



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

ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ ΣΤΟΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΛΙΜΕΝΑ ‘ΜΑΥΡΗΣ ΛΙΜΝΩΝΑΣ’ ΧΩΡΑΣ ΣΦΑΚΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φοιτήτρια:

Γεωργία Παπαχαραλάμπους

Επιβλέπων:

Κωνσταντίνος Ι. Μουτζούρης, Καθηγητής

Συνεπιβλέπουσα:

Θεοδώρα Γιαντσή, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

ΑΘΗΝΑ 2014



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

**ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ ΣΤΟΝ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΛΙΜΕΝΑ 'ΜΑΥΡΗΣ
ΛΙΜΝΩΝΑΣ' ΧΩΡΑΣ ΣΦΑΚΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φοιτήτρια:

Γεωργία Παπαχαραλάμπους

Επιβλέπων:

Κωνσταντίνος Ι. Μουτζούρης, Καθηγητής

Συνεπιβλέπουσα:

Θεοδώρα Γιαντσή, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

ΑΘΗΝΑ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου και εμπλούτισε ανεκτίμητα τα εφόδια που αποκόμισα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.

Πρωτίστως ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Ι. Μουτζούρη για τα όσα πολλά και πολύτιμα με έχει διδάξει με μεγάλη γενναιοδωρία τα τελευταία τρία χρόνια των σπουδών μου και για τις λοιπές ευκαιρίες για μάθηση που μου έχει προσφέρει, στο πλαίσιο του ειλικρινούς και εμπράγματος ενδιαφέροντός του για την πρόοδο των φοιτητών του. Με τιμά ιδιαίτερος το γεγονός ότι επέβλεψε τη διπλωματική μου εργασία.

Ένα μεγάλο «ευχαριστώ» οφείλω και στην συνεπιβλέπουσα κ. Θεοδώρα Γιαντσή, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό, για την, επίσης γενναιοδωρη, μεταβίβαση των απαραίτητων εξειδικευμένων γνώσεων για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και για τον χρόνο και την πολλή φροντίδα που έχει επενδύσει σε αυτήν.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τους κ.κ. Παναγιώτη Μαργαρώνη, ΕΤΕΠ, και Ευστάθιο Τσουνή, ΙΔΑΧ, για την πολύτιμη εργασία τους στη διεξαγωγή των πειραμάτων και για την άρτια συνεργασία μας.

Τέλος, ευχαριστώ την μητέρα μου, η οποία με στηρίζει εμπράκτως σε όλα τα βήματά μου, και την φίλη μου Μάρθα.

Με εκτίμηση

Γεωργία Παπαχαραλάμπους

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο επιβατικός και αλιευτικός λιμένας 'Μαύρης Λιμνώνας' Χώρας Σφακίων χαρακτηρίζεται από έντονο πρόβλημα λειτουργικότητας. Η κυματική υπερπήδηση του προσήνεμου μόλου του στις μεγάλης έντασης κακοκαιρίες και η κυματική διείσδυση καθιστούν ιδιαίτερα δύσκολη την πρόσδεση και την παραμονή των Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων στο λιμάνι ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες.

Έχει αποφασιστεί η αναδιαμόρφωση των εξωτερικών λιμενικών έργων, ώστε να εξασφαλιστούν ήρεμες κυματικές συνθήκες στην λιμενολεκάνη για την εξυπηρέτηση των επιβατικών σκαφών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, και βρίσκεται υπό εκπόνηση σχετικό ερευνητικό πρόγραμμα στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (ΕΛΕ) του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ).

Για τον έλεγχο της κυματικής διαταραχής και της κυματικής υπερπήδησης του προσήνεμου μόλου κατασκευάστηκε φυσικό προσομοίωμα του λιμένα υπό κλίμακα 1:75 σε τρισδιάστατη δεξαμενή του ΕΛΕ.

Σε πρώτη φάση διενεργήθηκαν οι έλεγχοι για την υφιστάμενη διάταξη των εξωτερικών λιμενικών έργων με σκοπό την ποσοτικοποίηση του προβλήματος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων κυματικής διαταραχής για τη διάταξη αυτή.

Έγιναν έλεγχοι με φασματικά κύματα προερχόμενα από 3 διευθύνσεις πρόσπτωσης: τη Νότια, τη Νοτιοδυτική και τη Δυτική. Χρησιμοποιήθηκαν φάσματα τύπου JONSWAP κλίσης 3.3 για την προσομοίωση 6 κυματικών συνθηκών. Συνολικά εκτελέστηκαν 13 πειράματα. Η κυματική διαταραχή μετρήθηκε σε 19 θέσεις, 5 από τις οποίες βρίσκονται εντός της λιμενολεκάνης.

Από τις καταγραφές υπολογίστηκαν βασικές παράμετροι περιγραφής των κυμάτων στις θέσεις μέτρησης. Από τις συγκεκριμένες παρουσιάζονται με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων τα χαρακτηριστικά ύψη κύματος H_s , τα μέγιστα ύψη H_{max} , οι μέσες περίοδοι των κυμάτων T_m και οι περίοδοι των μεγίστων των φασμάτων T_p .

Τα πειραματικά αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η υφιστάμενη διάταξη των εξωτερικών λιμενικών έργων του λιμένα δεν επαρκεί για την προστασία της λιμενολεκάνης από τους κυματισμούς.

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, έγιναν ακόμη υπολογισμοί που αφορούν χαρακτηριστικά των κυμάτων και συντελεστές για την περιγραφή των πεδίων ροής και κατασκευάστηκαν διαγράμματα για τη σύγκριση αποτελεσμάτων των πειραμάτων κυματικής διαταραχής με σχέσεις της βιβλιογραφίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ.....	1
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	3
2.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	3
2.1.1 ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	3
2.1.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	4
2.1.2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	4
2.1.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	5
2.1.2.3 ΤΥΠΟΙ ΦΑΣΜΑΤΩΝ.....	7
2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΟΡΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ.....	7
2.2.1 ΡΗΧΩΣΗ.....	7
2.2.2 ΔΙΑΘΛΑΣΗ.....	8
2.2.3 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ.....	8
2.2.4 ΑΝΑΚΛΑΣΗ.....	9
2.2.5 ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗ.....	11
2.2.6 ΘΡΑΥΣΗ.....	11
2.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΡΟΗΣ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΥΠΟ ΕΡΕΥΝΑ ΛΙΜΕΝΑΣ.....	15
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	15
3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....	24
3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ.....	25
4.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	25
4.2 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	27

4.3 ΟΜΟΙΟΤΗΤΑ.....	28
4.4 ΚΥΜΑΤΙΚΟ ΚΛΙΜΑ	30
4.4.1 ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ.....	30
4.4.2 ΦΑΣΜΑΤΑ.....	31
4.4.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	33
4.5 ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	37
5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	37
5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΑ ΥΨΗ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ.....	39
5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΨΗ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΣΚΑΦΩΝ ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ.....	43
5.4 ΠΕΡΙΟΔΟΙ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	53
6.1 ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΕΣ.....	53
6.1.1 ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ.....	53
6.1.2 ΑΝΑ ΦΑΣΜΑ.....	56
6.1.3 ΑΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑ.....	60
6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	65
6.2.1 ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ.....	65
6.2.2 ΑΝΑ ΦΑΣΜΑ.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο : ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ.....	73
7.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΤΗΝ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗ.....	73
7.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ξ	78

7.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΒΑΘΗ.....81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....83

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....85

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΑ ΥΨΗ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΨΗ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΦΑΣΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΣΗ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τον υπολογισμό της κυματικής διαταραχής στην περιοχή του υφιστάμενου επιβατικού και αλιευτικού λιμένα 'Μαύρης Λιμνώνας' Χώρας Σφακίων μέσω εργαστηριακών μετρήσεων σε φυσικό προσομοίωμα.

Ο συγκεκριμένος λιμένας χαρακτηρίζεται από έντονο πρόβλημα λειτουργικότητας. Η κυματική υπερπήδηση του προσήνεμου μόλου του στις μεγάλης έντασης κακοκαιρίες και η κυματική διείσδυση καθιστούν ιδιαίτερα δύσκολη την πρόσδεση και την παραμονή των Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων στον λιμένα ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες.

Τα πειράματα διενεργήθηκαν σε δεξαμενή του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων (ΕΛΕ) του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) στο ευρύτερο πλαίσιο του Ερευνητικού Προγράμματος *“Εργαστηριακή Μελέτη σε Φυσικό Προσομοίωμα Βελτιώσεως Κυματικών Συνθηκών στον Λιμένα Μαύρης Λιμνώνας Χώρας Σφακίων”*, το οποίο στην πρώτη φάση περιλαμβάνει τον έλεγχο της κυματικής διαταραχής και της υπερπήδησης του μόλου του υφιστάμενου λιμένα. Η κυματική διαταραχή ελέγχθηκε εκτός του λιμένα, στην είσοδο και εντός της λιμενολεκάνης.

Οι υπολογισμοί της διπλωματικής αυτής εργασίας έγιναν χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών με τη βοήθεια κατάλληλων λογισμικών. Ακολούθησε επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων με βάση θεωρητικές σχέσεις. Η πληροφορία παρουσιάζεται με την μορφή διαγραμμάτων και πινάκων και υπόκειται σε σχολιασμό.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ

Στο 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σχετικά με τα θέματα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική θεωρητικά στοιχεία. Συγκεκριμένα, γίνεται σύντομη αναφορά στους μονοχρωματικούς και τους φασματικούς κυματισμούς, στα φαινόμενα της ρήχωσης, της διάθλασης, της περίθλασης, της ανάκλασης, της υπερπήδησης και της θραύσης και στις αρχές της εργαστηριακής προσομοίωσης αυτών των φαινομένων.

Στο 3^ο Κεφάλαιο παρατίθενται τεχνικά στοιχεία για τον υπό έρευνα λιμένα και αναφέρονται τα λειτουργικά προβλήματα του τελευταίου και η μεθοδολογία επίλυσης.

Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία της εργαστηριακής προσομοίωσης.

Στο 5^ο Κεφάλαιο γίνεται σύντομη περιγραφή της επεξεργασίας των πειραματικών μετρήσεων και παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων.

Στο 6^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται διαγράμματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Αυτά αφορούν χαρακτηριστικά των κυμάτων και συντελεστές για την περιγραφή του πεδίου ροής.

Στο 7^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται διαγράμματα σύγκρισης των πειραματικών αποτελεσμάτων με σχέσεις της βιβλιογραφίας.

Στο 8^ο Κεφάλαιο γίνεται συνοπτική παρουσίαση των συμπερασμάτων αυτής της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

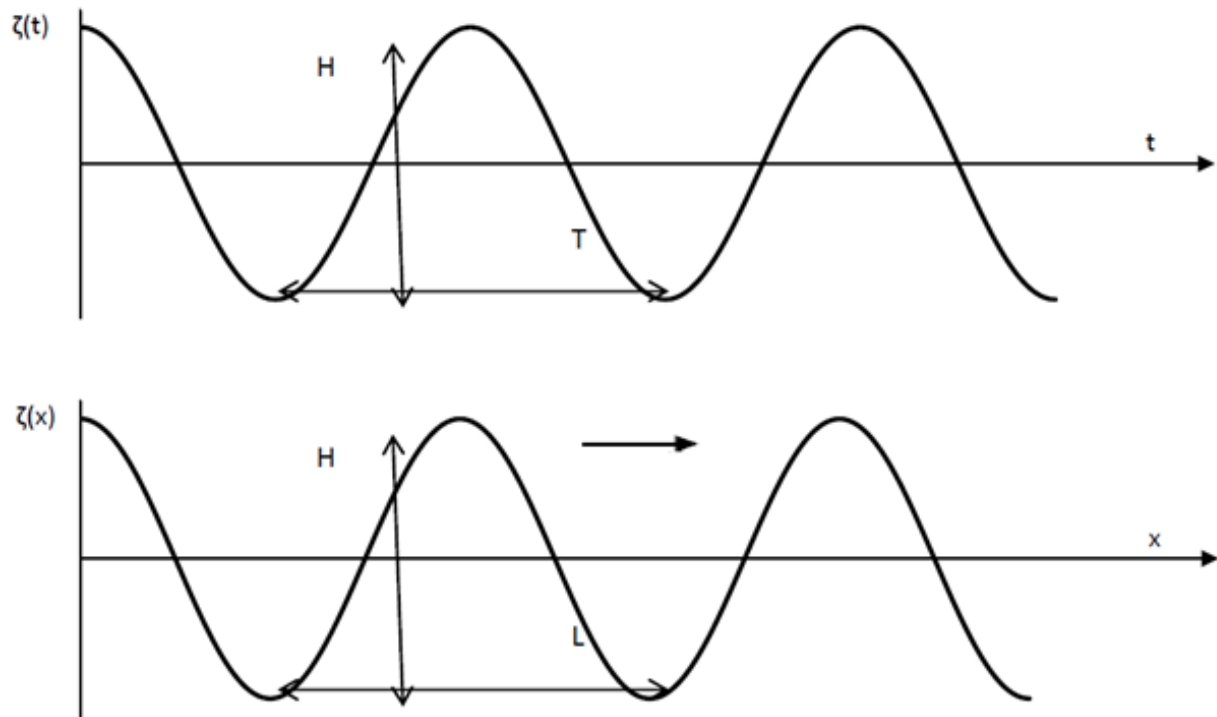
2.1.1 ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Ένας μονοχρωματικός κυματισμός μπορεί να περιγραφεί από τα χαρακτηριστικά του, τα οποία ορίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Ύψος κύματος H	η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κορυφής και της κοιλίας του κύματος
Μήκος κύματος L	η οριζόντια απόσταση (μετρούμενη κατά το μήκος διεύθυνσεως μεταδόσεως) μεταξύ δύο σωματιδίων που βρίσκονται στην ίδια φάση ταλαντώσεως
Καμπυλότητα ή κυρτότητα γ	H/L
Περίοδος T	ο χρόνος μιας πλήρους ταλαντώσεως των σωματιδίων
Συχνότητα f	1/T
Διεύθυνση μεταδόσεως	η ευθεία πάνω στην οποία λαμβάνει χώρα η μετάδοση της ενέργειας του κύματος (για κύματα μετάδοσης) και η μεταφορά μάζας (για κύματα μεταφοράς)

Πίνακας 2.1 – Χαρακτηριστικά μονοχρωματικού κύματος
Πηγή: Μουτζούρης (2009)

Το σχήμα της επόμενης σελίδας παρουσιάζει την κανονικότητα της μορφής ενός μονοχρωματικού κυματισμού στον χώρο και στον χρόνο.



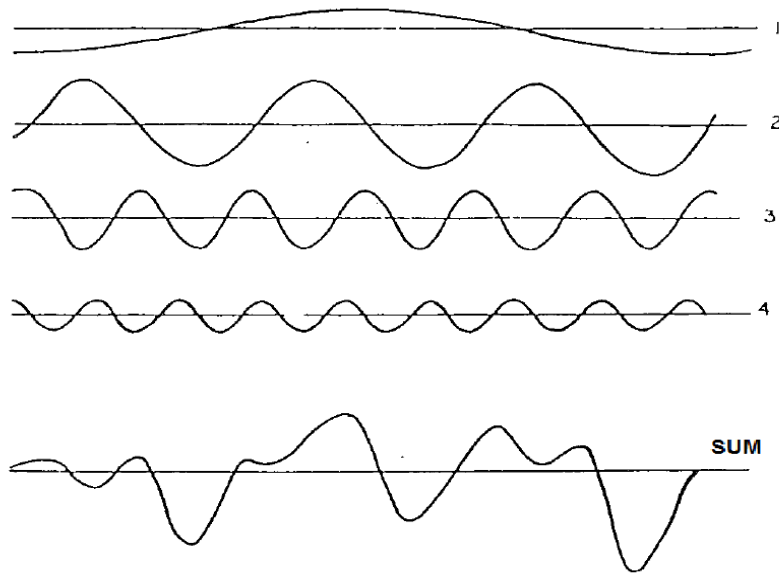
Σχήμα 2.1 - Μονοχρωματικό κύμα, απεικόνιση στον χρόνο (άνω) και στον χώρο (κάτω)

2.1.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

2.1.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Μια ανεμογενής θαλάσσια διαταραχή συντίθεται από μια απειροσειρά μονοχρωματικών κυμάτων με χαρακτηριστικά (μέγεθος, συχνότητα, διεύθυνση μεταδόσεως) εμφανιζόμενα κατά στοχαστικό τρόπο (Μουτζούρης, 2009).

Στο σχήμα 2.2 δείχνεται η σύνθεση μόλις τεσσάρων μονοχρωματικών κυμάτων διαφορετικού μεγέθους και συχνότητας μεταδιδόμενων προς την ίδια κατεύθυνση, ώστε να γίνει αισθητό πώς ο συντιθέμενος κυματισμός παύει να χαρακτηρίζεται από την συμμετρία – κανονικότητα των συνθετικών του μερών, τόσο χρονικά όσο και χωρικά.



Σχήμα 2.2 – Σύνθεση τεσσάρων μονοχρωματικών κυμάτων μεταδιδόμενων προς την ίδια κατεύθυνση
 Πηγή: Michel W.H. (1999)

2.1.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

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

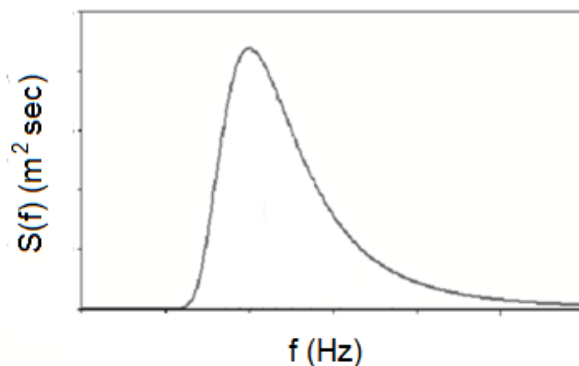


Σχήμα 2.3 – Καταγραφή κυματικής διαταραχής

Οι καταγραφές κυματικής διαταραχής υφίστανται στατιστική επεξεργασία και φασματική ανάλυση. Κεντρική ιδέα της τελευταίας είναι η κατανόηση των ιδιοτήτων της καταγεγραμμένης συνάρτησης μέσω της αποσύνθεσής της σε αρμονικές διαφορετικών συχνοτήτων.

Εργαλείο για την φασματική ανάλυση των καταγεγραμμένων χρονοσειρών αποτελεί η μέθοδος του διακριτού μετασχηματισμού Fourier, τα αποτελέσματα της οποίας μπορούν να εκτιμηθούν γρήγορα από τους υπολογιστές χρήσει αλγορίθμων γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (FFT).

Μέσω του μετασχηματισμού Fourier αντιστοιχίζεται η εκάστοτε καταγεγραμμένη στην περιοχή του χρόνου συνάρτηση κυματικής διαταραχής με μία συνάρτηση στην περιοχή των συχνοτήτων. Η τελευταία ονομάζεται φάσμα ενέργειας ή συνάρτηση πυκνότητας φασματικής ενέργειας $S(f)$, καθώς περιγράφει την κατανομή της ενέργειας σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων f (Μουτζούρης, 2009).



Σχήμα 2.4 – Τυπικό διάγραμμα φάσματος ενέργειας

Από την επεξεργασία των καταγραφών εξάγονται μεγέθη, όπως είναι τα συγκεντρωμένα στον επόμενο πίνακα, που αποτελούν βασικές παραμέτρους περιγραφής μιας κυματικής διαταραχής.

Hs	χαρακτηριστικό ύψος κύματος, μέσο ύψος των υψηλότερων 33% των κυμάτων
Hmax	μέγιστο ύψος κύματος της καταγραφής
Hmin	ελάχιστο ύψος κύματος της καταγραφής
Tm	μέση στατιστική περίοδος
Tr	περίοδος του μέγιστου του φάσματος ενέργειας

Πίνακας 2.2 – Παράμετροι περιγραφής κυματικής διαταραχής

Μέσω αυτών των μεγεθών μπορούν να υπολογιστούν τα διάφορα στοιχεία για το πεδίο ροής. Για παράδειγμα, από τα υπολογισμένα H_s στις θέσεις μετρήσεων μπορούν να προκύψουν οι

συντελεστές μετάδοσης K_t του κυματισμού ως το πηλίκο του χαρακτηριστικού ύψους έκαστης σημειακής κυματικής διαταραχής προς το προσπίπτον κύμα στη θέση ελέγχου.

$$K_t = \frac{H_s(\theta_i)}{H_s,inc}$$

Με αυτούς ποσοτικοποιούνται οι επιδράσεις των στερεών ορίων στο ύψος του κύματος.

2.1.2.3 ΤΥΠΟΙ ΦΑΣΜΑΤΩΝ

Από αποτελέσματα μετρήσεων πεδίου έχουν προκύψει διάφορες αναλυτικές σχέσεις για τα φάσματα των ανεμογενών κυματικών διαταραχών. Οι σχέσεις αυτές αφορούν τις συναρτήσεις πυκνότητας φασματικής ενέργειας $S(f)$, καθώς και χαρακτηριστικά μεγέθη των φασματικών διαταραχών.

Ο πιο διαδεδομένος και χρησιμοποιούμενος τύπος φάσματος είναι το φάσμα JONSWAP, που προτάθηκε για να περιγράψει μερικά ανεπτυγμένες θαλάσσιες διαταραχές (Μουτζούρης, 2009).

Αυτός και οι περισσότεροι άλλοι τύποι φασμάτων περιγράφουν εκείνο το τμήμα της κυματικής διαταραχής που δημιουργείται από τοπικό άνεμο τη στιγμή της καταγραφής αυτής (Violante – Carvalho et al., 2002).

Η μορφή των φασμάτων διαφέρει από αυτές τις τυπικές μορφές, όταν σε μία περιοχή συνυπάρχει κυματισμός που οφείλεται σε άνεμο που έπνεε σε προγενέστερο χρόνο σε αυτήν ή ακόμη και σε άλλη περιοχή.

2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΟΡΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

2.2.1 ΡΗΧΩΣΗ

Ρήχωση καλείται το φαινόμενο της επίδρασης του πυθμένα στην μορφή των κυμάτων. Η επίδραση αυτή αρχίζει να γίνεται αισθητή από το κύμα σε βάθη νερού d μικρότερα του μισού μήκους του.

Οι σημαντικότερες μεταβολές στις διατομές των κυμάτων λόγω του συγκεκριμένου φαινομένου είναι η μείωση του μήκους κύματος, η μείωση και στη συνέχεια η αύξηση του ύψους κύματος, η αύξηση της καμπυλότητας και η εμφάνιση ασυμμετριών στη διατομή του (Μουτζούρης, 2009).

Για τον υπολογισμό των μεταβολών του μήκους και του ύψους των κυμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενεργειακή μέθοδος, η οποία ισχύει στην περιοχή μεταξύ της ανοιχτής θάλασσας και της θραύσης των κυμάτων (Μουτζούρης, 2009). Μετά από κάποιες παραδοχές και απλοποιήσεις η μέθοδος αυτή καταλήγει στη σχέση που παρατίθεται στη συνέχεια για το μήκος κύματος:

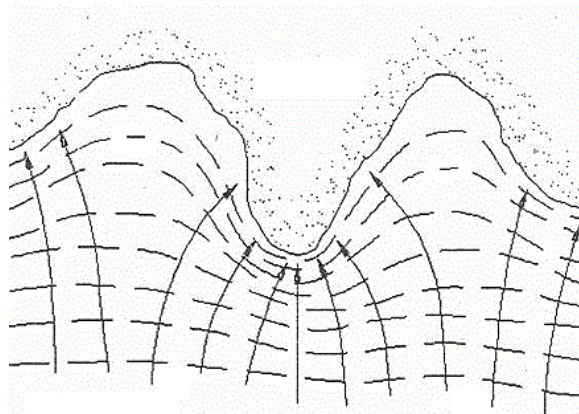
- $L_m = L_o \tanh \frac{2\pi d}{L}$, όπου: $L_o = \frac{gT^2}{2\pi}$ με g την επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec^2)

Η επίλυση γίνεται με δοκιμές.

2.2.2 ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Διάθλαση καλείται το φαινόμενο της επίδρασης του πυθμένα στη διεύθυνση μετάδοσης των κυματισμών. Η διάθλαση λαμβάνει χώρα στις εν γένει ανομοιόμορφα επικλινείς αβαθείς ($d \leq 0.5 L$) περιοχές και εξαρτάται αποκλειστικά από την τοπογραφία του πυθμένα (μορφή των ισοβαθών) των περιοχών αυτών.

Κατά τη διάθλαση ενός κύματος, η ορθογωνική του (δηλαδή η καμπύλη, η οποία σε κάθε σημείο της έχει εφαπτομένη τη διεύθυνση μετάδοσης του κύματος) τείνει να κινηθεί κάθετα προς τις ισοβαθείς. Αποτέλεσμα του φαινομένου της διάθλασης είναι η ύπαρξη περιοχών πύκνωσης και περιοχών αραιώσης των ορθογωνικών των κυμάτων (βλ. σχήμα 2.5), δηλαδή η αυξημένη κυματική διαταραχή στις πρώτες σε σχέση με τις δεύτερες.



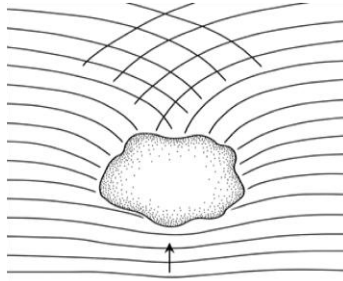
Σχήμα 2.5 – Διάθλαση

2.2.3 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Η περίθλαση είναι φαινόμενο επίδρασης ενός μεμονωμένου εμποδίου στο πεδίο μετάδοσης των κυματισμών. Συγκεκριμένα, όταν οι κυματισμοί συναντήσουν το άκρο ενός εμποδίου, το παρακάμπτουν και συνεχίζουν τη διάδοσή τους κατόπιν αυτού κατά ομόκεντρα τόξα.

Η επίδραση αυτή, όπως και το φαινόμενο της διάθλασης, αφορά τόσο τη διεύθυνση διαδόσεως των κυματισμών όσο και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της διαμορφούμενης κυματικής διαταραχής στην περιοχή του εμποδίου.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα περίθλασης κυματισμών παρατίθεται σχηματικά στην αρχή της επόμενης σελίδας. Στο σχέδιο δείχνονται οι κορυφογραμμές των κυμάτων, όπως αυτές διαμορφώνονται στην άμεση γειτονιά μεμονωμένου φυσικού εμποδίου από την ύπαρξη του τελευταίου και μόνο.



Σχήμα 2.6 – Περίθλαση κατάντη φυσικού εμποδίου

Η μελέτη της περίθλασης είναι απαραίτητη για την κατανόηση των μεγεθών της κυματικής διαταραχής στο εσωτερικό μιας λιμενολεκάνης, που προστατεύεται από εξωτερικά λιμενικά έργα.

Ο Wiegell μελέτησε θεωρητικά το 1962 την περίπτωση επιμήκους μεμονωμένης κατασκευής και συνέταξε πίνακες και διαγράμματα για τον υπολογισμό του συντελεστή περίθλασης K_d (Μουτζούρης, 2009).

Ο τελευταίος ορίζεται ως το πηλίκο του ύψους μιας σημειακής κυματικής διαταραχής προς το ύψος του προσπίπτοντος στην κατασκευή κύματος και λαμβάνει και τιμές μεγαλύτερες της μονάδας (έως και πάνω από 10%) σε κάποιες μικρές περιοχές στα κατάντη του έργου (εντατικοποίηση της κυματικής διαταραχής).

2.2.4 ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Ανάκλαση είναι η επιστροφή (ολική ή μερική) της κυματικής ενέργειας που προσπίπτει πάνω στο εκάστοτε μέτωπο στην περιοχή προέλευσής της.

Στην περίπτωση του κεκλιμένου κατά την κατακόρυφο μετώπου η ανάκλαση είναι πάντοτε μερική, καθώς μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε ενέργεια θραύσεως ή / και τριβής (Μουτζούρης, 2009). Οι απώλειες ενέργειας από την θραύση είναι μεγαλύτερες από τις απώλειες λόγω τραχύτητας (CEM, 2006).

Η επαλληλία προσπίπτοντος και ανακλώμενου κύματος δίνει ένα στάσιμο κύμα.

Ο συντελεστής ανάκλασης K_r ορίζεται ως:

$$K_r = \frac{H_{re}}{H_{inc}}$$

Όπου:

- H_{re} είναι το ύψος του ανακλώμενου κυματισμού
- H_{inc} είναι το ύψος του προσπίπτοντος κυματισμού

Στη διεθνή βιβλιογραφία γίνεται εμπειρικός συσχετισμός του K_r με την παράμετρο θραύσης ξ (αριθμός Iribarren). Η τελευταία εξαρτάται από την κλίση του πυθμένα ή του πρανούς πάνω στο οποίο επέρχεται η θραύση και από την καμπυλότητα του κύματος.

Ειδικά για θαλάσσιες κατασκευές από τετράποδα με πρανή κλίσεων 1:1.33, 1:1.5 και 1:2 (CEM, 2006) έχει προταθεί από τους Allsop & Hettiarachchi (1988) τύπος συσχετισμού της παραμέτρου θραύσης των Seelig and Ahrens (1981) ξ_{om} με τον K_r . Αυτός είναι:

- $$K_r = \frac{0.48 \xi_{om}^2}{(9.62 + \xi_{om}^2)}$$
- $$\xi = \xi_{om} = \tan \alpha / \sqrt{\frac{2\pi Hs}{gTm^2}}$$

Επίσης, παρακάτω παρατίθεται ο πιο πρόσφατος συσχετισμός των K_r και ξ για πρανή θαλάσσιων κατασκευών ωπλισμένων με δύο στρώσεις από τετράποδα. Πρόκειται για τις σχέσεις των Zanuttigh B. & van der Meer J. W. (2006):

- $$K_r = \tanh(0.102 \xi_o^{0.87})$$
- $$\xi_o = \tan \alpha / \sqrt{g T_{m-1,0}^2}$$

Η παραπάνω σχέση για τον υπολογισμό του ξ χρησιμοποιεί την περίοδο του φάσματος στον πόδα της κατασκευής, η οποία ισούται με:

- $$T_{m-1,0} = m^{-1} / m_o,$$

όπου $m^{-1} = \int_0^\infty f^{-1} S(f) df$ και $m_o = \int_0^\infty S(f) df,$

αντί της μέσης περιόδου T_m , που είναι επίσης φασματικό μέγεθος:

- $$T_m = (m_o / m_2)^{1/2},$$

όπου $m_2 = \int_0^\infty f^2 S(f) df$

Οι δύο παραπάνω σχέσεις ισχύουν για κάθετη πρόσπτωση και κυματισμούς μη υπερπηδόντες τον μόλο.

Τέλος, παρατίθεται η εξίσωση των Muttray et al. (2006), η οποία συσχετίζει εμπειρικά τον συντελεστή ανάκλασης με το σχετικό βάθος d/L_o για κατασκευές από ογκολίθους με κλίσεις πρανών μεγαλύτερες του 1:2.

- $$K_r = 1 / (1.3 + 6d/L_o)$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει για μη θραυόμενους κυματισμούς και για μηδενική ή πολύ μικρή υπερπήδηση.

2.2.5 ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗ

Στις κατασκευές στις οποίες το επίπεδο της αναρρίχησης των κυματιμών ξεπερνά το επίπεδο της στέψης παρατηρείται το φαινόμενο της υπερπήδησης.

Η αναρρίχηση του κύματος εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά των προσπιπτόντων κυματισμών και την αλληλεπίδραση των τελευταίων με τους ανακλώμενους από την κατασκευή κυματισμούς, όσο και από την κλίση των επιπέδων πάνω στα οποία πραγματοποιούνται και την τραχύτητα και απορροφητικότητα των τελευταίων.

Το ποσό της επιτρεπόμενης υπερπήδησης εξαρτάται από την λειτουργία της εκάστοτε κατασκευής (CEM, 2006).

2.2.6 ΘΡΑΥΣΗ

Όταν οι παραμορφώσεις της διατομής ενός κύματος υπερβούν κάποια ορισμένα όρια, το κύμα θραύεται. Γενικώς, στη θραύση το ύψος και η καμπυλότητα ενός κύματος μεγιστοποιούνται, ενώ το κύμα αποκτά την μεγαλύτερη ενέργεια και δύναμή του.

Θραύση των κυμάτων εμφανίζεται στην παράκτια ζώνη και συγκεκριμένα στην ζώνη θραύσης, ως αποτέλεσμα του φαινομένου της ρήχωσης. Κατά την θραύση τους στην ζώνη αυτή, τα κύματα μετατρέπονται εξ ολοκλήρου σε κύματα μεταφοράς, καθώς εκείνο το μέρος της ενέργειάς τους που δεν μετατρέπεται απευθείας σε ενέργεια τύρβης γίνεται κινητική ενέργεια, που ωθεί την μάζα του ύδατος προς την ακτή, μέχρι να επέλθει πλήρης απόσβεση της ενέργειας που μεταφέρεται.

Θραύση κυμάτων εμφανίζεται και βαθύτερα της ζώνης θραύσης σε μεμονωμένες κυματοκορφές, όταν αυτές αποκτήσουν περισσότερη ενέργεια από εκείνη που μπορούν να μεταδώσουν.

Τέλος, η θραύση ενός κύματος μπορεί να επέλθει κατά την πρόσπτωσή του πάνω σε μεμονωμένο εμπόδιο.

Ο αδιάστατος αριθμός που χρησιμοποιείται για την περιγραφή του φαινομένου της θραύσης είναι η παράμετρος θραύσης ξ (βλ. υποκεφάλαιο 2.2.4). Οι τιμές που λαμβάνει ο ξ έχουν αντιστοιχιστεί στις διάφορες μορφές θραύσης: θραύση κυλίσεως, θραύση εκτινάξεως, κατάρρευση, θραύση εφορμήσεως.

2.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΡΟΗΣ

Η ικανοποιητική προσομοίωση των υδραυλικών φαινομένων προϋποθέτει την τήρηση των αρχών της υδραυλικής ομοιότητας.

Καταρχάς, επιλέγεται το προς προσομοίωση πρωτότυπο (δείκτης π), ως εκείνο το σύστημα του οποίου το σύνορο αποκλείει τις λιγότερες κατά το δυνατόν συνιστώσες των υδροδυναμικών φαινομένων που πρόκειται να μελετηθούν. Στη συνέχεια, αυτό προσομοιώνεται με ένα άλλο σύστημα: το σύστημα του φυσικού προσομοιώματος (δείκτης $\phi\pi$).

Η βασική αναγκαία συνθήκη για την ύπαρξη υδραυλικής ομοιότητας μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων είναι η ύπαρξη σταθερής κλίμακας ομοιότητας για καθένα από τα τρία θεμελιώδη μεγέθη (μήκος L , χρόνος T , μάζα M).

Η παραπάνω συνθήκη δεν είναι και ικανή. Για να υπάρχει πλήρης δυναμική και ενεργειακή ομοιότητα είναι απαραίτητη και η αναλογία και των συνιστωσών των δυνάμεων (και όχι απλώς των συνισταμένων αυτών) στα δύο συστήματα.

Την αναλογία αυτή σε προβλήματα ροής ασυμπίεστων ρευστών στο πεδίο βαρύτητας εξασφαλίζει πλήρως η ταυτόχρονη ικανοποίηση των ακόλουθων «νόμων» ή συνθηκών ομοιότητας:

- «νόμος Reynolds Re » ή συνθήκη ισότητας των ομολόγων αδιάστατων αριθμών Re
- «νόμος Froude Fr » ή συνθήκη ισότητας των ομολόγων αδιάστατων αριθμών Fr

ανάμεσα στα δύο συστήματα (Νουτσόπουλος Γ. & Χριστοδούλου Γ., 1996).

Σημειώνονται οι ορισμοί των παραπάνω βασικών αδιάστατων αριθμών:

- Reynolds $R = \frac{\text{Δυνάμεις Αδράνειας}}{\text{Δυνάμεις Συνεκτικότητας}} = LV/\nu$
- Froude $Fr = \frac{\text{Δυνάμεις Αδράνειας}}{\text{Δυνάμεις Βαρύτητας}} = V/\sqrt{g L}$

όπου:

L είναι το χαρακτηριστικό μήκος του πεδίου ροής (m)

V η χαρακτηριστική ταχύτητα (m/sec)

ν ο συντελεστής κινηματικής συνεκτικότητας του υγρού (m^2/sec)

Στην προσομοίωση θαλάσσιων πεδίων ροής, με βάση τα παραπάνω, απαιτείται η τήρηση της γεωμετρικής ομοιότητας των δύο συστημάτων, η οποία συνίσταται σε ομοιότητα σχήματος όλων των ομολόγων στοιχείων τους, δηλαδή απαιτεί σταθερό λόγο των ομολόγων γραμμικών διαστάσεων, καθώς και ισότητα των ομολόγων γωνιών των δύο συστημάτων.

Στον καθορισμό της κλίμακας γεωμετρικής ομοιότητας $1/\lambda$ των πειραμάτων της Θαλάσσιας Υδραυλικής λαμβάνονται υπόψιν οι ακόλουθες παράμετροι (Γιαντσή 2014):

- Ο διαθέσιμος εργαστηριακός χώρος σε συνάρτηση με τις διαστάσεις της προσομοιούμενης περιοχής

- Η δυνατότητα που θα δώσει η κλίμακα για ικανοποιητική προσομοίωση των προς εξέταση μηχανισμών

Πρέπει ακόμη να καθορίζεται κατά τον σχεδιασμό και μία κατάλληλη κλίμακα ομολόγων μαζών για τα διάφορα στοιχεία που προσομοιώνονται και αυτή να λαμβάνεται υπόψιν, όπου είναι απαραίτητο, στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων. Το νερό που χρησιμοποιείται είναι κατά κανόνα νερό του δικτύου ύδρευσης.

Αναγκαία, τέλος, είναι και η τήρηση μιας σταθερής κλίμακας χρόνων μεταξύ πρωτοτύπου και προσομοιώματος κατά την προσομοίωση των φαινομένων που μελετώνται. Αυτή, στην περίπτωση της προσομοίωσης θαλάσσιων κυματικών πεδίων, καθορίζεται συναρτήσει των άλλων δύο «θεμελιωδών» κλιμάκων μέσω της συνθήκης ομοιότητας κατά Froude, ενώ ο «νόμος» Reynolds παραβλέπεται. Αυτό γίνεται επειδή στα υδροδυναμικά φαινόμενα που εξετάζει η Θαλάσσια Υδραυλική η επίδραση της βαρύτητας είναι σημαντικότερη.

Το γεγονός ότι παραβλέπεται η συνθήκη ομοιότητας κατά Reynolds (μερική ομοιότητα) συνεπάγεται την εισαγωγή σφαλμάτων μικρότερων ή μεγαλύτερων σε όλα τα υδραυλικά ομοιώματα. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται ως «επίδραση κλίμακας» (scale effect) και ο καλύτερος τρόπος περιορισμού του είναι η κατασκευή ομοιώματος με διαστάσεις όσο πιο μεγάλες επιτρέπουν οι πρακτικοί περιορισμοί (Νουτσόπουλος Γ. & Χριστοδούλου Γ., 1996).

Από τις κλίμακες ομοιότητας για τα τρία θεμελιώδη μεγέθη μέσω της διαστατικής ανάλυσης υπολογίζονται οι κλίμακες ομοιότητας για οποιοδήποτε άλλο μέγεθος. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τις κλίμακες ομοιότητας για ορισμένα μεγέθη που υπεισέρχονται στον σχεδιασμό και στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων.

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΚΛΙΜΑΚΑ
Μήκος L	λ
Χρόνος T	$\sqrt{\lambda}$
Ταχύτητα u	$\sqrt{\lambda}$
Επιτάχυνση a	1
Όγκος V	λ^3
Παροχή Q	$\lambda^{5/2}$
Πυκνότητα ενέργειας φάσματος S(f)	$\lambda^{5/2}$
Μάζα M	$\lambda^3 \times (M_{\pi}/M_{\phi\pi})$

Πίνακας 2.3 - Κλίμακες Ομοιότητας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° ΥΠΟ ΕΡΕΥΝΑ ΛΙΜΕΝΑΣ

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Ο λιμένας 'Μαύρης Λιμνώνας' Χώρας Σφακίων βρίσκεται στο Νομό Χανίων, στη Νοτιοδυτική Κρήτη (βλ. Εικόνα 3.1). Λειτουργεί ως αλιευτικό καταφύγιο και ως επιβατικός λιμένας.



Εικόνα 3.1 – Γεωγραφική θέση λιμένα 'Μαύρης Λιμνώνας' Χώρας Σφακίων

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζονται εικόνες από τον λιμένα.

Η οριοθέτησή του από πλευράς θάλασσας γίνεται από προσήνεμο μόλο θωρακισμένο με τετράποδα και από μικρό υπήνεμο μόλο.

Ο λιμένας χωρίζεται σε δύο λιμενολεκάνες, την εξωτερική και την εσωτερική. Στην πρώτη υπάρχει μια θέση πρυμνοδέτησης και πλαγιοδέτησης επιβατικού πλοίου, ενώ στη δεύτερη προσδένουν αλιευτικά σκάφη σε όλο το μήκος των κρηπιδωμάτων της και της θωράκισης με φυσικούς ογκολίθους. Στην εσωτερική λιμενολεκάνη υπάρχει επίσης ράμπα καθέλκυσης/ανέλκυσης μικρών σκαφών. Η οριοθέτηση εξωτερικής και εσωτερικής λιμενολεκάνης έχει γίνει με έναν προβλήτα και έναν βραχίονα από φυσικούς ογκολίθους.



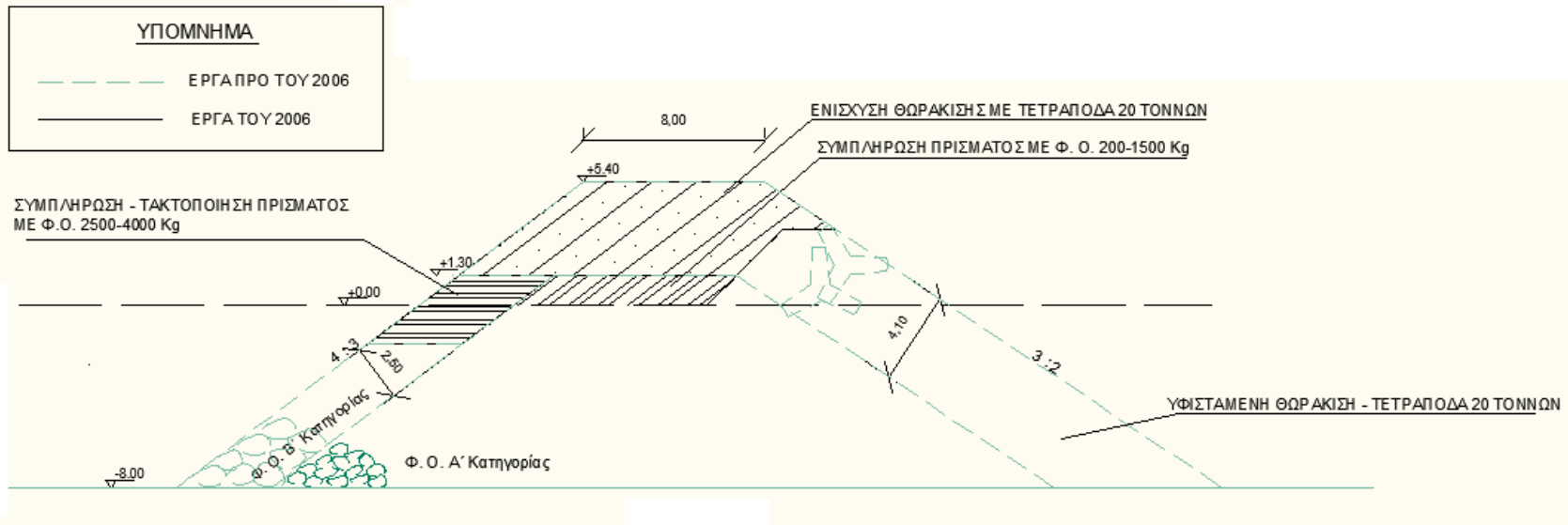
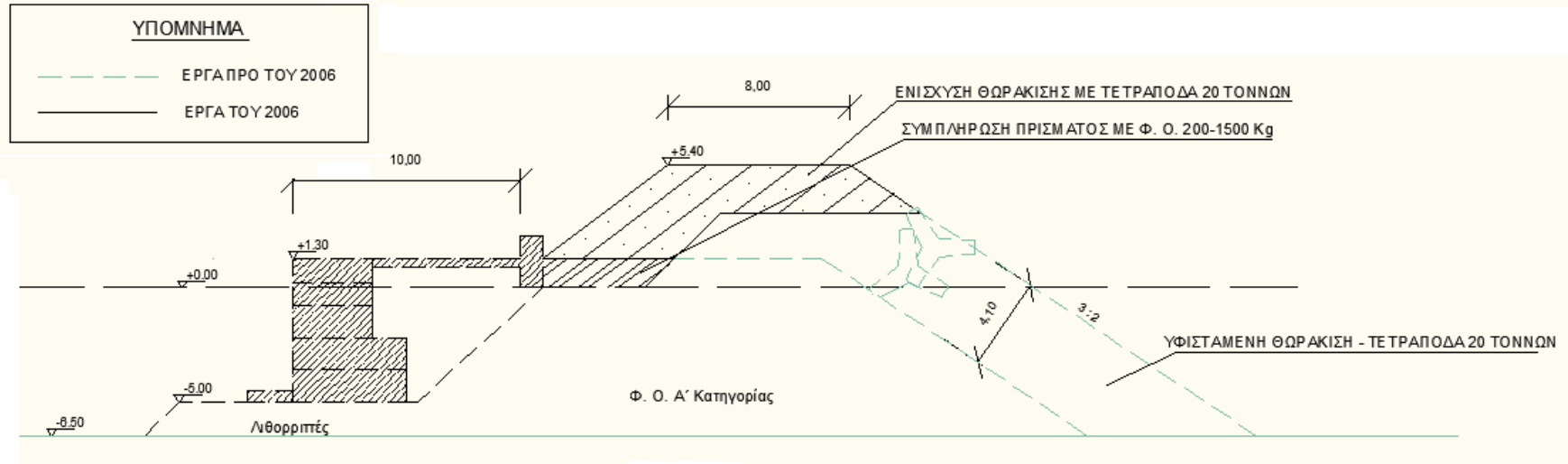
Εικόνα 3.2 – Βορειοανατολική άποψη του λιμένα



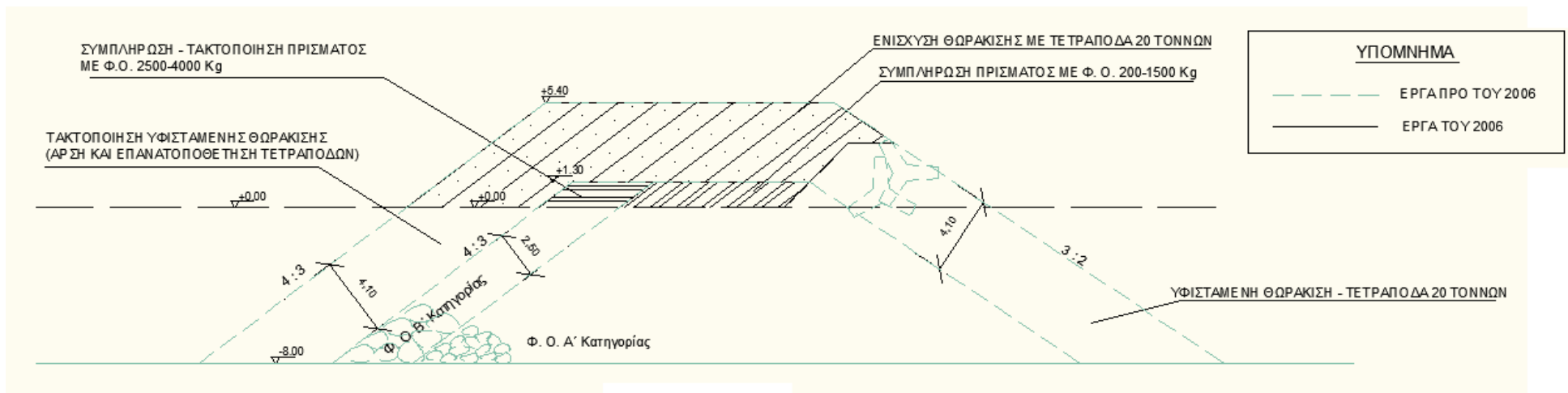
Εικόνα 3.3 – Βόρεια άποψη του λιμένα

Το μέτωπο της ακτής στα κατάντη του προσήνεμου μόλου στην περιοχή της εισόδου του λιμένα έχει προστατευθεί από διάβρωση μέσω θωράκισης με φυσικούς ογκολίθους. Η ίδια μορφή θωράκισης έχει χρησιμοποιηθεί και στην εσωτερική λιμενολεκάνη στο μέτωπο που προσβάλλεται άμεσα από κυματισμούς.

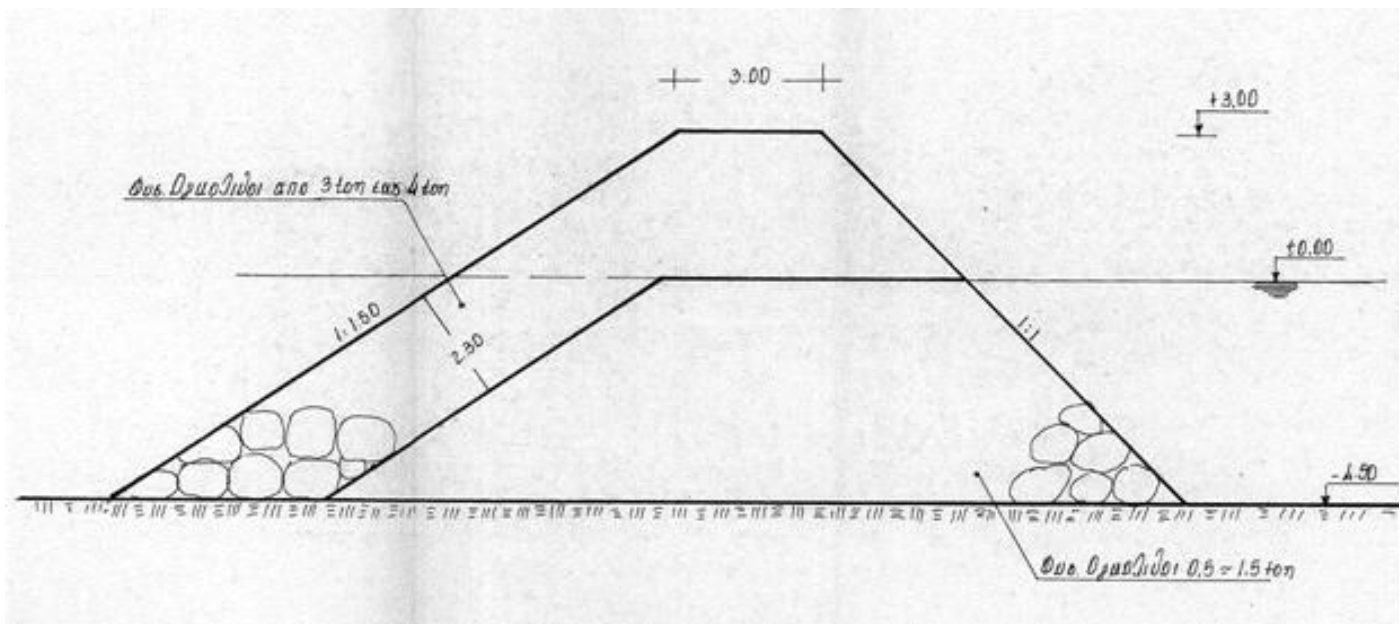
Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται σχέδια τυπικών διατομών των εξωτερικών και εσωτερικών έργων του λιμένα.



