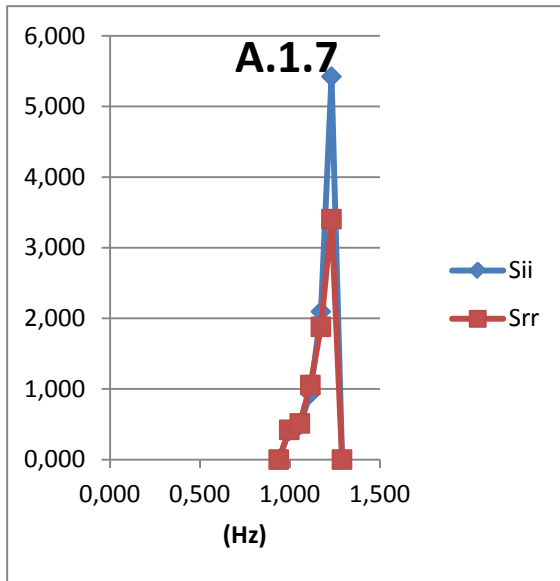
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΠΙΠΤΩΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΟΥ
ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ
ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΙΡΑΜΑ.

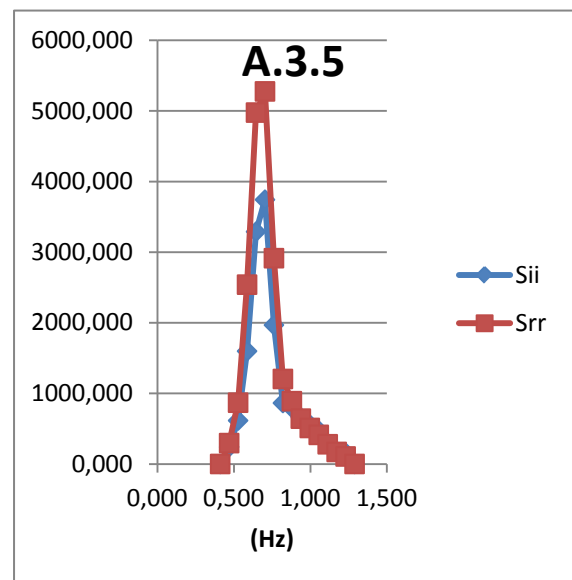
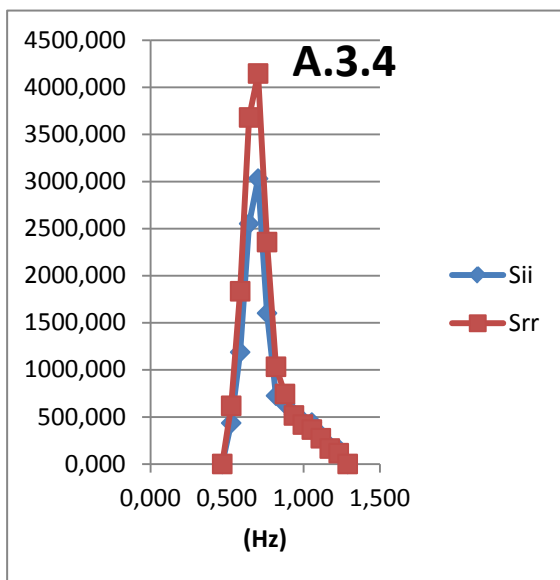
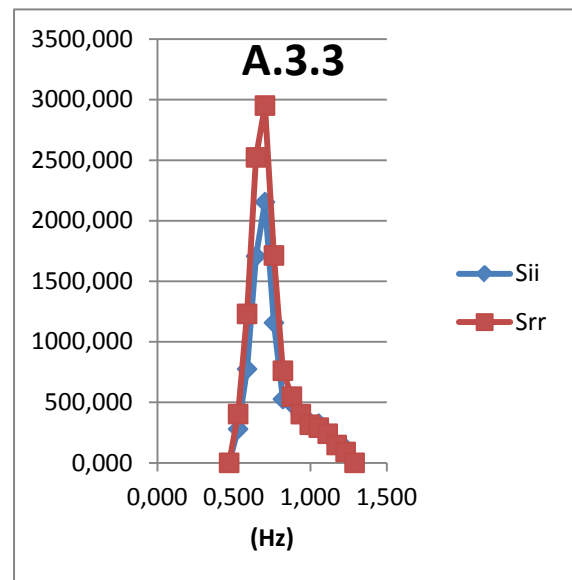
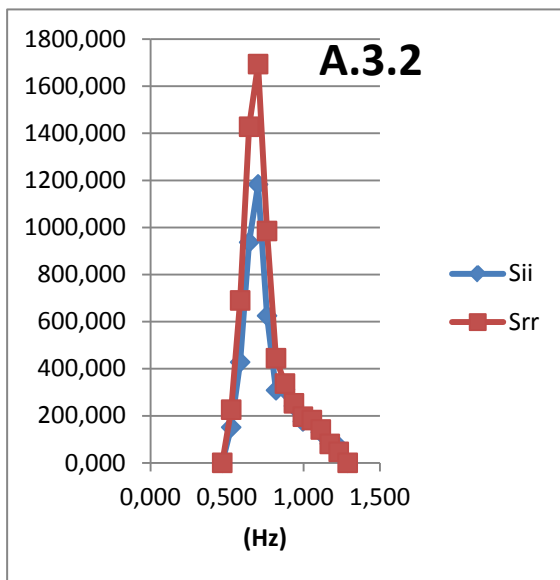
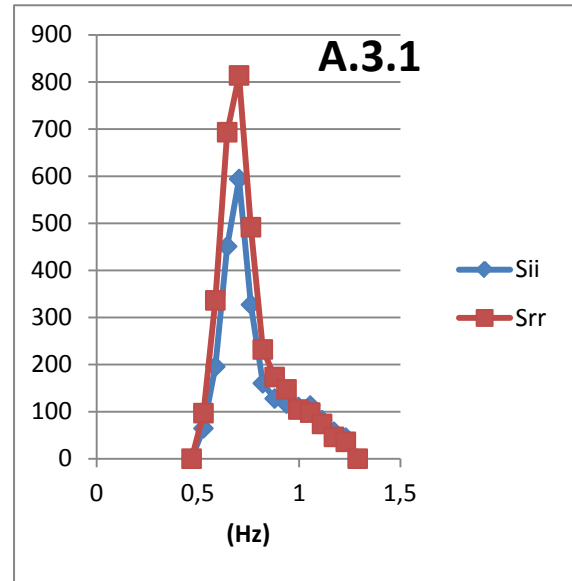
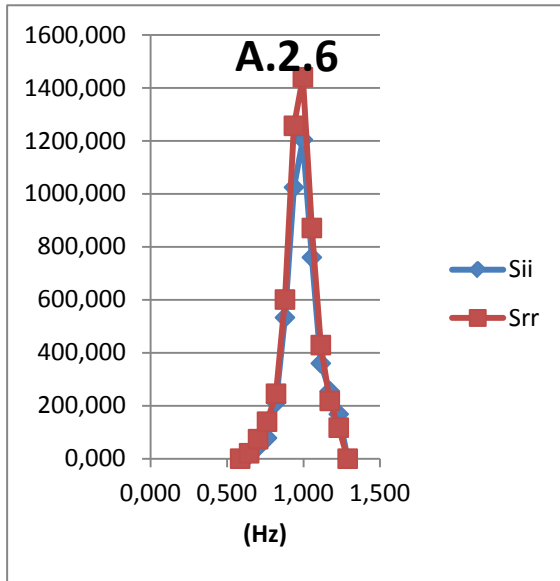
Sii: Προσπίπτων ενεργειακό φάσμα

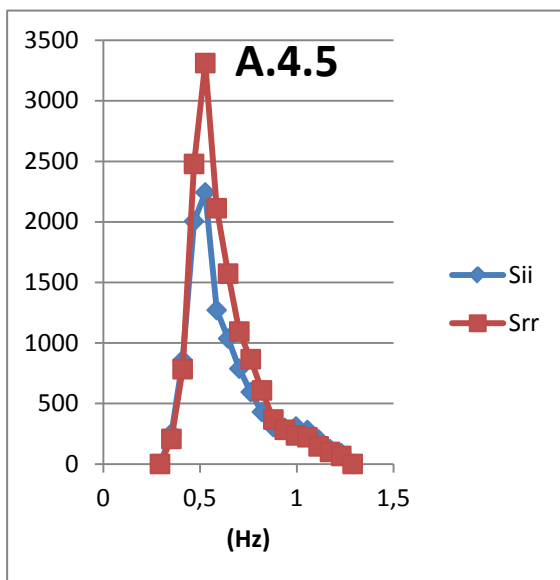
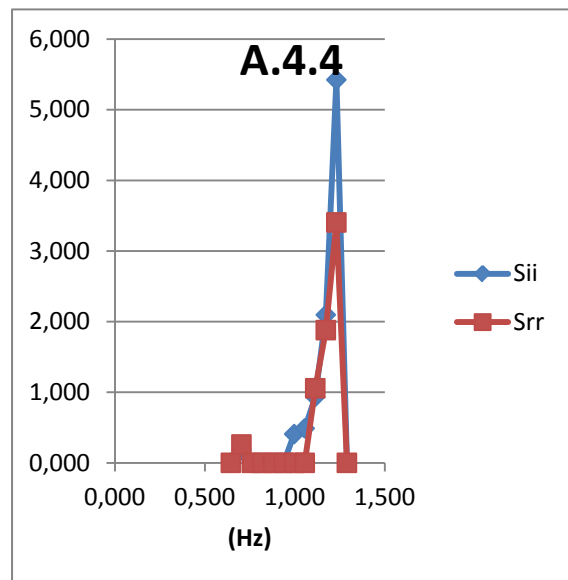
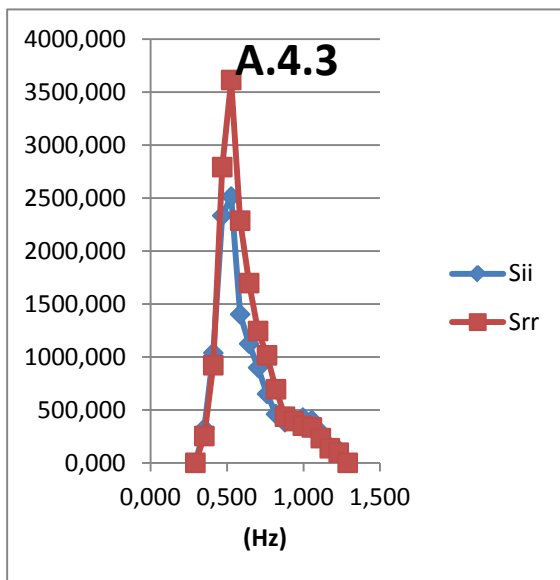
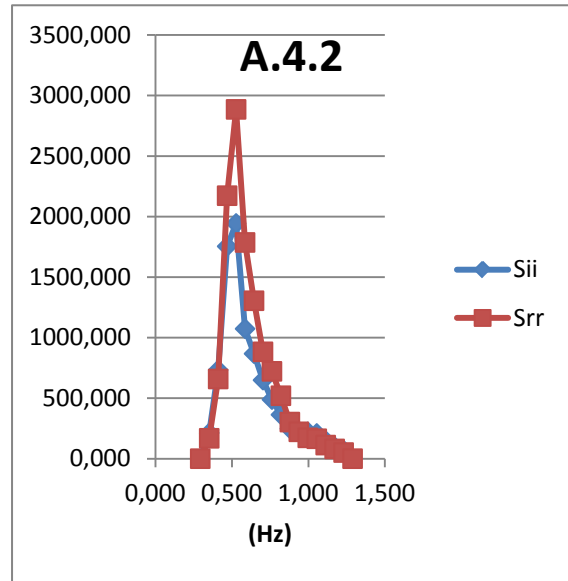
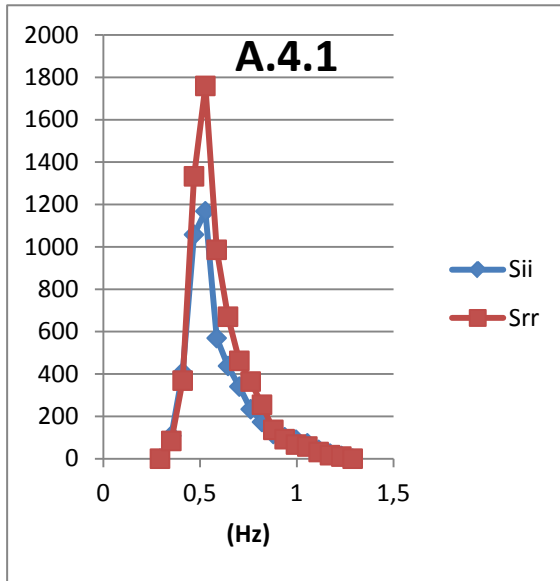
Srr: Ανακλώμενο ενεργειακό φάσμα

