

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	1
Ευχαριστίες	4
Περίληψη	5
1.Εισαγωγή	7
2.Στοιχεία Θεωρίας	8
2.1 Κυματισμοί.....	8
2.2 Φασματικοί κυματισμοί.....	8
2.3 Φαινόμενα κλίμακας.....	10
2.4 Επιδράσεις μετώπων.....	11
2.5 Συντελεστής ανάκλασης.....	12
2.6 Μέθοδοι υπολογισμού μέσου συντελεστή ανάκλασης.....	13
2.7 Μέθοδοι προσομοίωσης του μέσου συντελεστή ανάκλασης με εμπειρικούς τύπους	14
2.8 Ενεργειακή θεώρηση.....	14
2.9 Συμβολισμοί.....	15
3.Πειραματικές Εγκαταστάσεις Ε.Λ.Ε	16
3.1 Δεξαμενές.....	16
3.2 Σύστημα παραγωγής κυμάτων.....	18
3.3 Συλλογή και επεξεργασία μετρήσεων.....	19
4.Πειραματικές Διατάξεις	22

Περιεχόμενα

4.1 Γενικά.....	22
4.2 Μικτές διατομές με έξαλο πρρανές.....	23
4.2.1 Πειραματική διάταξη 1 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	23
4.2.2 Πειραματική διάταξη 2 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	25
4.2.3 Πειραματική διάταξη 3 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	26
4.3 Μικτές διατομές με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο.....	28
4.3.1 Πειραματική διάταξη 4 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	28
4.3.2 Πειραματική διάταξη 5 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	30
4.3.3 Πειραματική διάταξη 6 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	31
4.4 Πρόγραμμα πειραματικών μετρήσεων.....	33
5.Επεξεργασία Μετρήσεων.....	37
5.1 Μικτές διατομές με έξαλο πρρανές.....	37
5.1.1 Γραφήματα μετρήσεων 1 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	37
5.1.2 Γραφήματα μετρήσεων 2 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	38
5.1.3 Γραφήματα μετρήσεων 3 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	39
5.1 Μικτές διατομές με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο.....	37
5.2.1 Γραφήματα μετρήσεων 4 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	40
5.2.2 Γραφήματα μετρήσεων 5 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	41
5.2.3 Γραφήματα μετρήσεων 6 ^{ης} ομάδας πειραμάτων.....	42
5.3 Πίνακας αποτελεσμάτων μέσου συντελεστή ανάκλασης.....	43
6.Αποτελέσματα μετρήσεων.....	48
6.1 Μικτές διατομές με έξαλο πρρανές.....	48
6.2 Μικτές διατομές με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο.....	54

Περιεχόμενα

7.Σύγκριση με εμπειρικές σχέσεις.....	60
7.1 Προσεγγιστική καμπύλη Seelig και Ahrens.....	60
7.2 Προσεγγιστική καμπύλη Zannutigh.....	61
7.3 Μέθοδος Barbara Zannutigh και Jentsje W.Van Der Meer (2008) και Zannutigh και Thomas Lykke Andersen (2010).....	62
7.3.1 Προσεγγιστική καμπύλη Zannutigh για τη 1η ομάδα πειραμάτων.....	62
7.3.1 Προσεγγιστική καμπύλη Zannutigh για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης.....	63
7.3.3 Προσεγγιστική καμπύλη Zannutigh για τη 2 ^η ομάδα πειραμάτων.....	64
7.3.4 Προσεγγιστική καμπύλη Zannutigh για τη 3 ^η ομάδα πειραμάτων.....	65
8.Γενικά συμπεράσματα.....	67
8.1 Μικτή διατομή με έξαλο πρανές.....	67
8.2 Μικτή διατομή με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο.....	67
Βιβλιογραφία.....	70
Παράρτημα Α.....	72
Παράρτημα Β.....	77
Παράρτημα Γ.....	83

Ευχαριστίες

Πριν από τη παρουσίαση της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω εκείνους που με βοήθησαν, καθοδήγησαν και προσέφεραν πρόθυμα την πείρα και τις γνώσεις τους, ώστε να γίνει δυνατή η εκπόνησή της παρούσας διπλωματικής.

Οφείλω αρχικά να ευχαριστήσω το καθηγητή μου κ. Μουτζούρη Κωνσταντίνο, ο οποίος ανέλαβε την επίβλεψη αυτή της εργασίας, στηρίζοντας την όλη προσπάθεια.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την κα Γιαντσή Θεοδώρα, που αντιμετώπισε με ενδιαφέρον, υπομονή και κατανόηση τις απορίες μου και μου προσέφερε την απαραίτητη συνεργασία για τη πραγμάτωση της διπλωματικής στον πειραματικό τομέα.

Επίσης ευχαριστώ το προσωπικό του εργαστηρίου, την Πολιτικό μηχανικό κα Παπαθανασίου Βαρβάρα, τον κ. Τσούνη Ευστάθιο και τον κ. Μαργαρώνη Παναγιώτη για τη βοήθεια και τη συνεργασία κατά τη διάρκεια των ατελείωτων ωρών διεξαγωγής των πειραμάτων, που χωρίς την βοήθεια τους και την υπομονή τους δε θα μπορούσαν να έχουν γίνει.

Τέλος ευχαριστώ τους φίλους μου και συναδέλφους μου μηχανικούς, Βασιλείου Αλέξανδρο, Ζαρμπή Ματθαίο και Θεοχάρη Αλέξανδρο, που έβαλαν το μικρό τους λιθαράκι για να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαπραγματεύεται με το φαινόμενο της ανάκλασης θαλασσίων φασματικών κυματισμών που προσπίπτουν διαφορετικές διατομές θαλασσίων μετώπων.

Πιο συγκεκριμένα, το αντικείμενο της παρούσας έρευνας είναι η συσχέτιση του μέσου συντελεστή ανάκλασης θαλασσίων κυματισμών με αδιάστατες παράμετρους.

Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (Ε.Λ.Ε.) της Σχολής των Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Οι μετρήσεις επεξεργάστηκαν με το κατάλληλο λογισμικό και προέκυψαν υδροδυναμικά μεγέθη των κυμάτων στις θέσεις μέτρησης και ο μέσος συντελεστής ανάκλασης σε κάθε διάταξη, για τον κάθε κυματισμό.

Στη συνέχεια καταρτίστηκαν τα γραφήματα 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 έρευνας.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the phenomenon of the reflection of sea water irregular waves which normally incident upon different sections of sea walls.

More specifically, the subject of this research is to associate the bulk reflection coefficient with some dimensionless parameters. The experiments have been conducted in the laboratory of harbour works of the department of the school of Civil Engineering, National Technical University of Athens.

The measurements were analysed with the proper software. The results are the hydrodynamic measures of the sea waves at the measurements positions and the bulk reflection coefficient for every experiment.

The bulk reflection coefficients are presented as a function of nondimensional parameters as the relative water depth, wave steepness, surf-similarity parameter and other parameters. There has been a comparison between the measurements and empirical relationships from bibliography.

1.Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι να διερευνηθεί η σχέση του συντελεστή ανάκλασης κυμάτων επί μικτών διατομών λιμενικών έργων ως προς αδιάστατες κυματικές παραμέτρους.

Δευτερευόντως, σκοπός είναι να προσομοιωθούν τα αποτελέσματα, με τις εμπειρικές σχέσεις, που προτείνονται από δημοσιεύσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας παρατίθενται θεωρητικά στοιχεία σχετικά με τα κύματα, την ανάκλαση τους, καθώς και τις μεθόδους υπολογισμού του συντελεστή ανάκλασης.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται στοιχεία που αφορούν τις εγκαταστάσεις, τη πειραματική διαδικασία και παρουσιάζεται η μέθοδος συλλογής και επεξεργασίας των μετρήσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα φυσικά προσομοιώματα, παρουσιάζονται τα σχέδια των διατομών, οι κατόψεις και φωτογραφίες από κάθε πείραμα που διεξήχθη, καθώς και το πρόγραμμα πειραματικών μετρήσεων.

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

Στο έκτο κεφάλαιο διερευνάται η σχέση του συντελεστή ανάκλασης με αδιάστατες παραμέτρους, όπως η καμπυλότητα και ο συντελεστής θραύσεως.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση του συντελεστή ανάκλασης των μετρήσεων με εμπειρικές σχέσεις, προτεινόμενες από πρόσφατες δημοσιεύσεις.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρατίθενται τα γενικά συμπεράσματα της διπλωματικής.

2.Στοιχεία Θεωρίας

2.1 Κυματισμοί

Σε κάθε συνεχές παραμορφώσιμο μέσο ως κυματισμοί μπορεί να οριστούν όλες οι μη μόνιμες (περιοδικές ή μη) διαταραχές της θέσεως των μορίων του γύρω από μια θέση ισορροπίας στο εσωτερικό ή την επιφάνειά τους.

Ιδιαίτερα σημαντικοί για τα θαλάσσια τεχνικά έργα είναι οι κυματισμοί βαρύτητας, των οποίων η γενεσιουγός αιτία είναι ο άνεμος και η δύναμη επαναφοράς, η βαρύτητα. Το μηχανικό ενεργειακό περιεχόμενό τους είναι ο σημαντικότερος παράγοντας φορτίσεως των θαλάσσιων τεχνικών έργων.

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

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 βασίζεται στη φασματική περιγραφή τους (Κ.Ι.Μουζούρης, Θαλάσσια Υδραυλική).

2.2 Φασματικοί κυματισμοί

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των φασματικών κυματισμών είναι ότι δεν υπάρχει καμία εμφανής βραχυπρόθεσμη περιοδικότητα, δεδομένου ότι οι κινήσεις είναι τυχαίες και διαφέρουν συστηματικά από ημιτονοειδείς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι κινήσεις ενός σωματιδίου της ελεύθερης επιφάνειας προέρχονται από μια τυχαία διαδικασία. Η στοχαστικότητα συνεπάγεται ότι σπάνια μπορούν να ανευρεθούν δύο παρόμοιες κινήσεις σε συνάρτηση με το χρόνο.

Βασική αιτία δημιουργίας τυχαίων διαδικασιών είναι οι συνεχείς μεταβολές των γενεσιουργών αιτιών. Στη περίπτωση των κινήσεων της ελεύθερης

2.Στοιχεία θεωρίας

επιφάνειας της θάλασσας τέτοια βασική αιτία είναι οι μεταβολές του πεδίου του ανέμου. Η μεθοδολογία εξετάσεως τους βασίζεται στη φασματική περιγραφή τους (Κ.Ι.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική).

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

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

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

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

Οπότε πολλαπλασίασαν το φάσμα των Pierson- Moskowitz με μια παράμετρο γ^r , έτσι ώστε το φάσμα να ταιριάζει περισσότερο με τις μετρήσεις του και να συναρτάται από το ανάπτυγμα πελάγους (fetch) και όχι μόνο από τη ταχύτητα του ανέμου (για άνεμο που φυσάει για μεγάλο χρονικό διάστημα). Το φάσμα Jonswar είναι από τα πιο δημοφιλή φάσματα για το σχεδιασμό-ανάλυση και παραγωγή φασματικών κυματισμών (irregular waves). Στη παρούσα

2.Στοιχεία θεωρίας

διπλωματική παρήχθησαν φασματικά κύματα 3D (irregular waves), με τη χρήση του φάσματος- υποδείγματος Jonswap.

2.3 Φαινόμενα κλίμακας

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

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

όπου

- u είναι χαρακτηριστική ταχύτητα (m/sec)
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec²)
- D χαρακτηριστικό μήκος (m)

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

Η κατανόηση του φαινόμενου κλίμακας είναι πολύ σημαντική για τη σωστή προσομοίωση απο το πρωτότυπο στο προσομοίωμα. Στα συγκεκριμένα πειράματα ο αριθμός Froude πρέπει να είναι ίδιος στο προσομοίωμα και στη φύση επειδή η κύρια δύναμη επαναφοράς των κυματισμών είναι η βαρυτική και έτσι διασφαλίζεται μια σωστή σχέση μεταξύ των αδρανειακών και των βαρυτικών δυνάμεων. Αν το προσομοίωμα είναι σε μια κλίμακα λ , τότε και ο μετρούμενος χρόνος και η ταχύτητα είναι σε κλίμακα $\lambda^{(1/2)}$ σε σχέση με το πρωτότυπο.

Ένα άλλο φαινόμενο κλίμακας που είναι σημαντικό για τη σωστή προσομοίωση είναι το φαινόμενο κλίμακας Reynolds. Ο αριθμός Reynolds όταν είναι σταθερός, διατηρεί σωστή τη σχέση μεταξύ των αδρανειακών δυνάμεων και του ιξώδους. Πρακτικά και οι δύο αριθμοί δε μπορούν να παραμείνουν σταθεροί. Ως εκ τούτου, ο αριθμός Froude είναι ίσος με τον

2.Στοιχεία θεωρίας

αριθμό του πρωτοτύπου, ενώ γίνεται προσπάθεια ο αριθμός Reynolds να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος.

2.4 Επιδράσεις μετώπων

Στη πρόσπτωση ενός κυματισμού σε ένα μέτωπο παρατηρείται το φαινόμενο της ανάκλασης και πιθανόν της υπερπήδησης του μετώπου. Η μεταβολή του βάθους του πυθμένα προκαλεί στους κυματισμούς, τα φαινόμενα της θραύσης, της ρήξης και της περίθλασης. Στη συνέχεια γίνεται σύντομη αναφορά στη θραύση.

Η θραύση είναι ένας φυσικό μηχανισμός, που σημαδεύει τη ριζική μεταβολή του τύπου της ροής: από την κυματική ροή της ζώνης πριν από τη θραύση δημιουργείται μια εναλασσόμενη πλημμυρική ροή διαδοχικά προς την ακτή και τα ανοιχτά.

Η μορφή της θραύσης των κυματισμών εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το συντελεστή θραύσης ξ (Iribarren number), όπου

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

Η συσχέτιση του ξ με το μηχανισμό θραύσεως οδηγεί σε αντιστοιχία του ξ με το ποσοστό ανακλάσεως. Το ξ είναι μια παράμετρος που συσχετίζει τη κλίση του μετώπου με τη καμπυλότητα του κύματος. Αυτή είναι η πιο συνήθης παράμετρος που χρησιμοποιείται στην ανάκλαση, καθώς και στη θραύση.

Ένα σημαντικό επιμέρους φαινόμενο είναι η υπό γωνία πρόσπτωση και κατά συνέπεια η λοξή θραύση των κυματισμών. Τότε ένα μέρος της ενέργειας αναλίσκεται στην ανάπτυξη τύρβης (κάθετη συνιστώσα) ενώ το υπόλοιπο οργανώνει ένα ισχυρό παράκτιο ρεύμα (παράλληλη συνιστώσα) (Χ.Γ.Κουτίτας, Εισαγωγή στη παράκτια τεχνική και λιμενικά έργα).

Όταν ένας κυματισμός προσπίπτει σε ένα στερεό μέτωπο, υφίσταται ανάκλαση. Σε περίπτωση πλήρους ανακλάσεως κυματισμού η ελεύθερη επιφάνεια διαμορφώνεται σε στάσιμο κύμα, με σημεία που δεν ταλαντώνονται και σημεία που έχουν διπλάσιο πλάτος ταλάντωσης.

2.Στοιχεία θεωρίας

2.5 Συντελεστής ανάκλασης

Στην ανάκλαση η πιο σημαντική παράμετρος, C_r , είναι ο συντελεστής ανάκλασης που ορίζεται ως ο λόγος του ύψους του ανακλώμενου H_r προς του ύψους του προσπίπτοντα H_i κύματος.

Επειδή όμως τα παραγώμενα κύματα είναι σύνθετα (φασματικά), ο συντελεστής ανάκλασης διαφέρει ανάλογα με τη συχνότητα κάθε προσπίπτοντος κύματος.

Ορίζεται ότι ο μέσος (bulk) συντελεστής ανάκλασης C_{rb} είναι ίσος με το μέσο όρο των συντελεστών ανάκλασης, για όλες τις συχνότητες που δεν έχουν μηδενικό συντελεστή ανάκλασης. Ο συντελεστής ανάκλασης για κάθε συχνότητα είναι ίσος με το λόγο των ανακλώμενων προς των προσπίπτοντων ενεργειών του κυματισμού ανά συχνότητα. Για το σχεδιασμό ενός λιμενικού έργου ο μέσος συντελεστής ανάκλασης C_{rb} θεωρείται ότι χαρακτηρίζει τη κατασκευή για τον κάθε κυματισμό.

Ωστόσο, έτσι χάνονται πολλές πληροφορίες που έχουν σχέση με το πόσο ανακλάται κάθε συχνότητα του φάσματος του κύματος καθώς και με τη πιο λεπτομερή ανάλυση του κυματισμού και της ανάκλασής του. Συνήθως το πρόβλημα εμφανίζεται όταν το φάσμα του ανακλώμενου κυματισμού πλαταίνει. Οπότε ο μέσος συντελεστής ανάκλασης δεν είναι αντιπροσωπευτικός. Αυτές οι πληροφορίες δίνονται από το φάσμα του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου κυματισμού.

Η κινηματική του κύματος μπροστά στο μέτωπο αποτυπώνεται κυρίως από δύο γραφήματα: το φάσμα του προσπίπτοντος-ανακλώμενου κυματισμού και το φάσμα της αλλαγής φάσης του κυματισμού.

Το φάσμα αλλαγής της φάσης εξαρτάται από τη κλίση της κατασκευής, το βάθος του νερού στον πόδα του μετώπου, την περίοδο του κύματος και τη γωνία πρόσπτωσης (James Sunderland and Tom O Donogue 1998). Η αλλαγή φάσης είναι ίδια είτε για ογκόλιθους είτε για λείο μέτωπο και είναι ανεξάρτητη του ύψους του κύματος.

2.Στοιχεία θεωρίας

Ωστόσο οι περισσότερες έρευνες έχουν γίνει για τον προσδιορισμό του φάσματος ανακλώμενου - προσπίπτοντος κυματισμού, που είναι κατεξοχήν χρήσιμος για το σχεδιασμό του παράκτιου έργου. Για να εξαχθούν τα δύο φάσματα από τις καταγραφές των μετρητών, στα φασματικά κύματα έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές ανάλυσης.

Το φάσμα του ανακλώμενου κυματισμού εξαρτάται κυρίως από την κλίση του μετώπου, την περίοδο του κυματισμού (T_p), το προσπίπτον ύψος κύματος και από το είδος της κατασκευής.

Η αδιάστατη παράμετρος χ (Hughes and Fowler (1995)) προσδιορίζει το φάσμα της αλλαγής φάσης στην ανάκλαση:

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

όπου f η συχνότητα του κυματισμού, α η γωνία κλίσης της διατομής και d το βάθος στο πόδα της διατομής.

Η αλλαγή φάσης είναι ανεξάρτητη του ύψους κύματος, οπότε και το χ είναι ανεξάρτητο αυτού. Ωστόσο ο συντελεστής ανάκλασης συσχετίζεται με το ύψος κύματος. Επομένως το χ είναι παράμετρος που γραφικά χρησιμοποιείται με το μέσο συντελεστή ανάκλασης C_{rb} μόνο για σχετικά κοντινά ύψη κύματος (James Sunderland and Tom O Donogue 1998).

2.6 Μέθοδοι υπολογισμού μέσου συντελεστή ανάκλασης

Οι πιο σημαντικές μέθοδοι υπολογισμού του συντελεστή ανάκλασης που χρησιμοποιούνται είναι η μέθοδος Goda (Goda et Suzuki 1976) που βασίζεται στη χρήση του μετασχηματισμού Fourier και τις καταγραφές τριών μετρητών και η μέθοδος Mansard and Funke (1980) στην οποία γίνεται χρήση ελαχίστων τετραγώνων. Από τις μεθόδους αυτές, στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν στη παρούσα Διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η δεύτερη.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε απαιτεί ο πυθμένας να είναι σταθερός και να λαμβάνονται καταγραφές κυμάτων τουλάχιστον από τρεις μετρητές σε

2.Στοιχεία θεωρίας

σταθερές αποστάσεις, που να βρίσκονται πάνω στην ορθογωνική του κύματος (κάθετα στο μέτωπο του κύματος).

2.7 Μέθοδοι προσομοίωσης του μέσου συντελεστή ανάκλασης με εμπειρικούς τύπους

Το πιο σημαντικό εργαλείο για το σχεδιασμό θα ήταν η πρόβλεψη του μέσου συντελεστή ανάκλασης ανάλογα με το κυματισμό σχεδιασμού και τη συγκεκριμένη γεωμετρία της διατομής. Εκεί εστιάζουν πολλές έρευνες και για αυτό το σκοπό έχουν καταρτιστεί εμπειρικοί τύποι, βασιζόμενοι σε πειραματικά δεδομένα.

- Αρχικά οι Seelig and Ahrens (1981) πρότειναν τη σχέση

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

όπου α και b παράμετροι που εξαρτώνται από το τύπο της κατασκευής και δίνονται από πίνακες (για 3 απλές διατομές).

- Οι Barbara Zannutigh και Jentsje W. Van Der Meer (2008) προτείνουν τη σχέση:

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

όπου με βάση την τραχύτητα γ_f του έργου προκύπτουν οι παράμετροι α και b.

- Οι Barbara Zannutigh και Thomas Lykke Andersen (2010) προσέθεσαν στο τύπο υπολογισμού του συντελεστή ανάκλασης ένα μειωτικό συντελεστή λόγω πλάγιας πρόσπτωσης:

$$C_{rb}(\beta) = C_{rb}(\beta = 0) * \cos\beta$$

όπου β η γωνία πρόσπτωσης του κυματισμού στο μέτωπο.

2.8 Ενεργειακή θεώρηση

Γενικά ο συντελεστής ανάκλασης μειώνεται όσο μειώνεται η περίοδος του κύματος και μεγαλώνει η καμπυλότητα του, χωρίς να εξαρτάται ισχυρά από το ύψος κύματος (Postma 1989). Η μεγάλη τραχύτητα και διαπερατότητα του

2.Στοιχεία θεωρίας

μετώπου έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη ανάκλαση. Υπάρχει επίσης κάποια σχέση μεταξύ ανάκλασης και υπερπήδησης.

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

2.9 Συμβολισμοί

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

- H_s : το χαρακτηριστικό ύψος κύματος
- T : η περίοδος του κυματισμού
- T_p : η περίοδος στην αιχμή του φάσματος του κυματισμού
- h : το βάθος του πυθμένα στο φυσικό προσομοίωμα
- L : το μήκος κύματος στα ρηχά και ενδιάμεσα νερά
- L_o : το μήκος κύματος στα βαθιά νερά
- α : η γωνία (κλίση) της διατομής σε ακτίνια
- C_{rb} : ο μέσος συντελεστής ανάκλασης
- C_{rr} : ο συντελεστής ανάκλασης συναρτήση της συχνότητας
- S : η κυματική ενέργεια (energy density)
- S_{rr} : η κυματική ενέργεια ανακλώμενου φασματικού κυματισμού
- S_{ii} : η κυματική ενέργεια προσπίπτοντος φασματικού κυματισμού
- γ : η καμπυλότητα κυματισμού
- ξ : ο συντελεστής θραύσεως (surf-similarity parameter)
- χ : αδιάστατη παράμετρος στην ανάκλαση
- Fr : αριθμός Froude

2.Στοιχεία θεωρίας

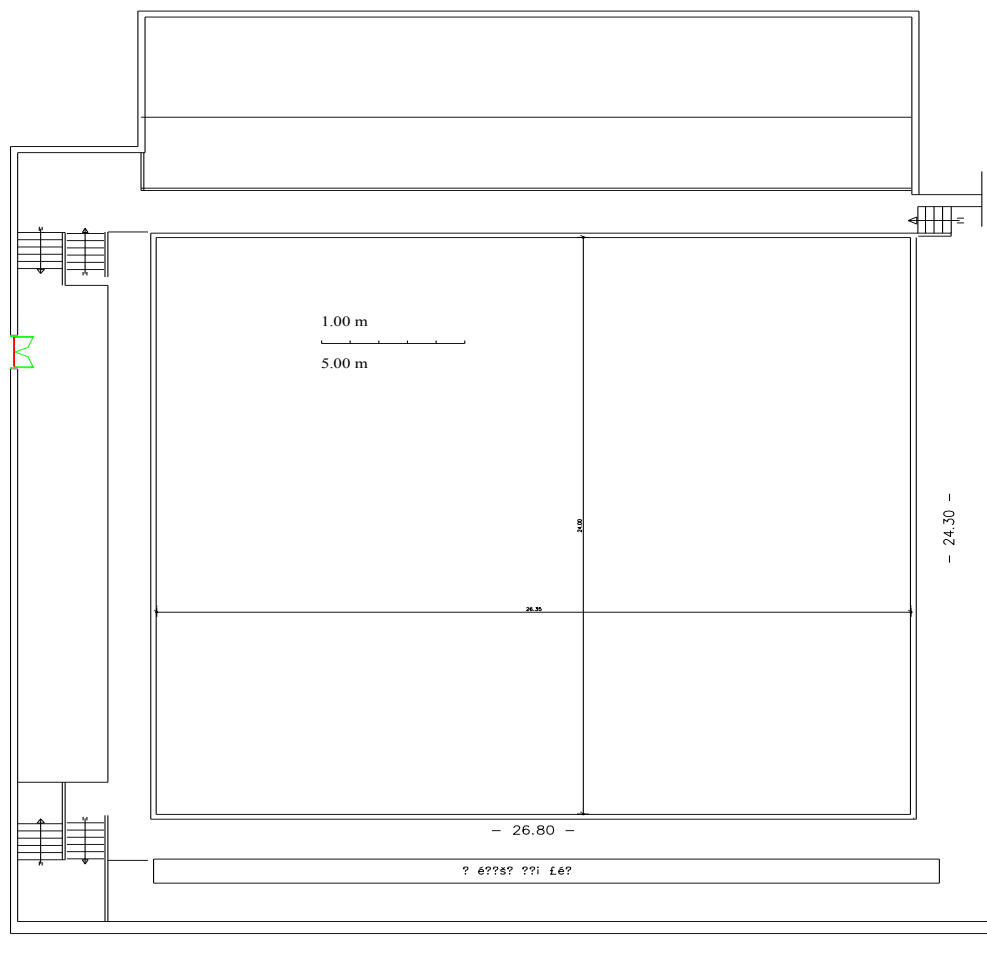
3.Πειραματικές Εγκαταστάσεις Ε.Λ.Ε.

3.1 Δεξαμενές

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

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

Για την απορρόφηση των προσπιπτόντων κυμάτων στα τοιχώματα της έχουν κατασκευασθεί αποσβεστικές επενδύσεις από λιθορριπή. Η κλίση των πρανών των επενδύσεων είναι 1:2 και η κοκκομετρία της λιθορριπής είναι



Σχήμα 1: Κάτοψη της Δεξαμενής Δοκιμών Δ1 του Ε.Λ.Ε

3. Πειραματικές Εγκαταστάσεις Ε.Λ.Ε.

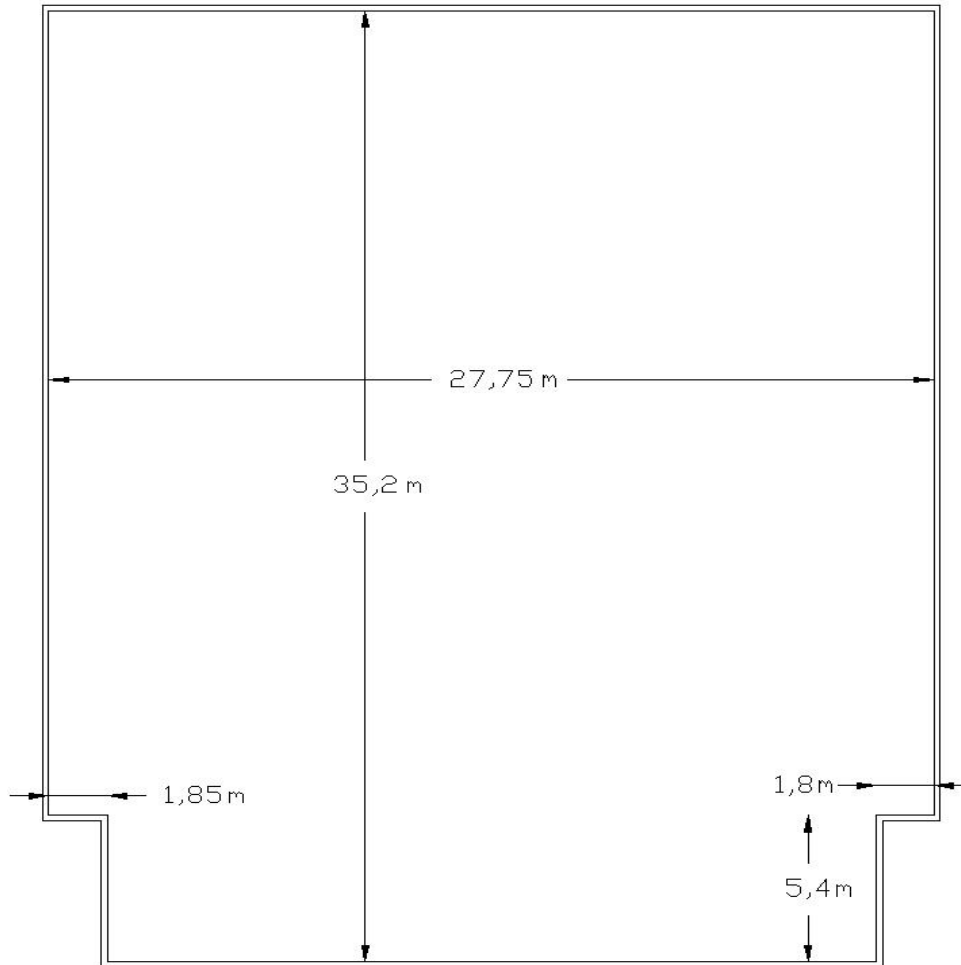
τέτοια, ώστε ο συντελεστής ανακλάσεως από τα τοιχώματα να είναι πολύ μικρός. Επιπλέον, για την περαιτέρω απορρόφηση των εκεί προσπιπτόντων κυμάτων, ιδιαίτερα στην περιοχή των κυματογεννητριών, τμήμα των αποσβεστικών επενδύσεων έχει καλυφθεί με γεωύφασμα.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τρεις κυματιστήρες, τα μέτωπα των οποίων καλύπτουν συνολικό μήκος 18,00m στη δεξαμενή. Το ύψος έκαστου μετώπου είναι 1,20m. Υπάρχει η δυνατότητα μετατοπίσεως των κυματογεννητριών, ώστε να ελέγχεται το προσομοίωμα με διαφορετικές διευθύνσεις προσπτώσεως κυμάτων. Η κίνηση των τριών κυματογεννητριών είναι ταυτόχρονη. Οι εντολές για την λειτουργία του υδραυλικού συστήματος δίδονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό στο σύστημα ελέγχου.

Η Δεξαμενή Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε έχει εσωτερικές διαστάσεις 35,20x 27,75m και βάθος 1,0 m. Η κάτοψη της δεξαμενής παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Στην δεξαμενή είναι εγκατεστημένο σύστημα παραγωγής τυχαίων κυματισμών.

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

3. Πειραματικές Εγκαταστάσεις Ε.Λ.Ε.



Σχήμα 2: Κάτοψη της Δεξαμενής Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε

3.2 Σύστημα παραγωγής κυμάτων

Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν έξι κυματιστήρες, από 3 σε κάθε δεξαμενή. Το σύστημα παραγωγής κυματισμών αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα

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

3. Πειραματικές Εγκαταστάσεις Ε.Λ.Ε.

Ο υδραυλικός μηχανισμός αποτελείται από μια αντλία και μια ελαιοδεξαμενή, απ' όπου κινούνται τα έμβολα. Αυτά είναι τοποθετημένα επί της κυματογεννήτριας και κινούν τους βραχίονες, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούν το κατακόρυφο μέτωπο της κυματογεννήτριας και παράγονται τα κύματα. Το μέτωπο αυτό στο συνολό του έχει πλάτος 7,00m και ύψος 0,80m.

Οι εντολές για την λειτουργία του υδραυλικού συστήματος δίνονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με το αντίστοιχο λογισμικό. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη παραγωγή κυμάτων είναι το πακέτο WAVEGEN SD της εταιρείας H.R. Wallingford. Το λογισμικό αυτό έχει τη δυνατότητα παραγωγής μονοχρωματικών (ημιτονοειδών) κυμάτων και φασματικών διαταραχών διαφόρων μορφών.

3.3 Συλλογή και επεξεργασία μετρήσεων

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

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

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

Αρχικά παράγονται οι πρώτοι κυματισμοί χρησιμοποιώντας το πακέτο λογισμικού WAVEGEN SD της εταιρείας H.R. Wallingford. Ύστερα από αναμονή χρονικού διαστήματος, έτσι ώστε να διαδοθούν οι κυματισμοί σε

3. Πειραματικές Εγκαταστάσεις Ε.Λ.Ε.

όλους τους μετρητές, άρχιζε η συλλογή δεδομένων, δηλαδή κυματομορφών (χρόνος-ύψος κύματος) από τους μετρητές που είναι τοποθετημένοι στη δεξαμενή. Είναι σημαντικό κάθε φορά ο χρόνος αναμονής μετά το πέρας κάθε πειράματος να είναι αρκετός, έτσι ώστε πριν παραχθεί ο επόμενος κυματισμός, η δεξαμενή να έχει ηρεμήσει. Τα δεδομένα και ο χρόνος μέτρησης πρέπει να είναι αρκετά έτσι ώστε να καλύπτονται οι προϋποθέσεις για να μετρηθεί σωστά η κυματομορφή.

Συγκεκριμένα, οι προϋποθέσεις ανάλυσης των δεδομένων είναι τα δεδομένα να είναι περισσότερα από 4096 και η συχνότητα μέτρησης να είναι μεγαλύτερη από $40 \cdot f_p$. Και οι δύο προϋποθέσεις τηρούνται, καθώς έχει οριστεί σε κάθε πείραμα να συλλέγονται 16384 δεδομένα, περισσότερα από 4096 και η δεύτερη συνθήκη τηρείται οριακά, αφού η συχνότητα μέτρησης έχει οριστεί 50 Hz και η συχνότητα αιχμής f_p είναι κοντά στη μονάδα, για όλους τους παραγόμενους κυματισμούς.

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

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

Μια δεύτερη επεξεργασία είναι η φασματική ανάλυση των κυματισμών χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Fourier. Αυτή η μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα να υπολογίζεται γραφικά η φασματική ενέργεια του κυματισμού (PSD) συναρτήσει της συχνότητάς του. Μέσω αυτού του γραφήματος

3. Πειραματικές Εγκαταστάσεις Ε.Λ.Ε.

υπολογίζεται το χαρακτηριστικό ύψος κύματος $H_s = 4 * \sqrt{m_0}$, όπου m_0 είναι η μηδενική ροπή του φάσματος και $m_0 = \int S(f)$, όπου $S(f)$ είναι η φασματική ενέργεια των μετρώμενων κυματισμών. Το H_s αντιστοιχεί ως μέγεθος στο $H_{1/3}$ της στατιστικής ανάλυσης (αν και δεν είναι ακριβώς ίσα) και είναι μέγεθος διαστασιολόγησης λιμενικών έργων. Άλλα αποτελέσματα της μεθόδου είναι το f_p (peak wave frequency), δηλαδή η συχνότητα που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη φασματική ενέργεια. Το T_p είναι η περίοδος που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη ενέργεια και το $T_m(s)$ η μέση φασματική περίοδος.

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

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

4.Πειραματικές Διατάξεις

4.1 Γενικά

Στη παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κυμάτων σε έξι πειραματικές διατάξεις. Προτού αρχίσουν οι μετρήσεις, κάθε μέρα, γινόταν η διαδικασία της βαθμονόμησης των μετρητών, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 2.3. Στη συνέχεια παράγονταν οι κυματισμοί, διαφορετικοί στην κάθε διάταξη, όπως παρουσιάζονται στο πρόγραμμα πειραματικών μετρήσεων (βλέπε κεφάλαιο 4.4).

Στις τρεις πρώτες ομάδες πειραμάτων, ο παραγομενος κυματισμός προσπίπτει στο μέτωπο στην ίδια μικτή διατομή με έξαλο πρανές, υπό διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης. Η ομάδα των παραγόμενων κυματισμών στις τρεις πρώτες ομάδες πειραμάτων είναι η ίδια, ωστόσο έχει διαφορετικές διευθύνσεις προσπτώσεως, όπως φαίνεται στα σχήματα 3, 4 και 5.

Στη 4^η και στη 5^η ομάδα πειραμάτων οι διατομές, οι οποίες είναι μικτές με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο, διαφέρουν μόνο στο ότι στη 4^η ο πρόβολος στο άνω τμήμα της είναι 0,8 cm (σχήμα 7), ενώ στη 5^η είναι 2,5 cm (σχήμα 9). Και στις δύο ομάδες πειραμάτων η ομάδα παραγόμενων κυματισμών είναι ακριβώς ίδιες και οι κυματισμοί προσπίπτουν κάθετα στο μέτωπο.

Στην 6^η ομάδα πειραμάτων η διατομή είναι τύπου μικτής διατομής με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο, διαφορετική από τις προηγούμενες διατομές, όπως φαίνεται στο σχήμα 10. Η ομάδα προσπίπτοντων κυματισμών είναι ίδια με τις τρεις πρώτες ομάδες, αλλά έχει διαφορετική διεύθυνση πρόσπτωσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 11. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά η γεωμετρία των διατομών καθώς και η διάταξη του κάθε πειράματος.

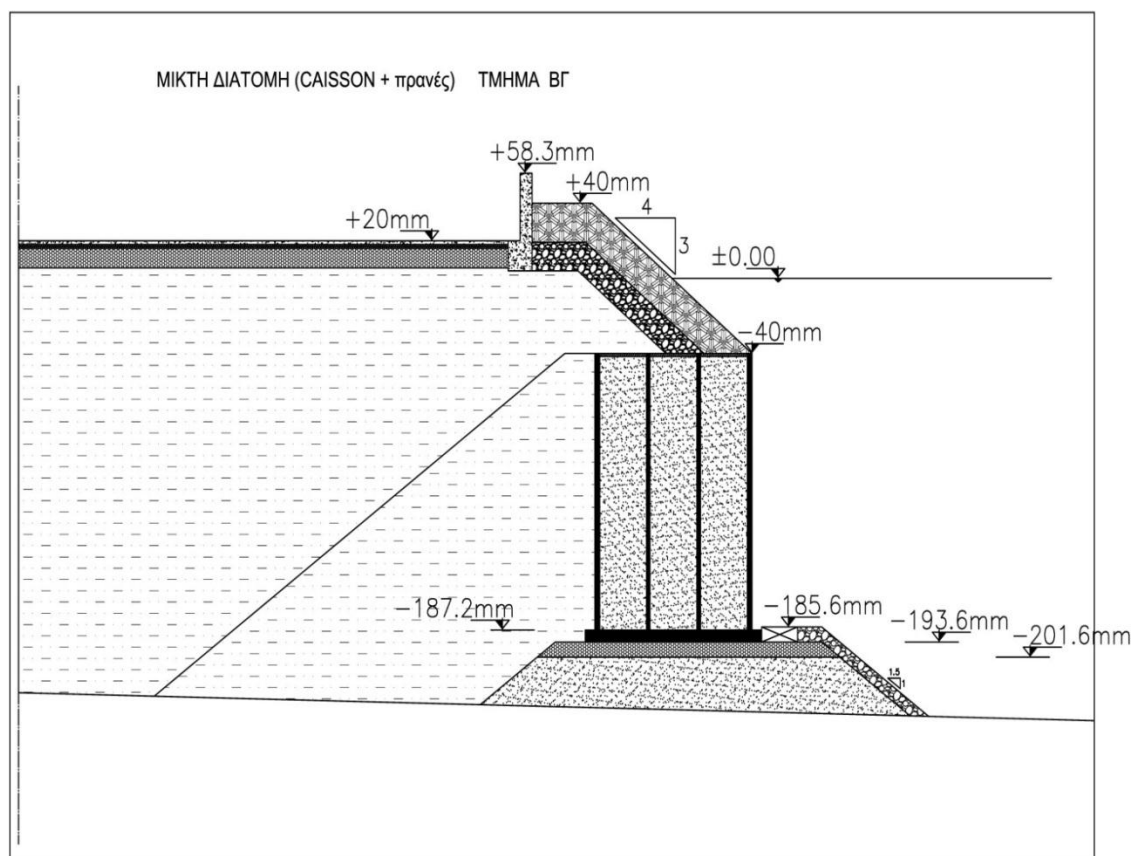
4. Πειραματικές Διατάξεις

4.2 Μικτές Διατομές με έξαλο πρανές

4.2.1 Πειραματική διάταξη 1^{ης} ομάδας πειραμάτων

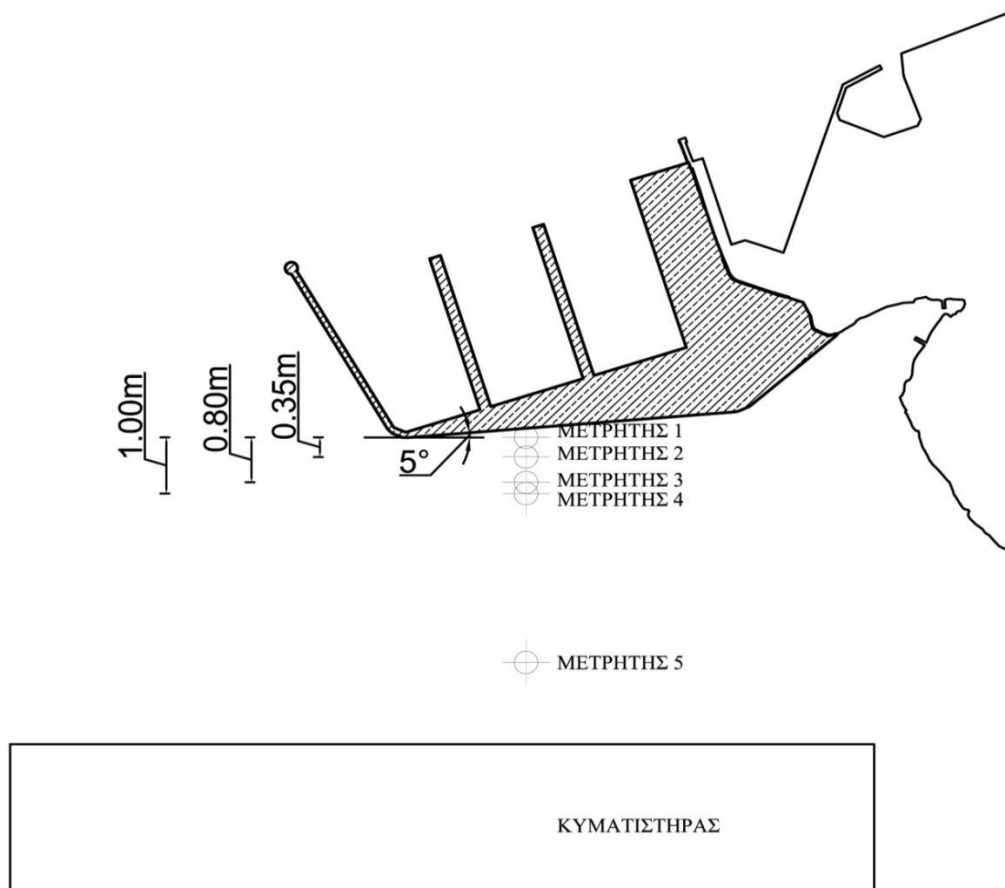
Η διατομή μελετήθηκε στη δεξαμενή Δ2, όπου κατασκευάστηκε το φυσικό προσομοίωμα της επέκτασης του επιβατικού λιμένα του Πειραιά σε κλίμακα 1:125. Η διατομή βρίσκεται στο προσήνεμο μόλο της επέκτασης. Η γωνία πρόσπτωσης των παραγόμενων κυματισμών είναι 5 μοίρες.

Η διατομή είναι μικτή και αποτελείται από τρία μέρη, όπως φαίνεται στο σχέδιο 3. Το άνω τμήμα αποτελείται από πρανές, από λίθους. Ξεκινάει από το +40mm με 4:3 κλίση και τελειώνει στο -40mm. Από εκεί ξεκινά ένα κατακόρυφο μέτωπο μέχρι το -185,6mm. Τέλος από εκεί με κλίση 1.5 προς 1 ξεκινά ένα πρανές μέχρι τα 240mm. Πέντε μετρητές έχουν τοποθετηθεί κάθετα στο κυματισμό με τον μετρητή 1 να είναι πάνω από τον πόδα της διατομής. Οι μετρητές 2, 3, 4 τοποθετήθηκαν σε απόσταση 0,35m, 0,8m και 1m, αντίστοιχα από το μετρητή 1. Ο μετρητής 5 τοποθετήθηκε στα βαθιά νερά, μακριά από τη διατομή, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.

