



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Υδατικών Πόρων  
& Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Λιμενικών Έργων

School of Civil Engineering  
Department of Water Resources  
& Environmental Engineering  
Laboratory of Harbour Works

**Πειραματική διερεύνηση κυματικής διαταραχής μετά την  
κατασκευή των νέων έργων στο λιμένα Πειραιά**



Διπλωματική εργασία  
του  
Δανιήλ Ι. Ψυχογιού

Επιβλέπων: *Κ.Ι. Μουτζούρης*  
*Καθηγητής ΕΜΠ*

*Θ. Γιαντσή*  
*Ερευνητικός Συνεργάτης*

Αθήνα, Απρίλιος 2011

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την πραγματοποίηση ενός νέου έργου ή ακόμα και για την επέκταση ενός ήδη υπάρχοντος, τα διαθέσιμα επεξεργασμένα στοιχεία κρίνονται πολλές φορές ανεπαρκή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, για την διεξαγωγή μίας εκ νέου διεργασίας, καταφεύγουμε στα φυσικά ομοιώματα, τα οποία θεωρούνται σαν τα πλέον αξιόπιστα και δίνουν πληροφορίες, οι οποίες θα ήταν πρακτικά αδύνατον να συλλεχθούν με επί τόπου μετρήσεις περιορισμένης χρονικής διάρκειας.

Το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, συνετέλεσε στη διεξαγωγή μετρήσεων σε φυσικό προσομοίωμα, που αφορούν στην επέκταση του Λιμένα Πειραιά και στην αξιολόγηση της κυματικής διαταραχής όπως αυτή προκύπτει στην υφιστάμενη κατάσταση, αλλά και μετά την κατασκευή των νέων έργων.

Στην παρούσα εργασία, θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω τον Διευθυντή του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων και αγαπητό Καθηγητή, κ. Κ.Ι. Μουτζούρη και την κα. Θ. Γιαντσή, για την καθοδήγηση και την υποστήριξη που μου παρείχαν, κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπλέον, ευχαριστώ για την βοήθεια όλου του επιστημονικού προσωπικού του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων.

Τέλος, χρωστώ ένα μεγάλο ευχαριστώ στη οικογένεια και τους φίλους μου, για την αμέριστη υπομονή και υποστήριξη τους.

---

# Περιεχόμενα

## **Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή**

|   |
|---|
| 1.1 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας.....σελ.3 |
| 1.2 Περιοχή προσομοίωσης.....σελ.4              |
| 1.3 Δομή και περιεχόμενα.....σελ.5              |

## **Κεφάλαιο 2: Ανασκόπηση θεωρητικών στοιχείων για τους κυματισμούς**

|   |
|---|
| 2.1 Εισαγωγή στους κυματισμούς.....σελ.6            |
| 2.2 Επιδράσεις πυθμένα στους κυματισμούς.....σελ.9  |
| 2.2.1 Ρήγωση.....σελ.9                              |
| 2.2.2 Θραύση.....σελ.11                             |
| 2.2.3 Διάθλαση.....σελ.12                           |
| 2.3 Επιδράσεις μετώπου στους κυματισμούς.....σελ.15 |
| 2.3.1 Ανάκλαση.....σελ.15                           |
| 2.3.2 Περίθλαση.....σελ.17                          |
| 2.4 Εξωτερικά λιμενικά έργα.....σελ.21              |
| 2.4.1 Έργα με πρηνή.....σελ.22                      |
| 2.4.2 Έργα με κατακόρυφο μέτωπο.....σελ.22          |
| 2.5 Εσωτερικά λιμενικά έργα.....σελ.23              |
| 2.5.1 Κρηπιδότοιχοι.....σελ.23                      |

## **Κεφάλαιο 3: Πειραματικές εγκαταστάσεις εργαστηρίου**

|  |
|--|
| 3.1 Δεξαμενή δοκιμών.....σελ.24                        |
| 3.2 Σύστημα δημιουργίας κυματισμών.....σελ.25          |
| 3.3 Μετρητές κύματος.....σελ.26                        |
| 3.4 Σύστημα συλλογής και ανάλυσης μετρήσεων.....σελ.26 |

#### **Κεφάλαιο 4: Περιγραφή διάταξης του φυσικού προσομοιώματος**

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| 4.1 Κλίμακες ομοιότητας.....    | σελ.27 |
| 4.2 Πειραματικές διατάξεις..... | σελ.28 |
| 4.3 Θέσεις μετρητών.....        | σελ.31 |
| 4.4 Κυματική διαταραχή.....     | σελ.36 |
| 4.5 Πειραματικές μετρήσεις..... | σελ.37 |

#### **Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα και επεξεργασία μετρήσεων**

|  |        |
|--|--------|
| 5.1 Αποτελέσματα και επεξεργασία μετρήσεων κυμάτων.....          | σελ.41 |
| 5.1.1 Διαγράμματα αποτελεσμάτων μετρήσεων.....                   | σελ.45 |
| 5.2 Υπολογισμός συντελεστή περίθλασης.....                       | σελ.55 |
| 5.2.1 Αποτελέσματα θεωρητικών τιμών συντελεστή περίθλασης.....   | σελ.58 |
| 5.2.2 Αποτελέσματα πειραματικών τιμών συντελεστή περίθλασης..... | σελ.59 |
| 5.2.3 Διαγράμματα συντελεστή περίθλασης.....                     | σελ.60 |

#### **Κεφάλαιο 6: Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων**

|   |        |
|---|--------|
| 6.1 Συγκριτικά διαγράμματα κυματικών μεγεθών.....           | σελ.63 |
| 6.1.1 Διαγράμματα $H_{s,0}$ , $K_t$ και σχολιασμός.....     | σελ.64 |
| 6.1.2 Διαγράμματα καμπυλότητας $\gamma$ και σχολιασμός..... | σελ.75 |
| 6.1.3 Διαγράμματα περιόδου $T_p$ και σχολιασμός.....        | σελ.80 |
| 6.1.4 Συγκριτικά διαγράμματα $K_t'$ και σχολιασμός.....     | σελ.85 |
| 6.2 Συγκριτικά διαγράμματα συντελεστή περίθλασης.....       | σελ.89 |

#### **Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα**

|  |        |
|--|--------|
| 7.1 Συμπεράσματα συγκριτικών διαγραμμάτων..... | σελ.95 |
| 7.2 Συμπεράσματα συντελεστή περίθλασης.....    | σελ.96 |

|                          |               |
|--------------------------|---------------|
| <b>Βιβλιογραφία.....</b> | <b>σελ.97</b> |
|--------------------------|---------------|

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **Εισαγωγή**

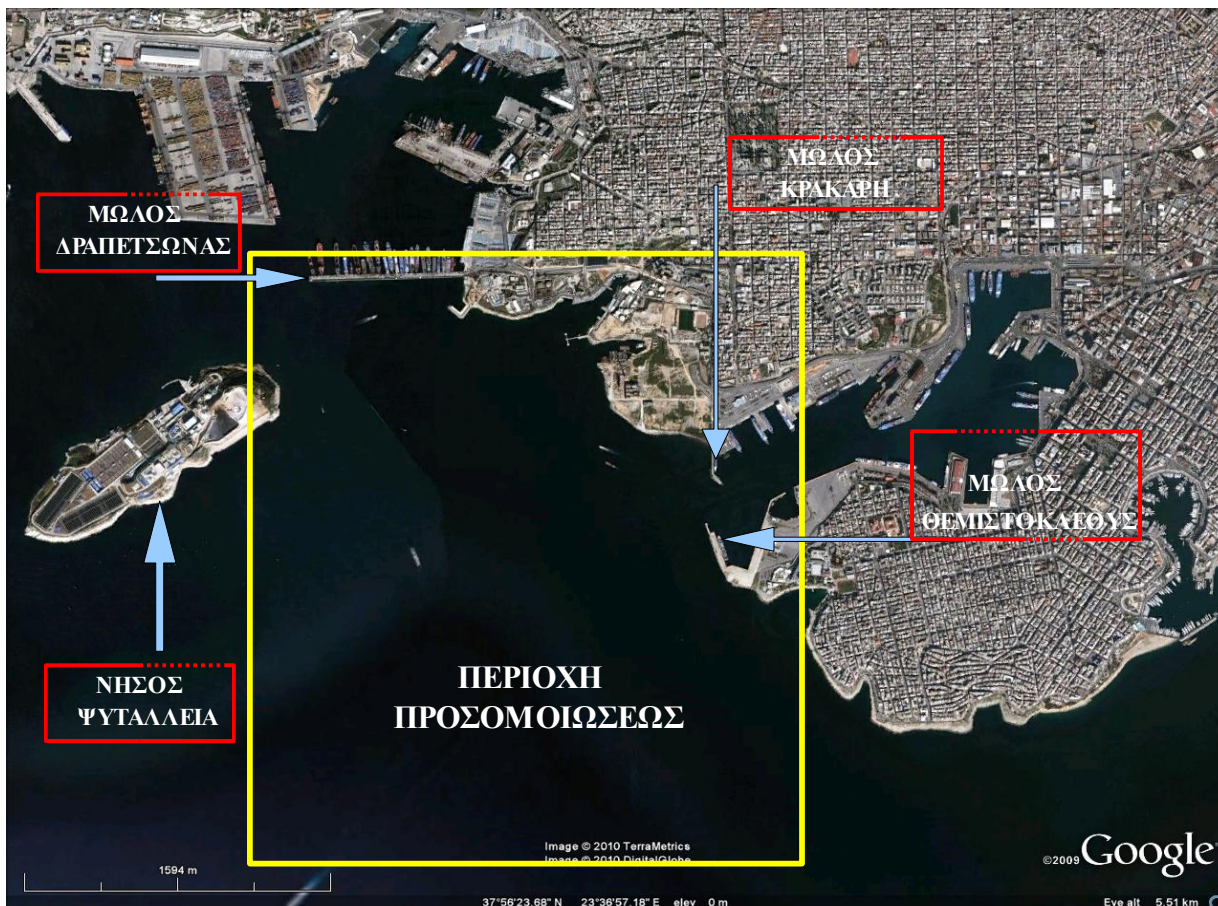
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση της δομής της παρούσας εργασίας.

### **1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας, έγιναν πειραματικές μετρήσεις σε φυσικό προσομοίωμα, που αποτελούν τμήμα του ερευνητικού προγράμματος, που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων, με αντικείμενο τον έλεγχο της κυματικής διαταραχής στην περιοχή των προτεινομένων έργων για την επέκταση του Επιβατικού Λιμένα Πειραιά. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις αυτές προκειμένου να αξιολογηθεί η κυματική διαταραχή στην υφιστάμενη κατάσταση, καθώς και μετά την κατασκευή των έργων της επέκτασης του λιμένα. Επιπλέον, μελετήθηκε το φαινόμενο της περίθλασης για κάποιες συγκεκριμένες θέσεις μετρητών και δημιουργήθηκαν συγκριτικά διαγράμματα ανάμεσα στις πειραματικές και τις θεωρητικά υπολογισμένες μετρήσεις του συντελεστή περίθλασης.

## 1.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η περιοχή προσομοίωσης, είναι η θαλάσσια περιοχή εξωτερικά του επιβατικού λιμένα Πειραιά, δυτικά των υφιστάμενων σήμερα μώλων Κράκαρη και Θεμιστοκλέους, ανατολικά της νήσου Ψυτάλλειας και νότια του μώλου Δραπετσώνας.



Σχήμα 1.1: Περιοχή μελέτης σε φυσικό προσομοίωμα

Στην περιοχή αυτή θα κατασκευασθούν οι νέες λιμενικές εγκαταστάσεις προκειμένου να εξυπηρετηθούν καλύτερα οι υπάρχουσες ανάγκες του επιβατικού λιμένα Πειραιά. Τα έργα αυτά θα πραγματοποιηθούν σε 3 στάδια.

- Στάδιο 1: Λιμενικά έργα για εξυπηρέτηση κρουαζιερόπλοιων, δυτικά του μώλου Θεμιστοκλέους.
- Στάδιο 2: Κυματοθραύστης.
- Στάδιο 3: Λιμενικά έργα για την εξυπηρέτηση μεγάλων οχηματαγωγών και MEGA-YATCH στην βόρεια ακτή, δυτικά του μώλου Κράκαρη.

Τα έργα του Σταδίου 1 θα κατασκευασθούν δυτικά του μώλου Θεμιστοκλέους και αποτελούνται από 3 νηοδόχους, 3 προβλήτες, χερσαία ζώνη και προσήνεμο μώλο. Για τα έργα του Σταδίου 1, ελέγχθησαν σε φυσικό προσομοίωμα 2 διατάξεις έργων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα γίνει επεξεργασία των μετρήσεων για την διάταξη της υφιστάμενης κατάστασης και τις διατάξεις των έργων του Σταδίου 1.

### **1.3 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

- Στο κεφάλαιο 2, γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση σε ότι αφορά τους θαλάσσιους κυματισμούς, τα γενεσιουργά αίτια, τις διακρίσεις τους, τα βασικά μεγέθη και τις σχέσεις που τα συνδέουν. Ακόμη, αναλύονται τα φαινόμενα που παρατηρούνται κατά την επίδραση των στερεών ορίων, καθώς και τις επιδράσεις μετώπων στη ροή των κυματισμών. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα εξωτερικά και εσωτερικά λιμενικά έργα.
- Στο κεφάλαιο 3, γίνεται περιγραφή των πειραματικών εγκαταστάσεων (δεξαμενή δοκιμών, σύστημα δημιουργίας φυσικών κυματισμών, σύστημα μέτρησης και συλλογής αποτελεσμάτων) σε φυσικό προσομοίωμα του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π
- Στο κεφάλαιο 4, αναφέρονται στοιχεία για τις κλίμακες ομοιότητας, περιγράφονται οι πειραματικές διατάξεις που ελέγχθηκαν και στη συνέχεια παρουσιάζονται σε πίνακα οι πειραματικές μετρήσεις.
- Στο κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κυματικών μεγεθών για κάθε θέση μέτρησης, όπως αυτά προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις και την επεξεργασία τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή πινάκων και διαγραμμάτων.
- Στο κεφάλαιο 6, παρουσιάζονται και αξιολογούνται συγκριτικά διαγράμματα, τόσο των χαρακτηριστικών μεγεθών  $H_s$  και  $T_p$ , όσο και της καμπυλότητας  $\gamma$ , του συντελεστή  $K_t$  και του συντελεστή μεταδόσεως  $K_t'$ . Επιπλέον, παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα ανάμεσα στις πειραματικές και τις θεωρητικές τιμές του συντελεστή περίθλασης, και ακολουθεί αξιολόγηση τους.
- Στο κεφάλαιο 7, γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της πειραματικής διερεύνησης και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις νέες διατάξεις έργων. Επιπλέον, ακολουθεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της σύγκρισης των θεωρητικών με τις πειραματικές τιμές του συντελεστή περίθλασης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **Ανασκόπηση θεωρητικών στοιχείων για τους κυματισμούς**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση σε ότι αφορά τους θαλάσσιους κυματισμούς, τα γενεσιουργά αίτια, τις διακρίσεις τους, τα βασικά μεγέθη και τις σχέσεις που τα συνδέουν. Επιπλέον αναλύονται τα φαινόμενα που παρατηρούνται κατά την επίδραση των στερεών ορίων, καθώς και οι επιδράσεις μετώπων στη ροή των κυματισμών. Επιπλέον γίνεται αναφορά στα εξωτερικά και εσωτερικά λιμενικά έργα.

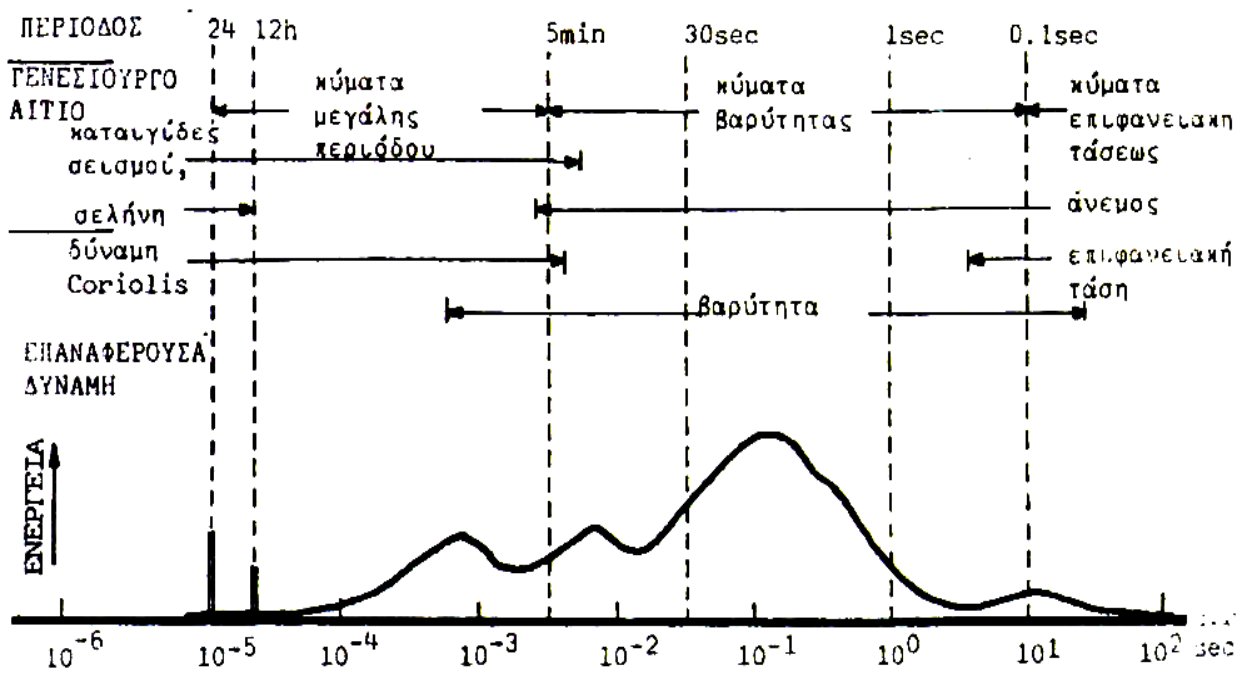
#### **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ**

Ως κυματισμοί ορίζονται όλες οι μόνιμες (περιοδικές ή μη) διαταραχές της θέσεως των μορίων ενός συνεχούς παραμορφώσιμου μέσου γύρω από μια θέση ισορροπίας στο εσωτερικό ή στην επιφάνεια του. Πιο συγκεκριμένα στις θαλάσσιες μάζες κυματισμοί ονομάζονται οι σχηματικές παραμορφώσεις της επιφάνειας της θάλασσας, που συγκροτούν μια συνεχή κινητή στο χώρο ακολουθία κυρτωμάτων και κοιλωμάτων, τα οποία διαδοχικά εναλλάσσονται στην ίδια θέση και με τον ίδιο χρόνο.



Η ταυτόχρονη δράση δυνάμεων απομακρύνσεως των υδάτινων σωματιδίων της θαλάσσιας μάζας από τη θέση ηρεμίας τους (**γενεσιουργές δυνάμεις**) και δυνάμεων επαναφοράς των σωματιδίων στις αρχικές τους θέσεις (**επαναφέρουσες δυνάμεις**), σε συνδυασμό με τη μεγάλη κινητικότητα των σωματιδίων, προκαλεί υπό ορισμένες συνθήκες τη δημιουργία κινήσεων ταλαντώσεως των σωματιδίων. Η συνισταμένη διαταραχή της θαλάσσιας μάζας από τις ταλαντώσεις των σωματιδίων οδηγεί στο θαλάσσιο κυματισμό.

Τα κυριότερα γενεσιουργά αίτια των θαλάσσιων κυματισμών είναι ο άνεμος (ανεμογενείς κυματισμοί), οι σεισμικές δονήσεις (τσουνάμια), οι γρήγορες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσεως, η έλξη της σελήνης (παλίρροια), οι διαφοροποιήσεις της πυκνότητας των θαλάσσιων μαζών και οι υπόγειες κατολισθήσεις. Οι κυριότερες επαναφέρουσες δυνάμεις προέρχονται από τη βαρύτητα, τη δύναμη Coriolis και την επιφανειακή τάση. Η δύναμη Coriolis υπεισέρχεται στους κυματισμούς μεγάλης κλίμακας, ενώ η επιφανειακή τάση υπεισέρχεται στους κυματισμούς μικρής κλίμακας με μήκος κύματος μερικά μόνο εκατοστά.



Σχήμα 2.1: Κατάταξη κυματισμών κατά Kinsman (Μοντζούρης, 2006)

Η συνηθέστερη διάκριση στους κυματισμούς γίνεται με βάση την περίοδο ταλαντώσεων των σωματιδίων. Για περιόδους μεγαλύτερες των 5min οι κυματισμοί ονομάζονται μεγάλης περιόδου. Οι κυματισμοί μικρότερων περιόδων και ιδιαίτερα για  $T < 30\text{sec}$  ονομάζονται κυματισμοί μικρής περιόδου. Για το λόγο αυτό οι όροι “κυματισμοί μικρής περιόδου”, “κυματισμοί βαρύτητας” και “ανεμογενείς κυματισμοί” χρησιμοποιούνται για την ίδια κατηγορία κυματισμών.

Οι πιο κοινοί κυματισμοί στη φύση είναι οι κυματισμοί βαρύτητας. Η δύναμη από την πνοή του ανέμου απομακρύνει τα υγρά σωματίδια από τη θέση ισορροπίας τους. Η φορά κινήσεως αντιστρέφεται από την επενέργεια της δυνάμεως βαρύτητας στα σωματίδια, οπότε τείνουν να επανέλθουν στην αρχική τους θέση. Οι αδρανειακές δυνάμεις τα επαναπομακρύνουν κ.ο.κ.

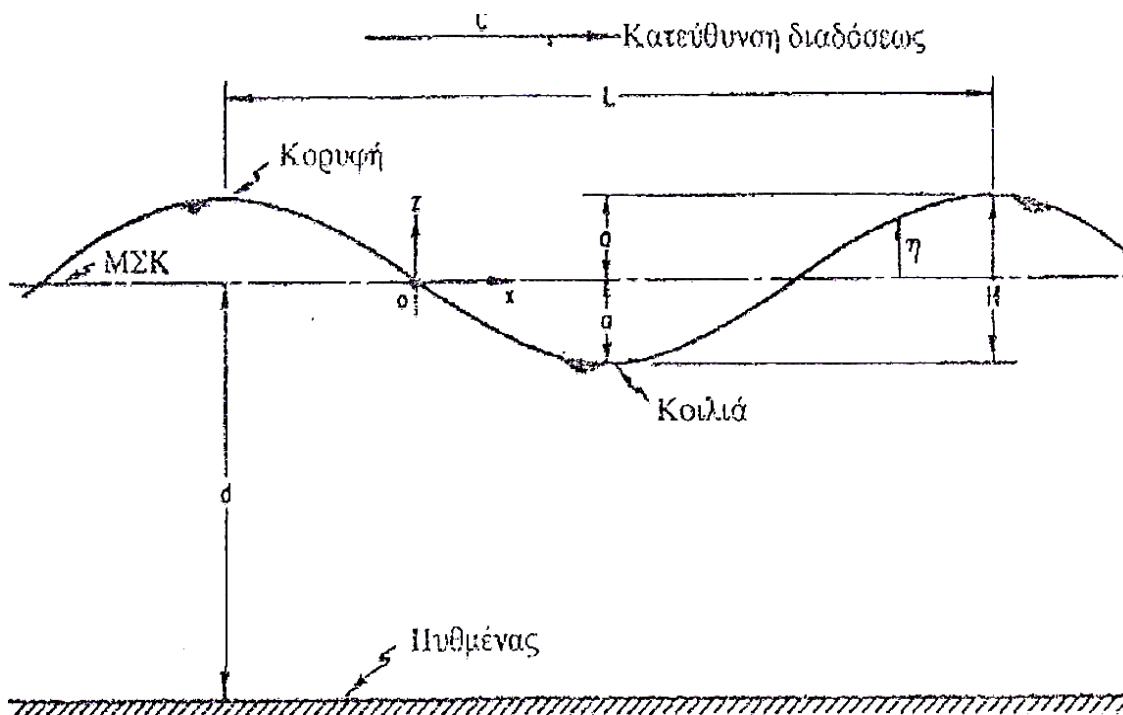
Ειδικότερα στις παράκτιες θαλάσσιες μάζες, είναι σημαντικές για τα τεχνικά έργα που πρόκειται να μελετηθούν οι διαταραχές που συμβαίνουν στην επιφάνειά τους και διέπονται από τις δυνάμεις βαρύτητας. Οι διαταραχές αυτές είναι γνωστές ως επιφανειακοί θαλάσσιοι κυματισμοί και το μηχανικό ενεργειακό τους περιεχόμενο είναι ο σημαντικότερος παράγοντας φορτίσεως των τεχνικών έργων που σχεδιάζουν και υπολογίζουν οι πολιτικοί μηχανικοί.

Μια άλλη διάκριση, που μπορεί να γίνει στους κυματισμούς είναι σε διδιάστατους και τρισδιάστατους. Στην πρώτη κατηγορία οι τροχιές των σωματιδίων είναι επίπεδες, ενώ στη δεύτερη είναι τρισδιάστατες.

Ένας κυματισμός μεταδίδομενος σε μια διεύθυνση ονομάζεται προοδευτικός. Η επαλληλία δυο ή περισσότερων προοδευτικών κυματισμών δίνει κυματισμούς περισσότερο πολύπλοκης υφής. Η πολυπλοκότητα αυξάνει αν οι διευθύνσεις μεταδόσεως και οι συχνότητες των κυματισμών είναι διαφορετικές. Από επαλληλία δυο κυματισμών τής ίδιας διεύθυνσεως και συχνότητας αλλά διαφορετικής φοράς μεταδόσεως προκύπτει ένας στάσιμος κυματισμός.

Τέλος, οι κυματισμοί διακρίνονται σε αναπτυσσόμενους, ανεπτυγμένους και αποσβηνόμενους ανάλογα με το αν τα μέσα χαρακτηριστικά διαδοχικών ομάδων κυματισμών αυξάνουν, μένουν σταθερά ή μειώνονται.

Στην απλούστερη περίπτωση του απλού ημιτονοειδούς μορφής κυματισμού διακρίνονται τα ακόλουθα μορφολογικά και κινηματικά στοιχεία περιγραφής του. (Μουτζούρης, 2006)



Σχήμα 2.2: Τυπική διατομή κύματος (Κουτίτας, 1994)

**Ύψος κύματος H:** είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κορυφής και της κοιλίας του κύματος και ισούται με το διπλάσιο του εύρους ταλαντώσεως των σωματιδίων.

**Μήκος κύματος L:** είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ δυο σωματιδίων που βρίσκονται στην ίδια φάση ταλαντώσεως. Μετράται κατά μήκος της διεύθυνσης μεταδόσεως.

**Καμπυλότητα ή κυρτότητα κύματος  $\gamma(=H/L)$ .**

**Περίοδος κύματος T:** είναι ο χρόνος μιας πλήρους ταλαντώσεως των σωματιδίων. Ορίζεται και σαν το χρονικό διάστημα μεταξύ της διελεύσεως δυο διαδοχικών κορυφών κύματος από ένα ορισμένο σημείο.

**Ταχύτητα κύματος C (ή ταχύτητα μεταδόσεως):** είναι η απόσταση, που διανύεται από το μέτωπο του κύματος στη μονάδα του χρόνου. Εξ' ορισμού είναι  $C=L/T$ .

**Κορυφή κύματος:** είναι το υψηλότερο σημείο του πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία.

**Κοιλία κύματος:** είναι το χαμηλότερο σημείο κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία.

**Βάθος νερού h:** είναι η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας σε ηρεμία πάνω από τον πυθμένα.

**ΣΗΥ(Στάθμη Ηρεμούντος Ύδατος):** είναι η ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία .

**ΜΣΚ:** Μέση στάθμη κυματισμού. Μπορεί να συμπίπτει ή όχι με την ΣΗΥ.

(Μουτζούρης, 2006)

## **2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ**

Ο θαλάσσιος πυθμένας επιδρά στους κυματισμούς επηρεάζοντας την υφή, τη μορφή των κυμάτων καθώς και τη διεύθυνση μεταδόσεως. Κατά τις θεωρίες κυμάτων, για βάθη μεγαλύτερα του μισού μήκους κύματος η επίδραση είναι αμελητέα. Οι κυριότερες μορφές επιδράσεως του πυθμένα στους θαλάσσιους κυματισμούς είναι η ρήχωση, η θραύση και η διάθλαση.

### **2.2.1 Ρήχωση**

Ρήχωση είναι η μεταβολή των χαρακτηριστικών μεγεθών του κύματος λόγω της επίδρασης του πυθμένα. Οι σημαντικότερες μεταβολές σε μια διατομή είναι η μείωση του μήκους κύματος, η αρχική μείωση και στη συνέχεια αύξηση του ύψους κύματος, η αύξηση της καμπυλότητας, η εμφάνιση υψηλών αρμονικών, η σταδιακή μετατροπή της ημιτονοειδούς διατομής σε τροχοειδή διατομή και στη συνέχεια σε διατομή μακρού κύματος.

Μια σχετικά απλή μέθοδος υπολογισμού των H και L σε ένα τυχαίο βάθος πυθμένα h, σε συνάρτηση με τα  $H_0$  και  $L_0$  είναι η ενεργειακή μέθοδος. Βασίζεται στην παραδοχή, ότι η ανάκλαση της ενέργειας του κυματισμού από τον πυθμένα και οι λοιπές απώλειες μεταξύ των εξεταζόμενων βαθών είναι αμελητέες. Ισχύει στην περιοχή μεταξύ της ανοικτής θάλασσας και της θραύσης.

Τα  $H$  και  $L$  δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις (Μουτζούρης, 2006):

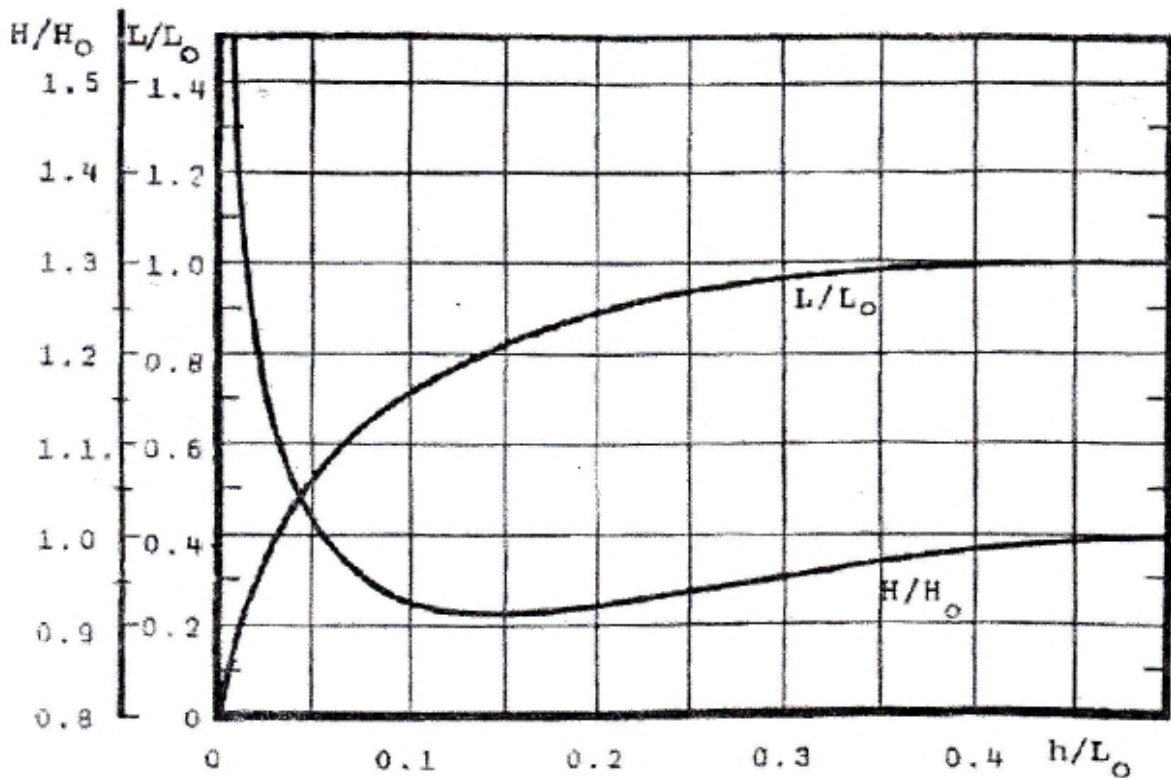
$$L = L_0 \frac{\tanh(2\pi h/L)}{\tanh(2\pi h_0/L_0)}$$

και

$$H = H_0 \left( \frac{L_0}{L} \right)^{-0.5} \left( \frac{1 + \frac{2k_0 h_0}{\sinh 2k_0 h_0}}{1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh}} \right)^{0.5}$$

όπου  $H_0$  και  $L_0$  είναι αντίστοιχα το ύψος και το μήκος κύματος στα ανοιχτά

ή από το διάγραμμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2.3: Μεταβολές του μήκους και του ύψους κύματος σε συνάρτηση με το βάθος (Μουτζούρης, 2006)

Ένα σημαντικό κυματικό μέγεθος της ρήγωσης είναι ο συντελεστής αβαθούς (ή συντελεστής ρήγωσης) και καθορίζει τη μεταβολή που υφίσταται το ύψος κύματος στα βαθιά όταν αυτό μεταδοθεί σε μια περιοχή πεπερασμένου αλλά σταθερού βάθους. (Δασκαλάκης, 1982, Κομβούτης, 1980)

$$K_s = \frac{H}{H_0}$$

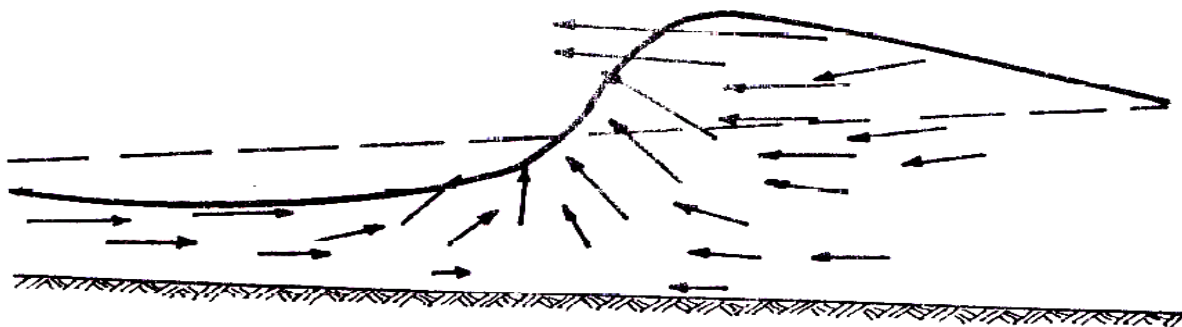
### 2.2.2 Θραύση

Το φαινόμενο του μετασχηματισμού ενός μεταδιδόμενου κύματος σε ένα καθαρό κύμα μεταφοράς μαζών ονομάζεται θραύση. Αποτελεί την κύρια εκδήλωση υδροδυναμικής αστάθειας στη διάδοση των κυματισμών και οφείλεται στις μεγάλες παραμορφώσεις της διατομής από την επίδραση του πυθμένα. Η νοητή γραμμή στην οποία θραύεται το κύμα ονομάζεται γραμμή θραύσης. (Δασκαλάκης, 1982)

Η θραύση ενός κύματος συμβαίνει για δυο κυρίως αιτίες. Η μια αιτία είναι η αστάθεια που εμφανίζεται στο κύμα, σαν σώμα ρευστού, όταν ξεπεραστούν ορισμένα όρια στο σχήμα του, από γεωμετρική άποψη. Έχει σχέση με το ιξώδες και το συντελεστή εσωτερικής τριβής. Το υψηλότερο σημείο στο οποίο μπορεί να κρατηθεί σε συνοχή ένα σώμα νερού σε τριγωνική παραμόρφωση, είναι η κορυφή ενός ισοσκελούς τριγώνου με γωνία μεγαλύτερη από  $120^\circ$ . Αν θεωρήσουμε την κορυφή του κύματος σαν την κορυφή του τριγώνου, τότε ορίζουμε το λόγο του ύψους  $H$  προς το μήκος  $L$ . Ο λόγος αυτός, για να διατηρείτε η σταθερότητα του κύματος, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από  $1/7$  (Κουτίτας, 1994):

$$\frac{H}{L} \leq 0.7$$

Η θραύση στα βαθειά νερά συμβαίνει συνήθως με θυελλώδης ανέμους που αυξάνουν διαρκώς το ύψος των κυμάτων ώσπου να γίνουν ασταθή. Μπορεί επίσης να συμβαίνει με τη συμβολή δυο κυματισμών, στα σημεία όπου η διαφορά φάσης είναι τέτοια ώστε να προστίθενται και το παραγόμενο κύμα να ξεπερνά το όριο σταθερότητας. Αντίθετα, στην παράκτια ζώνη, η ταχύτητα του κύματος είναι συνάρτηση του βάθους του νερού που προκαλεί μια συνεχή μείωση της ταχύτητας καθώς το κύμα πλησιάζει στην ακτή. Η μείωση της ταχύτητας προκαλεί ελάττωση στο μήκος κύματος, όποτε, για να διατηρηθεί η ενέργεια σταθερή γίνεται αύξηση του ύψους, με αποτέλεσμα πέρα από ένα όριο το κύμα να γίνεται ασταθές.



Σχήμα 2.4: Κατανομή ταχυτήτων στο θραυόμενο κύμα (από Iverson) (Μουτζούρης, 2006)

Η άλλη αιτία που γίνεται η θραύση των κυμάτων, είναι όταν τα κορυφαία τμήματα του κύματος αποκτήσουν μεγαλύτερη ταχύτητα από την ταχύτητα διάδοσης της υπόλοιπης μάζας του. Αυτό προκύπτει σαν ακραία κατάσταση της ασυμμετρίας που παίρνει η κυματομορφή στα ρηχά νερά. Το όριο στο οποίο συμβαίνει η θραύση είναι όταν το βάθος γίνει κατά περίπου 20% μεγαλύτερο από το ύψος του ή:

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.8$$

Ο δείκτης  $b$  υποδηλώνει τη θραύση. (Μουτζούρης, 2006)  
Και οι δυο περιπτώσεις θραύσης ισχύουν ταυτόχρονα στα ρηχά νερά.

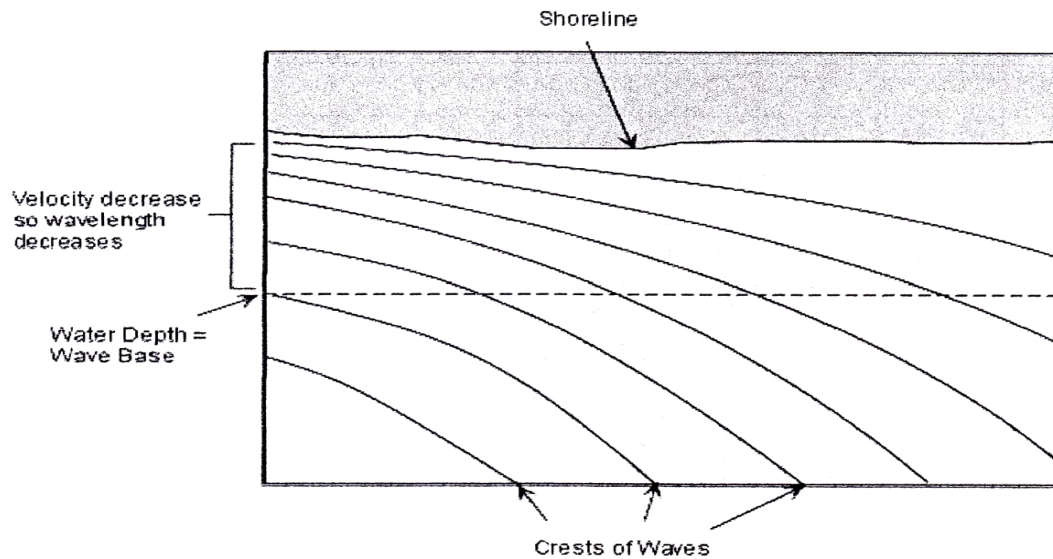
Ανάλογα με την κλίση του πυθμένα και την καμπυλότητα του κύματος στα βαθιά, εμφανίζεται διαφορετική μορφή θραύσης με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Σε γενικές γραμμές η θραύση εμφανίζεται στη βάση (θραύση εφορμήσεως) ή στο άνω μέρος του μετώπου (θραύση κυλίσεως) ή στην κορυφή (θραύση εκτινάξεως) της διατομής του κύματος. Ο τελευταίος αυτός τύπος θραύσεως έχει τη μεγαλύτερη σημασία για την τεχνολογία των λιμενικών έργων λόγω των υψηλών πιέσεων, που αναπτύσσονται κατά την πρόσκρουση.



Σχήμα 2.5: Διάφορα είδη θραύσεως (Μουτζούρης, 2006)

### 2.2.3 Διάθλαση

Η διεύθυνση μεταδόσεως των θαλάσσιων κυματισμών αλλάζει, καθώς αυτά προσεγγίζουν την ακτή. Η γωνία μεταξύ των καθέτων στο μέτωπο κύματος και στις ισοβαθείς του πυθμένα συνεχώς μειώνεται. Η ορθογωνική του κύματος τείνει να κινηθεί κάθετα προς τις ισοβαθείς και να καμπυλωθεί. Αυτός ο τύπος παραμορφώσεων των θαλάσσιων κυματισμών ονομάζεται διάθλαση και είναι ανάλογος με τη διάθλαση στην οπτική.



Σχήμα 2.6: Ορθογωνική κύματος

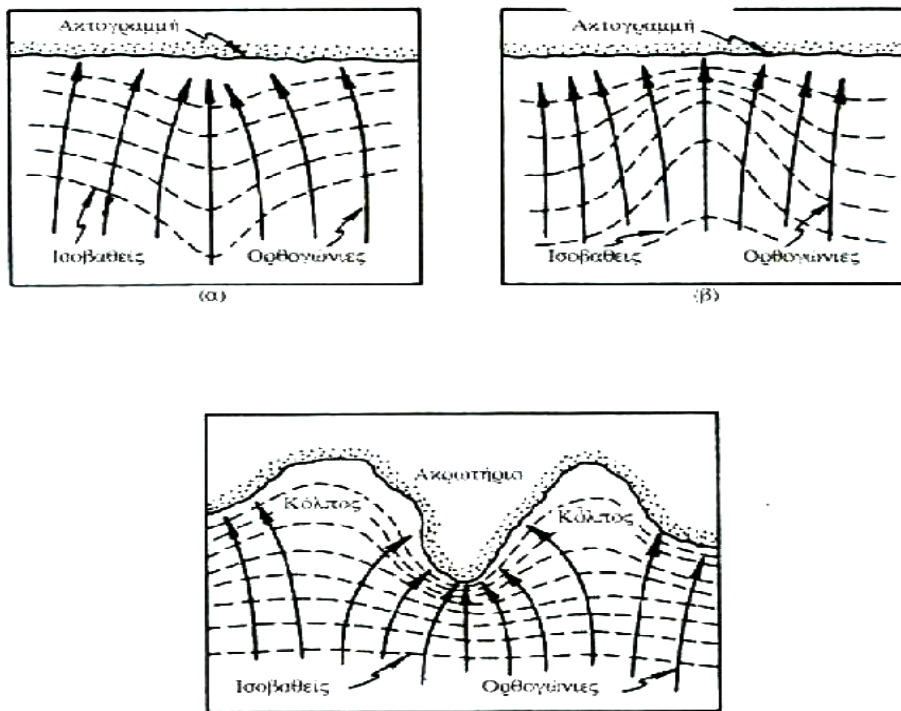
Η διάθλαση των κυματισμών, σε αναλογία της οπτικής διαθλάσεως, οφείλεται στη χωρική διαφοροποίηση της ταχύτητας φάσεως ενός αρχικά αδιάστατου κυματισμού λόγω της επίδρασης του βάθους  $h$  στην ταχύτητα  $C$ . Όταν τα κύματα διαδίδονται σε επαρκές βάθος, δηλαδή όταν ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος  $h$  μεγαλύτερο από το μισό του μήκους κύματος  $L$ , ( $h/L > 0.50$ ), τότε ο πυθμένας δεν έχει καμία επίπτωση στον κυματισμό. Καθώς τα κύματα πλησιάζουν στην ακτή και το βάθος ελαττώνεται πέρα από την κρίσιμη τιμή, αρχίζει ο πυθμένας να επιδρά στην ταχύτητα διάδοσης του κύματος. Η ταχύτητα πλέον στα ρηγά νερά είναι συνάρτηση του βάθους. Αποτέλεσμα αυτού είναι η επιβράδυνση τμημάτων του μετώπου του κύματος που βρίσκονται στα ρηγά νερά σε σχέση με τα τμήματα που βρίσκονται στα βαθύτερα. Έτσι δημιουργείται μια παραμόρφωση στο αρχικό μέτωπο του κύματος ανάλογα με τα βάθη πάνω από τα οποία περνά. Στην πράξη δημιουργείται η τάση το μέτωπο του κύματος να γίνει σχεδόν παράλληλο με τις ισοβαθείς χωρίς ποτέ να το κατορθώνει τελείως.

Από το νόμο του Snell είναι δυνατή η άμεση συσχέτιση της γωνίας πρόσπτωσης του κύματος στις ισοβαθείς στα βαθιά νερά  $\phi_0$  και του μήκους κύματος  $L_0$ , με τη γωνία πρόσπτωσης  $\phi_i$  και το μήκος κύματος  $L_i$  σε βάθος  $d_i$ . Είναι:

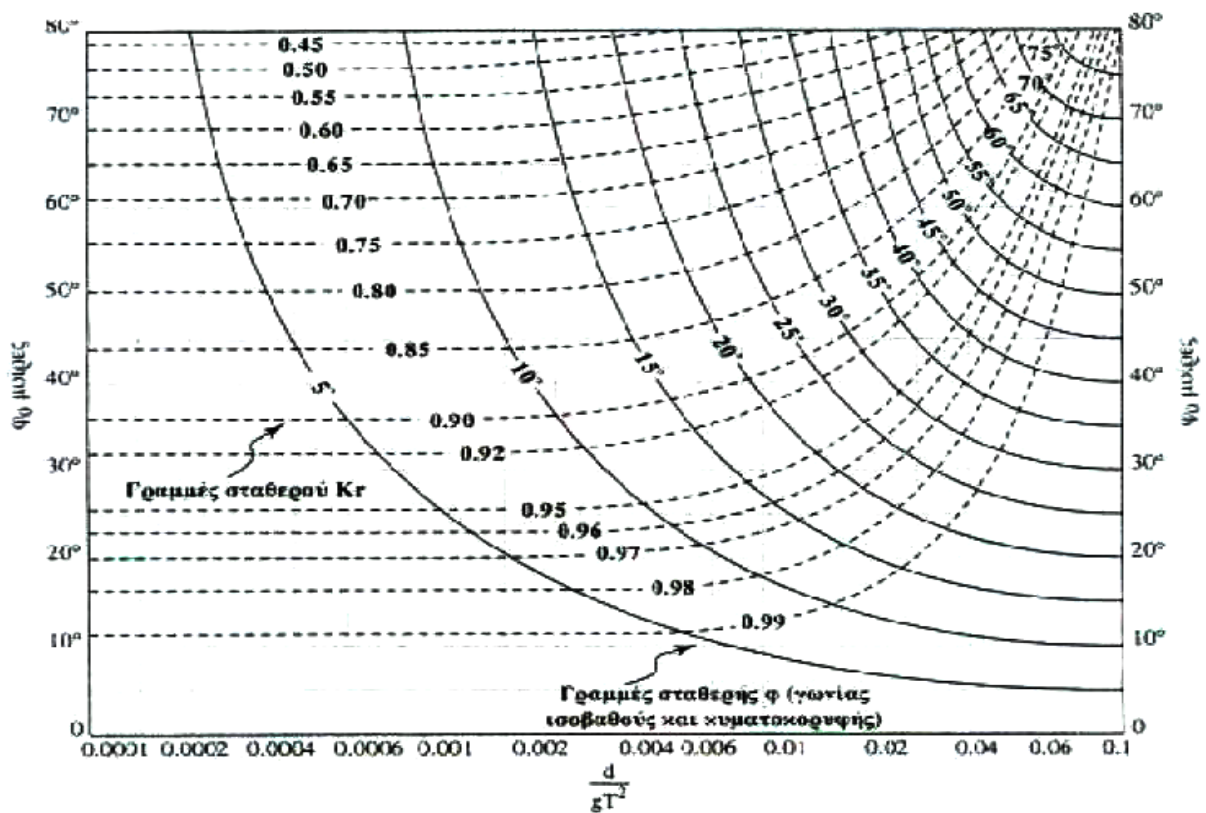
$$\phi_i = \arcsin \left( \frac{L_i}{L_0} \sin \phi_0 \right)$$

(Κουτίτας, 1994)





Σχήμα 2.7: Διαμόρφωση ορθογωνίων σε περιοχή ακρωτηρίου και κόλπου (Κουτίτας, 1994)



Σχήμα 2.8: Νομογράφημα για τη διάθλαση σε παράλληλες ισοβαθείς (Κουτίτας, 1994, Δασκαλάκης, 1980)

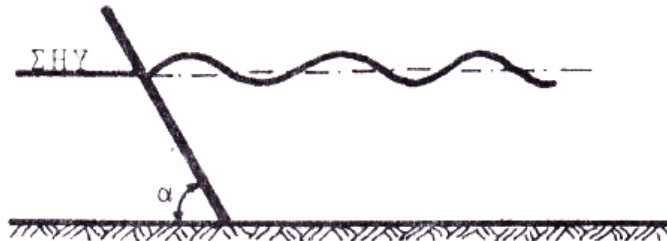


## **2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΣΤΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ**

Η ύπαρξη ενός μετώπου στο πεδίο ροής διαταράσσει τους κυματισμούς. Ειδικότερα το μέτωπο λειτουργεί σαν πηγή δημιουργίας νέων κυματισμών, που μεταδίδονται και σε κατεύθυνση διαφορετική από αυτή του προσπίπτοντος κυματισμού. Οι επιδράσεις ενός μετώπου σε ένα προσπίπτον κύμα έχουν κυρίως τη μορφή της ανακλάσεως και της περιθλάσεως, οι οποίες είναι πολύ σημαντικές στην τεχνολογία των λιμενικών έργων.