ΔΙΑΤΑΞΗ Α

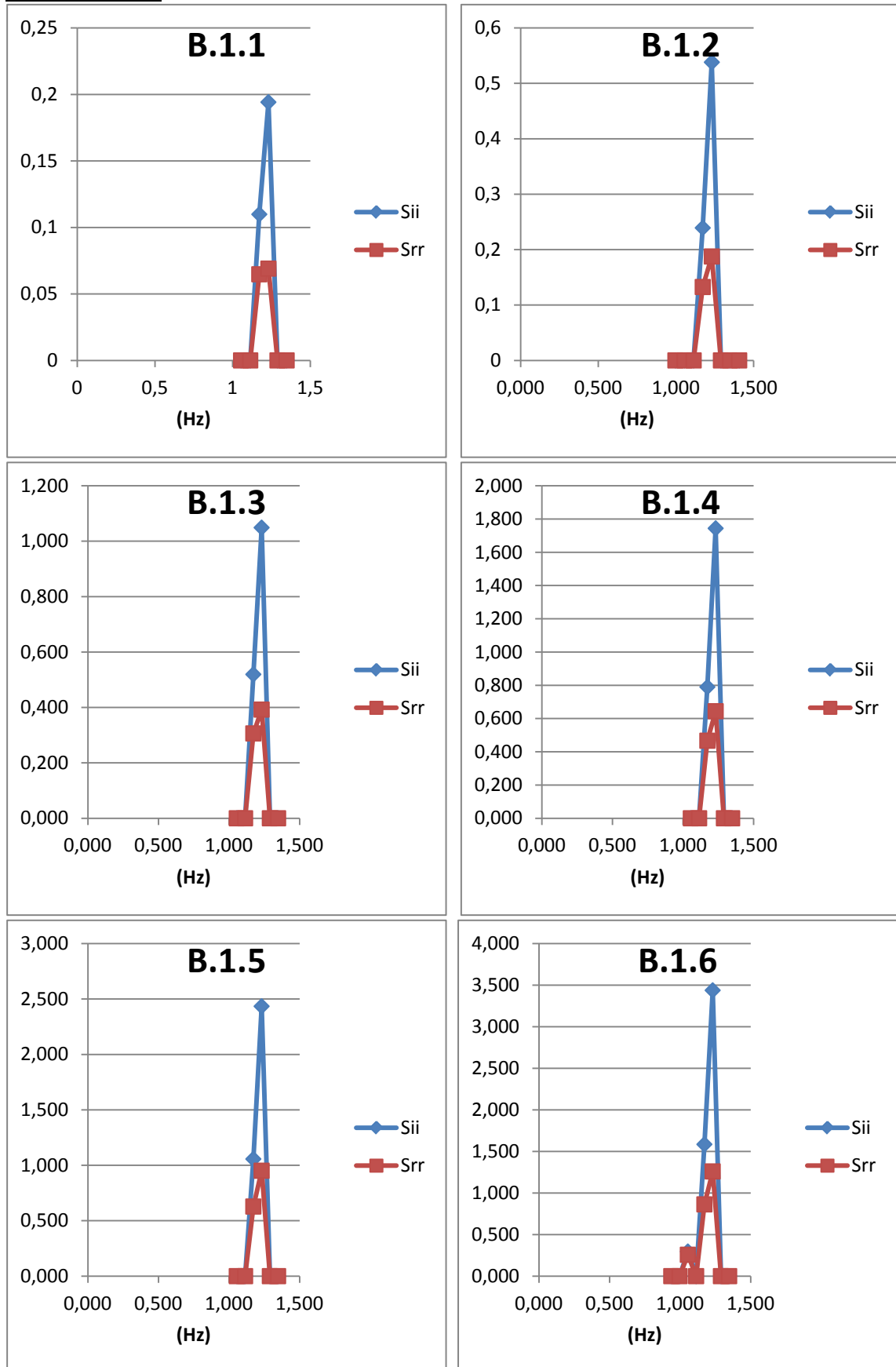


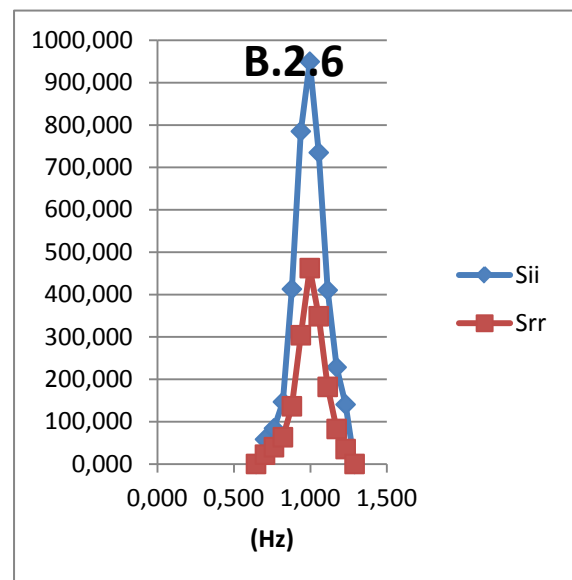
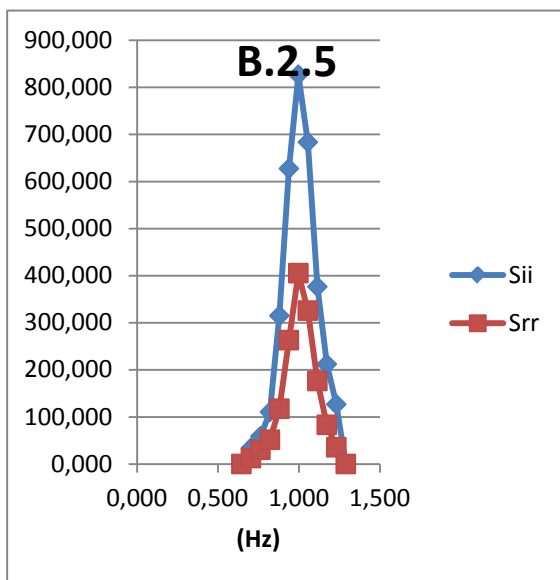
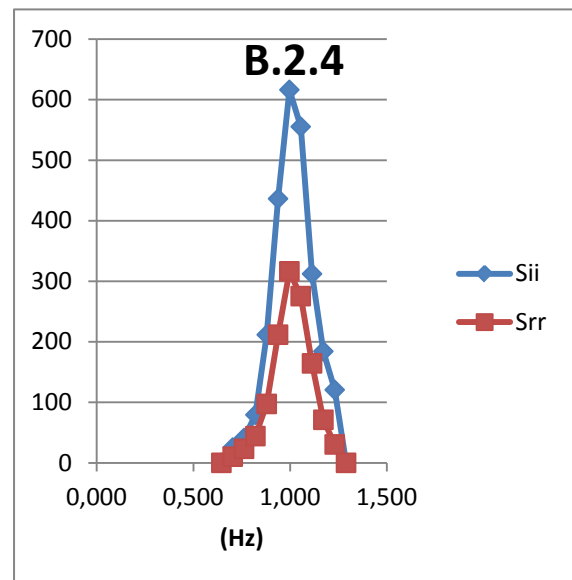
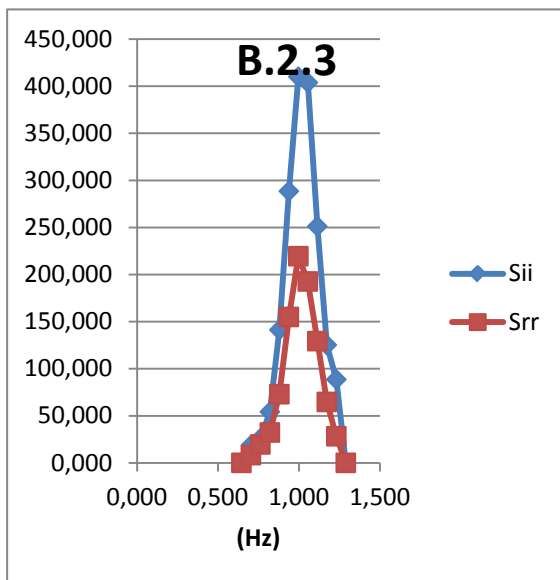
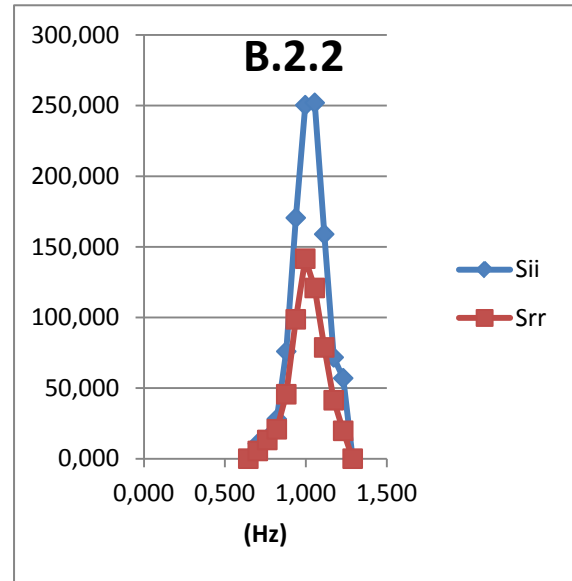
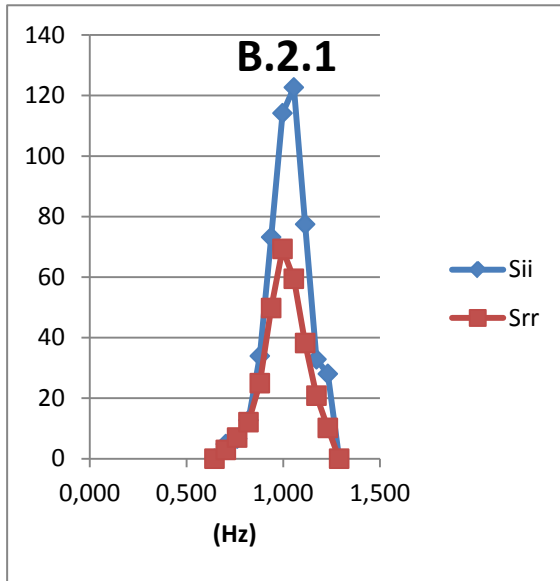


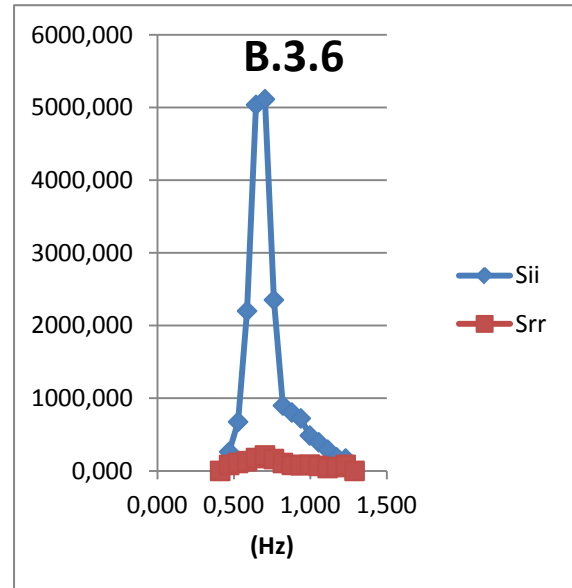
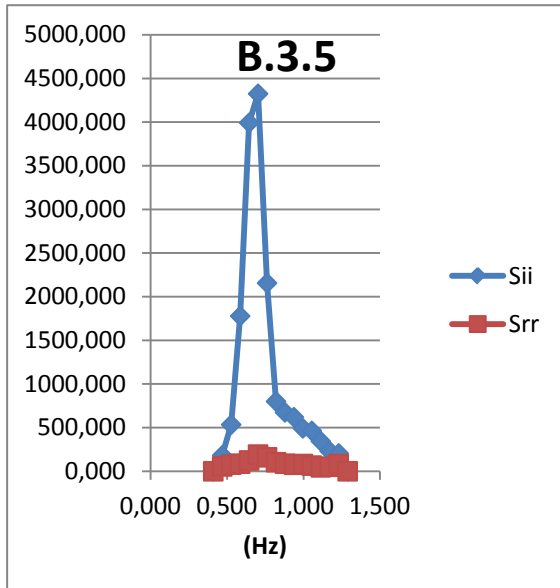
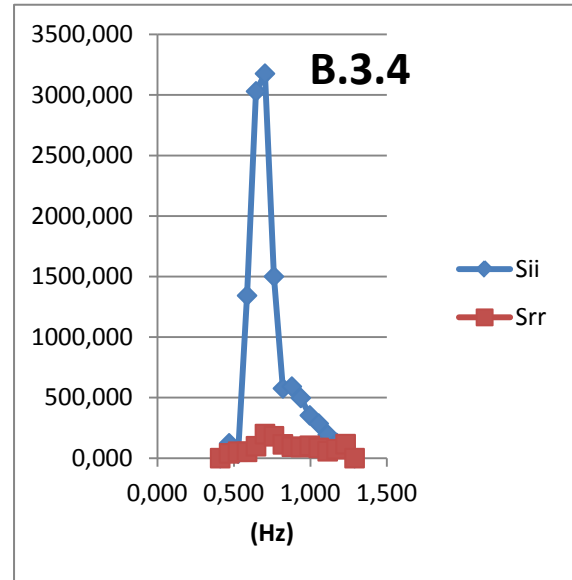
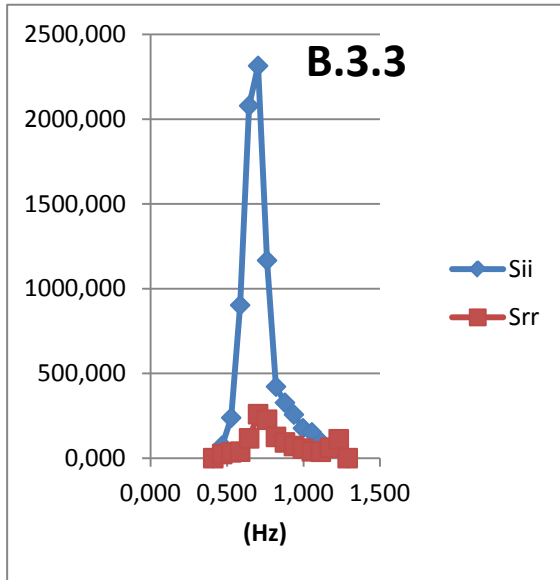
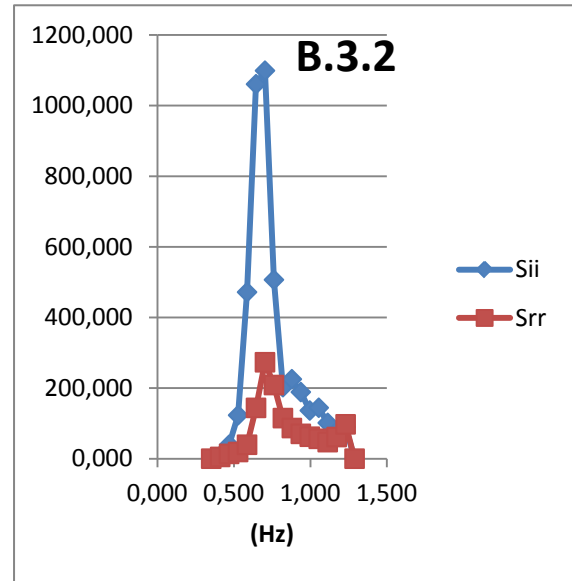
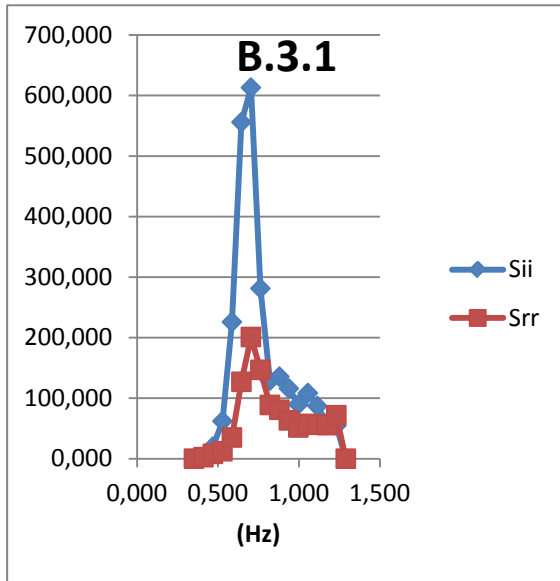