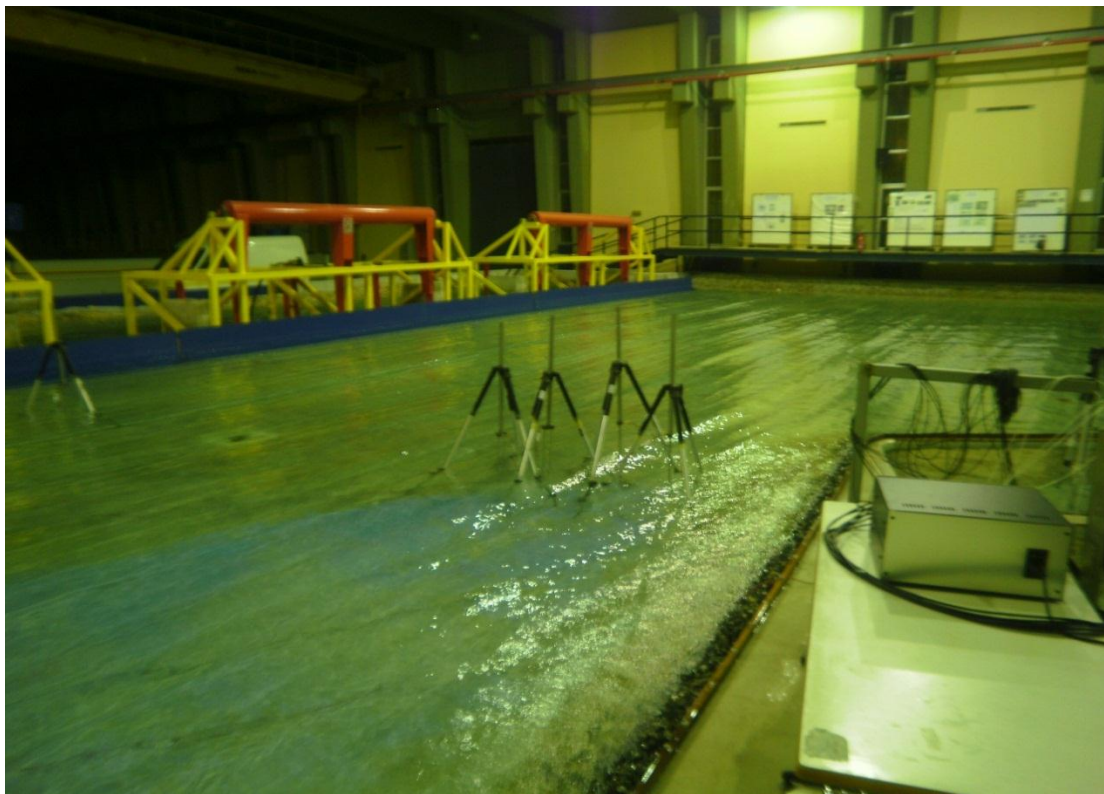


Σχήμα 3 : Διατομή 1^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις



Σχήμα 4: Κάτοψη διάταξης 1^{ης} ομάδας πειραμάτων

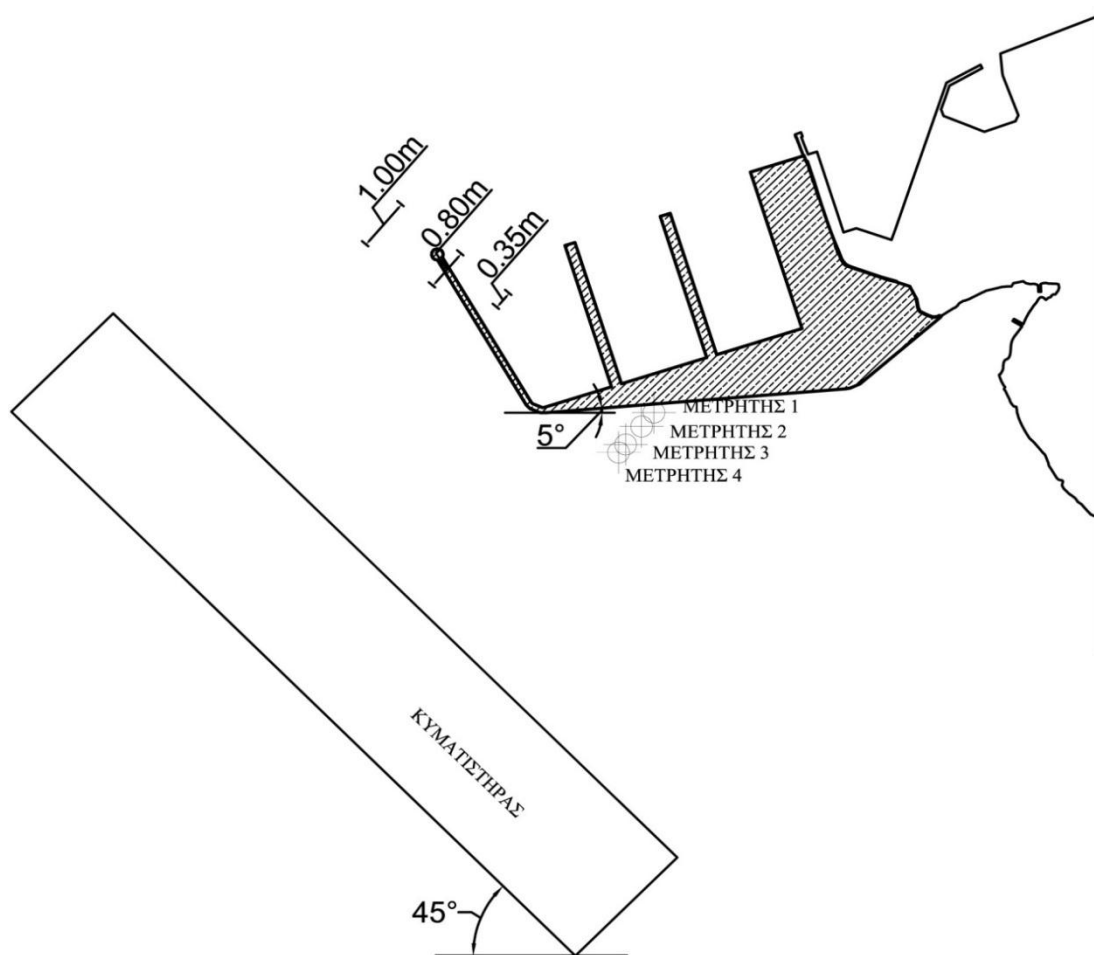


Φωτογραφία 1: Εκτέλεση 1^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις

4.2.2 Πειραματική διάταξη 2^{ης} ομάδας πειραμάτων

Η διατομή μελετήθηκε στη δεξαμενή Δ2, όπου βρίσκεται το φυσικό προσομοίωμα της επέκτασης του επιβατικού λιμένα του Πειραιά σε κλίμακα 1:125. Η γωνία πρόσπτωσης του κυματισμού στο μέτωπο είναι 50°, καθώς οι κυματιστήρες έχουν στραφεί 45° δεξιόστροφα σε σχέση με το πείραμα στη προηγούμενη διάταξη, όπως φαίνεται στο σχέδιο 5. Η διατομή είναι η ίδια με τη διατομή 1 (βλέπε σχέδιο 3). Ωστόσο χρησιμοποιήθηκαν 4 μετρητές στις θέσεις κάθετα στο κυματισμό με το μετρητή 1 να τοποθετείται πάνω από τον πόδα της διατομής. Οι μετρητές 2, 3, 4 τοποθετήθηκαν σε απόσταση 0,35m, 0,8m και 1m, αντίστοιχα από το μετρητή 1.



Σχήμα 5: Κάτοψης διάταξης 2^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις

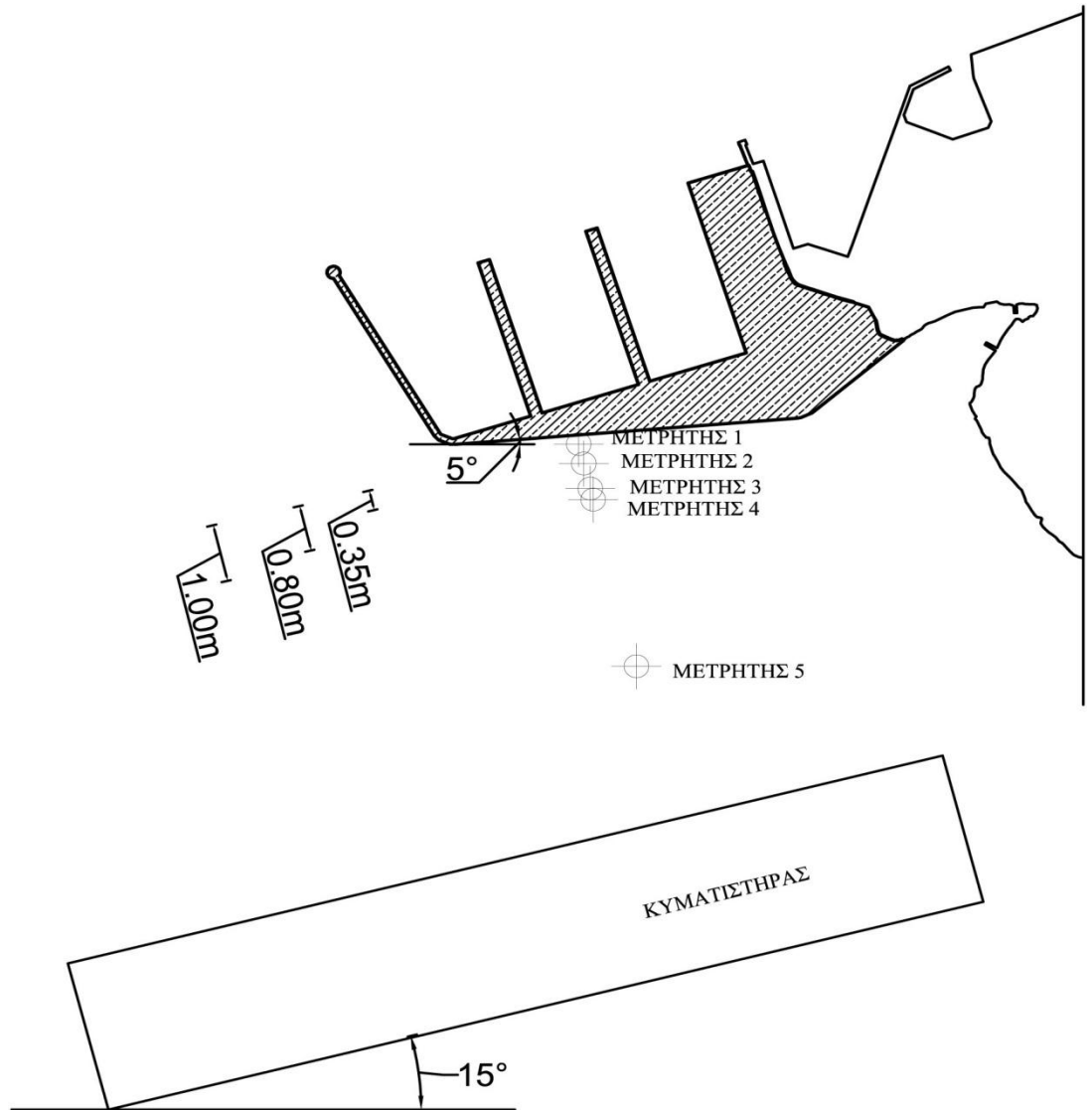


Φωτογραφία 2: Εκτέλεση 2^{ης} ομάδας πειραμάτων

4.2.3 Πειραματική διάταξη 3^{ης} ομάδας πειραμάτων

Η διατομή μελετήθηκε στη δεξαμενή Δ1, όπου βρίσκεται το φυσικό προσομοίωμα της επέκτασης του επιβατικού λιμένα του Πειραιά σε κλίμακα 1:125. Η γωνία πρόσπτωσης του κυματισμού στο μέτωπο είναι 10° , καθώς οι κυματιστήρες έχουν στραφεί 15° αριστερόστροφα σε σχέση με το πείραμα στη διατομή της πρώτης ομάδας πειραμάτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 6. Η διατομή είναι η ίδια με τη διατομή της πρώτης ομάδας πειραμάτων (βλέπε σχήμα 3). Χρησιμοποιήθηκαν 5 μετρητές και τοποθετήθηκαν στην ορθογωνική του κυματισμού. Ο μετρητής 1 είναι αυτός που βρίσκεται πάνω από το πόδα της διατομής. Οι μετρητές 2, 3, 4 τοποθετήθηκαν σε απόσταση 0,35m, 0,8m και 1m, αντίστοιχα από το μετρητή 1 και ο μετρητής 5 στα βαθιά νερά μακριά από τη διατομή.

4. Πειραματικές Διατάξεις



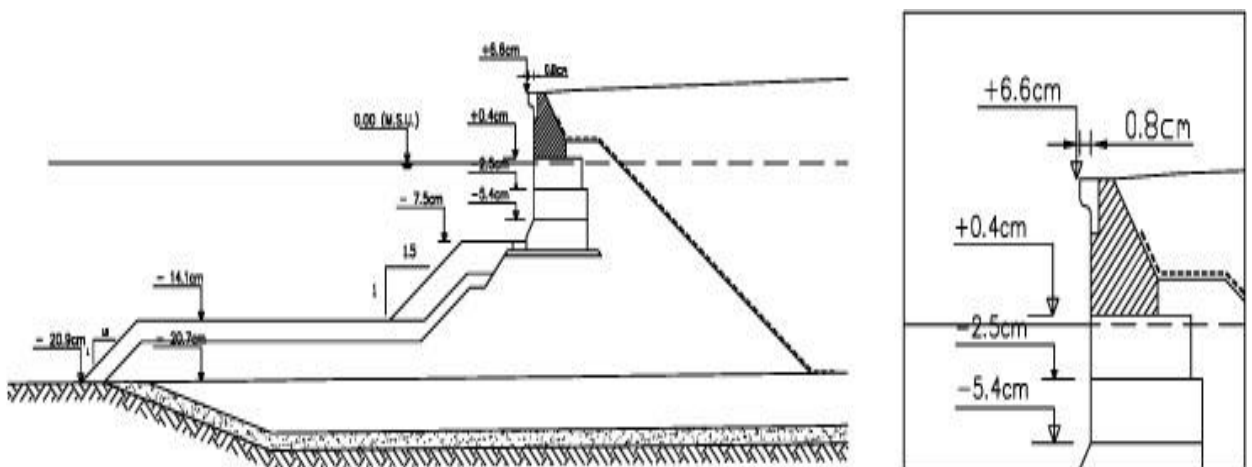
Σχήμα 6: Κάτοψη διάταξης 3^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις

4.3 Μικτές Διατομές με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο

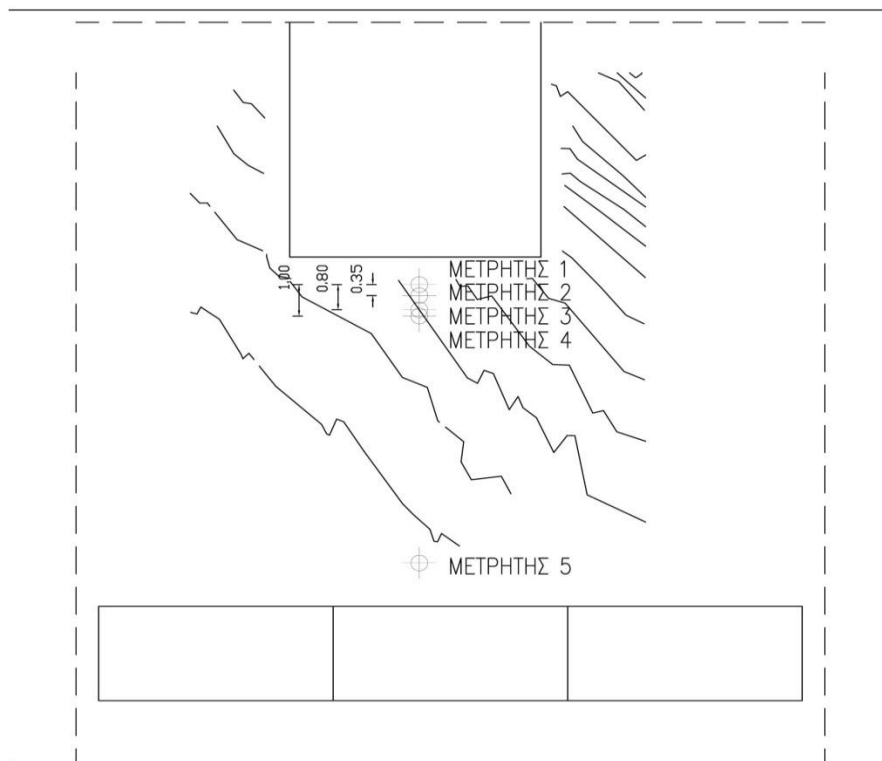
4.3.1 Πειραματική διάταξη 4^{ης} ομάδας πειραμάτων

Το φυσικό προσομοίωμα της κατασκευής του νέου αεροδιαδρόμου του αεροδρομίου Μακεδονία στη θάλασσα βρίσκεται στη δεξαμενή Δ2 και έχει κατασκευαστεί σε κλίμακα 1:60. Ο κυματισμός προσπίπτει κάθετα στο μέτωπο του έργου. Η διατομή είναι μικτή με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο και αποτελείται από τέσσερα επιμέρους τμήματα. Στο έξαλο μέρος της αποτελείται από ένα κατακόρυφο μέτωπο που ξεκινάει από στάθμη +6.6cm και φτάνει σε στάθμη -7,5cm. Το ιδιαίτερο αυτού του τμήματος είναι ο πρόβολος που προεξέχει κατά 0,8cm από το υπόλοιπο κατακόρυφο τμήμα. Από τη στάθμη -7,5cm συνεχίζει ένα πρανές με κλίση 1,5:1 μέχρι το βάθος των 14,1cm. Στη συνέχεια υπάρχει περιμετρικό ανάχωμα στον πόδα (ένα ριζόντιο τμήμα 20cm). Ύστερα η διατομή τελειώνει με ένα πρανές με κλίση 1,5 προς 1 μέχρι το βάθος των 20,9cm, όπως φαίνεται στο σχήμα 7. Για τη 4^η ομάδα πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν 5 μετρητές που τοποθετήθηκαν κάθετα στη διεύθυνση του προσπίπτοντος κυματισμού. Οι μετρητές 2, 3, 4 τοποθετήθηκαν σε απόσταση 0,35m, 0,8m και 1m, αντίστοιχα από το μετρητή 1 και ο μετρητής 5 στα βαθιά νερά μακριά από τη διατομή, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.



Σχήμα 7: Διατομή 4^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις



Σχήμα 8: Κάτοψη διάταξης 4^{ης} και 5^{ης} ομάδας πειραμάτων



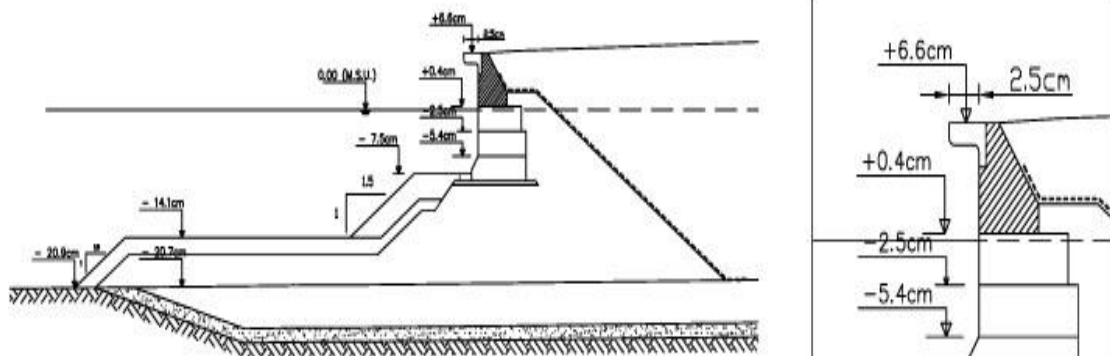
Φωτογραφία 3: Εκτέλεση 4^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις

4.3.2 Πειραματική διάταξη 5^{ης} ομάδας πειραμάτων

Το φυσικό προσομοίωμα της κατασκευής του νέου αεροδιαδρόμου στη θάλασσα βρίσκεται στη δεξαμενή Δ1 και είναι σε κλίμακα 1:60. Ο κυματισμός προσπίπτει κάθετα στο μέτωπο του έργου. Η διατομή είναι μικτή με κατακόρυφο μέτωπο στο άνω μέρος της, ίδια σε με τη διατομή της 4^{ης} ομάδας πειραμάτων με διαφορά ό,τι ο πρόβολος είναι 2,5 cm, δηλαδή τριπλάσιος σε σχέση με τη 4^η ομάδα πειραμάτων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 9. Χρησιμοποιήθηκαν 5 μετρητές που τοποθετήθηκαν πάνω στην ορθογωνική του κύματος, στις ίδιες θέσεις με τη προηγούμενη διατομή (βλέπε σχήμα 8). Χρησιμοποιήθηκαν 5 μετρητές και τοποθετήθηκαν στην ορθογωνική του κυματισμού. Ο μετρητής 1 είναι αυτός που βρίσκεται πάνω από το πόδα της διατομής. Οι μετρητές 2, 3, 4 τοποθετήθηκαν σε απόσταση 0,35m, 0,8m και 1m, αντίστοιχα από το μετρητή 1 και ο μετρητής 5 στα βαθιά νερά μακριά από τη

διατομή.



Σχήμα 9: Διατομή 5^{ης} ομάδας πειραμάτων

4.Πειραματικές Διατάξεις

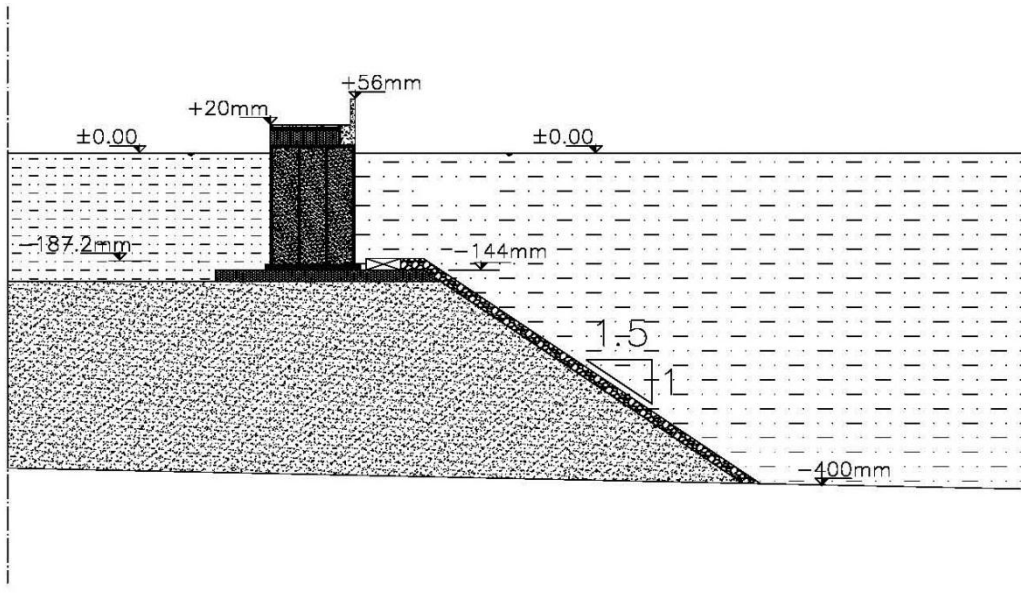


Φωτογραφία 4: Εκτέλεση 5^{ης} ομάδας πειραμάτων

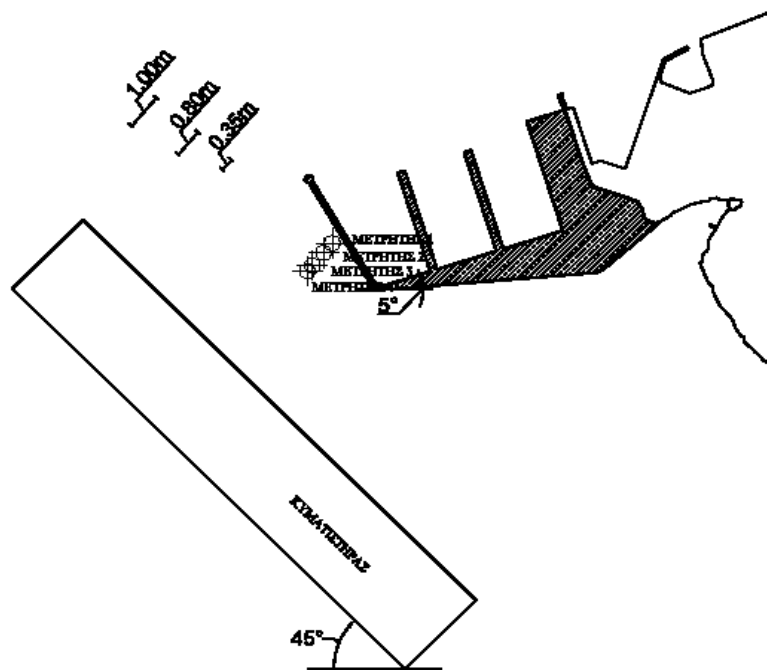
4.3.3 Πειραματική διάταξη 6^{ης} ομάδας πειραμάτων

Η διατομή ελέγχθηκε στη δεξαμενή Δ1, που βρίσκεται το φυσικό προσομοίωμα της επέκτασης του επιβατικού λιμένα του Πειραιά σε κλίμακα 1:125. Ο κυματισμός προσπίπτει υπό γωνία 5 μοιρών στο βραχίονα του φυσικού προσομοιώματος της επέκτασης του λιμένα Πειραιώς. Η διατομή είναι μικτή με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο, το οποίο ξεκινάει από τη στάθμη των +56mm και φτάνει στη στάθμη των -144mm. Η διατομή συνεχίζεται με ένα πρανές που έχει κλίση 1,5:1 μέχρι το βάθος των 400 mm, όπως φαίνεται στο σχήμα 10. Χρησιμοποιήθηκαν 5 μετρητές και τοποθετήθηκαν στην ορθογωνική του κυματισμού. Ο μετρητής 1 είναι αυτός που βρίσκεται πάνω από το πόδα της διατομής. Οι μετρητές 2, 3, 4 τοποθετήθηκαν σε απόσταση 0,35m, 0,8m και 1m, αντίστοιχα από το μετρητή 1, όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.

4. Πειραματικές Διατάξεις



Σχήμα 10: Διατομή 6^{ης} ομάδας πειραμάτων



Σχήμα 11: Κάτοψη διάταξης 6^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις



Φωτογραφία 5: Εκτέλεση 6^{ης} ομάδας πειραμάτων

4.4 Πρόγραμμα πειραματικών μετρήσεων

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
					Hs(mm)	Tp(s)
1	1η	5°	K1	1.1	9,6	0,597
2	1η	5°	K2	1.2	19,2	0,597
3	1η	5°	K3	1.3	26,88	0,597
4	1η	5°	K4	1.4	11,2	0,644
5	1η	5°	K5	1.5	22,4	0,644
6	1η	5°	K6	1.6	31,36	0,644
7	1η	5°	K7	1.7	14	0,721
8	1η	5°	K8	1.8	28	0,721
9	1η	5°	K9	1.9	39,2	0,721
10	1η	5°	K10	1.10	16	0,77
11	1η	5°	K11	1.11	32	0,77
12	1η	5°	K12	1.12	44,8	0,77
13	1η	5°	K13	1.13	18	0,817
14	1η	5°	K14	1.14	36	0,817
15	1η	5°	K15	1.15	50,4	0,817

Πρόγραμμα πειραματικών μετρήσεων 1^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
					Hs(mm)	Tp(s)
16	2η	50°	K1	2.1	9,6	0,597
17	2η	50°	K2	2.2	19,2	0,597
18	2η	50°	K3	2.3	26,88	0,597
19	2η	50°	K4	2.4	11,2	0,644
20	2η	50°	K5	2.5	22,4	0,644
21	2η	50°	K6	2.6	31,36	0,644
22	2η	50°	K7	2.7	14	0,721
23	2η	50°	K8	2.8	28	0,721
24	2η	50°	K9	2.9	39,2	0,721
25	2η	50°	K10	2.10	16	0,77
26	2η	50°	K11	2.11	32	0,77
27	2η	50°	K12	2.12	44,8	0,77
28	2η	50°	K13	2.13	18	0,817
29	2η	50°	K14	2.14	36	0,817
30	2η	50°	K15	2.15	50,4	0,817

Πρόγραμμα πειραματικών μετρήσεων 2^{ης} ομάδας πειραμάτων

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
					Hs(mm)	Tp(s)
31	3η	15°	K1	3.1	9,6	0,597
32	3η	15°	K2	3.2	19,2	0,597
33	3η	15°	K3	3.3	26,88	0,597
34	3η	15°	K4	3.4	11,2	0,644
35	3η	15°	K5	3.5	22,4	0,644
36	3η	15°	K6	3.6	31,36	0,644
37	3η	15°	K7	3.7	14	0,721
38	3η	15°	K8	3.8	28	0,721
39	3η	15°	K9	3.9	39,2	0,721
40	3η	15°	K10	3.10	16	0,77
41	3η	15°	K11	3.11	32	0,77
42	3η	15°	K12	3.12	44,8	0,77
43	3η	15°	K13	3.13	18	0,817
44	3η	15°	K14	3.14	36	0,817
45	3η	15°	K15	3.15	50,4	0,817

Πρόγραμμα πειραματικών μετρήσεων 3^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
					Hs(mm)	Tp(s)
46	4η	0°	K16	4.1	12,6	0,556
47	4η	0°	K17	4.2	16,8	0,556
48	4η	0°	K18	4.3	21	0,556
49	4η	0°	K19	4.4	25,2	0,556
50	4η	0°	K20	4.5	29,4	0,556
51	4η	0°	K21	4.6	16	0,703
52	4η	0°	K22	4.7	21,34	0,703
53	4η	0°	K23	4.8	26,67	0,703
54	4η	0°	K24	4.9	32	0,703
55	4η	0°	K25	4.10	37,34	0,703
56	4η	0°	K26	4.11	20	0,786
57	4η	0°	K27	4.12	26,66	0,786
58	4η	0°	K28	4.13	33,33	0,786
59	4η	0°	K29	4.14	40	0,786
60	4η	0°	K30	4.15	46,66	0,786
61	4η	0°	K31	4.16	25	0,879
62	4η	0°	K32	4.17	58,34	0,879
63	4η	0°	K33	4.18	41,67	0,879
64	4η	0°	K34	4.19	50	0,879
65	4η	0°	K35	4.20	58,34	0,879
66	4η	0°	K36	4.21	27	0,913
67	4η	0°	K37	4.22	36	0,913
68	4η	0°	K38	4.23	45	0,913
69	4η	0°	K39	4.24	54	0,913
70	4η	0°	K40	4.25	63	0,913

Πρόγραμμα πειραματικών μετρήσεων 4^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
					Hs(mm)	Tp(s)
71	5η	0°	K16	5.1	12,6	0,556
72	5η	0°	K17	5.2	16,8	0,556
73	5η	0°	K18	5.3	21	0,556
74	5η	0°	K19	5.4	25,2	0,556
75	5η	0°	K20	5.5	29,4	0,556
76	5η	0°	K21	5.6	16	0,703
77	5η	0°	K22	5.7	21,34	0,703
78	5η	0°	K23	5.8	26,67	0,703
79	5η	0°	K24	5.9	32	0,703
80	5η	0°	K25	5.10	37,34	0,703
81	5η	0°	K26	5.11	20	0,786
82	5η	0°	K27	5.12	26,66	0,786
83	5η	0°	K28	5.13	33,33	0,786
84	5η	0°	K29	5.14	40	0,786
85	5η	0°	K30	5.15	46,66	0,786
86	5η	0°	K31	5.16	25	0,879
87	5η	0°	K32	5.17	58,34	0,879
88	5η	0°	K33	5.18	41,67	0,879
89	5η	0°	K34	5.19	50	0,879
90	5η	0°	K35	5.20	58,34	0,879
91	5η	0°	K36	5.21	27	0,913
92	5η	0°	K37	5.22	36	0,913
93	5η	0°	K38	5.23	45	0,913
94	5η	0°	K39	5.24	54	0,913
95	5η	0°	K40	5.25	63	0,913

Πρόγραμμα πειραματικών μετρήσεων 5^{ης} ομάδας πειραμάτων

4. Πειραματικές Διατάξεις

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
					Hs(mm)	Tp(s)
96	6η	5°	K1	6.1	9,6	0,597
97	6η	5°	K2	6.2	19,2	0,597
98	6η	5°	K3	6.3	26,88	0,597
99	6η	5°	K4	6.4	11,2	0,644
100	6η	5°	K5	6.5	22,4	0,644
101	6η	5°	K6	6.6	31,36	0,644
102	6η	5°	K7	6.7	14	0,721
103	6η	5°	K8	6.8	28	0,721
104	6η	5°	K9	6.9	39,2	0,721
105	6η	5°	K10	6.10	16	0,77
106	6η	5°	K11	6.11	32	0,77
107	6η	5°	K12	6.12	44,8	0,77
108	6η	5°	K13	6.13	18	0,817
109	6η	5°	K14	6.14	36	0,817
110	6η	5°	K15	6.15	50,4	0,817

Πρόγραμμα πειραματικών μετρήσεων 6^{ης} ομάδας πειραμάτων

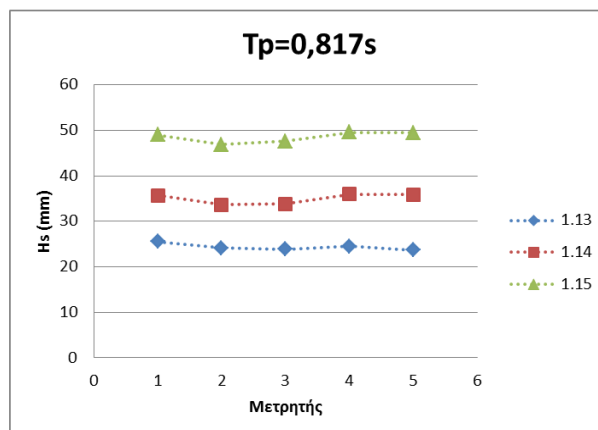
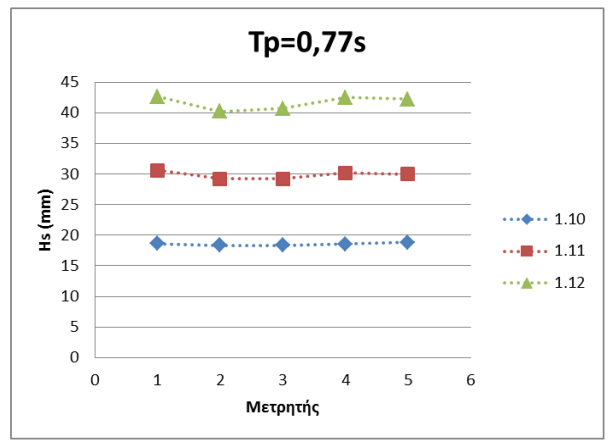
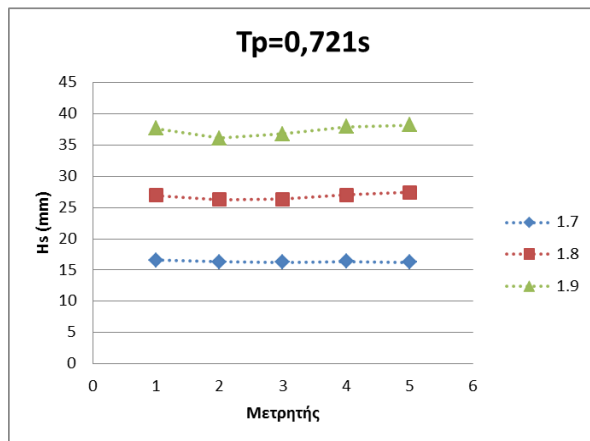
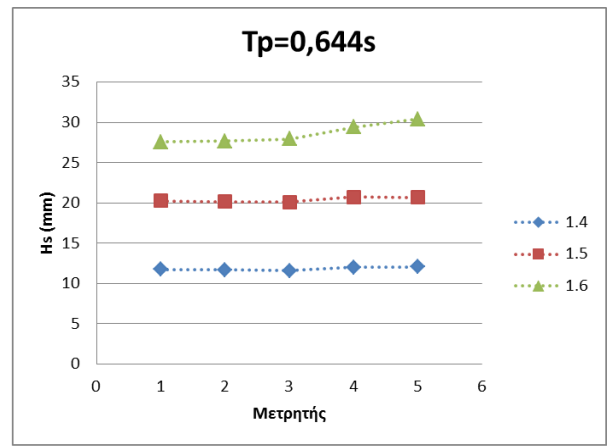
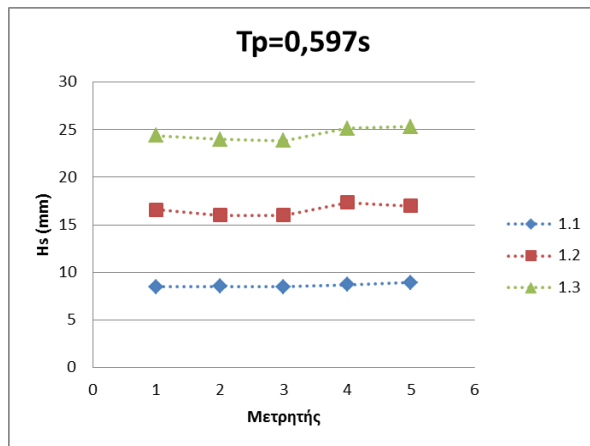
5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

5.1 Μικτές διατομές με πρανή

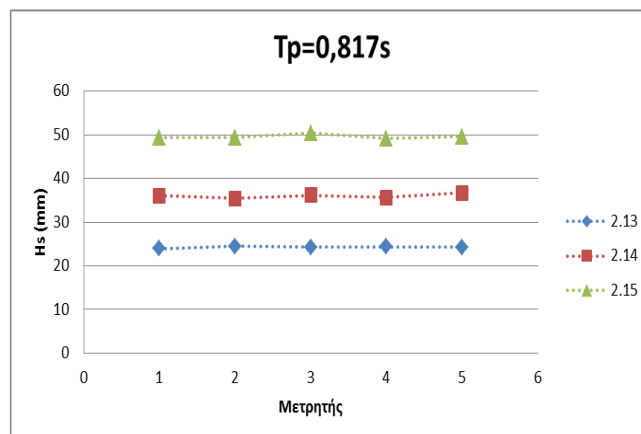
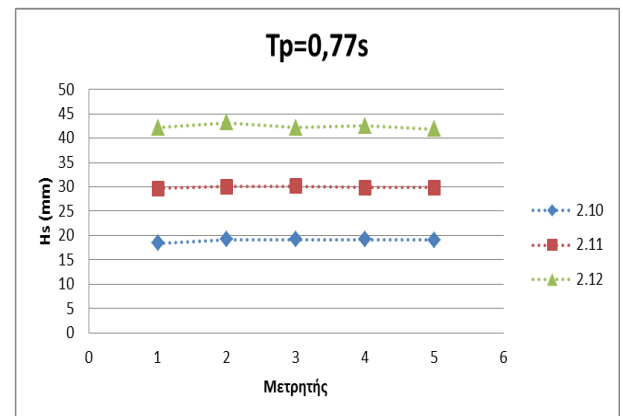
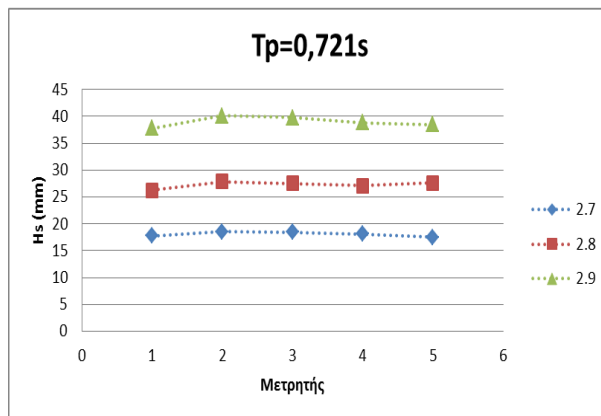
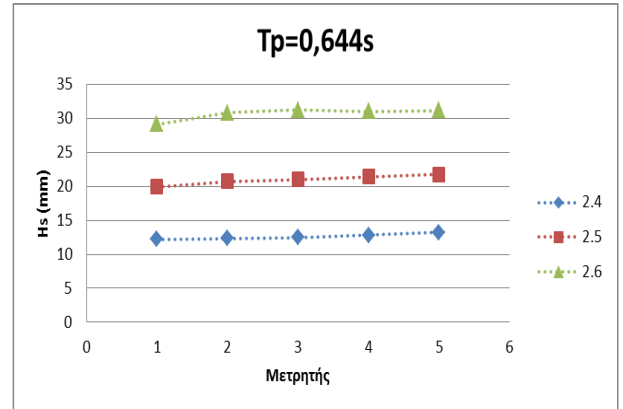
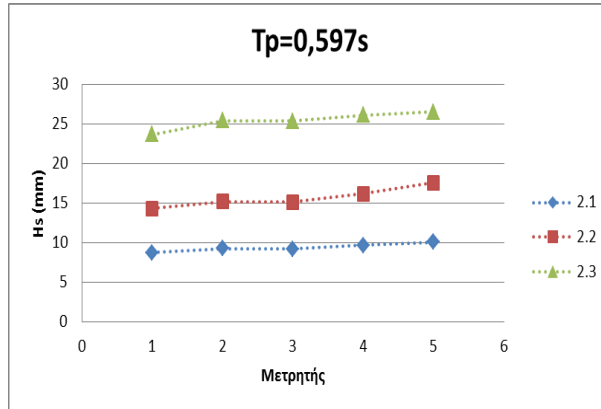
5.1.1 Γραφήματα μετρήσεων 1^{ης} ομάδας πειραμάτων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπό μορφή γραφημάτων. Στο κάθε γράφημα παρουσιάζονται τα μετρηθέντα χαρακτηριστικά ύψη κύματος. Στο παράρτημα Β φαίνονται οι μετρήσεις υπό μορφή πινάκων.



