



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF WATER RESOURCES  
AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
LABORATORY OF HARBOUR WORKS

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ  
ΕΝΤΟΣ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Δ. Καπετανάς



Επιβλέπων: Κ.Ι. Μουτζούρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Συνεπιβλέπουσα: Θεοδώρα Γιαντσή, Δρ. Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΔΙΠ-ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2014





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF WATER RESOURCES  
AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
LABORATORY OF HARBOUR WORKS

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ  
ΕΝΤΟΣ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Δ. Καπετανάς



Επιβλέπων: Κ.Ι. Μουτζούρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Συνεπιβλέπουσα: Θεοδώρα Γιαντσή, Δρ. Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΔΙΠ-ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2014





## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας ολοκληρώνω τις προπτυχιακές σπουδές μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, συμπληρώνοντας την πλούσια θεωρητική εκπαίδευση, που παρέχει η σχολή μας, με την απαραίτητη εφαρμογή και σύνδεση των θερητικών γνώσεων με την τεχνογνωσία των εφαρμογών, στις εγκαταστάσεις, τον εξπλισμό και τις υποδομές.

Η εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας στο περιβάλλον του άρτια οργανωμένου και εξοπλισμένου Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων με βοήθησε να προσαρμοστώ γρήγορα και αποτελεσματικά στο νέο τρόπο εργασίας, που απαιτείται, όταν ο θεωρητικά καταρτισμένος μηχανικός πρέπει να εφαρμόσει τις γνώσεις του στη μελέτη και κατασκευή των έργων.

Με τις γνώσεις αυτές και τις εμπειρίες, που απέκτησα με την ολοκλήρωση των σπουδών μου στην πολύ υψηλού επιπέδου Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, αισθάνομαι ότι έχω αποκτήσει τα απαραίτητα εφόδια για την ένταξη μου στην επαγγελματική ομάδα των Πολιτικών Μηχανικών και για αυτό οφείλω τις ευχαριστίες στο Επιστημονικό και Διδακτικό Προσωπικό της Σχολής μας.

Ιδιαίτερα αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση και ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και να αναφέρω πιο συγκεκριμένα:

- Τον Καθηγητή του ΕΜΠ και διευθυντή του Ε.Λ.Ε. κο Κωνσταντίνο Μουτζούρη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, με την ανάθεση της εργασίας, την ουσιαστική επίβλεψή της και την παροχή κατευθύνσεων και πληροφοριών για την ουσιαστική εμπάθυνση στο αντικείμενο της εργασίας.
- Την Επίκουρο Καθηγήτρια ΕΜΠ κα Βίκυ Τσουκαλά για το ενδιαφέρον της και τη διάθεση χρόνου στην παρακολούθηση και καθοδήγηση της εκπόνησης της εργασίας μου στο καθοριστικό αρχικό διάστημα.
- Την Δρ. Διπλ. Πολιτικό Μηχανικό ΕΔΙΠ-ΕΜΠ κα Θεοδώρα Γιαντσή για τη συμβουλή και τη συνεργασία της με τις πολύ εύστοχες κατευθύνσεις και πληροφορίες κατά την διεξαγωγή και ολοκλήρωση των πειραμάτων, καθώς και τη σύνταξη αυτής της εργασίας.
- Τα μέλη του Ε.Λ.Ε που μου παρείχαν την πολύτιμη βοήθειά τους στην εκπόνηση της εργασίας μου, όπως την κα Βαρβάρα Παπαθανασίου, τον κο Ευστάθιο Τσουνή και τον κο Παναγιώτη Μάργαρη.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς και τον αδερφό μου, για το ενδιαφέρον, τη στήριξη, την καθοδήγηση και την παιδεία που μου πρόσφεραν πλουσιοπάροχα όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και τους φίλους μου, που μου στάθηκαν, με ενθάρρυναν και με <<υπέμειναν>>!

Με εκτίμηση, Δημήτρης Καπετανάς

Αθήνα, Νοέμβριος 2014



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της κυματικής διαταραχής εντός λεκάνης λιμένα και η επιλογή κατάλληλων έργων προστασίας, με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών ελλιμενισμού των σκαφών. Στην δεδομένη διπλωματική εργασία διερευνάται πειραματικά το φαινόμενο της εντατικοποίησης κυματισμών, σε φυσικό προσομοίωμα λιμένα κλίμακας 1:100 που κατασκευάστηκε στην τρισδιάστατη δεξαμενή δοκιμών στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Ε.Μ.Π.

Πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις σε τέσσερις διατάξεις λιμενολεκάνης, με μεταβλητές παραμέτρους το μήκος του προσήνεμου μώλου, την ύπαρξη ή όχι δύο εσωτερικών προβόλων εντός λιμένα και τις γωνίες πρόσπτωσης κύματος, υπό  $45^\circ$  και  $90^\circ$ , ως προς την ακτογραμμή. Μέσω των πειραματικών εγκαταστάσεων του εργαστηρίου δημιουργήθηκαν τυχαίοι κυματισμοί, με χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_{\theta\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\omicron}$ , κυμαινόμενο από 1,36 μέτρα έως 5,00 και περίοδο αιχμής  $T_p$  με συγκεκριμένες τιμές από 5,69 sec μέχρι 8,53 sec.

Με την χρήση κατάλληλων λογισμικών προγραμμάτων, ακολούθησε η επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων και προέκυψαν οι τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών της κυματικής κατάστασης στις θέσεις μετρήσεων. Επιπρόσθετα υπολογίστηκε και ο συντελεστής περίθλασης, ως ο λόγος του ύψους κύματος εντός λιμενολεκάνης, προς το ύψος του προσπίπτοντος κυματισμού στην γενικότερη περιοχή πριν την κατασκευή του έργου. Στη συνέχεια, τα πειραματικά αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές κατά το θεωρητικό μοντέλο Wiegeler, για την επαλήθευση της ακρίβειας των μετρήσεων. Συντάχθηκαν πίνακες και διαγράμματα των αποτελεσμάτων που βοήθησαν στην εξαγωγή συμπερασμάτων.

Ως συμπεράσματα με την επέκταση του προσήνεμου μώλου, μειώνεται το ύψος κύματος στην είσοδο της λιμενολεκάνης, καθιστώντας ασφαλέστερη την χρήση του. Με την προσθήκη των δύο προβόλων μειώνεται περαιτέρω η επίδραση του κυματισμού στην περιοχή του υπήνεμου μώλου, ενώ δεν παρατηρείται καμία πρακτικά αλλαγή στην υπόλοιπη έκταση της λιμενολεκάνης. Στην περίπτωση κατασκευής μόνο των δύο προβόλων, έχουμε μικρή αύξηση του ύψους κύματος στην γενική περιοχή εισόδου του λιμένα, δημιουργώντας ερωτηματικά σκοπιμότητας επέκτασης του προσήνεμου. Για μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης από  $45^\circ$  σε  $90^\circ$  υπάρχει μία γενική ενίσχυση του κυματισμού στη λιμενολεκάνη και ειδικά στην είσοδό της, η οποία μπορεί να περιοριστεί με την κατασκευή των πρόσθετων έργων.

## ABSTRACT

The purpose of this dissertation is to investigate the effect of wave disturbance inside the port and the selection of the appropriate protection structures, aiming to improve the conditions of vessel mooring. The present dissertation experimentally investigates the effect of wave amplification within a natural port model, on a scale 1: 100, built in a three-dimensional test tank at the NTUA Laboratory of Harbor Works.

Experimental measurements of four layouts took place, with variable parameters along the windward breakwater length, the construction of two internal cantilever jetties in port and wave directions, in  $45^\circ$  and  $90^\circ$  on the shoreline. Random waves were generated, using the experimental facilities of the laboratory, with wave height  $H_0$  ranging from 1.36 to 5.00 m and peak period  $T_p$ , with specific values from 5.69 sec to 8.53 sec.

Experimental data processing, using special software programs has resulted the wave condition attribute values of the test positions. Additionally, the diffraction coefficient has been calculated, as the ratio of wave height within the harbor to the height of the incident wave in the general area, before the construction of the project. Furthermore, the experimental results were compared with the corresponding calculated values, according to the theoretical Wiegel diagrams, in order to verify the accuracy of measurements. Tables and diagrams of the results were compiled and contributed, to draw into conclusions.

According to the findings, windward breakwater extension reduced wave height at the entrance of the port, making its use safer. By adding the two cantilever jetties, the intensifying of waving was further reduced in the leeward pier area, while no change in the remaining area of the port was practically significant. Constructing two cantilever jetties, without extending the windward breakwater length, gave a small wave height increase in general port entrance area, raising questions about windward breakwater expansion necessity. Changing the incident angle from  $45^\circ$  to  $90^\circ$  resulted to a general wave amplification inside the port, mainly at its entrance, which may be limited by the construction of additional works.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

<b>1.1</b> Αντικείμενο και στόχος μελέτης.....	<b>1</b>
<b>1.2</b> Σύντομη επισκόπηση εργασίας.....	<b>1</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ**

<b>2.1</b> Επιδράσεις κυματισμών σε στερεά όρια.....	<b>3</b>
<b>2.2</b> Αναπτυσσόμενα φαινόμενα.....	<b>3</b>
2.2.1 Περίθλαση.....	<b>3</b>
2.2.2 Ανάκλαση.....	<b>8</b>
2.2.3 Διάθλαση.....	<b>9</b>
2.2.4 Θραύση.....	<b>9</b>
2.2.5 Ρήχωση.....	<b>10</b>
2.2.6 Υπερπήδηση.....	<b>11</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ Ε.Μ.Π.**

<b>3.1</b> Γενικά.....	<b>12</b>
<b>3.2</b> Δεξαμενή Δοκιμών Δ1.....	<b>12</b>
<b>3.3</b> Υδραυλικό σύστημα παραγωγής μονοχρωματικών και	

πραγματικών θαλάσσιων κυματισμών.....	14
<b>3.4</b> Μετρητές κυματισμών.....	<b>17</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΚΑΙ Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

<b>4.1</b> Κλίμακες ομοιότητας.....	<b>22</b>
<b>4.2</b> Κατασκευή προσομοιώματος.....	<b>24</b>
<b>4.3</b> Διατάξεις μετρήσεων (Layouts).....	<b>25</b>
<b>4.4</b> Θέσεις ηχοβολιστικών μετρητών εντός λιμενολεκάνης.....	<b>29</b>
<b>4.5</b> Διεύθυνση προσπτώσεως κυματισμών.....	<b>30</b>
<b>4.6</b> Οι κυματισμοί που επιλέχθηκαν.....	<b>31</b>
<b>4.7</b> Εκτελεσθέντα πειράματα.....	<b>33</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

<b>5.1</b> Γενικά.....	<b>43</b>
<b>5.2</b> Επεξεργασία των μετρήσεων «μηδέν».....	<b>43</b>
<b>5.3</b> Μετατροπή των ηχοβολιστικών μετρήσεων σε αρχεία .wvd.....	<b>44</b>
<b>5.4</b> Επεξεργασία πειραματικών μετρήσεων με το λογισμικό HR Wavedata.....	<b>45</b>

5.5 Μακροεντολές και σύνταξη πινάκων στο MicrosoftExcel.....	52
5.6 Ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων.....	54
5.7 Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων με τη μορφή πινάκων.....	55
5.8 Συγκριτικά διαγράμματα αποτελεσμάτων μετρήσεων.....	59
5.8.1 Συγκριτικά διαγράμματα $H_s/H_0$ για κάθε διάταξη έργων ως προς συγκεκριμένο κυματισμό και γωνία πρόσπτωσης.....	62
5.8.2 Συγκριτικά διαγράμματα $T_{mi}/T_{incid}$ για κάθε διάταξη έργων ως προς συγκεκριμένο κυματισμό και γωνία πρόσπτωσης.....	71
5.8.3 Συγκριτικά διαγράμματα λόγου $H_i/H_0$ για γωνίες πρόσπτωσης $\phi=45^\circ$ και $\phi=90^\circ$ .....	79
5.8.4 Σύγκριση συντελεστών $k_D$ διάταξης έργων με εσωτερικούς / χωρίς εσωτερικούς πρόβολους.....	93
5.9 Διαγράμματα Wiegel και υπολογισμός $k_D$ για κάθε σημείο μέτρησης.....	104
5.9.1 Σύγκριση συντελεστών $k_D$ θεωρητικού υπολογισμού διάταξης κατά Wiegel/ $k_D$ πειραματικών μετρήσεων.....	109
5.10 Αποτελέσματα.....	120

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ**

<b>ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....</b>	<b>123</b>
----------------------------------	------------

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ:**

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:</b> Λογισμικό HF108TOWVD και ενισχυτής σήματος ULTRALAB_ULS.....	<b>125</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2:</b> Λογισμικό πακέτο HRWAVEDATA.....	<b>134</b>

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3:</b> Πίνακες παραμέτρων μετρητών στις χαρακτηριστικές θέσεις.....	<b>138</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4:</b> Φωτογραφικό υλικό εκπόνησης μετρήσεων.....	<b>147</b>
<b><u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u></b> .....	<b>158</b>



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Αντικείμενο και στόχος μελέτης

Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η Πειραματική Διερεύνηση Κυματικής Διαταραχής Εντός Λιμενολεκάνης, με μεταβλητό μήκος προσήνεμο μώλου και με την ύπαρξη ή όχι προβόλων εντός της, με στόχο την καταγραφή των κυματικών συνθηκών κάτω από τις οποίες εμφανίζεται αυτή.

Η έρευνα για την εκπόνηση αυτής της εργασίας βασίστηκε σε μία σειρά παρατηρήσεων και μετρήσεων μετά από κατασκευή λιμενολεκάνης με προσήνεμο μώλο μεταβλητού μήκους και με την προσθήκη προβόλων σε συγκεκριμένες θέσεις εντός αυτής.

Αφορά λιμενικά έργα κατασκευασμένα σε αμμώδεις ακτές με πυθμένα ομαλά μεταβαλλόμενο και έγινε με πειραματική προσομοίωση του φαινομένου στην δεξαμενή του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων του ΕΜΠ. Περιλαμβάνει σειρές πειραματικών μετρήσεων.

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων κατασκευάστηκε φυσικό ομοίωμα λιμένα με πρόβλεψη μεταβαλλόμενου μήκους προσήνεμο μώλου και τοποθέτηση προβόλων από σκυρόδεμα εντός της λεκάνης σε δύο συγκεκριμένες θέσεις

Ελήφθησαν μετρήσεις σε κυματισμό με διάφορες χαρακτηριστικές παραμέτρους (ύψος, περίοδος κύματος) και γωνίες πρόσπτωσης  $45^\circ$  και  $90^\circ$  ως προς την ακτογραμμή, με στόχο τον προσδιορισμό των συνθηκών γένεσης και απόσβεσης των υπό μελέτη φαινομένων και τελικά τον προσδιορισμό της λειτουργικότητας του λιμένα, της βελτίωσης αυτής μέσω κατάλληλων επιπρόσθετων έργων καθώς και την σκοπιμότητα και αναγκαιότητα τους.

### 1.2 Σύντομη Επισκόπηση εργασίας

Η εργασία αποτελείται από κεφάλαια που περιλαμβάνουν τα εξής:

- **Κεφάλαιο 2:** Παρουσίαση του φαινομένου και του προβλήματος της κυματικής διαταραχής με παράθεση των απαραίτητων θεωρητικών στοιχείων και σχετικής βιβλιογραφικής επισκόπησης, καθώς και σύνδεση με προηγούμενες πειραματικές προσεγγίσεις σχετικές με αυτή την εργασία.
- **Κεφάλαιο 3:** Περιγραφή των εγκαταστάσεων του Ε.Λ.Ε. όπου έγιναν οι πειραματικές εργασίες, καθώς και των συσκευών και οργάνων, που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή των πειραματικών δεδομένων
- **Κεφάλαιο 4:** Περιγραφή του φυσικού προσομοιώματος, των πειραματικών διατάξεων και της διαδικασίας των μετρήσεων

- **Κεφάλαιο 5:** Παρουσίαση της επεξεργασίας των πειραματικών μετρήσεων, ανάλυση και σύγκριση μέσω διαγραμμάτων και σχολιασμός των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.
- **Κεφάλαιο 6:** Διατύπωση των τελικών συμπερασμάτων και σχετικών προτάσεων.
- **Βιβλιογραφία**
- **Παράρτημα 1:** Περιγραφή της λειτουργίας του λογισμικού πακέτου HF108TOWVD που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις, καθώς και του ενισχυτή σήματος ULTRALAB\_ULS, με τον οποίο συνδέθηκαν οι μετρητές με τους ηχοβολιστικούς αισθητήρες.
- **Παράρτημα 2:** Περιγραφή του λογισμικού πακέτου HRWAVEDATA που χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων.
- **Παράρτημα 3:** Παράθεση των πινάκων παραμέτρων κύματος στις χαρακτηριστικές θέσεις με τιμές που προέκυψαν σε όλες τις θέσεις μετρήσεων για τις διαφορετικές διατάξεις του έργου και για τις δύο διαφορετικές διευθύνσεις πρόσπτωσης κυματισμού.
- **Παράρτημα 4:** Επισύναψη φωτογραφιών από την πειραματική διαδικασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ

#### 2.1 Επιδράσεις κυματισμών σε στερεά όρια

Η ύπαρξη ενός μετώπου στο πεδίο ροής των κυματισμών διαταράσσει τη ροή. Αναλυτικότερα το μέτωπο λειτουργεί σαν πηγή δημιουργίας άλλων κυματισμών, που μεταδίδονται σε κατεύθυνση διαφορετική από τη διεύθυνση μεταδόσεως του προσπίπτοντος κύματος. Οι επιδράσεις ενός μετώπου σε ένα προσπίπτον κύμα έχουν τη μορφή της ανακλάσης του κύματος, της περιθλάσης, και της θραύσης.

Στην παρακάτω παράγραφο εξετάζονται η αβάκλαση, η περίθλαση και η θραύση των κυματισμών, λόγω της ιδιαίτερης σημασίας τους στην τεχνολογία των λιμενικών έργων(Πηγή: Μουτζούρης 2006, Θαλάσσια Υδραυλική).

#### 2.2 Αναπτυσσόμενα φαινόμενα

##### 2.2.1 Περίθλαση

Περίθλαση ονομάζεται το φαινόμενο της εκτροπής κυμάτων μέσα στη γεωμετρική σκιά αδιαπέραστων από αυτά εμποδίων, όπως οι κυματοθραύστες, οι μώλοι και άλλες θαλάσσιες κατασκευές που ικανοποιούν την προϋπόθεση αυτή (Πηγή: Κομβούτης, 1980).

Η περίθλαση κυματισμών δημιουργείται αποκλειστικά από το μέτωπο της μη υπερβατής κατασκευής και είναι παρόμοια της περίθλασης του φωτός και του ήχου. Αποτελεί έναν φυσικό μηχανισμό στον οποίο λαμβάνει χώρα μετάδοση ενέργειας κατά μήκος των κορυφογραμμών του προσπίπτοντος κύματος, στη συνέχεια της ανοιχτής(μή χωριζόμενης από την κατασκευή) πλευράς, αλλά κυρίως προς τις πλάγιες κατευθύνσεις στην πλευρά της σκιάς του έργου. Αποτέλεσμα της διάδοσης αυτής είναι η εκτροπή κυματισμών σε μία προστατευμένη θαλάσσια περιοχή, η οποία χωρίς το φαινόμενο αυτό θα ηρεμούσε. Μέσω της περίθλασης η διεύθυνση μετάδοσης κύματος αλλάζει και δημιουργούνται ενεργειακές απώλειες, με αποτέλεσμα τη μείωση ύψους κύματος κατά την απομάκρυνση κυματισμού από το άκρο του έργου και την εξάπλωσή του σε μεγαλύτερα πλάτη προστατευόμενης περιοχής (Πηγή: Δασκαλάκης, 1982).

Συνεπώς η μελέτη της περίθλασης κρίνεται απαραίτητη για τον υπολογισμό κυματικών διαταραχών στο εσωτερικό λιμενολεκάνης, που προστατεύεται από εξωτερικά λιμενικά έργα.

Το ύψος κύματος σε περιοχή κυματισμών από περίθλαση υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$H = k_D \cdot H_0$$

Όπου  $H_0$  είναι το ύψος κύματος στην περιοχή πριν την κατασκευή και  $k_D$  συντελεστής περίθλασης, που εξαρτάται από:

- Τη γωνία πρόσπτωσης κυματισμού βομετρούμενη από το άκρο κατασκευής
- Την γωνία  $\theta$  την οποία σχηματίζει οποιοδήποτε εξεταζόμενο σημείο εντός λιμενολεκάνης με το άκρο του θαλάσσιου έργου
- Την απόσταση εξεταζόμενου σημείου-άκρου έργου
- Το μήκος κύματος  $L$  θαλάσσιας διαταραχής εντός περιοχής μελέτης

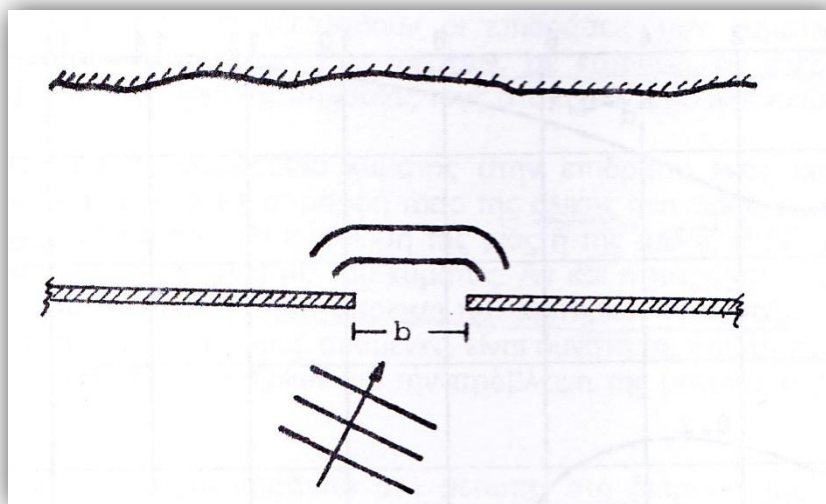
Θεμελιώδεις παραδοχές για τον υπολογισμό του  $k_D$  για την μελέτη των περιοχών αυτών είναι ότι το υγρό είναι τέλει, η ροή αστρόβιλη, οι κυματισμοί είναι μικρού ύψους και ο πυθμένας οριζόντιος.

Πρακτικά ο φυσικός μηχανισμός της περίθλασης συναντάται σε δύο βασικές περιπτώσεις διατάξεων λιμενικών έργων (Πηγή: Μουτζούρης 2006, Θαλάσσια Υδραυλική):

A) Συνδυασμός δύο επιμήκων μεμονομένων κατασκευών

Ο κυματισμός προσπερνά το άνοιγμα ορισμένου πλάτους που αφήνουν μεταξύ τους δύο επιμήκεις θαλάσσιες κατασκευές. Η μορφή των κορυφογραμμών εξαρτάται από τον λόγο  $b/L$ :

Για  $b/L < 1$  τείνουν προς κύκλους, ενώ για  $b/L > 1$  τείνουν προς ελλείψεις.



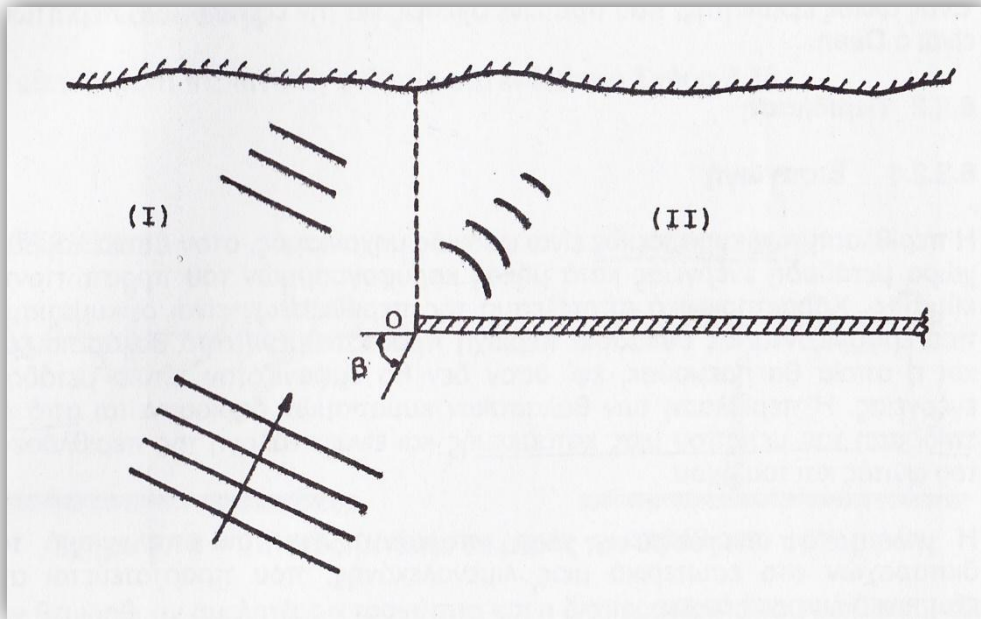
Εικόνα 2.1: Περίθλαση γύρω από δύο επιμήκεις κατασκευές (Πηγή: Μουτζούρης 2006, Θαλάσσια Υδραυλική)



## Β) Επιμήκης μεμονωμένη κατασκευή

Ο κυματισμός προσπίπτει υπό γωνία  $\beta$  χωρίς υπερπήδηση σε μία ακλόνητη, αδιαπέρατη θαλάσσια κατασκευή που εκτείνεται θεωρητικά έως το ημίπειρο, αφήνοντας από την άλλη πλευρά ελεύθερο άνοιγμα απειροστού μήκους.

Σε αυτή την περίπτωση και θεωρώντας τον πυθμένα της θάλασσας σταθερό οι κορυφογραμμές κυματισμού προσπερνούν το άκρο κατασκευής σχεδόν ανεπηρέαστες διατηρώντας την διεύθυνσή τους από την πλευρά του ελεύθερου ανοίγματος, ενώ στην προστατευόμενη περιοχή εκτρέπονται σχηματίζοντας ομόκεντρα κυκλικά τόξα με κέντρο το πίσω ακρο του θαλάσσιου έργου.



Εικόνα 2.2: Περίθλαση γύρω από μεμονωμένη επιμήκη κατασκευή (Πηγή: Μουτζούρης 2006, Θαλάσσια Υδραυλική)

Ο Wiegels βασισμένος σε αυτή τη διάταξη δράσεως φαινομένου συνέταξε το 1962 διαγράμματα γραφικής εύρεσης συντελεστή περίθλασης  $K_D$ , για συγκεκριμένο σημείο μελέτης, δεδομένες πολικές συντεταγμένες από την πίσω πλευρά ακρομωλίου κατασκευής και μήκους κύματος  $L$  εντός περιοχής μελέτης. Οι αποστάσεις σημείων πάνω στα διαγράμματα μετρώνται σε απόσταση ακτίνας σημείου-ακρομωλίου ανά μήκη κύματος.

Μεταγενέστερα συντάχθηκαν πίνακες βασισμένοι στα διαγράμματα Wiegels, που αποτελούν μια συγκεντρωτική καταγραφή σημείων των διαγραμμάτων αυτών για ευκολότερη και ακριβέστερη εύρεση αποτελεσμάτων μέσω γραμμικής παρεμβολής (Πηγή: Coastal Engineering Research Center, 1984, Shore Protection Manual)

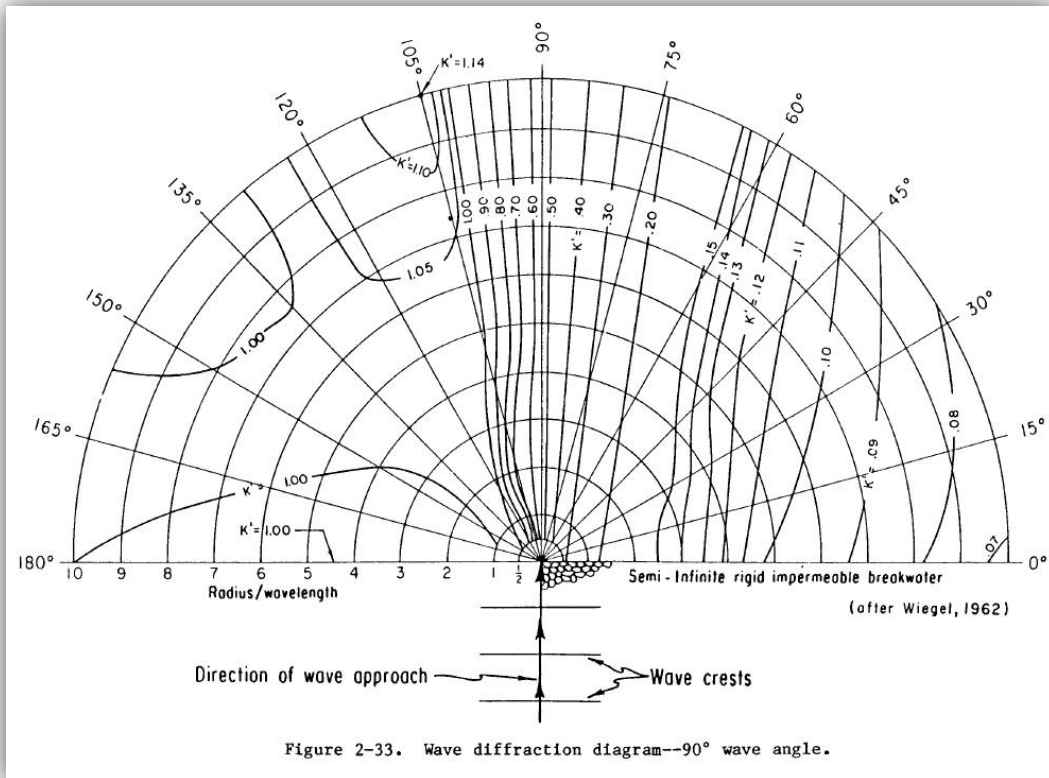
Παράδειγμα των διαγραμμάτων Wiegel και των βασισμένων σε αυτά πινάκων παρατίθενται στις παρακάτω φωτογραφίες (Εικόνες 2.3,2.4,2.5):

Table C-1. Continued.

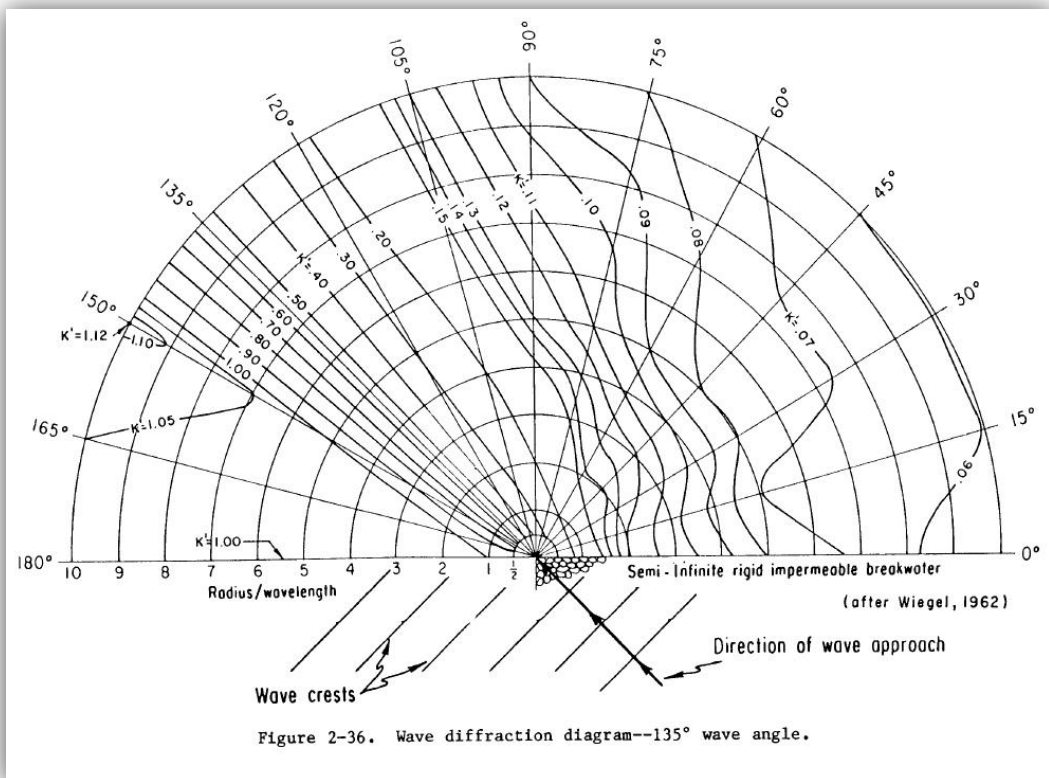
$d/L_0$	$d/L$	$2\pi d/L$	$TANH$ $2\pi d/L$	$SINH$ $2\pi d/L$	$COSH$ $2\pi d/L$	$H/H_0$	$K$	$4\pi d/L$	$SINH$ $4\pi d/L$	$COSH$ $4\pi d/L$	$n$	$C_g/C_0$	$M$
.03000	.07135	.4483	.4205	.4634	1.1021	1.125	.9073	.8966	1.022	1.130	.9388	.3947	27.9
.03100	.07260	.4562	.4269	.4721	1.1059	1.118	.9042	.9124	1.044	1.146	.9369	.4000	27.1
.03200	.07385	.4640	.4333	.4808	1.1096	1.111	.9012	.9280	1.067	1.162	.9349	.4051	26.3
.03300	.07507	.4717	.4395	.4894	1.1133	1.104	.8982	.9434	1.090	1.179	.9329	.4100	25.6
.03400	.07630	.4794	.4457	.4980	1.1171	1.098	.8952	.9588	1.113	1.196	.9309	.4149	24.8
.03500	.07748	.4868	.4517	.5064	1.1209	1.092	.8921	.9737	1.135	1.513	.9289	.4196	24.19
.03600	.07867	.4943	.4577	.5147	1.1247	1.086	.8891	.9886	1.158	1.530	.9270	.4242	23.56
.03700	.07984	.5017	.4635	.5230	1.1285	1.080	.8861	1.003	1.180	1.547	.9250	.4287	22.97
.03800	.08100	.5090	.4691	.5312	1.1324	1.075	.8831	1.018	1.203	1.564	.9230	.4330	22.42
.03900	.08215	.5162	.4747	.5394	1.1362	1.069	.8801	1.032	1.226	1.582	.9211	.4372	21.90
.04000	.08329	.5233	.4802	.5475	1.1401	1.064	.8771	1.047	1.248	1.600	.9192	.4414	21.40
.04100	.08442	.5304	.4857	.5556	1.1440	1.059	.8741	1.061	1.271	1.617	.9172	.4455	20.92
.04200	.08553	.5374	.4911	.5637	1.1479	1.055	.8711	1.075	1.294	1.636	.9153	.4495	20.46
.04300	.08664	.5444	.4964	.5717	1.1518	1.050	.8681	1.089	1.317	1.654	.9133	.4534	20.03
.04400	.08774	.5513	.5015	.5796	1.1558	1.046	.8652	1.103	1.340	1.672	.9114	.4571	19.62
.04500	.08883	.5581	.5066	.5876	1.1599	1.042	.8621	1.116	1.363	1.691	.9095	.4607	19.23
.04600	.08991	.5649	.5116	.5954	1.1639	1.038	.8592	1.130	1.386	1.709	.9076	.4643	18.85
.04700	.09098	.5717	.5166	.6033	1.1679	1.034	.8562	1.143	1.409	1.728	.9057	.4679	18.49
.04800	.09205	.5784	.5215	.6111	1.1720	1.030	.8532	1.157	1.433	1.747	.9037	.4713	18.15
.04900	.09311	.5850	.5263	.6189	1.1760	1.026	.8503	1.170	1.456	1.766	.9018	.4746	17.82
.05000	.09416	.5916	.5310	.6267	1.1802	1.023	.8473	1.183	1.479	1.786	.8999	.4779	17.50
.05100	.09520	.5981	.5357	.6344	1.1843	1.019	.8444	1.196	1.501	1.805	.8980	.4811	17.19
.05200	.09623	.6046	.5403	.6421	1.1884	1.016	.8415	1.209	1.526	1.825	.8961	.4842	16.90
.05300	.09726	.6111	.5449	.6499	1.1926	1.013	.8385	1.222	1.550	1.845	.8943	.4873	16.62
.05400	.09829	.6176	.5494	.6575	1.1968	1.010	.8356	1.235	1.574	1.865	.8924	.4903	16.35
.05500	.09930	.6239	.5538	.6652	1.2011	1.007	.8326	1.248	1.598	1.885	.8905	.4932	16.09
.05600	.1003	.6303	.5582	.6729	1.2053	1.004	.8297	1.261	1.622	1.906	.8886	.4960	15.84
.05700	.1013	.6366	.5626	.6805	1.2096	1.001	.8267	1.273	1.646	1.926	.8867	.4988	15.60
.05800	.1023	.6428	.5668	.6880	1.2138	.9985	.8239	1.286	1.670	1.947	.8849	.5015	15.36
.05900	.1033	.6491	.5711	.6956	1.2181	.9958	.8209	1.298	1.695	1.968	.8830	.5042	15.13
.06000	.1043	.6553	.5753	.7033	1.2225	.9932	.8180	1.311	1.719	1.989	.8811	.5068	14.91
.06100	.1053	.6616	.5794	.7110	1.2270	.9907	.8150	1.323	1.744	2.011	.8792	.5094	14.70
.06200	.1063	.6678	.5834	.7187	1.2315	.9883	.8121	1.336	1.770	2.033	.8773	.5119	14.50
.06300	.1073	.6739	.5874	.7264	1.2359	.9860	.8093	1.348	1.795	2.055	.8755	.5143	14.30
.06400	.1082	.6799	.5914	.7335	1.2402	.9837	.8063	1.360	1.819	2.076	.8737	.5167	14.11
.06500	.1092	.6860	.5954	.7411	1.2447	.9815	.8035	1.372	1.845	2.098	.8719	.5191	13.92
.06600	.1101	.6920	.5993	.7486	1.2492	.9793	.8005	1.384	1.870	2.121	.8700	.5214	13.74
.06700	.1111	.6981	.6031	.7561	1.2537	.9772	.7977	1.396	1.896	2.144	.8682	.5236	13.57
.06800	.1120	.7037	.6069	.7633	1.2580	.9752	.7948	1.408	1.921	2.166	.8664	.5258	13.40
.06900	.1130	.7099	.6106	.7711	1.2628	.9732	.7919	1.420	1.948	2.189	.8646	.5279	13.24
.07000	.1139	.7157	.6144	.7783	1.2672	.9713	.7890	1.432	1.974	2.213	.8627	.5300	13.08
.07100	.1149	.7219	.6181	.7863	1.2721	.9694	.7861	1.444	2.000	2.236	.8609	.5321	12.92
.07200	.1158	.7277	.6217	.7937	1.2767	.9676	.7833	1.455	2.026	2.260	.8591	.5341	12.77
.07300	.1168	.7336	.6252	.8011	1.2813	.9658	.7804	1.467	2.053	2.284	.8572	.5360	12.62
.07400	.1177	.7395	.6289	.8088	1.2861	.9641	.7775	1.479	2.080	2.308	.8554	.5380	12.48
.07500	.1186	.7453	.6324	.8162	1.2908	.9624	.7747	1.490	2.107	2.332	.8537	.5399	12.34
.07600	.1195	.7511	.6359	.8237	1.2956	.9607	.7719	1.502	2.135	2.357	.8519	.5417	12.21
.07700	.1205	.7569	.6392	.8312	1.3004	.9591	.7690	1.514	2.162	2.382	.8501	.5435	12.08
.07800	.1214	.7625	.6427	.8386	1.3051	.9576	.7662	1.525	2.189	2.407	.8483	.5452	11.95
.07900	.1223	.7683	.6460	.8462	1.3100	.9562	.7634	1.537	2.217	2.432	.8465	.5469	11.83
.08000	.1232	.7741	.6493	.8538	1.3149	.9548	.7605	1.548	2.245	2.458	.8448	.5485	11.71
.08100	.1241	.7799	.6526	.8614	1.3198	.9534	.7577	1.560	2.274	2.484	.8430	.5501	11.59
.08200	.1251	.7854	.6558	.8687	1.3246	.9520	.7549	1.571	2.303	2.511	.8413	.5517	11.47
.08300	.1259	.7911	.6590	.8762	1.3295	.9506	.7522	1.583	2.331	2.537	.8395	.5533	11.36
.08400	.1268	.7967	.6622	.8837	1.3345	.9493	.7494	1.594	2.360	2.563	.8378	.5548	11.25
.08500	.1277	.8026	.6655	.8915	1.3397	.9481	.7464	1.605	2.389	2.590	.8360	.5563	11.14
.08600	.1286	.8080	.6685	.8989	1.3446	.9469	.7437	1.616	2.418	2.617	.8342	.5577	11.04
.08700	.1295	.8137	.6716	.9064	1.3497	.9457	.7409	1.628	2.448	2.644	.8325	.5591	10.94
.08800	.1304	.8193	.6747	.9141	1.3548	.9445	.7381	1.639	2.478	2.672	.8308	.5605	10.84
.08900	.1313	.8250	.6778	.9218	1.3600	.9433	.7353	1.650	2.508	2.700	.8290	.5619	10.74

C-7

Εικόνα 2.3: Πίνακας βασισμένος στα διαγράμματα Wiegel



Εικόνα 2.4: Διάγραμμα Wiegel για γωνία πρόσπτωσης κυματισμού  $\varphi=90^\circ$



Εικόνα 2.5: Διάγραμμα Wiegel για γωνία πρόσπτωσης κυματισμού  $\varphi=45^\circ$

## 2.2.2 Ανάκλαση

Παρατηρείται κυρίως σε περιοχές με σχετικά μεγάλα βάθη πυθμένα. Κατά την πρόσκρουση κύματος η ενέργεια δεν απορροφάται ολικά, αλλά επιστρέφει μερικώς ή ολικά ανακλανόμενη από ένα εκάστοτε μέτωπο.

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

Η επαλληλία προσπίπτοντος και ανακλώμενου κύματος δίνει ένα στάσιμο κύμα.

Η παρουσία στάσιμου κύματος δημιουργεί μία υπερύψωση κατά ηοατης μέσης στάθμης θαλάσσιας επιφάνειας σε σχέση με την ΣΗΥ (Στάθμη Ηρεμίας Ύδατος), περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερη από αυτή στα προοδευτικά κύματα (Πηγή: Μουτζούρης, 2006, Θαλάσσια Υδραυλική). Αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η σημαντική αύξηση ύψους κύματος στις προσβαλλόμενες περιοχές.

Ο συντελεστής ανάκλασης  $K_r$  ορίζεται ως:

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

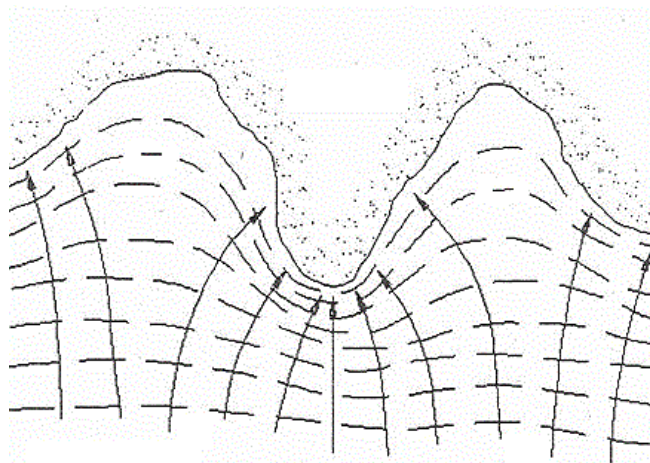
Όπου:

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

*Εικόνα 2.6: Ανάκλαση και στάσιμο κύμα σε κατακόρυφο μέτωπο (Πηγή: Μουτζούρης 2006, Θαλάσσια Υδραυλική)*

### 2.2.3 Διάθλαση

Η επίδραση της μορφής των ισοβαθών του πυθμένα (τοπογραφία του πυθμένα) στη διεύθυνση μετάδοσης των κυματισμών ονομάζεται Διάθλαση. Εμφανίζεται σε ανομοιόμορφα επικλινείς αβαθείς ( $d \leq 0.5 L$ ) περιοχές. Κατά τη διάθλαση ενός κύματος, η ορθογωνική του (δηλαδή η καμπύλη, η οποία σε κάθε σημείο της έχει εφαπτομένη τη διεύθυνση μετάδοσης του κύματος) τείνει να κινηθεί κάθετα προς τις ισοβαθείς, με αποτέλεσματην εμφάνιση περιοχών πύκνωσης και περιοχών αραιώσης των ορθογωνικών των κυμάτων(Εικόνα 2.....). Στις περιοχές πύκνωσης εντατικοποιείται η κυματική διαταραχή, σε σχέση με τις περιοχές αραιώσης που αποσβαίνει.



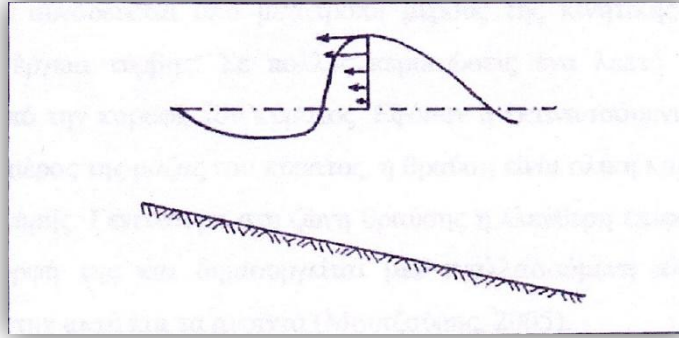
Εικόνα 2.6: Διάθλαση

### 2.2.4 Θραύση

Σε περιπτώσεις που η καμπυλότητα και το ύψος ενός κύματος φτάνουν σε ένα σημείο κορεσμού και μεγιστοποιούνται παρουσιάζεται το φαινόμενο της θραύσης. Στην περίπτωση αυτή η ενέργεια του κύματος αγγίζει το μέγιστο.

Ο φυσικός μηχανισμός της θραύσης λαμβάνει χώρα στις παρακάτω περιπτώσεις:

1. Στην παράκτια ζώνη και συγκεκριμένα στη ζώνη θραύσης προκαλούμενη από το φαινόμενο της ρήχωσης. Το ποσοστό της ενέργειας που δεν μετατρέπεται σε ενέργεια τύρβης μετατρέπεται εξολοκλήρου σε κινητική ενέργεια, δηλαδή σε κυματισμούς μεταφοράς που ωθεί την μάζα του ύδατος προς την ακτή, μέχρι να επέλθει πλήρης απόσβεση της ενέργειας που μεταφέρεται.
2. Στα βαθύτερα της ζώνης θραύσης σε μεμονωμένες κυματομορφές, στην περίπτωση που αποκτήσουν, ενέργεια μεγαλύτερη από αυτή που μπορούν να μεταφέρουν.
3. Κατά την πρόσπτωσή του πάνω σε μεμονωμένο εμπόδιο.



Εικόνα 2.7: Κατανομή ταχυτήτων στη διατομή κύματος στη ζώνη θραύσης

### 2.2.5 Ρήγωση

Το φαινόμενο της επιρροής του πυθμένα στη μορφή των κυματισμών ονομάζεται ρήγωση, και εμφανίζεται σε βάθος πυθμένα μικρότερο του μισού μήκους κύματος  $L$ .

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

Για τον υπολογισμό των μεταβολών του μήκους και του ύψους των κυμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενεργειακή μέθοδος, η οποία ισχύει στην περιοχή μεταξύ της ανοιχτής θάλασσας και της θραύσης των κυμάτων (Μουτζούρης, 2009). Με βάση αυτή τη μέθοδο μετά από κάποιες παρατηρήσεις και παραδοχές το μήκος κύματος υπολογίζεται από τον τύπο:

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

*Η επίλυση γίνεται με δοκιμές.*



## 2.2.6 Υπερπήδηση

Η αναρρίχηση και καταρρίχηση του κύματος εξαρτώνται τόσο από τα χαρακτηριστικά των προσπίπτοντων κυματισμών και την αλληλεπίδραση των τελευταίων με τους ανακλώμενους από την κατασκευή κυματισμούς, όσο και από την κλίση των επιπέδων πάνω στα οποία πραγματοποιούνται και την τραχύτητα και απορροφητικότητα των τελευταίων (CEM, 2006).

Στις κατασκευές στις οποίες το επίπεδο της αναρρίχησης ξεπερνά το επίπεδο της στέψης παρατηρείται το φαινόμενο της υπερπήδησης, που αποτελεί πηγή κυματικών διαταραχών για τις προστατευμένες περιοχές. Οι κυματικές διαταραχές που γεννιούνται από την υπερπήδηση είναι γενικώς μικρότερων περιόδων από τους προσπίπτοντες κυματισμούς (CEM, 2006).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ Ε.Μ.Π.

#### 3.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π. και ειδικότερα η δεξαμενή Δ1 μετα απαραίτητα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των πειραμάτων της παρούσας διπλωματικής και το αντίστοιχο λογισμικό.

Το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (Ε.Λ.Ε.), ένα από τα παλιότερα της σχολής Πολιτικών Μηχανικών και ένα από τα πιο σύγχρονα στην Ευρώπη, στεγάζεται σε κτίριο συνολικού εμβαδού 5.000 m<sup>2</sup> στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Εντός του εργαστηρίου είναι εγκατεστημένες δύο τρισδιάστατες δεξαμενές μεγάλων διαστάσεων (Δ1 και Δ2) καθώς και μία διώρυγα δοκιμών. Μεταξύ των δύο δεξαμενών βρίσκεται η αίθουσα ελέγχου, η οποία είναι εξοπλισμένη με τα κατάλληλα όργανα για την παραγωγή, την καταγραφή και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

#### 3.2 Δεξαμενή Δοκιμών Δ1

Η τρισδιάστατη δεξαμενή Δ1, στην οποία έλαβαν χώρα οι πειραματικές διαδικασίες για την παρούσα διπλωματική, έχει εξωτερικές διαστάσεις 26.80 m x 24.30 m x 1 m και συνολικό εμβαδόν 651 m<sup>2</sup>. Η κάτοψή της απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα 3.1.

Ένα σύστημα παραγωγής τυχαίων κυματισμών είναι εγκατεστημένο εντός κάθε δεξαμενής, το οποίο έχει τη δυνατότητα να παράγει μονοχρωματικούς και πραγματικούς κυματισμούς στην επιθυμητή κλίμακα του φυσικού προσομοιώματος που εξετάζεται. Το σύστημα αυτό ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή εντός της αίθουσας ελέγχου με κατάλληλο λογισμικό.

Τα τοιχώματα της δεξαμενής, ύψους ενός μέτρου, είναι επενδυμένα με λιθορριπή κατά μήκος όλων των πλευρών της. Η κλίση των λίθων αυτών είναι 1:2 και η κοκκομετρική τους διαβάθμιση κατάλληλη για απόσβεση προσπιπτόντων κυμάτων και επίτευξη χαμηλού συντελεστή ανάκλασης. Επιπρόσθετα η λιθορριπή είναι επενδυμένη με γεωύφασμα κοντά στις κυματογεννήτριες για την περεταίρω απορρόφηση των κυματισμών της εκεί περιοχής, μιας και η απόσταση συστήματος

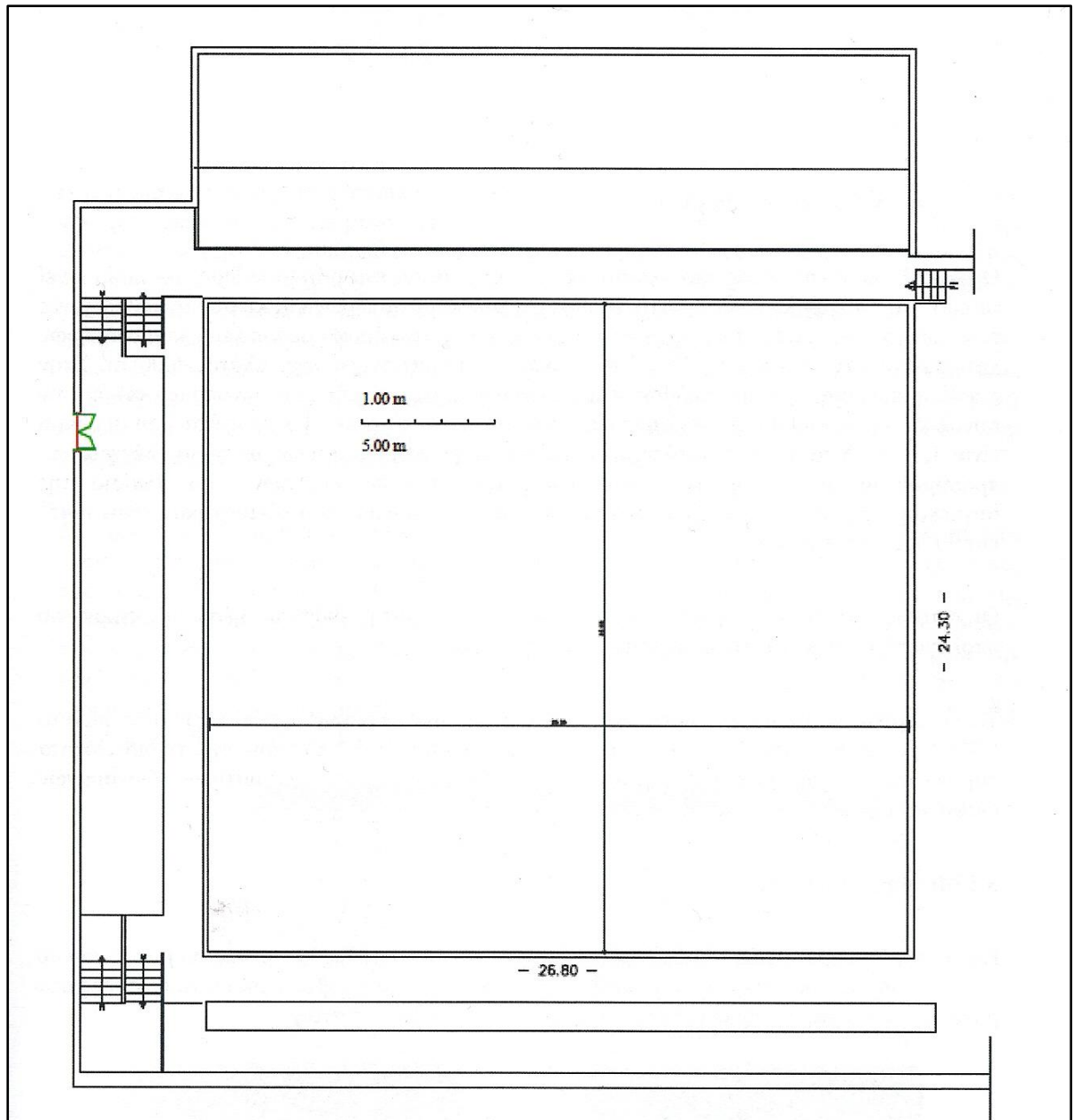


κυματισμών-τοιχώματος είναι σημαντικά μικρότερη συγκριτικά με τις υπόλοιπες πλευρές.