### **2.3.1 Ανάκλαση**

Η ενεργεία ενός κυματισμού, που προσπίπτει σε ένα στερεό μέτωπο, υφίσταται ανάκλαση. Η ανάκλαση είναι ολική ή μερική ανάλογα με το αν το μέτωπο καλύπτει κατακόρυφα όλο ή μέρος του πεδίου ροής, αν το μέτωπο είναι κατακόρυφο ή κεκλιμένο και τέλος αν είναι αμελητέες ή σημαντικές οι απώλειες ενέργειας κατά την πρόσπτωση.



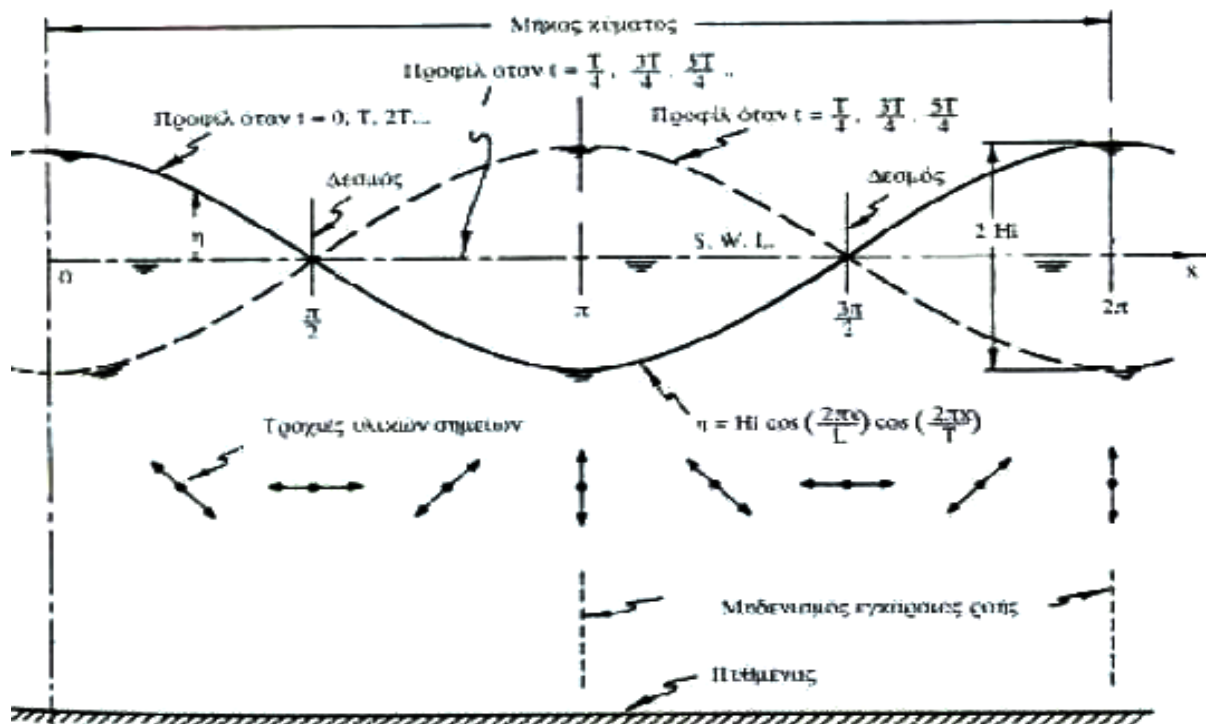
*Σχήμα 2.9: Επίπεδο μέτωπο σε όλο το ύψος του πεδίου ροής(Μουτζούρης, 2006)*

Στην περίπτωση που έχουμε επίπεδο μέτωπο σε όλο το ύψος του πεδίου ροής, και θεωρηθούν αμελητέες η τραχύτητα και η διαπερατότητα του μετώπου, τότε η ανάκλαση είναι ολική για  $\alpha=90^\circ$  και μερική για  $\alpha<90^\circ$ . Στην ολική ανάκλαση όλη η ενέργεια του προσπίπτοντος κύματος ανακλάται, ενώ στη μερική, μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε ενέργεια θραύσεως και/ή τριβής.

Στην ολική ανάκλαση το ανακλώμενο ύψος  $H_r$  είναι ίσο με το ύψος κύματος του προσπίπτοντος κύματος  $H_i$ . Στη μερική ανάκλαση ο λόγος  $H_r/H_i$  είναι μικρότερος της μονάδας.

Η γωνία μεταξύ της καθέτου στο σημείο προσπτώσεως και της διευθύνσεως του προσπίπτοντος κύματος (γωνία προσπτώσεως) ισούται με τη γωνία μεταξύ της ίδιας καθέτου και της διευθύνσεως μεταδόσεως του ανακλώμενου κύματος (γωνία ανακλάσεως).

Η επαλληλία του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου κύματος δίνει ένα στάσιμο κύμα. Το στάσιμο κύμα είναι τέλειο (ή ολικό) σε περίπτωση ολικής ανακλάσεως ενός κύματος με μηδενική γωνία.

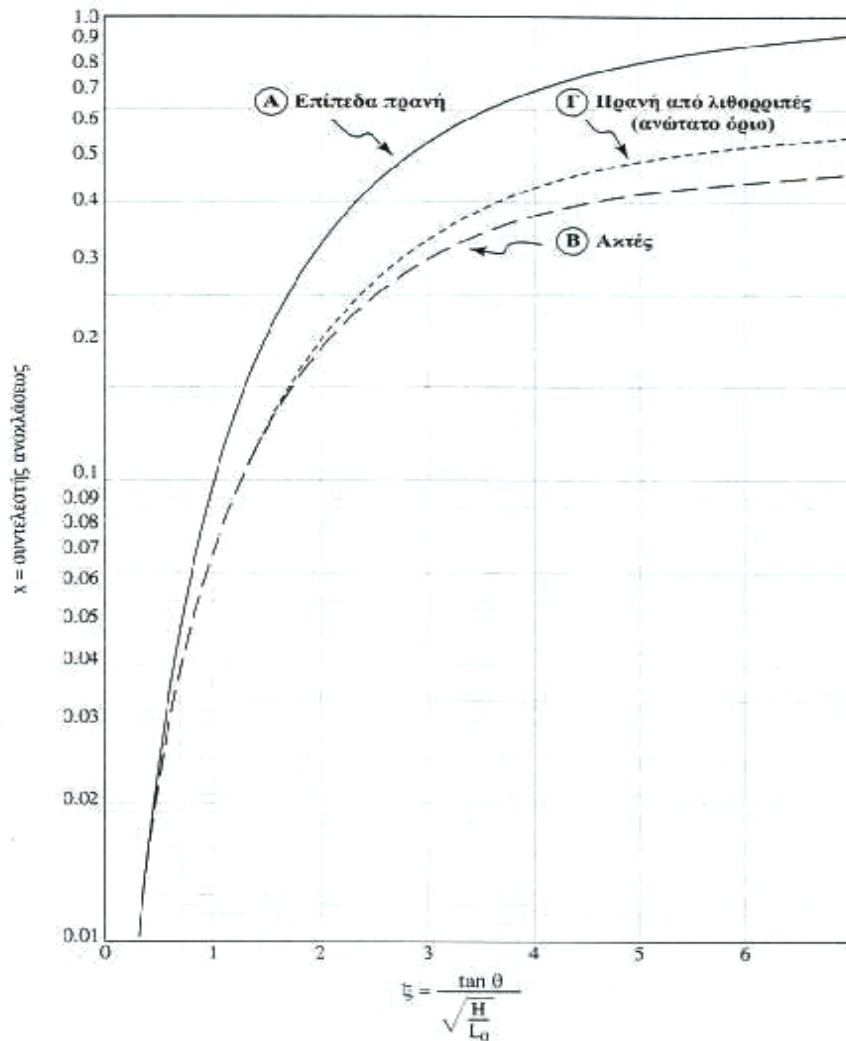


Σχήμα 2.10: Διαμόρφωση στάσιμου κύματος (Μοντζούρης, 2006)

Στις τεχνολογικές εφαρμογές μας ενδιαφέρει συνήθως ο συντελεστής ανακλάσεως  $R$  των κυματισμών, από μια θαλάσσια κατασκευή. Ο συντελεστής  $R$  ορίζεται από το λόγο του ύψους του ανακλώμενου κύματος  $H_r$  προς το ύψος του προσπίπτοντος κύματος  $H_i$ . Ο συντελεστής ανακλάσεως εξαρτάται κυρίως από δυο κατηγορίες χαρακτηριστικών. Πρώτον από τα χαρακτηριστικά της διεπιφάνειας κατασκευής/θάλασσας, όπως η κλίση, η τραχύτητα και η διαπερατότητα, και δεύτερον από τα χαρακτηριστικά του κύματος, όπως η καμπυλότητα, το σχετικό βάθος και τη γωνία προσπτώσεως.

Ο  $R$  αυξάνει, όταν αυξάνουν η κλίση, το σχετικό βάθος, η γωνία προσπτώσεως και/ή μειώνεται η τραχύτητα, η διαπερατότητα και καμπυλότητα.

Οι τιμές του συντελεστή ανακλάσεως για κεκλιμένη ακτή  $X=H_r/H_i$  (ανακλώμενο ύψος προς προσπίπτον) είναι συνάρτηση του  $\xi$  και της τραχύτητας της επιφάνειας του πρανούς. Οι τιμές εκτιμώνται από το διάγραμμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2.11: Διάγραμμα τιμών συντελεστή ανάκλασης (Κουτίτας, 1994)

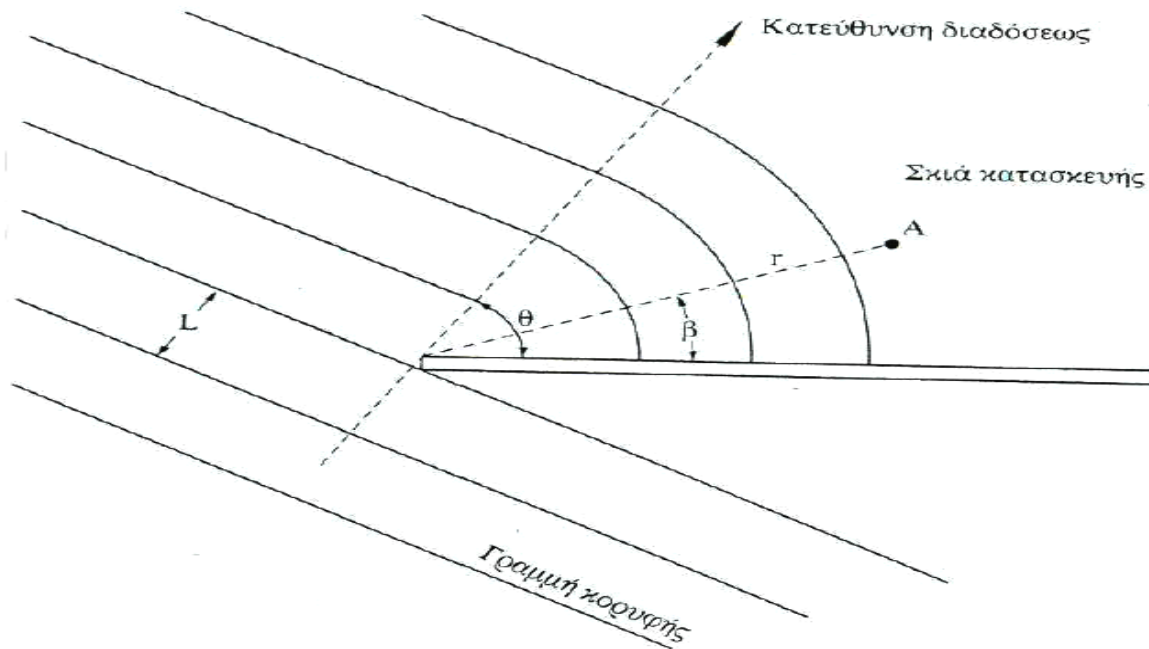
### 2.3.2 Περίθλαση

Η περίθλαση των κυματισμών είναι φυσικός μηχανισμός, στον οποίο λαμβάνει χώρα μετάδοση ενέργειας κατά μήκος κορυφογραμμών του προσπίπτοντος κύματος. Χαρακτηριστικό αποτέλεσμα της περιθλάσεως είναι οι κυματισμοί, που εμφανίζονται σε θαλάσσια περιοχή προστατευμένη από θαλάσσιο έργο και η οποία θα ηρεμούσε, εφόσον δε θα εμφανιζόταν τέτοια μετάδοση ενέργειας. Εάν η ενέργεια των κυματισμών παρέμενε διατηρούμενη μεταξύ διαδοχικών ορθογωνικών τότε η παρουσία μιας κατασκευής στο χώρο διαδόσεως θα συνεπάγετο πλήρη “σκιά” κυματισμών πίσω από το άκρο της. Αυτό δεν συμβαίνει γιατί παρεμβάλλεται το φαινόμενο της περίθλασης, με αποτέλεσμα τη διάδοση, με συνεχή μείωση, της κυματικής ισχύος κατά μήκος της κορυφογραμμής πλευρικά. Οι κορυφογραμμές διαμορφώνονται κυκλικά στη σκιά της κατασκευής σαν να αποτελούσε η άκρη της σημειακή πηγή κυματισμών. Για την περιγραφή της περίθλασης των κυματισμών γίνεται εφαρμογή των νόμων της οπτικής για τις “κυματικές ακτίνες” που γεννιούνται με πηγή το άκρο του στερεού ορίου και διαδίδονται στη σκιά του κυματισμού.

Η μελέτη της περιθλάσεως είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό των διαταραχών στο εσωτερικό μιας λιμενολεκάνης, που προστατεύεται από εξωτερικά λιμενικά έργα.

Με βασικές παραδοχές, ότι το υγρό είναι τέλει και η ροή αστρόβιλη, οι κυματισμοί μικρού μήκους και ο πυθμένας οριζόντιος, μπορούμε να διακρίνουμε δυο πρακτικές περιπτώσεις:

**Περίθλαση γύρω από ένα άκρο.** Το ύψος κύματος σε ένα σημείο A του πεδίου εξαρτάται από το προσπίπτον κύμα H στο άκρο, την γωνία  $\theta$  της πρόσπτωσης (γωνία μεταξύ ορθογωνίου και μόλου) και το διάνυσμα της απόστασης του A από το ακρομόλιο (γωνία  $\beta$  με το μόλο και σχετική απόσταση  $r/L$ ).



Σχήμα 2.12: Βασικοί συμβολισμοί για την περίθλαση γύρω από το “ακρομόλιο” (Κουτίτας, 1994)

Στην περιοχή των κυματισμών από περίθλαση το ύψος κύματος  $H_t$  υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$H_t = H_0 * K_d(\theta, \beta, r/L), \text{ όπου } H_0 \text{ είναι το ύψος κύματος στην περιοχή προ της κατασκευής, που δημιουργεί περίθλαση και } K_d \text{ ο συντελεστής περίθλασης}$$

Υπάρχει αναλυτική λύση που πινακοποιείται στον πίνακα Wiegel. Βρίσκεται ο συντελεστής περίθλασης  $k_d$  ως συνάρτηση των  $H, \theta, \beta, r/L$ . Για τον υπολογισμό του  $k_d$  είναι δυνατές γραμμικές παρεμβολές μεταξύ των τιμών του πίνακα Wiegel που ακολουθεί. (Μουτζούρης, 2006)

Πίνακας τιμών συντελεστού περίθλασης γύρω από ημιάπειρο κυματοθραύστη.

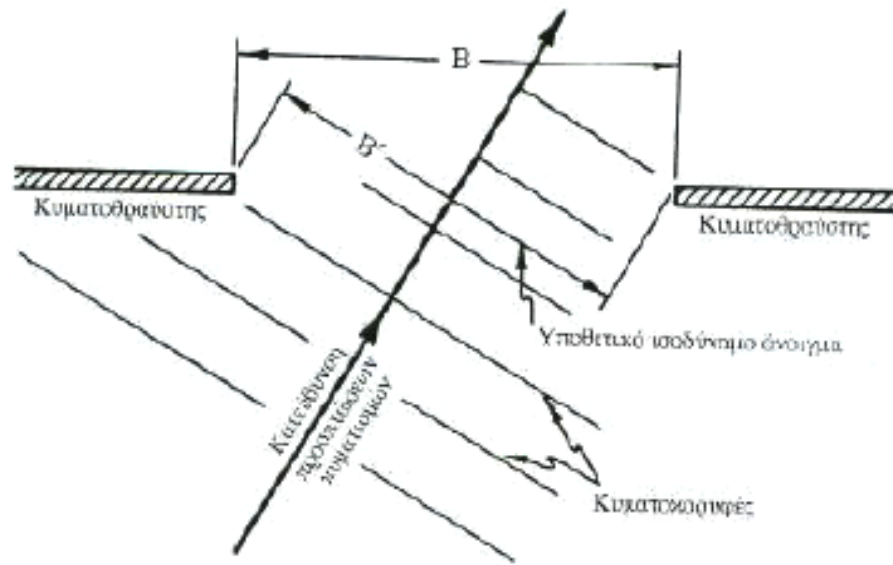
| $\theta$ | $r/L$ | B    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|          |       | 0    | 15   | 30   | 45   | 60   | 75   | 90   | 105  | 120  | 135  | 150  | 165  | 180  |  |
| 15       | 1/2   | 0.49 | 0.79 | 0.83 | 0.90 | 0.97 | 1.01 | 1.03 | 1.02 | 1.01 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.38 | 0.73 | 0.83 | 0.95 | 1.04 | 1.04 | 0.99 | 0.98 | 1.01 | 1.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.21 | 0.68 | 0.86 | 1.03 | 1.03 | 0.97 | 1.02 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.13 | 0.63 | 0.99 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.35 | 0.58 | 1.10 | 1.05 | 0.98 | 0.99 | 1.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |  |
| 30       | 1/2   | 0.61 | 0.63 | 0.68 | 0.76 | 0.87 | 0.97 | 1.03 | 1.05 | 1.03 | 1.01 | 0.99 | 0.95 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.50 | 0.53 | 0.63 | 0.78 | 0.95 | 1.06 | 1.05 | 0.98 | 0.98 | 1.01 | 1.01 | 0.97 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.40 | 0.44 | 0.59 | 0.84 | 1.07 | 1.03 | 0.96 | 1.02 | 0.98 | 1.01 | 0.99 | 0.95 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.27 | 0.32 | 0.55 | 1.00 | 1.04 | 1.04 | 1.02 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.01 | 0.97 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.20 | 0.34 | 0.54 | 1.12 | 1.06 | 0.97 | 0.99 | 1.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 1.00 |  |
| 45       | 1/2   | 0.49 | 0.50 | 0.55 | 0.63 | 0.73 | 0.85 | 0.96 | 1.04 | 1.06 | 1.04 | 1.00 | 0.99 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.38 | 0.40 | 0.47 | 0.59 | 0.76 | 0.95 | 1.07 | 1.06 | 0.98 | 0.97 | 1.01 | 1.01 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.29 | 0.31 | 0.39 | 0.56 | 0.83 | 1.08 | 1.04 | 1.04 | 0.96 | 1.03 | 0.98 | 1.01 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.18 | 0.20 | 0.29 | 0.54 | 1.01 | 1.04 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.99 | 1.01 | 1.00 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.13 | 0.15 | 0.22 | 0.53 | 1.13 | 1.07 | 0.96 | 0.98 | 1.02 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |  |
| 60       | 1/2   | 0.40 | 0.41 | 0.45 | 0.52 | 0.60 | 0.72 | 0.85 | 1.13 | 1.04 | 1.06 | 1.03 | 1.01 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.31 | 0.32 | 0.36 | 0.44 | 0.57 | 0.75 | 0.95 | 1.08 | 1.06 | 0.98 | 0.98 | 1.01 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.22 | 0.23 | 0.28 | 0.37 | 0.55 | 0.83 | 1.08 | 1.04 | 0.96 | 1.03 | 0.98 | 1.01 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.14 | 0.15 | 0.18 | 0.28 | 0.53 | 1.01 | 1.04 | 1.05 | 1.03 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.21 | 0.32 | 1.14 | 1.07 | 0.96 | 0.98 | 1.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |  |
| 75       | 1/2   | 0.34 | 0.35 | 0.38 | 0.42 | 0.50 | 0.59 | 0.71 | 0.85 | 0.97 | 1.04 | 1.05 | 1.02 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.25 | 0.26 | 0.29 | 0.34 | 0.43 | 0.56 | 0.75 | 0.95 | 1.02 | 1.06 | 0.98 | 0.98 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.18 | 0.19 | 0.22 | 0.26 | 0.36 | 0.54 | 0.83 | 1.09 | 1.04 | 0.96 | 1.03 | 0.99 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.17 | 0.27 | 0.52 | 1.01 | 1.04 | 1.05 | 1.03 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.13 | 0.20 | 0.52 | 1.14 | 1.07 | 0.96 | 0.98 | 1.01 | 1.00 | 1.00 |  |
| 90       | 1/2   | 0.31 | 0.31 | 0.33 | 0.36 | 0.41 | 0.49 | 0.59 | 0.71 | 0.85 | 0.96 | 1.03 | 1.03 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.22 | 0.23 | 0.24 | 0.28 | 0.33 | 0.42 | 0.56 | 0.75 | 0.96 | 1.07 | 1.05 | 0.99 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.16 | 0.16 | 0.18 | 0.20 | 0.26 | 0.35 | 0.54 | 0.69 | 1.08 | 1.04 | 0.96 | 1.02 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.16 | 0.27 | 0.53 | 1.01 | 1.04 | 1.05 | 1.02 | 0.99 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.13 | 0.20 | 0.52 | 1.14 | 1.07 | 0.96 | 0.99 | 1.01 | 1.00 |  |
| 105      | 1/2   | 0.28 | 0.28 | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.41 | 0.49 | 0.59 | 0.72 | 0.85 | 0.97 | 1.01 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.20 | 0.20 | 0.24 | 0.23 | 0.27 | 0.33 | 0.42 | 0.56 | 0.75 | 0.95 | 1.06 | 1.04 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.17 | 0.20 | 0.25 | 0.35 | 0.54 | 0.83 | 1.08 | 1.03 | 0.97 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.17 | 0.27 | 0.52 | 1.02 | 1.04 | 1.04 | 1.02 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.12 | 0.20 | 0.52 | 1.14 | 1.07 | 0.97 | 0.99 | 1.00 |  |
| 120      | 1/2   | 0.25 | 0.26 | 0.27 | 0.28 | 0.31 | 0.35 | 0.41 | 0.50 | 0.60 | 0.73 | 0.87 | 0.97 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.27 | 0.33 | 0.43 | 0.57 | 0.76 | 0.95 | 1.04 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 0.17 | 0.20 | 0.26 | 0.36 | 0.55 | 0.83 | 1.07 | 1.03 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.13 | 0.16 | 0.27 | 0.53 | 1.01 | 1.04 | 1.03 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.09 | 0.13 | 0.20 | 0.52 | 1.13 | 1.06 | 0.98 | 1.00 |  |
| 135      | 1/2   | 0.24 | 0.24 | 0.25 | 0.26 | 0.28 | 0.32 | 0.36 | 0.42 | 0.52 | 0.63 | 0.76 | 0.90 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.18 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.28 | 0.34 | 0.44 | 0.59 | 0.78 | 0.95 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 0.17 | 0.20 | 0.26 | 0.37 | 0.56 | 0.84 | 1.05 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.13 | 0.17 | 0.28 | 0.54 | 1.00 | 1.04 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.13 | 0.21 | 0.53 | 1.12 | 1.05 | 1.00 |  |
| 150      | 1/2   | 0.23 | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.27 | 0.29 | 0.33 | 0.38 | 0.45 | 0.55 | 0.68 | 0.83 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.22 | 0.24 | 0.29 | 0.36 | 0.47 | 0.63 | 0.83 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.18 | 0.22 | 0.28 | 0.39 | 0.59 | 0.86 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.18 | 0.29 | 0.55 | 0.99 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.13 | 0.22 | 0.54 | 1.10 | 1.00 |  |
| 165      | 1/2   | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.24 | 0.26 | 0.28 | 0.31 | 0.35 | 0.41 | 0.50 | 0.63 | 0.79 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.19 | 0.20 | 0.23 | 0.26 | 0.32 | 0.40 | 0.53 | 0.73 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.16 | 0.19 | 0.23 | 0.31 | 0.44 | 0.68 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.12 | 0.15 | 0.20 | 0.32 | 0.63 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.11 | 0.11 | 0.21 | 0.58 | 1.00 |  |
| 180      | 1/2   | 0.20 | 0.25 | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.28 | 0.31 | 0.34 | 0.40 | 0.49 | 0.61 | 0.78 | 1.00 |  |
|          | 1     | 0.10 | 0.17 | 0.16 | 0.18 | 0.18 | 0.23 | 0.22 | 0.25 | 0.31 | 0.38 | 0.50 | 0.70 | 1.00 |  |
|          | 2     | 0.02 | 0.09 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.18 | 0.16 | 0.18 | 0.22 | 0.29 | 0.40 | 0.60 | 1.00 |  |
|          | 5     | 0.02 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.18 | 0.27 | 0.46 | 1.00 |  |
|          | 10    | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.13 | 0.20 | 0.36 | 1.00 |  |

Πίνακας 2.1: Πίνακας τιμών συντελεστού περίθλασης γύρω από ημι-απειρο κυματοθραύστη (Μουτζούρης, 2006)

**Περίθλαση σε άνοιγμα λιμενολεκάνης.** Περίθλαση σε είσοδο λιμενολεκάνης με άνοιγμα εισόδου πλάτους B. Από τη γωνία πρόσπτωσης  $\theta$  καθορίζεται το ισοδύναμο πλάτος εισόδου B' (προβολή του B στην κατεύθυνση πρόσπτωσης)

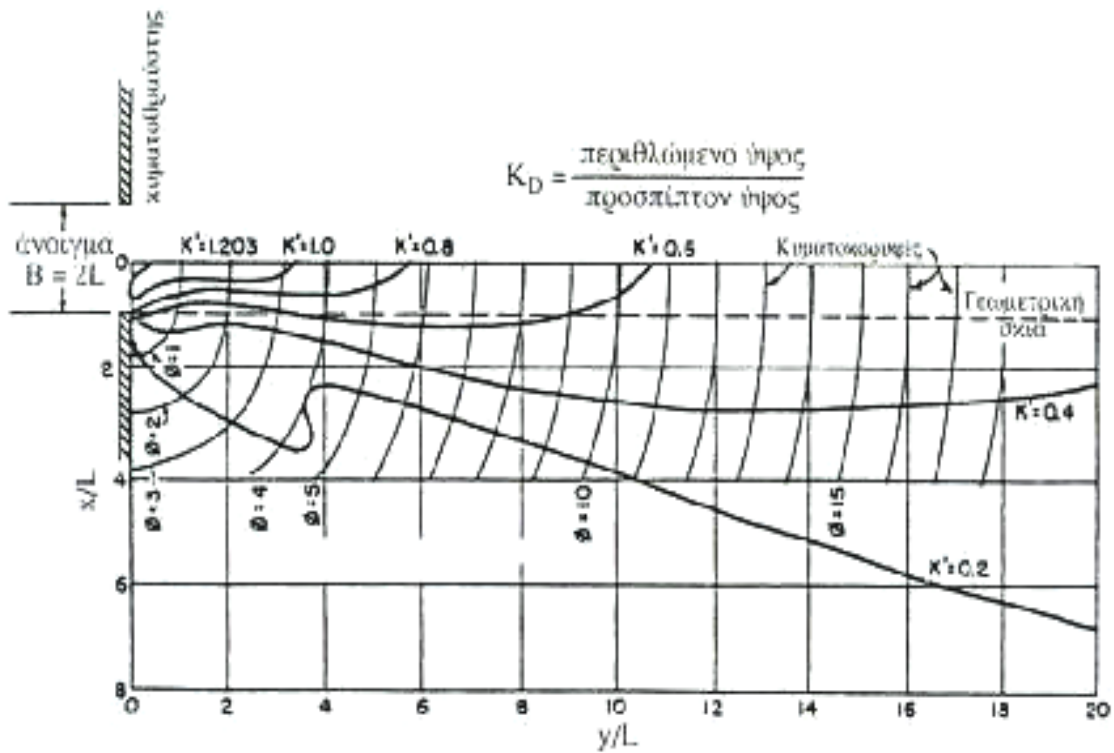
$$B' = B \sin(\theta)$$

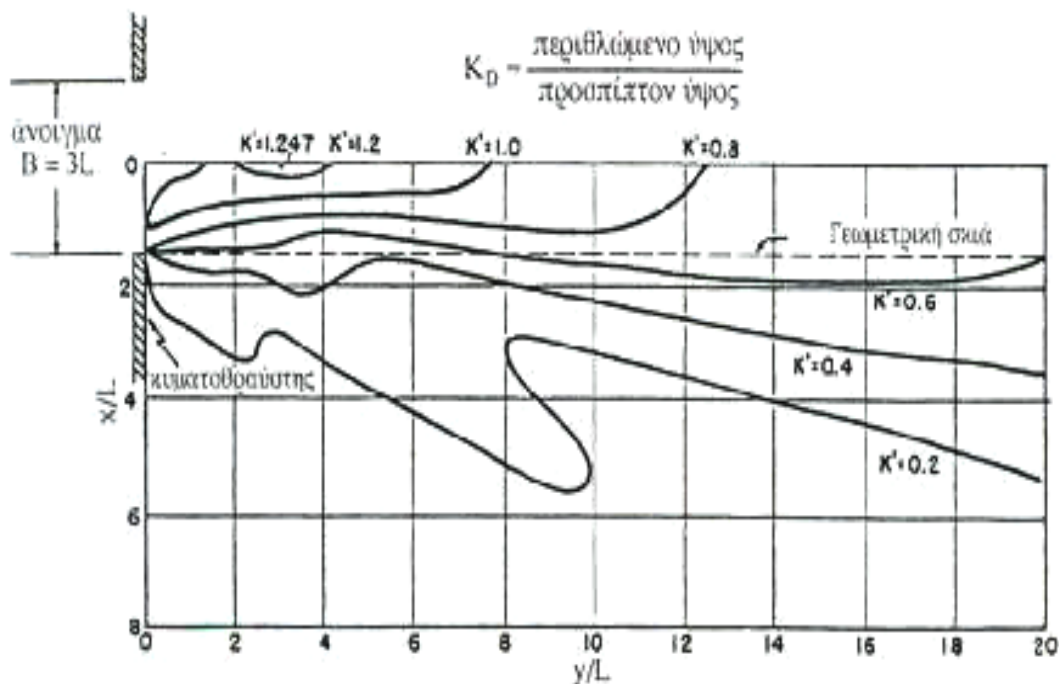




Σχήμα 2.13: Ισοδύναμο πλάτος εισόδου σε λοξή πρόσπτωση κατά Johnson (Κουτίτας, 1994, Κομβούτης, 1980)

Από τη σχετική τιμή πλάτους  $B'/L$  ανατρέχουμε στο αντίστοιχο νομογράφημα που δίνει τον  $K_D$  ανάλογα με τη θέση  $x/L$ ,  $y/L$  του σημείου Α. Δείγμα από τυπικά νομογραφήματα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του συντελεστή περίθλασης για  $B/L=2$  και  $B/L=3$ , είναι τα ακόλουθα:





Σχήμα 2.14: Νομογραφήματα για περίθλαση σε είσοδο λεκάνης κατά Johnson (Κουτίτας, 1994)

Εναλλακτικά η περίθλαση γύρω από δυο άκρα μπορεί να εκτιμηθεί από τον πίνακα Wiegel και την επαλληλία των  $k_{d1}$   $k_{d2}$  από τα δυο άκρα

$$k_d^2 = k_{d1}^2 + k_{d2}^2 + 2k_{d1} k_{d2} \cos(\varphi)$$

όπου  $\varphi$  η διαφορά φάσης των δυο κυμάτων στη θέση A. (Κουτίτας, 1994)

## **2.4 ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ**

Τα εξωτερικά λιμενικά έργα είναι πολύ στενοί και ανθεκτικοί βραχίονες που κατασκευάζονται μέσα στη θάλασσα με αποκλειστικό προορισμό να εγκλωβίσουν μαζί με την ακτή μια θαλάσσια έκταση αρκετού πλάτους και μήκους (ή οποία θα αποτελέσει τη λεκάνη του λιμανιού), αλλά και να προστατεύσουν την ηρεμία της από τις επιδράσεις των κυματισμών και των ρευμάτων. (Δασκαλάκης, 1980)

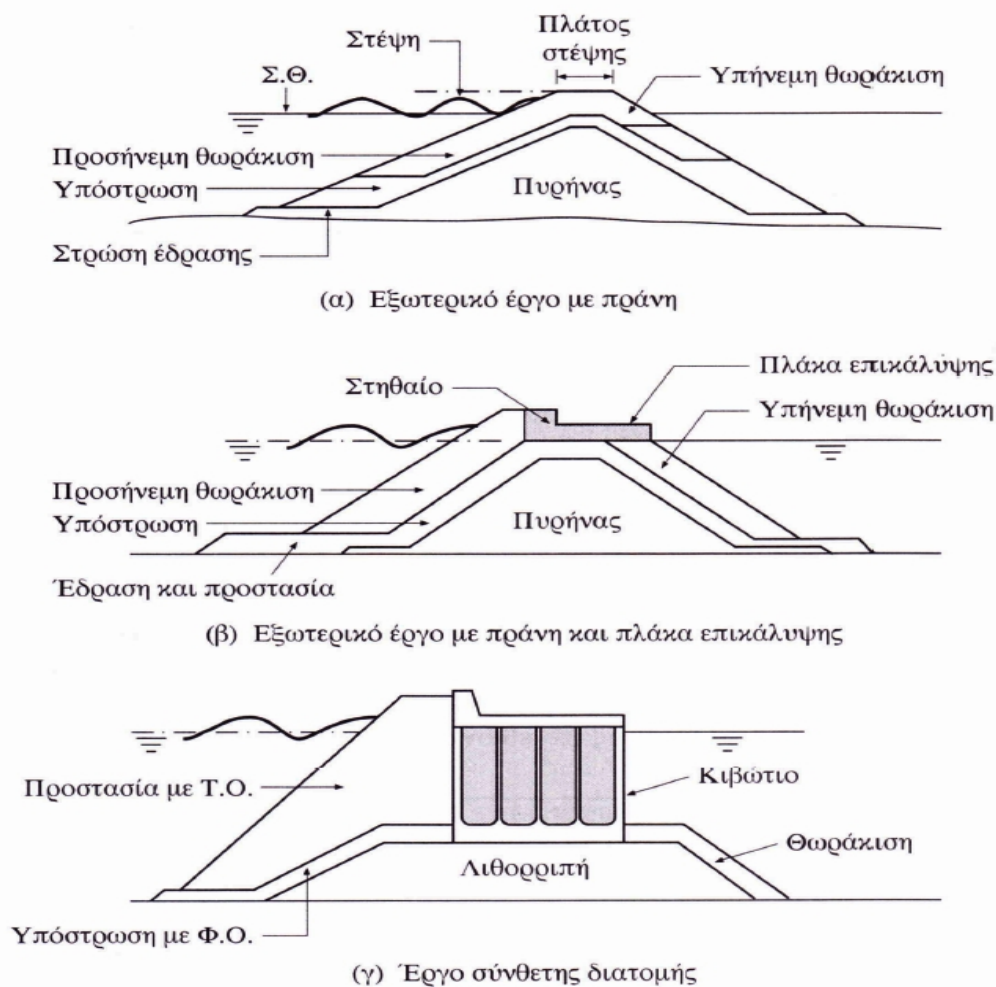
Ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους θεμελιώσεως, τα βάθη του νερού και την απαίτηση ή όχι εξυπηρέτησης σκαφών στο εσωτερικό τους μέτωπο, διακρίνονται σε έργα με πρανή, έργα με κατακόρυφο μέτωπο καθώς και σε μικτές διατομές όπου συνυπάρχουν πρανή και κατακόρυφο μέτωπο.

### 2.4.1 Έργα με πρανή

Η πλέον συνήθης μέθοδος κατασκευής εξωτερικών λιμενικών έργων, ιδιαίτερα στη χώρα μας, είναι με λιθορριπές που διατάσσονται σε τραπεζοειδή πρισματική μορφή με πρανή και προστατεύονται εξωτερικά με θωράκιση φυσικών ή τεχνητών ογκόλιθων. Η κεκλιμένη προς το πέλαγος παρειά συνιστά μηχανισμό απορρόφησης της ενέργειας των κυματισμών μέσω της θραύσης που προκαλεί. Η θωράκιση μπορεί να είναι τυχαίας ή μη τοποθέτησης. Η τελευταία εξασφαλίζει καλύτερη αλληλοεμπλοκή των λίθων θωράκισης και αυξημένη αντίσταση σε μετακίνησή τους από την κυματική δράση. (Μέμος, 1999)

### 2.4.2 Έργα με κατακόρυφο μέτωπο

Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία λιμενικών έργων προστασίας είναι με κατακόρυφο μέτωπο στην προσήνεμη πλευρά. Η βασική διαφορά υδροδυναμικής φύσεως από τα έργα με πρανή είναι πως οι κυματισμοί ανακλώνται στο μέτωπο ενώ στην περίπτωση του πρανού θραύονται και απορροφάται η ενέργειά τους. Η ανάκλαση δημιουργεί όπως είναι γνωστό στάσιμο κυματισμό και υψηλές ταχύτητες μπροστά από το κατακόρυφο μέτωπο, με αποτέλεσμα τον αυξημένο κίνδυνο υποσκαφής του πόδα του έργου, για αυτό το λόγο δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη θεμελίωση του έργου. Τα κατακόρυφα μέτωπα διαμορφώνονται από συμπαγείς ή κυνελωτούς ογκόλιθους, άοπλου σκυροδέματος ή κιβώτια οπλισμένου σκυροδέματος. (Μέμος, 1999)



Σχήμα 2.15: Τύποι έργων προστασίας με πρανή και μικτής διατομής (Μέμος, 1999)



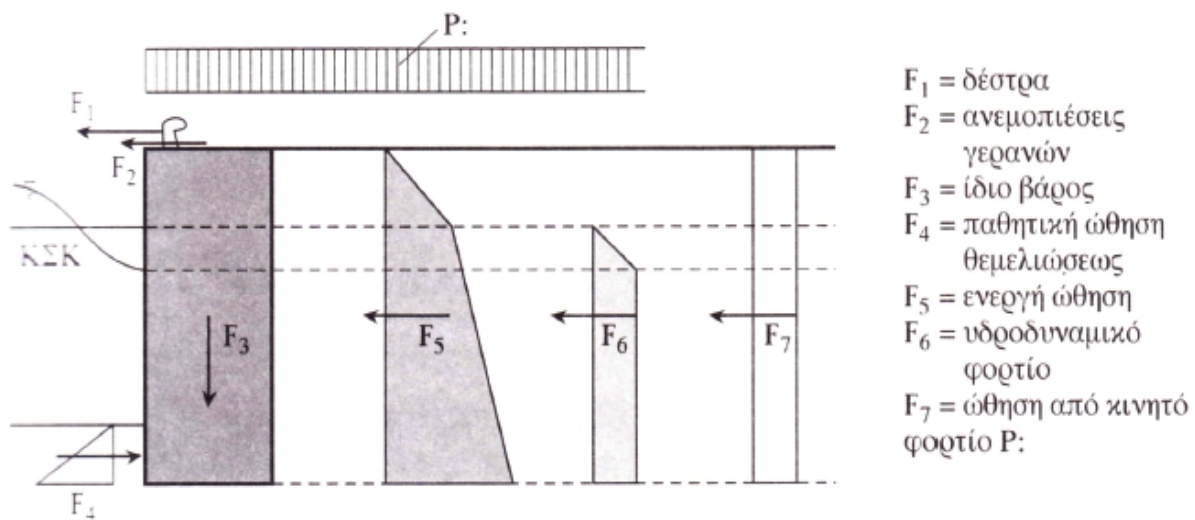
## 2.5 ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

Τα εσωτερικά λιμενικά έργα κατασκευάζονται μέσα στη λιμενολεκάνη και προς τη μεριά της ξηράς κατά γενικό κανόνα. Τα έργα αυτά καθορίζουν την εσωτερική οριογραμμή της λιμενολεκάνης πίσω από την οποία διαμορφώνονται οι χερσαίοι χώροι του λιμανιού. Σκοπός των εσωτερικών λιμενικών έργων είναι να σχηματίσουν μέσα στο λιμάνι τις κατάλληλες εκείνες μονάδες έργων οι οποίες θα δημιουργήσουν τις απαραίτητες συνθήκες, ασφαλούς, εύκολης και γρήγορης πλεύρισης και πρόσδεσης του πλοίου για να γίνει η διεκπεραίωση του φορτίου από το σκάφος στα χερσαία μέσα μεταφοράς και στις εγκαταστάσεις ή και αντίστροφα. (Κομβούτης, 1979)

Ως εσωτερικά λιμενικά έργα εννοούμε τα κάθε είδους κρηπιδώματα παραβολής των σκαφών στην προστατευόμενη λιμενολεκάνη. Το κρηπιδώμα κατασκευάζεται γενικά από ένα συνεχή, μέσα στη λεκάνη τοίχο αντιστήριξης που εκτείνεται σε όλο το μήκος και το ύψος από τον πυθμένα μέχρι την άνω στάθμη της επιφάνειάς του. Το κατακόρυφο αυτό μέτωπο διαμορφώνεται μέσω προκατασκευασμένων ογκολίθων που τοποθετούνται ο ένας επί του άλλου και ονομάζεται κρηπιδότοιχος.

### 2.5.1 Κρηπιδότοιχοι

Οι κρηπιδότοιχοι είναι τοίχοι αντιστήριξης, οι οποίοι στη ράχη τους φορτίζονται από γεώδεις όγκους (ενεργές ωθήσεις) και τις οριζόντιες φορτίσεις που προκύπτουν από τα κατακόρυφα φορτία των κρηπιδωμάτων, στη στέψη τους φορτίζονται από τις ελκτικές δυνάμεις των δεσμών των πλοίων και στην όψη τους δέχονται τα υδροδυναμικά φορτία των κυματισμών, που εισέρχονται στις λιμενολεκάνες. Στη φάση παραβολής των σκαφών παραλαμβάνουν και τις δυνάμεις προσκρούσεων των πλοίων μεταφέροντας τις σε παθητικές ωθήσεις εδάφους. (Κουτίτας, 1994)



Σχήμα 2.16: Φορτίσεις που ασκούνται σε κρηπιδότοιχο (Κουτίτας, 1994)

Ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους θεμελιώσεως, τα οριζόντια φορτία επάνω τους και τα διαθέσιμα υλικά κατασκευής, οι κρηπιδότοιχοι χωρίζονται σε κλειστού και ανοιχτού τύπου (Δανέζικοι). Οι κλειστού τύπου κατασκευάζονται από ογκολίθους άοπλου σκυροδέματος, κιβώτια οπλισμένου σκυροδέματος ή πασσαλοσανίδες.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

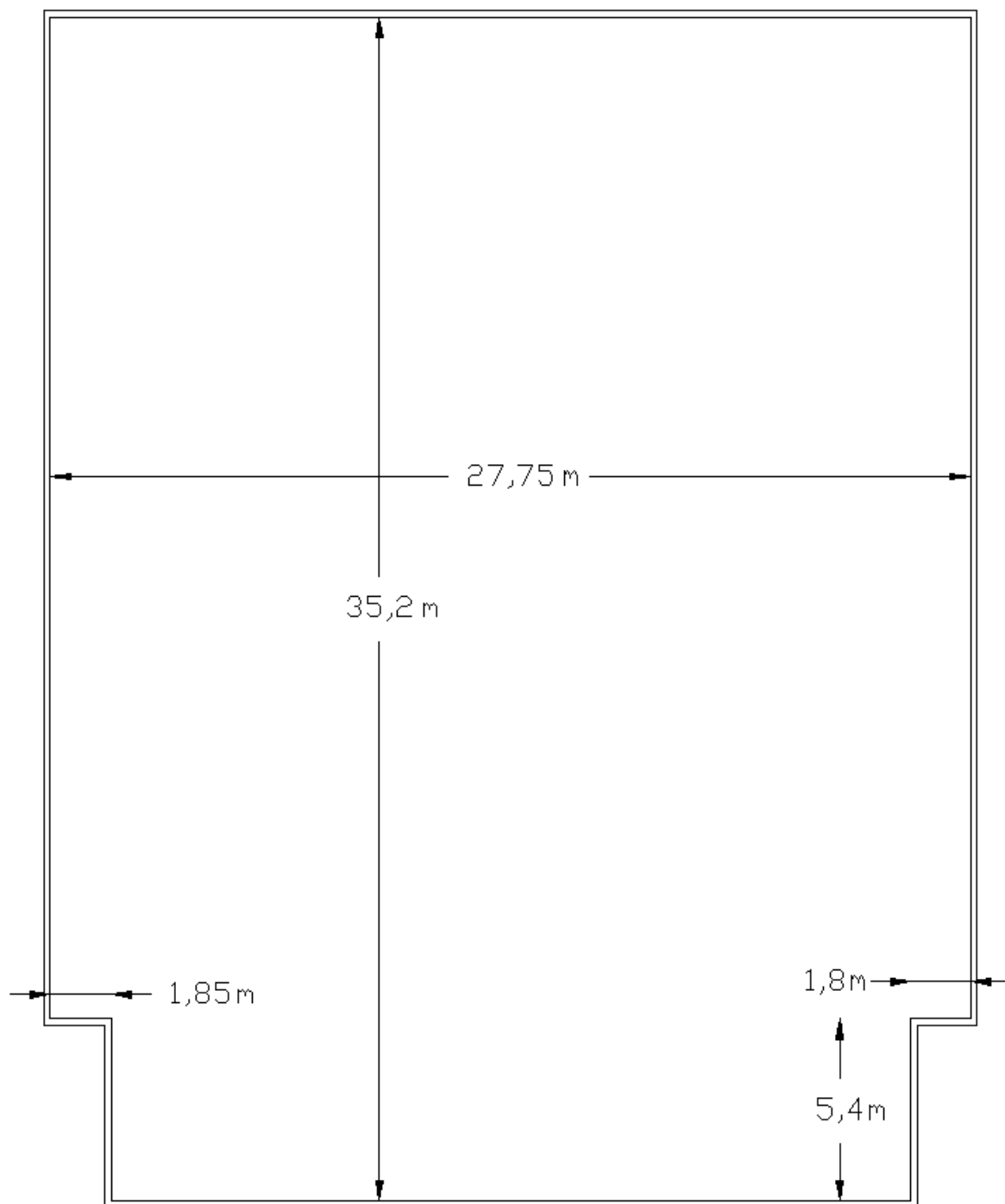
### **Πειραματικές εγκαταστάσεις εργαστηρίου**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή των πειραματικών εγκαταστάσεων (δεξαμενή δοκιμών, σύστημα δημιουργίας φυσικών κυματισμών, σύστημα μέτρησης και συλλογής αποτελεσμάτων) σε φυσικό προσομοίωμα του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π

#### **3.1 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ**

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η Δεξαμενή Δοκιμών Δ2 του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων η οποία έχει εσωτερικές διαστάσεις 35,20 x 27,75 m και βάθος 1,0 m (Σχήμα 3.1).

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



Σχήμα 3.1: Κάτοψη δεξαμενής πειραμάτων

### **3.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ**

Το σύστημα παραγωγής κυμάτων κινείται υδραυλικά και αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- Υδραυλικό μηχανισμό-κινητήρα
- Υδραυλικά έμβολα

- Τρεις κυματιστήρες
- Σύστημα ελέγχου
- Κατάλληλο λογισμικό

Ο υδραυλικός μηχανισμός αποτελείται από μια αντλία και ένα δοχείο λαδιού, το οποίο κινεί τα έμβολα. Τα έμβολα είναι εγκατεστημένα επί των κυματιστήρων και κινούν τους βραχίονες αυτών, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούν το κατακόρυφο μέτωπο των κυματιστήρων και έτσι παράγονται τα κύματα. Το μέτωπο του κάθε κυματιστήρα έχει πλάτος 8m και ύψος 0,80m. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τρεις κυματιστήρες, με δυνατότητα ταυτόχρονης μετατοπίσεως των κυματογεννητριών, ώστε να ελέγχεται το προσομοίωμα με διαφορετικές διευθύνσεις προσπτώσεως κυμάτων.

Οι εντολές για τη λειτουργία του υδραυλικού συστήματος δίδονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη χρήση λογισμικού συστήματος. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των κυμάτων είναι το πακέτο H.R. Wave Generation Control Program της Αγγλικής εταιρίας H.R. Wallingford στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων. Έχει την δυνατότητα παραγωγής μονοχρωματικών (ημιτονοειδών) κυματισμών και φασματικών διαταραχών μορφών-τυχαίων κυματισμών.

### **3.3 ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΚΥΜΑΤΟΣ**

Για την μέτρηση των χαρακτηριστικών των κυμάτων το εργαστήριο διαθέτει μετρητές κύματος τύπου αντιστάσεως οι οποίοι αποτελούνται από δυο σύρματα στερεωμένα σε στέλεχος στηριζόμενο σε τρίποδο (βάση). Οι μετρητές τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις και συνδέονται με ενισχυτή σήματος, ο οποίος στέλνει το σήμα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία. Με τους μετρητές αυτούς, καταγράφεται η μεταβολή της στάθμης του νερού ως διαφορά δυναμικού, από την οποία προκύπτουν τελικά με κατάλληλη βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης, τα χαρακτηριστικά μεγέθη της κυματικής διαταραχής στις συγκεκριμένες θέσεις.