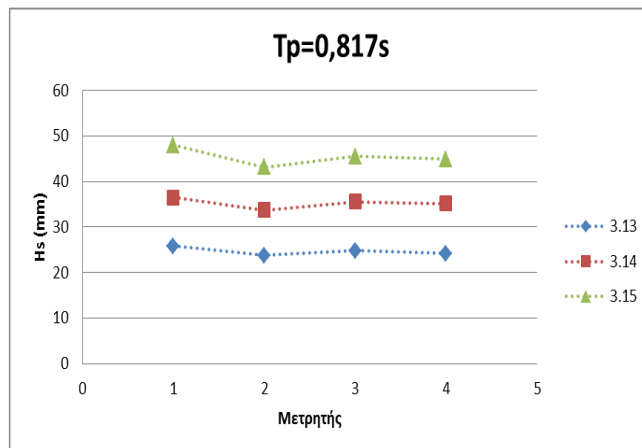
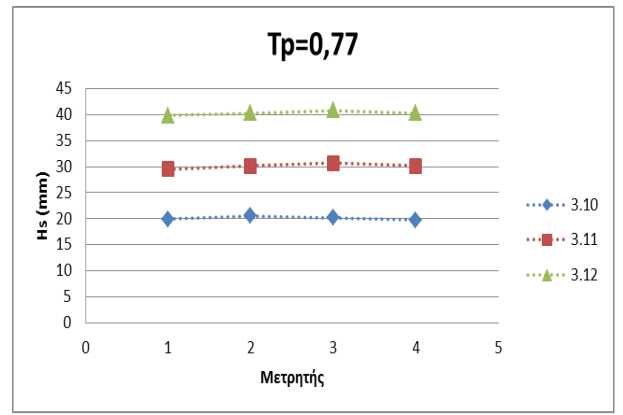
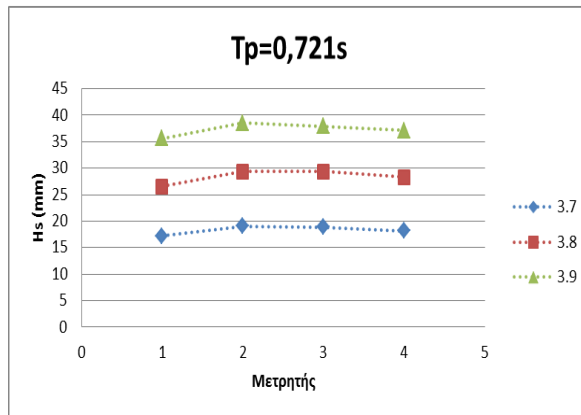
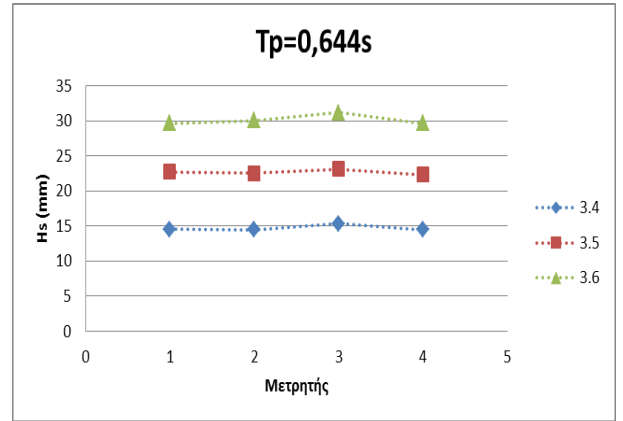
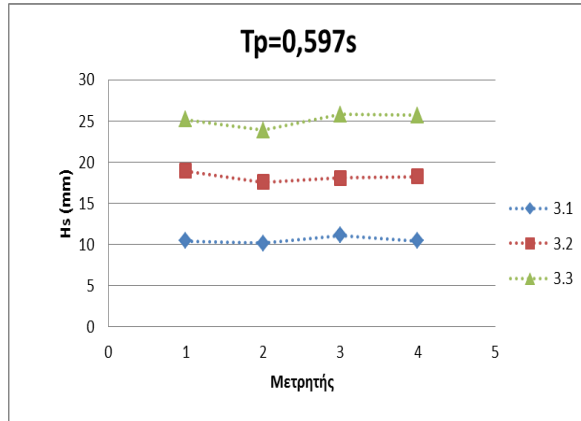
5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

5.1.2 Γραφήματα μετρήσεων 2^{ης} ομάδας πειραμάτων



5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

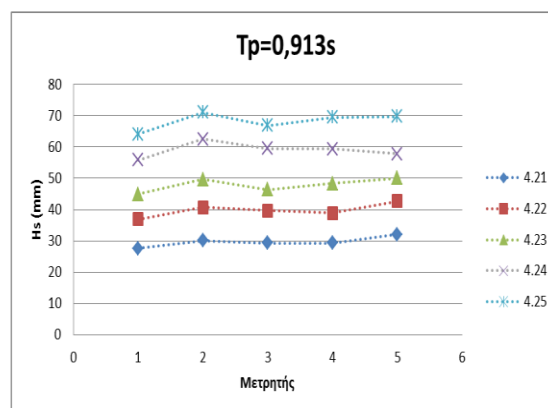
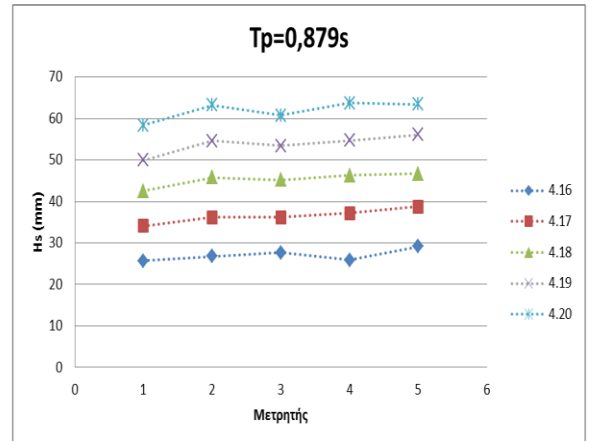
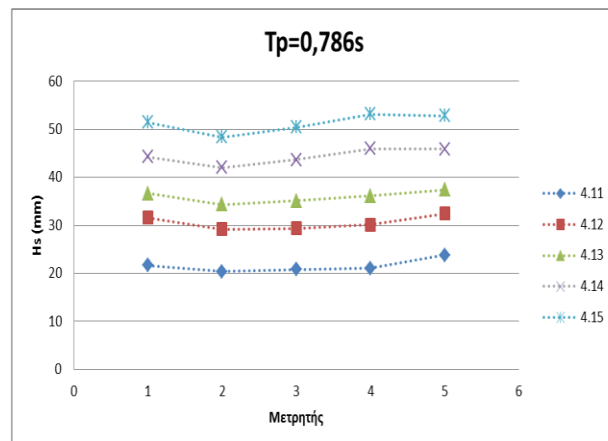
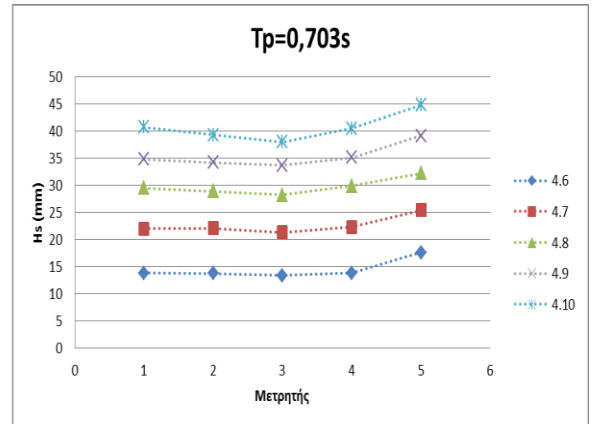
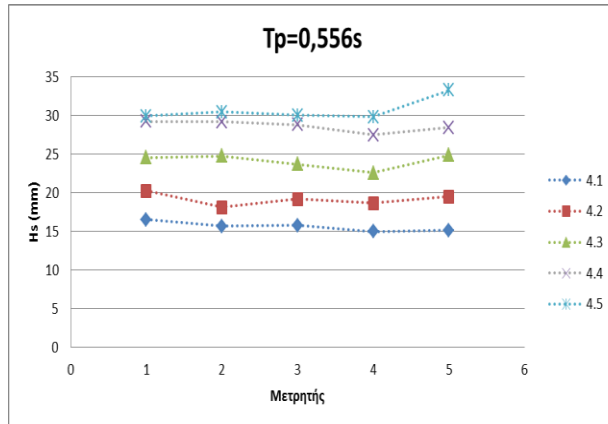
5.1.3 Γραφήματα μετρήσεων 3^{ης} ομάδας πειραμάτων



5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

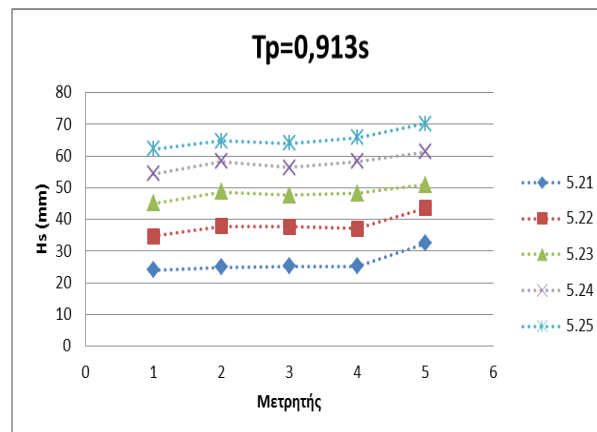
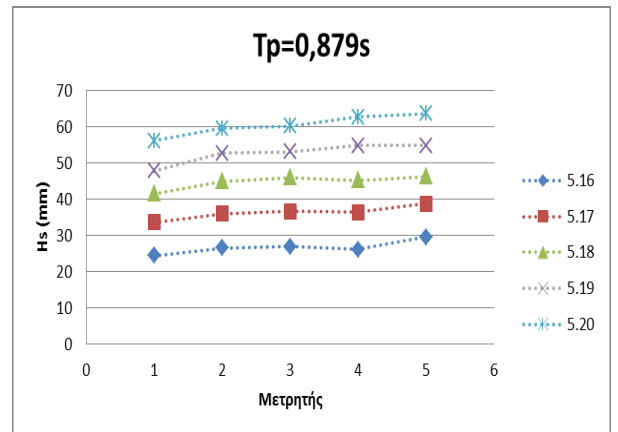
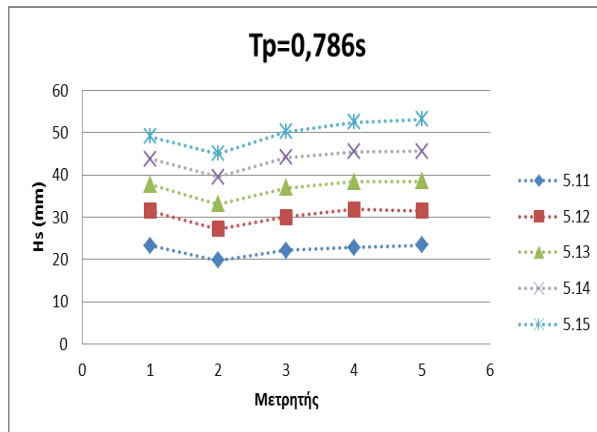
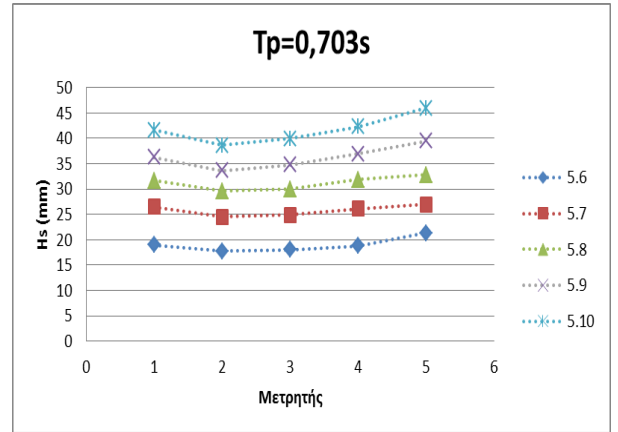
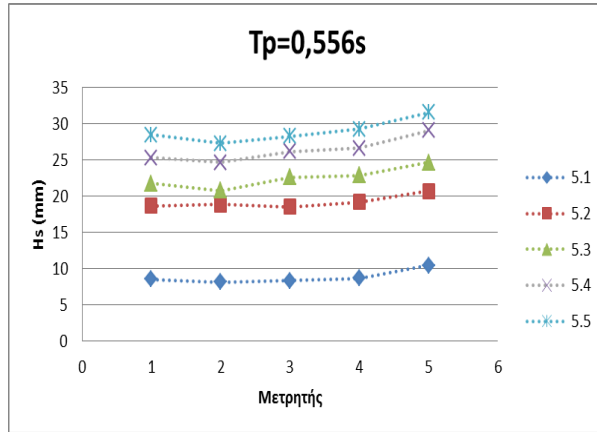
5.2 Μικτές διατομές με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο

5.2.1 Γραφήματα μετρήσεων 4^{ης} ομάδας πειραμάτων



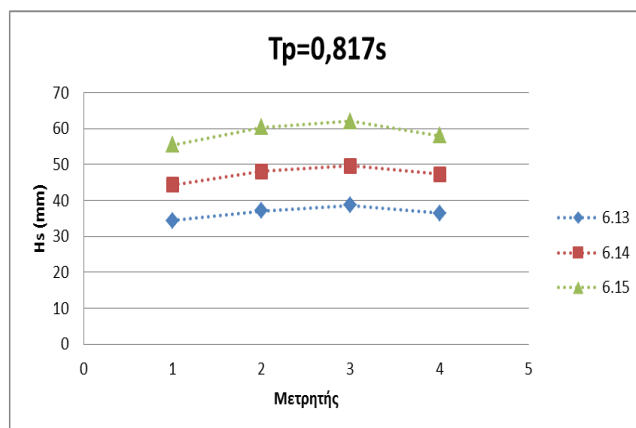
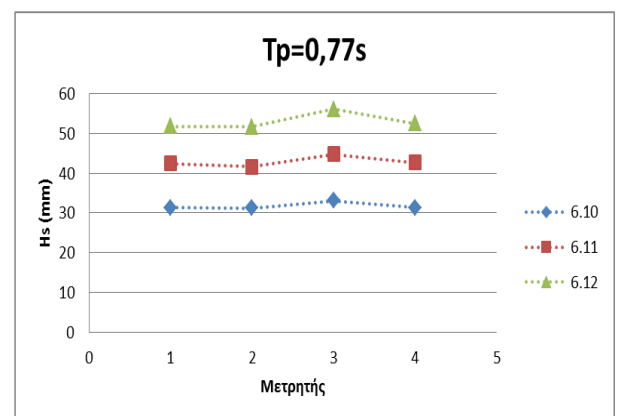
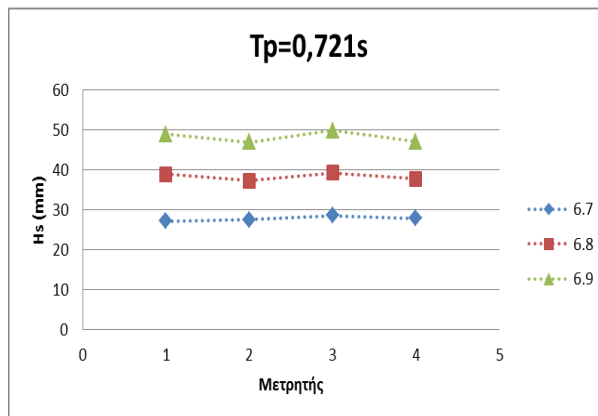
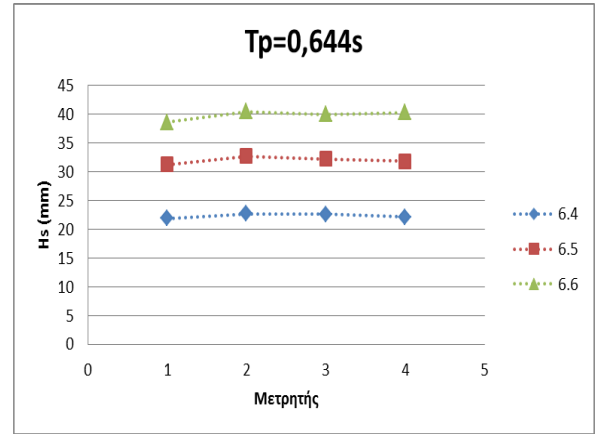
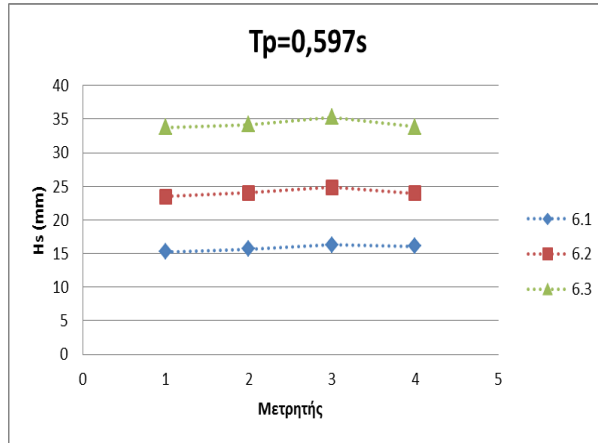
5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

5.2.2 Γραφήματα μετρήσεων 5^{ης} ομάδας πειραμάτων



5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

5.2.3 Γραφήματα μετρήσεων 6^{ης} ομάδας πειραμάτων



5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

5.3 Πίνακες αποτελεσμάτων μέσου συντελεστή ανάκλασης

Ύστερα από επεξεργασία των κυματομορφών με το πρόγραμμα HR Wavedata της εταιρίας HR Wallingford, προέκυψε ο μέσος συντελεστής ανάκλασης, με τη μέθοδο που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2.3. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πίνακες του μέσου συντελεστή ανάκλασης, για το κάθε κυματισμό της κάθε πειραματικής διάταξης.

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΣΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ Crb
1	1η	5°	K1	1.1	0,3785
2	1η	5°	K2	1.2	0,2898
3	1η	5°	K3	1.3	0,2619
4	1η	5°	K4	1.4	0,3155
5	1η	5°	K5	1.5	0,2767
6	1η	5°	K6	1.6	0,2821
7	1η	5°	K7	1.7	0,2851
8	1η	5°	K8	1.8	0,2643
9	1η	5°	K9	1.9	0,2387
10	1η	5°	K10	1.10	0,2716
11	1η	5°	K11	1.11	0,2486
12	1η	5°	K12	1.12	0,2311
13	1η	5°	K13	1.13	0,2515
14	1η	5°	K14	1.14	0,2366
15	1η	5°	K15	1.15	0,2112

Πίνακας 1: Πίνακας μέσου συντελεστή ανάκλασης 1^{ης} ομάδας πειραμάτων

5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΣΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ Crb
16	2η	50°	K1	2.1	0,27
17	2η	50°	K2	2.2	0,21
18	2η	50°	K3	2.3	0,2163
19	2η	50°	K4	2.4	0,2103
20	2η	50°	K5	2.5	0,207
21	2η	50°	K6	2.6	0,1949
22	2η	50°	K7	2.7	0,2115
23	2η	50°	K8	2.8	0,2008
24	2η	50°	K9	2.9	0,2109
25	2η	50°	K10	2.10	0,2092
26	2η	50°	K11	2.11	0,1874
27	2η	50°	K12	2.12	0,2075
28	2η	50°	K13	2.13	0,2062
29	2η	50°	K14	2.14	0,1971
30	2η	50°	K15	2.15	0,2027

Πίνακας 2: Πίνακας μέσου συντελεστή ανάκλασης 2^{ης} ομάδας πειραμάτων

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΣΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ Crb
31	3η	15°	K1	3.1	0,4567
32	3η	15°	K2	3.2	0,4112
33	3η	15°	K3	3.3	0,3814
34	3η	15°	K4	3.4	0,3999
35	3η	15°	K5	3.5	0,3828
36	3η	15°	K6	3.6	0,3798
37	3η	15°	K7	3.7	0,3571
38	3η	15°	K8	3.8	0,3376
39	3η	15°	K9	3.9	0,3371
40	3η	15°	K10	3.10	0,3374
41	3η	15°	K11	3.11	0,3492
42	3η	15°	K12	3.12	0,3493
43	3η	15°	K13	3.13	0,3363
44	3η	15°	K14	3.14	0,3547
45	3η	15°	K15	3.15	0,35

Πίνακας 3: Πίνακας μέσου συντελεστή ανάκλασης 3^{ης} ομάδας πειραμάτων

5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΣΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ Crb
46	4η	0°	K16	4.1	0,7581
47	4η	0°	K17	4.2	0,755
48	4η	0°	K18	4.3	0,7641
49	4η	0°	K19	4.4	0,7203
50	4η	0°	K20	4.5	0,739
51	4η	0°	K21	4.6	0,8577
52	4η	0°	K22	4.7	0,7631
53	4η	0°	K23	4.8	0,7828
54	4η	0°	K24	4.9	0,7703
55	4η	0°	K25	4.10	0,7832
56	4η	0°	K26	4.11	0,7972
57	4η	0°	K27	4.12	0,7735
58	4η	0°	K28	4.13	0,7617
59	4η	0°	K29	4.14	0,8092
60	4η	0°	K30	4.15	0,7777
61	4η	0°	K31	4.16	0,8064
62	4η	0°	K32	4.17	0,8077
63	4η	0°	K33	4.18	0,7935
64	4η	0°	K34	4.19	0,8223
65	4η	0°	K35	4.20	0,7958
66	4η	0°	K36	4.21	0,8154
67	4η	0°	K37	4.22	0,7958
68	4η	0°	K38	4.23	0,8046
69	4η	0°	K39	4.24	0,8058
70	4η	0°	K40	4.25	0,7392

Πίνακας 4: Πίνακας μέσου συντελεστή ανάκλασης 4^{ης} ομάδας πειραμάτων

5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΣΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ Crb
71	5η	0°	K16	5.1	0,8273
72	5η	0°	K17	5.2	0,8286
73	5η	0°	K18	5.3	0,8086
74	5η	0°	K19	5.4	0,8255
75	5η	0°	K20	5.5	0,7996
76	5η	0°	K21	5.6	0,8146
77	5η	0°	K22	5.7	0,788
78	5η	0°	K23	5.8	0,7983
79	5η	0°	K24	5.9	0,8028
80	5η	0°	K25	5.10	0,8153
81	5η	0°	K26	5.11	0,8274
82	5η	0°	K27	5.12	0,7933
83	5η	0°	K28	5.13	0,792
84	5η	0°	K29	5.14	0,821
85	5η	0°	K30	5.15	0,7961
86	5η	0°	K31	5.16	0,8491
87	5η	0°	K32	5.17	0,8174
88	5η	0°	K33	5.18	0,7964
89	5η	0°	K34	5.19	0,8047
90	5η	0°	K35	5.20	0,7441
91	5η	0°	K36	5.21	0,8289
92	5η	0°	K37	5.22	0,8073
93	5η	0°	K38	5.23	0,7775
94	5η	0°	K39	5.24	0,7715
95	5η	0°	K40	5.25	0,7499

Πίνακας 5: Πίνακας μέσου συντελεστή ανάκλασης 5^{ης} ομάδας πειραμάτων

5.Αποτελέσματα Μετρήσεων

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΦΑΣΜΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΣΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ Crb
96	6η	5°	K1	6.1	0,8025
97	6η	5°	K2	6.2	0,8146
98	6η	5°	K3	6.3	0,8682
99	6η	5°	K4	6.4	0,8672
100	6η	5°	K5	6.5	0,8812
101	6η	5°	K6	6.6	0,8735
102	6η	5°	K7	6.7	0,8384
103	6η	5°	K8	6.8	0,8563
104	6η	5°	K9	6.9	0,8639
105	6η	5°	K10	6.10	0,8362
106	6η	5°	K11	6.11	0,8386
107	6η	5°	K12	6.12	0,8361
108	6η	5°	K13	6.13	0,8349
109	6η	5°	K14	6.14	0,8246
110	6η	5°	K15	6.15	0,8362

Πίνακας 6: Πίνακας μέσου συντελεστή ανάκλασης 6^{ης} ομάδας πειραμάτων

6. Επεξεργασία Μετρήσεων

6.1 Μικτή διατομή με έξαλο πρανές για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης

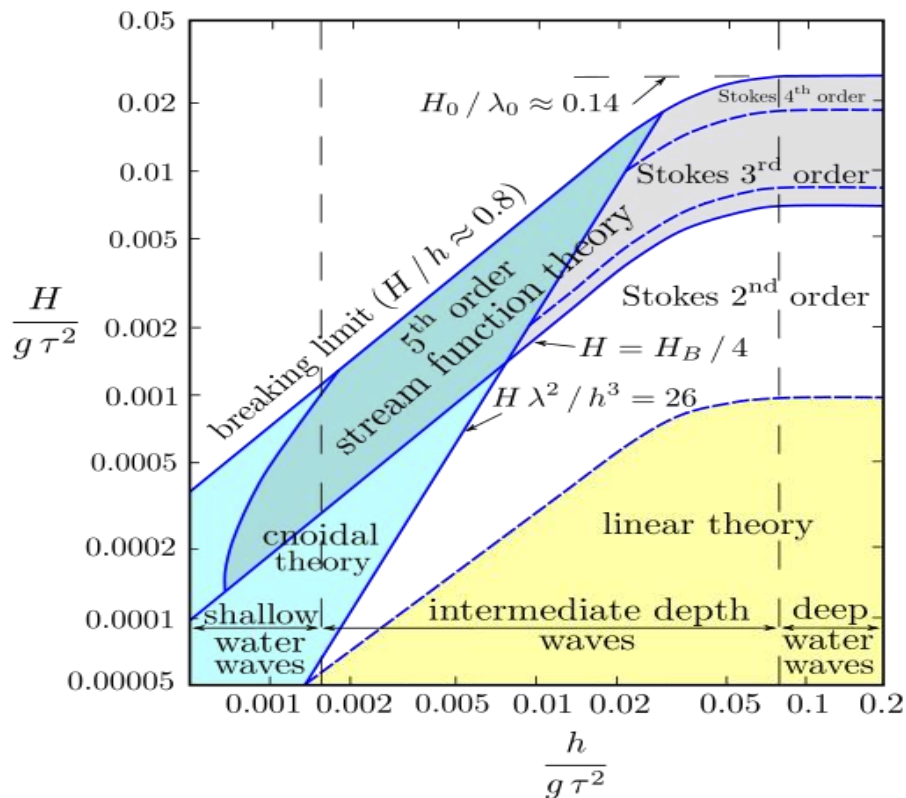
Στη επεξεργασία των μετρήσεων για τις μικτές διατομές με πρανή (ομάδες πειραμάτων 1, 2, 3) παρουσιάζονται τα διαγράμματα συσχετίζοντας το συντελεστή ανάκλασης με:

- το λόγο του βάθους στο πόδα της διατομής προς το μήκος κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού (h/L_0)
- τη καμπυλότητα 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 $\xi = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H_s}{L}}}$
- αδιάστατη παράμετρο $\chi = \frac{f_p}{\tan\alpha} * \sqrt{\left(\frac{d}{g}\right)}$,

όπως προτείνεται από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Στο πεδίο εφαρμογής των διαφόρων θεωριών κύματος κατά Le Mehaute προτείνονται διάφορες θεωρίες κυματισμών ανάλογα με τις παραμέτρους, που φαίνονται στο σχήμα 7. Στη μικτή διατομή με έξαλο πρανές των πειραμάτων έχει εύρος τιμών $0.1 > \frac{h}{g*T^2} > 0.06$ και $0.01 > \frac{H}{g*T^2} > 0.002$ Οπότε στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η θεωρία Stokes 2^{ης} τάξεως.

6.Επεξεργασία Μετρήσεων



Σχήμα 7: Πεδίο εφαρμογής των διαφόρων θεωριών κύματος κατά Le Mehaute (1976)

Επομένως το μήκος κύματος είναι ίσο με

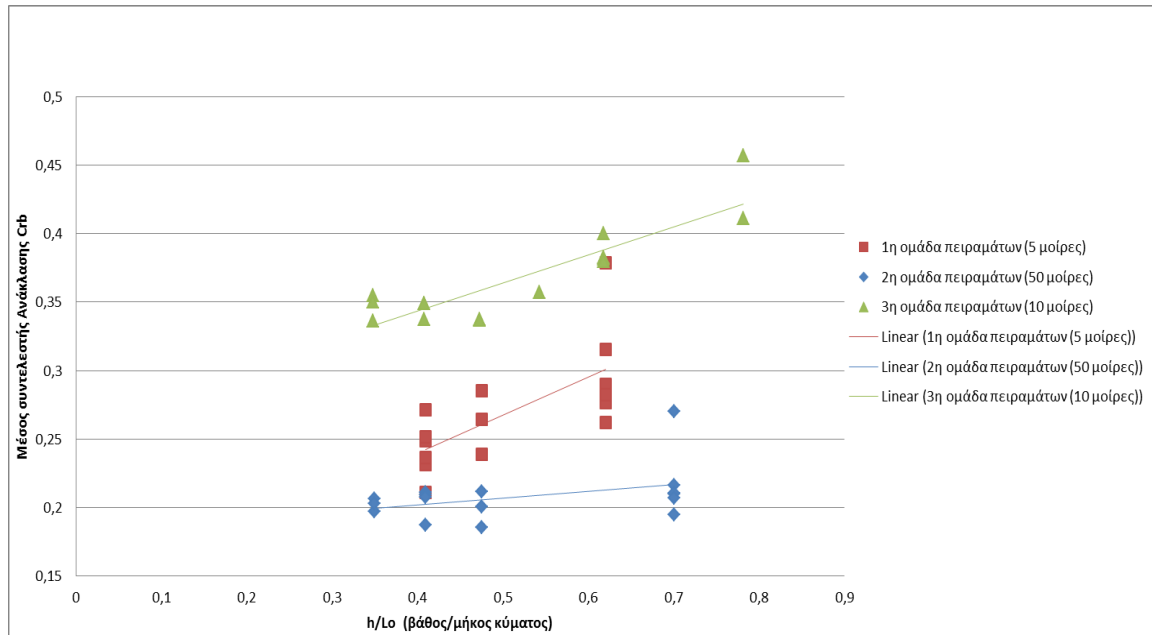
$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} * \tanh \left(2 * \pi * \frac{h}{L} \right)$$

Σε αυτά τα πειράματα το σχετικό βάθος h/L είναι μεγαλύτερο από 0.3. Οπότε βρισκόμαστε κυρίως στη περιοχή των βαθιών νερών ($h/L > 0.5$) και των ενδιάμεσων νερών για $0.5 > h/L > 0.3$. Για τη περιοχή των βαθιών νερών απλοποιείται η υπερβολική εφαπτομένη τείνει ασυμπτωτικά στο 1 για τιμές κοντά στο 0.5. Επομένως

$$L_o = g * \frac{T^2}{2 \cdot \pi}$$

Η σχετική διερεύνηση για τις μικρότερες τιμές του λόγου h/L έως 0.3 έδειξε ότι το σφάλμα του μήκους κύματος είναι μικρότερο του 1% που είναι ανεκτό.

6.Επεξεργασία Μετρήσεων



Γράφημα 1: Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς το σχετικό βάθος (βάθος προς μήκος κύματος)

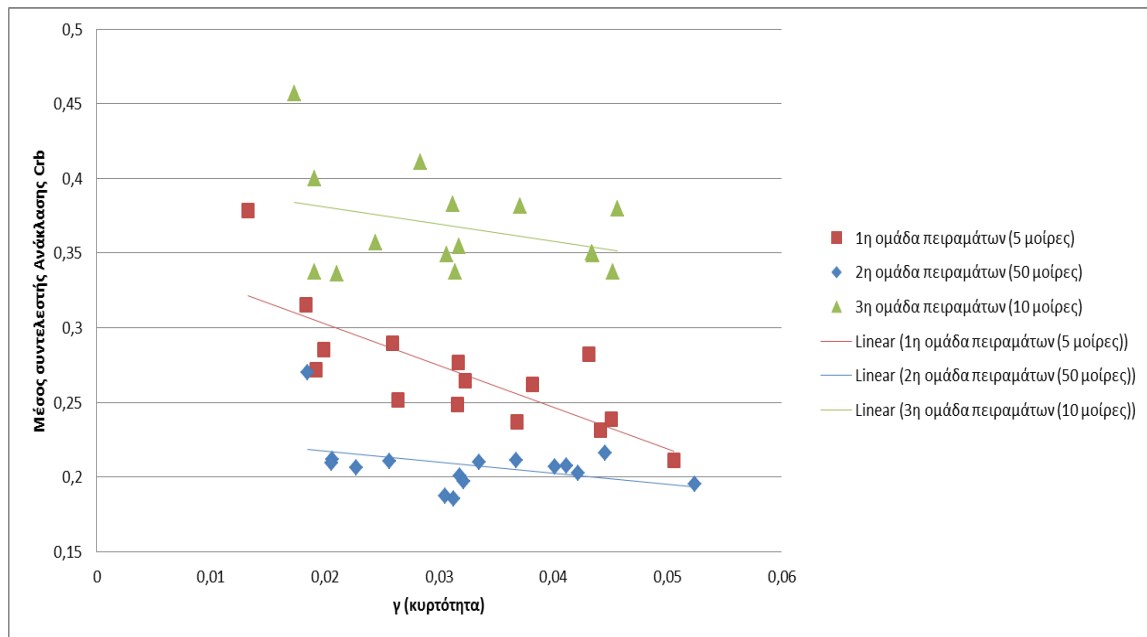
Στο γράφημα 1 παρατηρείται ότι η αύξηση του λόγου του βάθους προς του μήκους κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού, οδηγεί και στην αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Το h είναι το βάθος του νερού σε mm το οποίο μένει σταθερό και στα 3 πειράματα. Οπότε η μείωση του μήκους κύματος σε κάθε διάταξη συνεπάγεται και αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Επίσης φαίνεται στο γράφημα ότι όσο μικρότερη γωνία πρόσπτωσης έχει η διάταξη, τόσο μεγαλύτερη κλίση έχει η ευθεία. Δηλαδή ο συντελεστής ανάκλασης μεταβάλλεται πιο πολύ συναρτήσει του λόγου αυτού, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρή.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία και ποσοτικά με τη σχέση που διατύπωσαν οι Barbara Zannutigh και Thomas Lykke Andersen (2010) $C_r(\beta) = C_r(\beta = 0^\circ) * \cos\beta$.

Ποιοτικά, δηλαδή όσο αυξάνεται η γωνία πρόσπτωσης θα έπρεπε να μειώνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης. Η 1^η ομάδα πειραμάτων έχει μικρότερη γωνία πρόσπτωσης από τη 2^η, και για αυτό η 2^η έχει και μικρότερο εν γένει μέσο συντελεστή ανάκλασης. Αυτό δεν ικανοποιείται από τη 3^η ομάδα που φέρεται να έχει μεγαλύτερο μέσο συντελεστή ανάκλασης από τη 1^η

6.Επεξεργασία Μετρήσεων

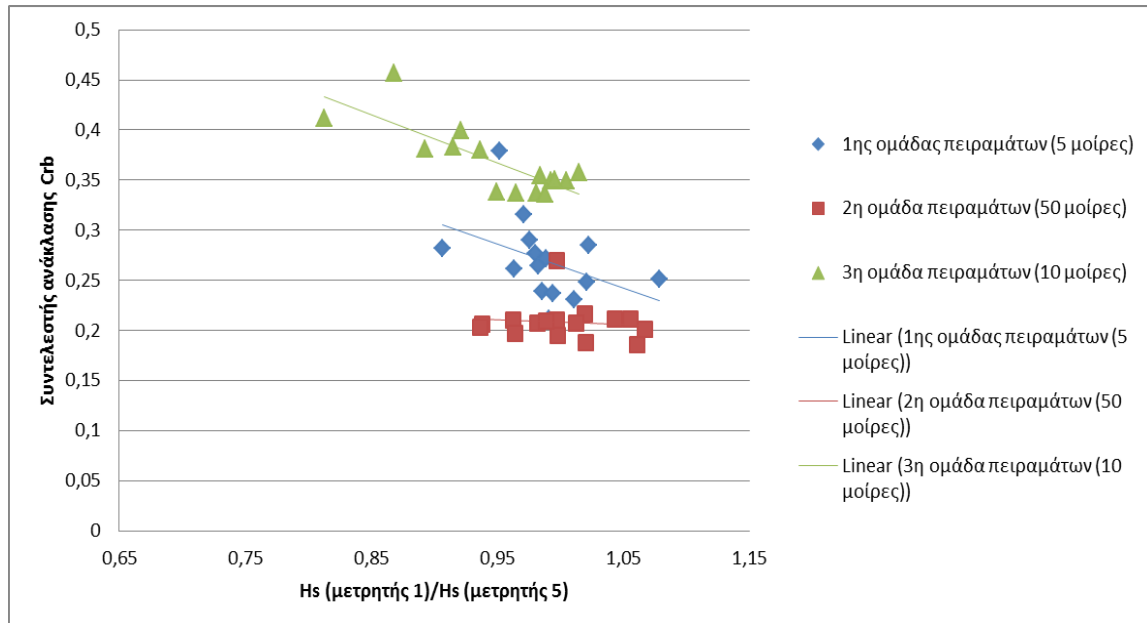
ομάδα. Αυτό συμβαίνει διότι στη διάταξη της 3^{ης} ομάδας πειραμάτων η γωνία πρόσπτωσης είναι άλλης φοράς και λόγω του ό,τι είναι πιο πυκνές οι βυθομετρικές καμπύλες σε εκείνη τη διεύθυνση, εμφανίζεται πιο έντονα το φαινόμενο της ρήχωσης, και επηρεάζει το μέσο συντελεστή ανάκλασης.



Γράφημα 2: Μέσος συντελεστής ανάκλασης σε ως προς τη καμπυλότητα του κυματισμού

Η καμπυλότητα γ του κυματισμού είναι ίση με το χαρακτηριστικό ύψος κυματισμού προς το μήκος κύματος. Στο γράφημα 2 διαπιστώνεται ό,τι με την αύξηση της καμπυλότητας του προσπίπτοντος κυματισμού στον πόδα της διατομής, μειώνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης. Επίσης παρατηρείται ότι στις διατάξεις με τις μεγαλύτερες γωνίες πρόσπτωσης ο συντελεστής ανάκλασης μειώνεται με μικρότερο ρυθμό, όσο αυξάνεται η καμπυλότητα.

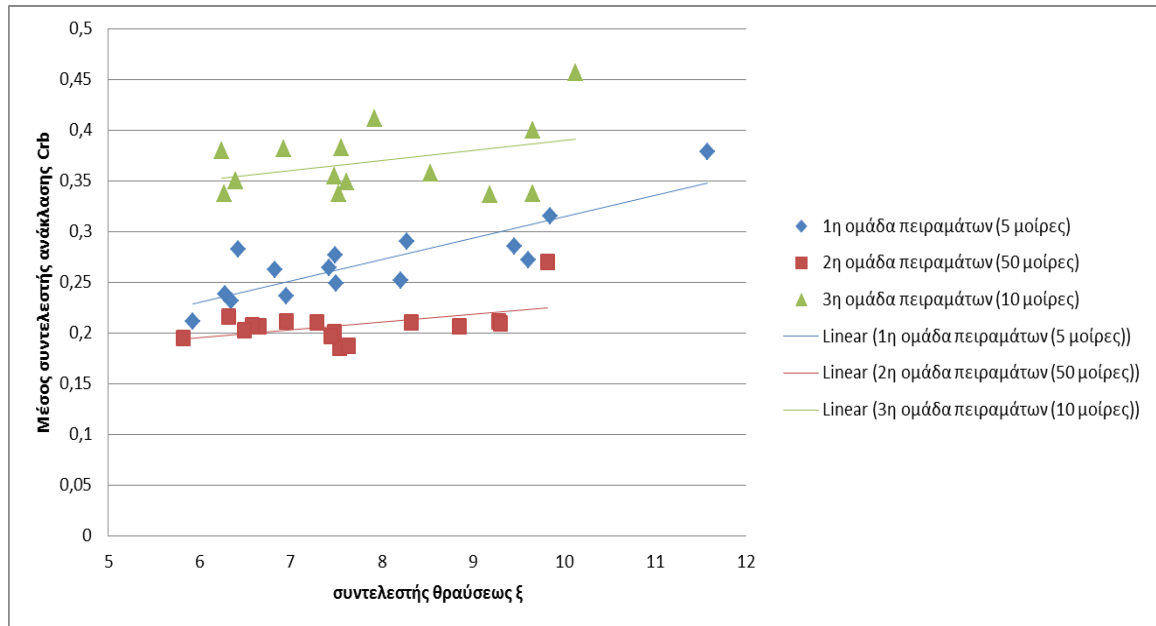
6.Επεξεργασία Μετρήσεων



Γράφημα 3: Μέσος συντελεστής ανάκλασης ω προς 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 στο γράφημα 3, με την αύξηση του λόγου των υψών, ο μέσος συντελεστής ανάκλασης μειώνεται. Οπότε διαπιστώνεται ότι ο συντελεστής ανάκλασης μειώνεται, όσο αυξάνεται ο λόγος του προσπίπτοντος προς τον παραγόμενο κυματισμό. Ωστόσο αυτό το συμπέρασμα χρήζει περαιτέρω έρευνας, μακριά από τη διατομή ο κυματισμός δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως, αφού μόλις έχει παραχθεί.

6.Επεξεργασία Μετρήσεων



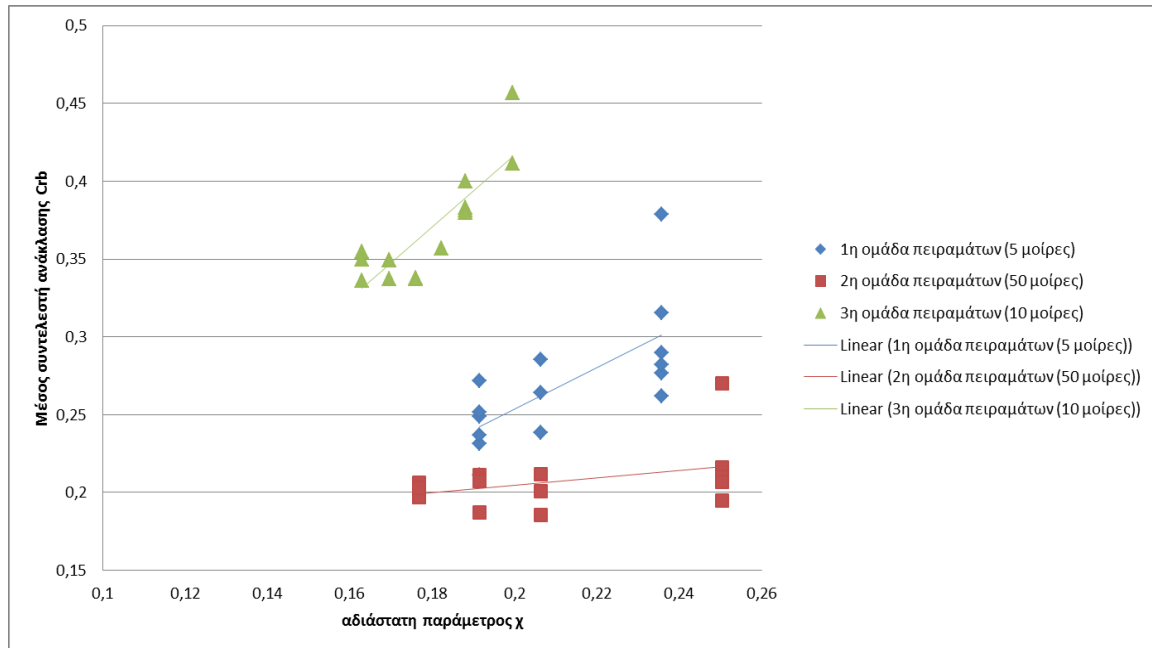
Γράφημα 4: Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς το συντελεστή θραύσεως

Ο συντελεστής θραύσεως $\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\left(\frac{Hs}{Lo}\right)}}$. Η γωνία α είναι η κλίση της διατομής

και η εφαπτομένη του α είναι ίση με 4:3 και στις 3 διατάξεις (βλέπε σχήμα 3).

Στο γράφημα 4 παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο συντελεστής θραύσεως ξ , αυξάνεται και ο μέσος συντελεστής ανάκλασης.

6.Επεξεργασία Μετρήσεων



Γράφημα 5: Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς χ

Στο γράφημα 5 παρατηρείται ότι όταν αυξάνεται η αδιάστατη παράμετρος χ, αυξάνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης. Ωστόσο φαίνεται ότι το χ δεν αποτελεί καλή αδιάστατη παράμετρο για να συσχετισθεί με το συντελεστή ανάκλασης παρά μόνο μόνο για σχετικά κοντινά ύψη κύματος, καθώς υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων. Οι James Sunderland και Tom O Donogue 1998 αποδεικνύουν ότι η αδιάστατη παράμετρος χ δεν αποτελεί καλή παράμετρο για τη συσχέτιση της με το συντελεστή ανάκλασης παρά μόνο για σχετικά κοντινά ύψη κύματος επειδή εξαρτάται έμμεσα από το ύψος.

6.2 Μικτές διατομές με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο

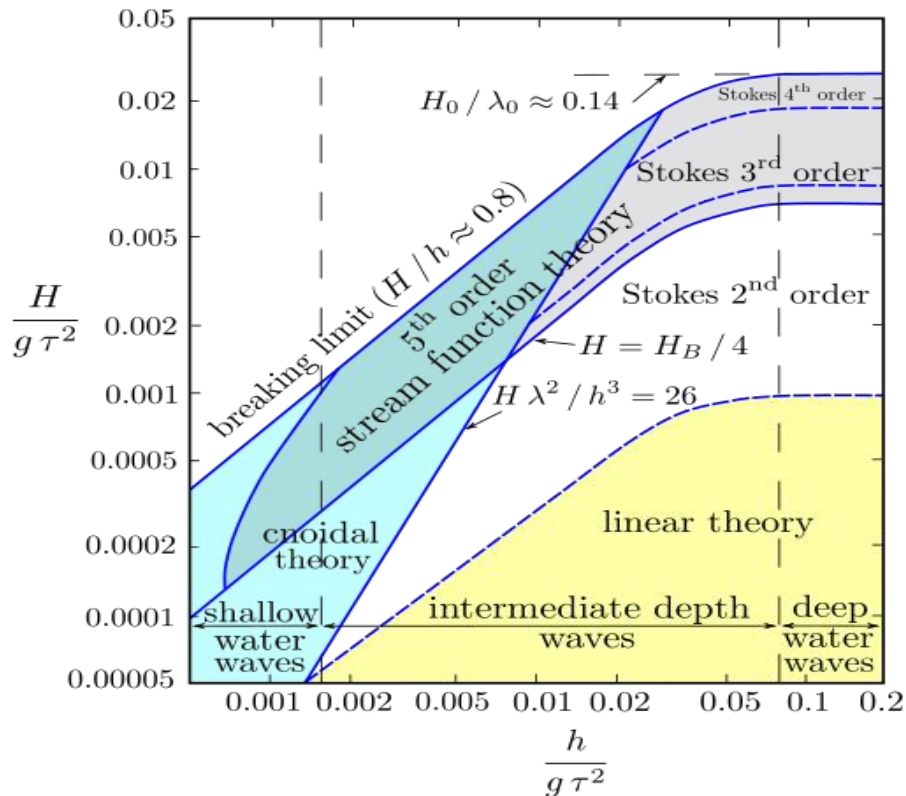
Στο κεφάλαιο της επεξεργασίας των μετρήσεων για τις μικτές διατομές με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο, παρουσιάζονται τα διαγράμματα τα οποία συσχετίζουν το συντελεστή ανάκλασης

- με το λόγο του βάθους στο πόδα προς το μήκος κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού (h/L)

6.Επεξεργασία Μετρήσεων

- την καμπυλότητα του 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})

Χρησιμοποιείται η θεωρία Stokes 2^{ης} τάξεως καθώς στο πεδίο εφαρμογής των διαφόρων θεωριών κύματος κατά Le Mehaute στη μικτή διατομή με πρηνή της 4^{ης} και 5^{ης} ομάδας πειραμάτων το εύρος τιμών $0.06 > \frac{h}{g*T^2} > 0.01$ και $0.01 > \frac{H}{g*T^2} > 0.002$.



Σχήμα 8: Πεδίο εφαρμογής των διαφόρων θεωριών κύματος κατά Le Mehaute (1976)

Επομένως το μήκος κύματος είναι ίσο με

$$L = \frac{g*T^2}{2*\pi} * \tanh\left(2 * \pi * \frac{h}{L}\right)$$

6.Επεξεργασία Μετρήσεων

και η σχέση που προκύπτει είναι μη γραμμική. Σε κάθε περίπτωση το μήκος κύματος υπολογίστηκε με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος MATLAB.

Η διαφορά μεταξύ του πειράματος της 4^{ης} και της 5^{ης} ομάδας είναι ότι στη 5^η ομάδα πειραμάτων η διατομή έχει τρεις φορές περίπου μεγαλύτερο πρόβολο.

Στην 6^η ομάδα πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε η θεωρία Stokes 2^{ης} τάξεως καθώς στο πεδίο εφαρμογής των διαφόρων θεωριών κύματος κατά Le Mehaute στη μικτή διατομή με πρηνή των πειραμάτων το εύρος τιμών είναι:

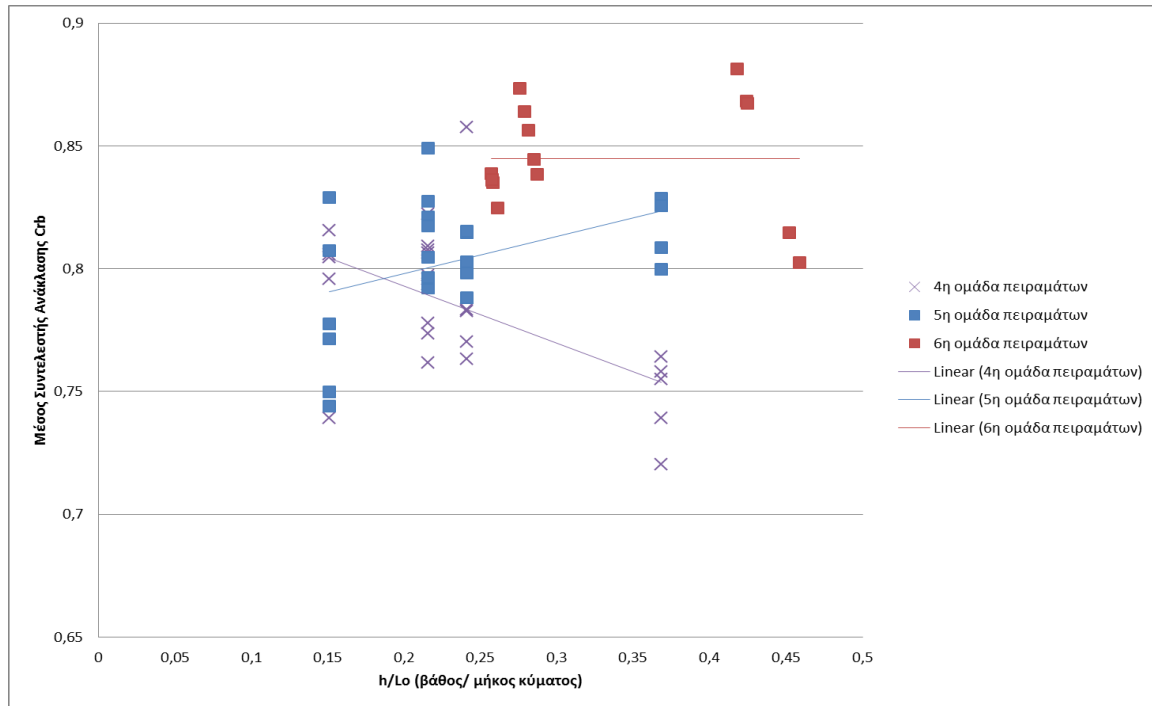
$$0.1 > \frac{h}{g \cdot T^2} > 0.06 \quad \text{και} \quad 0.01 > \frac{H}{g \cdot T^2} > 0.002 .$$

Επομένως το μήκος κύματος του κυματισμού είναι ίσο με:

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} * \tanh\left(2 * \pi * \frac{h}{L}\right)$$

Επίσης σε αυτά πειράματα το σχετικό βάθος h/L είναι μεγαλύτερο από 0.3. Οπότε βρισκόμαστε κυρίως στη περιοχή των βαθιών νερών ($h/L > 0.5$) και των ενδιάμεσων νερών για $0.5 > h/L > 0.3$. Οπότε μπορούμε να απλοποιήσουμε την υπερβολική εφαπτομένη που και να καταλήξουμε στο $L_0 = g * \frac{T^2}{2 \cdot \pi}$ για βαθιά νερά. Η σχετική διερεύνηση για τις μικρότερες τιμές έως 0.3 έδειξε ότι το σφάλμα του μήκους κύματος είναι μικρότερο του 1%, που είναι ανεκτό, όπως και στα πρώτα πειράματα με τις μικτές διατομές με έξαλο πρηνές.