Ο πυθμένας της δεξαμενής είναι κατασκευασμένος από σκυρόδεμα και δίνει την δυνατότητα κατασκευής του εκάστοτε φυσικού προσομοιώματος που πρόκειται να μελετηθεί, με το αντίστοιχο ανάγλυφο του φυσικού πυθμένα, την διαμόρφωση βυθομετρίας και ισοβαθών στον επιθυμητό λόγο ομοιότητας, με τα επιθυμητά υλικά (π.χ. χαλαζιακή άμμος).



*Εικόνα 3.1: Δεξαμενή Δοκιμών Δ1 στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π.*



Σχήμα 3.1 Κάτοψη Δεξαμενής Δοκιμών Δ1 του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π.

### 3.3 Υδραυλικό σύστημα παραγωγής μονοχρωματικών και πραγματικών θαλάσσιων κυμάτων

Το εργαστήριο διαθέτει δύο συστήματα παραγωγής κυματισμών. Το καθένα από αυτά είναι εγκατεστημένο εντός κάθε δεξαμενής και κινείται υδραυλικά.

Αποτελείται από:

1. Τρεις κυματιστήρες
2. Υδραυλικό μηχανισμό – κινητήρα
3. Υδραυλικά έμβολα

4. Σύστημα ελέγχου
5. Ηλεκτρονικό υπολογιστή με κατάλληλο λογισμικό για τη δημιουργία σήματος διέγερσης κυματισμών

Κάθε κυματιστήρας αποτελείται από:

- Το μεταλλικό πλαίσιο στήριξης τους(χρώμα κίτρινο)
- Το κατακόρυφο μέτωπο παραγωγής κυμάτων (χρώμα γαλάζιο), διαστάσεων 6.00 m x 1.20 m
- Υδραυλικά έμβολα που κινούν το μέτωπο παραγωγής κυμάτων (χρώμα κόκκινο)



*Εικόνα 3.2: Όψη των τριών κυματιστήρων που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις*

Ο υδραυλικός μηχανισμός αποτελείται από μία αντλία και μία δεξαμενή λαδιού, η οποία κινεί τα παραπάνω υδραυλικά έμβολα. Τα έμβολα αυτά κινούν τους βραχίονες των κυματογεννητριών, οι οποίες με τη σειρά τους δίνουν μία ταυτόχρονη κίνηση στα αντίστοιχα μέτωπα κάθε κυματιστήρα.



Έτσι στην παρούσα εργασία υπήρξε η δυνατότητα ταυτόχρονης κίνησης τριών κατακόρυφων μετώπων συνολικής διάστασης 18.00 x 1.20 m για την παραγωγή κυματισμών από δύο διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης ( $\phi=45^\circ$  και  $\phi=90^\circ$ ) ως προς την ακτή του προσομοιώματος.



*Εικόνα 3.3: Κυματιστήρες που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις σε διεύθυνση  $45^\circ$*

Το σύστημα ελέγχου αλληλοσυνδέει το σύστημα κυματιστήρων-κινητήρων-εμβόλων με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή της αίθουσας ελέγχου και έτσι δίνει σήμα από το λογισμικό μέσω ενός μετατροπέα. Το σήμα αυτό φιλτράρεται, εξομαλύνεται και διοχετεύεται στα υδραυλικά έμβολα των κυματιστήρων. Επίσης στέλνει πίσω στον υπολογιστή τον έλεγχο της διαδικασίας αυτής ως το λεγόμενο feedback.

Πηγή παραγωγής των κυματισμών μπορεί να χαρακτηριστεί ο ηλεκτρονικός υπολογιστής στο controlroom, ο οποίος μέσω του software στέλνει στο σύστημα ελέγχου το κατάλληλο σήμα, για να μετατραπεί στο «κατάλληλο κύμα».

Το πακέτο λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την εργασία αυτή είναι το WAVEGENSD (HRWaveMakerWavegenerationcontrolprogram) της HRWallingford (U.K.), με δυνατότητα παραγωγής μονοχρωματικών (ημιτονοειδών) κυματισμών και φασματικών διαταραχών διαφόρων μορφών-τυχαίων κυματισμών.

Παράμετροι εισαγωγής στο πρόγραμμα για δημιουργία κυματισμών ήταν:

- Ο τύπος του φάσματος προσομοιωμένου κυματισμού
- Τούψος και η περίοδος του κύματος (Ηθεωρητικό και  $T_p$ )
- Η κλίμακα ομοιότητας

### 3.4 Μετρητές κυματισμών

Για την διαδικασία των πειραμάτων και την καταγραφή όλων των μετρήσεων της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν οκτώ μετρητές κύματος με ηχοβολιστικούς αισθητήρες εντός της λιμενολεκάνης (ch1-8) τρεις μετρητές τύπου αντιστάσεως για μετρήσεις στα βαθιά νερά (ονομασίες μετρητών M1, M2, M3) .

A) Ηχοβολιστικοί μετρητές:

Οι ηχοβολιστικοί μετρητές εκτελούν την διαδικασία εκπομπής ηχητικού σήματος μέσω ενός οφθαλμού που διαθέτουν στο στόμιό τους και μέτρησης του χρόνου εκπομπής-επιστροφής του (εικόνα 3.4). Το σήμα αυτό εκπέμπεται, αντανακλάται στην υδατική επιφάνεια και επιστρέφει στο στόμιο. Γι' αυτό αναγκαίο είναι ο μετρητής να τοποθετείται κατακόρυφα, δηλαδή κάθετα ως προς την υδατική επιφάνεια, για σωστή ανάκλαση του ηχητικού σήματος και τη μέτρηση της πραγματικής απόστασης οφθαλμού – επιφάνειας. Η χρονική διάρκεια της διαδικασίας αυτής βαθμονομείται και μετατρέπεται αυτόματα σε απόσταση μέσω ενός πρόσθετου μετρητή ήχου υψηλής ακρίβειας, ο οποίος τοποθετείται σε σημείο κοντά στους υπόλοιπους μετρητές, ώστε να μην δέχεται παρεμβολές. Έτσι λαμβάνονται υπόψιν η υγρασία, η πυκνότητα του αέρα στο σημείο των μετρήσεων και μέσω της εκπομπής ήχων κατά μήκος μίας διόδου ιδανικά παράλληλης προς την δεξαμενή η βαθμονόμηση γίνεται σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες και με μεγαλύτερη ακρίβεια, δίνοντας έτσι πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.



Εικόνα 3.4: Ηχοβολιστικοί μετρητές

Μία τέτοια επαναληπτική διαδικασία κρατάει 10 ms, άρα η δειγματοληψία σε πειραματικές διαδικασίες 10 – 20 λεπτών είναι ικανοποιητικά μεγάλη. Γεννάται όμως το ερώτημα πώς μπορεί η μεταβαλλόμενη απόσταση αυτή κατά την διαδικασία των κυματισμών να μετατραπεί σε στοιχεία κύματος: Η πρώτη μέτρηση στην αρχή κάθε μέρας πειραμάτων ήταν υπό συνθήκες άπνοιας (μέτρηση του «μηδέν»), χωρίς να έχει ενεργοποιηθεί κανένας κυματισμός, έτσι ώστε το ύψος του κύματος ανά πάσα στιγμή μέτρησης να μπορεί να δοθεί από μια απλή αφαίρεση και να αποφευχθούν μεταβολές της στάθμης του νερού στη δεξαμενή, λόγω διαφορετικών καιρικών συνθηκών από μέρα σε μέρα.

Οι μετρητές συνδέονται με αδιάβροχα καλώδια στον οχτακάναλο (εννιακάναλο μαζί με το κανάλι καταγραφής ταχύτητας του ήχου) ενισχυτή ULTRALAB\_ULS, που επιτρέπει ταυτόχρονη και συγχρονισμένη καταγραφή δεδομένων οχτώ εισόδων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η συλλογή, η αρχή και το πέρας καταγραφής των δεδομένων γίνεται μέσω του λογισμικού πακέτου HF108TOWVD και του Ενισχυτή ULTRALAB\_ULS της GeneralAcoustics. Η αποθήκευσή τους γίνεται σε αρχείο .txt ( Εικόνα 3.5).



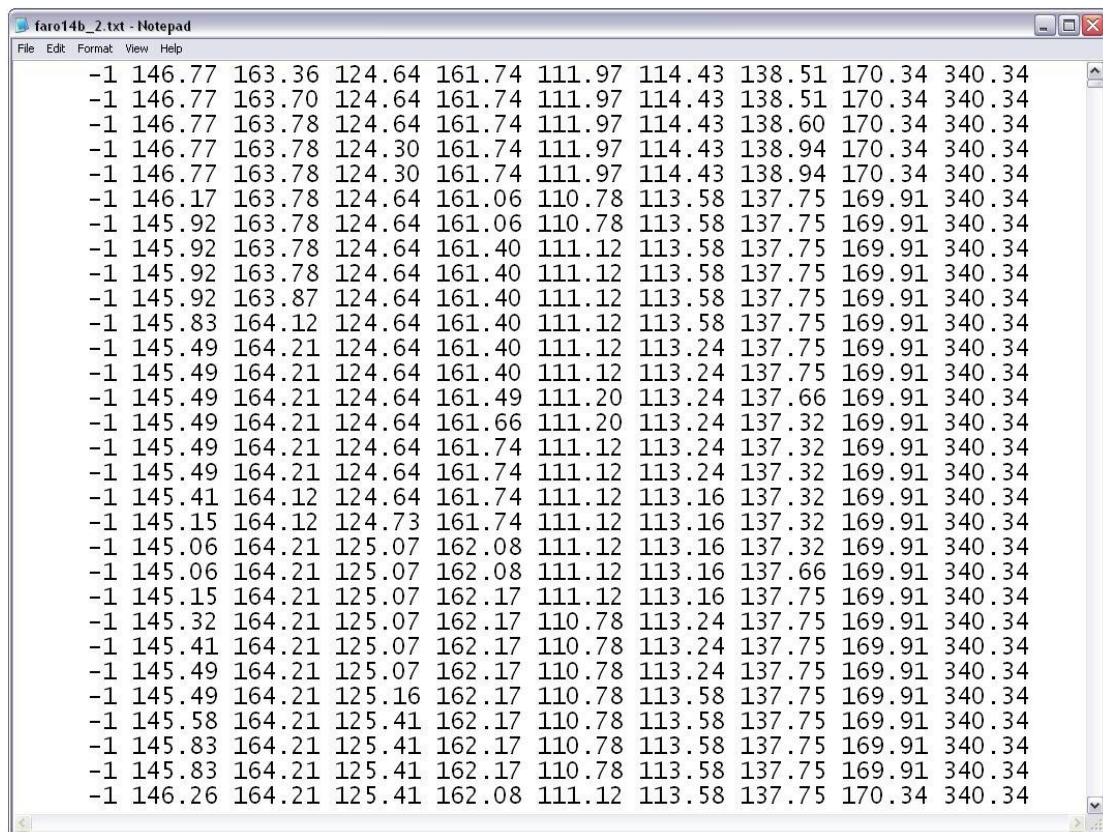
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-1 129.49	168.37	177.33	157.89	138.87	157.13	151.81	160.68	338.11	
-1 129.49	168.37	177.33	157.89	138.87	157.13	151.81	160.68	338.11	
-1 129.49	168.37	177.33	157.89	138.87	157.13	151.81	160.68	338.11	
-1 129.49	168.37	177.33	157.89	138.87	157.13	151.81	160.68	338.11	
-1 129.15	168.37	177.33	157.89	138.87	157.13	151.81	160.68	338.11	
-1 129.07	168.37	177.33	157.89	138.87	157.13	151.89	160.68	338.11	
-1 128.65	168.37	177.33	157.89	138.87	157.13	152.23	160.68	338.11	
-1 128.31	168.37	177.33	157.89	138.87	157.13	152.23	160.68	338.11	
-1 128.22	168.37	177.33	157.89	139.13	157.13	152.23	160.68	338.11	
-1 127.97	168.04	177.33	157.89	139.21	157.13	152.23	161.02	338.11	
-1 127.89	167.95	177.33	157.89	139.21	157.13	152.23	161.10	338.11	
-1 127.89	167.95	177.42	157.89	139.21	157.13	152.23	161.10	338.11	
-1 127.89	167.95	177.67	157.89	139.21	157.13	152.23	161.10	338.11	
-1 127.80	167.95	177.67	157.89	139.21	157.13	152.23	161.10	338.11	
-1 127.55	167.95	177.67	157.89	139.21	157.13	152.23	161.10	338.11	
-1 127.55	167.95	177.67	157.89	139.21	157.13	152.23	161.10	338.11	
-1 127.55	168.04	177.67	157.89	139.21	157.13	152.23	161.10	338.11	
-1 127.55	168.37	177.67	157.89	139.21	157.13	152.23	161.10	338.11	
-1 127.89	168.37	177.67	157.89	139.21	157.13	152.23	161.10	338.11	
-1 127.89	168.37	177.67	157.89	139.21	157.39	152.23	161.10	338.11	
-1 127.97	168.37	177.67	157.89	139.21	157.13	152.14	161.10	338.11	
-1 128.22	168.37	177.33	157.89	139.21	157.13	151.89	161.10	338.11	
-1 128.31	168.37	177.33	157.89	139.21	157.05	151.89	161.10	338.11	
-1 128.65	168.37	177.33	157.89	139.21	157.05	151.89	161.10	338.11	
-1 128.65	168.37	177.33	157.89	139.21	157.05	151.89	161.10	338.11	
-1 128.65	168.37	177.33	157.89	139.21	157.05	151.81	161.10	338.11	
-1 128.65	168.37	177.33	157.89	139.21	157.05	151.81	161.10	338.11	
-1 128.65	168.37	177.33	157.89	139.21	157.05	151.81	161.10	338.11	
-1 128.73	168.37	177.33	157.89	139.21	157.05	151.81	161.10	338.11	
-1 129.07	168.37	177.33	157.89	139.21	157.05	151.81	161.10	338.11	

Εικόνα 3.5: Καταγραφή δεδομένων από ηχοβολιστικούς μετρητές

Η πρώτη στήλη αποτελεί την λεγόμενη «σφραγίδα του χρόνου», παίρνοντας την τιμή -1 και διαχωρίζοντας κάθε αυτοτελή συγχρονισμένη μέτρηση, οι επόμενες 8 στήλες καταγράφουν τις αποστάσεις οφθαλμού μετρητή – επιφάνειας νερού σε mm και η τελευταία εμφανίζει την ταχύτητα του ήχου από τον μετρητή «ταχύτητας του ήχου».

Το συγκεκριμένο σύστημα έχει ικανότητα μέτρησης οφθαλμού-στάθμης επιφάνειας από 30 έως 250 mm, και λόγω της υψηλής ακρίβειας του πολλές παρεμβολές θορύβου μπορούν να επηρεάσουν και να επηρεάσουν τις τιμές των αποστάσεων αυτών. Τέτοιες περιπτώσεις θορύβου μπορεί να είναι φυσαλίδες στην επιφάνεια του νερού, άλατα, ή αντανάκλασεις από σιδερένιους προβόλους που χρησιμοποιήθηκαν εντός της λιμενολεκάνης, πράγμα που έκανε αναγκαία την επένδυση της πάνω πλευράς αυτών με υλικό τραχύ – μη ανακλαστικό.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η σύγκριση και η διαφορά στην ταχύτητα του ήχου, που επηρεάζει την εσωτερική βαθμονόμηση στις μετρήσεις μιας άλλης μέρας, σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες και θερμοκρασία. Συγκριτικά στις εικόνες 3.5 και 3.6 η ταχύτητα του ήχου είναι 338.11 έναντι 340.34 m/s.



```
far014b_2.txt - Notepad
File Edit Format View Help
-1 146.77 163.36 124.64 161.74 111.97 114.43 138.51 170.34 340.34
-1 146.77 163.70 124.64 161.74 111.97 114.43 138.51 170.34 340.34
-1 146.77 163.78 124.64 161.74 111.97 114.43 138.60 170.34 340.34
-1 146.77 163.78 124.30 161.74 111.97 114.43 138.94 170.34 340.34
-1 146.77 163.78 124.30 161.74 111.97 114.43 138.94 170.34 340.34
-1 146.17 163.78 124.64 161.06 110.78 113.58 137.75 169.91 340.34
-1 145.92 163.78 124.64 161.06 110.78 113.58 137.75 169.91 340.34
-1 145.92 163.78 124.64 161.40 111.12 113.58 137.75 169.91 340.34
-1 145.92 163.78 124.64 161.40 111.12 113.58 137.75 169.91 340.34
-1 145.92 163.87 124.64 161.40 111.12 113.58 137.75 169.91 340.34
-1 145.83 164.12 124.64 161.40 111.12 113.58 137.75 169.91 340.34
-1 145.49 164.21 124.64 161.40 111.12 113.24 137.75 169.91 340.34
-1 145.49 164.21 124.64 161.40 111.12 113.24 137.75 169.91 340.34
-1 145.49 164.21 124.64 161.49 111.20 113.24 137.66 169.91 340.34
-1 145.49 164.21 124.64 161.66 111.20 113.24 137.32 169.91 340.34
-1 145.49 164.21 124.64 161.74 111.12 113.24 137.32 169.91 340.34
-1 145.49 164.21 124.64 161.74 111.12 113.24 137.32 169.91 340.34
-1 145.41 164.12 124.64 161.74 111.12 113.16 137.32 169.91 340.34
-1 145.15 164.12 124.73 161.74 111.12 113.16 137.32 169.91 340.34
-1 145.06 164.21 125.07 162.08 111.12 113.16 137.32 169.91 340.34
-1 145.06 164.21 125.07 162.08 111.12 113.16 137.66 169.91 340.34
-1 145.15 164.21 125.07 162.17 111.12 113.16 137.75 169.91 340.34
-1 145.32 164.21 125.07 162.17 110.78 113.24 137.75 169.91 340.34
-1 145.41 164.21 125.07 162.17 110.78 113.24 137.75 169.91 340.34
-1 145.49 164.21 125.07 162.17 110.78 113.24 137.75 169.91 340.34
-1 145.49 164.21 125.16 162.17 110.78 113.58 137.75 169.91 340.34
-1 145.58 164.21 125.41 162.17 110.78 113.58 137.75 169.91 340.34
-1 145.83 164.21 125.41 162.17 110.78 113.58 137.75 169.91 340.34
-1 145.83 164.21 125.41 162.17 110.78 113.58 137.75 169.91 340.34
-1 146.26 164.21 125.41 162.08 111.12 113.58 137.75 170.34 340.34
```

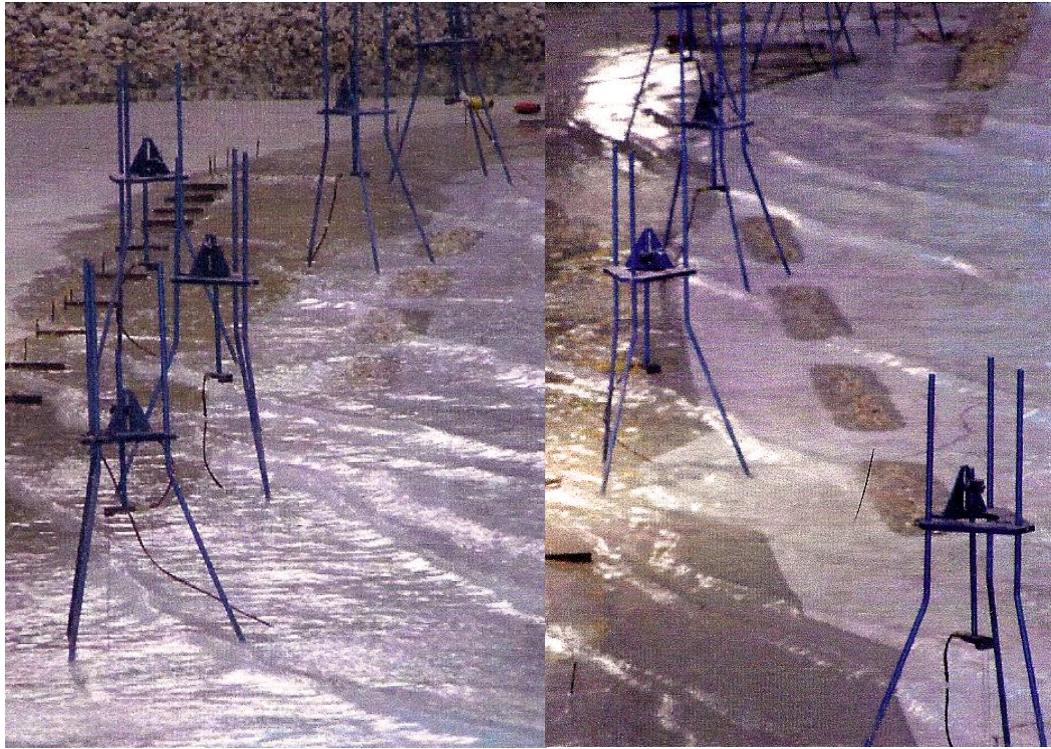
Εικόνα 3.6: Καταγραφή δεδομένων μετά από αφαίρεση και επανατοποθέτηση των ηχοβολιστικών μετρητών εντός του προσομοιώματος.

## Β) Μετρητές τύπου αντίστασης:

Αποτελούνται από δύο πόλους (σύρματα), στηριζόμενους σε μέλος το οποίο εδράζεται σε βάση τρίποδου. Συνδέονται μέσω καλωδίων με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή στην αίθουσα ελέγχου (controlroom), όπου και αποθηκεύονται οι μετρήσεις τους. Η διαδικασία της μέτρησης είναι η στιγμιαία μεταβολή της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους δύο πόλους, η οποία με την κατάλληλη βαθμονόμηση μετατρέπεται σε διαφορά στάθμης ύδατος.

Η βαθμονόμηση και ο καθαρισμός των μετρητών π.χ. από άλατα είναι απαραίτητες ενέργειες για την σωστή λήψη και μετάφραση των δεδομένων που συλλέγονται και γίνονται πριν την έναρξη των πειραμάτων που λαμβάνουν χώρα εντός της ίδιας ημέρας από ειδικό του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π.





*Εικόνα 3.7: Μετρητές τύπου αντίστασης \**

*(\* πηγή Σταύρου Ε. 2006, Μελέτη σε Φυσικό Προσωμοίωμα για την Προστασία και βελτίωση των ακτών Κάτω Πύργου Τηλλυρίας Κύπρου)*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΚΑΙ Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

#### 4.1 Κλίμακες ομοιότητας

Όλα τα υδραυλικά μοντέλα, έτσι και το φυσικό προσομοίωμα που εξετάστηκε, σπάνια και πολύ δύσκολα θα μπορούσαν να κατασκευαστούν στις ίδιες διαστάσεις με το πρωτότυπο εξεταζόμενο φυσικό (ή θεωρητικό) τμήμα. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε γενικά πέρα από άκρως δαπανηρό να θεωρηθεί και ανέφικτο.

Γι' αυτό το λόγο υπεισέρχεται στην κατάσταση αυτή η έννοια της κλίμακας ομοιότητας. Κλίμακα ομοιότητας ορίζεται ως ο λόγος της τιμής μιας παραμέτρου στο εξεταζόμενο προσομοίωμα ως προς την αντίστοιχη τιμή της παραμέτρου στη φύση.

$$\text{παραμέτρου} = \text{τιμή στο προσομοίωμα} / \text{τιμή στις πραγματικές διαστάσεις}$$

Έτσι η κατάλληλη εκλογή λόγων ομοιότητας για τις διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν το μοντέλο αυτό, όπως οι διαστάσεις (μήκος, πλάτος, ύψος), αλλά και ο όγκος, η δύναμη, ο χρόνος θα μπορέσει να βοηθήσει στην εκπόνηση πειραμάτων. Το ζητούμενο είναι η όσο το δυνατόν ικανοποιητικότερη ακρίβεια αποτελεσμάτων, ανάλογα με τις υποδομές που κατέχει ο μελετητής, όπως τα μηχανήματα ή οι διαστάσεις των εργαστηριακών εγκαταστάσεων εφαρμοσμένες σε ένα προσομοίωμα που θυμίζει και ανταποκρίνεται σε ένα φυσικό φαινόμενο.

Οι παράμετροι αυτές θα ήταν εύκολο να μπορούσαν να εξεταστούν όλες υπό μία δεδομένη κλίμακα ομοιότητας. Επειδή όμως κάτι τέτοιο είναι ανέφικτο, παρά μόνο σε ένα μοντέλο πραγματικών διαστάσεων. Η προσομοίωση υδροδυναμικών μηχανισμών, όπως η περίθλαση, η ανάκλαση και η διάθλαση μπορούν να εξεταστούν υπό την λεγόμενη «ομοιότητα κατά Froude».

Ομοιότητα κατά Froude είναι ένας αδιάστατος αριθμός που ορίζεται ως προς το πηλίκο μίας χαρακτηριστικής ταχύτητας ως προς της ταχύτητα ενός κύματος βαρύτητας και είναι βασισμένη στο λόγο ταχύτητας-μήκους. Απαιτεί ίδια κλίμακα ομοιότητας στο οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο, δηλαδή

$$\lambda = \lambda_x = \lambda_y = \lambda_z$$

όπου  $\lambda = 100$  στο συγκεκριμένο προσομοίωμα.

Ο αριθμός Froude συμβολίζεται με  $F_r$  και ισούται με:

$Fr = \frac{v}{c}$	$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$
Όπου $v$ η χαρακτηριστική ταχύτητα (m/s) $c$ η ταχύτητα διάδοσης κύματος (m/s)	Όπου $v$ η χαρακτηριστική ταχύτητα (m/s) $g$ η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s <sup>2</sup> ) $L$ το χαρακτηριστικό μήκος (m)

Θα πρέπει να ισχύει

$$Fr_{\text{προσομοιώματος}} = Fr_{\text{πρωτοτύπου}}$$

Με βάση αυτά προκύπτει ο πίνακας 4.1:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΚΛΙΜΑΚΑ	ΤΙΜΗ
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΜΗΚΟΣ	$\lambda_x = \lambda_y = \lambda$	100
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΜΗΚΟΣ	$\lambda_z = \lambda$	100
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	$\lambda_\tau = \lambda^{1/2}$	10
ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	$\lambda_h = \lambda$	100
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	$\lambda_v = \lambda^{1/2}$	10
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ	$\lambda_a = \lambda$	1
ΜΑΖΑ	$\lambda_m = \lambda^3$	1.000.000
ΟΓΚΟΣ	$\lambda_V = \lambda^3$	1.000.000
ΔΥΝΑΜΗ	$\lambda_F = \lambda^3$	1.000.000

Πίνακας 4.1: Λόγοι ομοιότητας παραμέτρων

## 4.2 Κατασκευή προσομοιώματος

Στόχος της κατασκευής του υδροδυναμικού μοντέλου ήταν η προσομοίωση λιμανιού μίας τυπικής διάταξης λιμένα, υπό κλίμακα  $\lambda=100$  και ως προς τις τρεις διαστάσεις ( $\lambda_x=\lambda_y=\lambda_z$ ). Ένα τέτοιο μοντέλο δεν προσομοιάζει την υπόσταση ή την μελέτη ενός υπαρκτού λιμανιού με συγκεκριμένες τοπικές συνθήκες, όπως βυθομετρία, ακτογραμμή κλπ., αλλά αποτελεί ένα γενικό-θεωρητικό project.

Η μορφή του λιμένα είναι τραπεζοειδής με παράλληλες πλευρές κάθετες στην ακτή και την πλευρά του προσήνεμου μώλου με μία κλίση της τάξεως των 7 μοιρών ως προς την ακτογραμμή εντός της λιμενολεκάνης. Η είσοδος του λιμένα, πλάτους  $b=106\text{m}$  (προσομοίωμα  $b=1.06\text{m}$ ), βρίσκεται στην πάνω αριστερή πλευρά του λιμανιού και σύμφωνα με τον προσανατολισμό από τα σχέδια στα ανατολικά. Οι εξωτερικές πλευρές του λιμένα είναι «χονδρικά»  $AB=322\text{m}$ ,  $BF=435\text{m}$ ,  $\Gamma\Delta=274\text{m}$  και  $\Delta A=440\text{m}$  (προσομοίωμα  $AB=3.22\text{m}$ ,  $BF=4.35\text{m}$ ,  $\Gamma\Delta=2.74\text{m}$  και  $\Delta A=4.40\text{m}$ ) καλύπτοντας έτσι ένα εμβαδόν κοντά στα  $130.000\text{m}^2$  (μοντέλο  $13\text{ m}^2$ ). Επισημαίνεται ότι η είσοδος του λιμανιού έχει πλάτος, το οποίο είναι ίσο με την προέκταση του προσήνεμου μώλου που κατασκευάστηκε στην συνέχεια των πειραμάτων.

Η ήπια κλίση βυθομετρία κατασκευάστηκε από ελαφρύ σκυρόδεμα και επενδύθηκε εκτός της λιμενολεκάνης από άμμο κατάλληλης διατομής και διαλογής πάχους 3cm φτάνοντας έτσι μέχρι την ισοβαθή των  $-12\text{m}$  (βάθος στο προσομοίωμα  $12\text{cm}$ ). Ο πυθμένας εντός του λιμανιού παρέμεινε από σκυρόδεμα. Το μέγιστο βάθος του νερού στο προσομοίωμα της δεξαμενής ύψους 1m ήταν  $18\text{cm}$  (πραγματικό βάθος  $18\text{m}$  δηλαδή) και αντιστοιχεί στα βαθιά νερά.

Η ακτογραμμή οροθετήθηκε με χρωματιστό νήμα. Οι ογκόλιθοι του λιμανιού προσομοιώθηκαν με ασβεστολιθικές πέτρες κατάλληλου μεγέθους κλίμακας, μορφής και κοκκομετρίας, για να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Η κλίση τους επίσης δηλώνει την επιθυμητή απορρόφηση των προσπιπτόντων κυμάτων και την επίτευξη χαμηλού συντελεστή ανάκλασης.

Τέλος χρησιμοποιήθηκαν σιδερένιοι πάσσαλοι μήκους  $1\text{m}$  και ορθογωνικής διατομής ως προσομοίωση μώλων-προβόλων από σκυρόδεμα εντός της λιμενολεκάνης. Η άνω πλευρά τους επενδύθηκε με υλικό τραχιάς επιφάνειας, για την αποφυγή ανεπιθύμητων ηχητικών αντανακλάσεων στους ηχοβολιστικούς μετρητές, μιας και η θέση μετρήσεων ήταν πολύ κοντά και εκατέρωθεν στους προβόλους αυτούς.

### 4.3 Διατάξεις Έργων

Ελέγχθηκαν τέσσερις διατάξεις έργων

Οι παράμετροι που εξετάστηκαν στα πειράματα ως προς την διάταξη του λιμένα ήταν δύο:

- Η ύπαρξη ή όχι προβόλων εντός της λιμενολεκάνης
- Η προέκταση του προσήνεμου μώλου κατά  $b=106$  cm

Οι μετρήσεις που εκτελέστηκαν συμπεριέλαβαν τέσσερις διατάξεις έργων χωρισμένες σε δύο ομάδες διατάξεων. Κωδικές ονομασίες για τις διατάξεις αυτές είναι οι L.1.1, L.1.2, L.2.1 και L.2.2. Το κάθε ψηφίο εκφράζει την τιμή της παραμέτρου στην συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία. Έτσι:

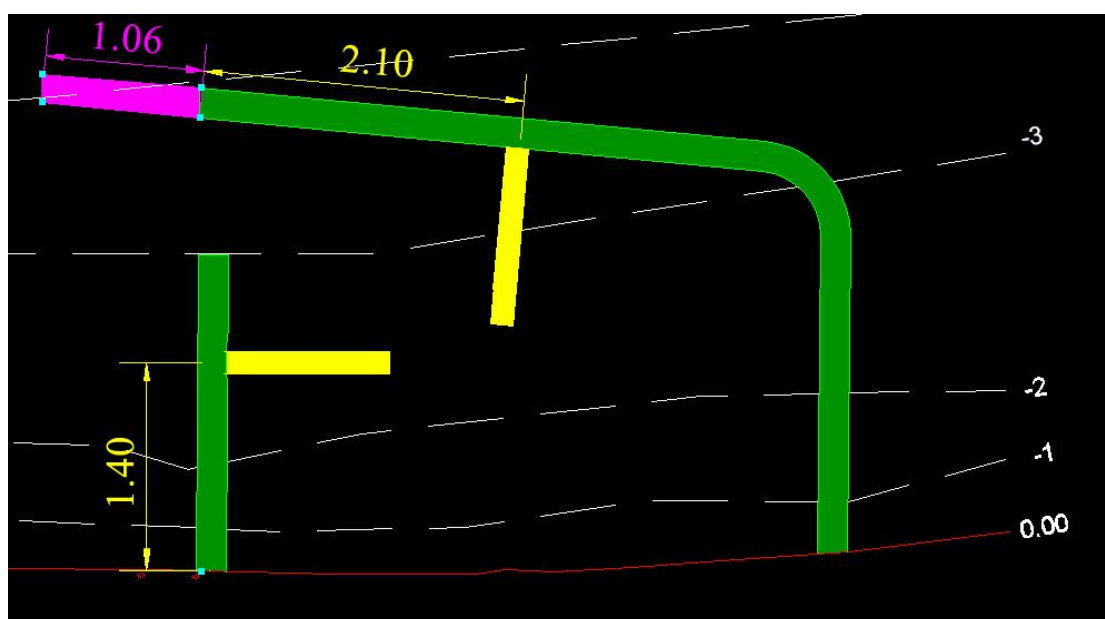
L.1.\* μη προέκταση προσήνεμου

L.2.\* προέκταση προσήνεμου

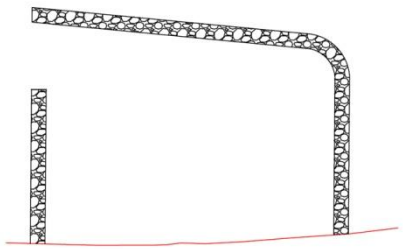
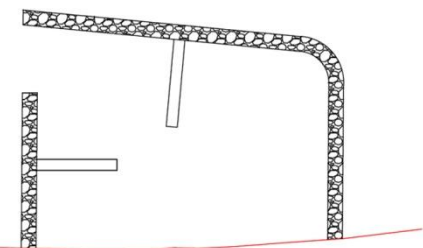
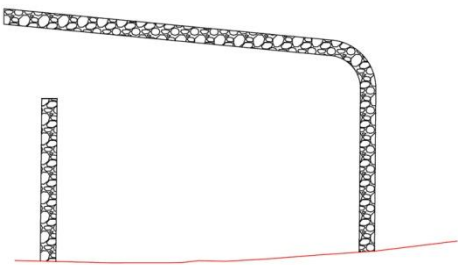
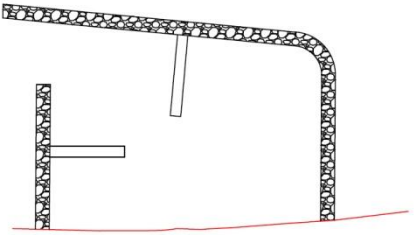
L.\*.1 χωρίς προβόλους

L.\*.2 με προβόλους

Η ακριβής θέση των μώλων-προβόλων στο λιμάνι, καθώς και η προέκταση κατά  $b$  φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.2):

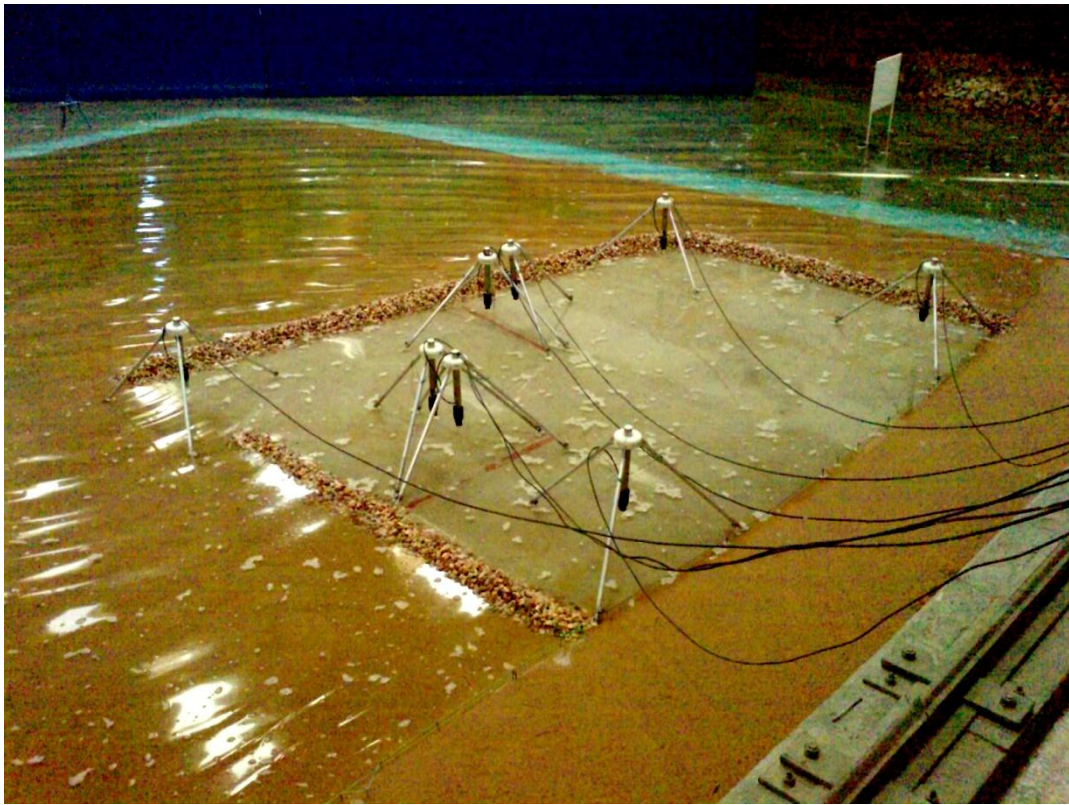


Σχήμα 4.2: Ακριβείς θέσεις πρόσθετων έργων

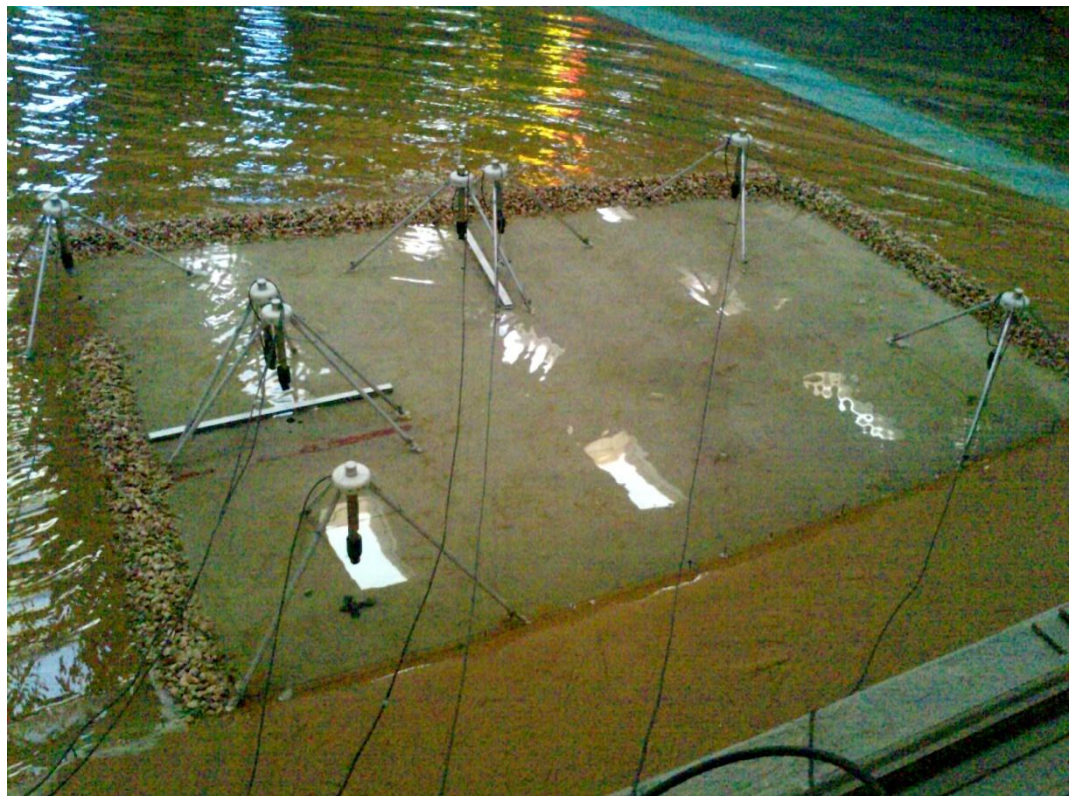
<p>L.1.1</p> 	<p>Αρχική διάταξη πειράματος</p>
<p>L.1.2</p> 	<p>Προσθήκη δύο προβόλων εντός της λιμενολεκάνης στην αρχική διάταξη</p>
<p>L.2.1</p> 	<p>Προέκταση του προσήνεμου κατά <math>b=106\text{cm}</math> στην αρχική διάταξη</p>
<p>L.2.2</p> 	<p>Προέκταση του προσήνεμου κατά <math>b=106\text{cm}</math> και προσθήκη δύο προβόλων εντός της λιμενολεκάνης στην αρχική διάταξη</p>

Σχήμα 4.1: Οι διατάξεις των μετρήσεων





*Εικόνα 4.1: Διάταξη L.1.1*

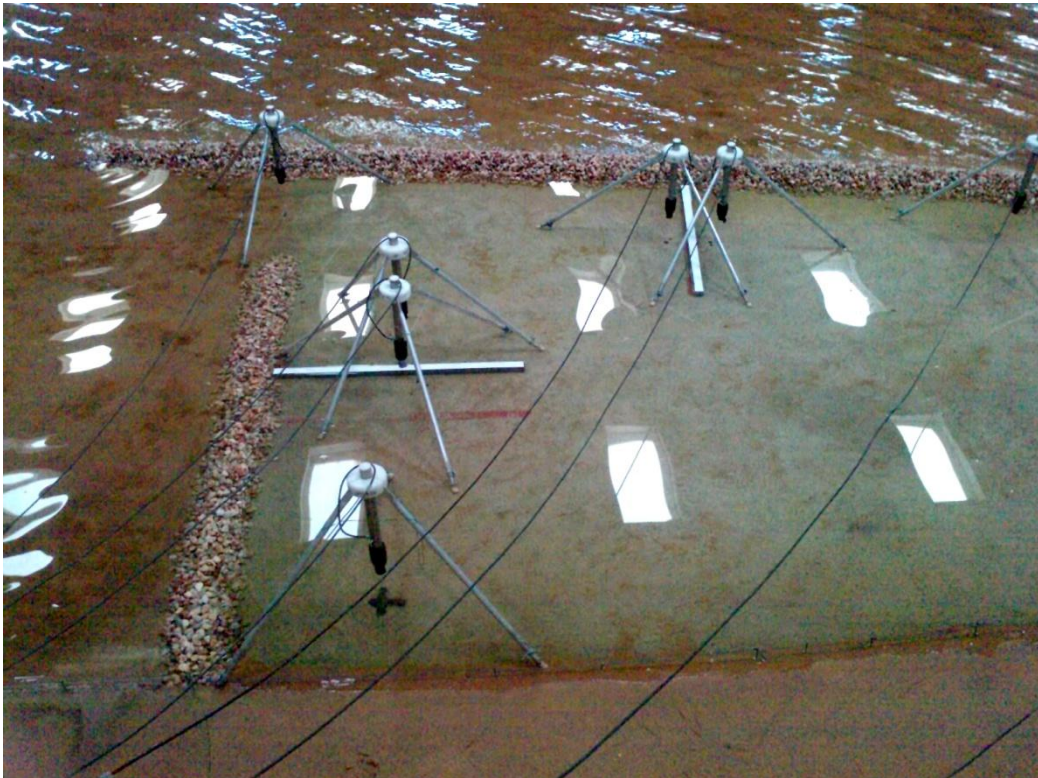




Εικόνα 4.2: Διάταξη L.1.2



Εικόνα 4.3: Διάταξη L.2.1



Εικόνα 4.4: Διάταξη L.2.2





Οι μετρητές 4,7,8 τέλος τοποθετήθηκαν στις τρεις εσωτερικές γωνίες του λιμανιού.



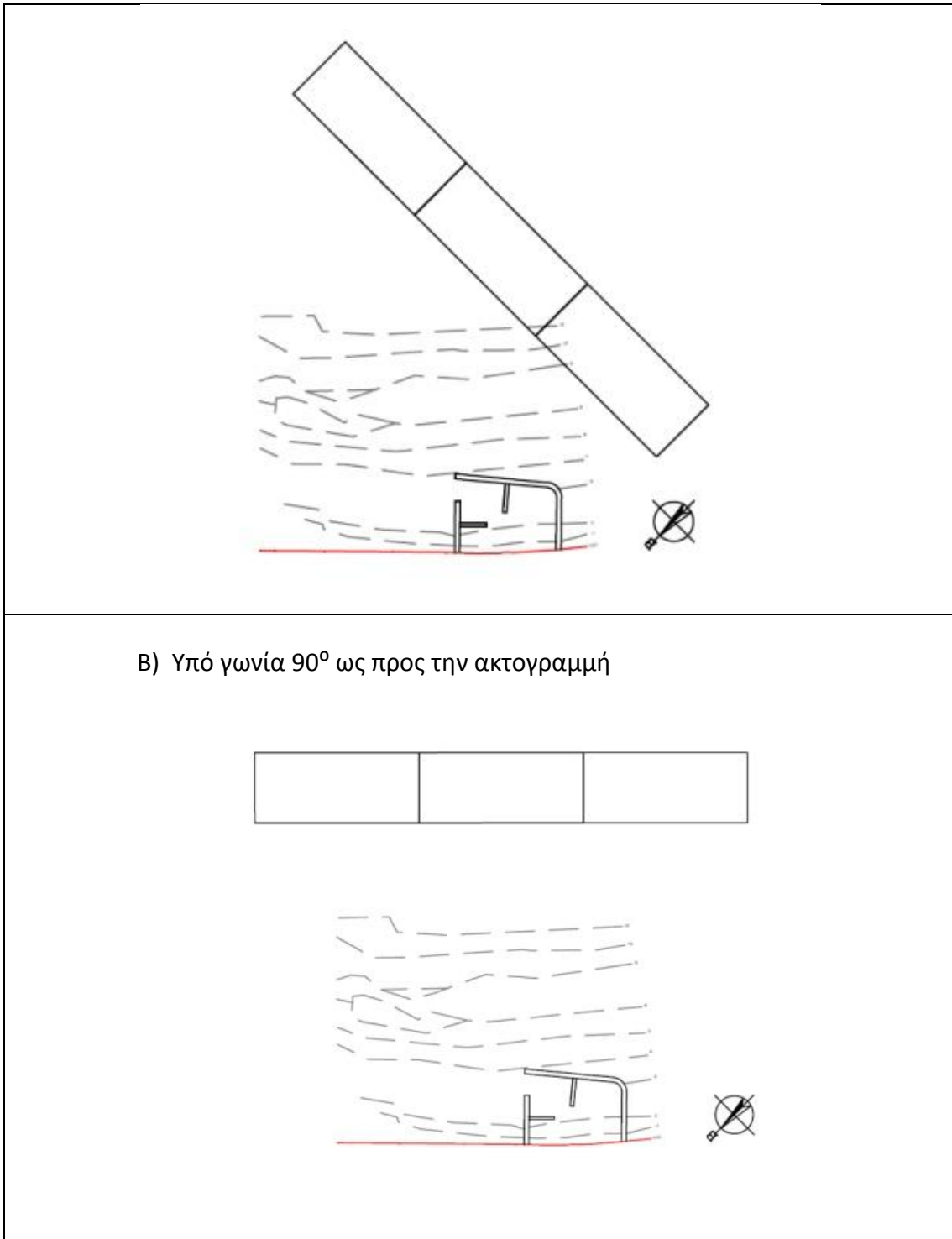
Εικόνα 4.5: Τοποθέτηση ηχοβολιστικών μετρητών στο προσομοίωμα

#### 4.5 Διεύθυνση προσπτώσεως κυματισμών

Η κάθε διάταξη έργων ελέγχθηκε σε δύο δοθείσες διευθύνσεις κυμάτων υπό γωνία  $\phi=45^\circ$  και  $\phi=90^\circ$ . Η γωνία αυτή αποτελεί την τρίτη παράμετρο του πειράματος και η κωδική ονομασία μέτρησης εκφράζεται ως L.\*.\*.1 και L.\*.\*.2 για κάθε περίπτωση.

Παραδείγματος χάριν L.1.2.2 σημαίνει διάταξη 1, με προβόλους εντός λεκάνης και γωνία πρόσπτωσης  $\phi=90^\circ$

A) Υπό γωνία  $45^\circ$  ως προς την ακτογραμμή



Σχήμα 4.4: Γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών

#### 4.6 Οι κυματισμοί που επιλέχθηκαν

Για την διαδικασία των μετρήσεων επιλέχθηκαν τέσσερις ομάδες τυχαίων κυματισμών ίδιας περιόδου αιχμής με τρία διαφορετικά ύψη κύματος για την κάθε μία (συνολικά 12). Οι τιμές των περιόδων αυτών κυμάνθηκαν από 5,614 έως 8.612 sec και τα Ηθεωρητικά από 1.36 έως 5.00 m και στη συνέχεια υπολογίστηκαν υπό την πρωτότυπου επιλυθείσα κλίμακα.

	ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ					ΜΟΝΤΕΛΟ (ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100)		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	H (m)	Tp (sec)	Tmin (sec)	Tmax (sec)	Fp (Hz)	H (mm)	Tp (sec)	Fp (Hz)
Fa1.1	1.36	5.614	4.701	7.141	0.178	13.60	0.561	1.781
Fa1.2	<b>1.70</b>					<b>17.00</b>		
Fa1.3	2.13					21.30		
Fa2.1	1.87	6.587	5.515	8.379	0.152	18.70	0.659	1.518
Fa2.2	<b>2.34</b>					<b>23.40</b>		
Fa2.3	2.93					29.30		
Fa3.1	2.48	7.581	6.348	9.644	0.132	24.80	0.758	1.319
Fa3.2	<b>3.10</b>					<b>31.00</b>		
Fa3.3	3.88					38.80		
Fa4.1	3.20	8.612	7.211	10.954	0.116	32.00	0.861	1.161
Fa4.2	<b>4.00</b>					<b>40.00</b>		
Fa4.3	5.00					50.00		

Πίνακας 4.2 Παράμετροι Ηθεωρητικό και Τρστο πρωτότυπο και το υδροδυναμικό μοντέλο

Στον παραπάνω πίνακα συνοψίζονται όλες οι θεωρητικές τιμές παραμέτρων Ηθεωρητικό και Τρ που εισήχθησαν στο λογισμικό παραγωγής κυματισμών, σε συνθήκες πρωτοτύπου και κλίμακας. Οι κυματισμοί που τελικά μετρήθηκαν στα βαθιά επεξεργάζονται και μελετώνται στο επόμενο κεφάλαιο.