Το εργαστήριο διαθέτει δυο σειρές μετρητών κύματος. Η σειρά Α αποτελείται από μετρητές με κοντά στελέχη, ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση του κύματος σε βάθος πολύ μικρό ( $20\text{cm} > d > 4\text{cm}$ ). Η σειρά Β αποτελείται από μετρητές με μακρύτερο στέλεχος και δύναται να μετρά σε μεγαλύτερα βάθη νερού ( $80\text{cm} > d > 7\text{cm}$ ).

### **3.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Στα συγκεκριμένα πειράματα, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 16 μετρητές από τους οποίους οι 8 ήταν σειράς Β για μετρήσεις σε βαθιά νερά, ενώ άλλοι οι 8 ήταν σειράς Α για μετρήσεις σε ρηγά νερά. Τελικά, μετρήθηκε και αναλύθηκε η κυματική διαταραχή σε 16 διαφορετικά σημεία της δεξαμενής. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή και ανάλυση των μετρήσεων είναι το λογισμικό πακέτο Wavedata της εταιρίας H.R. Wallingford. Τα μετρηθέντα κύματα αναλύθηκαν φασματικά και στατιστικά.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **Περιγραφή διάταξης του φυσικού προσομοιώματος**

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται στοιχεία για τις κλίμακες ομοιότητας, περιγράφονται οι πειραματικές διατάξεις που ελέγχθηκαν και στη συνέχεια παρουσιάζονται σε πίνακα οι πειραματικές μετρήσεις.

#### **4.1 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑΣ**

Για την επιλογή της κλίμακας ομοιότητας ελήφθησαν υπόψη οι εξής παράμετροι:

- Οι διαστάσεις της εγκατάστασής σε σχέση με τις διαστάσεις της περιοχής, η οποία προσομοιώθηκε.
- Η δυνατότητα να προσομοιωθούν ικανοποιητικά οι κυματισμοί στην περιοχή των έργων.

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

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

όπου  $u$  είναι χαρακτηριστική ταχύτητα (m/sec),  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec<sup>2</sup>),  $D$  χαρακτηριστικό μήκος (m)

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

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

Στο προκείμενο προσομοίωμα εκλέχθηκε γεωμετρική κλίμακα προσομοιώσεως  $\lambda=125$ . Οι τιμές των λόγων ομοιότητας διαφόρων παραμέτρων δίνονται στον επόμενο Πίνακα 5.1.

| Παράμετρος | Κλίμακα                                    | Τιμή         |
|------------|--|--------------|
| Μήκος      | $\lambda = \lambda$                        | 125          |
| Χρόνος     | $\lambda_p = \lambda^{1/2}$                | 11,18        |
| Ταχύτητα   | $\lambda_v = \lambda^{1/2}$                | 11,18        |
| Δύναμη     | $\lambda_\Delta = \lambda^3$               | 1.953.125,00 |
| Όγκος      | $\lambda_o = \lambda^3$                    | 1.953.125,00 |
| Μάζα       | $\lambda_\mu = \lambda^3 \times (M_p/M_m)$ | 2.031.250,00 |
| Επιτάχυνση | 1  | 1            |

Πίνακας 4.1: Τιμές λόγων ομοιότητας διαφόρων παραμέτρων

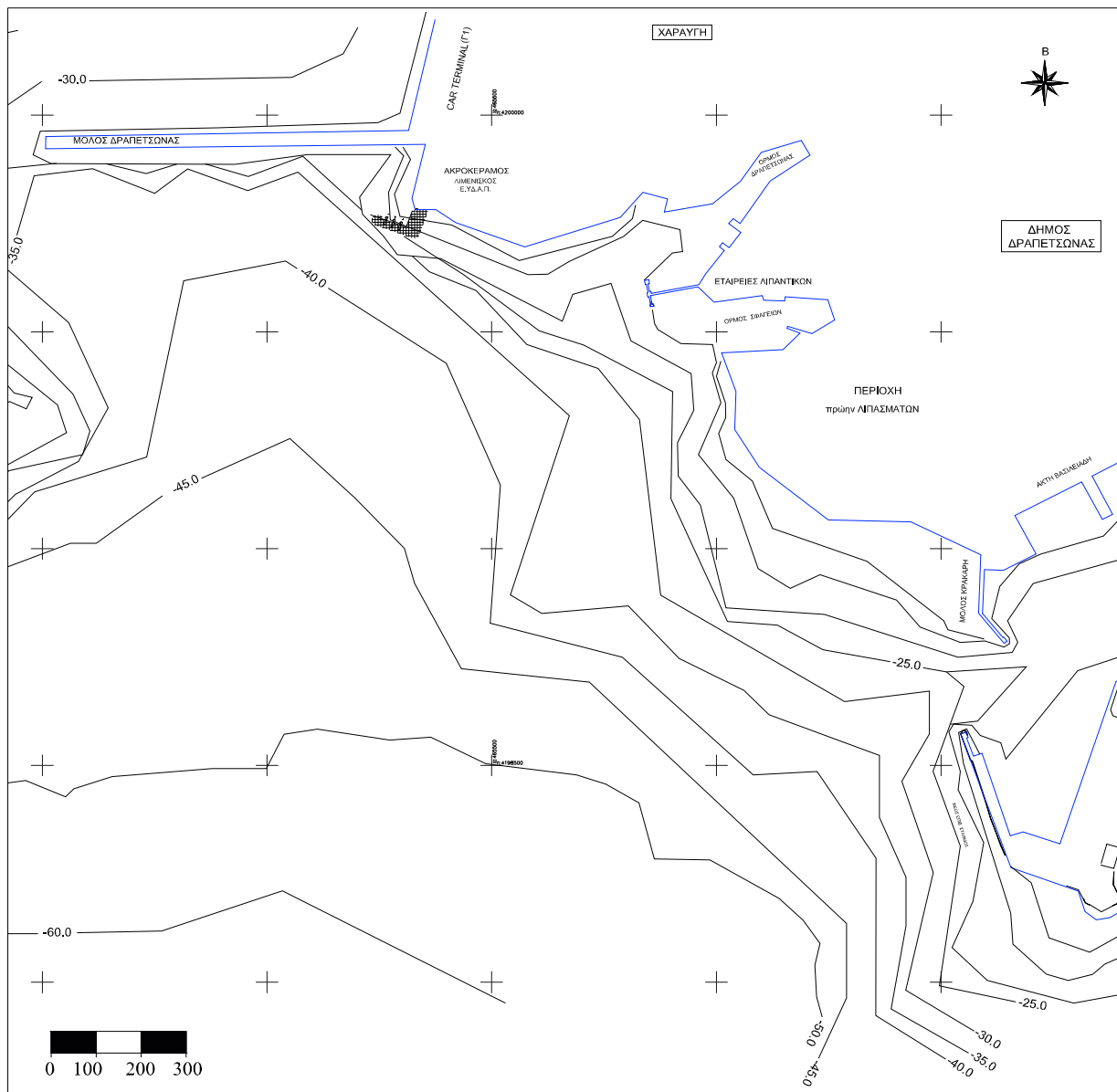
#### **4.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ**

Διεξήχθησαν πειράματα με 3 διαφορετικές διατάξεις. Η πρώτη διάταξη, είναι φυσικό προσομοίωμα της υπάρχουσας κατάστασης του τμήματος εισόδου του λιμένα Πειραιά και του θαλάσσιου χώρου στον οποίο θα κατασκευασθούν τα νέα έργα(ΔΙΑΤΑΞΗ 1). Η δεύτερη διάταξη, περιλαμβάνει τα έργα όπως αυτά προτάθηκαν από τον Ο.Λ.Π Α.Ε.(ΔΙΑΤΑΞΗ 2). Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων όμως, διαπιστώθηκε ότι ο μόλος υπερπηδάται, με αποτέλεσμα να μην ηρεμεί η προσήνεμη πλευρά. Μέτα από αυτή τη διαπίστωση, άλλαξε η προτεινόμενη διάταξη έργων, με ανύψωση του στηθαίου, αλλαγή στη διατομή του τμήματος του μόλου ΒΓ και μείωση του τελευταίου τμήματος του μόλου ΑΒ κατά 220m (ΔΙΑΤΑΞΗ 3).

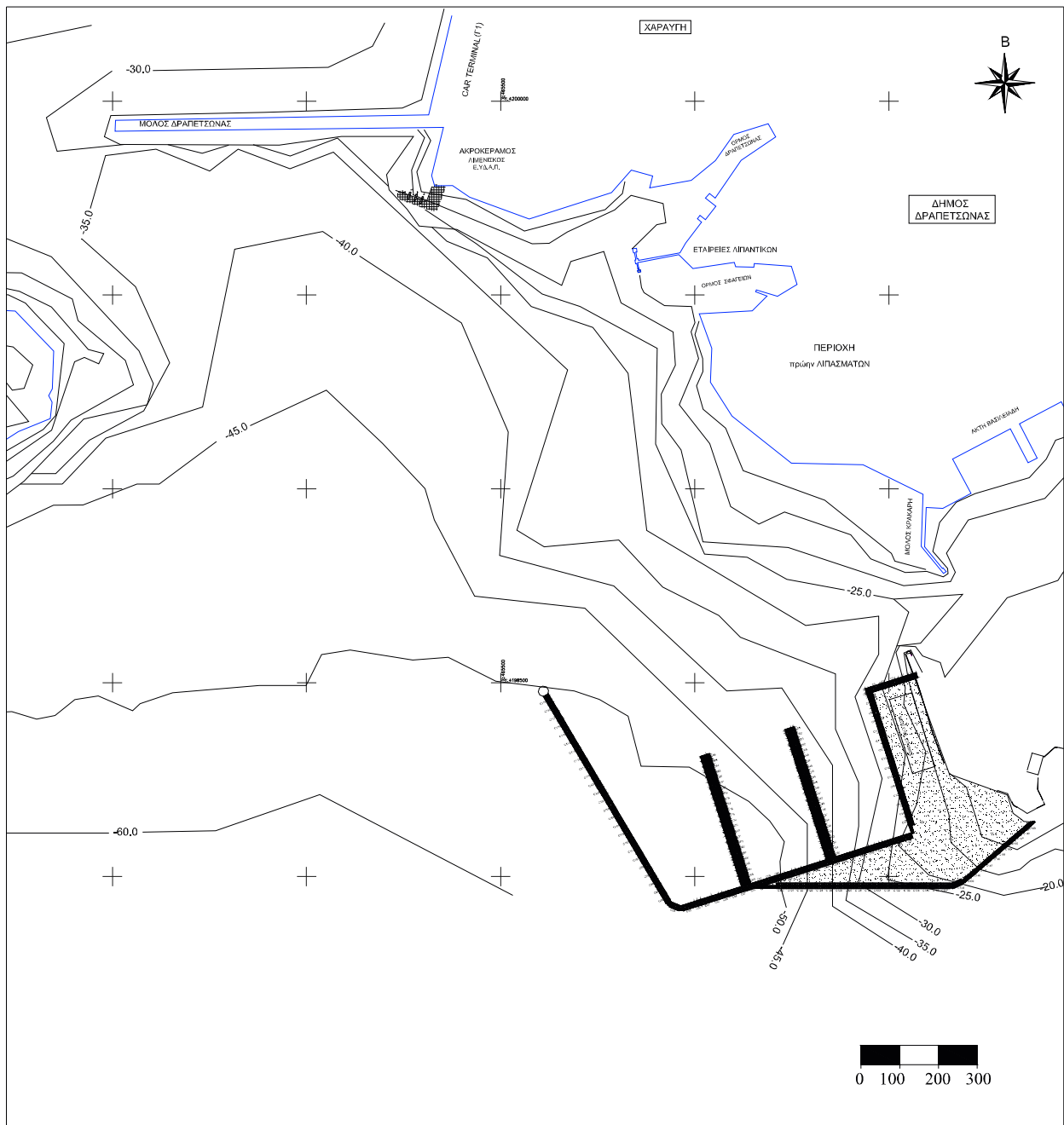
| ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ   |
|---------------------|---|
| 1                   | Υφιστάμενη κατάσταση  |
| 2                   | Προτεινόμενα έργα για την εξυπηρέτηση 6 κρουαζιεροπλοίων (αρχικός σχεδιασμός) |
| 3                   | Προτεινόμενα έργα για την εξυπηρέτηση 6 κρουαζιεροπλοίων (τελικός σχεδιασμός) |

Πίνακας 4.2: Πειραματικές διατάξεις

Στα ακόλουθα σχήματα η ακτογραμμή απεικονίζεται με μπλε χρώμα.

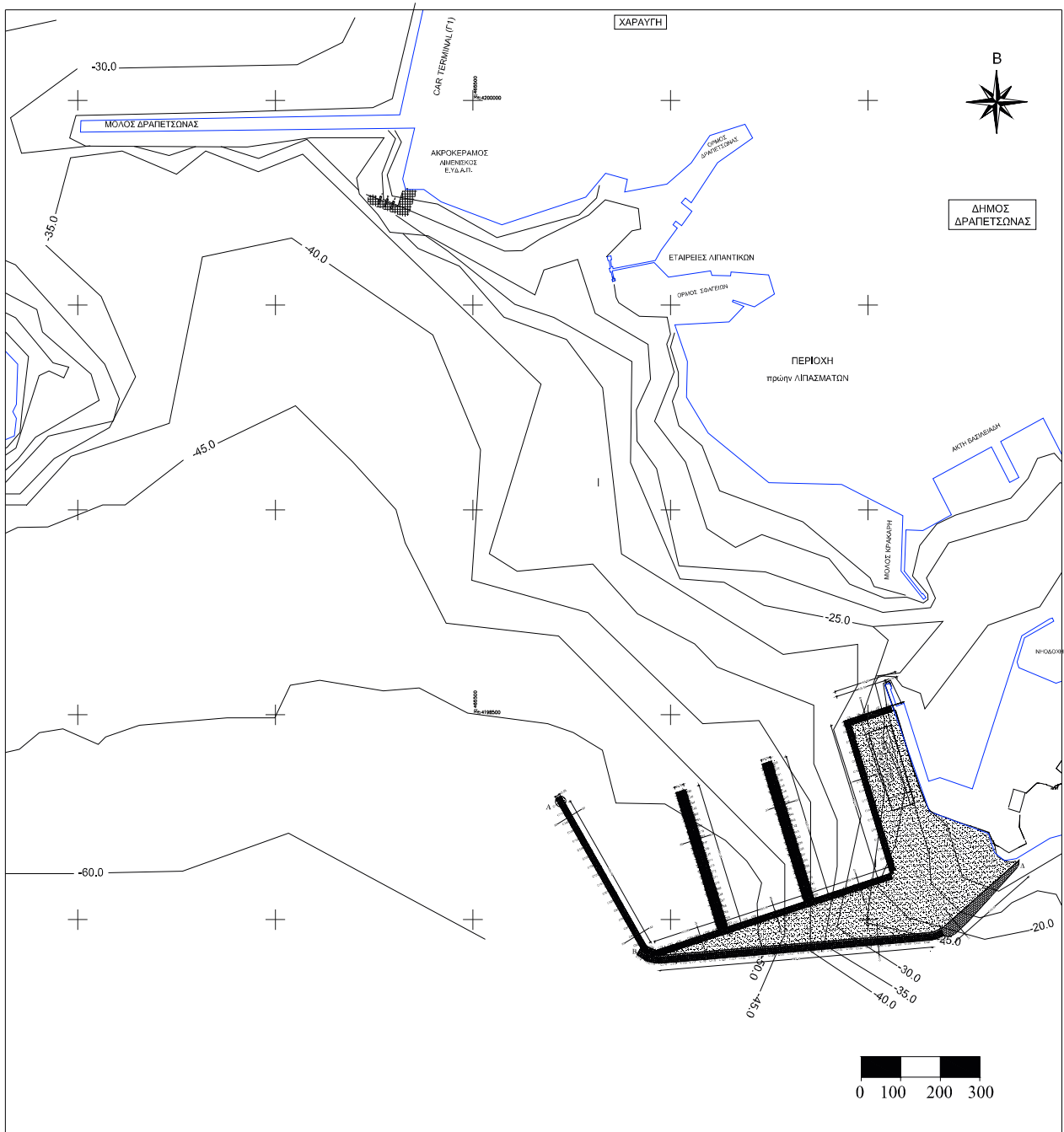


Σχήμα 4.1: Πειραματική διάταξη 1



Σχήμα 4.2: Έργα πειραματικής διάταξης 2





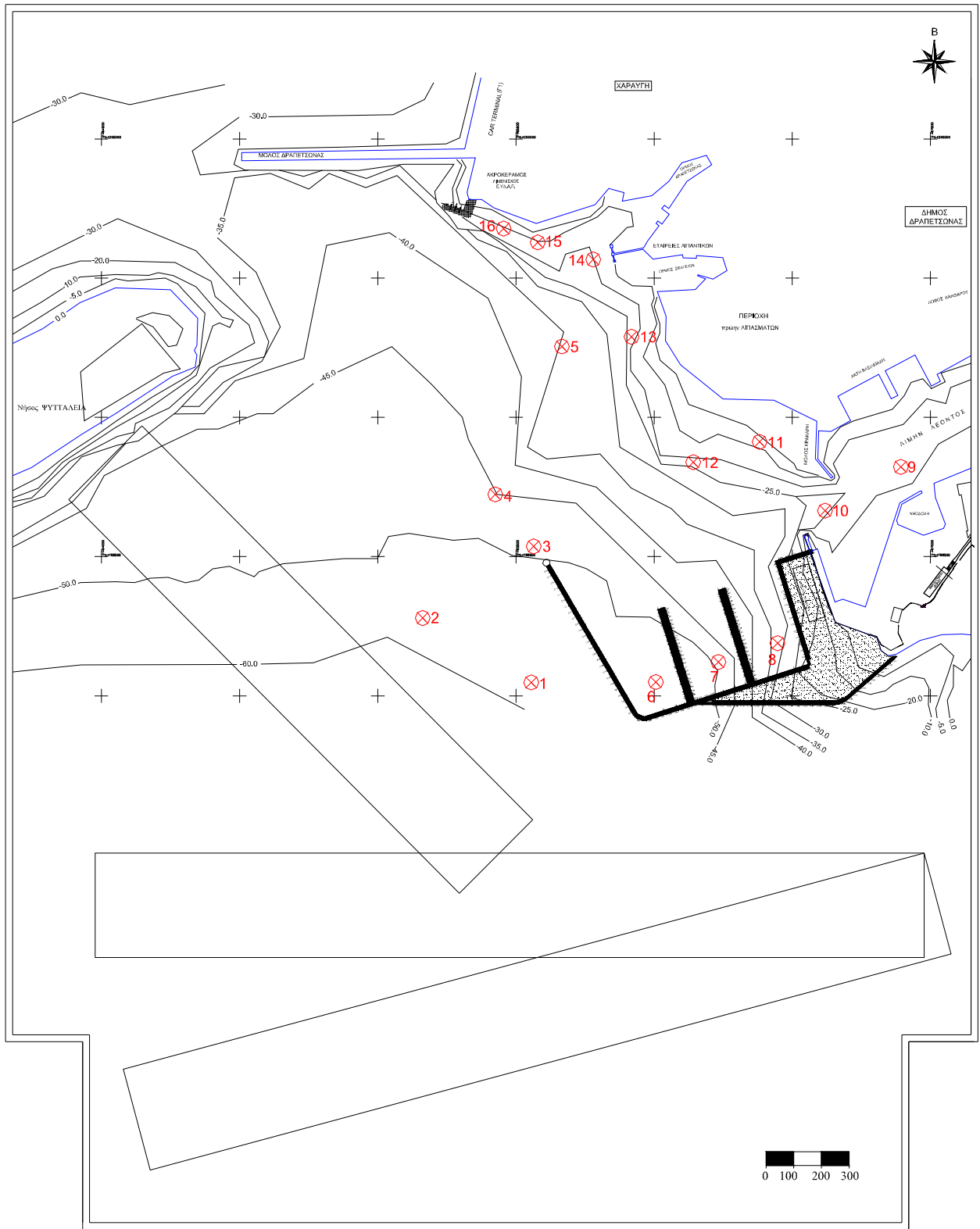
Σχήμα 4.3: Έργα πειραματικής διάταξης 3

#### 4.2 ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Για την καταγραφή της κυματικής διαταραχής στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν 16 μετρητές κύματος σε προκαθορισμένες θέσεις. Στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί, περιγράφονται αναλυτικά οι θέσεις των μετρητών στο φυσικό προσομοίωμα.

| A/A | ΜΕΤΡΗΤΗΣ | ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΤΗ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ   |
|-----|----------|---|
| 1   | M1       | Βρίσκεται εκτός της λιμενολεκάνης, στο θαλάσσιο χώρο δυτικά του νέου προσήνεμου μώλου   |
| 2   | M2       | Βρίσκεται εκτός της λιμενολεκάνης, στο θαλάσσιο χώρο δυτικά της εισόδου του λιμένα και του μετρητή M1. Είναι ο μετρητής ελέγχου |
| 3   | M3       | Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο όπου θα διαμορφωθεί η είσοδος του νέου λιμένα κοντά στο νέο ακρομώλιο                              |
| 4   | M4       | Βρίσκεται εκτός της λιμενολεκάνης στον θαλάσσιο χώρο βόρεια της εισόδου του λιμένα και του μετρητή M3                           |
| 5   | M5       | Βρίσκεται εκτός της λιμενολεκάνης, στο θαλάσσιο χώρο εξωτερικά του όρμου Φορών  |
| 6   | M6       | Βρίσκεται στην περιοχή όπου θα κατασκευασθεί η δυτική νέα νηοδόχος  |
| 7   | M7       | Βρίσκεται στην περιοχή όπου θα κατασκευασθεί η κεντρική νέα νηοδόχος  |
| 8   | M8       | Βρίσκεται στην περιοχή όπου θα κατασκευασθεί η ανατολική νέα νηοδόχος   |
| 9   | M9       | Βρίσκεται εντός της υφιστάμενης λιμενολεκάνης, στο κέντρο του προλιμένα   |
| 10  | M10      | Βρίσκεται στην είσοδο του υφιστάμενου λιμένα, μεταξύ των μώλων Κράκαρη και Θεμιστοκλέους  |
| 11  | M11      | Βρίσκεται εκτός του υφιστάμενου λιμένα δυτικά στην βόρεια ακτή, στην περιοχή νότια των Λιπασμάτων.                              |
| 12  | M12      | Βρίσκεται δυτικότερα του M11  |
| 13  | M13      | Βρίσκεται στην δυτική ακτή της περιοχής Λιπασμάτων πριν από την είσοδο του όρμου Σφαγείων                                       |
| 14  | M14      | Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο προ των Όρμων Δραπετσώνας και Σφαγείων εμπρός από υφιστάμενη προβλήτα                              |
| 15  | M15      | Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο δυτικά των όρμων Δραπετσώνας και Σφαγείων στην βόρεια ακτή .                                       |
| 16  | M16      | Βρίσκεται στην βόρεια ακτή μπροστά από τον Ακροκέραμο   |

Πίνακας 4.3: Περιγραφή θέσεων μετρητών

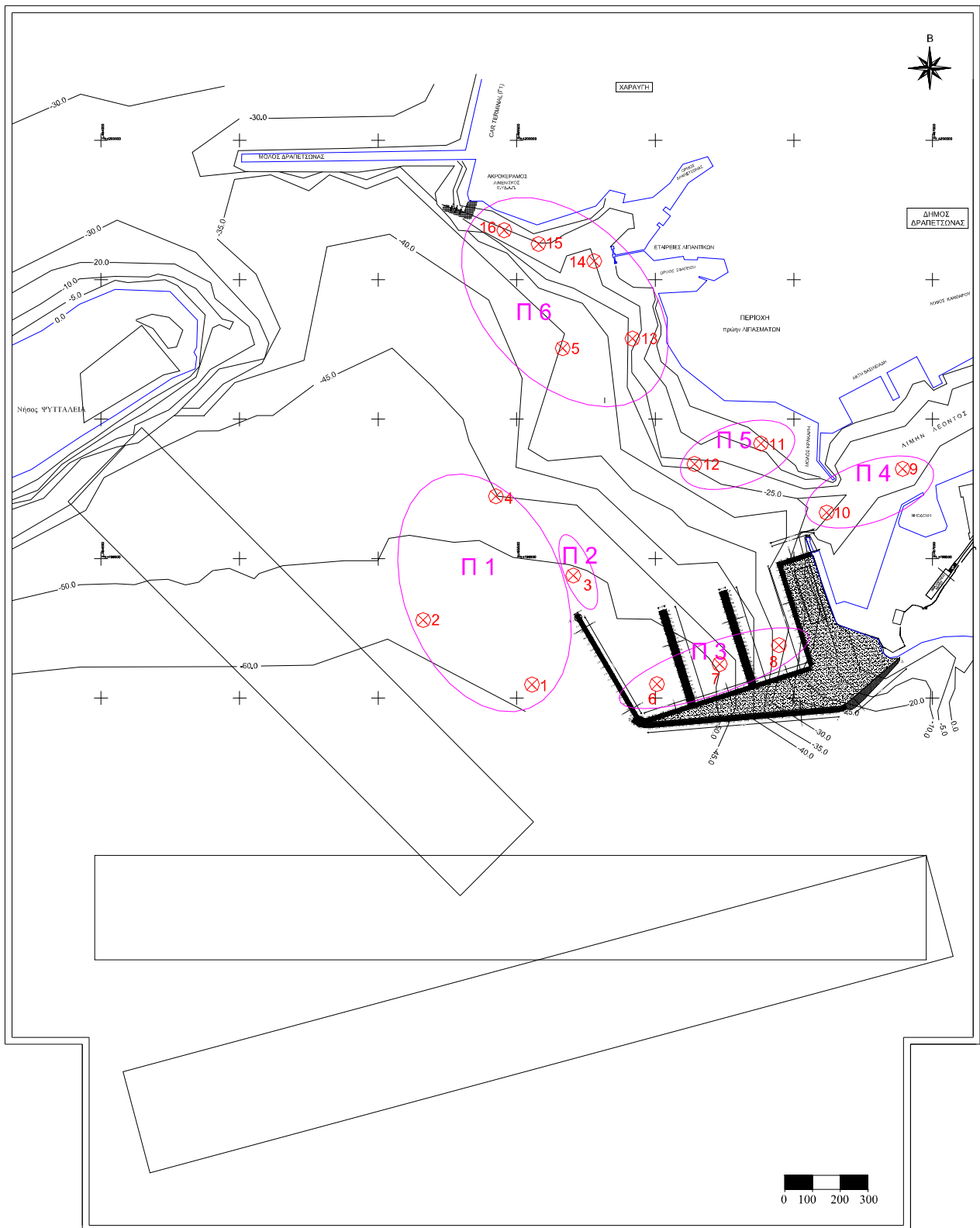


Σχήμα 4.4: Θέσεις μετρητών και κυματιστήρες (Διάταξη 2)

Για την βέλτιστη εξαγωγή συμπερασμάτων, οι θέσεις μετρήσεων της κυματικής διαταραχής, κατανέμονται ανά χαρακτηριστική περιοχή του λιμένα ως εξής:

| <b>ΠΕΡΙΟΧΗ</b> | <b>ΜΕΤΡΗΤΗΣ</b>        | <b>ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΤΗ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ</b>                 |
|----------------|------------------------|--|
| 1              | M1,M2,M4               | Θαλάσσια περιοχή νοτιοδυτικά (εξωτερικά) των νέων νηοδόχων |
| 2              | M3                     | Περιοχή εισόδου νέων έργων                                 |
| 3              | M6,M7,M8               | Περιοχή νέων νηοδόχων                                      |
| 4              | M9,M10                 | Είσοδος και προλιμένας υφιστάμενης λιμενολεκάνης           |
| 5              | M11,M12                | Περιοχή νότια <<Λιπασμάτων>>                               |
| 6              | M5,M13,M14,<br>M15,M16 | Περιοχή δυτικά των <<Λιπασμάτων>> και νότια Ακροκεράμου    |

*Πίνακας 4.4: Ομαδοποίηση θέσεων μετρητών*



Σχήμα 4.5: Θέσεις μετρητών ανά χαρακτηριστική περιοχή (Διάταξη 3)

### 4.3 ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

Η φυσική προσομοίωση του θαλάσσιου πυθμένα έγινε μέχρι το βάθος των 60m. Υπολογίσθηκε η μεταβολή των χαρακτηριστικών των κυμάτων από τα βάθη έως την ισοβαθή αυτή και στην συνέχεια προσομοιώθηκαν οι κυματισμοί. Για την συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν φάσματα τύπου JONSWAP με παράμετρο κλίσεως ίσο με 3.3. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ειδικά αρχεία βάσει των χαρακτηριστικών παραμέτρων των κυμάτων  $H_s$  και  $T_p$ , της κλίμακας ομοιότητας καθώς και του τύπου φάσματος JONSWAP, που έδιναν τις κατάλληλες εντολές στο σύστημα ελέγχου της κυματογεννήτριας.

Για τη διερεύνηση της κυματικής διαταραχής, ελέγχθησαν 3 διευθύνσεις πρόσπτωσης κυμάτων. Στο Πίνακα 4.2 που ακολουθεί, δίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη του ύψους κύματος  $H_s$ , της περιόδου  $T_p$  και της συχνότητας  $f$  των φασμάτων των κυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο πρωτότυπο και στο ομοίωμα αντίστοιχα.

| ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ | ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ |       |       | ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ |       |       |
|-----------|-----------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|           | H         | $T_p$ | f     | H           | $T_p$ | f     |
| S         | (m)       | (sec) |       | (cm)        | (sec) |       |
|           | 4,50      | 9,134 | 0,109 | 3,600       | 0,817 | 1,224 |
|           | 2,80      | 7,205 | 0,139 | 2,240       | 0,644 | 1,552 |
| SW        | 2,40      | 6,671 | 0,150 | 1,920       | 0,597 | 1,676 |
|           | 4,50      | 9,134 | 0,109 | 3,600       | 0,817 | 1,224 |
|           | 2,80      | 7,205 | 0,139 | 2,240       | 0,644 | 1,552 |
| S-SE      | 2,40      | 6,671 | 0,150 | 1,920       | 0,597 | 1,676 |
|           | 4,50      | 9,134 | 0,109 | 3,600       | 0,817 | 1,224 |
|           | 2,80      | 7,205 | 0,139 | 2,240       | 0,644 | 1,552 |
|           | 2,40      | 6,671 | 0,150 | 1,920       | 0,597 | 1,676 |

Πίνακας 4.5: Παράμετροι φασμάτων κυμάτων σε πρωτότυπο και προσομοίωμα

#### 4.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

| ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ | ΔΙΑΤΑΞΗ | ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΕΩΣ ΚΥΜΑΤΩΝ | $H_{s,0}$ (m) | $T_p$ (sec) |
|--------------------|---------|-------------------------------|---------------|-------------|
| 1,1,1              | 1       | ΝΟΤΙΑ                         | 4,5           | 9,13        |
| 1,1,2              | 1       | ΝΟΤΙΑ                         | 2,8           | 7,21        |
| 1,1,3              | 1       | ΝΟΤΙΑ                         | 2,4           | 6,67        |
| 1,2,1              | 1       | N-ΔΥΤΙΚΗ                      | 4,5           | 9,13        |
| 1,2,2              | 1       | N-ΔΥΤΙΚΗ                      | 2,8           | 7,21        |
| 1,2,3              | 1       | N-ΔΥΤΙΚΗ                      | 2,4           | 6,67        |
| 1,3,1              | 1       | N-ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ                   | 4,5           | 9,13        |
| 1,3,2              | 1       | N-ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ                   | 2,8           | 7,21        |
| 1,3,3              | 1       | N-ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ                   | 2,4           | 6,67        |
| 2,1,1              | 2       | ΝΟΤΙΑ                         | 4,5           | 9,13        |
| 2,1,2              | 2       | ΝΟΤΙΑ                         | 2,8           | 7,21        |
| 2,1,3              | 2       | ΝΟΤΙΑ                         | 2,4           | 6,67        |
| 3,1,1              | 3       | ΝΟΤΙΑ                         | 4,5           | 9,13        |
| 3,1,2              | 3       | ΝΟΤΙΑ                         | 2,8           | 7,21        |
| 3,1,3              | 3       | ΝΟΤΙΑ                         | 2,4           | 6,67        |
| 3,2,1              | 3       | N-ΔΥΤΙΚΗ                      | 4,5           | 9,13        |
| 3,2,2              | 3       | N-ΔΥΤΙΚΗ                      | 2,8           | 7,21        |
| 3,2,3              | 3       | N-ΔΥΤΙΚΗ                      | 2,4           | 6,67        |
| 3,3,1              | 3       | N-ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ                   | 4,5           | 9,13        |
| 3,3,2              | 3       | N-ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ                   | 2,8           | 7,21        |
| 3,3,3              | 3       | N-ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ                   | 2,4           | 6,67        |

Πίνακας 4.6: Πίνακας εκτελεσθέντων πειραμάτων

Οι μετρήσεις αναλύθηκαν με τη μέθοδο **FAST FOURRIER TRANSFORMATION (FFT)** (Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα **WAVE DATA** της εταιρίας **HR Wallingford**) και προέκυψαν τα χαρακτηριστικά μεγέθη των φασμάτων  $H_s$  και  $T_p$  για κάθε σειρά μετρήσεων, σε κάθε θέση μέτρησης. Ενδεικτικά παρουσιάζεται η απεικόνιση των αποτελεσμάτων (Πίνακες 4.6 και 4.7) που δίνονται από το λογισμικό πρόγραμμα για τους μετρητές M1 και M5, για την νότια διεύθυνση πρόσπτωσης του κυματισμού και για την Διάταξη 3 των νέων έργων. Επίσης ακολουθεί το φάσμα καταγραφέντος κυματισμού στις θέσεις των μετρητών M1 και M5.

```

C:\HR Wavedata\PEIR_SOUTH3\anres_T0001_C01_2010Nov10h12m24.csv
C:\HR WaveData\PEIR_SOUTH3\
  10/11/10 12:24
C:\HR Wavedata\PEIR_SOUTH3\Test_0001_2010Nov10h12m12.wvd
C:\HR Wavedata\PEIR_SOUTH3\calib_0005_2010Nov10h12m11.wvd
Job number: PEIR_SOUTH3
Test number 1
Channel 1          64 channels          numbered from one
probe 1
metres
Scale unspecified
No scaling applied to results
Values expressed in model terms
0.02 second scanning interval.
16384 data values test length.
256 data values    recording block length.
16384 values in series.
1.636530951999999 data points missing.
0 data points duplicate.
0 data points out of range
From inspection of data ...
327.66 second time-span.
0.02 second start time.
327.68 second end time.
All recorded data analysed
No trend removal.
No smoothing of data
No smoothing of spectrum
      -4,20E-01    metres    mean value.
       3,36E+01    metres    maximum value
      -3,11E+01    metres    minimum value
       9,11E+00    metres    standard deviation
       3,64E+01    metres    HS
       9,12E+00    metres    RMS about threshold 0
       1,17E+00    hertz     Fp
       8,53E-01    seconds    Tp
       7,18E-01    seconds    Tm (spectral calc)
       4,51E+02    number     waves recorded
       7,27E-01    seconds    Tbar (wave count)
       6,03E+01    metres    Hmax
       4,51E+01    metres    H10
       3,60E+01    metres    H3
       2,27E+01    metres    Hbar
       2,56E+01    metres    HRMS

```

Πινάκας 4.7: Δεδομένα προγράμματος *Wavedata* για μετρητή *M1*

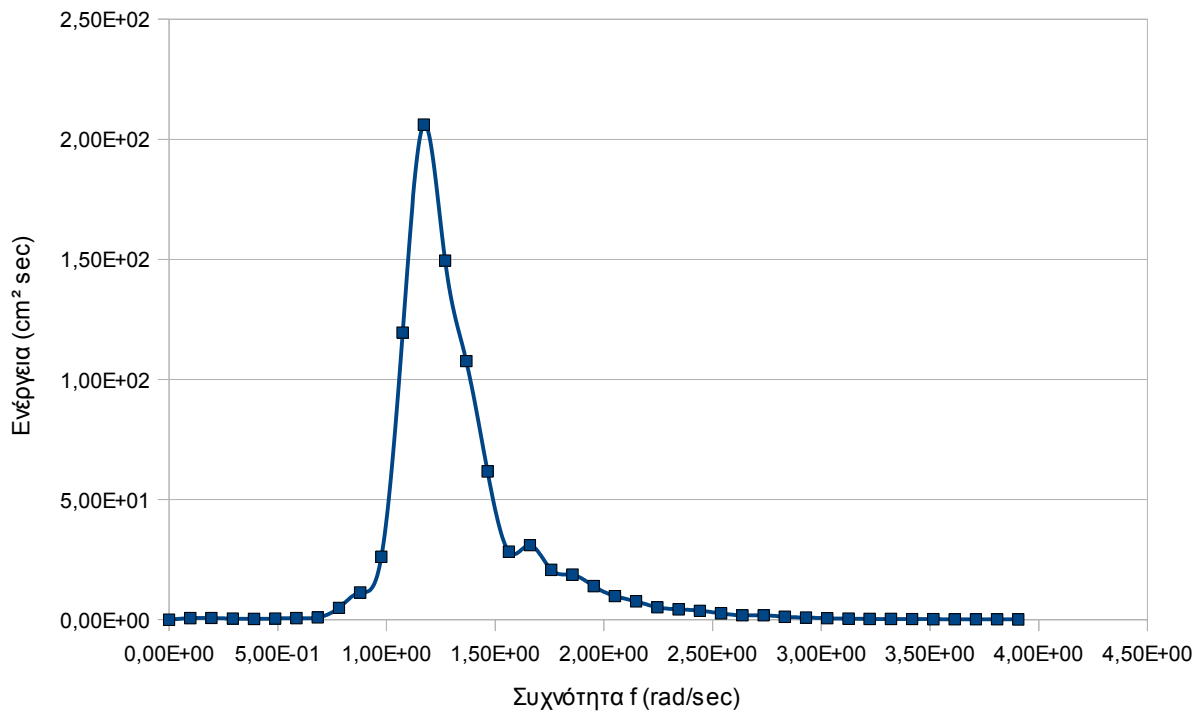


```

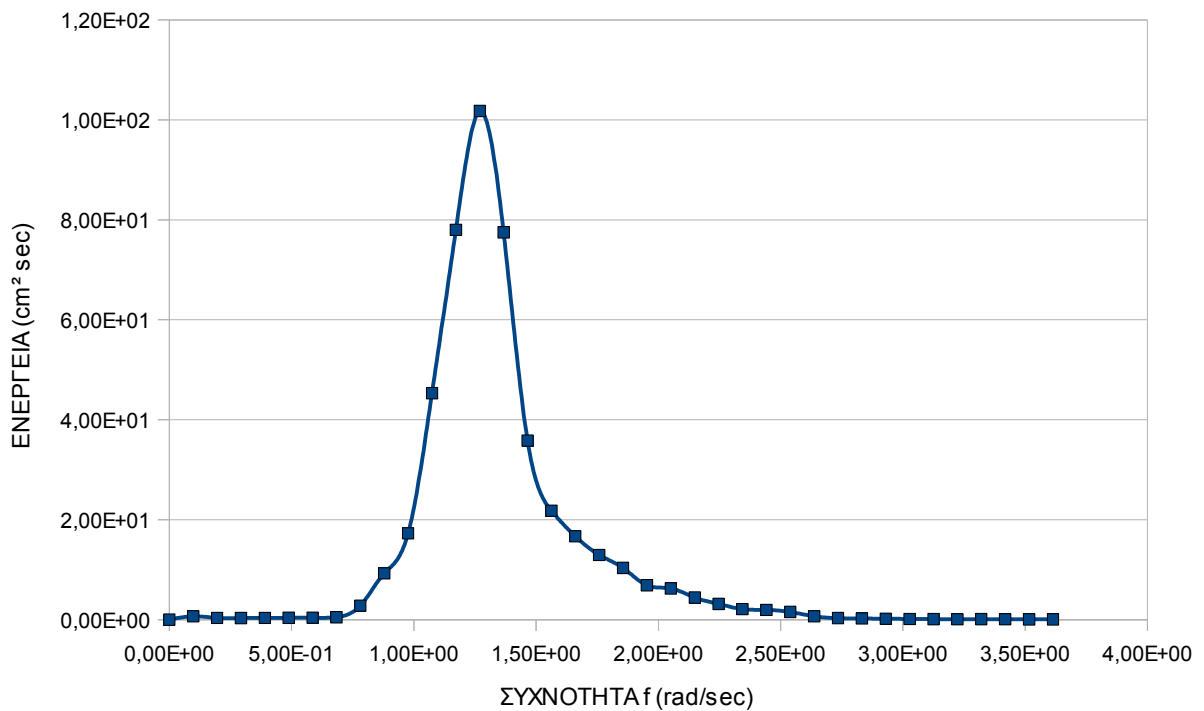
C:\HR Wavedata\PEIR_SOUTH3\anres_T0001_C05_2010Nov10h12m25.csv
C:\HR WaveData\PEIR_SOUTH3\
10/11/10 12:25
C:\HR Wavedata\PEIR_SOUTH3\Test_0001_2010Nov10h12m12.wvd
C:\HR Wavedata\PEIR_SOUTH3\calib_0005_2010Nov10h12m11.wvd
Job number: PEIR_SOUTH3
Test number 1
Channel 5      64 channels   numbered from one
probe 5
metres
Scale unspecified
No scaling applied to results
Values expressed in model terms
0.02 second scanning interval.
16384 data values test length.
256 data values recording block length.
16384 values in series.
0 data points missing.
4.837010090000001 data points duplicate.
0 data points out of range
From inspection of data ...
327.66 second time-span.
0.02 second start time.
327.68 second end time.
All recorded data analysed
No trend removal.
No smoothing of data
No smoothing of spectrum
    -5,67E-01      metres  mean value.
     2,82E+01      metres  maximum value
    -2,35E+01      metres  minimum value
     6,75E+00      metres  standard deviation
     2,70E+01      metres  HS
     6,78E+00      metres  RMS about threshold 0
     1,27E+00      hertz   Fp
     7,88E-01      seconds  Tp
     7,18E-01      seconds  Tm (spectral calc)
     4,48E+02      number  waves recorded
     7,31E-01      seconds  Tbar (wave count)
     5,11E+01      metres  Hmax
     3,35E+01      metres  H10
     2,65E+01      metres  H3
     1,68E+01      metres  Hbar
     1,89E+01      metres  HRMS

```

Πινάκας 4.8: Δεδομένα προγράμματος Wavedata για μετρητή M5



Διάγραμμα 4.1: Φάσμα ενέργειας κυμάτων στον μετρητή M1 για νότια διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων στην Διάταξη 3



Διάγραμμα 4.2: Φάσμα ενέργειας κυμάτων στον μετρητή M5 για νότια διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων στην Διάταξη 3

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Αποτελέσματα και επεξεργασία μετρήσεων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κυματικών μεγεθών για κάθε θέση μέτρησης, όπως αυτά προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις και την επεξεργασία τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή πινάκων και διαγραμμάτων.