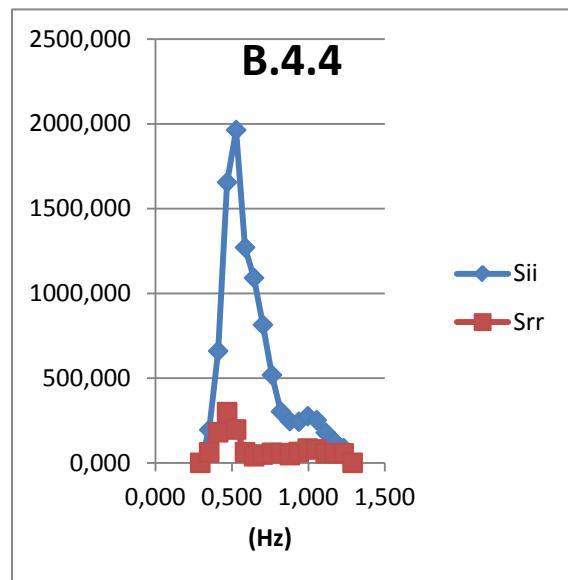
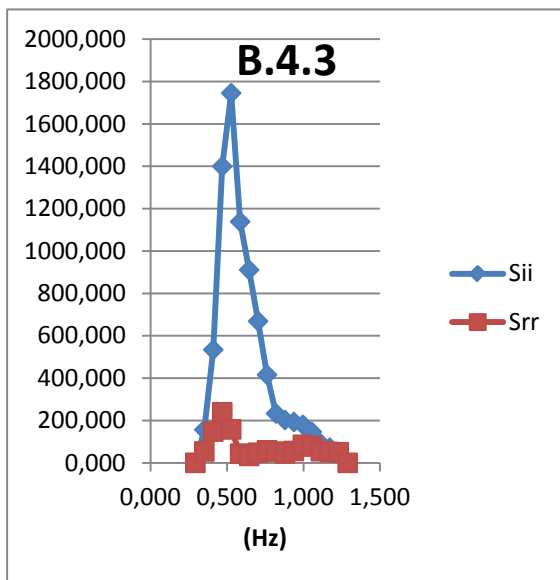
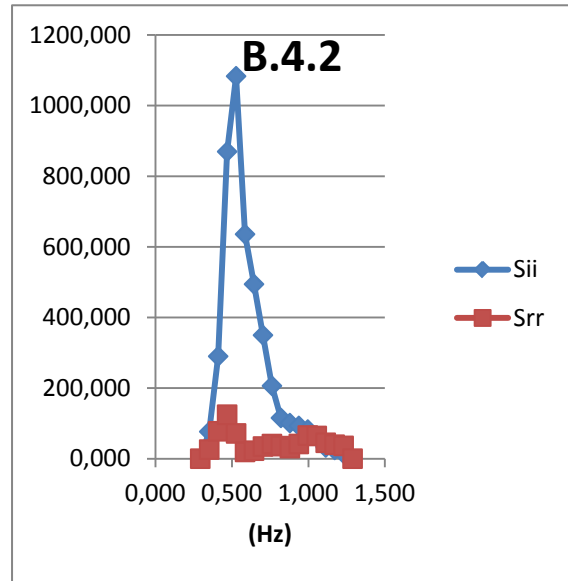
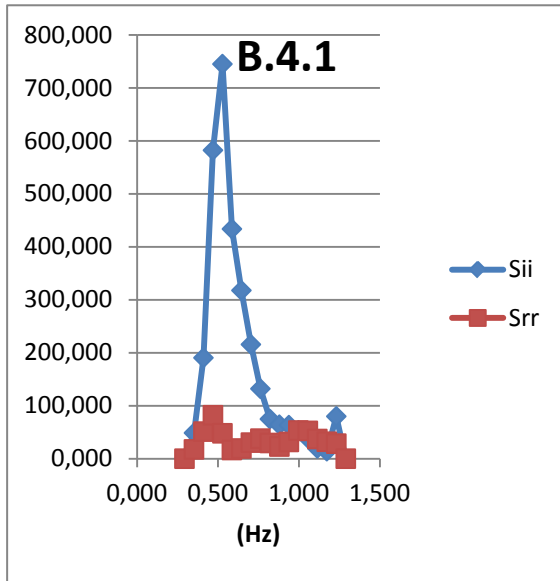


ΔΙΑΤΑΞΗ Β

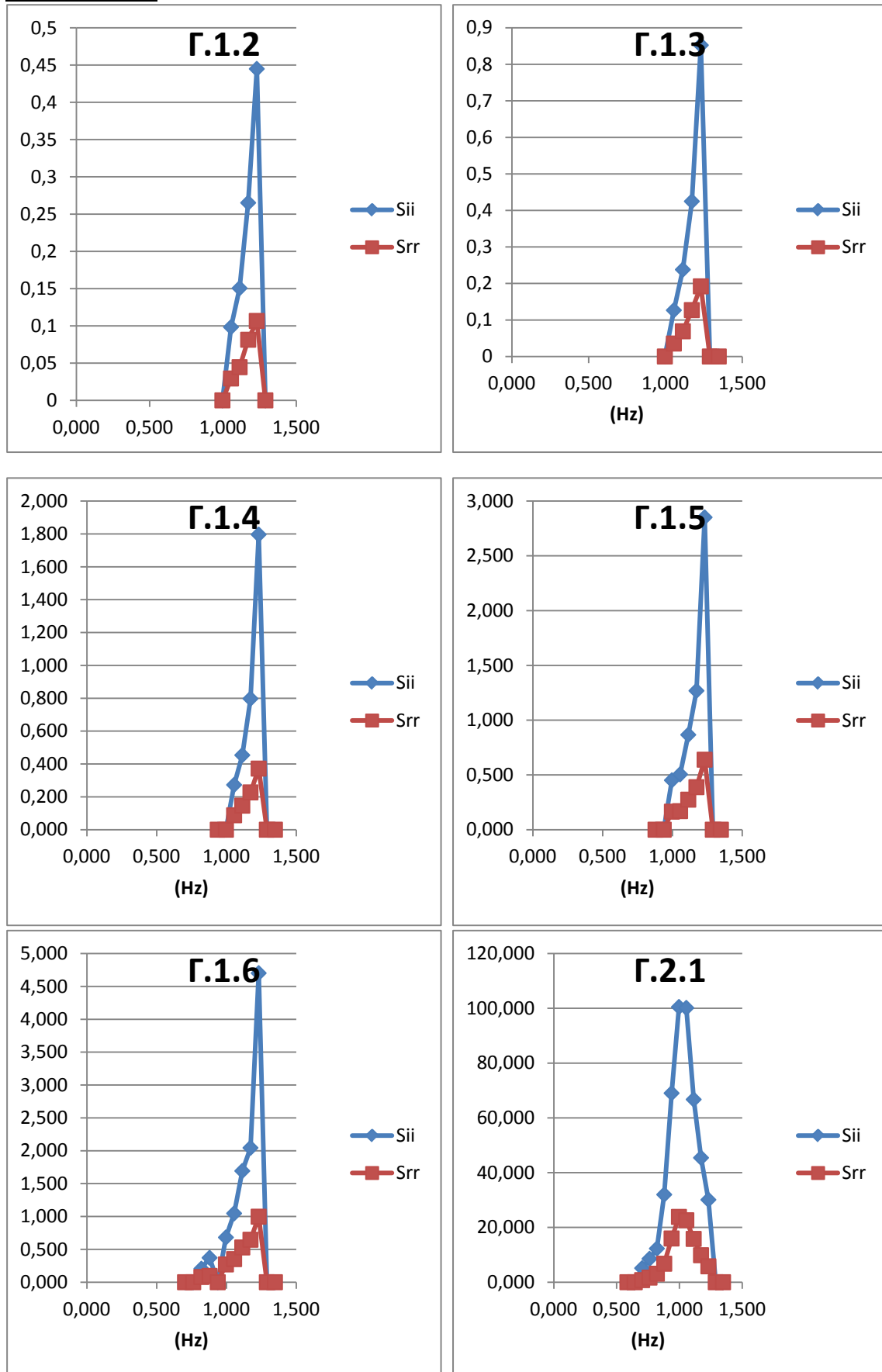


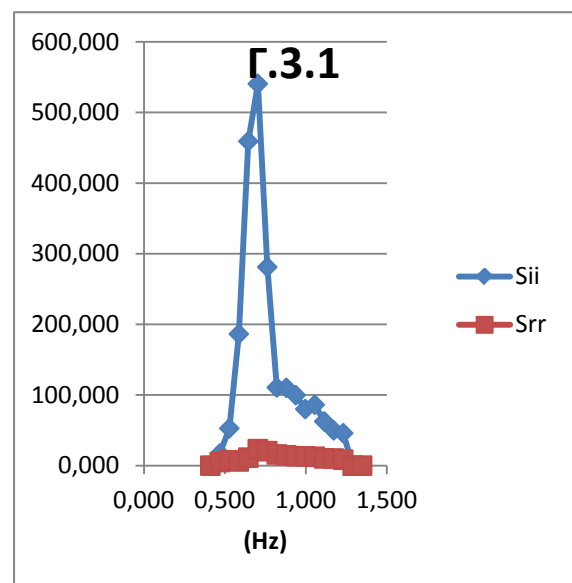
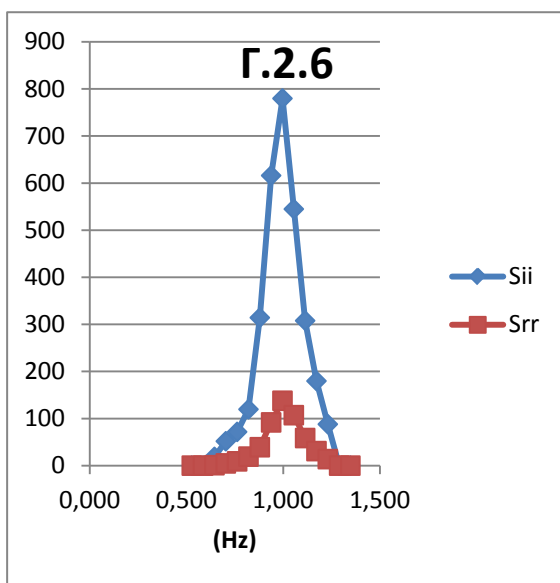
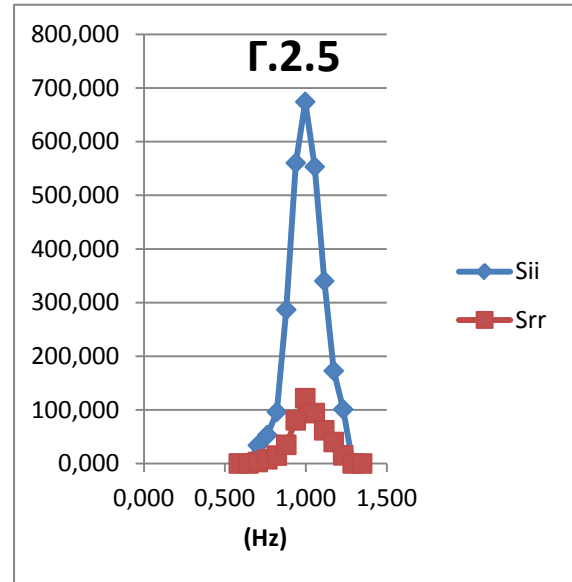
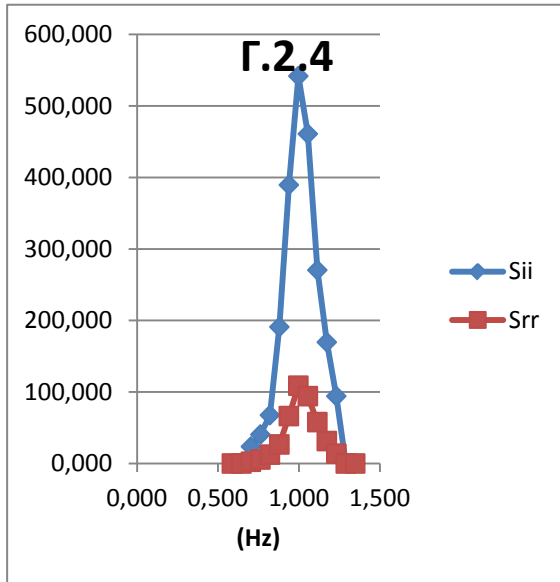
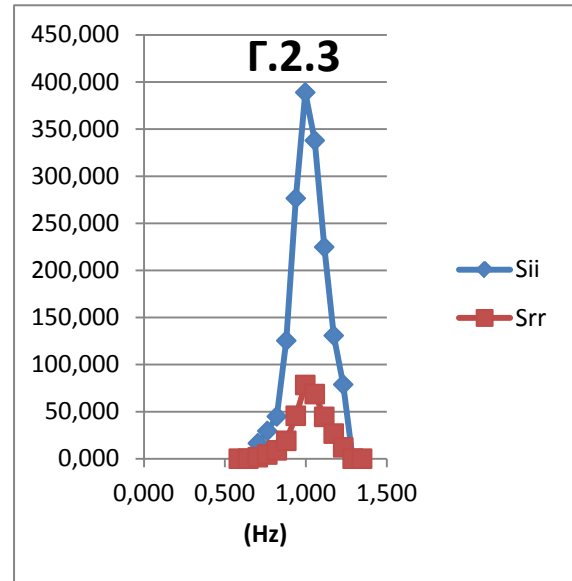
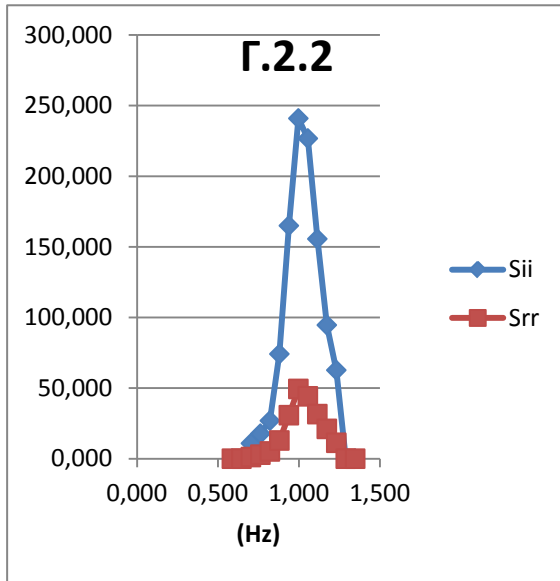