Έτσι αρχικά δημιουργήθηκαν αρχεία λογισμικού παραγωγής κυμάτων, λαμβάνοντας υπόψιν τις κλίμακες ομοιότητας Froudeγια τις παραμέτρους Ηθεωρητικό και Τρ, για να παραχθούν στη συνέχεια τυχαίοι κυματισμοί φάσματος τύπου JONSWAP με κλίση 3.3 .

#### 4.7 Εκτελεσθέντα πειράματα

##### ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ:

1. Ύψος κύματος  $H_s$
2. Περίοδος κύματος  $T_p$
3. Γωνία πρόσπτωσης κυμάτων  $\Phi$
4. Πρόβολοι στο εσωτερικό λιμένα
5. Επέκταση προσήνεμου κατά  $b=106$  m (όσο το άνοιγμα του λιμένα)

Οι παράμετροι 1 και 2 είναι εξαρτημένες ενώ η 1 με τις 3,4 και 5 ανεξάρτητες. Η 1 συμπεριλαμβάνει δώδεκα διαφορετικές τιμές, η 2 τέσσερις, ενώ οι 3, 4 και 5 από δύο έκαστος.

##### ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ:

- Για τις διατάξεις L.1.1 και L.1.2 εκτελέσθηκαν εικοσάλεπτες μετρήσεις για 4 ομάδες κυμάτων ίδιας περιόδου  $T_p$  με 3 διαφορετικά ύψη κύματος  $H_s$  ανά ομάδα, και υπό τις δύο διευθύνσεις προσπτώσεως.
- Για τις διατάξεις L.2.1 και L.2.2 εκτελέσθηκαν δεκάλεπτες μετρήσεις, παραλείποντας την πρώτη παραπάνω ομάδα κυμάτων με  $T_p=5,614$  sec, και υπό τις δύο διευθύνσεις πρόσπτωσης.

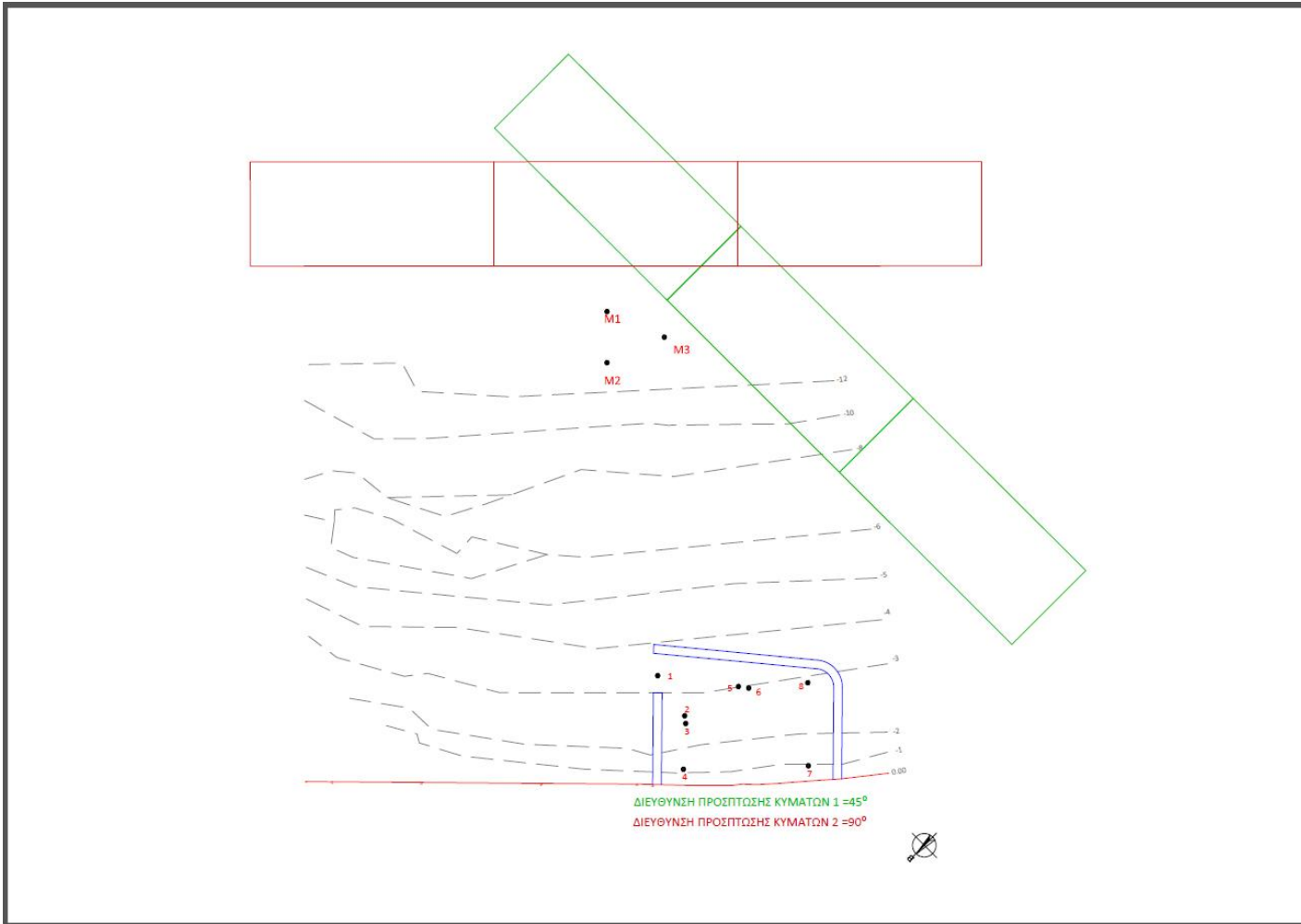
Αρχικά είχαν προγραμματιστεί εικοσάλεπτες μετρήσεις για κάθε δυνατό συνδυασμό των παραμέτρων 1-2 με τις 3,4,5, δηλαδή του συνδυασμού ύψους κύματος-περιόδου αιχμής με την γωνία πρόσπτωσης, την τοποθέτηση προβόλων από σκυρόδεμα και την επέκταση του λιθόρριπτου προσήνεμου μώλου. Όμως η ύπαρξη θορύβου από εξωτερικές περιβαλλοντικές παρεμβολές που συντόνιζαν τους ευαίσθητους ηχοβολιστικούς μετρητές και η σημαντικά μικρή διαταραχή εντός του λιμένα στην πρώτη ομάδα κυμάτων περιόδου 5.614 sec και υψών 1.36, 1.70, και 2.13 που επισκιάζονταν από το θόρυβο και δεν θα έβγαζε σε αξιόπιστα αποτελέσματα κατέστησε αναγκαίο τον περιορισμό χρόνου των μετρήσεων από είκοσι σε δέκα λεπτά και την παράβλεψη της πρώτης ομάδας κυματισμών για τις διατάξεις L.2.1 και L.2.2.

. Κάθε μέρα, πριν το πρώτο πείραμα γινόταν μία πρόσθετη πεντάλεπτη μέτρηση με την επιφάνεια της δεξαμενής σε πλήρη ηρεμία για να βαθμονομηθεί η ελεύθερη επιφάνεια στους ηχοβολιστικούς μετρητές.

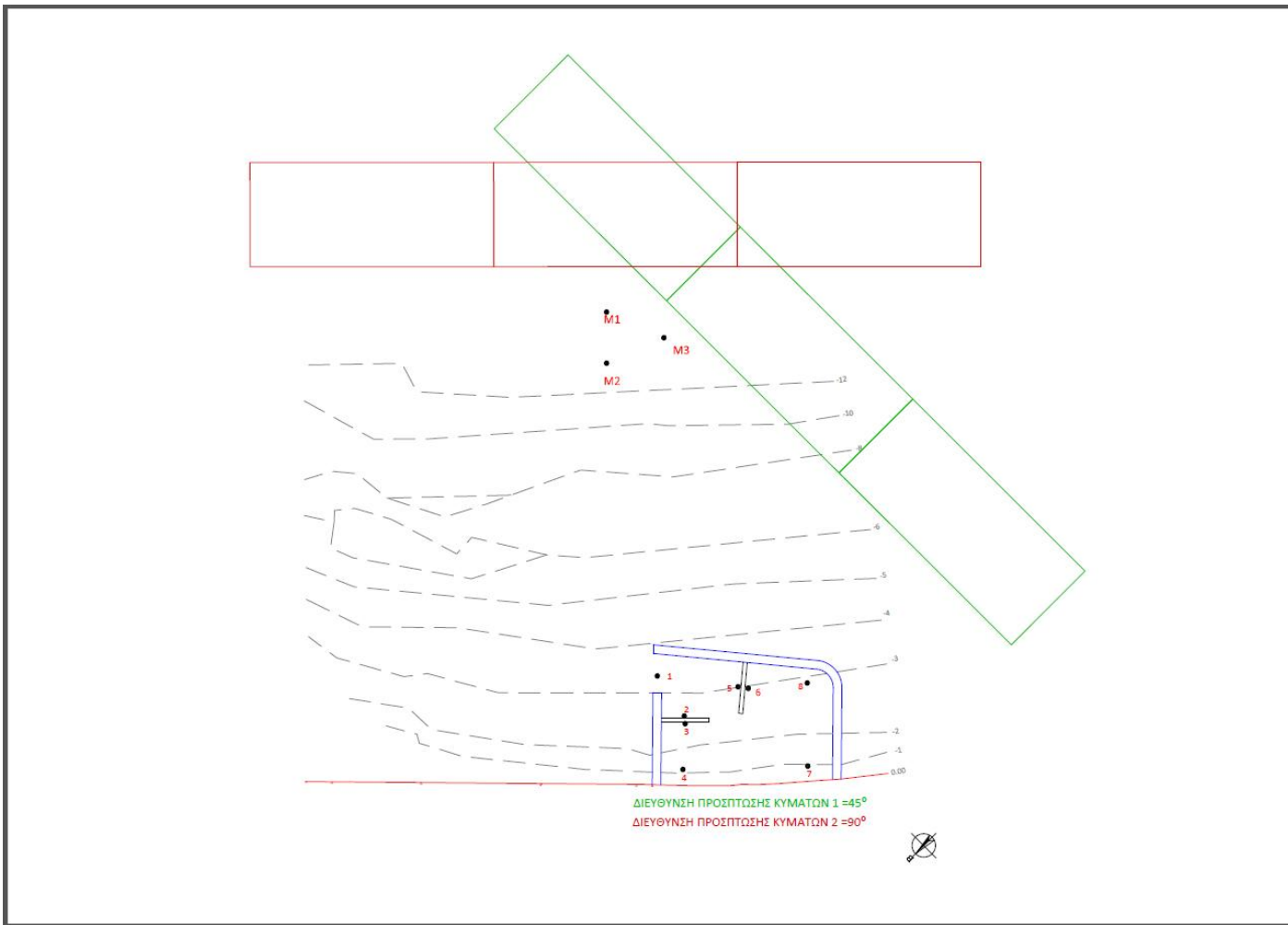


*Εικόνα 4.6: Η μέτρηση μηδέν σε πλήρη ηρεμία επιφάνειας δεξαμενής*



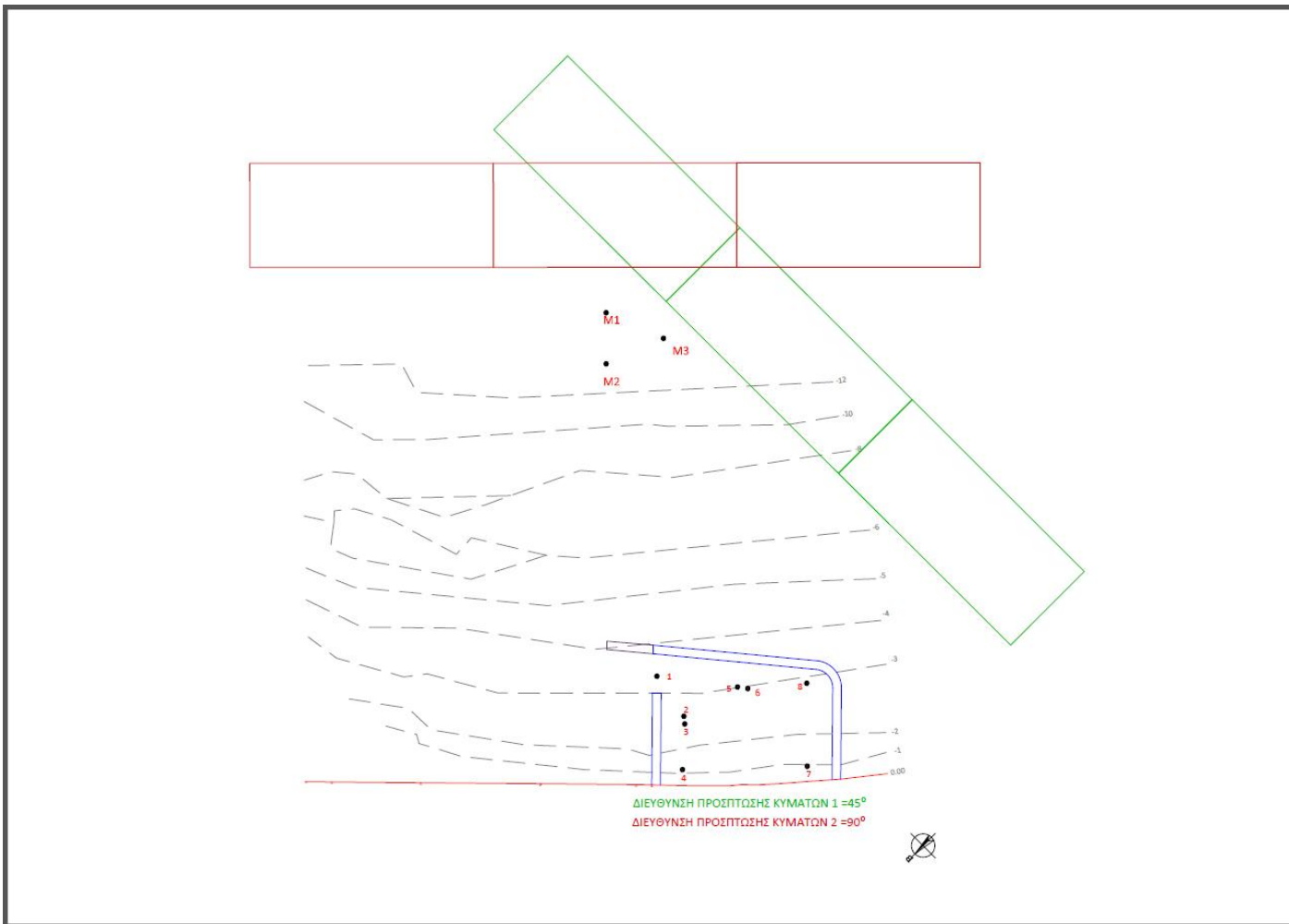


Σχήμα 4.5: Διατάξεις L.1.1.1, L.1.1.2

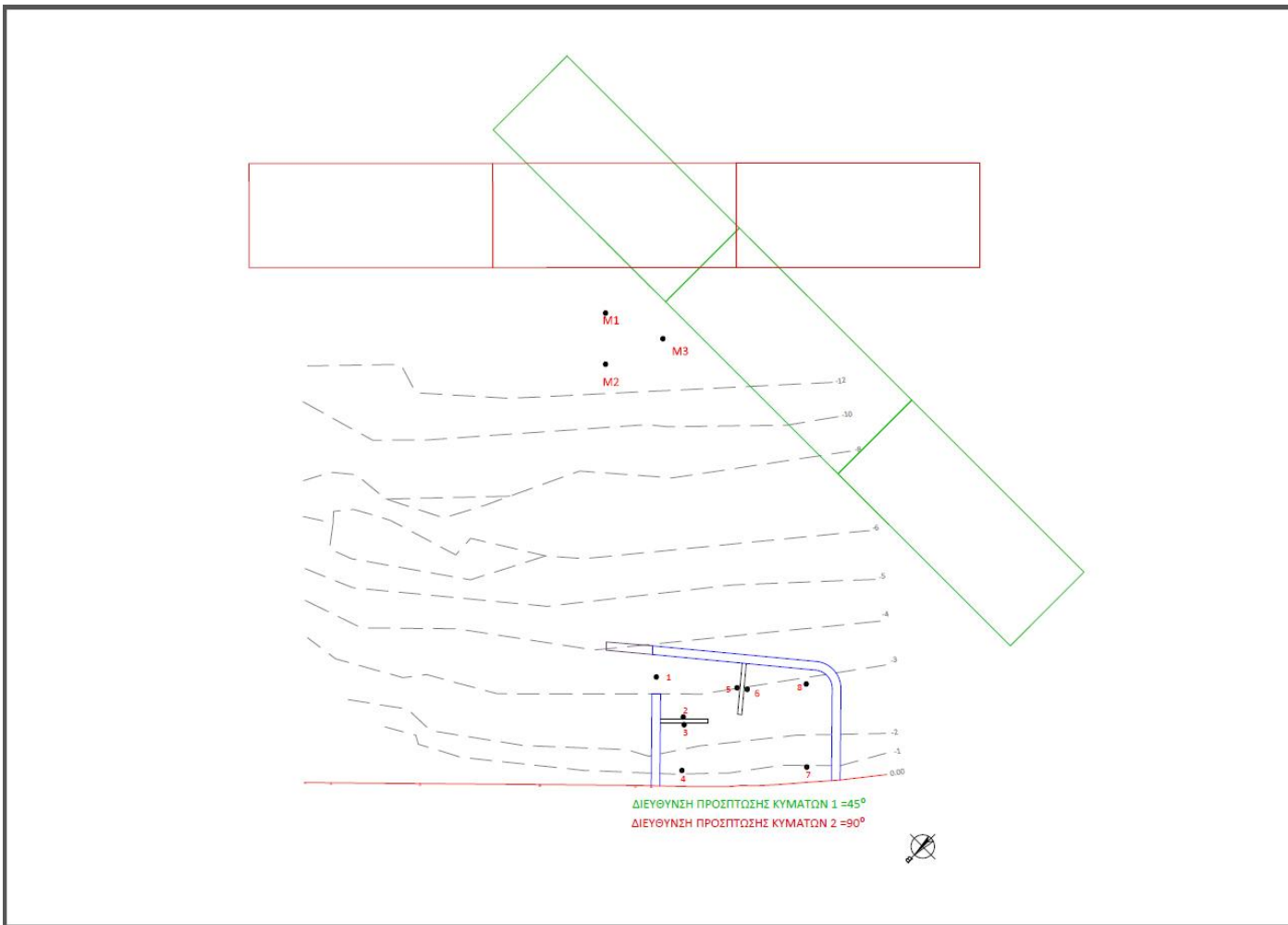


Σχήμα 4.6: Διατάξεις L.1.2.1, L.1.2.2





Σχήμα 4.7: Διατάξεις L.2.1.1, L.2.1.2



Σχήμα 4.8: Διατάξεις L.2.2.1, L.2.2.2

Πίνακας 4.3α: Πρόγραμμα πειραματικής διαδικασίας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΡΟΒΟΛΟΙ	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΚΥΜΑΤΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ		ΚΥΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	
					Ηθεωρητικό (m)	T <sub>p</sub> (sec)	Ηθεωρητικό (cm)	T <sub>p</sub> (sec)
1.1.1.1	<b>L.1</b>	<b>ΧΩΡΙΣ</b>	<b>20 min</b>	<b>45°</b>	1.36	5.614	1.36	0.561
1.1.1.2					1.70		1.70	
1.1.1.3					2.13		2.13	
1.1.1.4					1.87	6.587	1.87	0.659
1.1.1.5					2.34		2.34	
1.1.1.6					2.93		2.93	
1.1.1.7					2.48	7.581	2.48	0.758
1.1.1.8					3.10		3.10	
1.1.1.9					3.88		3.88	
1.1.1.10					3.20	8.612	3.20	0.861
1.1.1.11					4.00		4.00	
1.1.1.12					5.00		5.00	
1.1.2.1		<b>ΧΩΡΙΣ</b>		<b>90°</b>	1.36	5.614	1.36	0.561
1.1.2.2					1.70		1.70	
1.1.2.3					2.13		2.13	
1.1.2.4					1.87	6.587	1.87	0.659
1.1.2.5					2.34		2.34	
1.1.2.6					2.93		2.93	
1.1.2.7					2.48	7.581	2.48	0.758
1.1.2.8					3.10		3.10	
1.1.2.9					3.88		3.88	
1.1.2.10					3.20	8.612	3.20	0.861
1.1.2.11					4.00		4.00	
1.1.2.12					5.00		5.00	

Πίνακας 4.3β: Πρόγραμμα πειραματικής διαδικασίας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΡΟΒΟΛΟΙ	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΚΥΜΑΤΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ		ΚΥΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	
					Ηθεωρητικό (m)	Tp (sec)	Ηθεωρητικό (cm)	Tp (sec)
1.2.1.1	<b>L.1</b>	<b>ΜΕ</b>	<b>20 min</b>	<b>45°</b>	1.36	5.614	1.36	0.561
1.2.1.2					1.70		1.70	
1.2.1.3					2.13		2.13	
1.2.1.4					1.87	6.587	1.87	0.659
1.2.1.5					2.34		2.34	
1.2.1.6					2.93		2.93	
1.2.1.7					2.48	7.581	2.48	0.758
1.2.1.8					3.10		3.10	
1.2.1.9					3.88		3.88	
1.2.1.10					3.20	8.612	3.20	0.861
1.2.1.11					4.00		4.00	
1.2.1.12					5.00		5.00	
1.2.2.1		<b>ΜΕ</b>	<b>20 min</b>	<b>90°</b>	1.36	5.614	1.36	0.561
1.2.2.2					1.70		1.70	
1.2.2.3					2.13		2.13	
1.2.2.4					1.87	6.587	1.87	0.659
1.2.2.5					2.34		2.34	
1.2.2.6					2.93		2.93	
1.2.2.7					2.48	7.581	2.48	0.758
1.2.2.8					3.10		3.10	
1.2.2.9					3.88		3.88	
1.2.2.10					3.20	8.612	3.20	0.861
1.2.2.11					4.00		4.00	
1.2.2.12					5.00		5.00	

Πίνακας 4.3γ: Πρόγραμμα πειραματικής διαδικασίας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΡΟΒΟΛΟΙ	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΚΥΜΑΤΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ		ΚΥΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	
					Ηθεωρητικό (m)	Tp (sec)	Ηθεωρητικό (cm)	Tp (sec)
2.1.1.1	L.2	ΧΩΡΙΣ	10 min	45°	1.87	6.587	1.87	0.659
2.1.1.2					2.34		2.34	
2.1.1.3					2.93		2.93	
2.1.1.4					2.48	7.581	2.48	0.758
2.1.1.5					3.10		3.10	
2.1.1.6					3.88		3.88	
2.1.1.7					3.20	8.612	3.20	0.861
2.1.1.8					4.00		4.00	
2.1.1.9					5.00		5.00	
2.1.2.1		ΧΩΡΙΣ	10 min	90°	1.87	6.587	1.87	0.659
2.1.2.2					2.34		2.34	
2.1.2.3					2.93		2.93	
2.1.2.4					2.48	7.581	2.48	0.758
2.1.2.5					3.10		3.10	
2.1.2.6					3.88		3.88	
2.1.2.7					3.20	8.612	3.20	0.861
2.1.2.8					4.00		4.00	
2.1.2.9					5.00		5.00	

Πίνακας 4.3δ: Πρόγραμμα πειραματικής διαδικασίας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΡΟΒΟΛΟΙ	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΚΥΜΑΤΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ		ΚΥΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	
					Ηθεωρητικό (m)	Tp (sec)	Ηθεωρητικό (cm)	Tp (sec)
2.2.1.1	L.2	ΜΕ	10 min	45°	1.87	6.587	1.87	0.659
2.2.1.2					2.34		2.34	
2.2.1.3					2.93		2.93	
2.2.1.4					2.48	7.581	2.48	0.758
2.2.1.5					3.10		3.10	
2.2.1.6					3.88		3.88	
2.2.1.7					3.20	8.612	3.20	0.861
2.2.1.8					4.00		4.00	
2.2.1.9					5.00		5.00	
2.2.2.1		ΜΕ	10 min	90°	1.87	6.587	1.87	0.659
2.2.2.2					2.34		2.34	
2.2.2.3					2.93		2.93	
2.2.2.4					2.48	7.581	2.48	0.758
2.2.2.5					3.10		3.10	
2.2.2.6					3.88		3.88	
2.2.2.7					3.20	8.612	3.20	0.861
2.2.2.8					4.00		4.00	
2.2.2.9					5.00		5.00	



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 5.1 Γενικά

Με την δειγματοληψία των ηχοβολιστικών μετρητών εντός της δεξαμενής αντίστοιχα δημιουργήθηκαν αρχεία λογισμικού .txtσε ηλεκτρονικό υπολογιστή που παρουσιάζουν την απόσταση κάθε μετρητή από την επιφάνεια νερού μέσα σε μία πολύ μικρή χρονική διάρκεια dtτης τάξης των 10 ms. Έτσι μέσα σε κάθε αρχείο καταγράφονται οκτώ ακολουθίες αριθμών πολύ μεγάλου μεγέθους, συγχρονισμένες ως προς το χρόνο, που με την σωστή επεξεργασία τους με τα κατάλληλα προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή δίνουν μία αντιπροσωπευτική εικόνα για την επικρατούσα κατάσταση στις πειραματικές διαδικασίες του φυσικού προσομοιώματος λιμένα.

Αντίστοιχα αποτελέσματα μπορεί να δώσει και η επεξεργασία μετρητών αντίστασης, οι οποίοι μετρώντας διαφορά δυναμικού ανά αντίστοιχα μικρά χρονικά διαστήματα και στέλνουν σήμα σε υπολογιστή στο controlroom που τις μετατρέπει αυτόματα σε διαφορές ύψους κύματος.

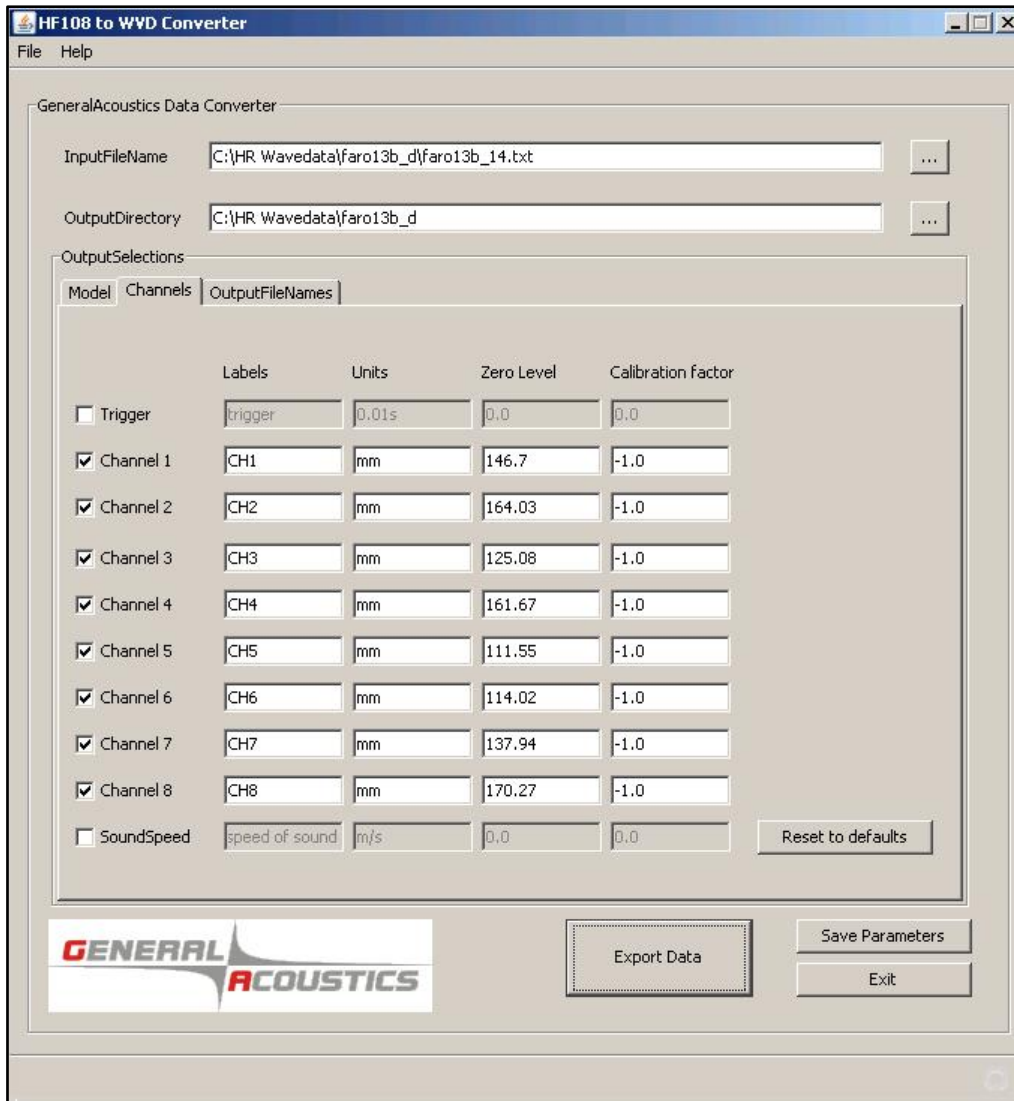
Έτσι με τη διαδικασία φασματικής και στατιστικής ανάλυσης μπορούν και οι δύο κατηγορίες μετρηθέντων κυματισμών να αναχθούν σε αντιπροσωπευτικά-γενικά κύματα κάθε διαδικασίας, να συμπληρωθούν μεταξύ τους και να δώσουν κατάλληλα αποτελέσματα.

#### 5.2 Επεξεργασία των μετρήσεων «μηδέν»

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκε ότι κάθε ημέρα πειραμάτων και πριν τη διαδικασία των μετρήσεων γινόταν μία πρόσθετη μέτρηση της απόστασης οφθαλμού μετρητή και επιφάνειας ύδατος σε ηρεμία δεξαμενής. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε θεωρητικά να εφαρμοστεί μία φορά, με προϋπόθεση την μη αλλαγή θέσης και ύψους των μετρητών, όμως δεν θα ήταν αξιόπιστο, καθώς δεν θα υπεισέρχονταν στο πείραμα παράμετροι όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η αλλαγή στάθμης της δεξαμενής ή η αλλαγή ύψους μετρητή από εξωτερικούς παράγοντες.

Μετά τις μετρήσεις αυτές, διάρκειας πέντε λεπτών, συγκεντρώθηκαν εννέα αρχεία .txtμε την κωδική ονομασία faro\_00 και επεξεργάσθηκαν στο λογισμικό πρόγραμμα MicrosoftExcel.Δημιουργήθηκαν γραφήματα χρόνου απόστασης κάθε μετρητή και από εκεί καθορίστηκε στατιστικά, αλλά και οπτικά η επικρατούσα απόσταση στομίου μετρητή – στάθμης ηρεμίας ύδατος (ΣΗΥ)(Εικόνα 5.1).





Εικόνα 5.2: Μετατροπή αρχείων .txt σε .wvd και εισαγωγή ΣΗΥ

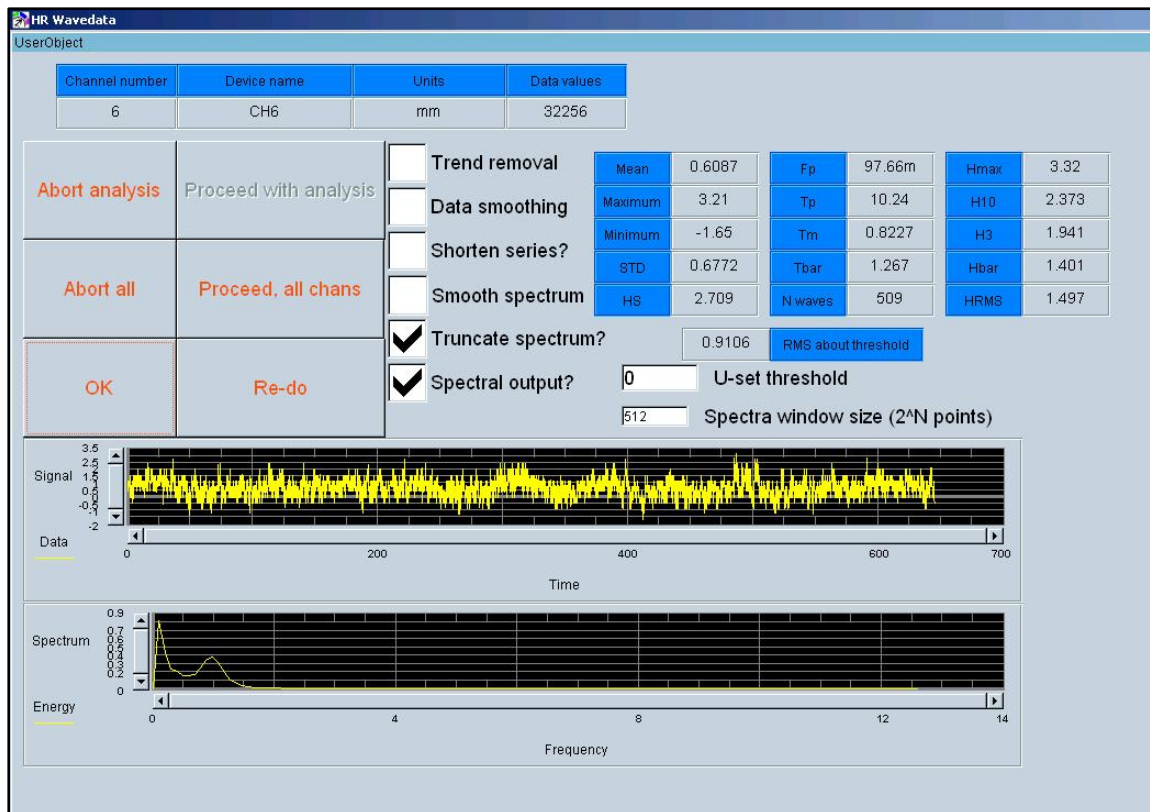
#### 5.4 Επεξεργασία πειραματικών μετρήσεων με το λογισμικό HRWavedata

Το λογισμικό HrWavedata της εταιρείας HrWallingford αποτελεί ένα πρόγραμμα βαθμονόμησης, περιεκτικής απόκτησης και ανάλυσης δεδομένων, σχεδιασμένο για φυσικά προσομοιώματα. Παρέχει ιχνηλασιμότητα και εξάλειψη σφαλμάτων με εγγύηση ποιότητας και εξάγει αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας.

Μετά την συλλογή των δεδομένων και την μετατροπή τους στην μορφή .wvd το σκέλος του λογισμικού πακέτου WaveDataAnalysis χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση του απαιτούμενου αριθμού επαναληπτικών διαδικασιών επεξεργασίας του πειράματος.

Κάθε πειραματική διαδικασία σε βαθιά ύδατα και εντός λιμενολεκάνης εισάγεται στο πρόγραμμα και υφίσταται στατιστική, καθώς και φασματική ανάλυση με

Γρήγορο Μετασχηματισμό Fourier (FFT: FastFourierTransform). Τα αποτελέσματα επεξεργάζονται και αποθηκεύονται για κάθε μετρητή ξεχωριστά (Channel 1 έως Channel 8 στην περίπτωση μας) σε αρχεία .csv (CommaSeparatedValues). Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.3) παρουσιάζονται τόσο η στατιστική, όσο και η φασματική ανάλυση κάθε μετρητή:

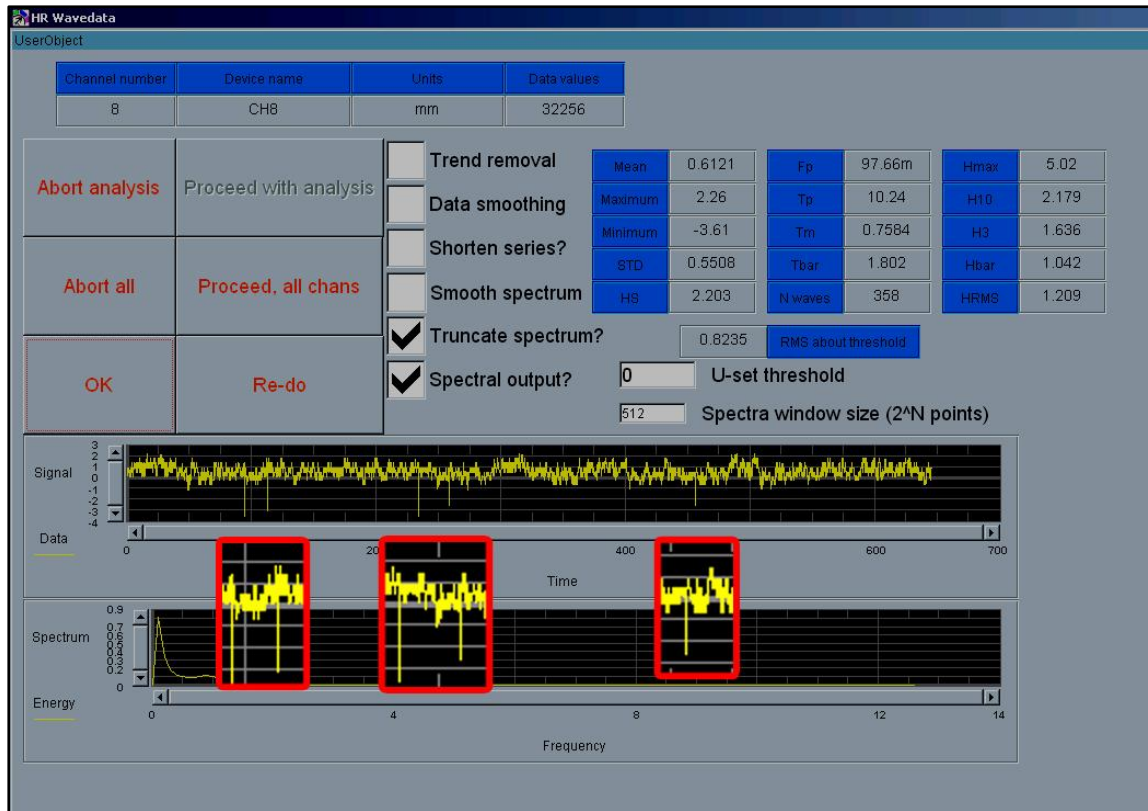


Εικόνα 5.3: Στατιστική και Φασματική ανάλυση μετρήσεων για τον μετρητή 6

Αυτή η διαδικασία μπορεί να χαρακτηριστεί αυτόματη. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις κάποια αποτελέσματα θα έπρεπε να επεξεργαστούν περαιτέρω μέσω κάποιων ειδικών φίλτρων του λογισμικού που περιγράφονται παρακάτω:

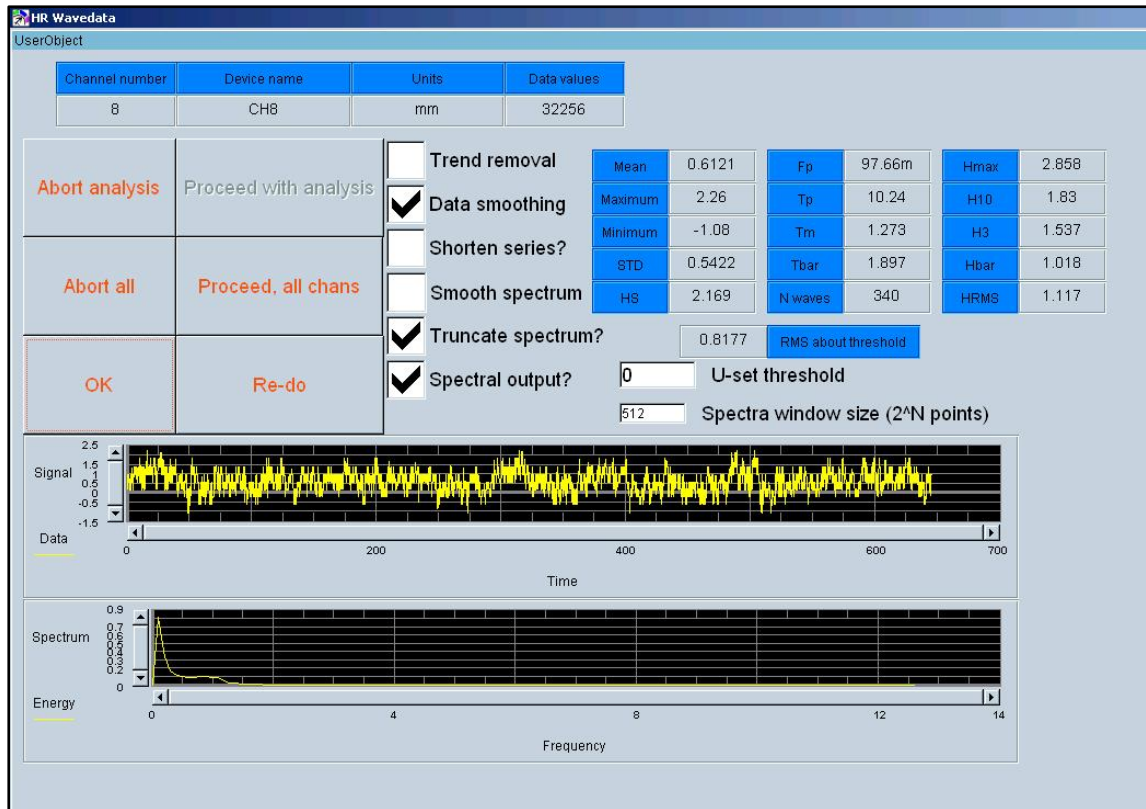
### DataSmoothing:

Στις καταγραφές των κυματικών διαταραχών παρατηρήθηκαν ανά κάποια χρονικά διαστήματα και για μικρό χρονικό διάστημα ύψη εξαιρετικά μεγαλύτερα από τα αναμενόμενα, τα οποία ίσως προέκυψαν λόγω θορύβου ή λαθών στα προγράμματα αποθήκευσης δεδομένων και σε καμία περίπτωση δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Κάτι τέτοιο έγινε αντιληπτό από τα λεγόμενα reaksπου εμφανίστηκαν στη φασματική ανάλυση. Τέτοια παραδείγματα φαίνονται και τονίζονται στην παρακάτω εικόνα 5.4:



Εικόνα 5.4: Peaks σε κυματομορφή φασματικής ανάλυσης

Τέτοιες τιμές κρίθηκαν ανεπιθύμητες, μιας και έδιναν λανθάνουσες τιμές στα αποτελέσματα. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την εντολή DataSmoothing, η οποία εξομαλύνει τις μεμονωμένες ακραίες καταγραφές που περνάνε κάποιο συγκεκριμένο όριο και τις ανάγει σε μία μέγιστη τιμή που εμείς ορίζουμε, με την επιθυμητή αναλογία. Ως αποτέλεσμα η κυματομορφή δείχνει περισσότερο ομοιόμορφη και τα αποτελέσματα θεωρούνται πιο αξιόπιστα (Εικόνα 5.5)



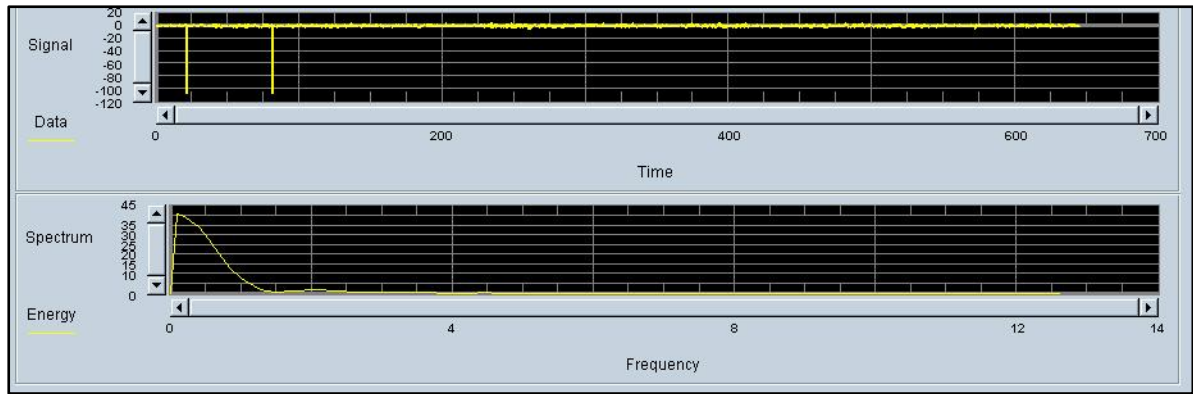
Εικόνα 5.5: Κυματομορφή εικόνας 5.4 μετά από εντολή DataSmoothing

Για παράδειγμα το  $H_s$  με το φιλτράρισμα μετατρέπεται από 2.203 m σε 2.169 και το  $H_{10}$  ιδιαίτερα, από 2.179 m σε 1.83, που σημαίνει ότι το αρχικό 10% των μεγαλύτερων υψών κυμάτων περιλαμβάνεται τα λανθασμένα αυτά *reaks*. Τέλος το  $H_{max} = 5.02$  μπριν το φιλτράρισμα σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί φυσιολογικό.

### ShortenSeries:

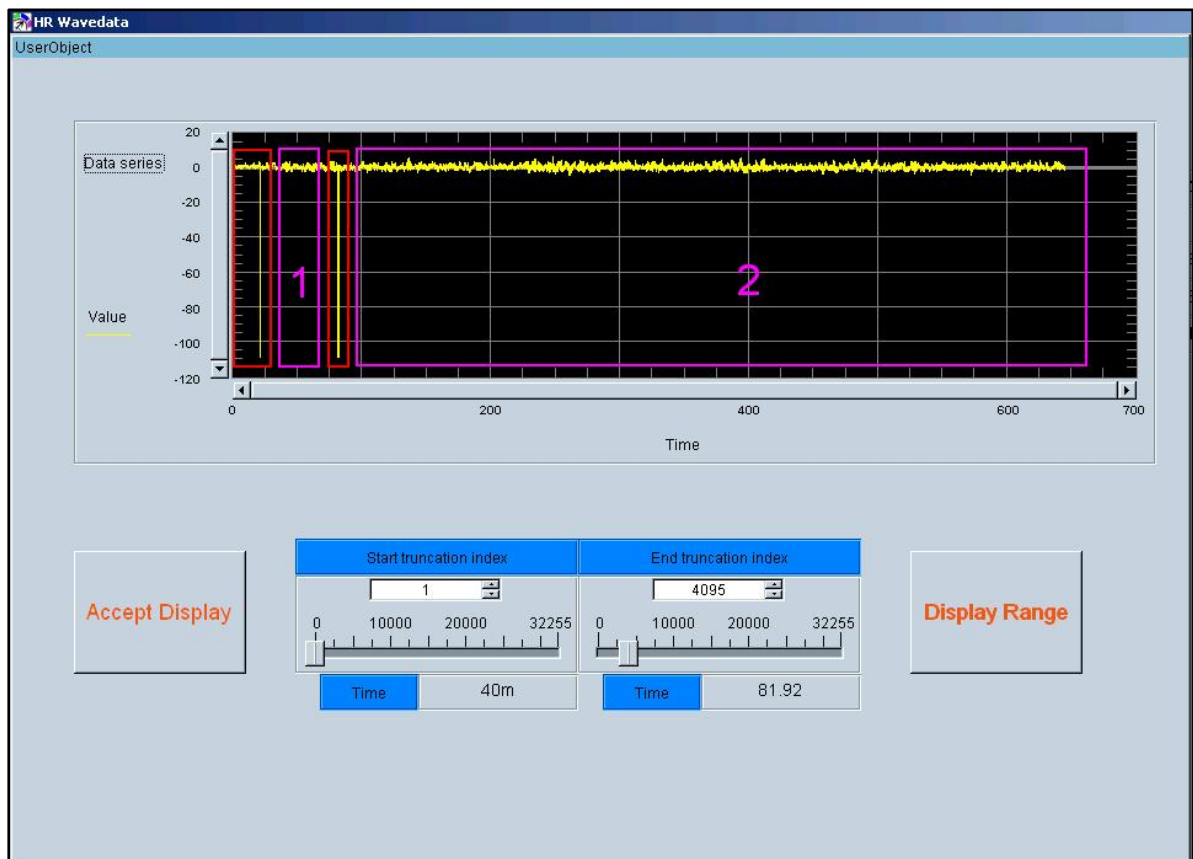
Όταν παρατηρήθηκαν στην κυματομορφή αιχμές διαταραχής για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα και η εντολή *Datasmoothing* είτε δεν λειτουργούσε, είτε θα έπρεπε να συμπίεσει περιστατικά μη μεμονωμένα κρίθηκε καλύτερο να διασπαστεί η κυματομορφή σε δύο ή περισσότερα σκέλη και οι λανθασμένες μετρήσεις αντί να εξομαλυνθούν να εξαιρεθούν. Ένα τέτοιο περιστατικό αναλύεται στις παρακάτω εικόνες:





Εικόνα 5.6 Φάσματα περίπτωσης που χρησιμοποιείται το Shortseries

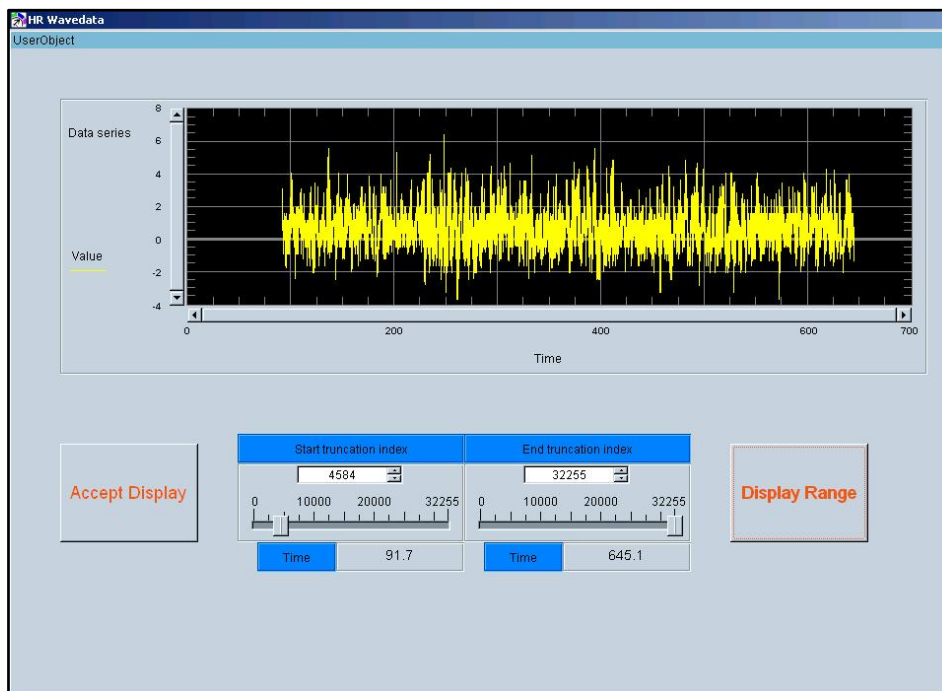
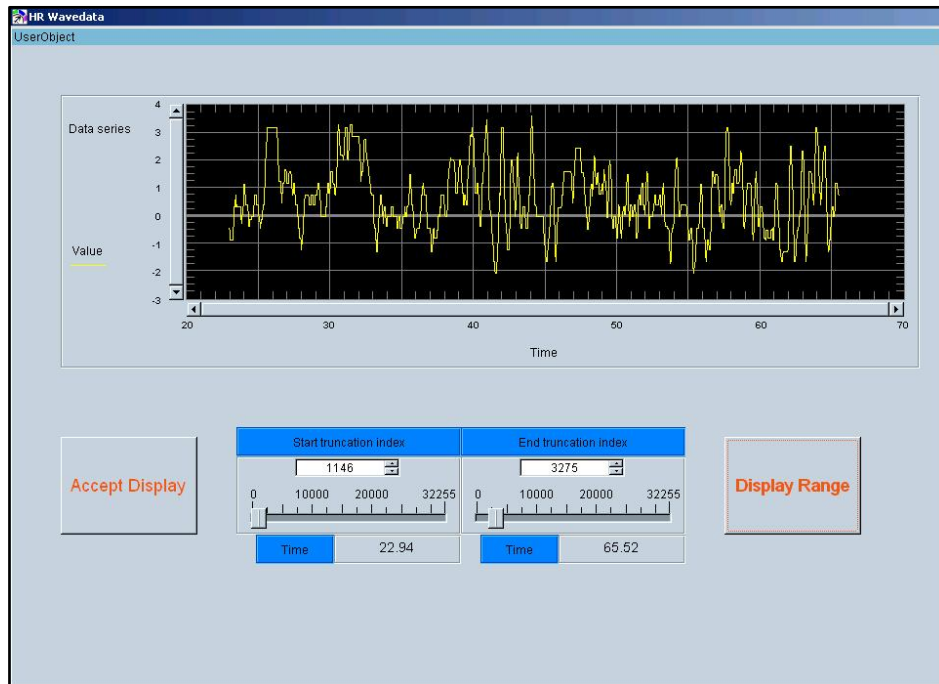
Παρατηρούνται δύο κορυφές μη μεμονωμένων καταγραφών στο άνω φάσμα καθώς και υπερβολική ποσότητα ενέργειας στο κάτω. Οι κόκκινες περιοχές της παρακάτω Εικόνας 5.7 θα εξαιρεθούν και οι μωβ περιοχές θα μελετηθούν ως δύο ξεχωριστές μετρήσεις.