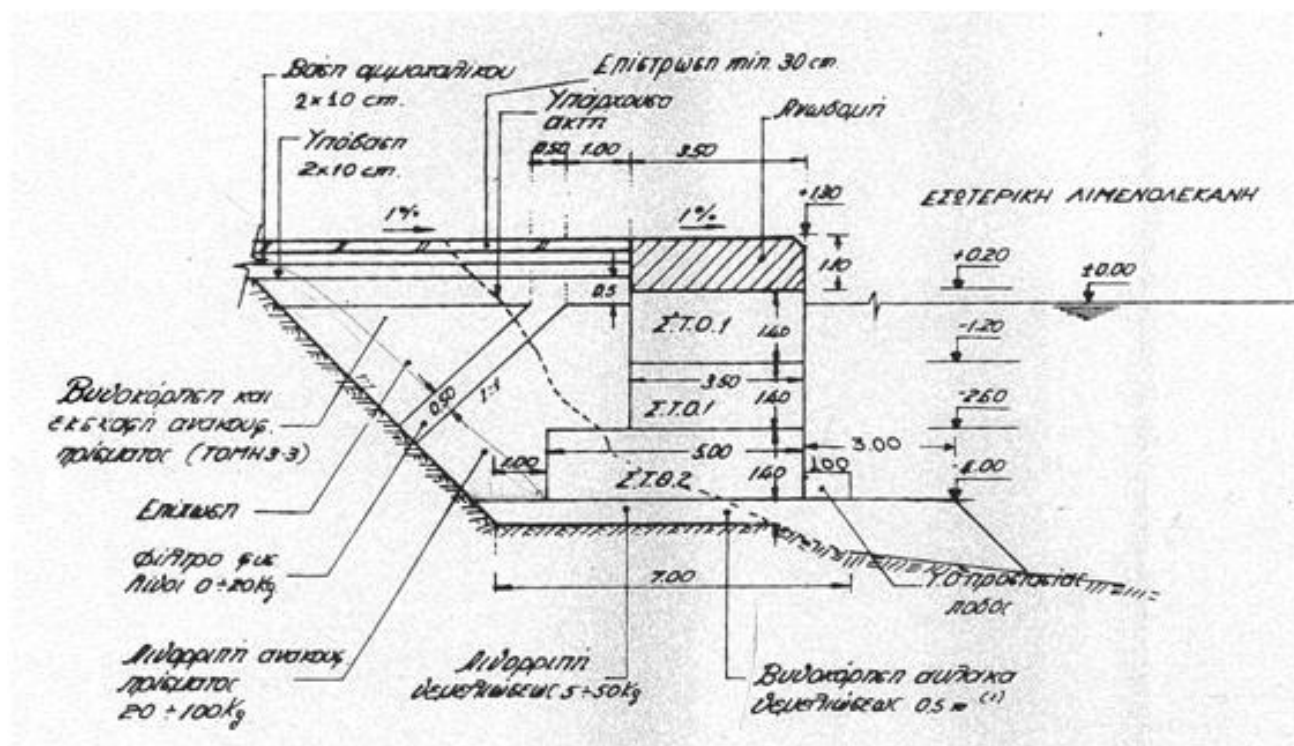
Σχέδια 3.1 – Τυπικές διατομές του μόλου στο μήκος με κρηπίδωμα (άνω) και στο μεσαίο του τμήμα (κάτω)
 Πηγή: ΕΛΕ (2014)



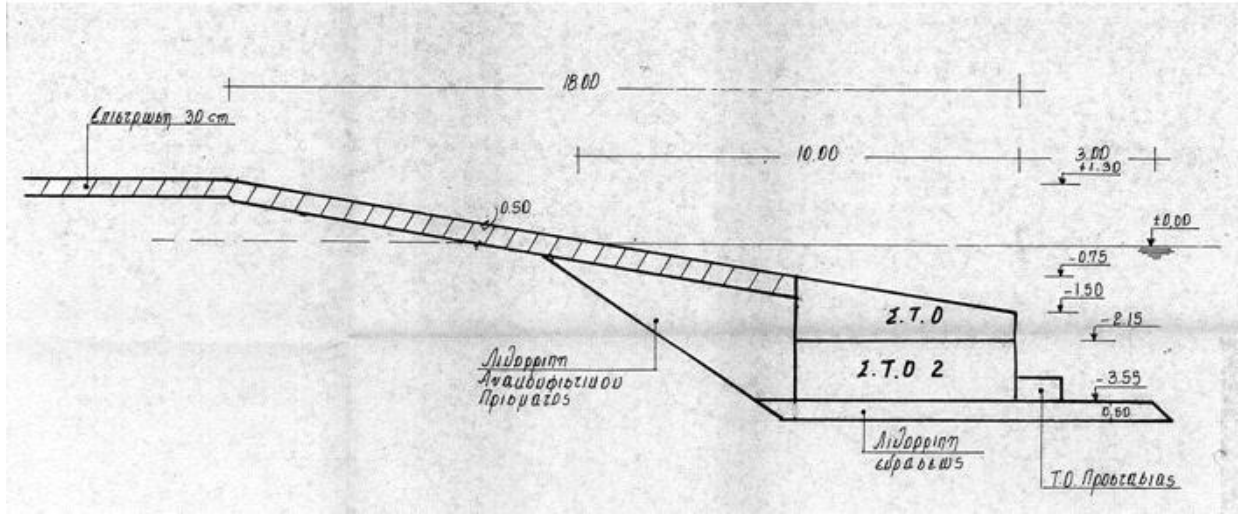
Σχέδιο 3.2 – Τυπική διατομή μόλου στο ακρομόλιο
 Πηγή: ΕΛΕ (2014)



Σχέδιο 3.7 – Τυπική διατομή εσωτερικού βραχίονα
 Πηγή: ΕΛΕ (2014)



Σχέδιο 3.8 – Τυπική διατομή κρηιδοτοίχου εσωτερικής λιμενολεκάνης
 Πηγή: ΕΛΕ (2014)



Σχέδιο 3.9 – Κατά μήκος τομή ράμπας
 Πηγή: ΕΛΕ (2014)

3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Το εξωτερικά λιμενικά έργα του λιμένα κατασκευάστηκαν με βάση τον αρχικό σχεδιασμό του ως αλιευτικού καταφυγίου. Κατά την κατασκευή των εσωτερικών λιμενικών έργων που ακολούθησε λήφθηκε υπόψιν η ανάγκη να εξυπηρετούνται από τον λιμένα τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία που πραγματοποιούν την ακτοπλοϊκή σύνδεση των νότιων περιοχών του Νομού Χανίων.

Η κυματική υπερπήδηση του προσήνεμου μόλου σε μεγάλης έντασης κακοκαιρίες και η κυματική διείσδυση από την είσοδο καθιστούν δυσχερή την πρόσδεση και την παραμονή των Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες.

Έχει αποφασιστεί η αναδιαμόρφωση των εξωτερικών λιμενικών έργων, ώστε να εξασφαλιστούν ήρεμες συνθήκες στη λιμενολεκάνη για την εξυπηρέτηση των επιβατικών σκαφών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, και βρίσκεται υπό εκπόνηση ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο *“Εργαστηριακή Μελέτη σε Φυσικό Προσομοίωμα Βελτιώσεως Κυματικών Συνθηκών στον Λιμένα Μαύρης Λιμνώνας Χώρας Σφακίων”* στο ΕΛΕ.

3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Για την επίλυση των προβλημάτων διενεργήθηκαν σε πρώτη φάση πειράματα σε φυσικό προσομοίωμα του υφιστάμενου λιμένα για τον έλεγχο της κυματικής διαταραχής στην περιοχή του έργου και της κυματικής υπερπήδησης του μόλου.

Θα ακολουθήσει εργαστηριακή μελέτη για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας προτεινόμενης νέας διάταξης εξωτερικών έργων στην επίλυση του προβλήματος. Σημειώνεται ότι οι μετρήσεις σε φυσικό προσομοίωμα είναι η πλέον αξιόπιστη μέθοδος για τέτοιου είδους ελέγχους.

Η συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα των πειραμάτων κυματικής διαταραχής για την υφιστάμενη διάταξη λιμενικών έργων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

4.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Προσομοιώθηκε η παρακάτω περιοχή, η οποία περιλαμβάνει τα εξής στερεά όρια για τους κυματισμούς:

- Υφιστάμενα εξωτερικά και εσωτερικά έργα του λιμένα
- Πυθμένας
- Τμήμα παράπλευρης ακτής



Εικόνα 4.1 – Νότια άποψη της περιοχής προσομοίωσης

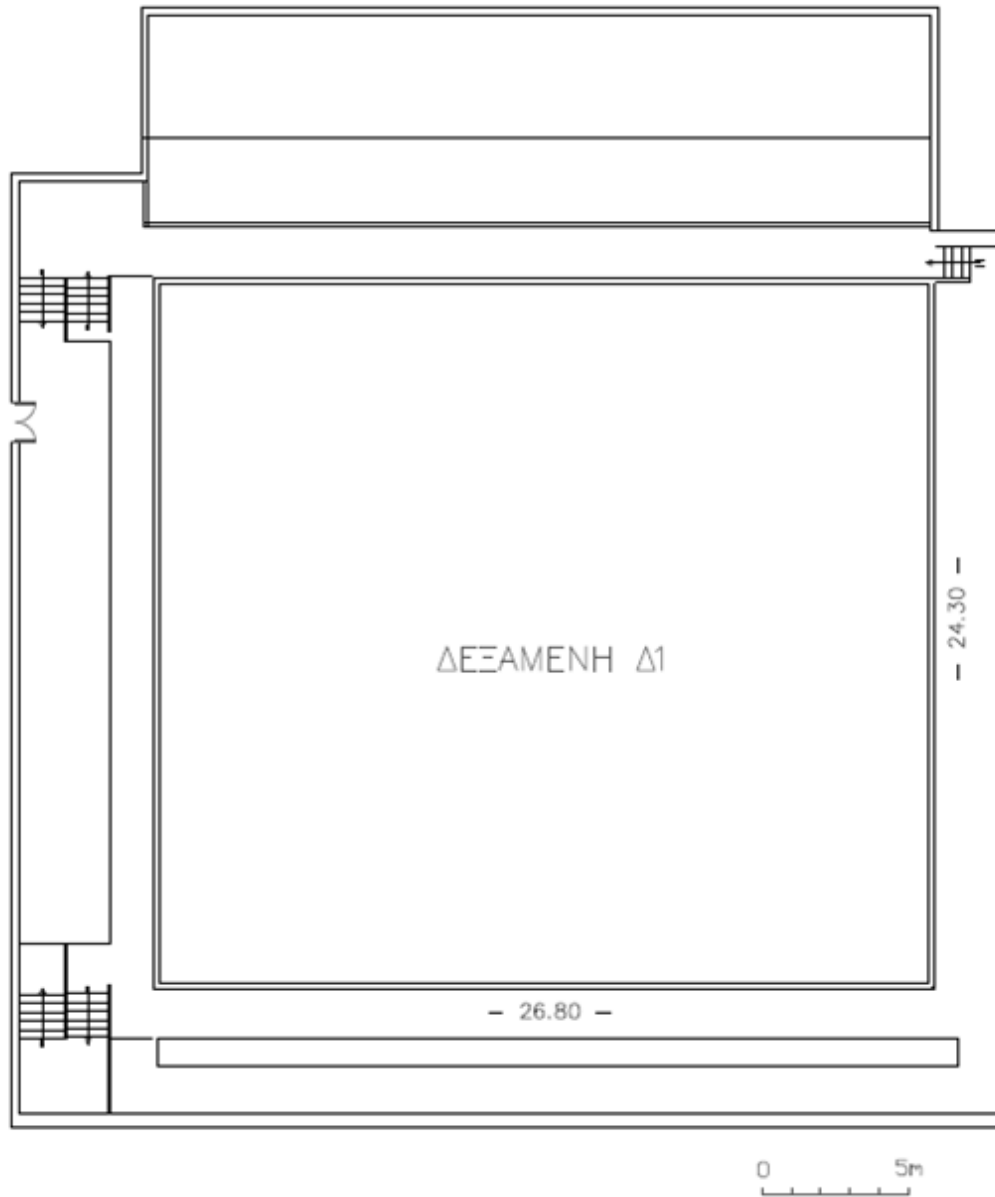


0 75m

Σχέδιο 4.1 – Περιοχή προσομοίωσης
Πηγή: ΕΛΕ (2014)

4.2 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε η Δεξαμενή Δ1 του ΕΛΕ, η οποία έχει διαστάσεις κάτοψης 26,80 m x 24,30 m και βάθος 1,00 m. Για την εξασφάλιση χαμηλού συντελεστή ανάκλασης στα τοιχώματα της δεξαμενής έχουν κατασκευαστεί σε αυτά αποσβεστικές επενδύσεις από λιθοριπή.

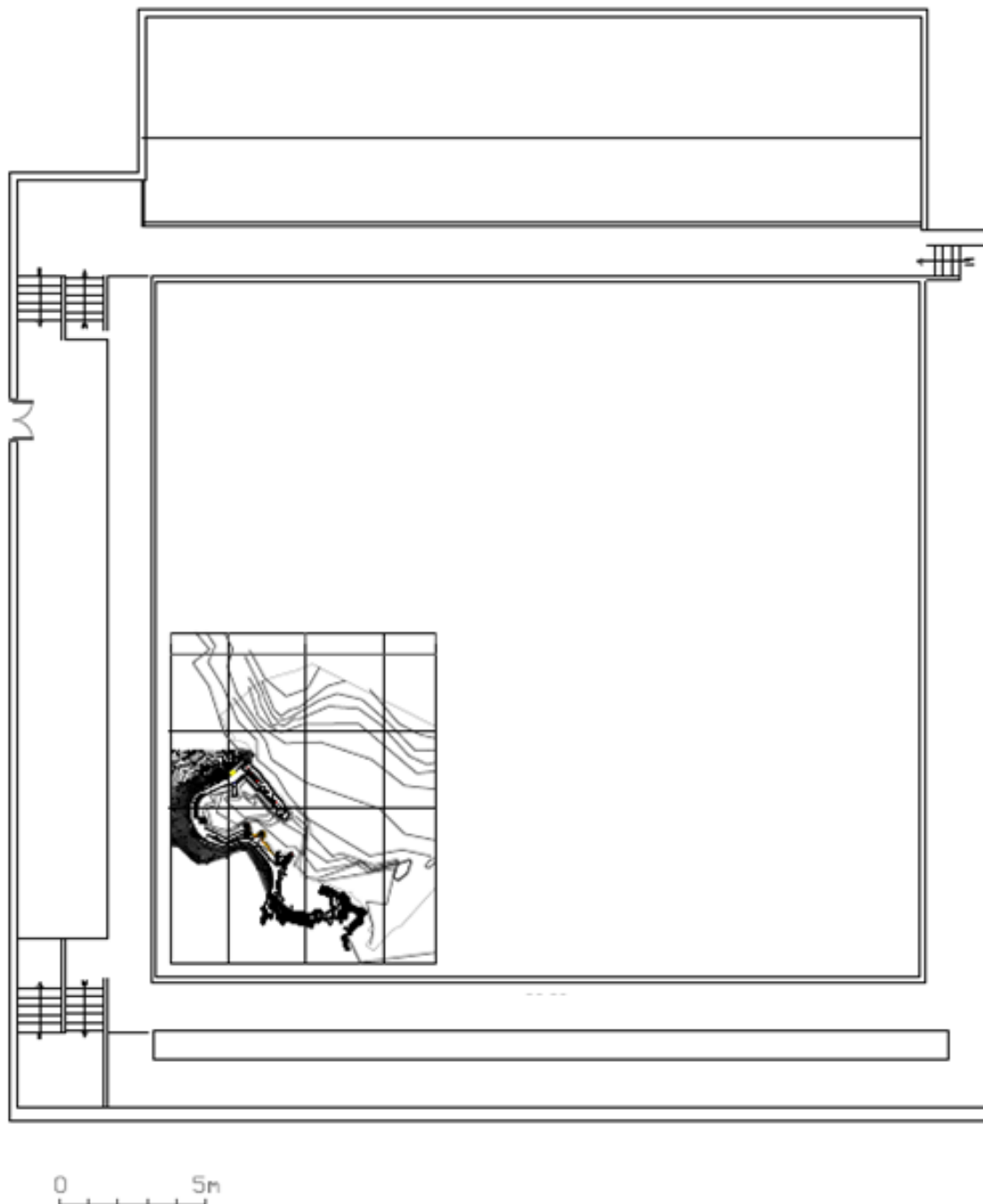


Σχέδιο 4.2 – Δεξαμενή των πειραμάτων
Πηγή: ΕΛΕ (2014)

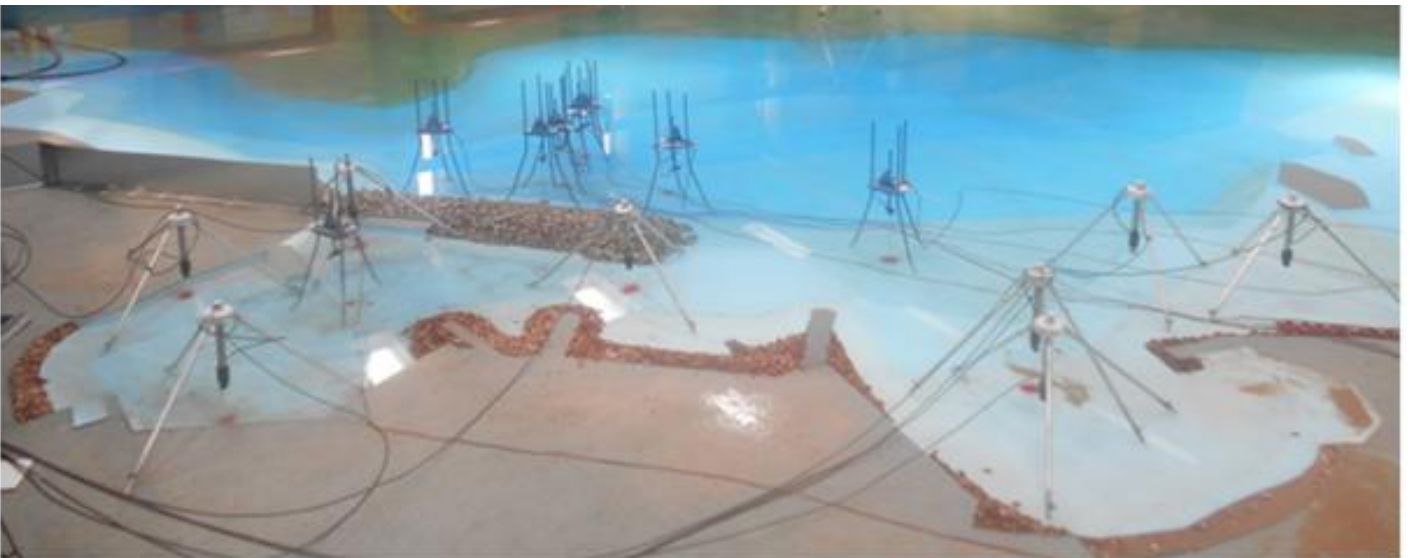
Για την παραγωγή των κυμάτων χρησιμοποιήθηκαν 3 πανομοιότυποι κυματιστήρες και για τις μετρήσεις 2 συστήματα συλλογής και καταγραφής.

4.3 ΟΜΟΙΟΤΗΤΑ

Το φυσικό προσομοίωμα κατασκευάστηκε υπό κλίμακα 1:75.



Σχέδιο 4.3 – Το φυσικό προσομοίωμα στη δεξαμενή
Πηγή: ΕΛΕ (2014)



Εικόνες 4.2 – Περιοχή προσομοίωσης και φυσικό προσομώιωμα

Οι κλίμακες ομοιότητας σημαντικών μεγεθών για τον σχεδιασμό και την εκτίμηση των αποτελεσμάτων συγκεντρώνονται στον αμέσως επόμενο πίνακα.

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΚΛΙΜΑΚΑ
Μήκος L	75
Χρόνος T	8.660
Επιτάχυνση g	1
Πυκνότητα φασματικής ενέργειας S(f)	48712.5
Όγκος V	421875
Μάζα νερού	432421.875

Πίνακας 4.1 – Κλίμακες ομοιότητας

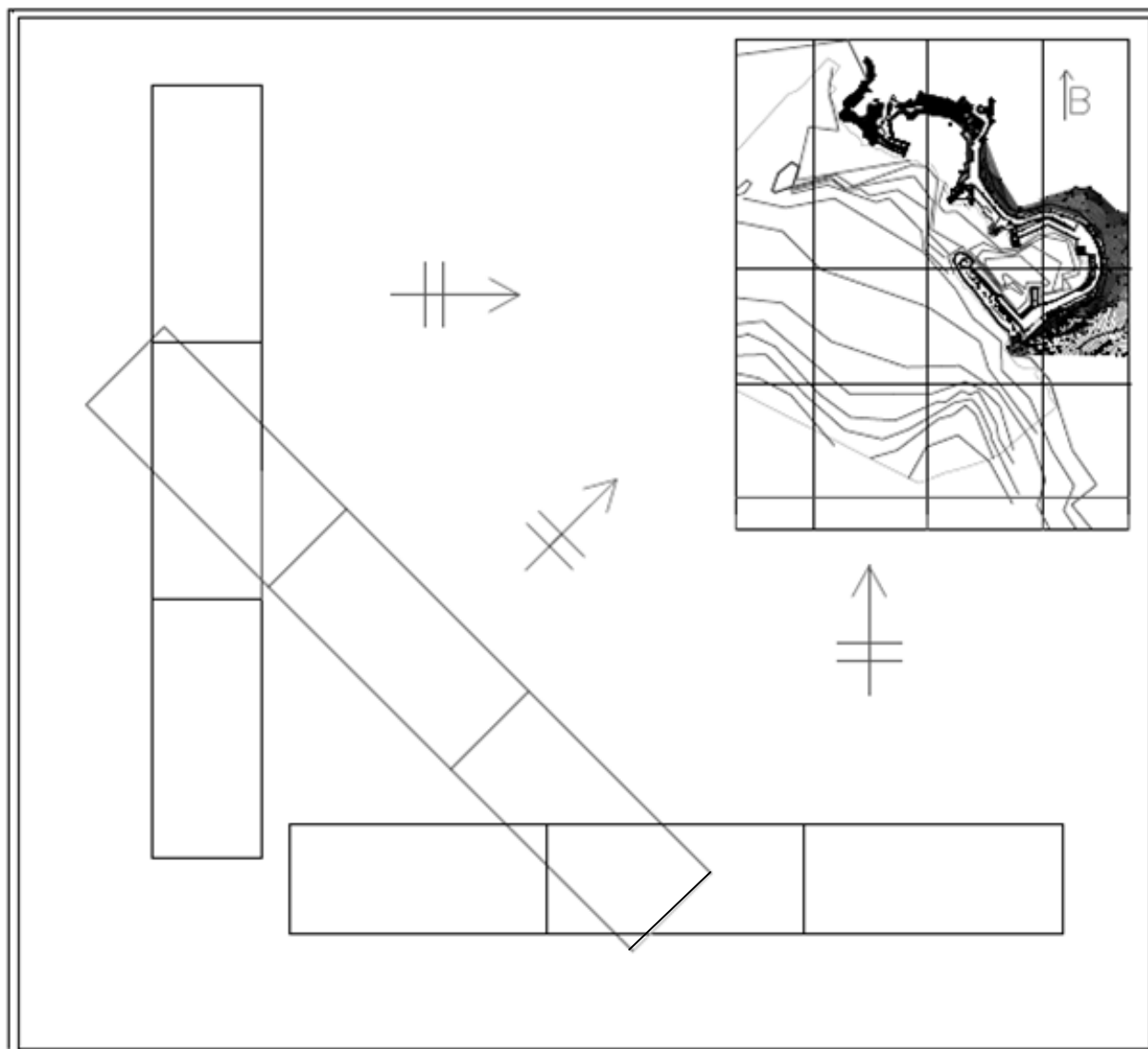
4.4 ΚΥΜΑΤΙΚΟ ΚΛΙΜΑ

4.4.1 ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

Έγιναν έλεγχοι κυματικής διαταραχής με κύματα προερχόμενα από 3 διευθύνσεις πρόσπτωσης κυμάτων:

- 1) ΝΟΤΙΑ
- 2) ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ
- 3) ΔΥΤΙΚΗ

Αυτές δείχνονται στο σχέδιο της επόμενης σελίδας. Στο ίδιο σχέδιο παρουσιάζονται και οι θέσεις στις οποίες τοποθετήθηκαν κάθε φορά οι κυματιστήρες.



Σχέδιο 4.4 – Διευθύνσεις πρόσπτωσης κυμάτων
 Πηγή: ΕΛΕ (2014)

4.4.2 ΦΑΣΜΑΤΑ

Για την παραγωγή των κυμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό “WAVEGEN SD” της Αγγλικής Εταιρίας “H.R. Wallingford”. Έγινε προσομοίωση φασμάτων τύπου JONSWAP με παράμετρο $\gamma=3.3$.

ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 1:75								
ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ					ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ			
ΚΩΔΙΚΟΣ	H _{s,inc} (m)	H (m)	T _p (sec)	f (1/sec)	H _{s, inc} (cm)	H (cm)	T _p (sec)	f (1/sec)
Φ1	0,80	0,80	3,851	0,260	1,06	1,06	0,445	2,249
Φ2	1,90	1,90	5,935	0,168	2,53	2,53	0,685	1,459
Φ3	2,00	2,00	6,090	0,164	2,66	2,66	0,703	1,422
Φ4	3,40	3,35	7,940	0,126	4,53	4,46	0,917	1,091
Φ5	4,80	4,59	9,434	0,106	6,40	6,12	1,089	0,918
Φ6	5,10	4,84	9,724	0,103	6,80	6,45	1,123	0,891

Πίνακας 4.2 – Χαρακτηριστικά πρωτότυπων κυμάτων και κυμάτων της προσομοίωσης
Πηγή: ΕΛΕ (2014)

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΥΝΘΗΚΗ	H _s (m)	T _p (sec)	f (1/sec)
Φ1	σύνηθες στη ΝΟΤΙΑ διεύθυνση πρόσπτωσης	0,80	3,851	0,260
Φ2	σύνηθες στη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης	1,90	5,935	0,168
Φ3	σύνηθες στη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης	2,00	6,090	0,164
Φ4	ακραίο στη ΝΟΤΙΑ διεύθυνση πρόσπτωσης	3,40	7,940	0,126
Φ5	ακραίο στη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης	4,80	9,434	0,106
Φ6	ακραίο στη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης	5,10	9,724	0,103

Πίνακας 4.3 – Προσομοίωση κυματικού κλίματος

4.4.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται το πρόγραμμα των εργαστηριακών μετρήσεων κυματικής διαταραχής.

Οι κωδικοί των πειραμάτων είναι της μορφής Χ.Υ, όπου:

- Ο αριθμός Χ αντιστοιχεί στη διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων. Συγκεκριμένα:

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	Χ
ΝΟΤΙΑ	1
ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ	2
ΔΥΤΙΚΗ	3

Πίνακας 4.4 – Αντιστοιχία αριθμού Χ του κωδικού με διευθύνσεις πρόσπτωσης κυμάτων

- Ο αριθμός Υ είναι ο αύξων αριθμός του φάσματος που παράχθηκε στη δεδομένη διεύθυνση.

Συνολικά εκτελέστηκαν 13 πειράματα. Για κάθε πείραμα έγιναν 3 μετρήσεις, στις οποίες δόθηκαν οι δείκτες σήμανσης i, ii και iii.

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ		ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΘΗΚΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
						Hs (m)	Tp (sec)
1	1.1	1.1 i 1.1 ii 1.1 iii	ΝΟΤΙΑ	Φ1	ΣΥΝΗΘΗΣ	0,80	3,851
2	1.2	1.2 i 1.2 ii 1.2.iii		Φ3	-	2,00	6,090
3	1.3	1.3 i 1.3 ii 1.3 iii		Φ4	ΑΚΡΑΙΑ	3.40	7.940
4	1.4			Φ5	-	4,80	9,434
5	2.1	2.1 i 2.1 ii 2.1 iii	ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ	Φ1	-	0,80	3,851
6	2.2	2.2 i 2.2 ii 2.2 iii		Φ3	ΣΥΝΗΘΗΣ	2,00	6,090
7	2.3	2.3 i 2.3 ii 2.3 iii		Φ4	-	3.40	7.940
8	2.4	2.4 i 2.4 ii 2.4 iii		Φ5	-	4,80	9,434
9	2.5	2.5 i 2.5 ii 2.5 iii		Φ6	ΑΚΡΑΙΑ	5,10	9,724
10	3.1	3.1 i 3.1 ii 3.1 iii	ΔΥΤΙΚΗ	Φ1	-	0,80	3,851
11	3.2	3.2 i 3.2 ii 3.2 iii		Φ2	ΣΥΝΗΘΗΣ	1,90	5,935
12	3.3	3.3 i 3.3 ii 3.3 iii		Φ4	-	3.40	7.940
13	3.4	3.4 i 3.4 ii 3.4 iii		Φ5	ΑΚΡΑΙΑ	4,80	9,434

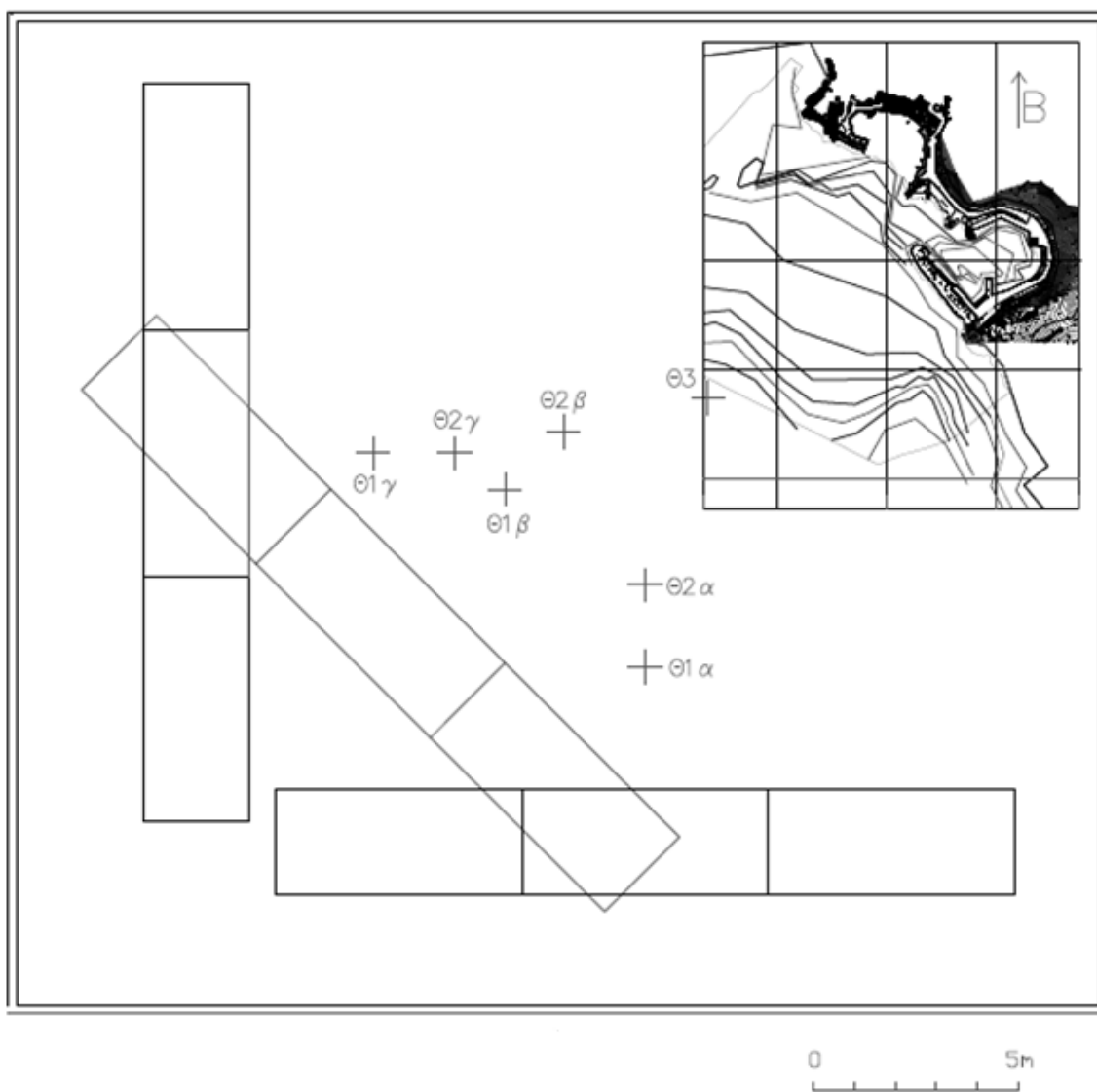
Πίνακας 4.5 – Πρόγραμμα μετρήσεων κυματικής διαταραχής
Πηγή: ΕΛΕ (2014)

4.5 ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

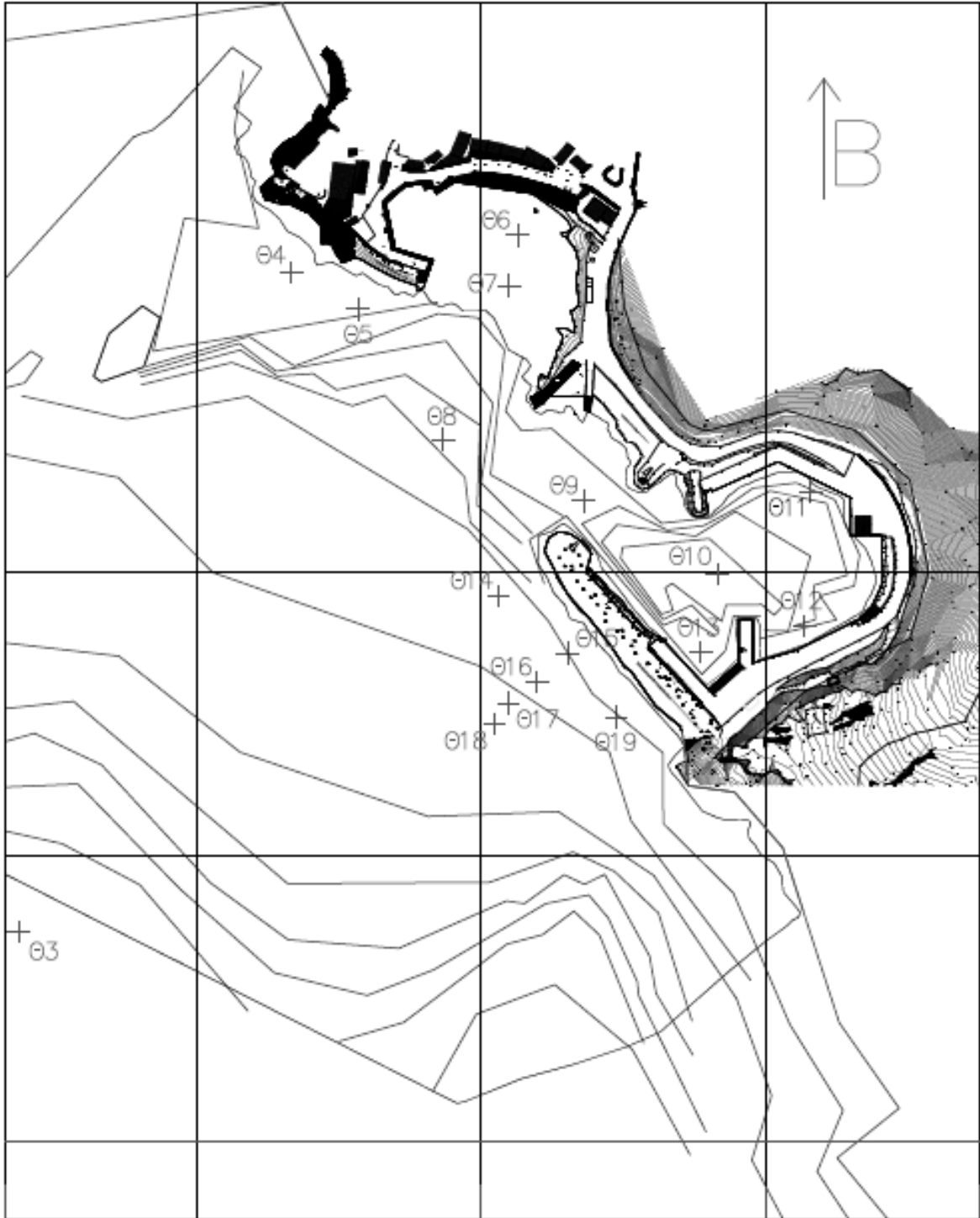
Για κάθε πείραμα, η κυματική διαταραχή μετρήθηκε σε 19 θέσεις, εκ των οποίων οι 5 βρίσκονται εντός της λιμενολεκάνης.

Σημειώνεται ότι οι Θ1 και Θ2 είναι θέσεις ελέγχου του παραγόμενου κυματισμού και είναι διαφορετικές για κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης (Θ1i και Θ2i). Για τις ΝΟΤΙΑ, ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ και ΔΥΤΙΚΗ διευθύνσεις πρόσπτωσης οι δείκτες σήμανσης που χρησιμοποιούνται είναι αντίστοιχα οι α, β και γ.

Οι θέσεις των μετρήσεων παρουσιάζονται στα σχέδια που ακολουθούν.



Σχέδιο 4.5 – Θέσεις ελέγχου μετρήσεων για τις 3 διευθύνσεις πρόσπτωσης
Πηγή: ΕΛΕ (2014)



Σχέδιο 4.6 – Θέσεις μετρήσεων
 Πηγή: ΕΛΕ (2014)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η επεξεργασία των καταγραφών έγινε χρήση του προγράμματος “H.R. Wavedata” της Αγγλικής εταιρίας “H.R. Wallingford”. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα εκτελεί FFT.

Η εικόνα 5.1 της επόμενης σελίδας παρουσιάζει ένα τυπικό παράθυρο του προγράμματος αυτού κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων.

Το πρόγραμμα “H.R. Wavedata” αποθηκεύει τα πειραματικά αποτελέσματα σε αρχεία excel (.xls). Από τα αρχεία αυτά για την συγκεκριμένη έρευνα πραγματοποιήθηκε εξαγωγή των εξής μεγεθών:

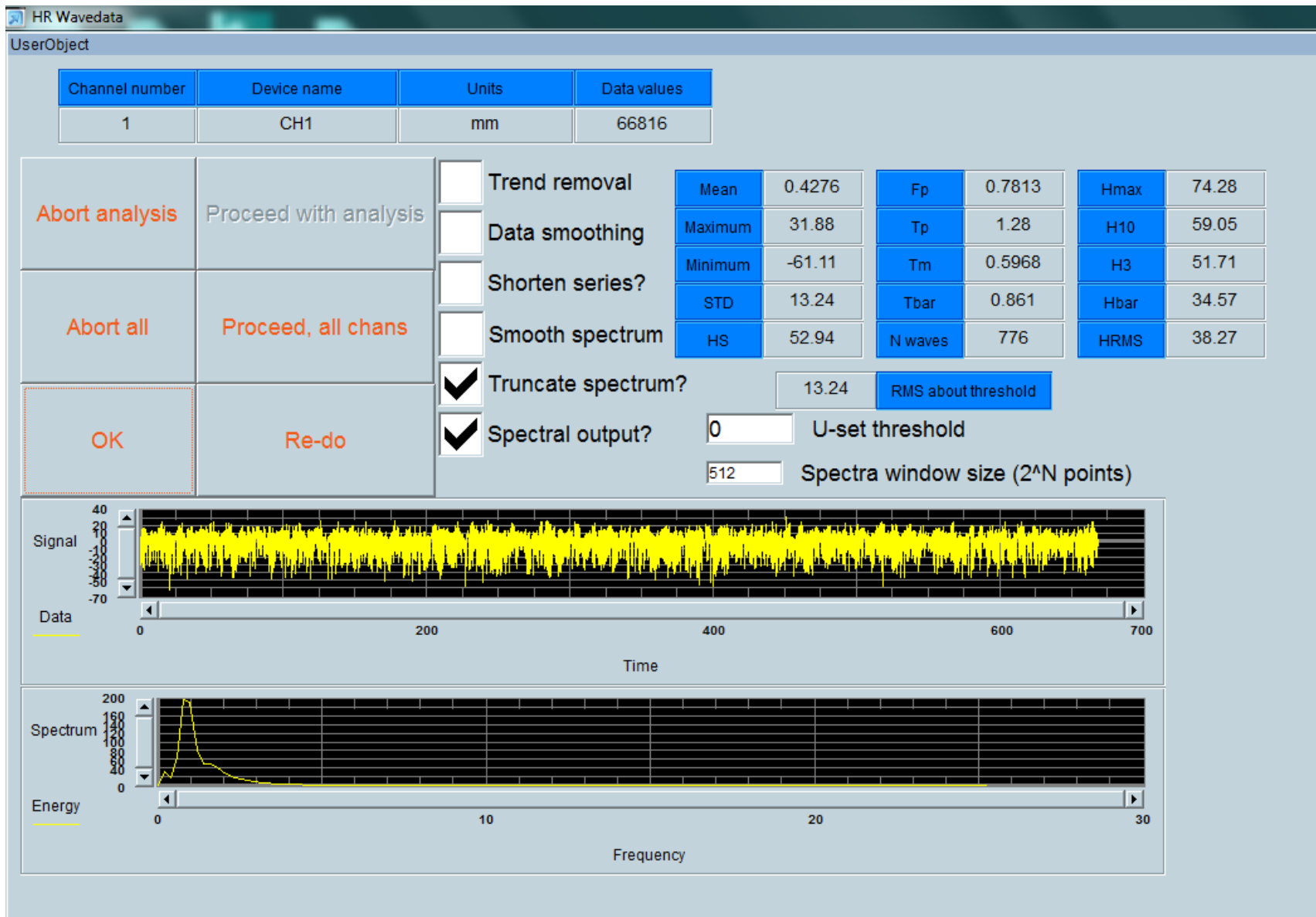
- Χαρακτηριστικό ύψος κύματος H_s (mm)
- Μέγιστο ύψος κύματος H_{max} (mm)
- Περίοδος μέγιστου του φάσματος ενέργειας T_p (sec)
- Μέση περίοδος T_m (sec)

Ακολούθησε αναγωγή στην κλίμακα πρωτοτύπου και πινακοποίηση.

Τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων στο παρόν κεφάλαιο.

Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I παρατίθενται συγκεντρωτικά διαγράμματα για τα χαρακτηριστικά ύψη κύματος H_s και τα μέγιστα ύψη κύματος H_{max} ανά πείραμα.

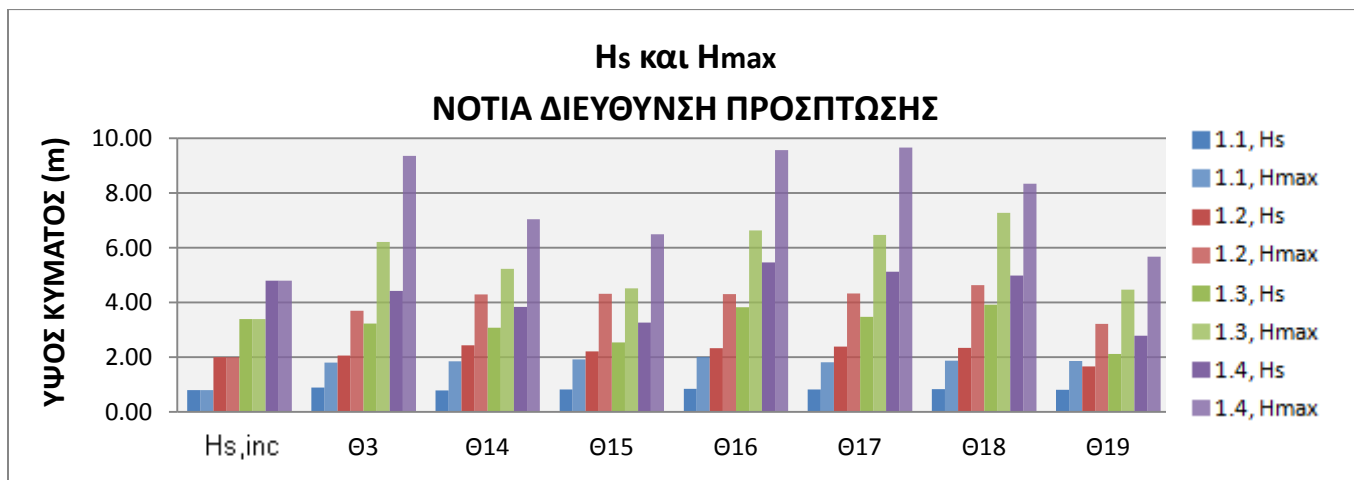
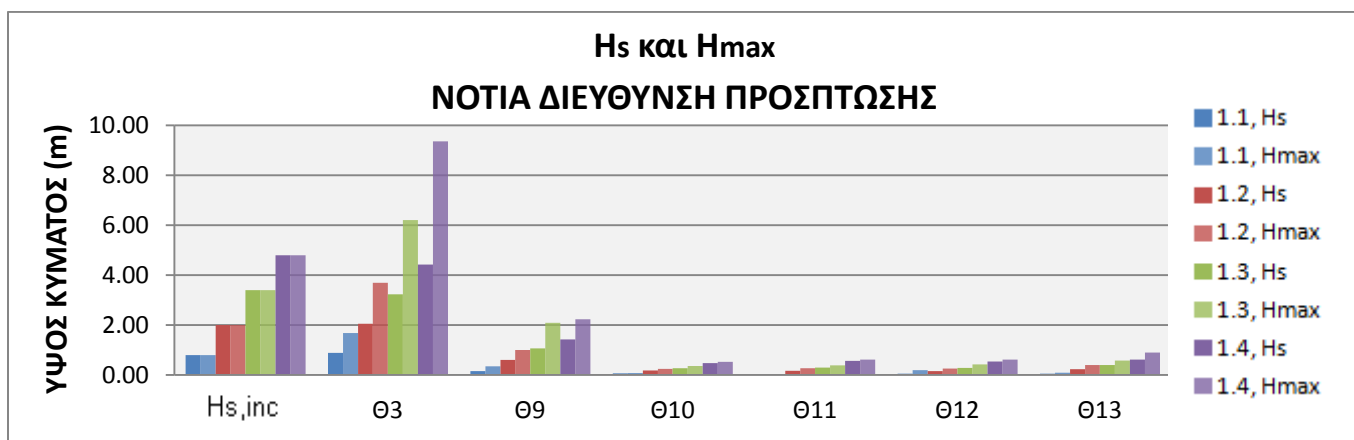
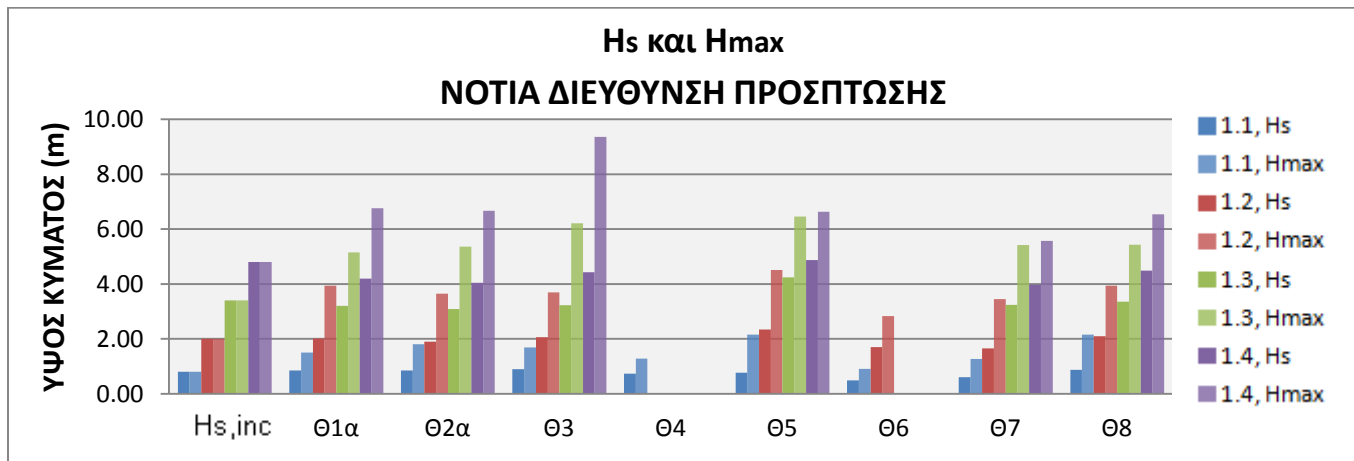
Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II παρουσιάζονται με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων τα χαρακτηριστικά ύψη H_s ανά φάσμα ελέγχου της κυματικής διαταραχής.



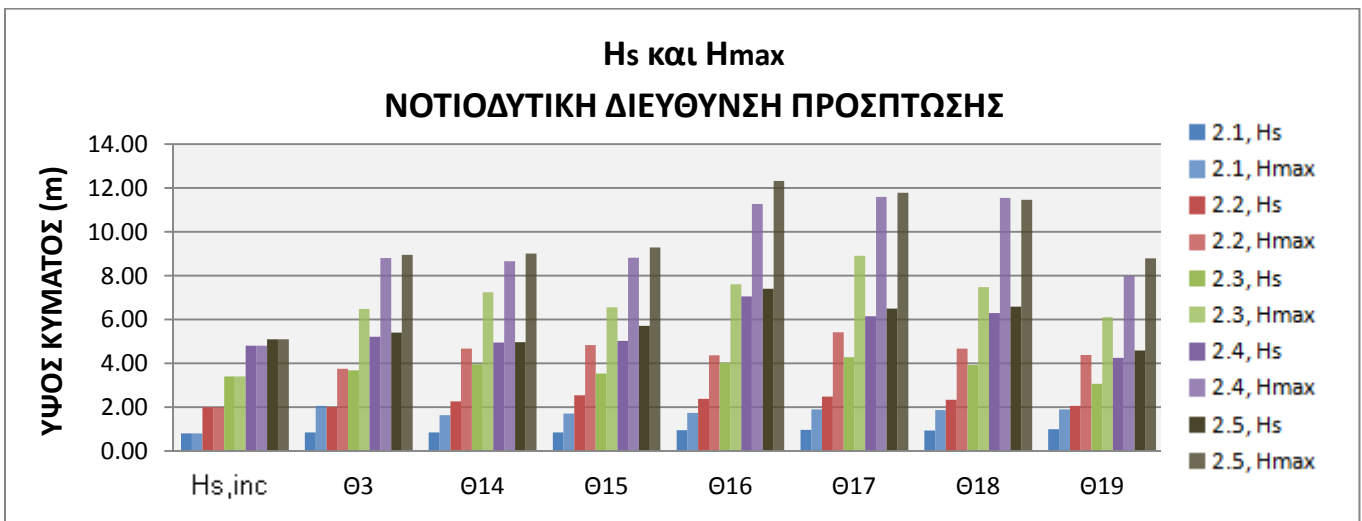
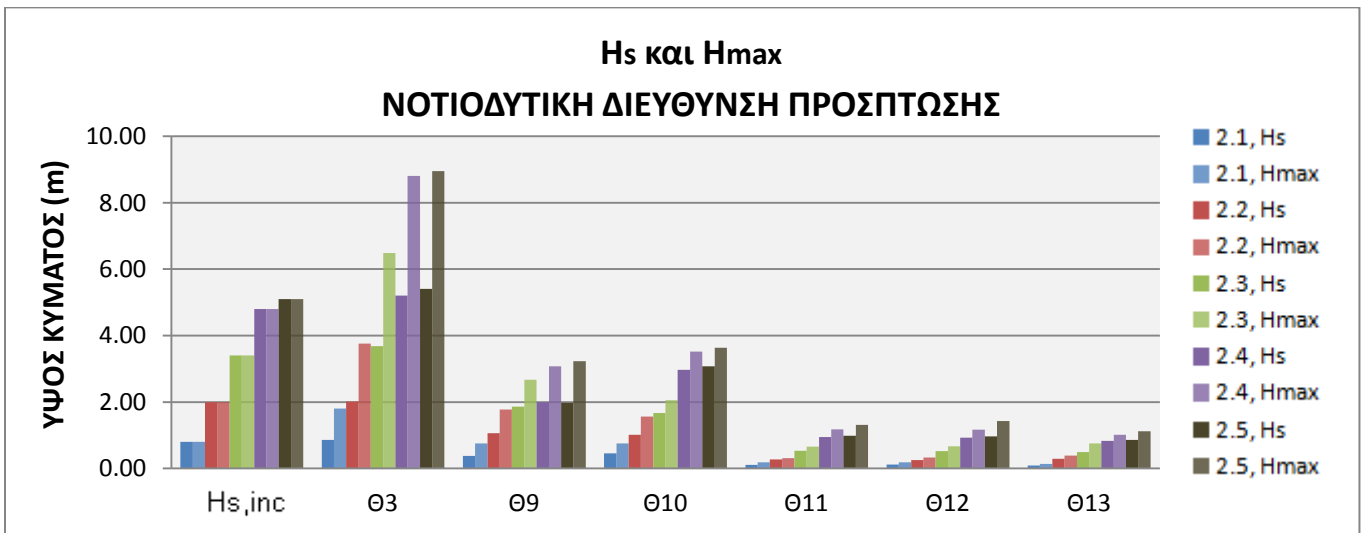
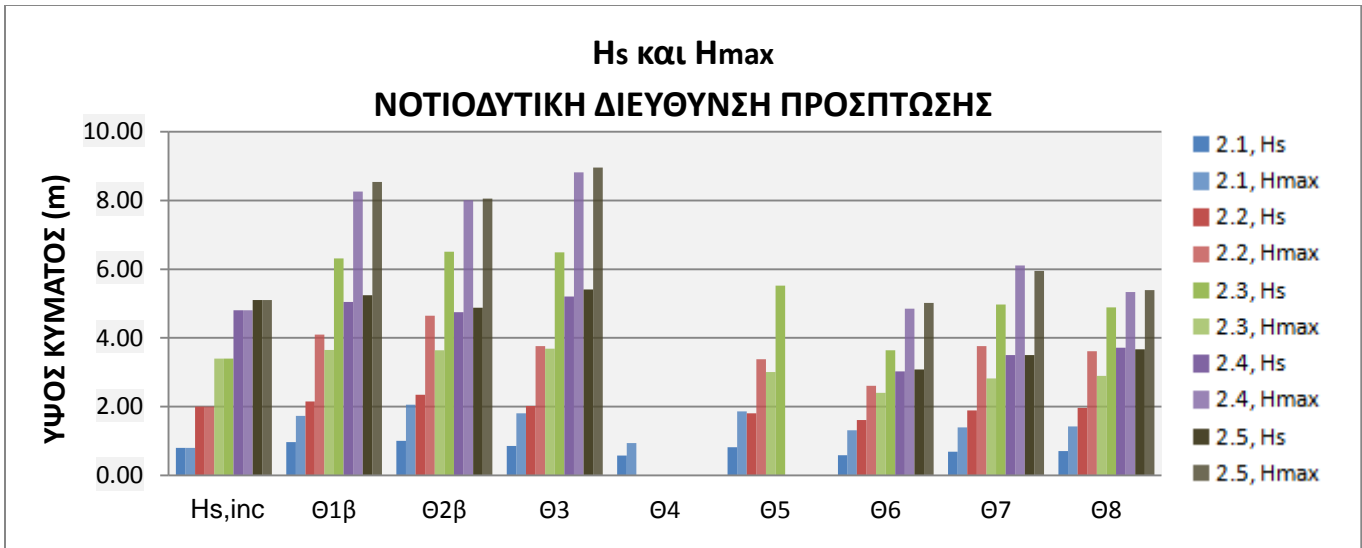
Εικόνα 5.1 – Τυπικό παράθυρο επεξεργασίας καταγραφών

5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΑ ΥΨΗ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

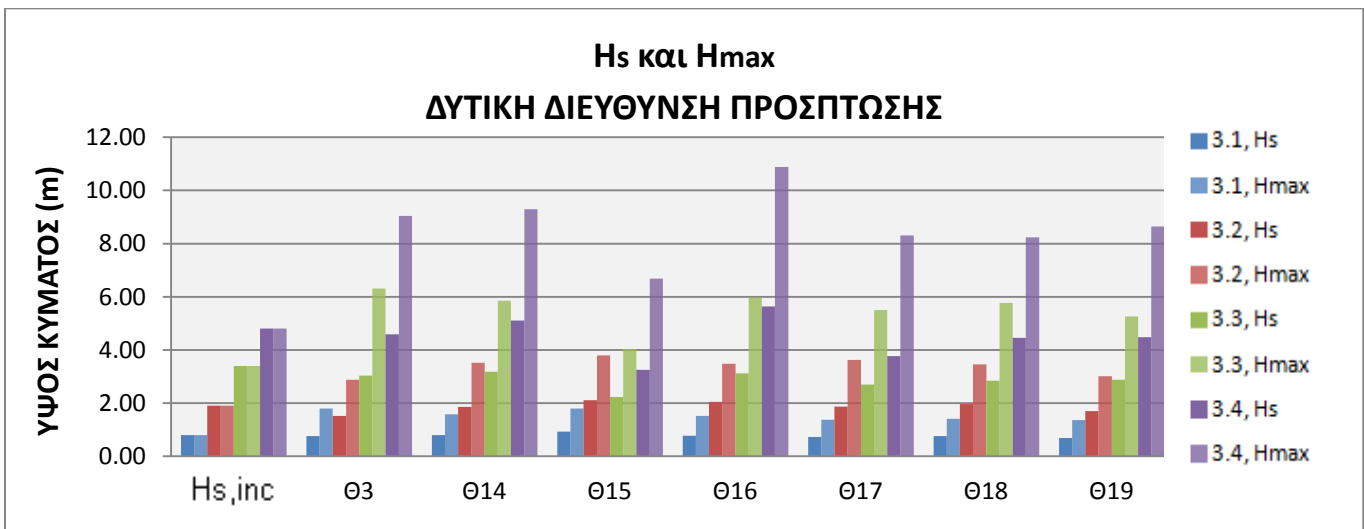
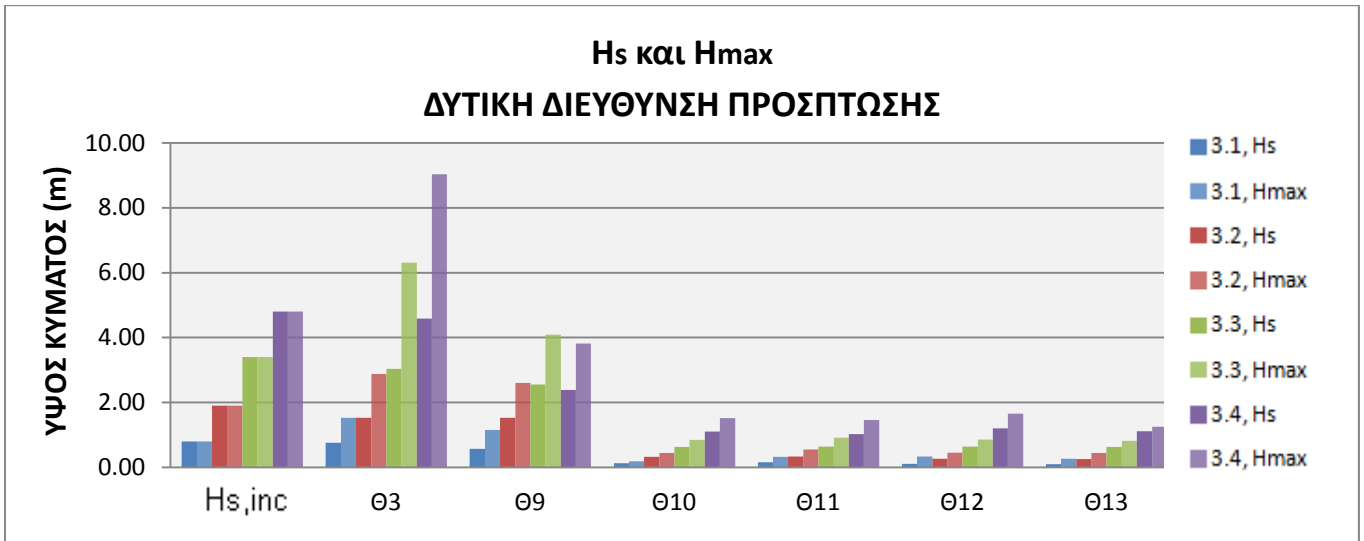
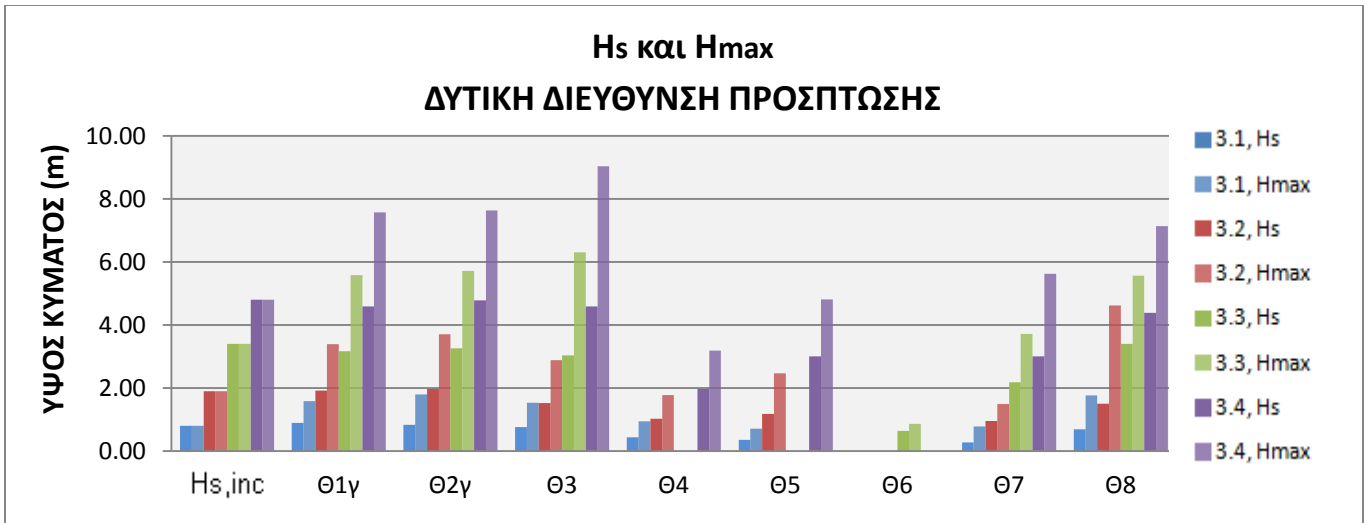
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων τα χαρακτηριστικά ύψη H_s και τα μέγιστα ύψη ανά διεύθυνση πρόσπτωσης.