6.Επεξεργασία Μετρήσεων



Γράφημα 6: Μέσος συντελεστής ανάκλασης ως προς το σχετικό βάθος (βάθος προς μήκος κύματος)

Στο γράφημα 6 παρατηρείται ότι επηρεάζεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης έντονα από το μήκος του προβόλου.

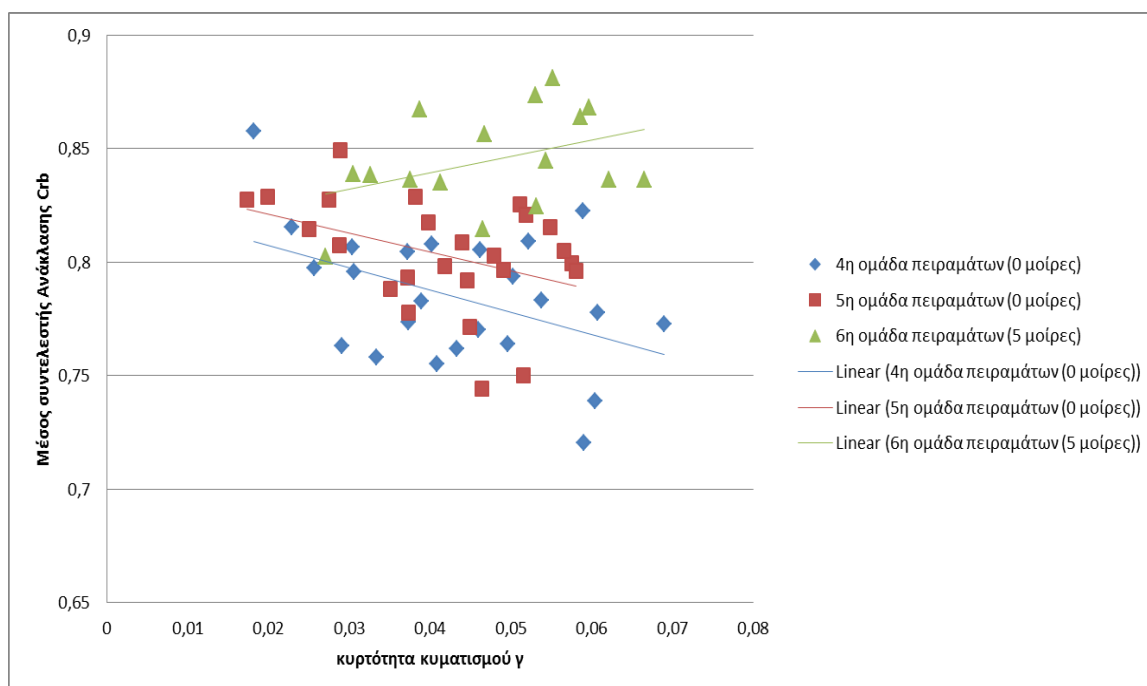
Στη 4^η ομάδα πειραμάτων παρατηρείται ότι με την αύξηση του λόγου βάθους στο πόδα της διατομής σε σχέση με το μήκος κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού (h/L), μειώνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης. Σε αντίθεση με τη 5^η ομάδα πειραμάτων, που παρατηρείται ότι με την αύξηση του λόγου βάθους στο πόδα της διατομής σε σχέση με το μήκος κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού (h/L), ο μέσος συντελεστής ανάκλασης αυξάνεται.

Η διαφορά μεταξύ αυτών είναι στη 4^η ομάδα πειραμάτων ο πρόβολος έχει μήκος 0,8cm ενώ στη 5^η ομάδα πειραμάτων ο πρόβολος έχει μήκος 2,5cm. Επομένως ο υπερτριπλασιασμός του μήκους του προβόλου έχει ως άμεσο αποτέλεσμα να αλλάζει εντελώς τη συμπεριφορά του μέσου συντελεστή ανάκλασης σε σχέση το λόγο h/L . Το βάθος h μένει ίδιο στη 4^η και στη 5^η ομάδες πειραμάτων. Συμπερασματικά, για μεγάλα μήκη κύματος ο μέσος συντελεστής ανάκλασης είναι λίγο μεγαλύτερος με το μικρότερο πρόβολο, ενώ

6.Επεξεργασία Μετρήσεων

για μικρά μήκη κύματος ο μέσος συντελεστής ανάκλασης είναι αρκετά μεγαλύτερος για το μεγαλύτερο πρόβολο.

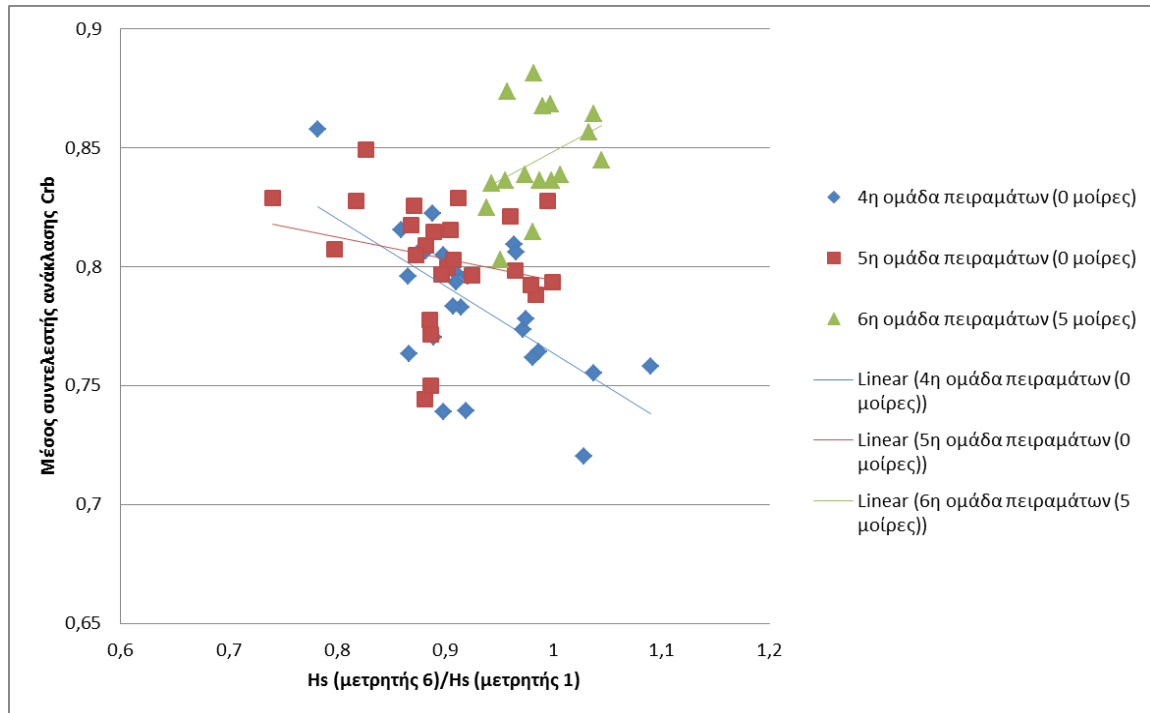
Στην 6^η ομάδα πειραμάτων παρατηρείται ό,τι η ευθεία προσέγγισης είναι οριζόντια. Ωστόσο οι μετρήσεις δεν αποτυπώνουν με σαφήνεια ότι η μορφή είναι ευθεία, οπότε για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα, χρειάζεται να γίνουν περισσότερες μετρήσεις.



Γράφημα 7: Μέσος συντελεστής ανάκλασης σε ως προς τη καμπυλότητα κυματισμού

Στο γράφημα 7 παρατηρείται ό,τι με την αύξηση της καμπυλότητας του προσπίπτοντος κυματισμού μειώνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης στη 4^η και στη 5^η ομάδα πειραμάτων, ενώ στη 6^η ομάδα πειραμάτων αυξάνεται. Επίσης φαίνεται ό,τι στη 4^η και στη 5^η ομάδα πειραμάτων ο μέσος συντελεστής ανάκλασης μειώνεται, με την αύξηση της καμπυλότητας, με τον ίδιο ρυθμό.

6.Επεξεργασία Μετρήσεων



Γράφημα 8: Μέσος συντελεστής ανάκλασης ω προς H_{ss}/H_{is}

Το H_6 και το H_1 είναι το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στον πόδα της διατομής και στον κυματιστήρα, αντίστοιχα. Όπως φαίνεται στο γράφημα 8, με την αύξηση του λόγου των υψών, ο μέσος συντελεστής ανάκλασης μειώνεται στη 4^η και στη 5^η ομάδα πειραμάτων, σε αντίθεση με 6^η ομάδα πειραμάτων που ο μέσος συντελεστής ανάκλασης αυξάνεται. Ωστόσο αυτό το συμπέρασμα χρήζει περαιτέρω ερευνών, καθώς κοντά στο κυματιστήρα ο κυματισμός δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως.

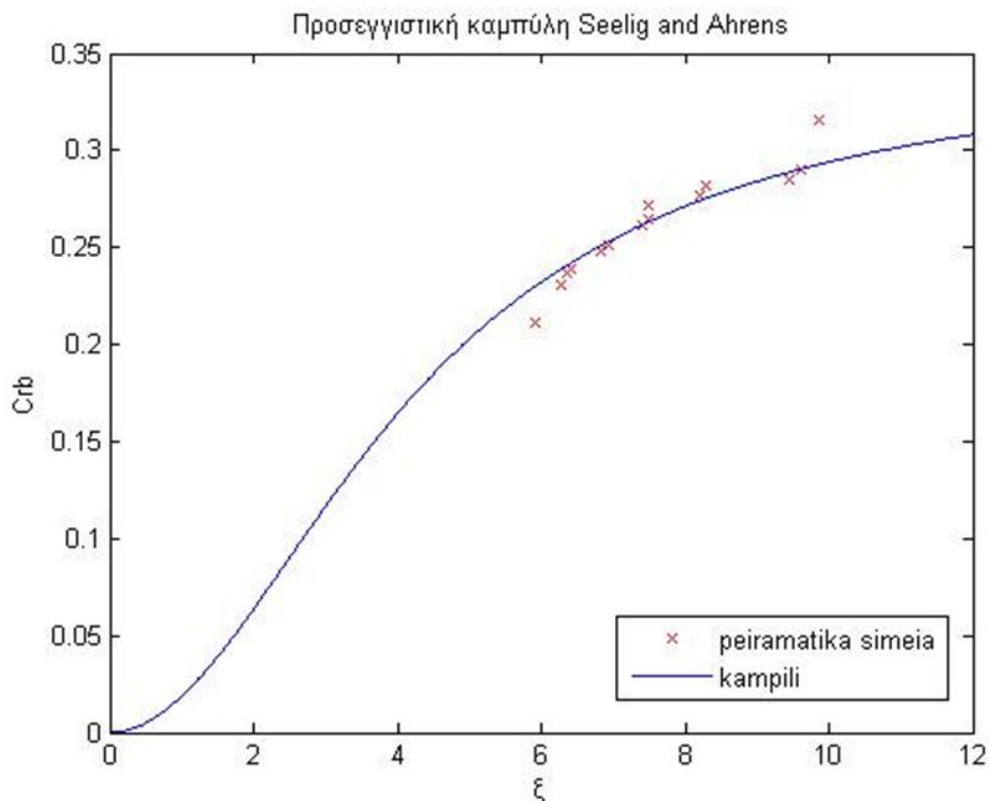
7. Γραφήματα συσχέτισης με εμπειρικούς τύπους

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 α και β 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. Στα πειράματα που διεξήχθησαν οι διατομές των λιμενικών έργων είναι μικτές. Επομένως, μέσα από βελτιστοποίηση για τους συντελεστές α, b με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (σε περιβάλλον MATLAB) έγινε προσπάθεια να ελέγξουμε κατά πόσο μπορούν να προσομοιωθούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων.



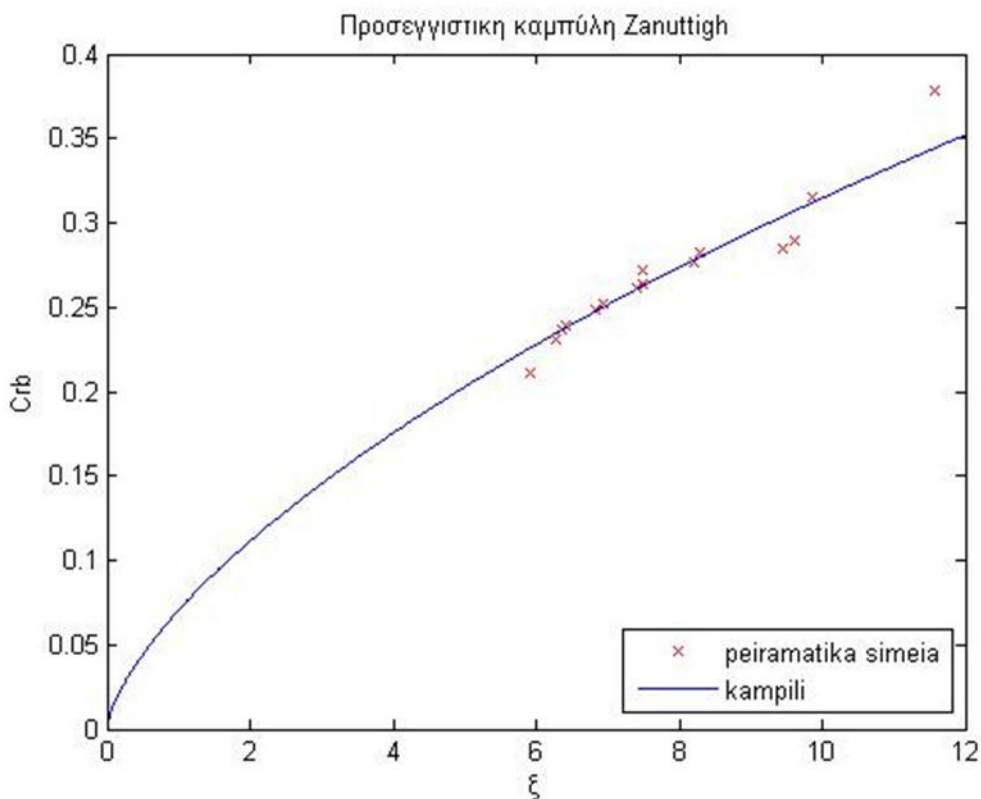
Γράφημα 9: Προσεγγιστική καμπύλη Seelig and Ahrens για τη 1^η ομάδα πειραμάτων

7.Γραφήματα συσχέτισης με εμπειρικούς τύπους

Για την 1^η ομάδα πειραμάτων ακολουθείται η παραδοχή ό,τι έχουμε κάθετη πρόσπτωση λόγω της μικρής γωνίας πρόσπτωσης 5° και του ότι ο θεωρητικός τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για κάθετη πρόσπτωση. Για τη πρώτη ομάδα πειραμάτων ο βέλτιστος συνδυασμός πραγματοποιείται για $a=0,346$ $b=17,677$ και προσεγγίζει αρκετά καλά τις μετρήσεις, όπως φαίνεται στο Γράφημα 9.

7.2 Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh

Οι Barbara Zanuttigh και Jentsje W.Van Der Meer (2008) διατύπωσαν τη σχέση $C_r = \tanh(a * \xi o^b)$, που ισχύει για κάθετη πρόσπτωση. Για τη πρώτη ομάδα πειραμάτων ακολουθείται η παραδοχή της κάθετης πρόσπτωσης αν και η γωνία πρόσπτωσης είναι 5° μοιρών. Ο βέλτιστος συνδυασμός των δύο παραμέτρων βρέθηκε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (σε περιβάλλον MATLAB) και πραγματοποιείται για $a=0,4$ $b=27$.



Γράφημα 10: Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh για τη 1^η ομάδα πειραμάτων με τη παραδοχή της κάθετης πρόσπτωσης

7.Γραφήματα συσχέτισης με εμπειρικούς τύπους

7.3 Μέθοδος Barbara Zannutigh και Jentsje W.Van Der Meer (2008) και Zannutigh και Thomas Lykke Andersen (2010)

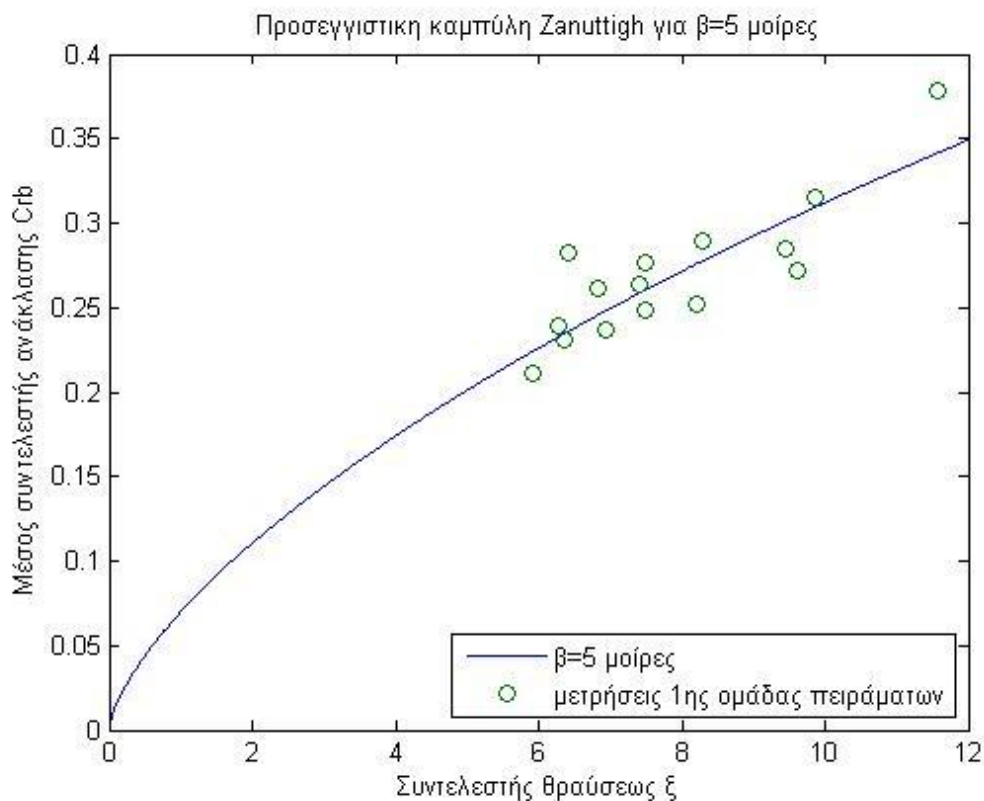
7.3.1 Προσεγγιστική καμπύλη Zannutigh για τη 1^η ομάδα πειραμάτων

Οι Barbara Zannutigh και Thomas Lykke Andersen (2010) προσέθεσαν στο τύπο υπολογισμού της προηγούμενης μεθόδου ένα μειωτικό συντελεστή λόγω πλάγιας πρόσπτωσης

$$C_r(\beta) = Cr(\beta = 0) * \cos(\beta) , \text{ όπου } \beta \text{ η γωνία πρόσπτωσης.}$$

$$\text{Επομένως } C_r(\beta) = C_r(\beta=0^\circ) * \cos(\beta) = \tanh(a * \xi^b) * \cos(\beta) \quad (1)$$

Παίρνοντας υπόψιν τη γωνία πρόσπτωσης $\beta=5^\circ$ για τη πρώτη ομάδα πειραμάτων και χρησιμοποιώντας τις 2 δημοσιεύσεις συνδυαστικά, σε περιβάλλον MATLAB καταλήγει στη βέλτιστη λύση με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, $a= 0.0701$ και $b= 0.6650$.

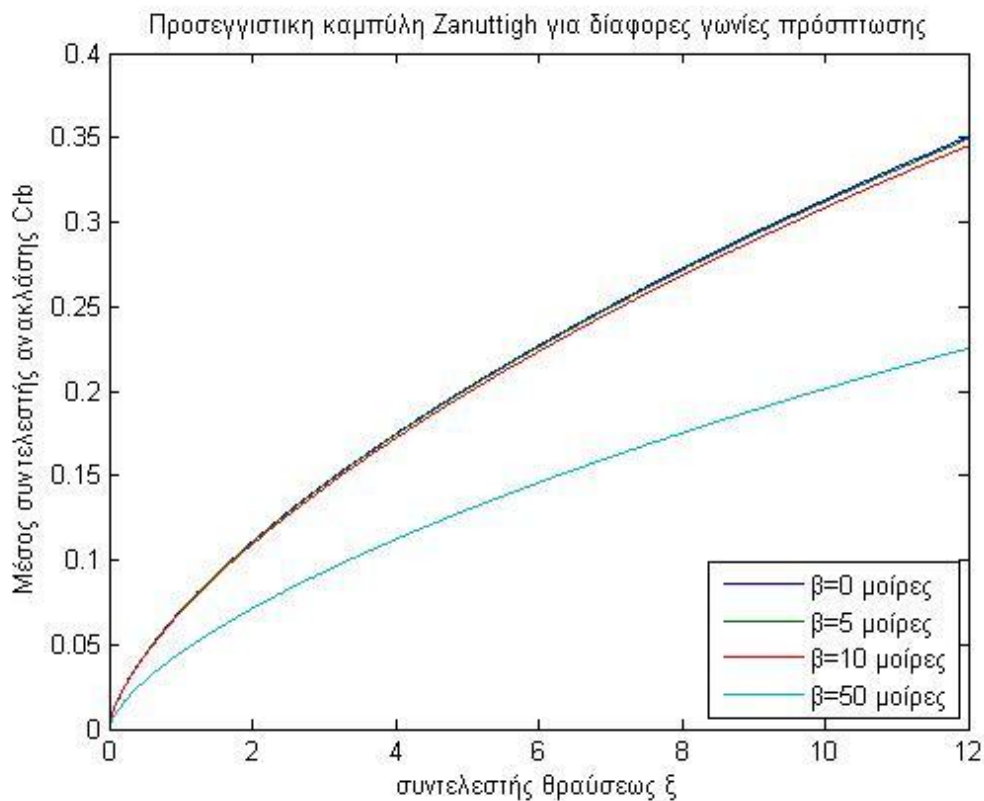


Γράφημα 11: Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh για τη 1^η ομάδα πειραμάτων λαμβάνοντας υπόψιν τη γωνία πρόσπτωσης

7.Γραφήματα συσχέτισης με εμπειρικούς τύπους

7.3.2 Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης

Αφού οι παράμετροι a και b εξαρτώνται μόνο από τη γεωμετρία της διατομής στη 1^η, 2^η και 3^η ομάδα πειραμάτων οφείλουν να είναι σταθερές. Το μόνο που αλλάζει στη προσεγγιστική καμπύλη είναι η γωνία πρόσπτωσης β . Επομένως σχεδιάζονται οι καμπύλες Zanuttigh για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης, όπως φαίνεται στο γράφημα 12. Σύμφωνα με τις δύο δημοσιεύσεις, τα σημεία των πειραμάτων, ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης, πρέπει να ανήκουν πάνω στην αντίστοιχη καμπύλη. Οπότε αν είναι γνωστός ο συντελεστής θραύσης, είναι γνωστός ο μέσος συντελεστής ανάκλασης στη διατομή από τη καμπύλη Zanuttigh. Το γράφημα 12 βασίζεται σε πειραματικές τιμές από τη 1^η ομάδα πειραμάτων.



Γράφημα 12: Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh για γωνίες πρόσπτωσης 0 , 5 , 10 και 50 μοιρών.

7.Γραφήματα συσχέτισης με εμπειρικούς τύπους

7.3.3 Προσεγγιστική καμπύλη Zannutigh για τη 2^η ομάδα πειραμάτων

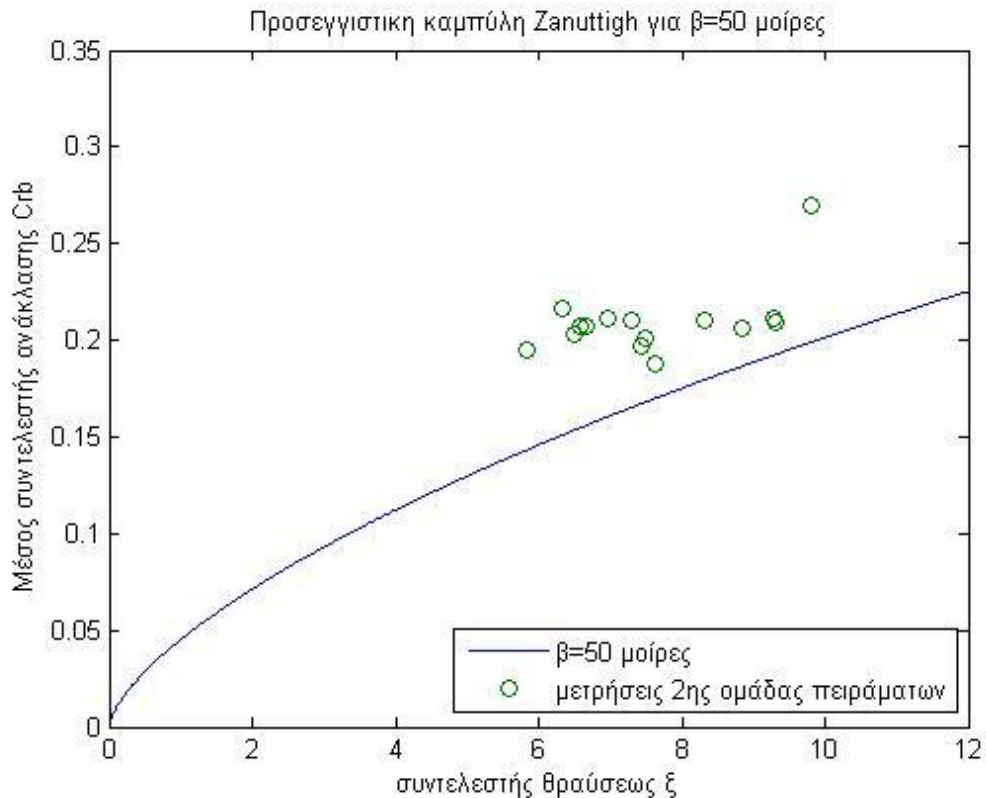
Θεωρητικά θα έπρεπε σύμφωνα με τη σχέση της Barbara Zannutigh και Thomas Lykke Andersen (2010) να ισχύει

$$C_{rb}(\beta) = C_{rb}(\beta=0^\circ) \cdot \cos(\beta) = \frac{C_{rb}(\beta=5^\circ) \cdot \cos(\beta)}{\cos(5^\circ)}$$

τα σημεία θα έπρεπε να άνηκαν στη καμπύλη για $\beta=50$ μοίρες. Ωστόσο, όπως φαίνεται στο γράφημα 13, η καμπύλη δε συμφωνεί με τα σημεία από τις μετρήσεις της 2^{ης} ομάδας πειραμάτων, που η γωνία πρόσπτωσης της είναι 50° .

Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης στη 2^η ομάδα πειραμάτων είναι σε όλα τα σημεία της λίγο αυξημένος σε σχέση με αυτό που προτείνεται από την προσεγγιστική καμπύλη Zannutigh για γωνία πρόσπτωσης 50 μοιρών. Φαίνεται να μην είναι τόσο σημαντική η γωνία πρόσπτωσης. Πιθανά αυτό συμβαίνει λόγω του ότι δεν είναι οριζόντιος ο πυθμένας της δεξαμενής και επηρεάζονται οι μετρήσεις από το φαινόμενο της ρήχωσης. Επιπλέον η εξετασθείσα διατομή είναι κατά το ήμισυ με πρηνές και στη συνέχεια κατακόρυφο μέτωπο. Για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα, χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.

7.Γραφήματα συσχέτισης με εμπειρικούς τύπους



Γράφημα 13: Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh για γωνία πρόσπτωσης 50 μοιρών και τα πειραματικά σημεία της 2^η ομάδας πειραμάτων.

7.3.4 Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh για τη 3^η ομάδα πειραμάτων

Θεωρητικά θα έπρεπε σύμφωνα με τη σχέση της Barbara Zanuttigh και Thomas Lykke Andersen (2010)

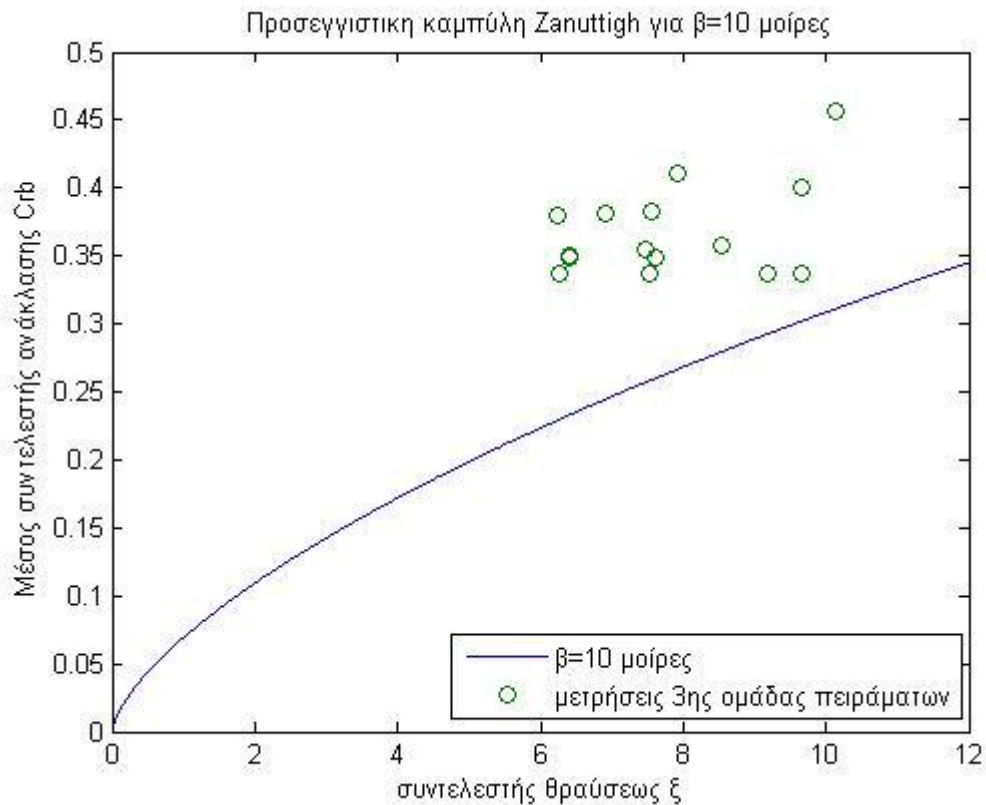
$$C_{rb}(\beta) = C_{rb}(\beta=0^\circ) \cdot \cos(\beta) = \frac{C_{rb}(\beta=5^\circ) \cdot \cos(\beta)}{\cos(5^\circ)}$$

οπότε τα σημεία θα έπρεπε να άνηκαν στη καμπύλη για $\beta=10^\circ$. Ωστόσο, όπως φαίνεται στο γράφημα 14, η καμπύλη δε συμφωνεί με τα σημεία από τις μετρήσεις της 3^{ης} ομάδας πειραμάτων, που η γωνία πρόσπτωσης είναι 50° .

Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης στη 3^η ομάδα πειραμάτων είναι, σε όλα τα σημεία της, αρκετά αυξημένος σε σχέση με αυτό που προτείνεται από την προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh για γωνία πρόσπτωσης 10 μοιρών. Πιθανά

7.Γραφήματα συσχέτισης με εμπειρικούς τύπους

αυτό συμβαίνει λόγω του ότι δεν είναι οριζόντιος ο πυθμένας της δεξαμενής και επηρεάζονται οι μετρήσεις από το φαινόμενο της ρήχωσης. Επιπλέον η εξετασθείσα διατομή είναι κατά το ήμισυ με πρανές και στη συνέχεια κατακόρυφο μέτωπο.



Γράφημα 14: Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh για γωνία προσπτώσεως 10 μοιρών και τα πειραματικά σημεία της 3^{ης} ομάδας πειραμάτων.

8.Γενικά Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα, τα οποία εξάγονται από τη παρούσα διπλωματική, στα πλαίσια των μετρήσεων και της επεξεργασίας τους.

8.1 Μικτή διατομή με έξαλο πρανές

Τα συμπεράσματα, τα οποία εξήχθησαν είναι τα εξής:

- Με την αύξηση του λόγου του βάθους στον πόδα της διατομής προς το μήκος κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού, αυξάνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης. Επίσης παρατηρείται ότι όσο μικρότερη γωνία πρόσπτωσης έχει η διάταξη, με τόσο μεγαλύτερο ρυθμό αυξάνεται ο συντελεστής ανάκλασης, όσο αυξάνεται ο λόγος του σχετικού βάθους (h/L_0).
- Η αύξηση της καμπυλότητας γ των θαλάσσιων κυματισμών έχει ως συνέπεια την μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης. Από τις διατάξεις με τις μεγαλύτερες γωνίες πρόσπτωσης παρατηρείται ότι ο συντελεστής ανάκλασης μειώνεται με μικρότερο ρυθμό, όσο αυξάνεται η καμπυλότητα.
- Η αύξηση του λόγου των χαρακτηριστικών υψών κυματισμού στο πόδα της διατομής προς αυτό στο κυματιστήρα συνεπάγεται την μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης.
- Όταν αυξάνεται ο συντελεστής θραύσης, αυξάνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης.
- Η αύξηση της αδιάστατης παραμέτρου χ , έχει ως συνέπεια την αύξηση του μέσου συντελεστή ανάκλασης.
- Στη σύγκριση της διάταξης με τη γωνία πρόσπτωσης των 5° με το θεωρητικό τύπο των Seelig and Ahrens και τη παραδοχή της κάθετης πρόσπτωσης οι παράμετροι που εξαρτώνται από τη διατομή υπολογίσθηκαν ίσοι με $a=0,346$ και $b=17,677$
- Στη σύγκριση της διάταξης με τη γωνία πρόσπτωσης 5° με το θεωρητικό τύπο της προσεγγιστικής καμπύλης Zanuttigh και τη

8.Γενικά Συμπεράσματα

παραδοχή της κάθετης πρόσπτωσης οι παράμετροι που εξαρτώνται από τη διατομή, βρέθηκαν να είναι ίσοι με $\alpha=0,4$ και $b=27$.

- Στη σύγκριση της διάταξης με τη γωνία πρόσπτωσης των 5° με το θεωρητικό τύπο της προσεγγιστικής καμπύλης Zanuttigh σε συνδυασμό τη δημοσίευση Zanuttigh και Thomas Lykke Andersen(2010), οι παράμετροι που εξαρτώνται από τη διατομή, βρέθηκαν να είναι ίσοι με , $\alpha= 0.0701$ και $b= 0.6650$.
- Συγκρίθηκαν οι πειραματικές τιμές για την ίδια διατομή, με τις προσεγγιστικές καμπύλες που προκύπτουν από τη προηγούμενη διερεύνηση των σταθερών α , b σε συνδυασμό με τις σχέσεις από τη βιβλιογραφία. Οι μετρήσεις των πειραμάτων, με τις διατάξεις που οι γωνίες πρόσπτωσης είναι 10° και 50° , βρέθηκαν να έχουν απόκλιση από τις καμπύλες αυτές. Πιθανός λόγος της απόκλισης αυτής, δηλαδή της αύξησης του μέσου συντελεστή ανάκλασης, είναι το ότι ο πυθμένας της δεξαμενής δεν είναι οριζόντιος και οι μετρήσεις επηρεάζονται από το φαινόμενο της ρήχωσης. Άλλος ένας λόγος είναι ότι η εξετασθείσα διατομή είναι κατά το ήμισυ με πρηνές και στη συνέχεια με κατακόρυφο μέτωπο.

8.2 Μικτή διατομή με έξαλο κατακόρυφο μέτωπο

Τα συμπεράσματα, τα οποία εξήχθησαν είναι τα εξής:

- Η συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης επηρεάζεται έντονα συναρτήσει του λόγου του βάθους στο πόδα προς το μήκος κύματος από το μήκος του προβόλου. Συγκεκριμένα, στη διάτομή με το μικρό πρόβολο, παρατηρείται ότι με την αύξηση του λόγου βάθους στον πόδα της διατομής προς το μήκος κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού (h/L), μειώνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης. Στη διάταξη που τριπλασιάζεται το μήκος του προβόλου παρατηρείται ότι με την αύξηση του λόγου βάθους στο πόδα της διατομής προς το μήκος κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού (h/L), αυξάνεται ο μέσος συντελεστής ανάκλασης.
- Η αύξηση της καμπυλότητας γ των θαλάσσιων κυματισμών έχει ως συνέπεια την μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης, με εξαίρεση τη τελευταία διάταξη.
- Η αύξηση του λόγου των χαρακτηριστικών υψών κυματισμού στο πόδα της διατομής προς αυτό στο κυματιστήρα συνεπάγεται την μείωση του μέσου συντελεστή ανάκλασης, με εξαίρεση τη τελευταία διάταξη.

Βιβλιογραφία

- Κουτίνας Χ.Γ. (1998), Εισαγωγή στη παράκτια τεχνική και Λιμενικά έργα, Εκδόσεις Ζητη, Θεσσαλονίκη
- Μουτζούρης Κ.Ι. (2000), Θαλάσσια Υδραυλική, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
- 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.
- Hughes S. A. (1993) , Laboratory wave reflection analysis using co-located gages, *Coastal Engineering, Volume 20, Issues 3-4, September 1993, Pages 223-247*, Steven A. Hughes
- Isaacson (1991). Measurement of regular wave reflection, *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.* 117, 553
- Kyung Doug Suh, Jae Chun Choi, Bum Hyoung Kim, Woo Sun Park, Kil Seong Lee (2001). Reflection of irregular waves from perforated-wall Caisson breakwaters, *Coastal Engineering, Volume 44, Issue 2, December 2001, Pages 141-151*
- Mansard, E.P. and Funke, E.R. , (1980). The measurement of incident and reflected spectra using a least squares method. In: Proceedings of the 17th Coastal Engineering Conference, Sydney. ASCE, New York, Vol I, pp. 154-172
- Requejo, C. Vidal, I.J. Losada (2002). Modelling of wave loads and hydraulic performance of vertical Permeable structures, *Coastal Engineering, Volume 46, Issue 4, September 2002, Pages 249-276S*
- Sunderland James and O Donogue Tom (1998), *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.* 124, 303
- Zanuttigh Barbara, Jentsje W. van der Meer (2008), Wave reflection from coastal structures in design conditions *Coastal Engineering, Volume 55, Issue 10, October 2008, Pages 771-779*

Βιβλιογραφία

- Zanuttigh Barbara, Lykke Andersen Thomas (2010), Wave reflection conditions *Coastal Engineering, Volume 57, Issue 5, May 2010, Pages 531-538*
- Zelt Jeffrey A., Gudmestad Ove T, Skjelbreia James E. (1995), Fluid accelerations under irregular waves , *Applied Ocean Research, Volume 17, Issue 1, 1995, Pages 43-54*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΚΩΔΙΚΩΝ ΜΑΤΛΑΒ

Παράρτημα Α

Υπολογισμός μήκους κύματος L σε μία σχέση μη γραμμική για
ενδιάμεσο σχετικό βάθος: $L = g \cdot T_p^2 / (2 \cdot \pi) \cdot \tanh(2 \cdot \pi \cdot d / L)$

```
clear L

Tp= [ 0.5688889 0.7314286 0.7876923 1.024 ]

for i=1:1:4

g = 9810;
T = Tp(i);
d = 397;
L0 = 100; %Einai i arxiki timi gia tin arithmitiki
methodo

L(i) = fsolve(@(L) g*(T^2)/2/pi*tanh(2*pi*d/L)-L,3);
end
L = L'
```

Παράρτημα Α

Υπολογισμός α, b με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για τη καμπύλη Seelig Ahrens και σχεδίαση γραφήματος για τη 1^η ομάδα πειραμάτων

```
bb=0
function F = myfun(x,xdata)
F = (x(1)*xdata.*xdata)./(x(2)+xdata.*xdata);

xdata = [7.288 6.32 8.322 6.653 5.825 9.283 7.479 6.956
9.3 7.637 6.5756 8.849 7.438 6.492];
ydata = 1/(cos(bb))* [0.21 0.2163 0.2103 0.207 0.1949
0.2115 0.2008 0.2109 0.2092 0.1874 0.2075 0.2062 0.1971
0.2027];

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

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

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

xaxis = -5:0.01:20; %5 kai 12 einai h arxh kai telos gia
th grafiki parastasi
f = ab(1)*xaxis.^2./(ab(2)+xaxis.^2);
plot(xseira,yseira,'rx',xaxis,f)
xlabel('ξ')
ylabel('Crb')
title('Προσεγγιστική καμπύλη Seelig and Ahrens')
legend('peiramatika simeia','kampili')

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

Παράρτημα Α

Υπολογισμός α, β με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για τη καμπύλη Zanuttighi και σχεδίαση γραφήματος για τη 1^η ομάδα πειραμάτων

```
clear all

xdata = [8.280 6.827 9.849 7.491 6.42 9.46 7.42 6.279
9.615 7.497 6.349 8.207 6.95 5.929];
ydata = [0.2898 0.2619 0.3155 0.2767 0.2821 0.2851
0.2643 0.2387 0.2716 0.2486 0.2311 0.2515 0.2366 0.2112];

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

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

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

% F = tanh(x(1)*(xdata.^x(2)))

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

xaxis = 5:0.01:12; %5 kai 12 einai h arxh kai telos gia
th grafiki parastasi
f = ab(1)*xaxis.^2./(ab(2)+xaxis.^2);
f2= tanh(ab(1)*(xaxis.^ab(2)));
plot(xseira,yseira,'rx',xaxis,f2)
xlabel('Συντελεστής θραύσεως ξ')
ylabel('Μέσος συντελεστής ανάκλασης Crb')
title('Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh για β=5 μοίρες')
legend('β=5 μοίρες','μετρήσεις 1ης ομάδας πειράματων')