Εικόνα 5.7 Επιλογή περιοχών που διασπάται η αρχική κυματομορφή και περιοχές εξαιρέσης

Οι επεξεργασίες των δύο σκελών που προήλθαν αποθηκεύονται ως ξεχωριστές περιπτώσεις και από τα αποτελέσματά τους συντίθενται οι στατιστικές τιμές της αρχικής επεξεργασίας μέσω σταθμισμένων μέσων όρων και μέσω πρόσθεσης, ανάλογα την περίπτωση. Η διαδικασία αυτή θα γίνει χειροκίνητα στο

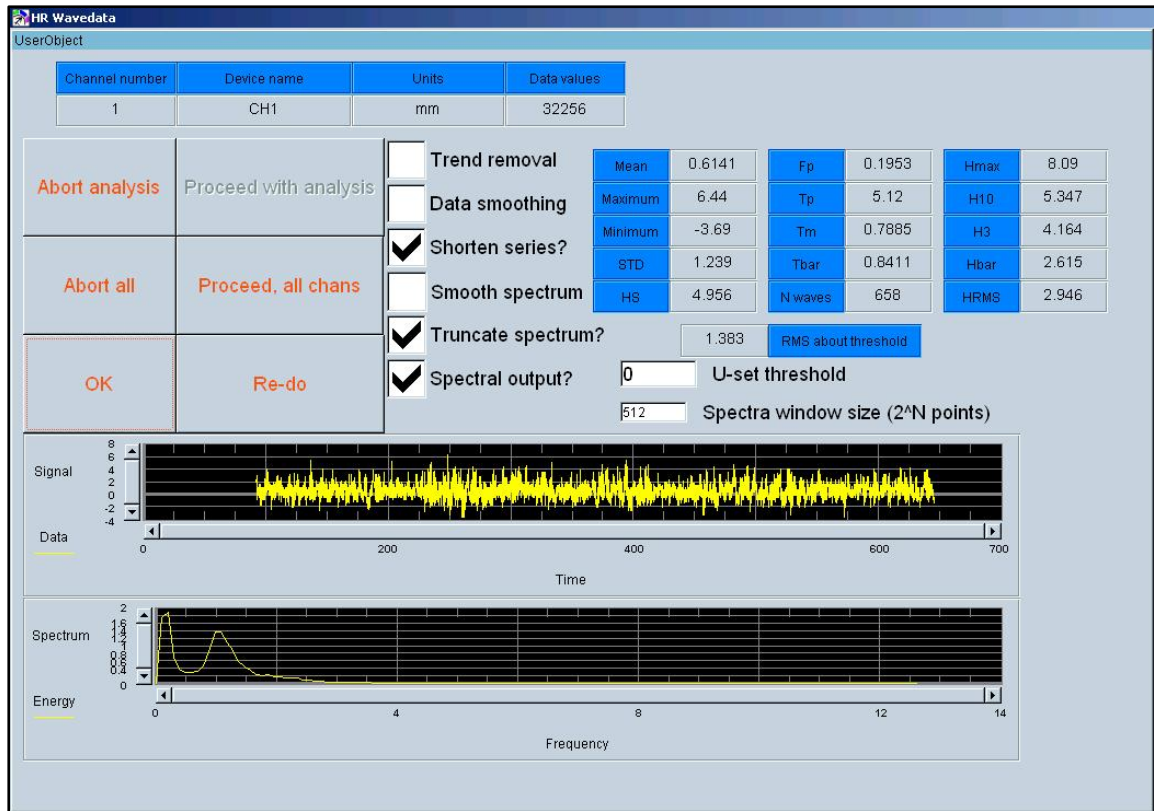
Microsoft Excel και ο δείκτης βαρύτητας θα υπολογιστεί από το πλήθος καταγραφών κάθε περίπτωσης.



Εικόνες 5.8, 5.9: Διάσπαση αρχικής κυματομορφής σε δύο σκέλη

Για παράδειγμα οι συντελεστές βαρύτητας των κυματομορφών αυτών θα είναι ίσοι  
 $\mu\epsilon B_1 = (3275 - 1146) / [(3275 - 1146) + (32255 - 4584)] = 0.07$

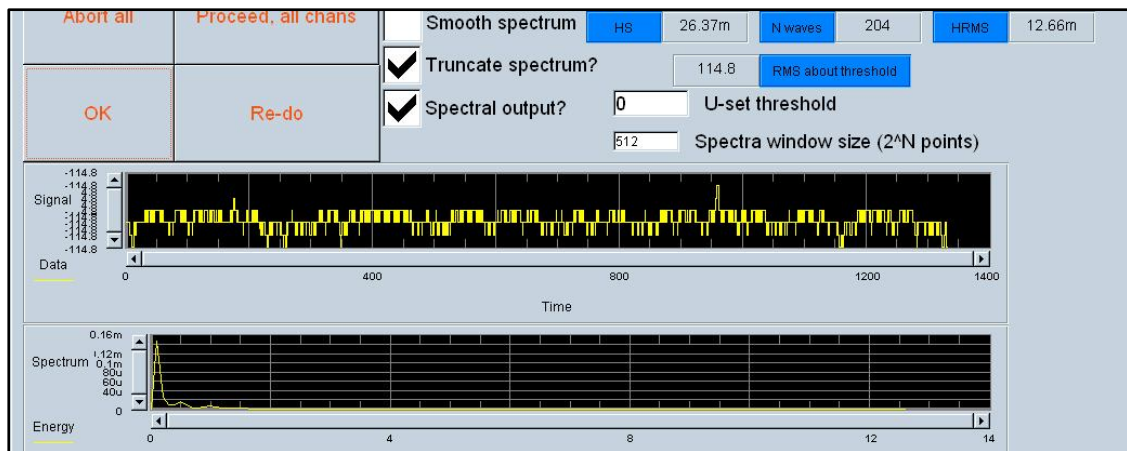
$$B_2 = 1 - 0.07 = 0.93$$



Εικόνα 5.10: Σκέλος 2 με τα δικά του ξεχωριστά αποτελέσματα

Με αυτόν τον τρόπο χάνεται μέρος δειγματοληψίας του πειράματος (συνήθως μικρό), αλλά αποφεύγεται η επανάληψη της μέτρησης, που μπορεί να είναι από πιο χρονοβόρα και απαιτητική έως ανέφικτη.

Τέλος μέσω της επεξεργασίας επισημάνθηκαν οι περιπτώσεις που κάποιος από τους μετρητές (αποκλειστικά ο 5 στην όλη διαδικασία) δεν ανταποκρινόταν.



Εικόνα 5.11 Περίπτωση σφάλματος μετρητή 5 σε διαδικασία πειράματος

## 5.5 Μακροεντολές και σύνταξη πινάκων στο MicrosoftExcel

Όλα τα αρχεία αποτελεσμάτων στη συνέχεια ανοίχθηκαν στο MicrosoftExcelκαι με την βοήθεια μακροεντολών επιλέχθηκαν τα υδροδυναμικά μεγέθη με τις τιμές τους και συντάχτηκαν πίνακες ανά μετρητή και ανά πειραματική διαδικασία. Ένας από αυτούς είναι ο Πίνακας 5.1.

C:\HR Wavedata\far03b_d\FARO3b_5\Test_5_2011Nov16h12m35.wvd									
C:\HR Wavedata\far03b_d\FARO3b_5\calib_5_2011Nov16h12m35.wvd									
Job number: far03b_d									
Test number 5									
Channel 1 64 channels numbered from one									
CH1									
mm									
Scale unspecified									
No scaling applied to results									
Values expressed in model terms									
0.02 second scanning interval.									
65906 data values test length.									
512 data v; recording block length.									
65536 values in series.									
0 data points missing.									
1 data points duplicate.									
65536 data points out of range									
From inspection of data ...									
1310.7 second time-span.									
0.02 second start time.									
1310.72 second end time.									
All recorded data analysed									
No trend removal.									
No smoothing of data									
No smoothing of spectrum									
3.24E-01	mm	mean value.							
8.34E+00	mm	maximum value							
-4.60E+00	mm	minimum value							
1.76E+00	mm	standard deviation							
7.05E+00	mm	HS							
1.79E+00	mm	RMS about threshold 0							
1.27E+00	hertz	Fp							
7.88E-01	seconds	Tp							
4.90E-01	seconds	Tm (spectral calc)							
2.35E+03	number	waves recorded							
5.57E-01	seconds	Tbar (wave count)							
1.07E+01	mm	Hmax							
7.75E+00	mm	H10							
6.62E+00	mm	H3							
4.43E+00	mm	Hbar							
4.88E+00	mm	HRMS							
**** SPECTRAL ANALYSIS ****									
Frequency	Period	Energy de	m0 (cumu	m2 (cumu	m4 (cumu	RMS (cum	Tm (cumu	Epsilon (cumulative)	
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
9.77E-02	1.02E+01	9.58E-01	4.68E-02	4.46E-04	4.25E-06	2.16E-01	1.02E+01	0.00E+00	
1.95E-01	5.12E+00	7.12E-01	1.28E-01	2.22E-03	5.91E-05	3.58E-01	7.60E+00	5.92E-01	
2.93E-01	3.41E+00	2.78E-01	1.77E-01	4.71E-03	2.10E-04	4.20E-01	6.12E+00	6.33E-01	

Εικόνα 5.12: Τμήμα του εξαγόμενου αρχείου αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα HRWavedata

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα πειράματος L.2.2.1.9 ανά ηχοβολιστικό μετρητή

	mean value.	max value	min value	std deviation	HS	RMS thrsh 0	Fp	Tp	Tm (spectral calc)	waves recorded	Tbar (wave count)	Hmax	H10	H3	Hbar	HRMS
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	hertz	seconds	seconds	number	seconds	mm	mm	mm	mm	mm
<b>Channel 01</b>	2.12	8.24	-2.88	1.49	5.97	2.59	0.10	10.24	0.78	763	0.87	7.73	5.76	4.65	3.10	3.41
<b>Channel 02</b>	2.25	6.75	-1.25	1.14	4.54	2.52	0.20	5.12	1.02	524	1.27	6.55	4.39	3.65	2.39	2.63
<b>Channel 03</b>	1.97	4.04	-2.08	0.69	2.74	2.09	0.10	10.24	0.98	289	2.30	4.51	2.52	1.94	1.18	1.36
<b>Channel 04</b>	2.12	5.13	-0.91	0.83	3.30	2.27	0.10	10.24	1.15	317	2.10	4.41	3.09	2.27	1.31	1.56
<b>Channel 05</b>	2.07	7.27	-1.65	1.17	4.67	2.37	0.10	10.24	0.99	520	1.28	6.89	4.36	3.51	2.23	2.50
<b>Channel 06</b>	2.10	5.29	-2.19	0.84	3.37	2.26	0.10	10.24	0.99	365	1.82	5.02	3.01	2.44	1.60	1.77
<b>Channel 07</b>	2.30	5.65	-0.82	0.87	3.49	2.46	0.10	10.24	1.00	358	1.86	4.08	3.07	2.38	1.51	1.69
<b>Channel 08</b>	2.13	4.70	-0.49	0.78	3.11	2.27	0.10	10.24	1.08	585	1.14	3.65	2.30	1.63	0.76	1.05

Ανάμεσα στις τιμές όλων των υδροδυναμικών μεγεθών του πίνακα συμπεριλαμβάνονται:

- Η τυπική απόκλιση κυματισμών από την Στάθμη Ηρεμίας Ύδατος
- Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος  $H_s$  (mm)
- Η ελάχιστη συχνότητα φάσματος  $F_p$  (herz)
- Η μέγιστη περίοδος φάσματος  $T_p$  (seconds)
- Η μέση περίοδος φάσματος  $T_m$  (seconds)
- Ο αριθμός καταγεγραμμένων κυμάτων
- Το μέγιστο ύψος κύματος  $H_{max}$  (mm)
- Ο μέσος όρος ύψους του 10% των υψηλότερων κυμάτων  $H_{10}$  (mm)
- Ο μέσος όρος ύψους του 30% των υψηλότερων κυμάτων  $H_{30}$  (mm)

*Οι τιμές των  $H_s$  και  $T_p$  από όλες τις πειραματικές διαδικασίες, τόσο για τους μετρητές ηχοβολιστικών αισθητήρων τόσο και για αυτούς τύπου αντίστασης, για κάθε διάταξη, με ή χωρίς προβόλους και για τις δύο διευθύνσεις πρόσπτωσης παρατίθενται στους πίνακες του Παραρτήματος Γ.*

## 5.6 Ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων

Για την σύγκριση των κυματικών δράσεων εντός της λιμενολεκάνης είναι απαραίτητος ο περεταίρω υπολογισμός του συντελεστή μετάδοσης  $K_d$ . Ο  $K_d$  ισούται με το πηλίκο  $H_{sse}$  μία θέση μετρητή στο έργο προς το  $H_0$  σε μία θέση μετρητή διαφοράς δυναμικού στα βαθιά ύδατα, και διευκολύνει την σύγκριση των αποτελεσμάτων, μετατρέποντάς τα σε ανηγμένες τιμές.

Τονίζεται ότι το  $H_0$  είναι διαφορετικό από το  $H_{θεωρητικό}$  που εισάχθηκε στο πρόγραμμα παραγωγής κυματισμών, για λόγους που σε πρακτικές διαδικασίες είναι αναπόφευκτοι, όπως ο μετατροπέας, το φίλτρο του συστήματος ελέγχου, η μετατροπή του ψηφιακού σε αναλογικό σήμα και οι αποκλίσεις του, ή η περιορισμένη σε φυσιολογικά-πρακτικά πλαίσια ακρίβεια των μηχανημάτων. Για τα  $H_0$  αυτά επιλέχθηκαν οι μετρήσεις του  $M1$  των βαθέων υδάτων, ως πιο αντιπροσωπευτικές των ανεπτυγμένων κυματισμών, λόγω θέσης ως προς το φυσικό προσομοίωμα και προς τη θέση των κυματιστήρων. Στατιστικά αποδείχθηκε ότι ο  $M1$  είχε τις μικρότερες αποκλείσεις τιμών, συγκριτικά με τους  $M2$  και  $M3$ , ως προς τα θεωρητικά ύψη των κυματισμών.

Δημιουργήθηκαν έτσι πίνακες και διαγράμματα που συγκρίνουν τις τιμές του  $K_d$  ανά μετρητή και ανά κάθε κύμα που δημιουργήθηκε.



## 5.7 Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων με τη μορφή πινάκων

### ΠΙΝΑΚΕΣ ΛΟΓΟΥ $H_s/H_0$ - ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΟΥ 1.1

α) Πίνακας 5.2α: Λόγος  $H_s/H_0$  για διάταξη L.1.1.1

Ηθεωρητικό	H <sub>0</sub>	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.1.1							
		H <sub>i</sub> /H <sub>0</sub>							
	M1	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm	mm							
13.60	13.20	0.20	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
17.00	16.92	0.22	0.08	0.06	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05
21.30	21.27	0.24	0.09	0.06	0.08	N/A	0.05	0.05	0.06
18.70	20.10	0.30	0.10	0.08	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07
23.40	25.22	0.28	0.10	0.08	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07
29.30	30.59	0.26	0.09	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06
24.80	27.53	0.29	0.10	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07
31.00	33.84	0.26	0.10	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06
38.80	42.20	0.22	0.08	0.06	0.07	N/A	0.06	0.07	0.06
32.00	32.27	0.30	0.11	0.08	0.10	0.09	0.09	0.09	0.07
40.00	40.27	0.22	0.09	0.08	0.07	N/A	0.07	0.07	0.06
50.00	48.15	0.18	0.08	0.07	0.07	N/A	0.07	0.06	0.06

β) Πίνακας 5.2β: Λόγος  $H_s/H_0$  για διάταξη L.1.1.2

Ηθεωρητικό	H <sub>0</sub>	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.1.2							
		H <sub>i</sub> /H <sub>0</sub>							
	M1	1	2	3	4	5	6	7	8
Mm	mm	mm							
13.60	14.00	0.39	0.13	0.12	0.07	0.06	0.07	0.05	0.04
17.00	17.72	0.38	0.13	0.12	0.09	0.05	0.05	0.05	0.04
21.30	21.76	0.35	0.12	0.11	0.09	0.07	0.07	0.06	0.06
18.70	19.57	0.38	0.15	0.13	0.12	0.09	0.10	0.08	0.08
23.40	23.95	0.34	0.13	0.12	0.12	0.09	0.09	0.09	0.08
29.30	29.26	0.31	0.11	0.10	0.11	0.09	0.09	0.09	0.08
24.80	24.76	0.37	0.15	0.14	0.15	0.13	0.13	0.13	0.10
31.00	30.80	0.34	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.10
38.80	38.19	0.33	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.09
32.00	29.21	0.37	0.15	0.14	0.15	0.14	0.14	0.13	0.11
40.00	36.47	0.35	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.10
50.00	46.67	0.30	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09

## ΠΙΝΑΚΕΣ ΛΟΓΟΥ H<sub>s</sub>/H<sub>0</sub> - ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΟΥ 1.2

γ) Πίνακας 5.2γ: Λόγος H<sub>s</sub>/H<sub>0</sub> για διάταξη L.1.2.1

Hθεωρητικό	H <sub>0</sub>	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.2.1							
		H <sub>i</sub> /H <sub>0</sub>							
	M1	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm	mm							
13.60	13.66	0.25	0.11	0.05	0.05	N/A	0.05	0.04	0.05
17.00	17.13	0.23	0.10	0.04	0.05	N/A	0.04	0.04	0.04
21.30	21.39	0.22	0.10	0.05	0.03	N/A	0.05	0.04	0.03
18.70	20.24	0.28	0.13	0.06	0.06	N/A	0.07	0.07	0.06
23.40	25.30	0.26	0.11	0.03	0.06	N/A	0.06	0.07	0.06
29.30	30.94	0.24	0.10	0.05	0.06	N/A	0.06	0.07	0.05
24.80	27.31	0.30	0.15	0.06	0.07	N/A	0.08	0.08	0.06
31.00	35.85	0.23	0.11	0.05	0.05	0.09	0.06	0.06	0.05
38.80	43.39	0.20	0.10	0.04	0.05	0.07	0.05	0.06	0.05
32.00	33.33	0.28	0.14	0.05	0.06	0.10	0.07	0.08	0.06
40.00	40.43	0.22	0.12	0.05	0.05	0.08	0.06	0.06	0.05
50.00	48.58	0.18	0.10	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05

δ) Πίνακας 5.2δ: Λόγος H<sub>s</sub>/H<sub>0</sub> για διάταξη L.1.2.2

Hθεωρητικό	H <sub>0</sub>	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.2.2							
		H <sub>i</sub> /H <sub>0</sub>							
	M1	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm	Mm							
13.60	14.08	0.34	0.11	0.04	0.03	0.06	0.04	0.05	0.05
17.00	17.33	0.41	0.15	0.05	0.03	0.07	0.03	0.04	0.05
21.30	22.13	0.36	0.14	0.04	0.06	0.08	0.05	0.05	0.04
18.70	19.75	0.38	0.17	0.08	0.09	0.11	0.08	0.07	0.07
23.40	24.54	0.33	0.16	0.07	0.09	0.11	0.07	0.08	0.07
29.30	29.50	0.30	0.15	0.07	0.09	0.11	0.07	0.08	0.07
24.80	24.75	0.37	0.20	0.13	0.11	0.16	0.10	0.11	0.08
31.00	30.76	0.35	0.19	0.09	0.10	0.16	0.10	0.11	0.08
38.80	38.20	0.32	0.18	0.08	0.09	N/A	0.09	0.09	0.08
32.00	28.76	0.37	0.22	0.10	0.12	0.17	0.11	0.12	0.10
40.00	35.47	0.35	0.20	0.09	0.11	0.16	0.10	0.11	0.09
50.00	45.87	0.30	0.17	0.08	0.08	0.13	0.08	0.09	0.07

## ΠΙΝΑΚΕΣ ΛΟΓΟΥ H<sub>s</sub>/H<sub>0</sub> - ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΟΥ 2.1

ε)δ) Πίνακας 5.2ε: Λόγος H<sub>s</sub>/H<sub>0</sub> για διάταξη L.2.1.1

Hθεωρητικό	H <sub>0</sub>	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.1.1							
		H <sub>i</sub> /H <sub>0</sub>							
	M1	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm	mm							
18.70	20.29	0.09	0.12	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
23.40	25.44	0.08	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
29.30	31.35	0.08	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05
24.80	27.87	0.09	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06
31.00	34.87	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06
38.80	42.53	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05
32.00	32.87	0.11	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07
40.00	40.99	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06
50.00	48.88	0.10	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

στ) Πίνακας 5.2στ: Λόγος H<sub>s</sub>/H<sub>0</sub> για διάταξη L.2.1.2

Hθεωρητικό	H <sub>0</sub>	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.1.2							
		H <sub>i</sub> /H <sub>0</sub>							
	M1	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm	mm							
18.70	20.85	0.11	0.07	0.07	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07
23.40	24.96	0.13	0.07	0.07	0.11	0.08	0.08	0.08	0.08
29.30	30.64	0.13	0.06	0.06	0.10	0.08	0.08	0.09	0.08
24.80	24.96	0.17	0.09	0.08	0.12	0.12	0.11	0.12	0.10
31.00	31.21	0.19	0.09	0.08	0.11	0.12	0.11	0.12	0.09
38.80	36.28	0.16	0.08	0.08	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09
32.00	27.40	0.22	0.12	0.10	0.14	0.14	0.13	0.14	0.11
40.00	33.51	0.21	0.11	0.09	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11
50.00	42.96	0.15	0.09	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09

## ΠΙΝΑΚΕΣ ΛΟΓΟΥ H<sub>s</sub>/H<sub>0</sub> - ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΟΥ 2.2

ζ) Πίνακας 5.2ζ: Λόγος Hs/H0 για διάταξη L.2.2.1

Hθεωρητικό	H0	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.2.1							
		Hi/H0							
	M1	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm	mm							
18.70	19.70	0.08	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06
23.40	25.35	0.08	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05
29.30	31.48	0.07	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05
24.80	28.06	0.10	0.09	0.06	0.06	0.09	0.08	0.07	0.06
31.00	34.93	0.09	0.08	0.06	0.06	0.08	0.07	0.07	0.05
38.80	42.88	0.08	0.08	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05
32,00	32,00	0,13	0,13	0,07	0,07	0,10	0,08	0,07	0,06
40,00	40,00	0,12	0,11	0,06	0,06	0,09	0,07	0,07	0,06
50,00	41.32	0.09	0.09	0.05	0.06	0.07	0.06	0.05	0.04

η) Πίνακας 5.2η: Λόγος Hs/H0 για διάταξη L.2.2.2

Hθεωρητικό	H0	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.2.2							
		Hi/H0							
	M1	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm	mm							
18.70	18.43	0.13	0.08	0.03	0.08	0.09	0.05	0.05	0.06
23.40	22.71	0.13	0.09	0.06	0.08	0.10	0.07	0.07	0.07
29.30	27.99	0.13	0.09	0.06	0.08	0.10	0.07	0.07	0.06
24.80	23.41	0.17	0.12	0.08	0.10	0.13	0.10	0.10	0.08
31.00	28.85	0.18	0.12	0.07	0.09	0.13	0.09	0.10	0.08
38.80	35.95	0.15	0.10	0.06	0.08	0.12	0.08	0.08	0.07
32.00	27.76	0.21	0.15	0.08	0.10	0.15	0.10	0.11	0.09
40.00	36.47	0.19	0.13	0.07	0.09	0.14	0.08	0.10	0.08
50.00	45.66	0.13	0.10	0.06	0.07	0.10	0.07	0.08	0.07

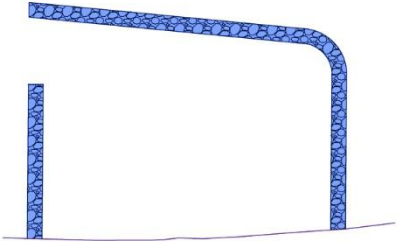
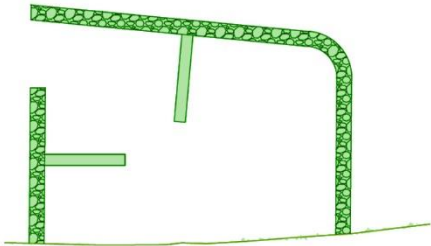
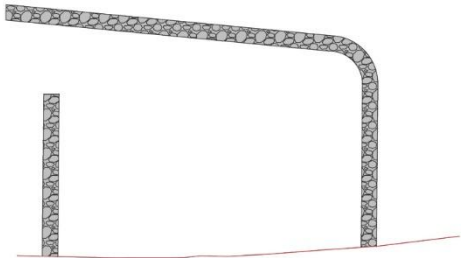
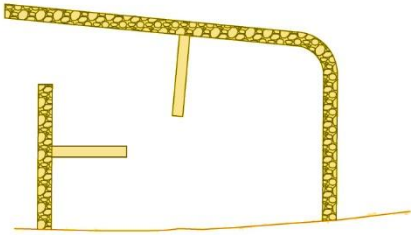
## 5.8 Συγκριτικά διαγράμματα αποτελεσμάτων μετρήσεων

Για την σύγκριση και την κατανόηση αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων που μας οδήγησαν στα συμπεράσματα, για το αν και κατά πόσο είναι αναγκαία η κατασκευή πρόσθετων έργων στη λιμενολεκάνη (κατασκευή προβόλων, επέκταση προσήνεμου μώλου κατά 106 m) αναγκαία κρίθηκε η κατασκευή συγκριτικών διαγραμμάτων. Σε αυτά απεικονίζονται οι τιμές  $H_i/H_0$  σε κάθε θέση ηχοβολιστικού μετρητή (1 έως 8) εντός της λιμενολεκάνης, με αύξον το Ηθεωρητικότων κυμάτων που παρήγαγαν οι κυματιστήρες σε κάθε πειραματική διαδικασία. Ωστόσο οι τιμές  $H_0$  είναι αυτές που μετρήθηκαν από τον μετρητή διαφοράς δυναμικού M1 στα βαθιά (που επιλέχτηκε ως πιο αξιόπιστος και καταλληλότερος) σε κάθε πείραμα. Οι τεθλασμένες γραμμές αποτελεσμάτων του λόγου  $H_i/H_0$  που εμφανίζονται στα διαγράμματα δεν σημαίνει ότι έχουν ίδιο παρονομαστή, και ο παρονομαστής  $H_0$  σε καμία περίπτωση δεν ισούται με  $H_{inc}$ .

### ΟΜΑΔΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ:

1. Σύγκριση λόγου  $H_i/H_0$  για τις δύο γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών  $\phi=45^\circ$  και  $\phi=90^\circ$  για κάθε διάταξη του έργου (L.1.1, L.1.2, L.2.1, L.2.2) Σε αυτήν την περίπτωση φαίνεται πώς επηρεάζεται ύψος κύματος εντός λιμενολεκάνης  $H_i$  ένα δεδομένο κύμα ύψους  $H_0$  και περιόδου  $T_p$ , ανάλογα με την διεύθυνση προσπτώσεως του.
2. Σύγκριση λόγου  $T_{mi}/T_{m_{inc}}$  για τις δύο γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών  $\phi=45^\circ$  και  $\phi=90^\circ$  για κάθε διάταξη του έργου (L.1.1, L.1.2, L.2.1, L.2.2) Σε αυτήν την περίπτωση φαίνεται πώς επηρεάζει τη μέση περίοδο εντός λιμενολεκάνης  $T_{mi}$  ένα δεδομένο κύμα ύψους  $H_0$  και περιόδου  $T_{m_{inc}}$ , ανάλογα με την διεύθυνση προσπτώσεως του.
3. Σύγκριση λόγου  $H_i/H_0$  για τις δύο γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών  $\phi=45^\circ$  και  $\phi=90^\circ$  για κάθε διάταξη του έργου (L.1.1, L.1.2, L.2.1, L.2.2) Σε αυτήν την περίπτωση φαίνεται πώς επηρεάζει ένα δεδομένο κύμα ύψους  $H_{θεωρητικό}$  και περιόδου  $T_{τη}$  λιμενολεκάνη, ανάλογα με την διεύθυνση προσπτώσεως του

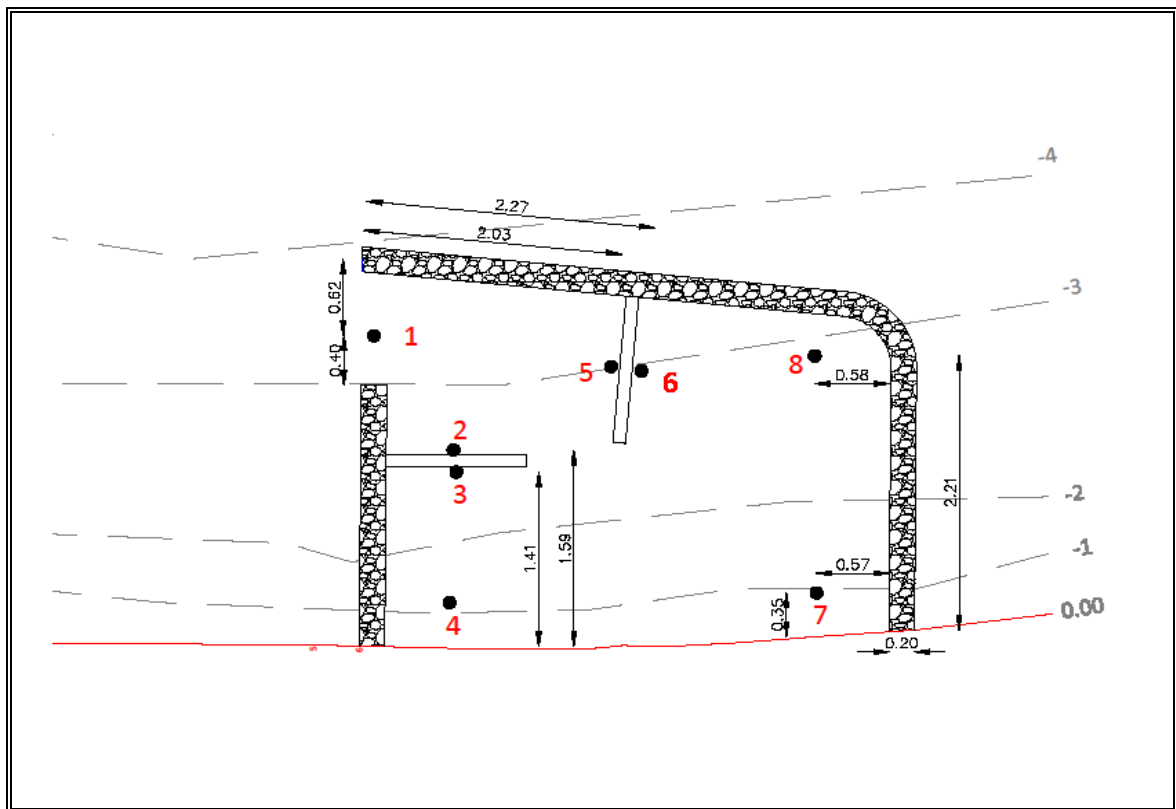
Για την καλύτερη κατανόηση και μελέτη των διαγραμμάτων η κάθε διάταξη έργων L.1.1, L.1.2, L.2.1, L.2.2 συμβολίζεται με ένα συγκεκριμένο χρώμα:

ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.1 :	
ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.2 :	
ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.1 :	
ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.2 :	

Εικόνα 5.13: Διατάξεις έργων και αντίστοιχοι χρωματισμοί



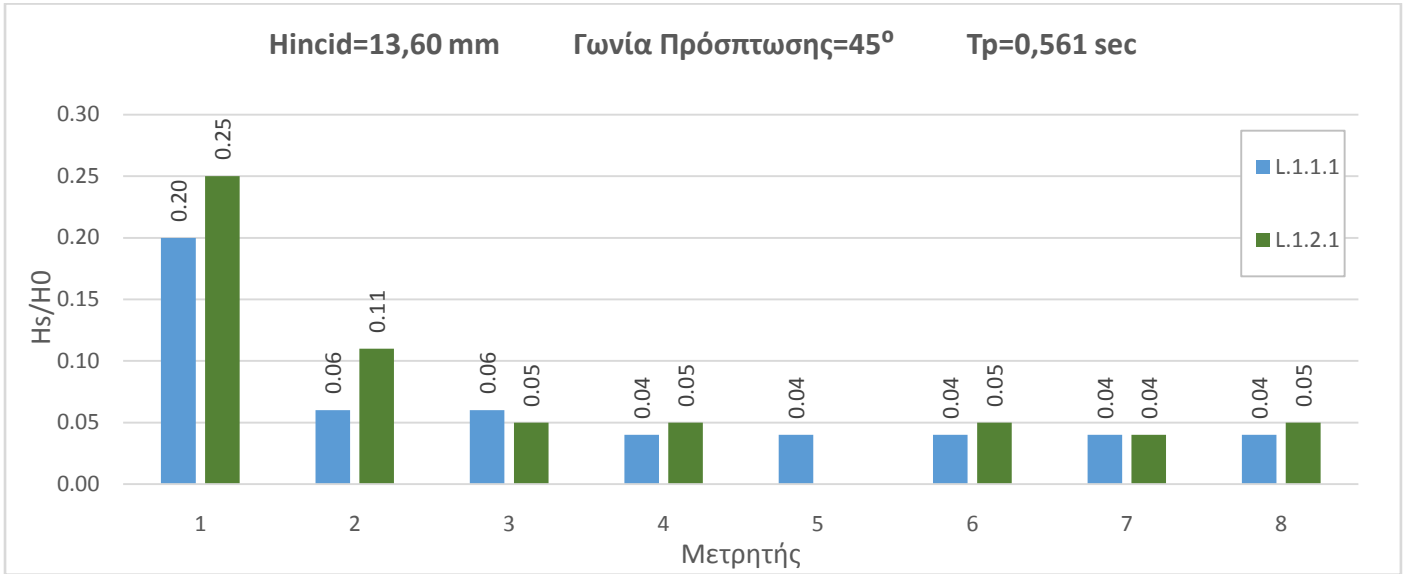
Θέσεις ηχοβολιστικών μετρητών εντός λιμενολεκάνης:



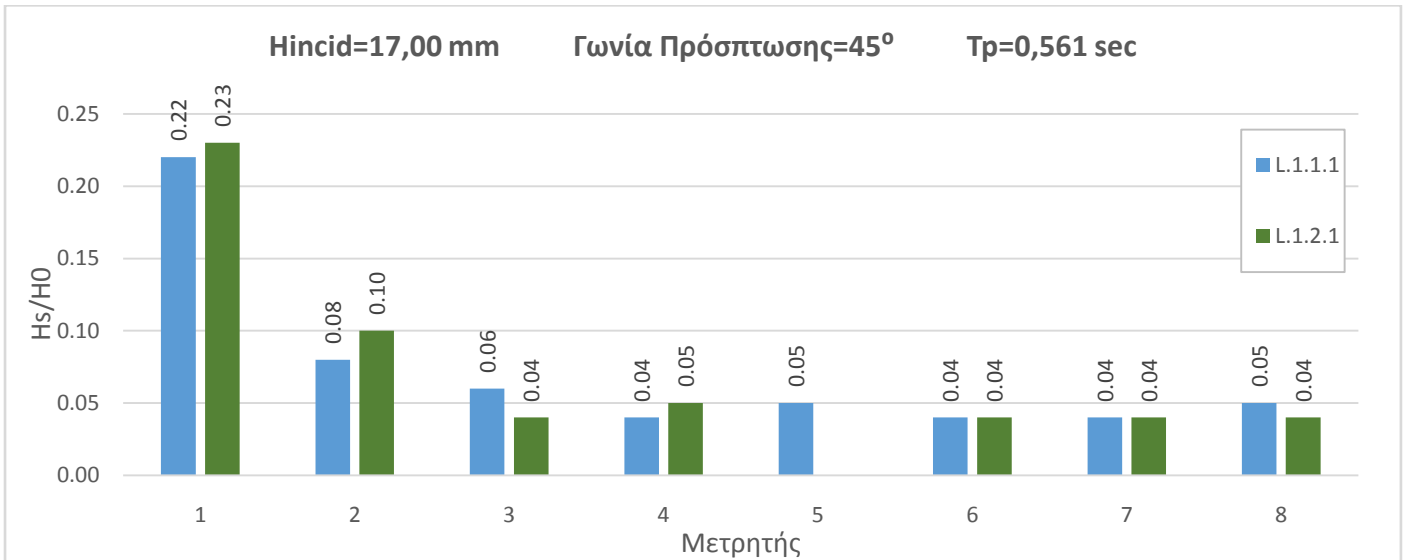
Εικόνα 5.14: Θέσεις ηχοβολιστικών μετρητών εντός λιμενολεκάνης

### 5.8.1 Συγκριτικά διαγράμματα Hs/H0 για κάθε διάταξη έργων ως προς συγκεκριμένο κυματισμό και γωνία πρόσπτωσης.

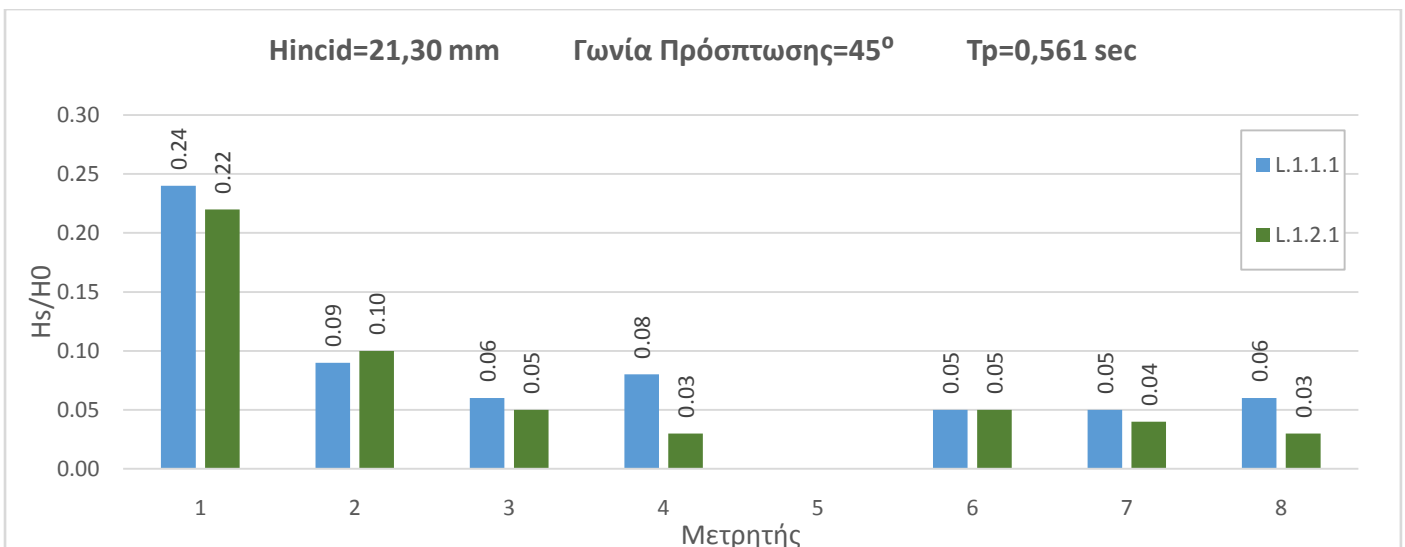
#### Α) Γωνία πρόσπτωσης $\phi=45^\circ$