#### **5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ**

Με βάση το μέσο χαρακτηριστικό ύψος  $H_s$  και την περίοδο  $T_p$ , που προέκυψαν από την ανάλυση και την επεξεργασία των μετρήσεων, υπολογίστηκαν τα ακόλουθα κυματικά μεγέθη:

1. Η καμπυλότητα  $\gamma$ , ως ο λόγος του μετρηθέντος μέσου ύψους κύματος  $H_i$ , προς το μήκος κύματος  $L$  ( $=gT_o^2/2\pi$ ), όπως αυτό προέκυψε για κάθε μήκος κύματος και περίοδο.
2. Ο συντελεστής μεταδόσεως  $K_i$ , ως ο λόγος του μετρηθέντος μέσου ύψους κύματος  $H_i$ , προς το θεωρητικό προσπίπτον χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_{s,o}$ .
3. Ο συντελεστής μεταδόσεως  $K_i'$ , ως ο λόγος του μετρηθέντος μέσου ύψους κύματος  $H_i$ , προς το μετρηθέν μέσο ύψος κύματος του μετρητή M2.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των πειραματικών μετρήσεων για κάθε διάταξη ξεχωριστά και για τους μετρητές από M1 έως M16.

| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |              |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |
|---------------------------|--------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>1,1,1</b>              | <b>NOTIA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> | <b>M5</b> | <b>M6</b> | <b>M7</b> | <b>M8</b> | <b>M9</b> | <b>M10</b> | <b>M11</b> | <b>M12</b> | <b>M13</b> | <b>M14</b> | <b>M15</b> | <b>M16</b> |
| Hs(m)                     |              | 4,5         | 4,55      | 4,56      | 4,44      | 4,73      | 4,55      | 4,36      | 4,4       | 4,38      | 0,87      | 1,79       | 3,69       | 3,75       | 3,19       | 4,07       | 4,4        | 4,06       |
| Tp(sec)                   |              | 9,13        | 8,81      | 8,81      | 8,81      | 8,81      | 9,54      | 8,81      | 8,81      | 9,54      | 9,54      | 9,54       | 8,81       | 8,60       | 8,81       | 8,81       | 8,81       | 8,81       |
| $\gamma=H/L$              |              |             | 0,038     | 0,038     | 0,04      | 0,039     | 0,032     | 0,04      | 0,036     | 0,031     | 0,006     | 0,013      | 0,030      | 0,03       | 0,026      | 0,034      | 0,036      | 0,033      |
| Kt(=Hi/Hs,o)              |              |             | 1,01      | 1,01      | 0,99      | 1,05      | 1,01      | 0,97      | 0,98      | 0,97      | 0,19      | 0,4        | 0,82       | 0,83       | 0,71       | 0,9        | 0,98       | 0,9        |
| Kt'(=Hi/Hm2)              |              |             | 1         | 1         | 0,97      | 1,04      | 1         | 0,96      | 0,96      | 0,96      | 0,19      | 0,39       | 0,81       | 0,82       | 0,7        | 0,89       | 0,96       | 0,89       |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |              |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>1,1,2</b>              | <b>NOTIA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> | <b>M5</b> | <b>M6</b> | <b>M7</b> | <b>M8</b> | <b>M9</b> | <b>M10</b> | <b>M11</b> | <b>M12</b> | <b>M13</b> | <b>M14</b> | <b>M15</b> | <b>M16</b> |
| Hs(m)                     |              | 2,8         | 2,85      | 2,99      | 2,87      | 2,91      | 2,86      | 2,73      | 2,8       | 2,61      | 0,37      | 0,89       | 2,68       | 2,79       | 2,27       | 2,6        | 2,65       | 2,55       |
| Tp(sec)                   |              | 7,21        | 7,16      | 7,31      | 7,16      | 7,16      | 7,16      | 7,16      | 7,16      | 7,16      | 7,31      | 7,16       | 6,73       | 7,16       | 7,16       | 7,63       | 7,16       | 7,63       |
| $\gamma=H/L$              |              |             | 0,036     | 0,036     | 0,04      | 0,036     | 0,036     | 0,03      | 0,035     | 0,033     | 0,004     | 0,011      | 0,038      | 0,03       | 0,028      | 0,029      | 0,033      | 0,028      |
| Kt                        |              |             | 1,02      | 1,07      | 1,03      | 1,04      | 1,02      | 0,98      | 1         | 0,93      | 0,13      | 0,32       | 0,96       | 1,00       | 0,81       | 0,93       | 0,95       | 0,91       |
| Kt'                       |              |             | 0,95      | 1         | 0,96      | 0,97      | 0,96      | 0,91      | 0,94      | 0,87      | 0,12      | 0,3        | 0,9        | 0,93       | 0,76       | 0,87       | 0,89       | 0,85       |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |              |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>1,1,3</b>              | <b>NOTIA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> | <b>M5</b> | <b>M6</b> | <b>M7</b> | <b>M8</b> | <b>M9</b> | <b>M10</b> | <b>M11</b> | <b>M12</b> | <b>M13</b> | <b>M14</b> | <b>M15</b> | <b>M16</b> |
| Hs(m)                     |              | 2,4         | 2,35      | 2,48      | 2,36      | 2,2       | 2,22      | 2,28      | 2,4       | 2,2       | 0,29      | 0,7        | 2,34       | 2,41       | 1,86       | 1,89       | 1,99       | 1,94       |
| Tp(sec)                   |              | 6,67        | 6,73      | 6,73      | 6,61      | 6,61      | 6,73      | 6,73      | 6,73      | 6,61      | 6,87      | 7,16       | 6,73       | 6,89       | 6,73       | 7,16       | 6,89       | 6,36       |
| $\gamma=H/L$              |              |             | 0,033     | 0,035     | 0,03      | 0,032     | 0,031     | 0,03      | 0,034     | 0,032     | 0,004     | 0,009      | 0,033      | 0,03       | 0,026      | 0,024      | 0,027      | 0,031      |
| Kt                        |              |             | 0,98      | 1,03      | 0,98      | 0,92      | 0,93      | 0,95      | 1         | 0,92      | 0,12      | 0,29       | 0,98       | 1,00       | 0,78       | 0,79       | 0,83       | 0,81       |
| Kt'                       |              |             | 0,95      | 1         | 0,95      | 0,89      | 0,9       | 0,92      | 0,97      | 0,89      | 0,12      | 0,28       | 0,94       | 0,97       | 0,75       | 0,76       | 0,8        | 0,78       |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |              |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>1,2,1</b>              | <b>N-Δ</b>   | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> | <b>M5</b> | <b>M6</b> | <b>M7</b> | <b>M8</b> | <b>M9</b> | <b>M10</b> | <b>M11</b> | <b>M12</b> | <b>M13</b> | <b>M14</b> | <b>M15</b> | <b>M16</b> |
| Hs(m)                     |              | 4,5         | 4,71      | 4,67      | 4,51      | 4,24      | 4,17      | 4,86      | 4,51      | 4,22      | 2,11      | 3,72       | 4,95       | 4,13       | 4,18       | 4,32       | 4          | 3,38       |
| Tp(sec)                   |              |             | 8,81      | 8,81      | 8,81      | 8,81      | 8,81      | 8,81      | 8,81      | 8,81      | 8,81      | 8,81       | 9,3        | 8,81       | 8,81       | 8,81       | 8,81       | 8,81       |
| $\gamma=H/L$              |              |             | 0,039     | 0,039     | 0,04      | 0,035     | 0,034     | 0,04      | 0,037     | 0,035     | 0,017     | 0,031      | 0,037      | 0,03       | 0,034      | 0,036      | 0,033      | 0,028      |
| Kt                        |              |             | 1,05      | 1,04      | 1,00      | 0,94      | 0,93      | 1,08      | 1         | 0,94      | 0,47      | 0,83       | 1,1        | 0,92       | 0,93       | 0,96       | 0,89       | 0,75       |
| Kt'                       |              |             | 1,01      | 1         | 0,97      | 0,91      | 0,89      | 1,04      | 0,97      | 0,9       | 0,45      | 0,8        | 1,06       | 0,88       | 0,9        | 0,93       | 0,86       | 0,72       |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |              |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>1,2,2</b>              | <b>N-Δ</b>   | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> | <b>M5</b> | <b>M6</b> | <b>M7</b> | <b>M8</b> | <b>M9</b> | <b>M10</b> | <b>M11</b> | <b>M12</b> | <b>M13</b> | <b>M14</b> | <b>M15</b> | <b>M16</b> |
| Hs(m)                     |              | 2,8         | 3,01      | 2,9       | 2,89      | 2,73      | 3,07      | 3,17      | 3,09      | 2,91      | 1,37      | 2,53       | 2,97       | 2,89       | 2,83       | 2,91       | 2,35       | 2,03       |
| Tp(sec)                   |              |             | 7,16      | 7,16      | 7,16      | 7,16      | 7,31      | 7,16      | 7,16      | 7,16      | 6,73      | 7,16       | 7,16       | 7,16       | 7,16       | 7,31       | 7,16       | 7,63       |
| $\gamma=H/L$              |              |             | 0,038     | 0,036     | 0,04      | 0,034     | 0,037     | 0,04      | 0,039     | 0,036     | 0,019     | 0,032      | 0,037      | 0,04       | 0,035      | 0,035      | 0,029      | 0,022      |
| Kt                        |              |             | 1,08      | 1,04      | 1,03      | 0,98      | 1,1       | 1,13      | 1,1       | 1,04      | 0,49      | 0,9        | 1,06       | 1,03       | 1,01       | 1,04       | 0,84       | 0,73       |
| Kt'                       |              |             | 1,04      | 1         | 1,00      | 0,94      | 1,06      | 1,09      | 1,07      | 1         | 0,47      | 0,87       | 1,02       | 1,00       | 0,98       | 1          | 0,81       | 0,7        |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |              |             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>1,2,3</b>              | <b>N-Δ</b>   | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> | <b>M5</b> | <b>M6</b> | <b>M7</b> | <b>M8</b> | <b>M9</b> | <b>M10</b> | <b>M11</b> | <b>M12</b> | <b>M13</b> | <b>M14</b> | <b>M15</b> | <b>M16</b> |
| Hs(m)                     |              | 2,4         | 2,51      | 2,48      | 2,56      | 2,38      | 2,36      | 2,68      | 2,51      | 2,45      | 1,3       | 2,37       | 2,66       | 2,41       | 2,38       | 2,25       | 2,21       | 1,98       |
| Tp(sec)                   |              |             | 6,73      | 6,73      | 6,73      | 6,73      | 6,87      | 6,73      | 6,73      | 6,61      | 6,61      | 7,16       | 6,75       | 6,73       | 7,16       | 7,02       | 6,73       | 6,36       |
| $\gamma=H/L$              |              |             | 0,035     | 0,035     | 0,04      | 0,034     | 0,032     | 0,04      | 0,035     | 0,036     | 0,019     | 0,030      | 0,037      | 0,03       | 0,030      | 0,029      | 0,031      | 0,031      |
| Kt                        |              |             | 1,05      | 1,03      | 1,07      | 0,99      | 0,98      | 1,12      | 1,05      | 1,02      | 0,54      | 0,99       | 1,11       | 1,00       | 0,99       | 0,94       | 0,92       | 0,83       |

|                           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kt'                       |             | 1,01        | 1           | 1,03        | 0,96        | 0,95        | 1,08        | 1,01        | 0,99        | 0,52        | 0,96        | 1,07        | 0,97        | 0,96        | 0,91        | 0,89        | 0,8         |             |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>1,3,1</b>              | <b>N-NA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b>   | <b>M2</b>   | <b>M3</b>   | <b>M4</b>   | <b>M5</b>   | <b>M6</b>   | <b>M7</b>   | <b>M8</b>   | <b>M9</b>   | <b>M10</b>  | <b>M11</b>  | <b>M12</b>  | <b>M13</b>  | <b>M14</b>  | <b>M15</b>  | <b>M16</b>  |
| Hs(m)                     |             | <b>4,5</b>  | <b>4,42</b> | <b>4,59</b> | <b>4,29</b> | <b>4,23</b> | <b>4,19</b> | <b>4,46</b> | <b>4,1</b>  | <b>4,38</b> | <b>0,68</b> | <b>1,44</b> | <b>3,16</b> | <b>4,28</b> | <b>3,01</b> | <b>3,22</b> | <b>3,9</b>  | <b>3,73</b> |
| Tp(sec)                   |             |             | 8,81        | 8,81        | 8,81        | 9,05        | 8,81        | 8,81        | 8,81        | 8,81        | 9,54        | 9,3         | 8,81        | 8,81        | 8,81        | 9,54        | 9,54        | 8,81        |
| $\gamma=H/L$              |             |             | 0,036       | 0,038       | 0,04        | 0,033       | 0,035       | 0,04        | 0,034       | 0,036       | 0,005       | 0,011       | 0,026       | 0,04        | 0,025       | 0,023       | 0,027       | 0,031       |
| Kt                        |             |             | 0,98        | 1,02        | 0,95        | 0,94        | 0,93        | 0,99        | 0,91        | 0,97        | 0,15        | 0,32        | 0,7         | 0,95        | 0,67        | 0,72        | 0,87        | 0,83        |
| Kt'                       |             |             | 0,96        | 1           | 0,93        | 0,92        | 0,91        | 0,97        | 0,89        | 0,95        | 0,15        | 0,31        | 0,69        | 0,93        | 0,66        | 0,7         | 0,85        | 0,81        |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>1,3,2</b>              | <b>N-NA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b>   | <b>M2</b>   | <b>M3</b>   | <b>M4</b>   | <b>M5</b>   | <b>M6</b>   | <b>M7</b>   | <b>M8</b>   | <b>M9</b>   | <b>M10</b>  | <b>M11</b>  | <b>M12</b>  | <b>M13</b>  | <b>M14</b>  | <b>M15</b>  | <b>M16</b>  |
| Hs(m)                     |             | <b>2,8</b>  | <b>2,9</b>  | <b>2,83</b> | <b>2,75</b> | <b>2,7</b>  | <b>2,57</b> | <b>2,79</b> | <b>2,85</b> | <b>2,83</b> | <b>0,29</b> | <b>0,73</b> | <b>1,98</b> | <b>2,46</b> | <b>2,07</b> | <b>2,2</b>  | <b>2,55</b> | <b>2,33</b> |
| Tp(sec)                   |             |             | 7,16        | 7,16        | 7,16        | 7,16        | 7,16        | 7,16        | 7,16        | 7,16        | 7,31        | 7,16        | 7,31        | 6,73        | 7,16        | 7,47        | 7,16        | 7,31        |
| $\gamma=H/L$              |             |             | 0,036       | 0,035       | 0,03        | 0,034       | 0,032       | 0,03        | 0,036       | 0,035       | 0,003       | 0,009       | 0,024       | 0,03        | 0,026       | 0,025       | 0,032       | 0,028       |
| Kt                        |             |             | 1,04        | 1,01        | 0,98        | 0,96        | 0,92        | 1,00        | 1,02        | 1,01        | 0,1         | 0,26        | 0,71        | 0,88        | 0,74        | 0,79        | 0,91        | 0,83        |
| Kt'                       |             |             | 1,02        | 1           | 0,97        | 0,95        | 0,91        | 0,99        | 1,01        | 1           | 0,1         | 0,26        | 0,7         | 0,87        | 0,73        | 0,78        | 0,9         | 0,82        |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>1,3,3</b>              | <b>N-NA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b>   | <b>M2</b>   | <b>M3</b>   | <b>M4</b>   | <b>M5</b>   | <b>M6</b>   | <b>M7</b>   | <b>M8</b>   | <b>M9</b>   | <b>M10</b>  | <b>M11</b>  | <b>M12</b>  | <b>M13</b>  | <b>M14</b>  | <b>M15</b>  | <b>M16</b>  |
| Hs(m)                     |             | <b>2,4</b>  | <b>2,42</b> | <b>2,39</b> | <b>2,22</b> | <b>2,21</b> | <b>2,03</b> | <b>2,43</b> | <b>2,34</b> | <b>2,36</b> | <b>0,21</b> | <b>0,53</b> | <b>1,67</b> | <b>2,18</b> | <b>1,71</b> | <b>1,66</b> | <b>1,91</b> | <b>1,75</b> |
| Tp(sec)                   |             |             | 6,73        | 6,73        | 6,73        | 6,73        | 7,02        | 6,73        | 6,73        | 6,73        | 7,16        | 7,16        | 6,73        | 6,36        | 6,61        | 7,16        | 7,02        | 6,61        |
| $\gamma=H/L$              |             |             | 0,034       | 0,034       | 0,03        | 0,031       | 0,026       | 0,03        | 0,033       | 0,033       | 0,003       | 0,007       | 0,024       | 0,03        | 0,025       | 0,021       | 0,025       | 0,026       |
| Kt                        |             |             | 1,01        | 1           | 0,93        | 0,92        | 0,85        | 1,01        | 0,98        | 0,98        | 0,09        | 0,22        | 0,7         | 0,91        | 0,71        | 0,69        | 0,8         | 0,73        |
| Kt'                       |             |             | 1,01        | 1           | 0,93        | 0,92        | 0,85        | 1,02        | 0,98        | 0,99        | 0,09        | 0,22        | 0,7         | 0,91        | 0,72        | 0,69        | 0,8         | 0,7         |

Πινάκας 5.1: Πειραματικά αποτελέσματα διάταξης 1

|                           |              |             |             |             |              |             |             |              |             |             |             |             |             |              |             |             |             |            |
|---------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |              |             |             |             |              |             |             |              |             |             |             |             |             |              |             |             |             |            |
| <b>2,1,1</b>              | <b>NOTIA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b>   | <b>M2</b>   | <b>M3</b>    | <b>M4</b>   | <b>M5</b>   | <b>M6</b>    | <b>M7</b>   | <b>M8</b>   | <b>M9</b>   | <b>M10</b>  | <b>M11</b>  | <b>M12</b>   | <b>M13</b>  | <b>M14</b>  | <b>M15</b>  | <b>M16</b> |
| Hs(m)                     |              | <b>4,5</b>  | <b>4,6</b>  | <b>4,8</b>  | <b>3,240</b> | <b>5</b>    | <b>2,51</b> | <b>0,610</b> | <b>0,53</b> | <b>0,49</b> | <b>0,18</b> | <b>0,35</b> | <b>0,46</b> | <b>0,600</b> | <b>0,92</b> | <b>1,73</b> | <b>3,02</b> | <b>3,5</b> |
| Tp(sec)                   |              |             | 9,54        | 8,81        | 8,810        | 8,81        | 8,81        | 8,810        | 8,81        | 8,81        | 114,49      | 8,81        | 9,54        | 8,810        | 8,81        | 8,81        | 9,54        | 8,81       |
| $\gamma=H/L$              |              |             | 0,032       | 0,040       | 0,027        | 0,041       | 0,021       | 0,005        | 0,004       | 0,004       | 0,000       | 0,003       | 0,003       | 0,005        | 0,008       | 0,014       | 0,021       | 0,029      |
| Kt                        |              |             | 1,02        | 1,07        | 0,720        | 1,11        | 0,56        | 0,136        | 0,12        | 0,11        | 0,04        | 0,08        | 0,1         | 0,133        | 0,2         | 0,38        | 0,67        | 0,78       |
| Kt'                       |              |             | 0,96        | 1           | 0,675        | 1,04        | 0,52        | 0,127        | 0,11        | 0,1         | 0,04        | 0,07        | 0,1         | 0,125        | 0,19        | 0,36        | 0,63        | 0,73       |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |              |             |             |             |              |             |             |              |             |             |             |             |             |              |             |             |             |            |
| <b>2,1,2</b>              | <b>NOTIA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b>   | <b>M2</b>   | <b>M3</b>    | <b>M4</b>   | <b>M5</b>   | <b>M6</b>    | <b>M7</b>   | <b>M8</b>   | <b>M9</b>   | <b>M10</b>  | <b>M11</b>  | <b>M12</b>   | <b>M13</b>  | <b>M14</b>  | <b>M15</b>  | <b>M16</b> |
| Hs(m)                     |              | <b>2,8</b>  | <b>3,12</b> | <b>3,17</b> | <b>2,370</b> | <b>3,31</b> | <b>1,55</b> | <b>0,430</b> | <b>0,33</b> | <b>0,27</b> | <b>0,09</b> | <b>0,2</b>  | <b>0,25</b> | <b>0,330</b> | <b>0,59</b> | <b>0,98</b> | <b>1,74</b> | <b>2,3</b> |
| Tp(sec)                   |              |             | 7,63        | 7,16        | 7,160        | 7,16        | 7,63        | 7,160        | 7,63        | 7,16        | 7,63        | 8,18        | 7,16        | 7,630        | 7,02        | 8,18        | 7,16        | 7,63       |
| $\gamma=H/L$              |              |             | 0,034       | 0,040       | 0,030        | 0,041       | 0,017       | 0,005        | 0,004       | 0,003       | 0,001       | 0,002       | 0,003       | 0,004        | 0,008       | 0,009       | 0,022       | 0,025      |
| Kt                        |              |             | 1,11        | 1,13        | 0,846        | 1,18        | 0,55        | 0,154        | 0,12        | 0,1         | 0,03        | 0,07        | 0,09        | 0,118        | 0,21        | 0,35        | 0,62        | 0,82       |
| Kt'                       |              |             | 0,98        | 1           | 0,748        | 1,04        | 0,49        | 0,136        | 0,1         | 0,09        | 0,03        | 0,06        | 0,08        | 0,104        | 0,19        | 0,31        | 0,55        | 0,73       |

| ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2,1,3              | NOTIA | Hs,o | M1    | M2    | M3    | M4    | M5    | M6    | M7    | M8    | M9     | M10   | M11   | M12   | M13   | M14   | M15   | M16   |
| Hs(m)              |       | 2,4  | 2,7   | 2,57  | 2,110 | 2,84  | 1,35  | 0,350 | 0,26  | 0,26  | 0,08   | 0,16  | 0,2   | 0,270 | 0,5   | 0,8   | 1,55  | 1,91  |
| Tp(sec)            |       |      | 6,73  | 7,02  | 6,730 | 6,73  | 6,73  | 7,160 | 7,16  | 7,16  | 114,49 | 6,49  | 7,16  | 6,730 | 6,73  | 7,16  | 7,16  | 7,47  |
| $\gamma=H/L$       |       |      | 0,038 | 0,033 | 0,030 | 0,040 | 0,019 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 0,000  | 0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,007 | 0,010 | 0,019 | 0,022 |
| Kt                 |       |      | 1,13  | 1,07  | 0,879 | 1,18  | 0,56  | 0,146 | 0,11  | 0,11  | 0,03   | 0,07  | 0,08  | 0,113 | 0,21  | 0,33  | 0,65  | 0,8   |
| Kt'                |       |      | 1,05  | 1     | 0,821 | 1,11  | 0,53  | 0,136 | 0,1   | 0,1   | 0,03   | 0,06  | 0,08  | 0,105 | 0,19  | 0,31  | 0,6   | 0,74  |

Πινάκας 5.2: Πειραματικά αποτελέσματα διάταξης 2

| ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 3,1,1              | NOTIA | Hs,o | M1    | M2    | M3    | M4    | M5    | M6    | M7    | M8    | M9    | M10   | M11   | M12   | M13   | M14   | M15   | M16   |
| Hs(m)              |       | 4,5  | 4,37  | 4,53  | 3,571 | 4,59  | 3,26  | 0,685 | 0,5   | 0,52  | 0,24  | 0,42  | 0,66  | 0,775 | 1,31  | 2,38  | 3,63  | 3,75  |
| Tp(sec)            |       |      | 9,54  | 8,81  | 8,807 | 8,81  | 8,81  | 9,541 | 9,39  | 72,21 | 30,53 | 8,81  | 9,25  | 9,541 | 8,81  | 8,81  | 9,54  | 8,81  |
| $\gamma=H/L$       |       |      | 0,031 | 0,037 | 0,029 | 0,038 | 0,027 | 0,005 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,005 | 0,005 | 0,011 | 0,020 | 0,026 | 0,031 |
| Kt                 |       |      | 0,97  | 1,01  | 0,794 | 1,02  | 0,72  | 0,152 | 0,11  | 0,12  | 0,05  | 0,09  | 0,15  | 0,172 | 0,29  | 0,53  | 0,81  | 0,83  |
| Kt'                |       |      | 1     | 1,03  | 0,813 | 1,04  | 0,74  | 0,156 | 0,11  | 0,12  | 0,05  | 0,09  | 0,15  | 0,177 | 0,3   | 0,54  | 0,83  | 0,85  |
| ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 3,1,2              | NOTIA | Hs,o | M1    | M2    | M3    | M4    | M5    | M6    | M7    | M8    | M9    | M10   | M11   | M12   | M13   | M14   | M15   | M16   |
| Hs(m)              |       | 2,8  | 3,04  | 2,94  | 2,900 | 3,38  | 2,3   | 0,540 | 0,37  | 0,36  | 0,13  | 0,27  | 0,35  | 0,470 | 0,8   | 1,54  | 2,48  | 2,65  |
| Tp(sec)            |       |      | 7,18  | 7,39  | 7,160 | 7,16  | 7,16  | 7,630 | 7,63  | 7,16  | 7,39  | 8,22  | 7,39  | 7,160 | 7,16  | 6,36  | 7,16  | 7,63  |
| $\gamma=H/L$       |       |      | 0,038 | 0,034 | 0,036 | 0,042 | 0,029 | 0,006 | 0,004 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,006 | 0,010 | 0,024 | 0,031 | 0,029 |
| Kt                 |       |      | 1,09  | 1,05  | 1,036 | 1,21  | 0,82  | 0,193 | 0,13  | 0,13  | 0,05  | 0,1   | 0,13  | 0,168 | 0,29  | 0,55  | 0,89  | 0,95  |
| Kt'                |       |      | 1,03  | 1     | 0,986 | 1,15  | 0,78  | 0,184 | 0,13  | 0,12  | 0,04  | 0,09  | 0,12  | 0,160 | 0,27  | 0,52  | 0,84  | 0,9   |
| ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 3,1,3              | NOTIA | Hs,o | M1    | M2    | M3    | M4    | M5    | M6    | M7    | M8    | M9    | M10   | M11   | M12   | M13   | M14   | M15   | M16   |
| Hs(m)              |       | 2,4  | 2,68  | 2,45  | 2,600 | 2,84  | 1,87  | 0,440 | 0,31  | 0,29  | 0,11  | 0,23  | 0,27  | 0,380 | 0,66  | 1,27  | 2,09  | 2,19  |
| Tp(sec)            |       |      | 6,73  | 6,73  | 6,730 | 6,73  | 6,73  | 6,730 | 7,63  | 7,16  | 7,16  | 7,16  | 7,16  | 7,160 | 7,16  | 6,36  | 7,16  | 7,63  |
| $\gamma=H/L$       |       |      | 0,038 | 0,035 | 0,037 | 0,040 | 0,026 | 0,006 | 0,003 | 0,004 | 0,001 | 0,003 | 0,003 | 0,005 | 0,008 | 0,020 | 0,026 | 0,024 |
| Kt                 |       |      | 1,12  | 1,02  | 1,083 | 1,18  | 0,78  | 0,183 | 0,13  | 0,12  | 0,05  | 0,1   | 0,11  | 0,158 | 0,28  | 0,53  | 0,87  | 0,91  |
| Kt'                |       |      | 1,09  | 1     | 1,061 | 1,16  | 0,76  | 0,180 | 0,13  | 0,12  | 0,04  | 0,09  | 0,11  | 0,155 | 0,27  | 0,52  | 0,85  | 0,89  |
| ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 3,2,1              | N-Δ   | Hs,o | M1    | M2    | M3    | M4    | M5    | M6    | M7    | M8    | M9    | M10   | M11   | M12   | M13   | M14   | M15   | M16   |
| Hs(m)              |       | 4,5  | 5,81  | 5,33  | 4,465 | 4,73  | 4,48  | 1,459 | 0,89  | 0,98  | 0,63  | 1,07  | 2,12  | 3,080 | 4,41  | 4,68  | 4,51  | 4,35  |
| Tp(sec)            |       |      | 8,81  | 8,81  | 8,807 | 8,81  | 8,81  | 9,051 | 8,81  | 10,57 | 9,54  | 8,81  | 8,81  | 8,807 | 8,81  | 8,6   | 9,05  | 8,81  |
| $\gamma=H/L$       |       |      | 0,048 | 0,044 | 0,037 | 0,039 | 0,037 | 0,011 | 0,007 | 0,006 | 0,004 | 0,009 | 0,018 | 0,025 | 0,036 | 0,041 | 0,035 | 0,036 |
| Kt                 |       |      | 1,29  | 1,18  | 0,992 | 1,05  | 1     | 0,324 | 0,2   | 0,22  | 0,14  | 0,24  | 0,47  | 0,684 | 0,98  | 1,04  | 1     | 0,97  |
| Kt'                |       |      | 1,09  | 1     | 0,838 | 0,89  | 0,84  | 0,274 | 0,17  | 0,18  | 0,12  | 0,2   | 0,4   | 0,578 | 0,83  | 0,88  | 0,85  | 0,82  |
| ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ |       | Hs,o | M1    | M2    | M3    | M4    | M5    | M6    | M7    | M8    | M9    | M10   | M11   | M12   | M13   | M14   | M15   | M16   |

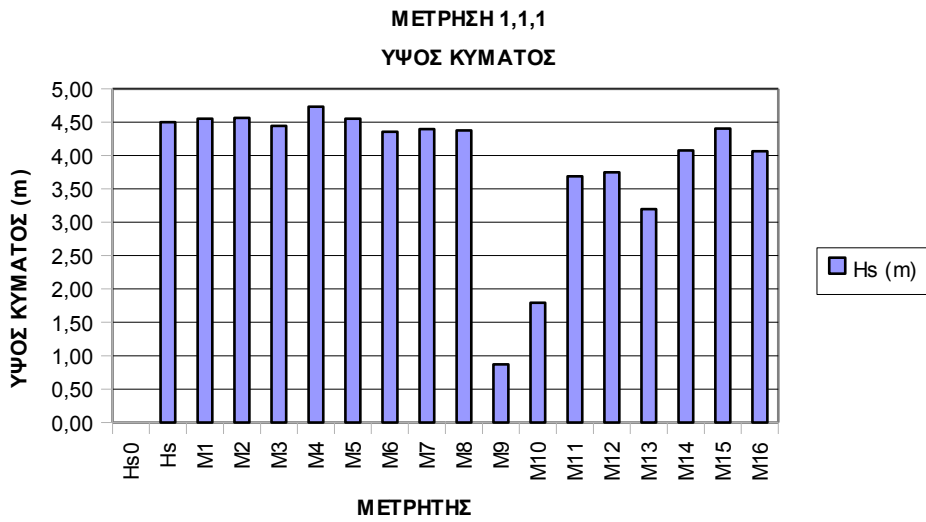
|                           |             |             |             |             |              |             |             |              |             |             |             |             |             |              |             |             |             |             |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>3,2,2</b>              | <b>N-Δ</b>  |             |             |             |              |             |             |              |             |             |             |             |             |              |             |             |             |             |
| Hs(m)                     |             | <b>2,8</b>  | <b>4,06</b> | <b>3,39</b> | <b>2,953</b> | <b>2,92</b> | <b>3</b>    | <b>0,981</b> | <b>0,57</b> | <b>0,61</b> | <b>0,44</b> | <b>0,78</b> | <b>1,47</b> | <b>2,281</b> | <b>2,91</b> | <b>3,05</b> | <b>2,82</b> | <b>3,1</b>  |
| Tp(sec)                   |             |             | 7,16        | 7,16        | 7,155        | 7,63        | 7,16        | 6,735        | 6,36        | 7,16        | 7,16        | 6,73        | 7,16        | 7,155        | 7,16        | 7,39        | 7,16        | 7,16        |
| $\gamma=H/L$              |             |             | 0,051       | 0,042       | 0,037        | 0,032       | 0,038       | 0,014        | 0,009       | 0,008       | 0,005       | 0,011       | 0,018       | 0,029        | 0,036       | 0,036       | 0,035       | 0,039       |
| Kt                        |             |             | 1,45        | 1,21        | 1,054        | 1,04        | 1,07        | 0,350        | 0,2         | 0,22        | 0,16        | 0,28        | 0,52        | 0,814        | 1,04        | 1,09        | 1,01        | 1,11        |
| Kt'                       |             |             | 1,2         | 1           | 0,871        | 0,86        | 0,88        | 0,289        | 0,17        | 0,18        | 0,13        | 0,23        | 0,43        | 0,673        | 0,86        | 0,9         | 0,83        | 0,91        |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |             |             |             |             |              |             |             |              |             |             |             |             |             |              |             |             |             |             |
| <b>3,2,3</b>              | <b>N-Δ</b>  | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b>   | <b>M2</b>   | <b>M3</b>    | <b>M4</b>   | <b>M5</b>   | <b>M6</b>    | <b>M7</b>   | <b>M8</b>   | <b>M9</b>   | <b>M10</b>  | <b>M11</b>  | <b>M12</b>   | <b>M13</b>  | <b>M14</b>  | <b>M15</b>  | <b>M16</b>  |
| Hs(m)                     |             | <b>2,4</b>  | <b>3,64</b> | <b>2,86</b> | <b>2,528</b> | <b>2,37</b> | <b>2,55</b> | <b>0,830</b> | <b>0,52</b> | <b>0,54</b> | <b>0,39</b> | <b>0,68</b> | <b>1,26</b> | <b>1,970</b> | <b>2,41</b> | <b>2,58</b> | <b>2,43</b> | <b>2,58</b> |
| Tp(sec)                   |             |             | 6,73        | 7,16        | 6,735        | 6,73        | 6,73        | 6,735        | 6,36        | 6,36        | 7,16        | 6,73        | 6,36        | 6,735        | 6,94        | 7,16        | 6,73        | 6,73        |
| $\gamma=H/L$              |             |             | 0,051       | 0,036       | 0,036        | 0,033       | 0,036       | 0,012        | 0,008       | 0,009       | 0,005       | 0,010       | 0,020       | 0,028        | 0,032       | 0,032       | 0,034       | 0,036       |
| Kt                        |             |             | 1,52        | 1,19        | 1,053        | 0,99        | 1,06        | 0,346        | 0,22        | 0,23        | 0,16        | 0,28        | 0,52        | 0,821        | 1           | 1,08        | 1,01        | 1,07        |
| Kt'                       |             |             | 1,27        | 1           | 0,884        | 0,83        | 0,89        | 0,290        | 0,18        | 0,19        | 0,14        | 0,24        | 0,44        | 0,689        | 0,84        | 0,9         | 0,85        | 0,9         |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |             |             |             |             |              |             |             |              |             |             |             |             |             |              |             |             |             |             |
| <b>3,3,1</b>              | <b>N-NA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b>   | <b>M2</b>   | <b>M3</b>    | <b>M4</b>   | <b>M5</b>   | <b>M6</b>    | <b>M7</b>   | <b>M8</b>   | <b>M9</b>   | <b>M10</b>  | <b>M11</b>  | <b>M12</b>   | <b>M13</b>  | <b>M14</b>  | <b>M15</b>  | <b>M16</b>  |
| Hs(m)                     |             | <b>4,5</b>  | <b>4,58</b> | <b>4,01</b> | <b>3,509</b> | <b>3,94</b> | <b>2,12</b> | <b>0,620</b> | <b>0,51</b> | <b>0,52</b> | <b>0,24</b> | <b>0,37</b> | <b>0,58</b> | <b>0,672</b> | <b>0,89</b> | <b>1,22</b> | <b>2,16</b> | <b>4,01</b> |
| Tp(sec)                   |             |             | 8,81        | 8,81        | 8,807        | 8,81        | 8,81        | 8,807        | 8,81        | 114,49      | 114,49      | 8,81        | 9,54        | 9,541        | 8,81        | 8,81        | 9,54        | 8,81        |
| $\gamma=H/L$              |             |             | 0,038       | 0,033       | 0,029        | 0,033       | 0,018       | 0,005        | 0,004       | 0,000       | 0,000       | 0,003       | 0,004       | 0,005        | 0,007       | 0,010       | 0,015       | 0,033       |
| Kt                        |             |             | 1,02        | 0,89        | 0,780        | 0,88        | 0,47        | 0,138        | 0,11        | 0,11        | 0,05        | 0,08        | 0,13        | 0,149        | 0,2         | 0,27        | 0,48        | 0,89        |
| Kt'                       |             |             | 1,14        | 1           | 0,875        | 0,98        | 0,53        | 0,155        | 0,13        | 0,13        | 0,06        | 0,09        | 0,15        | 0,167        | 0,22        | 0,3         | 0,54        | 1           |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |             |             |             |             |              |             |             |              |             |             |             |             |             |              |             |             |             |             |
| <b>3,3,2</b>              | <b>N-NA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b>   | <b>M2</b>   | <b>M3</b>    | <b>M4</b>   | <b>M5</b>   | <b>M6</b>    | <b>M7</b>   | <b>M8</b>   | <b>M9</b>   | <b>M10</b>  | <b>M11</b>  | <b>M12</b>   | <b>M13</b>  | <b>M14</b>  | <b>M15</b>  | <b>M16</b>  |
| Hs(m)                     |             | <b>2,8</b>  | <b>2,66</b> | <b>2,88</b> | <b>2,363</b> | <b>2,54</b> | <b>1,25</b> | <b>0,368</b> | <b>0,25</b> | <b>0,25</b> | <b>0,12</b> | <b>0,23</b> | <b>0,3</b>  | <b>0,384</b> | <b>0,52</b> | <b>0,7</b>  | <b>1,04</b> | <b>2,89</b> |
| Tp(sec)                   |             |             | 7,16        | 7,16        | 7,155        | 7,16        | 7,16        | 7,632        | 7,16        | 7,63        | 7,16        | 7,16        | 7,16        | 7,155        | 7,39        | 7,16        | 6,73        | 7,16        |
| $\gamma=H/L$              |             |             | 0,033       | 0,036       | 0,030        | 0,032       | 0,016       | 0,004        | 0,003       | 0,003       | 0,002       | 0,003       | 0,004       | 0,005        | 0,006       | 0,009       | 0,015       | 0,036       |
| Kt                        |             |             | 0,95        | 1,03        | 0,844        | 0,91        | 0,45        | 0,132        | 0,09        | 0,09        | 0,04        | 0,08        | 0,11        | 0,137        | 0,19        | 0,25        | 0,37        | 1,03        |
| Kt'                       |             |             | 0,92        | 1           | 0,821        | 0,88        | 0,43        | 0,128        | 0,09        | 0,09        | 0,04        | 0,08        | 0,1         | 0,133        | 0,18        | 0,24        | 0,36        | 1           |
| <b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b> |             |             |             |             |              |             |             |              |             |             |             |             |             |              |             |             |             |             |
| <b>3,3,3</b>              | <b>N-NA</b> | <b>Hs,o</b> | <b>M1</b>   | <b>M2</b>   | <b>M3</b>    | <b>M4</b>   | <b>M5</b>   | <b>M6</b>    | <b>M7</b>   | <b>M8</b>   | <b>M9</b>   | <b>M10</b>  | <b>M11</b>  | <b>M12</b>   | <b>M13</b>  | <b>M14</b>  | <b>M15</b>  | <b>M16</b>  |
| Hs(m)                     |             | <b>2,4</b>  | <b>2,22</b> | <b>2,41</b> | <b>2,054</b> | <b>2,06</b> | <b>1,05</b> | <b>0,326</b> | <b>0,22</b> | <b>0,22</b> | <b>0,1</b>  | <b>0,19</b> | <b>0,24</b> | <b>0,321</b> | <b>0,43</b> | <b>0,51</b> | <b>0,87</b> | <b>2,44</b> |
| Tp(sec)                   |             |             | 6,73        | 6,73        | 6,360        | 6,73        | 6,73        | 6,735        | 6,36        | 6,36        | 7,16        | 6,73        | 7,16        | 6,735        | 6,94        | 6,36        | 6,73        | 6,73        |
| $\gamma=H/L$              |             |             | 0,031       | 0,034       | 0,032        | 0,029       | 0,015       | 0,005        | 0,004       | 0,003       | 0,001       | 0,003       | 0,003       | 0,005        | 0,006       | 0,008       | 0,012       | 0,034       |
| Kt                        |             |             | 0,93        | 1           | 0,856        | 0,86        | 0,44        | 0,136        | 0,09        | 0,09        | 0,04        | 0,08        | 0,1         | 0,134        | 0,18        | 0,21        | 0,36        | 1,02        |
| Kt'                       |             |             | 0,92        | 1           | 0,852        | 0,86        | 0,43        | 0,135        | 0,09        | 0,09        | 0,04        | 0,08        | 0,1         | 0,133        | 0,18        | 0,21        | 0,36        | 1,01        |

Πίνακας 5.3: Πειραματικά αποτελέσματα διάταξης 3

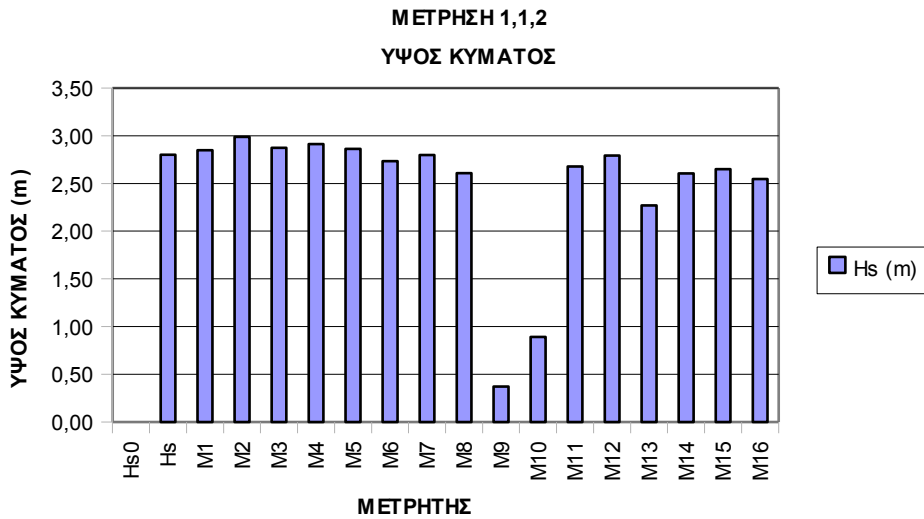
### 5.1.1 Διαγράμματα αποτελεσμάτων μετρήσεων

Ακολουθεί απεικόνιση με τη μορφή διαγραμμάτων, των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων του μέσου χαρακτηριστικού ύψους κύματος και της περιόδου σε κάθε θέση μέτρησης.