Διαγράμματα 5.1 – H_s και H_{max} για τη ΝΟΤΙΑ διεύθυνση πρόσπτωσης



Διαγράμματα 5.2 – Hs και Hmax για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης



Διαγράμματα 5.3 – Hs και Hmax για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης

Για τα συγκεκριμένα διαγράμματα σημειώνονται τα ακόλουθα.

Οι θέσεις Θ1i, Θ2i και Θ3 βρίσκονται στα βαθιά νερά και οι τιμές των χαρακτηριστικών υψών Hs σε αυτές δεν απέχουν πολύ από την εκάστοτε τιμή του χαρακτηριστικού κύματος του παραγόμενου φάσματος Hs,inc.

Για τις θέσεις Θ4 και Θ5 προέκυψαν σχετικώς μεγάλα μετρημένα ύψη κύματος, ιδίως για τη ΝΟΤΙΑ διεύθυνση πρόσπτωσης.

Τα ύψη στη θέση Θ6, όπως ήταν αναμενόμενο, παίρνουν, επίσης, σχετικά μεγάλες τιμές για τη ΝΟΤΙΑ και ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διευθύνσεις πρόσπτωσης, ενώ παίρνουν μικρές τιμές για τα ΔΥΤΙΚΑ κύματα για τα οποία η συγκεκριμένη θέση είναι γενικώς προστατευμένη.

Τα ύψη κύματος Hs και Hmax προκύπτουν πάντοτε μικρότερα στη θέση Θ6 από τα αντίστοιχα της θέσης Θ7, η οποία βρίσκεται στα ανάντη της συγκεκριμένης. Όσον αφορά τη Θ8, τα μετρημένα ύψη προέκυψαν σχετικά μεγάλα και μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα της Θ7.

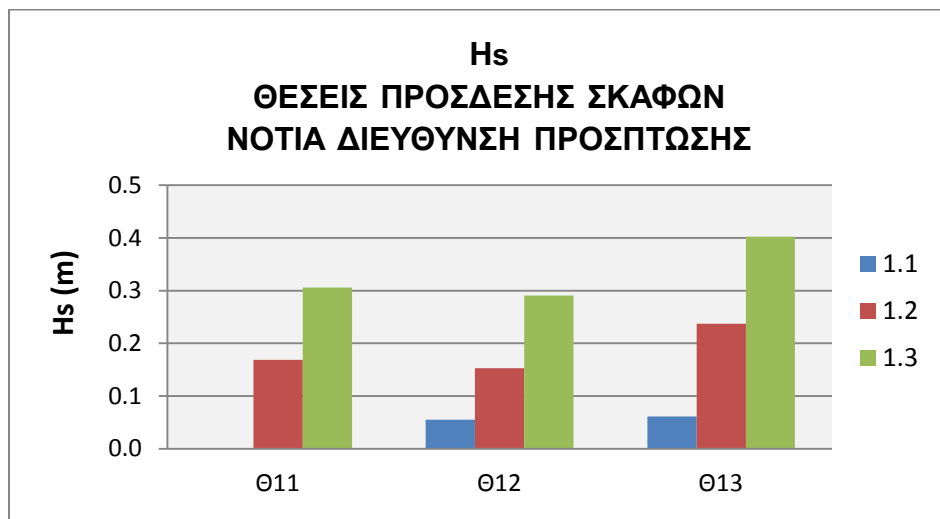
Οι θέσεις Θ10, Θ11, Θ12 και Θ13 βρίσκονται εντός της λιμενολεκάνης. Η περιοχή προστατεύεται από εξωτερικά λιμενικά έργα και, όπως αναμενόταν, τα ύψη κύματος σε αυτές μετρήθηκαν μικρότερα σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες θέσεις μετρήσεων.

Γενικώς, στις συγκεκριμένες θέσεις τα ύψη των κυμάτων μετρήθηκαν μικρότερα από αυτά των εισερχόμενων από την είσοδο (Θ9) κυμάτων. Εξαιρέση αποτελεί η Θ10 για τα ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ, όπου τα μετρημένα ύψη είναι στα ίδια επίπεδα με τα αντίστοιχα της Θ9. Η συγκεκριμένη περίπτωση καταδεικνύει είτε την ύπαρξη κάποιου συστηματικού σφάλματος στις μετρήσεις είτε τη δημιουργία για τη δεδομένη διεύθυνση στη θέση αυτή στάσιμων κυμάτων από ανακλάσεις στα στερεά όρια της λιμενολεκάνης. Για την συγκεκριμένη περίπτωση θα υπάρξει επανέλεγχος.

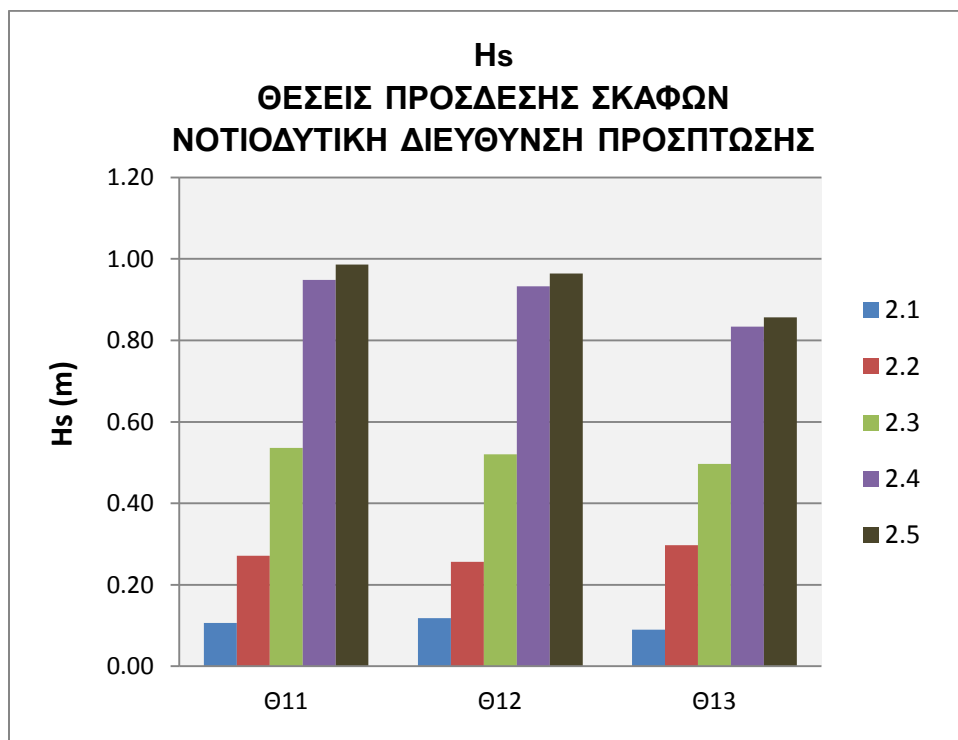
Οι θέσεις Θ14, Θ15, Θ16, Θ17, Θ18 και Θ19 βρίσκονται στη γειτονιά του προσήνεμου μόλου στα ανατολικά αυτού, όπου λαμβάνει χώρα εντατικοποίηση της κυματικής διαταραχής λόγω της μερικής ανάκλασης στο πρανές του μόλου. Ορίστηκαν για την εκτίμηση της τελευταίας. Σε αυτές μετρήθηκαν μεγάλες τιμές υψών κύματος, έως και μεγαλύτερες των παραχθέντων κυμάτων, και στις 3 διευθύνσεις πρόσπτωσης, όπως ήταν αναμενόμενο.

5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΨΗ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΠΡΟΣΔΕΣΗΣ ΣΚΑΦΩΝ ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

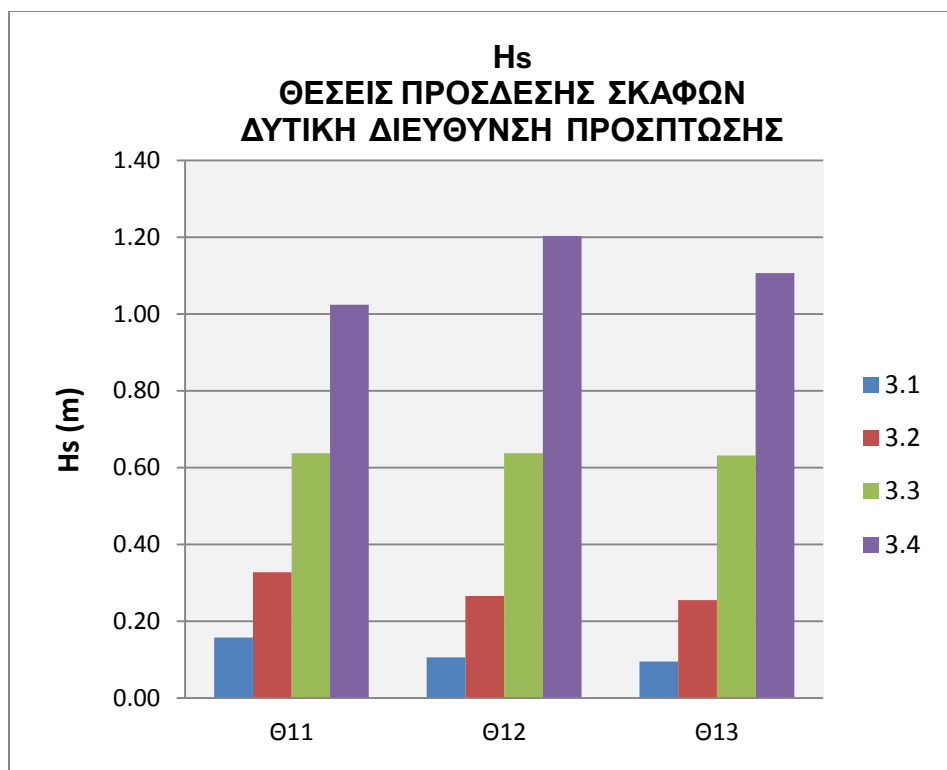
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων τα χαρακτηριστικά ύψη H_s στις θέσεις πρόσδεσης σκαφών (Θ11, Θ12, Θ13) ανά διεύθυνση πρόσπτωσης.



Διάγραμμα 5.4 – H_s στις θέσεις Θ11, Θ12 και Θ13 για τη ΝΟΤΙΑ διεύθυνση πρόσπτωσης



Διάγραμμα 5.5 – H_s στις θέσεις Θ11, Θ12 και Θ13 για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης



Διάγραμμα 5.6 – Hs στις θέσεις Θ11, Θ12 και Θ13 για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης

Ένα από τα κριτήρια λειτουργικότητας ενός λιμένα είναι η σύγκριση των χαρακτηριστικών υψών στις θέσεις της πρόσδεσης και της παραβολής των σκαφών με οριακές τιμές.

Οι θέσεις Θ11 και Θ12 των παραπάνω διαγραμμάτων λειτουργούν ως θέσεις παραμονής αλιευτικών σκαφών, ενώ η Θ13 είναι η θέση αγκυροβολίας των Ε/Γ- Ο/Γ πλοίων που εξυπηρετεί ο λιμένας.

Από τον πίνακα της επόμενης σελίδας λαμβάνεται το οριακό χαρακτηριστικό ύψος στην θέση παραβολής ενός μικρού επιβατικού πλοίου ίσο με 0.50 m και το ίδιο ύψος για μια θέση πρόσδεσης αλιευτικών πλοιαρίων ίσο με 0.40 m (Thoresen C.A., 2006).

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι ο λιμένας δεν διασφαλίζει κατάλληλες συνθήκες για την πρόσδεση και την παραμονή των Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων και των αλιευτικών σκαφών για τους κυματισμούς ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗΣ και ΔΥΤΙΚΗΣ διεύθυνσης πρόσπτωσης που είναι μεγαλύτεροι από το φάσμα με χαρακτηριστικά στα βαθιά: $H_{s,inc} = 3.40$ m και $T_{p,inc} = 7.940$ sec.

Τα κύματα ΝΟΤΙΑΣ διεύθυνσης πρόσπτωσης γενικώς δεν δυσχεραίνουν την παραμονή των σκαφών στον λιμένα.

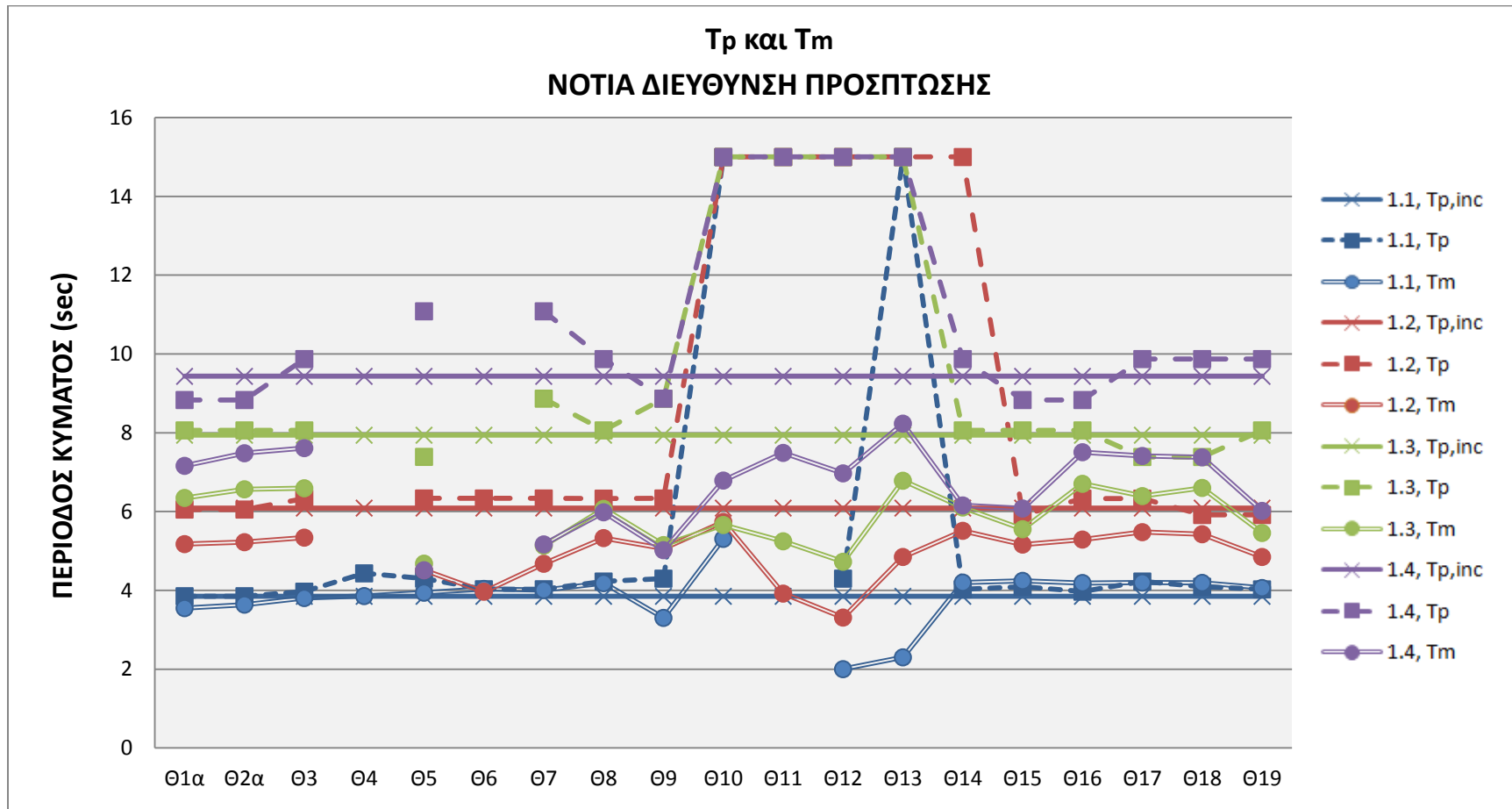
ΤΥΠΟΣ ΠΛΟΙΟΥ	ΟΡΙΑΚΟ Hs (m)
Σκάφη αναψυχής	0.15
Αλιευτικά σκάφη	0.40
Γενικού φορτίου (< 30000 dwt)	0.70
Φορτίου χύδην (< 30000 dwt)	0.80
Φορτίου χύδην (30000 – 100000 dwt)	0.80 – 1.50
Δεξαμενόπλοια (< 30000 dwt)	1.00
Δεξαμενόπλοια (30000 – 100000 dwt)	1.00 – 1.70
Επιβατηγά	0.50 – 0.70

*Πίνακας 5.1 – Αποδεκτά χαρακτηριστικά ύψη κύματος για τις θέσεις παραμονής στην λιμενολεκάνη διαφόρων κατηγοριών σκαφών
Πηγή: Thoresen C.A. (2006)*

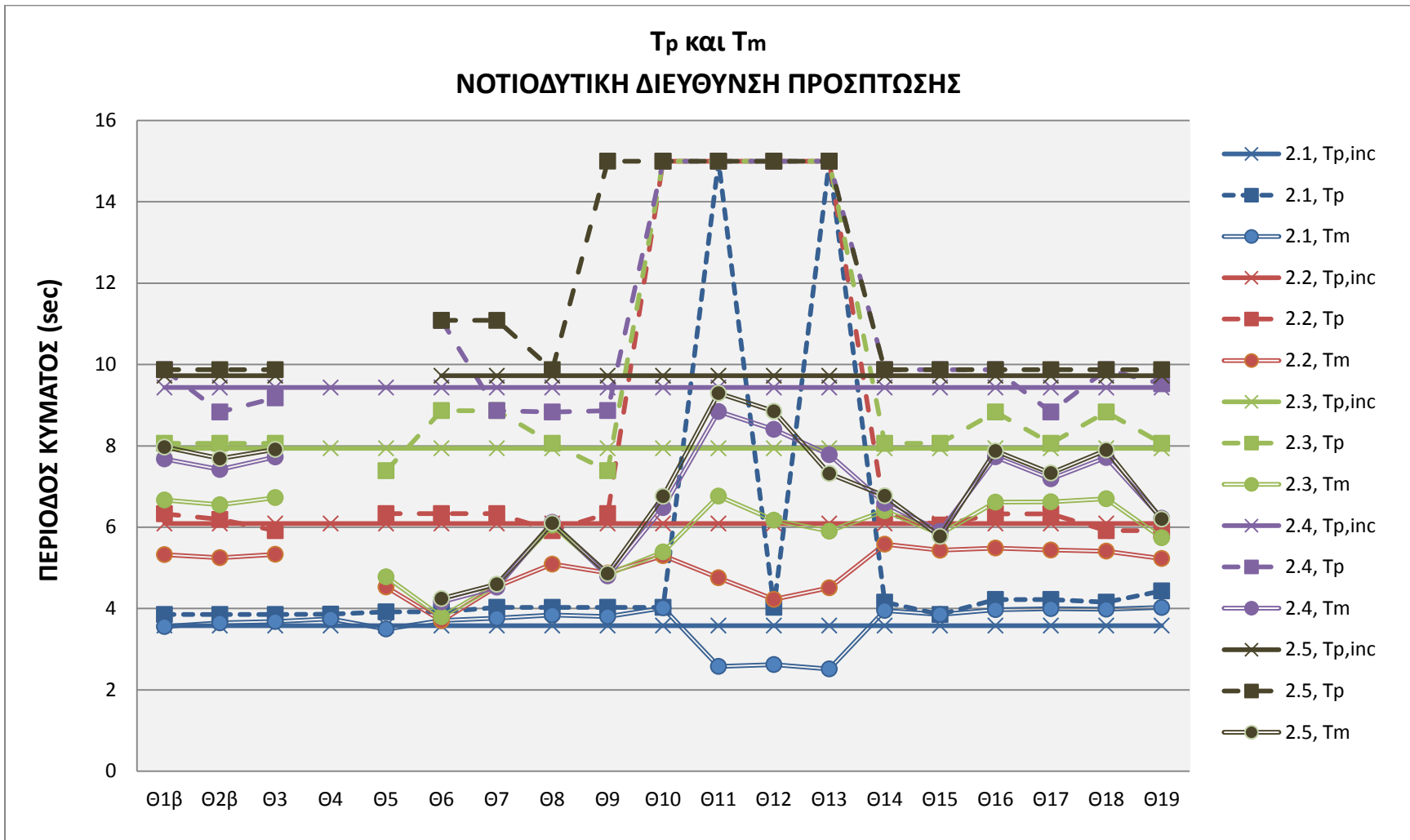
Σημειώνεται ότι στο ΠΕΙΡΑΜΑ 1.4 ελέγχεται η κυματική διαταραχή για φάσμα που υπερβαίνει σε μέγεθος το ακραίο για τη ΝΟΤΙΑ διεύθυνση πρόσπτωσης. Αυτός είναι ο λόγος που το συγκεκριμένο πείραμα δεν παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.4.

5.4 ΠΕΡΙΟΔΟΙ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

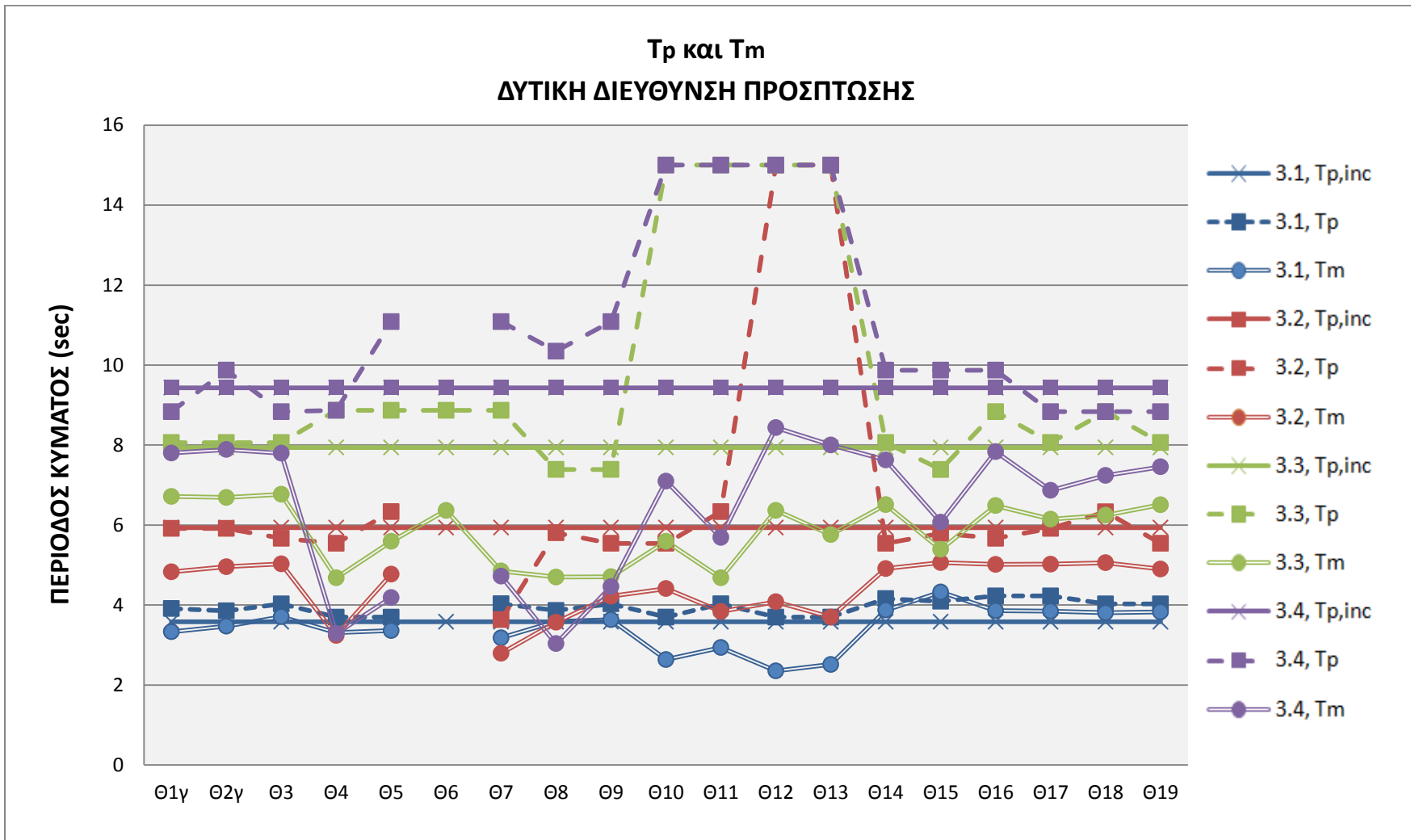
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις περιόδους T_p και T_m των κυμάτων. Η παρουσίαση γίνεται με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων ανά διεύθυνση πρόσπτωσης και ακολουθεί σχολιασμός.



Διάγραμμα 5.7 – T_m και T_p για τη ΝΟΤΙΑ διεύθυνση πρόσπτωσης



Διάγραμμα 5.8 – Τ_m και Τ_p για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης



Διάγραμμα 5.9 – Τ_m και Τ_p για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης

Σημειώνεται ότι στα προηγούμενα διαγράμματα η τιμή 15 sec της T_p αντικαθιστά τις υπολογισμένες τιμές 44.339 sec και 88.332 sec.

Στα συγκεκριμένα διαγράμματα παρατηρούμε ότι στις θέσεις στα βαθιά (θέσεις $\Theta 1i$, $\Theta 2i$, $\Theta 3$) οι τιμές των περιόδων T_m και T_p των κυματισμών δεν αποκλίνουν σημαντικά από μια μέση τιμή, ενώ γενικά υπάρχει μεγάλη μεταβολή των περιόδων αυτών κοντά στην ακτογραμμή.

Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για την εκτίμηση της κυματικής διαταραχής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μαζί με τα ύψη κύματος και οι περίοδοι των κυμάτων.

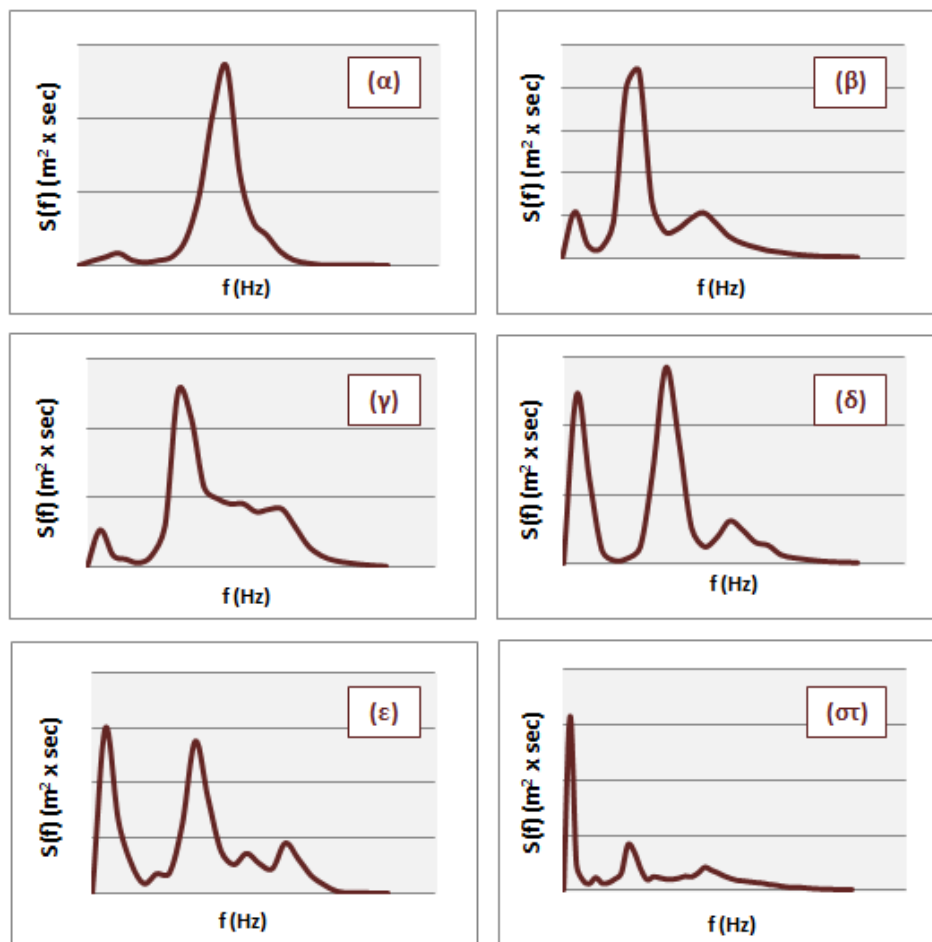
Οι μεταβολές των T_p και T_m παρατηρούνται γενικώς εντονότερες στις θέσεις $\Theta 4$, $\Theta 5$, $\Theta 6$, $\Theta 7$, $\Theta 8$, $\Theta 9$, $\Theta 10$, $\Theta 11$, $\Theta 12$ και $\Theta 13$, ενώ οι αντίστοιχες μεταβολές στις θέσεις $\Theta 14$, $\Theta 15$, $\Theta 16$, $\Theta 17$, $\Theta 18$, $\Theta 19$ είναι γενικά μικρότερες ως απόλυτη τιμή. Για τις θέσεις $\Theta 9$ (θέση εισόδου) και $\Theta 10$, $\Theta 11$, $\Theta 12$ και $\Theta 13$ (θέσεις λιμενολεκάνης) οι μεταβολές των T_p και T_m είναι οι μεγαλύτερες των παραπάνω διαγραμμάτων. Οι τιμές 44.339 sec και 88.332 sec των T_p εμφανίζονται στις συγκεκριμένες θέσεις.

Οι μεταβολές των μεγεθών T_p και T_m εξηγούνται με βάση το γεγονός ότι αυτά είναι φασματικά, προκύπτουν δηλαδή από ανάλυση που υφίστανται τα μετρημένα κύματα με βάση την ενέργειά τους (φασματική ανάλυση).

Η περίθλαση και η ανάκλαση είναι συνάρτηση της περιόδου. Άρα, σε φασματικά κύματα διαφορετική περίθλαση και ανάκλαση υφίστανται οι διάφορες συχνότητες με αποτέλεσμα την παραμόρφωση του φάσματος. Τα διαγράμματα φασματικής ενέργειας των καταγραφών μπορούν να πάρουν διάφορες μορφές, πολλές από τις οποίες διαφέρουν σημαντικά από τις μορφές των αντίστοιχών τους στην περιοχή γένεσης.

Στο Παράρτημα III παρατίθενται ανά διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμών και θέση τα διαγράμματα φασματικής ενέργειας για την είσοδο ($\Theta 9$) και την λιμενολεκάνη ($\Theta 10$, $\Theta 11$, $\Theta 12$, $\Theta 13$), όπου το κυματικό πεδίο αποτελεί σε μεγάλο βαθμό σύνθεση παραμενουσών κυματικών διαταραχών και νεοεισερχόμενων κυματισμών.

Ακολούθως, γίνεται ενδεικτική κατηγοριοποίηση των συγκεκριμένων διαγραμμάτων ως προς τη μορφή τους και αναφέρονται κάποια στοιχεία για τα διαγράμματα της κάθε κατηγορίας.



Σχήματα 5.1 – Μορφές διαγραμμάτων φασματικής ενέργειας εισόδου και λιμενολεκάνης

Όπως γνωρίζουμε από τη θεωρία της φασματικής ανάλυσης, η τιμή της T_p ορίζεται ως η περίοδος του μεγίστου (της κορυφής) του διαγράμματος φασματικής ενέργειας. Από τις παραπάνω μορφές, οι (δ) και (ε) παρουσιάζουν 2 κορυφές.

Οι μορφές (ε) και (στ) δίνουν τις μεγάλες τιμές για την T_p στις οποίες έχει γίνει αναφορά.

Ανάλογη διερεύνηση για τις τιμές της περιόδου T_m , που είναι επίσης φασματικό μέγεθος, δεν επιχειρήθηκε λόγω της πολυπλοκότητας που την χαρακτηρίζει.

Για τις θέσεις της λιμενολεκάνης η συχνότερη μορφή (100 από τα 148 διαγράμματα) είναι η (στ) και αφορά τα περισσότερα διαγράμματα όλων των κυμάτων με εξαίρεση τα πειράματα του μικρότερου φάσματος. Τα τελευταία παίρνουν συχνότερα την μορφή (α). Στις συγκεκριμένες θέσεις εμφανίζονται σπανιότερα και οι υπόλοιπες από τις παραπάνω μορφές.

Για τα διαγράμματα της θέσης της εισόδου συνηθέστερες (27 στα 36 διαγράμματα) είναι οι μορφές (α) και (β). Για την ίδια θέση εμφανίζονται οι μορφές (γ), (δ) και (ε), έκαστη για ένα

πείραμα (δηλαδή για 3 διαγράμματα). Τα πειράματα αυτά αφορούν τα μεγαλύτερα κύματα για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ και τη ΔΥΤΙΚΗ διευθύνσεις πρόσπτωσης.

Η περίοδος T_m αποτελεί πιο εύχρηστο μέγεθος από την περίοδο T_p για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κυματική διαταραχή.

Στην περίπτωση των θέσεων της λιμενολεκάνης του υπό έρευνα λιμένα σημειώνεται ότι οι T_m υπολογίσθηκαν για μεγάλο αριθμό καταγραφών αρκετά μειωμένες σε σχέση με τις μέσες τιμές των θέσεων στα ανάντη του φυσικού προσομοιώματος, γεγονός που πρέπει να συνυπολογιστεί στον ορισμό του προβλήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

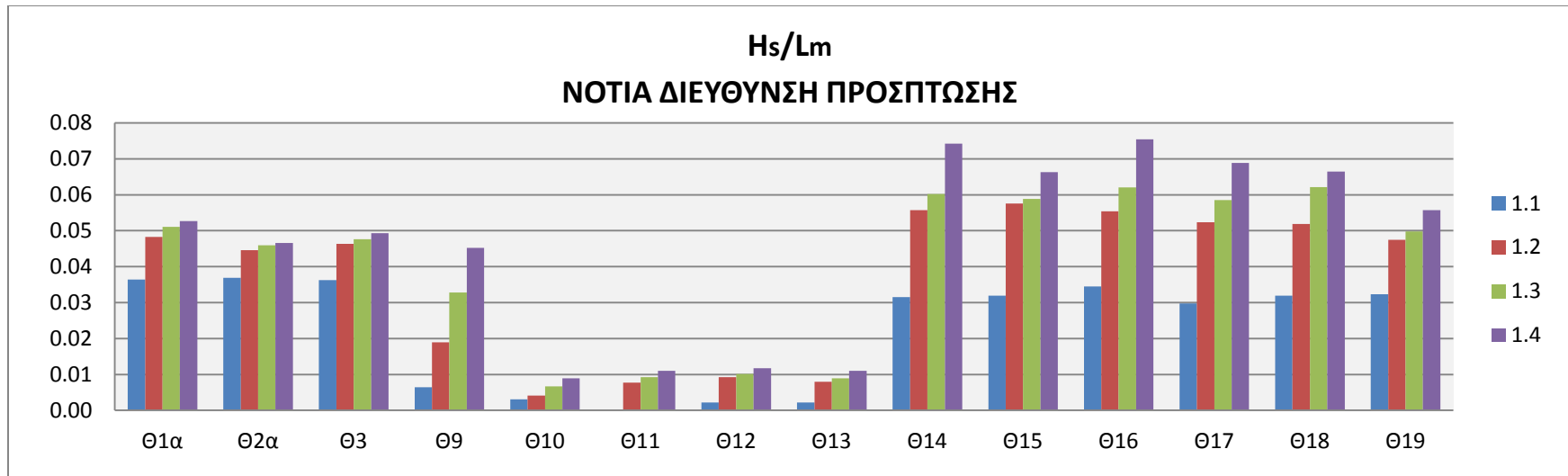
6.1 ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΕΣ

Υπολογίστηκαν τα μήκη κύματος L_0 και L_m . Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές της περιόδου T_m . Το μήκος L_m βρέθηκε με δοκιμές μέσω της ενεργειακής μεθόδου.

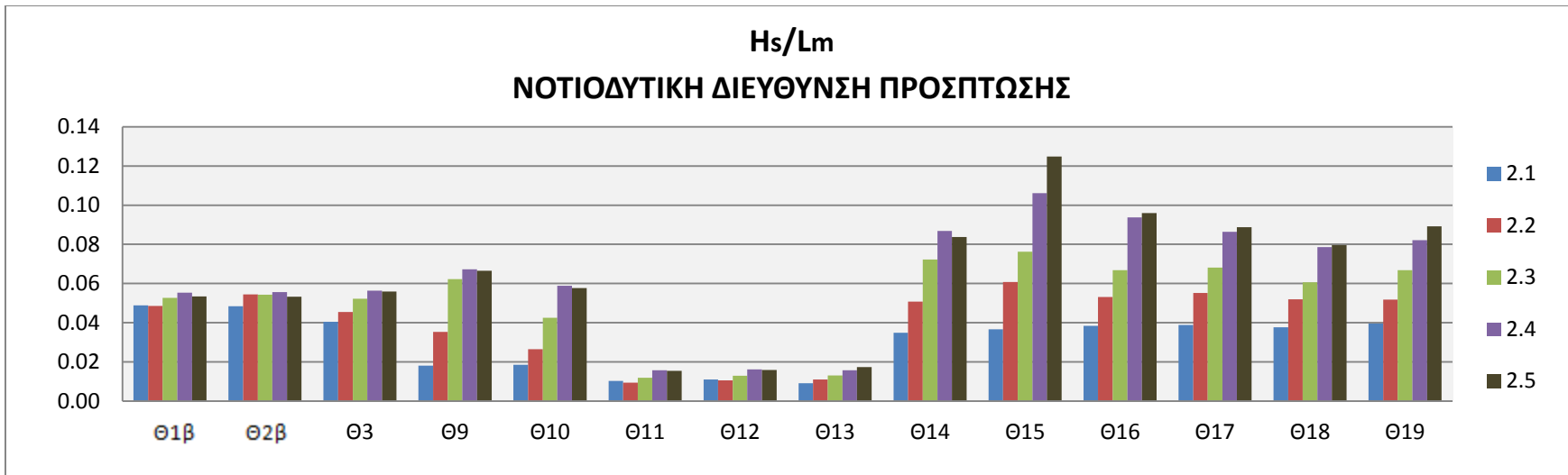
Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι καμπυλότητες H_s/L_0 και H_s/L_m των κυμάτων.

6.1.1 ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

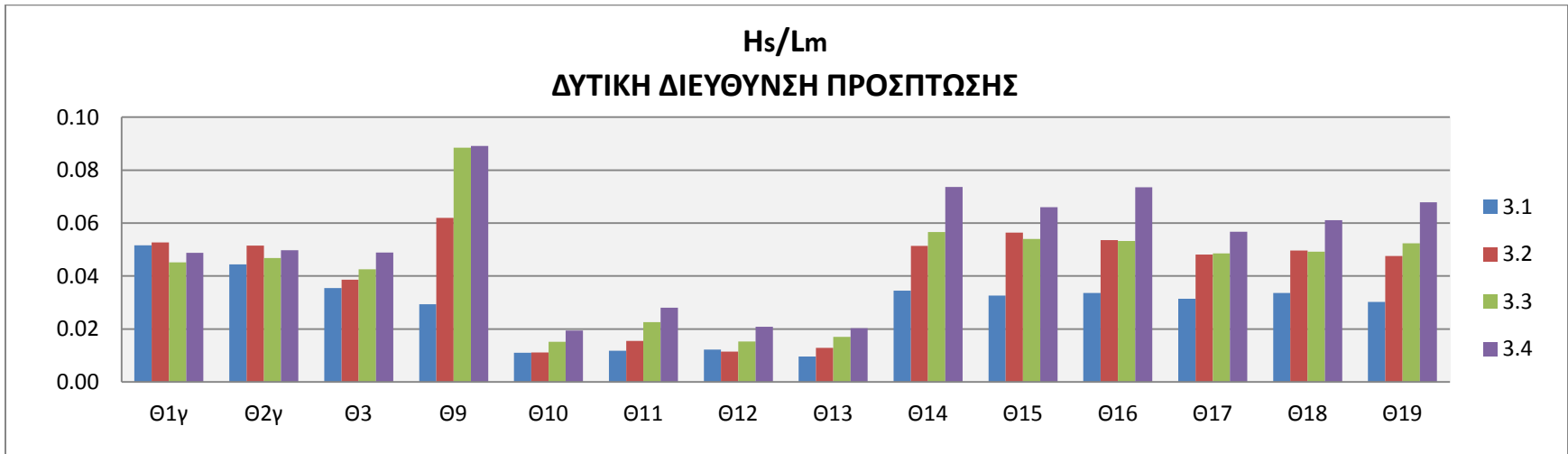
Παρακάτω παρουσιάζονται με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων οι τιμές που λαμβάνει ο λόγος H_s/L_m σε κάθε θέση για κάθε πείραμα ανά διεύθυνση πρόσπτωσης των κυμάτων.



Διάγραμμα 6.1 – H_s/L_m για τη ΝΟΤΙΑ διεύθυνση πρόσπτωσης



Διάγραμμα 6.2 – Hs/Lm για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης



Διάγραμμα 6.3 – Hs/Lm για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης

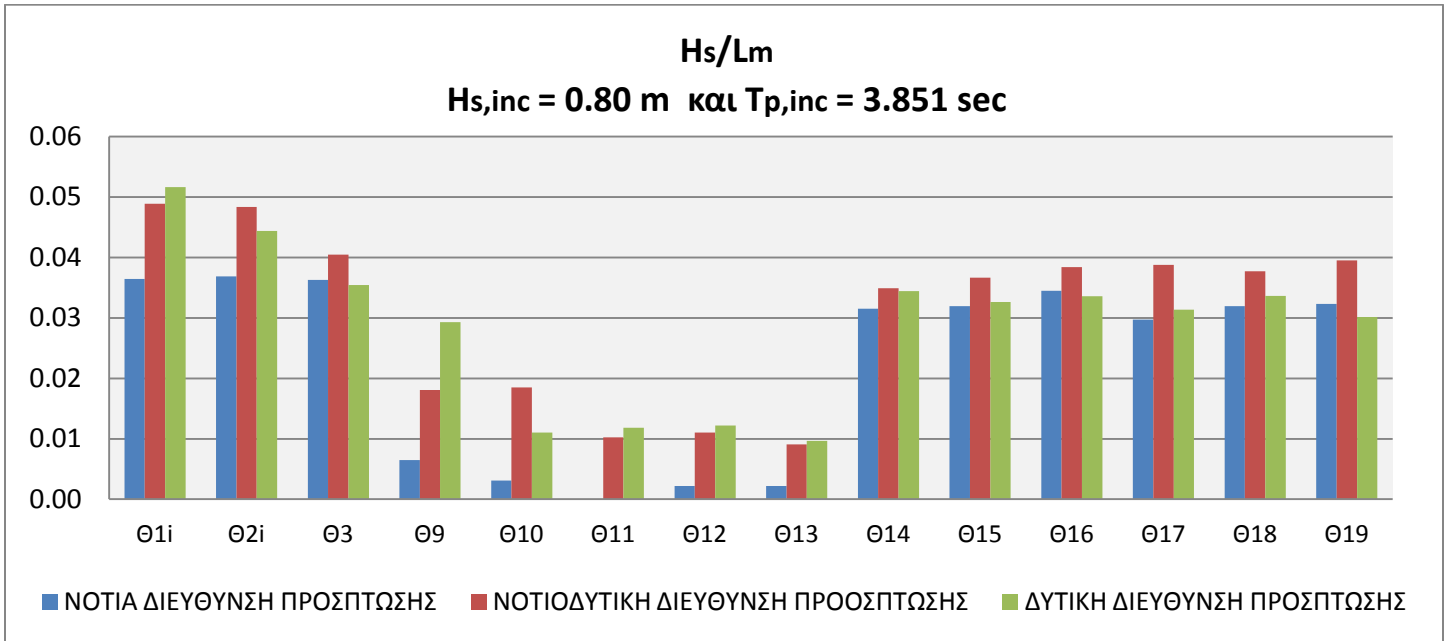
Από τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνεται ότι στις θέσεις της λιμενολεκάνης (Θ10, Θ11, Θ12, Θ13) οι τιμές του λόγου H_s/L_m προκύπτουν μικρές σε σχέση με τις υπόλοιπες υποπεριοχές των διαγραμμάτων. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα κύματα που φθάνουν στο εσωτερικό της λιμενολεκάνης είναι περισσότερο μακρά, δηλαδή έχουν μεγαλύτερο μήκος κύματος σε σχέση με το ύψος τους. Εξαιρέση αποτελεί η Θ10 για τα ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ κύματα, η περίπτωση της οποίας έχει σχολιαστεί ήδη στην παρούσα εργασία.

Στις θέσεις Θ14, Θ15, Θ16, Θ17, Θ18, Θ19, όπου η κυματική διαταραχή είναι έντονη, οι καμπυλότητες H_s/L_m παίρνουν γενικώς μεγάλες τιμές. Επίσης μεγάλες προκύπτουν οι καμπυλότητες στη θέση της εισόδου του λιμένα (Θ9) για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης. Οι μεγάλες αυτές τιμές του λόγου H_s/L_m υποδηλώνουν ότι οι κυματισμοί βρίσκονται στα όρια της θραύσης.

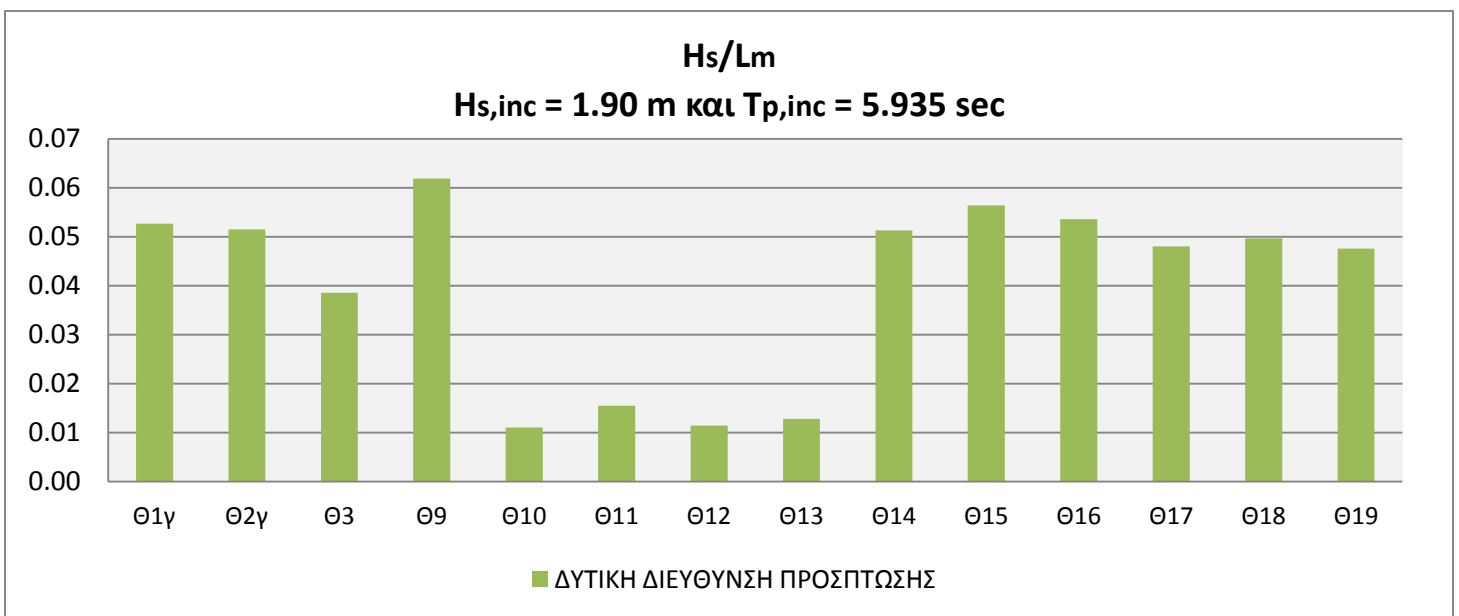
Σημειώνεται ότι τα κύματα που παράχθηκαν για τον έλεγχο της κυματικής διαταραχής έχουν καμπυλότητα H/L ίση με 0.035, για $H = H_{s,inc}$ και $L = L(T_p,inc)$.