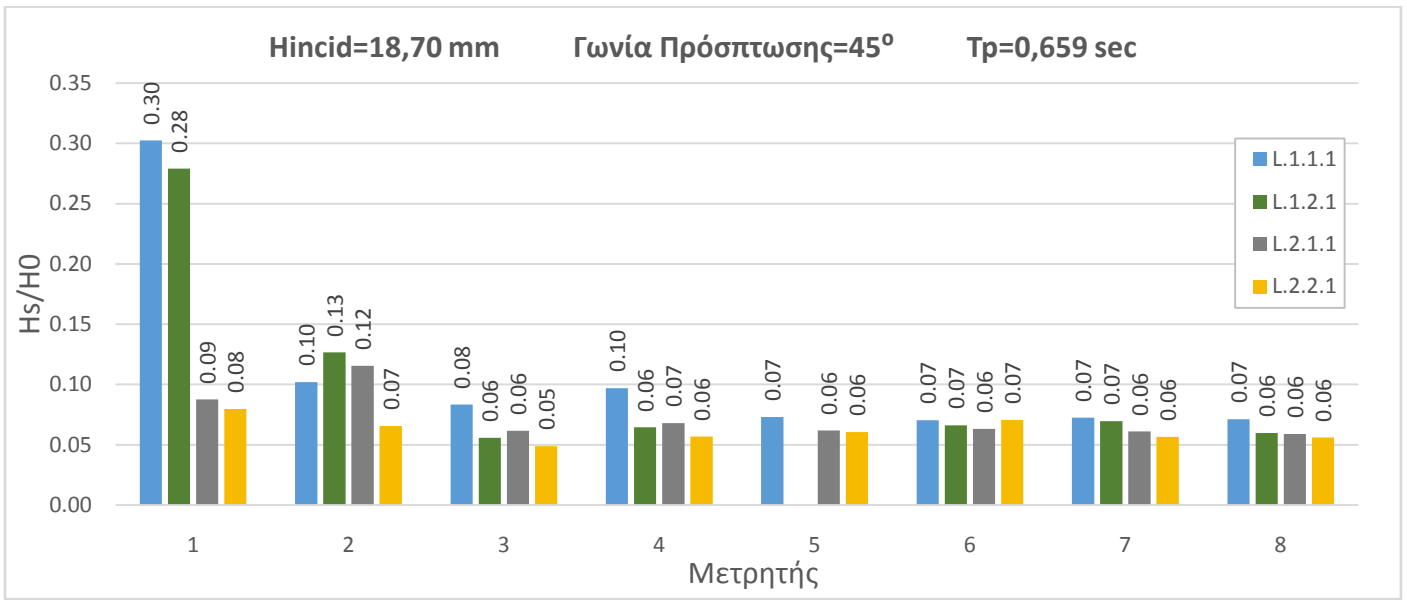
Διάγραμμα 5.1



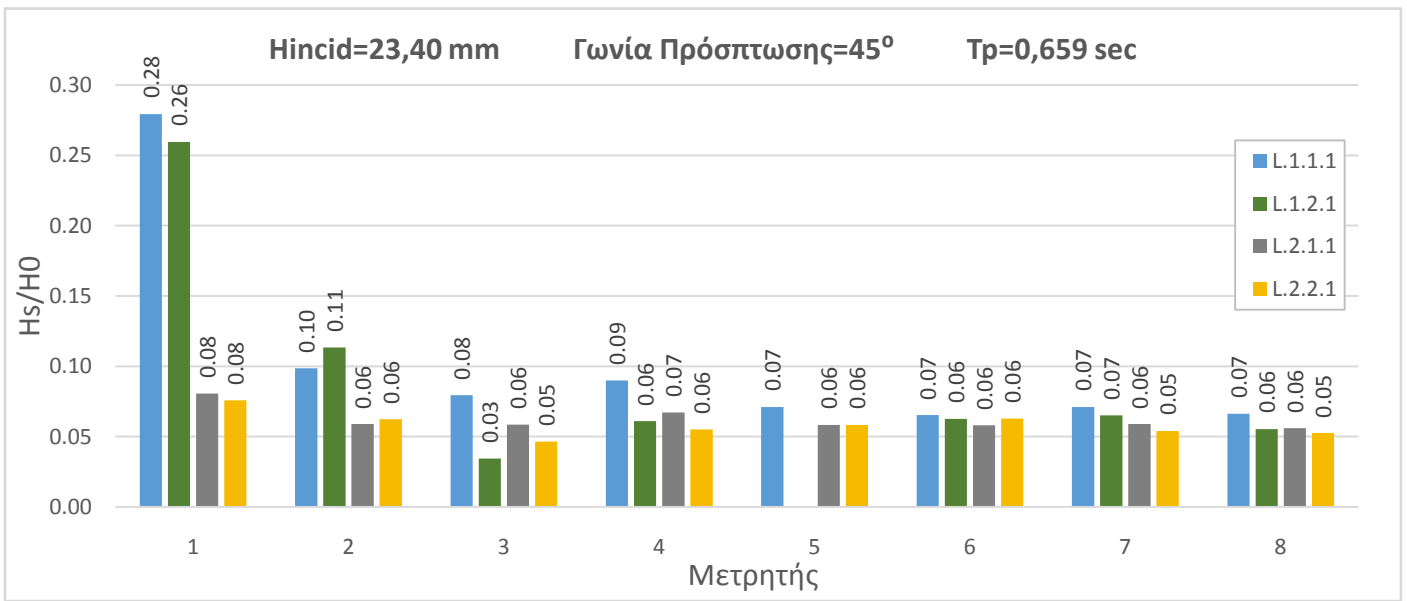
Διάγραμμα 5.2



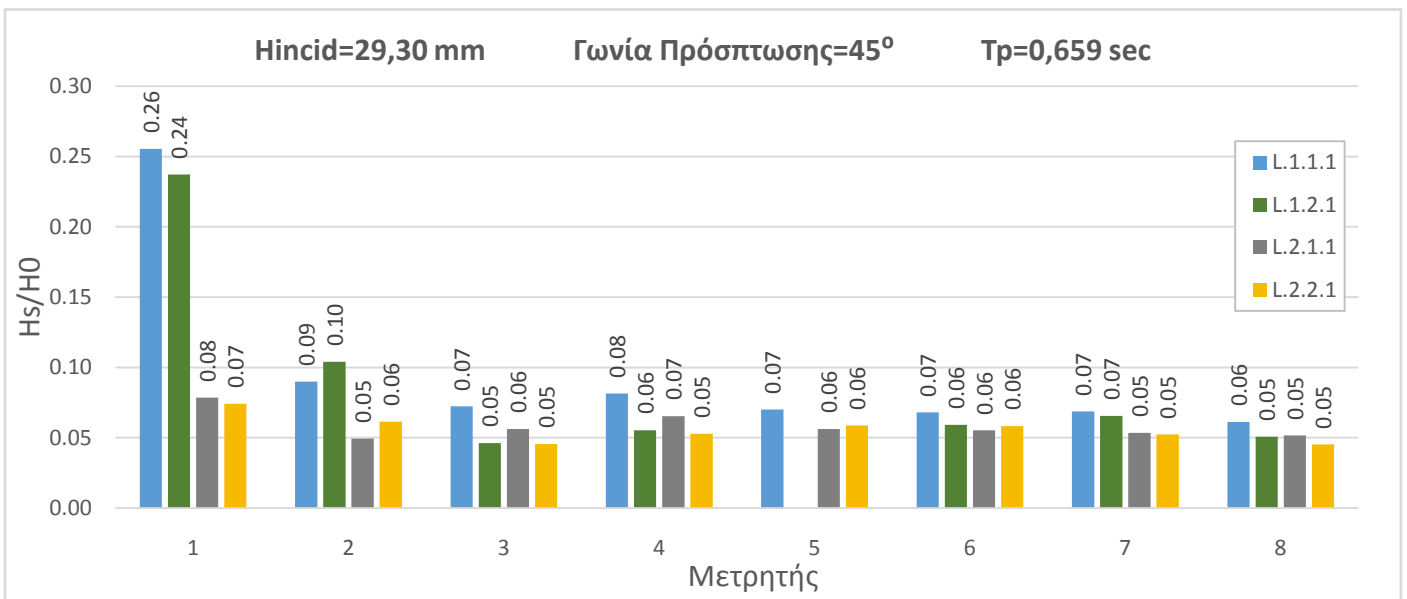
Διάγραμμα 5.3



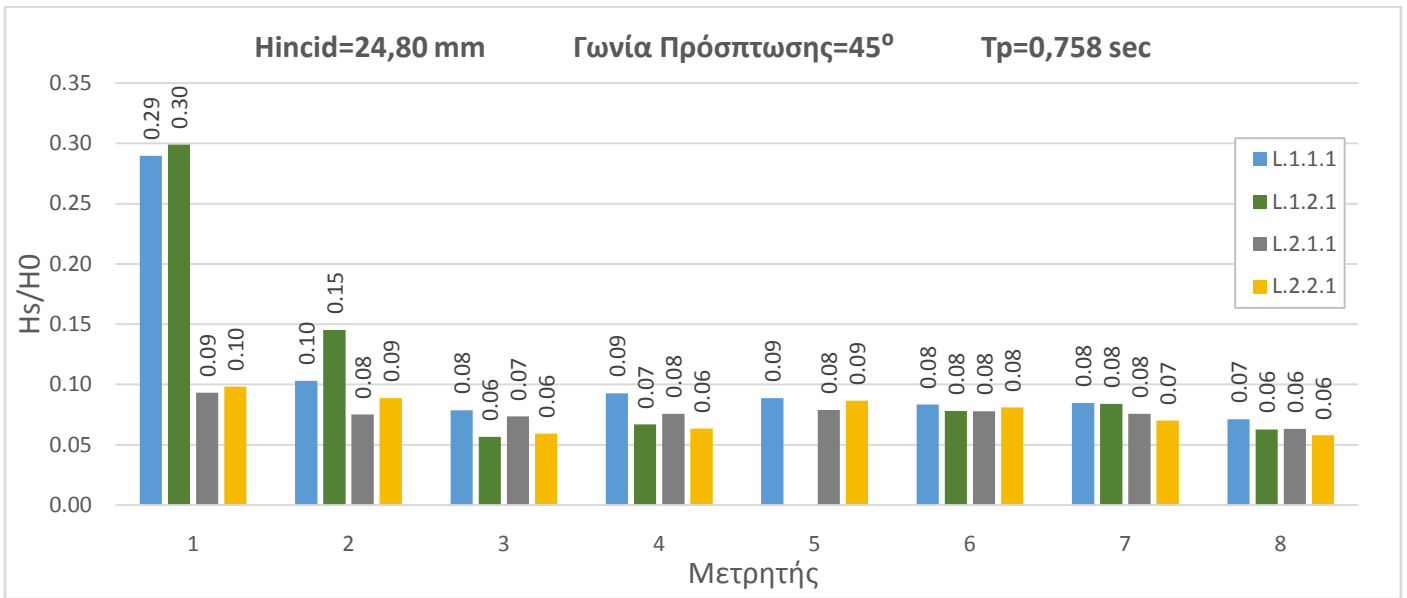
Διάγραμμα 5.4



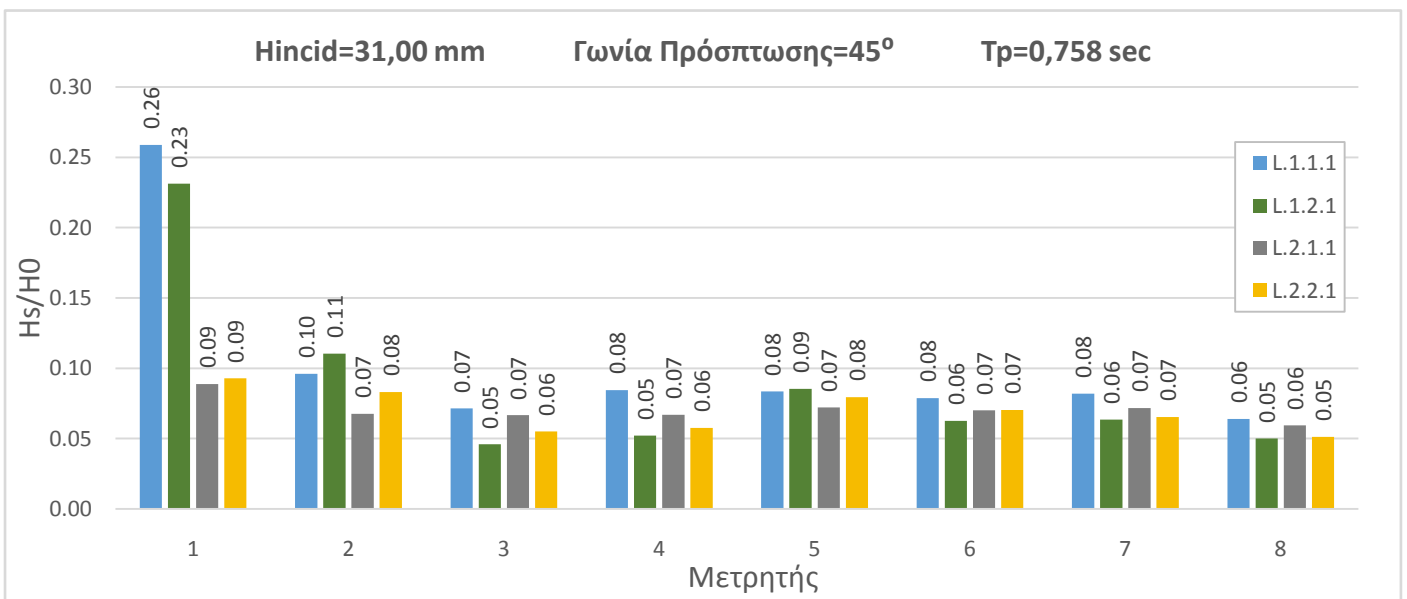
Διάγραμμα 5.5



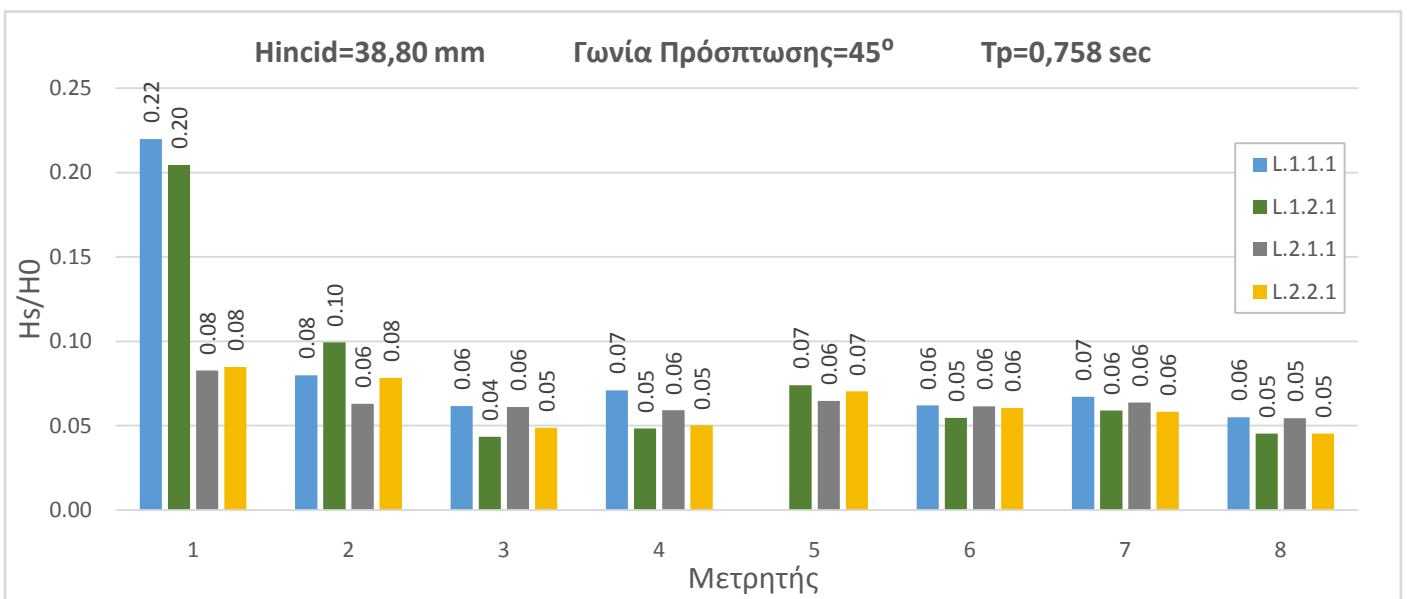
Διάγραμμα 5.6



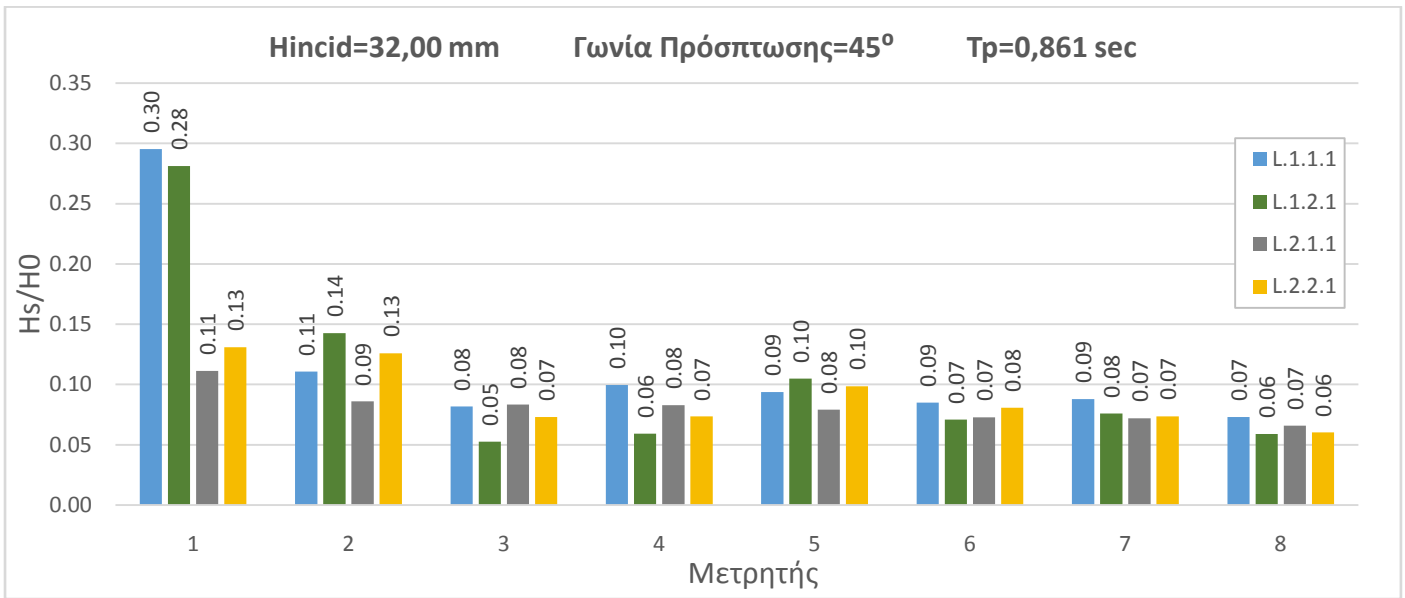
Διάγραμμα 5.7



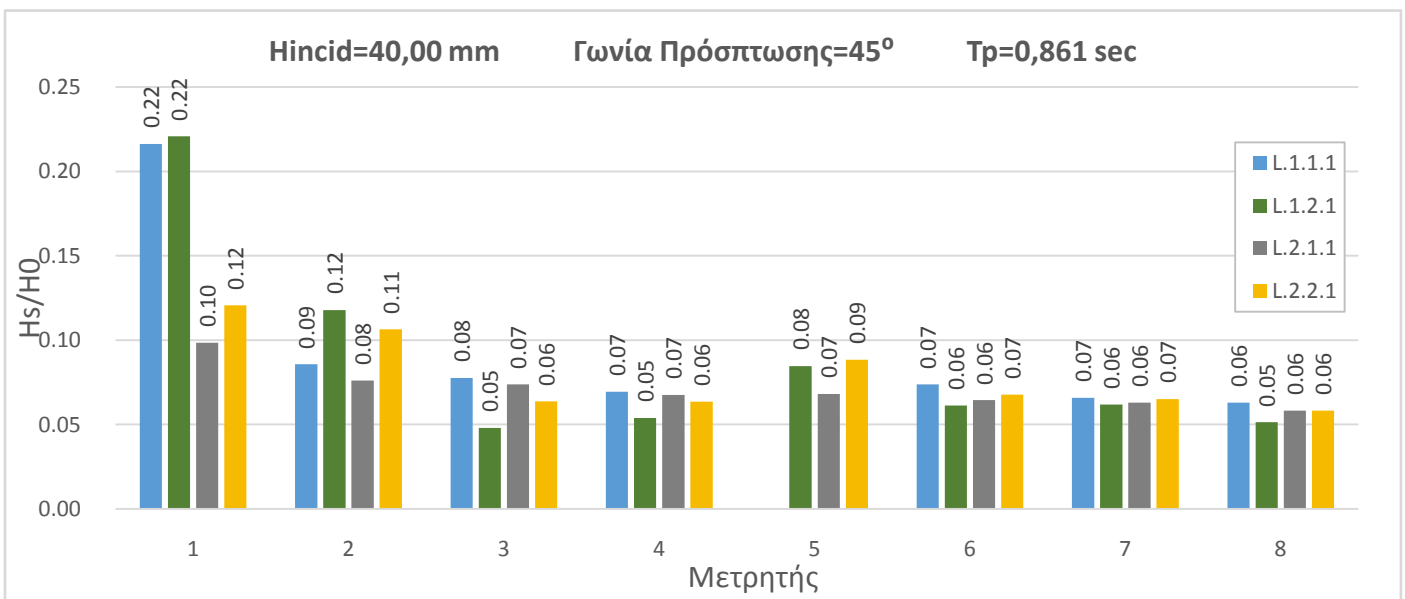
Διάγραμμα 5.8



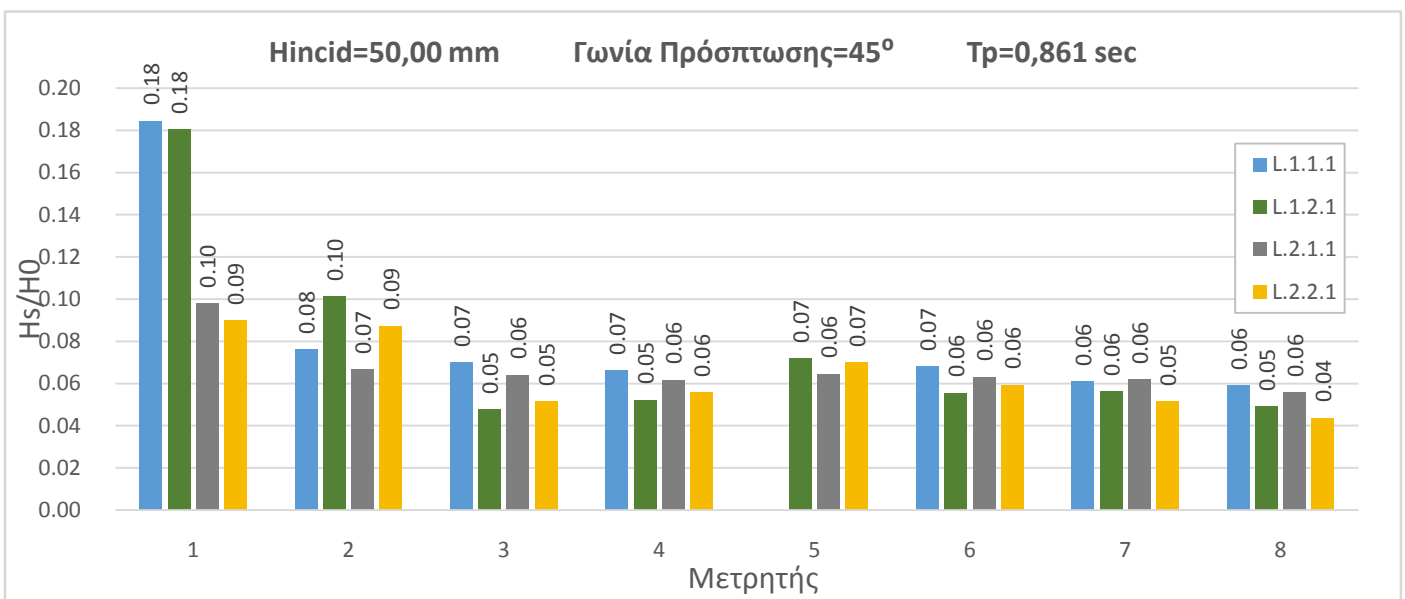
Διάγραμμα 5.9



Διάγραμμα 5.10

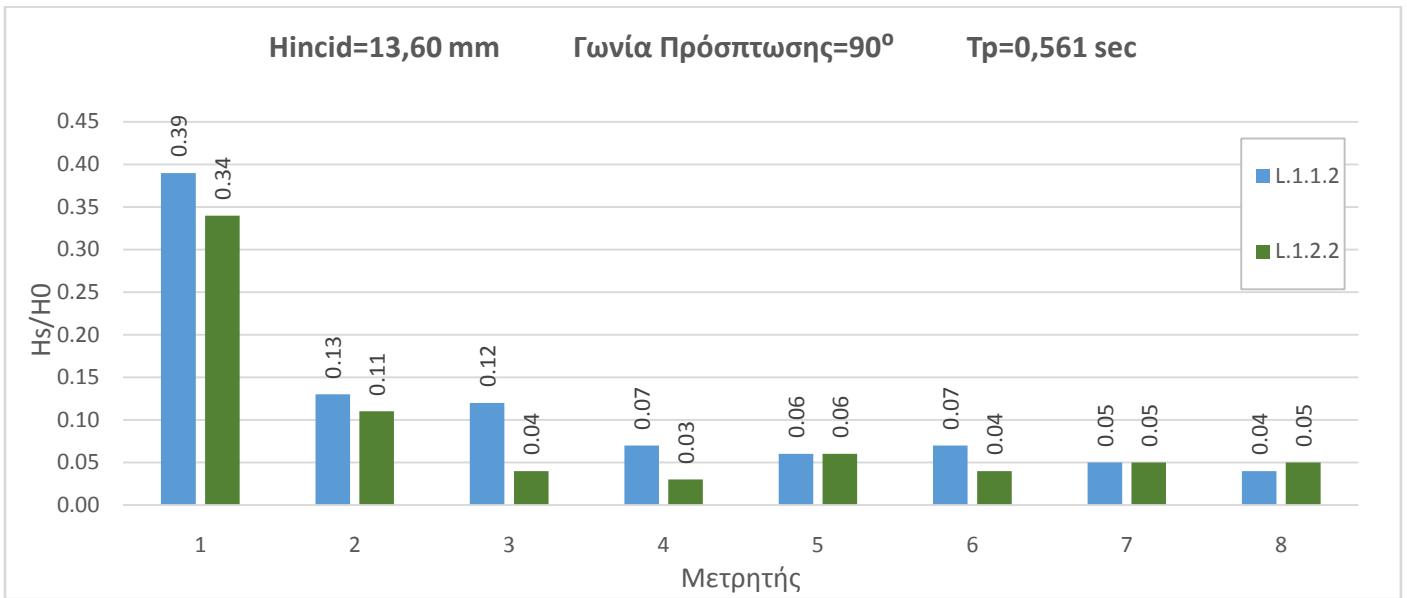


Διάγραμμα 5.11

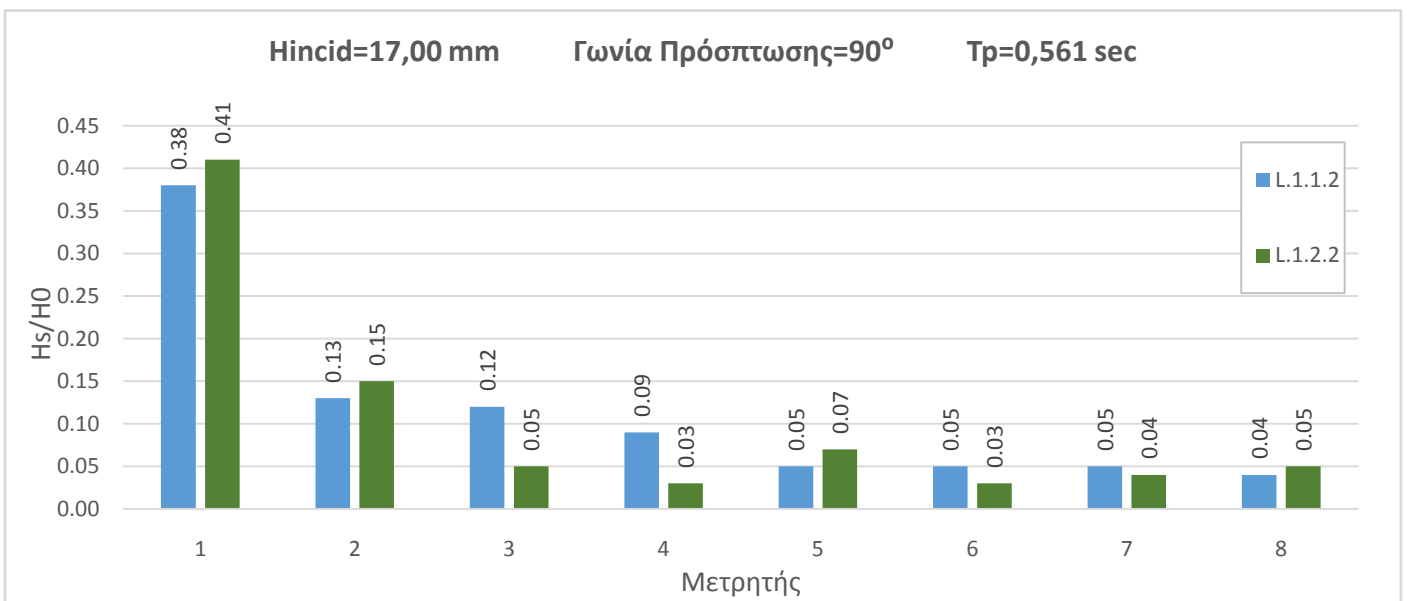


Διάγραμμα 5.12

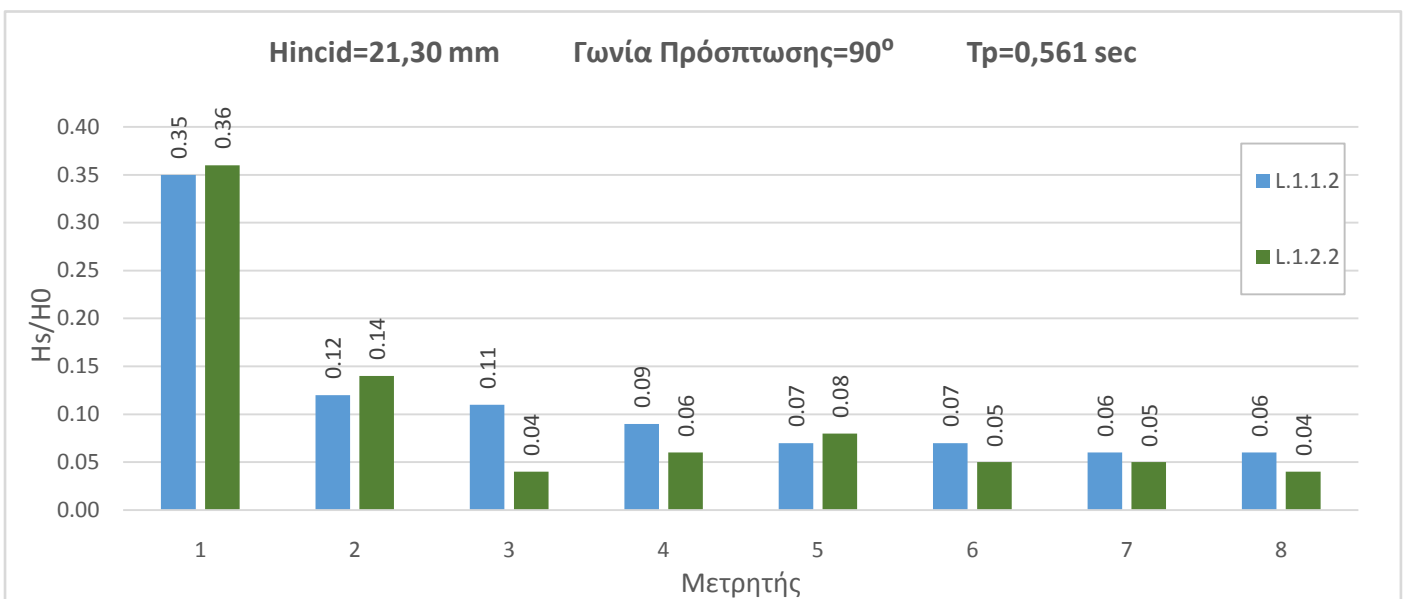
**Β) Γωνία πρόσπτωσης φ=90°**



*Διάγραμμα 5.13*

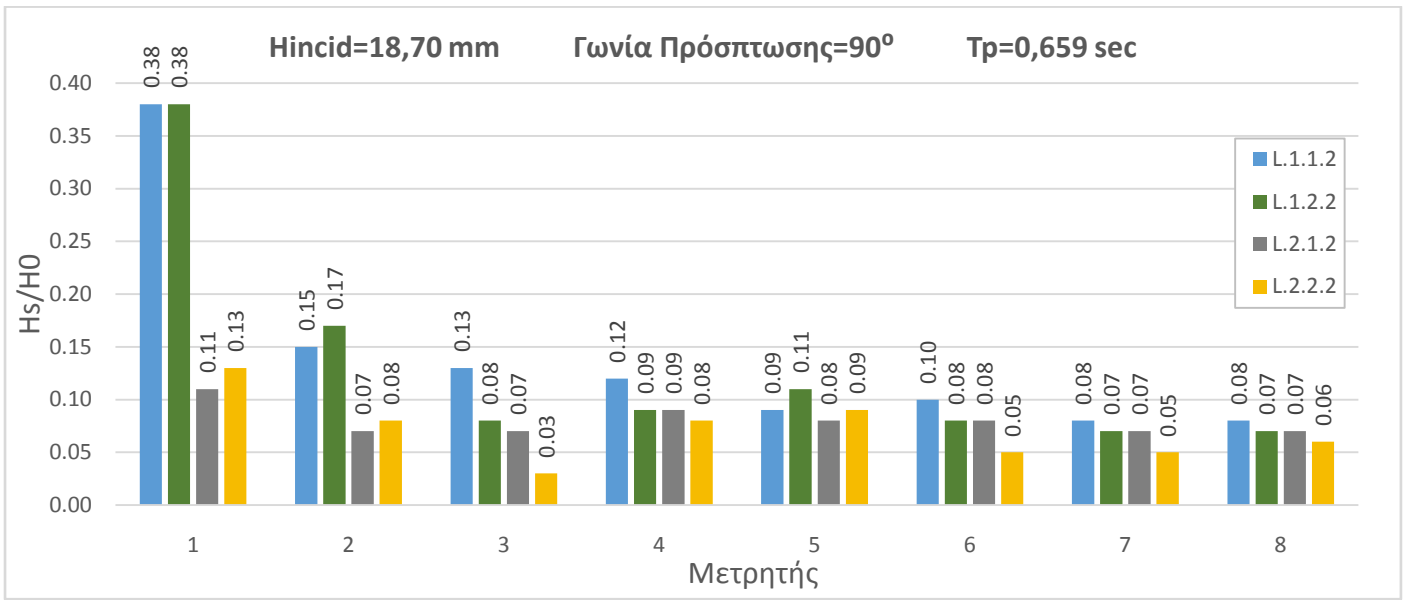


*Διάγραμμα 5.14*

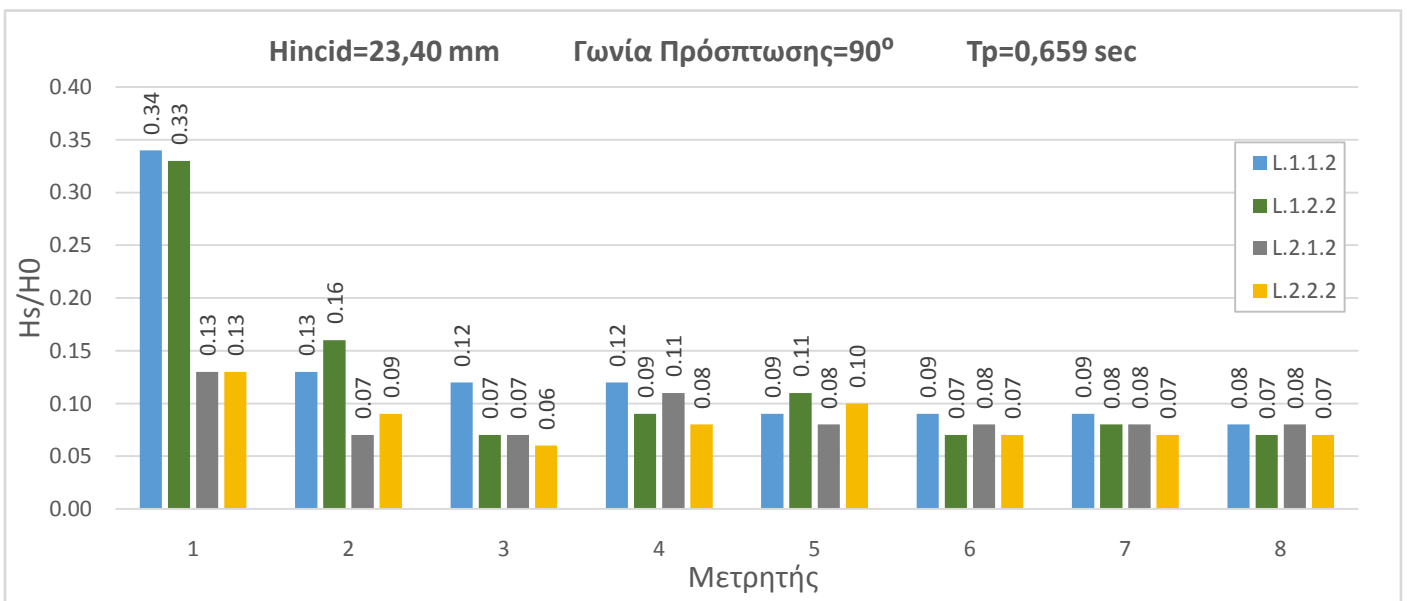


*Διάγραμμα 5.15*

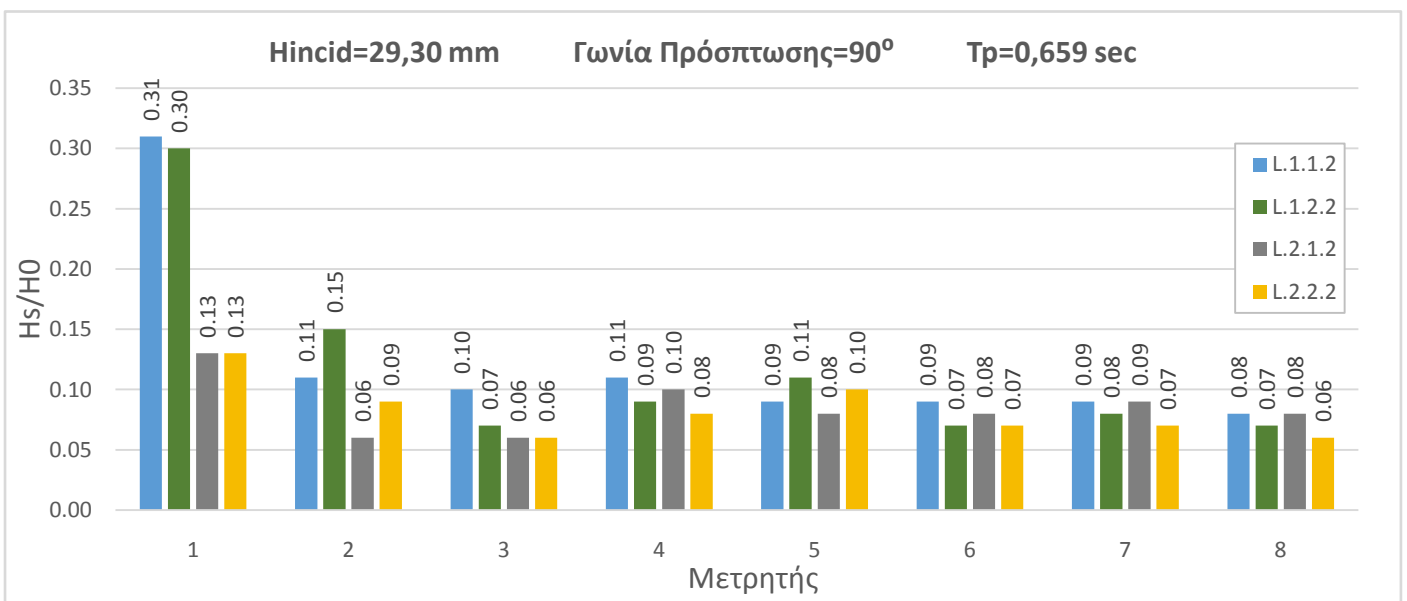




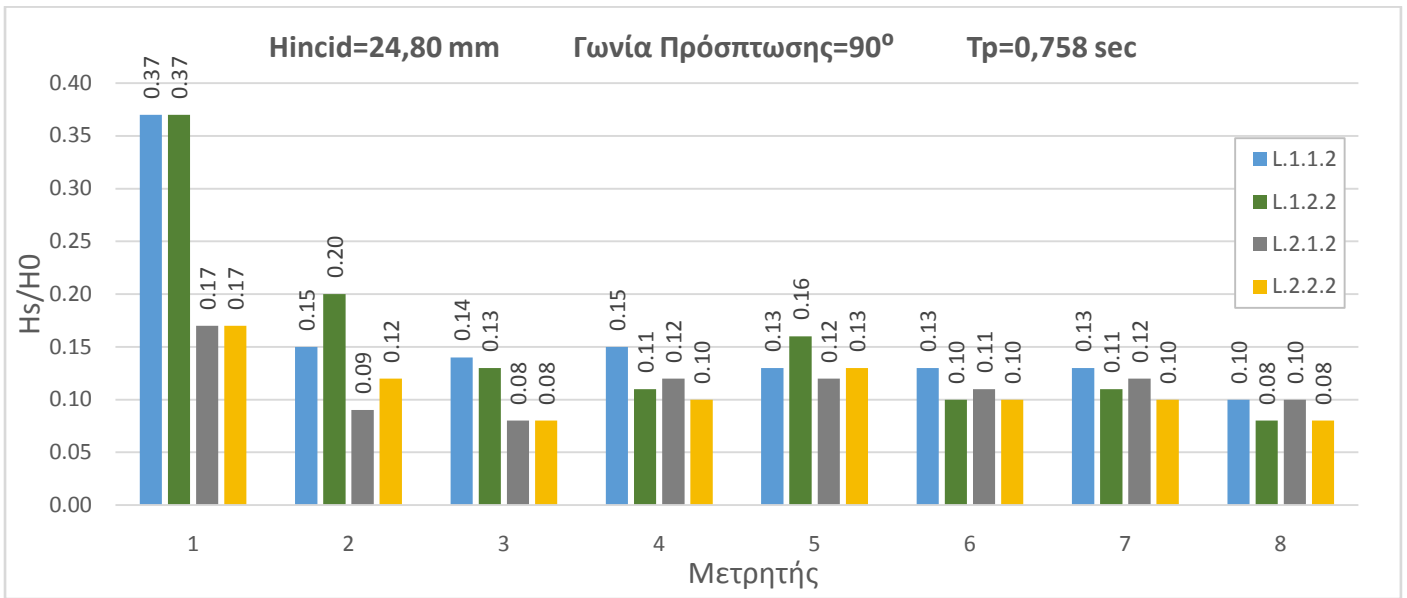
*Διάγραμμα 5.16*



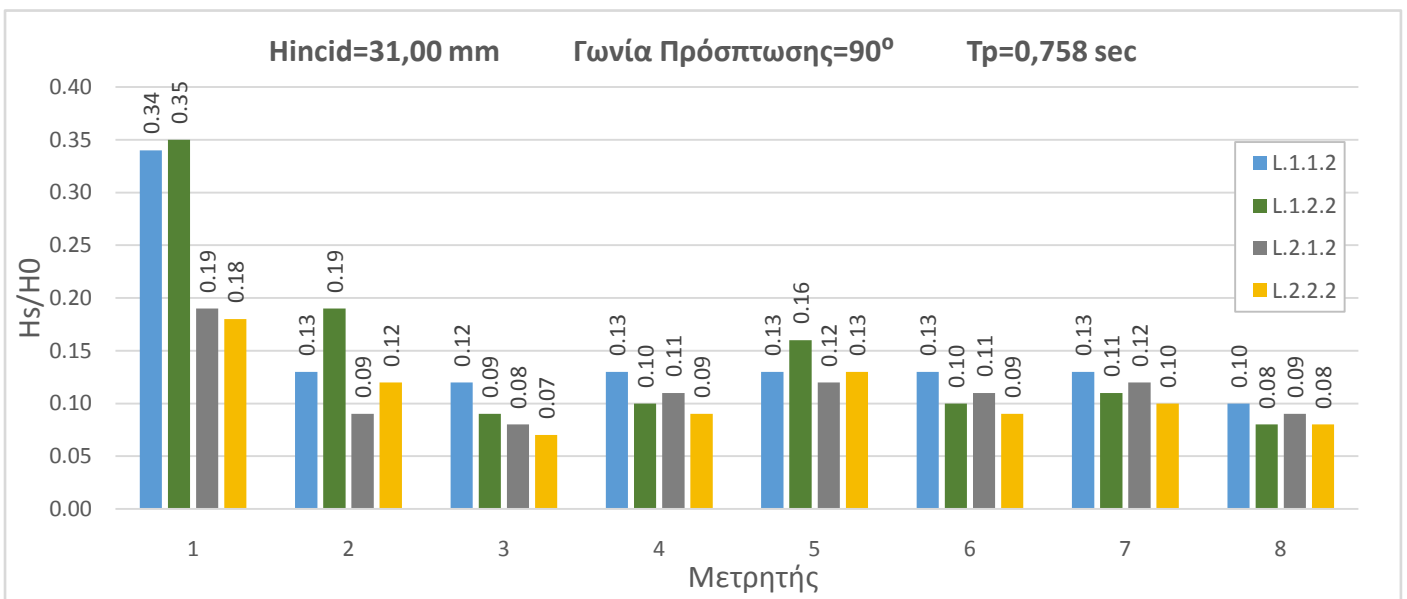
*Διάγραμμα 5.17*



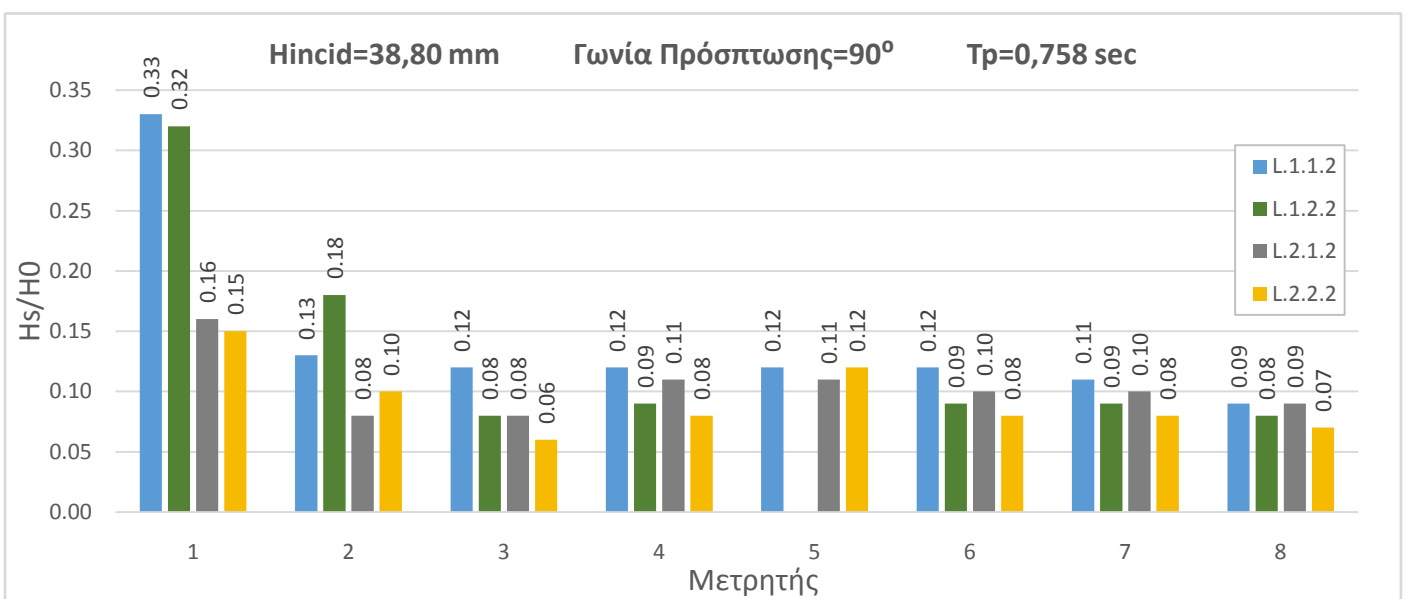
*Διάγραμμα 5.18*



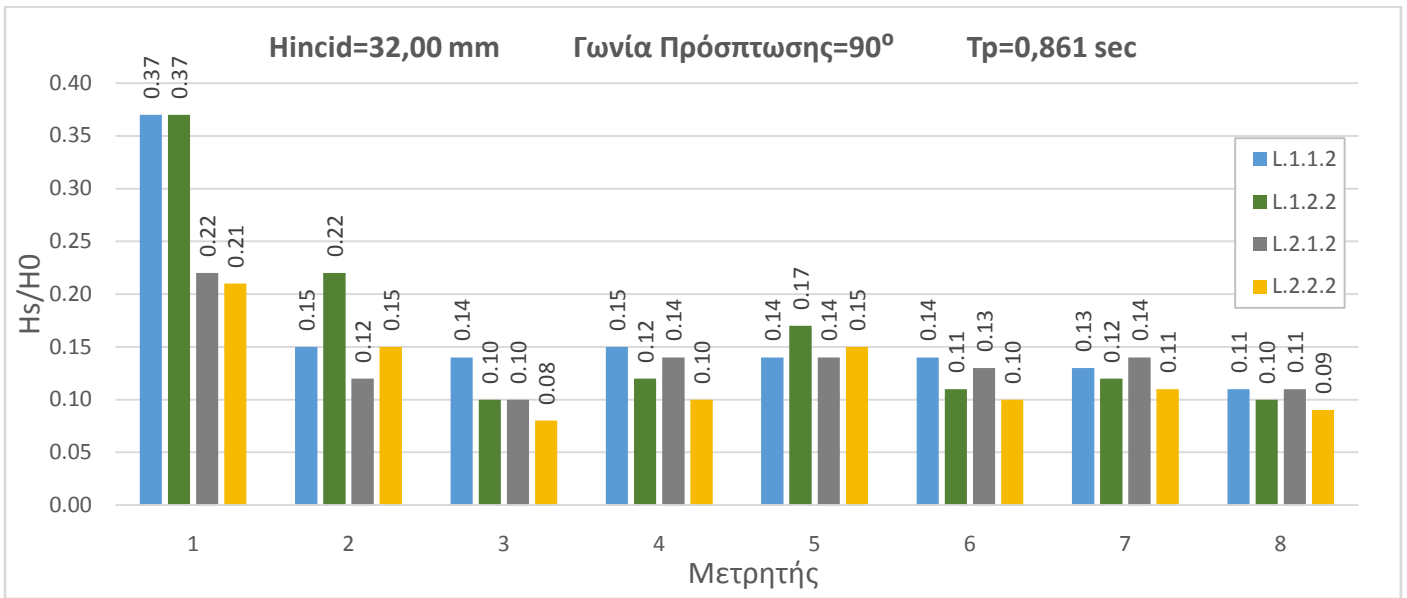
Διάγραμμα 5.19



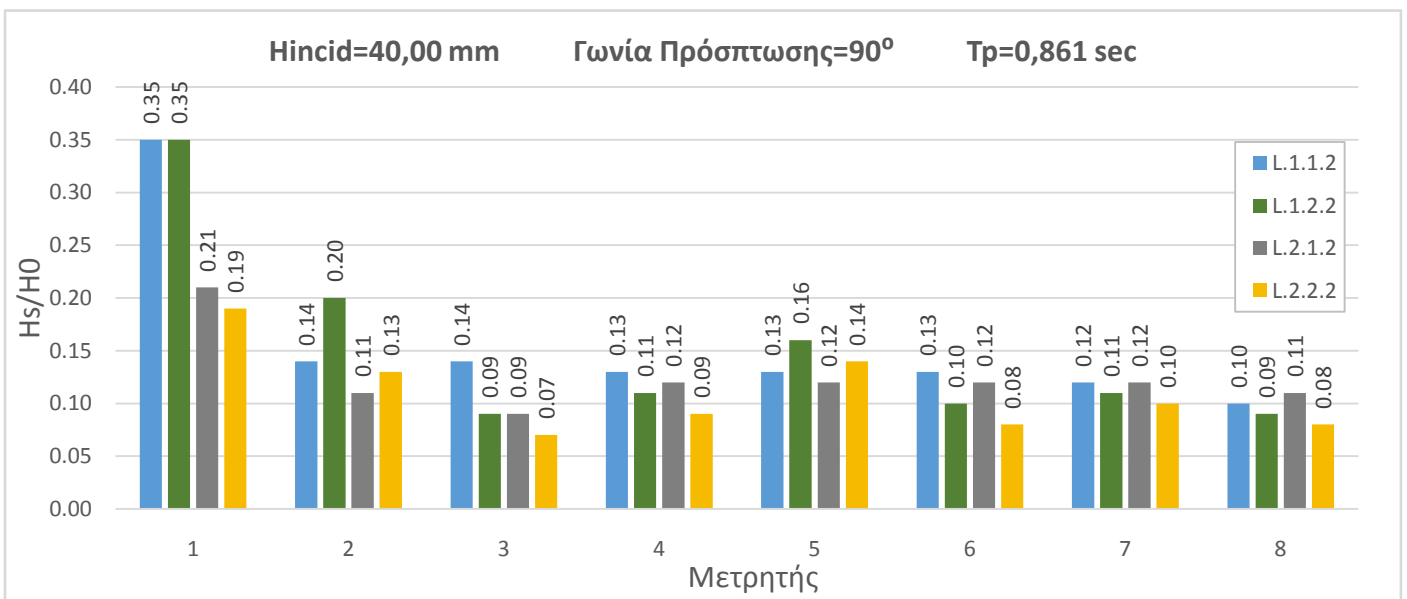
Διάγραμμα 5.20



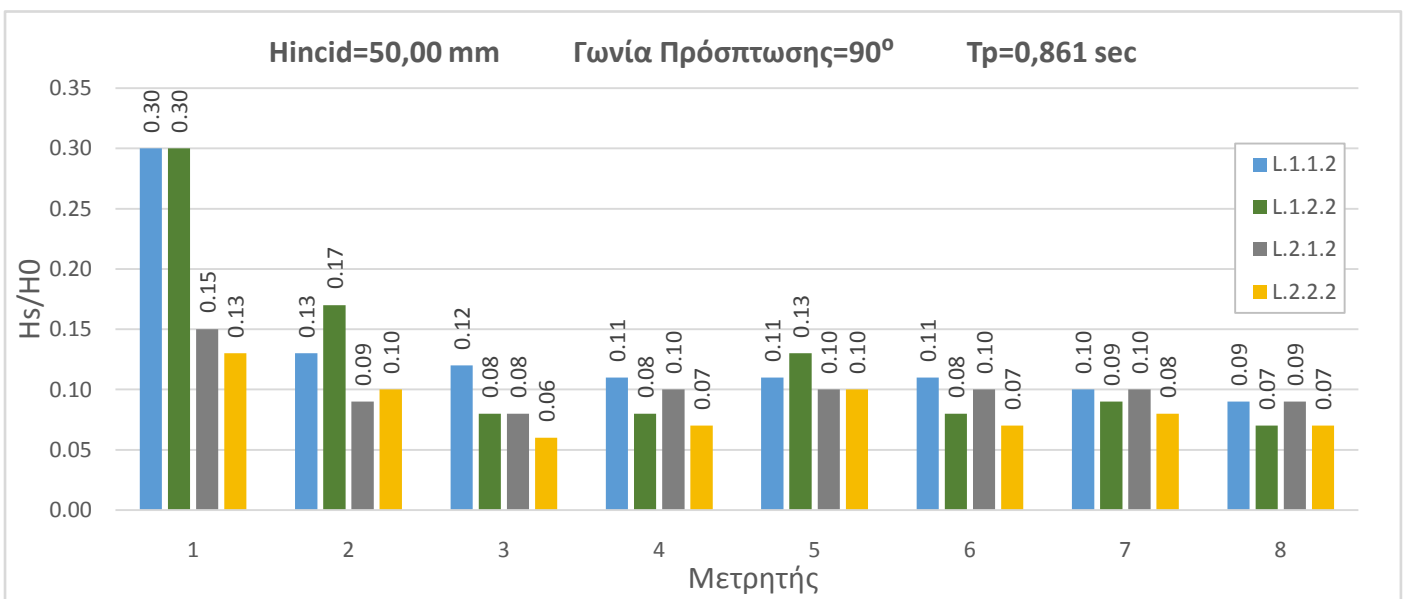
Διάγραμμα 5.21



Διάγραμμα 5.22

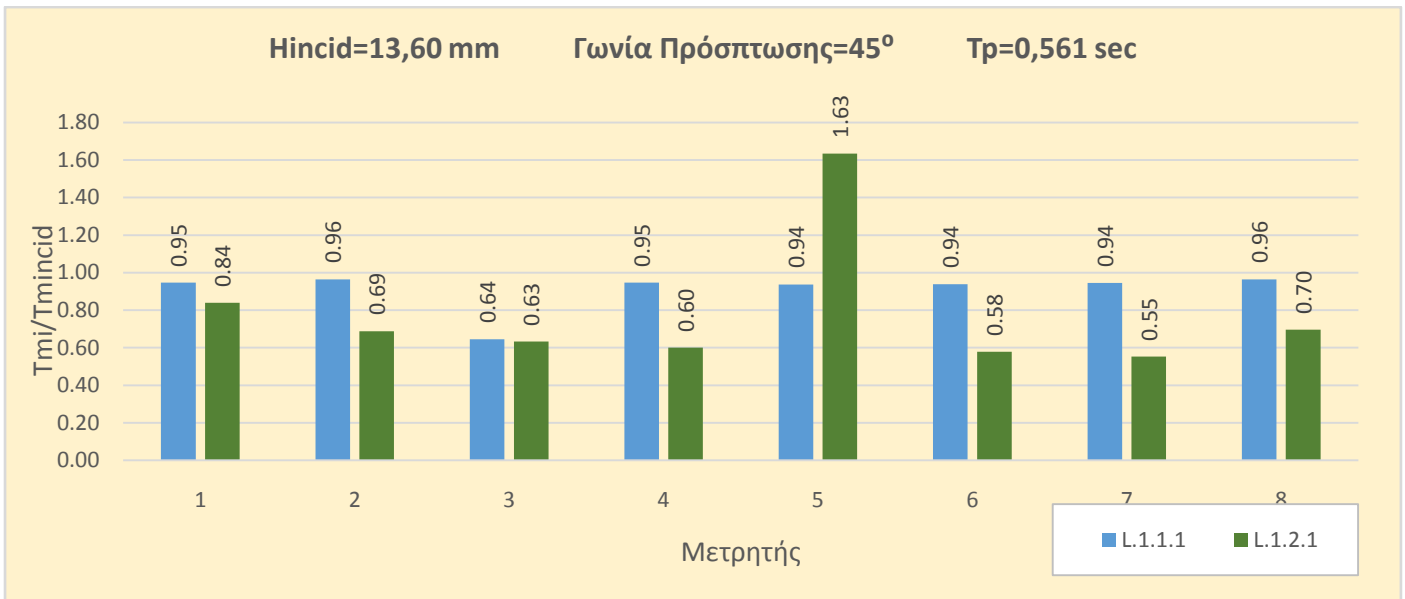


Διάγραμμα 5.23

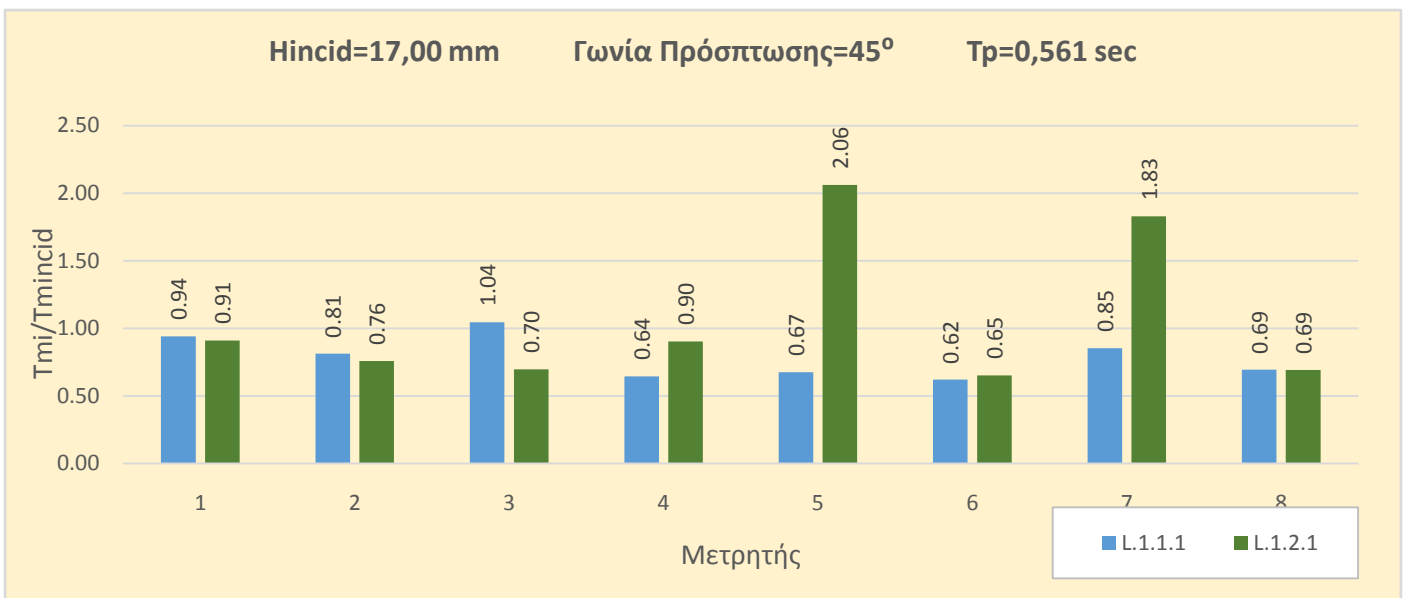


Διάγραμμα 5.24

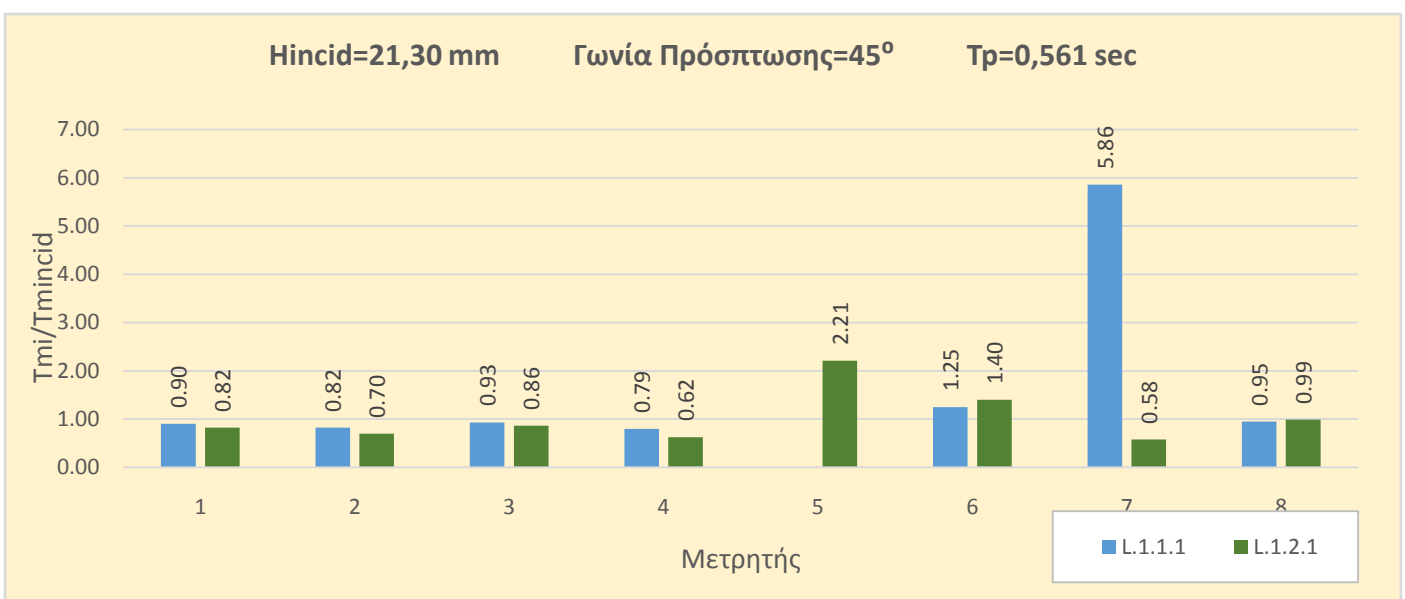
**5.8.2 Συγκριτικά διαγράμματα  $T_{mi}/T_{m\text{incid}}$  για κάθε διάταξη έργων ως προς συγκεκριμένο κυματισμό και γωνία πρόσπτωσης.**