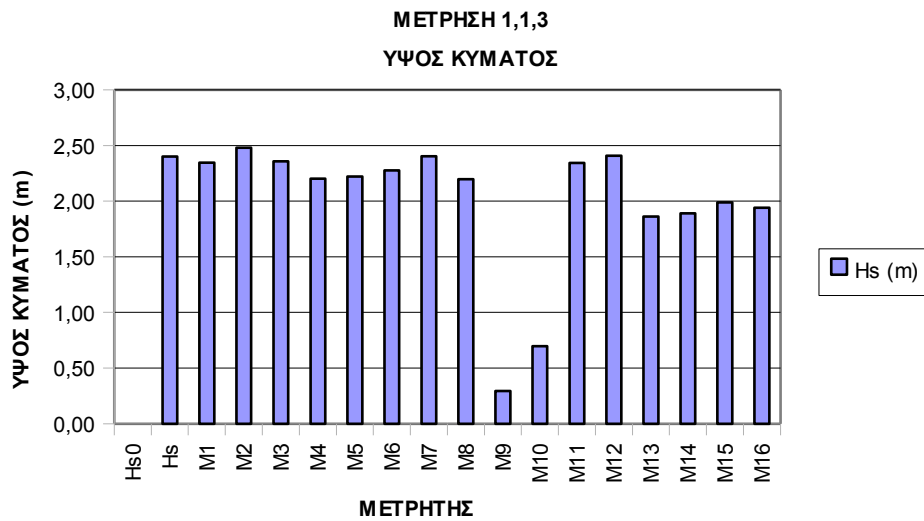




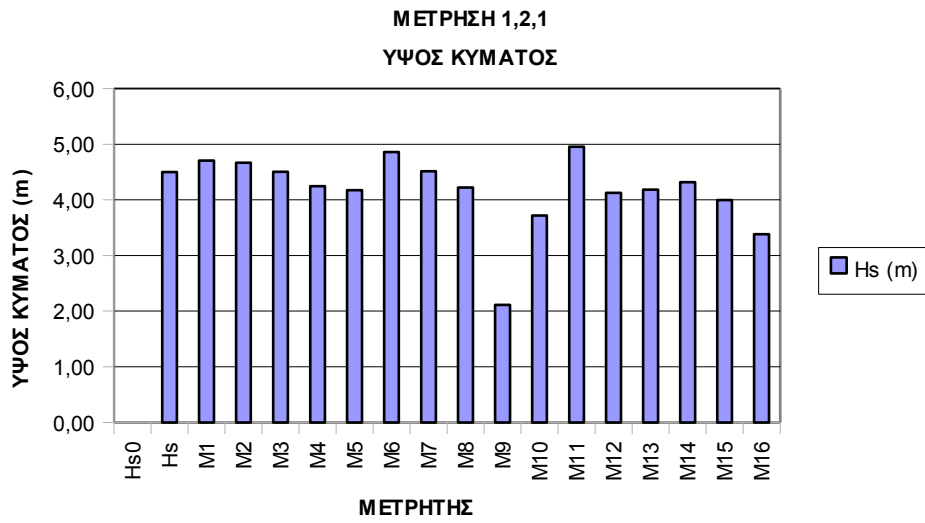
Διάγραμμα 5.1



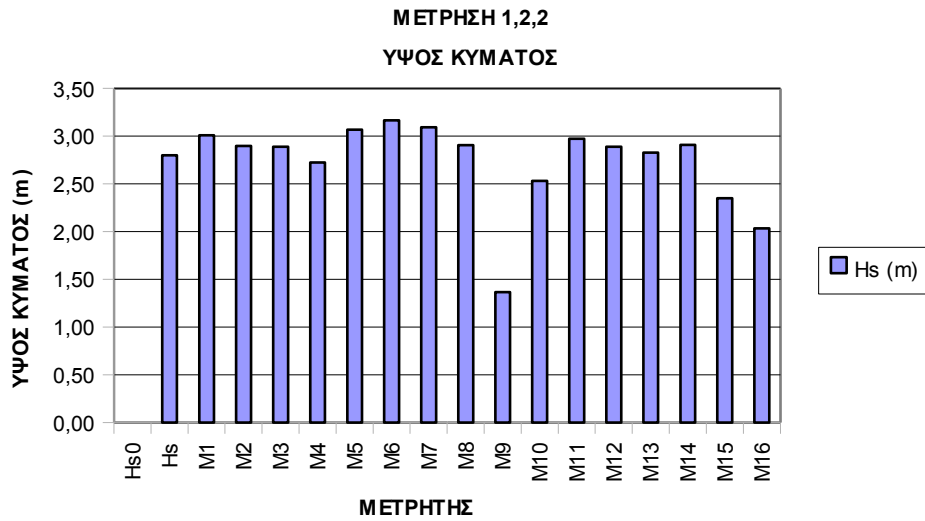
Διάγραμμα 5.2



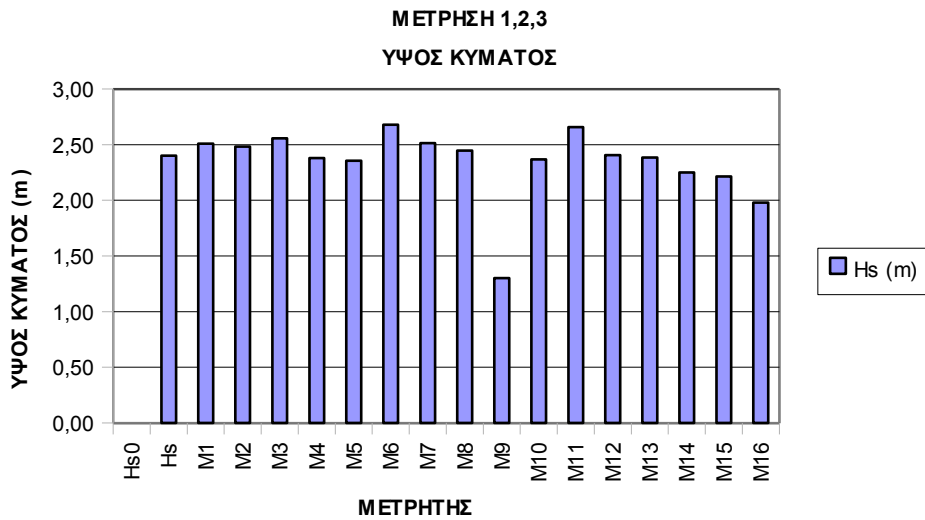
Διάγραμμα 5.3



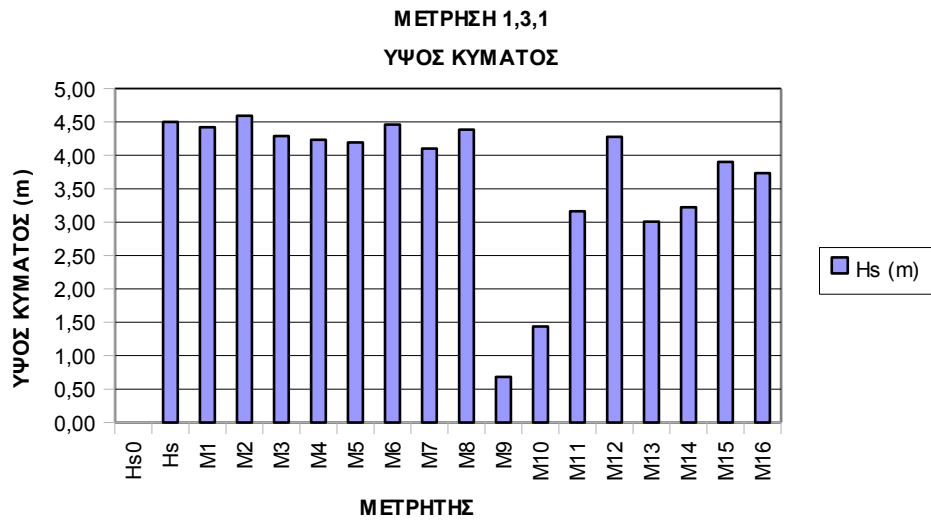
Διάγραμμα 5.4



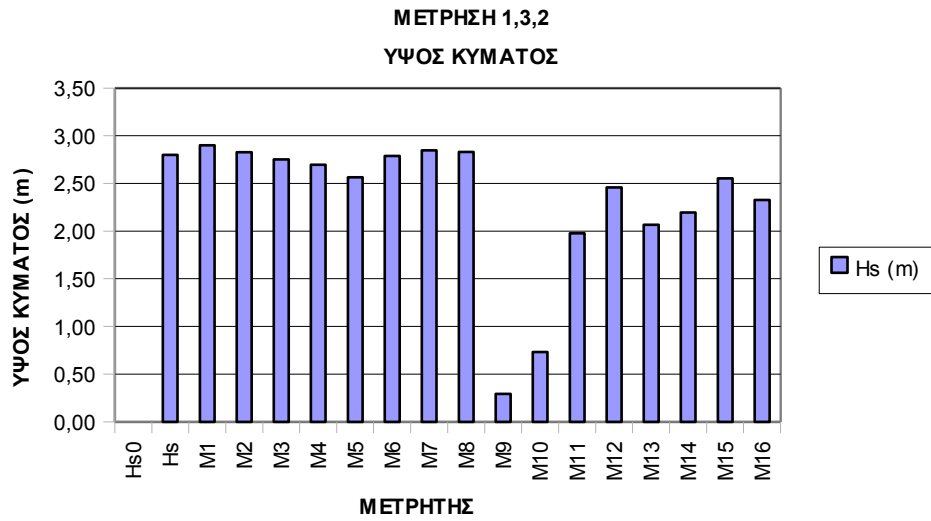
Διάγραμμα 5.5



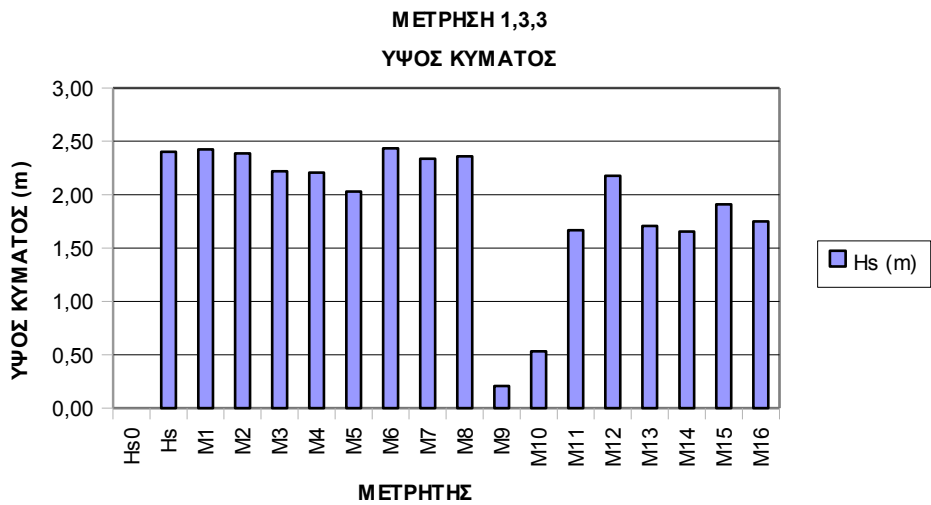
Διάγραμμα 5.6



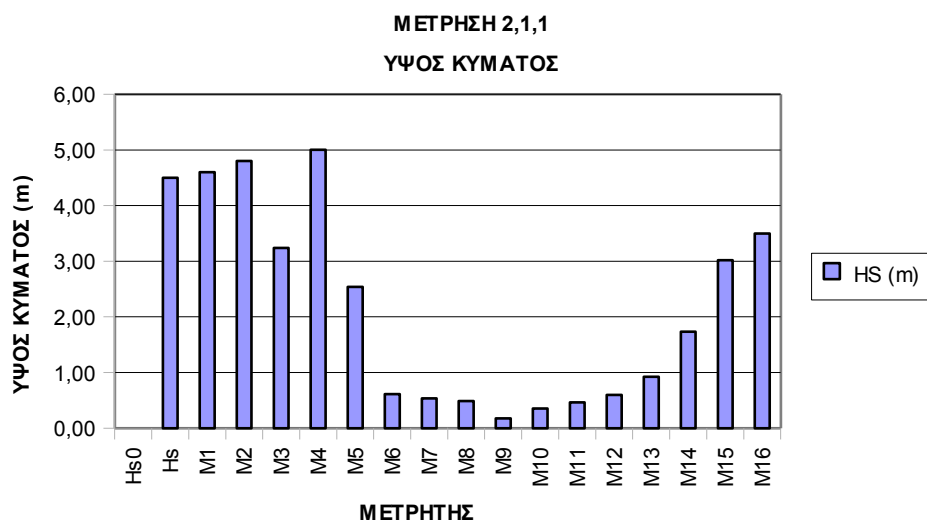
Διάγραμμα 5.7



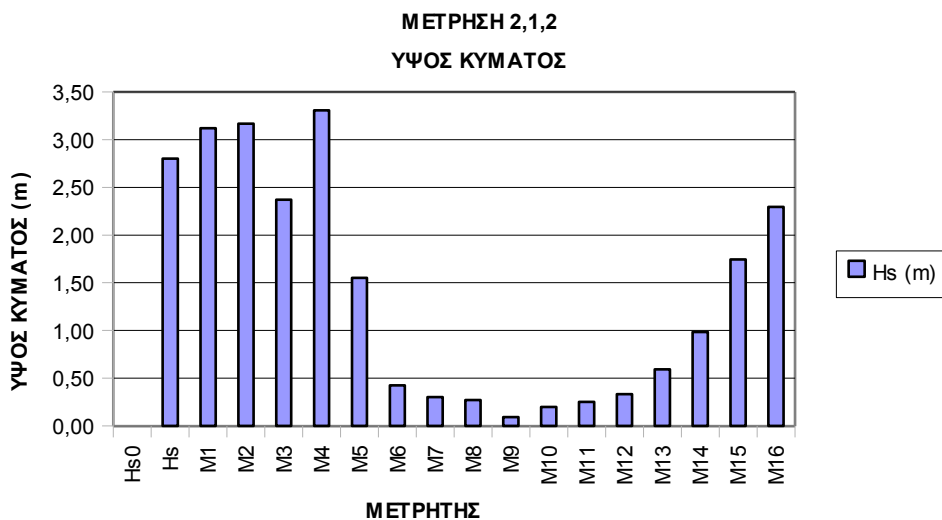
Διάγραμμα 5.8



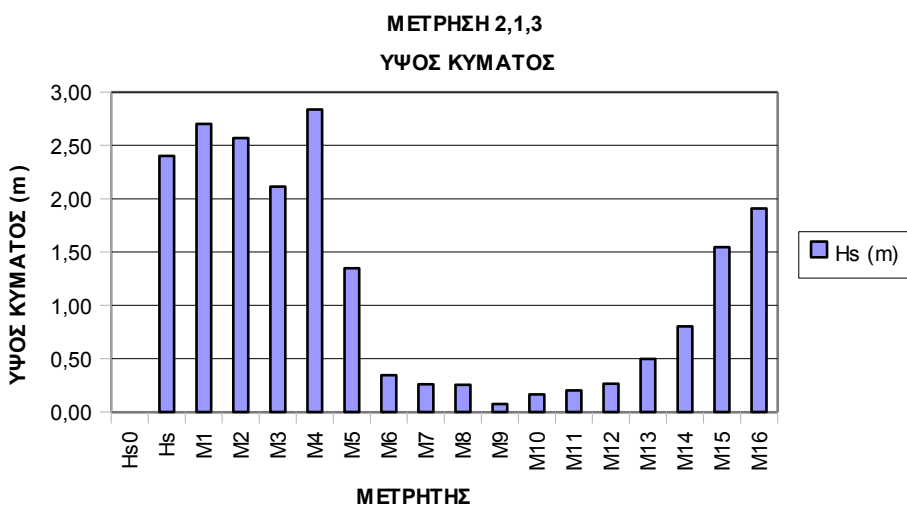
Διάγραμμα 5.9



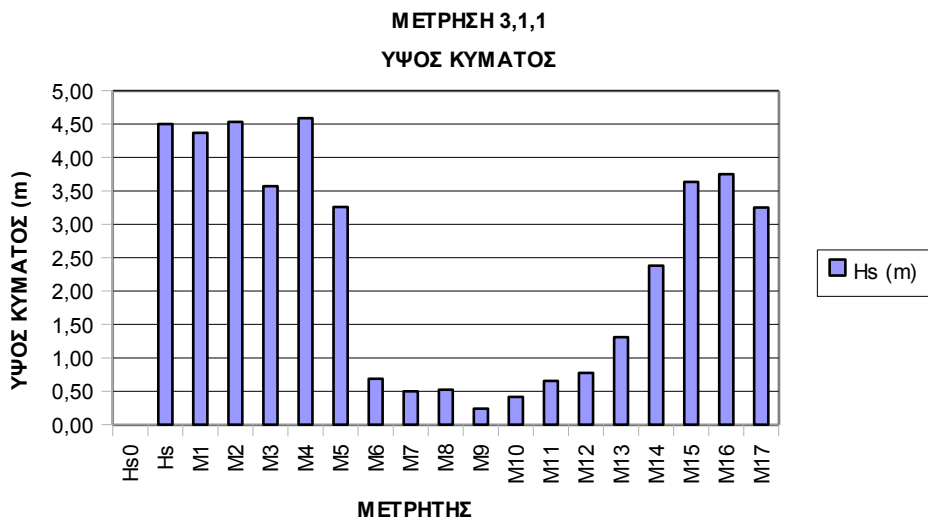
Διάγραμμα 5.10



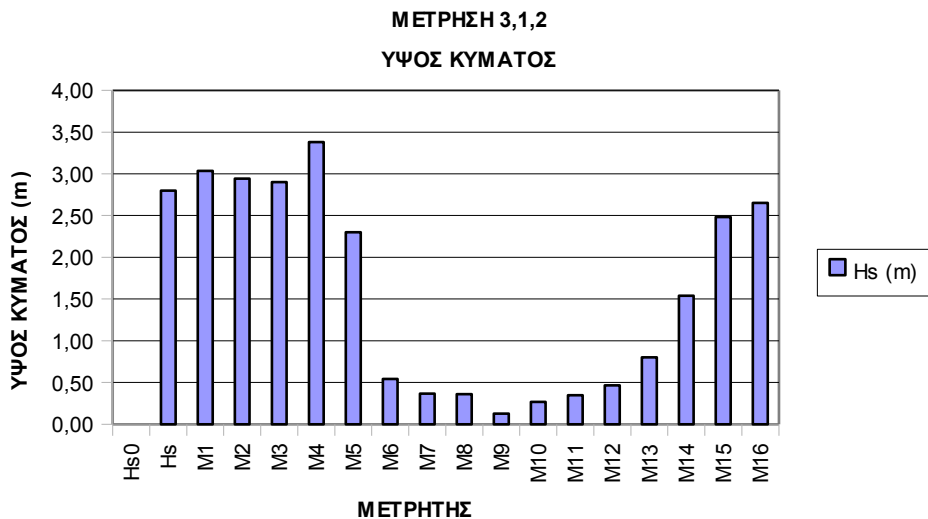
Διάγραμμα 5.11



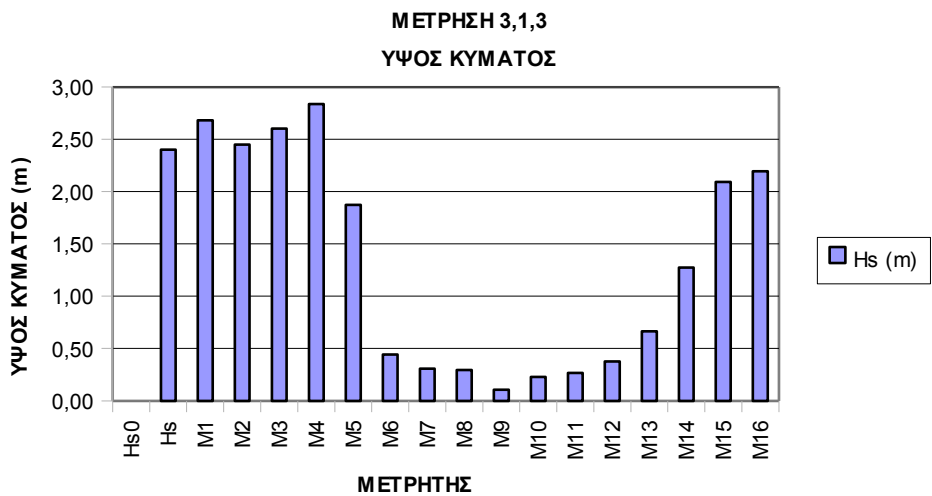
Διάγραμμα 5.12



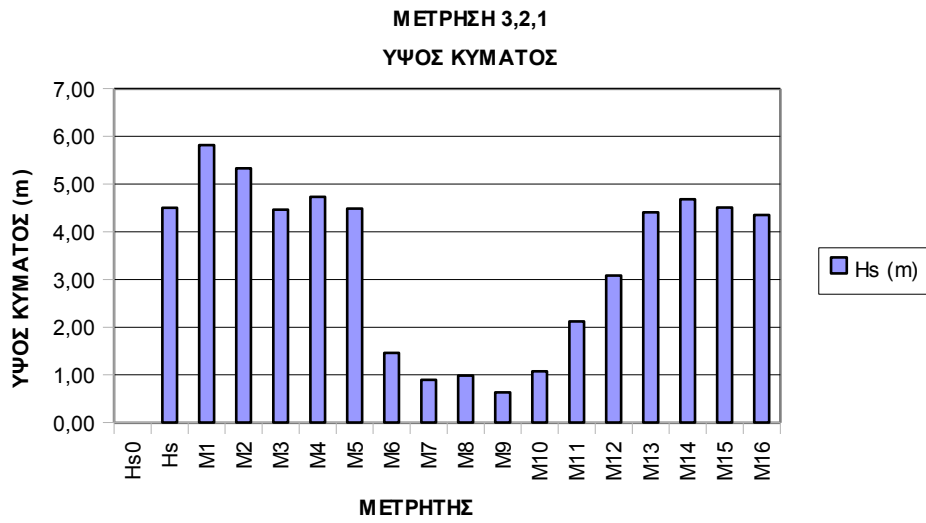
Διάγραμμα 5.13



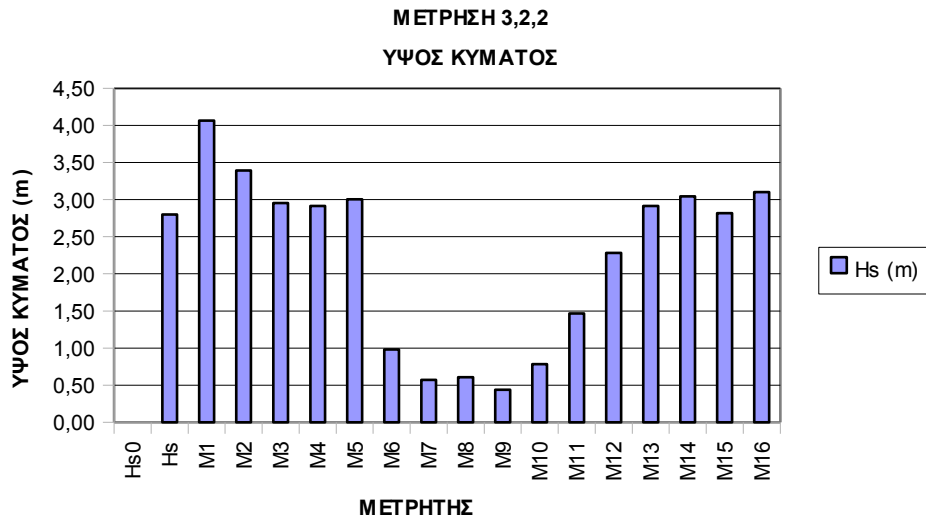
Διάγραμμα 5.14



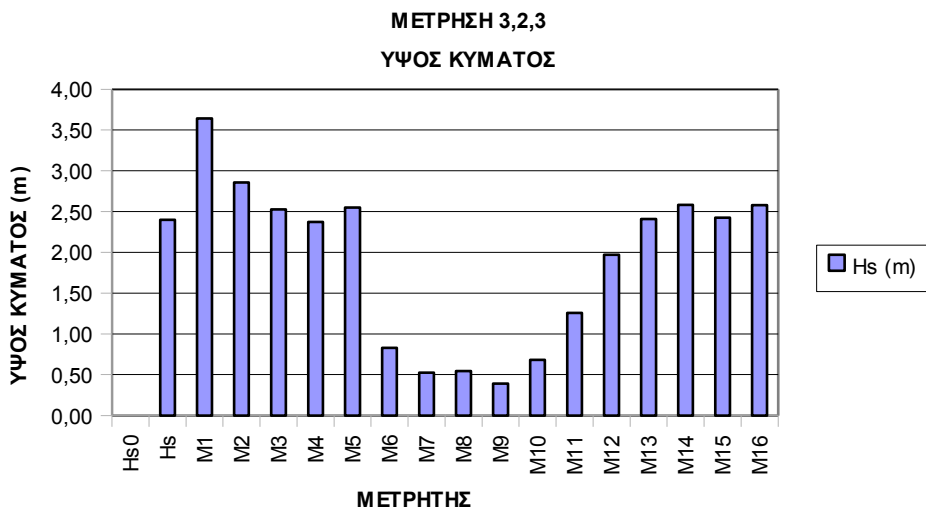
Διάγραμμα 5.15



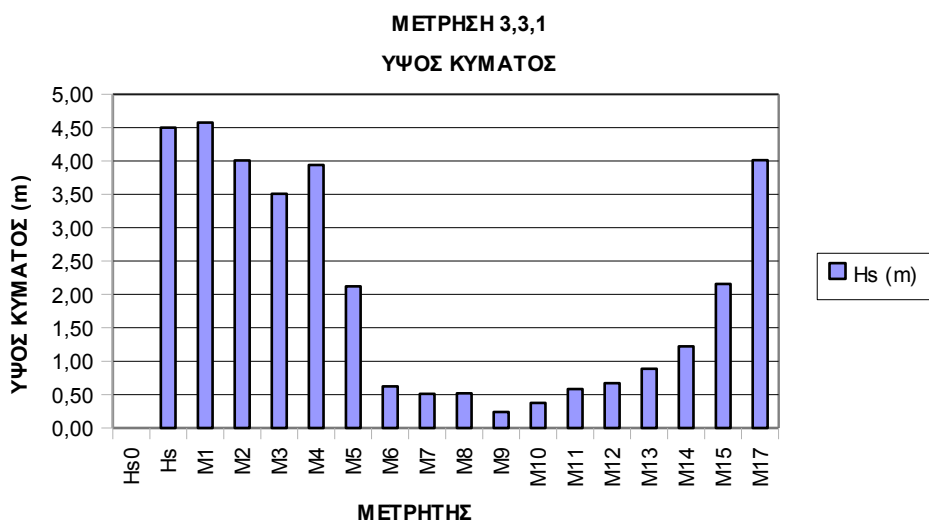
Διάγραμμα 5.16



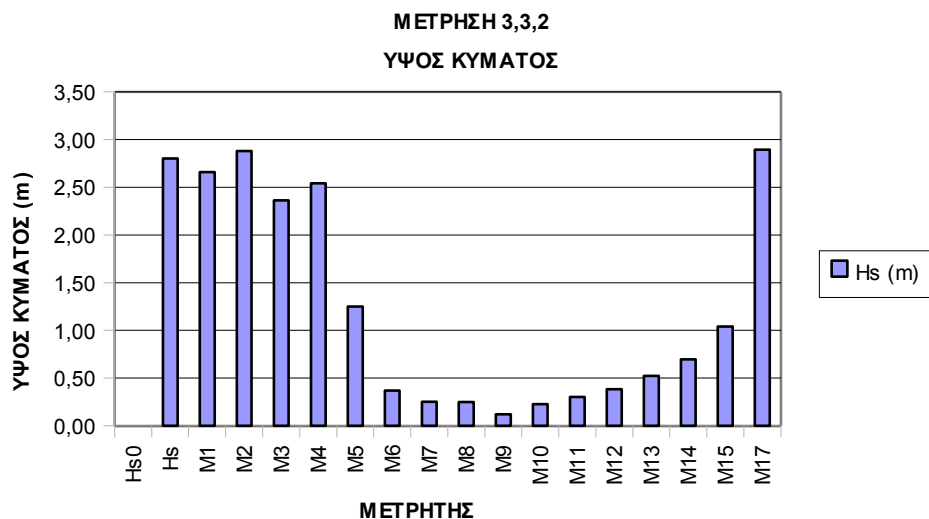
Διάγραμμα 5.17



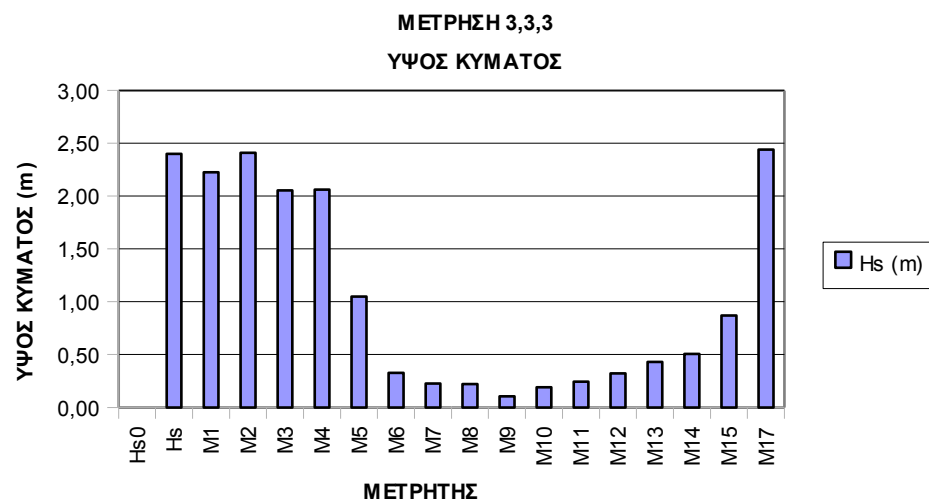
Διάγραμμα 5.18



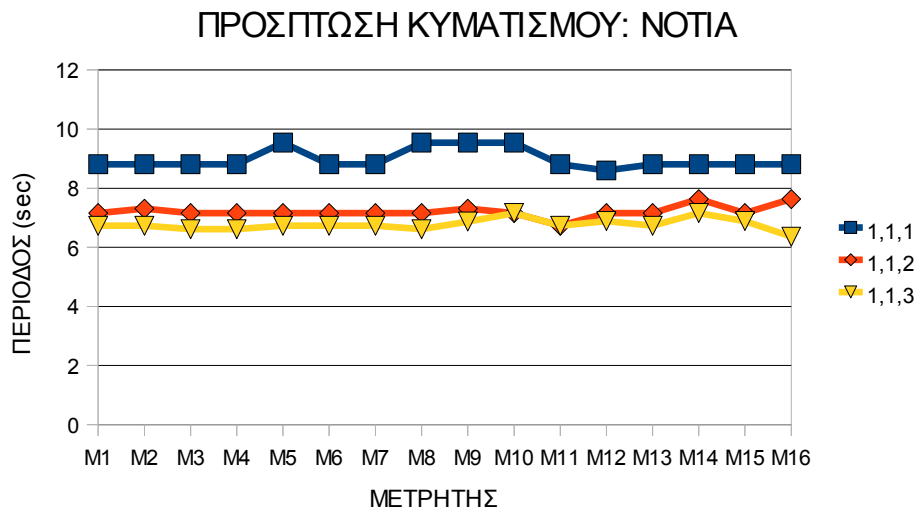
Διάγραμμα 5.20



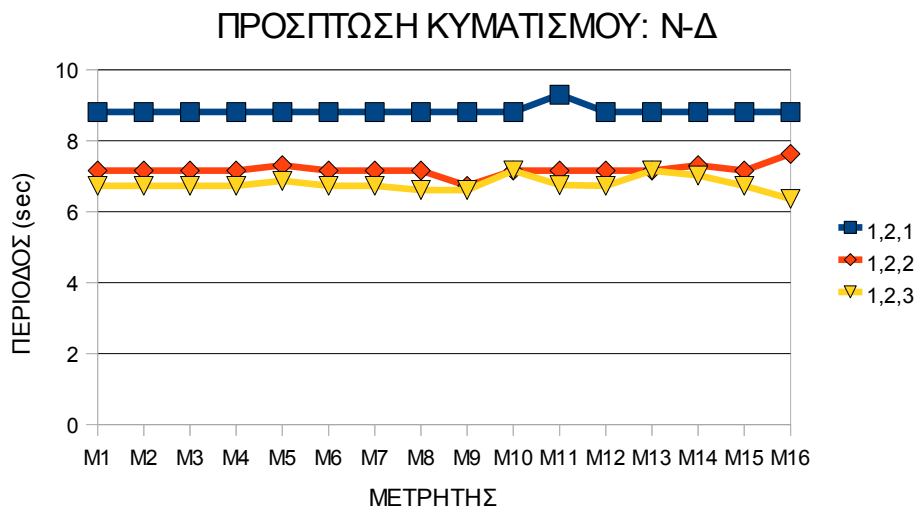
Διάγραμμα 5.21



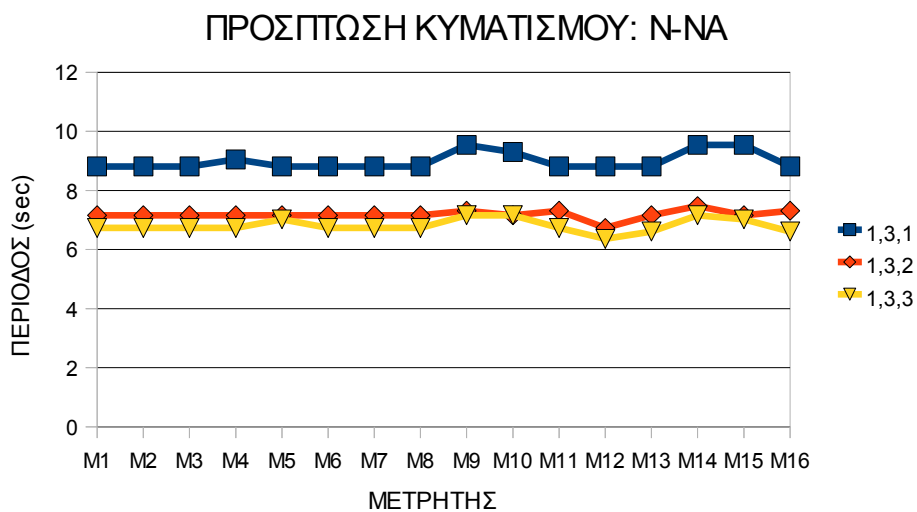
Διάγραμμα 5.22



Διάγραμμα 5.23

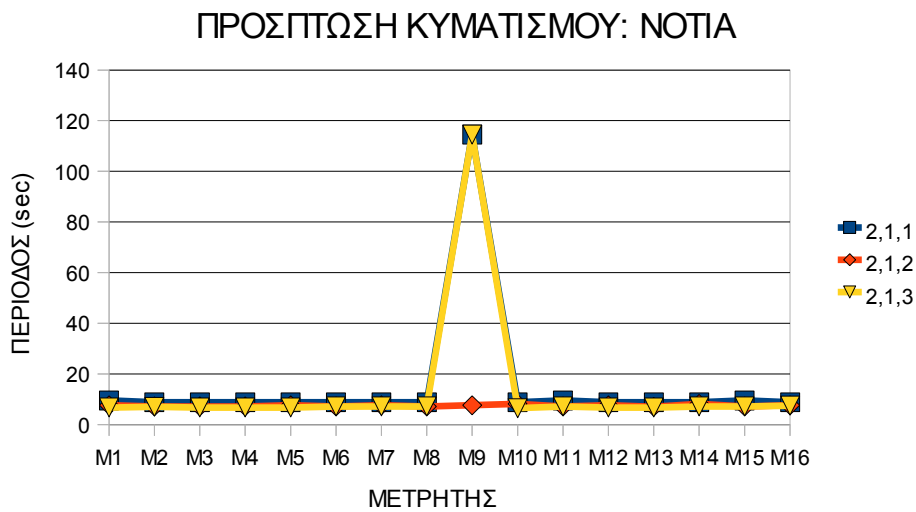


Διάγραμμα 5.24

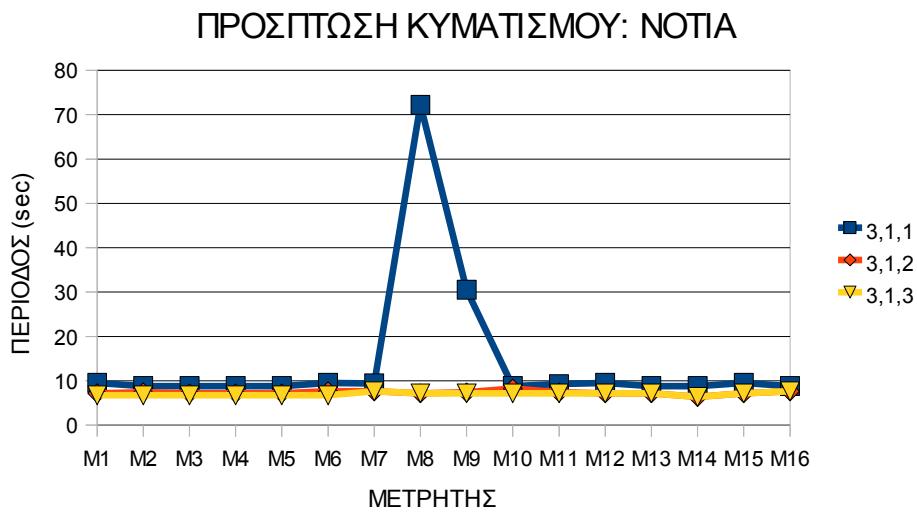


Διάγραμμα 5.25

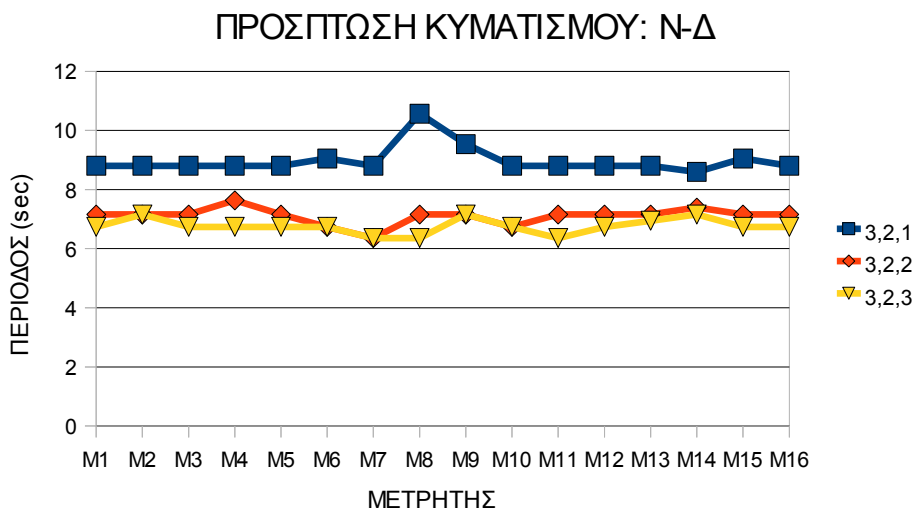




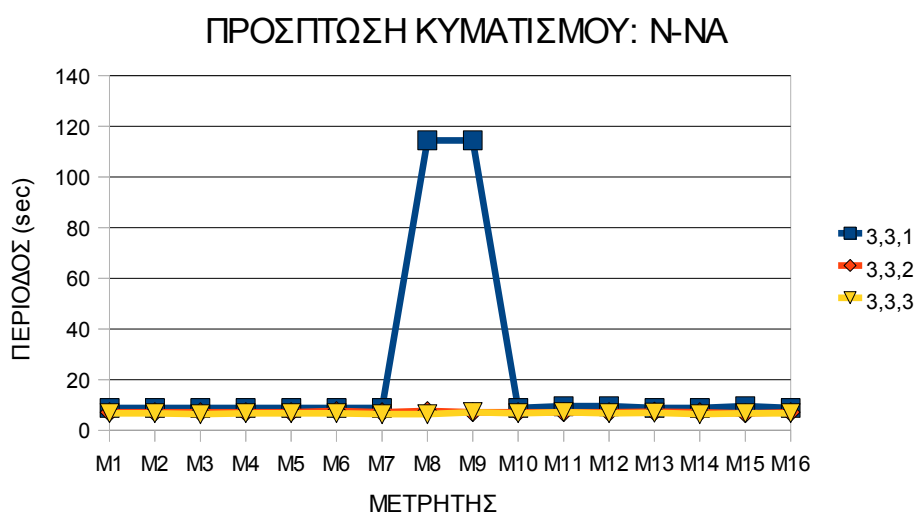
Διάγραμμα 5.26



Διάγραμμα 5.27



Διάγραμμα 5.28



Διάγραμμα 5.29

### **5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ**

Στις διατάξεις 2 και 3 που ελέγχθηκαν στο φυσικό προσομοίωμα, το κύριο λιμενικό έργο που προστατεύει από την κυματική διαταραχή, είναι ο ο προσήνεμος μόλος. Για την εκτίμηση της κυματικής διαταραχής σε ορισμένα σημεία, με μόνο την επίδραση της περίθλασης, που είναι το κύριο φαινόμενο στη μεταβολή του ύψους κύματος στην περίπτωση ύπαρξης ακρομολίου, ακολουθήθηκε η μέθοδος Wiegel, όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2.

Απαραίτητοι υπολογισμοί για τον ορισμό του συντελεστή περίθλασης  $K_D$  είναι εκείνοι:

1. Της γωνίας  $\theta$ , που σχηματίζεται ανάμεσα στον άξονα του ακρομολίου και την κατεύθυνση μεταδόσεως του κύματος,
2. Της γωνίας  $\beta$ , η οποία σχηματίζεται από τον άξονα του ακρομολίου και η ακτίνα  $r$ , από το άκρο του ως το σημείο στο οποίο υπολογίζεται το από περίθλαση ύψος κύματος,
3. Του μήκους κύματος  $L$ , πάνω από τον πυθμένα της εξεταζόμενης περιοχής και της ακτίνας  $r$ .

Ο υπολογισμός του μήκους κύματος έγινε για βάθος  $d=60\text{m}$  από τη σχέση:

$$L = L_o = \frac{gT^2}{2\pi}$$

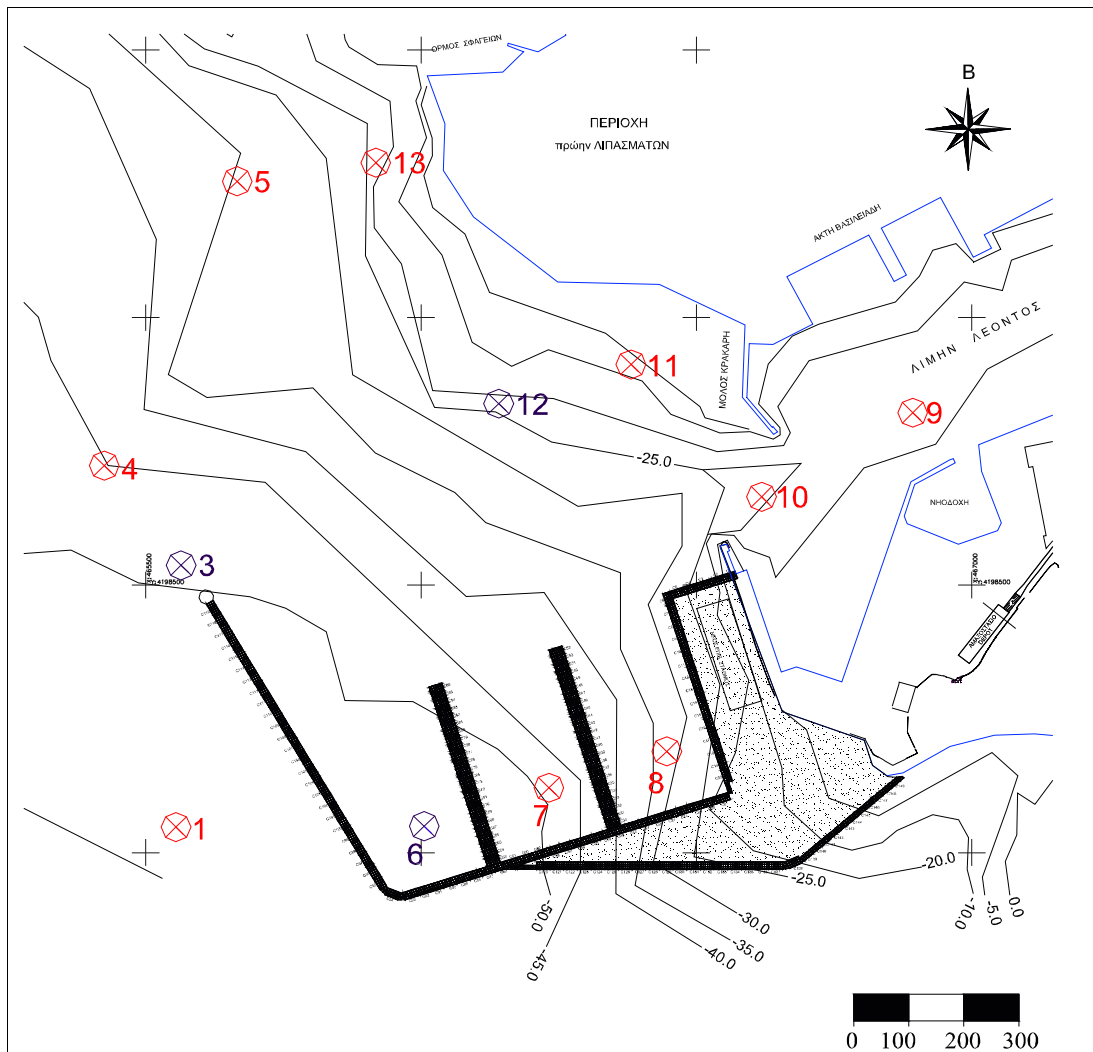
και για κάθε κυματική διαταραχή προέκυψε:

| $H_{s,0}(\text{m})$ | $T(\text{sec})$ | $L=L_o(\text{m})$ |
|---------------------|-----------------|-------------------|
| 4,5                 | 9,13            | 130,15            |
| 2,8                 | 7,21            | 81,16             |
| 2,4                 | 6,67            | 69,46             |

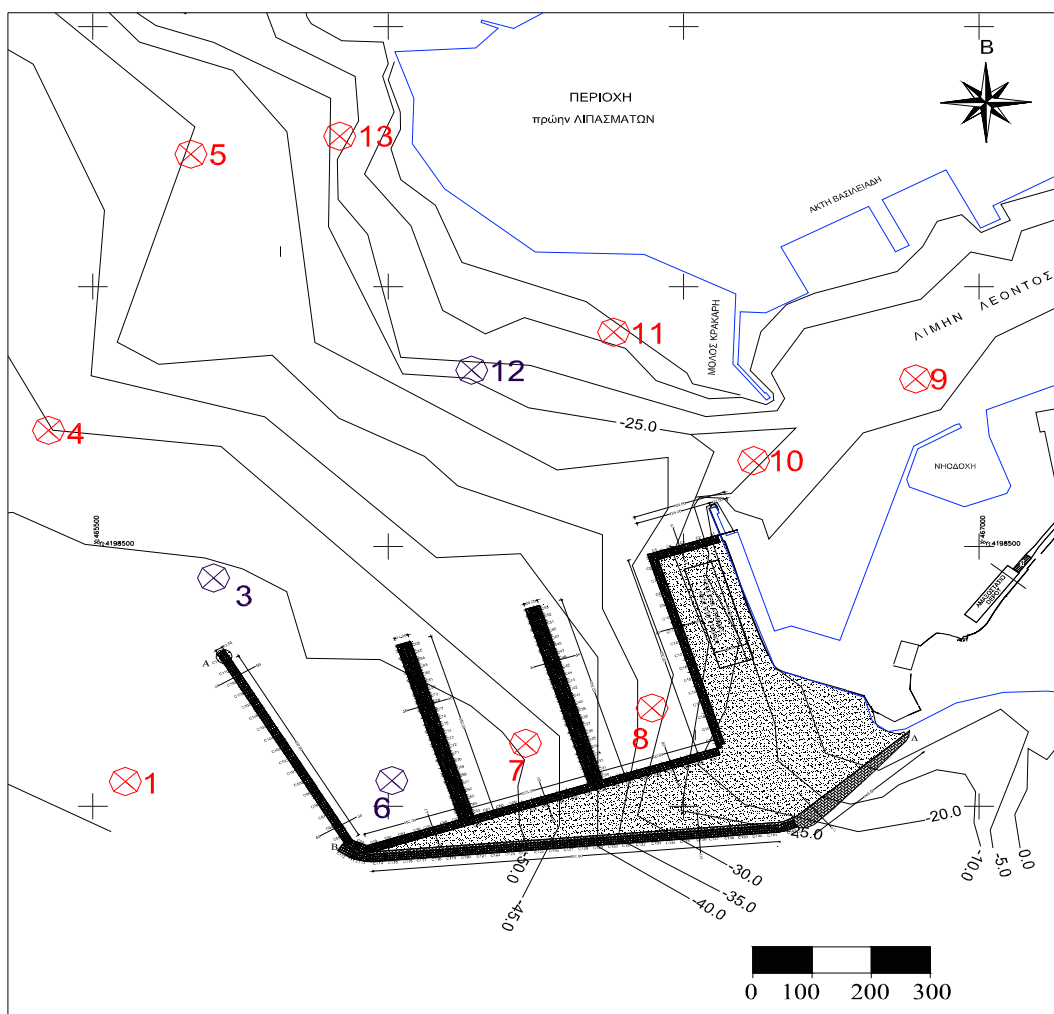
Πίνακας 5.4: Δεδομένα μετρήσεων

Οι θέσεις μετρήσεως που επιλέχθηκαν να ελεγχθούν είναι οι ακόλουθες:

1. **Θέση μετρητή M3**, κοντά στο ακρομόλιο του προσήνεμου μόλου.
2. **Θέση μετρητή M6**, στη δυτική νηοδόχου των νέων έργων.
3. **Θέση μετρητή M12**, στο θαλάσσιο χώρο νότια της περιοχής των Λιπασμάτων.



Σχέδιο 5.1: Μετρητές M3, M6, M12 (Διάταξη2)



Σχέδιο 5.2: Μετρητές M3, M6, M12 (Διάταξη 3)

Ο υπολογισμός των παραπάνω μεγεθών έγινε με τη χρήση του προγράμματος Autocad, με βάση τις κατόψεις των διατάξεων του φυσικού προσομοιώματος που εξελίχθηκε το πείραμα. Το διάγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των θεωρητικών τιμών του συντελεστή περίθλασης, είναι το διάγραμμα Wiegell, όπως παρουσιάστηκε στον πίνακα 2.1 του κεφαλαίου 2.

| Διάταξη 2 | M6      | M12     | M3    |
|-----------|---------|---------|-------|
| r         | 596,25m | 641,25m | 85,3m |
| $\beta$   | 12°     | 92°     | 178°  |

| Διάταξη 3 | M6     | M12     | M3      |
|-----------|--------|---------|---------|
| r         | 378,1m | 681,53m | 146,07m |
| $\beta$   | 18°    | 112°    | 152     |

Πίνακας 5.5: Γωνίες και αποστάσεις μετρητών από το ακρομόλιο

### 5.2.1 Αποτελέσματα θεωρητικών τιμών συντελεστή περίθλασης

Ακολουθώς, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές του συντελεστή περίθλασης, για κάθε διάταξη και για κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμού. Για όλες τις γωνίες που δεν προβλέπονται από τον πίνακα Wiegell, ο υπολογισμός του συντελεστή περίθλασης έγινε με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής.

| Διάταξη 2                |            | M6    | M12   | M3    |
|--------------------------|------------|-------|-------|-------|
| $\theta=150^\circ$ NOTIA |            | $K_D$ | $K_D$ | $K_D$ |
| $H_{s,o}(m)$             | $L=L_o(m)$ |       |       |       |
| 4,5                      | 130,15     | 0,076 | 0,183 | 0,984 |
| 2,8                      | 81,16      | 0,061 | 0,096 | 0,971 |
| 2,4                      | 69,46      | 0,056 | 0,088 | 0,956 |

Πίνακας 5.6: Θεωρητικές τιμές συντελεστή περίθλασης από πίνακα Wiegell

| Διάταξη 3                |            | M6    | M12   | M3    |
|--------------------------|------------|-------|-------|-------|
| $\theta=150^\circ$ NOTIA |            | $K_D$ | $K_D$ | $K_D$ |
| $H_{s,o}(m)$             | $L=L_o(m)$ |       |       |       |
| 4,5                      | 130,15     | 0,106 | 0,151 | 0,657 |
| 2,8                      | 81,16      | 0,094 | 0,126 | 0,636 |
| 2,4                      | 69,46      | 0,070 | 0,116 | 0,629 |

Πίνακας 5.7: Θεωρητικές τιμές συντελεστή περίθλασης από πίνακα Wiegell

| Διάταξη 3                   |            | M6    | M12   | M3    |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|
| $\theta=165^\circ$ N-ΔΥΤΙΚΗ |            | $K_D$ | $K_D$ | $K_D$ |
| $H_{s,o}(m)$                | $L=L_o(m)$ |       |       |       |
| 4,5                         | 130,15     | 0,099 | 0,132 | 0,549 |
| 2,8                         | 81,16      | 0,074 | 0,107 | 0,489 |
| 2,4                         | 69,46      | 0,068 | 0,096 | 0,468 |

Πίνακας 5.8: Θεωρητικές τιμές συντελεστή περίθλασης από πίνακα Wiegell

| Διάταξη 3                      |            | M6    | M12   | M3    |
|--------------------------------|------------|-------|-------|-------|
| $\theta=165^\circ$ N-ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ |            | $K_D$ | $K_D$ | $K_D$ |
| $H_{s,o}(m)$                   | $L=L_o(m)$ |       |       |       |
| 4,5                            | 130,15     | 0,124 | 0,755 | 1,054 |
| 2,8                            | 81,16      | 0,097 | 0,791 | 1,029 |
| 2,4                            | 69,46      | 0,089 | 0,807 | 1,023 |

Πίνακας 5.9: Θεωρητικές τιμές συντελεστή περίθλασης από πίνακα Wiegell

### 5.2.2 Αποτελέσματα πειραματικών τιμών του συντελεστή περίθλασης

Στην περιοχή των κυματισμών, ο πειραματικά υπολογισμένος συντελεστής περίθλασης  $K_D$ , υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$K_D = H_i / H_M$$

όπου  $H_i$  είναι οι τιμές του ύψους κύματος που έχουν προκύψει από τις πειραματικές μετρήσεις και  $H_M$  είναι το ύψος κύματος στην περιοχή προ της κατασκευής. Ο υπολογισμός του συντελεστή περίθλασης, θα γίνει ως προς τον μετρητή M2 και ταυτίζεται με τις τιμές του συντελεστή μεταδόσεως  $K_t'$  που έχουν υπολογιστεί στους πίνακες 5.1, 5.2 και 5.3.

| Διάταξη 2 | M6    | M12   | M3    |
|-----------|-------|-------|-------|
| NOTIA     | $K_D$ | $K_D$ | $K_D$ |
| 2,1,1     | 0,127 | 0,125 | 0,675 |
| 2,1,2     | 0,136 | 0,104 | 0,748 |
| 2,1,3     | 0,136 | 0,105 | 0,821 |

Πίνακας 5.10: Πειραματικές τιμές συντελεστή περίθλασης

| Διάταξη 3 | M6    | M12   | M3    |
|-----------|-------|-------|-------|
| NOTIA     | $K_D$ | $K_D$ | $K_D$ |
| 3,1,1     | 0,156 | 0,177 | 0,813 |
| 3,1,2     | 0,184 | 0,160 | 0,986 |
| 3,1,3     | 0,180 | 0,155 | 1,061 |

Πίνακας 5.11: Πειραματικές τιμές συντελεστή περίθλασης

| Διάταξη 3 | M6    | M12   | M3    |
|-----------|-------|-------|-------|
| N-ΔΥΤΙΚΗ  | $K_D$ | $K_D$ | $K_D$ |
| 3,2,1     | 0,274 | 0,578 | 0,838 |
| 3,2,2     | 0,289 | 0,673 | 0,871 |
| 3,2,3     | 0,290 | 0,689 | 0,884 |

Πίνακας 5.12: Πειραματικές τιμές συντελεστή περίθλασης

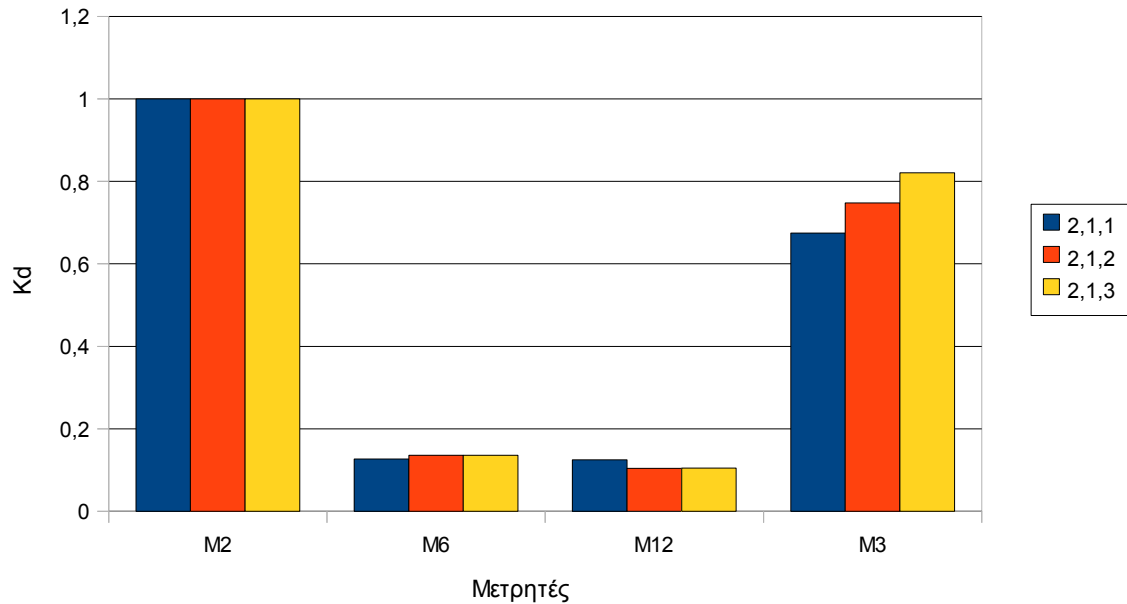
| Διάταξη 3   | M6    | M12   | M3    |
|-------------|-------|-------|-------|
| N-ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ | $K_D$ | $K_D$ | $K_D$ |
| 3,3,1       | 0,155 | 0,167 | 0,875 |
| 3,3,2       | 0,128 | 0,133 | 0,821 |
| 3,3,3       | 0,135 | 0,133 | 0,852 |

Πίνακας 5.13: Πειραματικές τιμές συντελεστή περίθλασης

### 5.2.3 Συγκεντρωτικά διαγράμματα συντελεστή περίθλασης

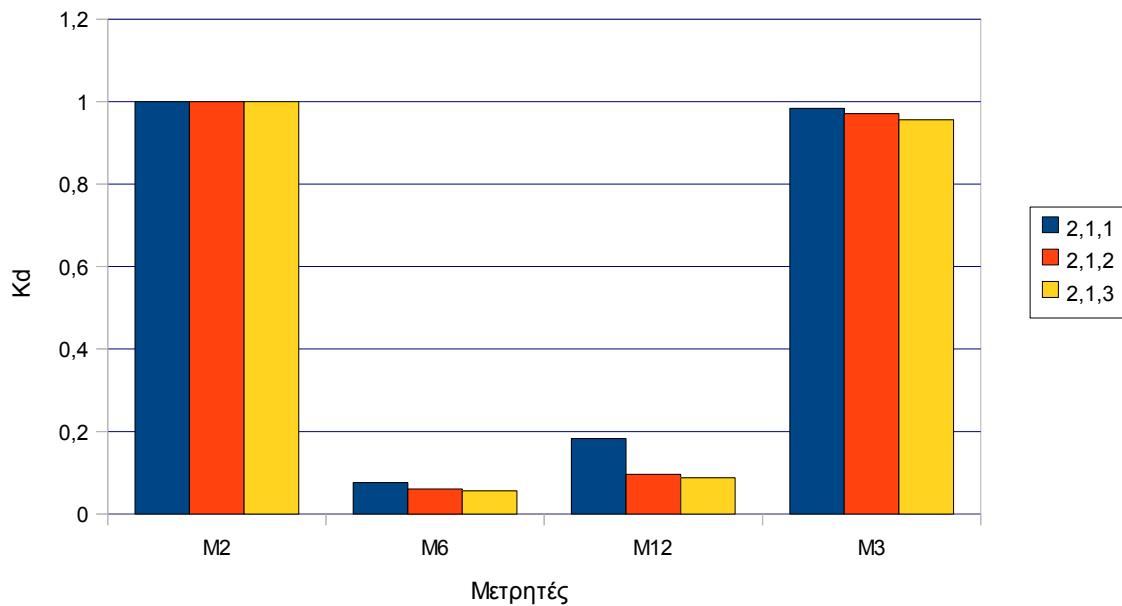
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται συγκεντρωτικά για τις διάφορες διατάξεις και κυματικές διαταραχές, οι συντελεστές  $K_d$  από τις πειραματικές μετρήσεις και τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές του πίνακα Wiegel.