6.1.2 ΑΝΑ ΦΑΣΜΑ

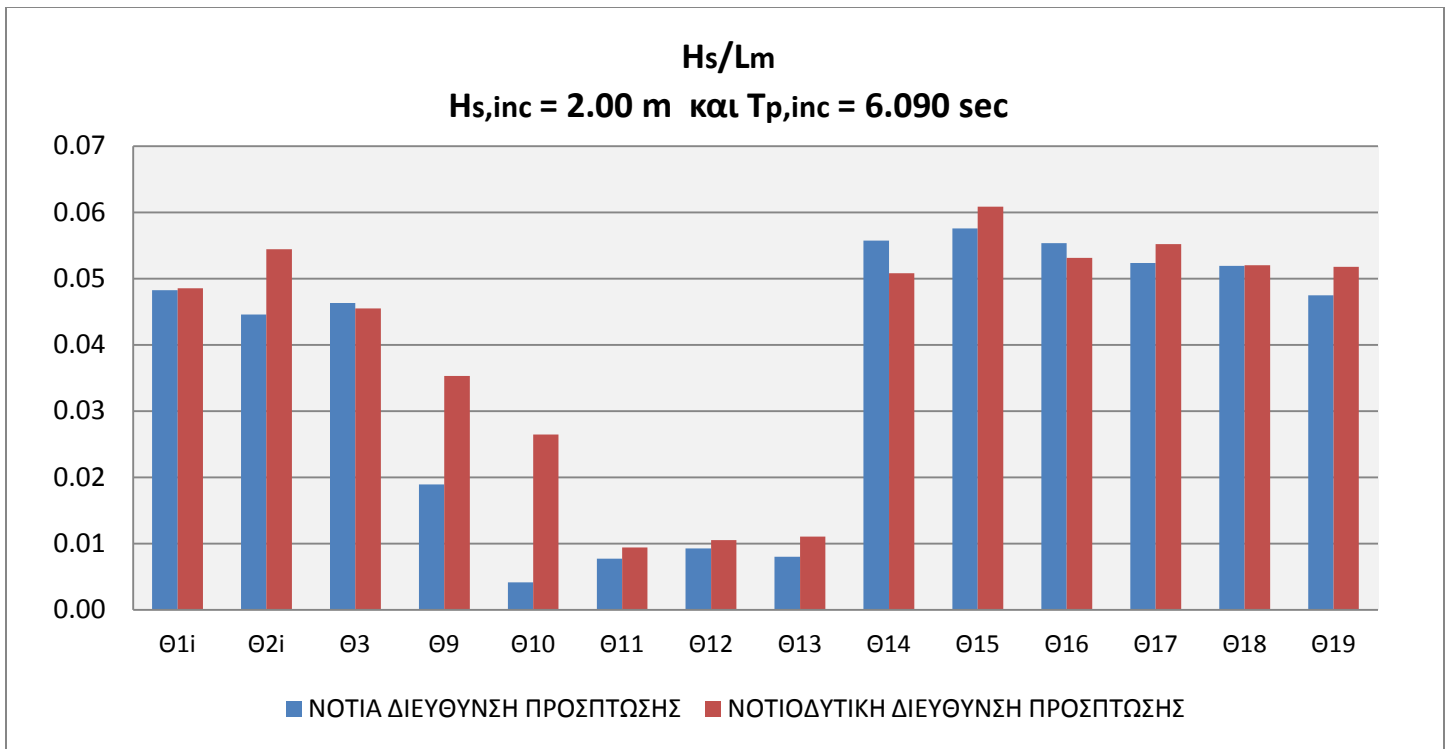
Παρακάτω παρουσιάζονται με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων οι τιμές που λαμβάνει ο λόγος H_s/L_m για καθεμία διεύθυνση πρόσπτωσης των κυμάτων ανά φάσμα ελέγχου της κυματικής διαταραχής.



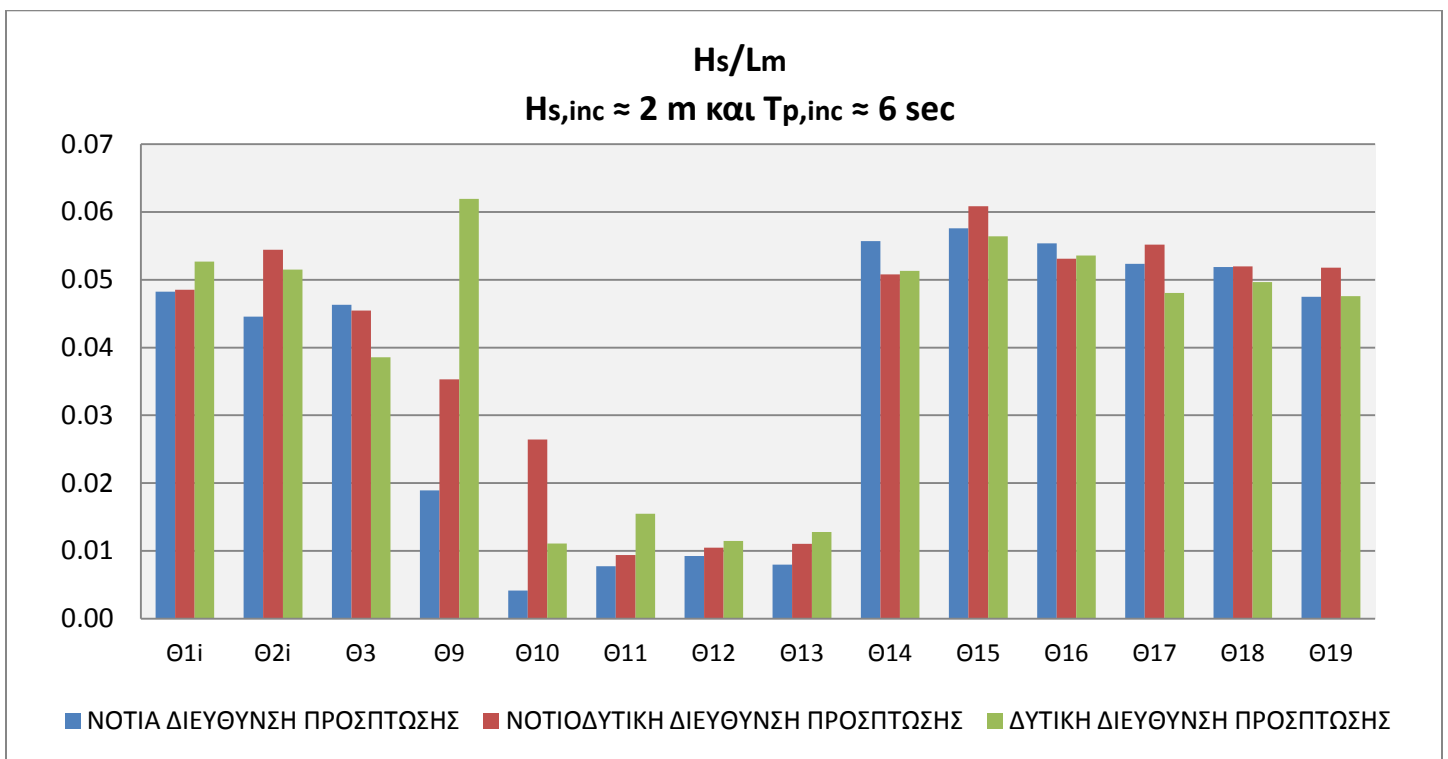
Διάγραμμα 6.4 – H_s/L_m για το φάσμα με χαρακτηριστικά: $H_{s,inc} = 0.80 \text{ m}$ και $T_{p,inc} = 3.851 \text{ sec}$



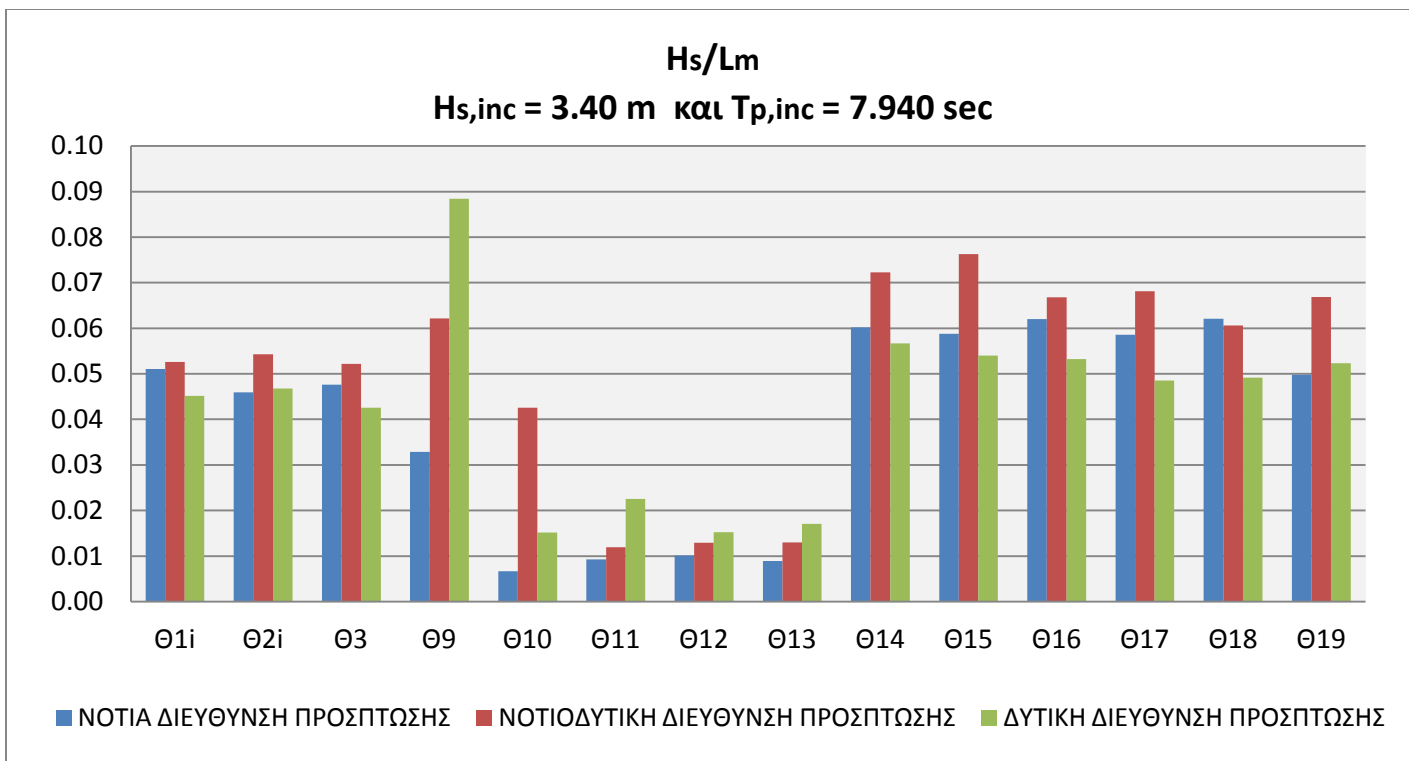
Διάγραμμα 6.5 – H_s/L_m για το φάσμα με χαρακτηριστικά: $H_{s,inc} = 1.90 \text{ m}$ και $T_{p,inc} = 5.935 \text{ sec}$



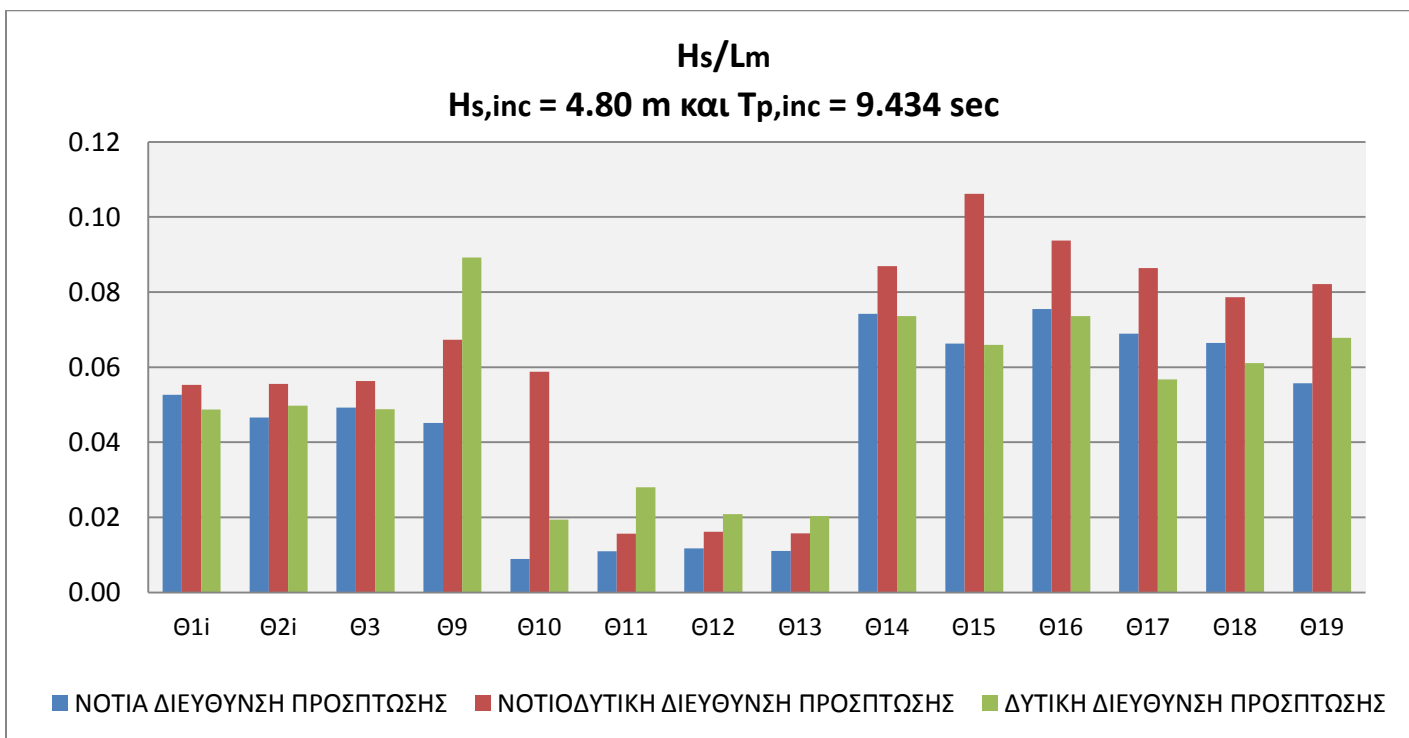
Διάγραμμα 6.6 – Hs/Lm για το φάσμα με χαρακτηριστικά: Hs,inc = 2.00 m και T_{p,inc} = 6.090 sec



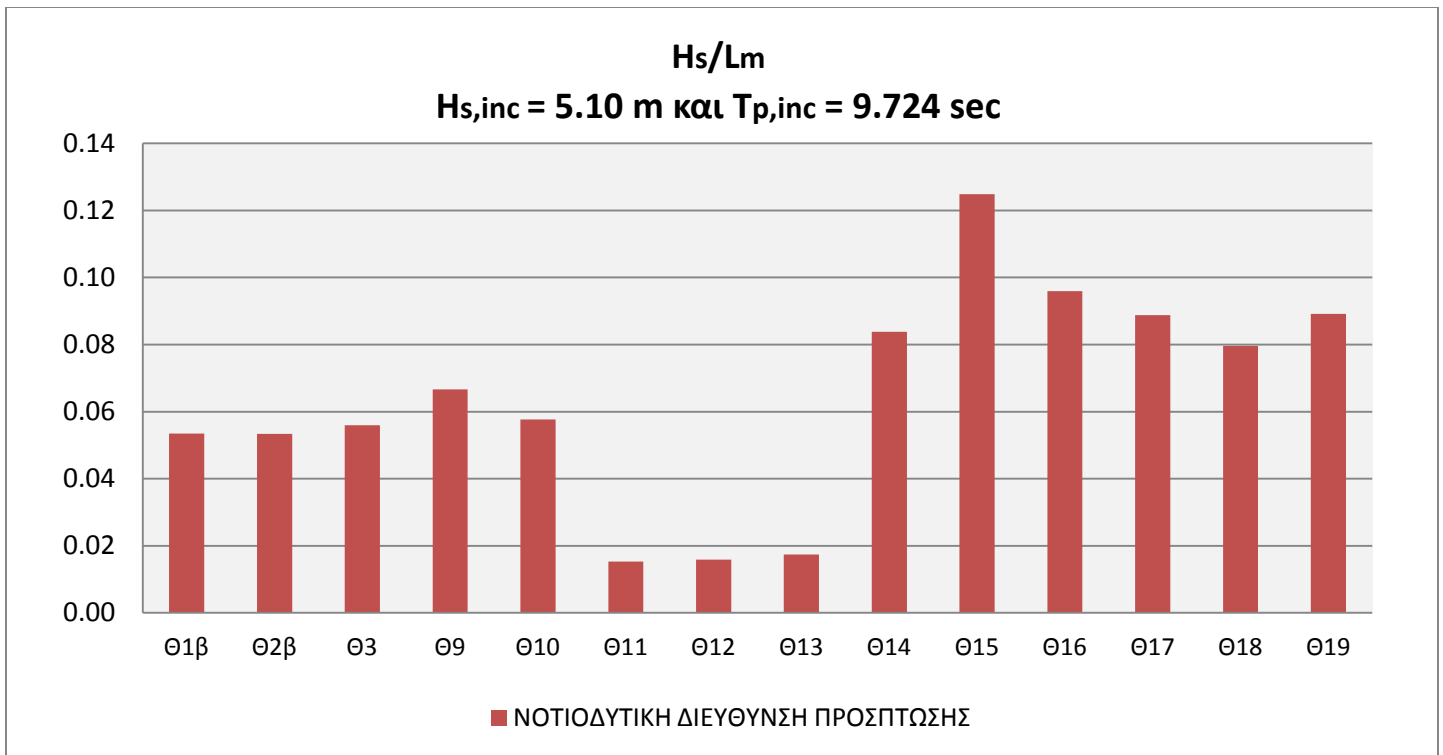
Διάγραμμα 6.7 – Hs/Lm για τα φάσματα με χαρακτηριστικά: Hs,inc ≈ 2 m και T_{p,inc} ≈ 6 sec



Διάγραμμα 6.8 – Hs/Lm για το φάσμα με χαρακτηριστικά: Hs,inc = 3.40 m και T_{p,inc} = 7.940 sec



Διάγραμμα 6.9 – Hs/Lm για το φάσμα με χαρακτηριστικά: Hs,inc = 4.80 m και T_{p,inc} = 9.434 sec



Διάγραμμα 6.10 – Hs/Lm για το φάσμα με χαρακτηριστικά: Hs,inc = 5.10 m και T_{p,inc} = 9.724 sec

Από την μελέτη των παραπάνω διαγραμμάτων προκύπτει ότι για το φάσμα ελέγχου της κυματικής διαταραχής με χαρακτηριστικά: Hs,inc = 0.80 m και T_{p,inc} = 3.851 sec οι καμπυλότητες στις θέσεις ανάντη του μοντέλου προκύπτουν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των θέσεων Θ14, Θ15, Θ16, Θ17, Θ18, Θ19, ενώ για τα μεγαλύτερα φάσματα η σχέση αυτή αντιστρέφεται.

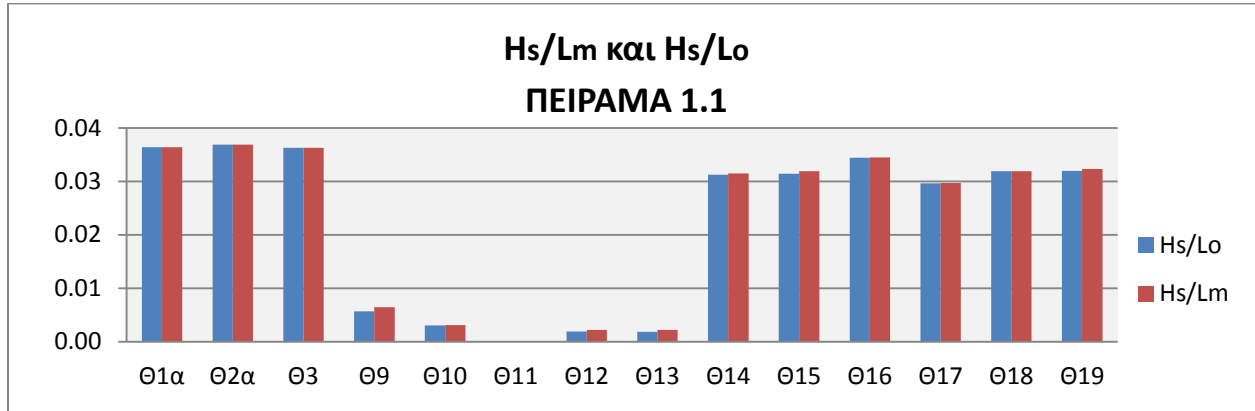
Επίσης, για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης και για φάσματα μεγαλύτερα του συγκεκριμένου, ο λόγος Hs/Lm προκύπτει μεγαλύτερος στη θέση Θ9 από ότι στις θέσεις Θ14, Θ15, Θ16, Θ17, Θ18, Θ19.

Οι καμπυλότητες στις τελευταίες εμφανίζονται στα παραπάνω διαγράμματα συνηθέστερα μεγαλύτερες για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, για την οποία η πρόσπτωση στο πρανές του μόλου είναι σχεδόν κάθετη.

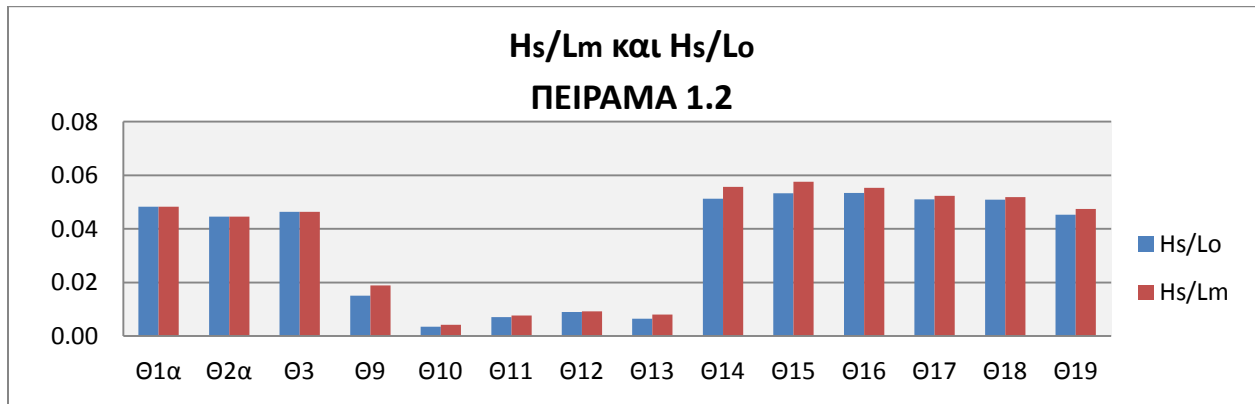
Όσον αφορά τις θέσεις της λιμενολεκάνης, οι καμπυλότητες προκύπτουν μεγαλύτερες για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η θέση Θ10, η περίπτωση της οποίας έχει ήδη σχολιαστεί στην παρούσα εργασία.

6.1.3 ΑΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑ

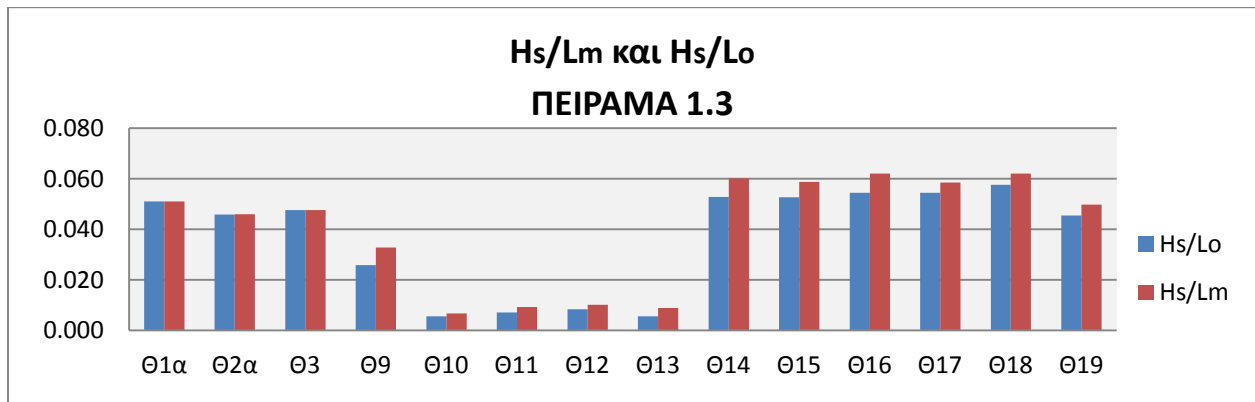
Ακολούθως παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα των λόγων Hs/Lo και Hs/Lm. Η παρουσίαση γίνεται ανά πείραμα.



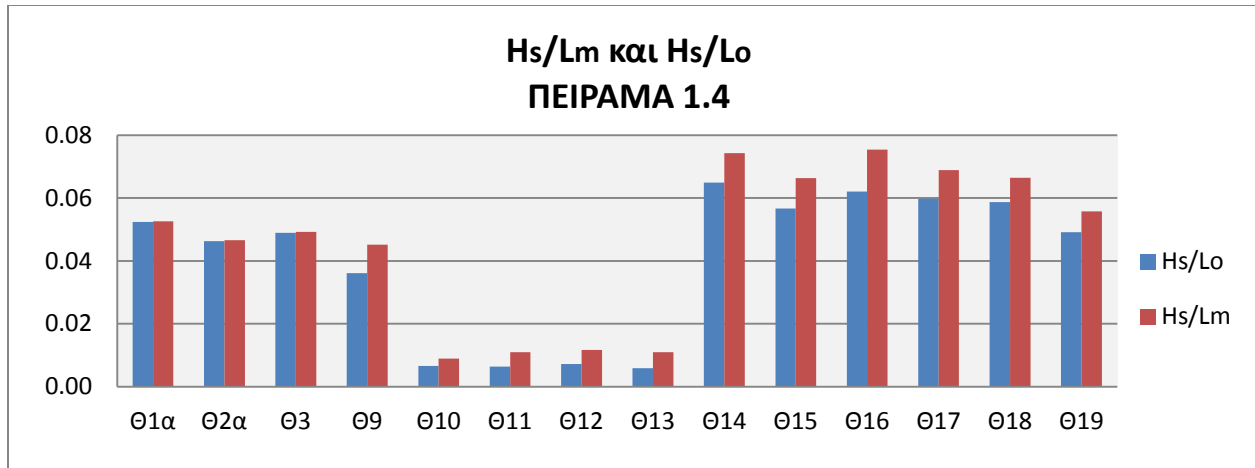
Διάγραμμα 6.11 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1



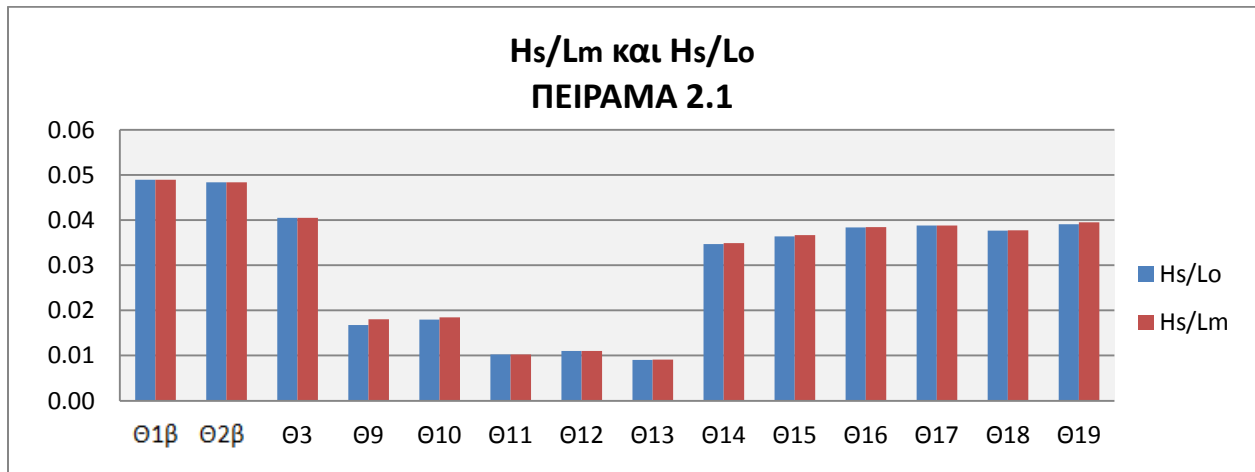
Διάγραμμα 6.12 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2



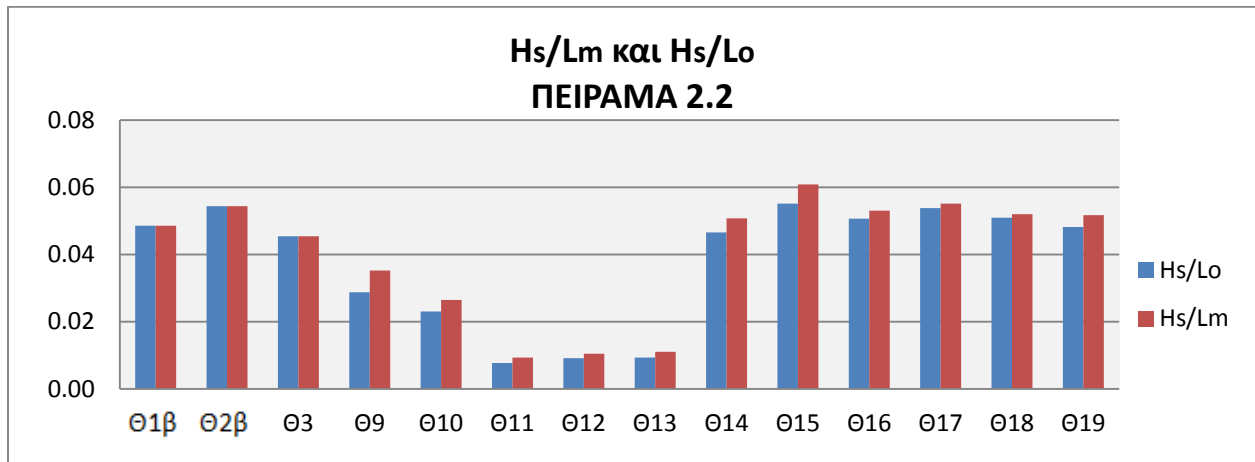
Διάγραμμα 6.13 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 1.3



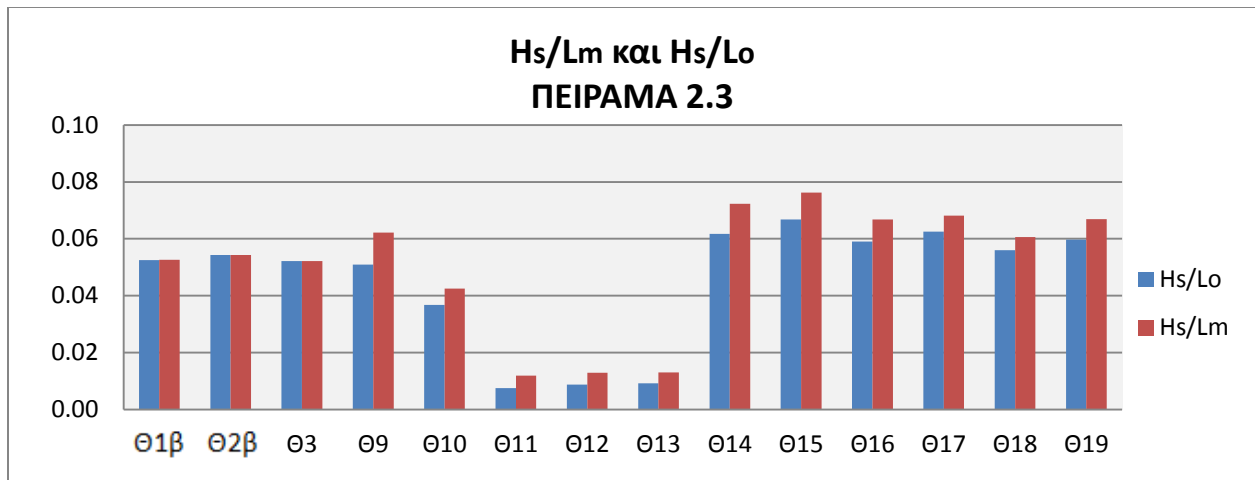
Διάγραμμα 6.14 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 1.4



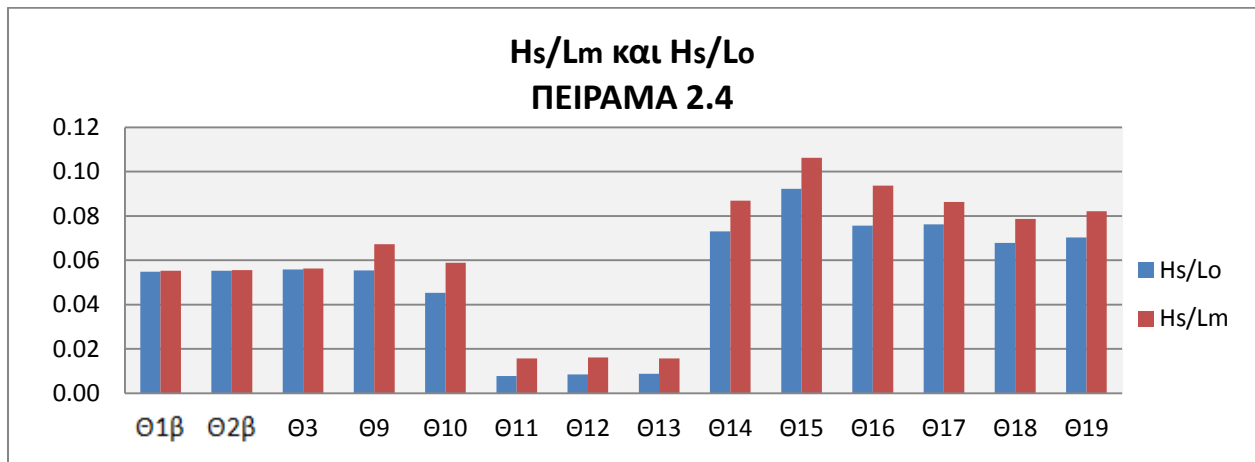
Διάγραμμα 6.15 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 2.1



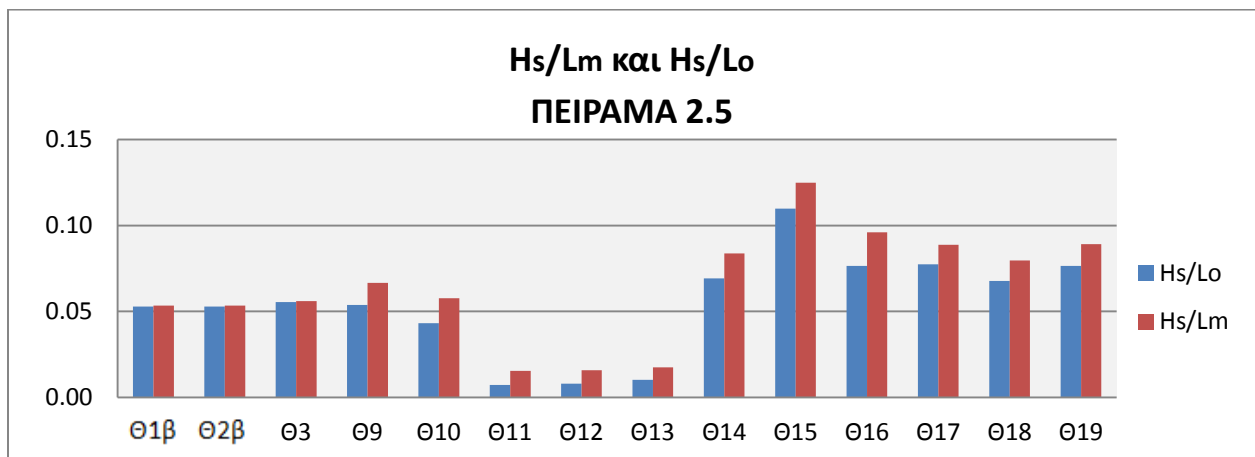
Διάγραμμα 6.16 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 2.2



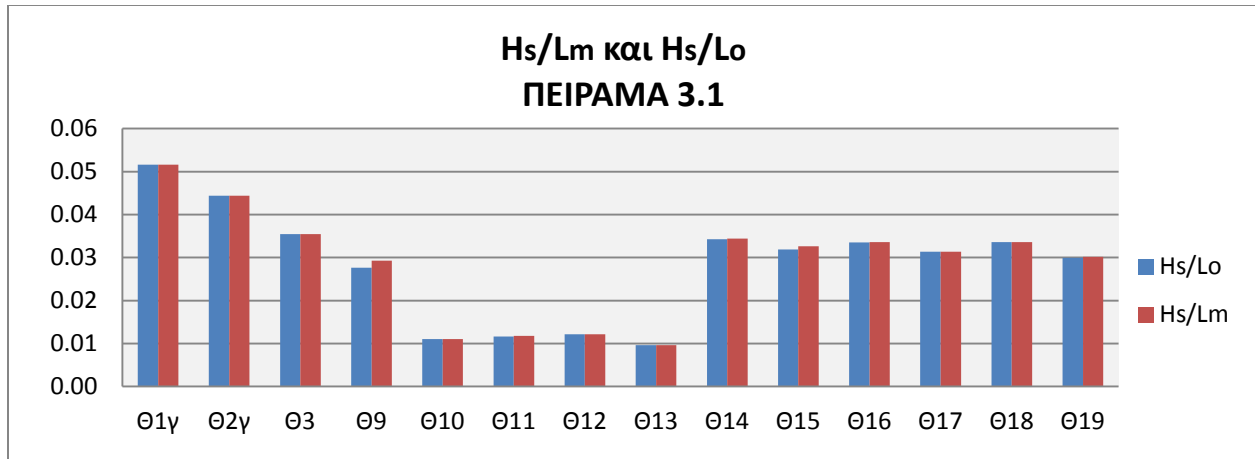
Διάγραμμα 6.17 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 2.3



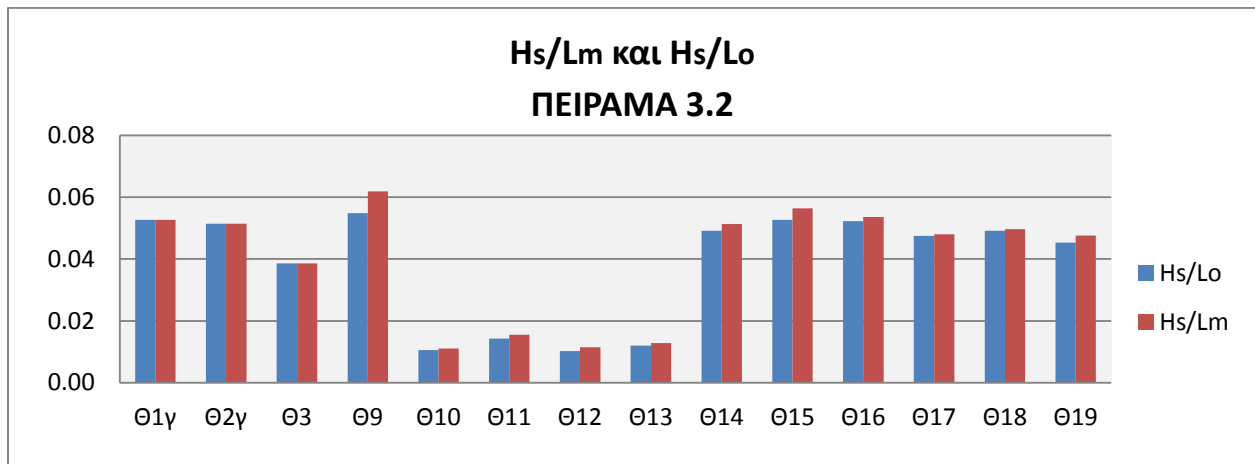
Διάγραμμα 6.18 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 2.4



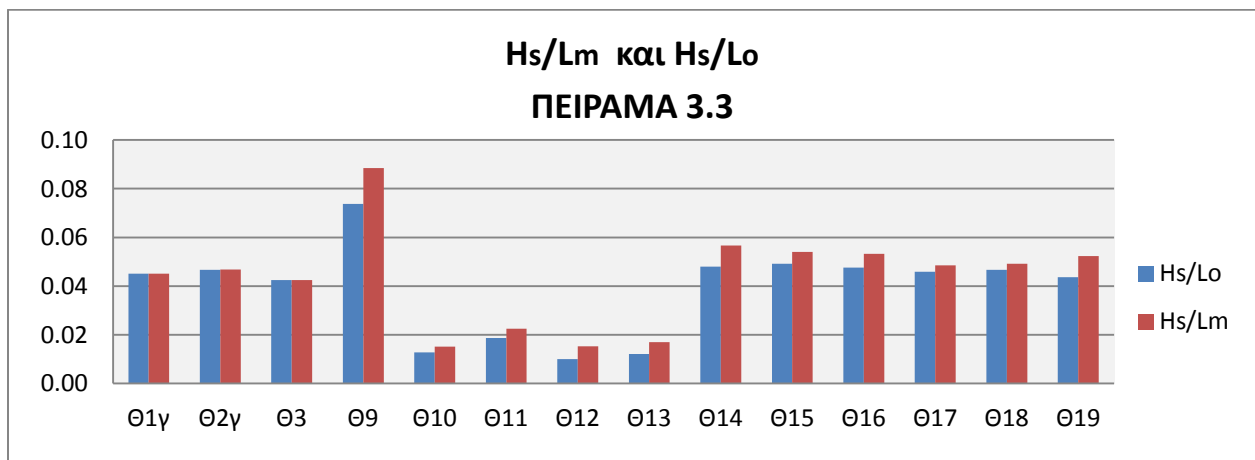
Διάγραμμα 6.19 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 2.5



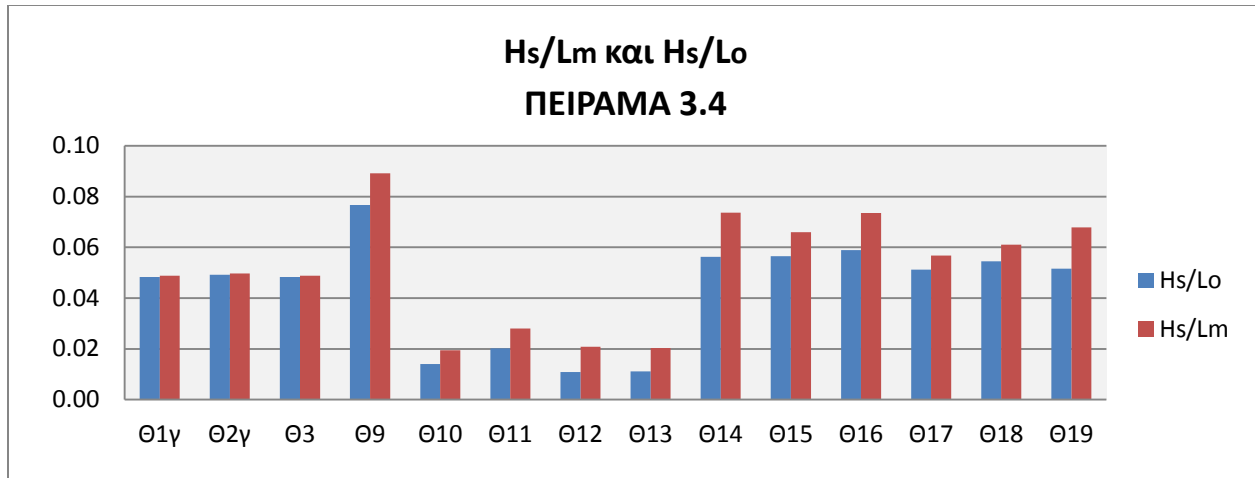
Διάγραμμα 6.20 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1



Διάγραμμα 6.21 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2



Διάγραμμα 6.22 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 3.3



Διάγραμμα 6.23 – Hs/Lm και Hs/Lo για το ΠΕΙΡΑΜΑ 3.4

Οι τιμές των λόγων Hs/Lo είναι εξ ορισμού μικρότερες από τις αντίστοιχες των λόγων Hs/Lm, καθώς η ρήχωση (που λαμβάνεται υπόψιν στον υπολογισμό των Lm) έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του μήκους κύματος. Στην εξίσωση της ενεργειακής μεθόδου το γεγονός αυτό εξασφαλίζεται μέσω της συνάρτησης της υπερβολικής εφαπτομένης, η οποία είναι πάντοτε μικρότερη ή ίση της μονάδας.

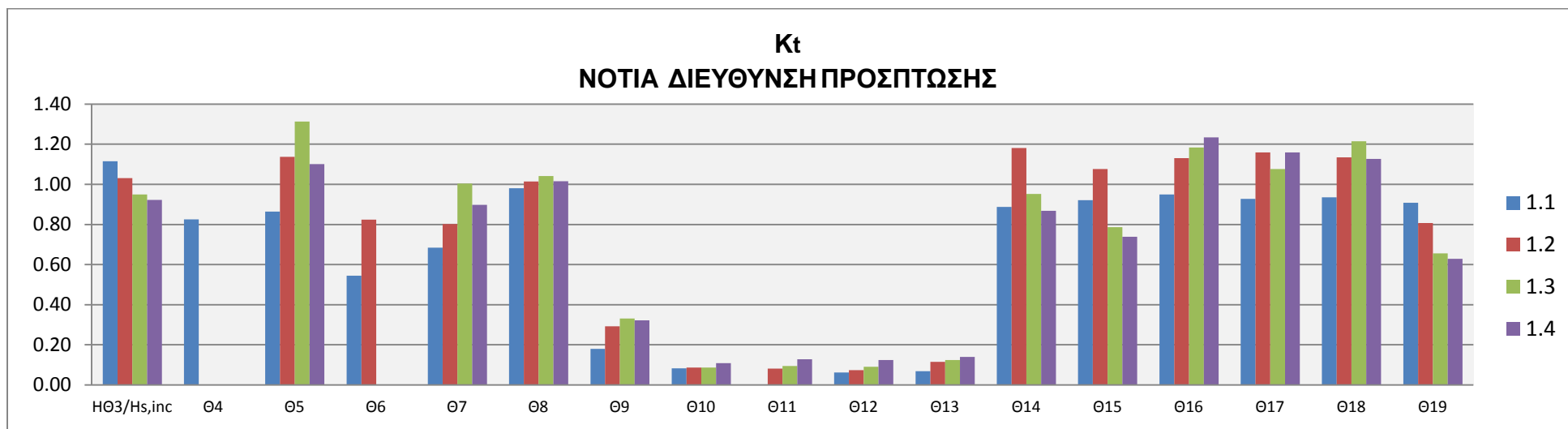
Στις θέσεις Θ1i, Θ2i και Θ3, που βρίσκονται στα βαθιά νερά, η διαφορά των λόγων Hs/Lo και Hs/Lm προέκυψε μηδενική ή πολύ μικρή. Στις υπόλοιπες θέσεις η συγκεκριμένη διαφορά είναι σημαντική για τα μεγαλύτερα φάσματα ελέγχου της κυματικής διαταραχής και μικρή για τα μικρότερα.

6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

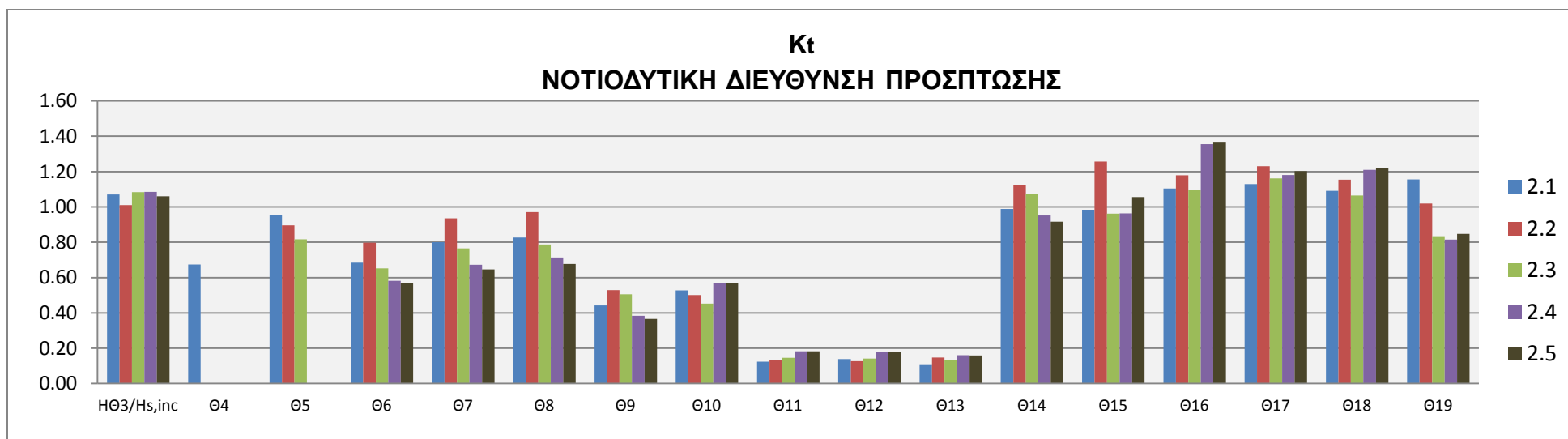
Υπολογίστηκαν οι συντελεστές μετάδοσης K_t με θέση ελέγχου τη Θ_3 . Η Θ_3 βρίσκεται στην περιοχή οριζόντιου πυθμένα ακριβώς στα ανάντη του μοντέλου και είναι κοινή και για τις 3 διευθύνσεις πρόσπτωσης των κυματισμών.

6.2.1 ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

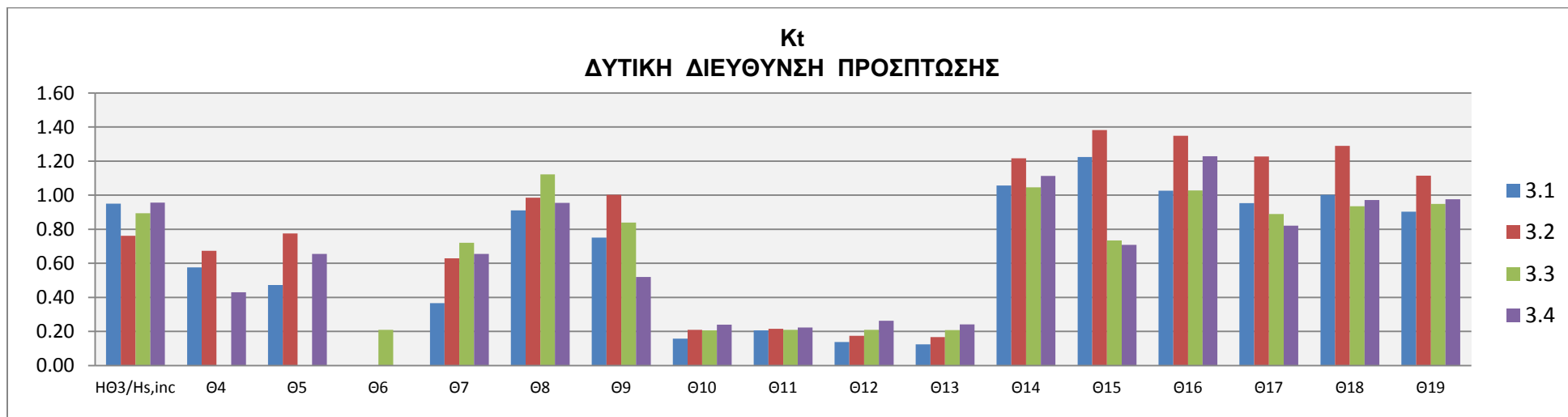
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων οι συντελεστές μετάδοσης K_t ανά διεύθυνση πρόσπτωσης των κυμάτων.



Διάγραμμα 6.24 – K_t για τη ΝΟΤΙΑ διεύθυνση πρόσπτωσης



Διάγραμμα 6.25 – Κt για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης



Διάγραμμα 6.26 – Κt για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης

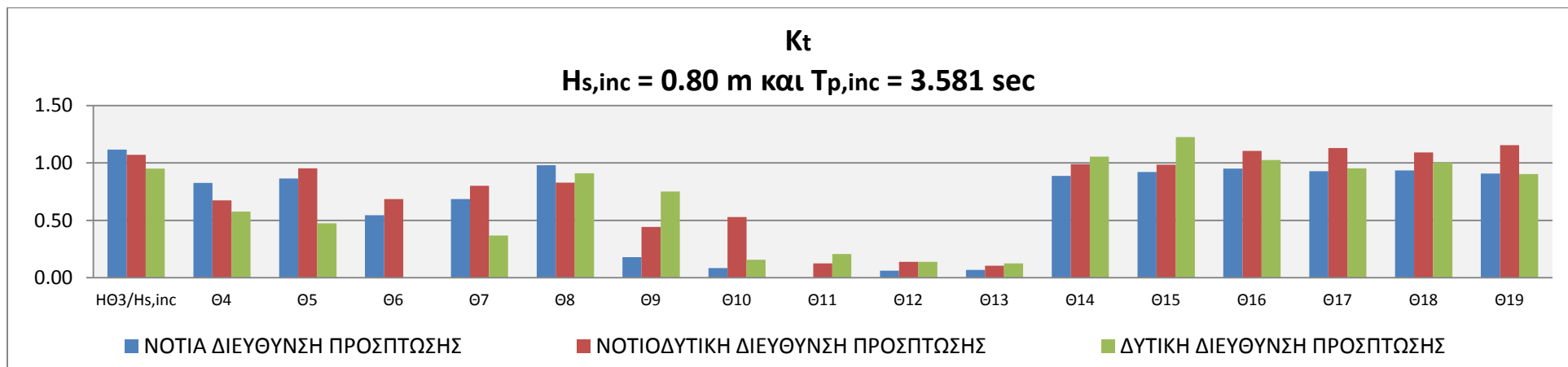
Από τα παραπάνω συγκεντρωτικά διαγράμματα προκύπτει ότι η συνολική εικόνα των συντελεστών μετάδοσης με θέση ελέγχου τη Θ3 εξαρτάται σημαντικά από το παραγόμενο από τους κυματιστήρες φάσμα. Διαφοροποίηση του φάσματος ελέγχου της κυματικής διαταραχής για την ίδια διεύθυνση πρόσπτωσης των κυματισμών έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των σχέσεων – αναλογιών μεταξύ των συγκεκριμένων συντελεστών μετάδοσης που υπολογίζονται για τις διάφορες θέσεις.

Όσον αφορά τις θέσεις της λιμενολεκάνης, οι συντελεστές μετάδοσης σε αυτήν παίρνουν τις μικρότερες τιμές των παραπάνω διαγραμμάτων, όπως ήταν αναμενόμενο. Εξαιρέση αποτελεί η Θ10 για τα ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ, η περίπτωση της οποίας έχει σχολιαστεί στην παρούσα εργασία.