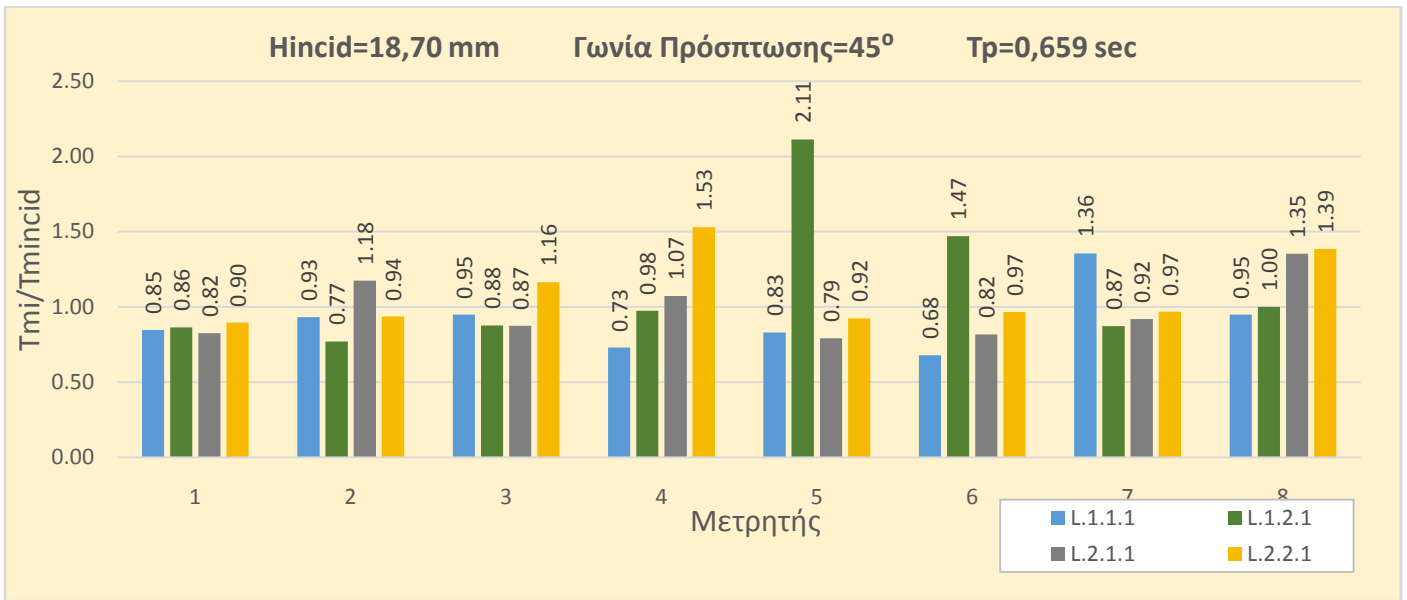
Διάγραμμα 5.25



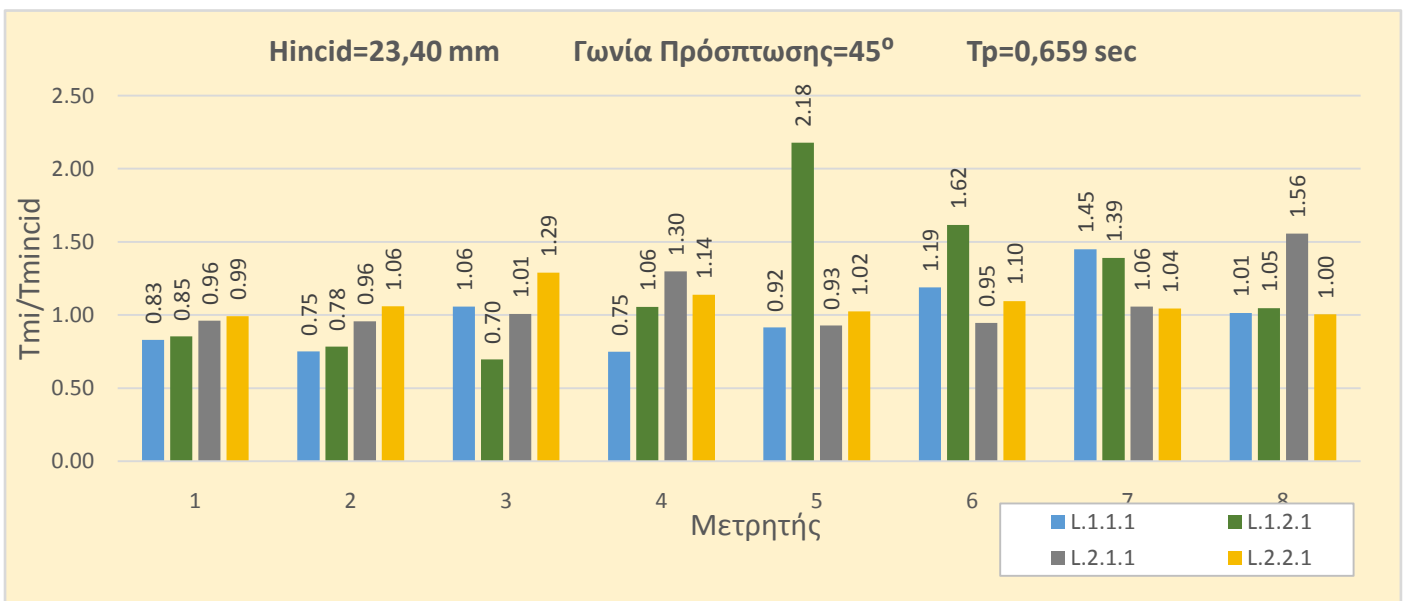
Διάγραμμα 5.26



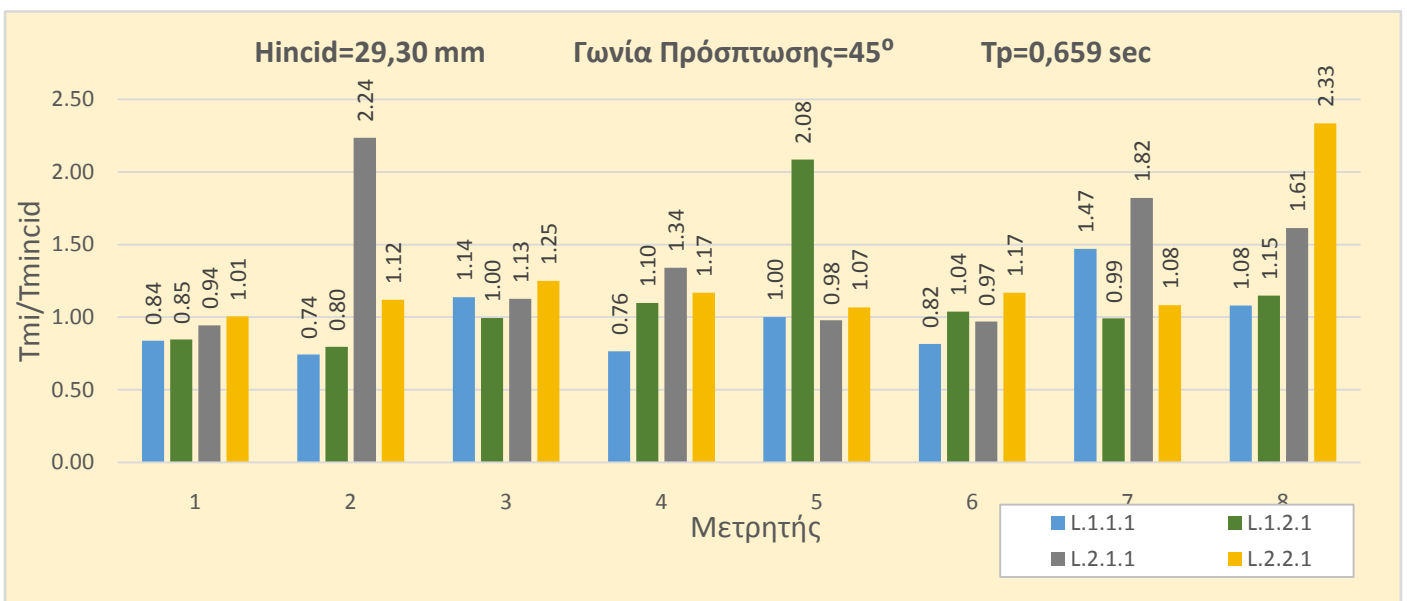
Διάγραμμα 5.27



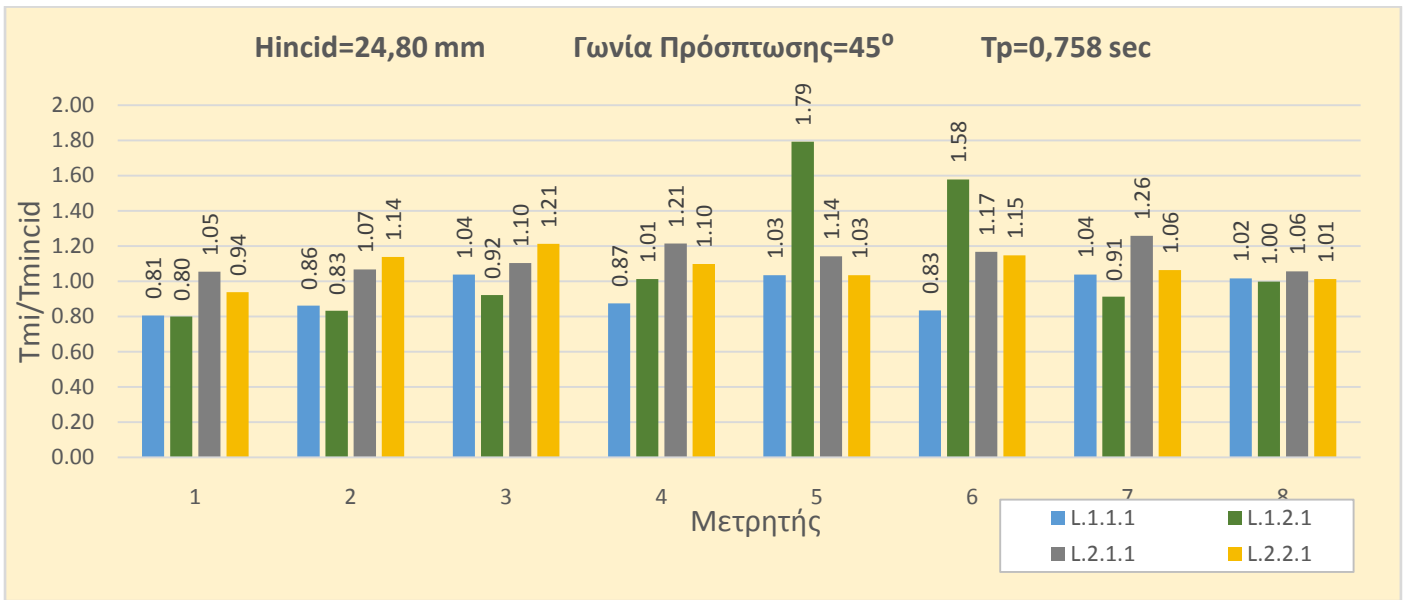
Διάγραμμα 5.28



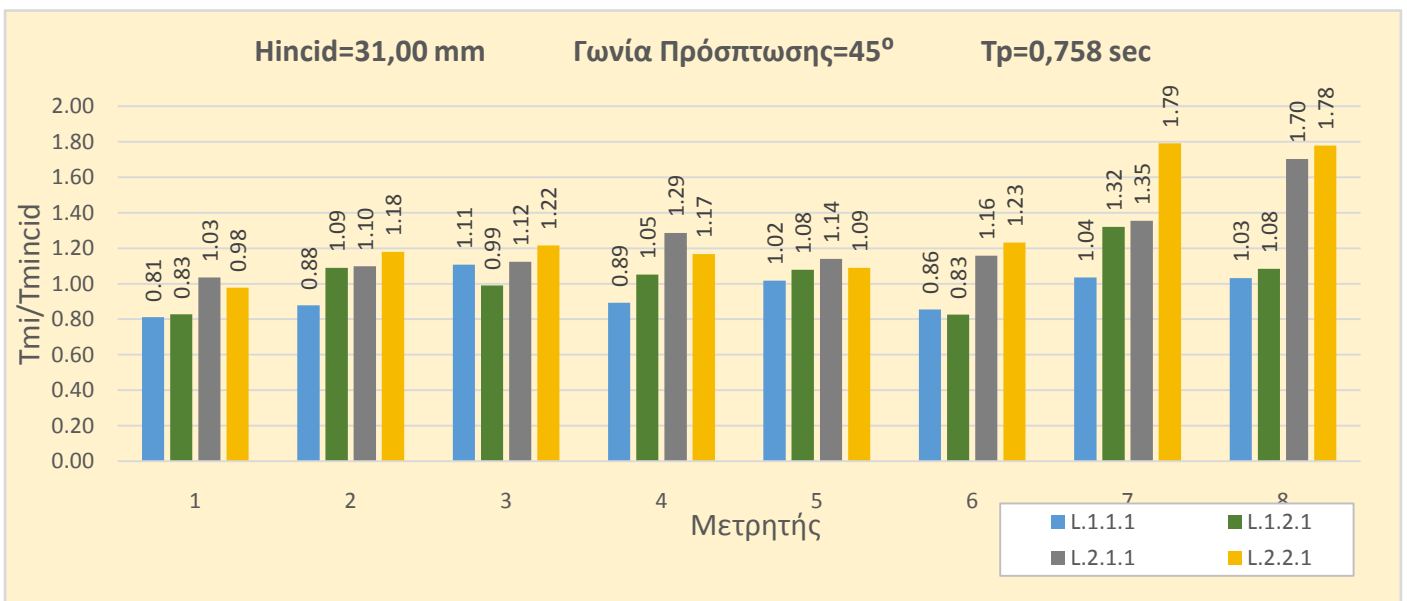
Διάγραμμα 5.29



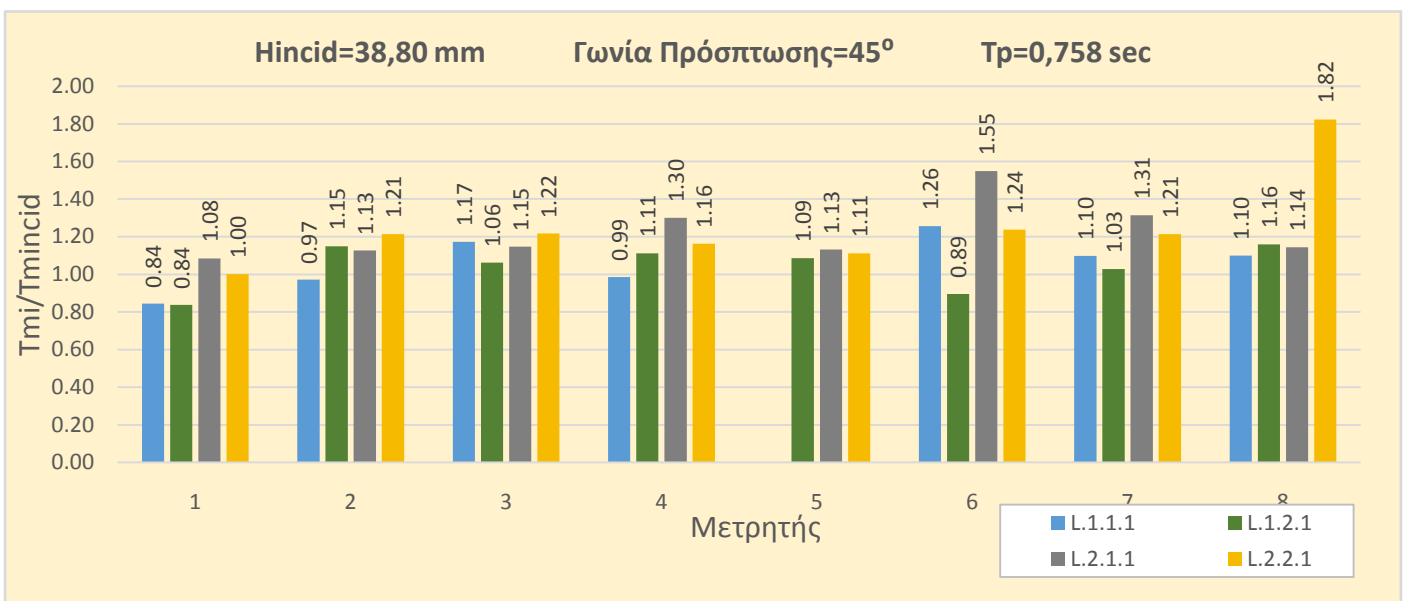
Διάγραμμα 5.30



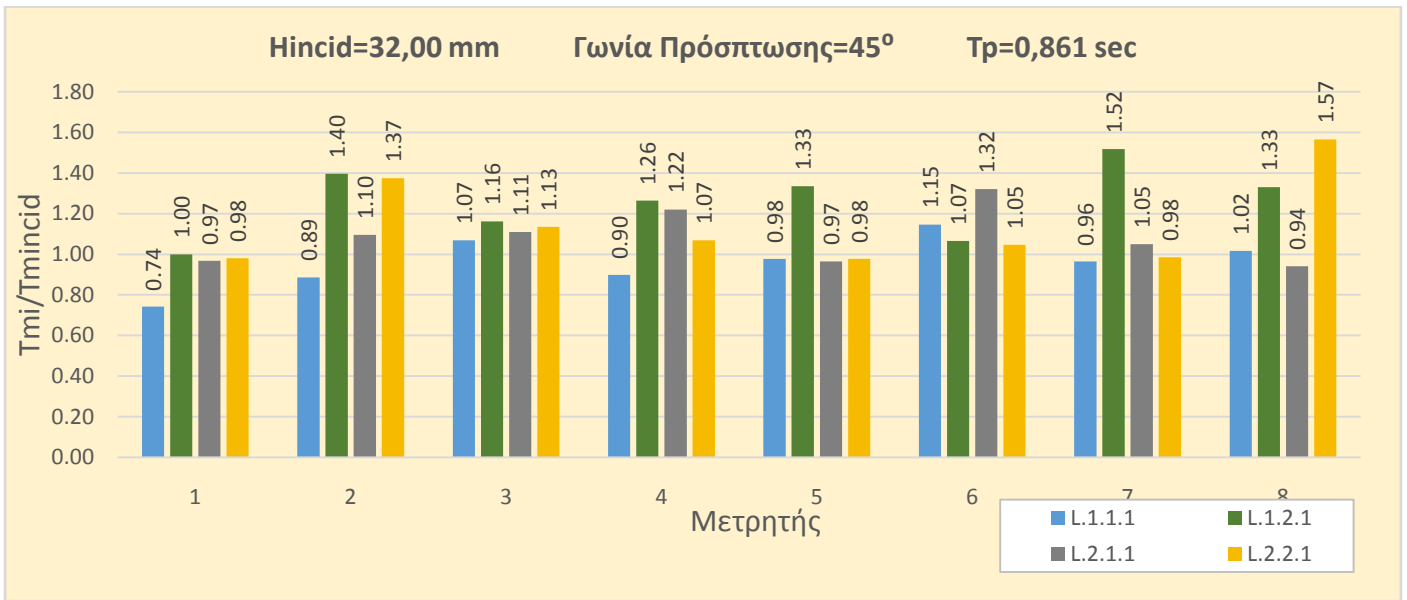
*Διάγραμμα 5.31*



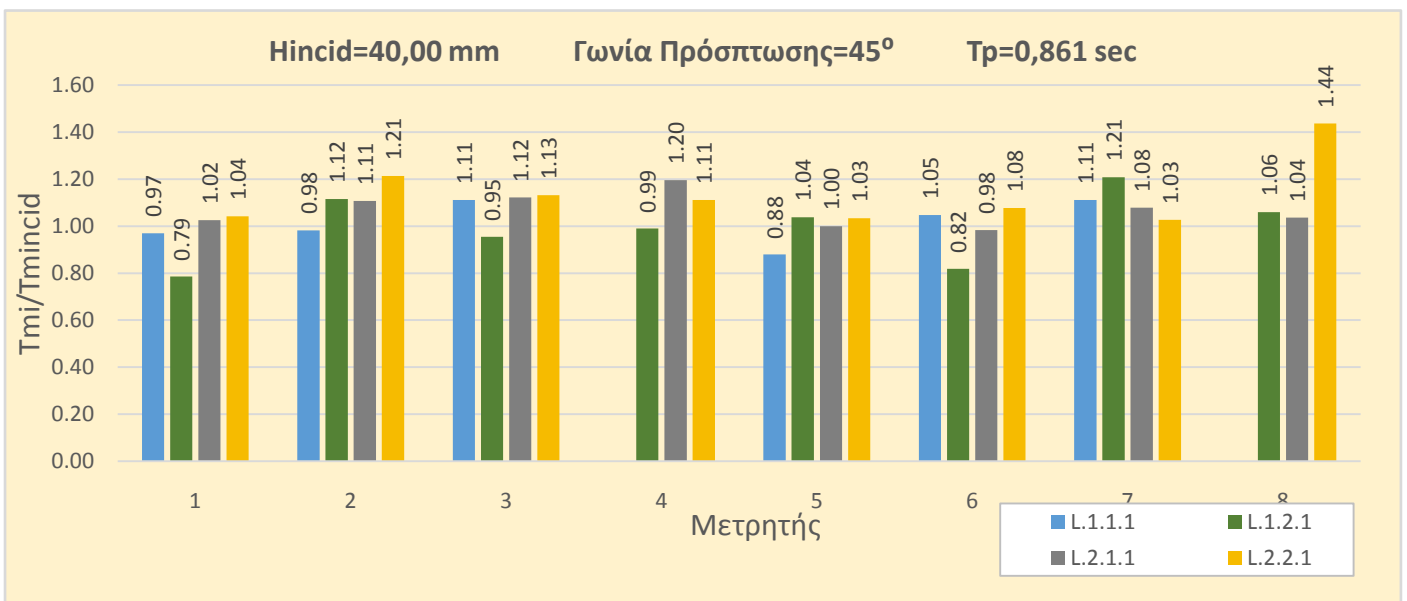
*Διάγραμμα 5.32*



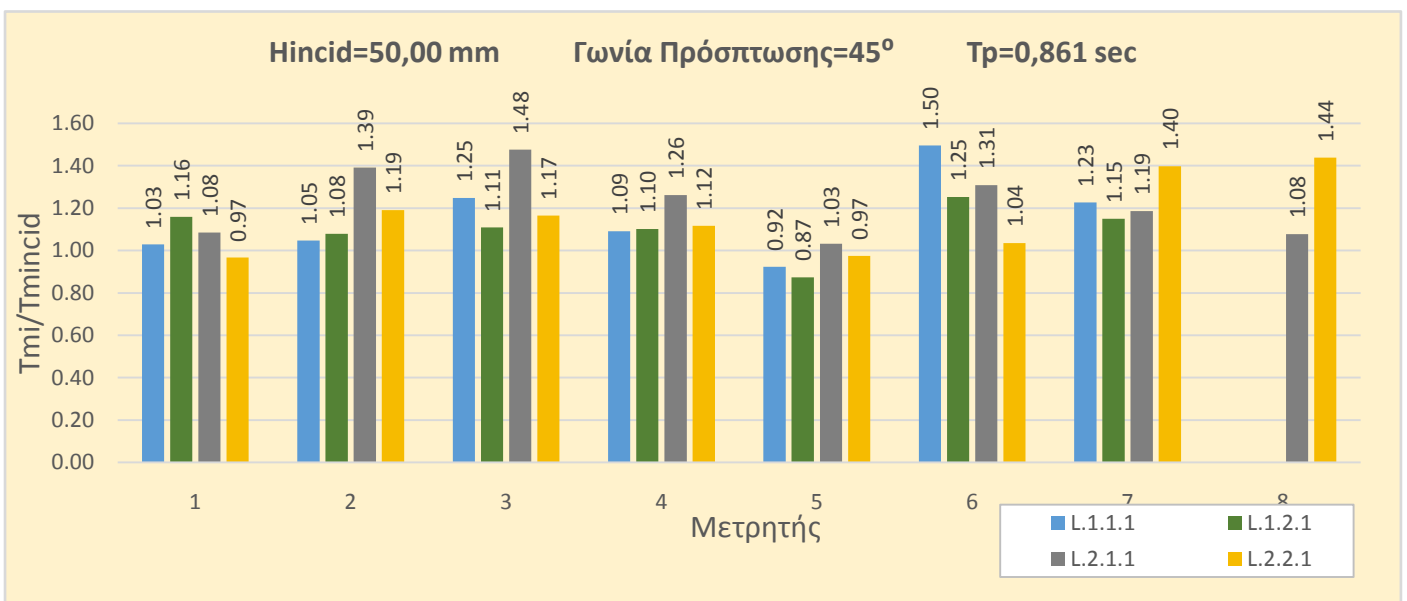
*Διάγραμμα 5.33*



Διάγραμμα 5.34

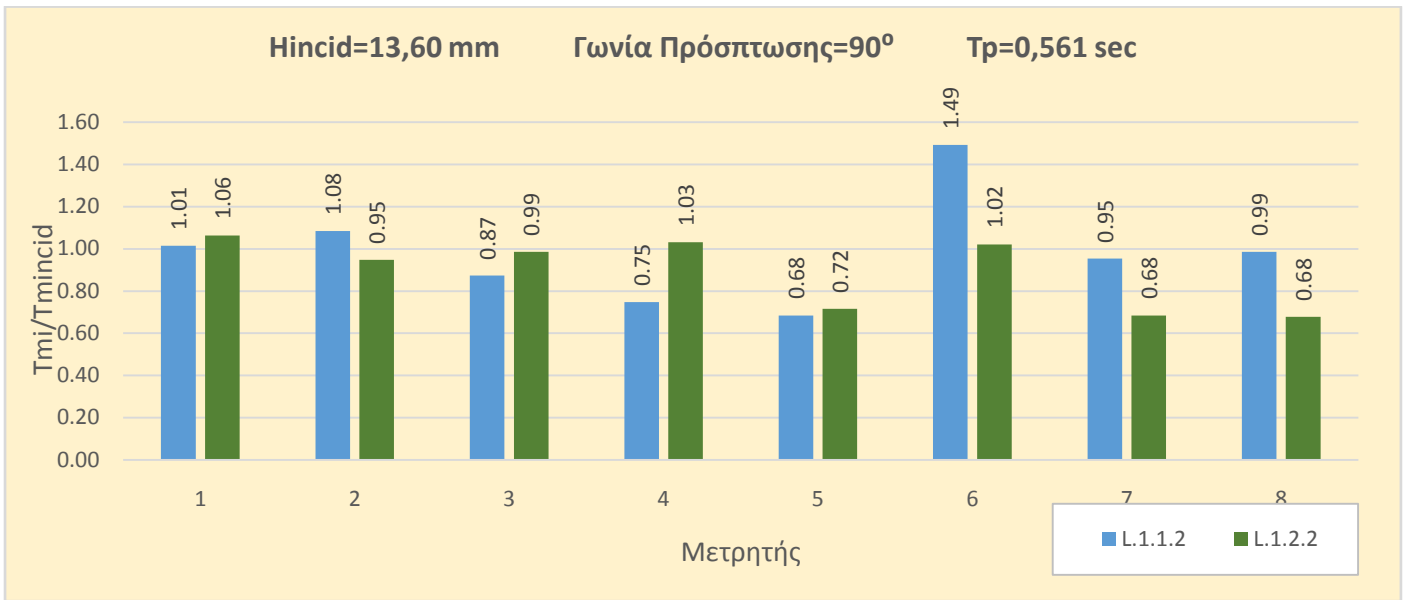


Διάγραμμα 5.35

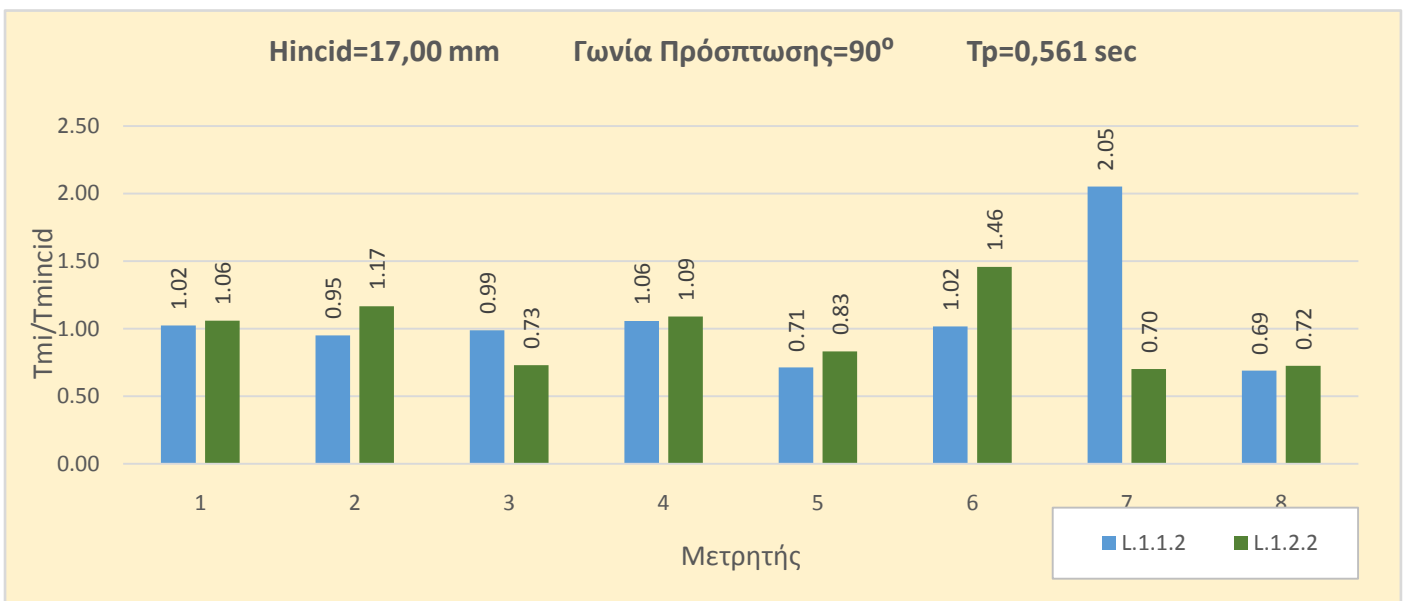


Διάγραμμα 5.36

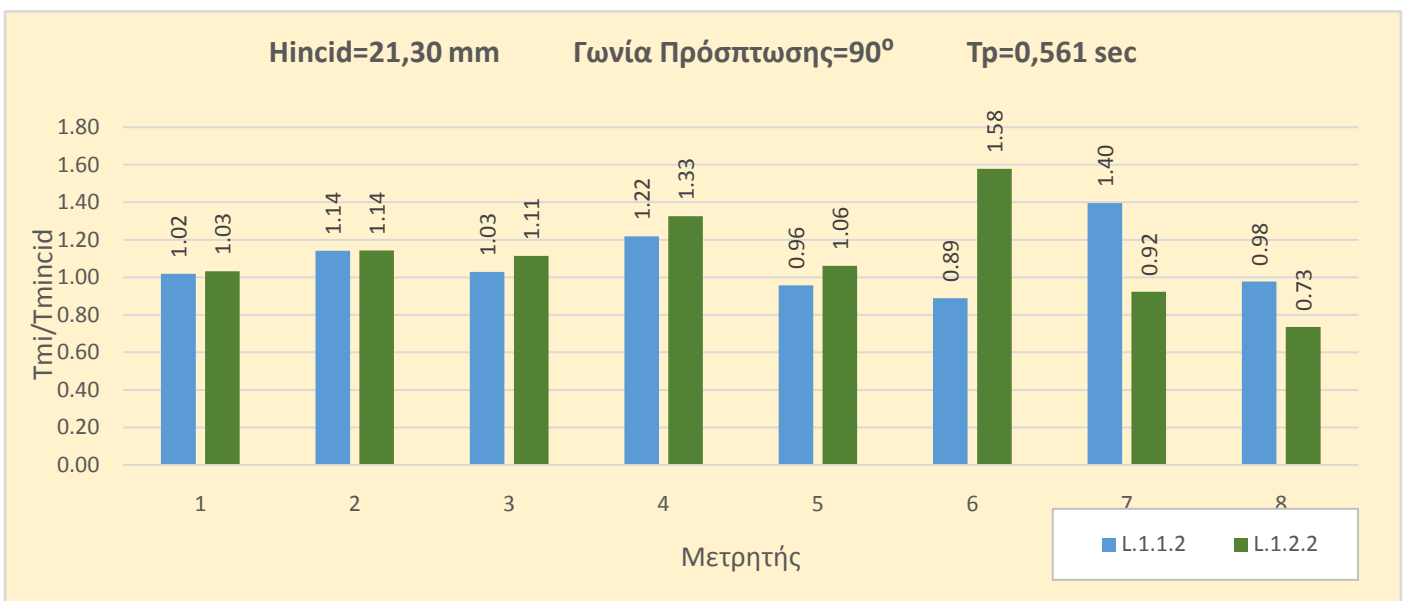




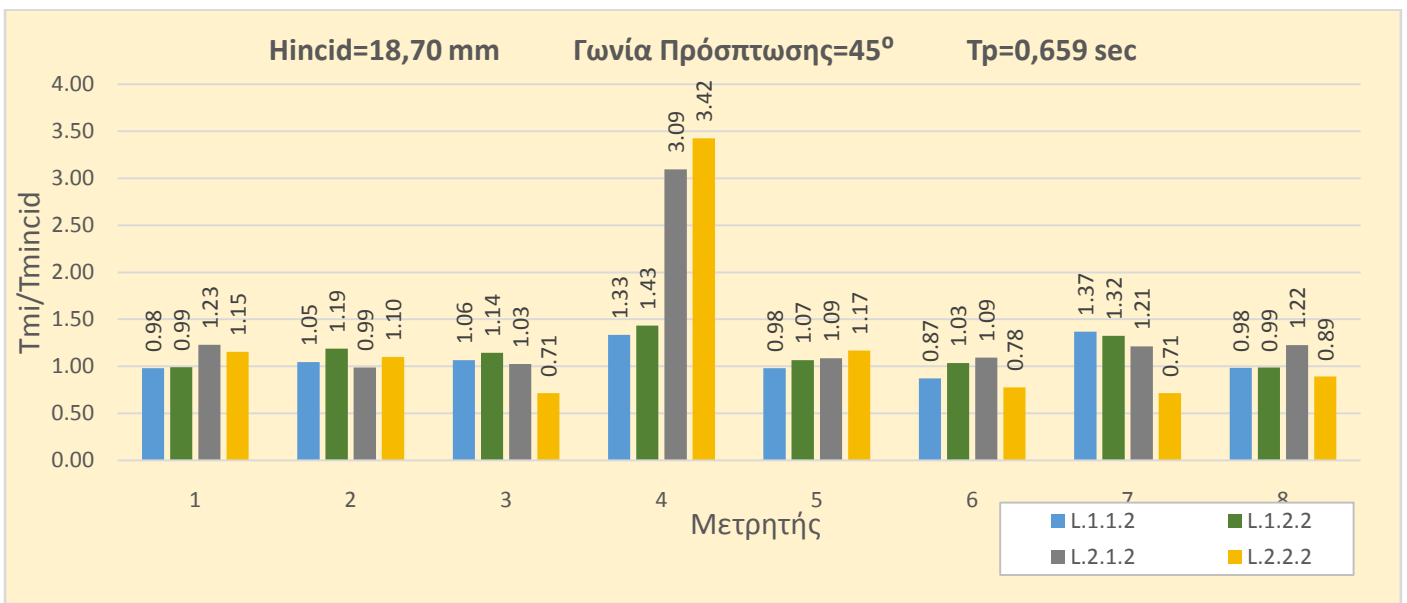
*Διάγραμμα 5.37*



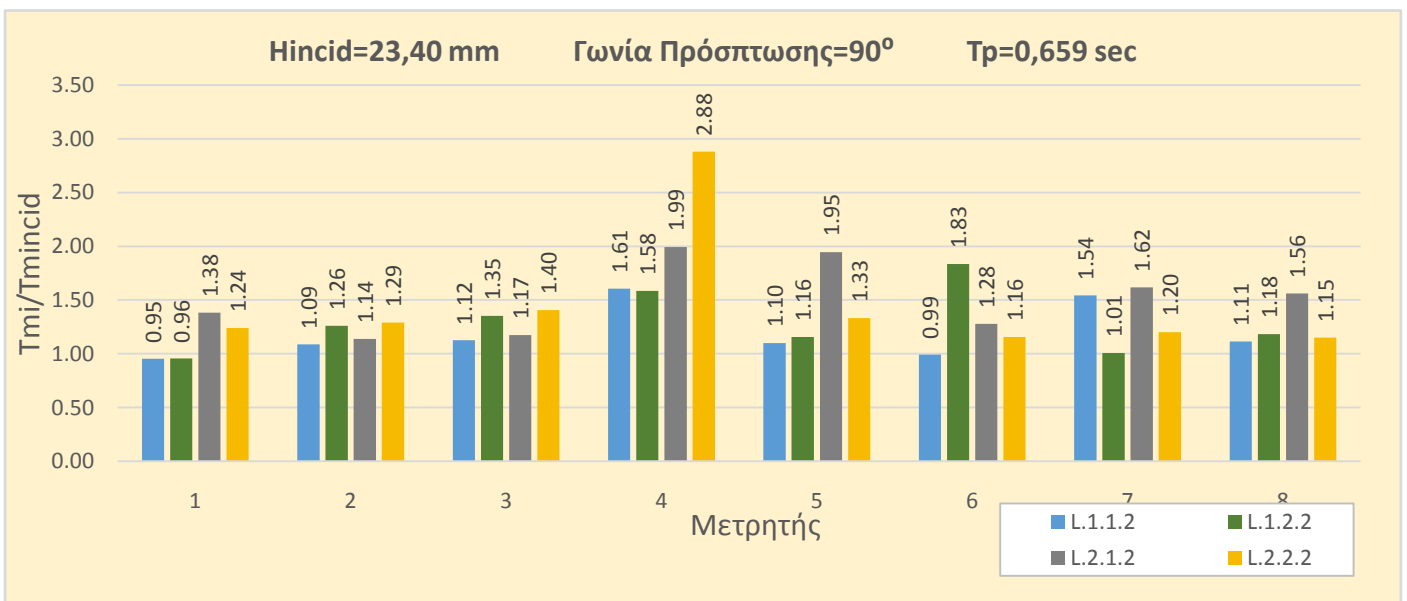
*Διάγραμμα 5.38*



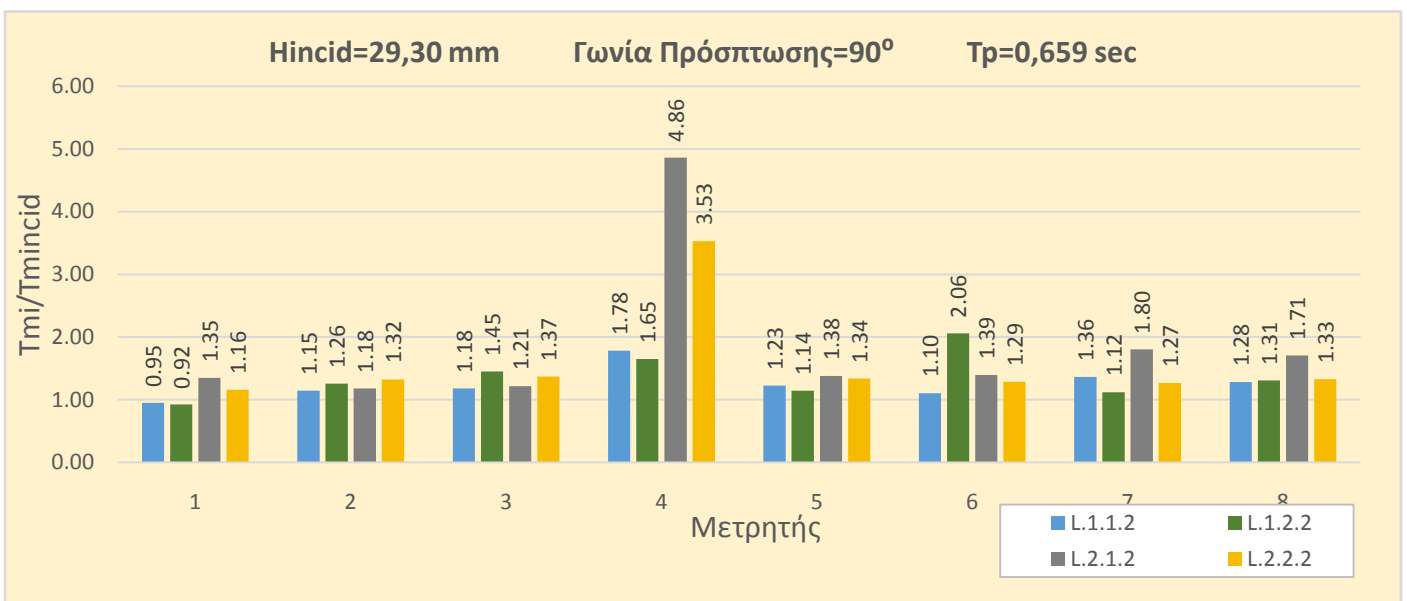
*Διάγραμμα 5.39*



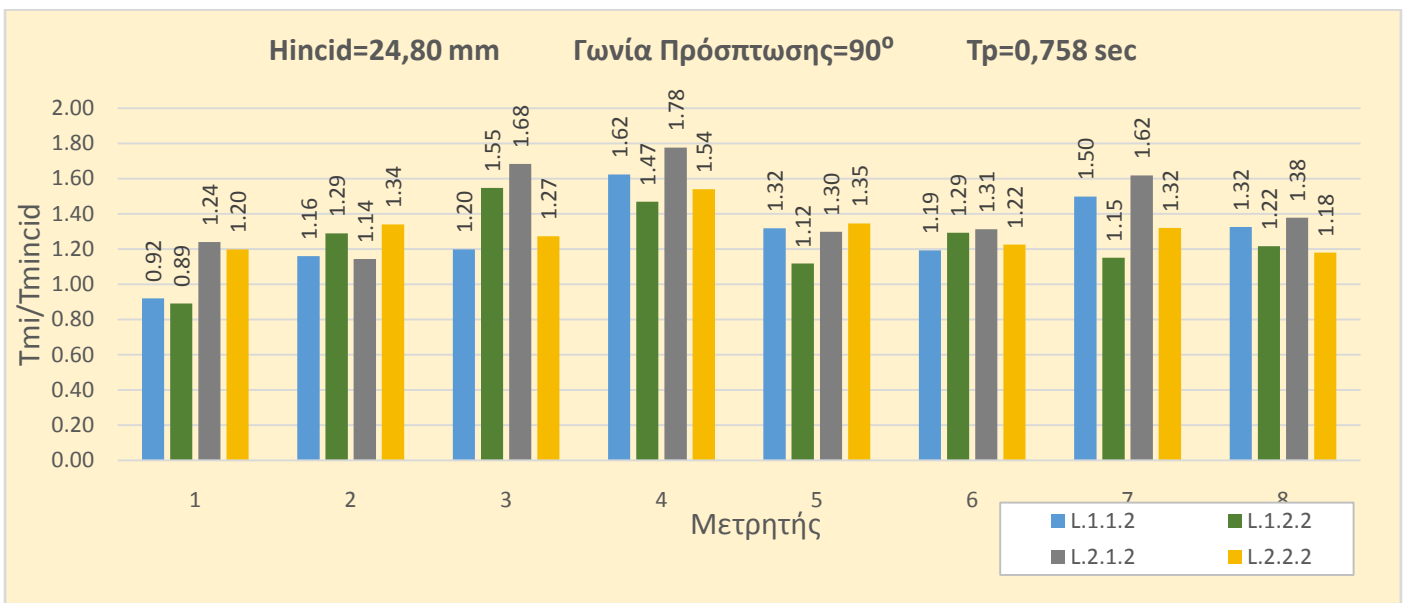
Διάγραμμα 5.40



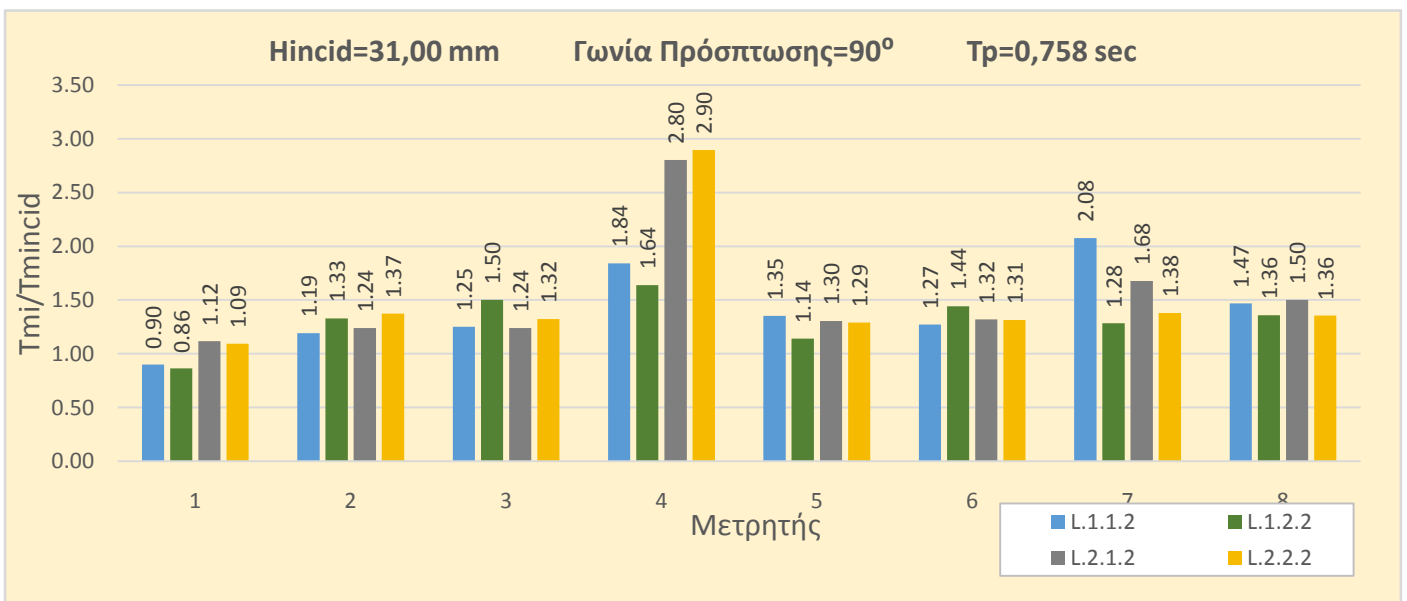
Διάγραμμα 5.41



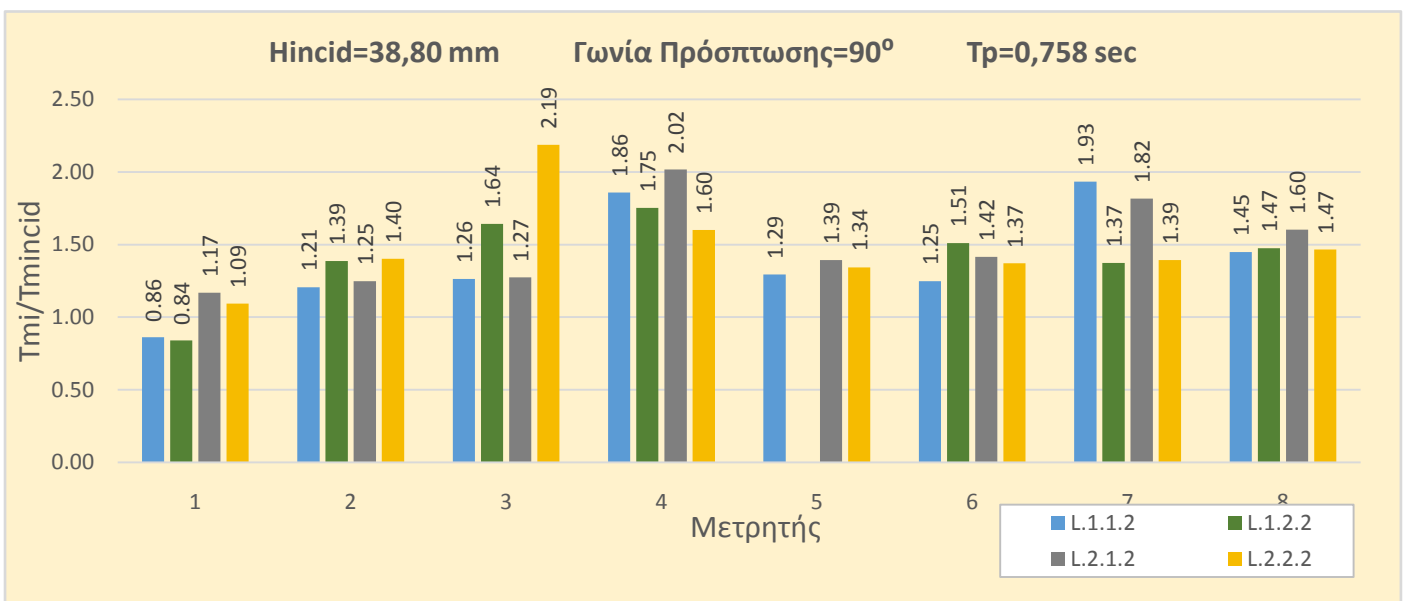
Διάγραμμα 5.42



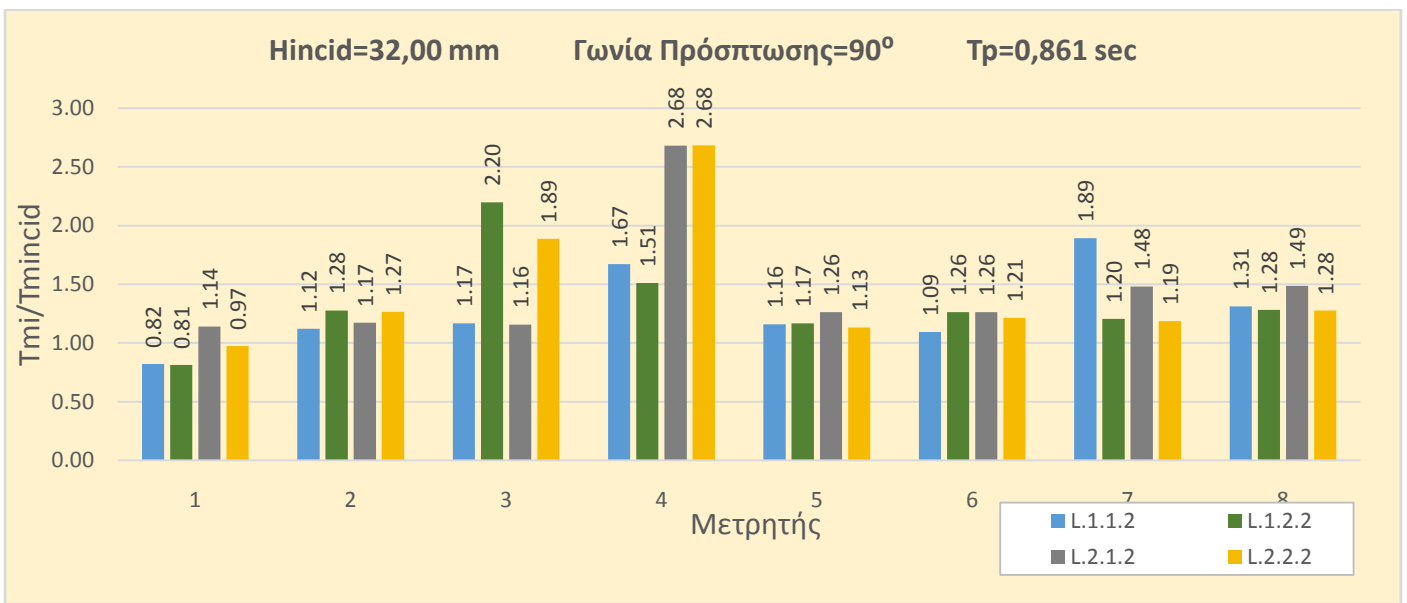
*Διάγραμμα 5.43*



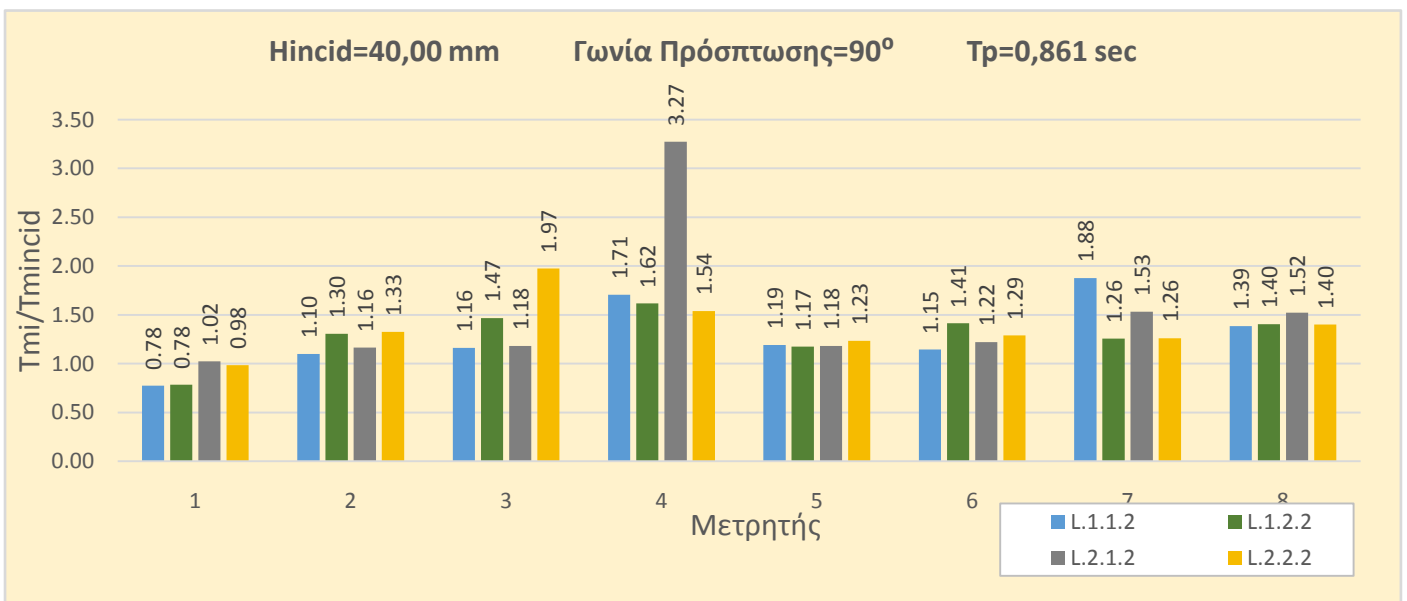