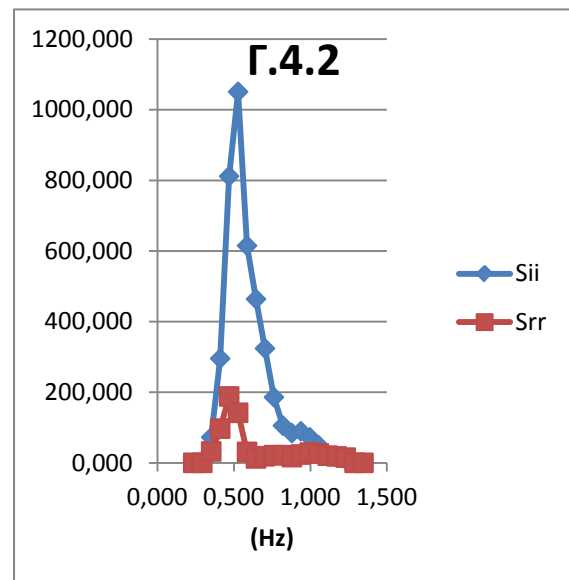
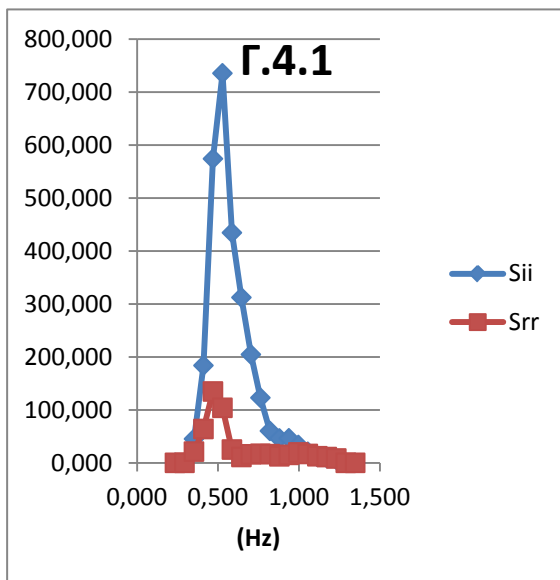
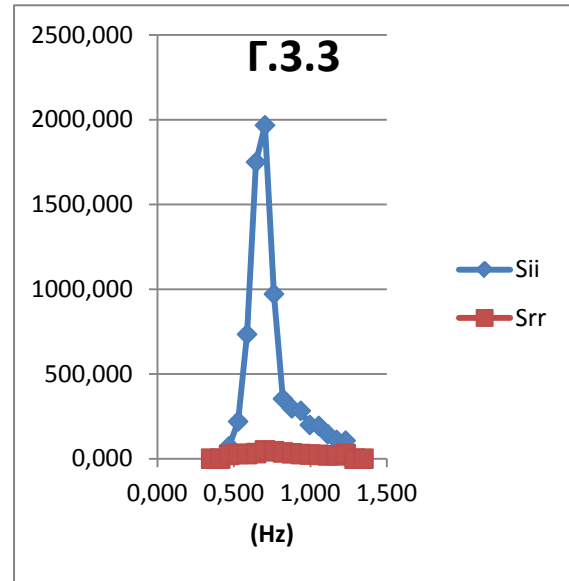
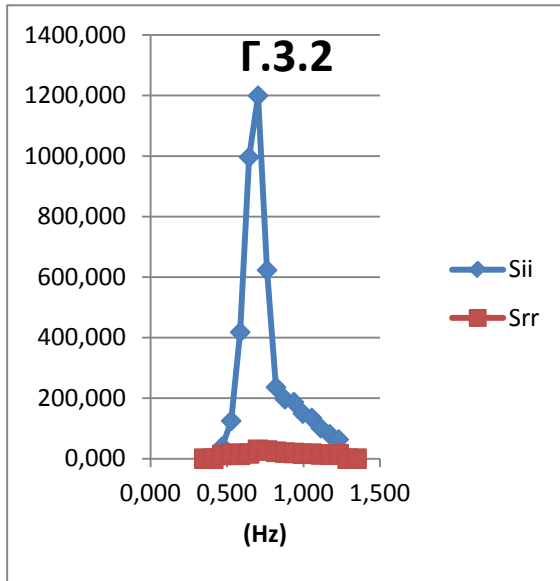




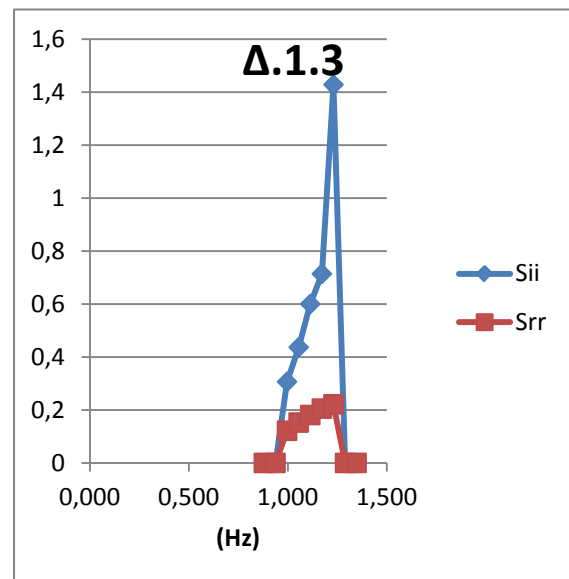
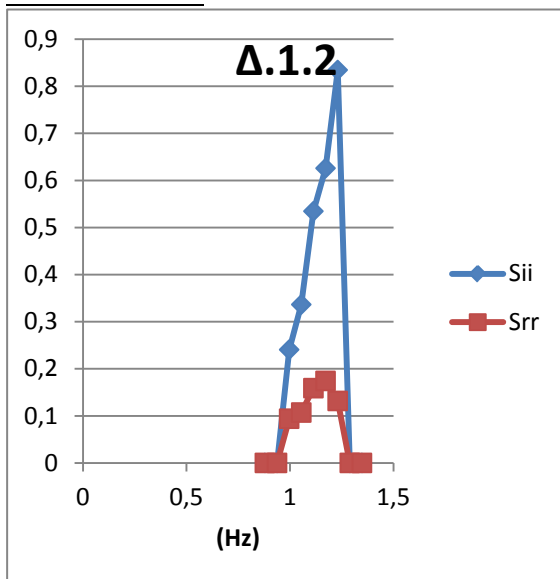
ΔΙΑΤΑΞΗ Γ

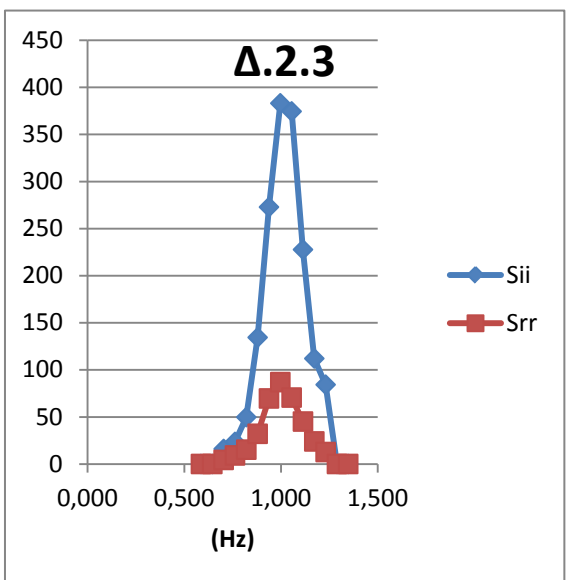
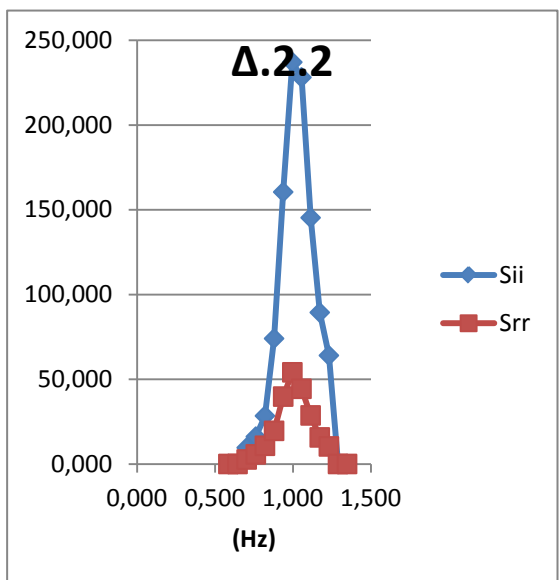
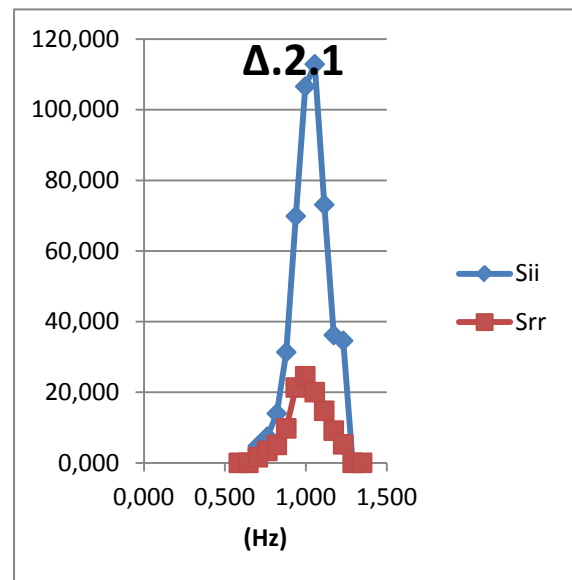
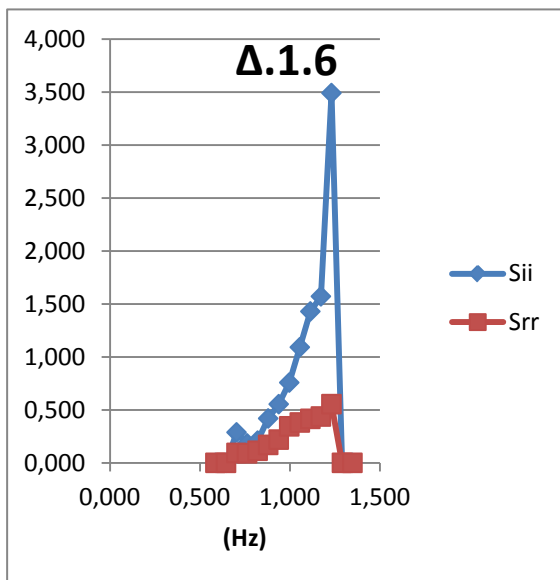
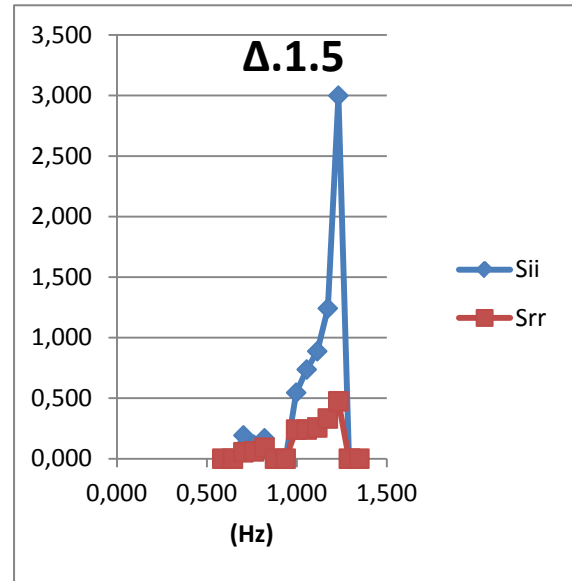
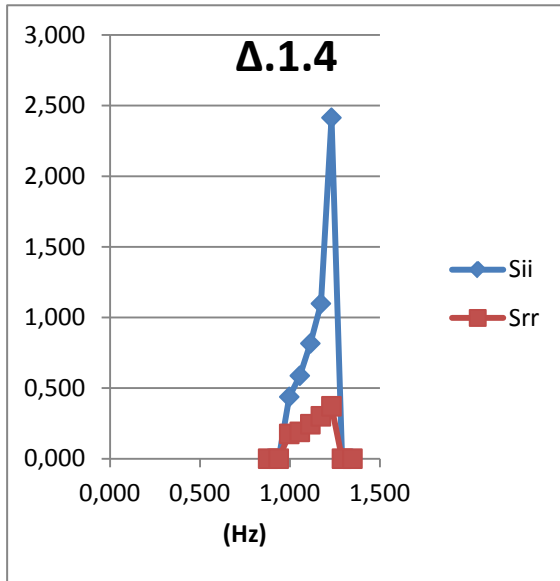


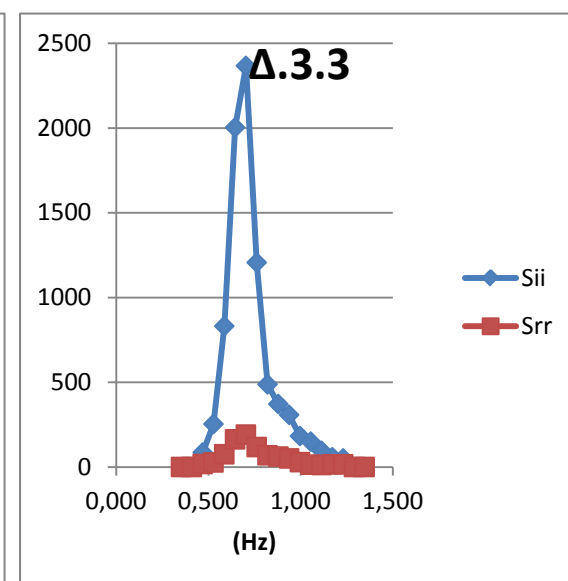
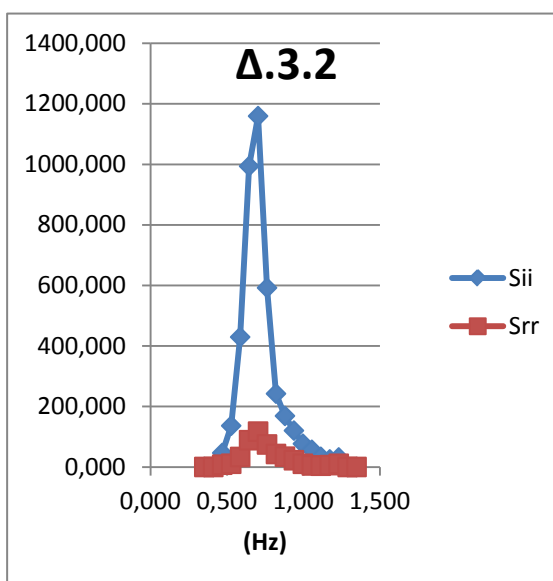
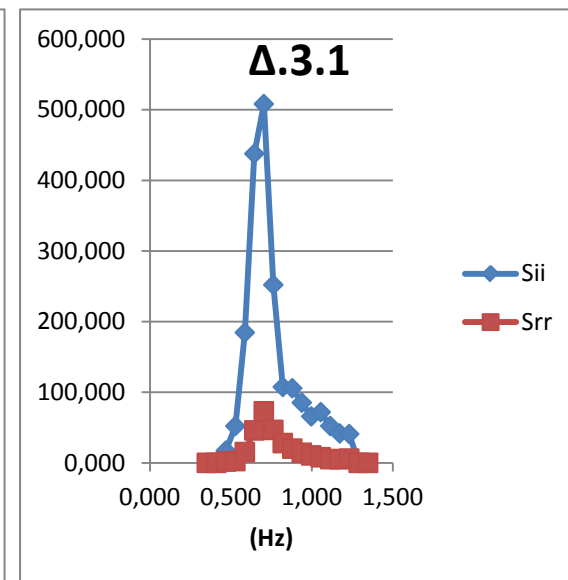
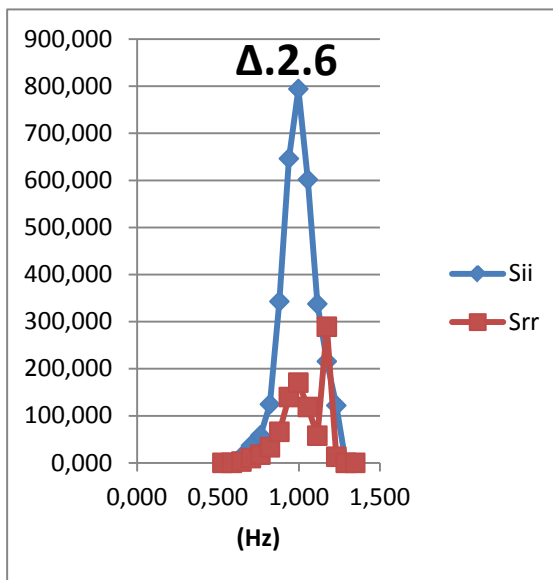
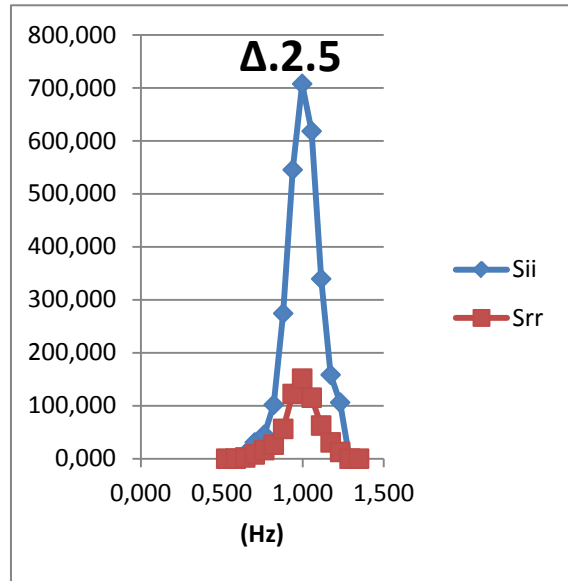
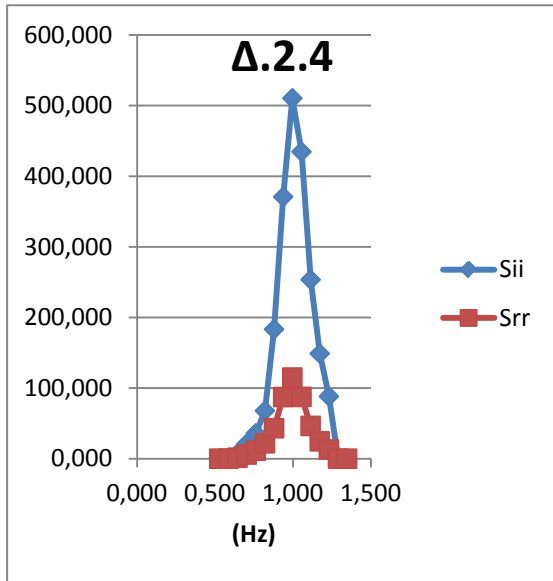