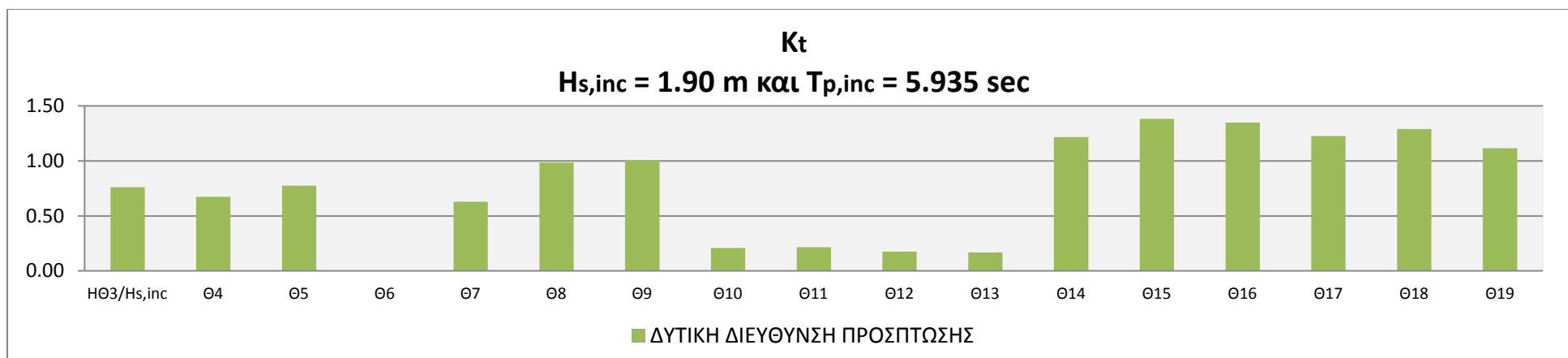
Στις θέσεις Θ14, Θ15, Θ16, Θ17, Θ18, Θ19 οι συντελεστές μετάδοσης είναι μεγάλοι και συχνά μεγαλύτεροι της μονάδας, λόγω της ανάκλασης στο πρανές του μόλου.

6.2.2 ΑΝΑ ΦΑΣΜΑ

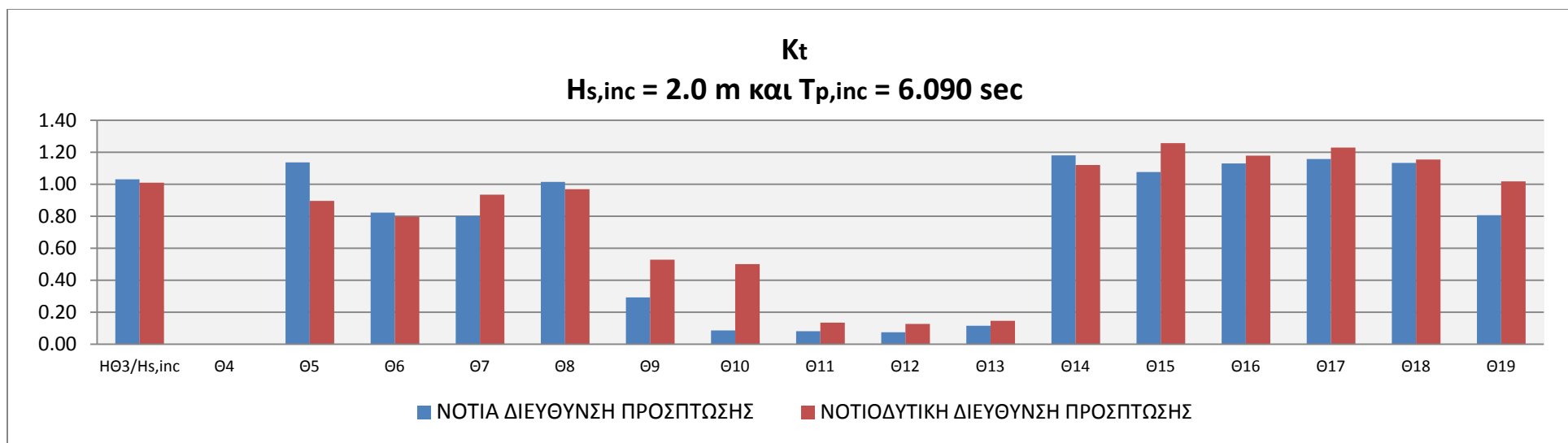
Στη συνέχεια παρουσιάζονται με την μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων οι συντελεστές μετάδοσης K_t ανά φάσμα ελέγχου της κυματικής διαταραχής.



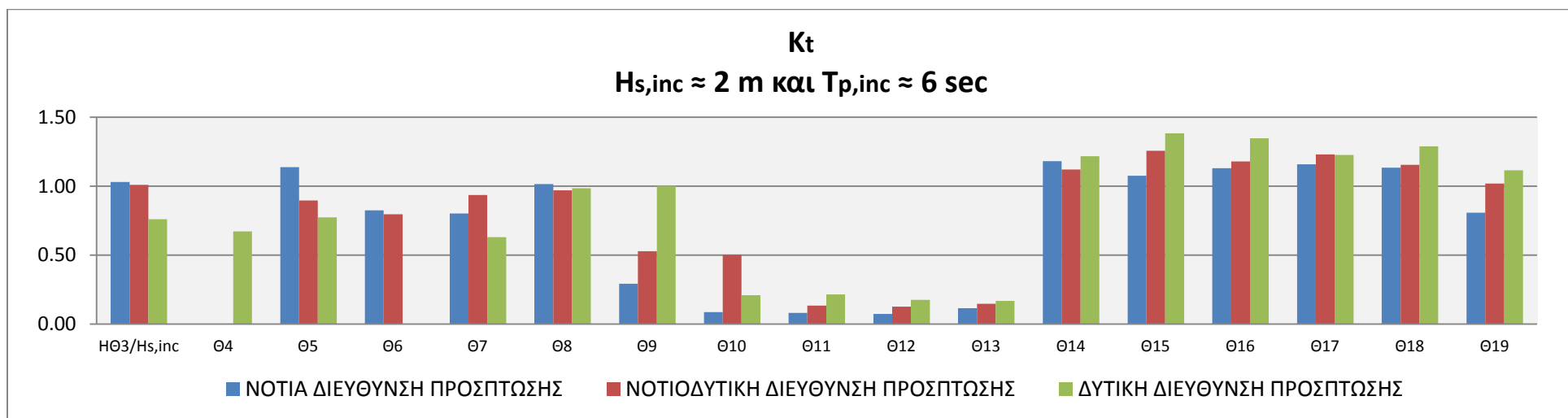
Διάγραμμα 6.27 – K_t για το φάσμα με χαρακτηριστικά: $H_{s,inc} = 0.80 \text{ m}$ και $T_{p,inc} = 3.581 \text{ sec}$



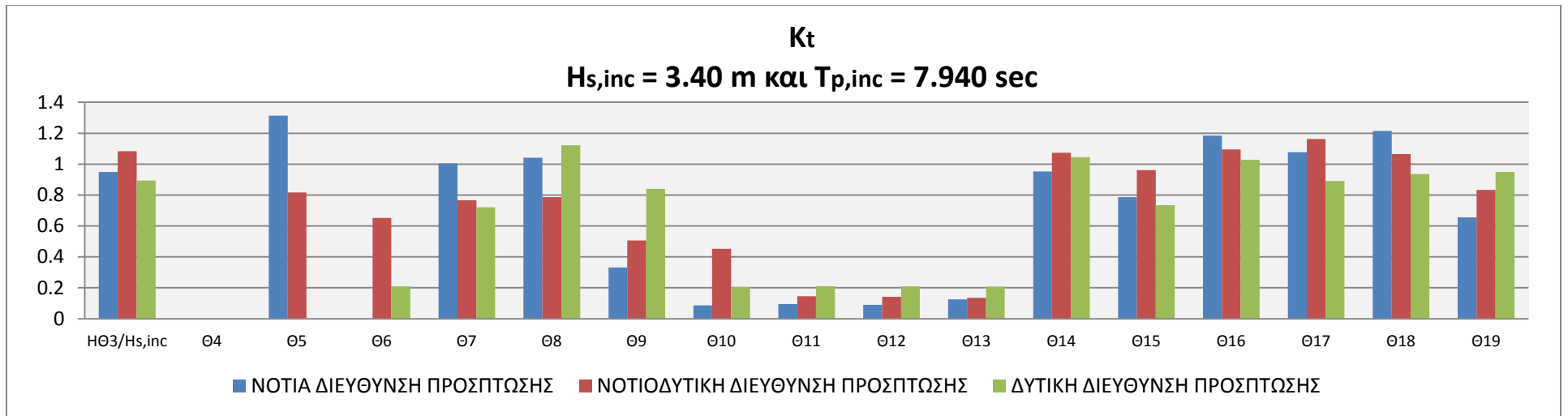
Διάγραμμα 6.28 – K_t για το φάσμα με χαρακτηριστικά: $H_{s,inc} = 1.90 \text{ m}$ και $T_{p,inc} = 5.935 \text{ sec}$



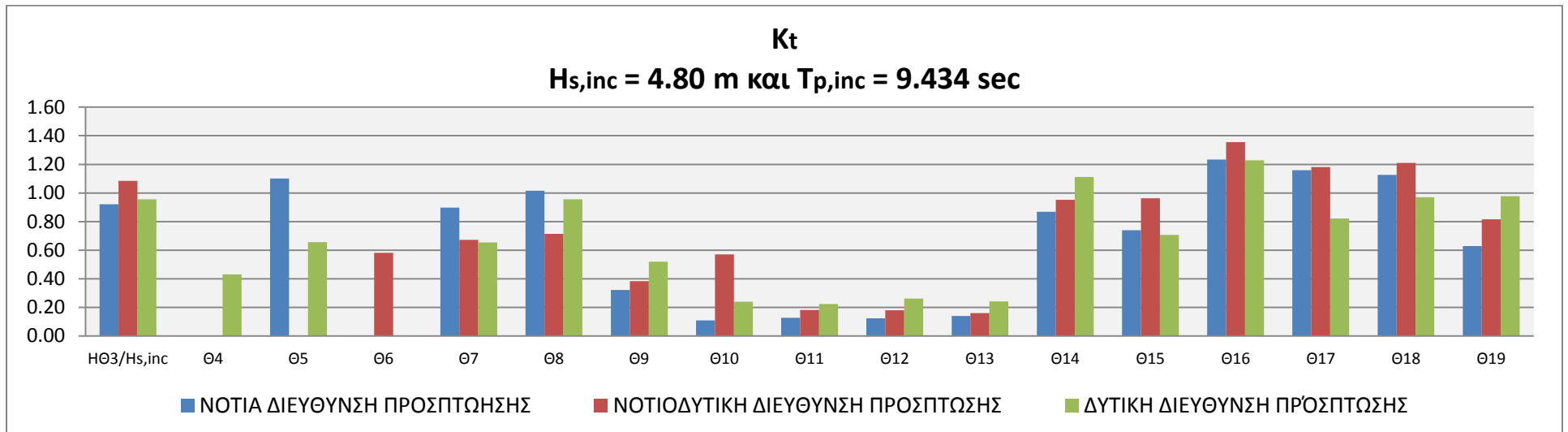
Διάγραμμα 6.29 – Kt για το φάσμα με χαρακτηριστικά: Hs,inc = 2.0 m και Tp,inc = 6.090 sec



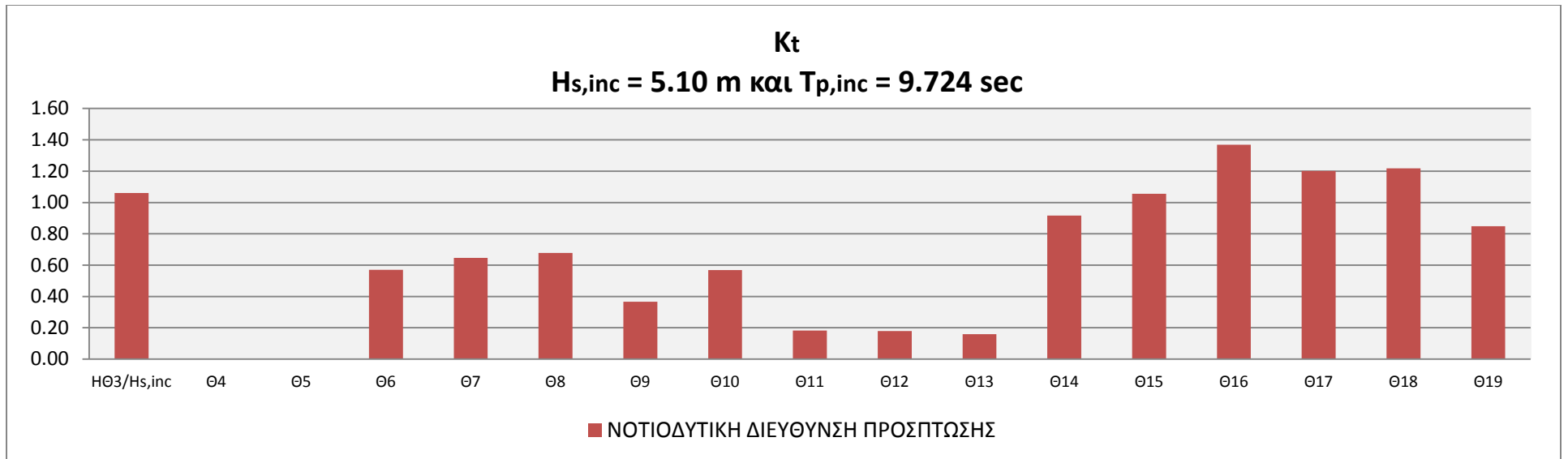
Διάγραμμα 6.30 – Kt για τα φάσματα με χαρακτηριστικά: Hs,inc ≈ 2 m και Tp,inc ≈ 6 sec



Διάγραμμα 6.31 – Kt για το φάσμα με χαρακτηριστικά: Hs,inc = 3.40 m και T_{p,inc} = 7.940 sec



Διάγραμμα 6.32 – Kt για το φάσμα με χαρακτηριστικά: Hs,inc = 4.80 m και T_{p,inc} = 9.434 sec



Διάγραμμα 6.33 – K_t για το φάσμα με χαρακτηριστικά: H_{s,inc} = 5.10 m και T_{p,inc} = 9.724 sec

Η σχέση των 3 συντελεστών μετάδοσης K_t που υπολογίστηκαν για τις 3 διευθύνσεις πρόσπτωσης των κυματισμών για κάθε θέση γενικώς διαφοροποιείται αναλόγως του φάσματος ελέγχου της κυματικής διαταραχής με λίγες εξαιρέσεις.

Για τη θέση της εισόδου του λιμένα (Θ9) μεγαλύτεροι K_t προέκυψαν για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης, όπως ήταν αναμενόμενο.

Όσον αφορά την μετάδοση στην λιμενολεκάνη προκύπτουν τα εξής:

- ✓ Ο λιμένας είναι περισσότερο προστατευμένος από τα κύματα ΝΟΤΙΑΣ διεύθυνσης πρόσπτωσης.
- ✓ Στις περιμετρικές θέσεις της λιμενολεκάνης μεγαλύτεροι συντελεστές μετάδοσης υπολογίστηκαν για τα κύματα ΔΥΤΙΚΗΣ διεύθυνσης πρόσπτωσης.
- ✓ Στη θέση Θ10 μετρήθηκε αρκετά μεγαλύτερος συντελεστής μετάδοσης K_t για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο διευθύνσεις πρόσπτωσης, γεγονός που έχει ήδη σχολιαστεί στην παρούσα εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°

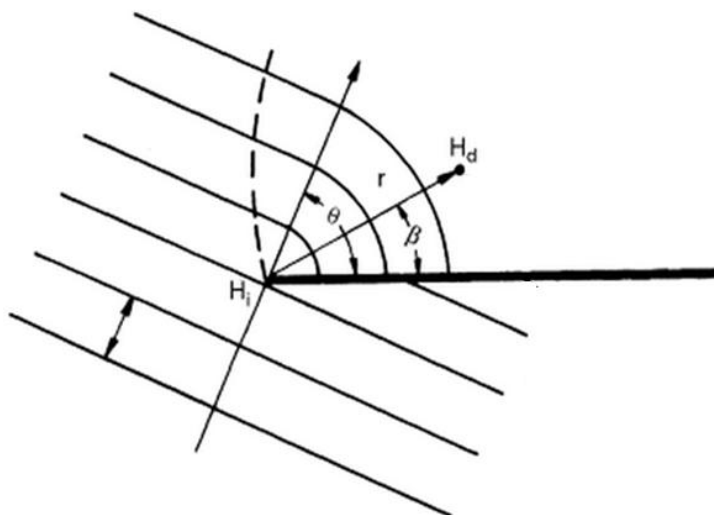
ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

7.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΤΗΝ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗ

Για κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης προσδιορίστηκε η αντίστοιχη γωνία θ , με βάση την σύμβαση (βλ. Σχήμα 7.1) των πινάκων του Wiegel (1962) για ημι-άπειρο μη διαπερατό κυματοθραύστη.

Ακόμη, για καθεμία από τις θέσεις της λιμενολεκάνης (Θ_{10} , Θ_{11} , Θ_{12} , Θ_{13}) υπολογίσθηκαν η απόσταση r από τη Θ_9 (θέση εισόδου), που είναι η πιο κοντινή θέση στο ακρομόλιο, και η αντίστοιχη γωνία β που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία ($\Theta_9\Theta_i$) και τον άξονα του μόλου, σύμφωνα με την σύμβαση της ίδιας έρευνας. Η απόσταση r έκαστης θέσης διαιρέθηκε με το εκάστοτε μήκος κύματος L_0 στην Θ_9 , οπότε προέκυψε το εκάστοτε μέγεθος r/L_0 .

Έπειτα, από τους πίνακες του Wiegel (1962) υπολογίσθηκαν οι τιμές των συντελεστών περίθλασης K_d με έως και 3 γραμμικές παρεμβολές (Wiegel, 1964).



Σχήμα 7.1 – Σύμβαση υπολογισμού μεγεθών θ , r και β για χρήση των πινάκων του Wiegel (1962) για ημι-άπειρο μη διαπερατό κυματοθραύστη

Για τις ίδιες θέσεις υπολογίσθηκαν οι συντελεστές μετάδοσης στην λιμενολεκάνη K_t' με θέση ελέγχου την Θ_9 .

Ακολούθως παρουσιάζονται με την μορφή πινάκων οι τιμές των συντελεστών K_d και K_t' . Στους πίνακες αυτούς περιλαμβάνονται οι λόγοι K_d/K_t' .

Οι μετρήσεις της θέσης Θ_{10} για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης δεν αξιολογήθηκαν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης σύγκρισης. Υπενθυμίζεται ότι η κυματική διαταραχή θα επανελεγχθεί στη θέση αυτή για τη δεδομένη διεύθυνση.

Κd και Κt' ΣΤΗΝ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗ ΝΟΤΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ																
ΚΩΔΙΚΟΣ	1.1				1.2				1.3				1.4			
ΘΕΣΗ	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13
Kd	0.09	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.06	0.07	0.10	0.09	0.07	0.09	0.12	0.12	0.10	0.11
Kt'	0.12	-	0.10	0.10	0.30	0.28	0.25	0.40	0.26	0.29	0.27	0.37	0.34	0.39	0.39	0.44
Kd/Kt'	0.74	-	0.68	0.76	0.25	0.26	0.25	0.18	0.39	0.30	0.27	0.24	0.36	0.30	0.25	0.25

Πίνακας 7.1 – Kd και Κt' για τη ΝΟΤΙΑ διεύθυνση πρόσπτωσης

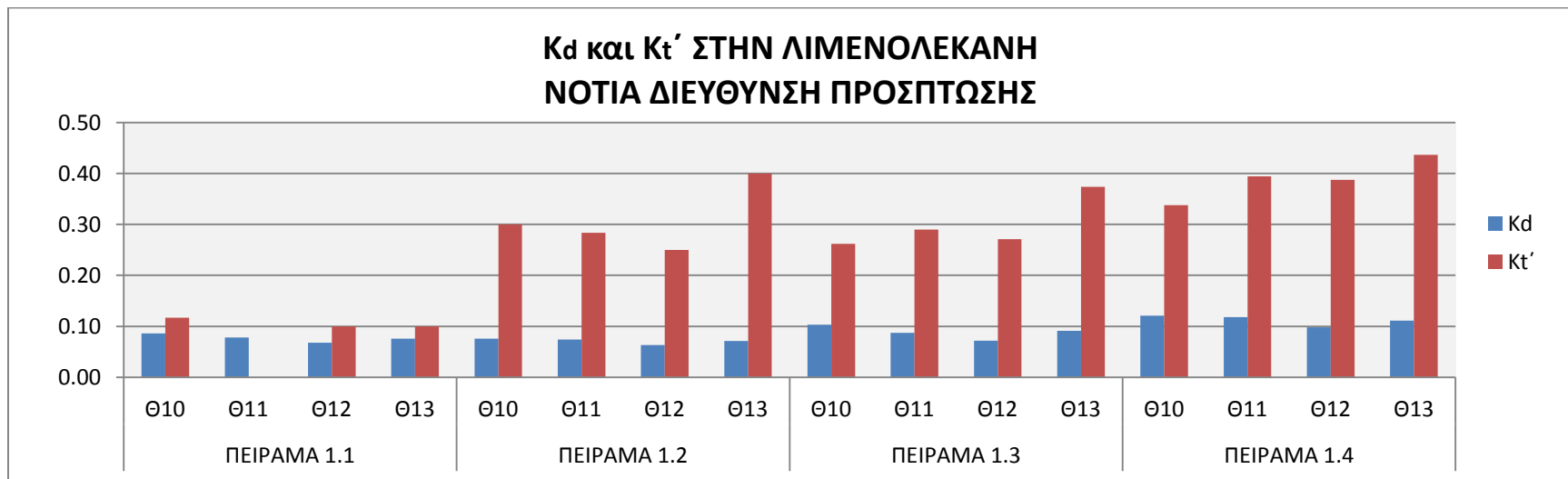
Κd και Κt' ΣΤΗΝ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ																				
ΚΩΔΙΚΟΣ	2.1				2.2				2.3				2.4				2.5			
ΘΕΣΗ	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13
Kd		< 0.13	< 0.08	< 0.07		0.13	0.09	0.11		0.18	0.12	0.14		0.20	0.14	0.15		0.21	0.14	0.15
Kt'		0.29	0.32	0.24		0.25	0.24	0.28		0.29	0.28	0.27		0.48	0.47	0.42		0.50	0.48	0.43
Kd/Kt'		< 0.45	< 0.25	< 0.30		0.53	0.39	0.37		0.61	0.44	0.51		0.42	0.30	0.36		0.41	0.30	0.35

Πίνακας 7.2 – Kd και Κt' για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης

Κd και Κt' ΣΤΗΝ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗ ΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ																
ΚΩΔΙΚΟΣ	3.1				3.2				3.3				3.4			
ΘΕΣΗ	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13	Θ10	Θ11	Θ12	Θ13
Kd	0.21	0.68	0.17	0.15	0.24	0.67	0.19	0.17	0.26	0.67	0.20	0.18	0.25	0.67	0.19	0.17
Kt'	0.21	0.28	0.19	0.16	0.56	0.58	0.47	0.44	0.25	0.25	0.25	0.25	0.46	0.43	0.50	0.47
Kd/Kt'	1.00	2.47	0.87	0.96	0.42	1.16	0.39	0.38	1.05	2.65	0.79	0.73	0.54	1.56	0.38	0.36

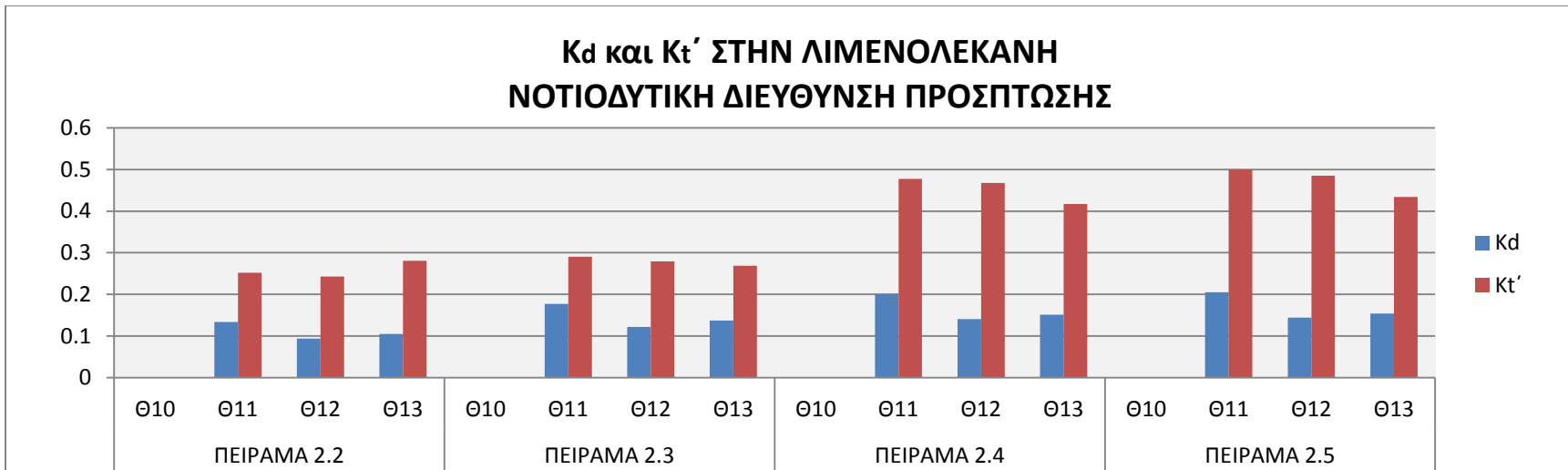
Πίνακας 7.3 – Kd και Kt' για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης

Η πληροφορία των προηγούμενων πινάκων παρουσιάζεται με την μορφή διαγραμμάτων.



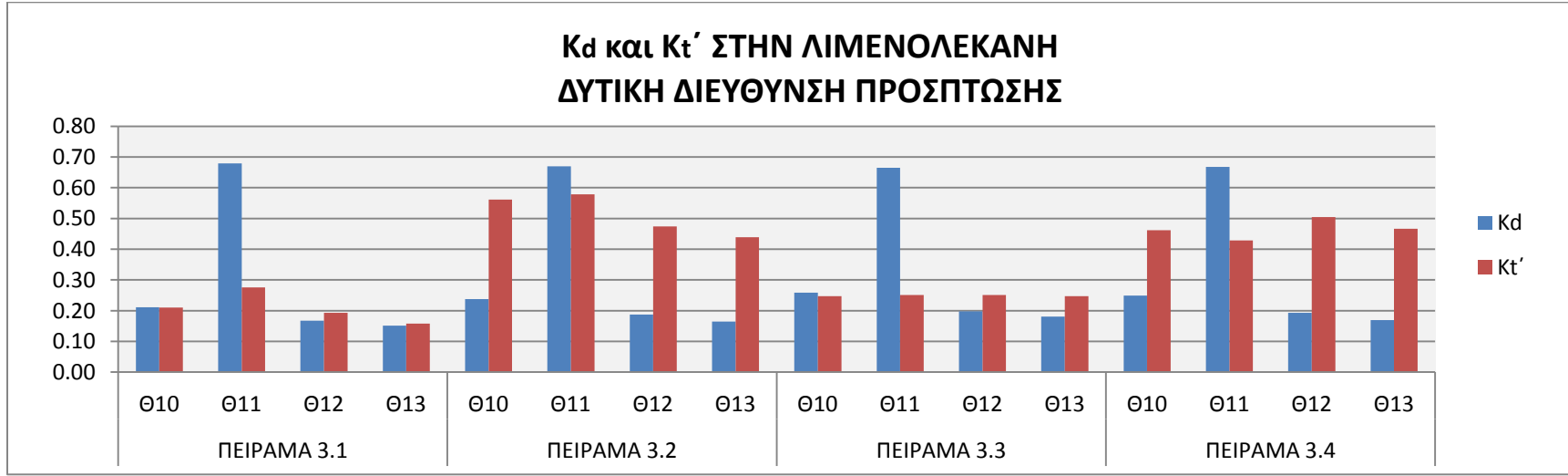
Διάγραμμα 7.1 – Kd και Kt' για τα πειράματα της ΝΟΤΙΑΣ διεύθυνσης πρόσπτωσης

**Kd και Kt' ΣΤΗΝ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗ
ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ**



Διάγραμμα 7.2 – Kd και Kt' για τα πειράματα της ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗΣ διεύθυνσης πρόσπτωσης

**Kd και Kt' ΣΤΗΝ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗ
ΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ**



Διάγραμμα 7.3 – Kd και Kt' για τα πειράματα της ΔΥΤΙΚΗΣ διεύθυνσης πρόσπτωσης

Οι πίνακες και τα διαγράμματα του Wiegel (1962) συντάχθηκαν για επίπεδο πυθμένα. Στην περίπτωση του λιμένα τα κύματα υφίστανται διάθλαση λόγω διαφορετικής βυθομετρίας.

Όπως επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν, στην περίπτωση της συγκεκριμένης λιμενολεκάνης, το μέγεθος της επιρροής της διάθλασης και των υπολοίπων επιδράσεων (ανακλάσεις σε μέτωπα, περίθλαση γύρω από λοιπά στερεά όρια) είναι εξίσου σημαντικό με αυτό της περίθλασης γύρω από το ακρομόλιο.

Για τις περισσότερες θέσεις και πειράματα οι τιμές των συντελεστών περίθλασης K_d κατά Wiegel (1962) αντιστοιχούν σε λιγότερο από το μισό έως και κοντά στο ένα πέμπτο του αντίστοιχου συντελεστή μετάδοσης K_t' , ο οποίος δείχνει την συνολική επιρροή των στερεών ορίων της λιμενολεκάνης στο ύψος των μετρημένων κυματισμών. Το μεγαλύτερο ποσοστό της διαφοράς των υπολογισμένων συντελεστών αναμένεται να προέρχεται από τις ανακλάσεις στο εσωτερικό του λιμένα.

Όσον αφορά την Θ11 για τη ΔΥΤΙΚΗ διεύθυνση πρόσπτωσης, σε αυτή προκύπτει μεγαλύτερος συντελεστής περίθλασης K_d από τον συντελεστή μετάδοσης K_t' . Αυτό συμβαίνει επειδή η θέση αυτή προστατεύεται από εσωτερικό βραχίονα του λιμένα.

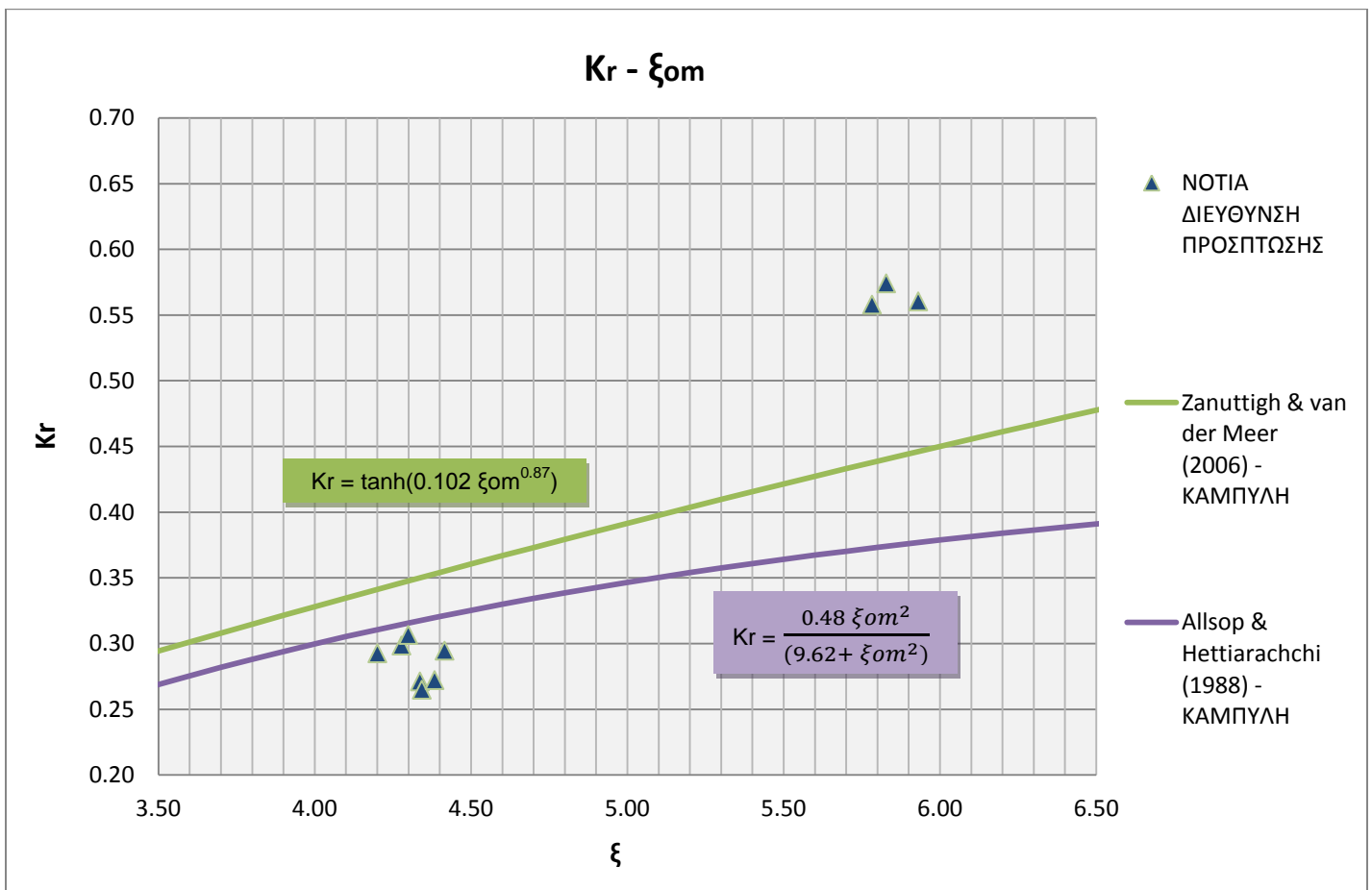
Αξίζει να σημειωθεί, τέλος, ότι η Θ9 που χρησιμοποιήθηκε ως θέση ελέγχου στους υπολογισμούς των συντελεστών K_d και K_t' βρίσκεται στην περιοχή της εισόδου, απέχοντας περίπου μισό μέτρο από το ακρομόλιο στην κλίμακα του φυσικού προσομοιώματος. Το γεγονός αυτό επηρεάζει τα αποτελέσματα της παρούσας σύγκρισης.

7.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ξ

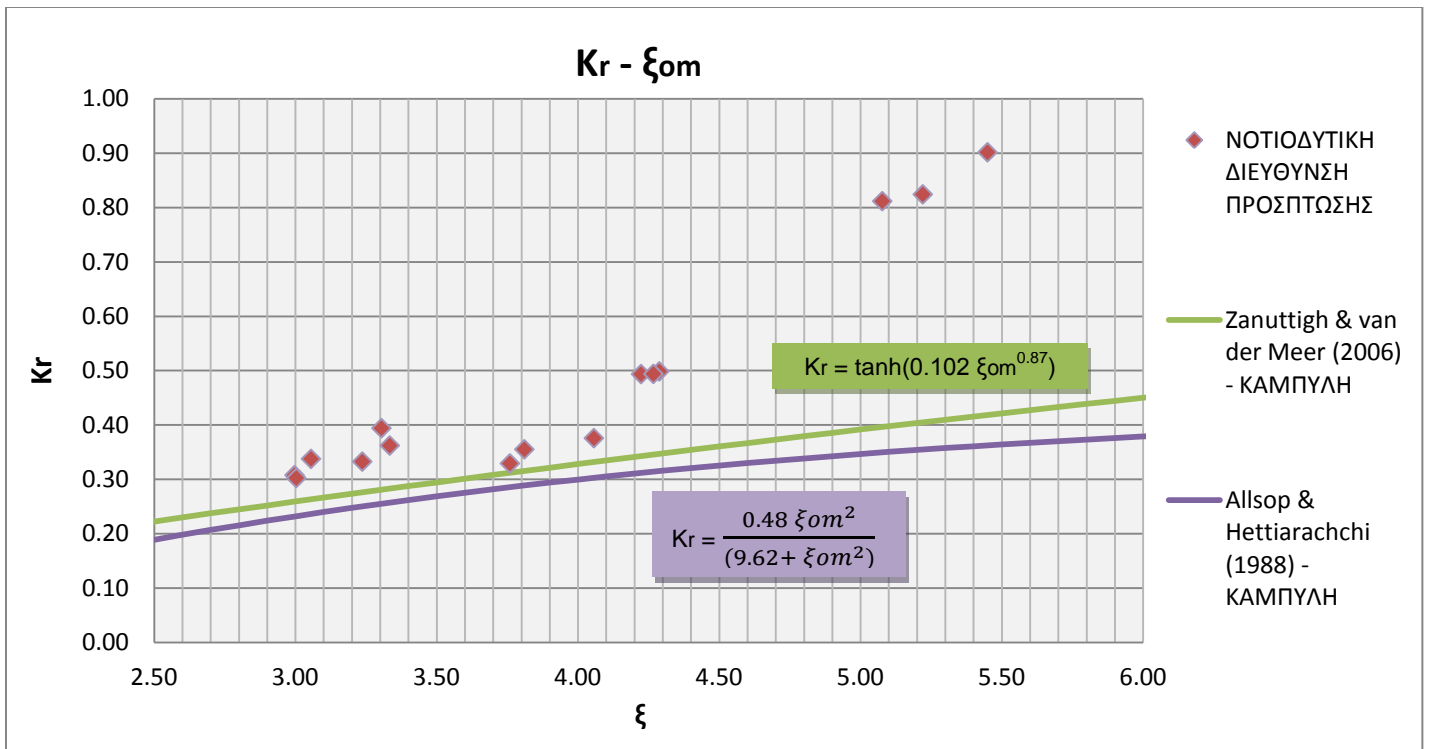
Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπολογίστηκαν οι συντελεστές ξ , ως ξ_{om} , δηλαδή σύμφωνα με τη σχέση των Seelig and Ahrens (1981), στη θέση Θ15 και για κλίση του πρανούς του μόλου 1:1. Ακολούθησε κατασκευή διαγραμμάτων που συσχετίζουν τους υπολογισμένους συντελεστές ανάκλασης στο πρανές του μόλου K_r (ΕΛΕ, 2014) με τις αντίστοιχες τους τιμές ξ_{om} .

Στα διαγράμματα αυτά περιλήφθησαν οι καμπύλες των Zanuttigh & van der Meer (2006) και Allsop & Hettiarachchi (1988). Για τον σχεδιασμό της πρώτης καμπύλης αντί των συντελεστών ξ , για τους οποίους ισχύει η εξίσωση, χρησιμοποιήθηκαν οι αντίστοιχοι ξ_{om} .

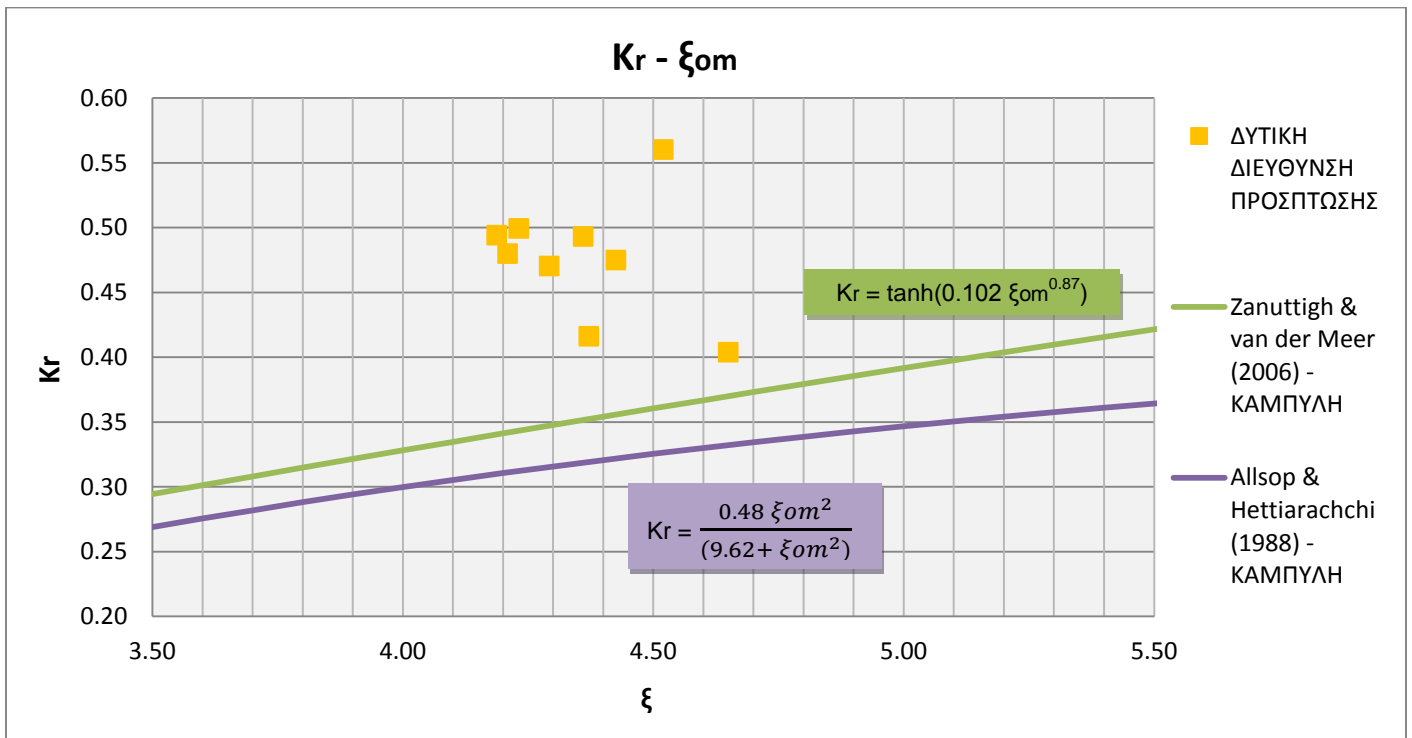
Κατασκευάστηκε ένα διάγραμμα για κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης των κυματισμών. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται ακολουθώς.



Διάγραμμα 7.4 – Συσχέτιση K_r με ξ_{om} για τη ΝΟΤΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ και σύγκριση με καμπύλες εμπειρικών εξισώσεων



Διάγραμμα 7.5 – Συσχέτιση K_r με ξ_{om} για τη ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ και σύγκριση με καμπύλες εμπειρικών εξισώσεων



Διάγραμμα 7.6 – Συσχέτιση K_r με ξ_{om} για τη ΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ και σύγκριση με καμπύλες εμπειρικών εξισώσεων

Στα παραπάνω διαγράμματα δεν προστέθηκαν καμπύλες συσχέτισης διότι οι διαθέσιμες μετρήσεις για κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης δεν είναι αρκετές για ένα τέτοιο εγχείρημα.

Από τα συγκεκριμένα διαγράμματα γίνεται φανερό ότι οι εμπειρικές εξισώσεις των Zanuttigh & van der Meer (2006) και Allsop & Hettiarachchi (1988) υποεκτιμούν την ανάκλαση ιδιαίτερα για $\xi_{om} > 4.5$. Εξαιρέση αποτελούν οι μετρήσεις ΝΟΤΙΑΣ διεύθυνσης για $\xi_{om} < 0.45$.

Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο κυρίως διότι οι συγκεκριμένες εμπειρικές εξισώσεις ισχύουν για κάθετη πρόσπτωση και για κυματισμούς που δεν υπερπηδούν τον μόλο.

Στα πειράματα που χρησιμοποιεί η παρούσα σύγκριση, η πρόσπτωση στο πρανές του μόλου γίνεται υπό γωνία (βλ. πίνακα 7.4). Μόνο στην περίπτωση των ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΩΝ κυματισμών η πρόσπτωση είναι σχεδόν κάθετη. Για τη συγκεκριμένη διεύθυνση πρόσπτωσης φαίνεται ότι υπάρχει καλή συσχέτιση του K_r με ξ_{om} . Για τις άλλες διευθύνσεις είναι πολύ πλάγια η πρόσπτωση.

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ
ΝΟΤΙΑ	49°
ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ	4°
ΔΥΤΙΚΑ	41°

Πίνακας 7.4 – Γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών στον μόλο

Επίσης, η υπερπήδηση δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα για όλες τις μετρήσεις των παραπάνω διαγραμμάτων.

Σημειώνεται ότι ο τύπος των Allsop & Hettiarachchi (1988) έχει προταθεί με βάση πειραματικά δεδομένα για πρανή κλίσεων 1:1.33, 1:1.5 και 1:2 (CEM, 2006). Στην περίπτωση του συγκεκριμένου μόλου έχουμε θεωρήσει κλίση 1:1.

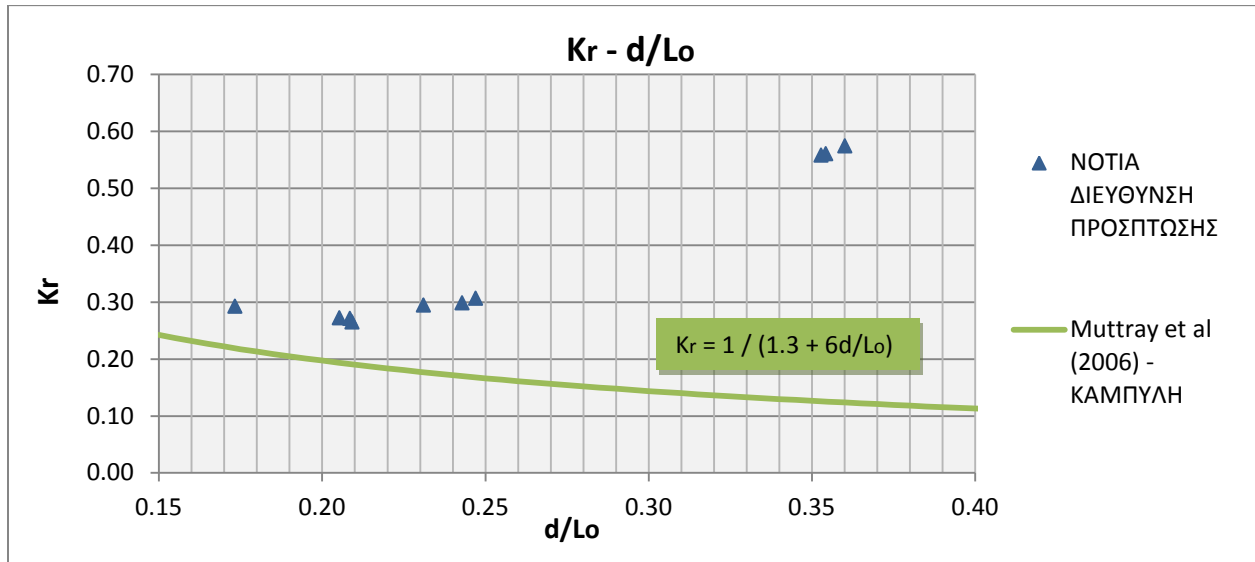
Ακόμη, ο τύπος των Zanuttigh & van der Meer (2006) χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό των K_r τον ξ_o και όχι τον ξ_{om} (Seelig and Ahrens, 1981), που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της καμπύλης στο διάγραμμα.

Τέλος, οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των διαγραμμάτων έχουν γίνει σε τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα, ενώ οι παραπάνω σχέσεις προτείνονται βάσει μετρήσεων σε διδιάστατες διώρυγες δοκιμών.

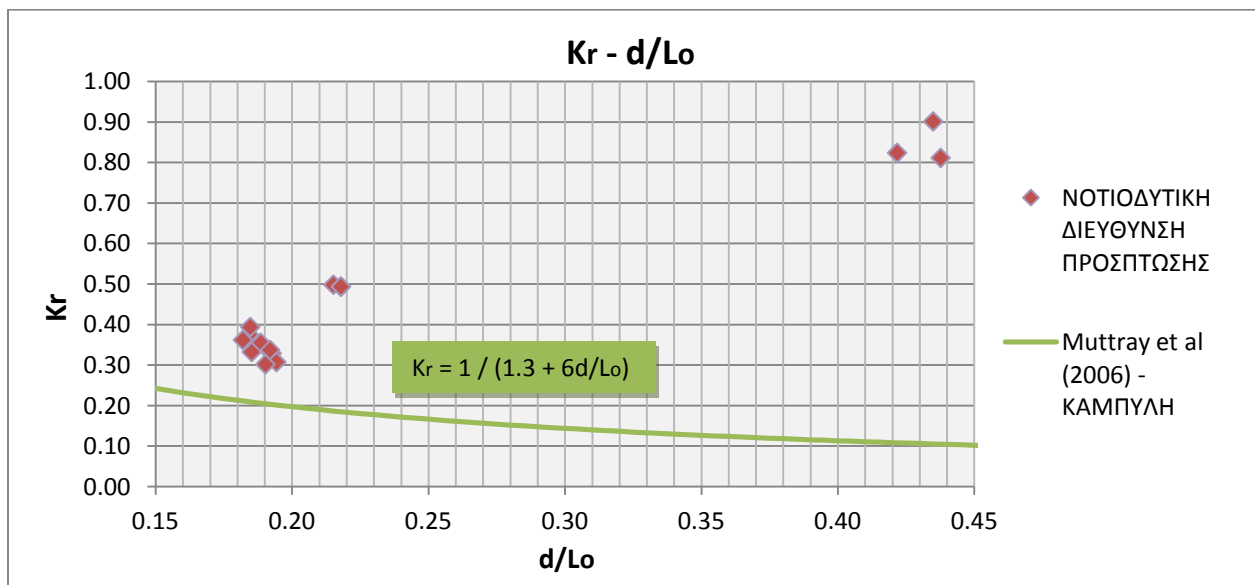
7.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΣΧΕΤΙΚΟ ΒΑΘΟΣ

Με βάσει τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπολογίστηκαν οι τιμές d/L_0 στη θέση Θ15 και κατασκευάστηκαν διαγράμματα που συσχετίζουν τους υπολογισμένους συντελεστές ανάκλασης στο πρηνές του μόλου K_r (ΕΛΕ, 2014) με τις αντίστοιχες τους τιμές του σχετικού βάθους d/L_0 . Τα συγκεκριμένα διαγράμματα παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω.

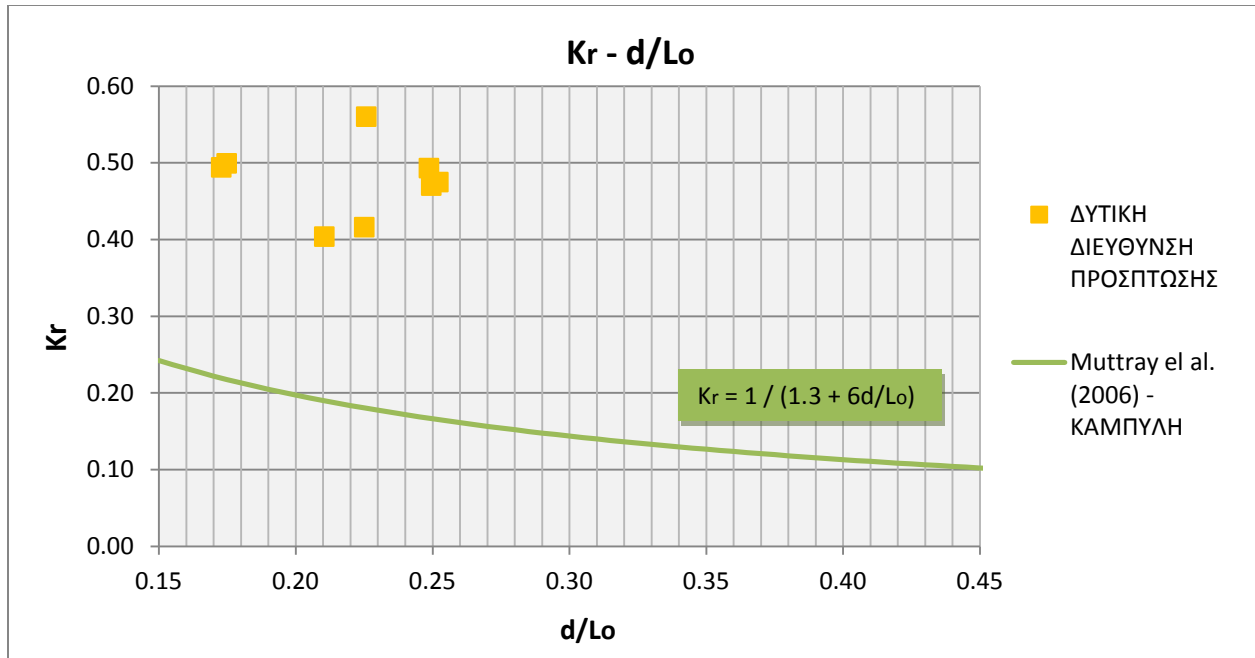
Στα διαγράμματα αυτά σχεδιάστηκε η καμπύλη των Muttray et al. (2006).



Διάγραμμα 7.7 – Συσχέτιση K_r με d/L_0 για τη NOTIA ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ και σύγκριση με καμπύλη εμπειρικής σχέσης



Διάγραμμα 7.8 – Συσχέτιση K_r με d/L_0 για τη NOTIODYTIKH ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ και σύγκριση με καμπύλη εμπειρικής σχέσης



Διάγραμμα 7.9 – Συσχέτιση K_r με d/L_0 για τη ΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ και σύγκριση με καμπύλη εμπειρικής σχέσης

Προκύπτει ότι η σχέση των Muttray et al. (2006) υποεκτιμά τους συντελεστές ανάκλασης K_r . Εξάλλου, το πεδίο εφαρμογής της αναφέρεται σε μη θραυόμενους κυματισμούς με μηδενική ή πολύ μικρή υπερπήδηση.

Ο συντελεστής K_r φαίνεται να μπορεί να συσχετισθεί με το σχετικό βάθος, όμως οι μετρήσεις είναι λίγες για αξιόπιστα αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα πειραματικά αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η υφιστάμενη διάταξη των εξωτερικών λιμενικών έργων του λιμένα δεν επαρκεί για την προστασία της λιμενολεκάνης από τους κυματισμούς.

Από την αξιολόγηση που έγινε προέκυψε ότι ο λιμένας δεν είναι λειτουργικός για τους κυματισμούς ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗΣ και ΔΥΤΙΚΗΣ διεύθυνσης πρόσπτωσης που είναι ίσοι ή μεγαλύτεροι από το φάσμα με χαρακτηριστικά στα βαθιά: $H_s = 3.40$ m και $T_p = 7.940$ sec. Τα κύματα ΝΟΤΙΑΣ διεύθυνσης πρόσπτωσης γενικά δεν δυσχεραίνουν την πρόσδεση και την παραμονή των σκαφών στον λιμένα.