**$K_d$  από πειραματικές μετρήσεις**



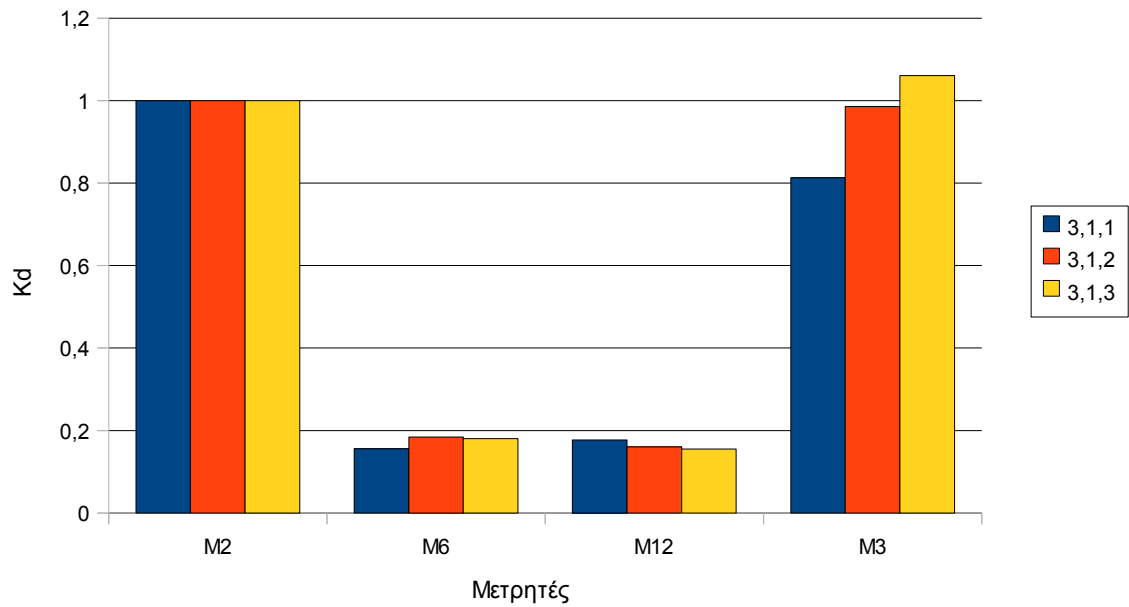
Διάγραμμα 5.23

**$K_d$  από θεωρητικούς υπολογισμούς**



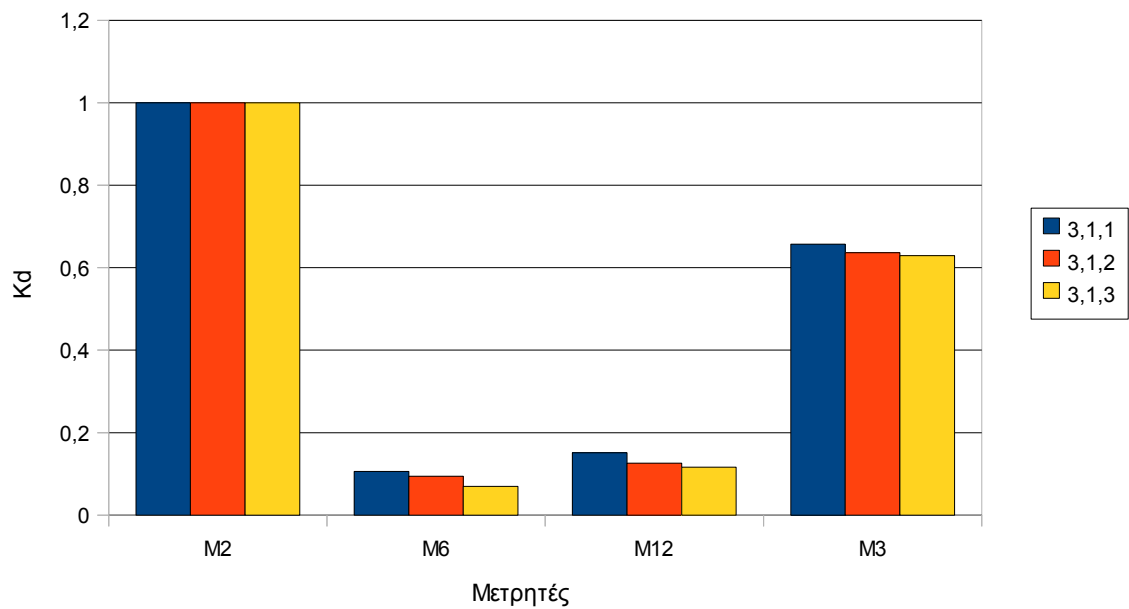
Διάγραμμα 5.24

### Κd από πειραματικές μετρήσεις



Διάγραμμα 5.25

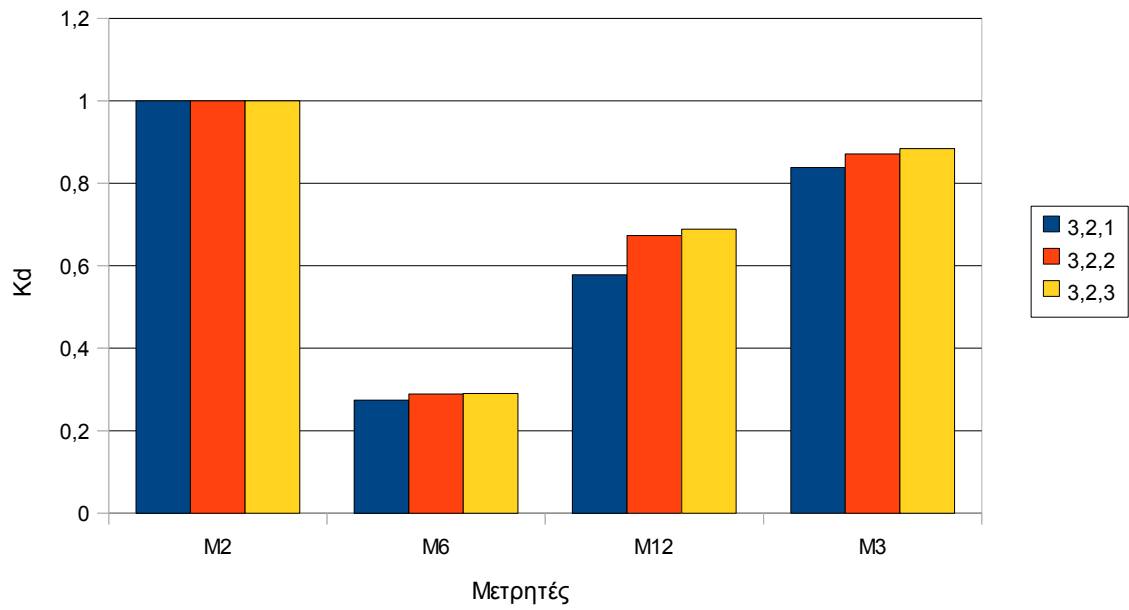
### Κd από θεωρητικούς υπολογισμούς



Διάγραμμα 5.26

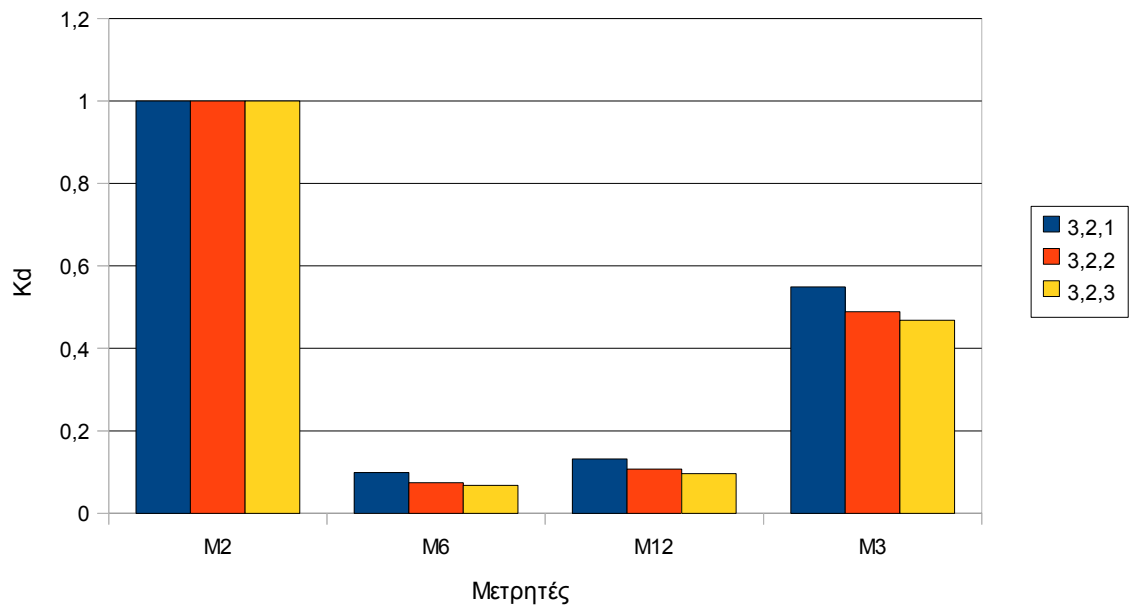


### Κd από πειραματικές μετρήσεις



Διάγραμμα 5.27

### Κd από θεωρητικούς υπολογισμούς



Διάγραμμα 5.28

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

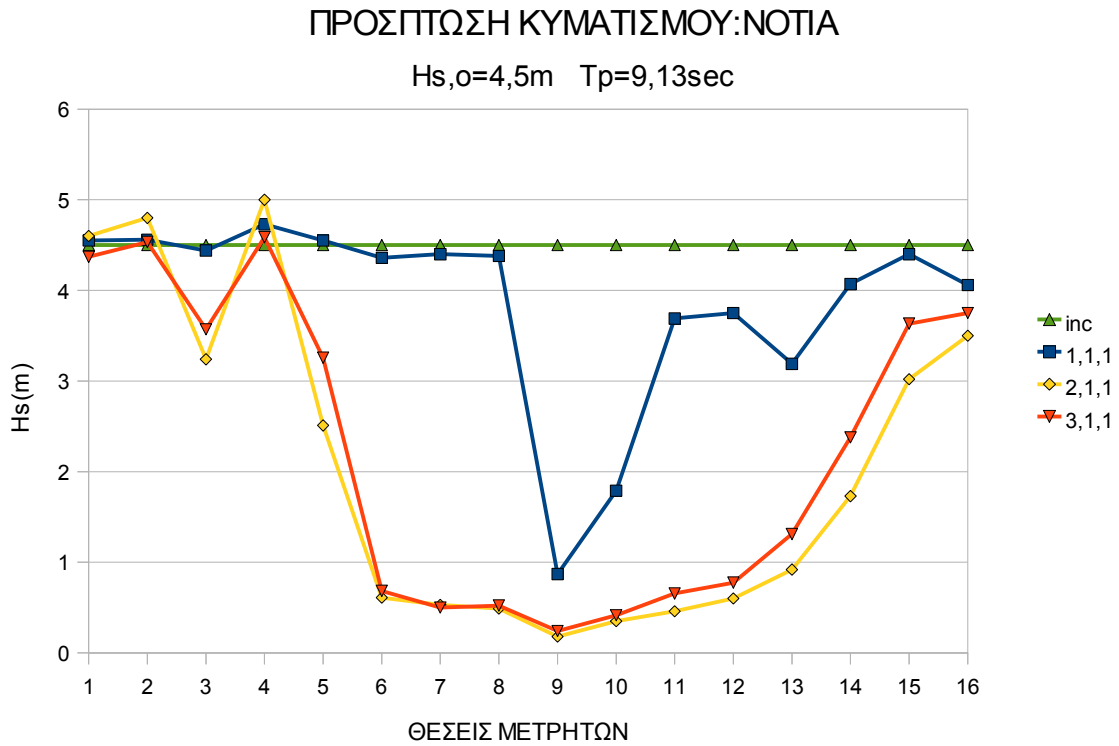
### Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται και αξιολογούνται συγκριτικά διαγράμματα, τόσο των χαρακτηριστικών μεγεθών  $H_s$  και  $T_p$ , όσο και της καμπυλότητα  $\gamma$ , του συντελεστής  $K_t$  και του συντελεστή μεταδόσεως  $K_t'$ . Επιπλέον, παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα ανάμεσα στις πειραματικές και τις θεωρητικές τιμές του συντελεστή περίθλασης, και ακολουθεί αξιολόγηση τους.

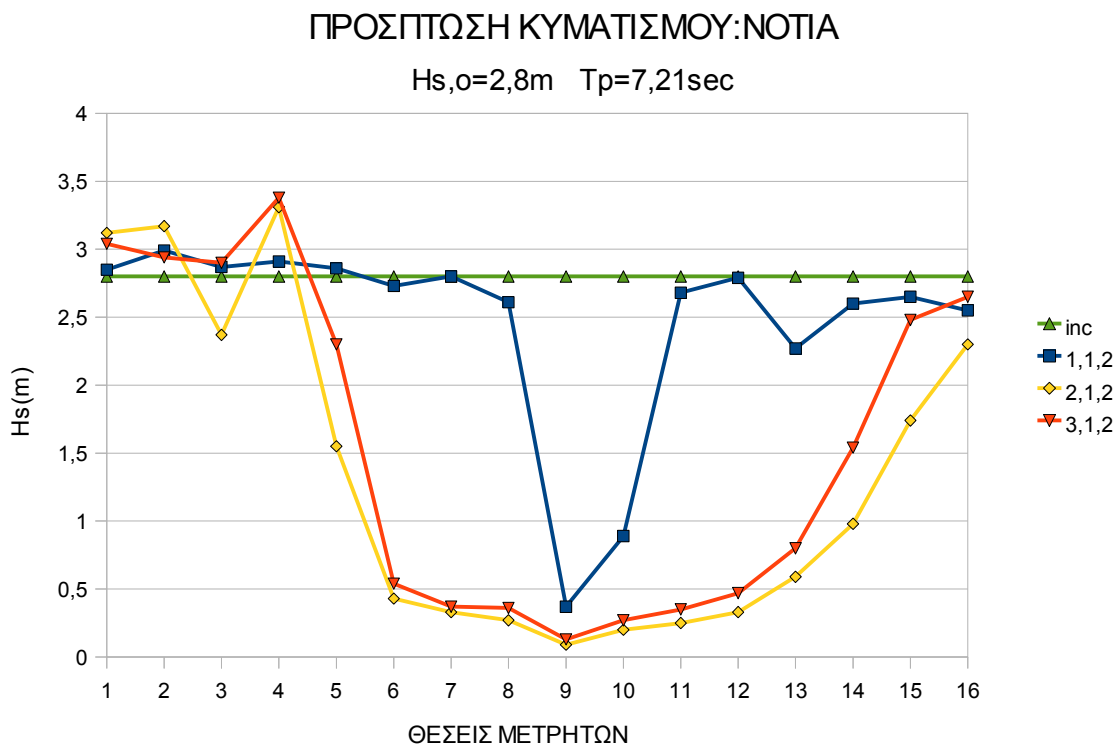
#### **6.1 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ**

Με χρήση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των πειραματικών μετρήσεων, όπως αυτά καταγράφονται στους πίνακες 5.1, 5.2, 5.3 του κεφαλαίου 5, σχεδιάστηκαν τα παρακάτω συγκριτικά διαγράμματα. Σε κάθε διάγραμμα γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε μετρητή, ανάμεσα στις 3 διατάξεις του έργου και στους κωδικούς πειραμάτων που αντιστοιχούν στο ίδιο προσπίπτον κύμα και την ίδια διεύθυνση προσπτώσεως.

**6.1.1 Διαγράμματα  $H_{s,o}$ ,  $K_t$  και σχολιασμός**



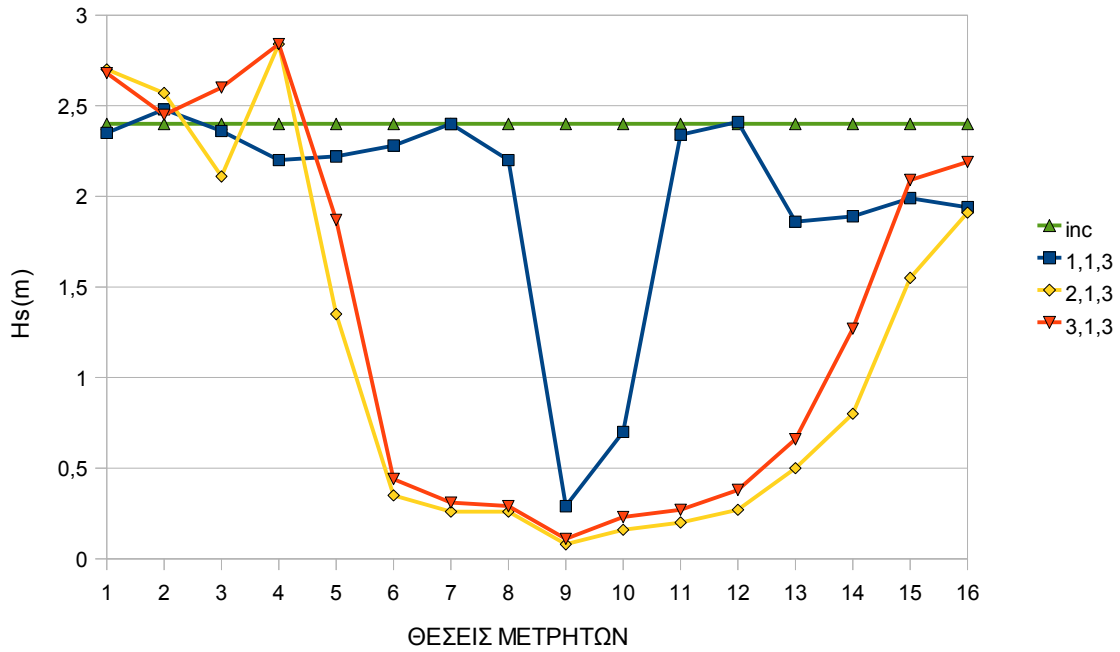
Διάγραμμα 6.1



Διάγραμμα 6.2

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:ΝΟΤΙΑ

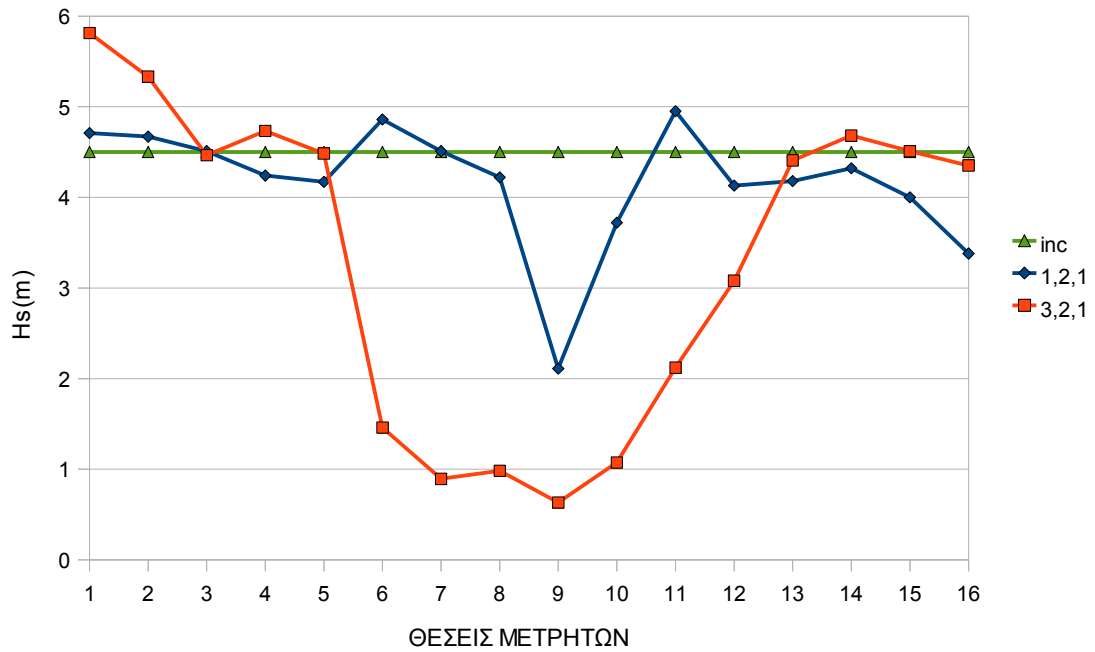
$H_{s,0}=2,4m$   $T_p=6,67sec$



Διάγραμμα 6.3

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:Ν-Δ

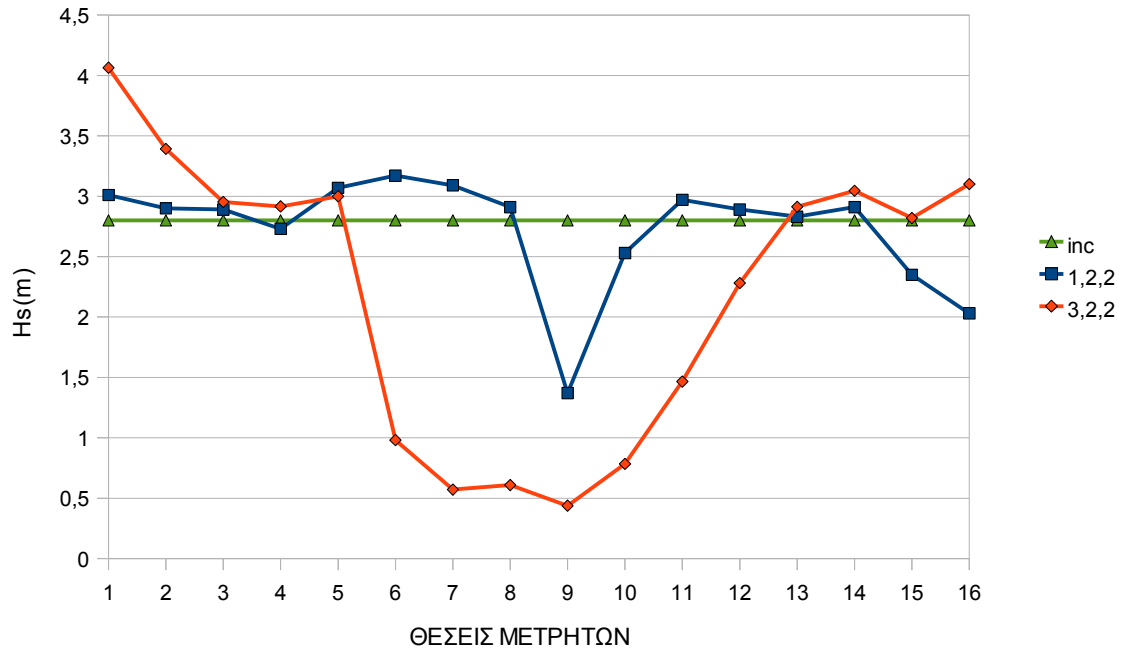
$H_{s,0}=4,5m$   $T_p=9,13sec$



Διάγραμμα 6.4

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-Δ

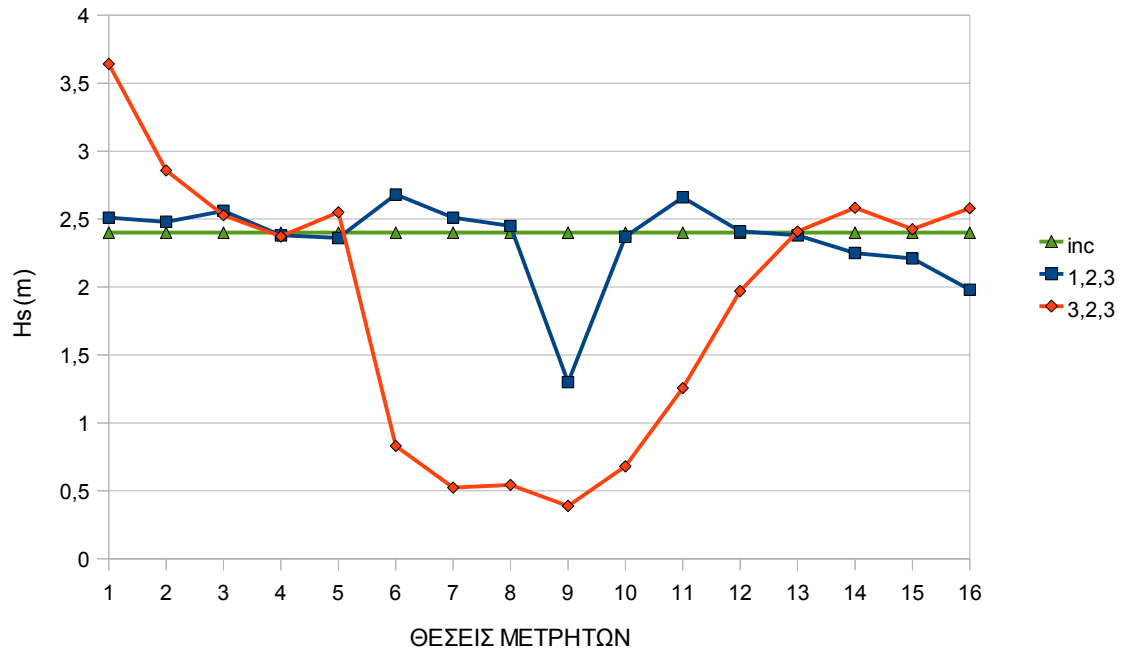
$H_{s,0}=2,8m$   $T_p=7,21sec$



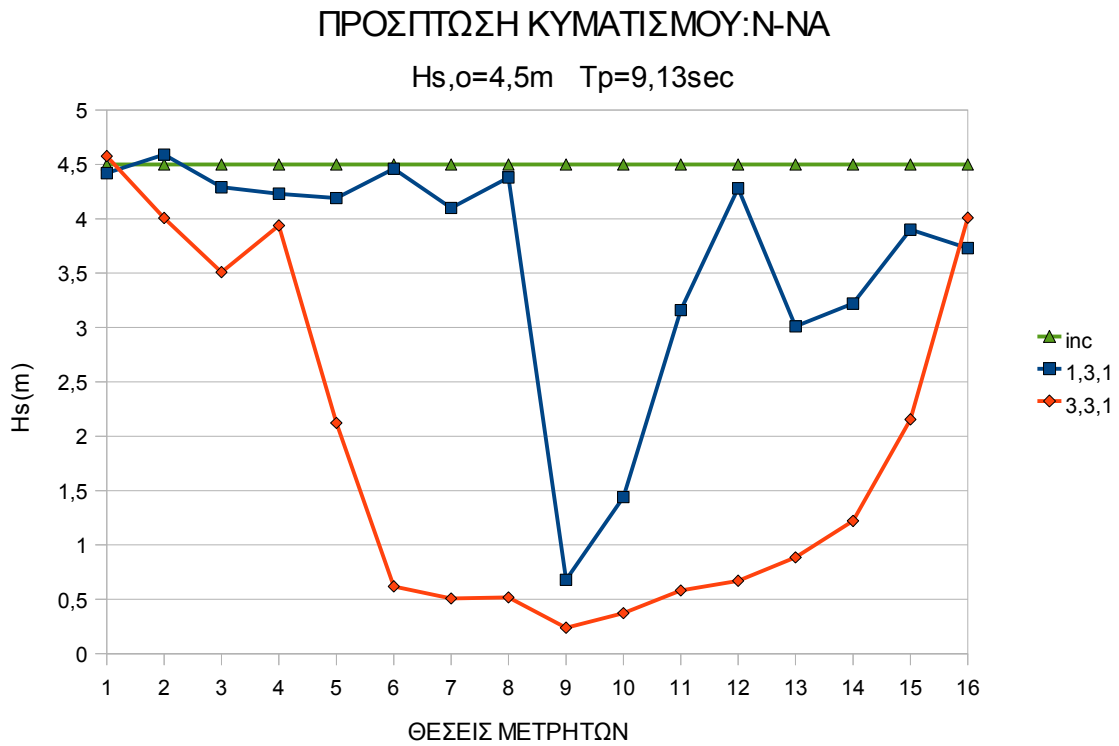
Διάγραμμα 6.5

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-Δ

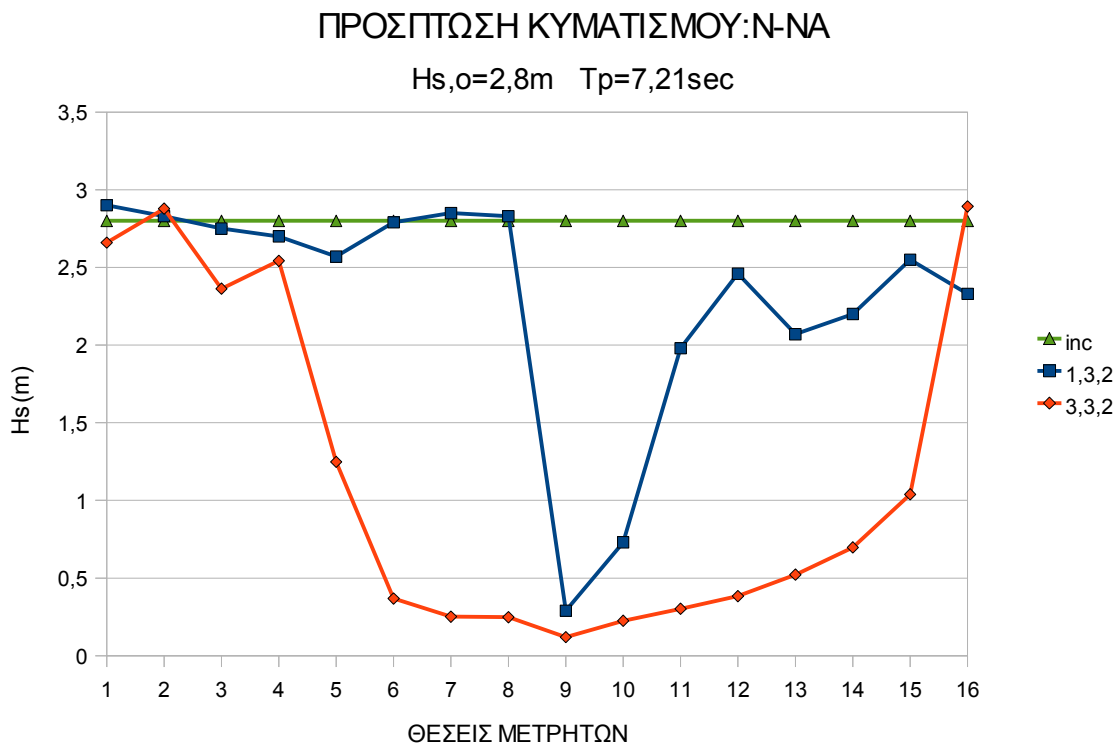
$H_{s,0}=2,4m$   $T_p=6,67sec$



Διάγραμμα 6.6



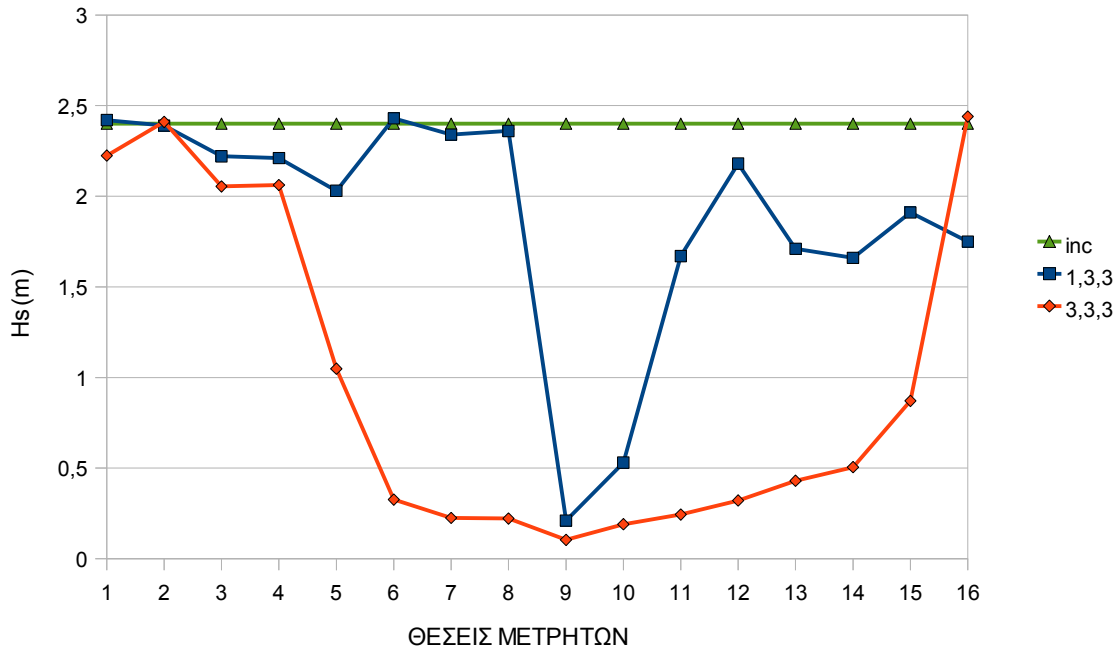
Διάγραμμα 6.7



Διάγραμμα 6.8

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:Ν-ΝΑ

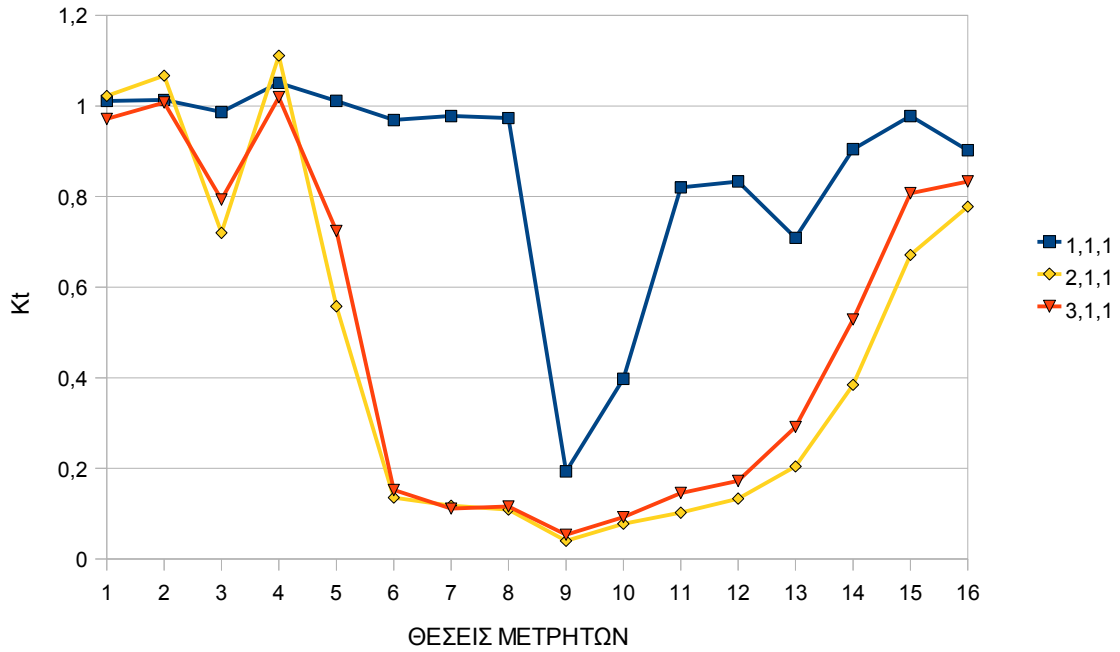
$H_{s,0}=2,4m$   $T_p=6,67sec$



Διάγραμμα 6.9

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:ΝΟΤΙΑ

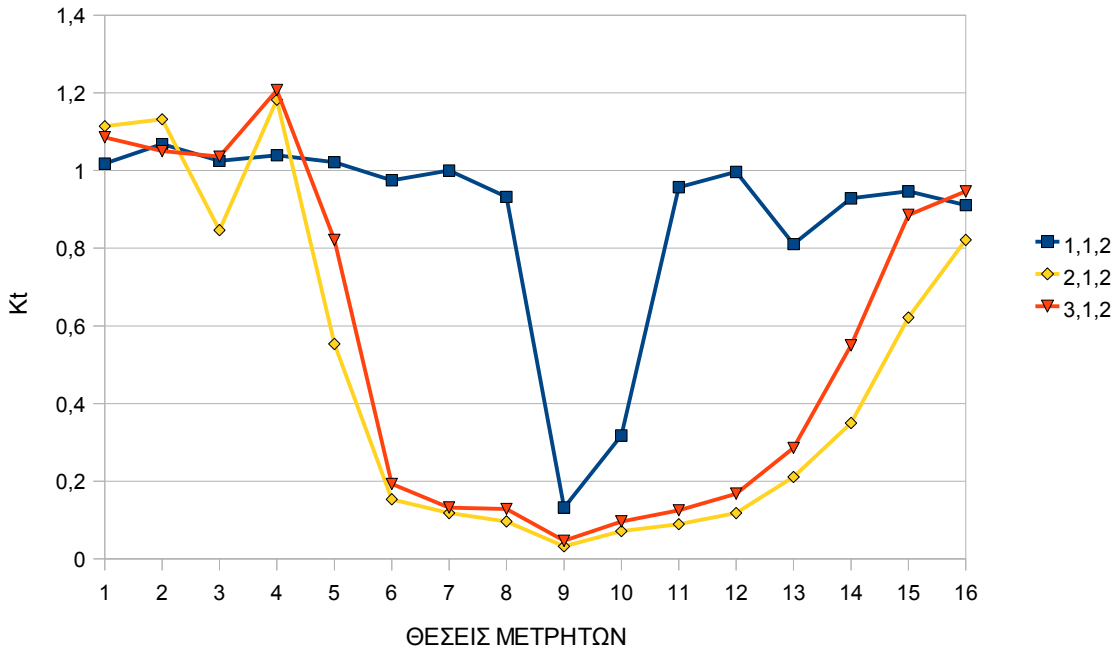
$H_{s,0}=4,5m$   $T_p=9,13sec$



Διάγραμμα 6.10

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:ΝΟΤΙΑ

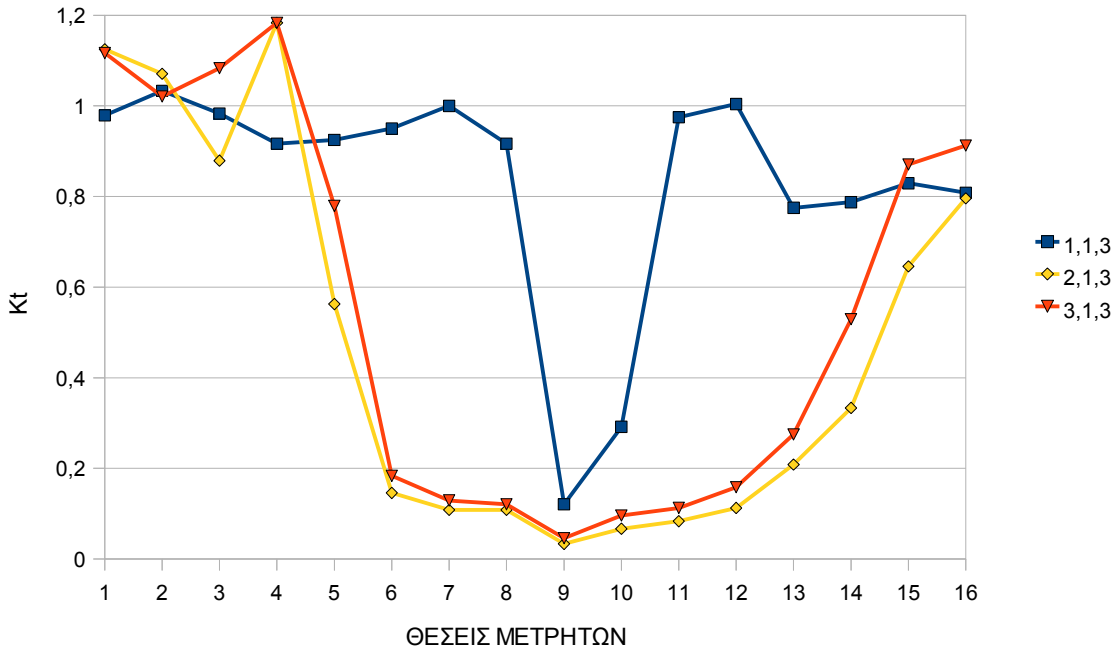
Hs,ο=2,8m T<sub>p</sub>=7,21sec



Διάγραμμα 6.11

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:ΝΟΤΙΑ

Hs,ο=2,4m T<sub>p</sub>=6,67sec

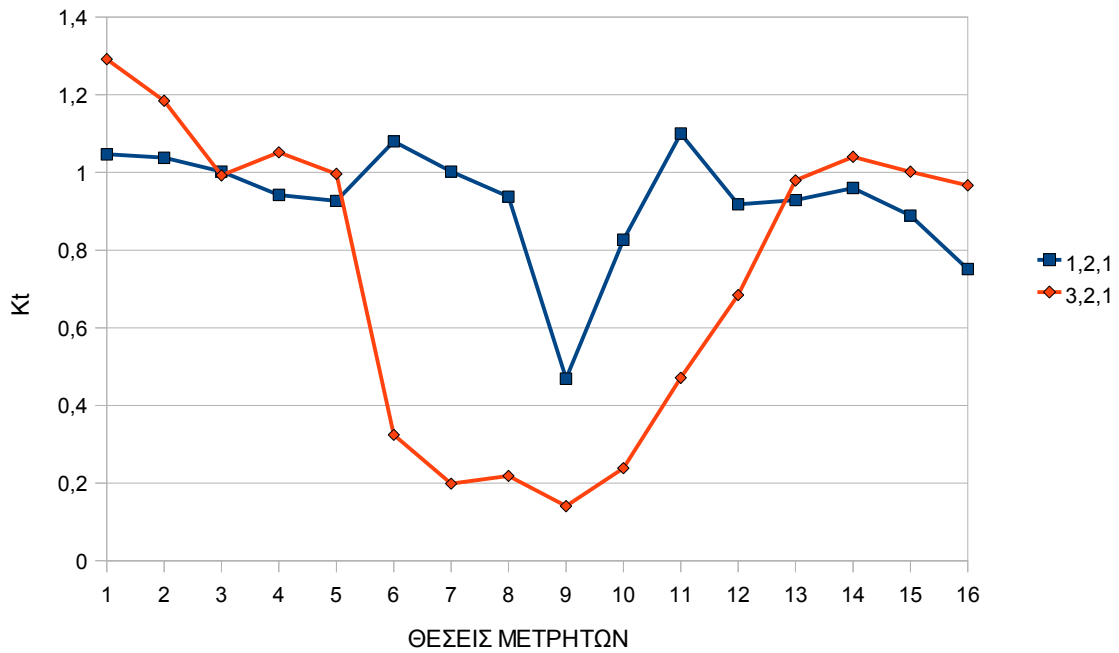


Διάγραμμα 6.12



### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-Δ

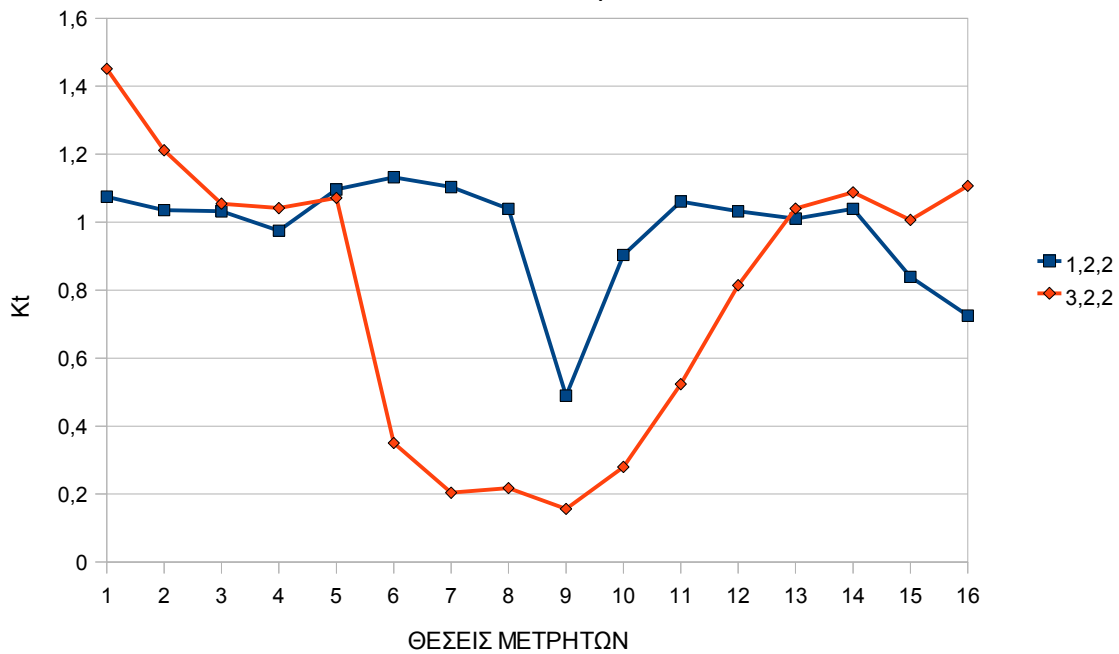
Hs,o=4,5m T<sub>p</sub>=9,13sec



Διάγραμμα 6.13

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-Δ

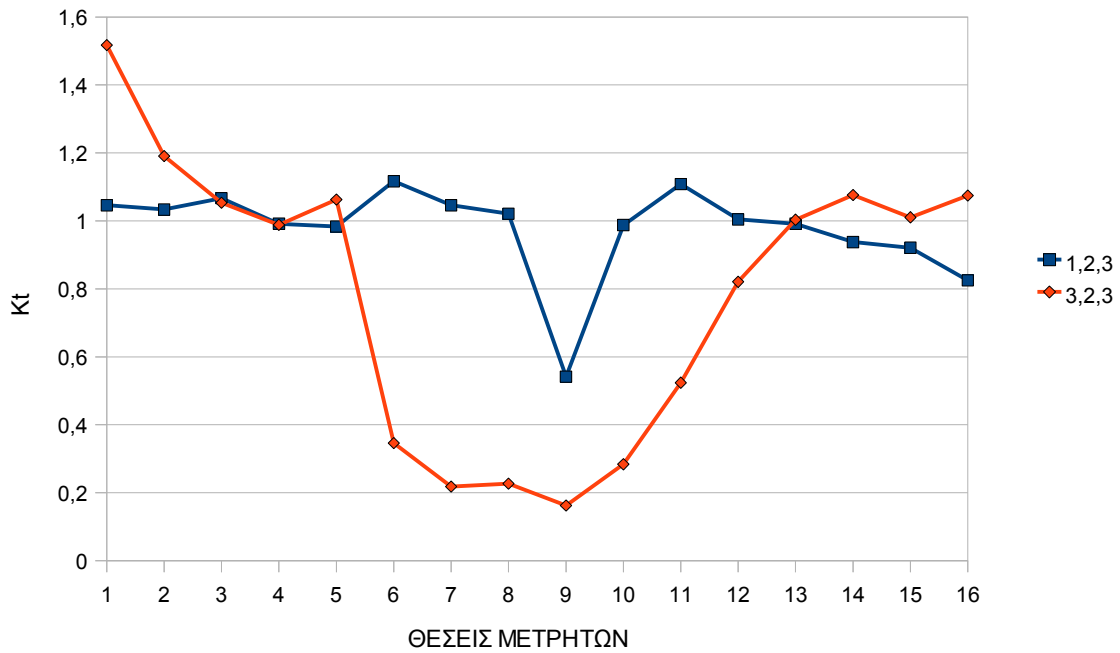
Hs,o=2,8m T<sub>p</sub>=7,21sec



Διάγραμμα 6.14

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-Δ

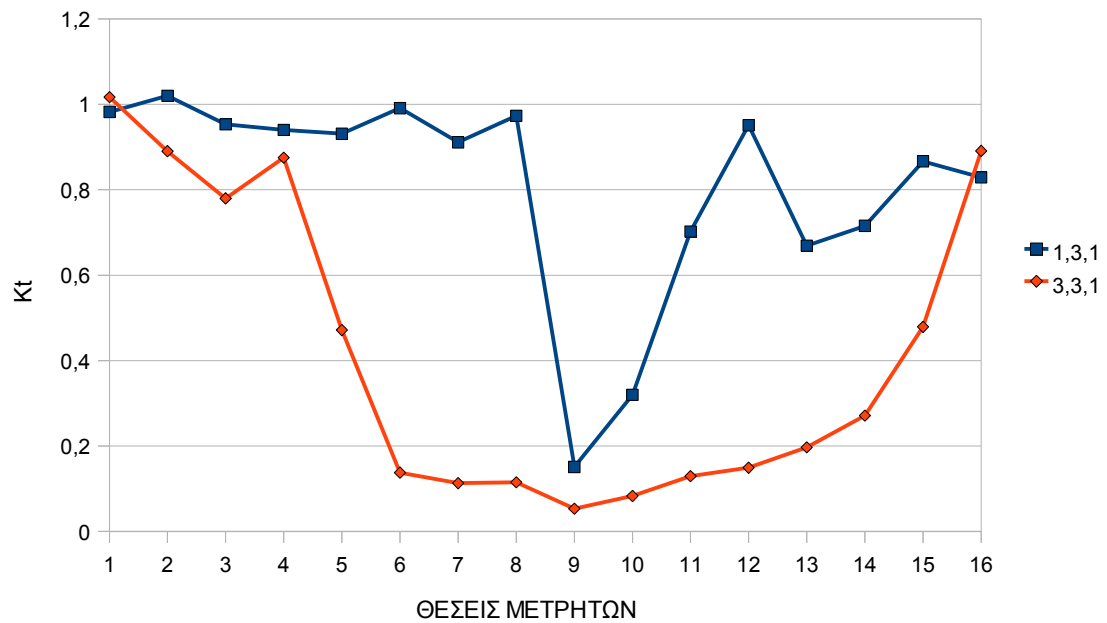
Hs,o=2,4m T<sub>p</sub>=6,67sec



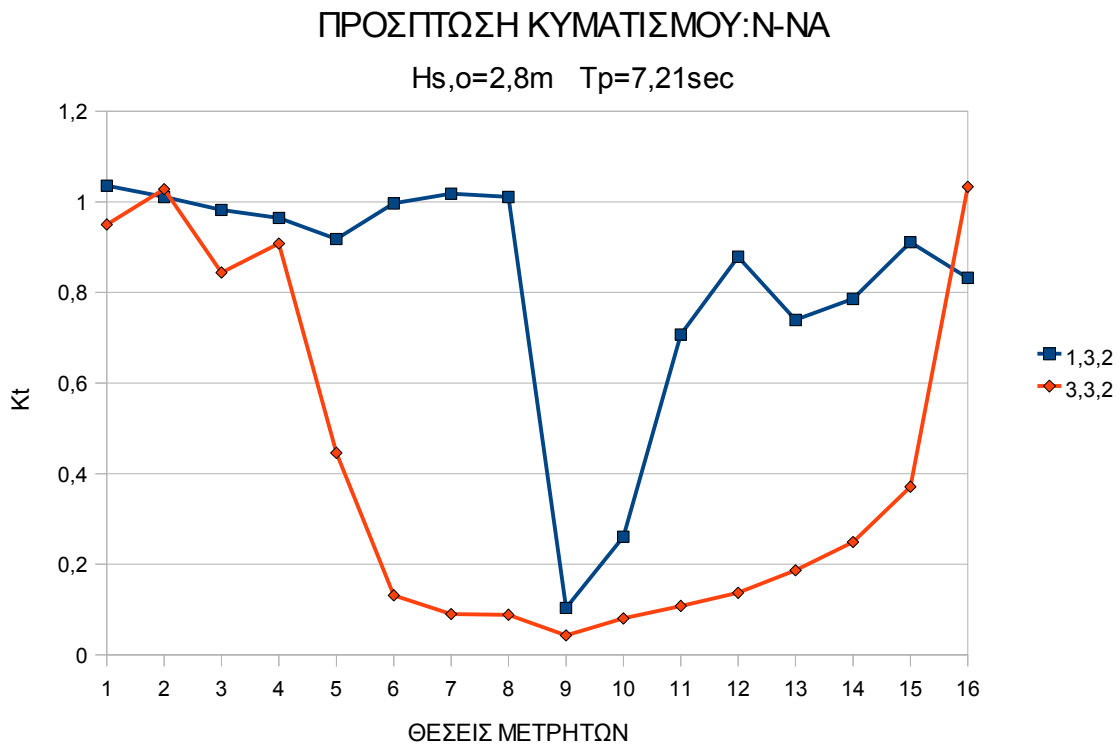
Διάγραμμα 6.15

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-NA

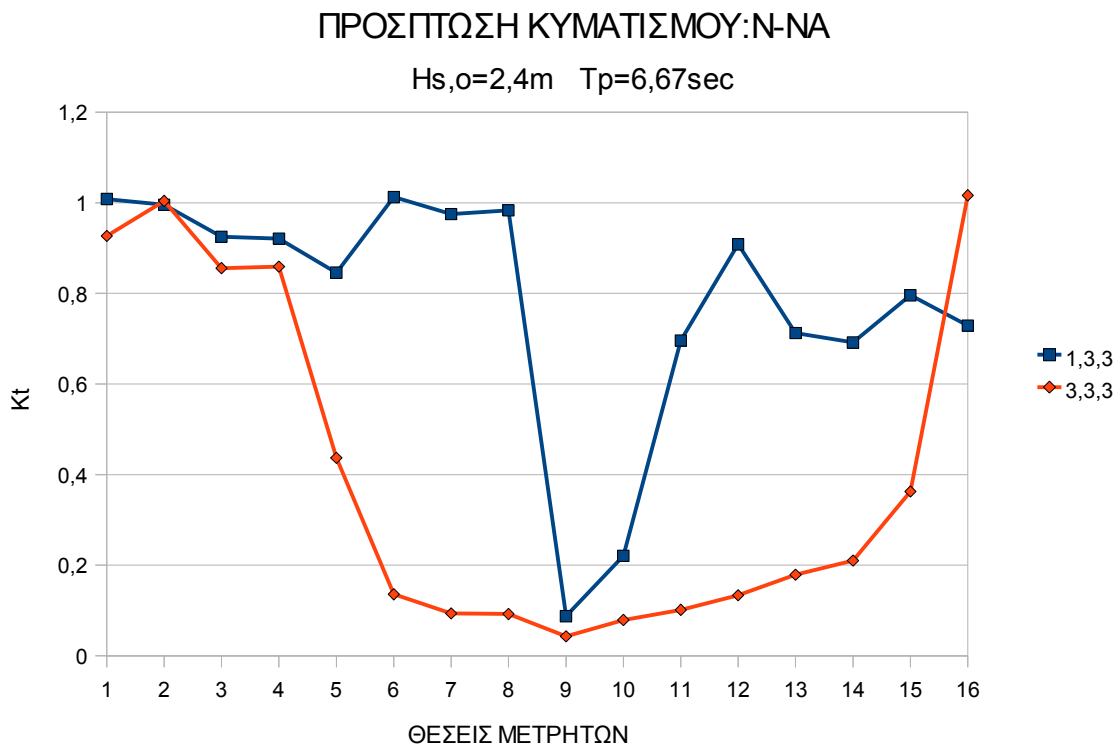
Hs,o=4,5m T<sub>p</sub>=9,13sec



Διάγραμμα 6.16



Διάγραμμα 6.17



Διάγραμμα 6.18

### **Σχολιασμός διαγραμμάτων Hs και Kt:**

Παρατηρώντας τα διαγράμματα του ύψους κύματος, μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα για την κυματική διαταραχή που καταγράφεται σε κάθε μετρητή, για κάθε διάταξη και για κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης. Τα συμπεράσματα επιβεβαιώνονται και από τα διαγράμματα του συντελεστή  $K_t$ .