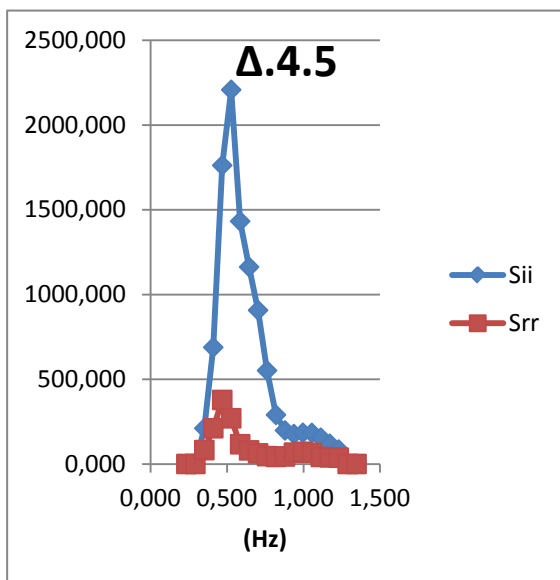
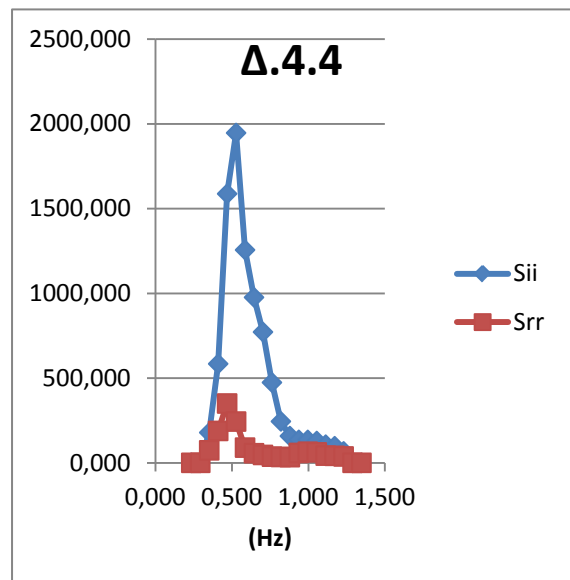
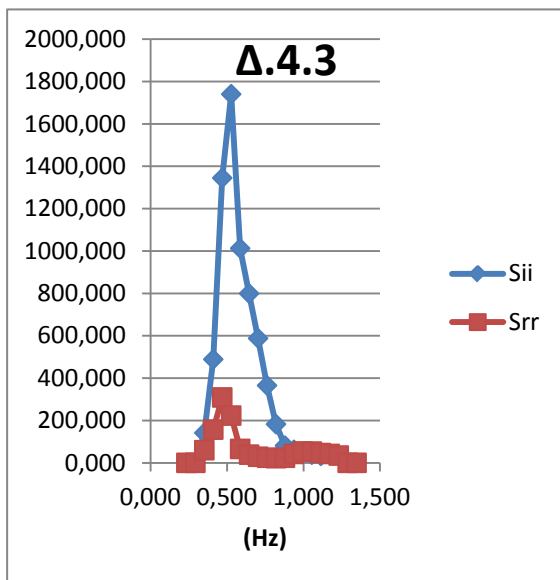
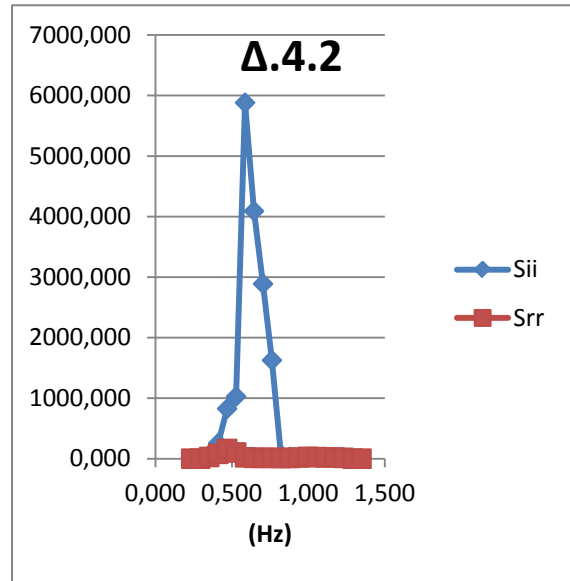
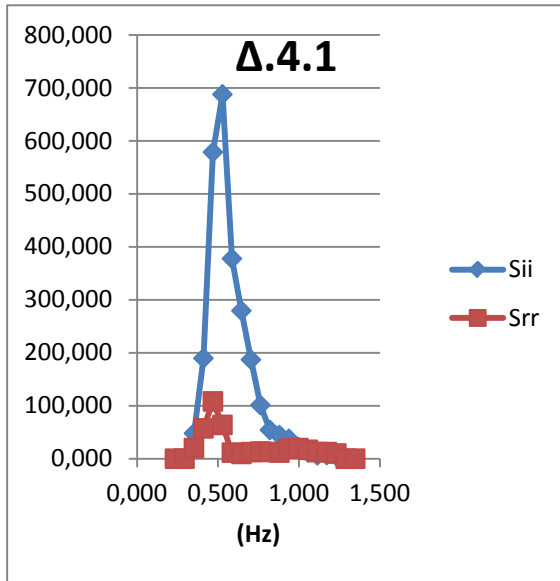


ΔΙΑΤΑΞΗ Δ

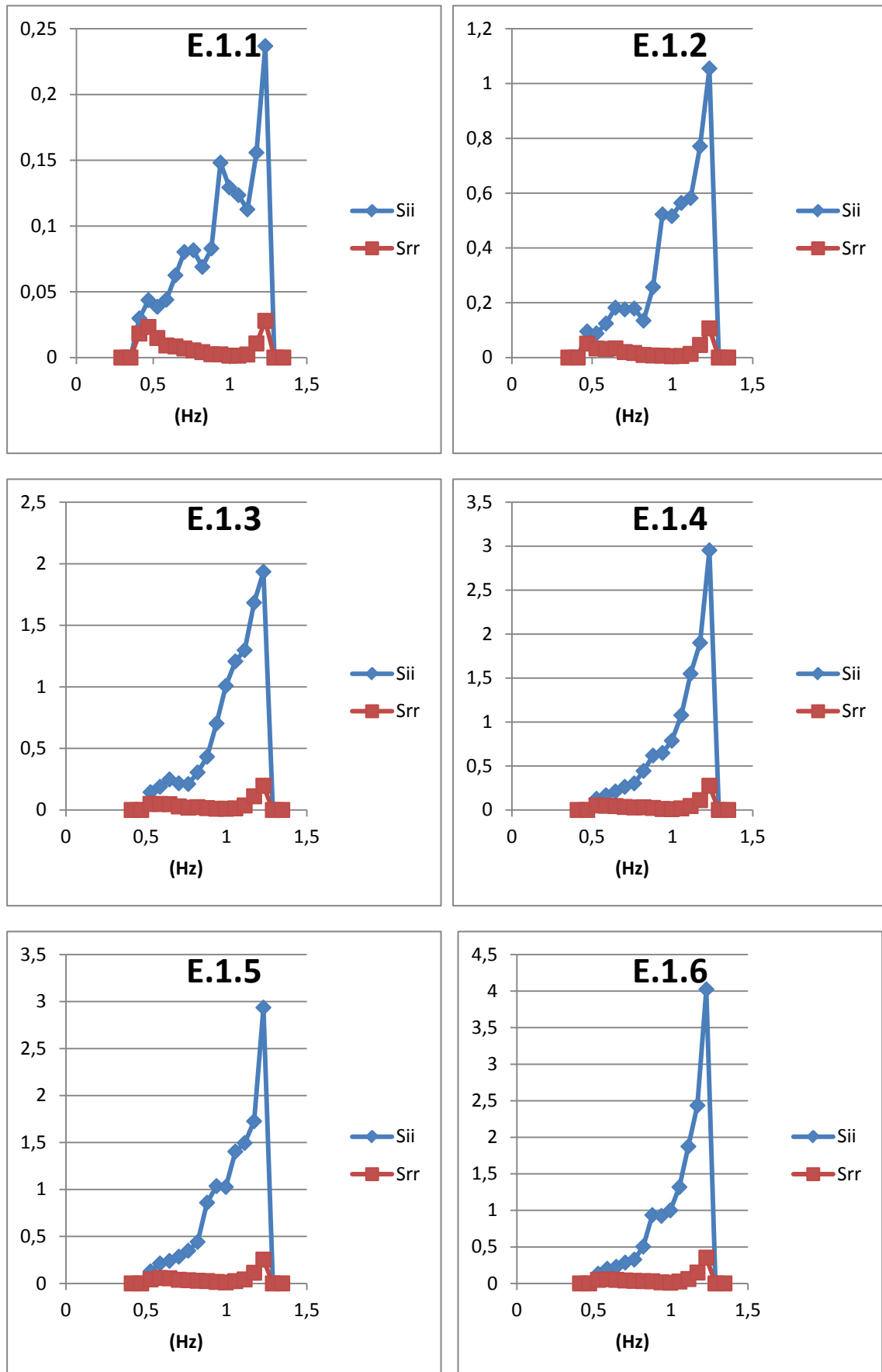


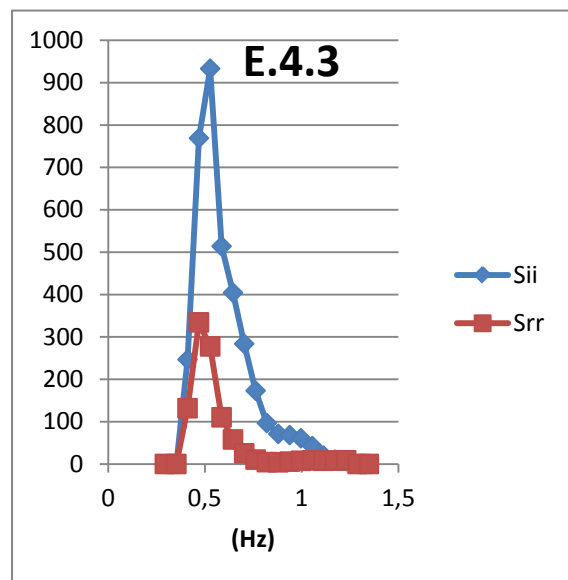
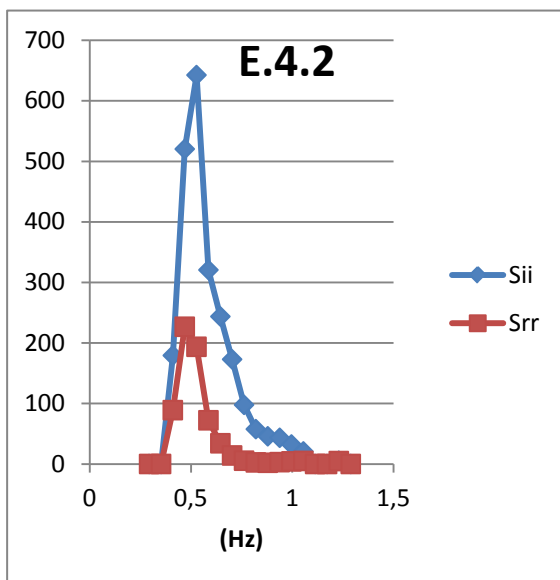
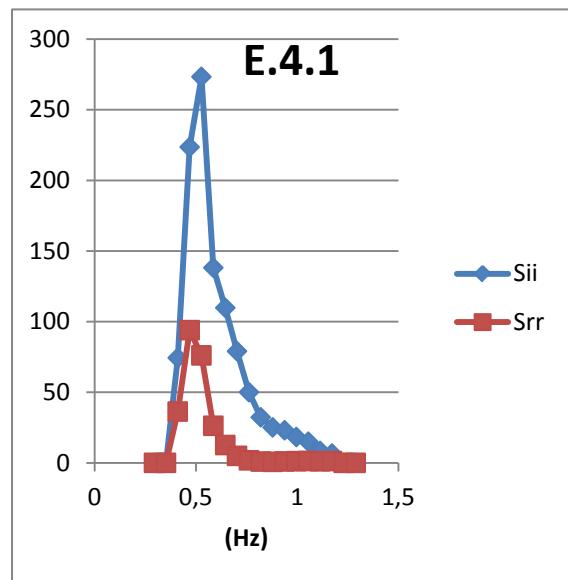
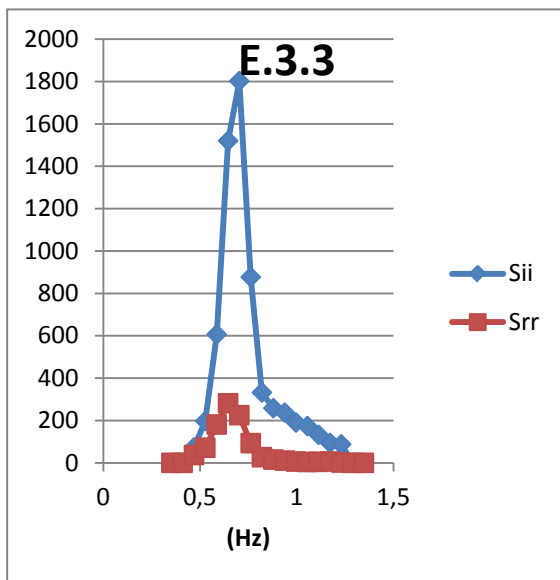
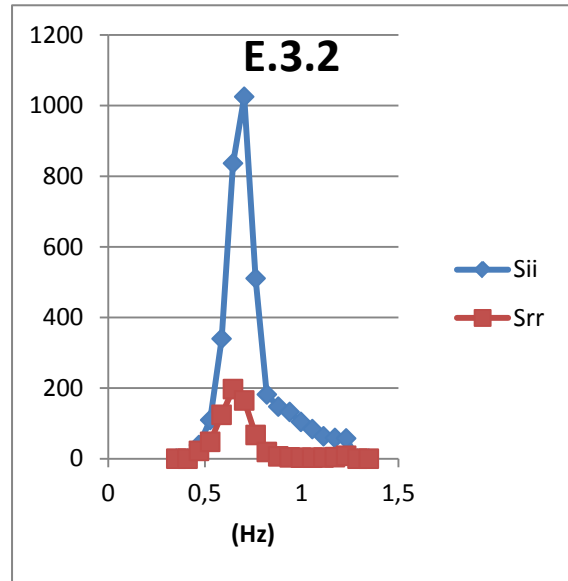
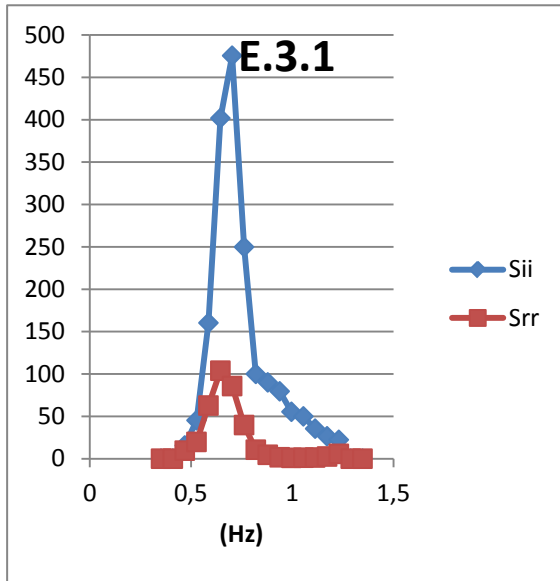