Επίσης, για μεγάλο αριθμό καταγραφών μετρήθηκαν αρκετά μικρότερες τιμές των περιόδων T_m εντός της λιμενολεκάνης από τις αντίστοιχες μέσες τιμές T_m των κυματισμών στα βαθιά νερά, γεγονός που πρέπει να συνυπολογισθεί στον ορισμό του προβλήματος.

Γενικά, για την εκτίμηση της κυματικής διαταραχής θα πρέπει να υπολογίζονται και να λαμβάνονται υπόψιν μαζί με τα ύψη κύματος και οι περίοδοι των κυμάτων.

Η περίοδος T_m αποτελεί πιο εύχρηστο μέγεθος από την περίοδο T_p για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κυματική διαταραχή.

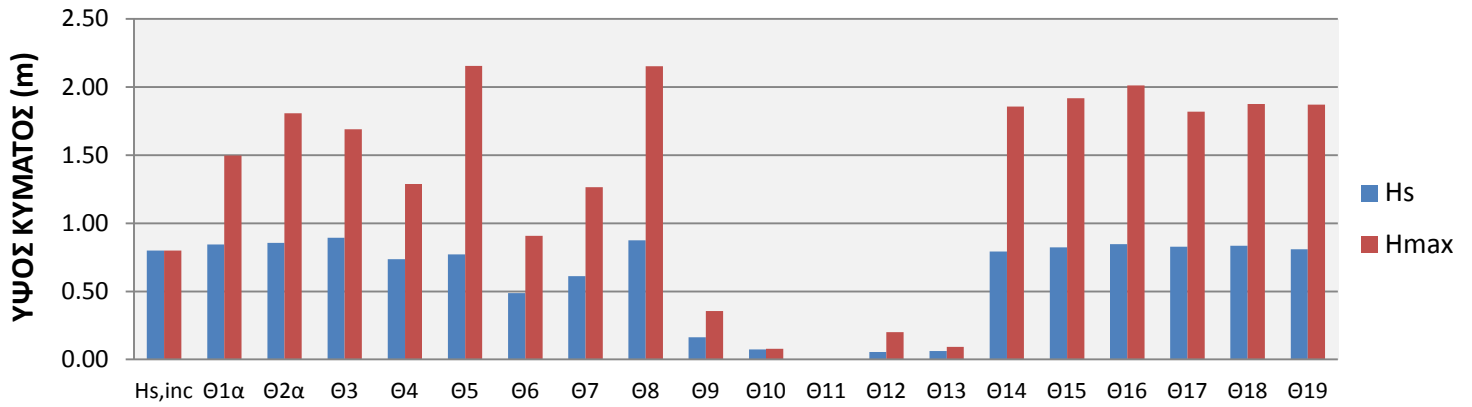
Μεγάλες τιμές των περιόδων T_p εμφανίζονται σε περιοχές όπου λαμβάνουν χώρα τα φαινόμενα της περίθλασης και της ανάκλασης. Τα φαινόμενα αυτά είναι συνάρτηση της περιόδου, δηλαδή διαφορετική περίθλαση και ανάκλαση υφίστανται οι διάφορες συχνότητες με αποτέλεσμα την παραμόρφωση του φάσματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

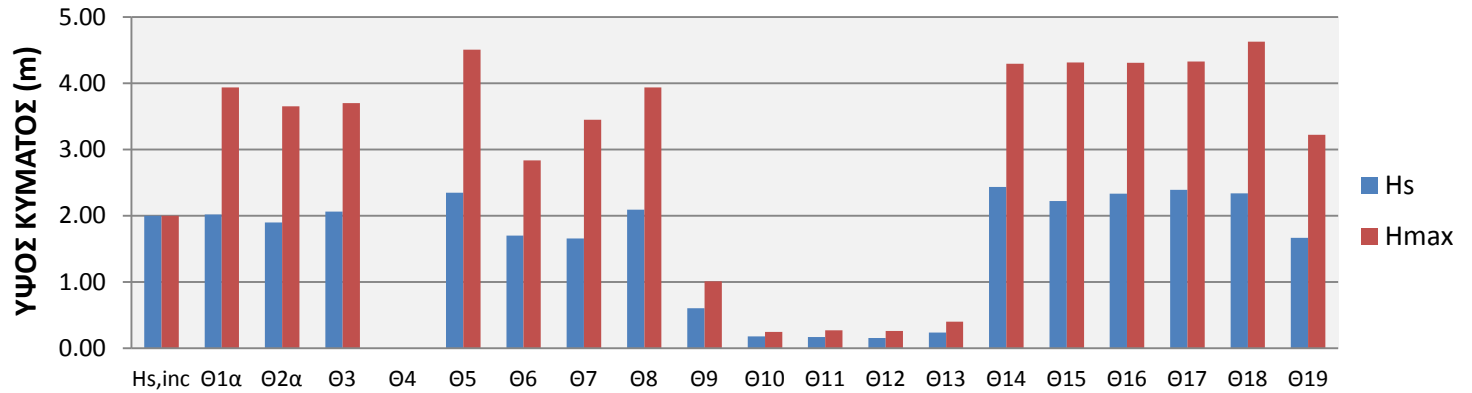
- Γιαντσή Θ. (2014), *“Προσομοίωση Λιμενικών Έργων”*, Σημειώσεις για το μάθημα Πειραματική Υδραυλική 8^{ου} εξαμήνου Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, σελ. 2
- Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (2014), Τεχνική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος *“Εργαστηριακή Μελέτη σε Φυσικό Προσομοίωμα Βελτιώσεως Κυματικών Συνθηκών στον Λιμένα Μαύρης Λιμνώνας Χώρας Σφακίων”*
- Μουτζούρης Κ. Ι. (2009), *“Θαλάσσια Υδραυλική”*, Εκδόσεις ΕΜΠ, σελ. 11-12, 26-27, 53-54, 59-64, 70-75, 85-116
- Νουτσόπουλος Γ. & Χριστοδούλου Γ. (1996), *“Μηχανική των Ρευστών”*, Εκδόσεις ΕΜΠ, σελ. 141-156
- CEM (2006), *“Coastal Engineering manual”*, Coastal Engineering Research Center, Dept. of Army Corps of Engineers, US, Chapter 1 (part 2) & Chapter 5 (part 2)
- Michel W.H. (1999), *“Sea spectra revised”*, Marine Technology, Vol. 36, No. 4, pp. 221-227
- Muttray M., Oumeraci H., ten Oever E. (2006), *“Wave Reflection and Wave Run-up at Rubble Mound Breakwaters”*, ICCE, Abstract 713, pp 1-12
- Thoresen C.A. (2006), *“Port Designer’s Handbook: Recommendations and Guidelines”*, Thomas Telford Publishing, pp. 127
- Violante-Carvalho N., Parente C.E., Robinson I.S. and Nunes I.M.P (2002), *“On the Growth of Wind Generated Waves in a Swell Dominated Region in the South Atlantic”*, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 124, pp 14-21
- Wiegel R.L. (1964), *“Oceanographical Engineering”*, Prentice-Hall International Series in Theoretical and Applied Mechanics, Fluid Mechanics Series, pp. 186-187
- Zanuttigh B. & Van der Meer J. W. (2008), *“Wave Reflection from Coastal Structures in Design Conditions”*, Coastal Engineering, Vol. 55, pp. 771-779

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΑ
ΥΨΗ ΚΥΜΑΤΟΣ
ΑΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑ

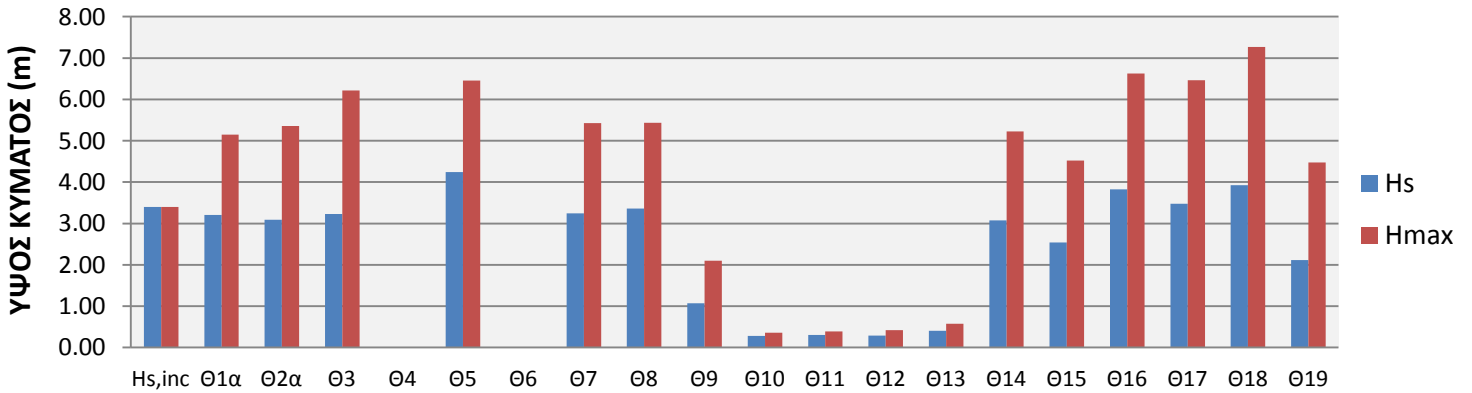
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1**



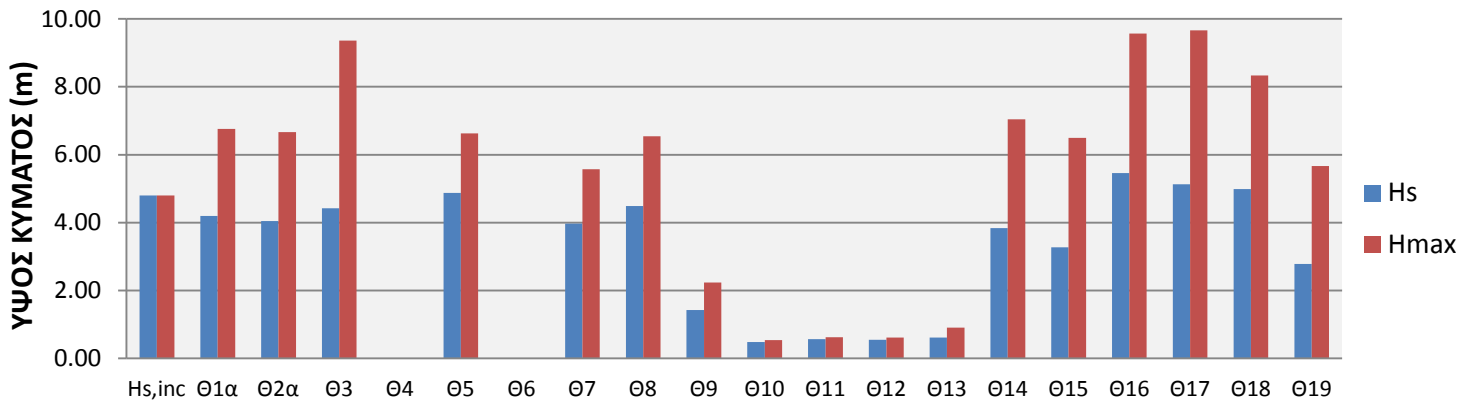
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2**



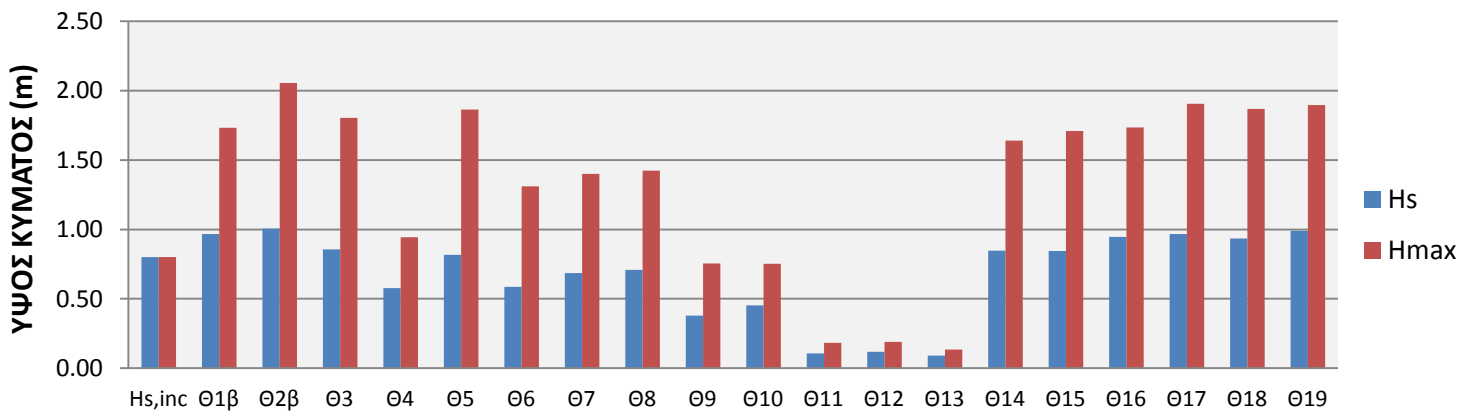
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 1.3**



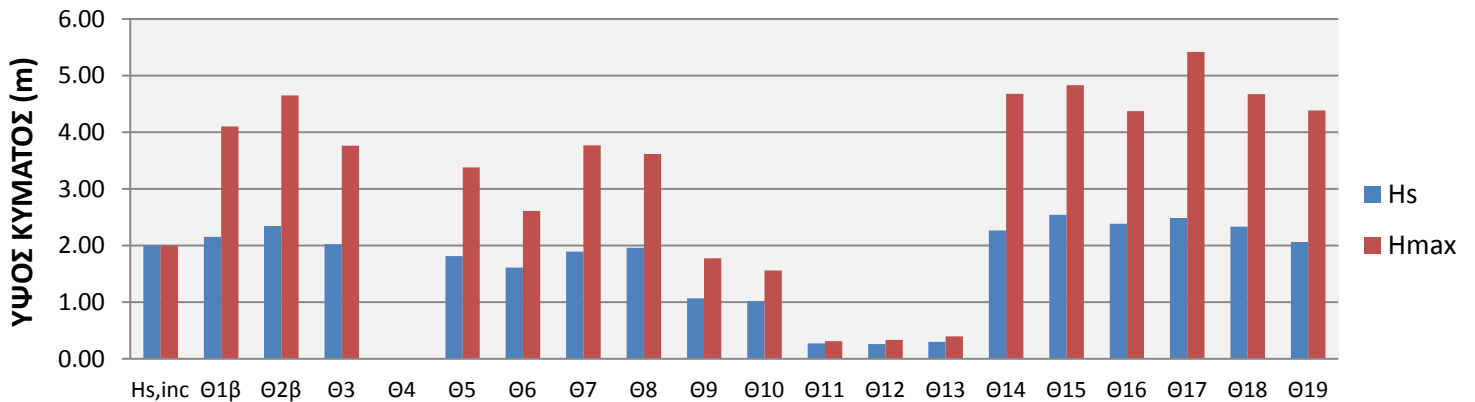
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 1.4**



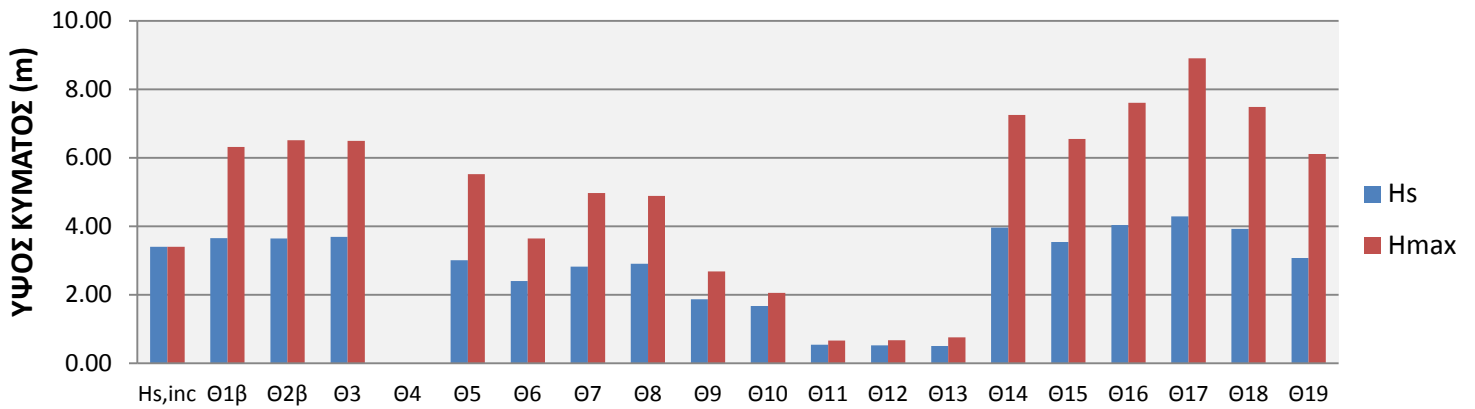
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 2.1**



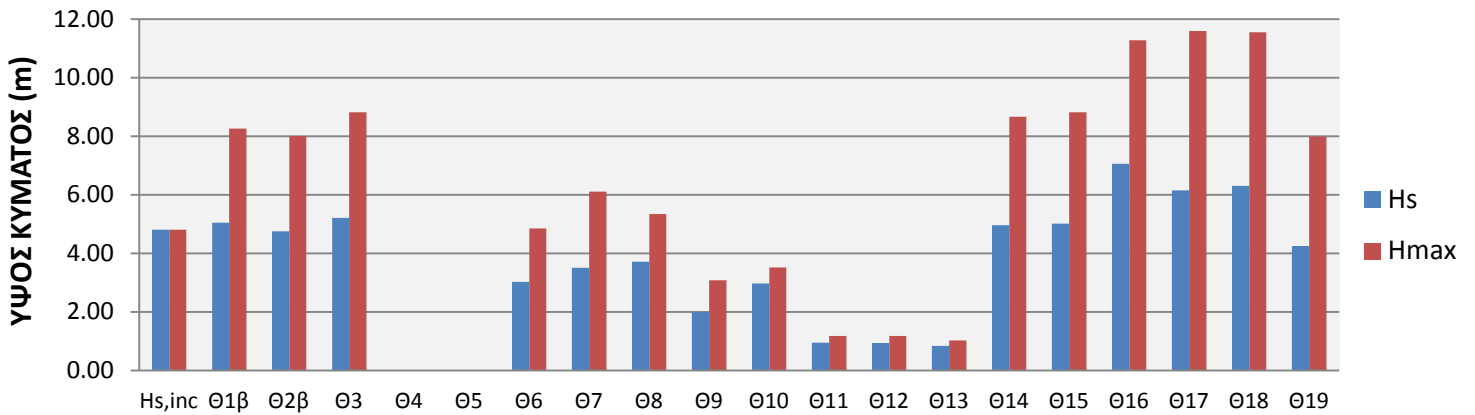
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 2.2**



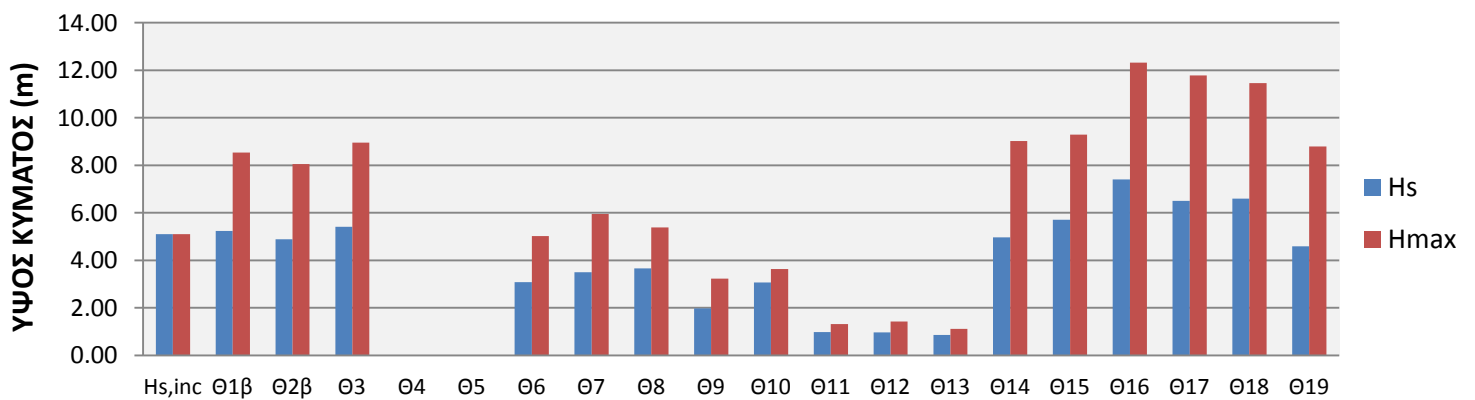
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 2.3**



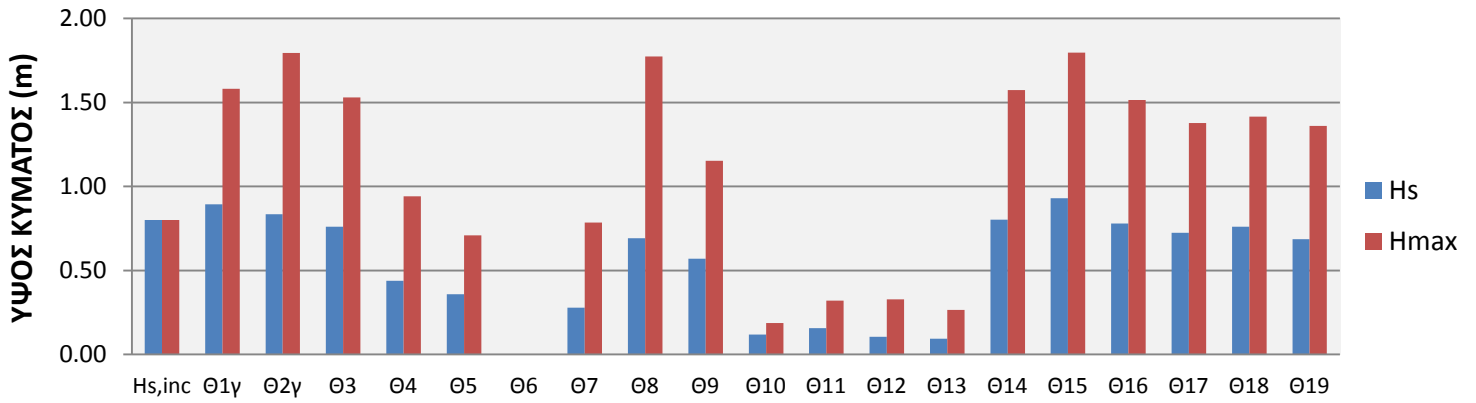
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 2.4**



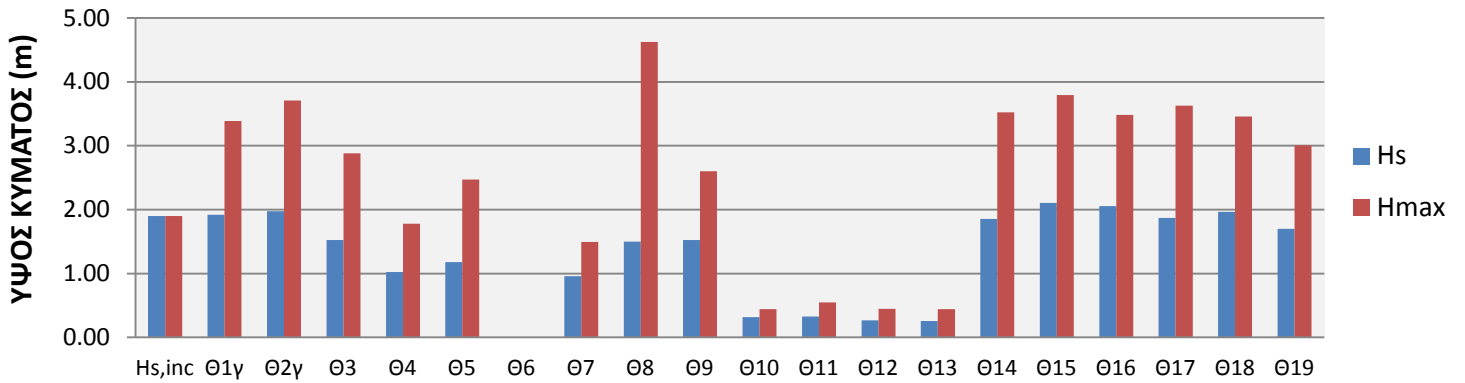
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 2.5**



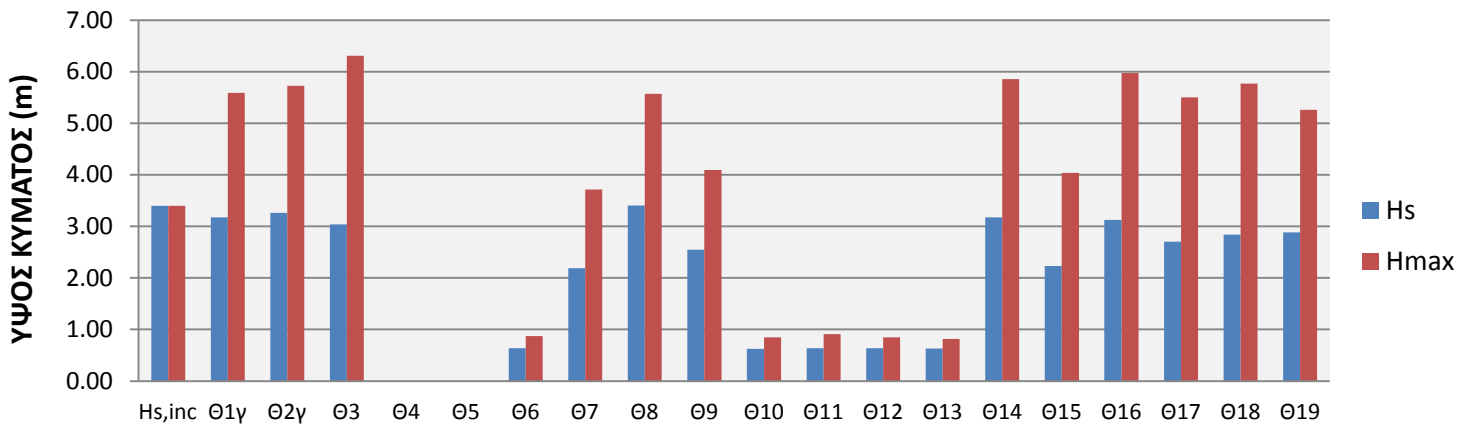
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1**



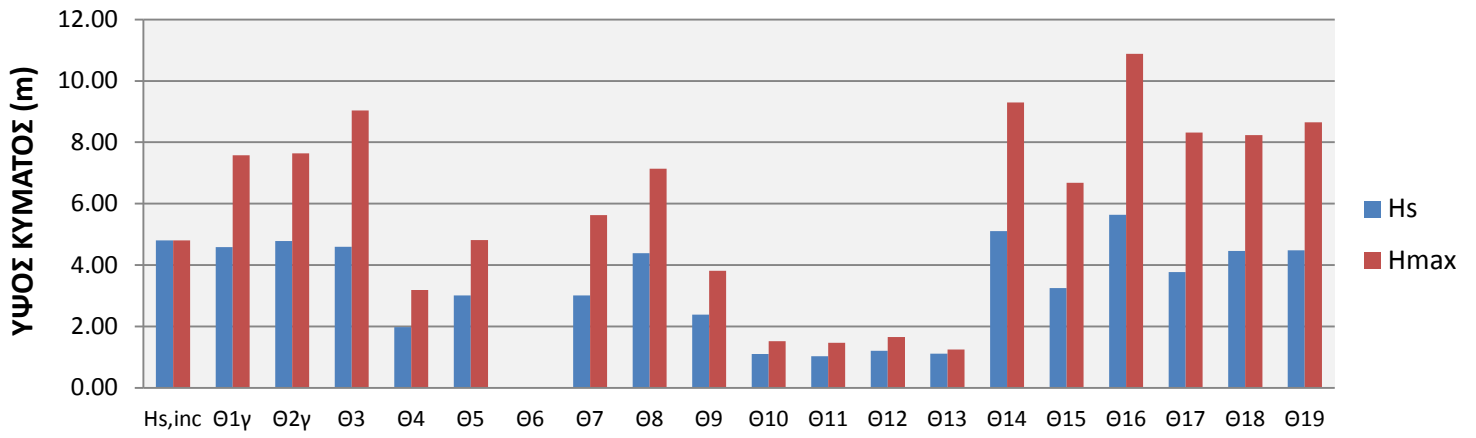
**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2**



**Hs και Hmax
ΠΕΙΡΑΜΑ 3.3**



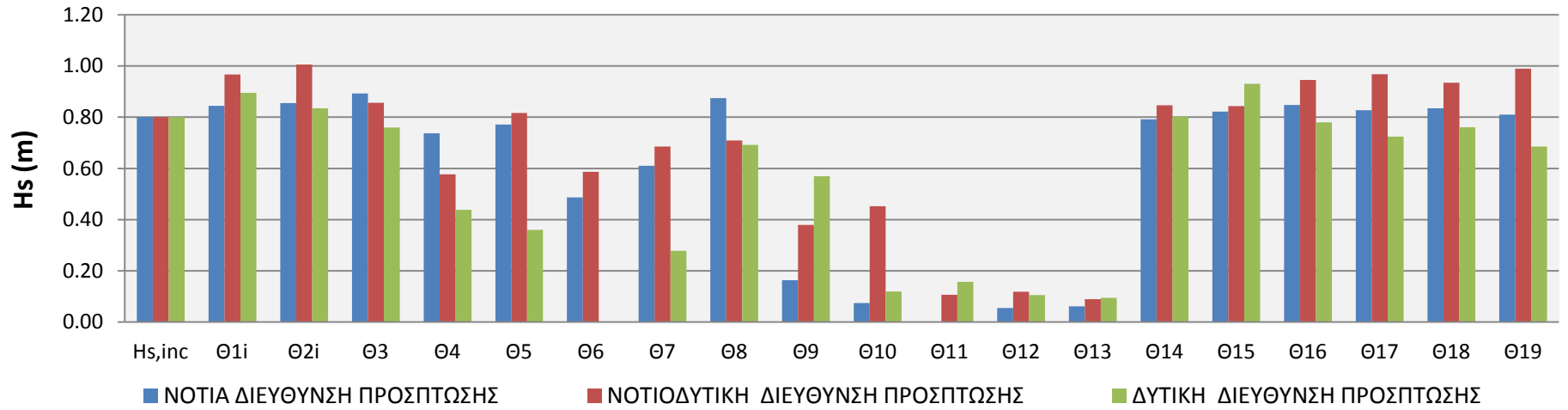
Hs και Hmax ΠΕΙΡΑΜΑ 3.4



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΨΗ ΚΥΜΑΤΟΣ
ΑΝΑ ΦΑΣΜΑ

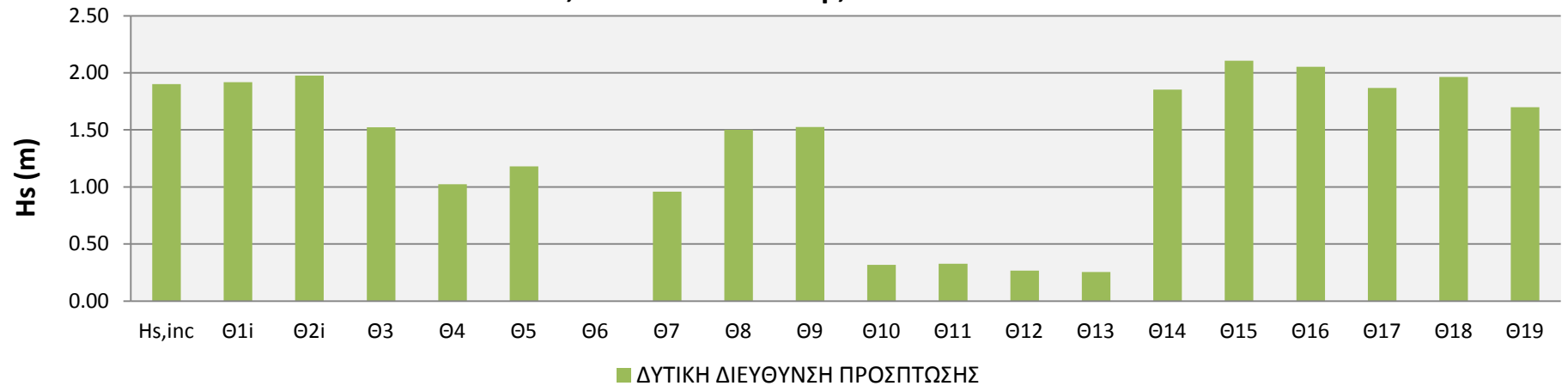
Hs

$H_{s,inc} = 0.80 \text{ m}$ και $T_{p,inc} = 3.851 \text{ sec}$



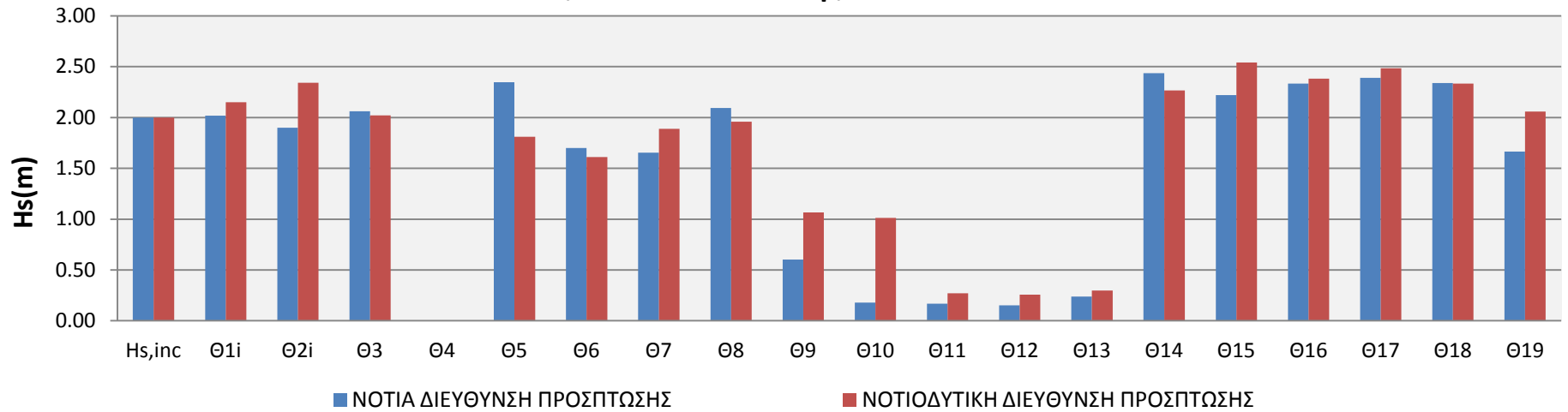
Hs

$H_{s,inc} = 1.90 \text{ m}$ και $T_{p,inc} = 5.935 \text{ sec}$



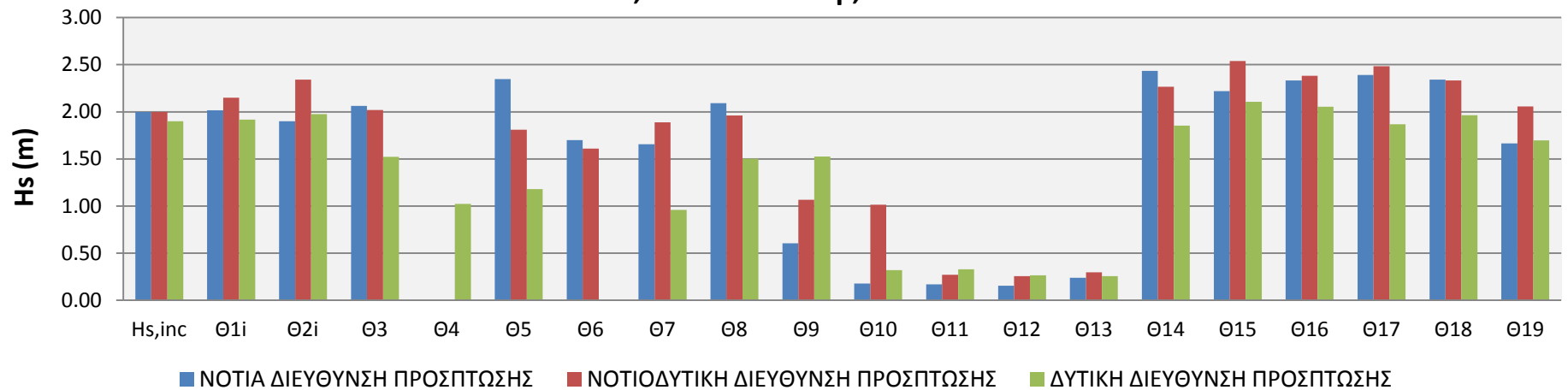
Hs

Hs,inc = 2.00 m και Tp,inc = 6.090 sec



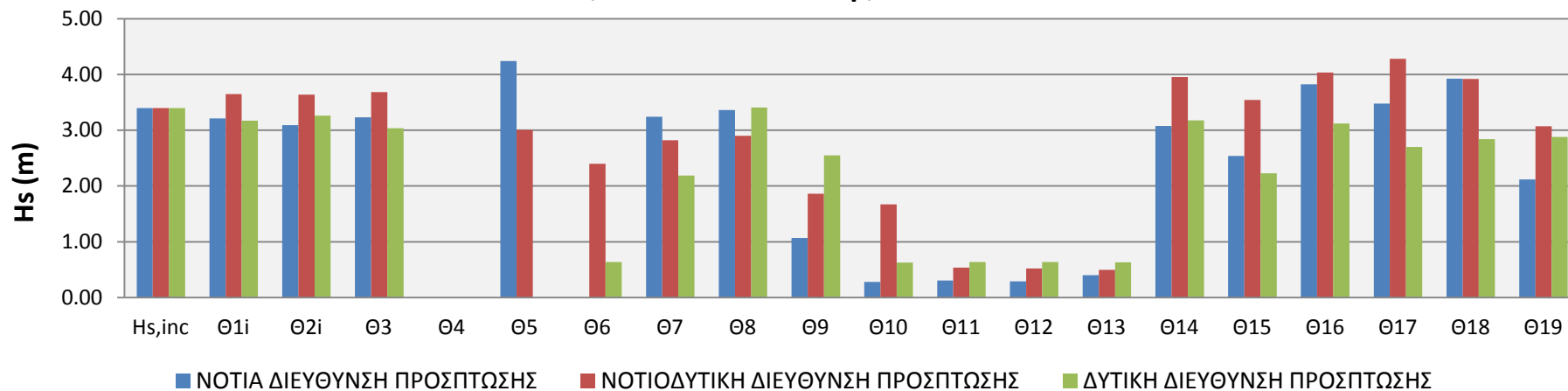
Hs

Hs,inc ≈ 2m και Tp,inc ≈ 6 sec



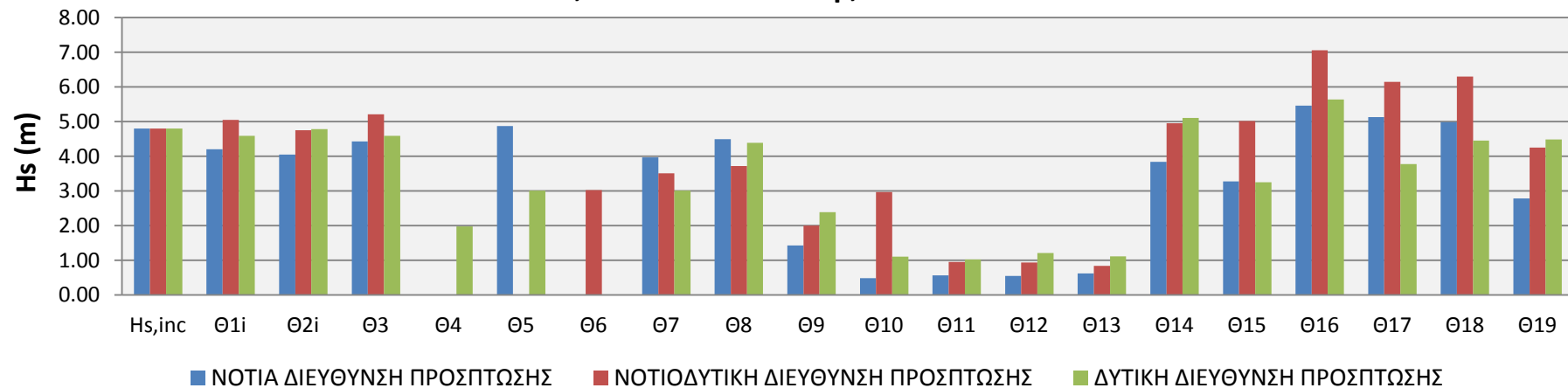
Hs

Hs,inc = 3.40 m και T_{p,inc} = 7.940 sec



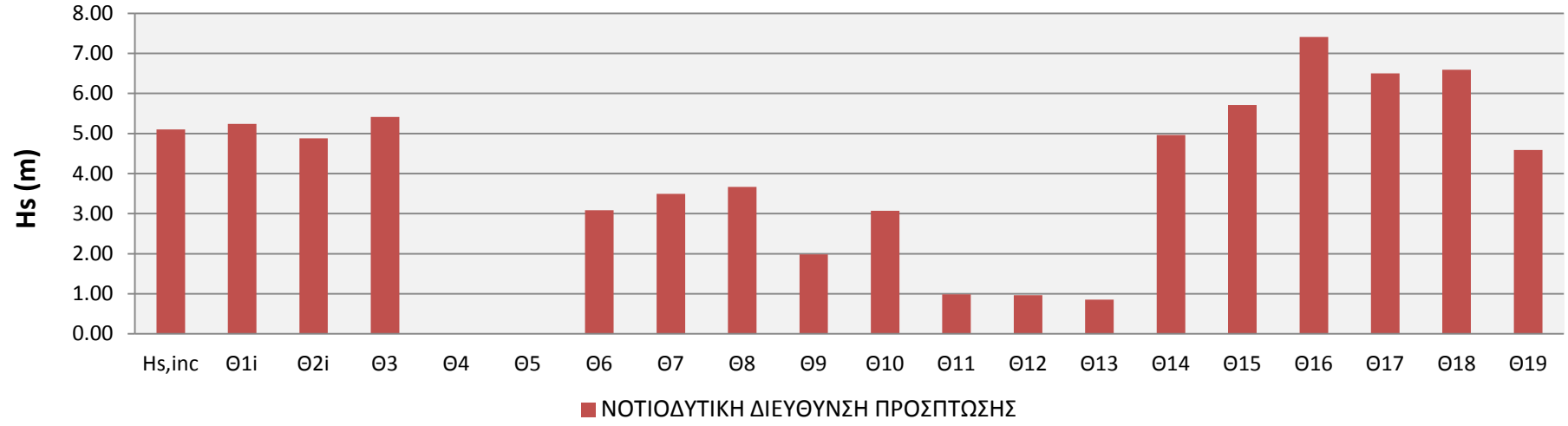
Hs

Hs,inc = 4.80 m και T_{p,inc} = 9.434 sec



Hs

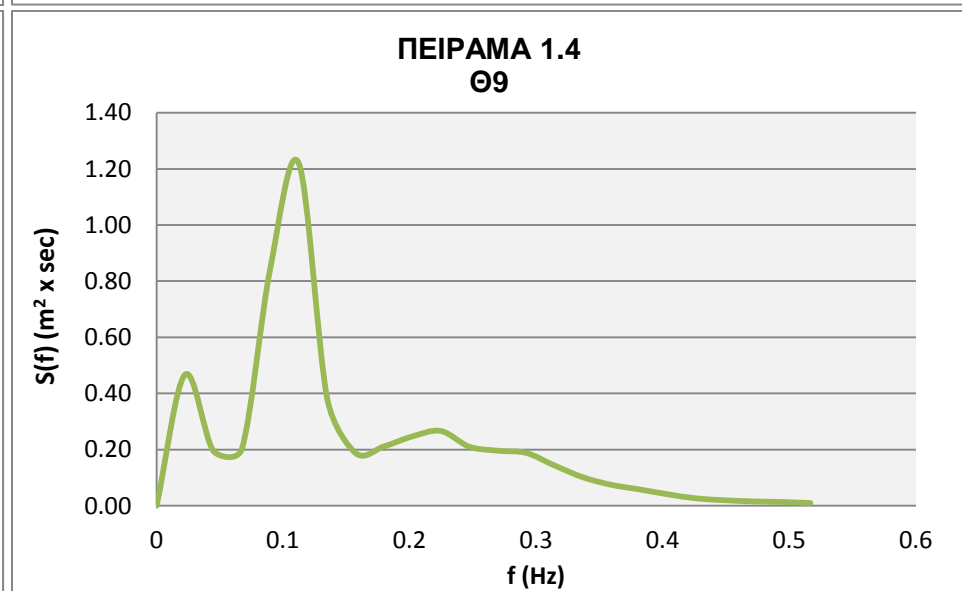
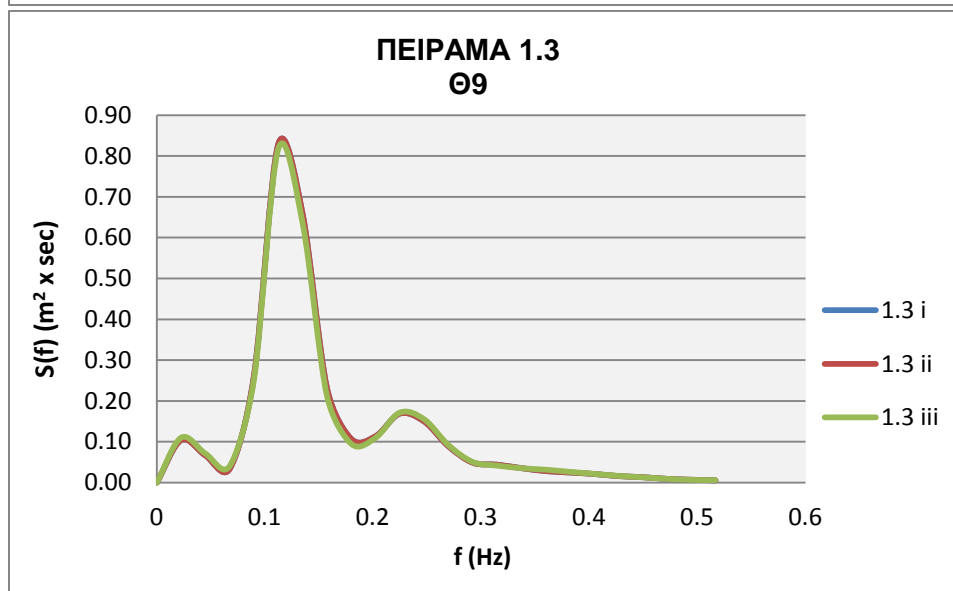
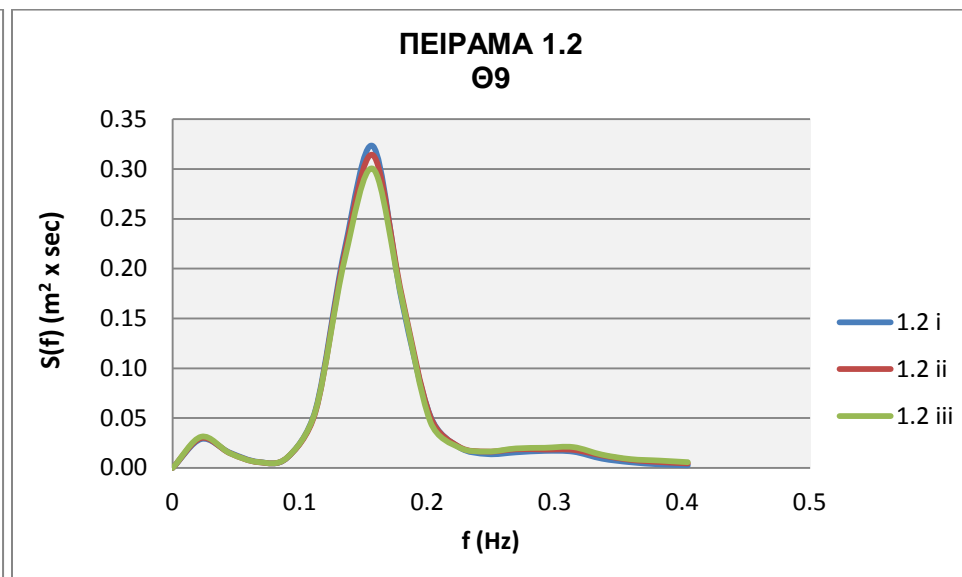
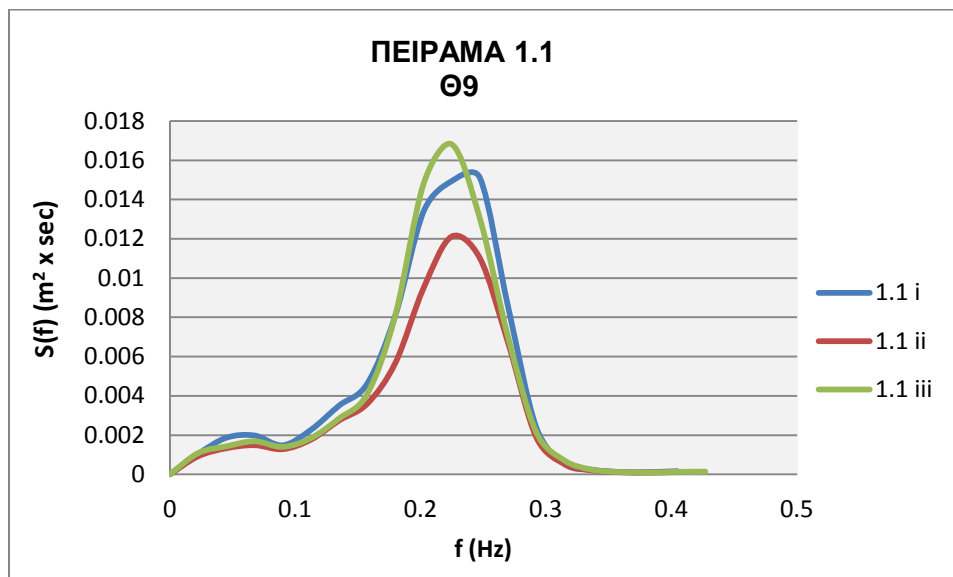
Hs,inc = 5.10 m και T_{p,inc} = 9.724 sec



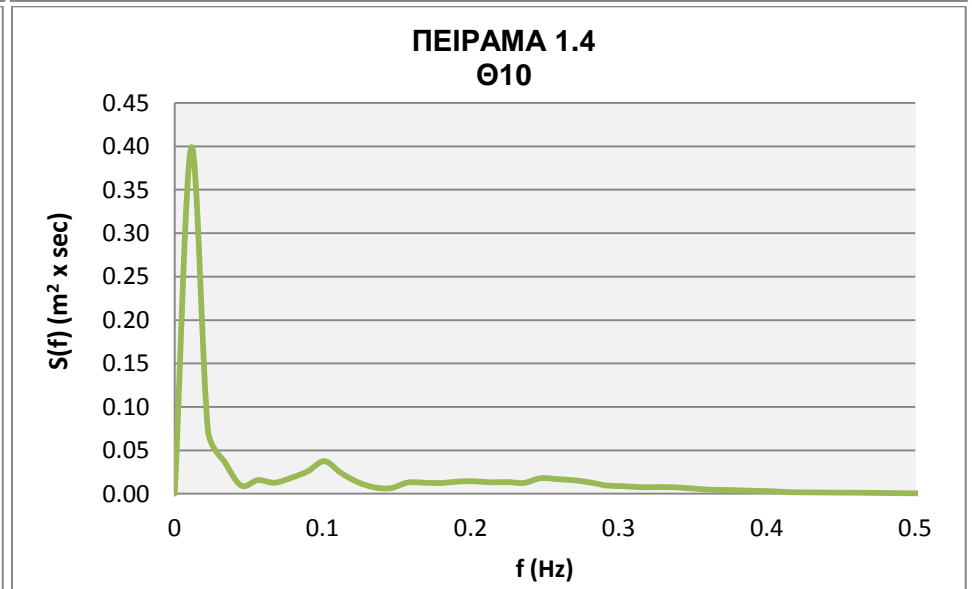
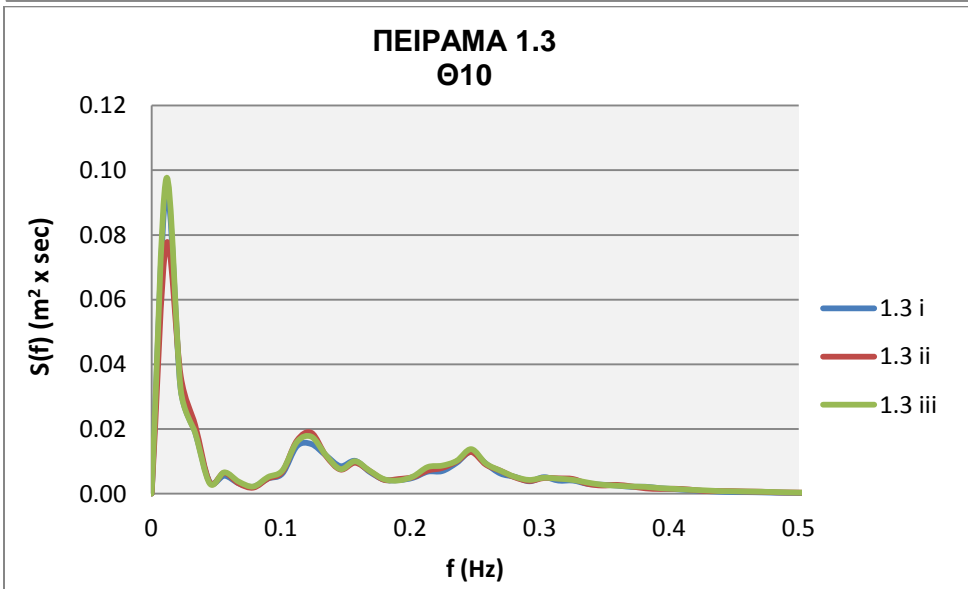
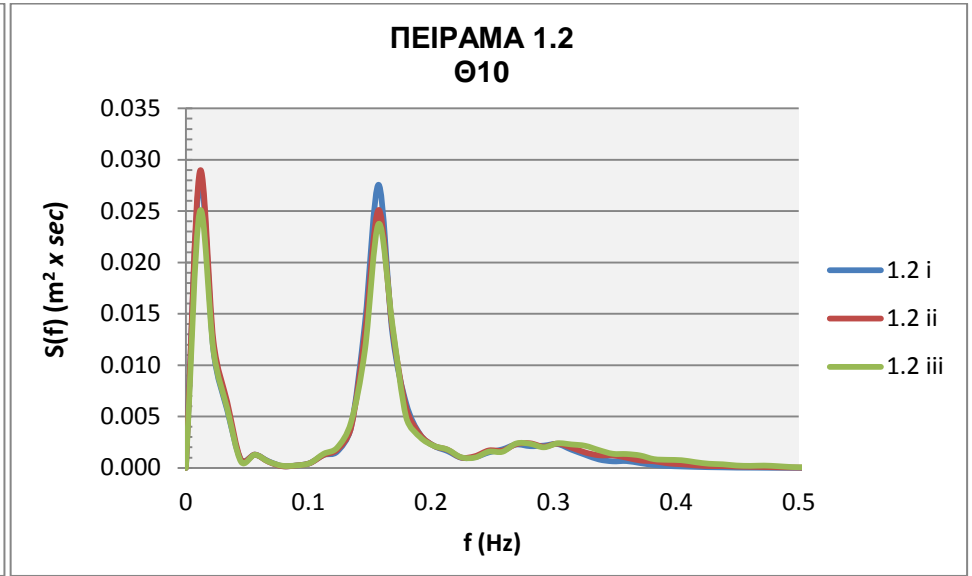
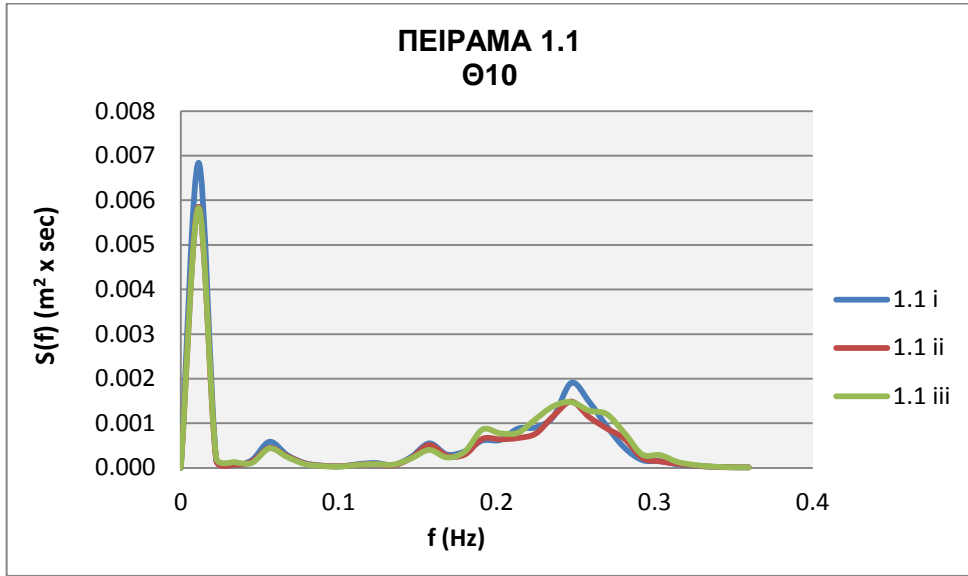
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ
ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗΣ
ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ
ΚΑΙ ΘΕΣΗ