### **Υφιστάμενη κατάσταση (Διάταξη 1):**

- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται στις περιοχές 1,2,3 ακολουθεί τα επίπεδα του ύψους του προσπίπτοντος κύματος στα βαθιά, για όλες τις διευθύνσεις πρόσπτωσης. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα του συντελεστή  $K_t (=H_{Mi}/H_{s,o})$ , καθώς η τιμή του κυμαίνεται γύρω από τη μονάδα.
- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται στην περιοχή 4, είναι πολύ μειωμένο σε σχέση με το προσπίπτον κύμα, εκτός από τη νοτιοδυτική διεύθυνση πρόσπτωσης όπου ο κυματισμός είναι σημαντικός. Ο συντελεστής  $K_t$  είναι πολύ μειωμένος σε σχέση με τη μονάδα, κάτι που επιβεβαιώνει την μειωμένη κυματική διαταραχή που παρατηρείται στην περιοχή.
- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται στην περιοχή 5 ακολουθεί, με μικρές διαφοροποιήσεις για κάθε μετρητή, τα επίπεδα του ύψους του προσπίπτοντος κύματος. Ειδικότερα, στην περιοχή που βρίσκεται ο μετρητής M12, είναι πολύ κοντά στην τιμή του προσπίπτοντος κύματος, για κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης, όπως αυτό επιβεβαιώνεται και από το συντελεστή  $K_t$ . Αντίθετα, στην περιοχή που βρίσκεται ο μετρητής M11 καταγράφεται μια μικρή αύξηση της κυματικής διαταραχής για την νότιο-δυτική διεύθυνση πρόσπτωσης, πάνω από το χαρακτηριστικό ύψος του προσπίπτοντος κύματος, πράγμα που επιβεβαιώνεται και από τις τιμές του συντελεστή  $K_t$ , που ξεπερνούν τη μονάδα στις συγκεκριμένες μετρήσεις. Επιπλέον, παρουσιάζεται σημαντική μείωση κάτω από ύψος του προσπίπτοντος κύματος, για την νότιο-νοτιοανατολική διεύθυνση πρόσπτωσης.
- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται στην περιοχή 6 είναι λίγο χαμηλότερο από το ύψος του προσπίπτοντος κύματος και σε μερικές περιπτώσεις το πλησιάζει σημαντικά.

### **Διάταξη έργων 2:**

- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται στην περιοχή 1 είναι λίγο πιο επιβαρυνμένο σε σχέση με το προσπίπτον κύμα. Αυτό παρατηρείτε και στα διαγράμματα του συντελεστή  $K_t$ , τα οποία ξεπερνούν τη μονάδα.
- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται στην περιοχή 2 είναι σημαντικά μικρότερο από το προσπίπτον κύμα.
- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται στις περιοχές 3,4,5,6 είναι σημαντικά μειωμένο σε σχέση με το προσπίπτον κύμα.

### **Διάταξη έργων 3:**

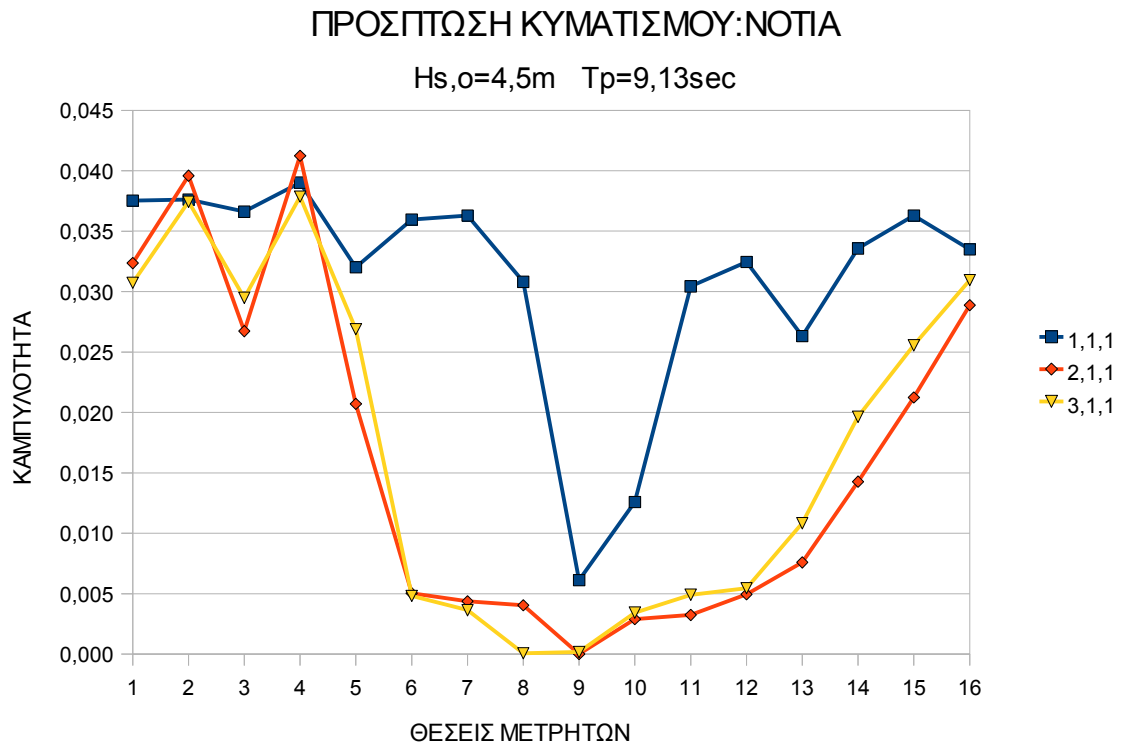
- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται στις περιοχές 1 και 2, κινείται γύρω από τα επίπεδα του προσπίπτοντος κυματισμού. Ειδικότερα, στην περιοχή 1 καταγράφεται μία επιβάρυνση στην κυματική διαταραχή για τη νότια διεύθυνση πρόσπτωσης, αυξανόμενη μάλιστα, καθώς μειώνεται το μήκος κύματος. Αντίστοιχα, παρουσιάζεται βελτίωση της κυματικής διαταραχής για τη νότιο-νοτιοανατολική διεύθυνση πρόσπτωσης, σε σχέση με το προσπίπτον κύμα. Επιπλέον, στην περιοχή 2, το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται, κινείται γύρω από τα επίπεδα του προσπίπτοντος κυματισμού. Αντιθέτως στη νότιο-νοτιοανατολική διεύθυνση πρόσπτωσης, καταγράφεται σημαντική βελτίωση.

- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται στις περιοχές 3 και 4 είναι σημαντικά μειωμένο σε σχέση με το προσπίπτον κύμα για όλες τις διευθύνσεις πρόσπτωσης του κυματισμού. Τα παραπάνω στοιχεία επιβεβαιώνονται και από τα διαγράμματα  $K_i$  των οποίων η τιμή κινείται μακριά από την μονάδα.
- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος που καταγράφεται στις περιοχές 5 και 6, παρουσιάζει σημαντική μείωση της κυματικής του διαταραχής, για την νότιο-νοτιοανατολική διεύθυνση πρόσπτωσης, σε σχέση με το προσπίπτον κύμα μετά την κατασκευή των έργων της διάταξης 3. Αντιθέτως, στις παραπάνω περιοχές παρουσιάζεται μικρή επιβάρυνση του ύψους κύματος, σε σχέση με το προσπίπτον, για την νοτιοδυτική διεύθυνση πρόσπτωσης.

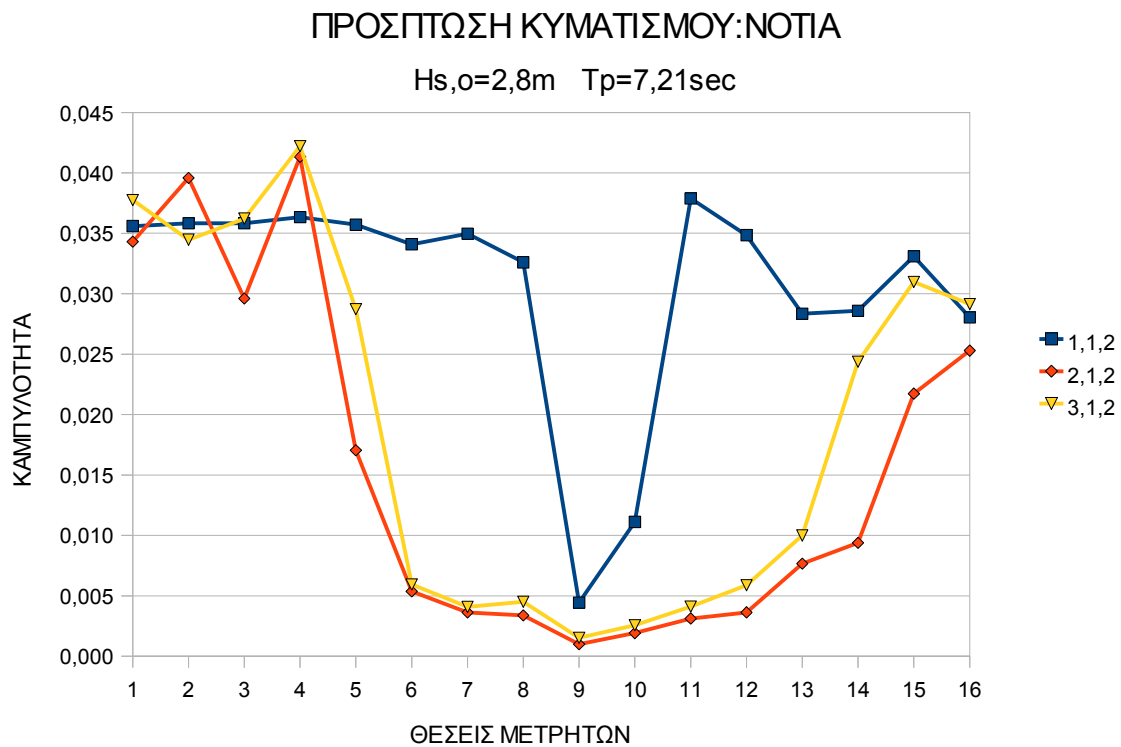
#### **Συγκριτική αξιολόγηση διαγραμμάτων:**

- Στην περιοχή 1, που αναφέρεται στη θαλάσσια περιοχή νοτιοδυτικά των νέων νηοδόχων, καταγράφεται μια μικρή επιβάρυνση της κυματικής διαταραχής μετά την κατασκευή των νέων έργων της διάταξης 2 και 3. Ειδικότερα για τα έργα της διάταξης 3, καταγράφεται μια σημαντική επιβάρυνση της κυματικής διαταραχής για την νότιο-δυτική διεύθυνση πρόσπτωσης του κυματισμού, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.
- Στην περιοχή 2, που αναφέρεται στην περιοχή εισόδου των νέων έργων, καταγράφεται σημαντική βελτίωση της κυματικής διαταραχής ανάμεσα στην υφιστάμενη κατάσταση και τα έργα της διάταξης 2. Αντιθέτως, η κυματική διαταραχή που καταγράφεται μετά τα έργα της διάταξης 3, κινείται στα ίδια επίπεδα με την υφιστάμενη κατάσταση, εκτός από τη νότιο-νοτιοανατολική διεύθυνση πρόσπτωσης στην οποία, παρουσιάζεται σημαντική βελτίωση.
- Μια σημαντική διαφορά εμφανίζεται στην περιοχή 2, όσον αφορά στη νοτιά διεύθυνση πρόσπτωσης και το προσπίπτον κύμα  $H_{s,0}=2,4m$ , ανάμεσα στις διατάξεις των έργων των διατάξεων 2 και 3. Η διαφορά αυτή οφείλεται, στην έλλειψη προστασίας της περιοχής, ακριβώς δίπλα από το ακρομόλιο.
- Στις περιοχές 3, 4 και 5, καταγράφεται σημαντική βελτίωση της κυματικής διαταραχής, μετά την κατασκευή των νέων έργων.
- Στην περιοχή 6, καταγράφεται βελτίωση της κυματικής διαταραχής για τη νότια και τη νότιο-νοτιοανατολική διεύθυνση πρόσπτωσης του κυματισμού, μετά την κατασκευή των έργων των διατάξεων 2 και 3. Αντιθέτως, δεν υπάρχει βελτίωση της κυματικής διαταραχής κατά τη νότιο-δυτική διεύθυνση πρόσπτωσης του κυματισμού, μετά την κατασκευή των έργων της διάταξης 3, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.
- Στην περιοχή 1, καταγράφεται μια βελτίωση της κυματικής διαταραχής μετά την κατασκευή των έργων της διάταξης 3, σε σχέση με τη διάταξη 2. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη μείωση του μήκους του ακρομολίου, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανάκλασης που επηρεάζει την περιοχή αυτή.
- Στις περιοχές 2,3,4,5 και 6, παρουσιάζεται μια μικρή επιβάρυνση της κυματικής διαταραχής μετά την κατασκευή των έργων της διάταξης 3, σε σχέση με τα έργα της διάταξης 2.

**6.1.2 Διαγράμματα καμπυλότητας  $\gamma$  και σχολιασμός**



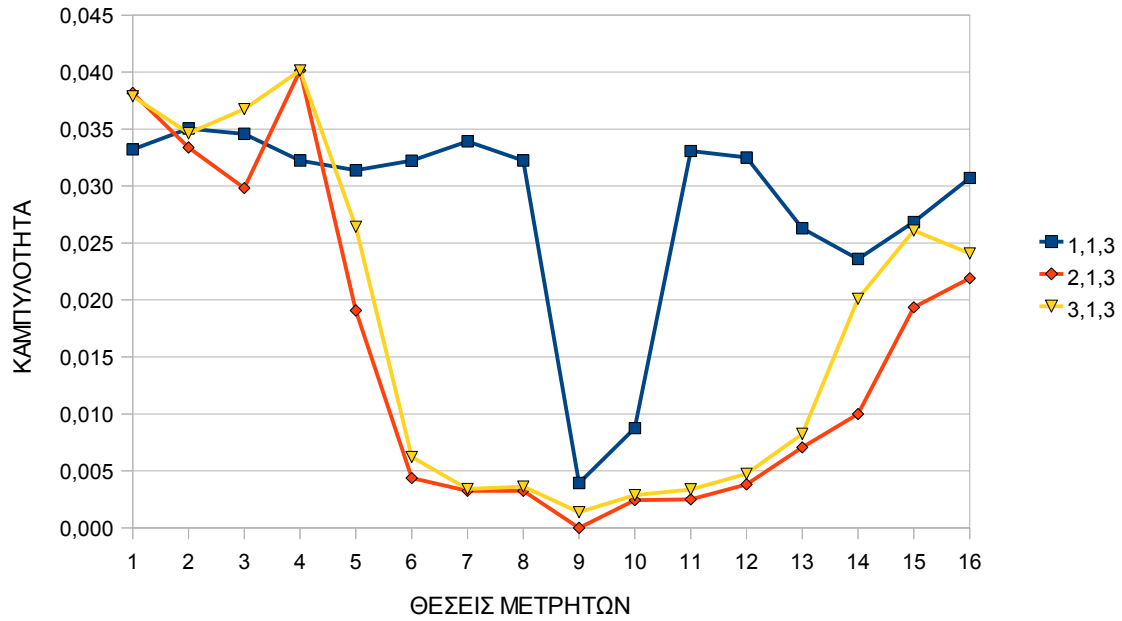
Διάγραμμα 6.19



Διάγραμμα 6.20

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:ΝΟΤΙΑ

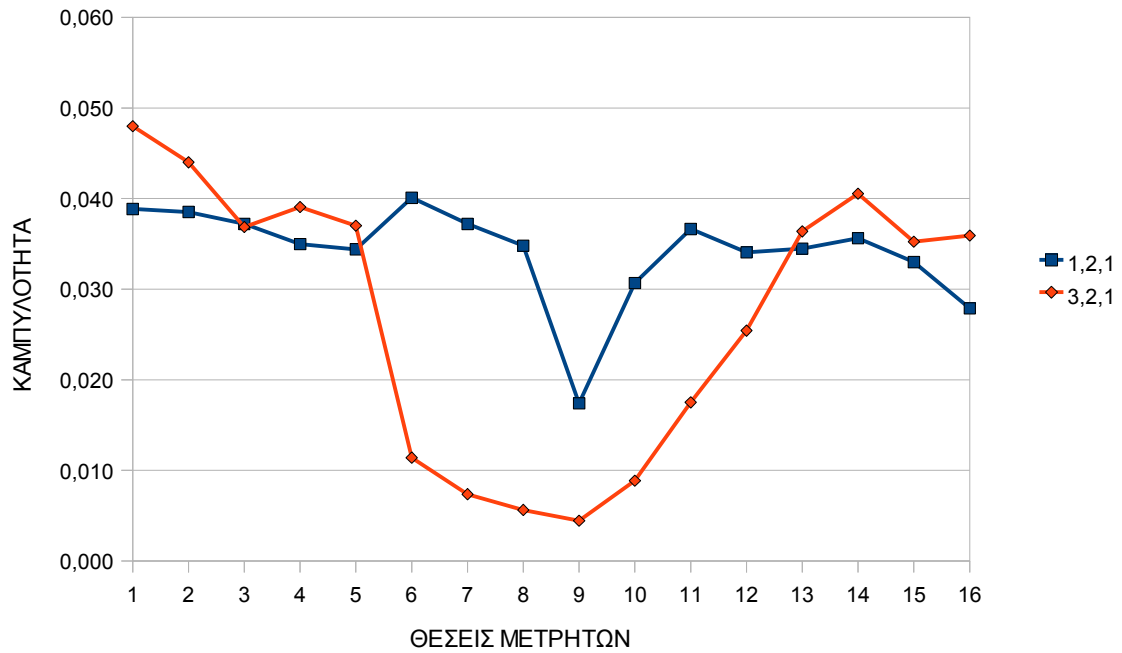
$H_{s,o}=2,4m$   $T_p=6,67sec$



Διάγραμμα 6.21

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:Ν-Δ

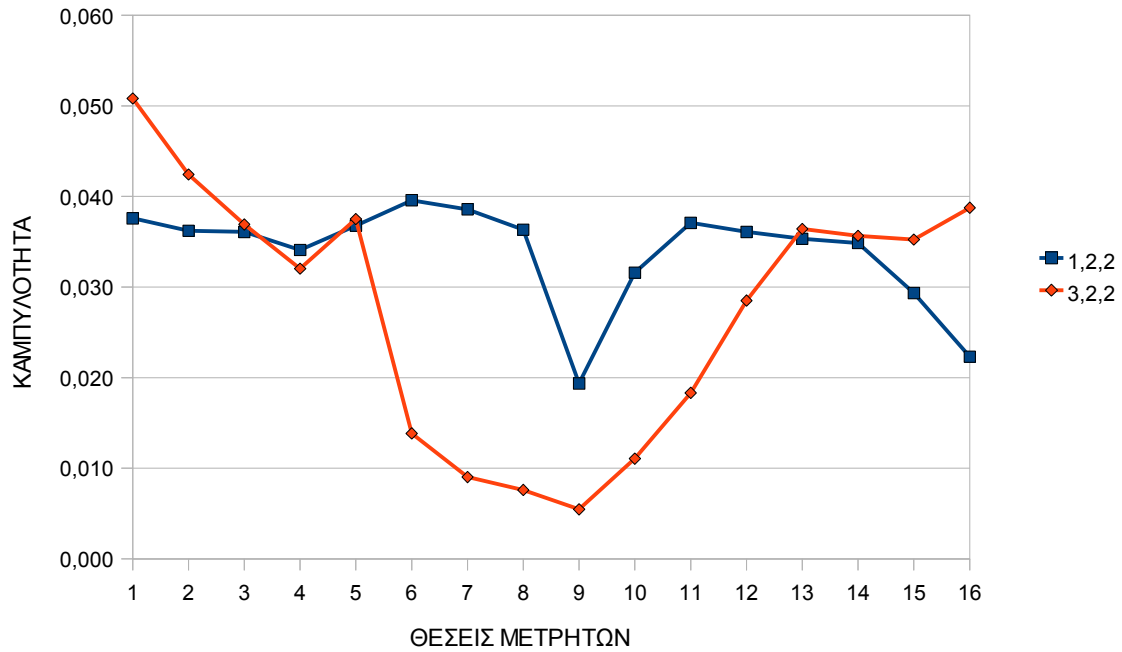
$H_{s,o}=4,5m$   $T_p=9,13sec$



Διάγραμμα 6.22

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:Ν-Δ

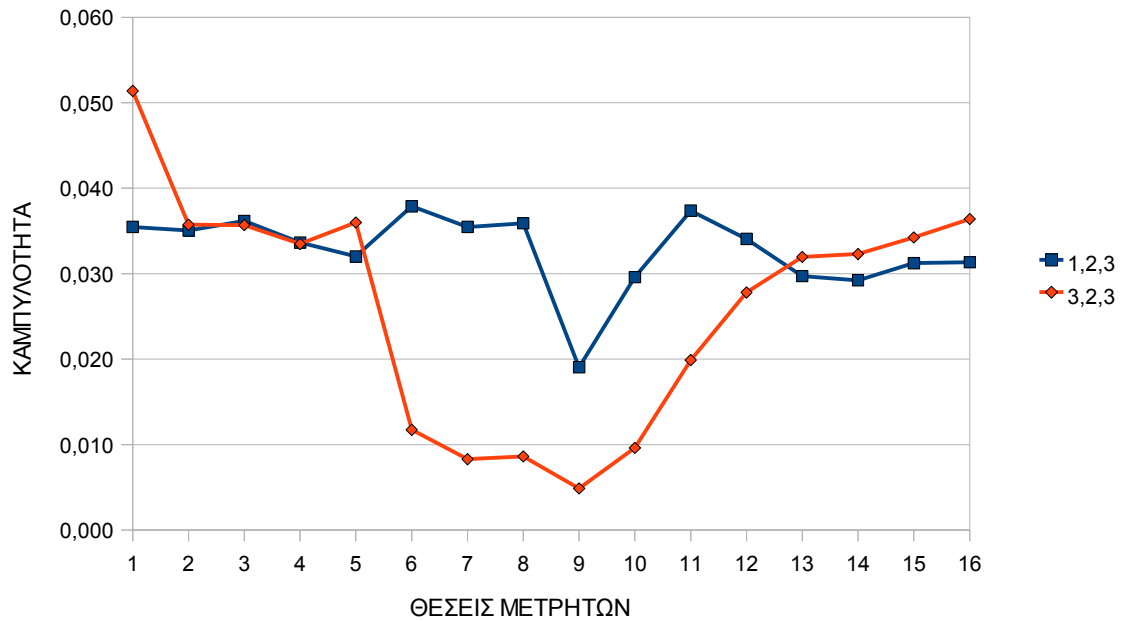
Hs,o=2,8m T<sub>p</sub>=7,21sec



Διάγραμμα 6.23

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:Ν-Δ

Hs,o=2,4m T<sub>p</sub>=6,67sec

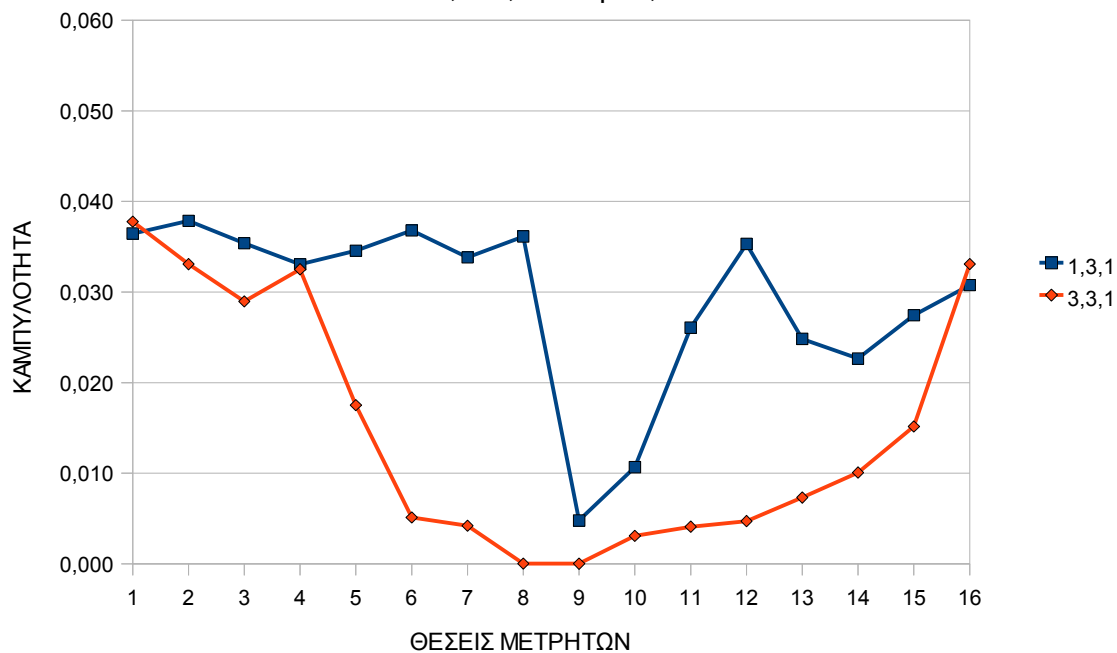


Διάγραμμα 6.24



### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-NA

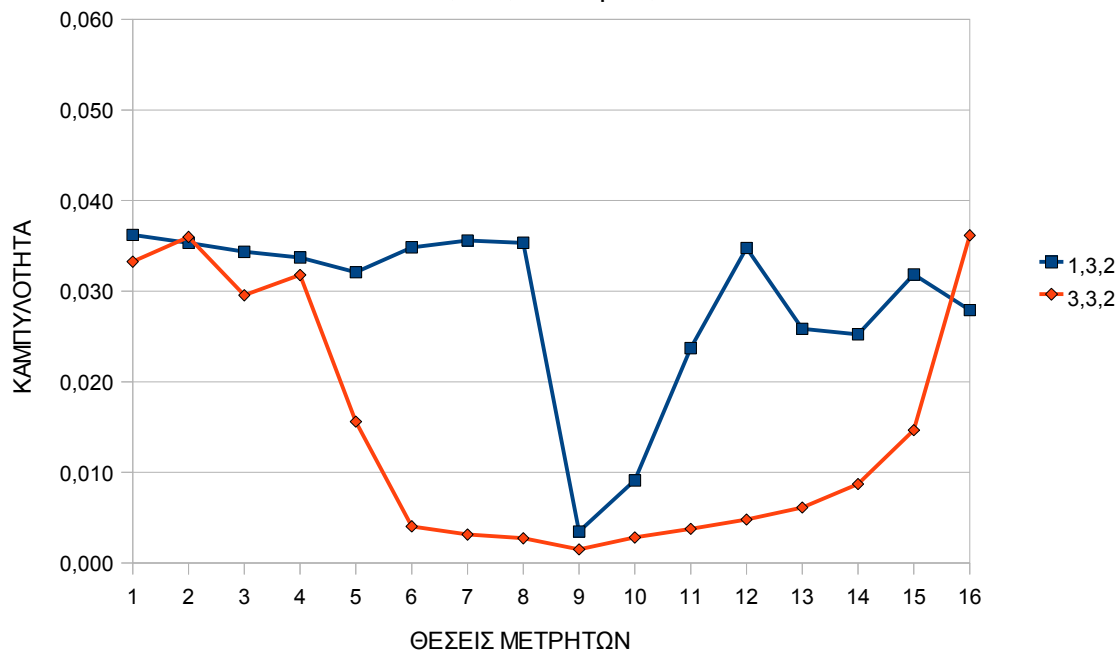
Hs,o=4,5m T<sub>p</sub>=9,13sec



Διάγραμμα 6.25

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-NA

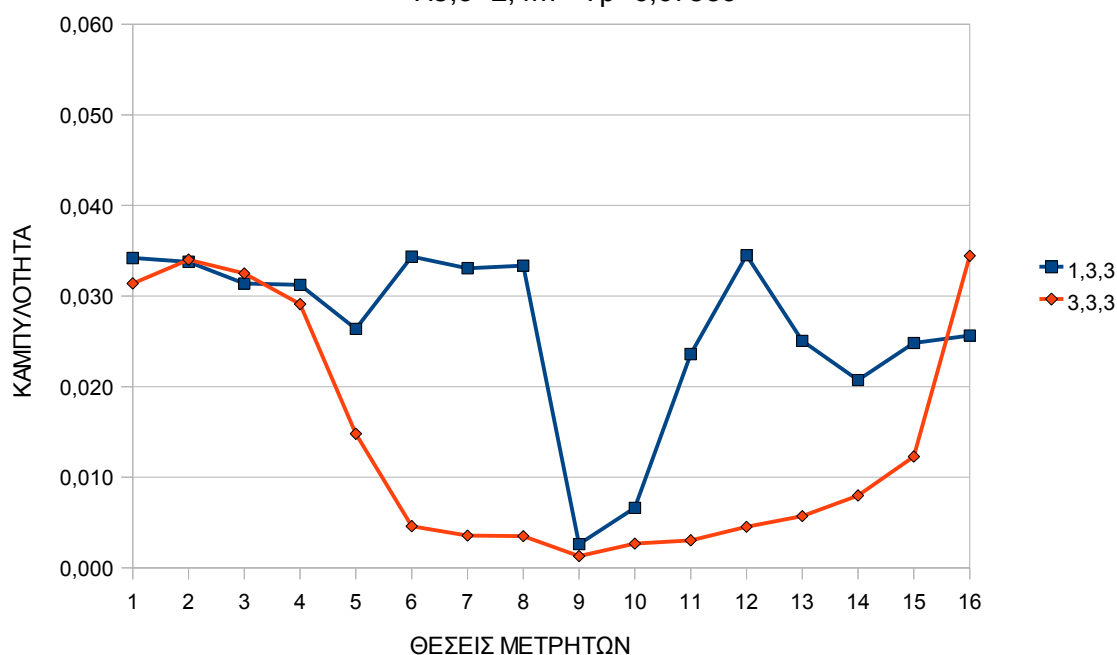
Hs,o=2,8m T<sub>p</sub>=7,21sec



Διάγραμμα 6.26

## ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-NA

$H_{s,0}=2,4m$   $T_p=6,67sec$



Διάγραμμα 6.27

### Σχολιασμός διαγραμμάτων καμπυλότητας $\gamma$ :

Η καμπυλότητα των κυμάτων, μετά την κατασκευή των έργων (διάταξη 2 και 3) μικραίνει σε σχέση με την καμπυλότητα στα βαθειά νερά, σε όλες τις θέσεις μέτρησης, σε όλες τις περιοχές και ειδικότερα στις περιοχές που προστατεύονται από τα νέα έργα.

### Υφιστάμενη κατάσταση (Διάταξη 1):

- Ισχύει ότι, η καμπυλότητα των κυμάτων δεν μεταβάλλεται παρά μόνο στην περιοχή 3, περιοχή εισόδου του λιμένα Πειραιά.

### Διάταξη έργων 2 και 3:

- Τα διαγράμματα της καμπυλότητας μετά την κατασκευή των έργων της διάταξης 1 και 2, ακολουθούν τα ίδια επίπεδα με αυτά των διαγραμμάτων του χαρακτηριστικού ύψους κύματος  $H_{s,0}$  και του συντελεστή  $K_t$ .
- Ενδεικτικό είναι, ότι καταγράφεται μια μικρή αύξηση της καμπυλότητας στα έργα της διάταξης 3, σε σχέση με τα έργα της διάταξης 2, κάτι που παρατηρήθηκε και στα διαγράμματα του  $H_{s,0}$  και του  $K_t$ .

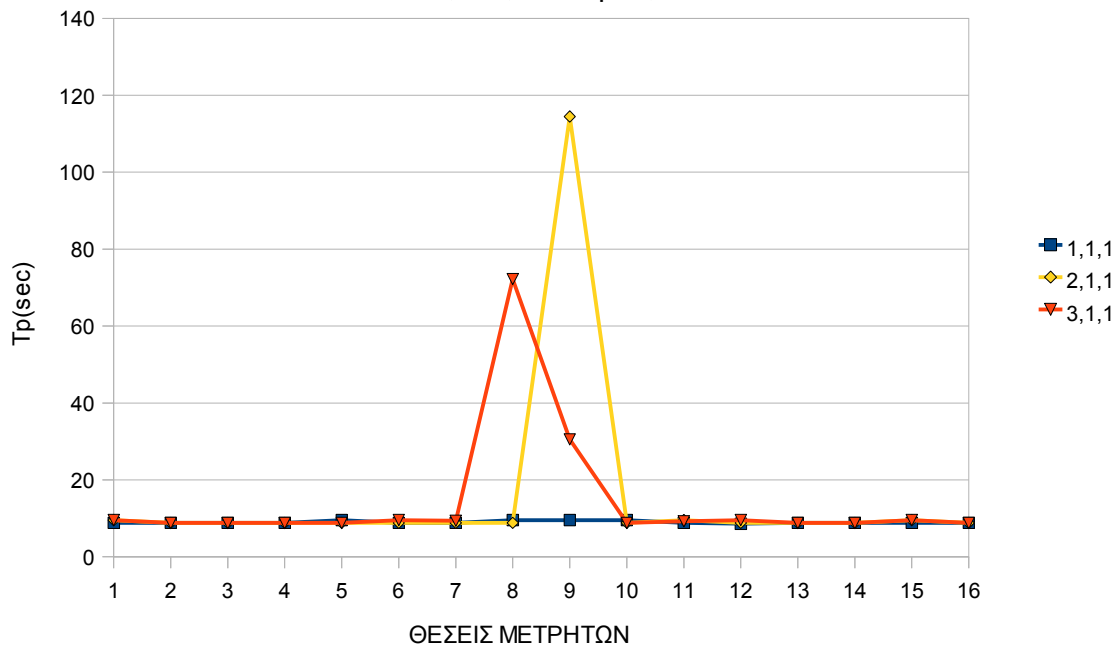
### Συγκριτική αξιολόγηση διαγραμμάτων:

- Στην περιοχή 2, περιοχή εισόδου των νέων έργων, η καμπυλότητα είναι πολύ μικρή έως και μηδενική, μετά την κατασκευή των νέων έργων.
- Στην περιοχή 3, περιοχή εισόδου του υφισταμένου λιμένα Πειραιά, η καμπυλότητα μικραίνει ακόμη περισσότερο σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, μετά την κατασκευή των νέων έργων.
- Στις περιοχές όπου παρατηρείται ρεστία, η καμπυλότητα τείνει στο μηδέν.

### 6.1.3 Διαγράμματα περιόδου $T_p$ και σχολιασμός

#### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:ΝΟΤΙΑ

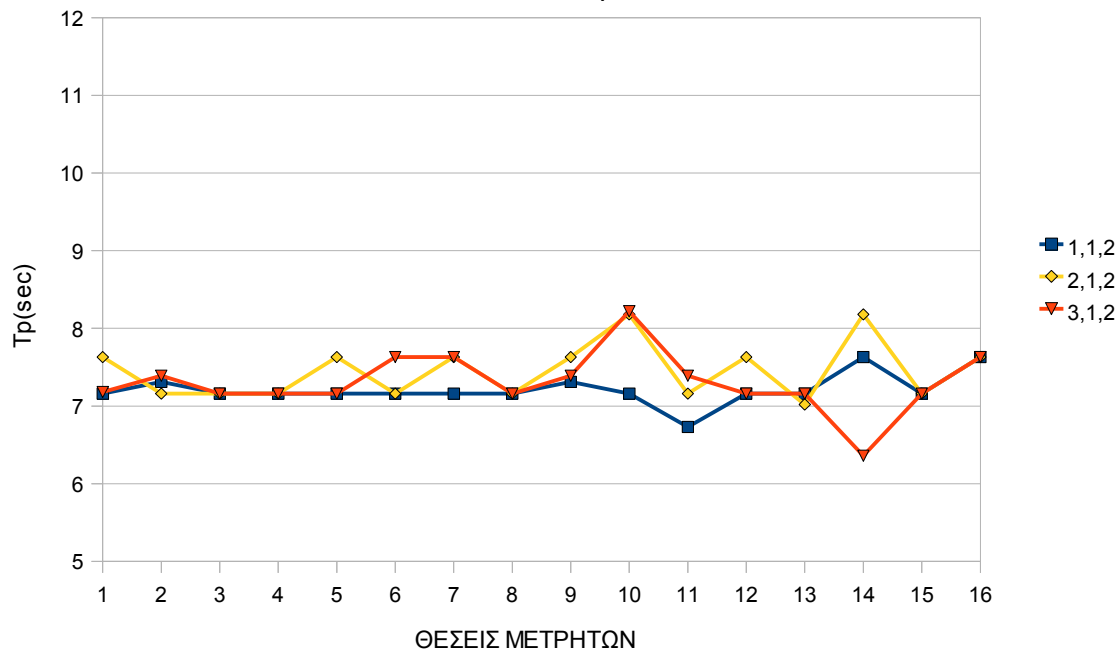
$H_{s,0}=4,5m$   $T_p=9,13sec$



Διάγραμμα 6.28

#### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:ΝΟΤΙΑ

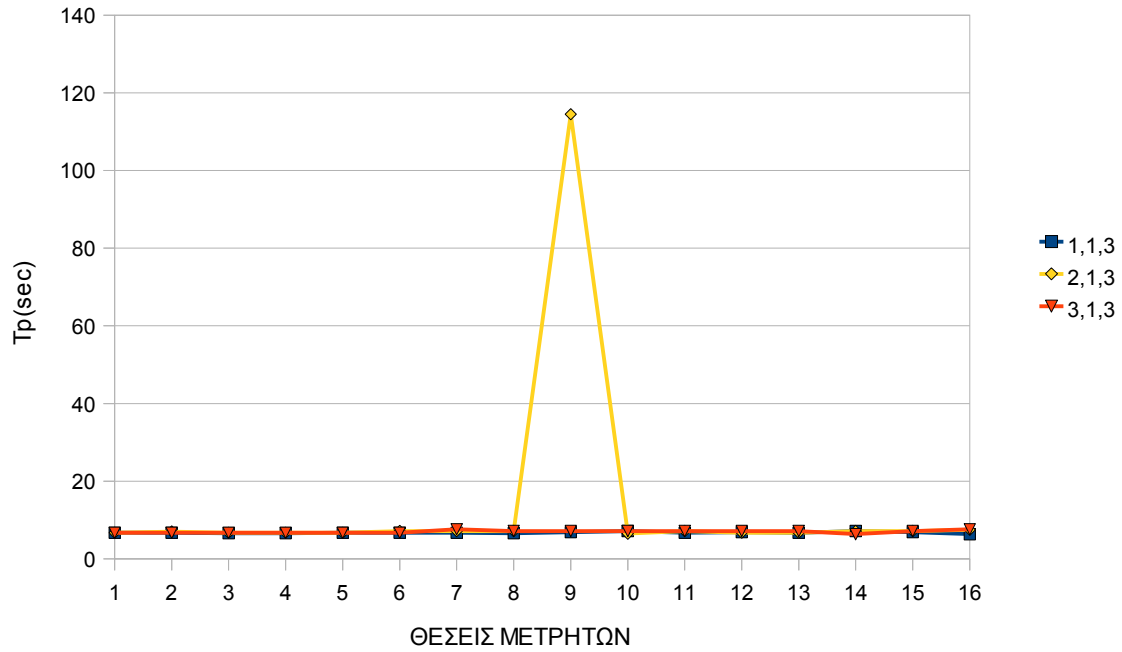
$H_{s,0}=2,8m$   $T_p=7,21sec$



Διάγραμμα 6.29

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:ΝΟΤΙΑ

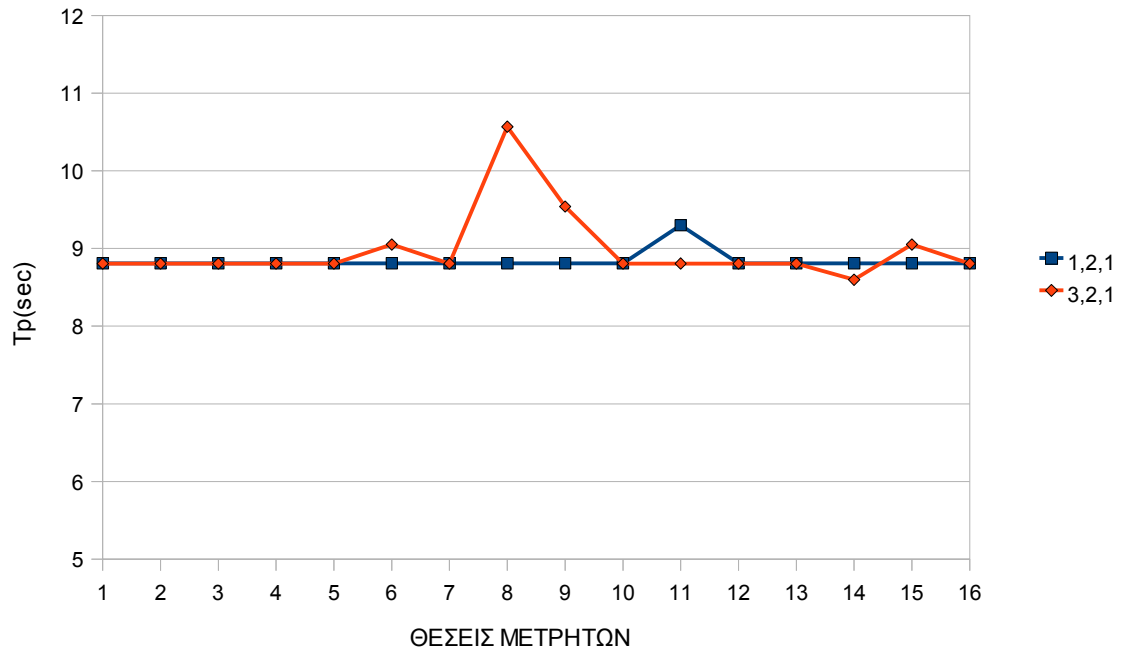
Hs,o=2,4m T<sub>p</sub>=6,67sec



Διάγραμμα 6.30

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ:Ν-Δ

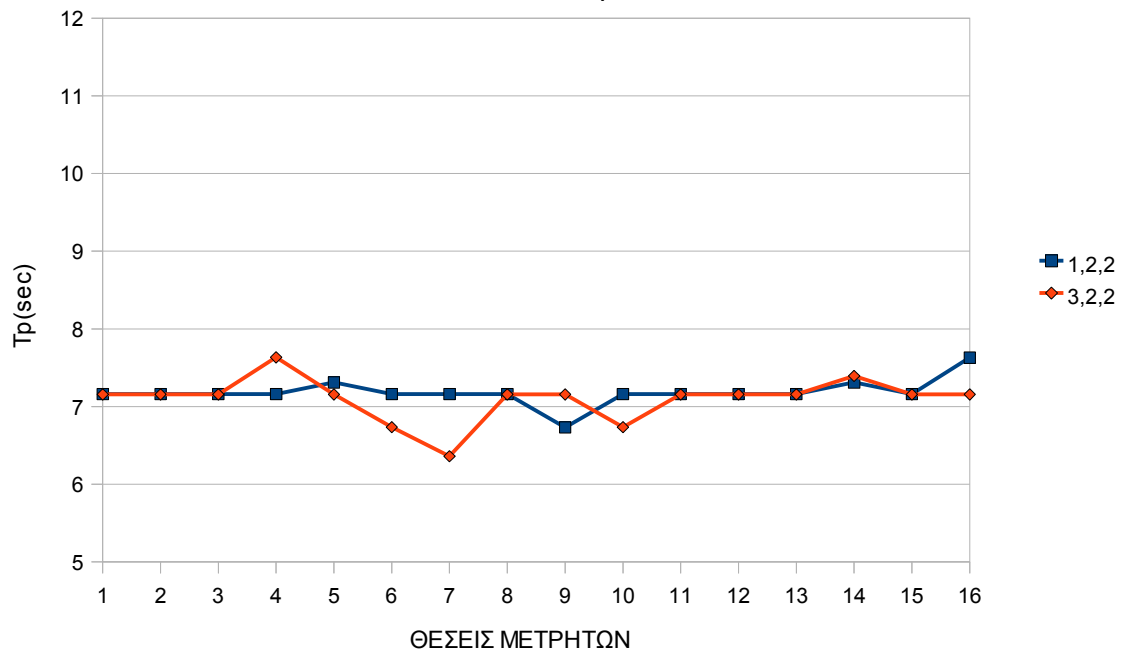
Hs,o=4,5m T<sub>p</sub>=9,13sec



Διάγραμμα 6.31

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-Δ

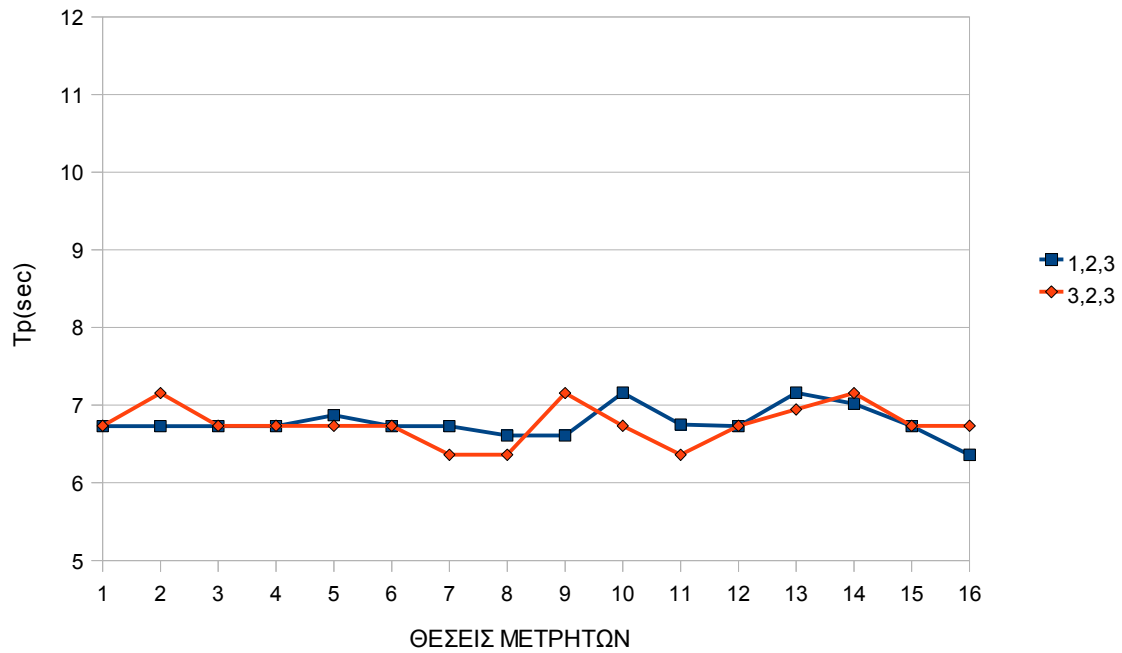
Hs,o=2,8m T<sub>p</sub>=7,21sec



Διάγραμμα 6.32

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-Δ

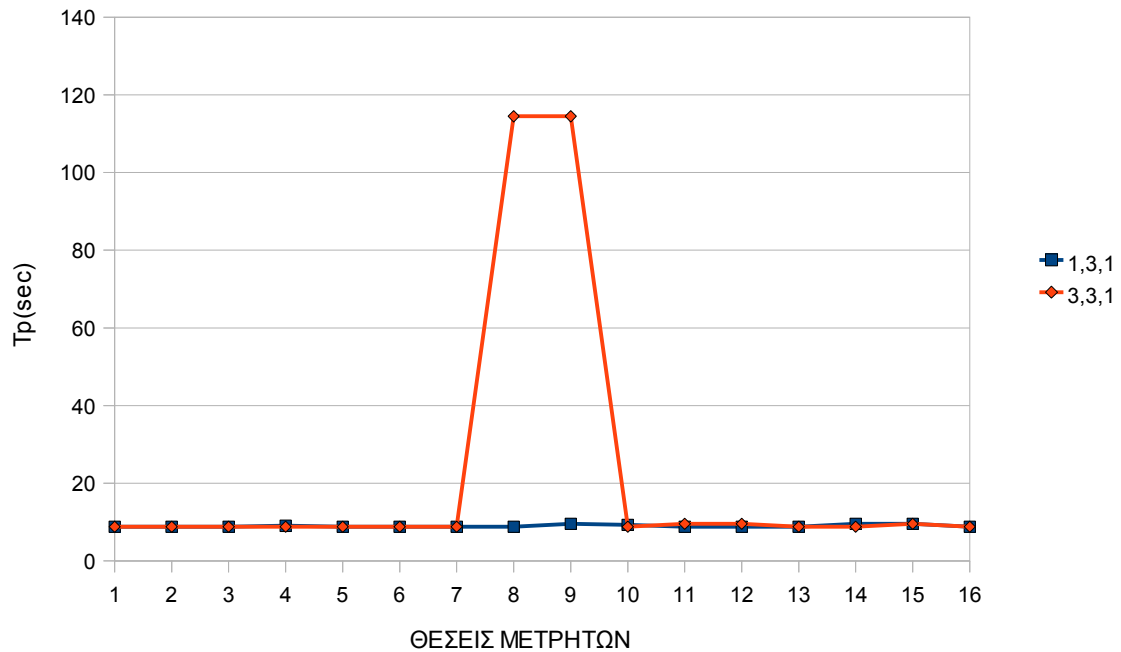
Hs,o=2,4m T<sub>p</sub>=6,67sec



Διάγραμμα 6.33

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-NA

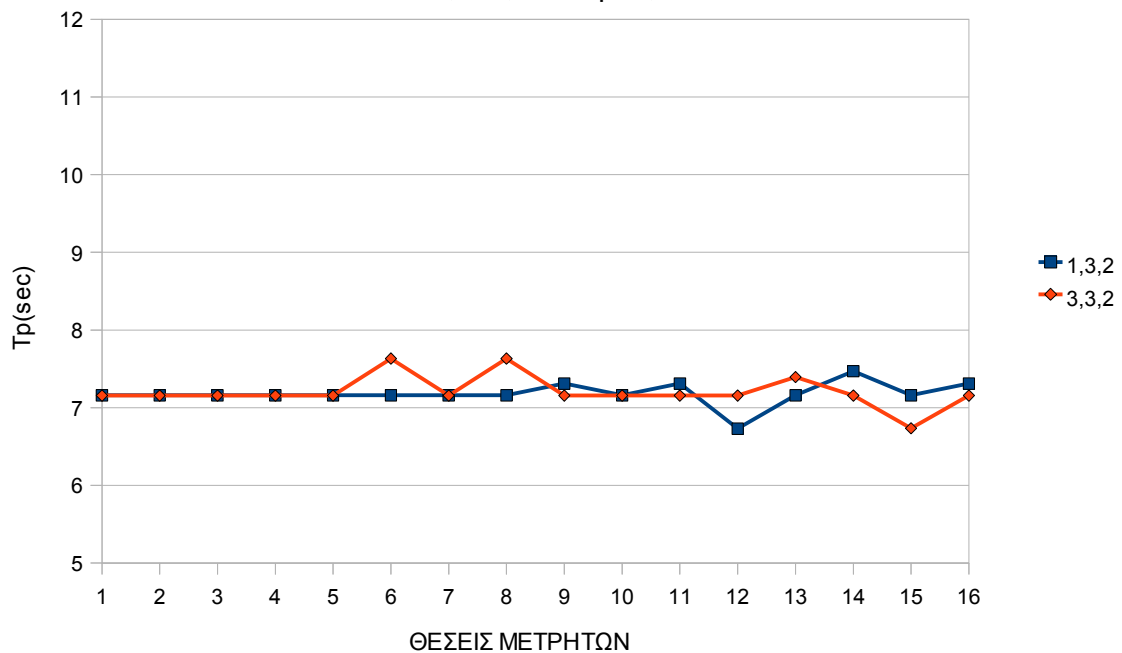
Hs,o=4,5m T<sub>p</sub>=9,13sec



Διάγραμμα 6.34

### ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-NA

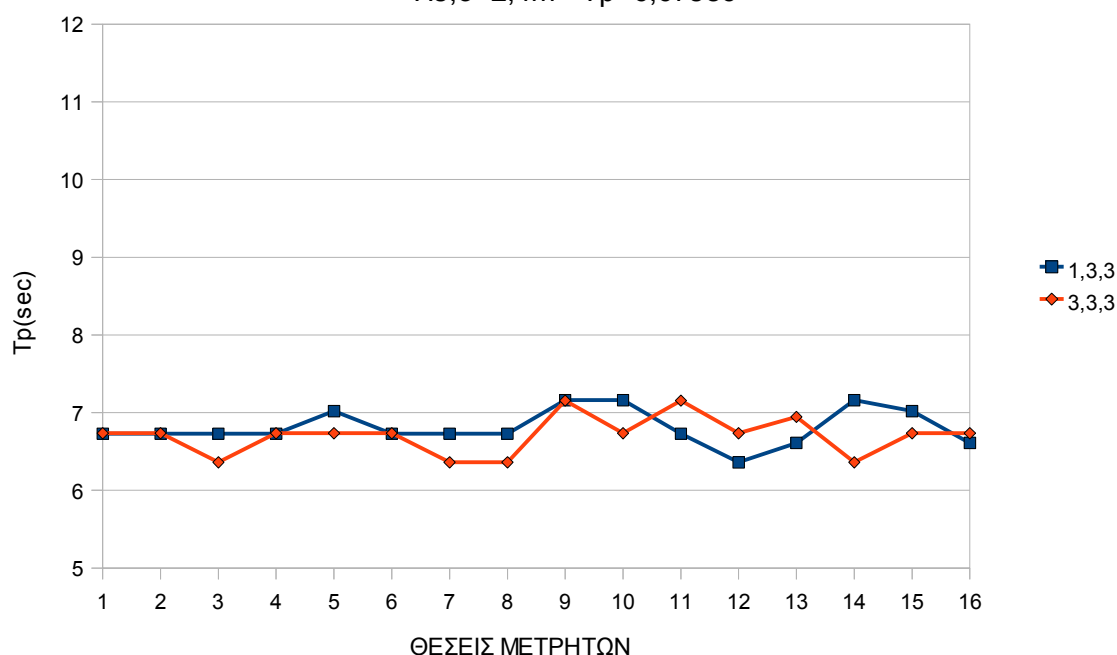
Hs,o=2,8m T<sub>p</sub>=7,21sec



Διάγραμμα 6.35

## ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: N-NA

$H_{s,0}=2,4\text{m}$   $T_p=6,67\text{sec}$



Διάγραμμα 6.36

### Σχολιασμός διαγραμμάτων περιόδου $T_p$ :

Στη περίοδο  $T_p$ , στο σύνολο των μετρήσεων δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή, παρά μόνον στις περιοχές όπου παρατηρείται ρεστία, με σημαντική αύξηση της τιμής  $T_p$ .