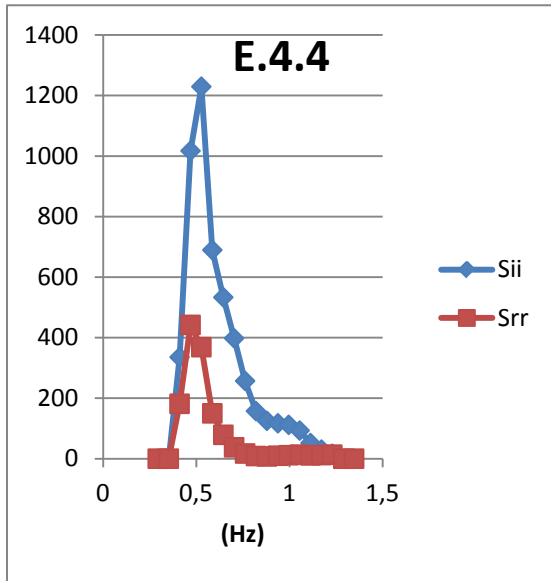




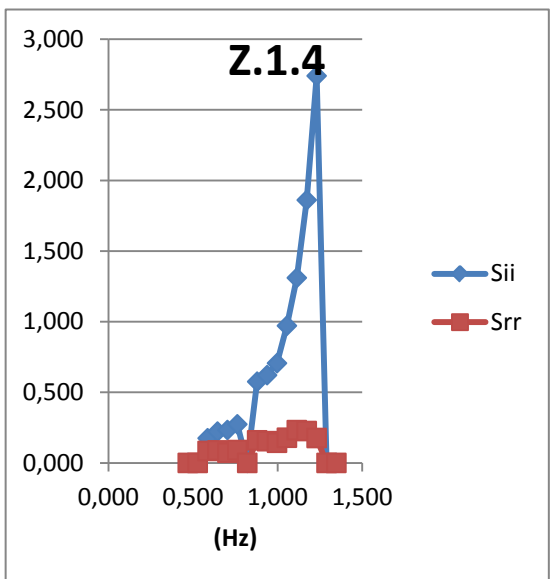
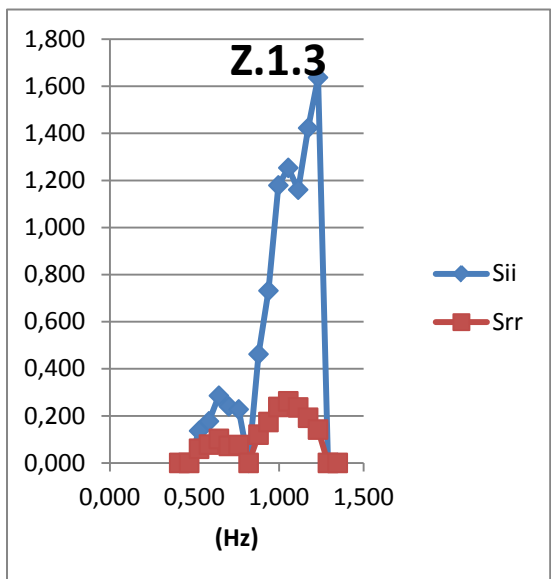
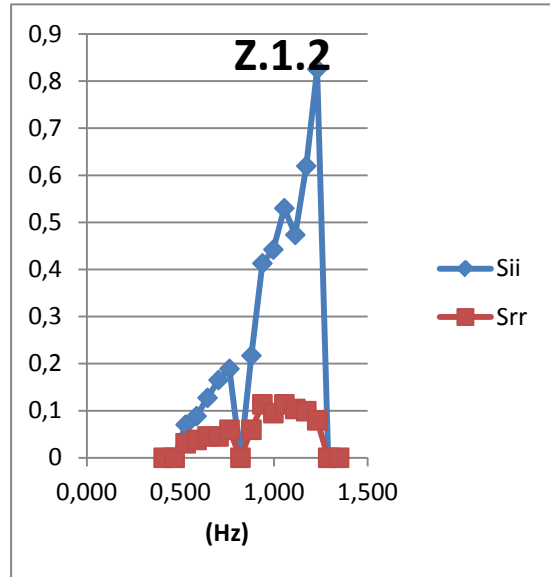
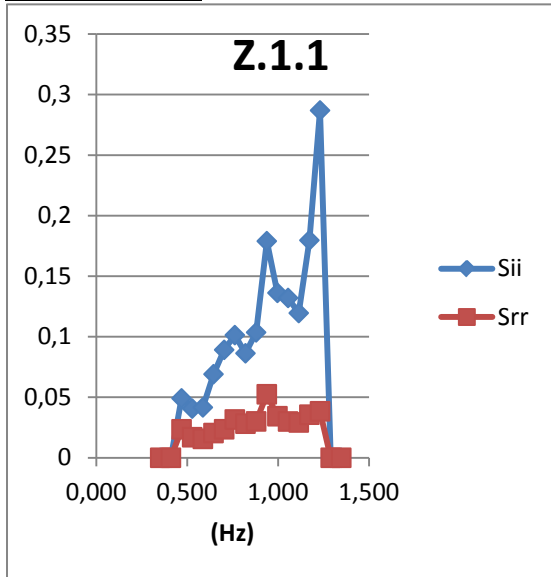
ΔΙΑΤΑΞΗ Ε

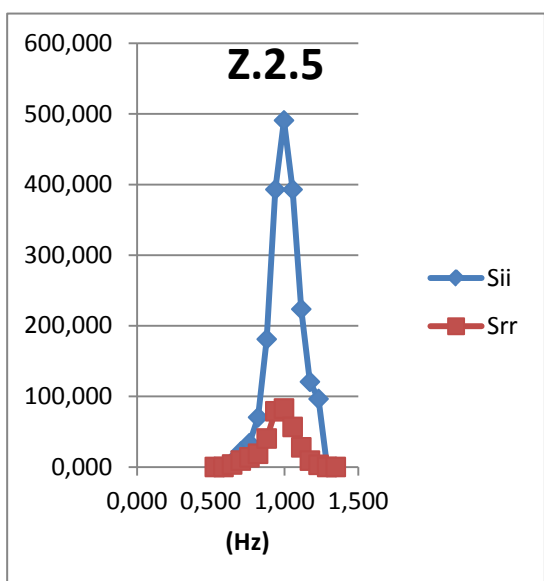
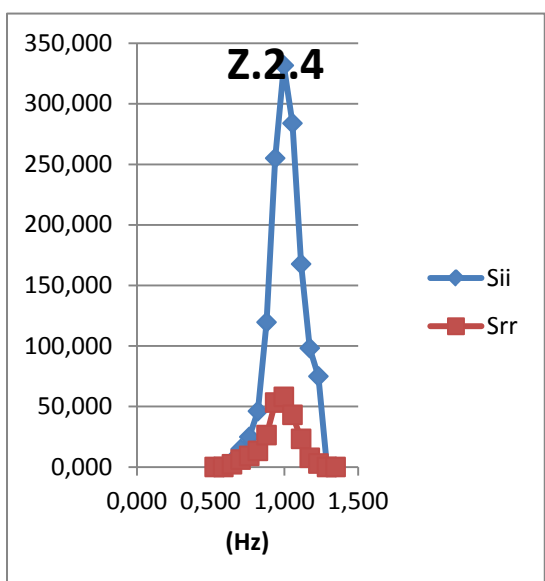
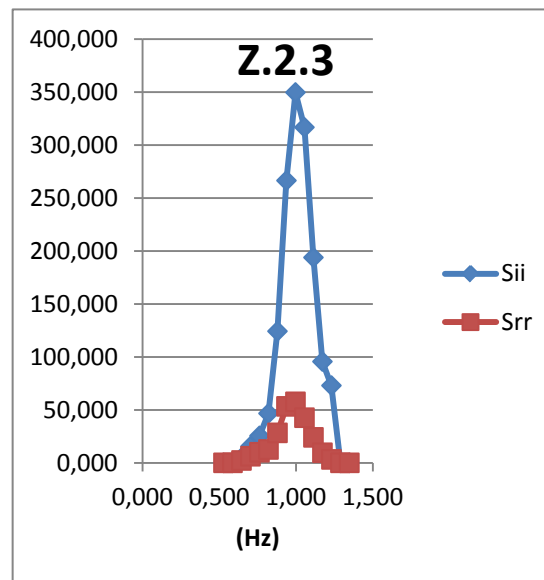
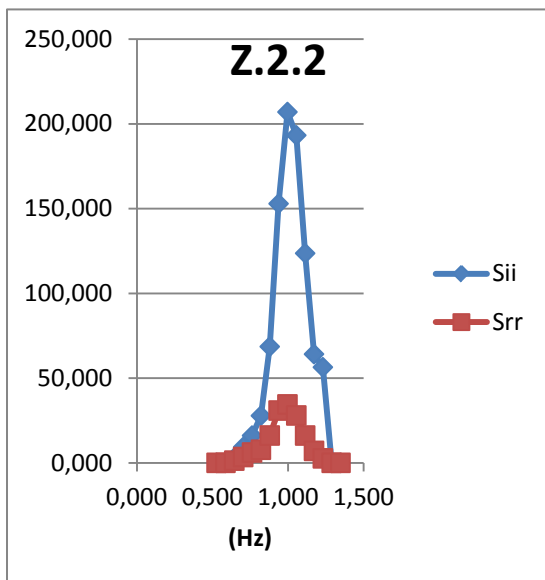
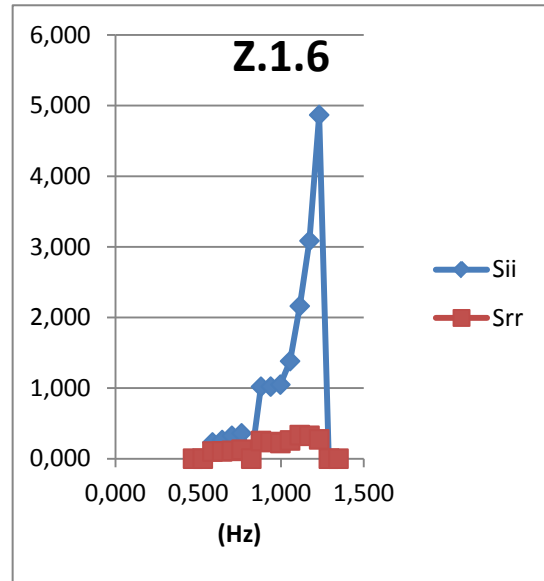
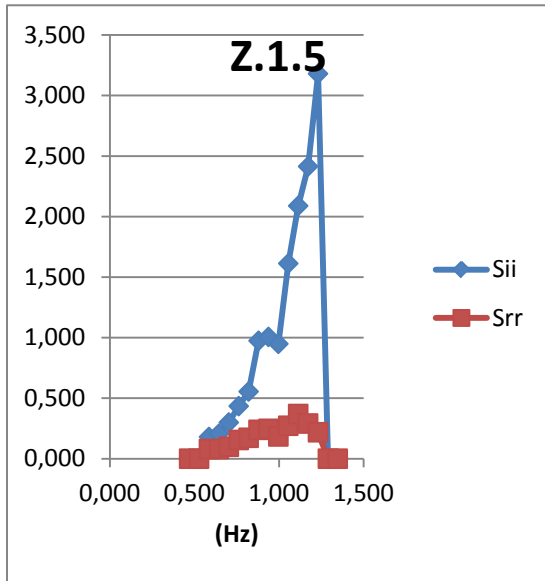