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

Παράρτημα Α

Σχεδίαση της καμπύλης Zannutghi για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης

```
j1=[0:0.01:12];
c1 = tanh(0.0701*j1.^0.6650)*cos(0);

j2=[0:0.01:12];
c2 = tanh(0.0701*j2.^0.6650)*cos(0.087266463);

j3=[0:0.01:12];
c3 = tanh(0.0701*j3.^0.6650)*cos(0.174532925);

j4=[0:0.01:12];
c4 = tanh(0.0701*j4.^0.6650)*cos(0.872664626);

plot (j1,c1)
hold all

plot (j2,c2)
hold all

plot (j3,c3)
hold all

plot (j4,c4)

xlabel('συντελεστής θραύσεως ξ')
ylabel('Μέσος συντελεστής ανακλάσης Crb')
title('Προσεγγιστική καμπύλη Zanuttigh για διάφορες
γωνίες πρόσπτωσης')
legend('β=0 μοίρες','β=5 μοίρες','β=10 μοίρες','β=50
μοίρες')

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

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΨΩΝ ΚΥΜΑΤΟΣ H_s (mm)

Παράρτημα Β

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 1	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 2	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 3	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 4	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 5
1	1η	5°	1.1	8,484	8,523	8,485	8,704	8,917
2	1η	5°	1.2	16,58	16	16,01	17,36	16,99
3	1η	5°	1.3	24,39	23,98	23,86	25,15	25,31
4	1η	5°	1.4	11,72	11,69	11,58	11,98	12,07
5	1η	5°	1.5	20,26	20,14	20,1	20,71	20,67
6	1η	5°	1.6	27,58	27,66	27,94	29,39	30,43
7	1η	5°	1.7	16,59	16,31	16,23	16,39	16,22
8	1η	5°	1.8	26,97	26,29	26,34	27,04	27,45
9	1η	5°	1.9	37,66	36,1	36,76	37,96	38,2
10	1η	5°	1.10	18,63	18,37	18,38	18,58	18,85
11	1η	5°	1.11	30,64	29,28	29,27	30,2	30,02
12	1η	5°	1.12	42,72	40,29	40,76	42,59	42,25
13	1η	5°	1.13	25,57	24,16	23,84	24,55	23,7
14	1η	5°	1.14	35,65	33,62	33,83	35,94	35,86
15	1η	5°	1.15	48,99	46,81	47,63	49,55	49,43

Πίνακας Β1: Μετρήσεις χαρακτηριστικών υψών κύματος σε (mm) της 1^{ης} πειραματικής ομάδας

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 1	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 2	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 3	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 4
16	2η	50°	2.1	10,45	10,14	11,11	10,42
17	2η	50°	2.2	18,96	17,57	18,12	18,25
18	2η	50°	2.3	25,21	23,87	25,84	25,71
19	2η	50°	2.4	14,54	14,46	15,33	14,5
20	2η	50°	2.5	22,75	22,53	23,16	22,33
21	2η	50°	2.6	29,68	30,04	31,21	29,63
22	2η	50°	2.7	17,23	19,06	18,85	18,19
23	2η	50°	2.8	26,55	29,35	29,4	28,34
24	2η	50°	2.9	35,59	38,53	37,9	37,13
25	2η	50°	2.10	19,91	20,53	20,17	19,69
26	2η	50°	2.11	29,53	30,11	30,73	30,13
27	2η	50°	2.12	39,83	40,35	40,86	40,33
28	2η	50°	2.13	25,81	23,74	24,78	24,21
29	2η	50°	2.14	36,53	33,72	35,56	35,21
30	2η	50°	2.15	47,96	43,18	45,52	44,9

Πίνακας Β2: Μετρήσεις χαρακτηριστικών υψών κύματος σε (mm) της 2^{ης} πειραματικής ομάδας

Παράρτημα Β

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 1	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 2	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 3	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 4	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 5
31	3η	15°	3.1	8,76	9,294	9,202	9,68	10,09
32	3η	15°	3.2	14,32	15,19	15,18	16,22	17,63
33	3η	15°	3.3	23,72	25,48	25,37	26,13	26,58
34	3η	15°	3.4	12,18	12,35	12,48	12,8	13,23
35	3η	15°	3.5	19,93	20,77	21	21,43	21,79
36	3η	15°	3.6	29,18	30,85	31,24	31,03	31,16
37	3η	15°	3.7	17,75	18,54	18,46	18,08	17,49
38	3η	15°	3.8	26,21	27,88	27,55	27,07	27,6
39	3η	15°	3.9	37,76	40,08	39,78	38,84	38,49
40	3η	15°	3.10	18,45	19,19	19,14	19,21	19,13
41	3η	15°	3.11	29,68	30,07	30,11	29,89	29,9
42	3η	15°	3.12	42,1	43,16	42,18	42,48	41,9
43	3η	15°	3.13	23,92	24,45	24,27	24,37	24,22
44	3η	15°	3.14	36,08	35,38	36,17	35,62	36,66
45	3η	15°	3.15	49,34	49,38	50,44	49,09	49,55

Πίνακας Β3: Μετρήσεις χαρακτηριστικών υψών κύματος σε (mm) της 3^{ης} πειραματικής ομάδας

Παράρτημα Β

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 1	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 2	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 3	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 4	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 5
46	4η	0°	4.1	16,52	15,67	15,76	14,99	15,15
47	4η	0°	4.2	20,22	18,1	19,18	18,62	19,49
48	4η	0°	4.3	24,55	24,74	23,71	22,59	24,89
49	4η	0°	4.4	29,24	29,16	28,81	27,46	28,43
50	4η	0°	4.5	29,92	30,49	30,05	29,82	33,3