*Διάγραμμα 5.44*



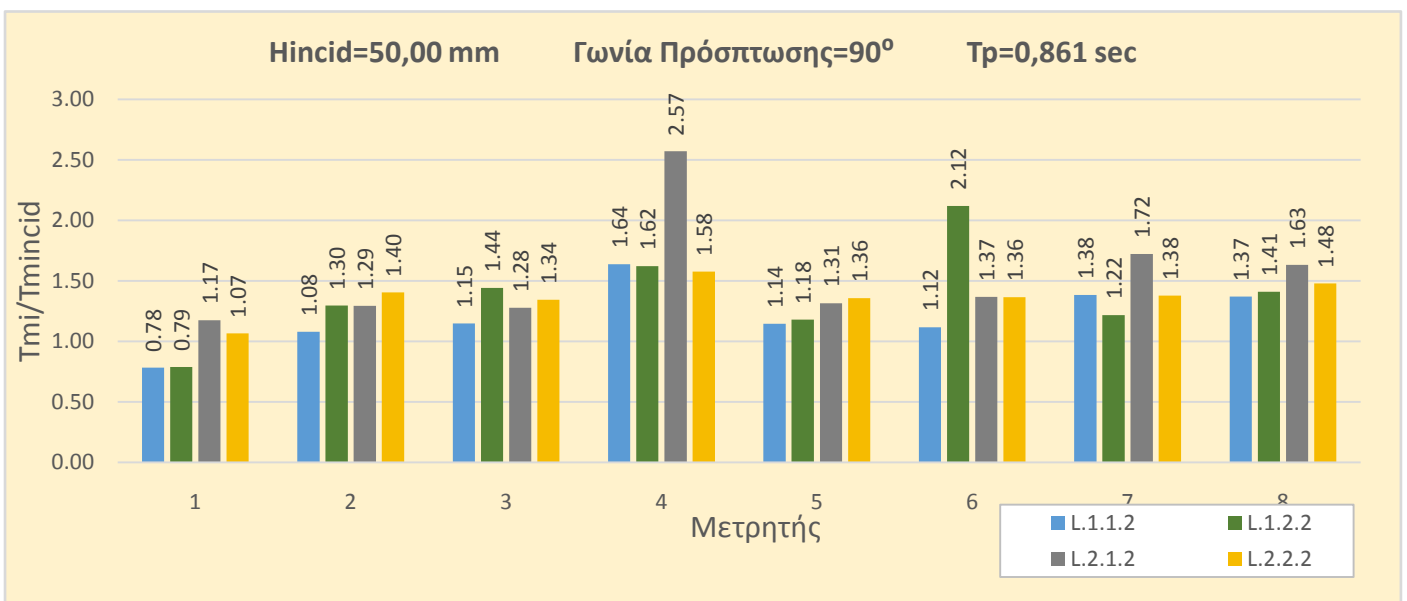
*Διάγραμμα 5.45*



*Διάγραμμα 5.46*



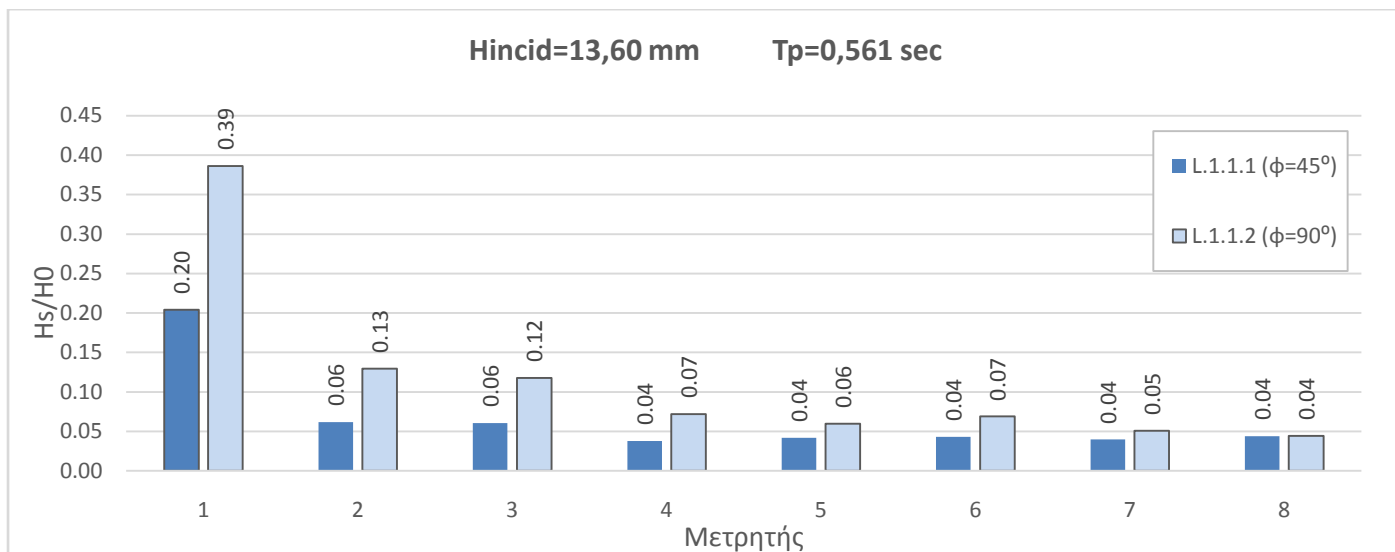
*Διάγραμμα 5.47*



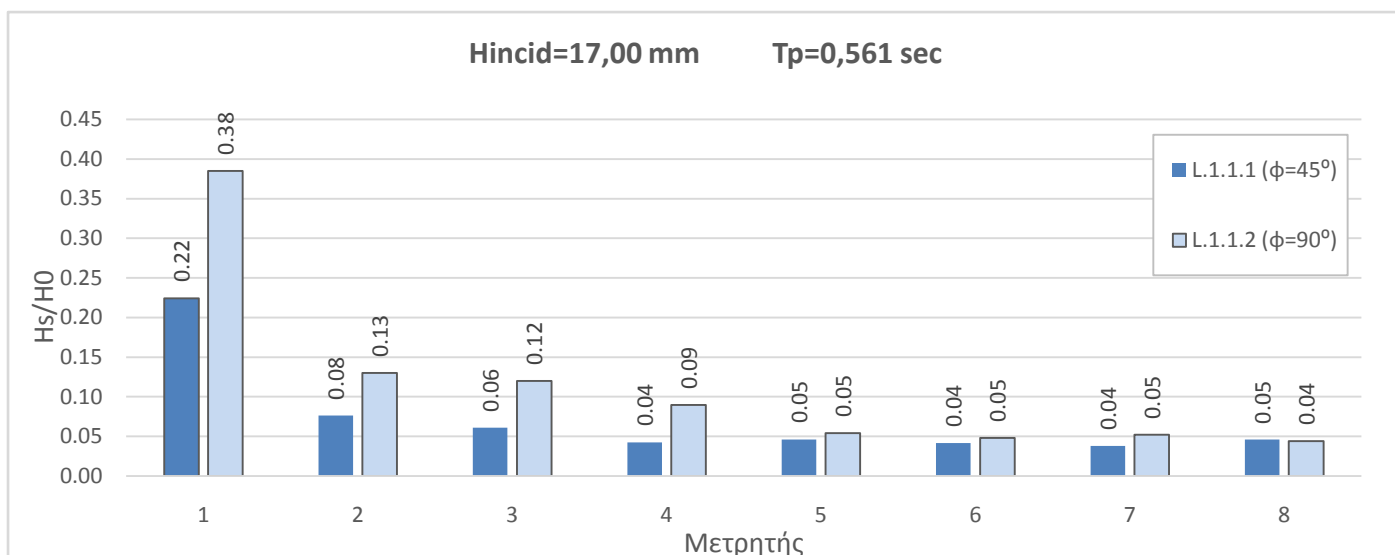
*Διάγραμμα 5.48*

### 5.8.3 Συγκριτικά διαγράμματα λόγου $H_s/H_0$ για γωνίες πρόσπτωσης $\phi=45^\circ$ και $\phi=90^\circ$

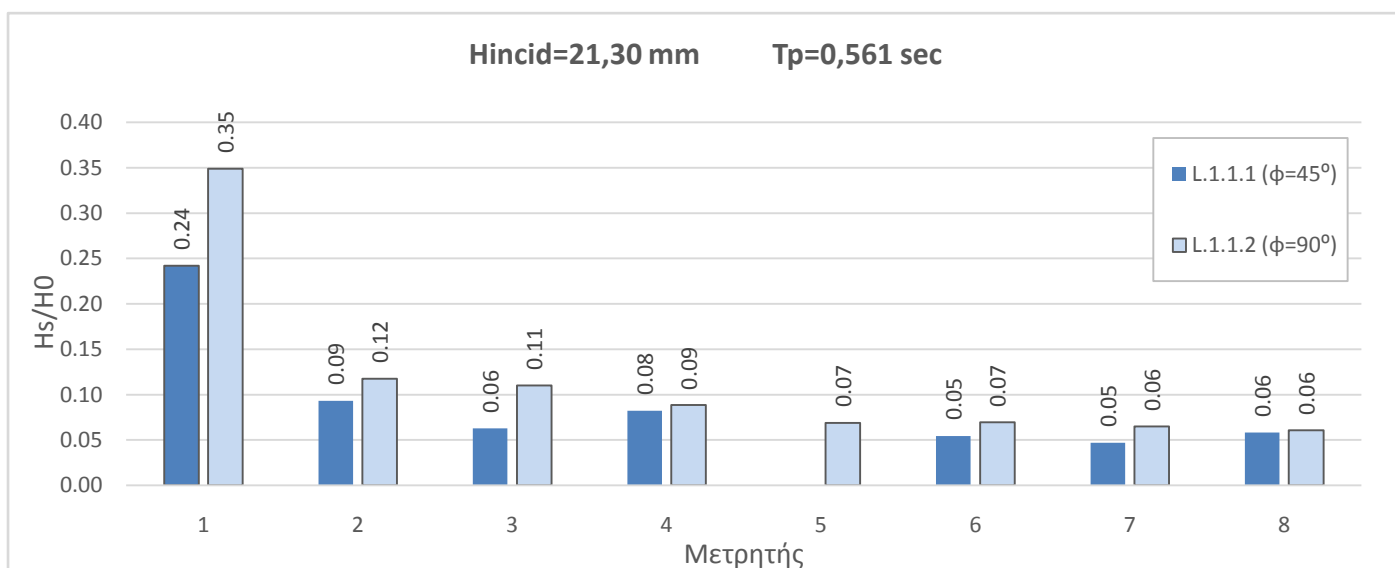
α) Διάταξη L.1.1, σύγκριση L.1.1.1 και L.1.1.2



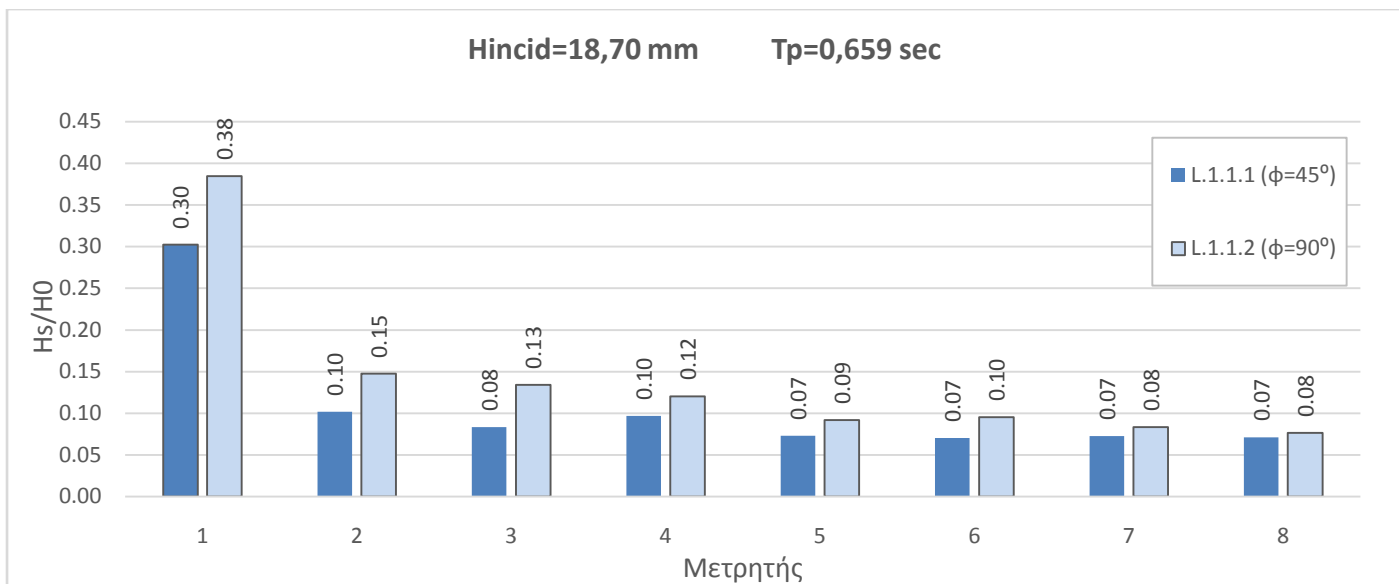
Διάγραμμα 5.49



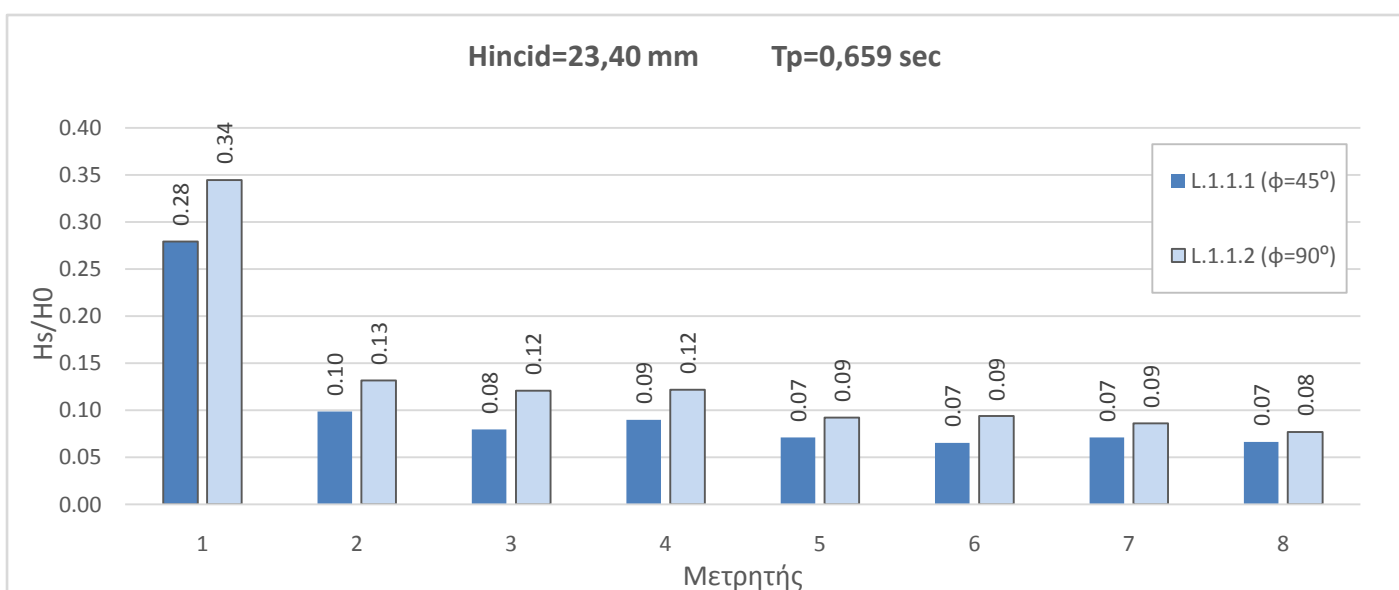
Διάγραμμα 5.50



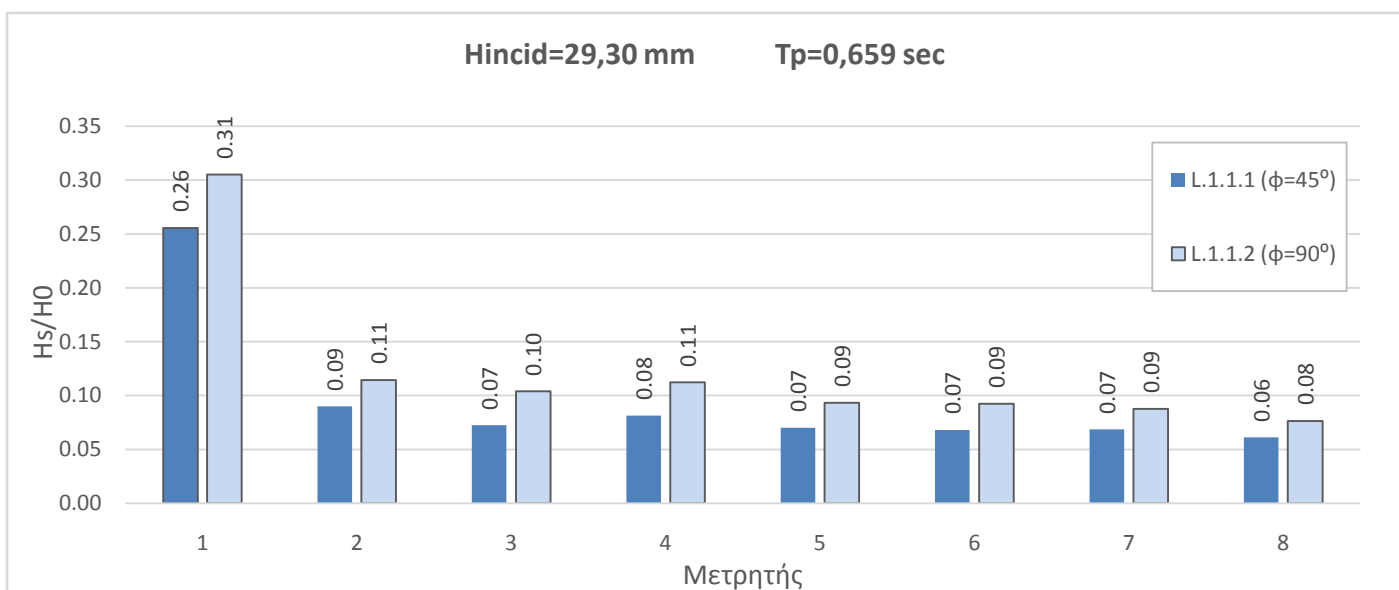
Διάγραμμα 5.51



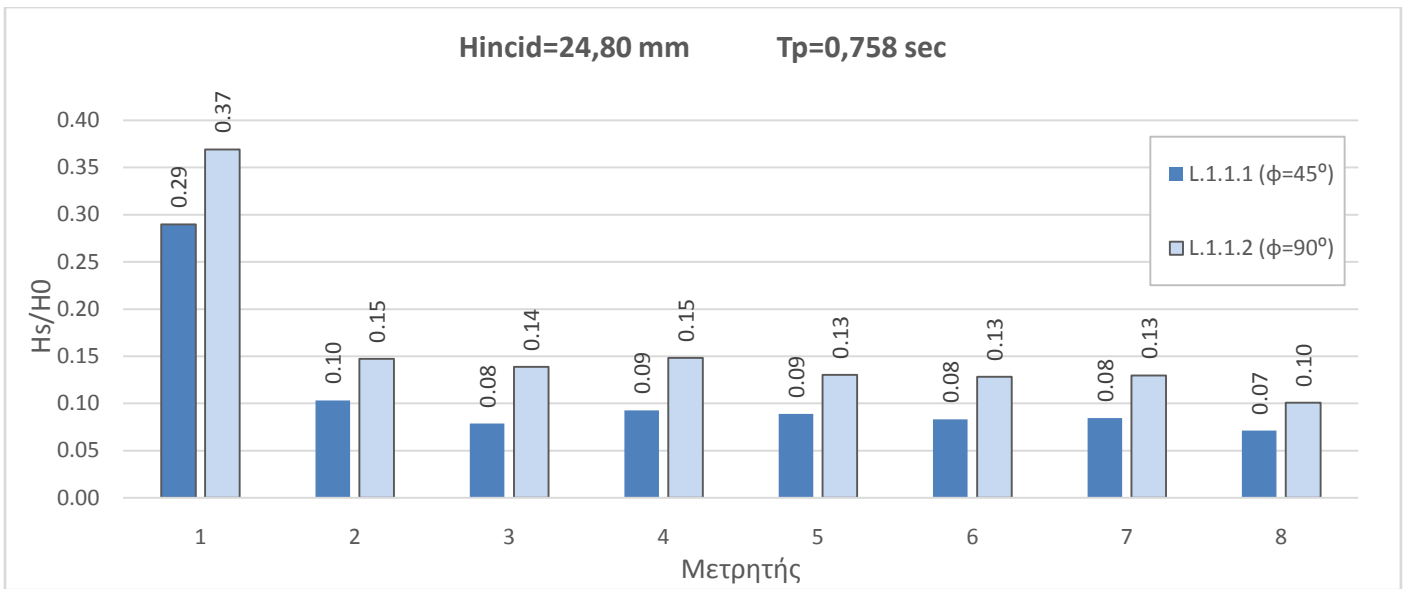
*Διάγραμμα 5.52*



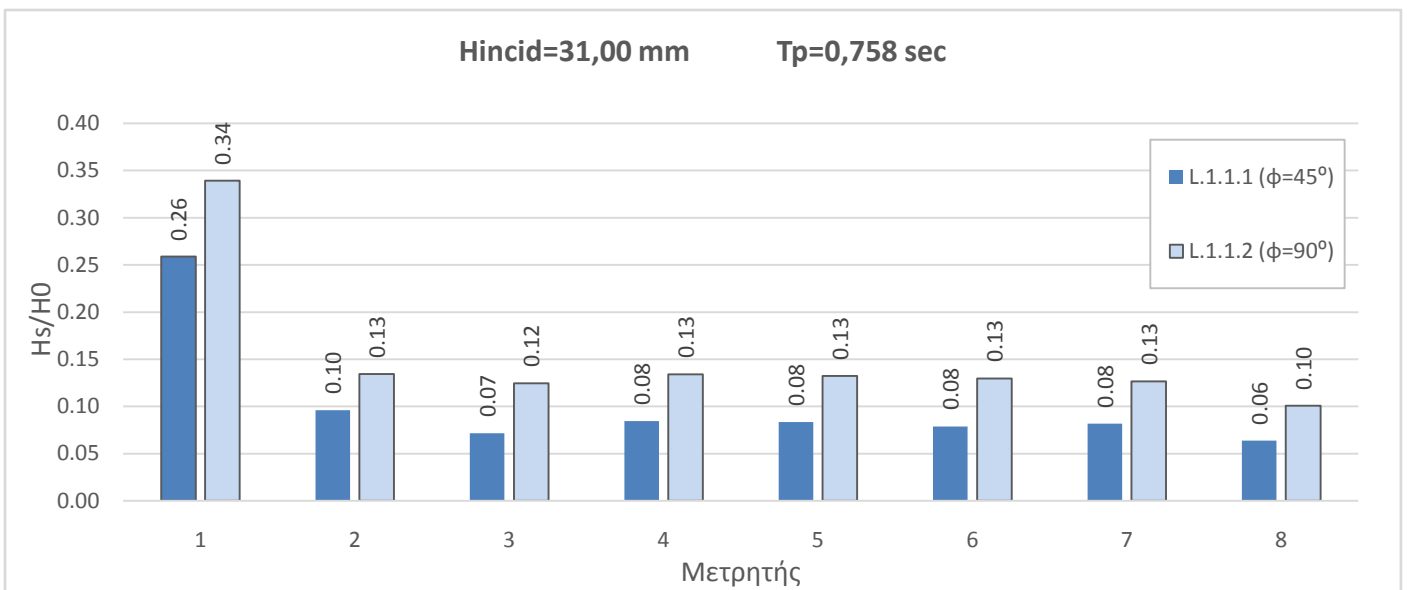
*Διάγραμμα 5.53*



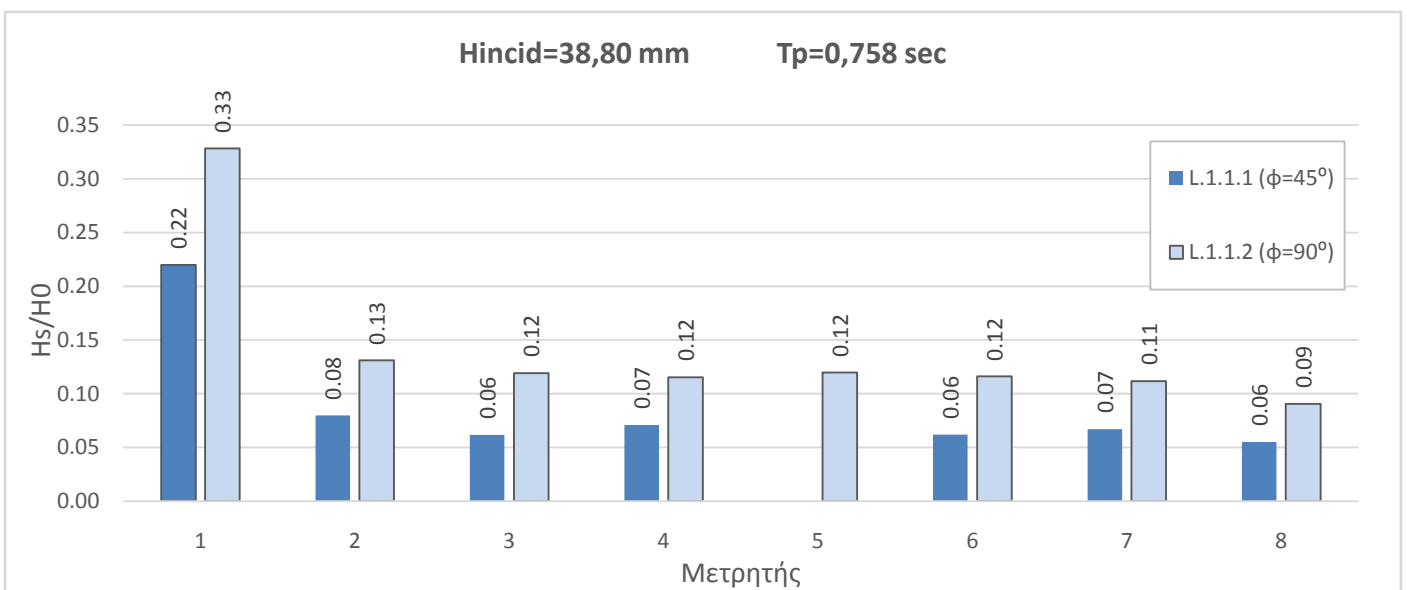
*Διάγραμμα 5.54*



*Διάγραμμα 5.55*

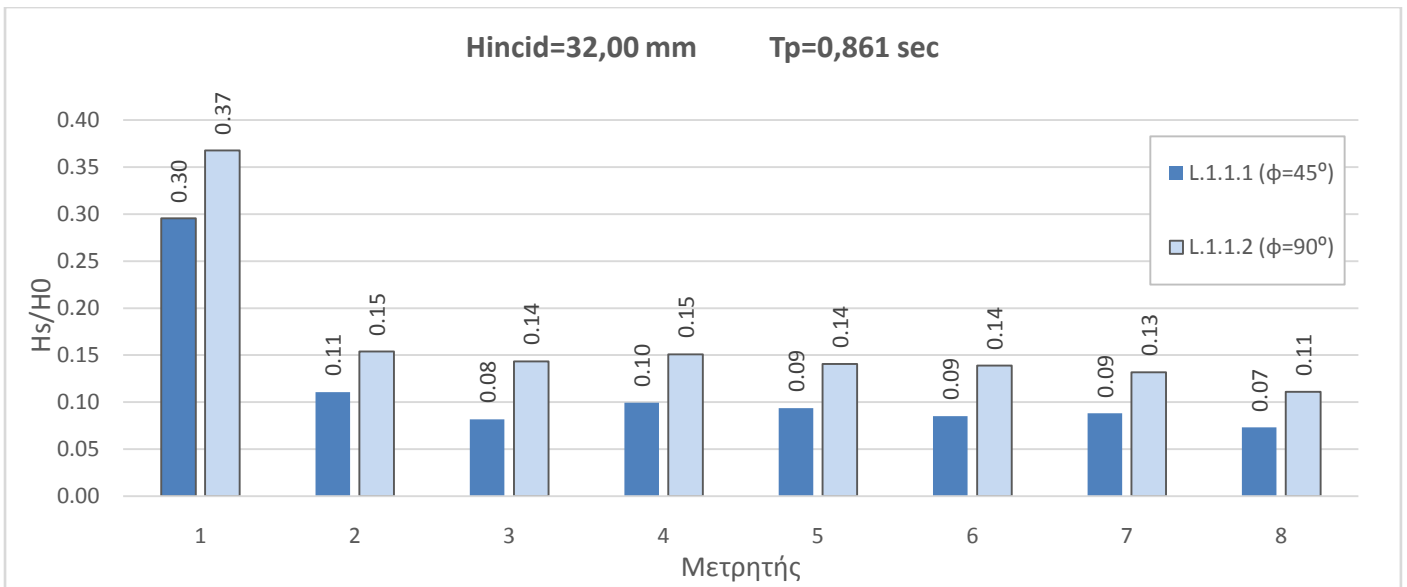


*Διάγραμμα 5.56*

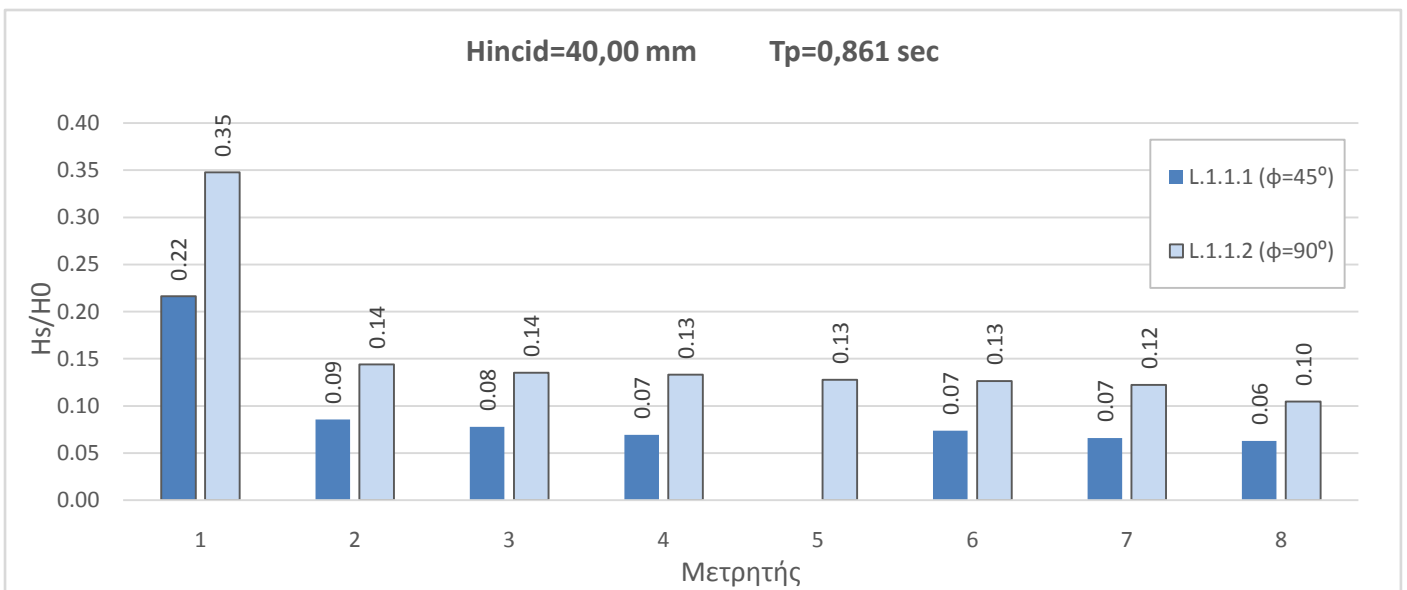


*Διάγραμμα 5.57*

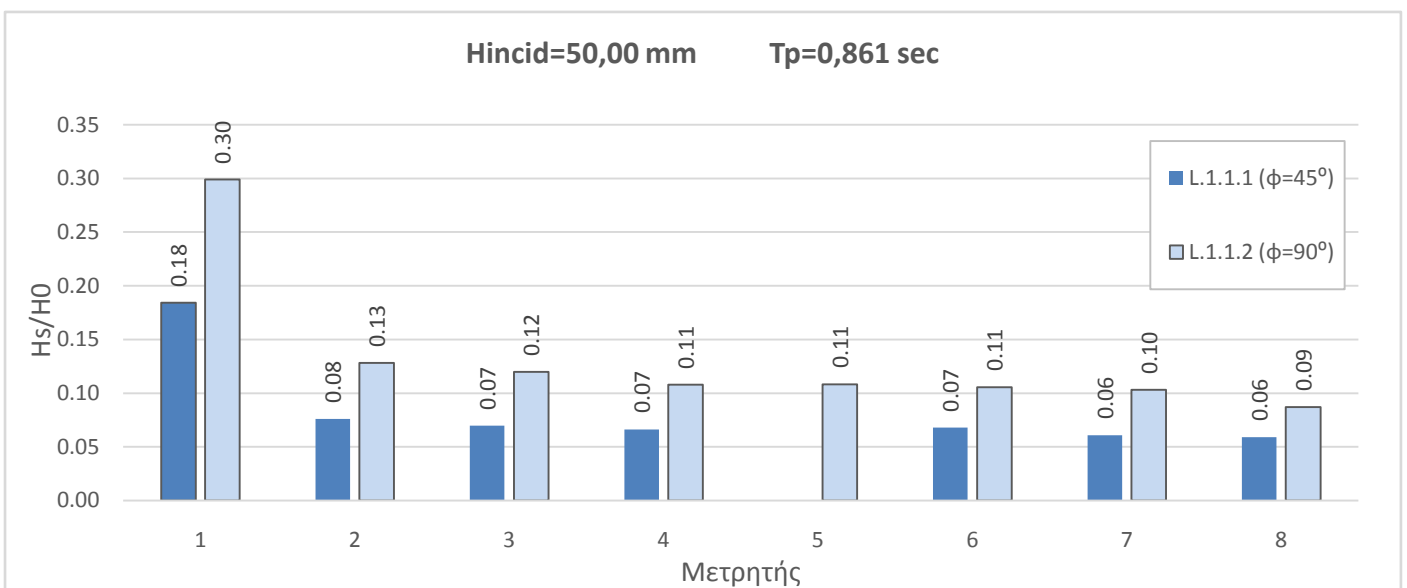




*Διάγραμμα 5.58*

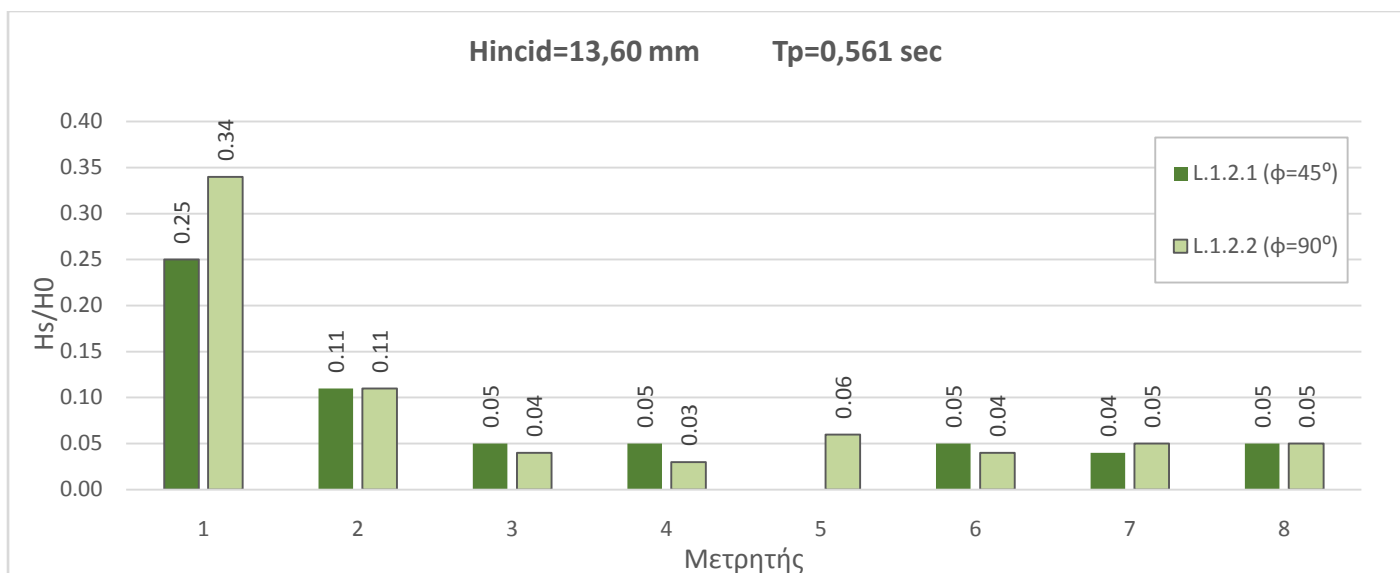


*Διάγραμμα 5.59*

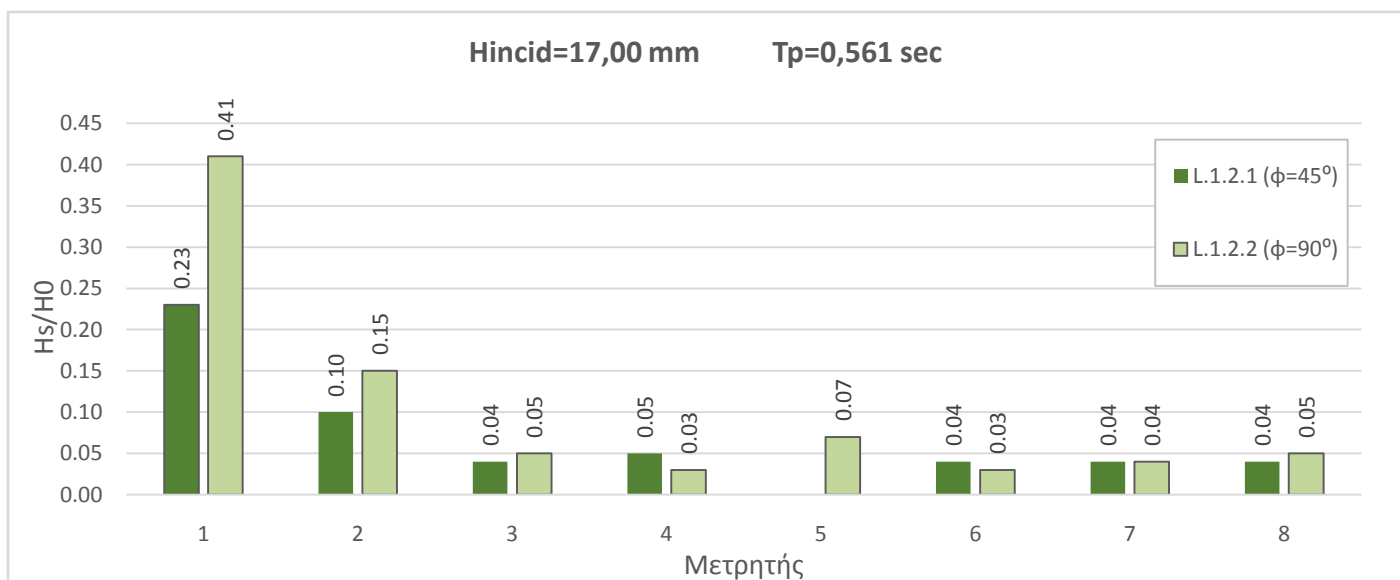


*Διάγραμμα 5.60*

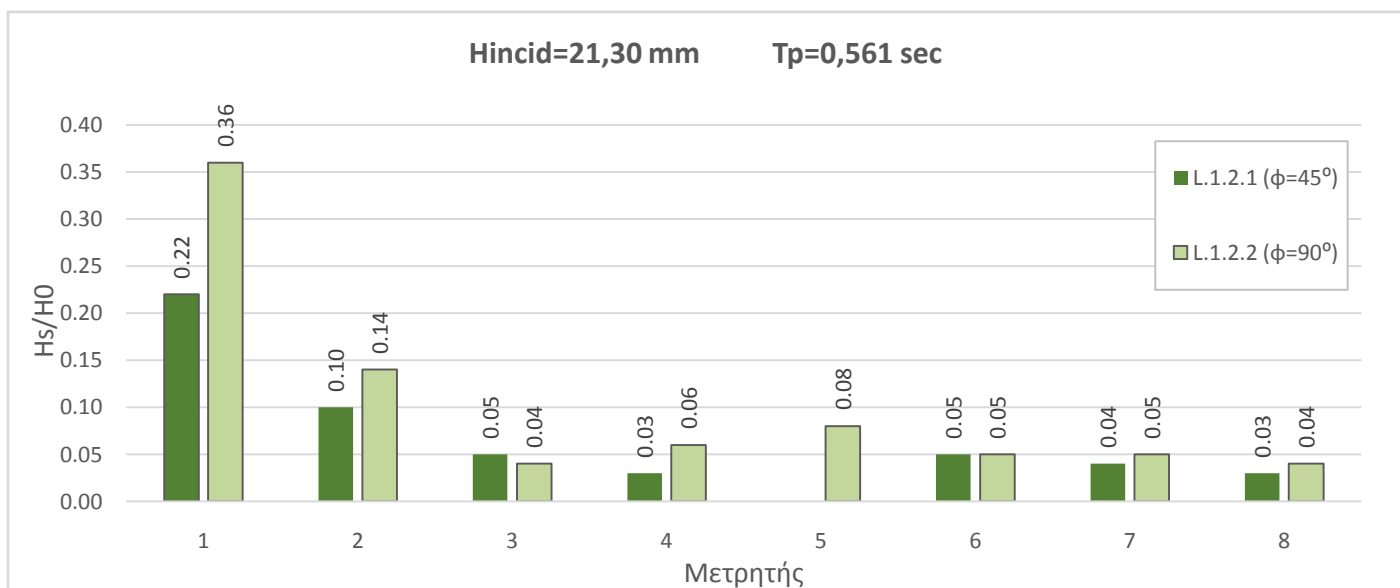
β) Διάταξη L.1.2, σύγκριση L.1.2.1 και L.1.2.2