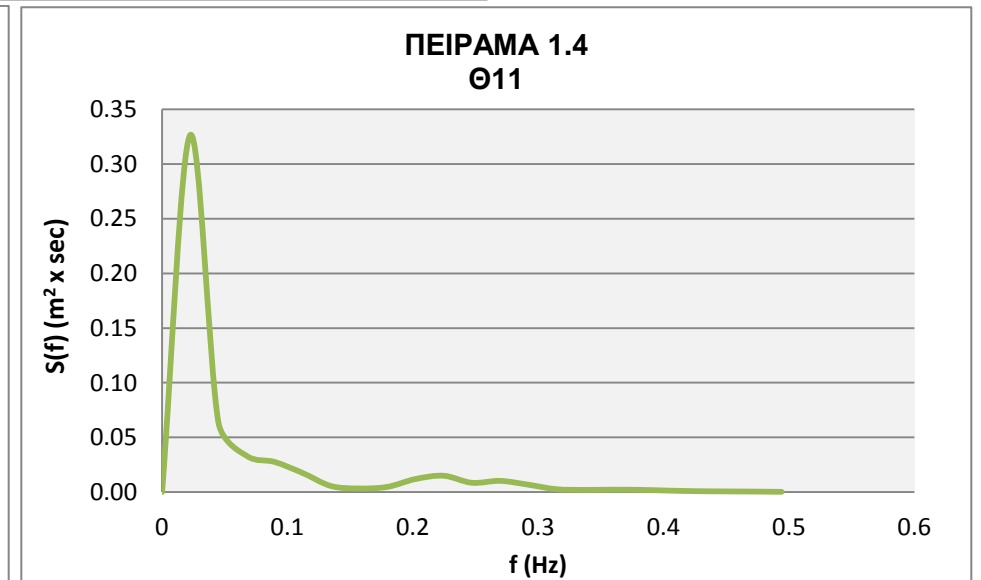
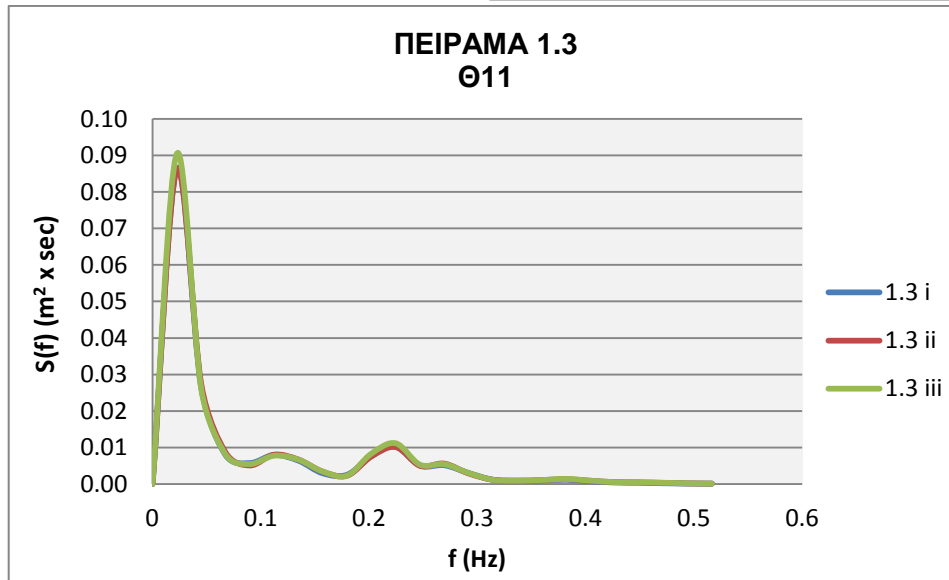
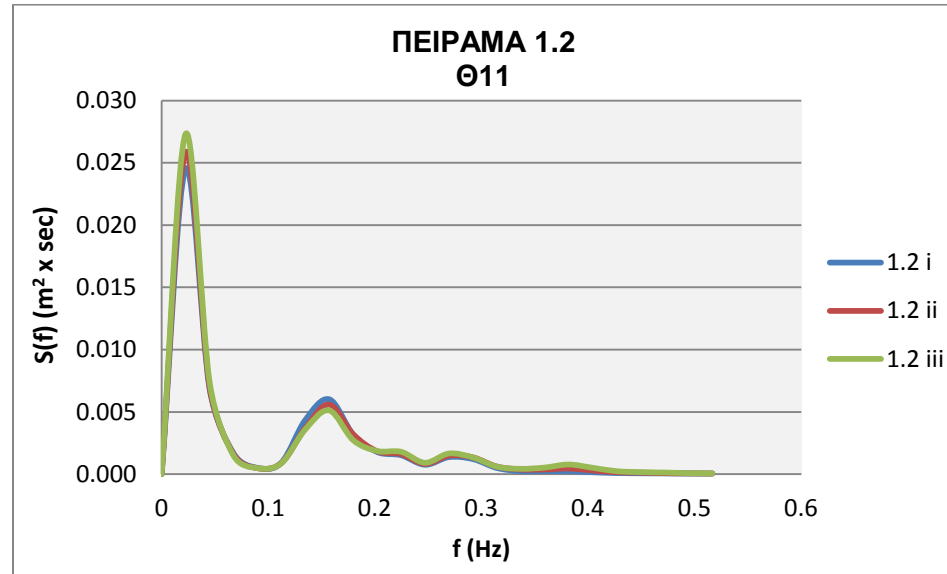
ΝΟΤΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ9



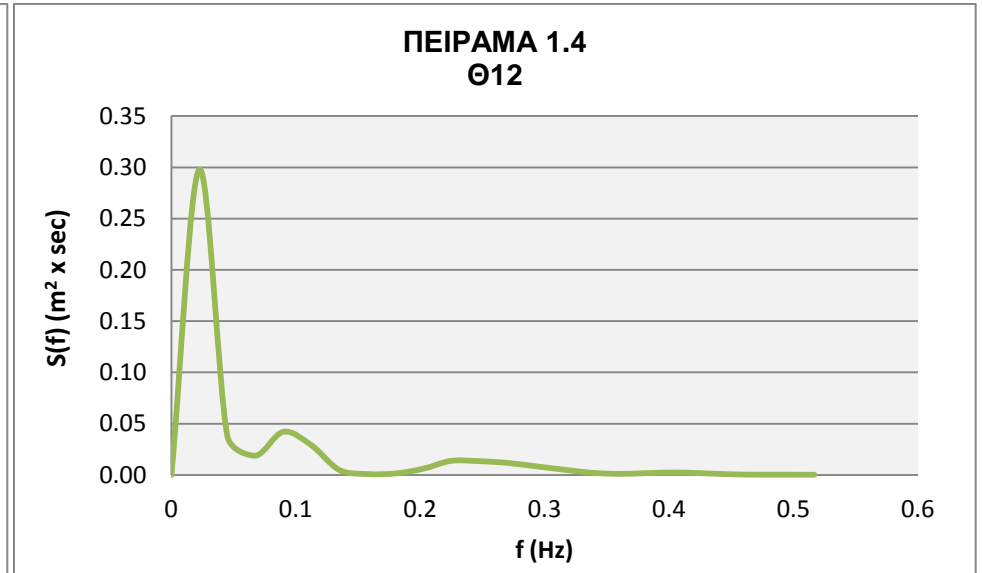
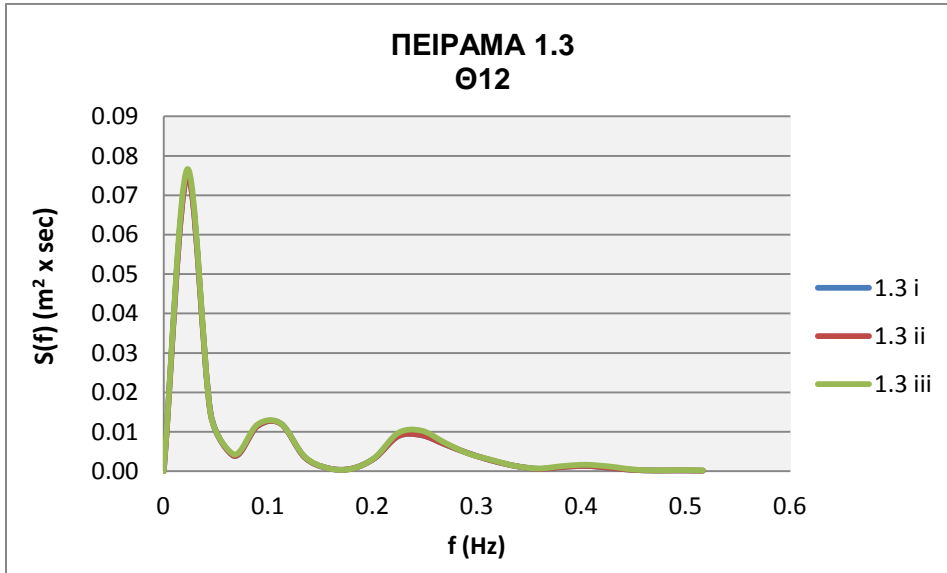
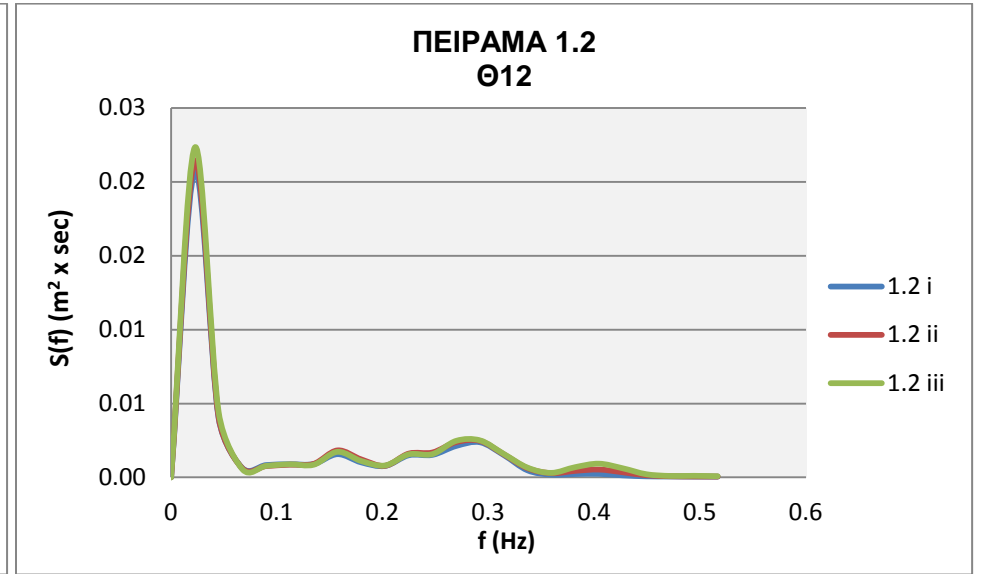
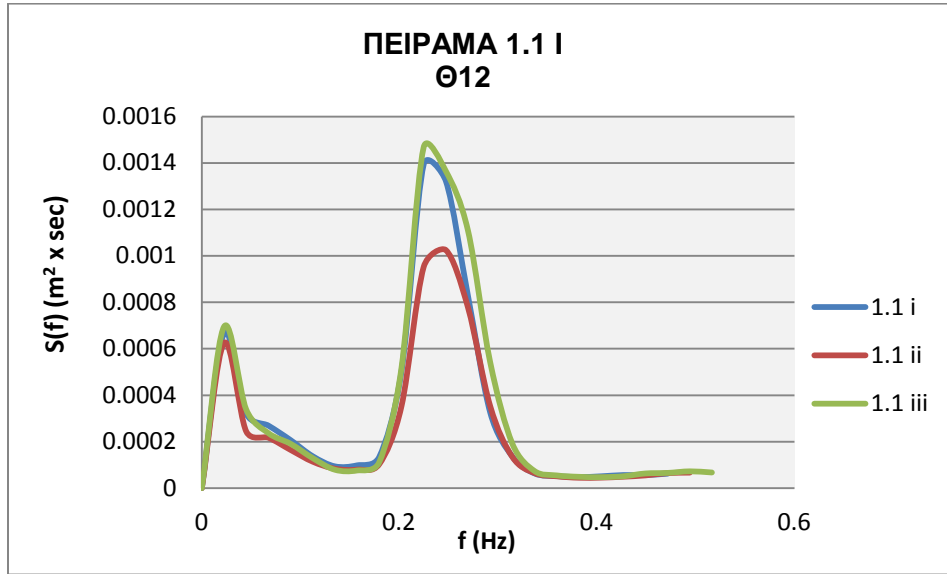
ΝΟΤΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ10



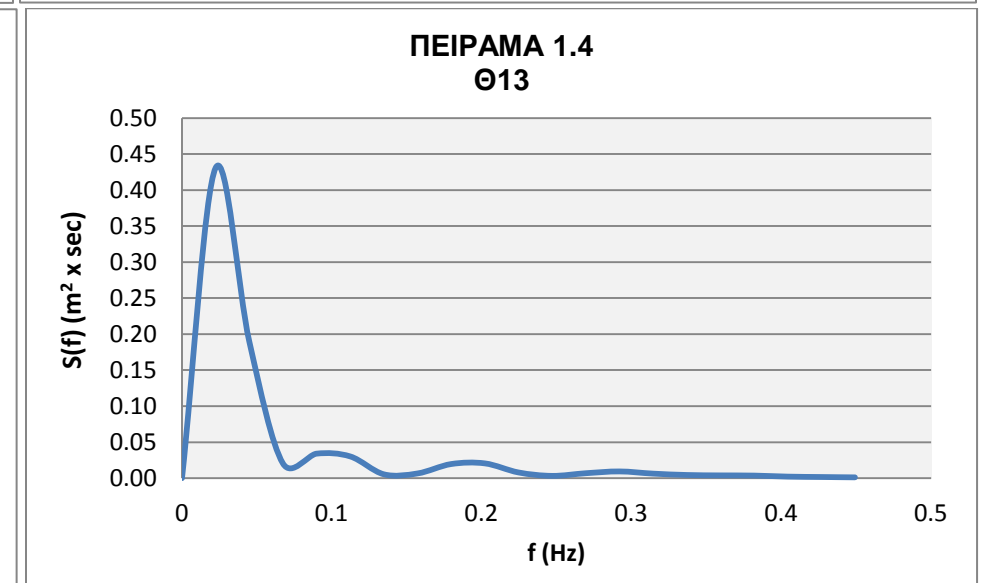
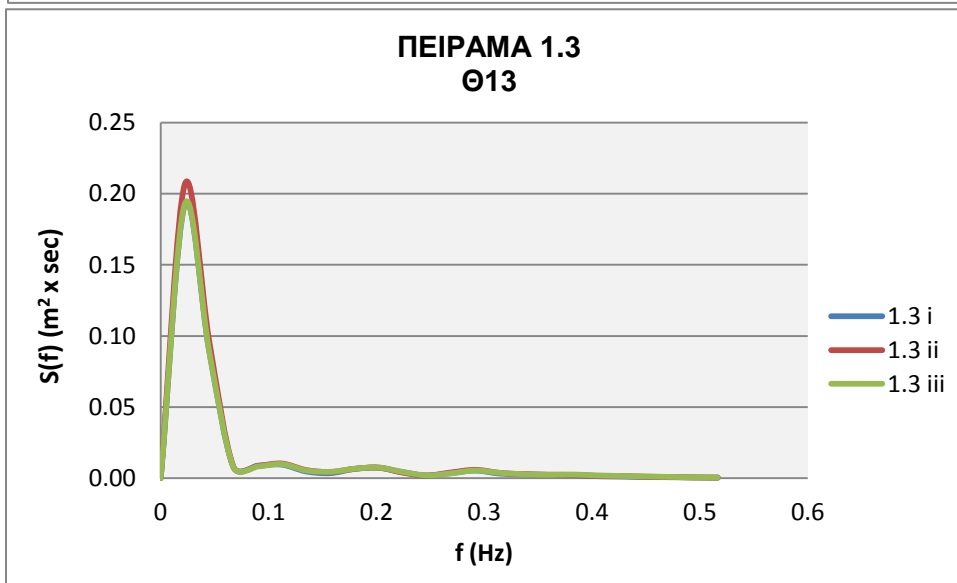
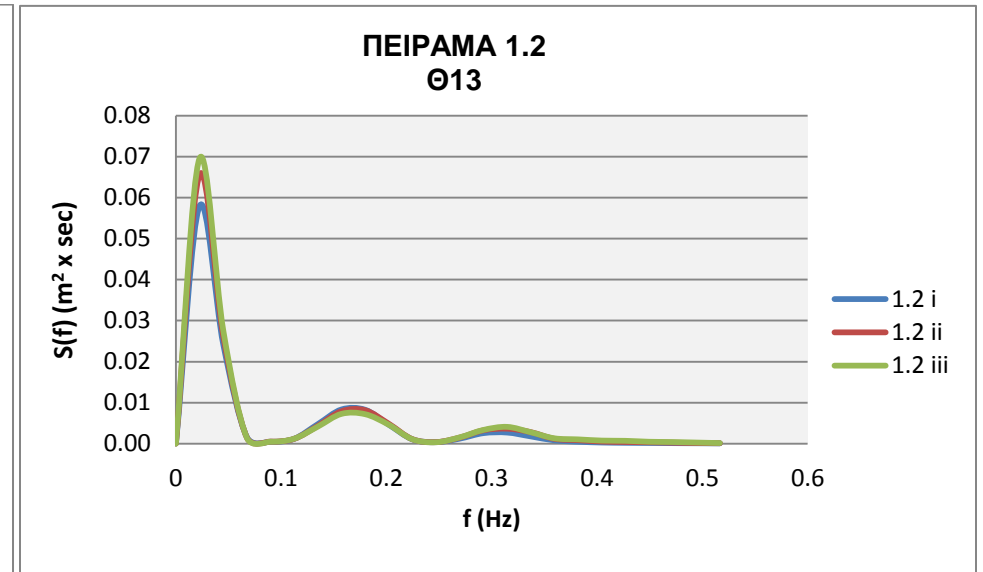
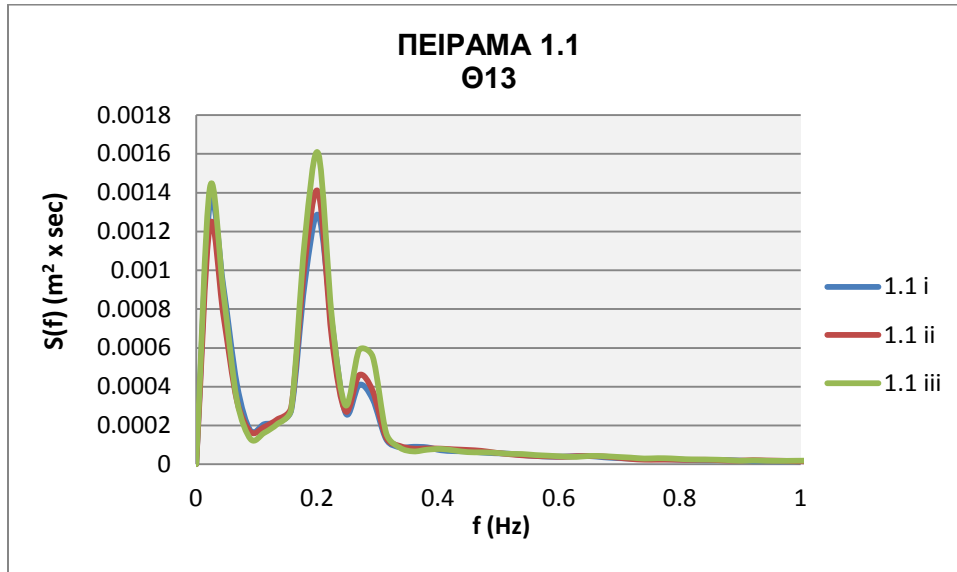
ΝΟΤΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ11



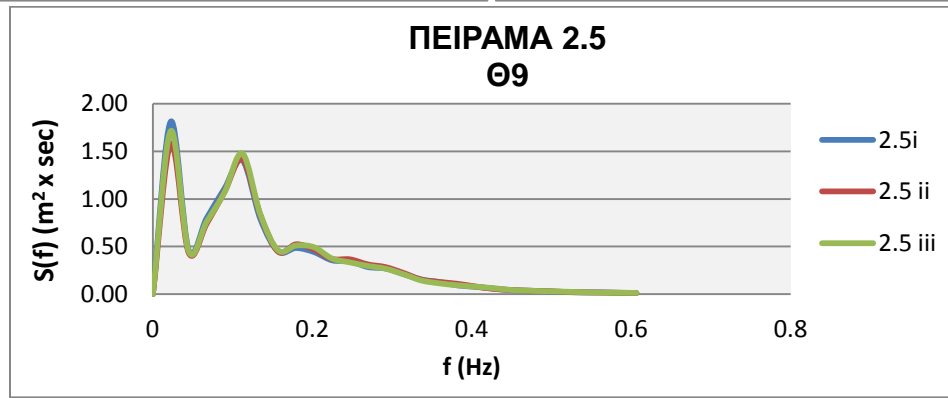
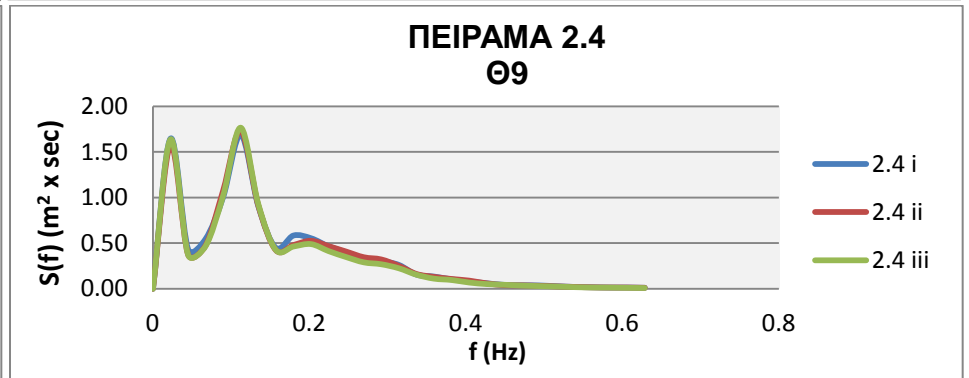
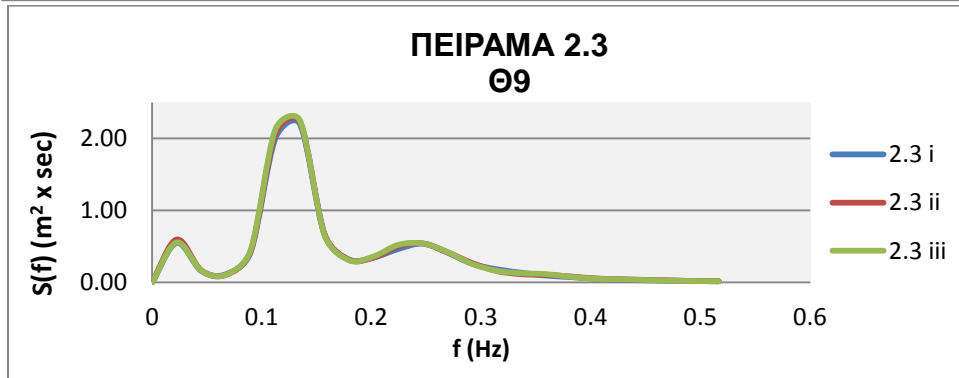
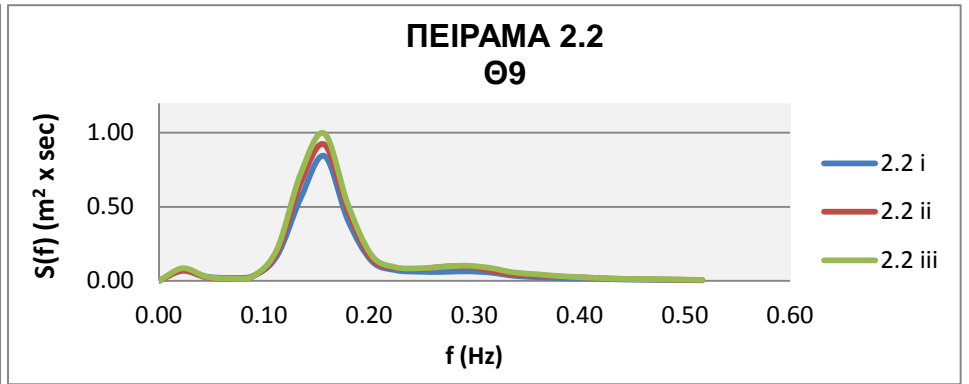
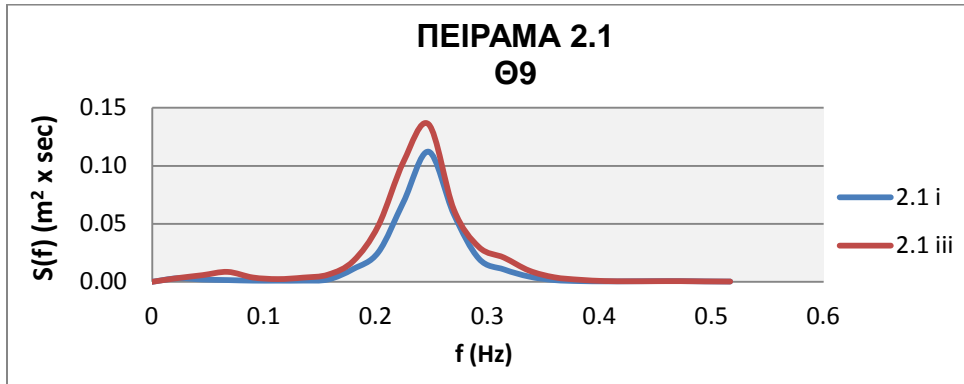
ΝΟΤΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ12



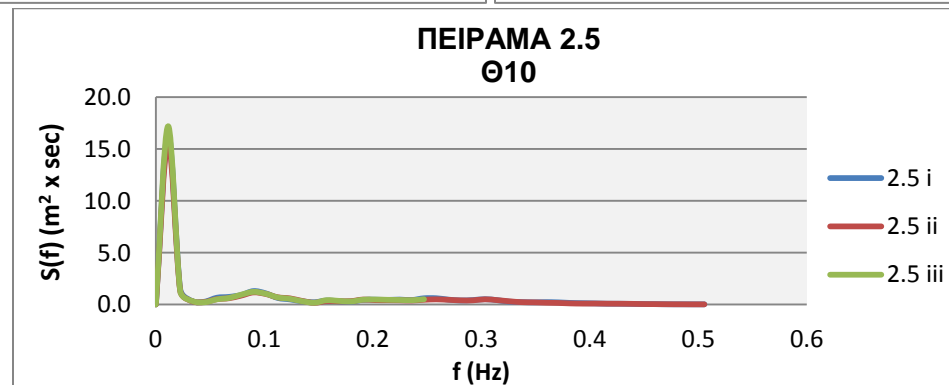
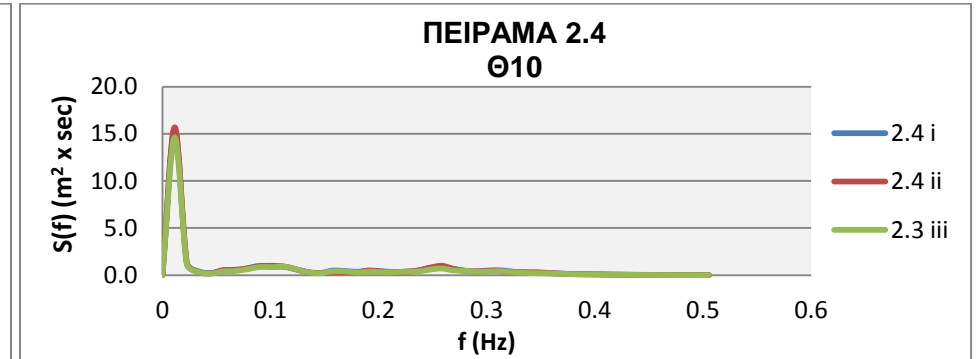
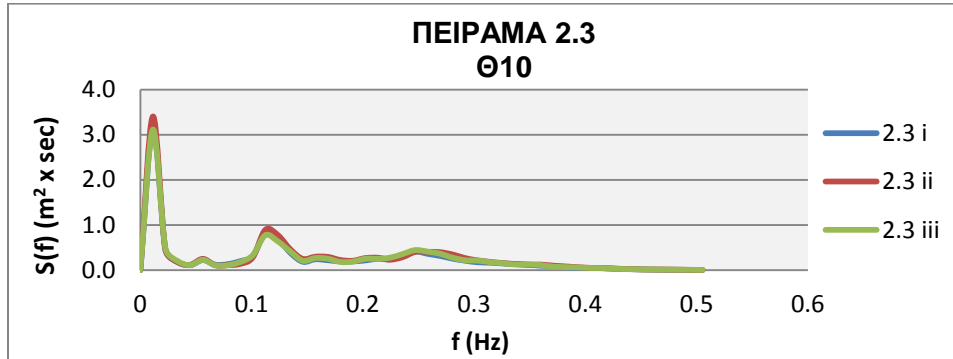
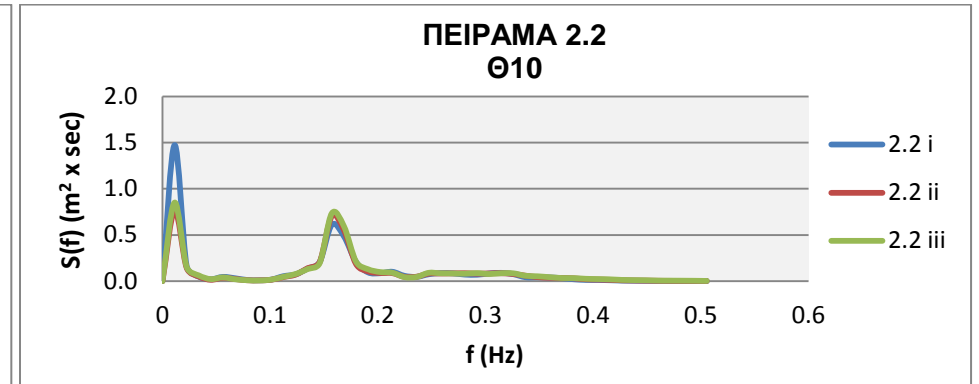
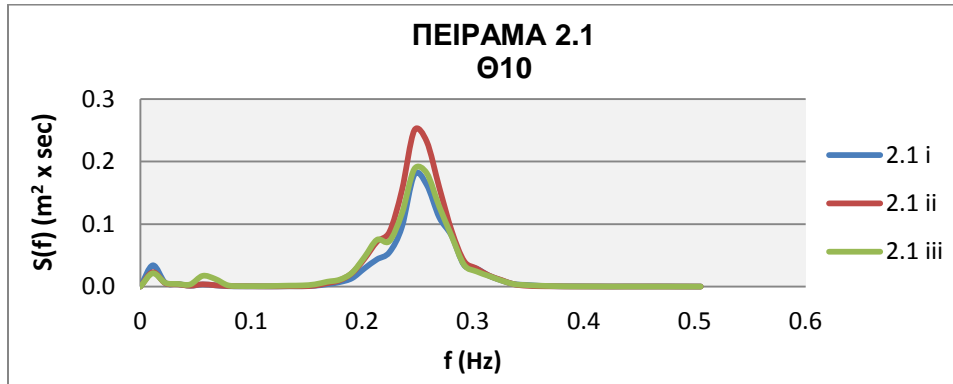
ΝΟΤΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ13



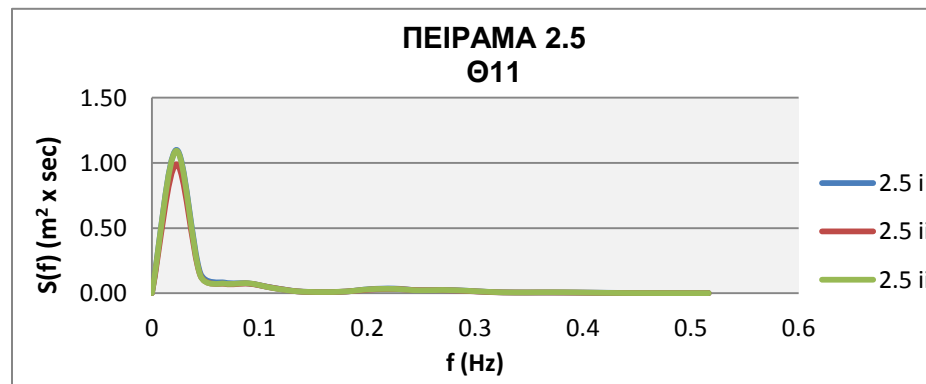
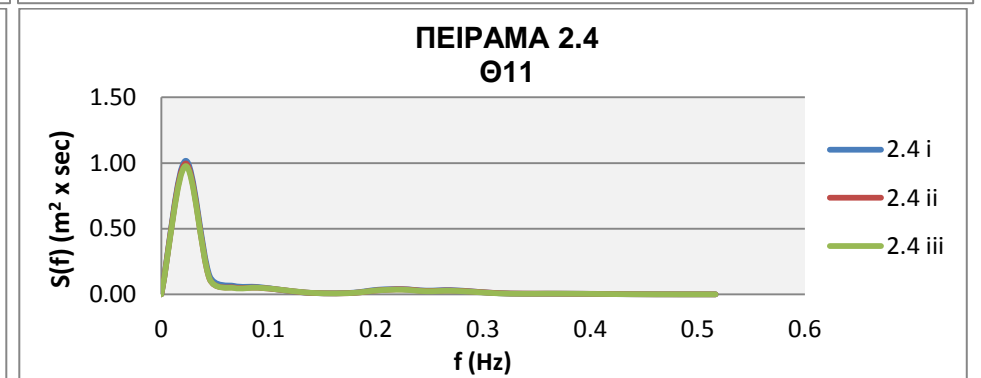
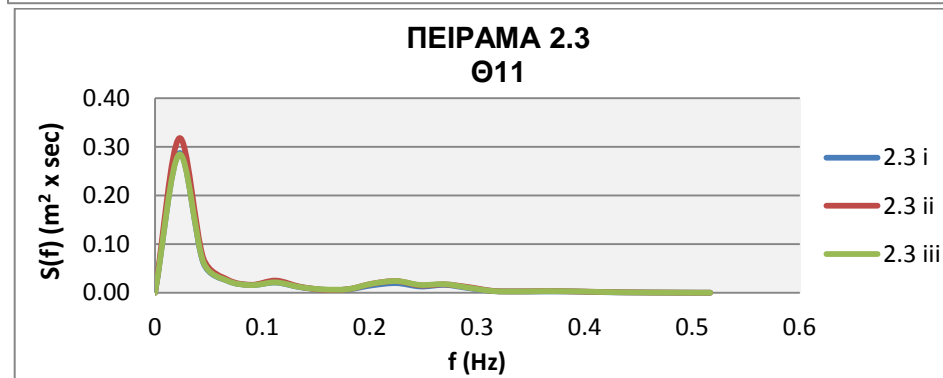
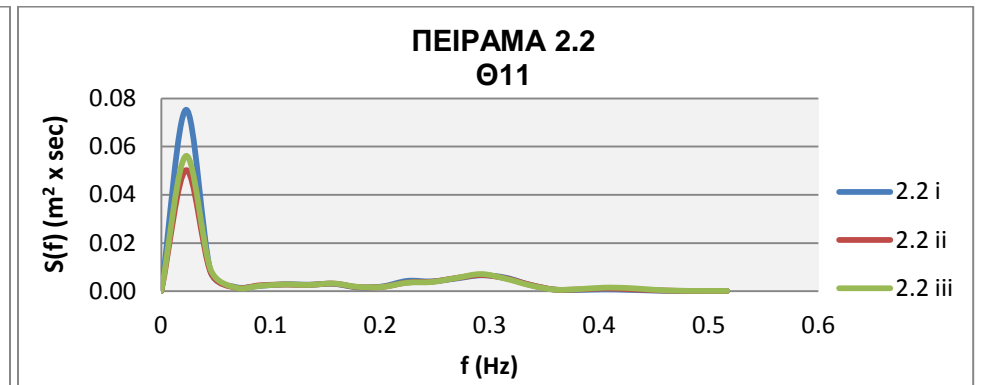
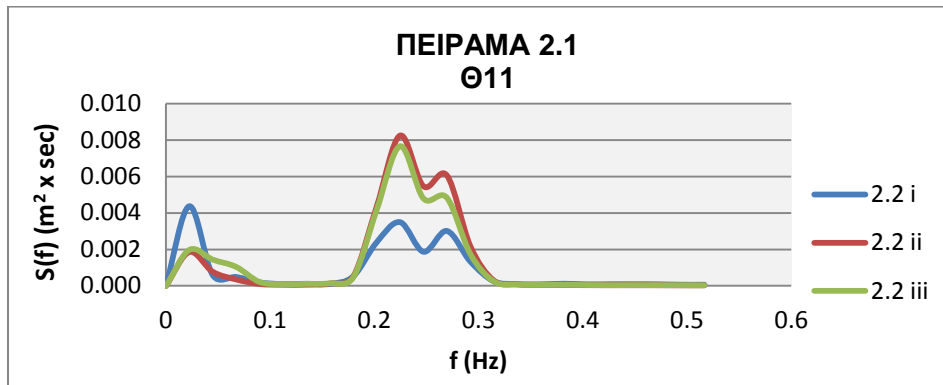
ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ_9



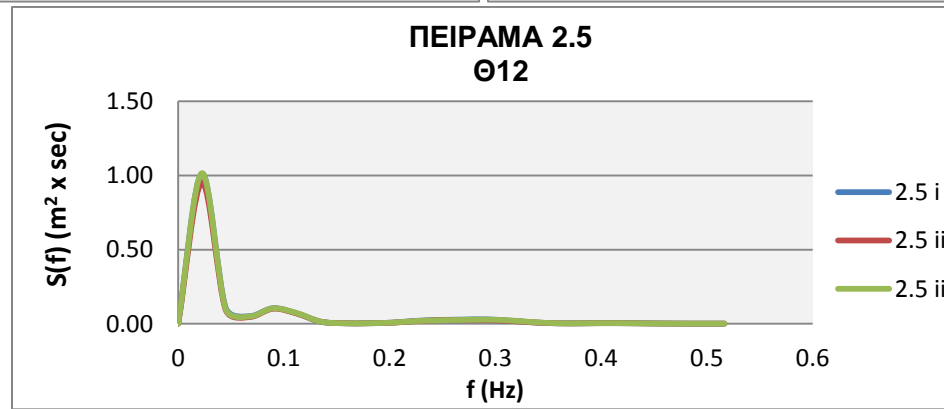
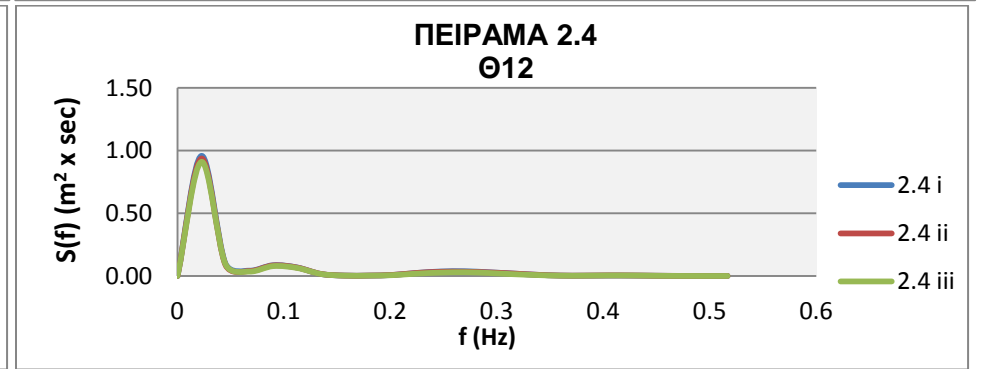
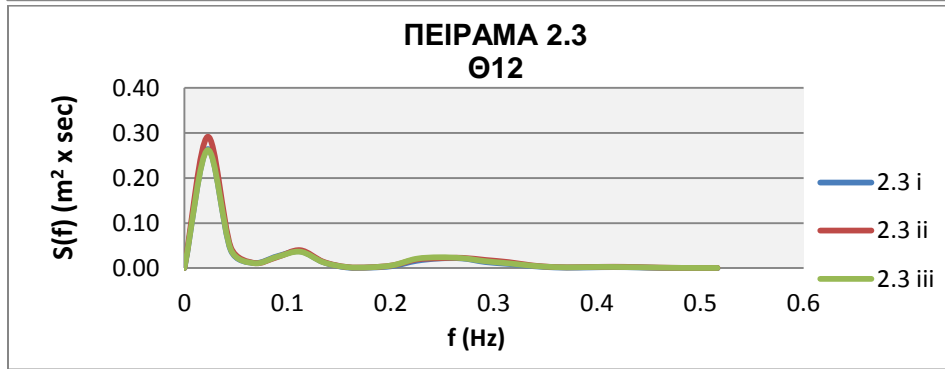
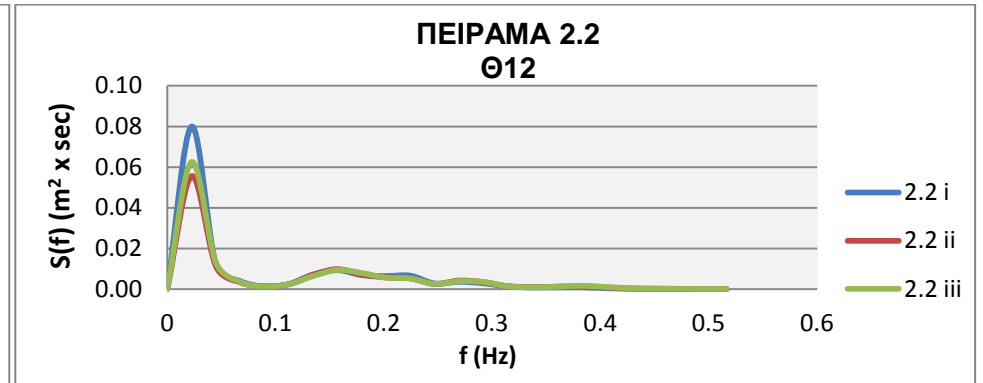
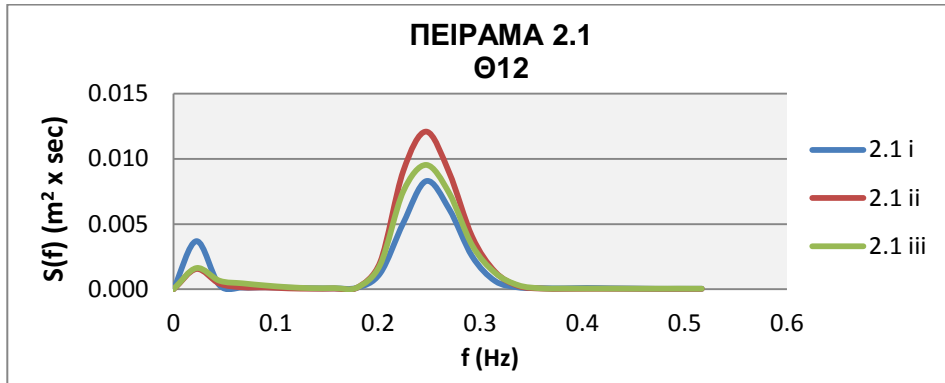
ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ10



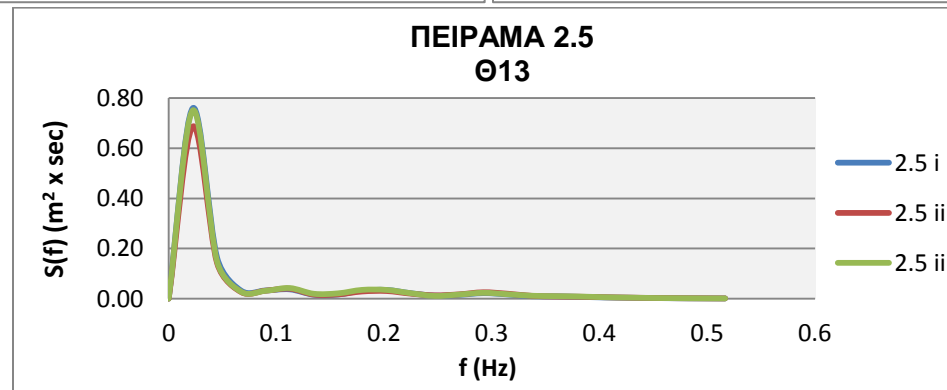
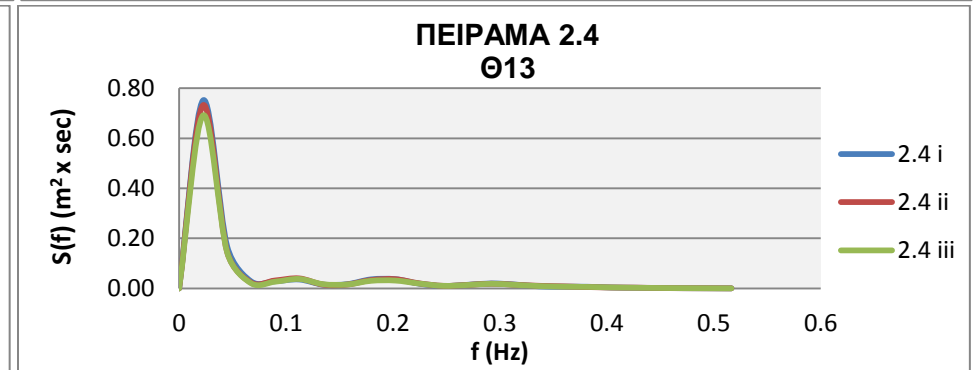
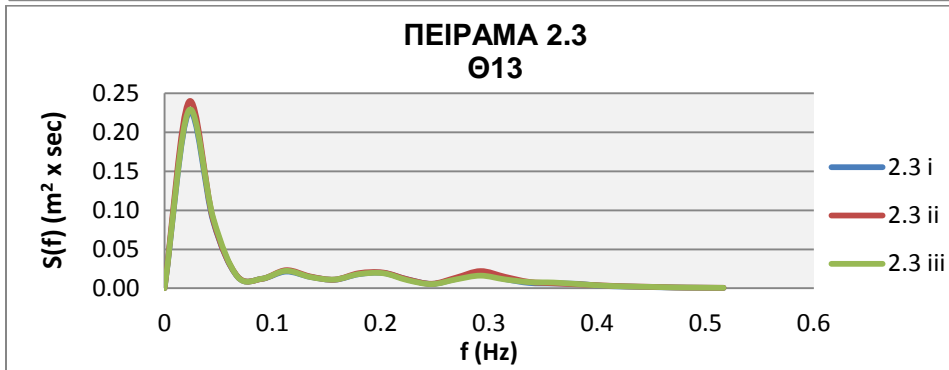
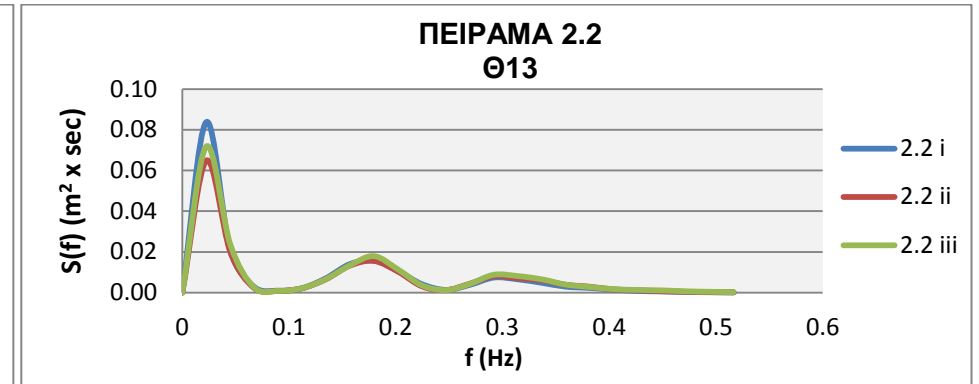
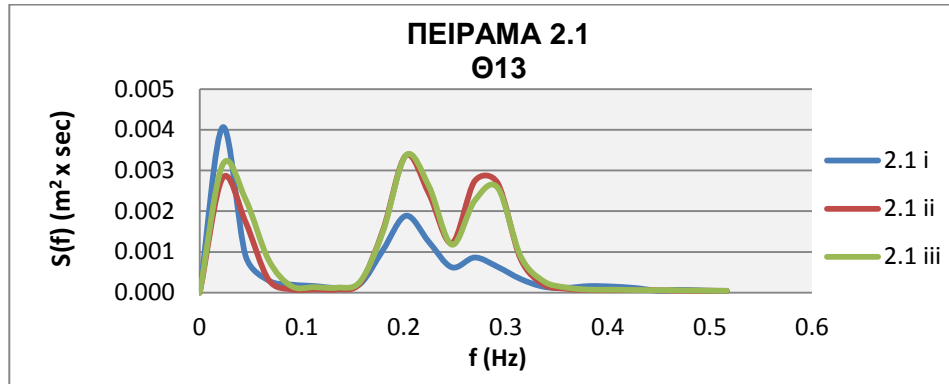
ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ11