51	4η	0°	4.6	13,76	13,7	13,3	13,81	17,59
52	4η	0°	4.7	21,98	22,1	21,3	22,32	25,37
53	4η	0°	4.8	29,49	28,92	28,24	29,85	32,24
54	4η	0°	4.9	34,82	34,2	33,64	35,11	39,16
55	4η	0°	4.10	40,7	39,29	38,01	40,52	44,86
56	4η	0°	4.11	21,68	20,36	20,8	21,07	23,84
57	4η	0°	4.12	31,58	29,22	29,35	30,11	32,47
58	4η	0°	4.13	36,67	34,28	35,12	36,15	37,38
59	4η	0°	4.14	44,21	41,98	43,63	45,93	45,84
60	4η	0°	4.15	51,46	48,39	50,41	53,15	52,76
61	4η	0°	4.16	25,74	26,82	27,67	25,93	29,17
62	4η	0°	4.17	34,07	36,21	36,15	37,16	38,73
63	4η	0°	4.18	42,56	45,83	45,26	46,3	46,74
64	4η	0°	4.19	49,92	54,58	53,42	54,71	56,16
65	4η	0°	4.20	58,42	63,26	60,81	63,73	63,41
66	4η	0°	4.21	27,57	30,15	29,39	29,28	32,09
67	4η	0°	4.22	36,92	40,74	39,65	38,86	42,66
68	4η	0°	4.23	44,99	49,67	46,43	48,3	50,09
69	4η	0°	4.24	55,8	62,59	59,52	59,41	57,76
70	4η	0°	4.25	64,1	71,1	66,8	69,52	69,68

Πίνακας Β4: Μετρήσεις χαρακτηριστικών υψών κύματος σε (mm) της 4^{ης} πειραματικής ομάδας

Παράρτημα Β

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 1	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 2	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 3	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 4	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 5
71	5η	0°	5.1	8,561	8,114	8,35	8,646	10,47
72	5η	0°	5.2	18,67	18,84	18,57	19,19	20,68
73	5η	0°	5.3	21,77	20,78	22,63	22,87	24,68
74	5η	0°	5.4	25,33	24,63	26,19	26,63	29,08
75	5η	0°	5.5	28,47	27,32	28,27	29,24	31,57
76	5η	0°	5.6	18,95	17,78	17,98	18,82	21,31
77	5η	0°	5.7	26,52	24,53	24,93	26,08	26,94
78	5η	0°	5.8	31,63	29,54	29,94	31,85	32,78
79	5η	0°	5.9	36,29	33,59	34,75	36,89	39,48
80	5η	0°	5.10	41,58	38,61	39,9	42,26	45,97
81	5η	0°	5.11	23,28	19,88	22,15	22,86	23,39
82	5η	0°	5.12	31,51	27,32	30,12	31,84	31,53
83	5η	0°	5.13	37,76	33,18	37,02	38,46	38,55
84	5η	0°	5.14	43,88	39,51	44,19	45,54	45,68
85	5η	0°	5.15	49,2	45,07	50,29	52,59	53,2
86	5η	0°	5.16	24,44	26,49	26,89	26,16	29,56
87	5η	0°	5.17	33,71	36,01	36,71	36,45	38,79
88	5η	0°	5.18	41,52	44,94	46,06	45,22	46,32
89	5η	0°	5.19	47,92	52,71	53,08	54,85	54,86
90	5η	0°	5.20	56,13	59,64	60,19	62,69	63,72
91	5η	0°	5.21	24,01	24,98	25,26	25,29	32,44
92	5η	0°	5.22	34,78	37,85	37,7	37,17	43,58
93	5η	0°	5.23	45,1	48,71	47,57	48,29	50,89
94	5η	0°	5.24	54,34	58,28	56,41	58,37	61,28
95	5η	0°	5.25	62,27	64,79	63,98	65,9	70,22

Πίνακας Β5: Μετρήσεις χαρακτηριστικών υψών κύματος σε (mm) της 5^{ης} πειραματικής ομάδας

Παράρτημα Β

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 1	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 2	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 3	ΜΕΤΡΗΤΗΣ 4
96	6η	5°	6.1	15,27	15,69	16,25	16,06
97	6η	5°	6.2	23,48	23,99	24,86	23,93
98	6η	5°	6.3	33,78	34,2	35,31	33,87
99	6η	5°	6.4	21,91	22,7	22,63	22,12
100	6η	5°	6.5	31,21	32,69	32,23	31,79
101	6η	5°	6.6	38,57	40,47	39,94	40,28
102	6η	5°	6.7	27,22	27,6	28,59	27,95
103	6η	5°	6.8	38,98	37,31	39,29	37,73
104	6η	5°	6.9	48,89	46,97	49,86	47,12
105	6η	5°	6.10	31,32	31,26	33,12	31,36
106	6η	5°	6.11	42,47	41,6	44,75	42,66
107	6η	5°	6.12	51,85	51,62	56,14	52,49
108	6η	5°	6.13	34,41	37,09	38,71	36,49
109	6η	5°	6.14	44,37	48,06	49,71	47,29
110	6η	5°	6.15	55,51	60,47	62,09	58,09

Πίνακας Β6: Μετρήσεις χαρακτηριστικών υψών κύματος σε (mm) της 6^{ης} πειραματικής ομάδας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝΤΟΣ ΚΑΙ
ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ
ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΙΡΑΜΑ**

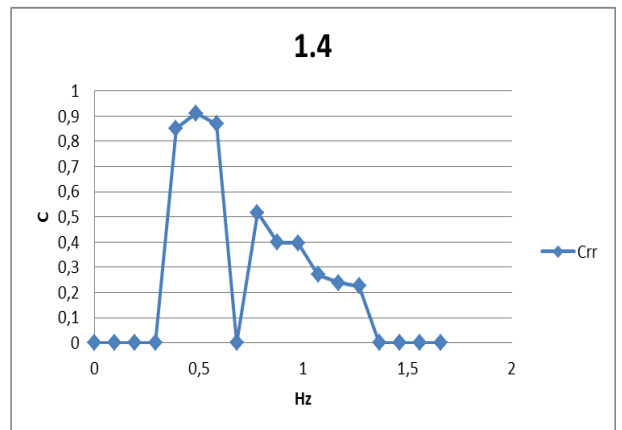
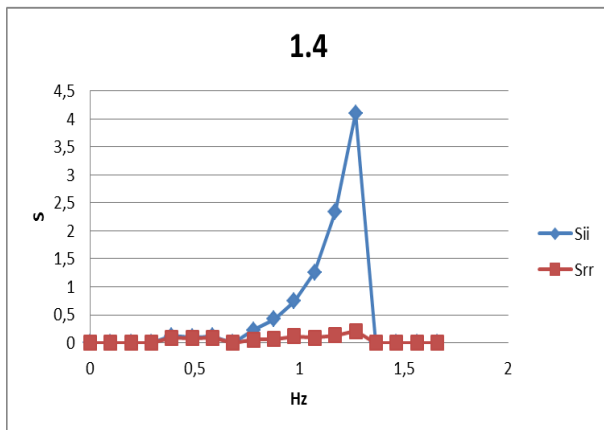
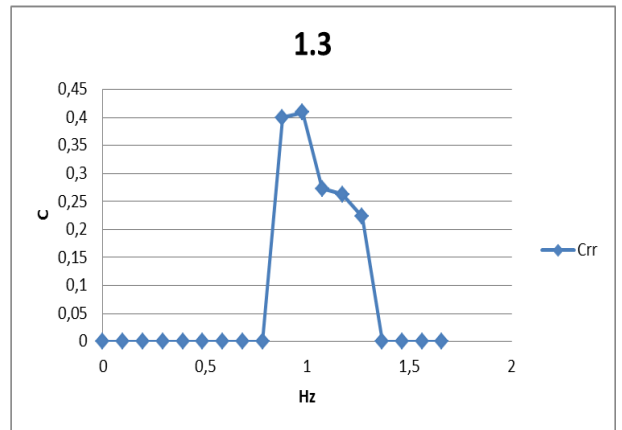
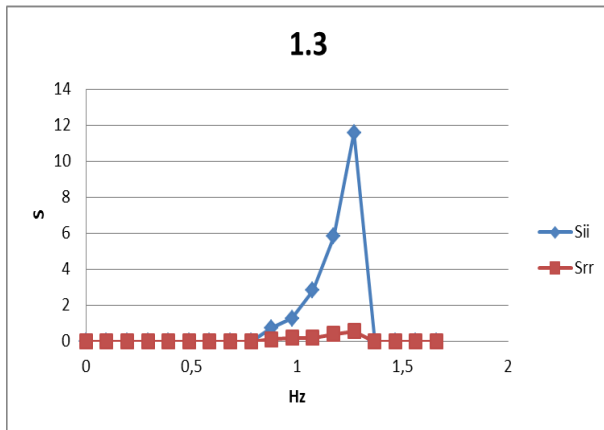
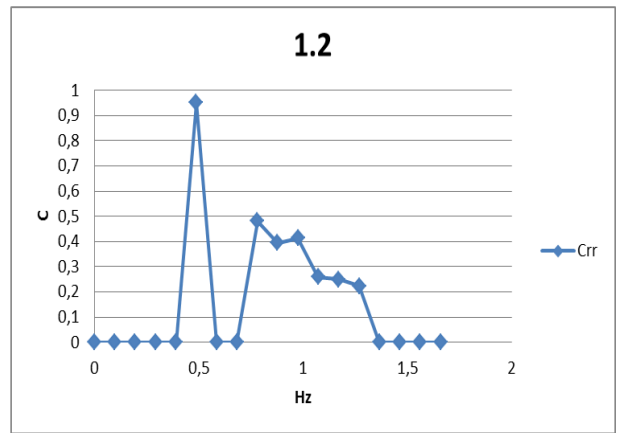
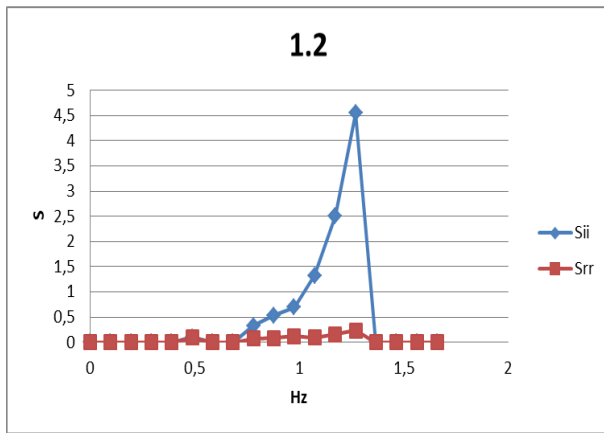
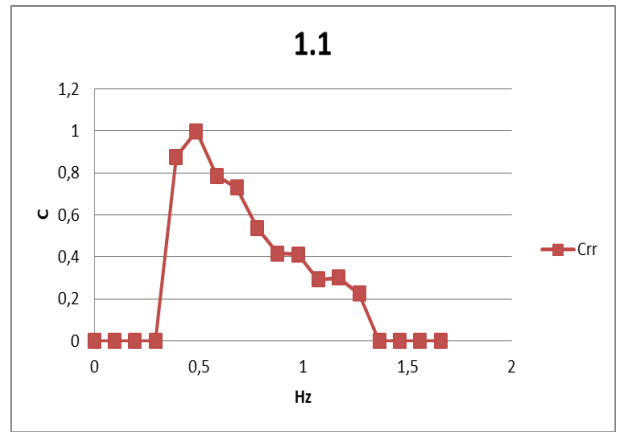
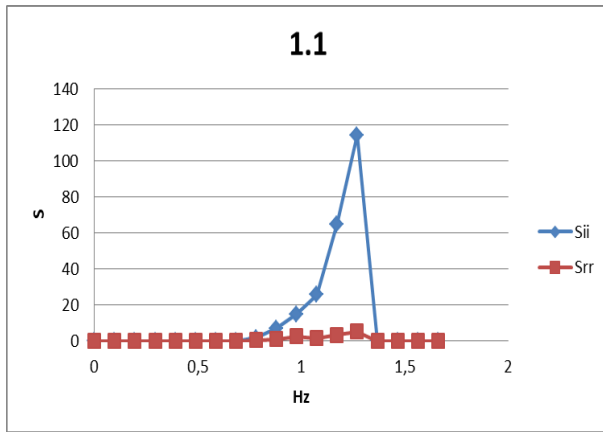
Sii: Προσπίπτον ενεργειακό φάσμα

Srr: Ανακλώμενο ενεργειακό φάσμα

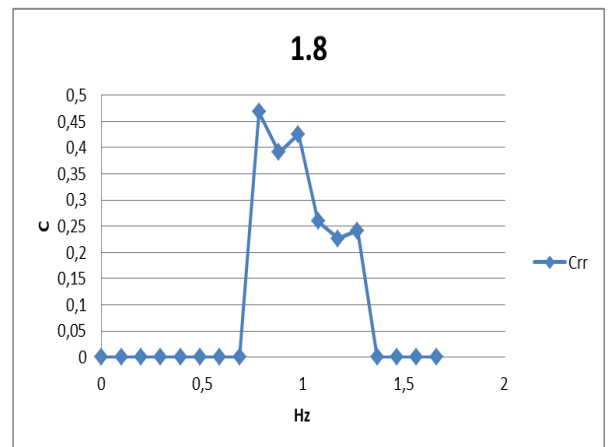
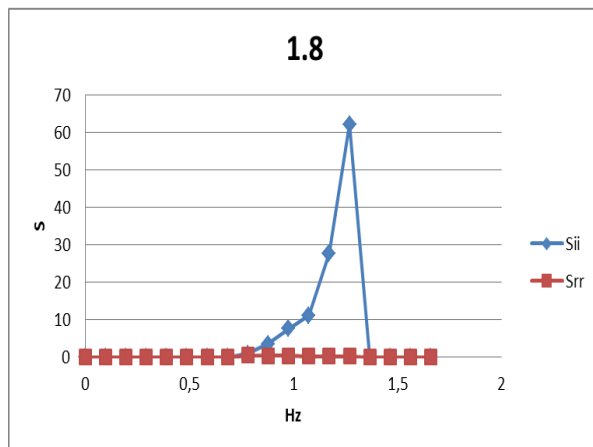
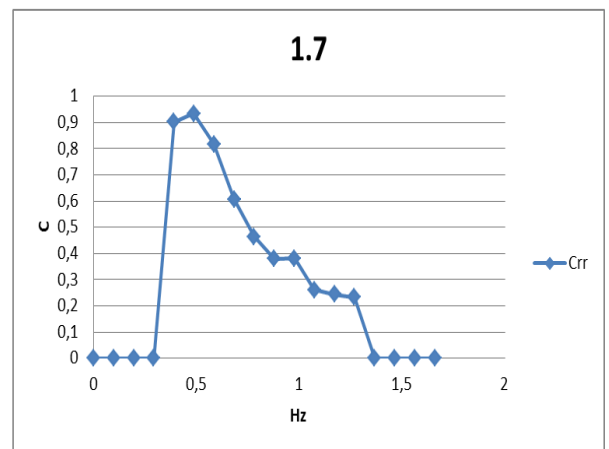
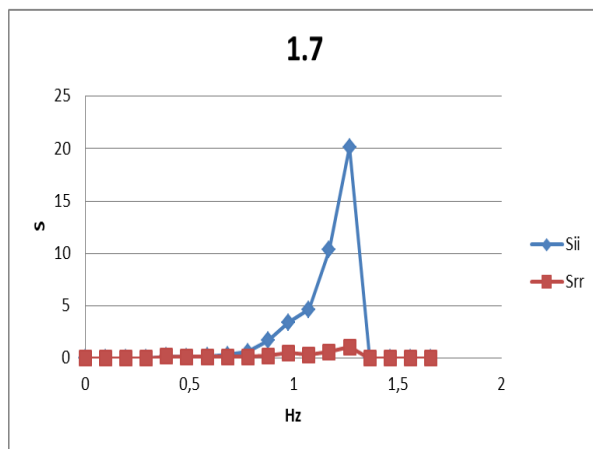
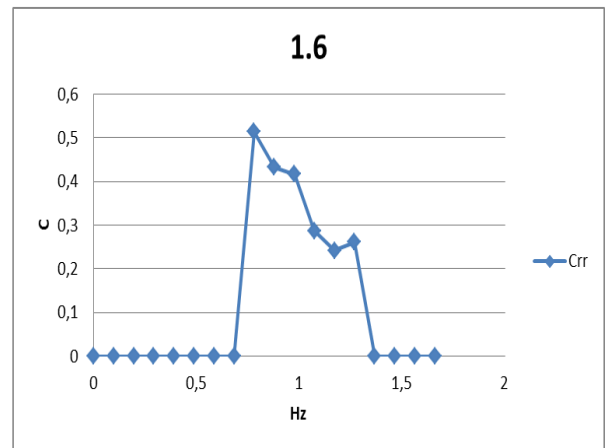
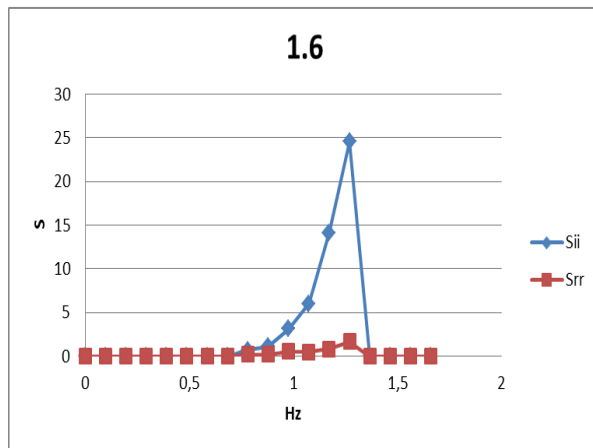
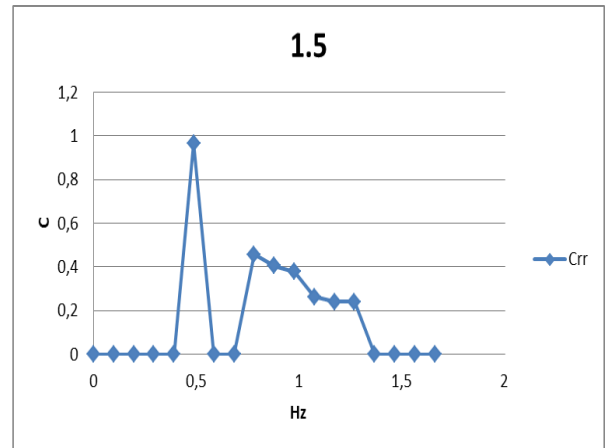
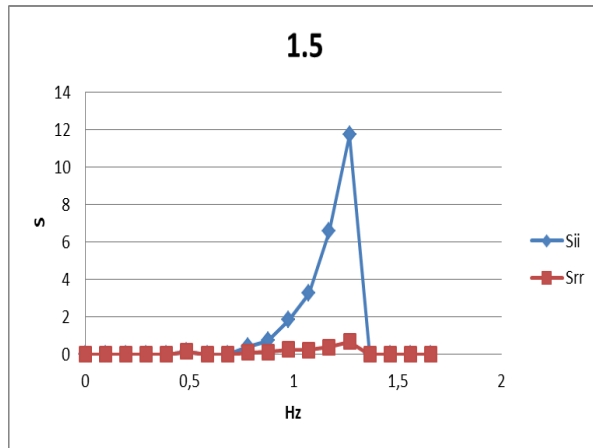
Crr: Συντελεστής ανάκλασης συναρτήσει της συχνότητας

Παράρτημα Γ

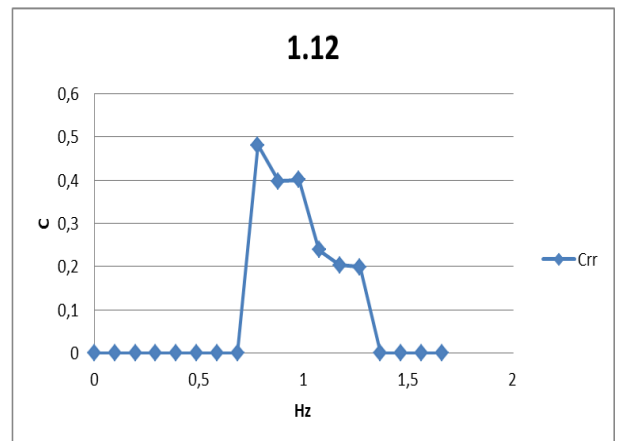
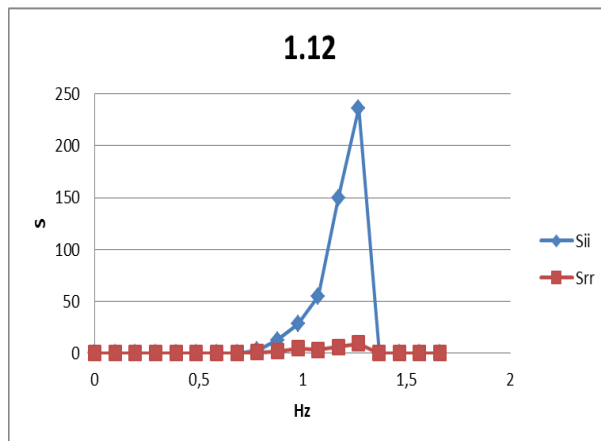