### Υφιστάμενη κατάσταση (Διάταξη 1):

- Η περίοδος του κύματος έχει πολύ μικρές διακυμάνσεις για όλους τους μετρητές, για όλες τις διευθύνσεις πρόσπτωσης και για όλες τις κυματικές διαταραχές.

### Διάταξη έργων 2:

- Για την περιοχή του προλιμένα εντός της υφιστάμενης κατάστασης (μετρητής M9), παρατηρείται ρεστία, τόσο για την ακραία κυματική διαταραχή, όσο και για την μικρή κυματική διαταραχή.

### Διάταξη έργων 3:

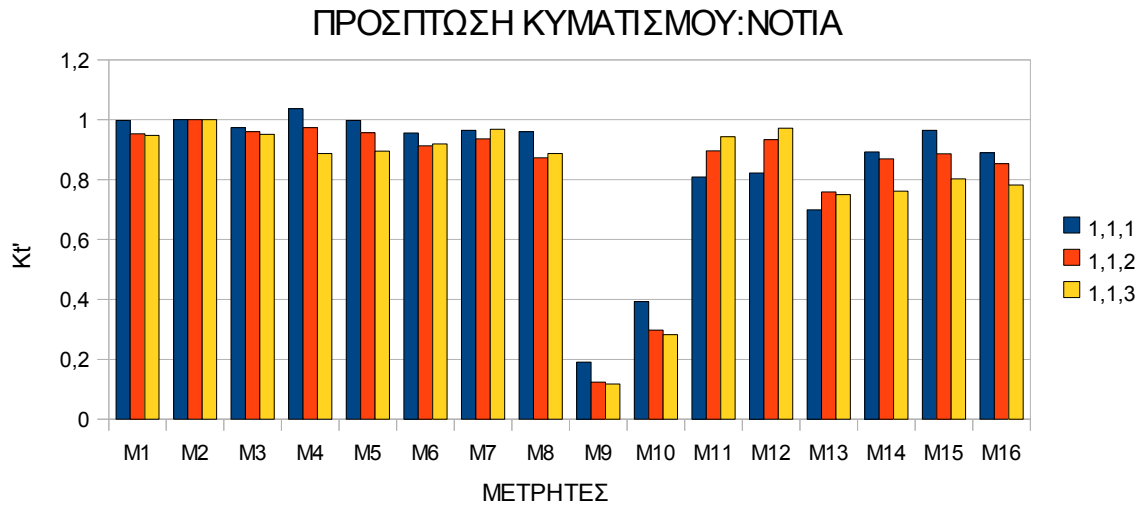
- Για την ανατολική νηοδόχο και τον προλιμένα της υφιστάμενης κατάστασης (μετρητές M8, M9) παρατηρείται ρεστία για την ακραία κυματική διαταραχή, σε όλες τις διευθύνσεις πρόσπτωσης του κυματισμού.

### Συγκριτική αξιολόγηση διαγραμμάτων:

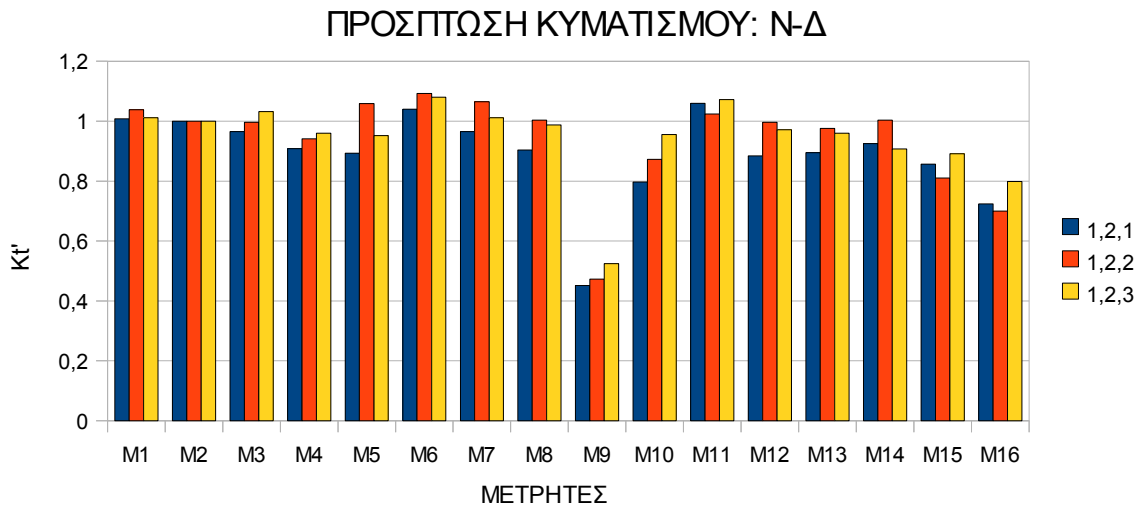
- Στη διάταξη των έργων 2, παρατηρείται ρεστία μόνο στον προλιμένα της υφιστάμενης κατάστασης, ενώ στη διάταξη των έργων 3 παρατηρείται ρεστία και στην ανατολική νηοδόχο. Στις υπόλοιπες περιοχές, μετά την κατασκευή των νέων έργων, η περίοδος έχει πολύ μικρές διακυμάνσεις, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

### 6.1.4 Συγκριτικά διαγράμματα Κτ' και σχολιασμός

Ακολουθούν συγκριτικά διατάγματα για το συντελεστή Κτ' , που παρουσιάζουν συγκριτικά τα πειραματικά αποτελέσματα για κάθε μετρητή, ανάμεσα στις 3 κυματικές διαταραχές, για κάθε διάταξη και κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμού.

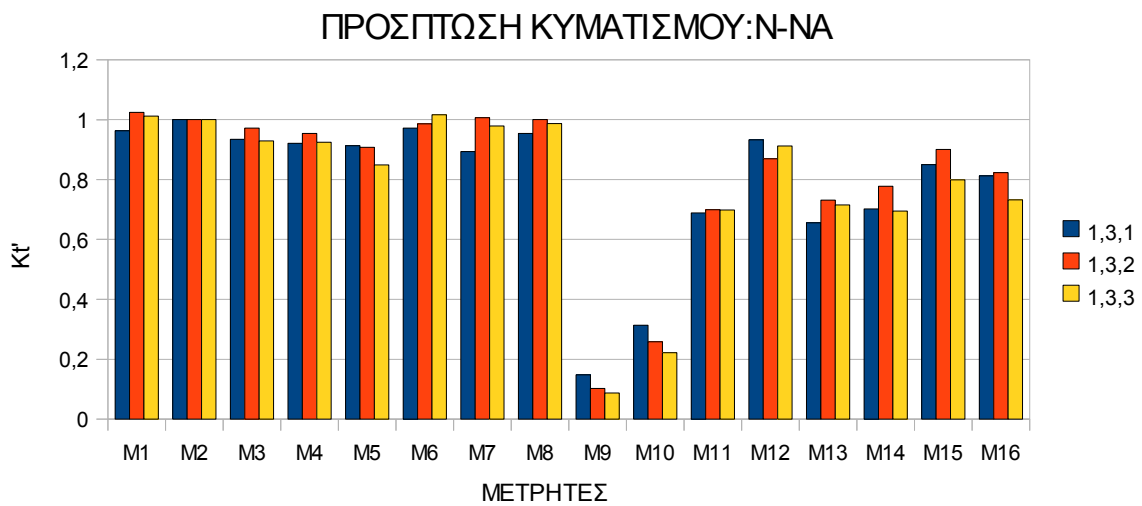


Διάγραμμα 6.40

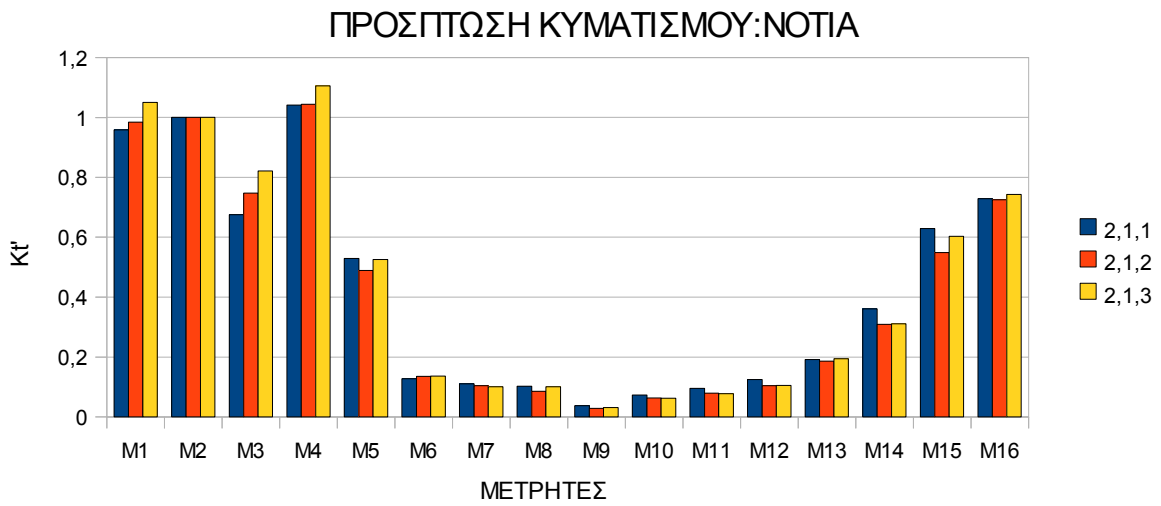


Διάγραμμα 6.41

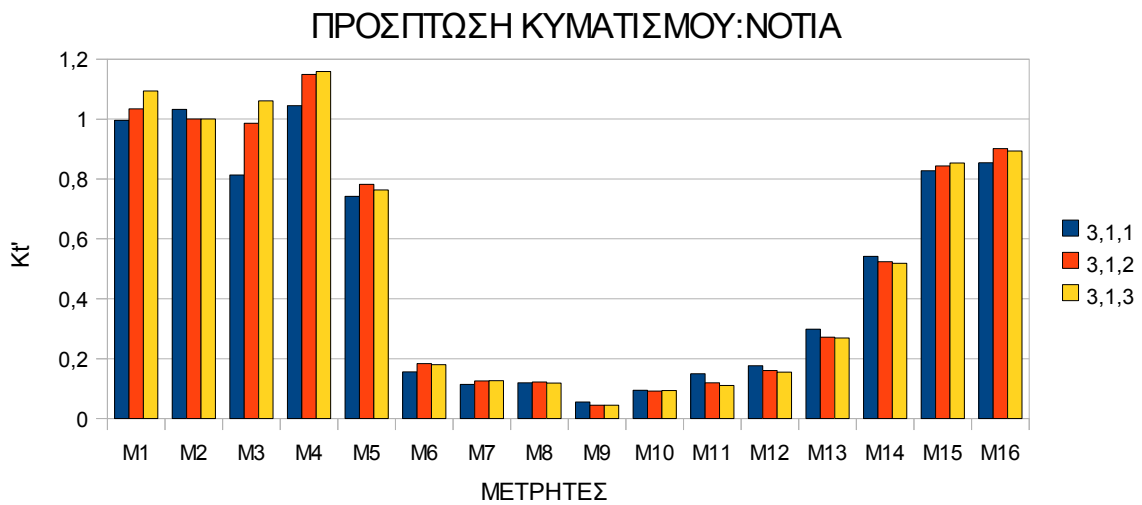




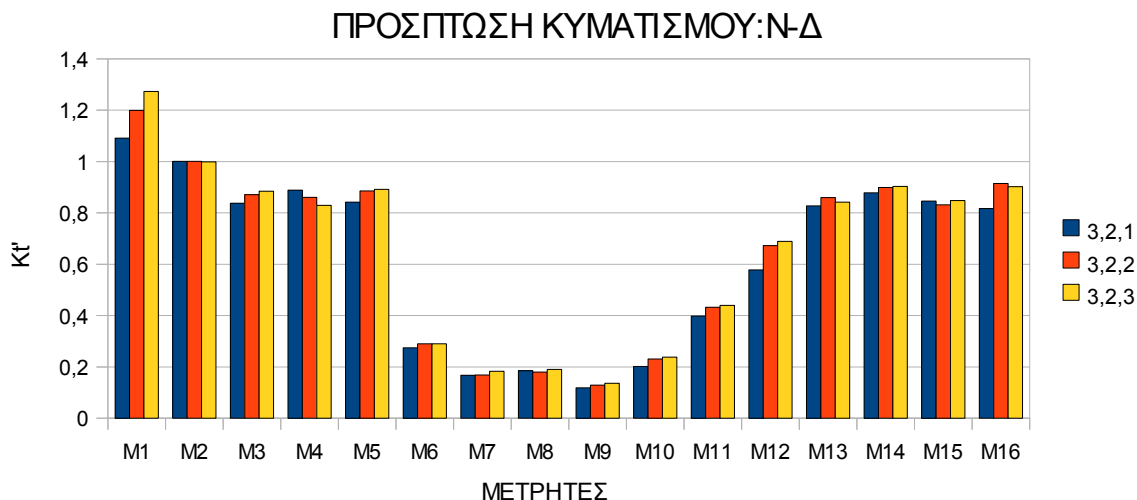
Διάγραμμα 6.42



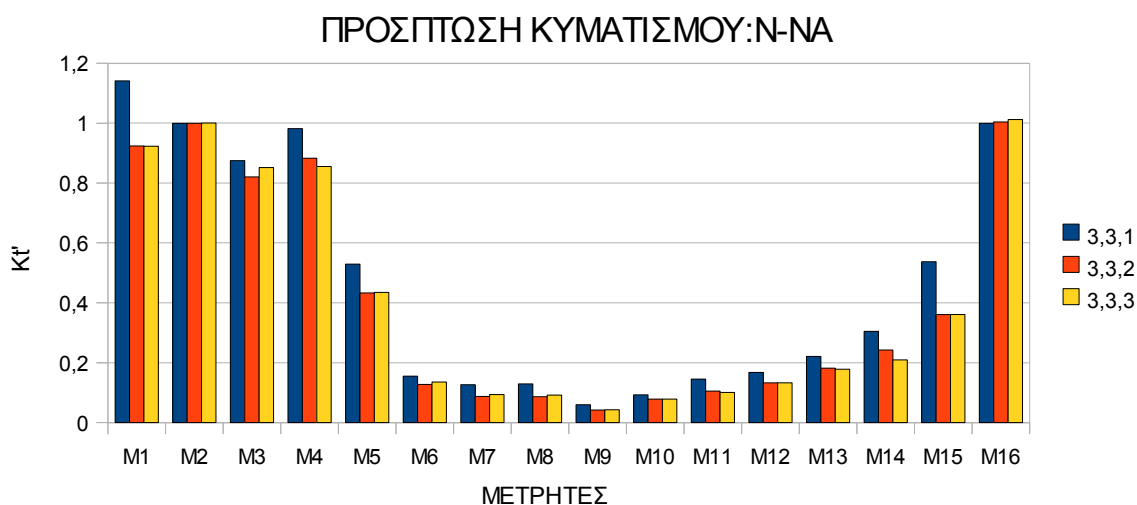
Διάγραμμα 6.43



Διάγραμμα 6.44



Διάγραμμα 6.45



Διάγραμμα 6.46

**Σχολιασμός διαγραμμάτων Kt':**

Κατά την μελέτη των παραπάνω διαγραμμάτων παρατηρείται μικρή διαφοροποίηση του συντελεστή μετάδοσης για τις 3 κυματικές διαταραχές. Επιπλέον, σε πολλούς μετρητές υπάρχει γραμμική μεταβολή του συντελεστή μεταδόσεως σε σχέση με το χαρακτηριστικό ύψος κύματος, κάτι που υποδηλώνει την επίδραση του φαινομένου της ρήξης, όπως αυτό παρουσιάστηκε στο σχήμα 2.3, του κεφαλαίου 2.

### **Νότια διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμού**

- Στις περιοχές 1,2,4 και 5, για την υφισταμένη κατάσταση(διάταξη 1), παρατηρείται γραμμική μεταβολή του συντελεστή μεταδόσεως, με μειωτική τάση. Ακολούθως, το ίδιο παρατηρείται για την περιοχή 5, και μετά την κατασκευή των έργων της διάταξης 2 και 3. Αντιθέτως στις περιοχές 1, 2 και 4, μετά την κατασκευή των έργων της διάταξης 2 και 3, παρατηρείται αυξητική τάση του συντελεστή μεταδόσεως, αντιστρόφως ανάλογη της μείωσης του χαρακτηριστικού προσπίπτοντος κύματος.
- Στην περιοχή 3, καταγράφεται μη γραμμική μεταβολή του συντελεστή μεταδόσεως σε όλες τις πειραματικές διατάξεις.
- Στην περιοχή 6, για την υφιστάμενη κατάσταση, καταγράφεται γραμμική μεταβολή του συντελεστή μεταδόσεως, με μειωτική τάση.

### **Νότιο-δυτική διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμού**

- Στις περιοχές 1,3 και 6, καταγράφεται μη γραμμική μεταβολή του συντελεστή μεταδόσεως σε όλες τις πειραματικές διατάξεις.
- Στις περιοχές 2 και 4, καταγράφεται γραμμική μεταβολή του συντελεστή μεταδόσεως σε όλες τις πειραματικές διατάξεις, με αυξητική τάση αντιστρόφως ανάλογη με τη μείωση του χαρακτηριστικού ύψους του προσπίπτοντος κύματος.
- Στην περιοχή 5, παρατηρείται γραμμική μεταβολή του συντελεστή μεταδόσεως μετά την κατασκευή των έργων της διάταξης 3, με αυξητική τάση αντιστρόφως ανάλογη με τη μείωση του χαρακτηριστικού ύψους του προσπίπτοντος κύματος.

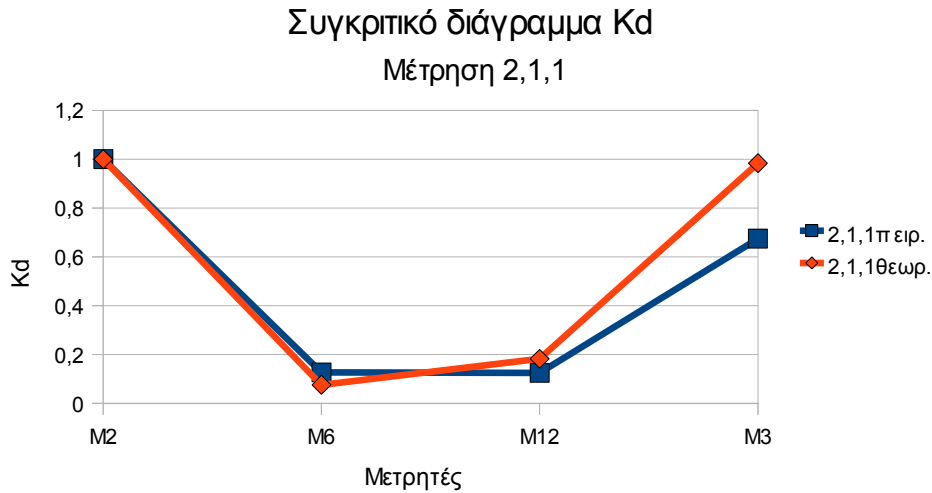
### **Νότιο-νοτιοανατολική διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμού**

- Στις περιοχές 1,2,3,5 και 6, καταγράφεται μη γραμμική μεταβολή του συντελεστή μεταδόσεως σε όλες τις πειραματικές διατάξεις
- Στην περιοχή 4, παρατηρείται γραμμική μεταβολή του συντελεστή μεταδόσεως σε όλες τις πειραματικές διατάξεις, με μειωτική τάση, ανάλογη της μείωσης του του χαρακτηριστικού ύψους του προσπίπτοντος κύματος.

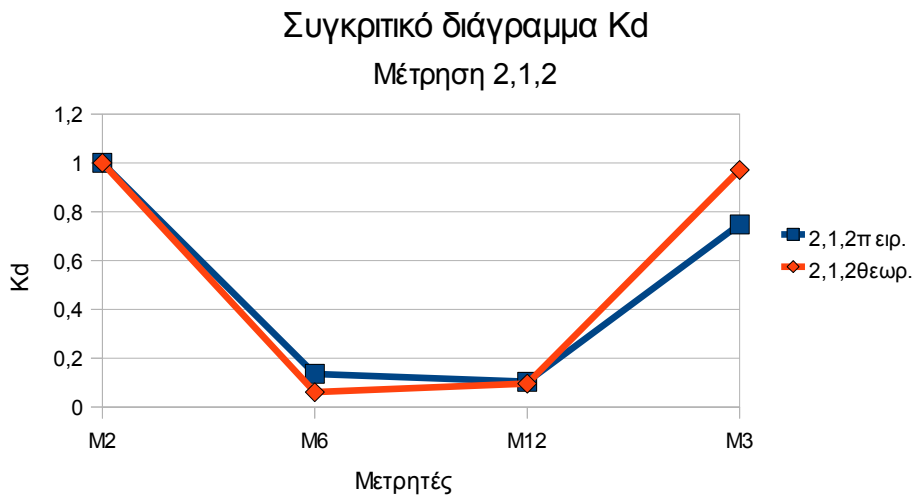
## 6.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

Ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα ανάμεσα στο θεωρητικά και τον πειραματικά υπολογισμένο συντελεστή περίθλασης, όπως αυτός καταγράφεται στους πίνακες της παραγράφου 5.2 και ακολουθεί σχολιασμός τους.

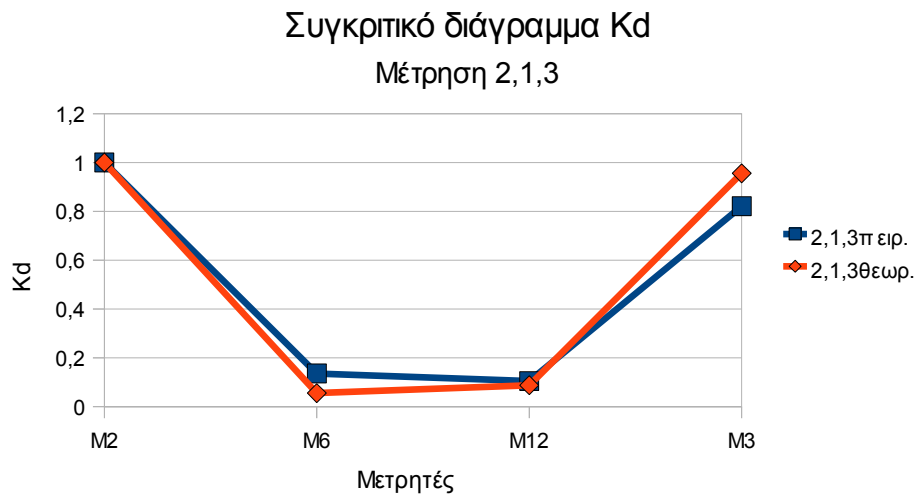
Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι **θεωρητικές** τιμές και με μπλε οι **πειραματικές**.



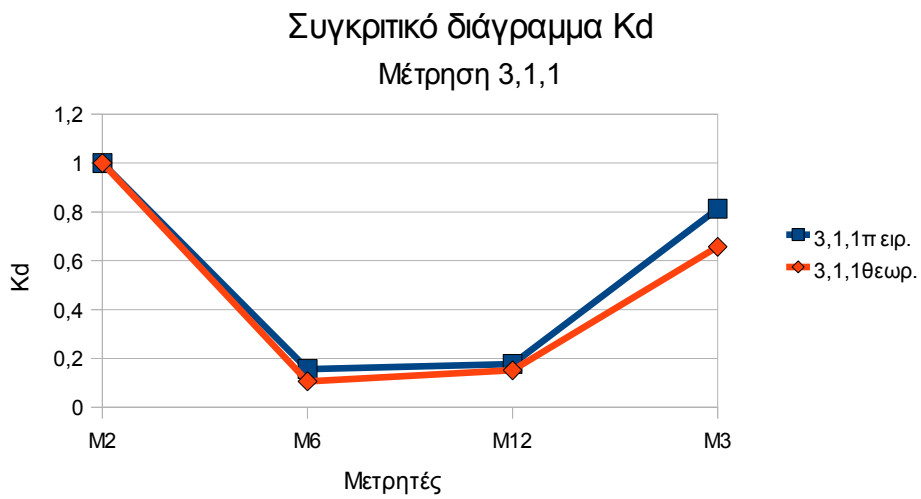
Διάγραμμα 6.47



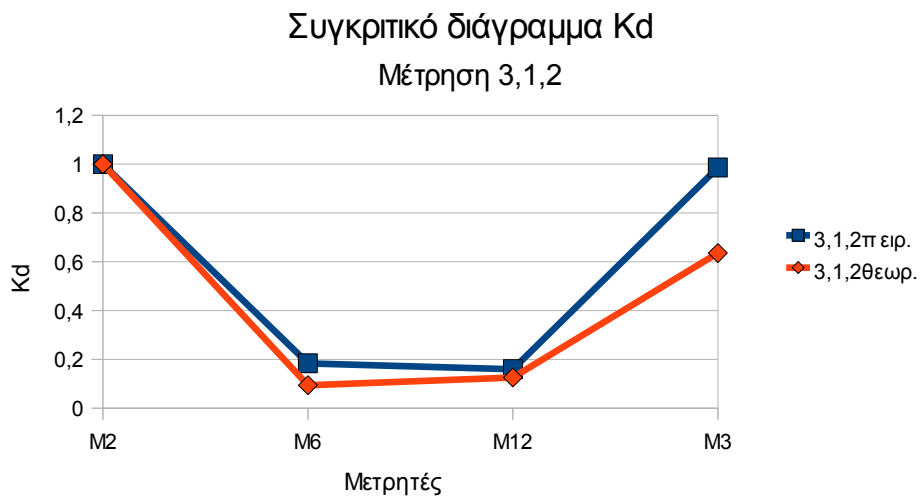
Διάγραμμα 6.48



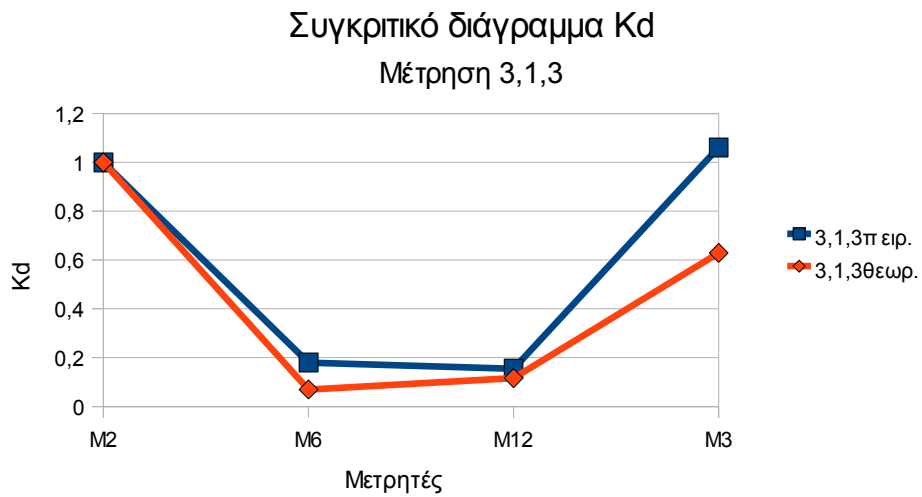
Διάγραμμα 6.49



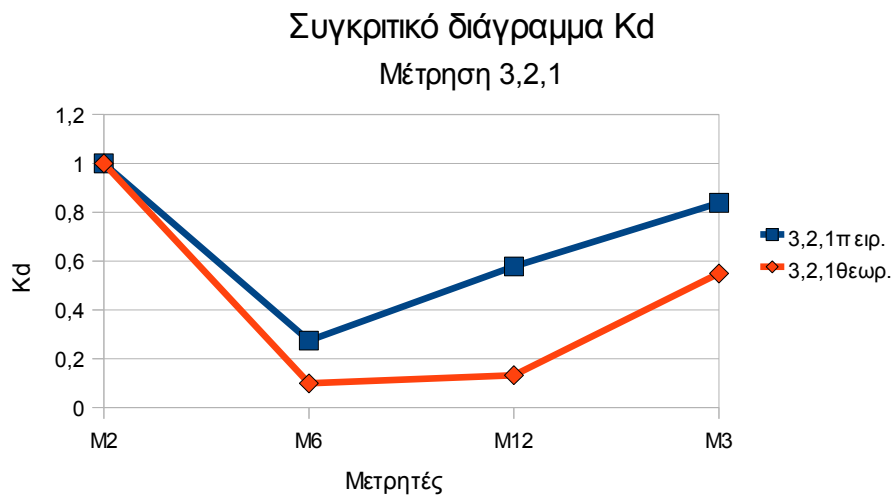
Διάγραμμα 6.50



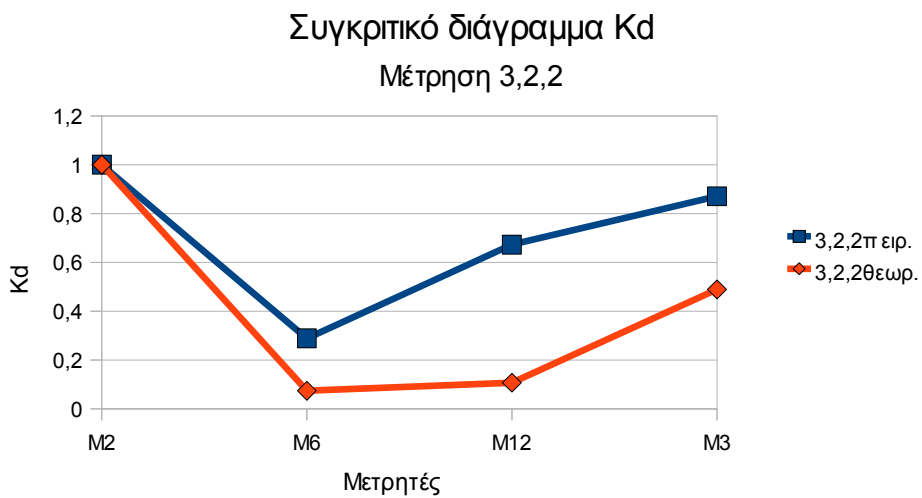
Διάγραμμα 6.51



Διάγραμμα 6.52

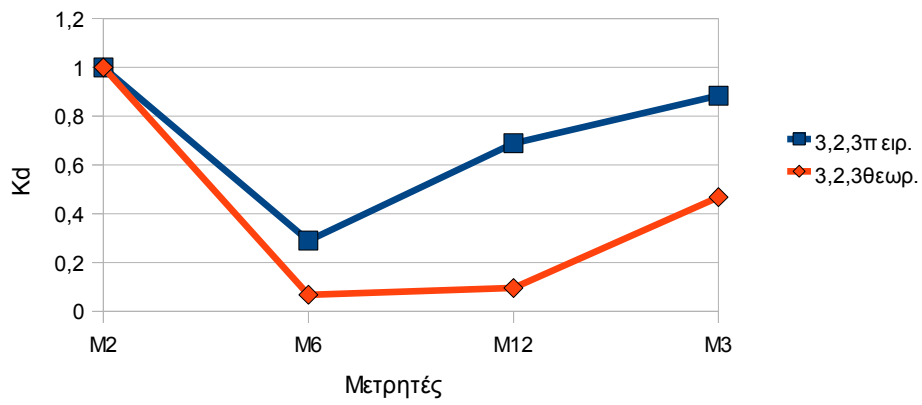


Διάγραμμα 6.53



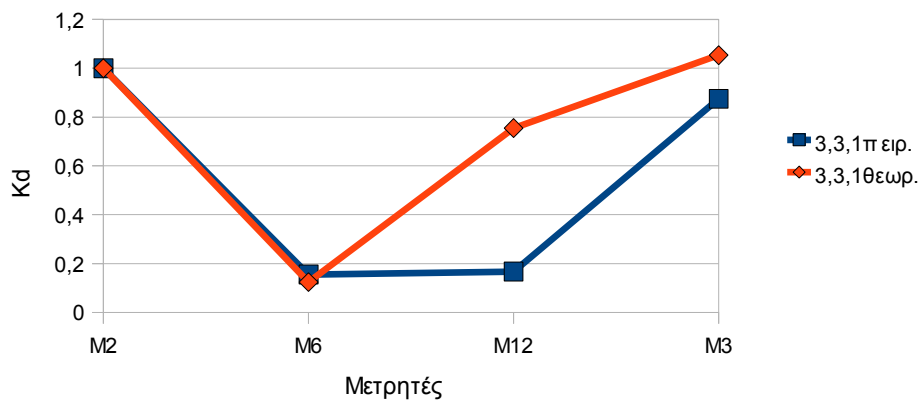
Διάγραμμα 6.54

Συγκριτικό διάγραμμα Kd  
Μέτρηση 3,2,3



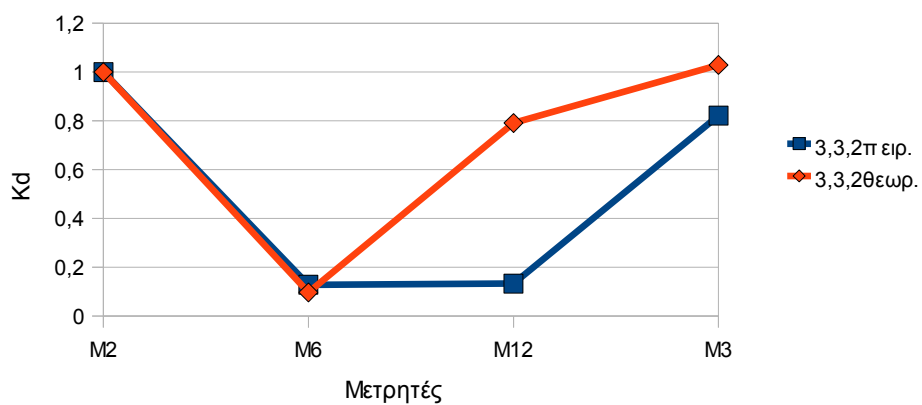
Διάγραμμα 6.55

Συγκριτικό διάγραμμα Kd  
Μέτρηση 3,3,1

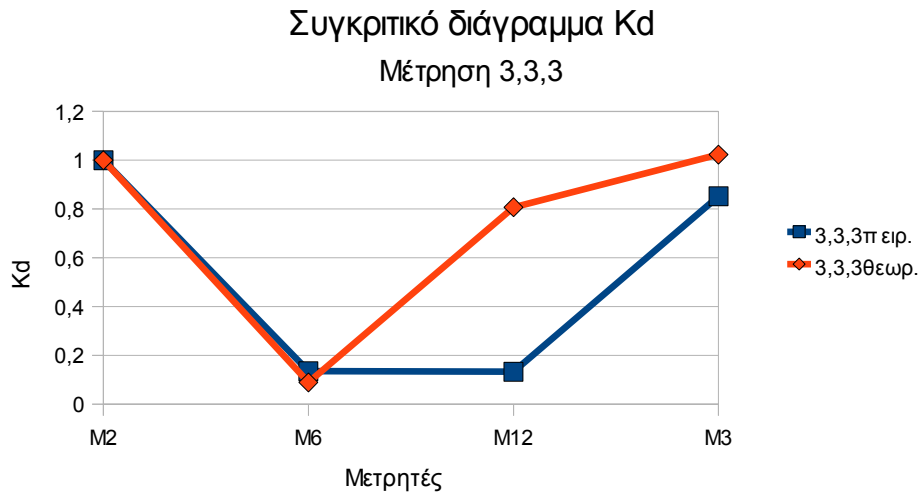


Διάγραμμα 6.56

Συγκριτικό διάγραμμα Kd  
Μέτρηση 3,3,2



Διάγραμμα 6.57



Διάγραμμα 6.58

**Σχολιασμός διαγραμμάτων συντελεστή περίθλασης:**

Ο θεωρητικός συντελεστής περίθλασης συγκρίνεται με τον συντελεστή μετάδοσης  $K_t'$ , για τους μετρητές M6, M12 και M3. Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα:

- Οι τιμές των θεωρητικών και των πειραματικών αποτελεσμάτων του συντελεστή περίθλασης στην περιοχή του μετρητή M6, οριακά ταυτίζονται σε όλες τις κυματικές καταστάσεις. Το παραπάνω υποδηλώνει ότι η περίθλαση, είναι το κυρίαρχο φαινόμενο που επηρεάζει την κυματική διαταραχή του συγκεκριμένου μετρητή. Μικρή απόκλιση παρουσιάζεται κατά την νότιο-δυτική διεύθυνση πρόσπτωσης της διάταξης 3, καθώς οι πειραματικές μετρήσεις παρουσιάζονται ελαφρώς αυξημένες.
- Η περιοχή μετρητή M12 φαίνεται ότι επηρεάζεται από το φαινόμενο της περίθλασης, κυρίως κατά τη νότια διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμού. Αντιθέτως, υπάρχει μεγάλη απόκλιση των τιμών για τη νότιο-δυτική και νότιο-νοτιοανατολική διεύθυνση πρόσπτωσης της διάταξης 3, πράγμα το οποίο οφείλεται σε φαινόμενα όπως η θραύση και η ρήχωση, τα οποία επιδρούν στην κυματική διαταραχή της περιοχής του μετρητή M12.
- Οι τιμές των θεωρητικών και των πειραματικών αποτελεσμάτων του συντελεστή περίθλασης στην περιοχή του μετρητή M3, παρουσιάζουν μικρή απόκλιση σε όλα τα συγκριτικά διαγράμματα. Χαρακτηριστικό για το μετρητή M3, είναι ο συντελεστής περίθλασης, ο οποίος παρουσιάζει μεγαλύτερες θεωρητικές απ'ότι πειραματικές τιμές για τη διάταξη 2, πράγμα που αντιστρέφεται στη διάταξη 3. Η αλλαγή αυτή, είναι συνέπεια της μείωσης του μήκους του ακρομολίου στη διάταξη 3, που έχει σαν αποτέλεσμα την ανεπαρκή προστασία του μετρητή M3.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **Συμπεράσματα**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της πειραματικής διερεύνησης και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις νέες διατάξεις των έργων. Επιπλέον, αξιολογούνται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των θεωρητικών, με τις πειραματικές τιμές του συντελεστή περίθλασης.

## **7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Από την διερεύνηση των δεδομένων που ελήφθησαν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων στο φυσικό προσομοίωμα και τη διαμόρφωση των συγκριτικών διαγραμμάτων, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η κυματική διαταραχή στις περιοχές νοτιοδυτικά και στην είσοδο των νέων έργων (περιοχές 1 και 2), δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές μετά την κατασκευή των νέων έργων. Η περιοχή δυτικά του προσήνεμου μόλου (περιοχή όπου βρίσκεται ο μετρητής M1), καταγράφει μικρή επιβάρυνση στα έργα της διάταξης 2, σε σχέση με τα έργα της διάταξης 3. Η επιβάρυνση αυτή δημιουργείται, λόγω της ανάκλασης που προκαλείται από την κοντινή απόσταση από το ακρομόλιο. Η κυματική διαταραχή που καταγράφεται στην περιοχή αυτή, δεν επηρεάζει τη λειτουργικότητα των νέων έργων.
- Η κυματική διαταραχή στις νέες νηοδόχους (περιοχή 3), μειώνεται σημαντικά μετά την κατασκευή των νέων έργων, γεγονός ιδιαίτερος σημαντικό για τη λειτουργικότητα τους και την εξυπηρέτηση των αναγκών τις οποίες καλούνται να καλύψουν.
- Η κυματική διαταραχή στην είσοδο και τον προλιμένα της υφισταμένης λιμενολεκάνης (περιοχή 4), βελτιώνεται, με αποτέλεσμα να εξυπηρετούνται ακόμη καλύτερα οι ανάγκες των ήδη υπαρχόντων εγκαταστάσεων.
- Η κυματική διαταραχή στην περιοχή νότια των Λιπασμάτων (περιοχή 5), παρουσιάζει βελτίωση και σε μερικές διευθύνσεις μειώνεται σημαντικά.
- Η κυματική διαταραχή στην περιοχή δυτικά και βορειοδυτικά των Λιπασμάτων (περιοχή 6), παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις, ανάλογα με τη διεύθυνση πρόσπτωσης του κυματισμού. Εφόσον πρόκειται να κατασκευασθούν νέα έργα στην περιοχή αυτή, απαιτείται η δημιουργία έργων εξωτερικής προστασίας, ώστε να εξασφαλιστεί ομαλή κυματική διαταραχή.
- Η κυματική διαταραχή παρουσιάζει σε γενικές γραμμές μια μικρή επιβάρυνση στα έργα της διάταξης 3, σε σχέση με τα έργα της διάταξης 2, γεγονός βεβαία που δεν δημιουργεί προβλήματα στη λειτουργικότητα των έργων της διάταξης 3. Αντιθέτως, εξασφαλίζει και την προσήνεμη πλευρά του μόλου από την υπερπήδηση που είχε παρατηρηθεί κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων της διάταξης 2.
- Στην ανατολική νηοδόχου και την είσοδο του λιμένα Πειραιά, δημιουργείται το φαινόμενο της ρεστίας, μετά την κατασκευή των νέων έργων. Το παραπάνω σημαίνει ότι απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση, ειδικότερα όσο αναφορά στην ανατολική νηοδόχο.

## **7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ**

Από τη σύγκριση των θεωρητικών και των πειραματικών αποτελεσμάτων του συντελεστή περίθλασης συμπεραίνεται ότι:

- Η χρήση των θεωρητικών τιμών του συντελεστή περίθλασης, όπως αυτές προκύπτουν από τη μέθοδο Wiegel, ταυτίζονται με τις πειραματικές τιμές, στην πλήρως προστατευμένη από το ακρομόλιο περιοχή της δυτικής νέας νηοδόχου (μετρητής M6) , για όλες τις διευθύνσεις πρόσπτωσης του κυματισμού. Επομένως, το κυρίαρχο φαινόμενο που επικρατεί στις περιοχές αυτές, είναι η περίθλαση.
- Τα σημεία που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από το ακρομόλιο (μετρητής M12) και δεν προστατεύονται πλήρως από αυτό (μετρητής M3) για όλες τις διευθύνσεις πρόσπτωσης, παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις . Σε αυτές τις περιπτώσεις, η περίθλαση δεν είναι το κυρίαρχο φαινόμενο και επομένως η πραγματική κυματική διαταραχή, δεν μπορεί να προβλεφθεί από τις θεωρητικές τιμές της μεθόδου Wiegel.

## Βιβλιογραφία

1. Μουτζούρης Κ.Ι., 2006, “Θαλάσσια Υδραυλική”, Έκδοση Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.
2. Δασκαλάκης Μ.Κ., 1982, “Λιμάνια, Θαλάσσια κύματα, Λιμενικά έργα”, Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα.
3. Κουτίτας Χ., 1994, “Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνικής και τα Λιμενικά έργα”, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
4. Μέμος Κ., 1999, “Εισαγωγή στα Λιμενικά έργα”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
5. Κομβούτης Μ.Ε., 1979, “Κύματα, Ρεύματα και Λιμενικές εγκαταστάσεις”, Εκδόσεις Επτάλοφος, Αθήνα.
6. U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1977, “Shore Protection Manual”, Volume 1, Virginia.
7. U.S. Army Corps of Engineers, 2002, “Coastal Engineering Manual”, Washington D.C.