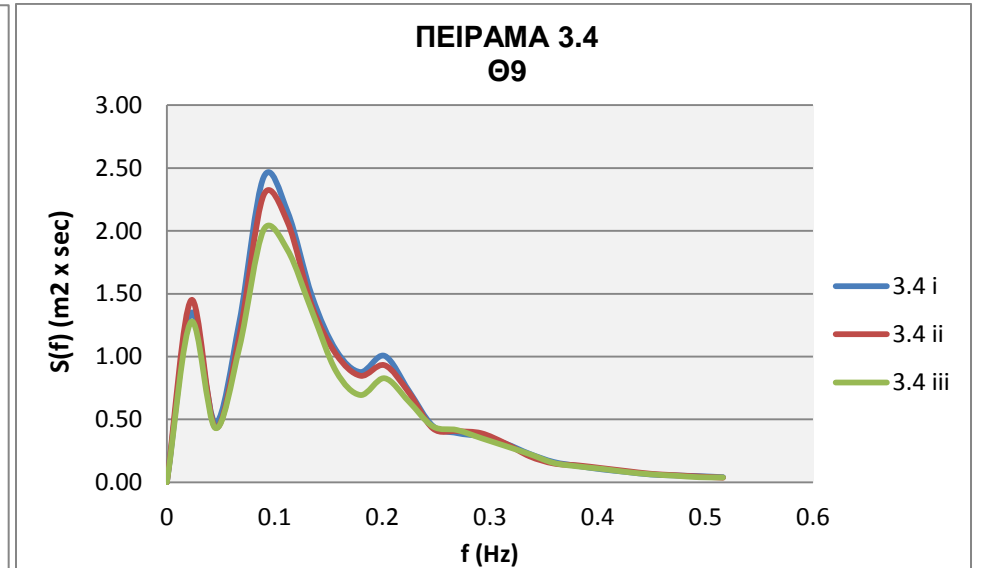
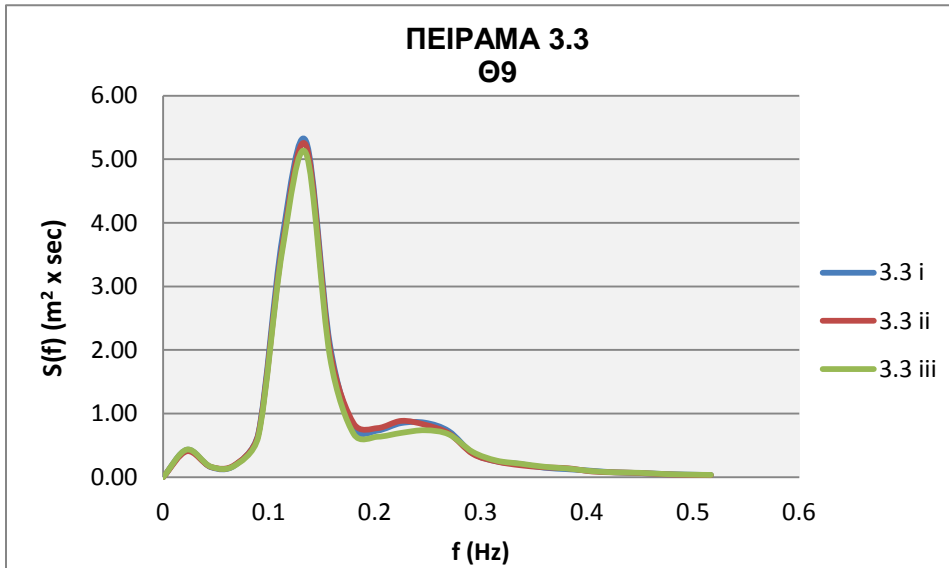
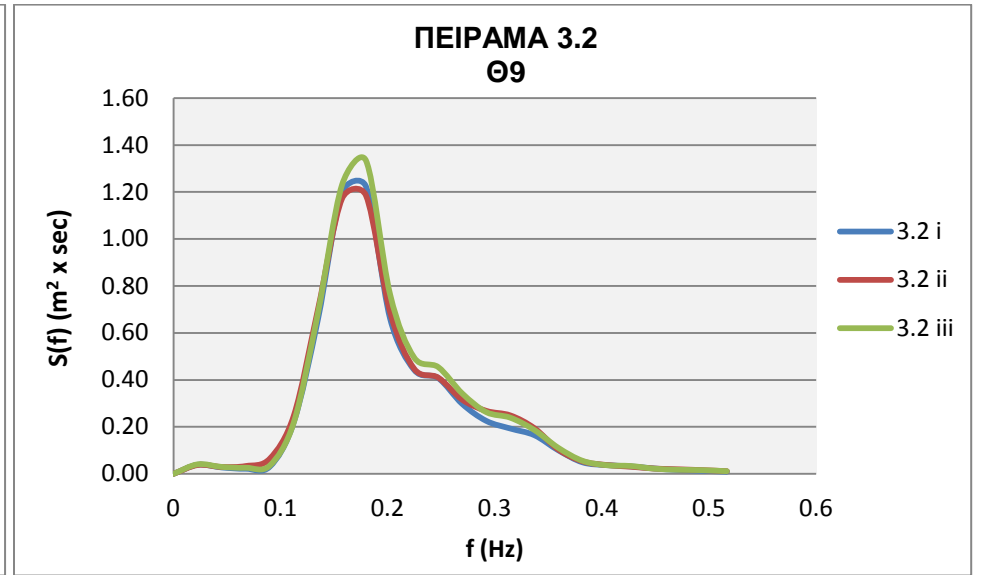
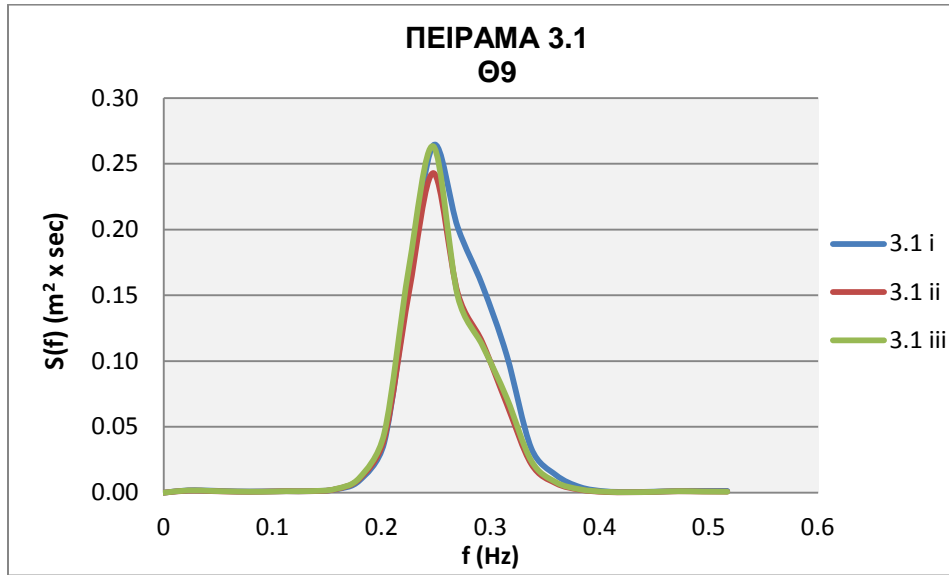
ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ12



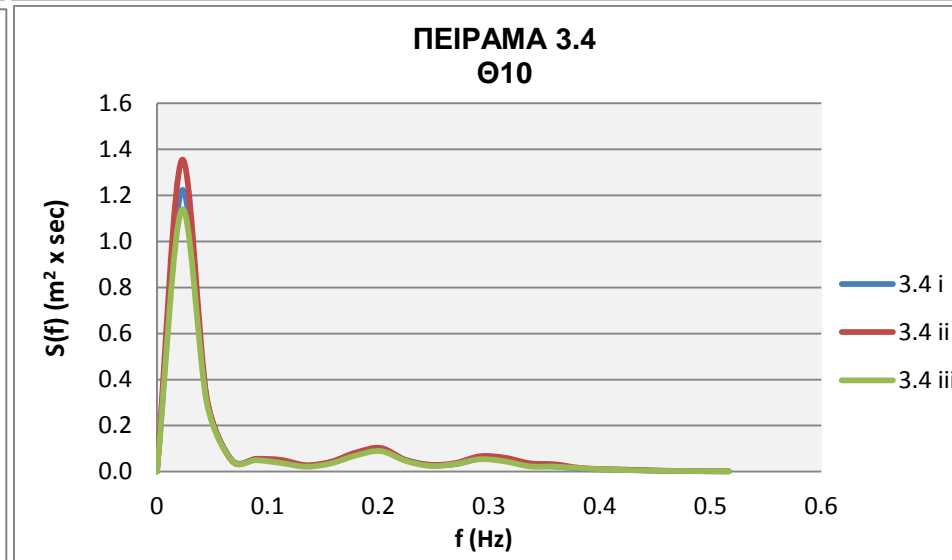
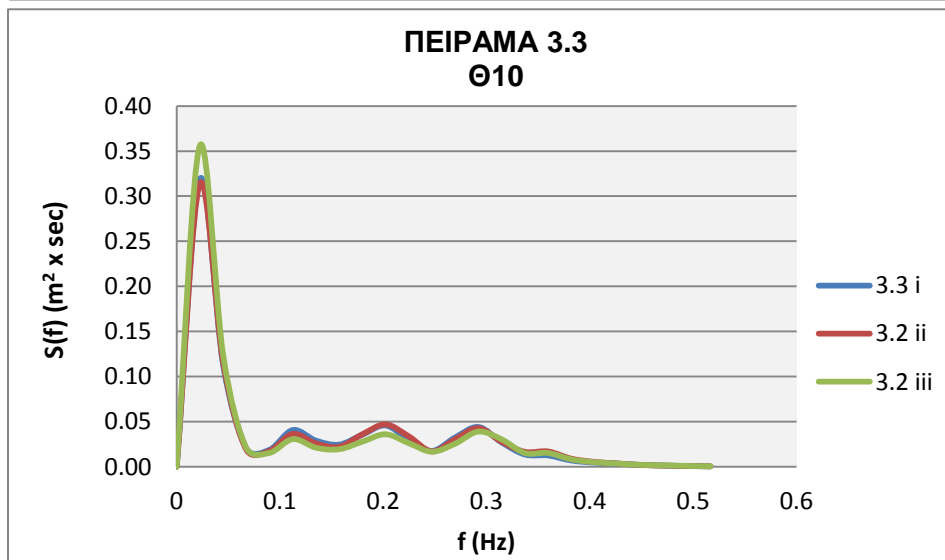
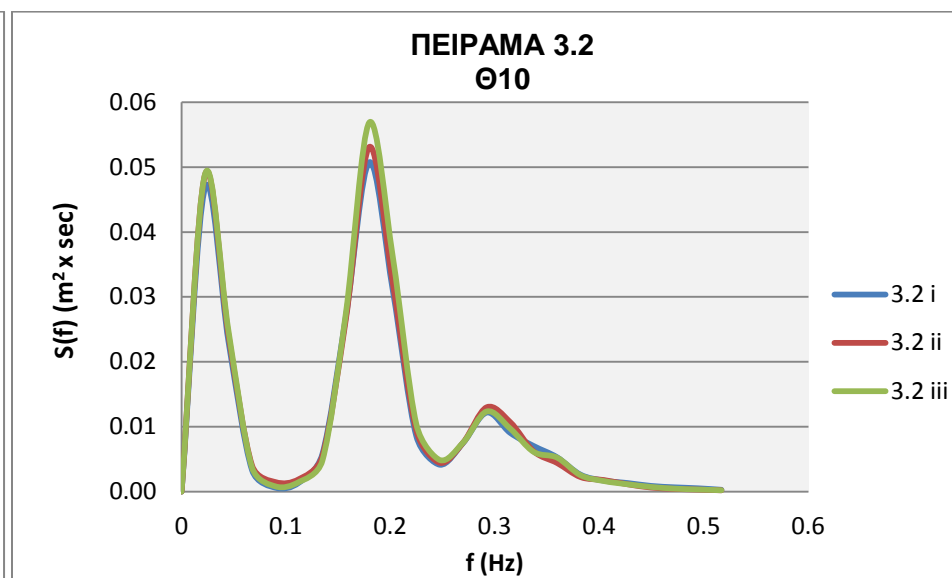
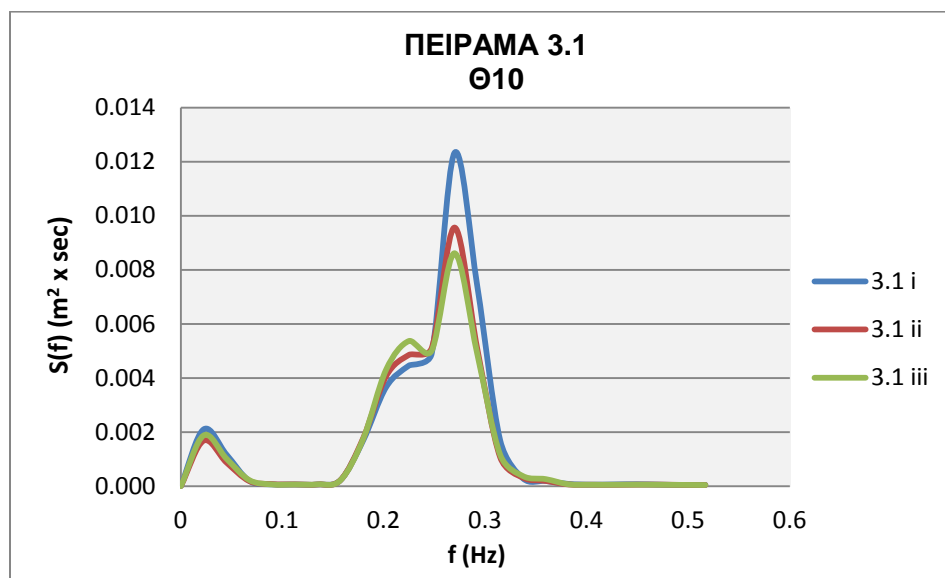
ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ13



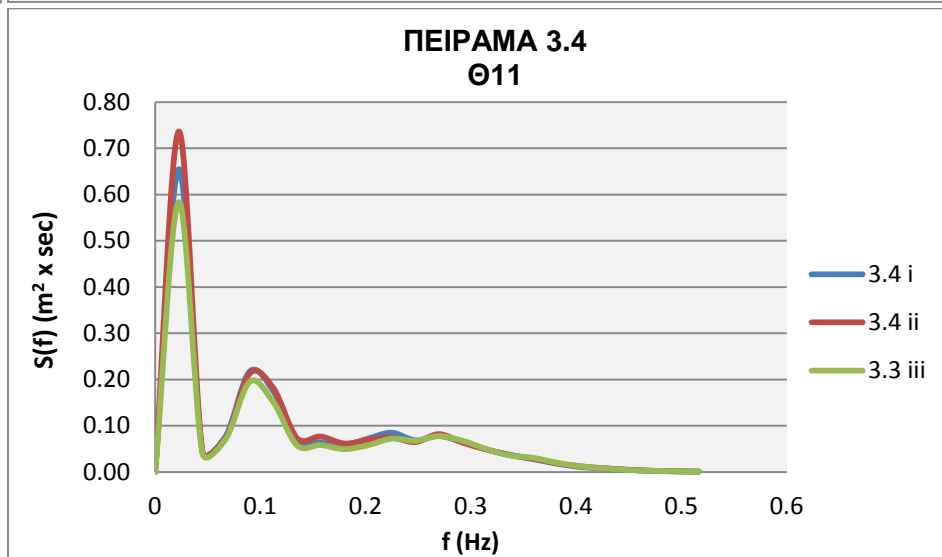
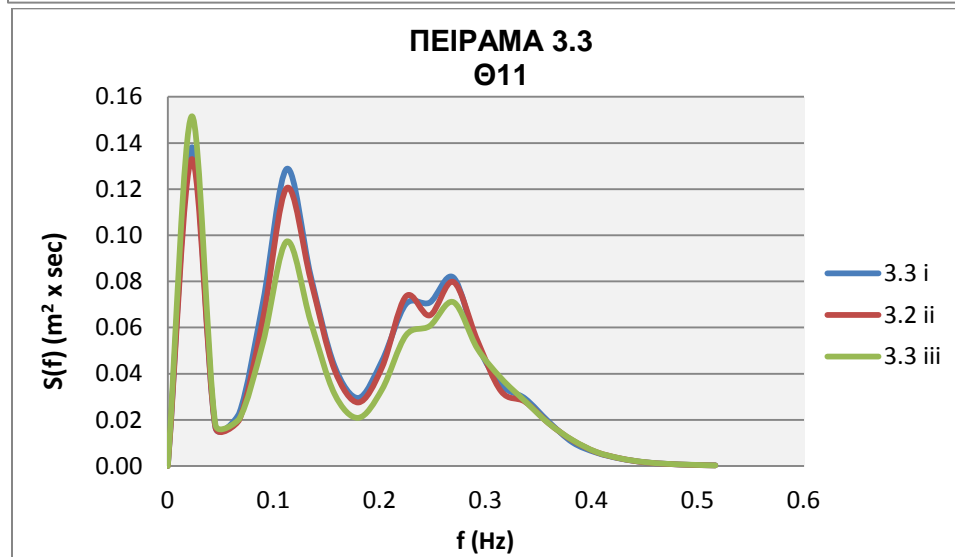
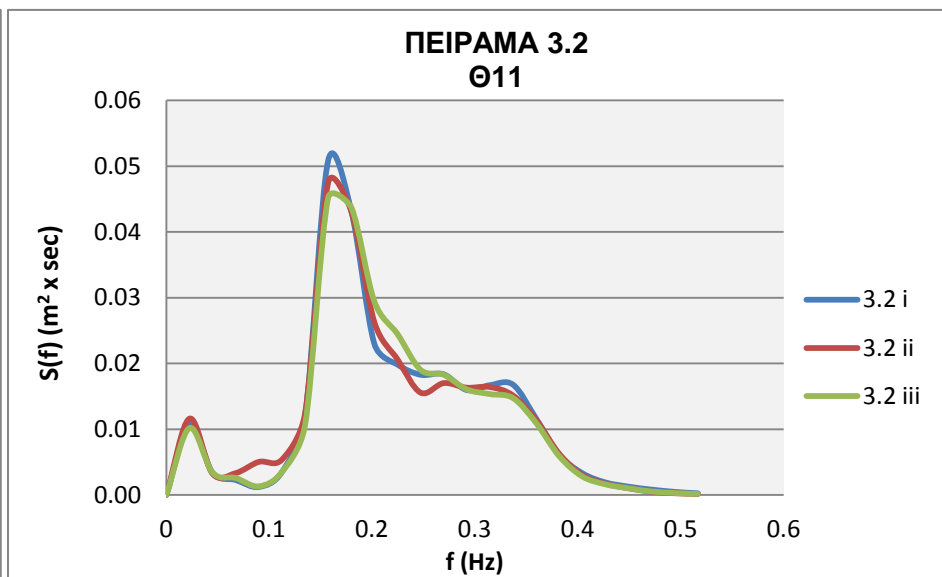
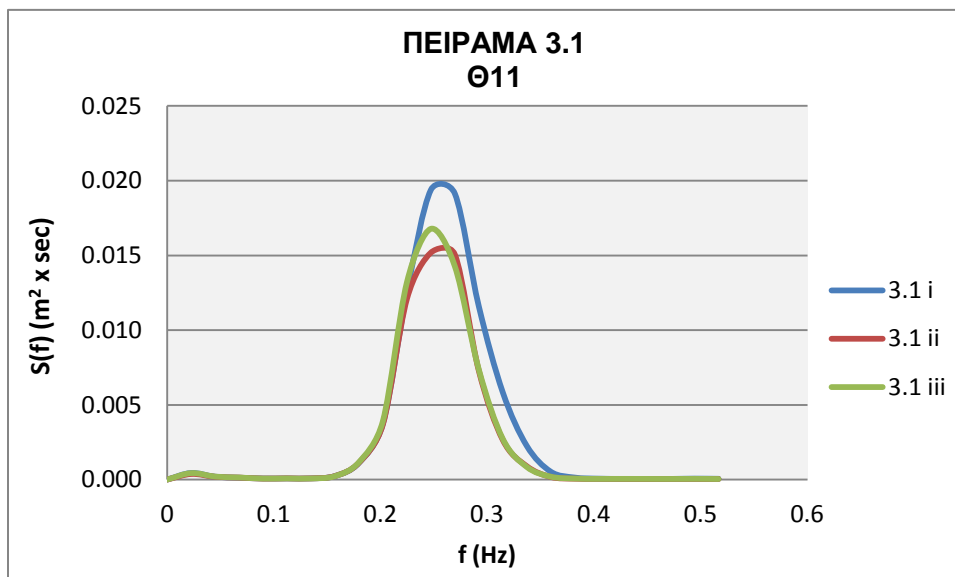
ΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ9



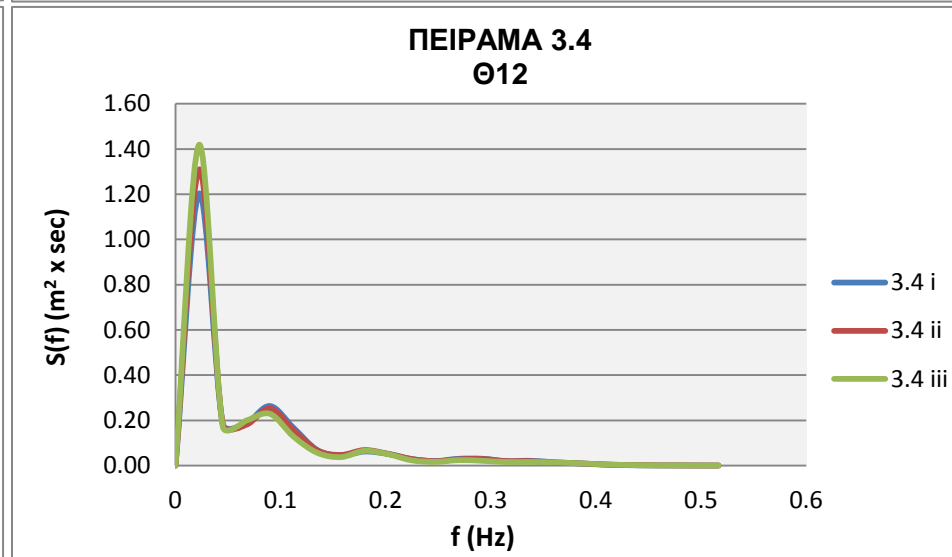
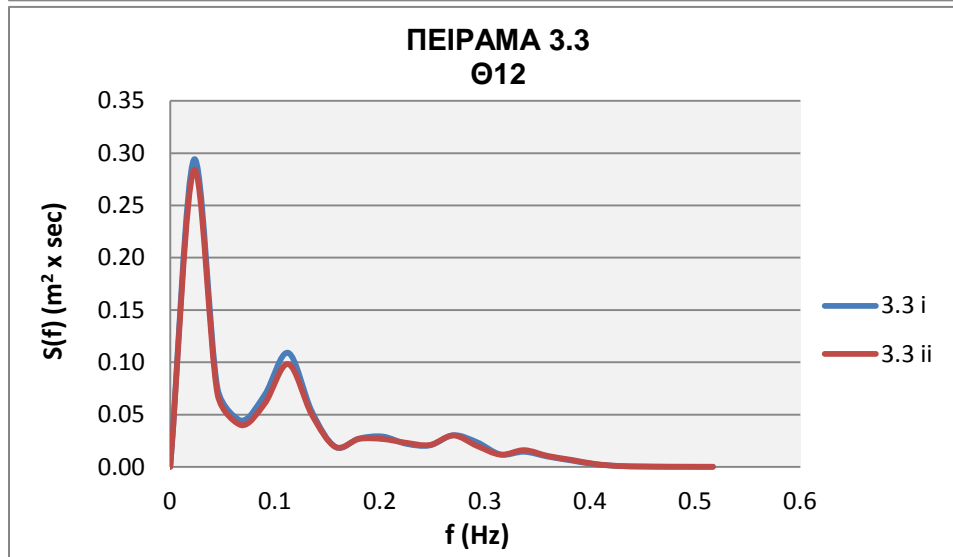
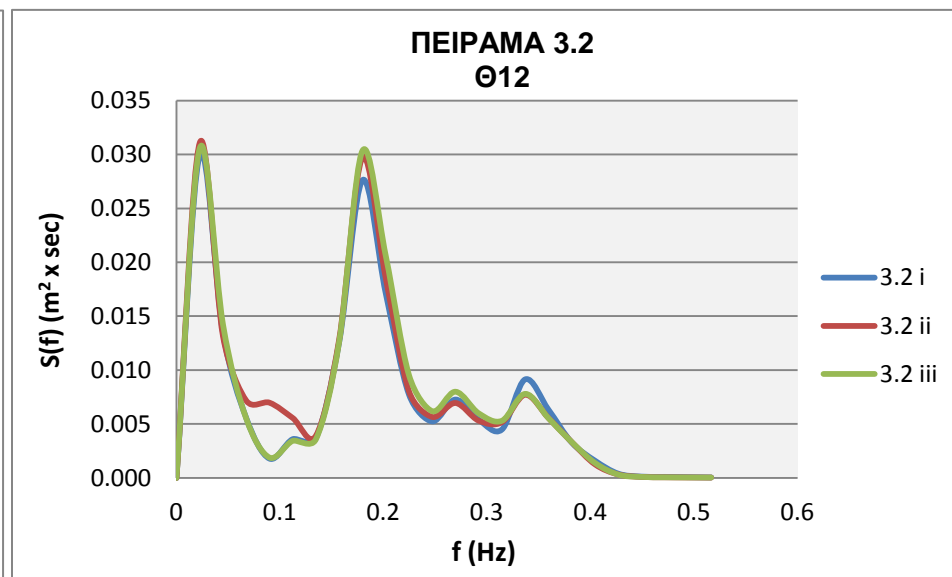
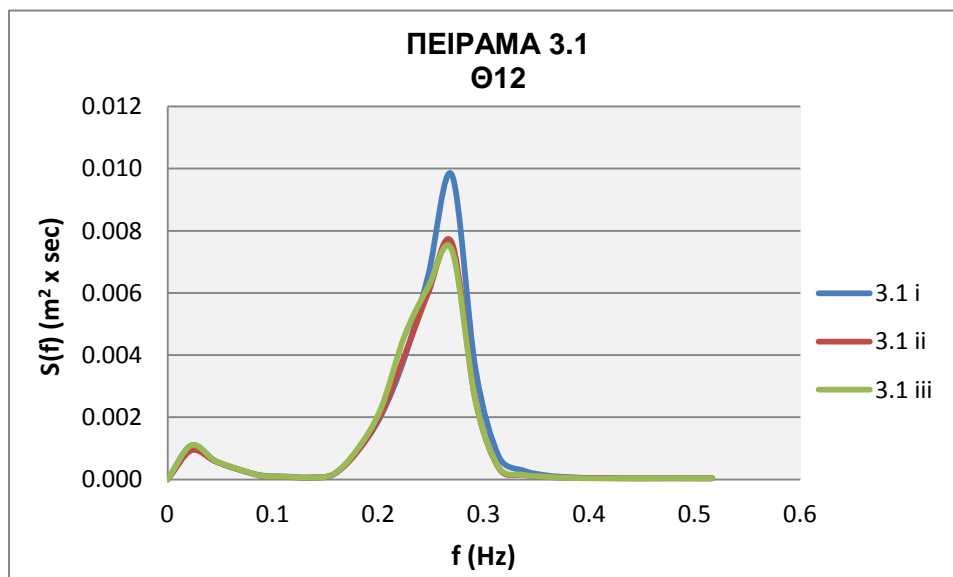
ΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ10



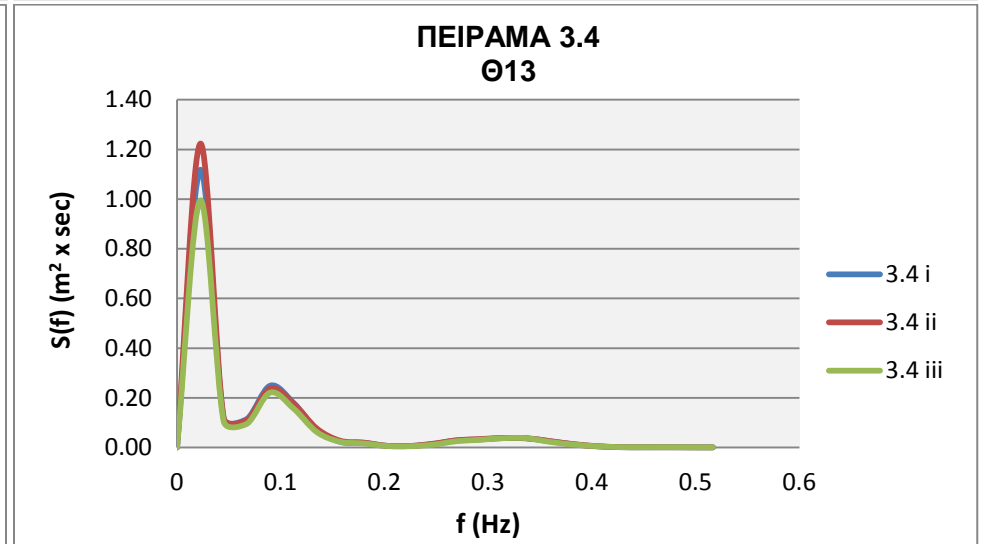
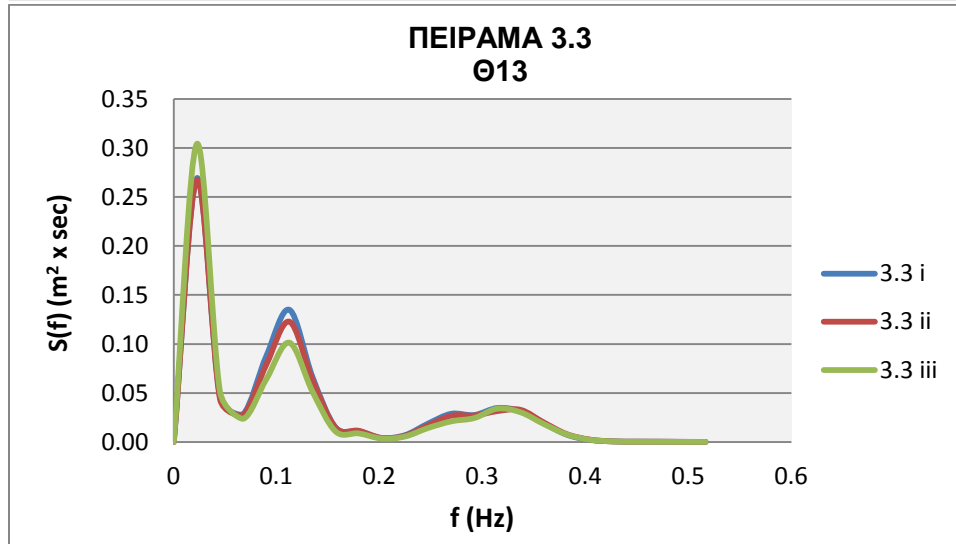
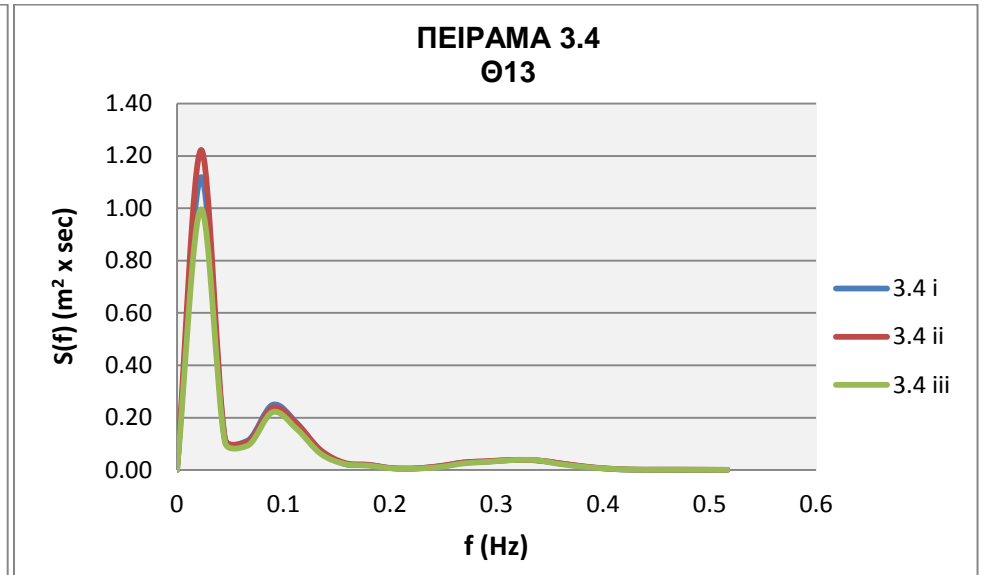
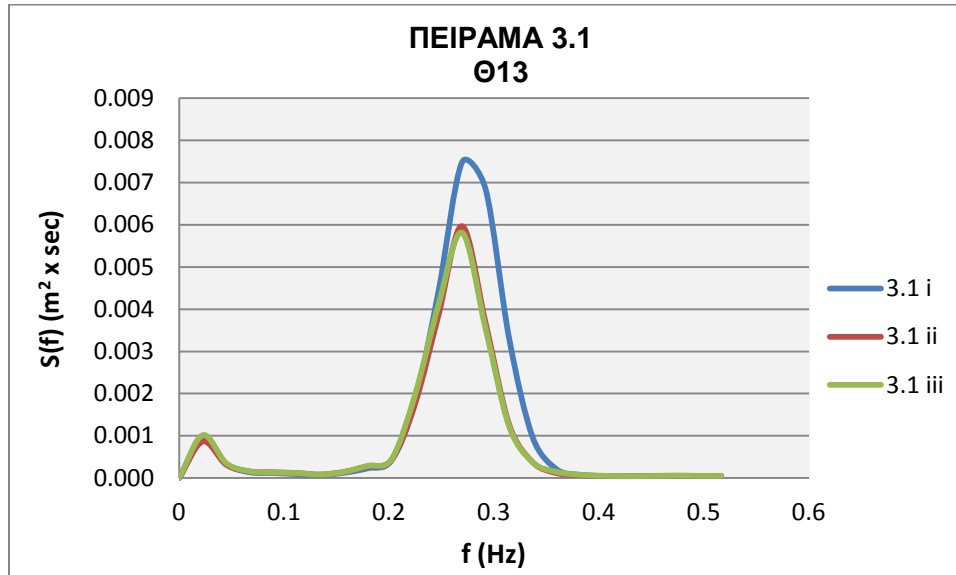
ΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ11



ΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ12

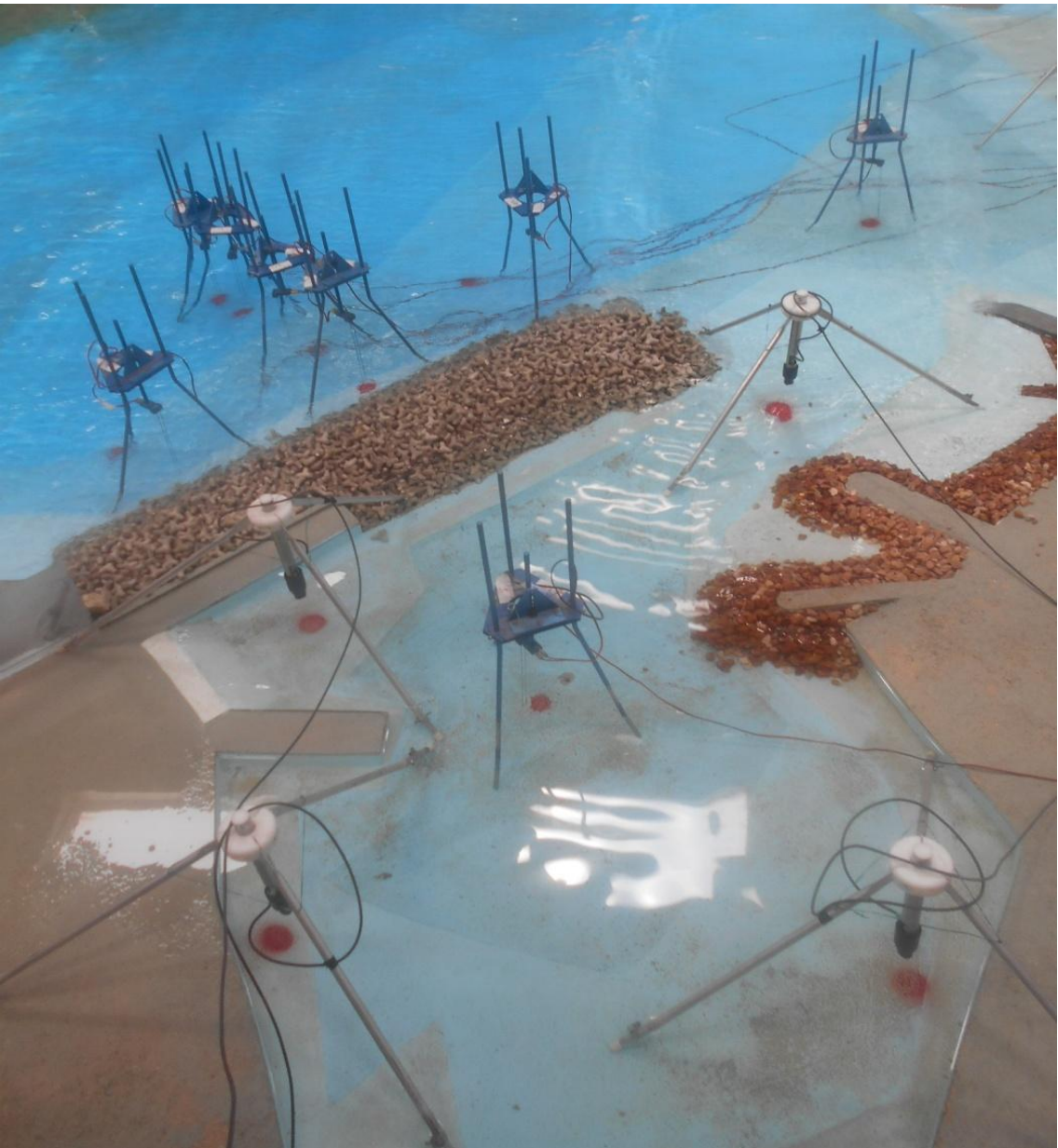
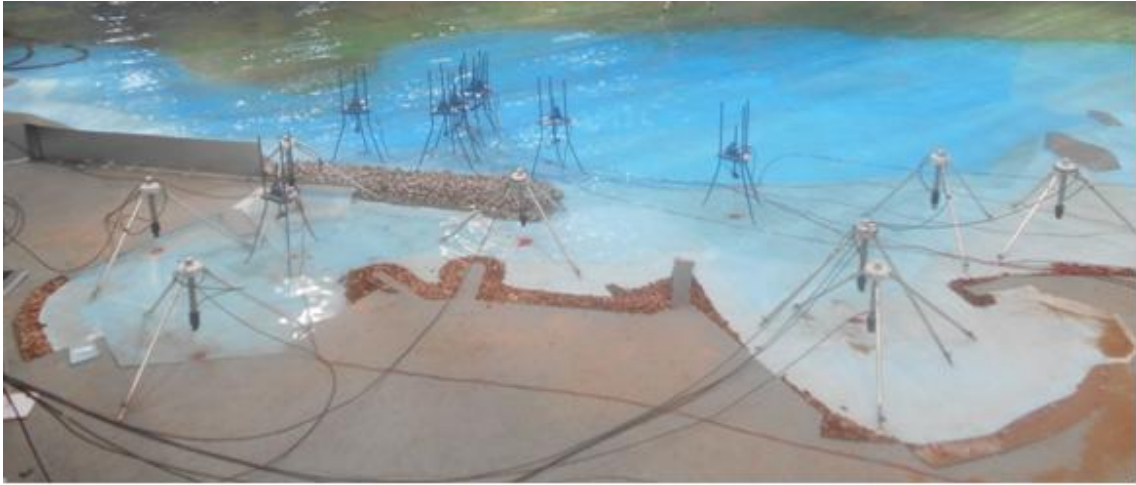


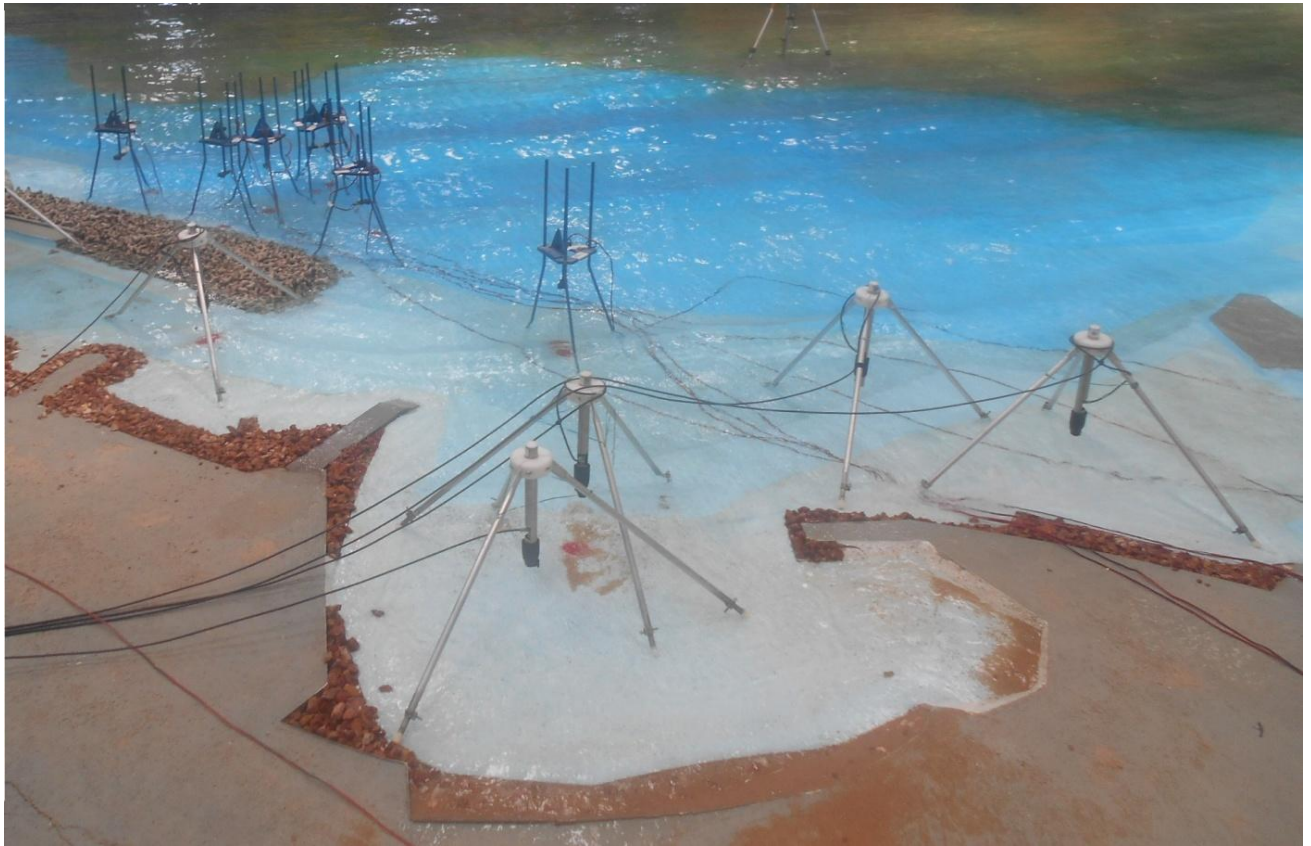
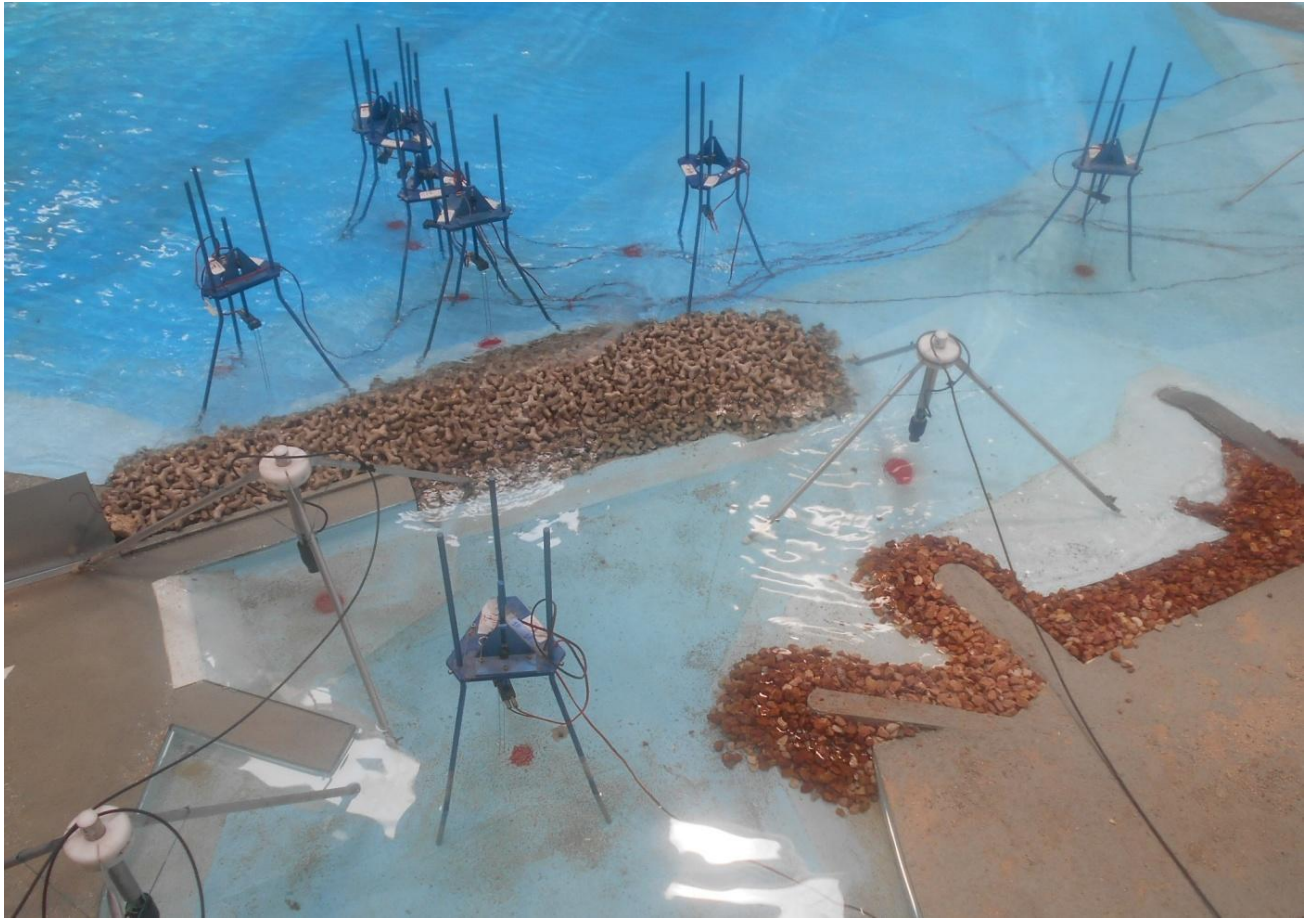
ΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ, Θ13



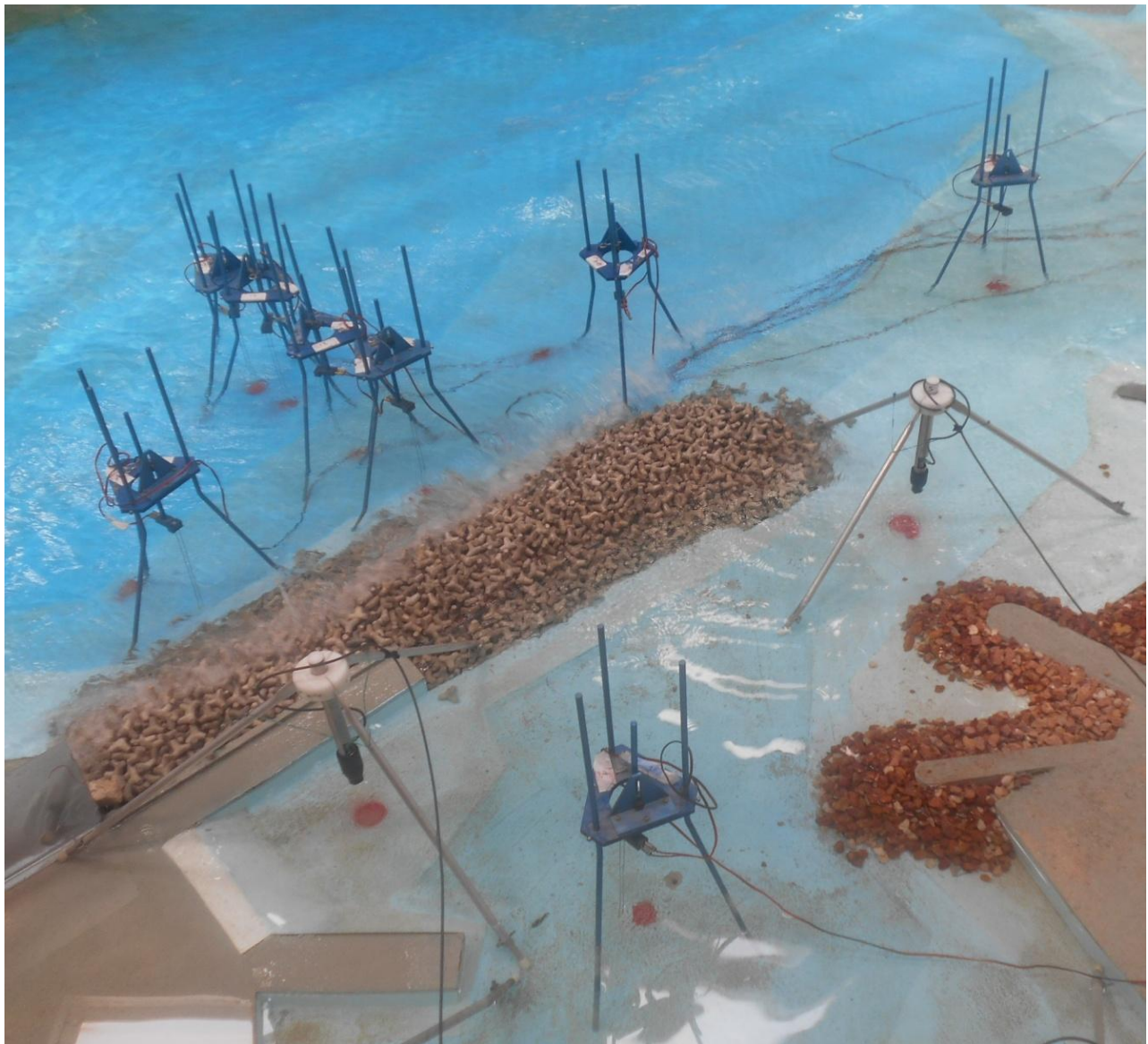
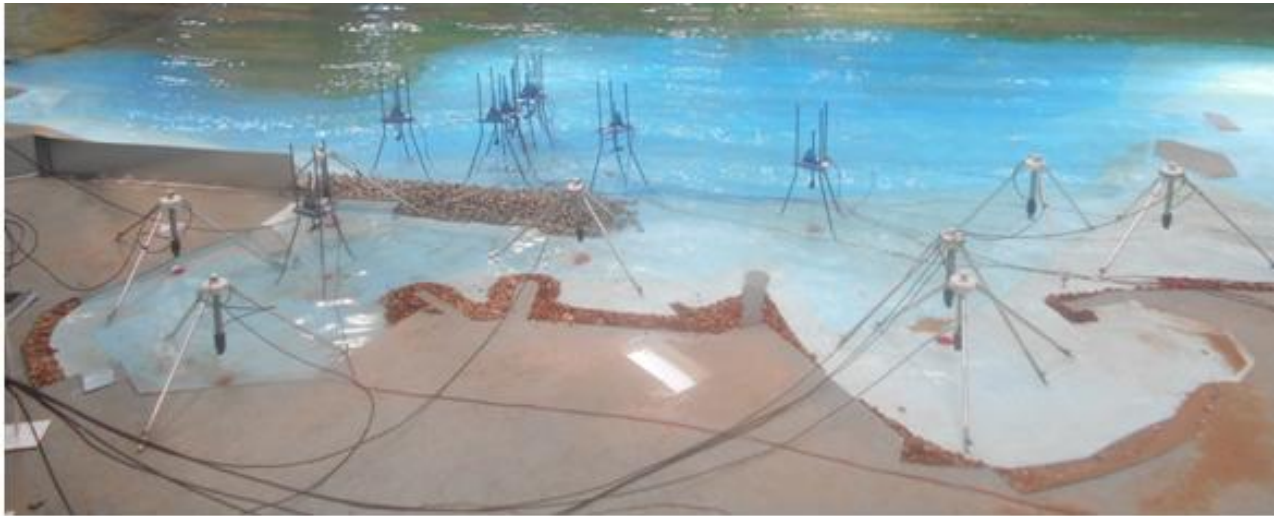
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

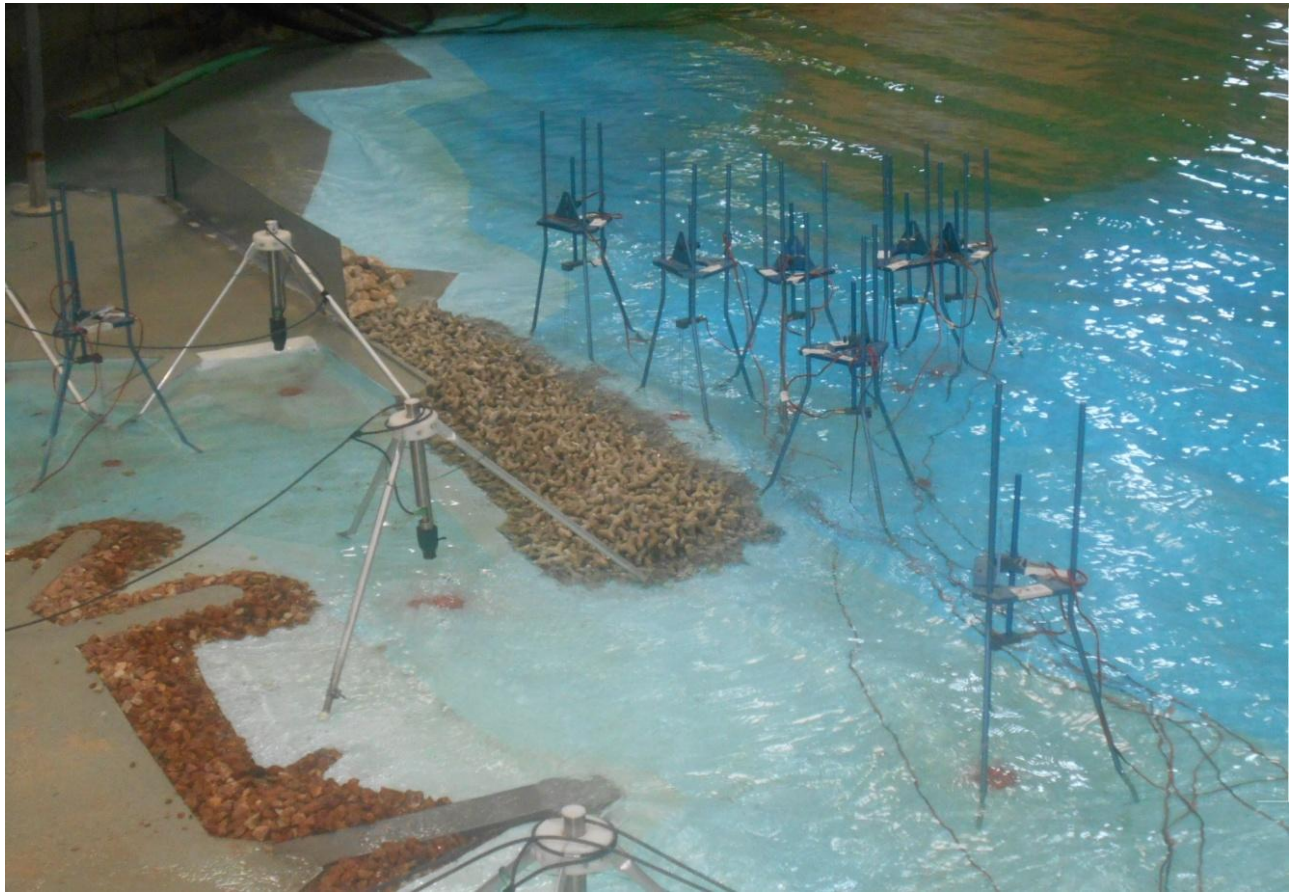
ΝΟΤΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ





ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ





ΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