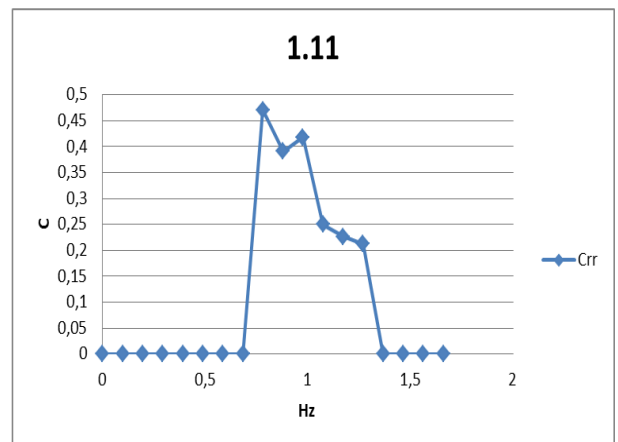
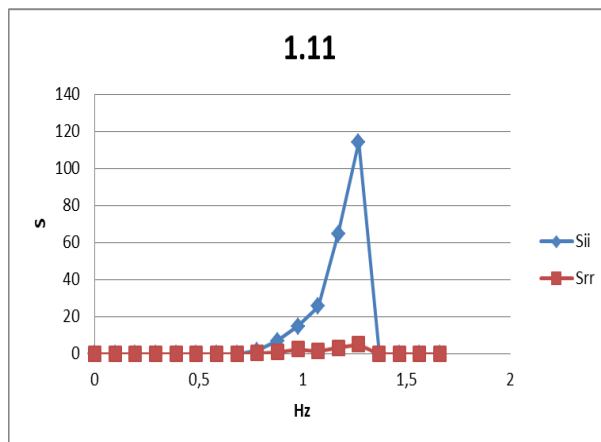
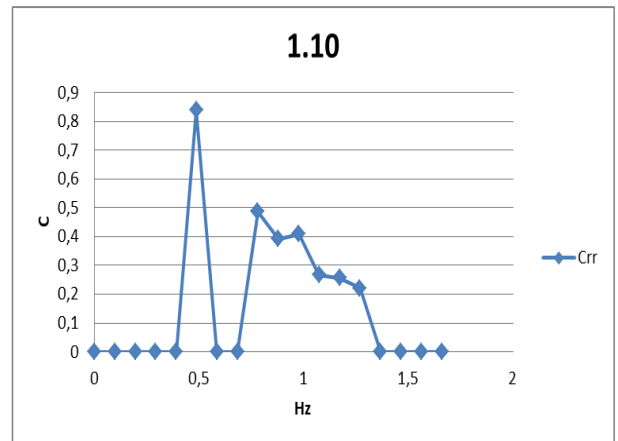
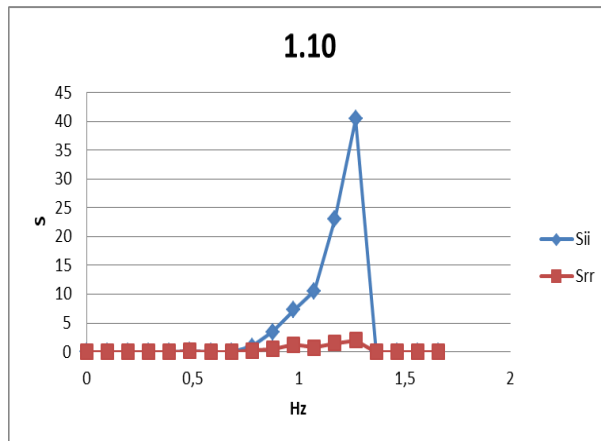
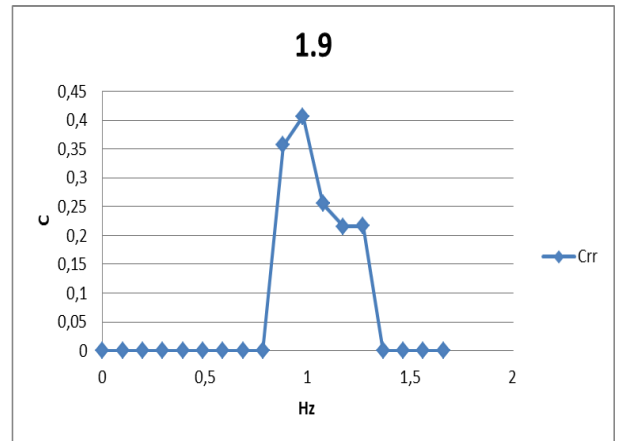
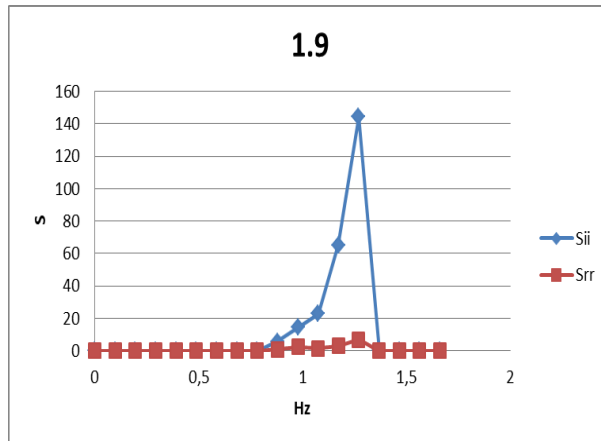
1^η ομάδα πειραμάτων



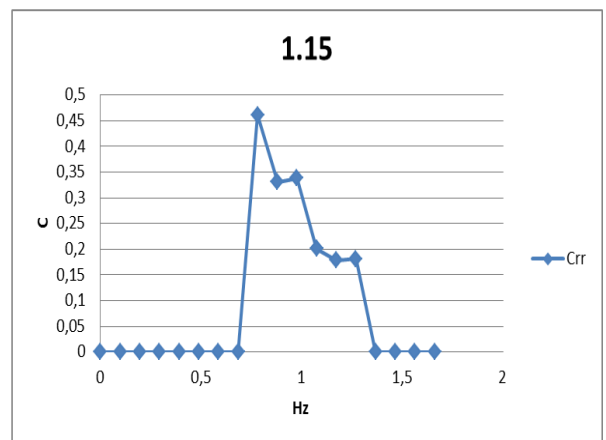
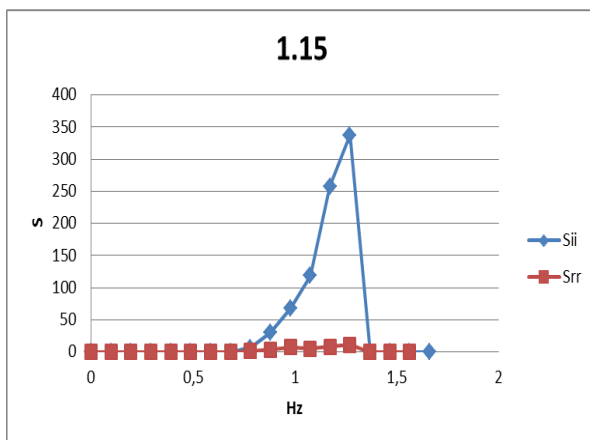
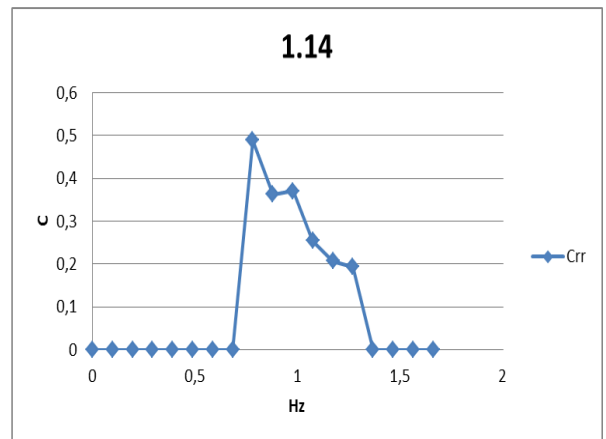
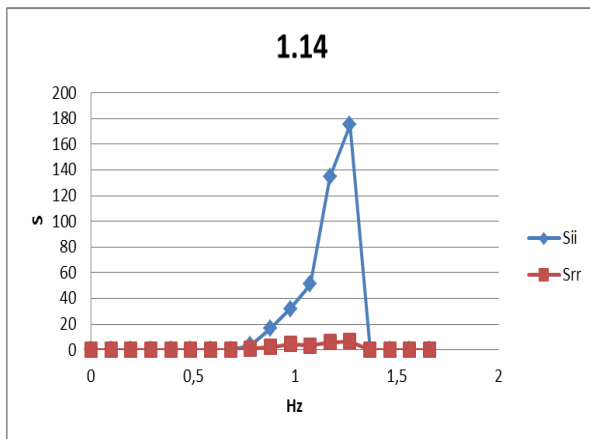
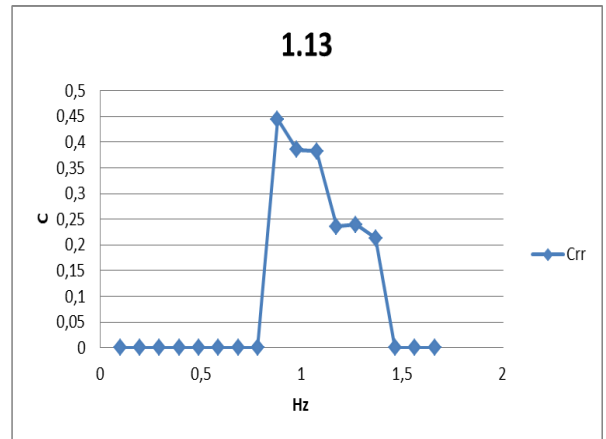
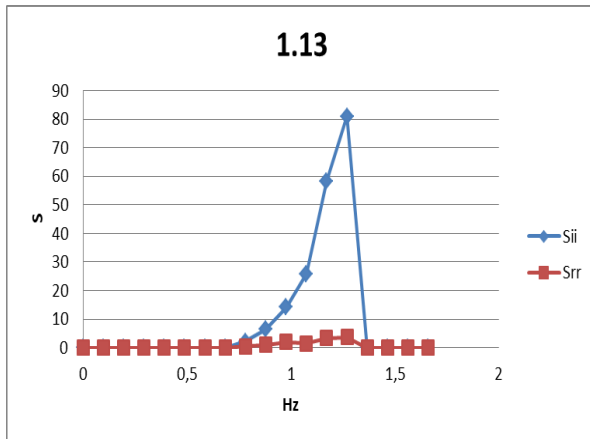
Παράρτημα Γ



Παράρτημα Γ

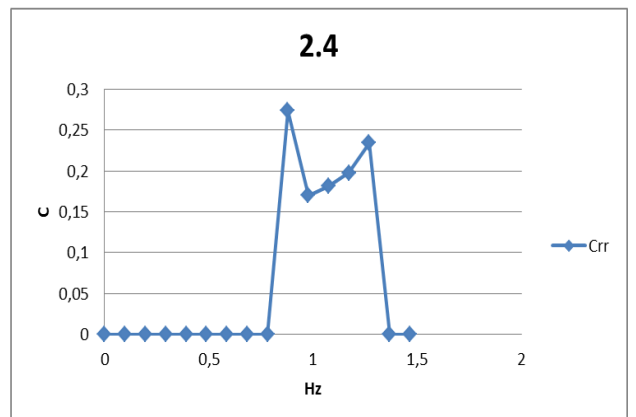
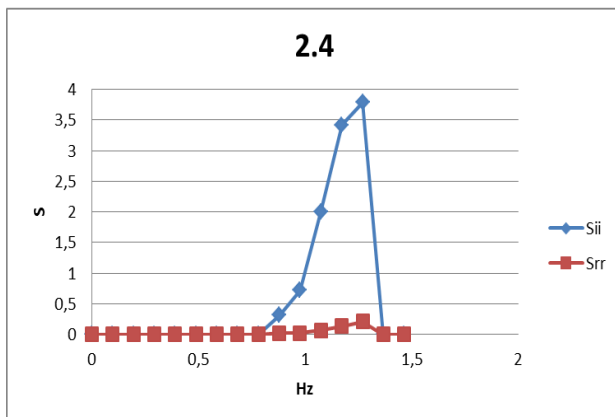
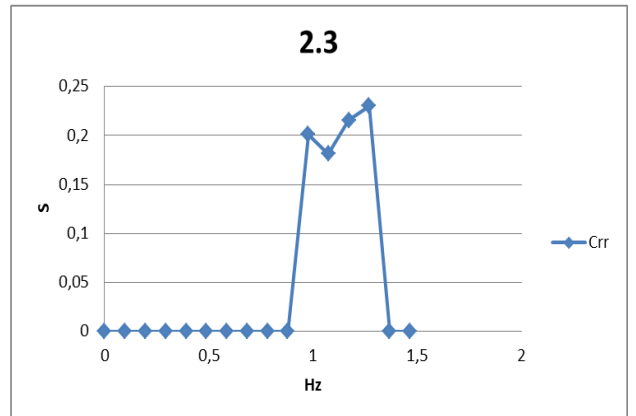
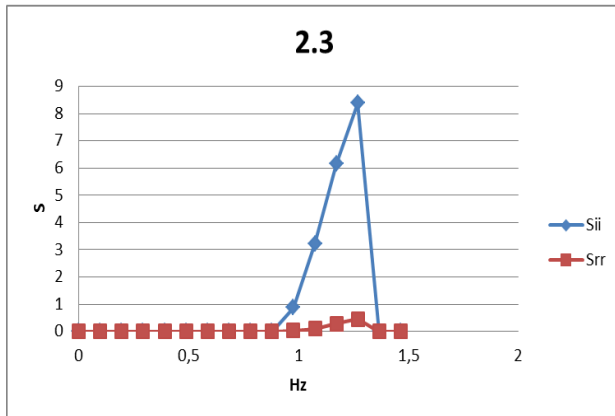
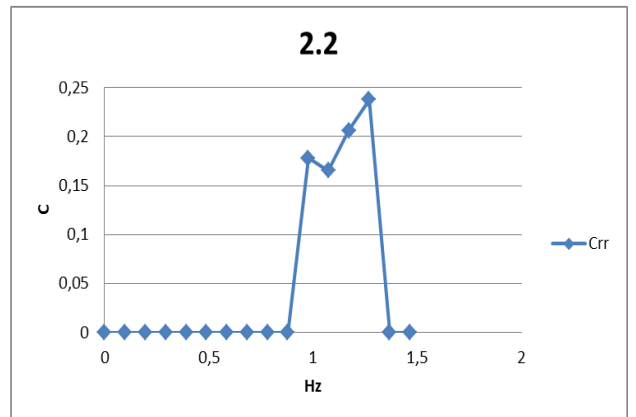
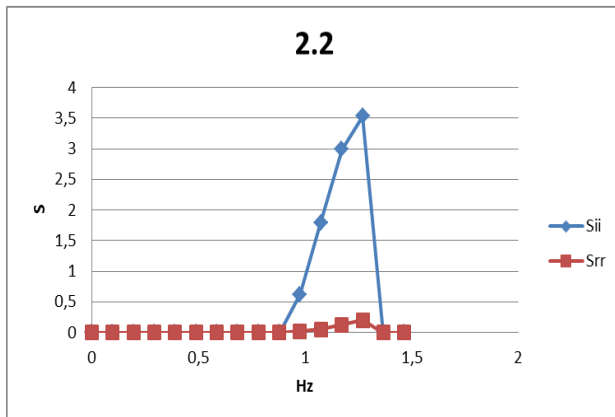
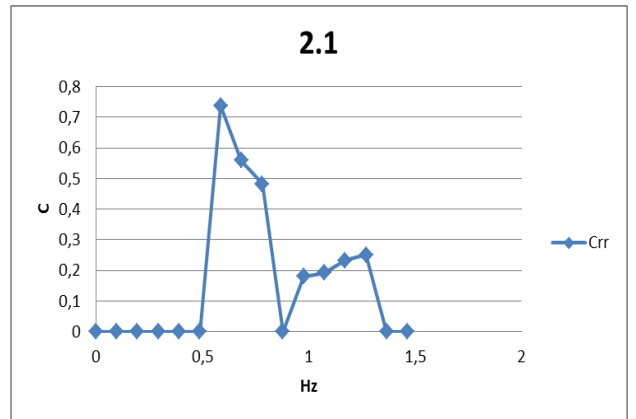
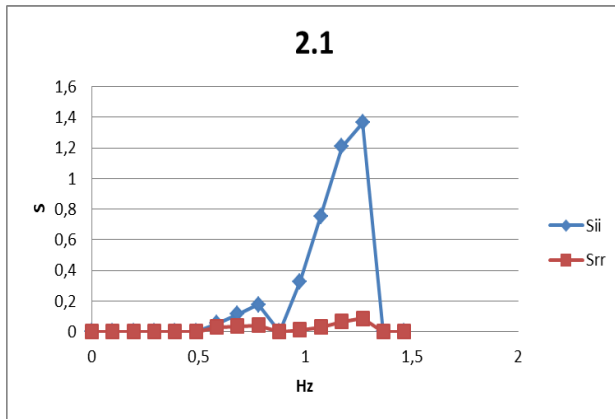


Παράρτημα Γ

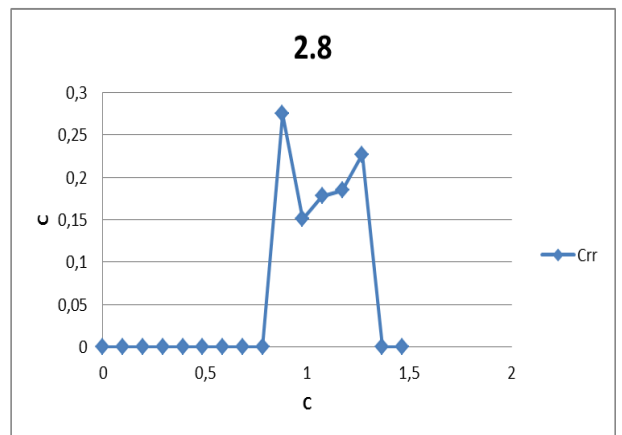
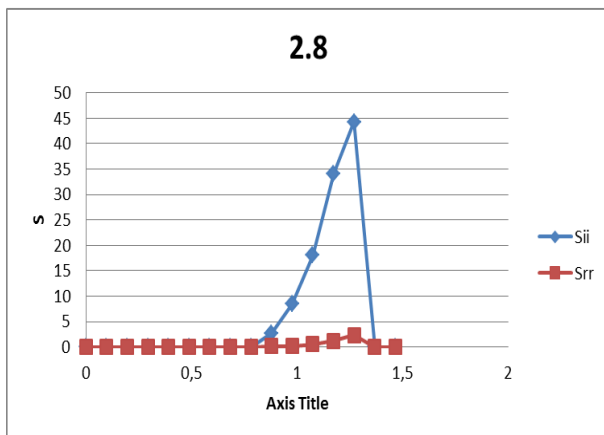
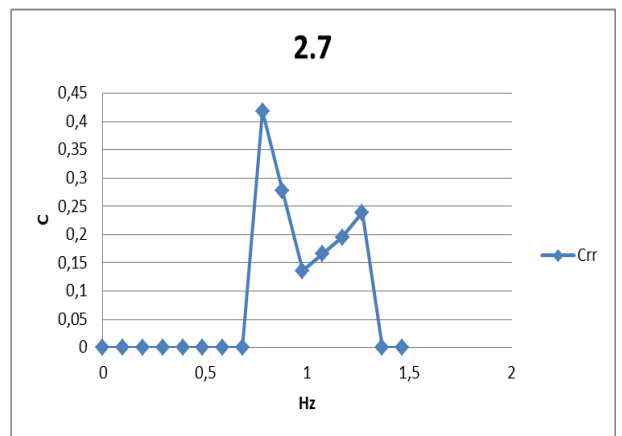
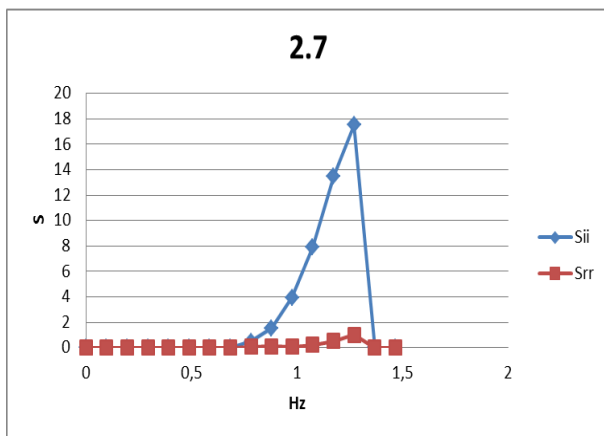
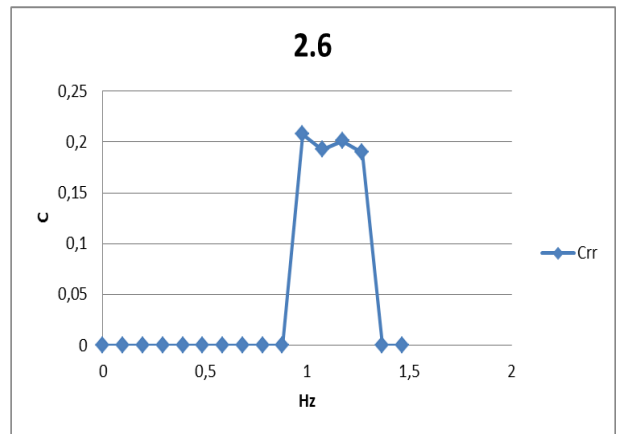
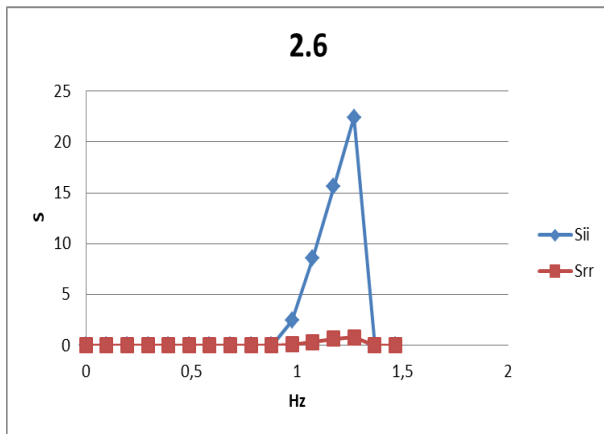
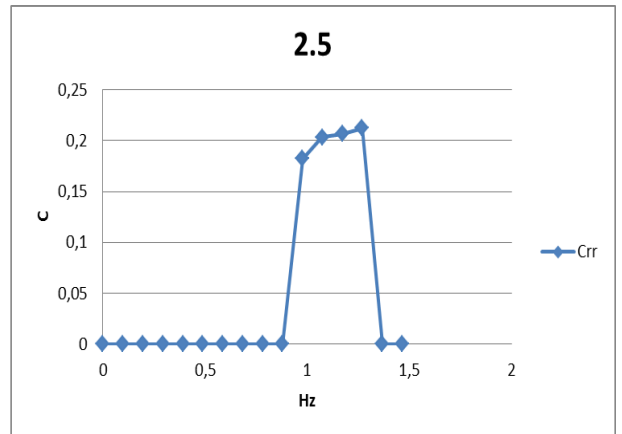
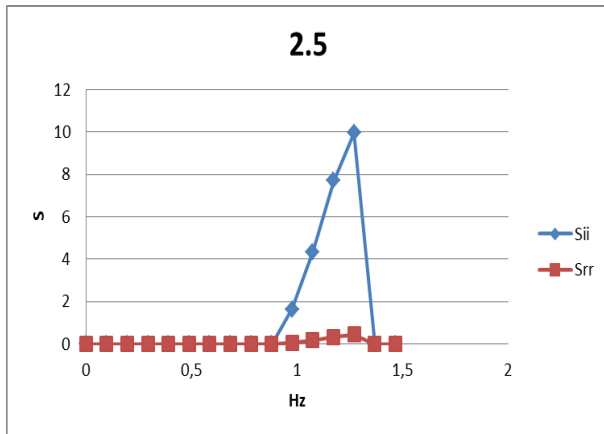


Παράρτημα Γ

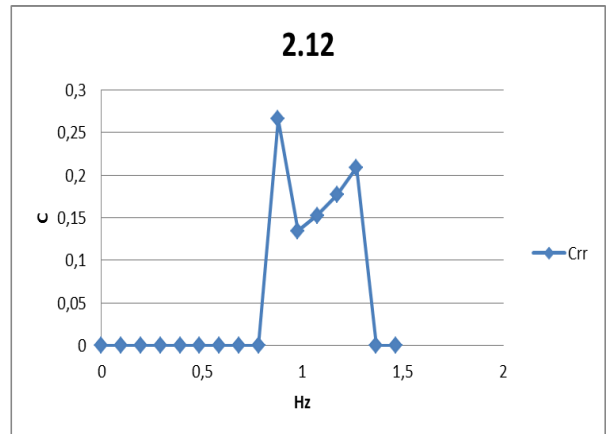
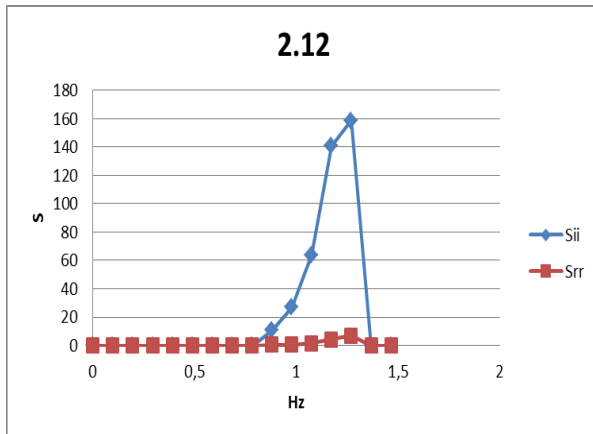
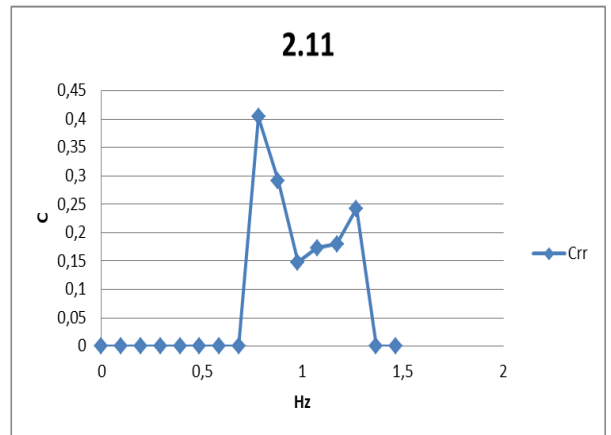
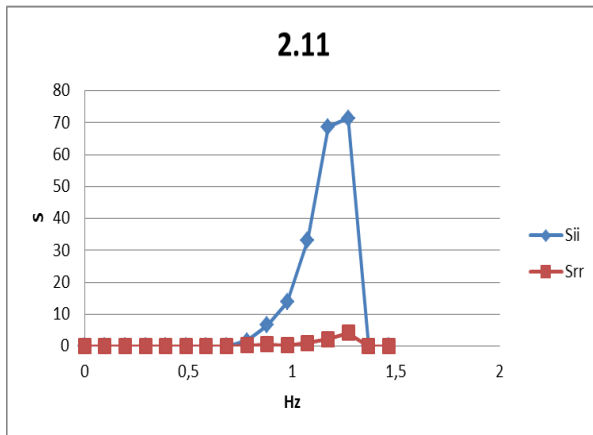
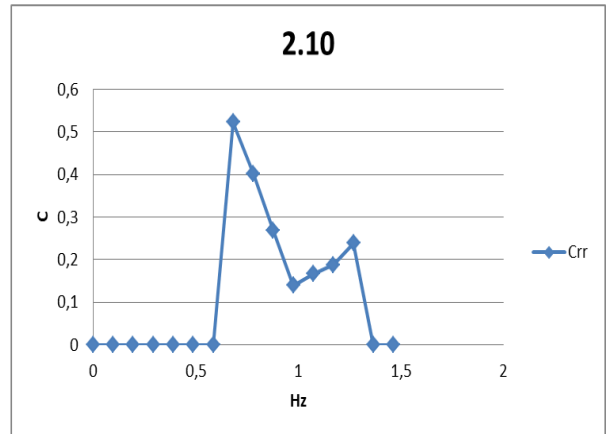
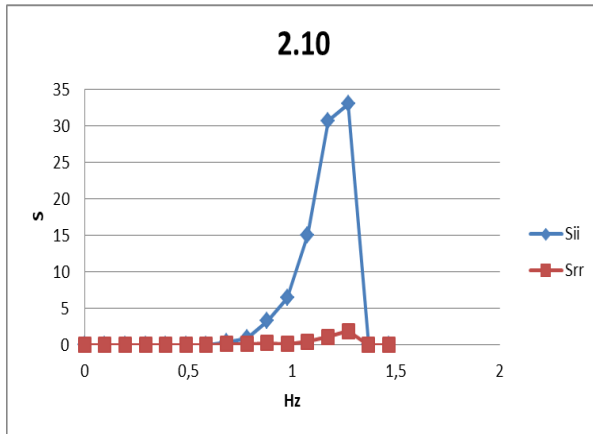
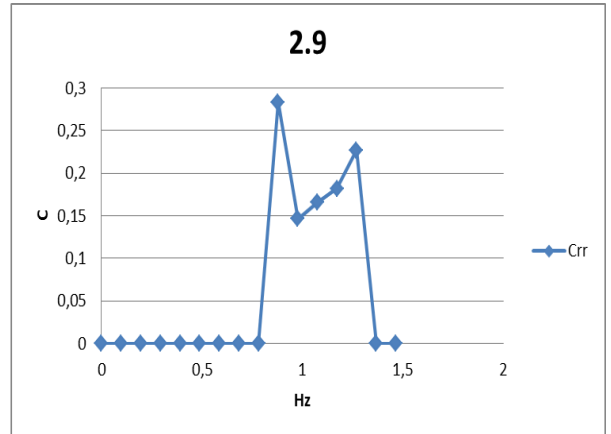
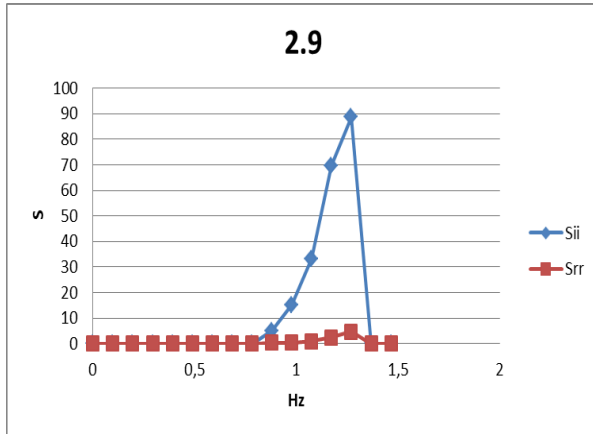
2^η ομάδα πειραμάτων



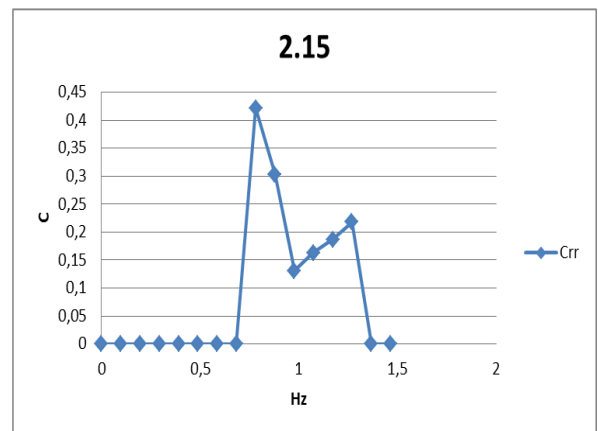
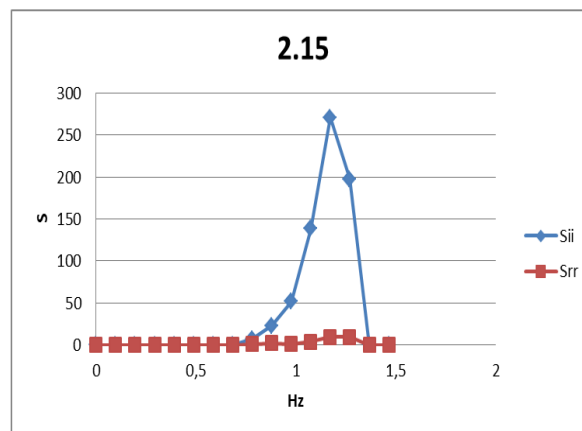
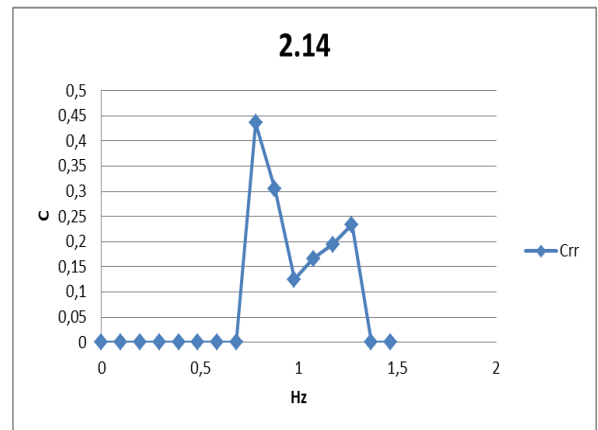
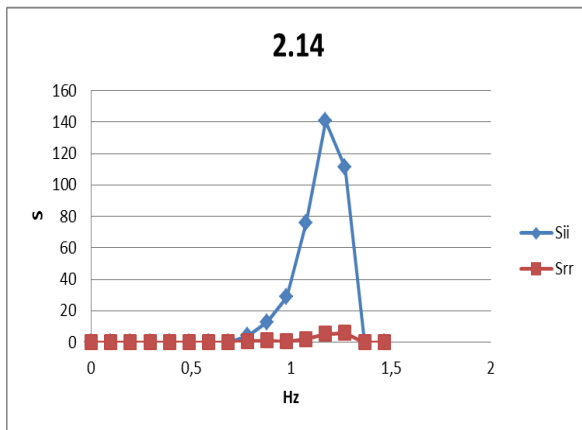
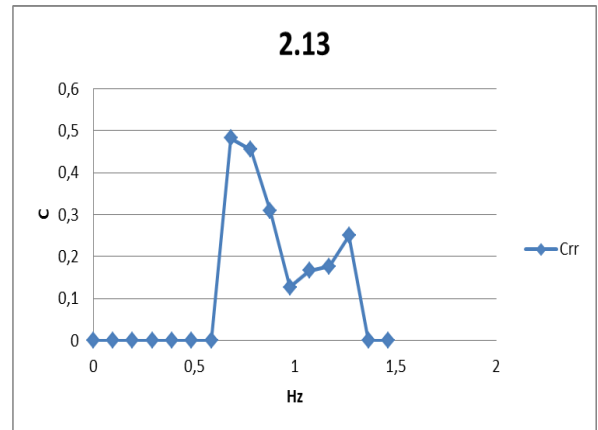
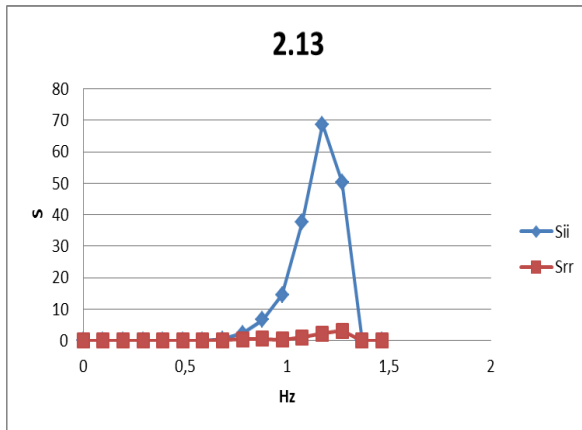
Παράρτημα Γ



Παράρτημα Γ

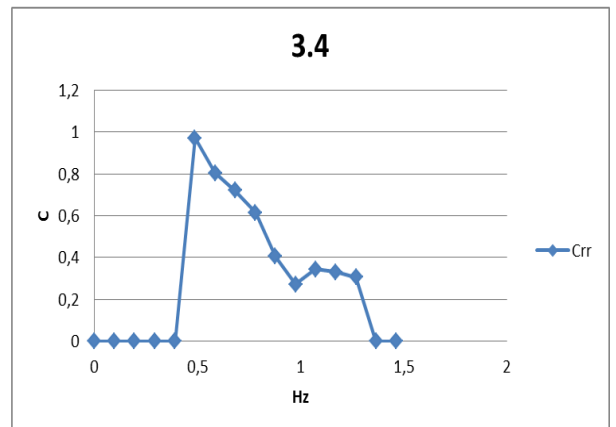
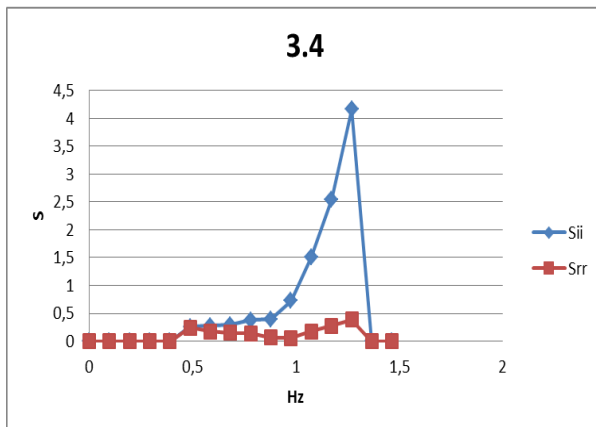
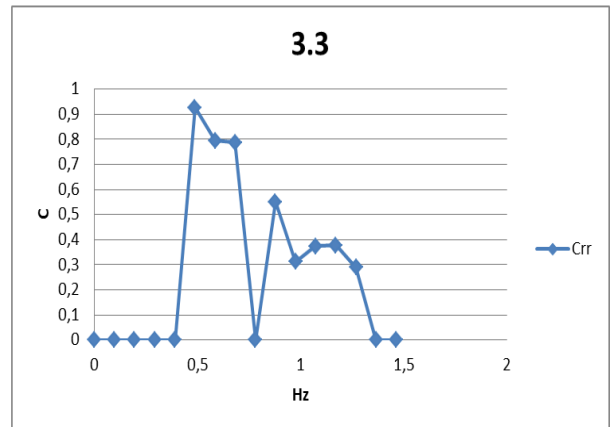
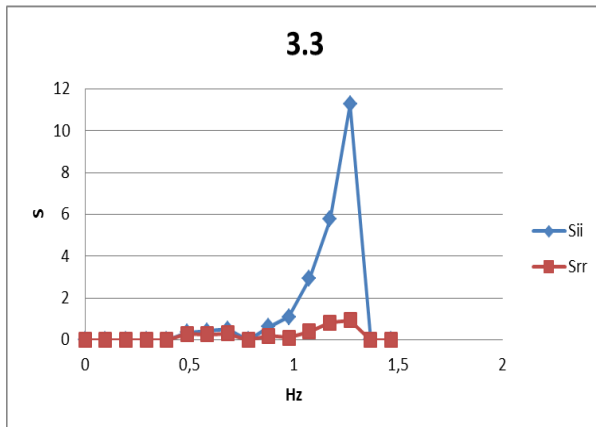
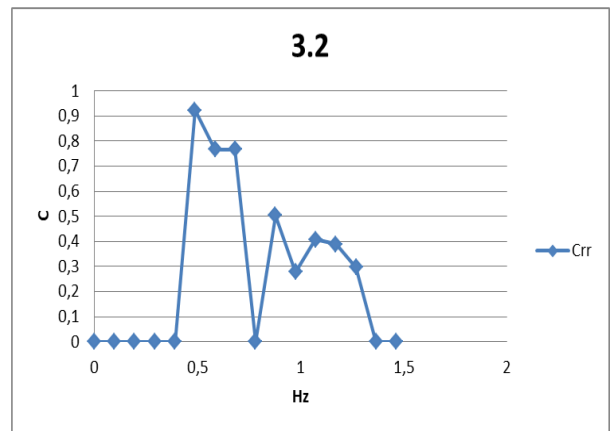
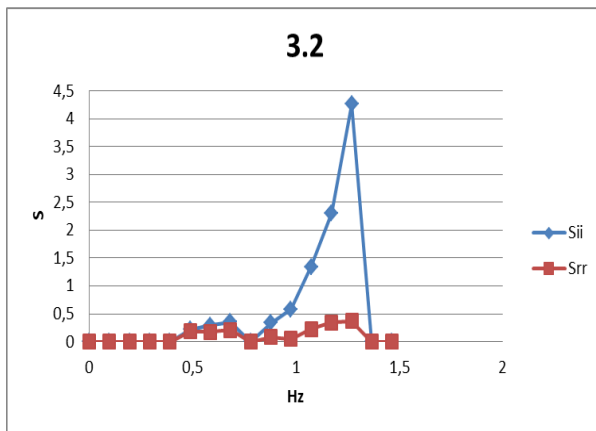
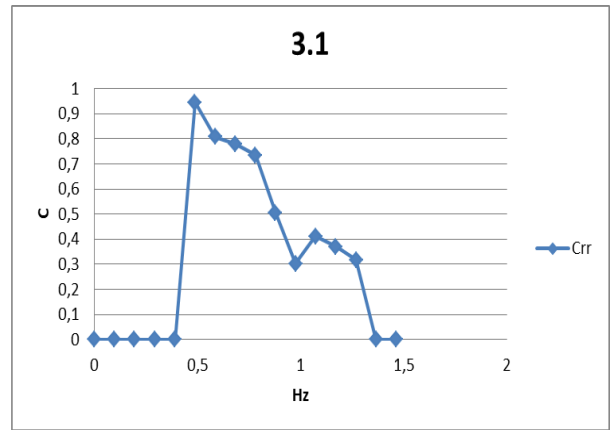
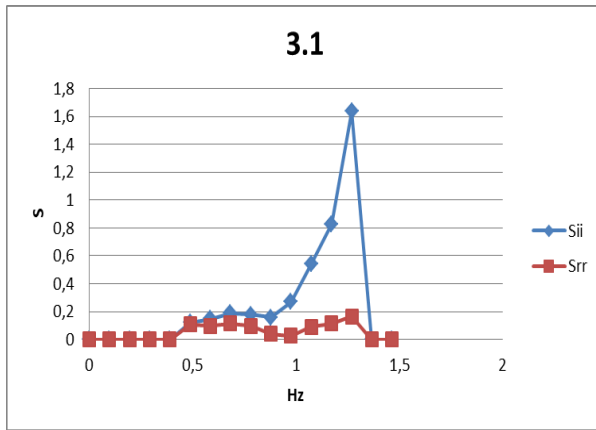


Παράρτημα Γ

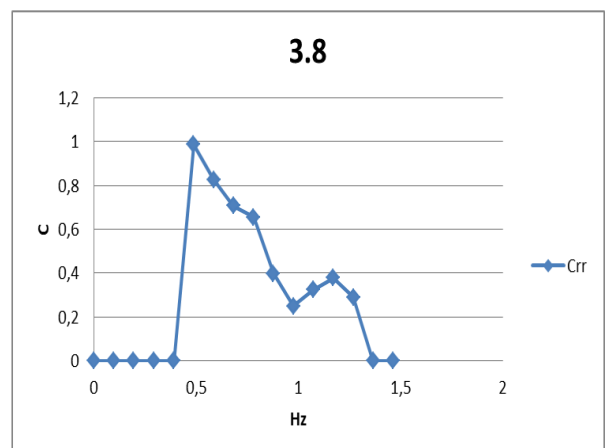
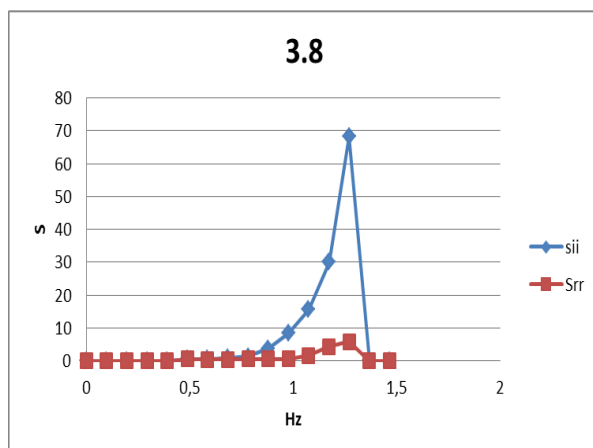
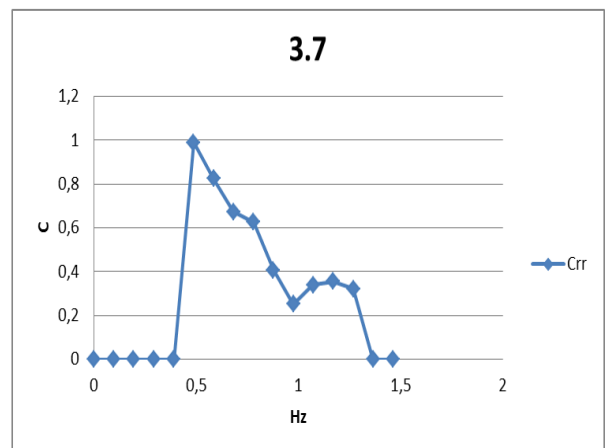
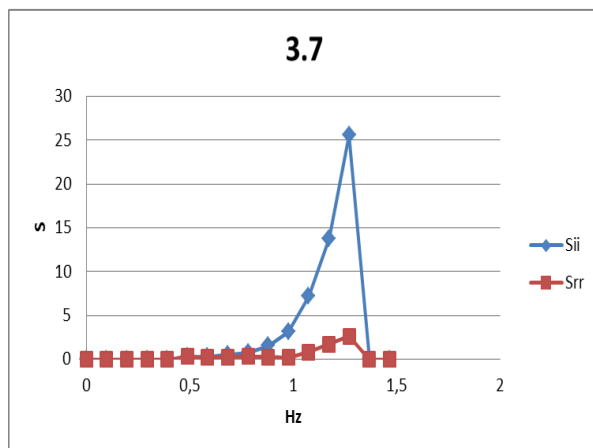
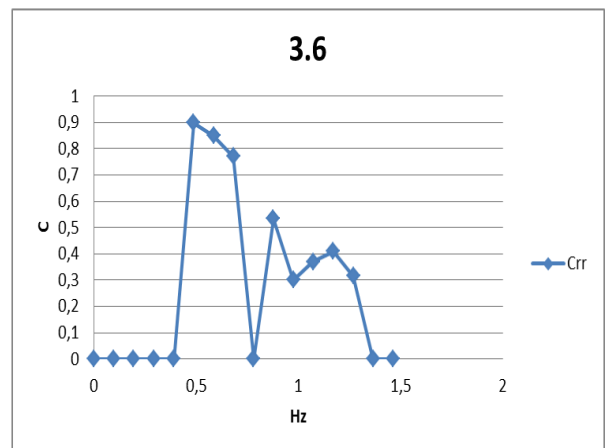
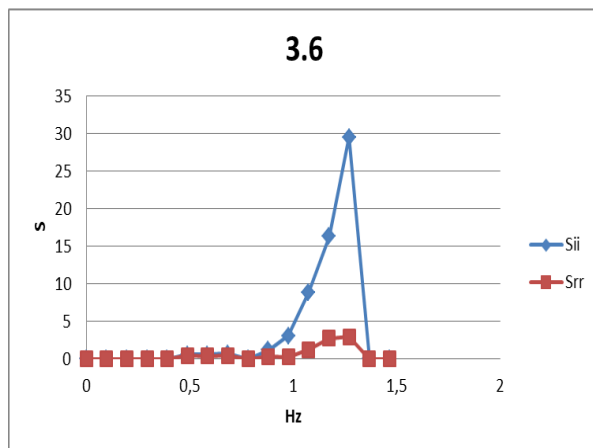
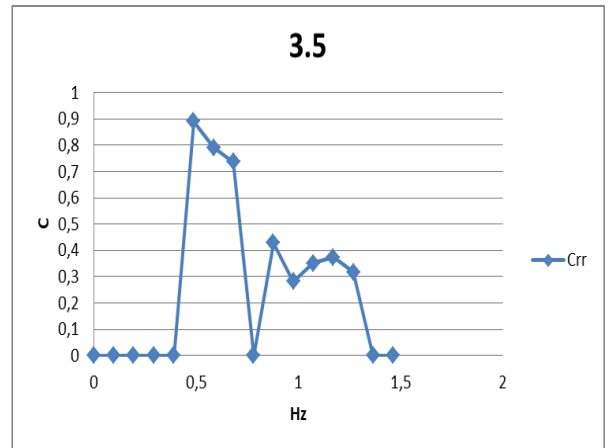
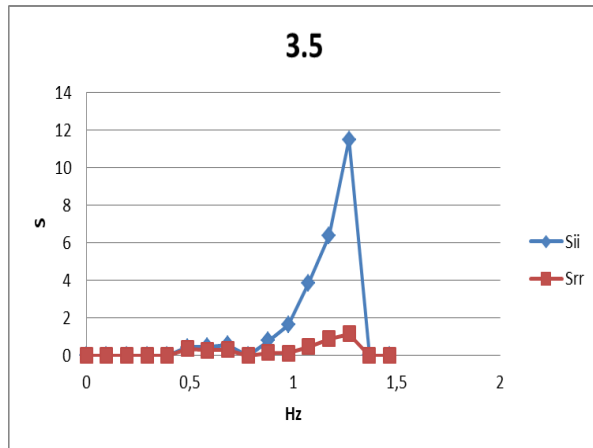


Παράρτημα Γ

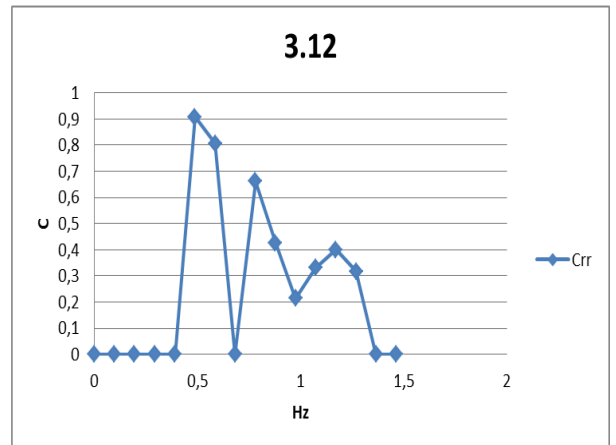
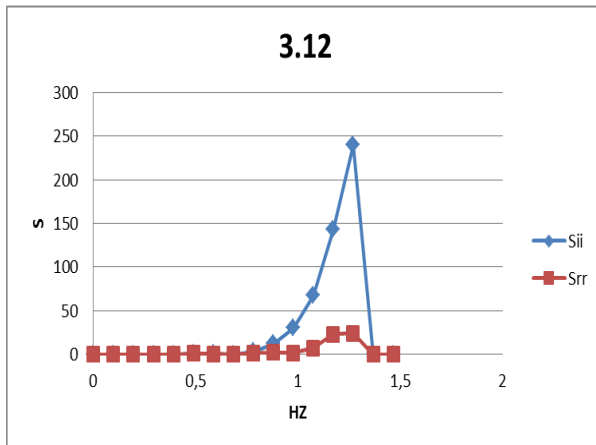
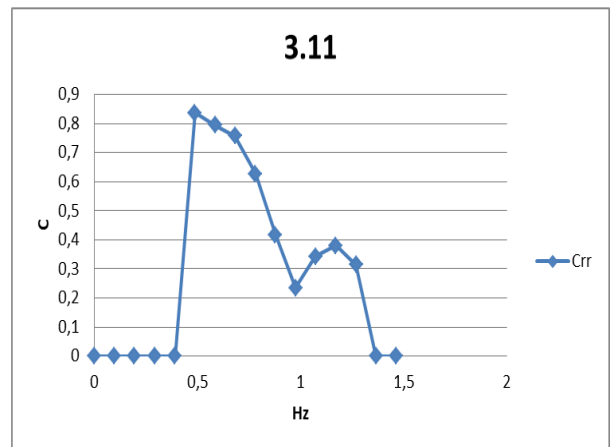
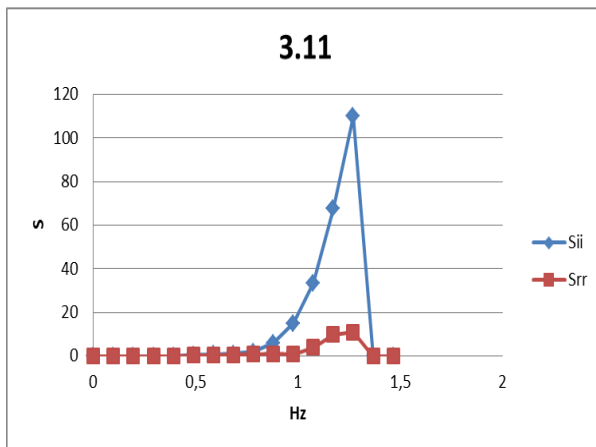
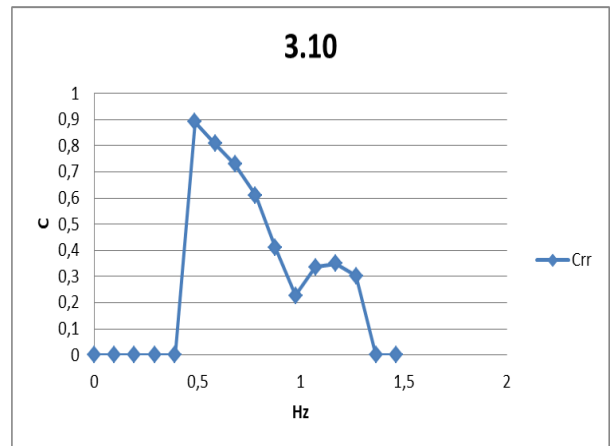
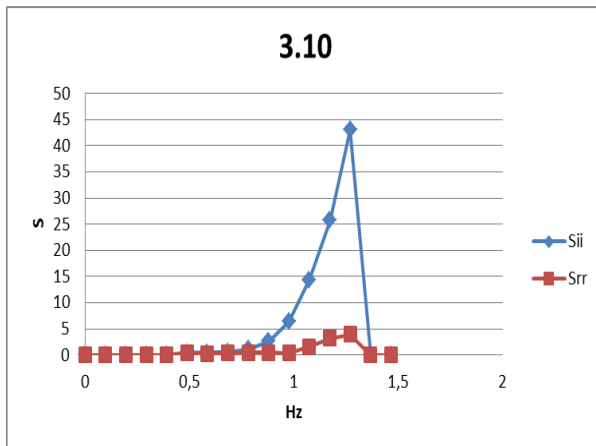
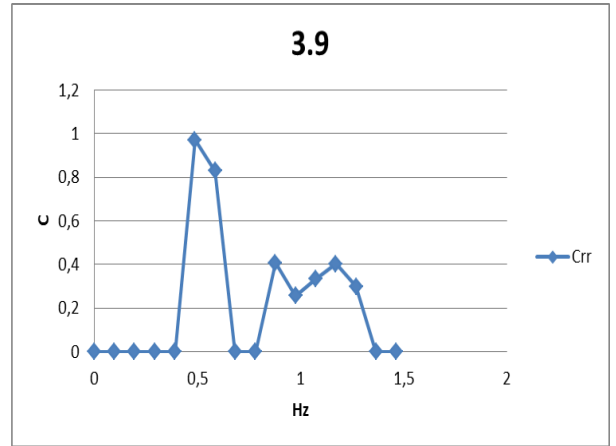
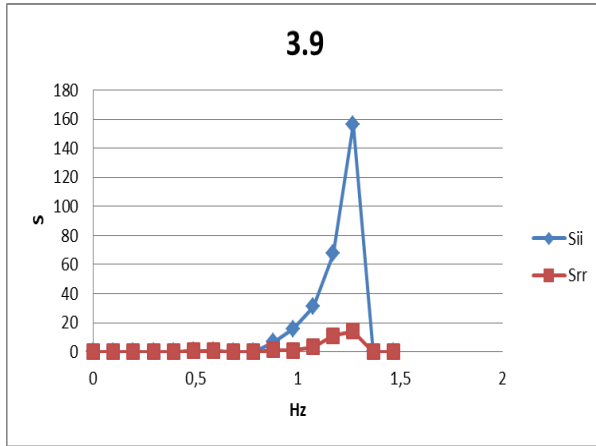
3^η ομάδα πειραμάτων



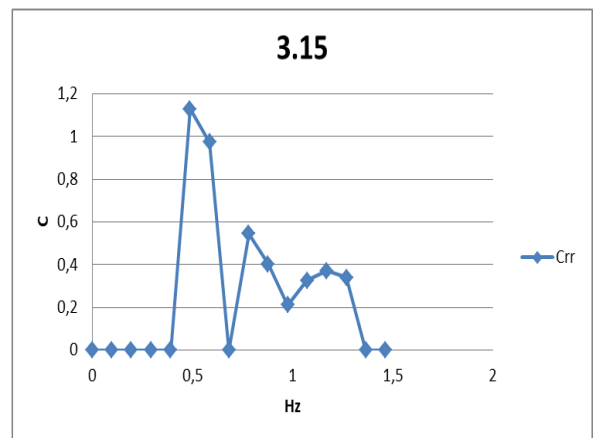
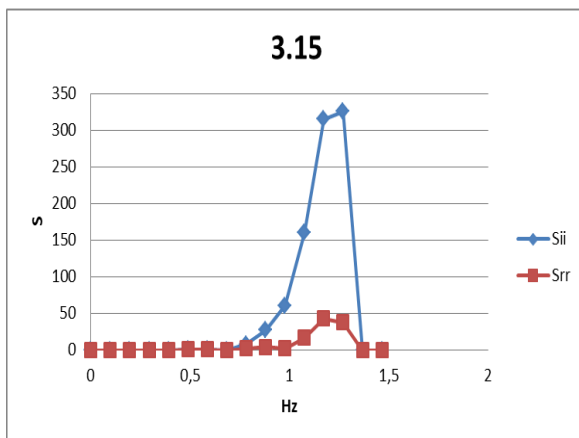
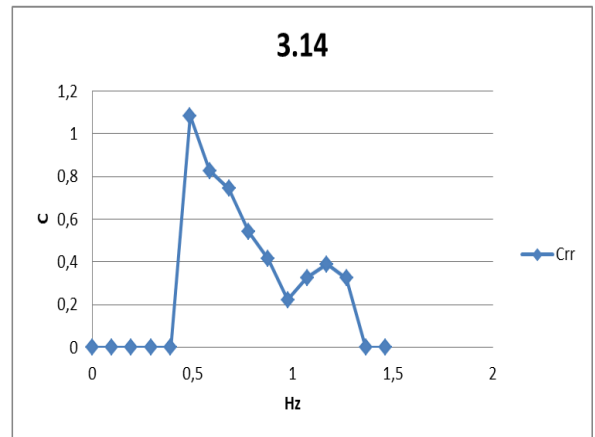
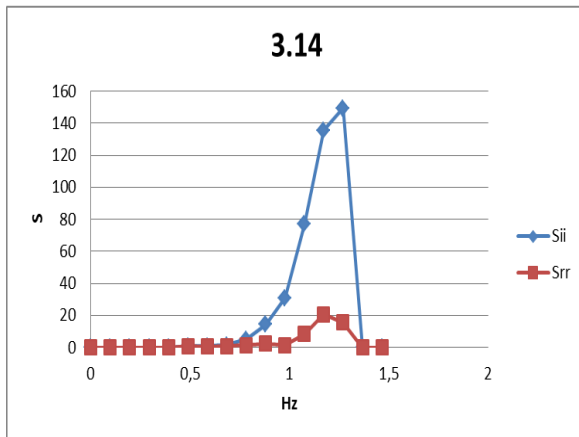
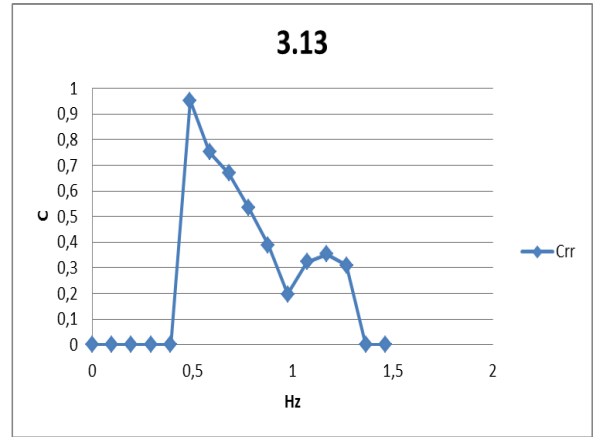
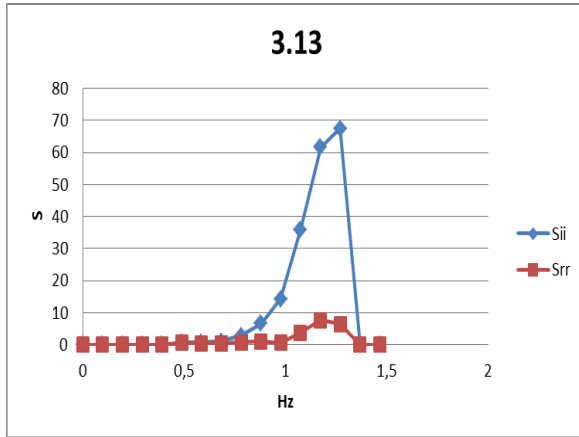
Παράρτημα Γ



Παράρτημα Γ

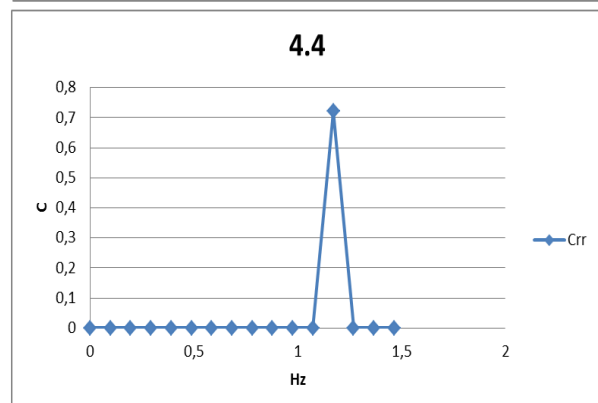
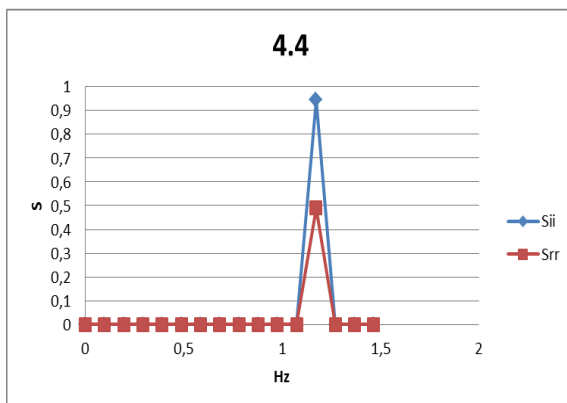
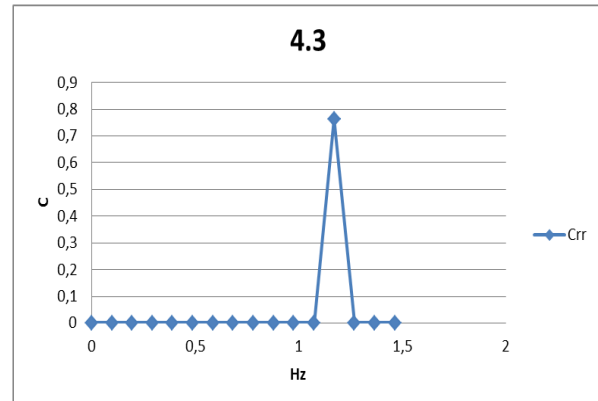
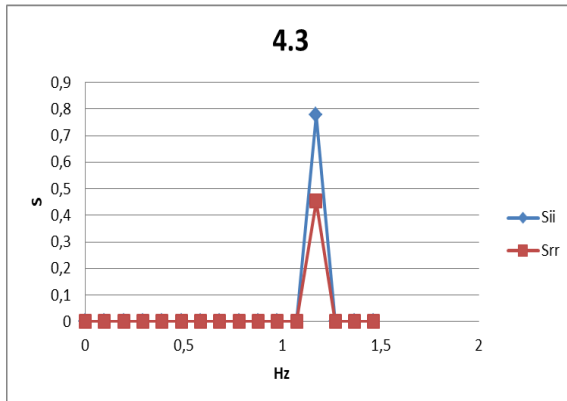
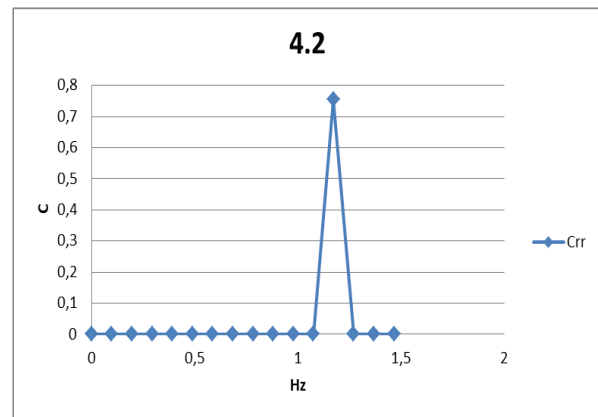
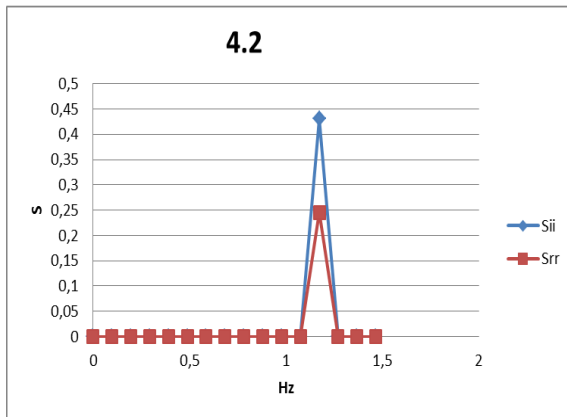
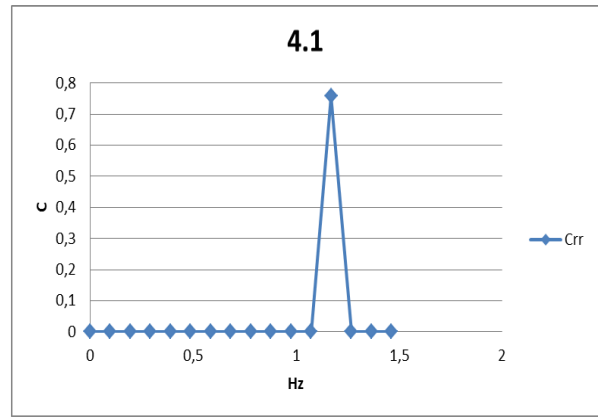
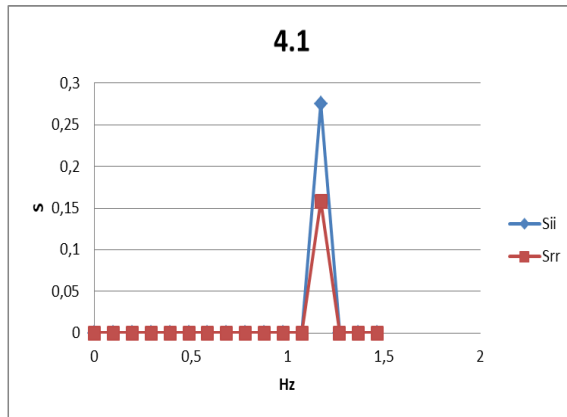


Παράρτημα Γ

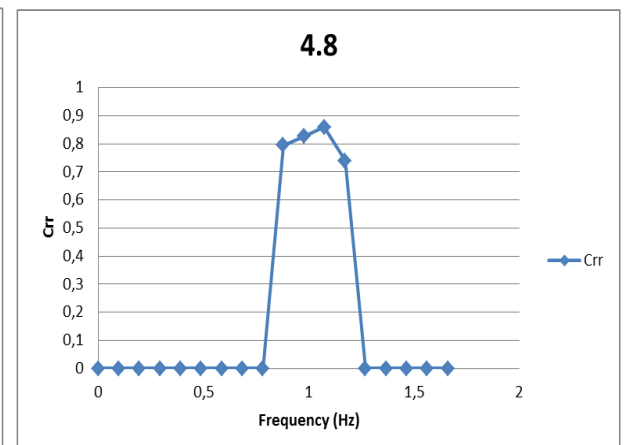
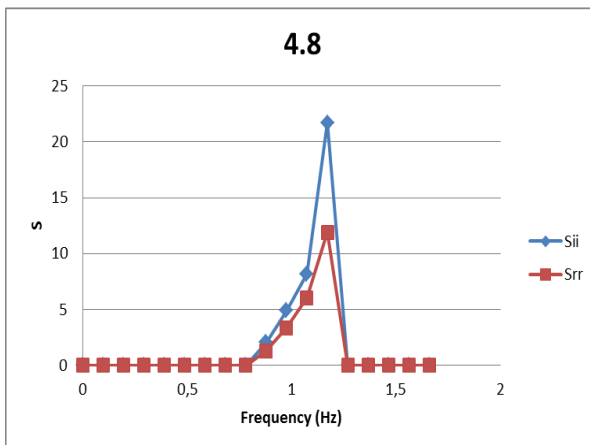
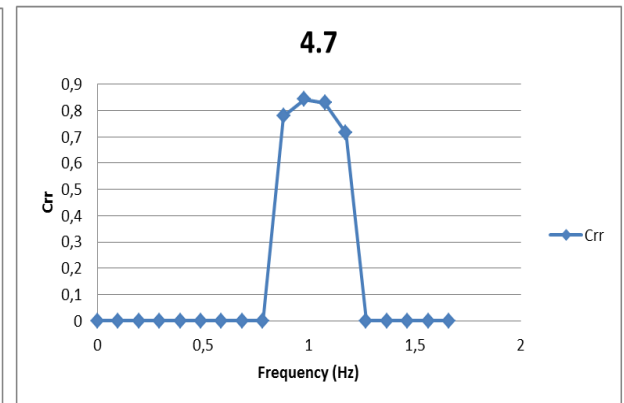
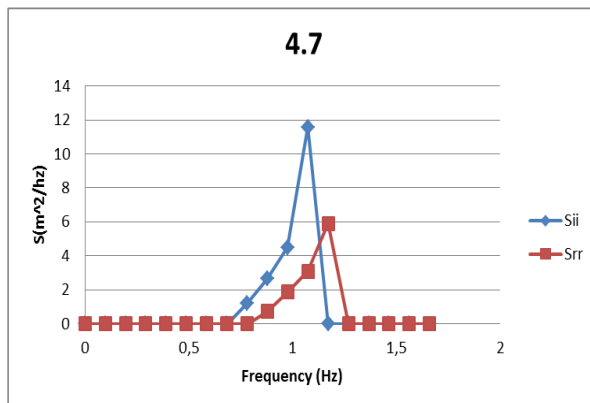
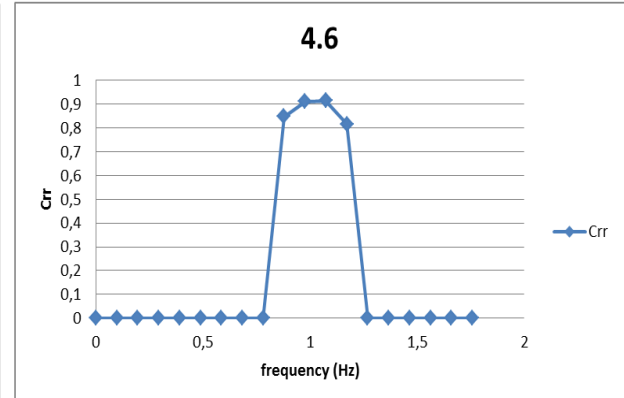
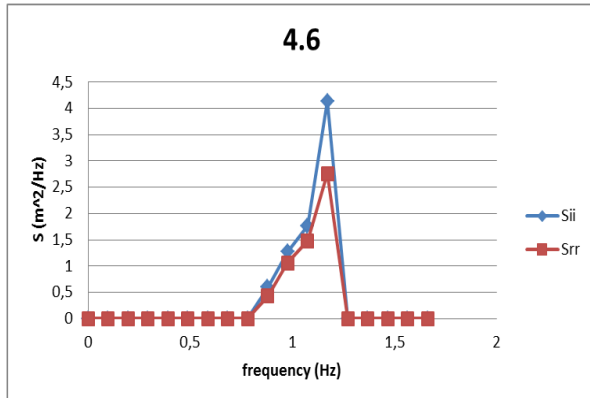
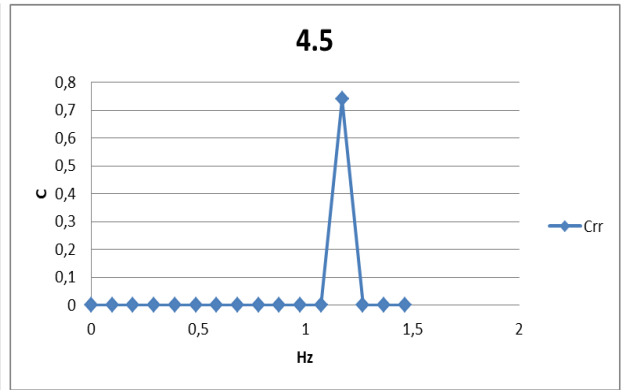
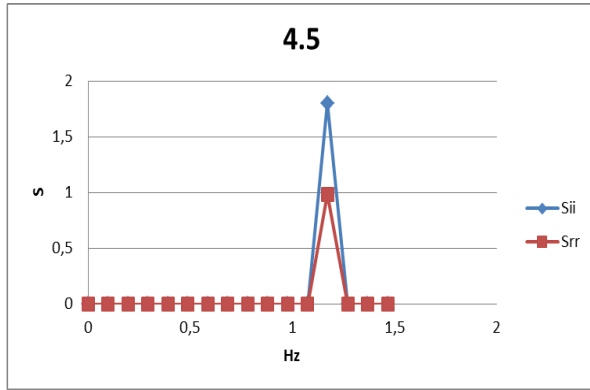


Παράρτημα Γ

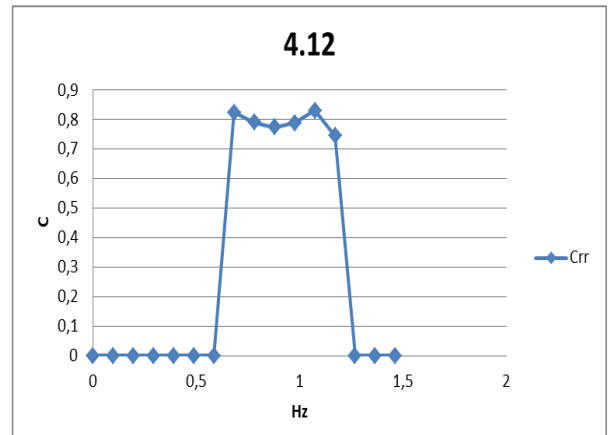
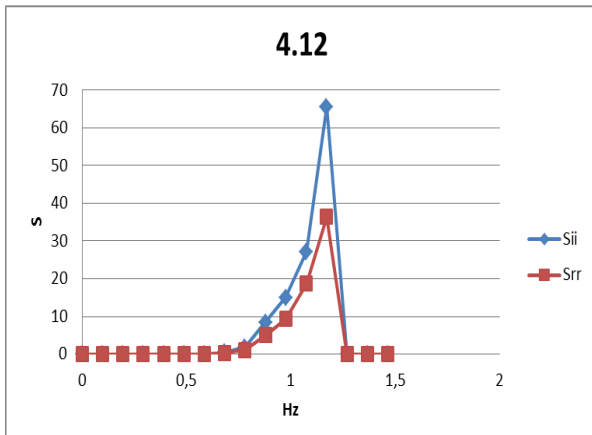
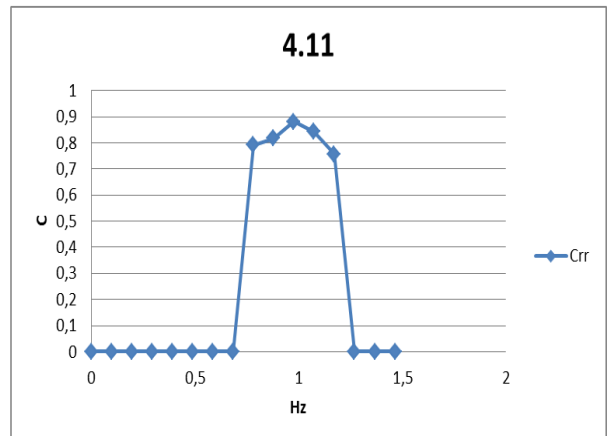
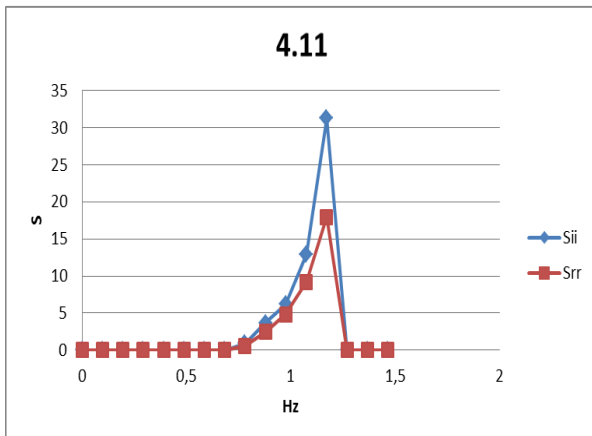
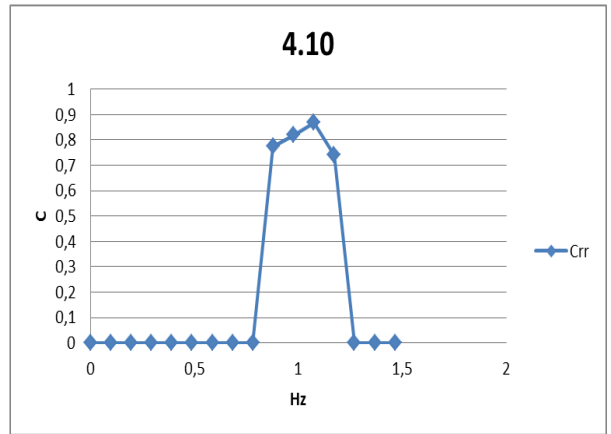
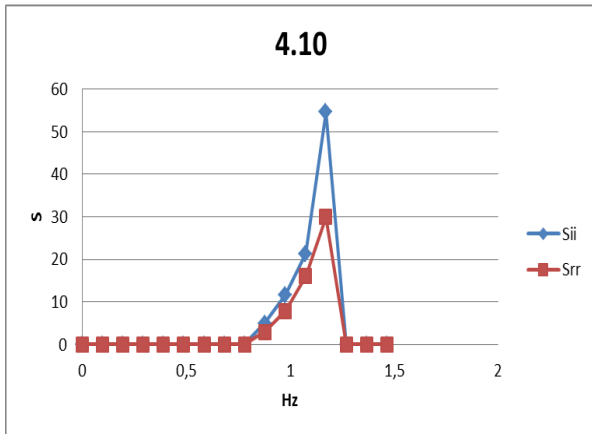
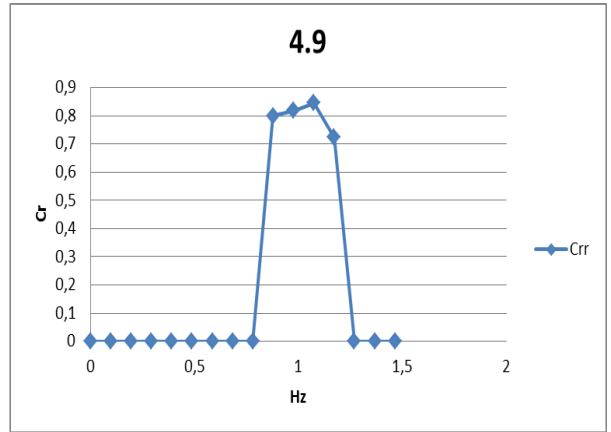
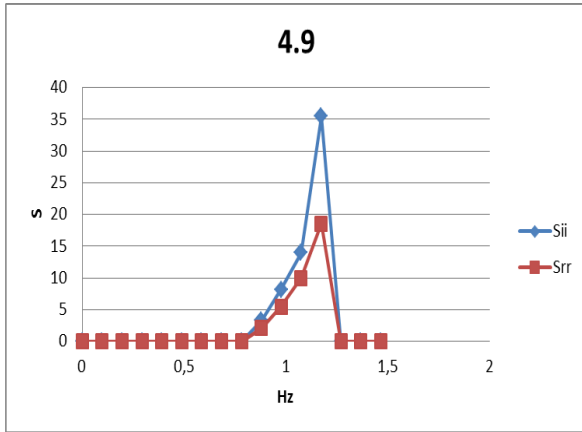
4^η ομάδα πειραμάτων



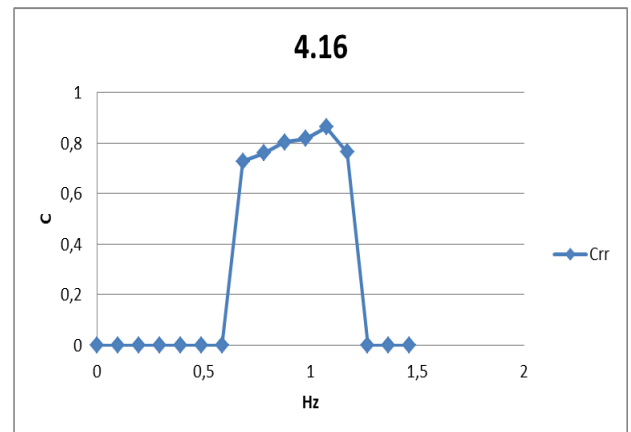
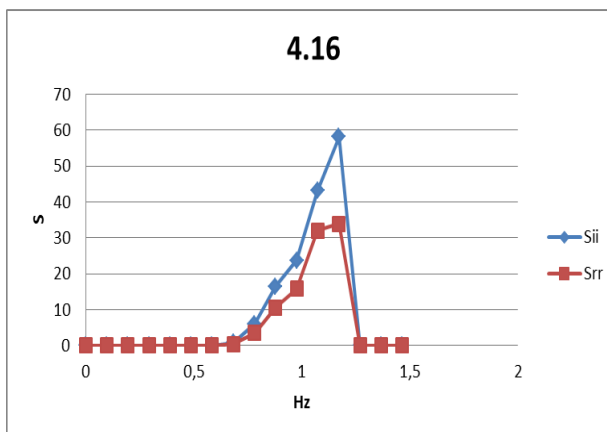