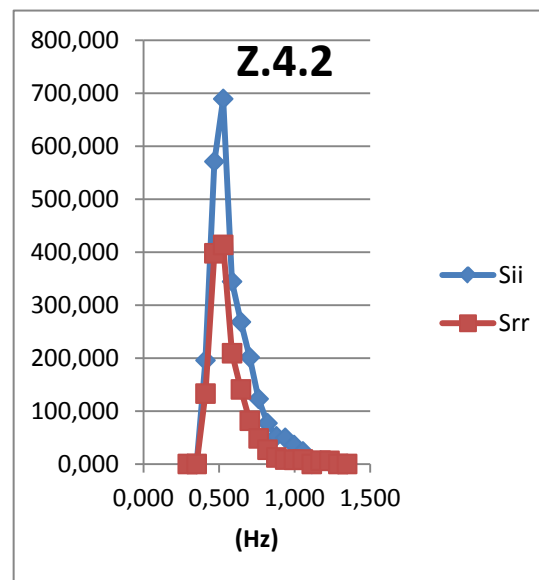
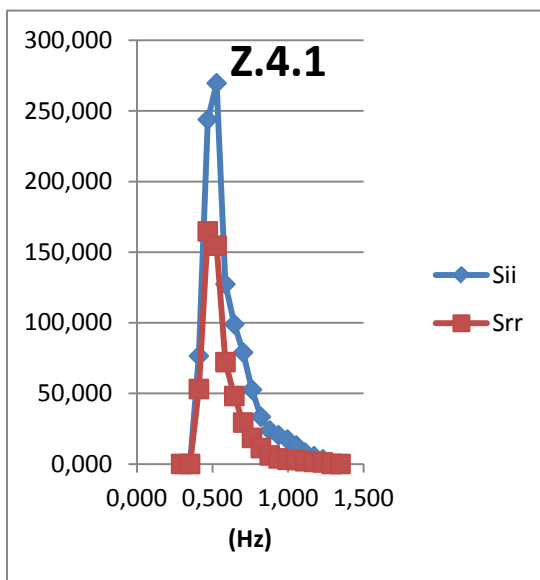
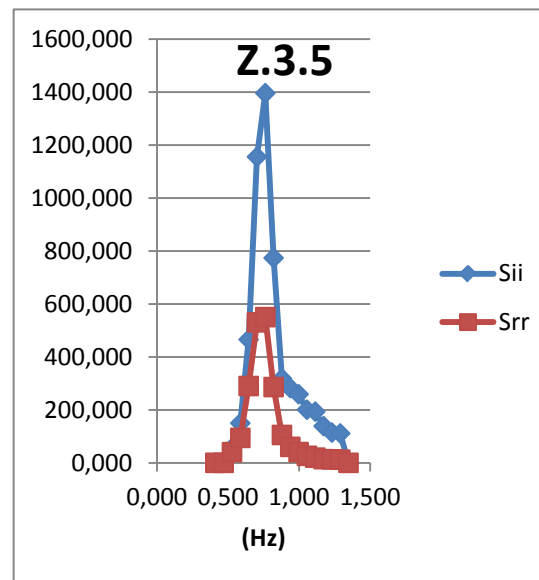
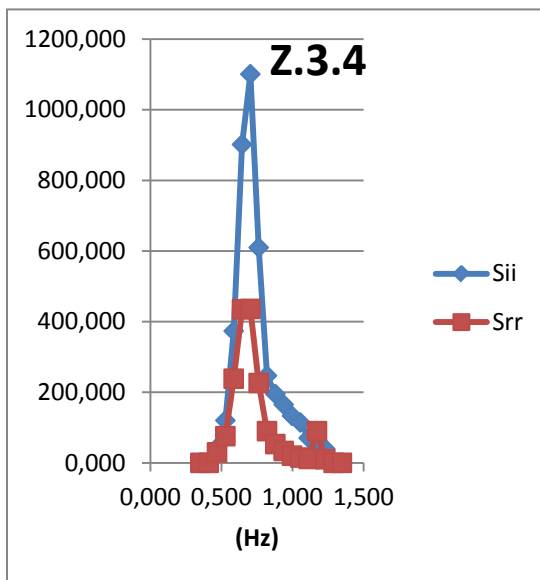
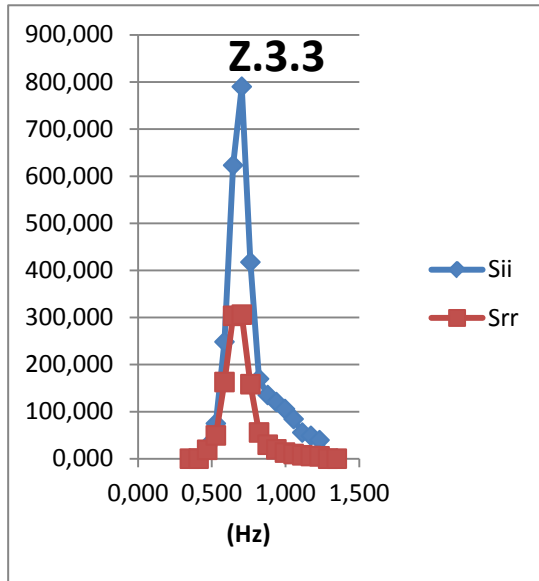
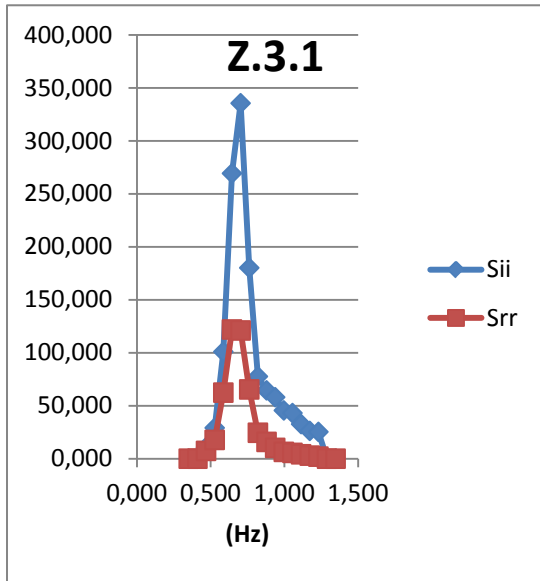


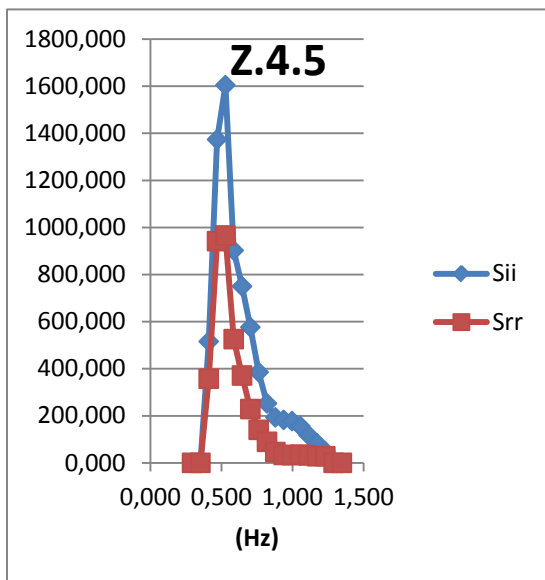
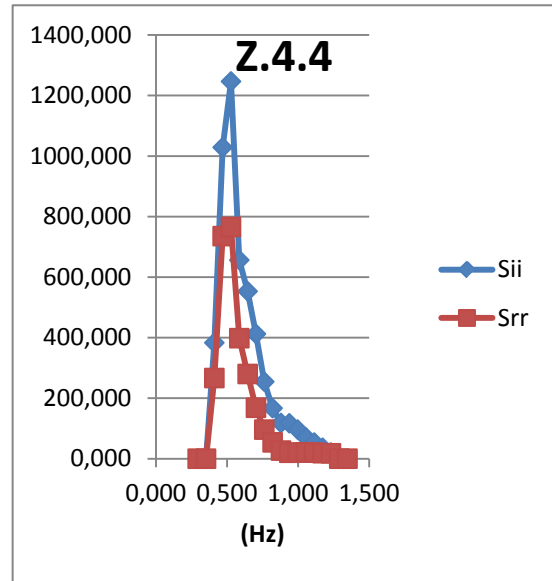
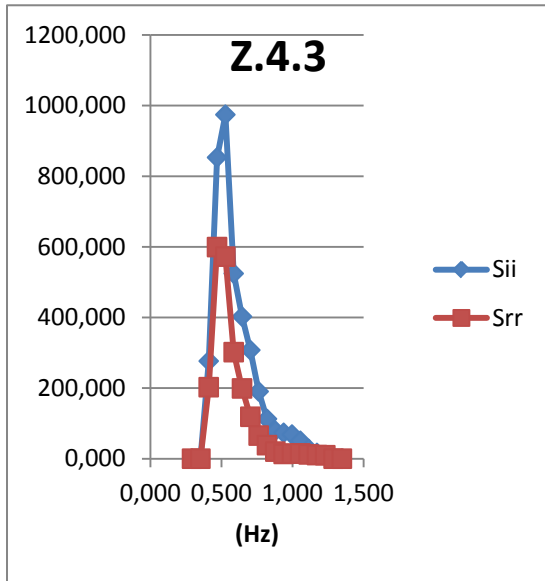


ΔΙΑΤΑΞΗ Ζ

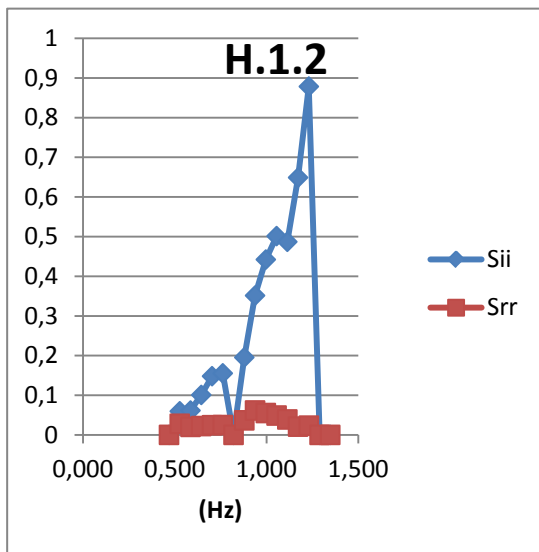
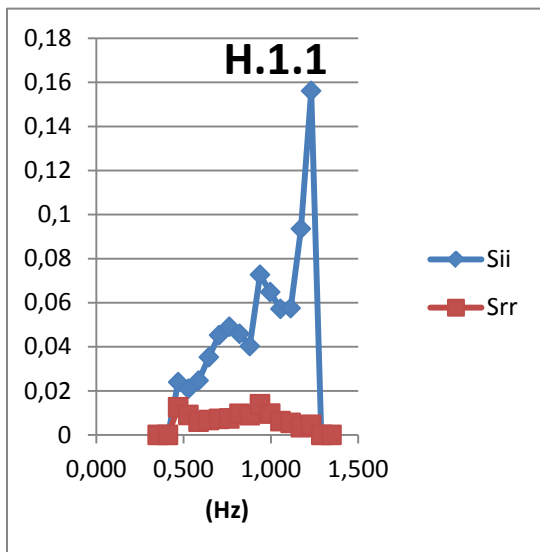


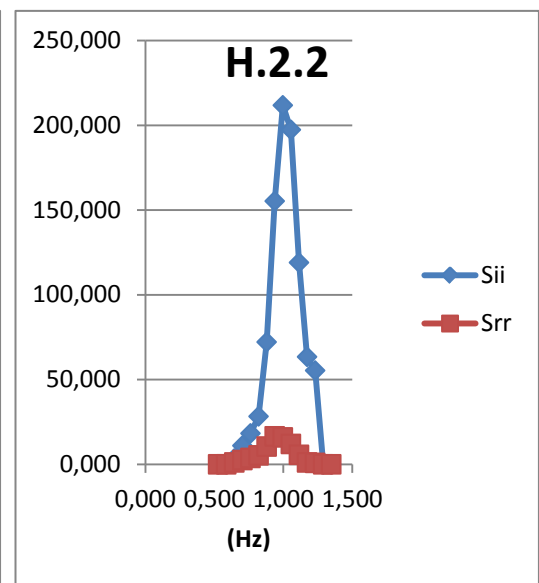
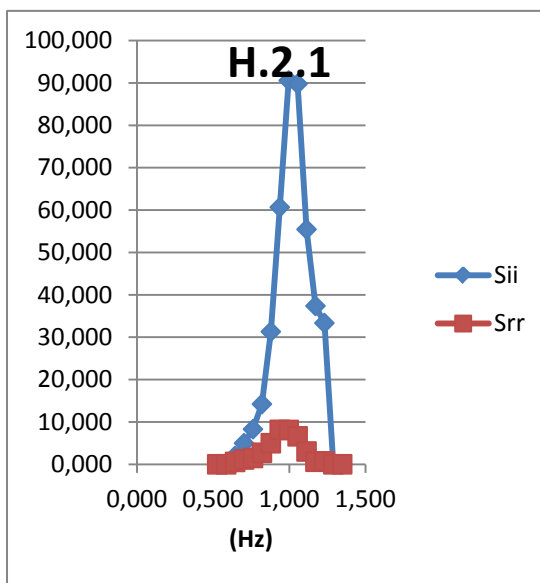
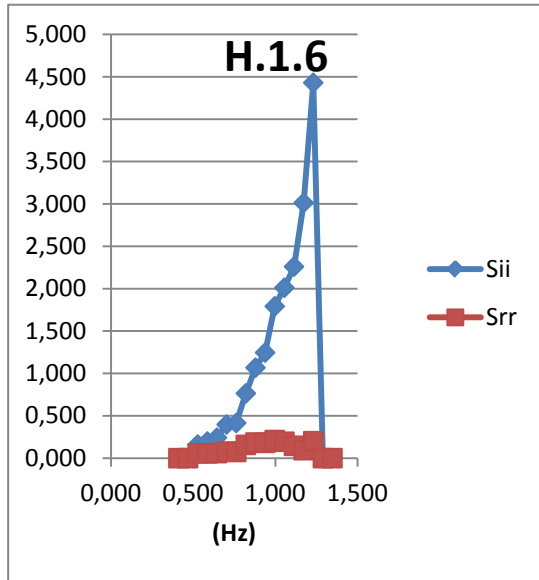
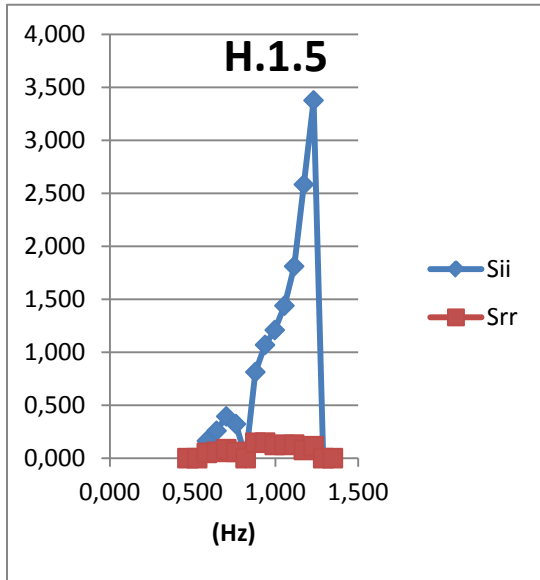
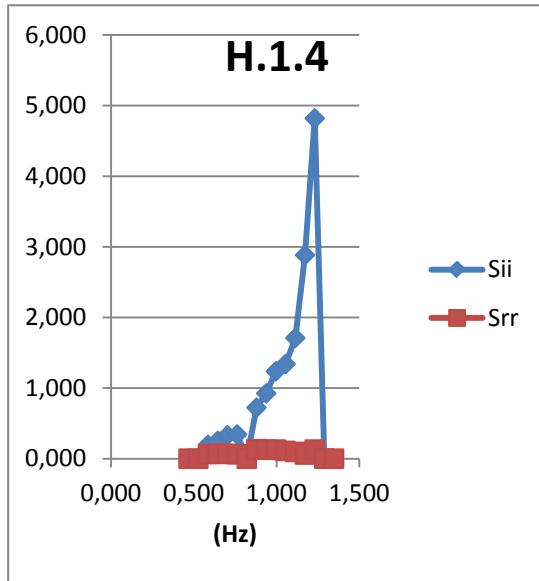
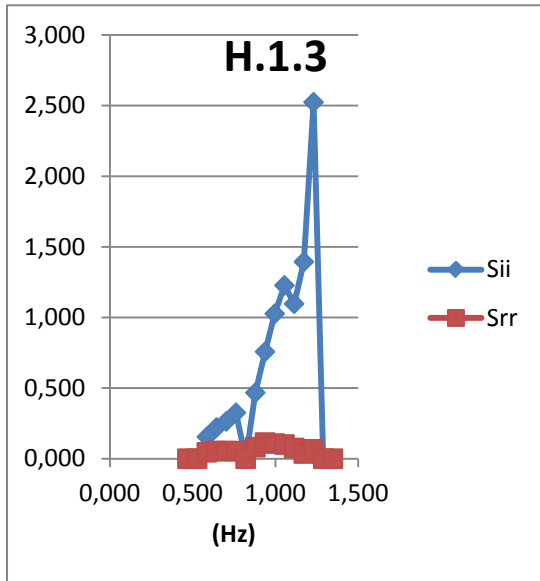