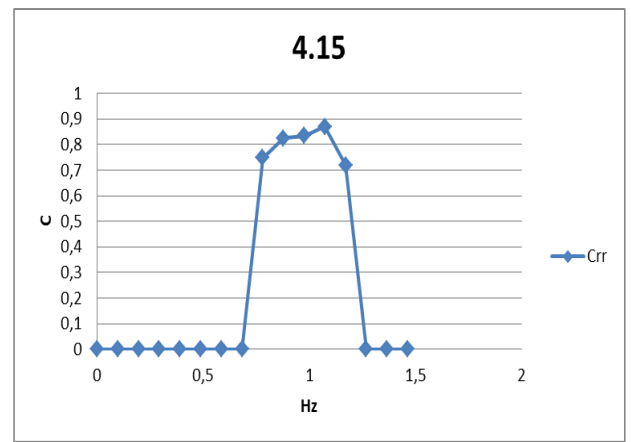
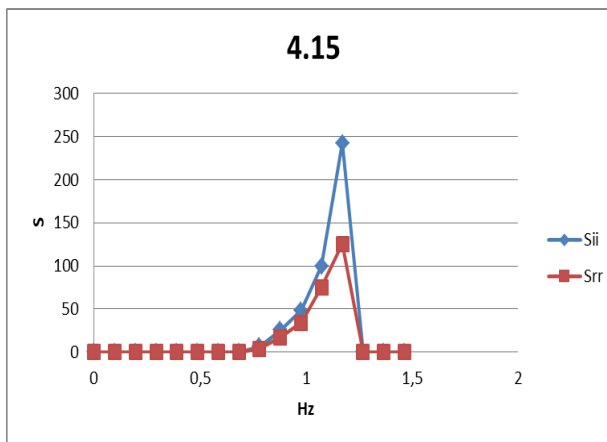
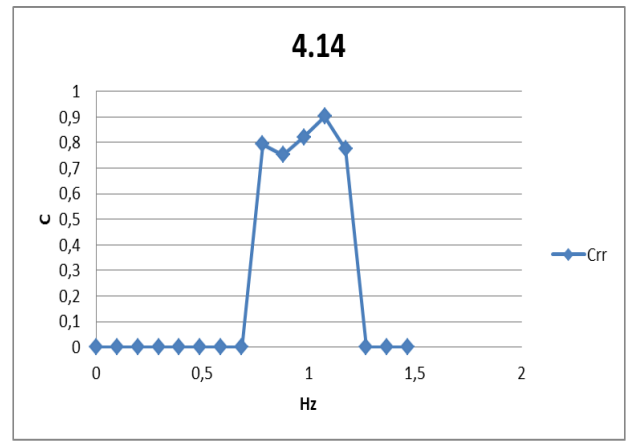
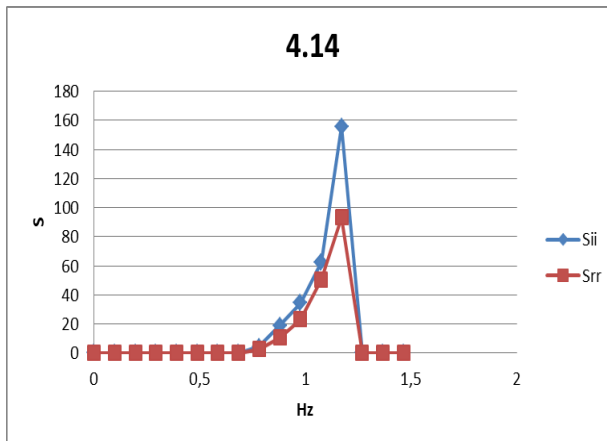
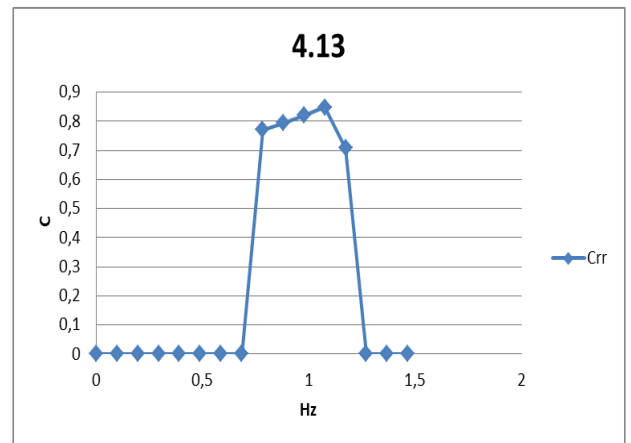
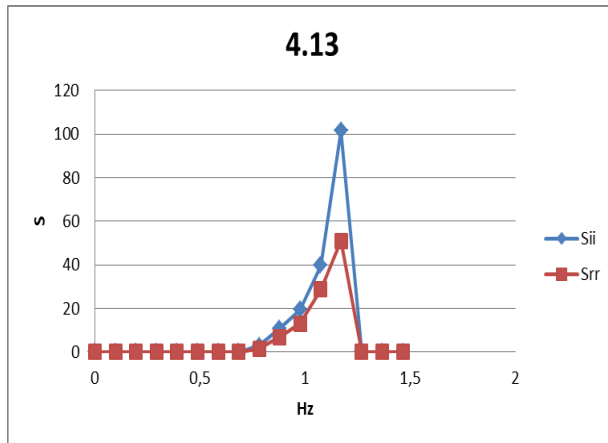
Παράρτημα Γ



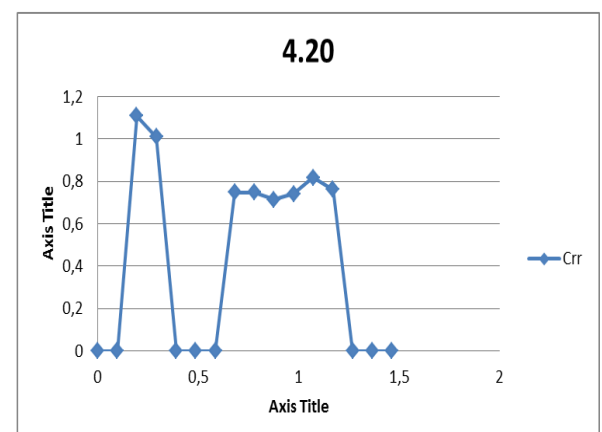
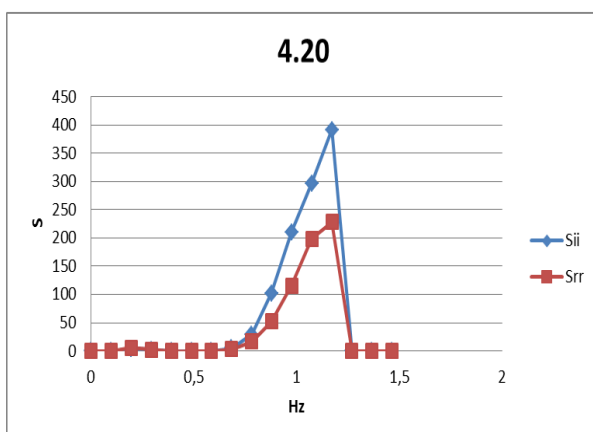
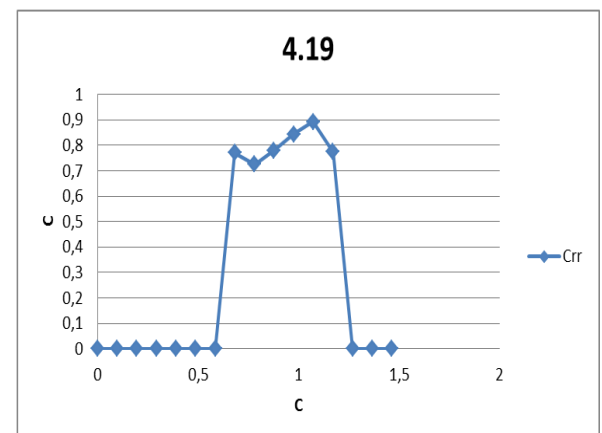
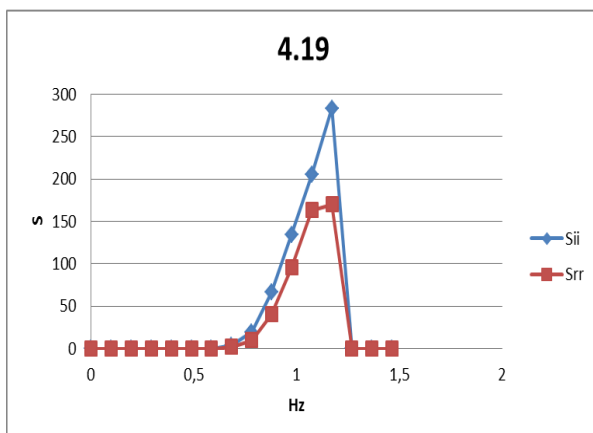
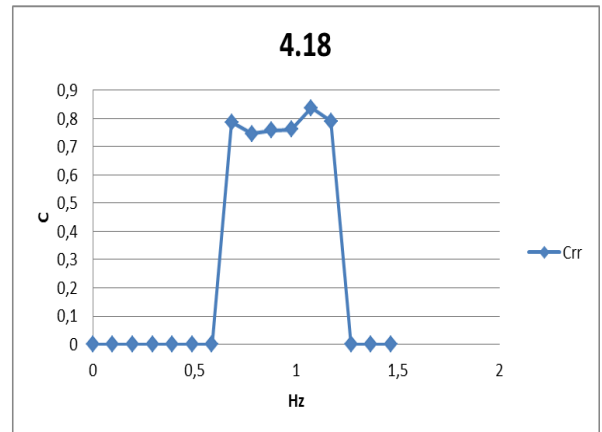
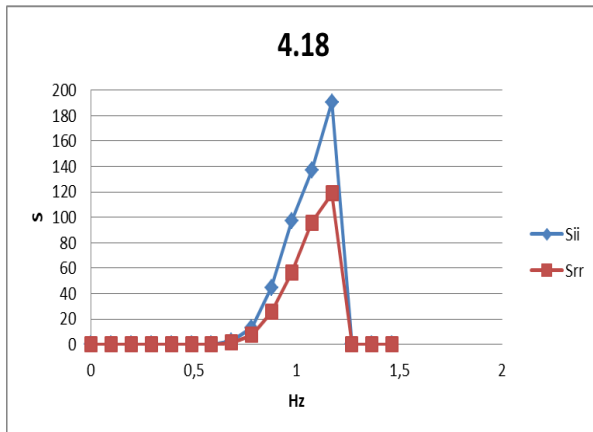
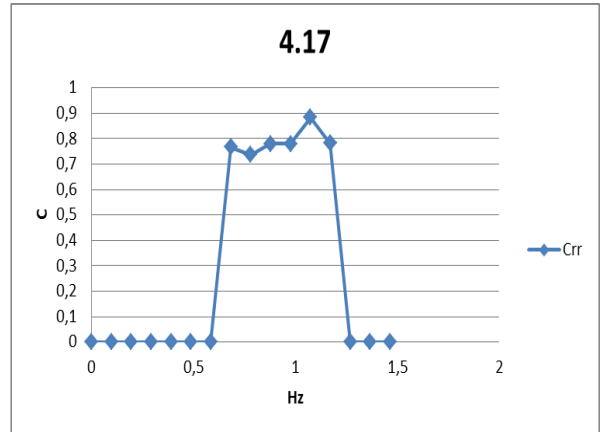
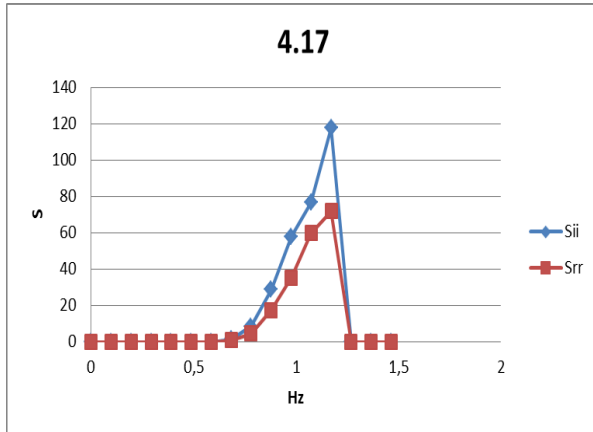
Παράρτημα Γ



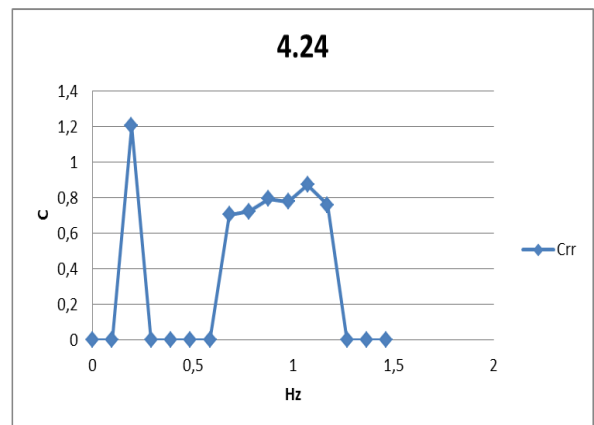
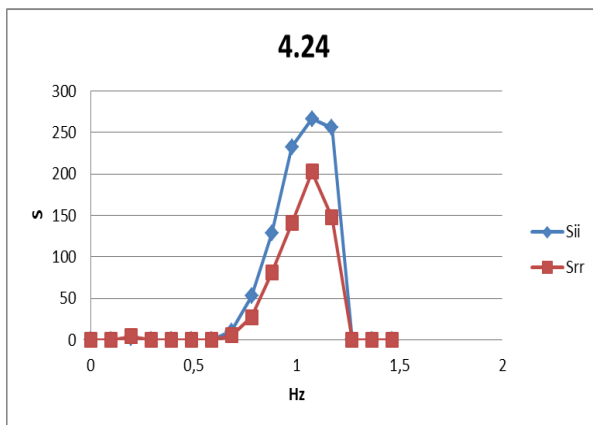
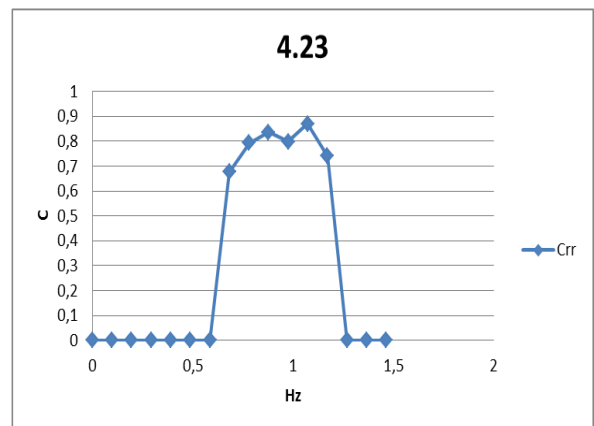
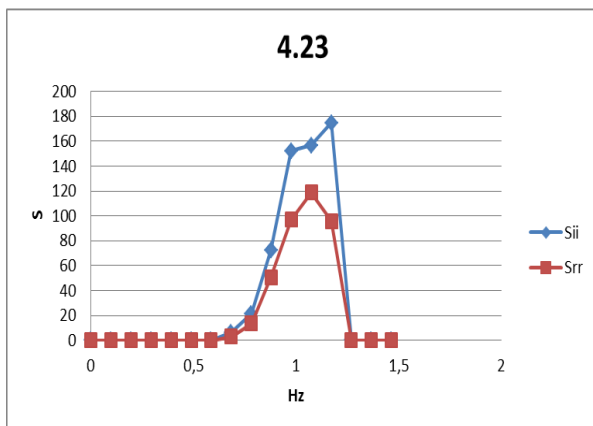
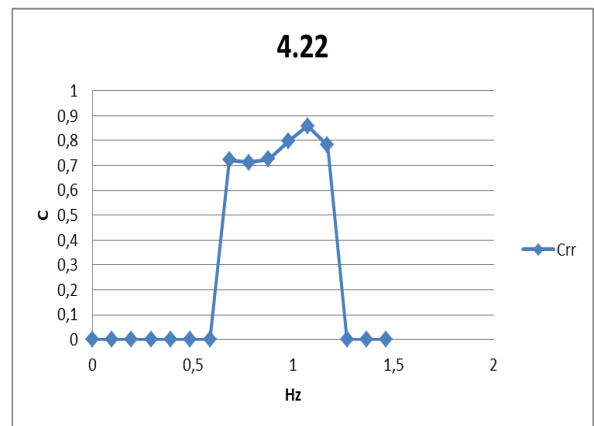
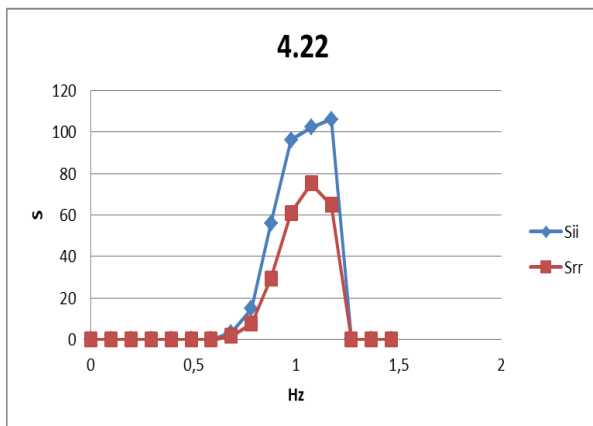
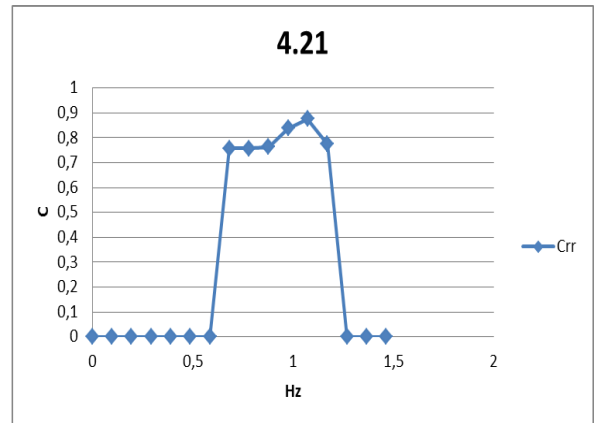
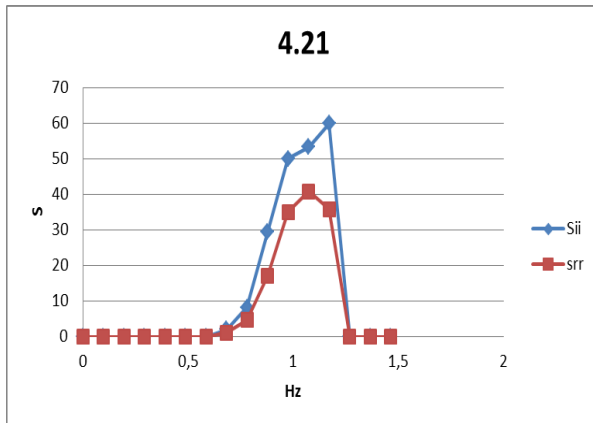
Παράρτημα Γ



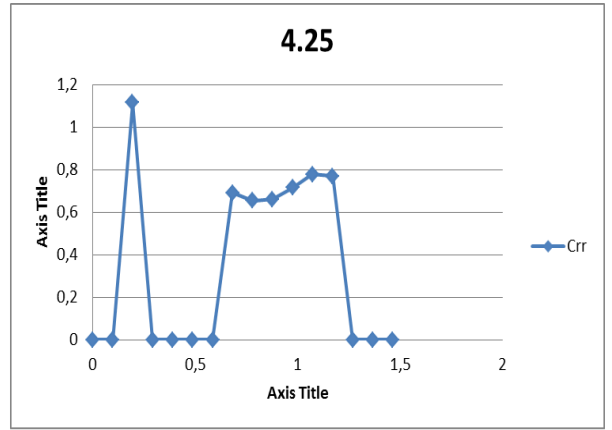
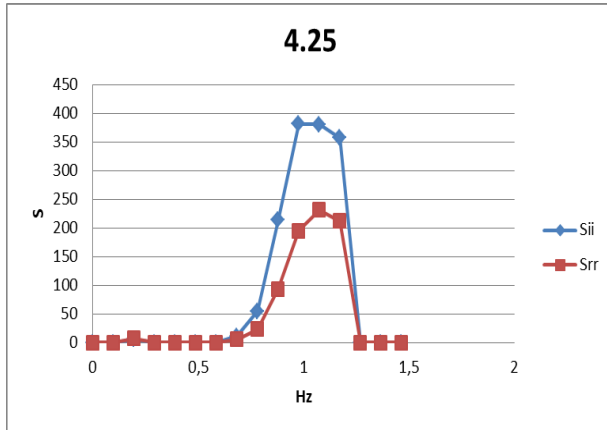
Παράρτημα Γ



Παράρτημα Γ

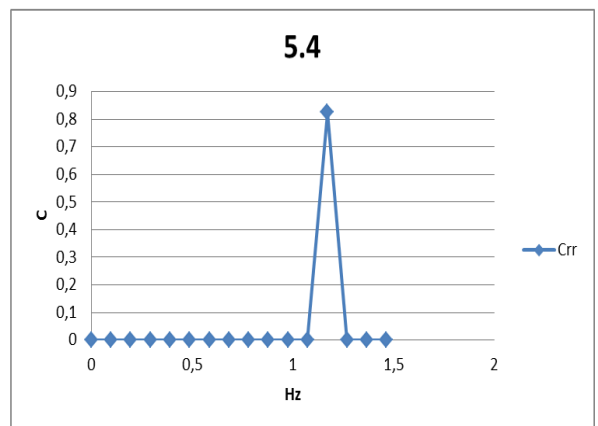
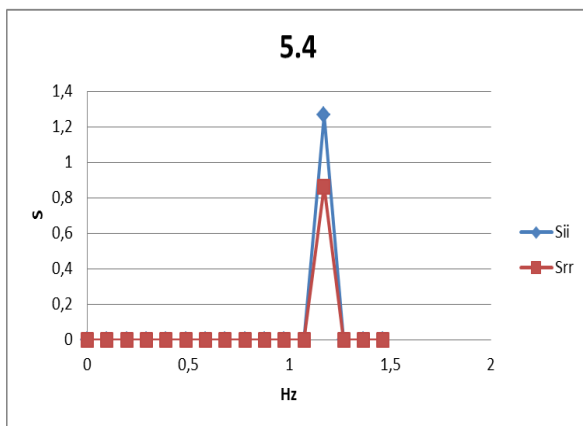
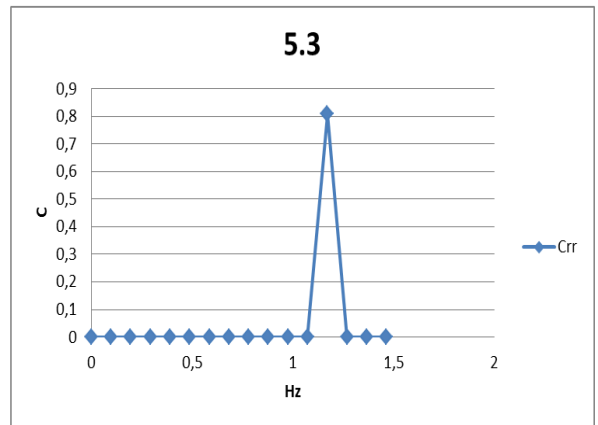
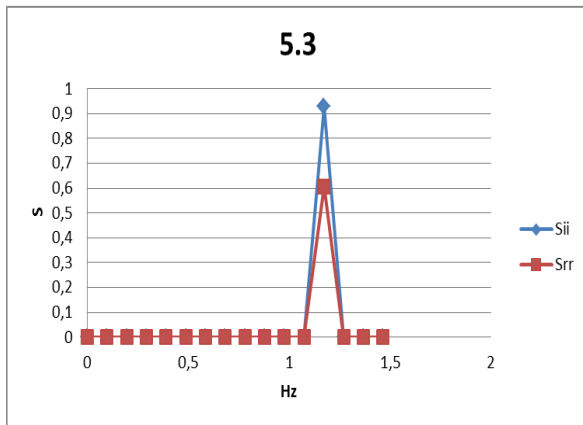
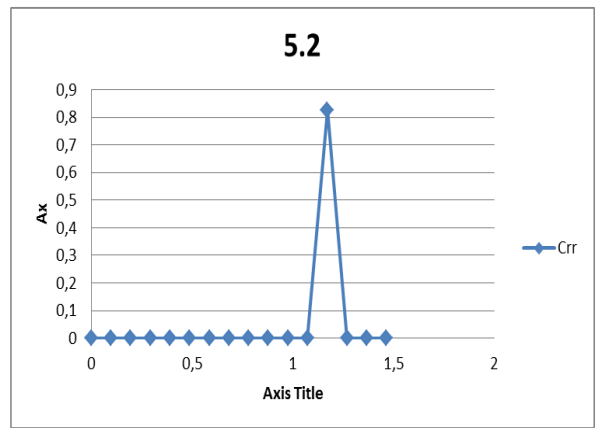
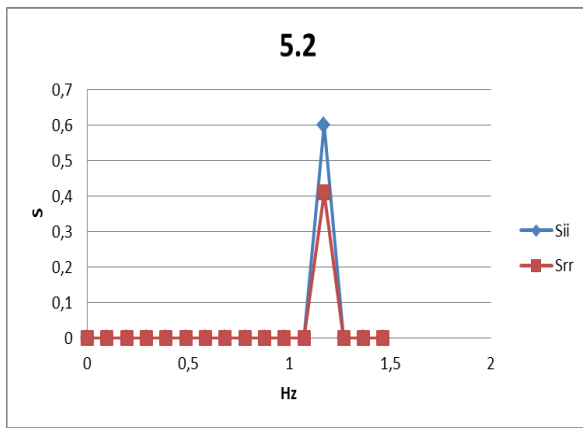
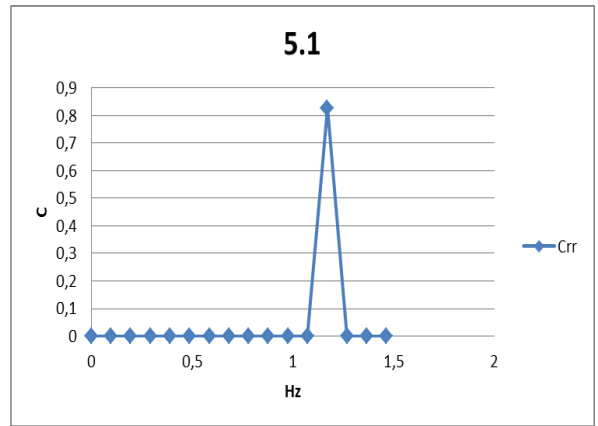
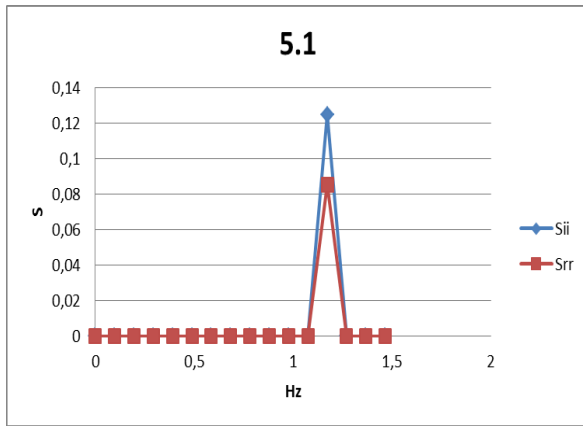


Παράρτημα Γ

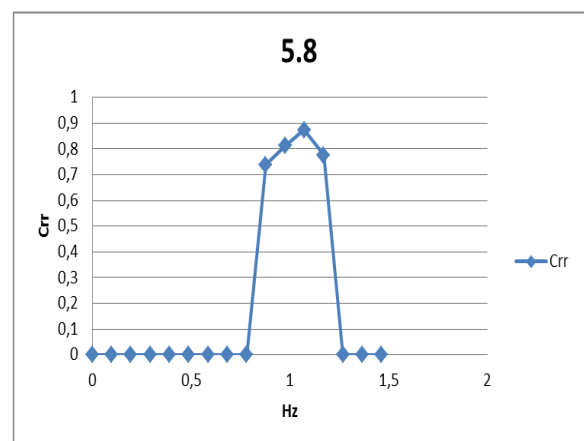
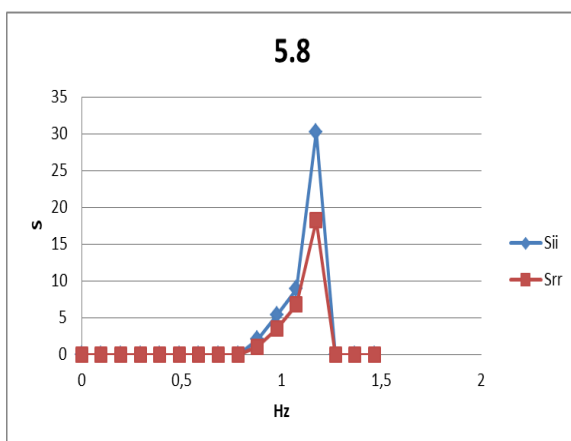
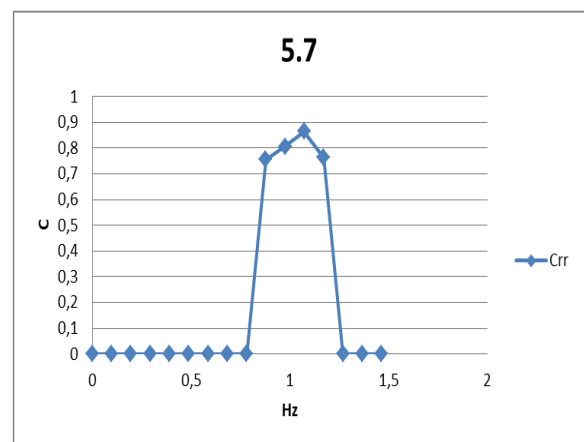
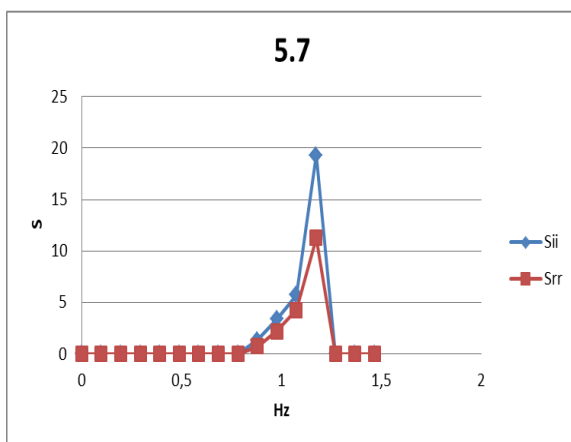
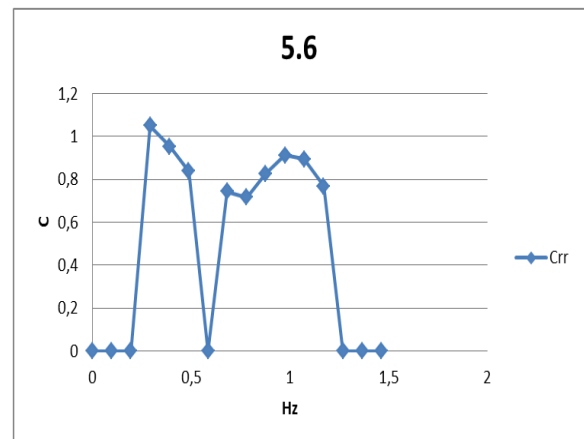
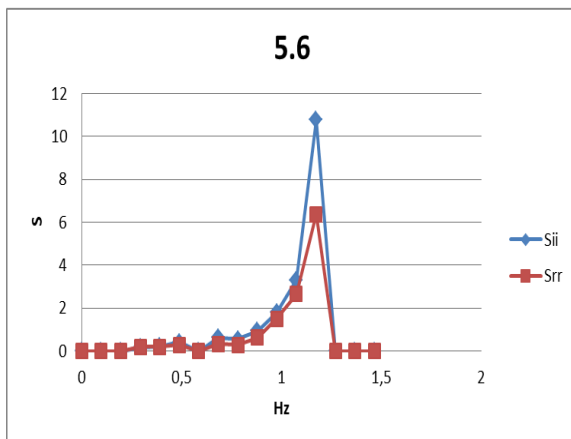
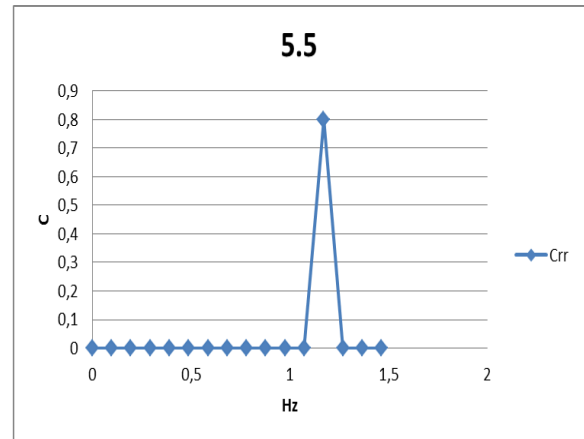
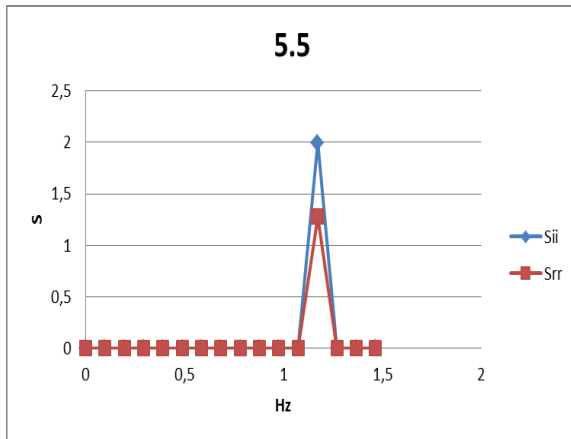


Παράρτημα Γ

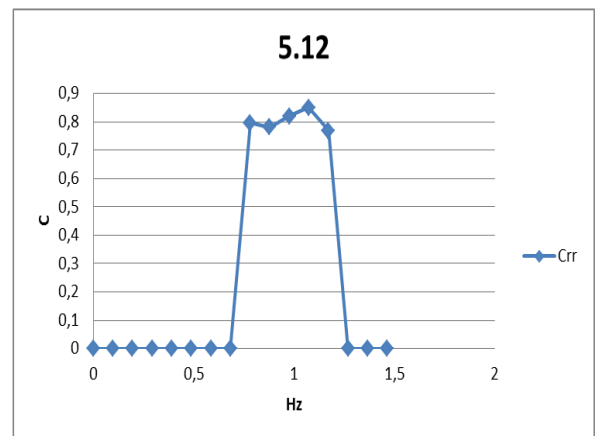
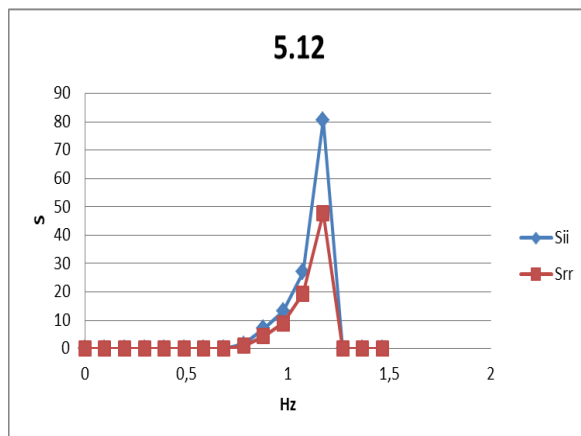
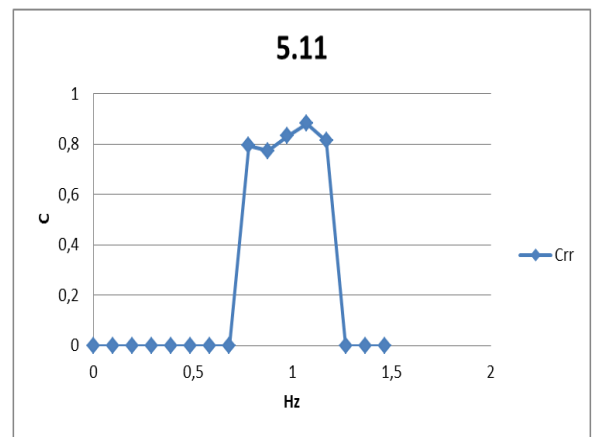
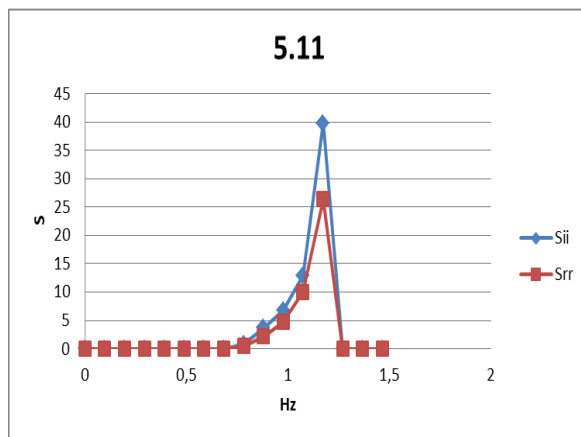
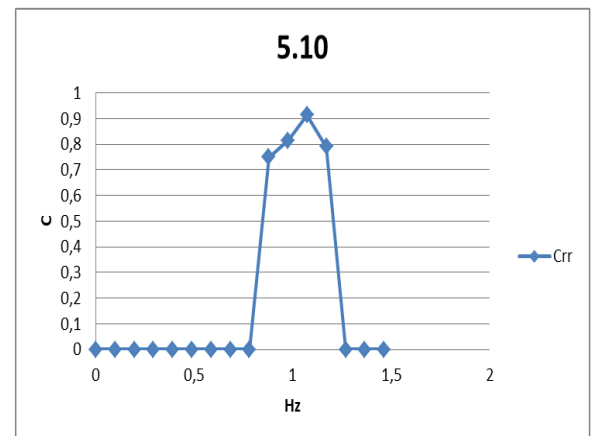
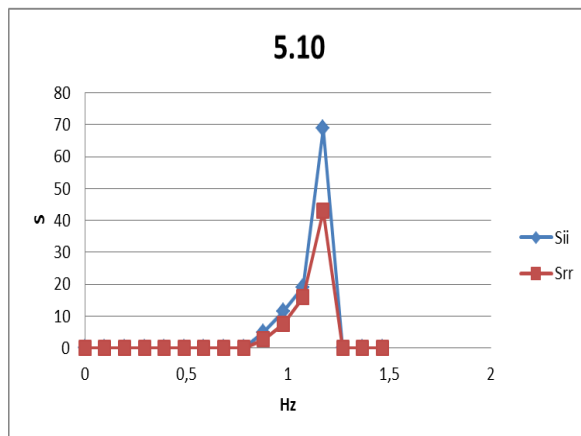
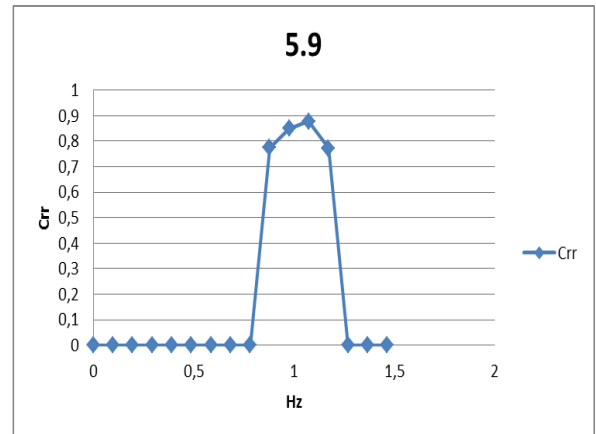
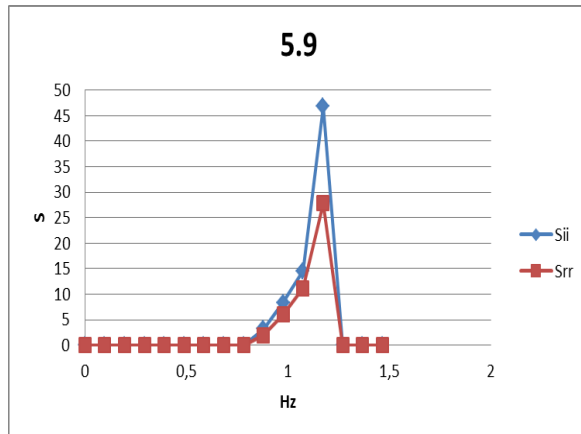
5^η ομάδα πειραμάτων



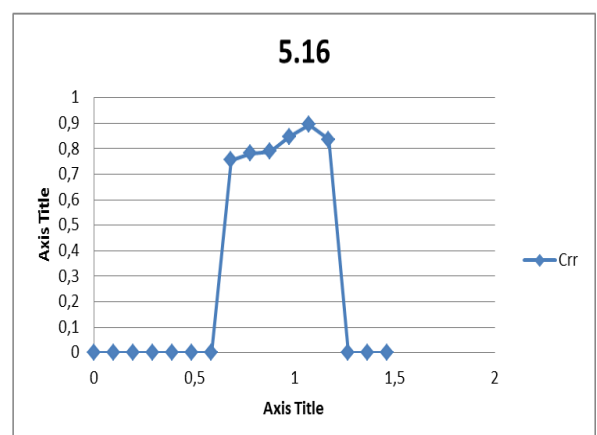
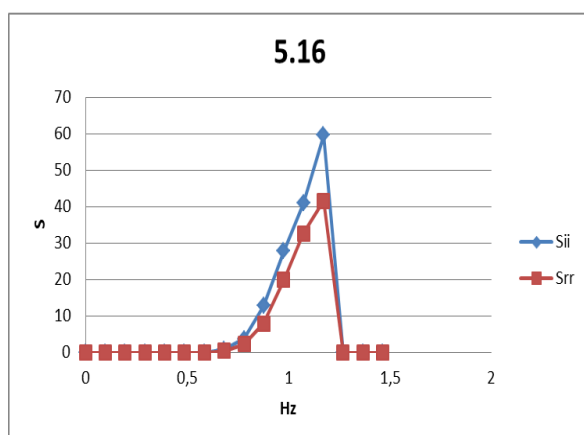
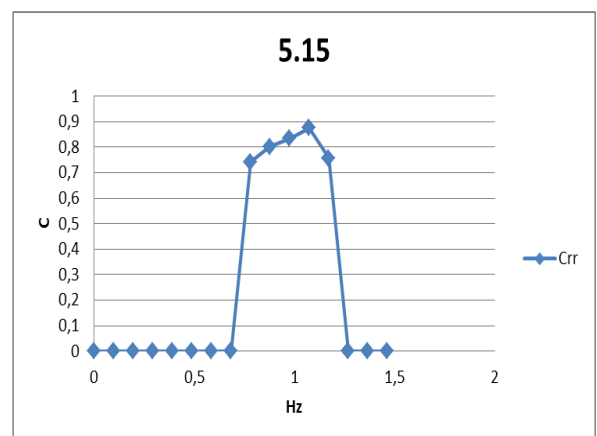
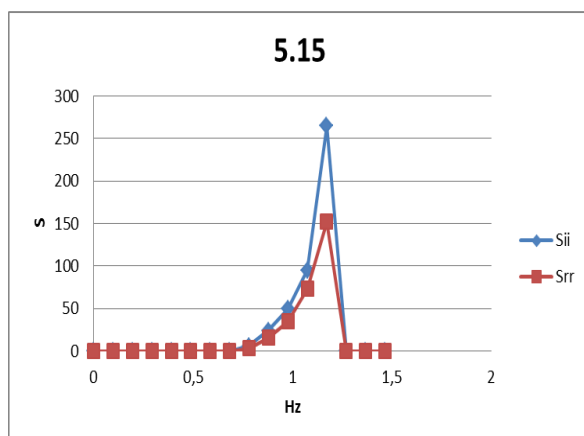
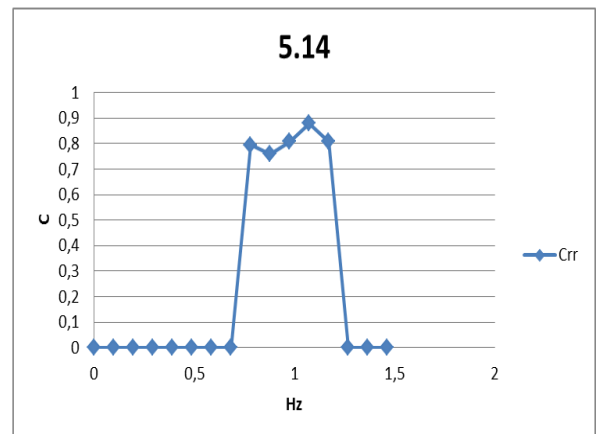
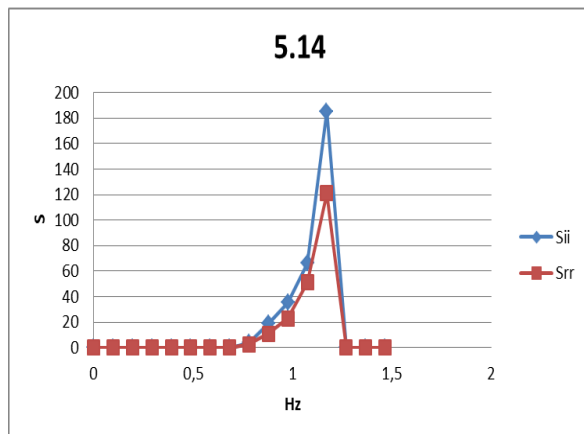
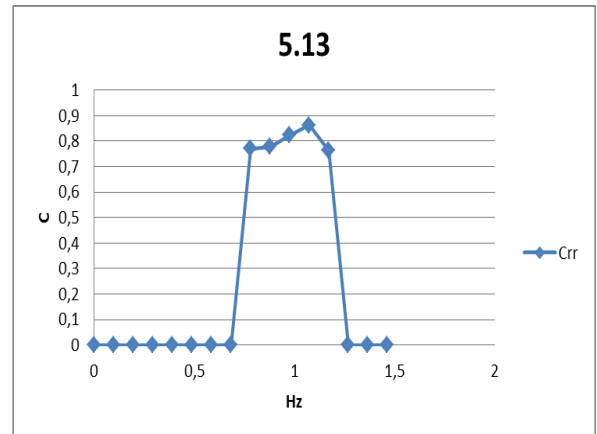
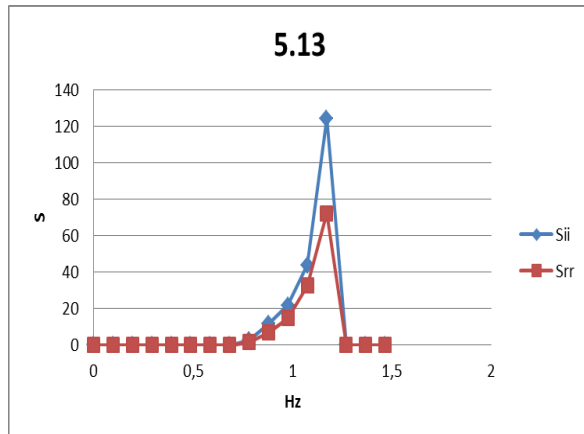
Παράρτημα Γ



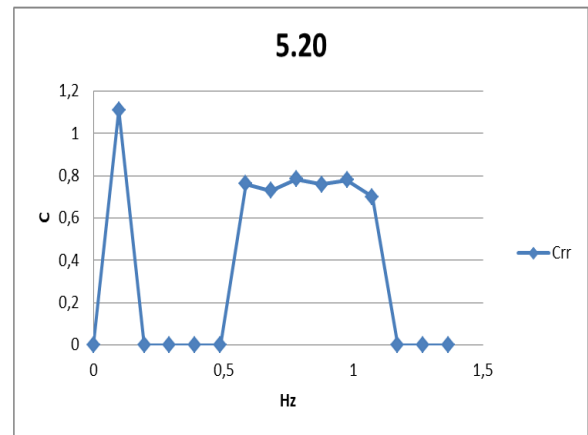
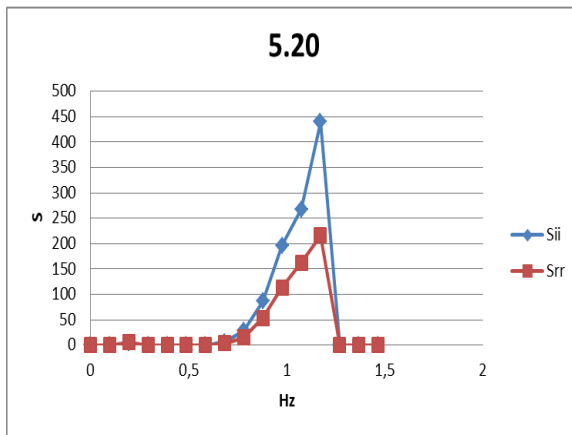
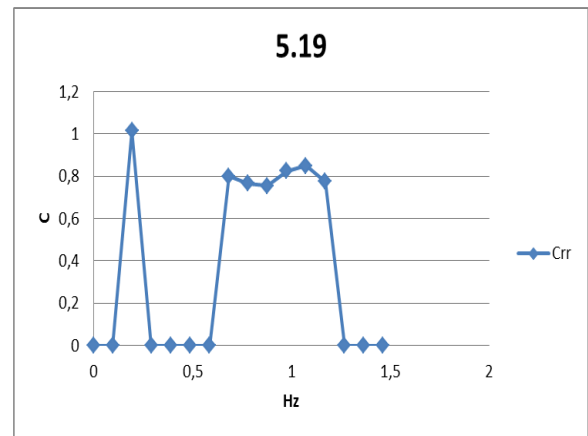
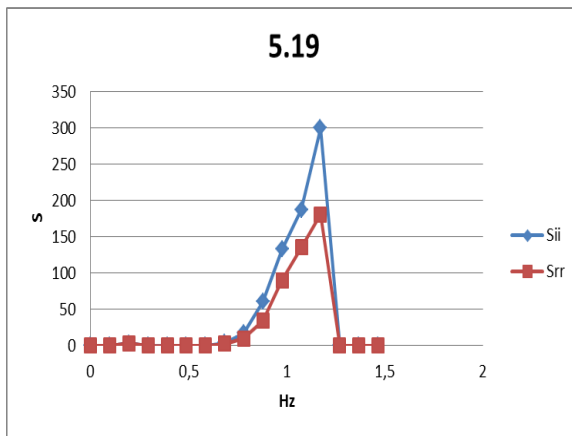
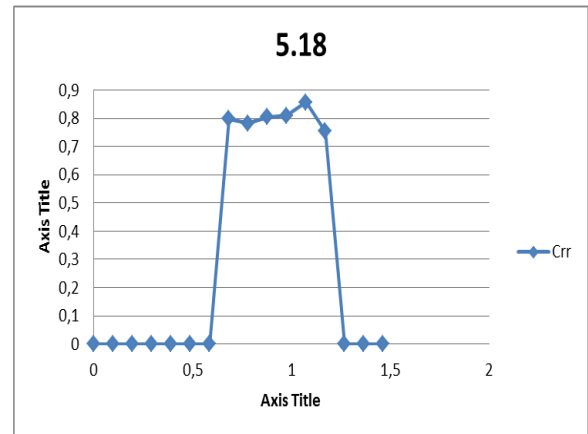
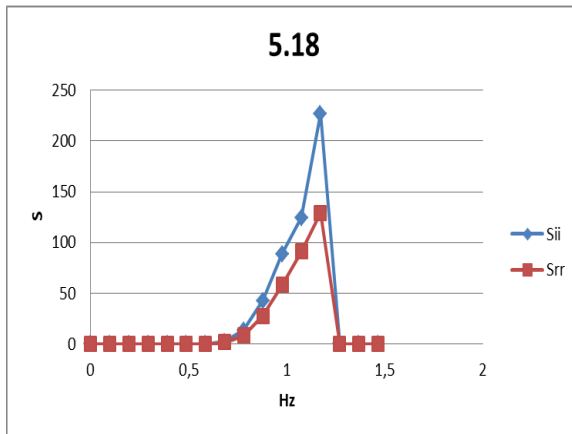
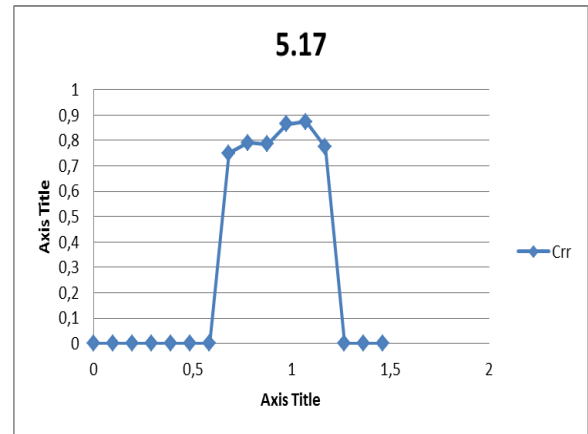
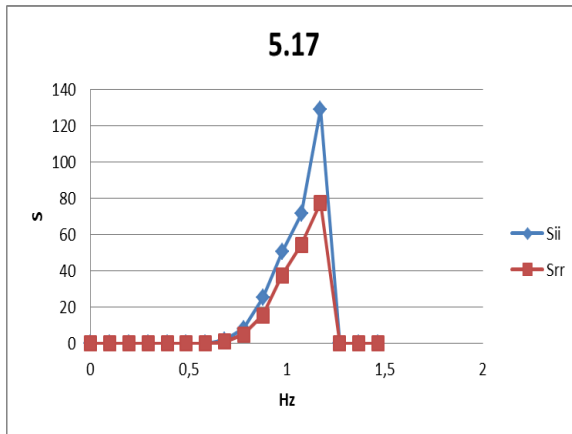
Παράρτημα Γ



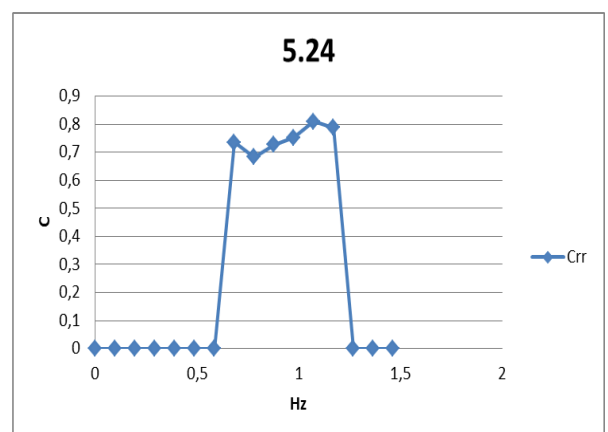
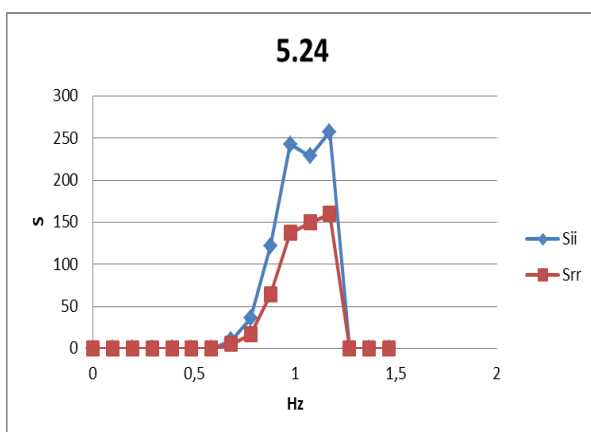
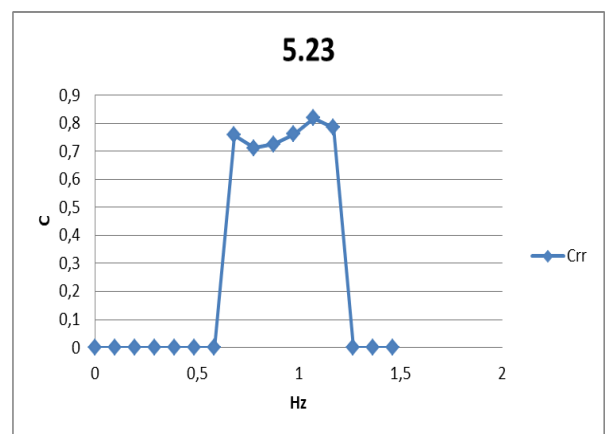
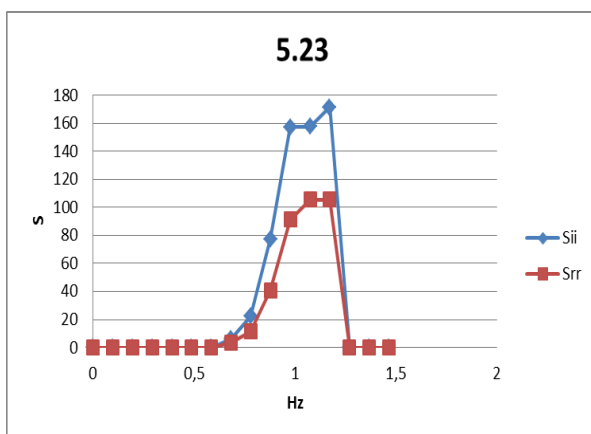
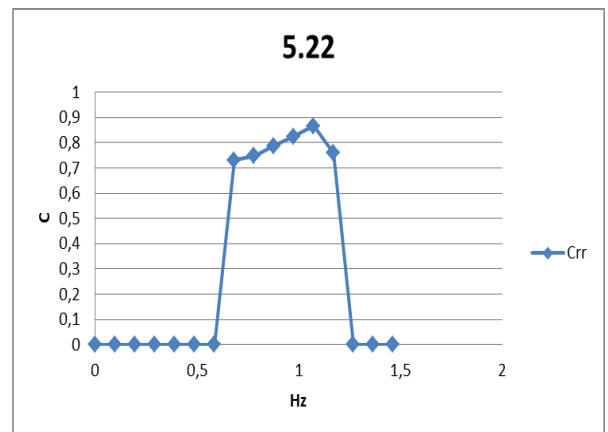
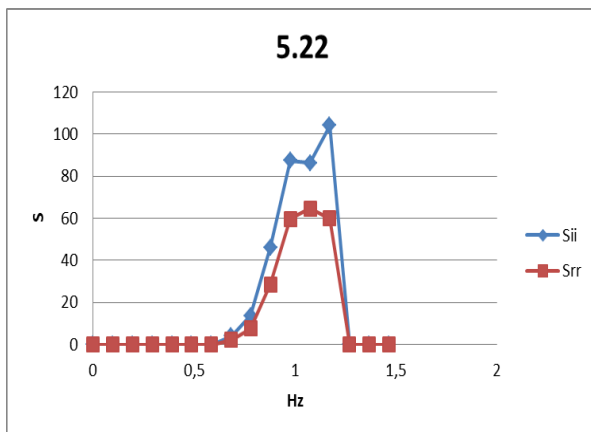
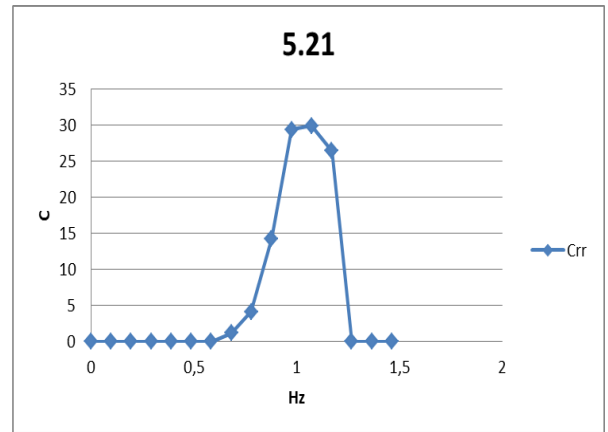
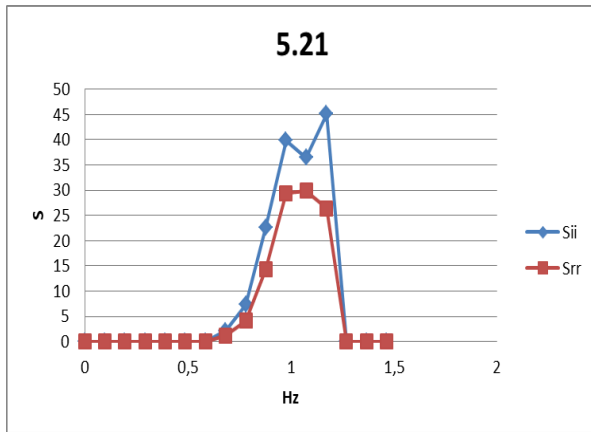
Παράρτημα Γ



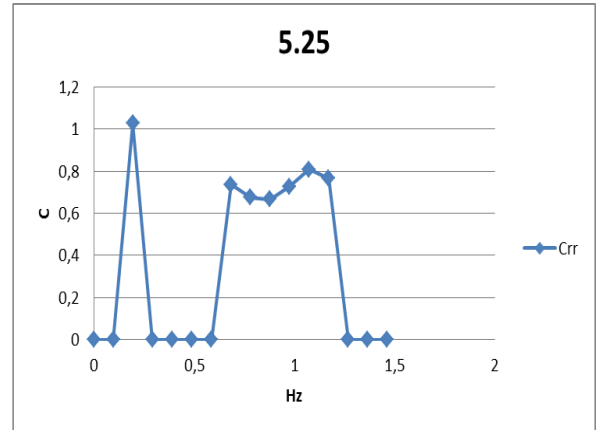
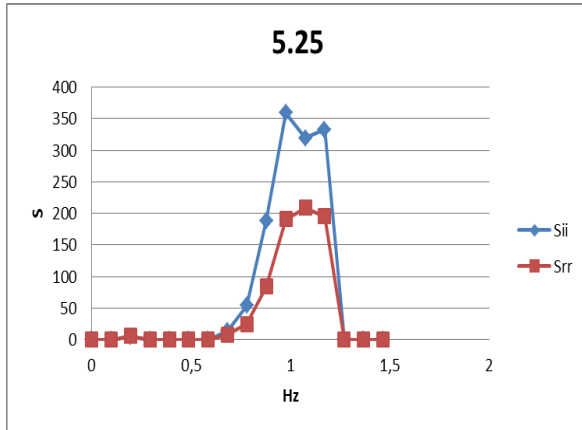
Παράρτημα Γ



Παράρτημα Γ

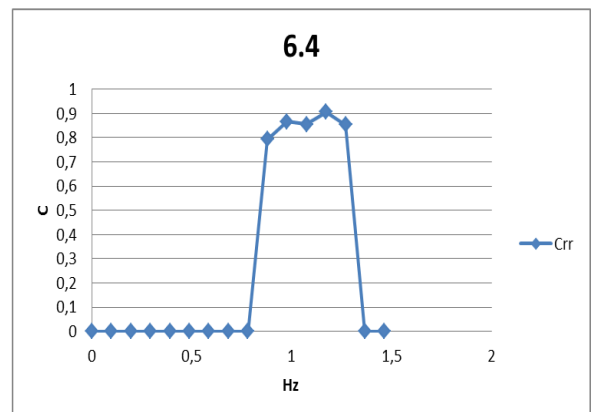
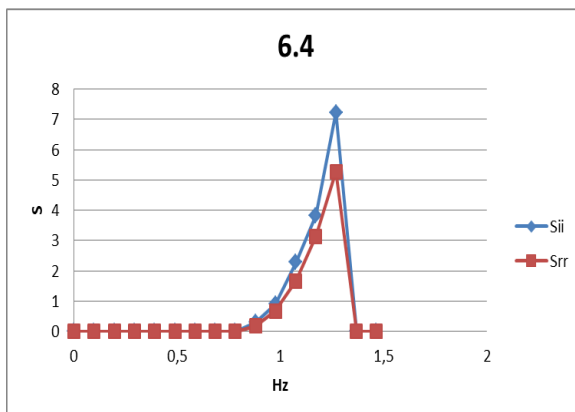
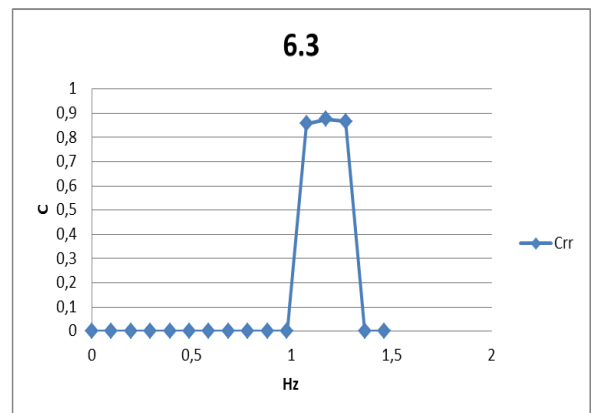
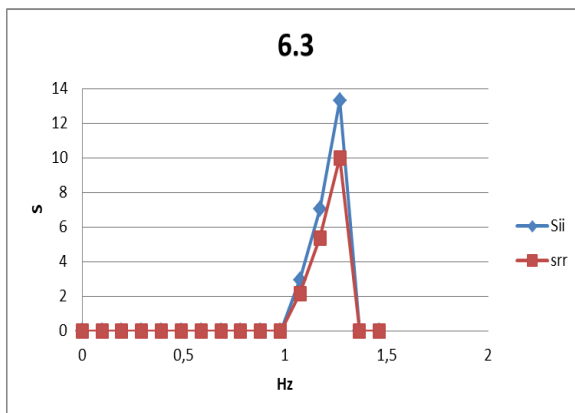
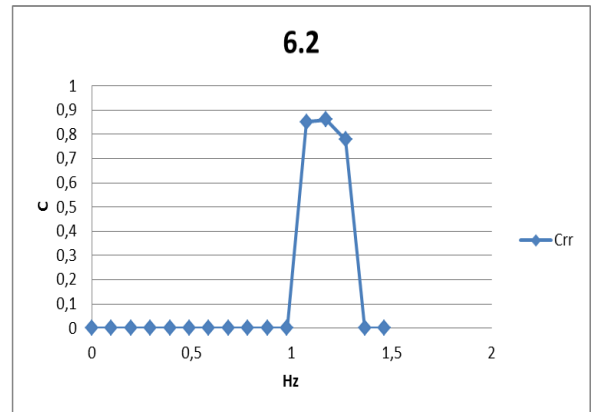
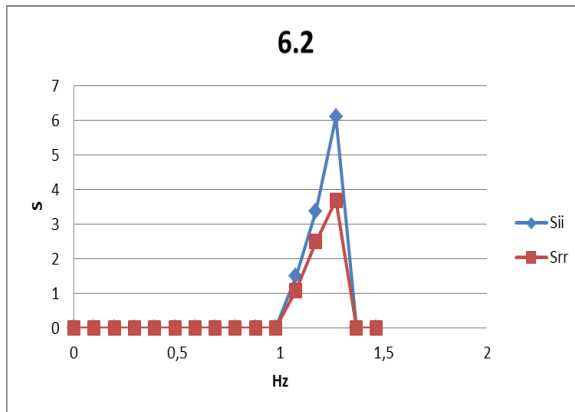
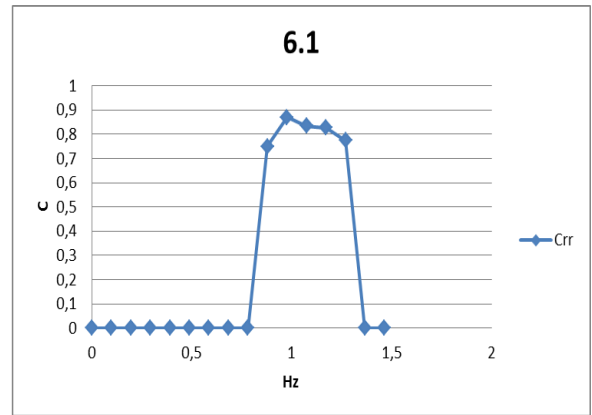
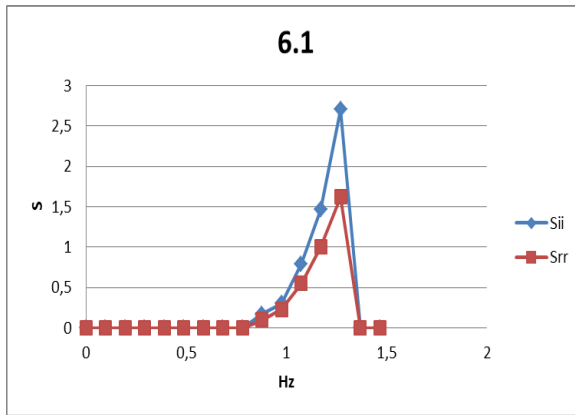


Παράρτημα Γ

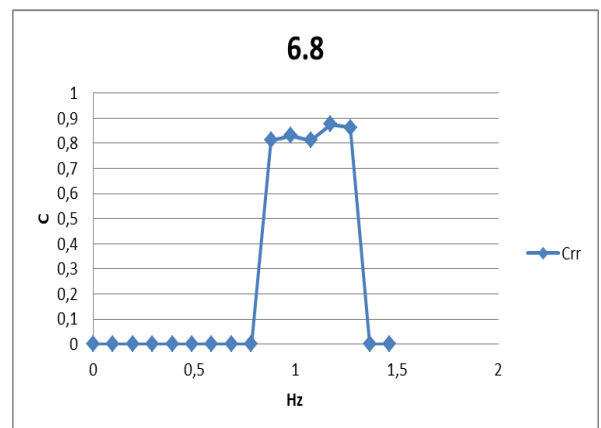
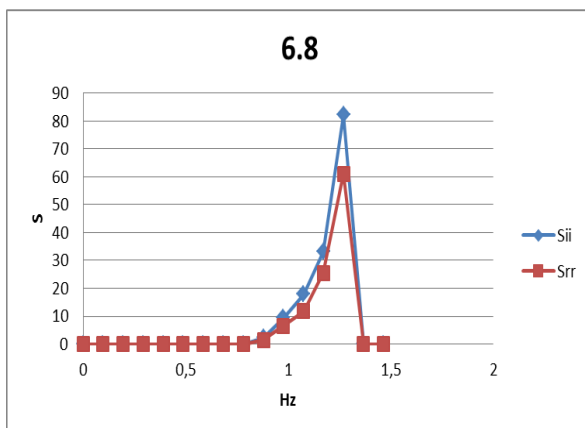
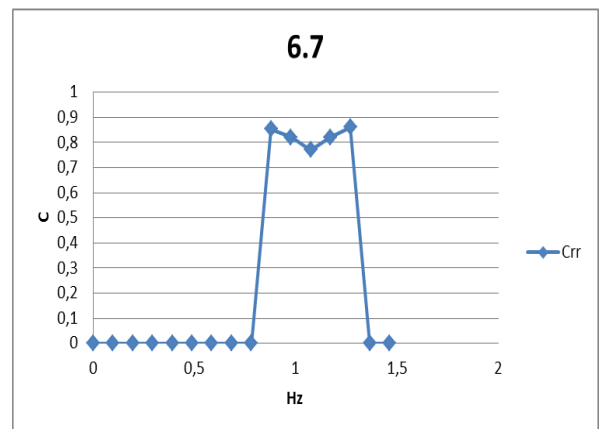
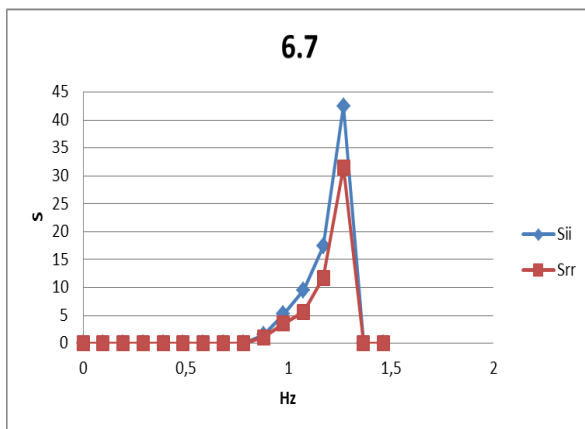
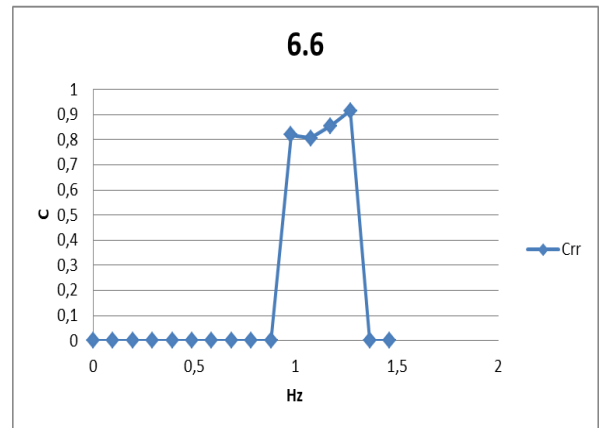
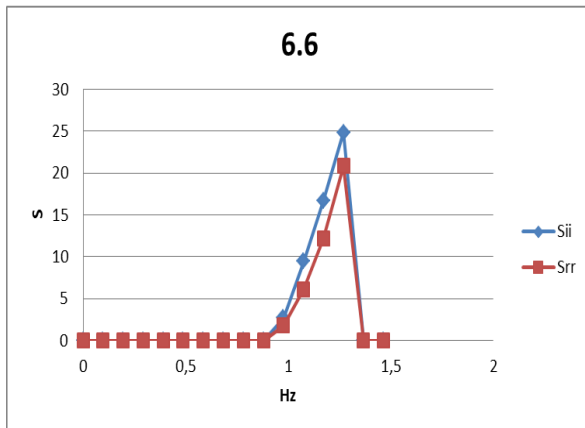
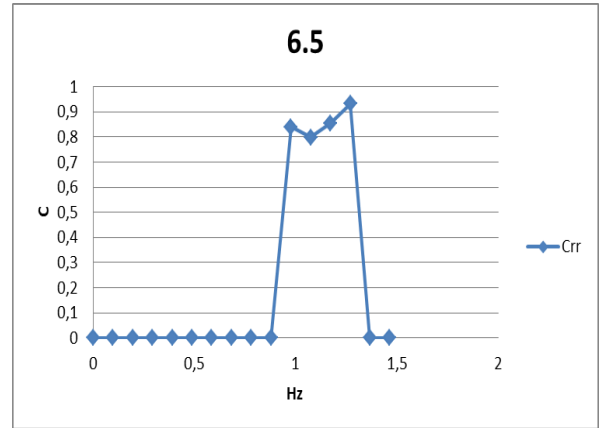
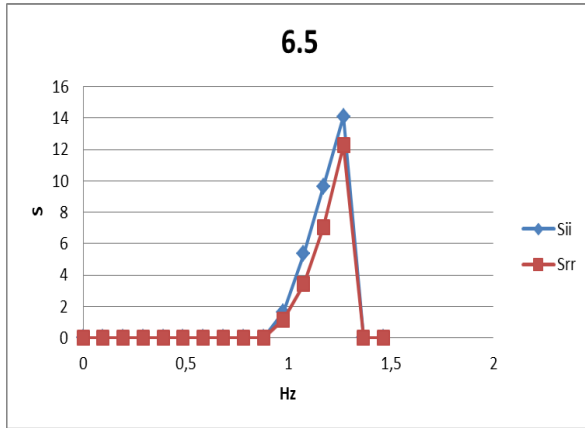


Παράρτημα Γ

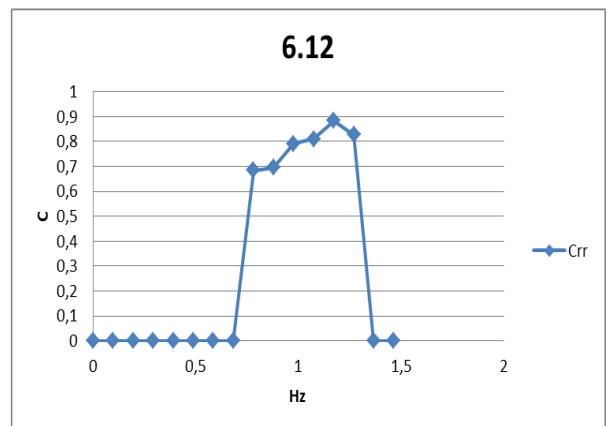
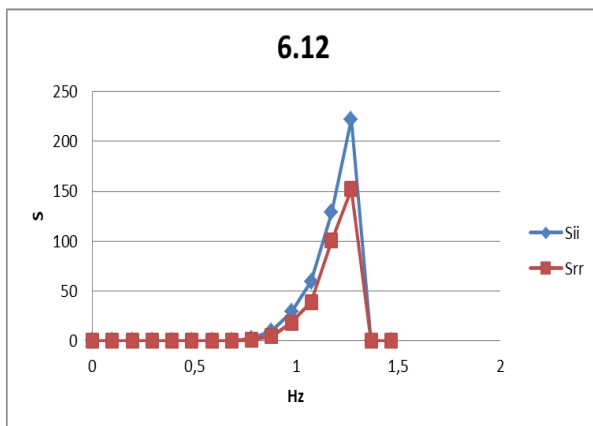
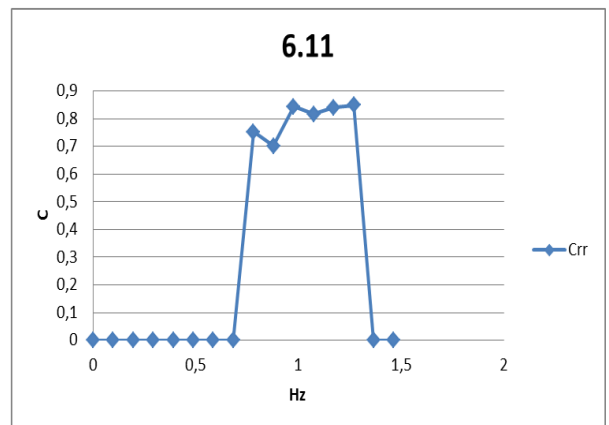
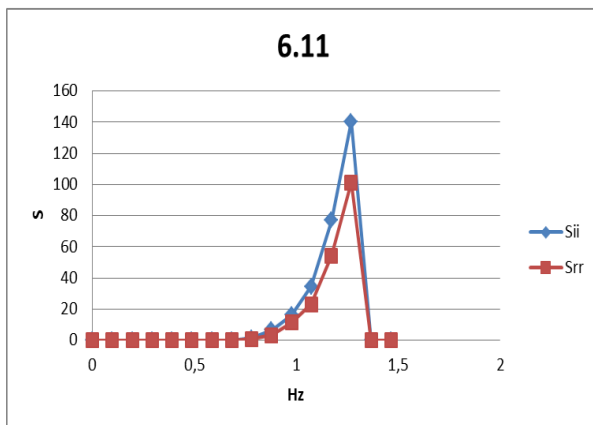
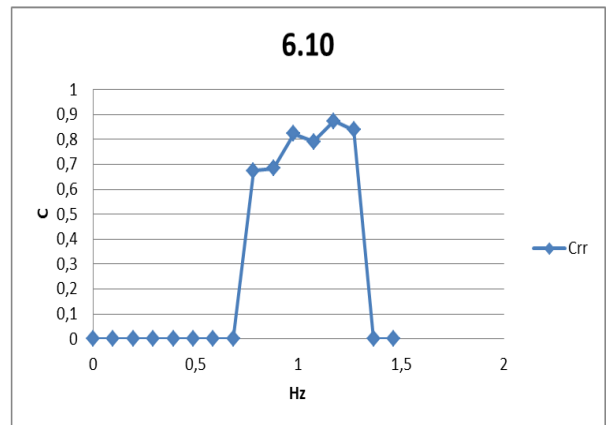
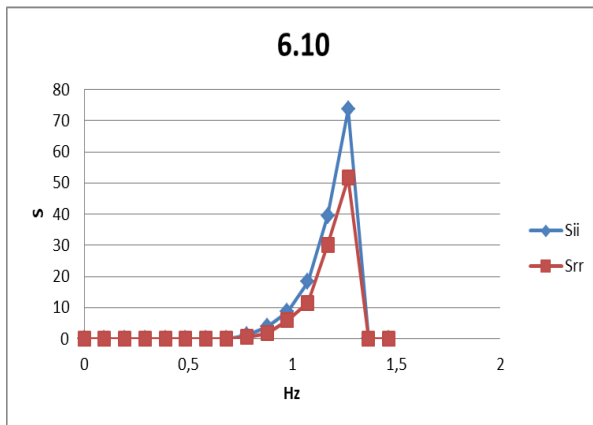
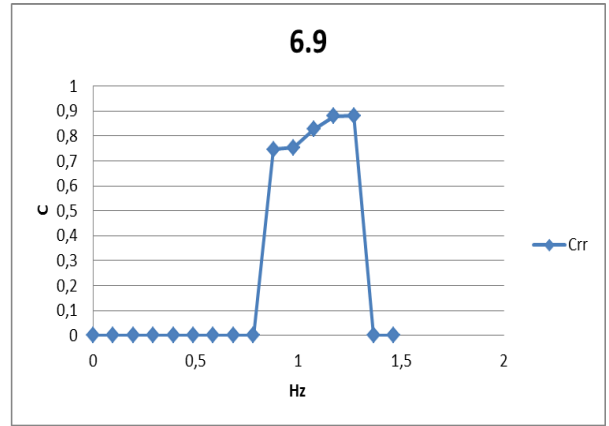
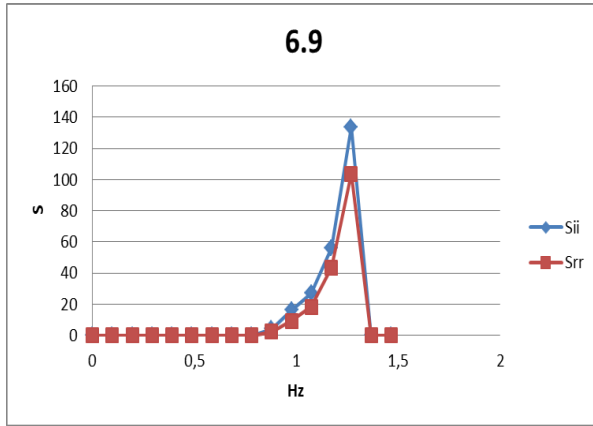
6^η ομάδα πειραμάτων



Παράρτημα Γ



Παράρτημα Γ



Παράρτημα Γ