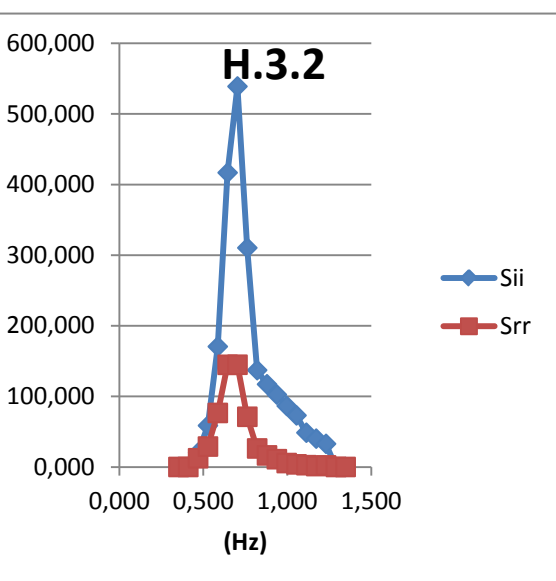
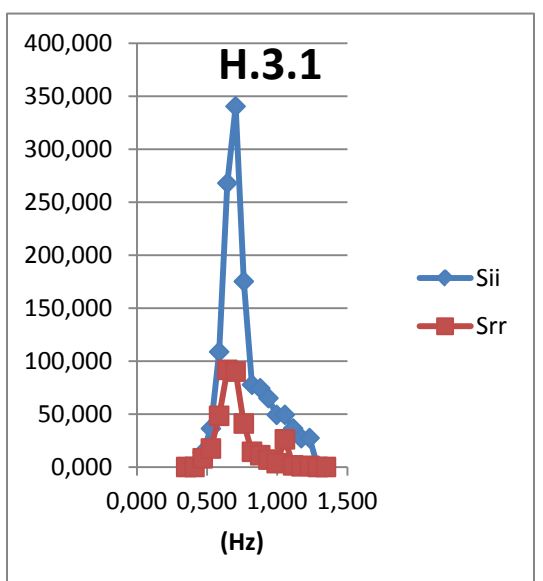
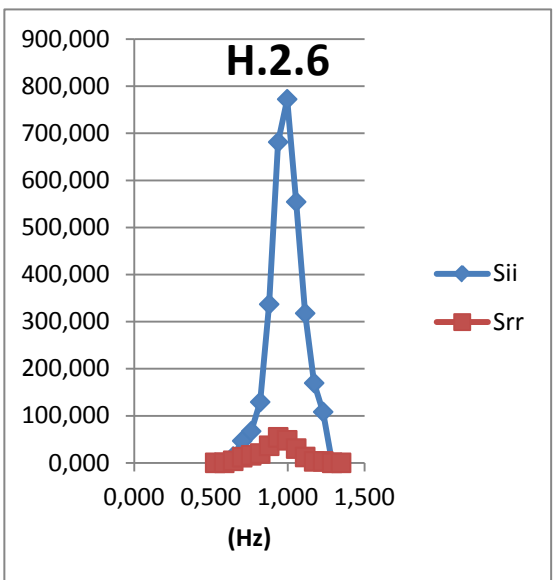
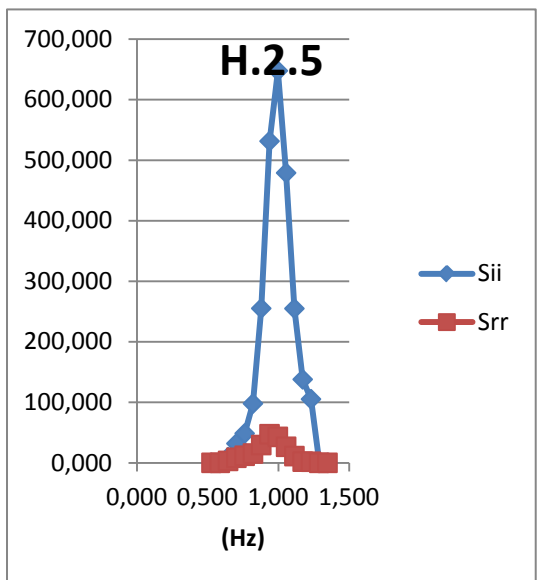
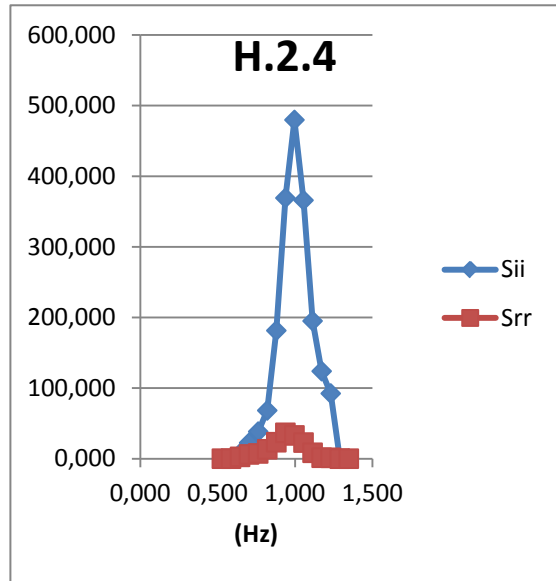
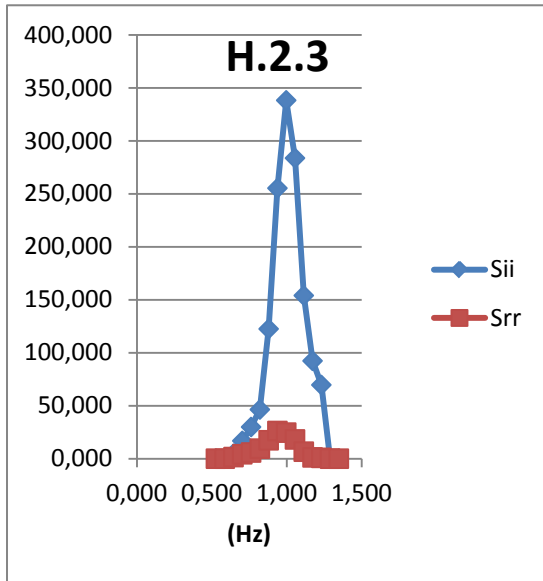


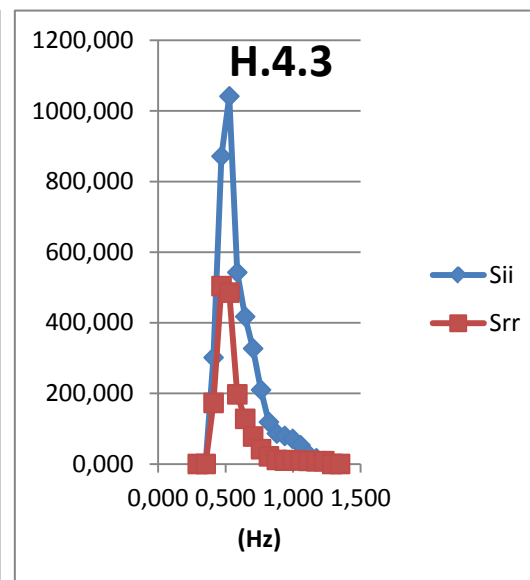
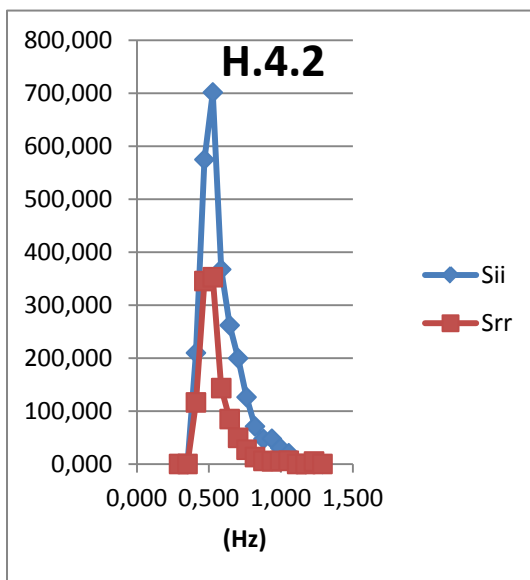
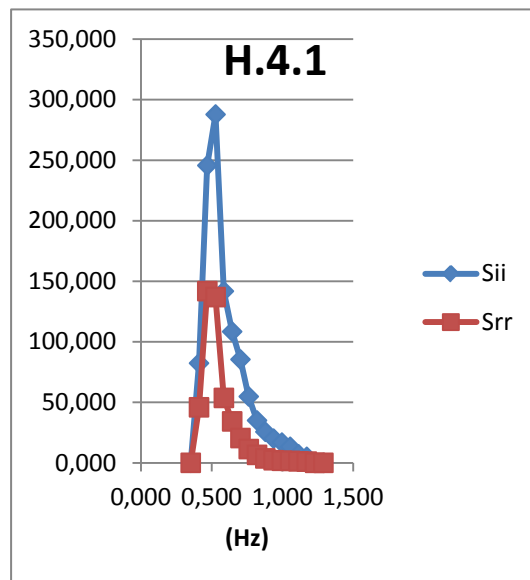
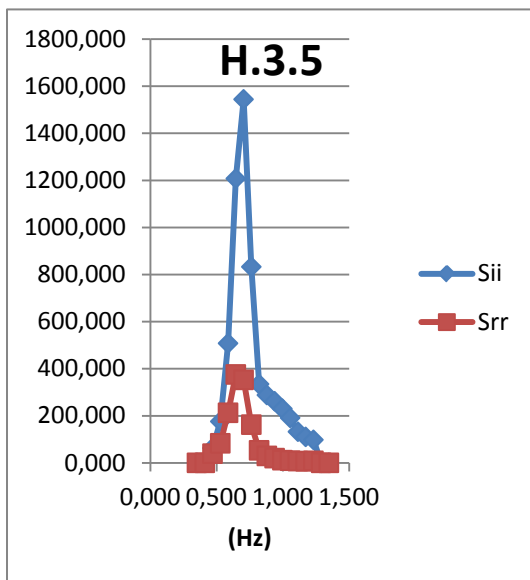
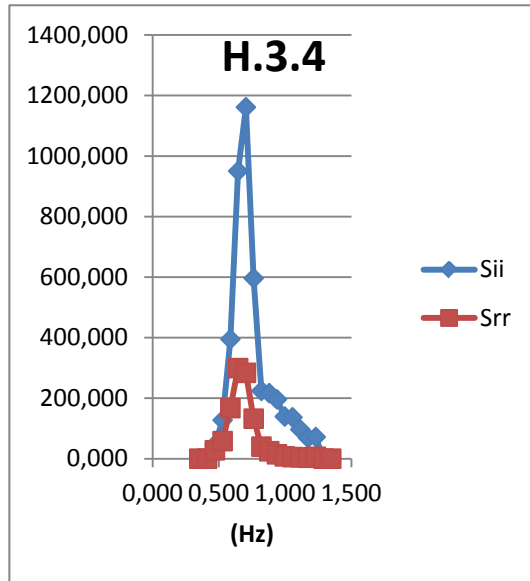
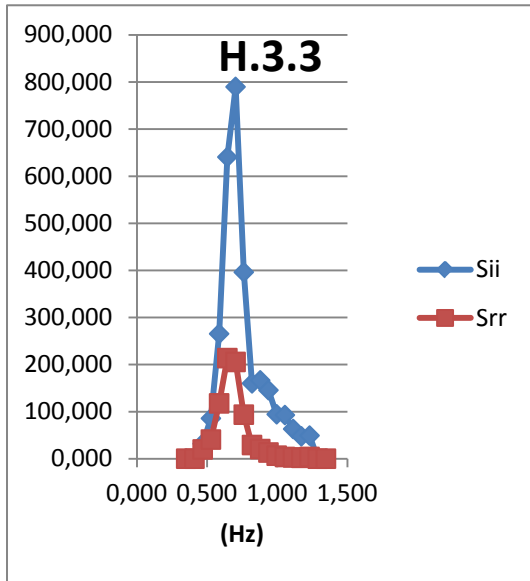


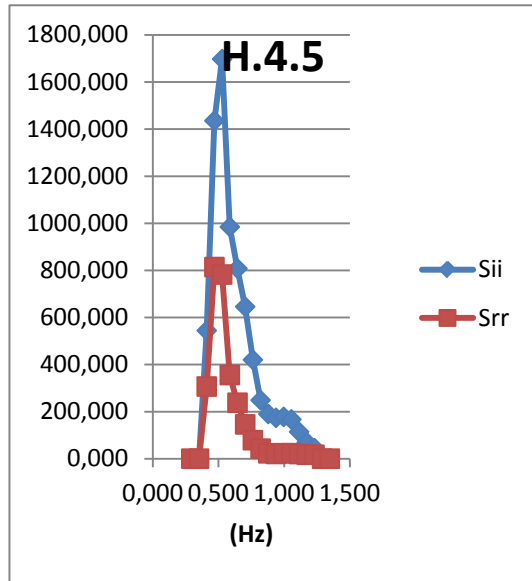
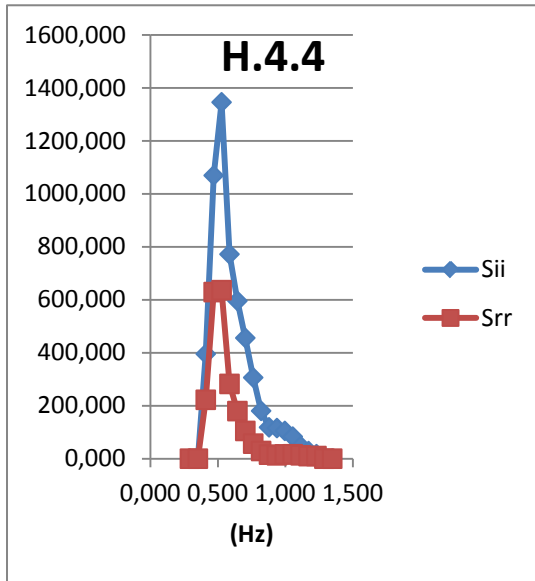
ΔΙΑΤΑΞΗ Η











ΔΙΑΤΑΞΗ Θ