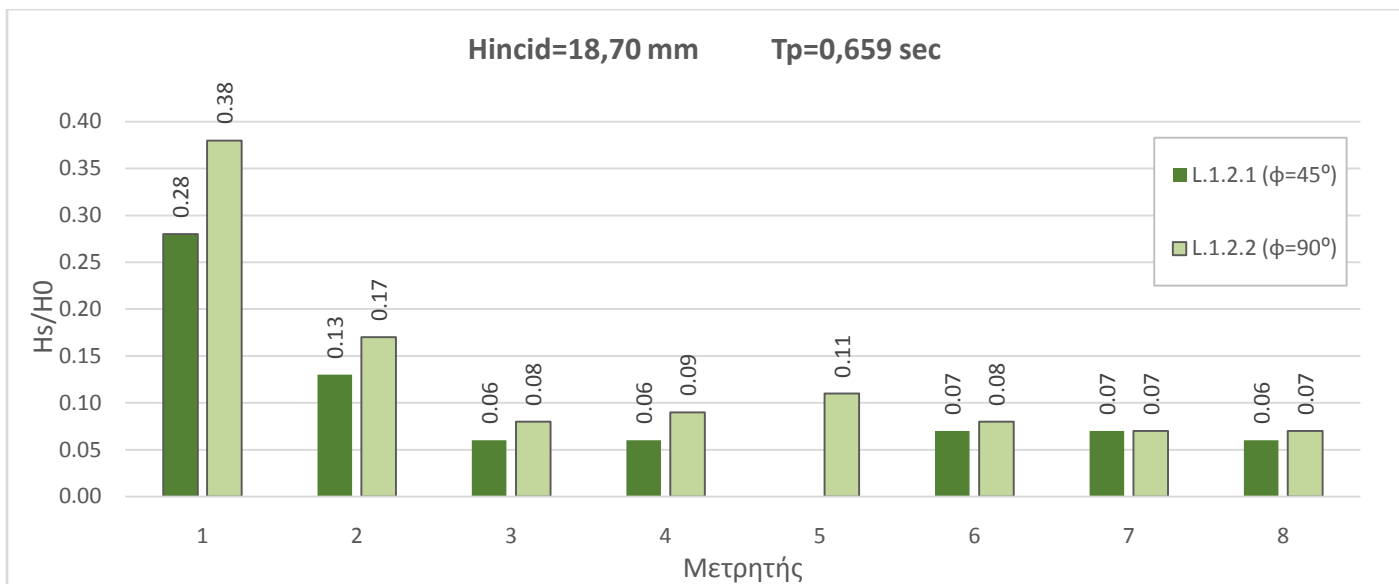
Διάγραμμα 5.61



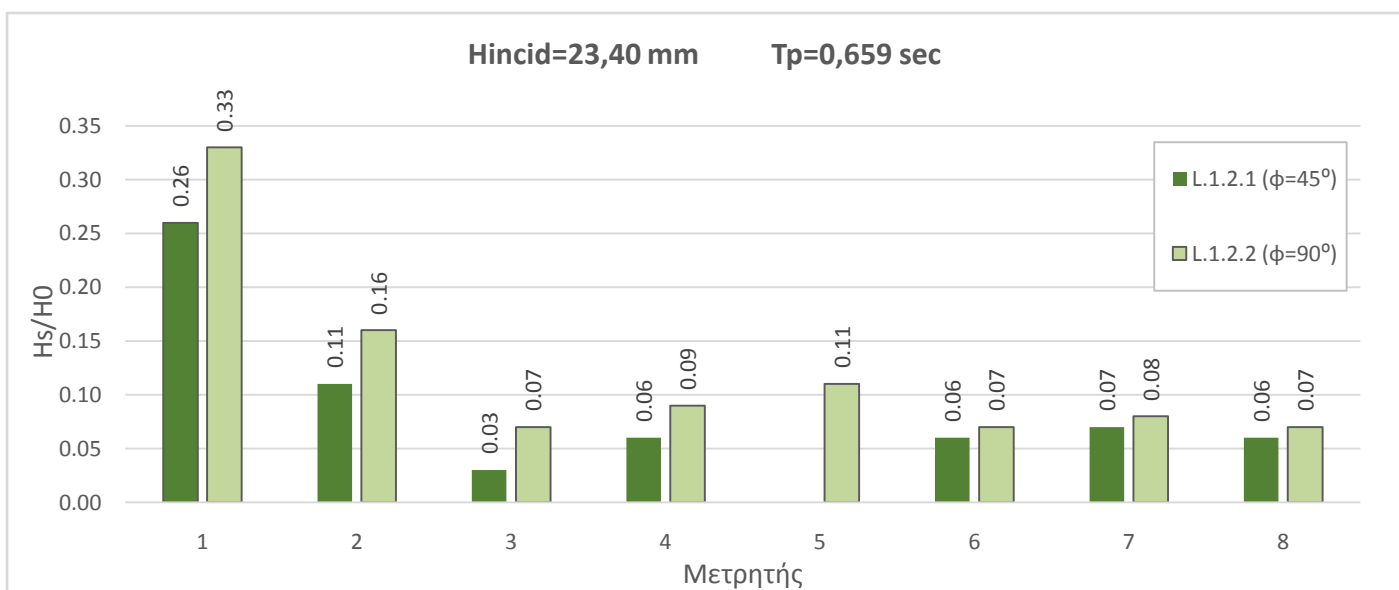
Διάγραμμα 5.62



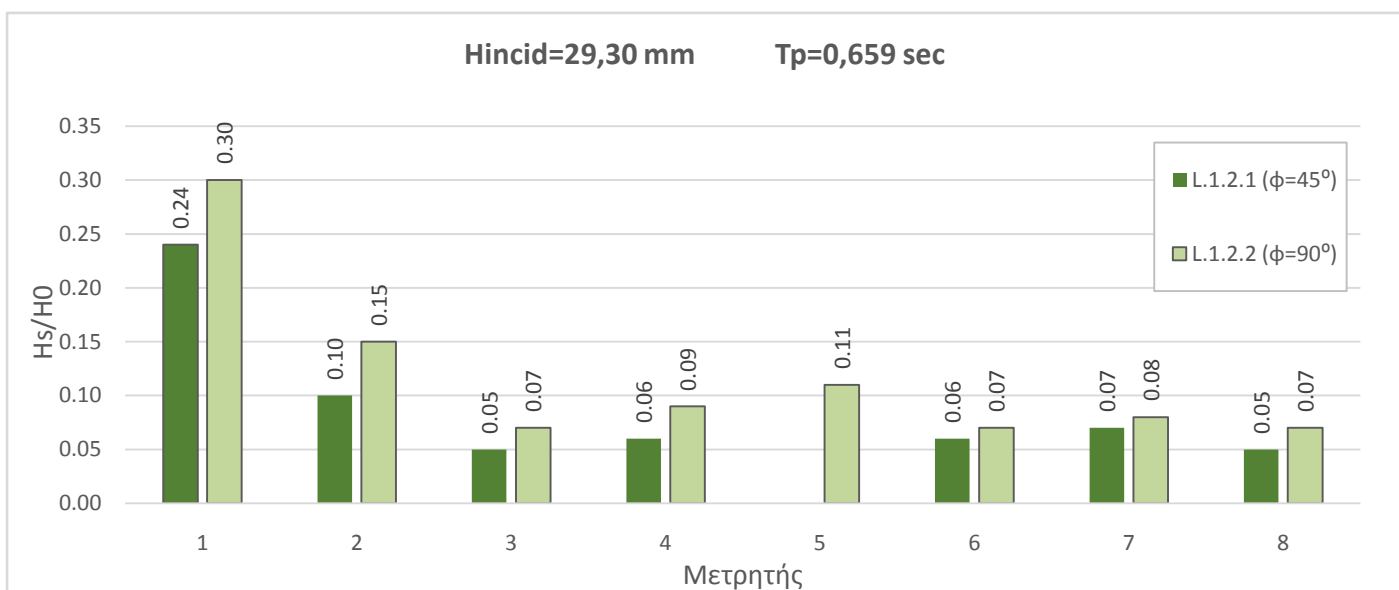
Διάγραμμα 5.63



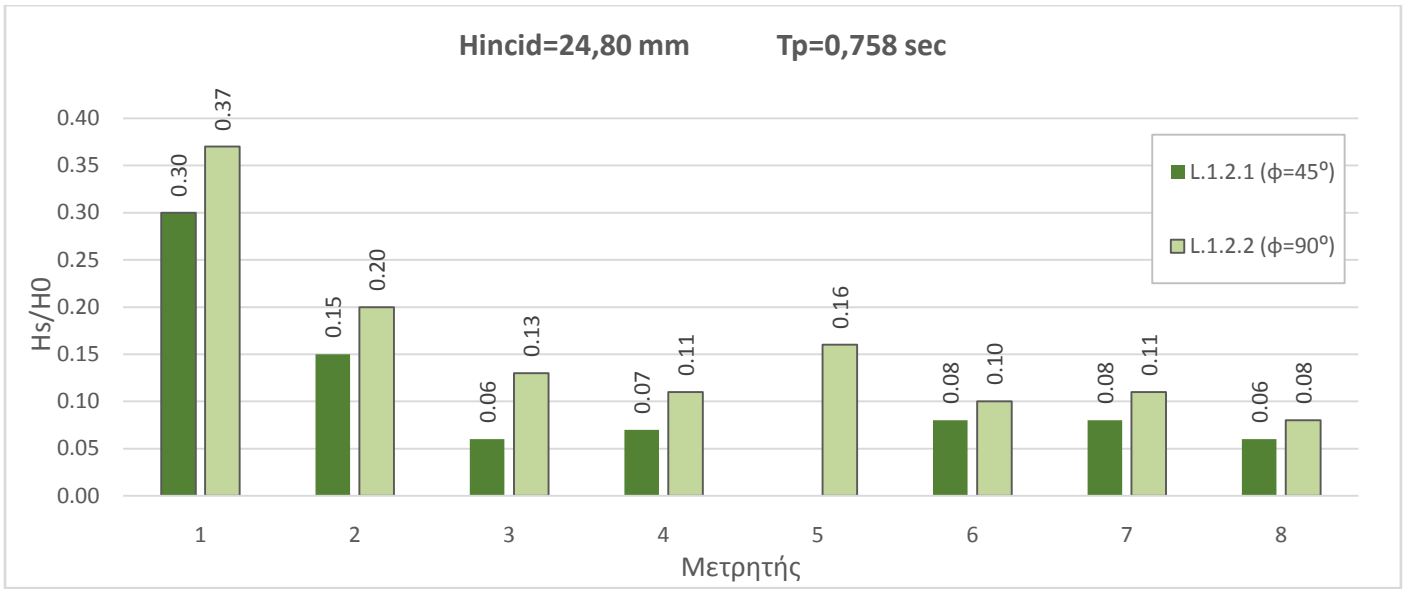
*Διάγραμμα 5.64*



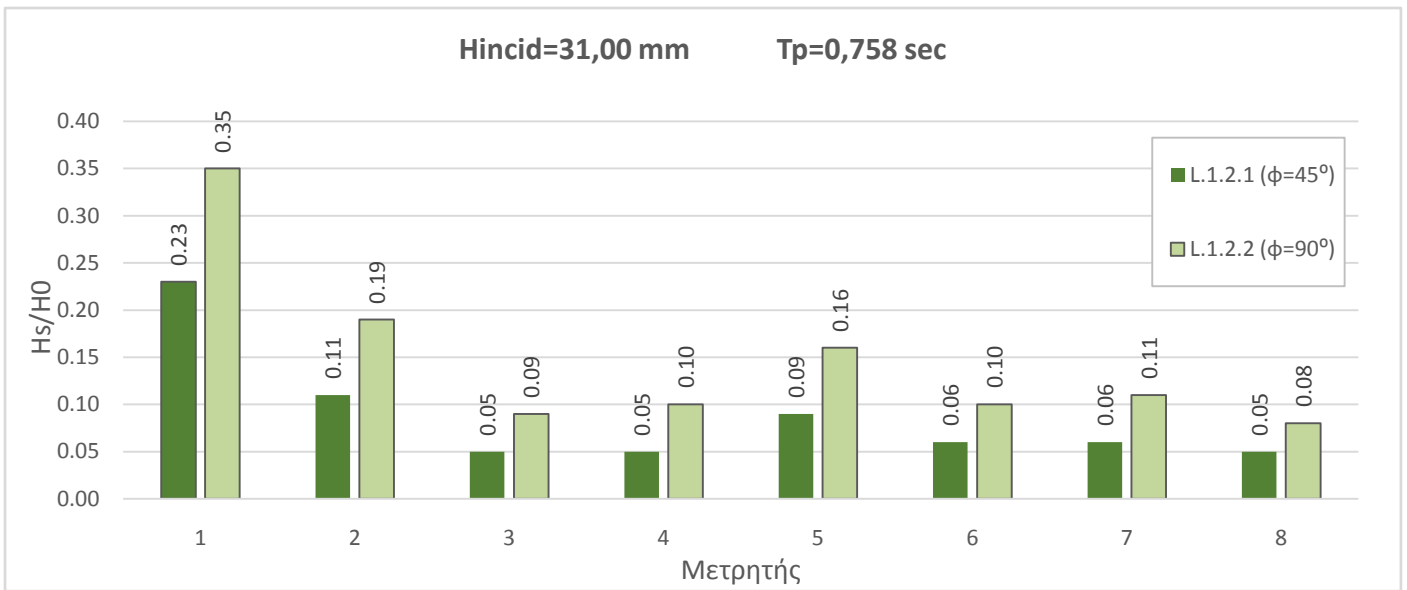
*Διάγραμμα 5.65*



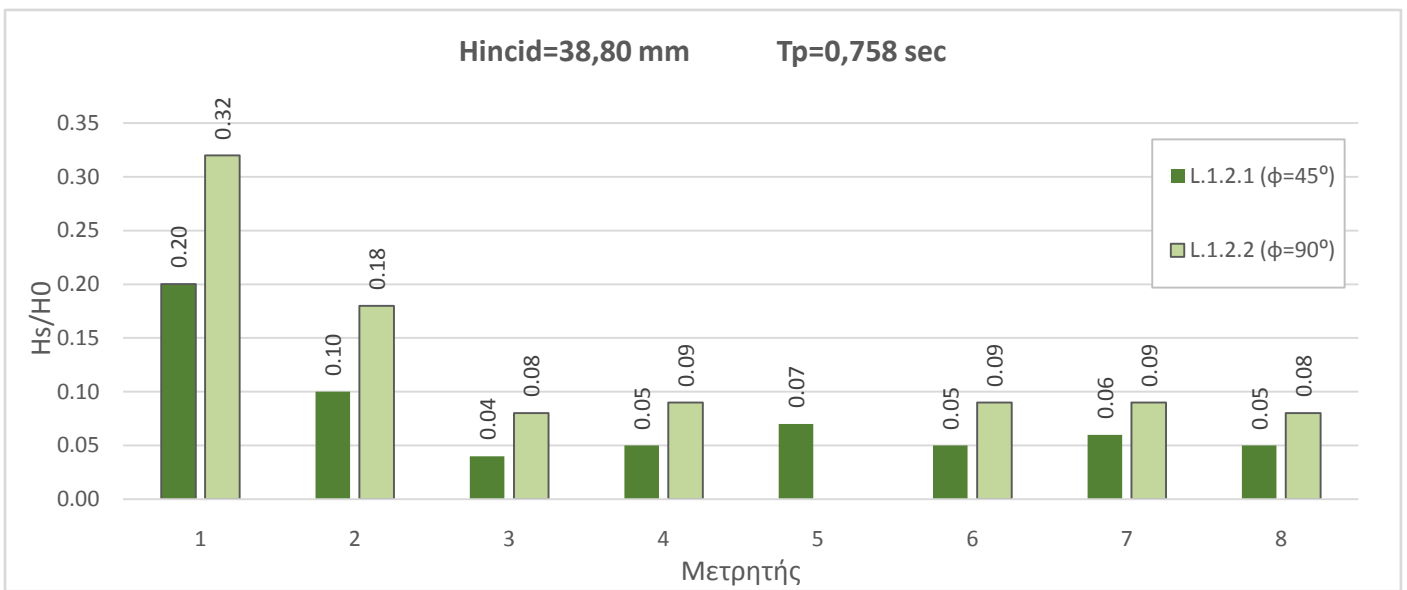
*Διάγραμμα 5.66*



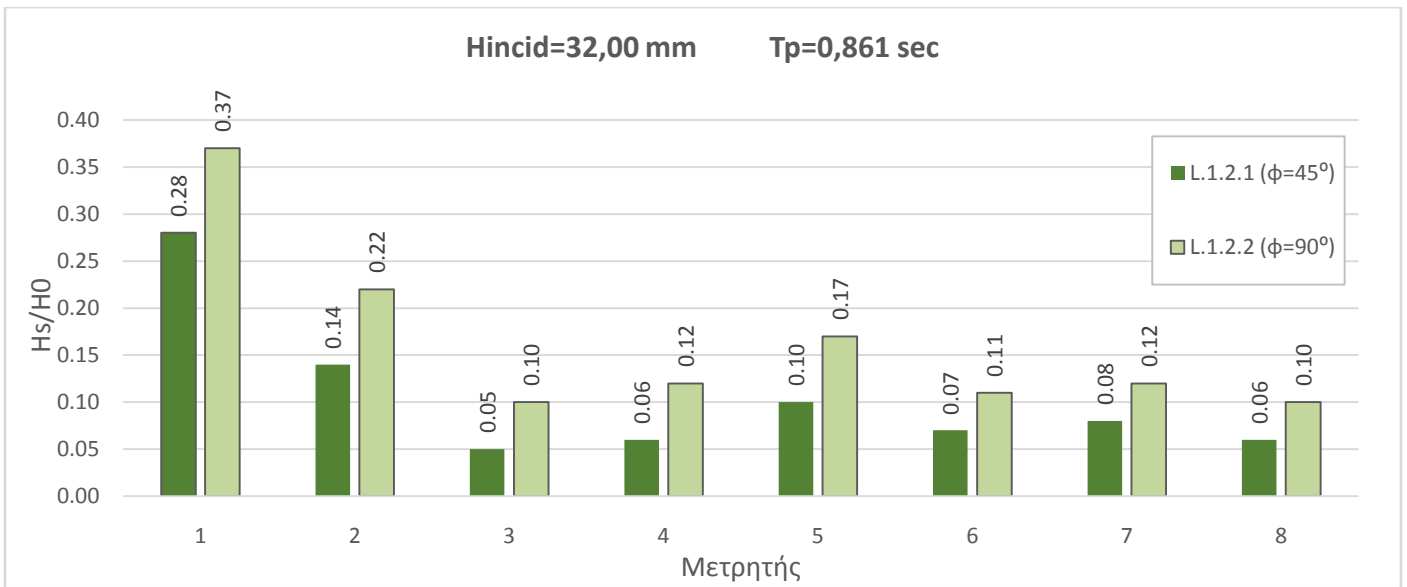
*Διάγραμμα 5.67*



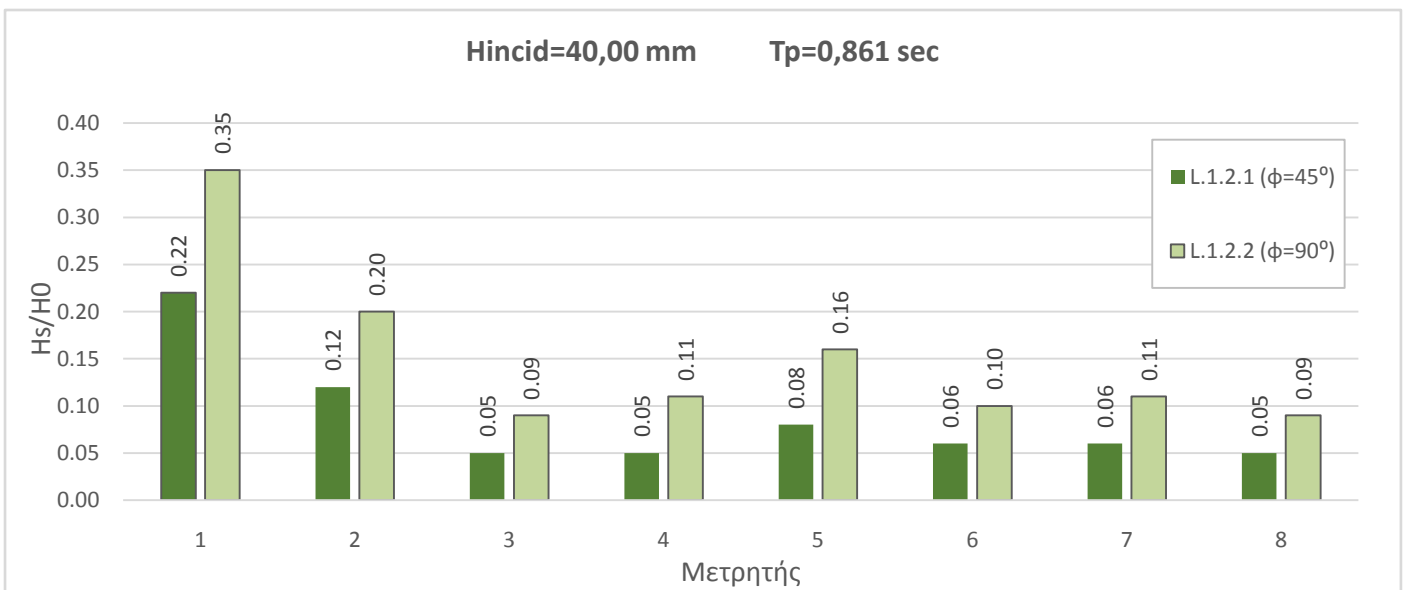
*Διάγραμμα 5.68*



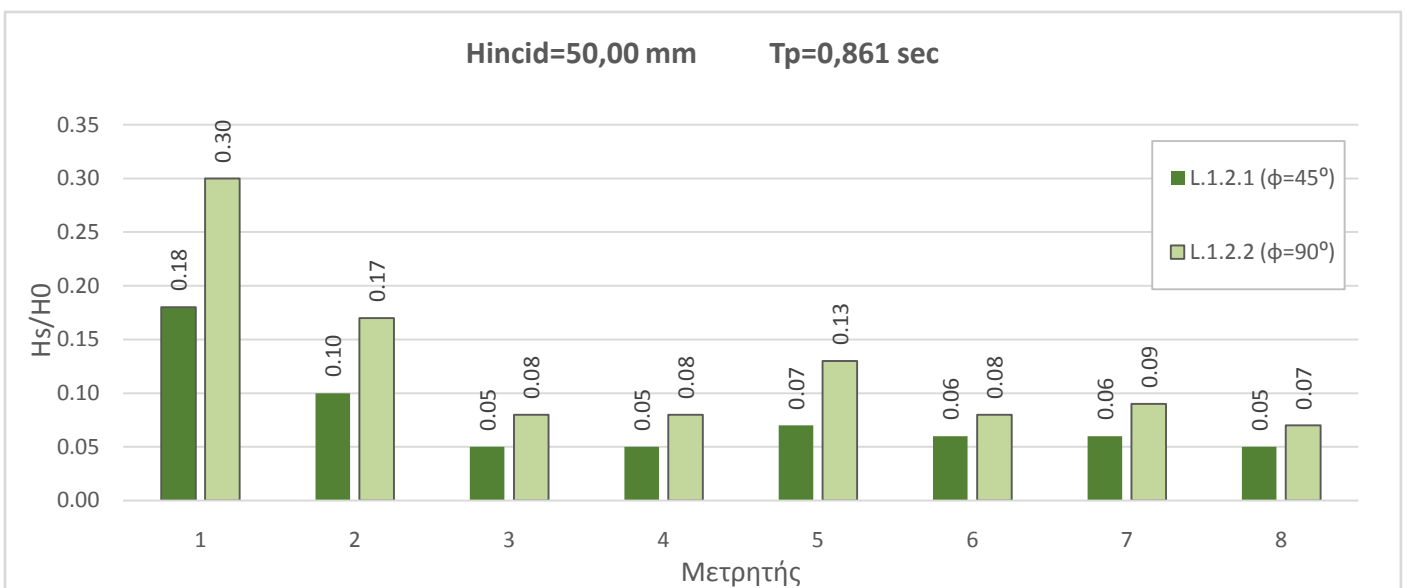
*Διάγραμμα 5.69*



*Διάγραμμα 5.70*

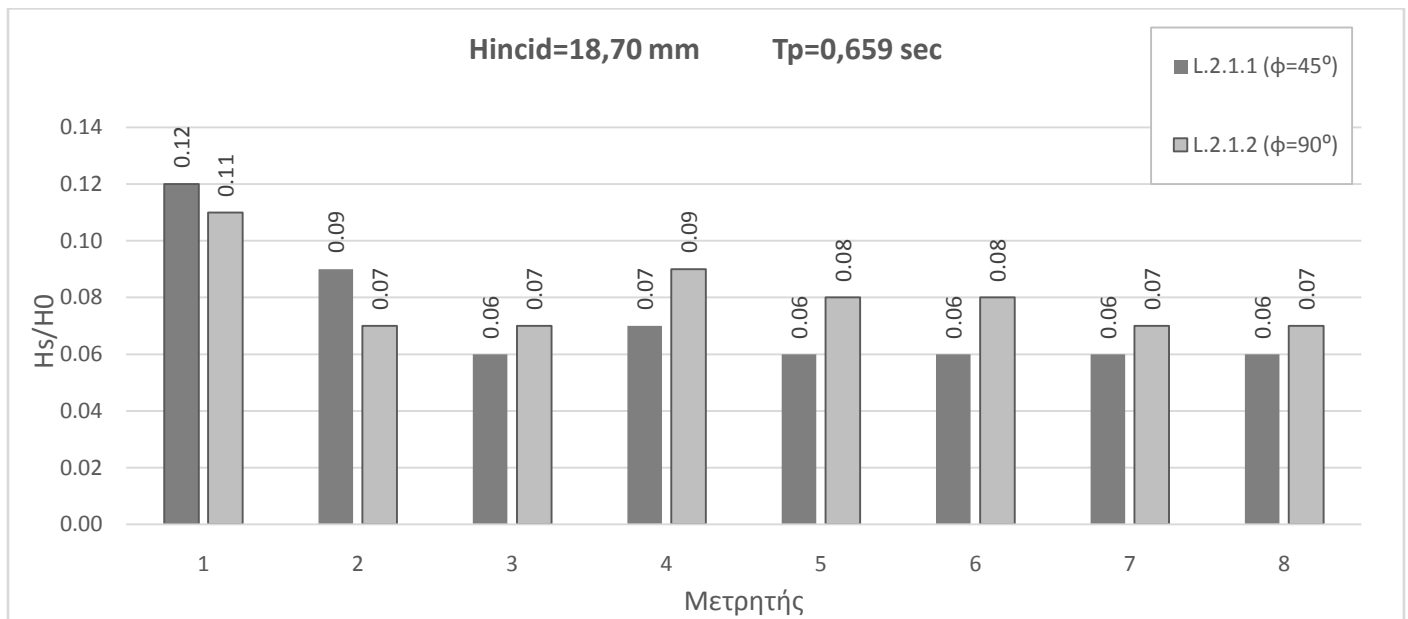


*Διάγραμμα 5.71*

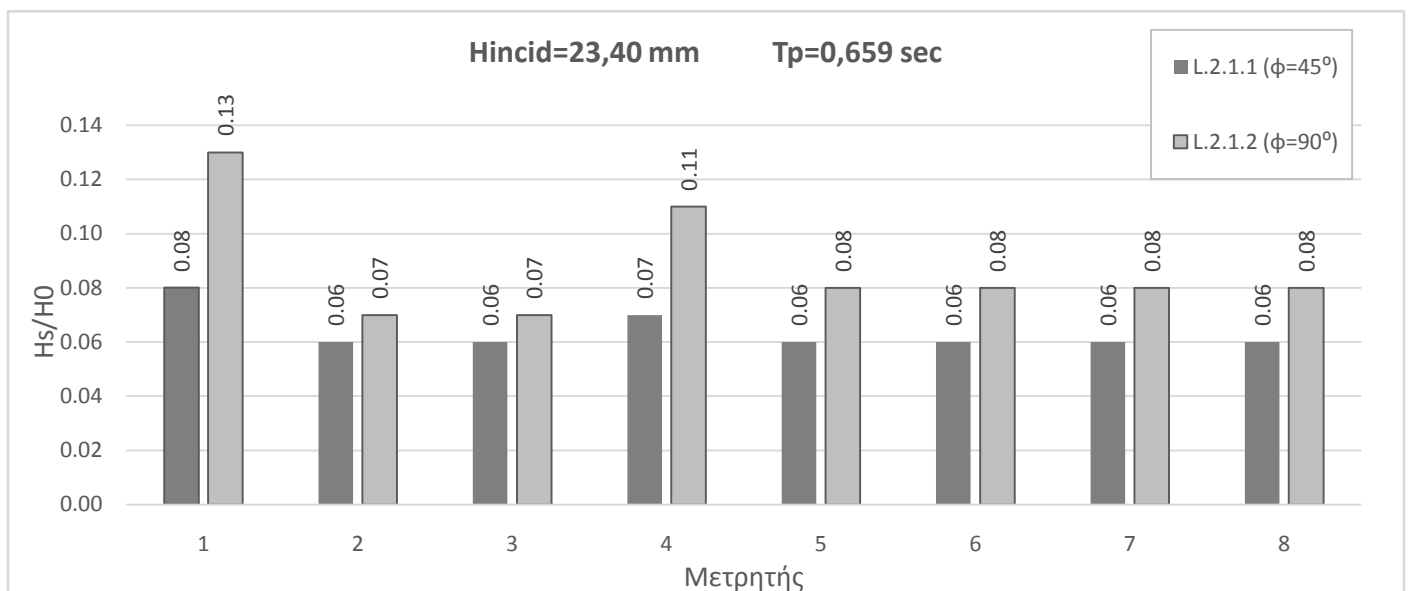


*Διάγραμμα 5.72*

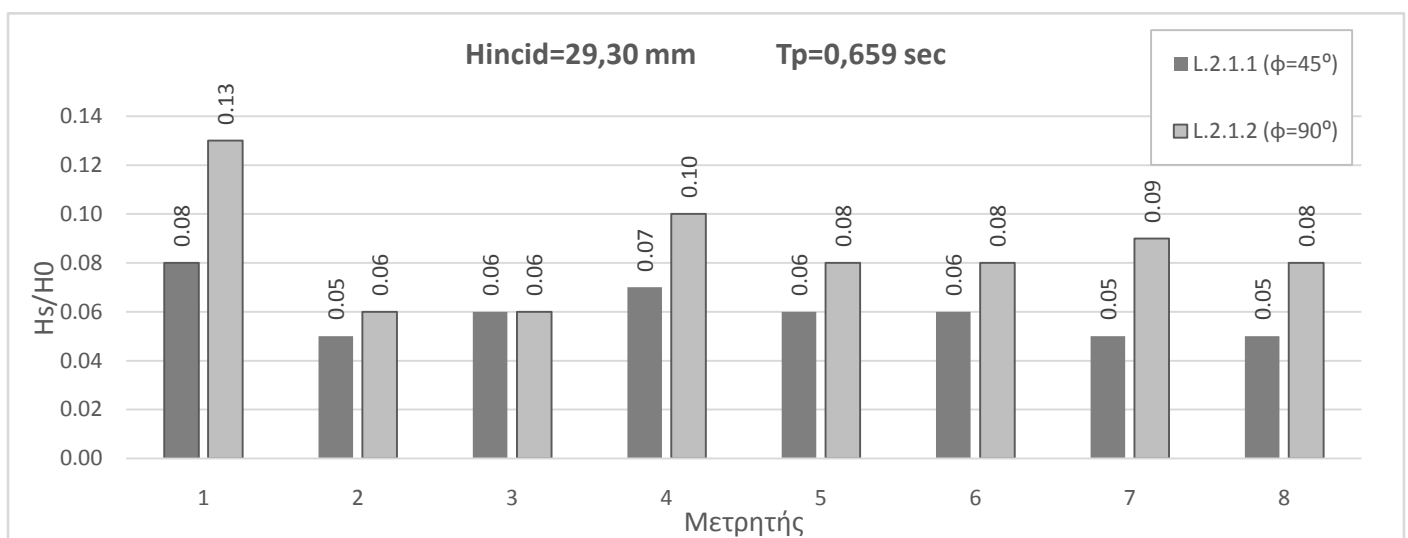
γ) Διάταξη L.2.1, σύγκριση L.2.1.1 και L.2.1.2



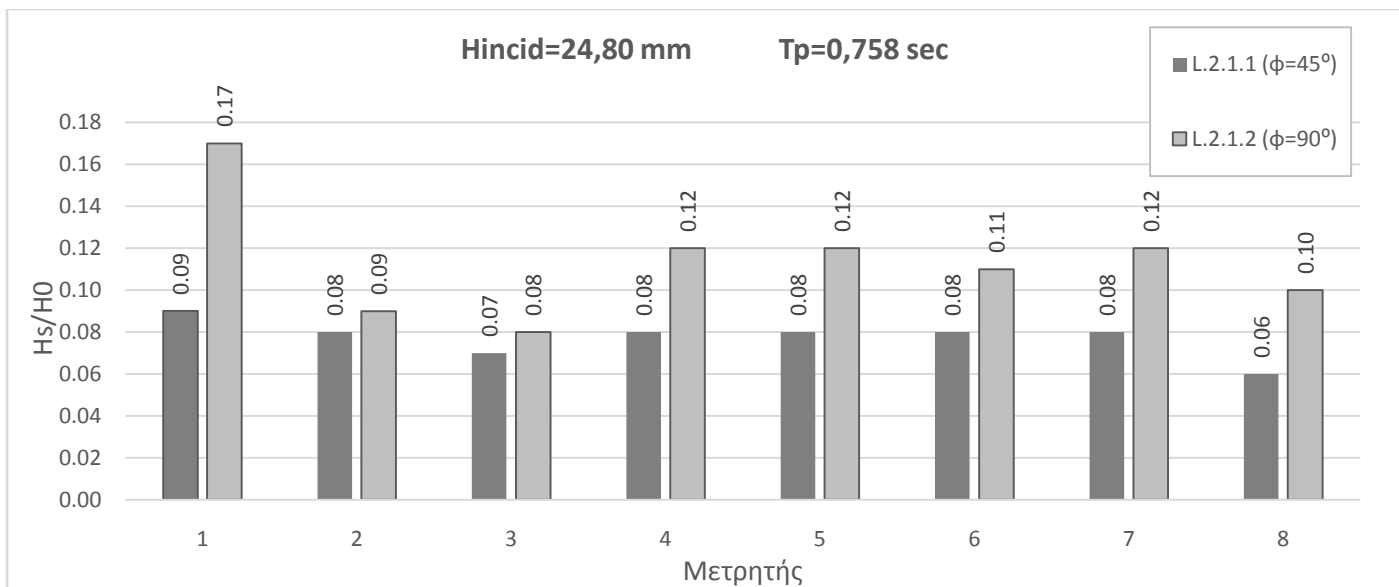
Διάγραμμα 5.73



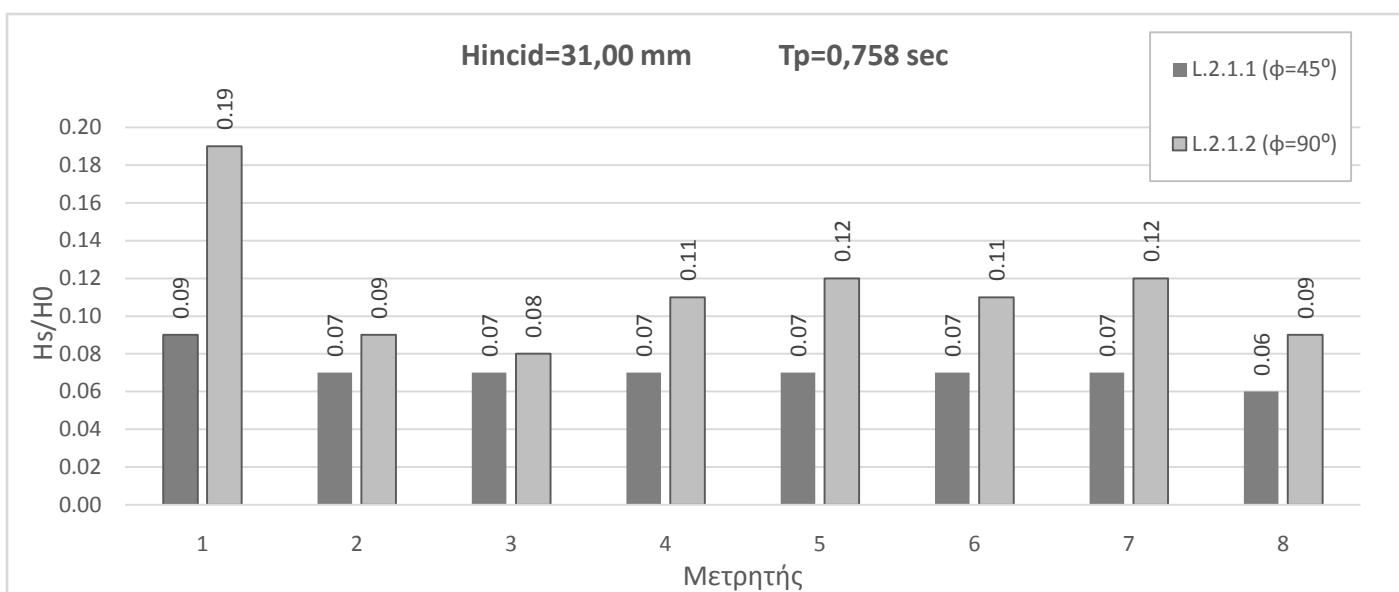
Διάγραμμα 5.74



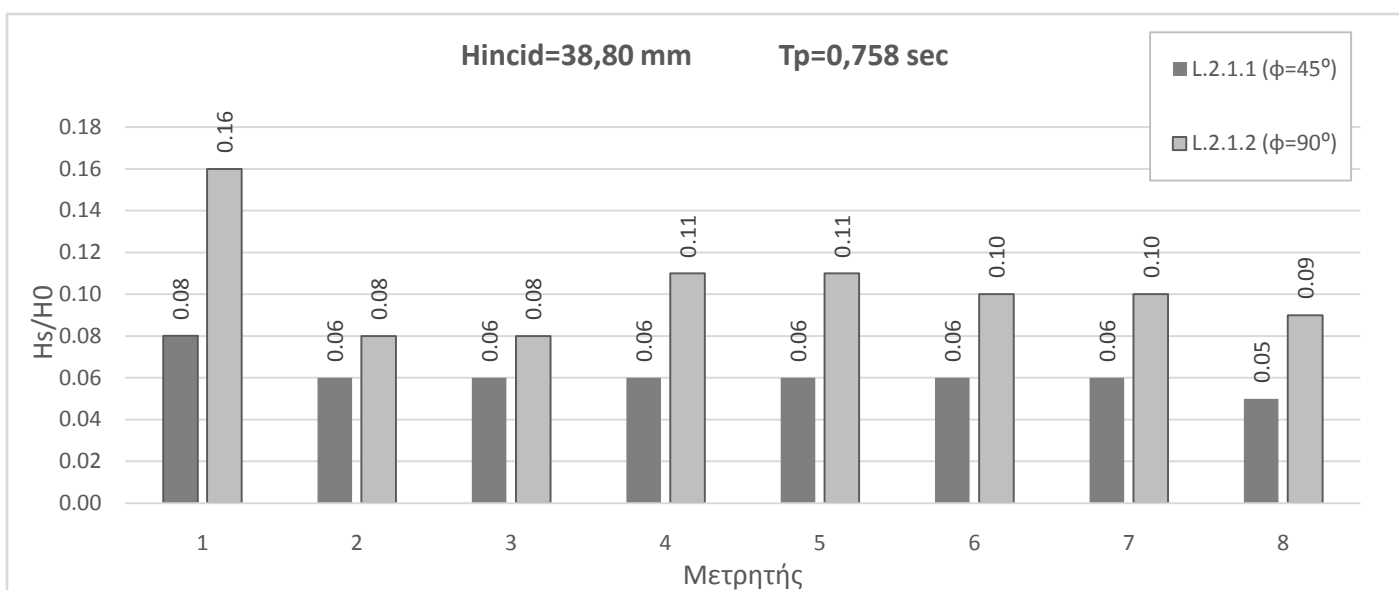
Διάγραμμα 5.75



*Διάγραμμα 5.76*

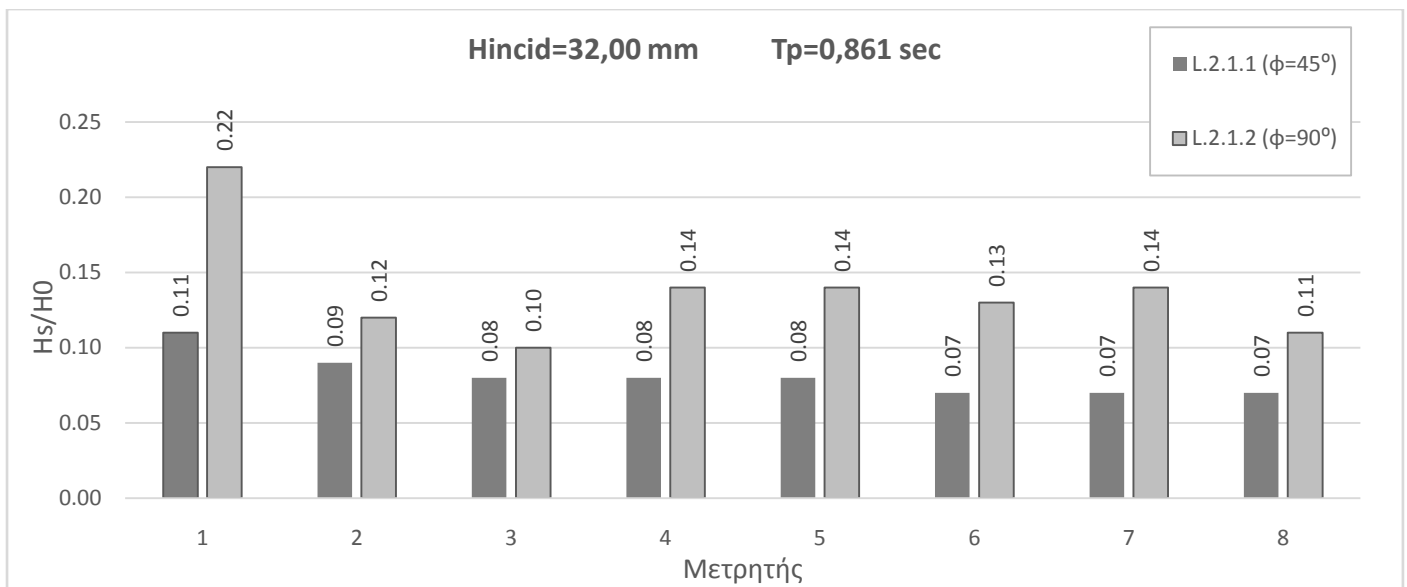


*Διάγραμμα 5.77*

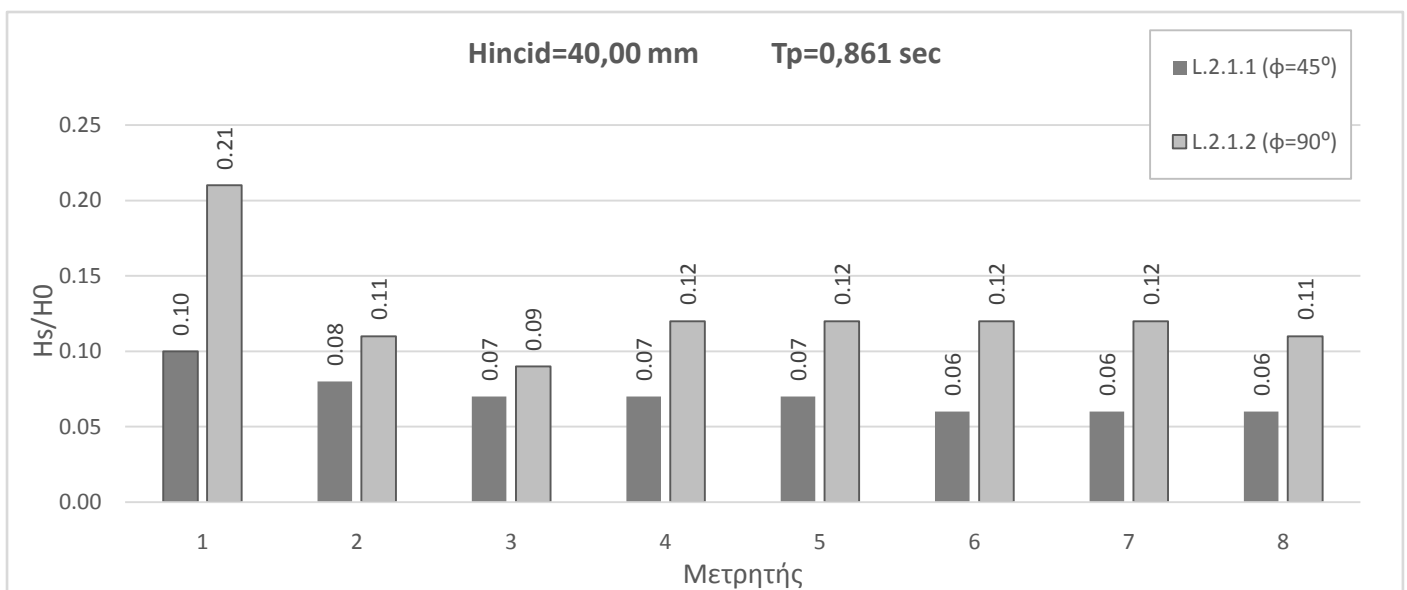


*Διάγραμμα 5.78*

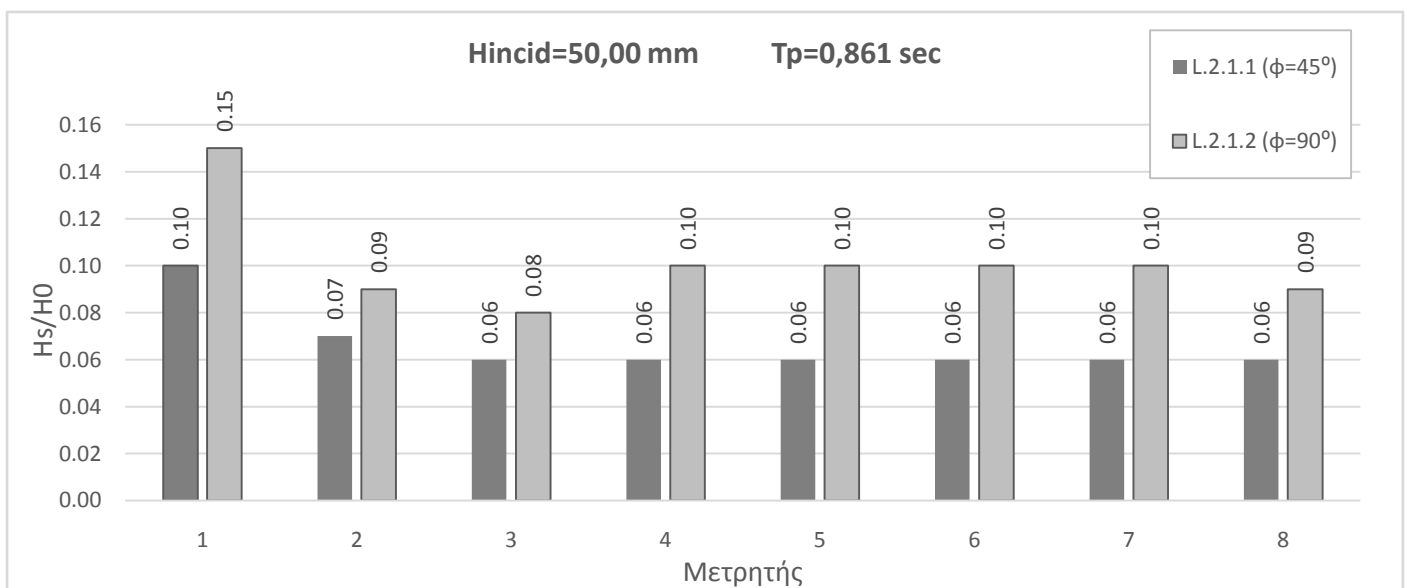




*Διάγραμμα 5.79*

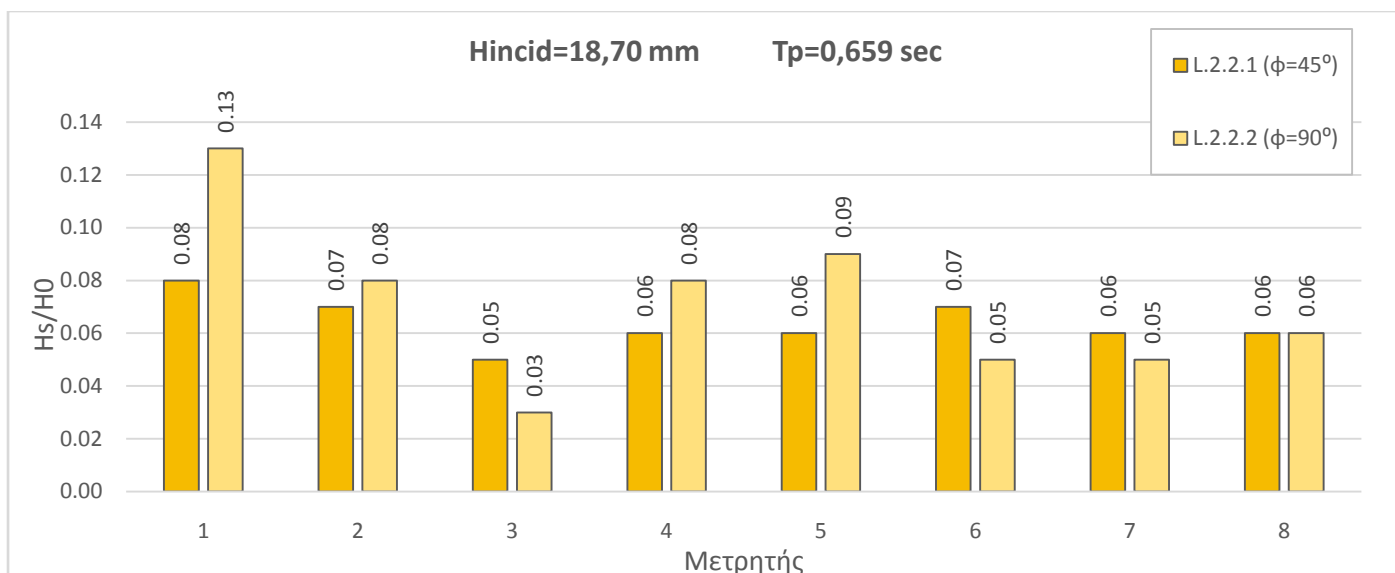


*Διάγραμμα 5.80*

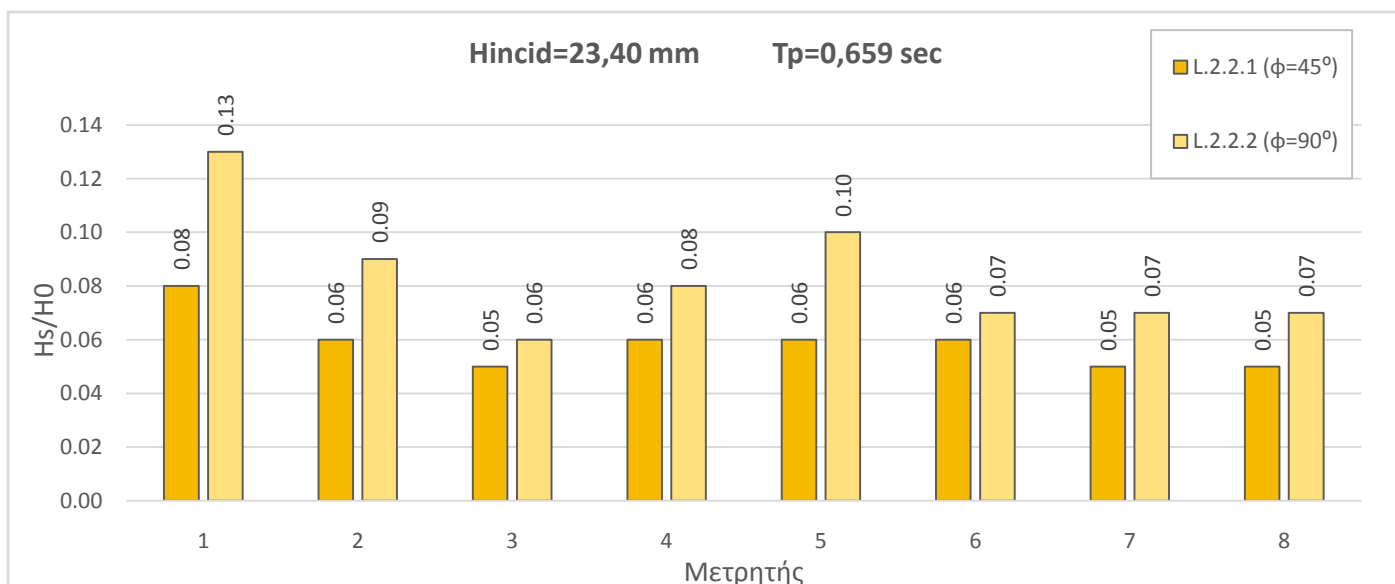


*Διάγραμμα 5.81*

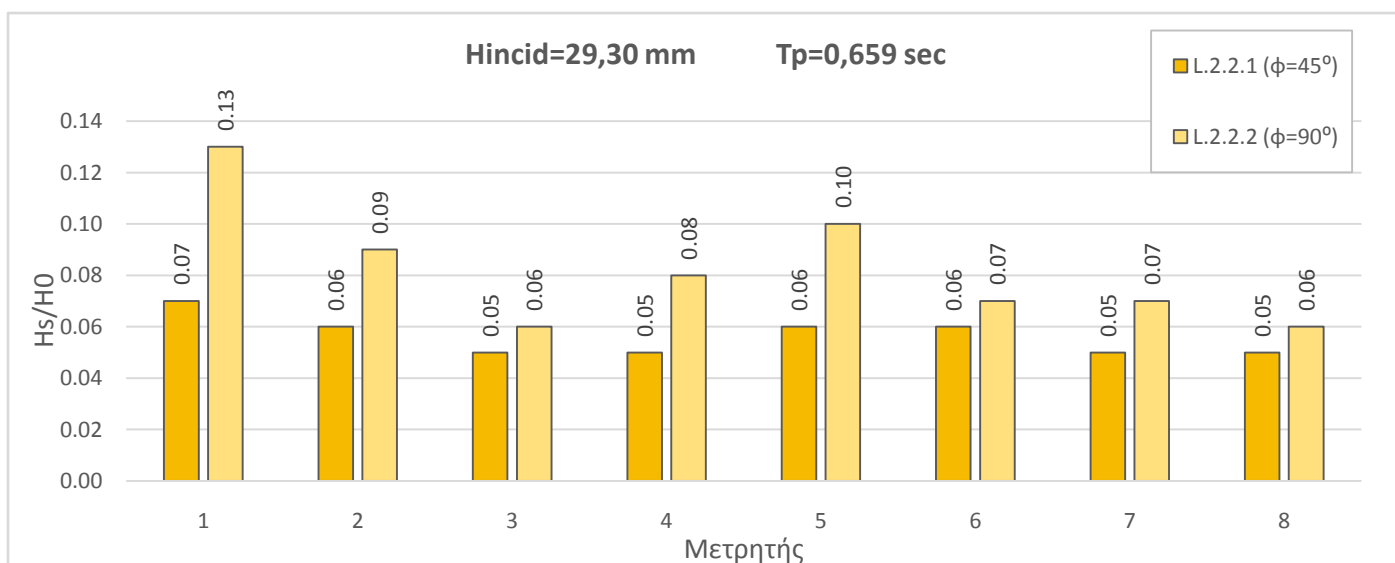
δ) Διάταξη L.2.2, σύγκριση L.2.2.1 και L.2.2.2



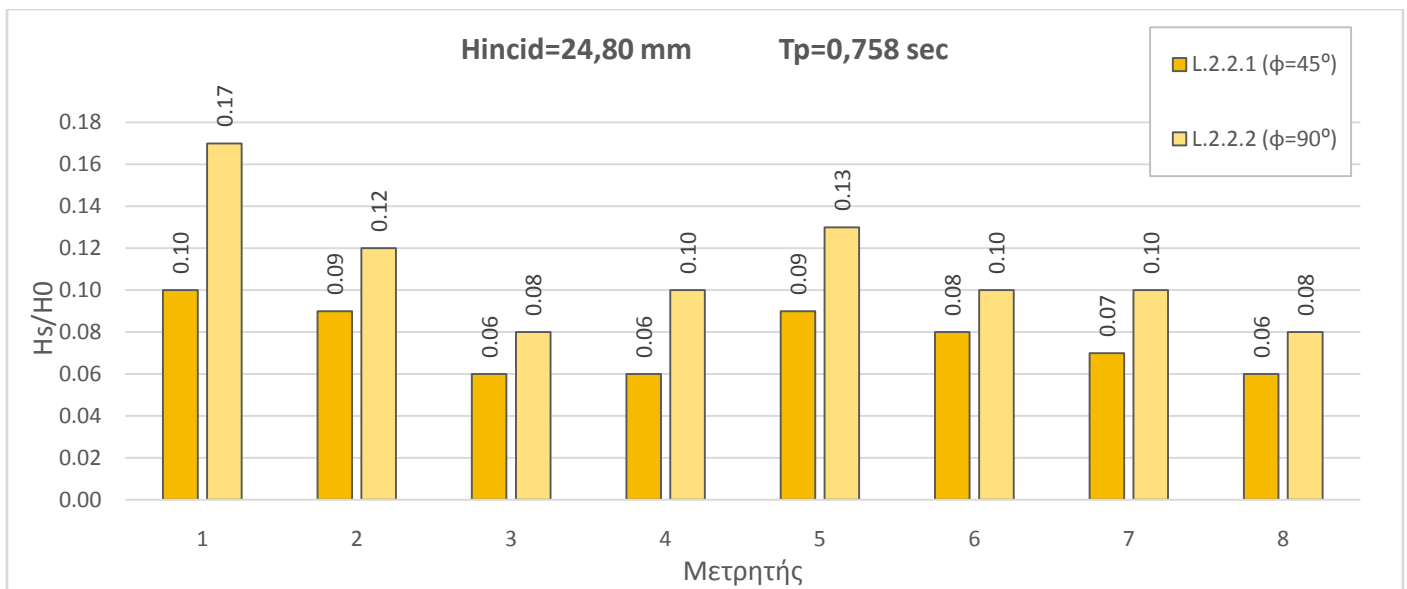
Διάγραμμα 5.82



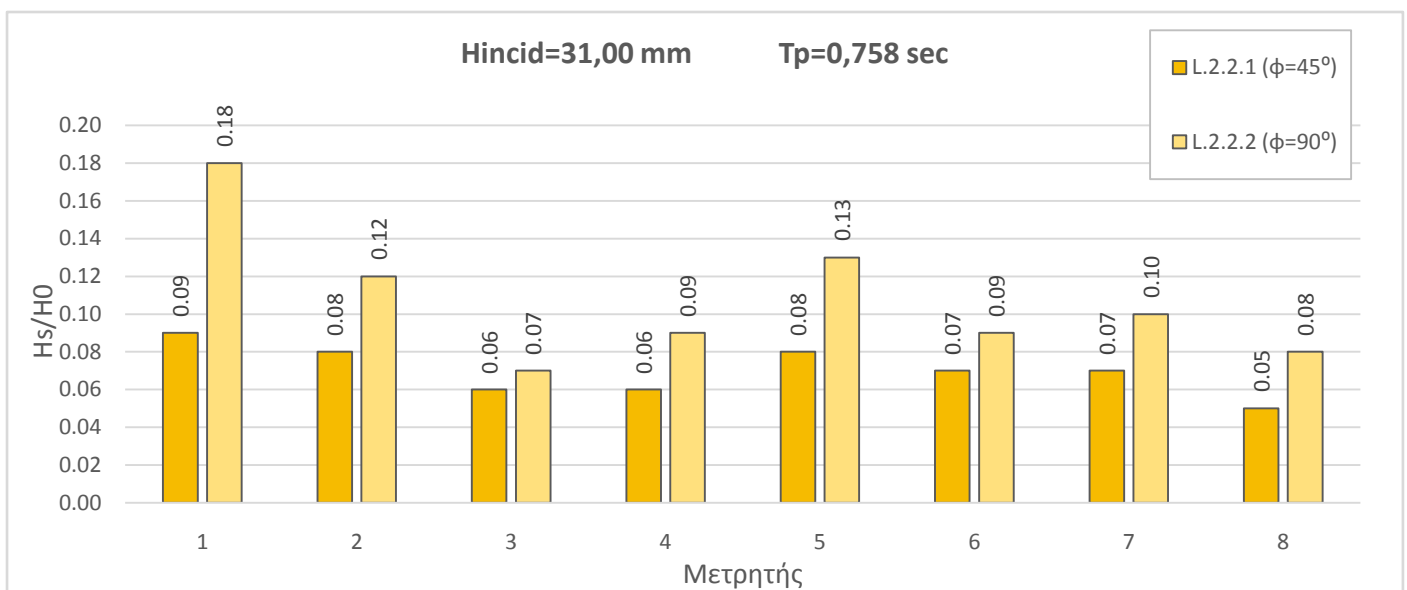
Διάγραμμα 5.83



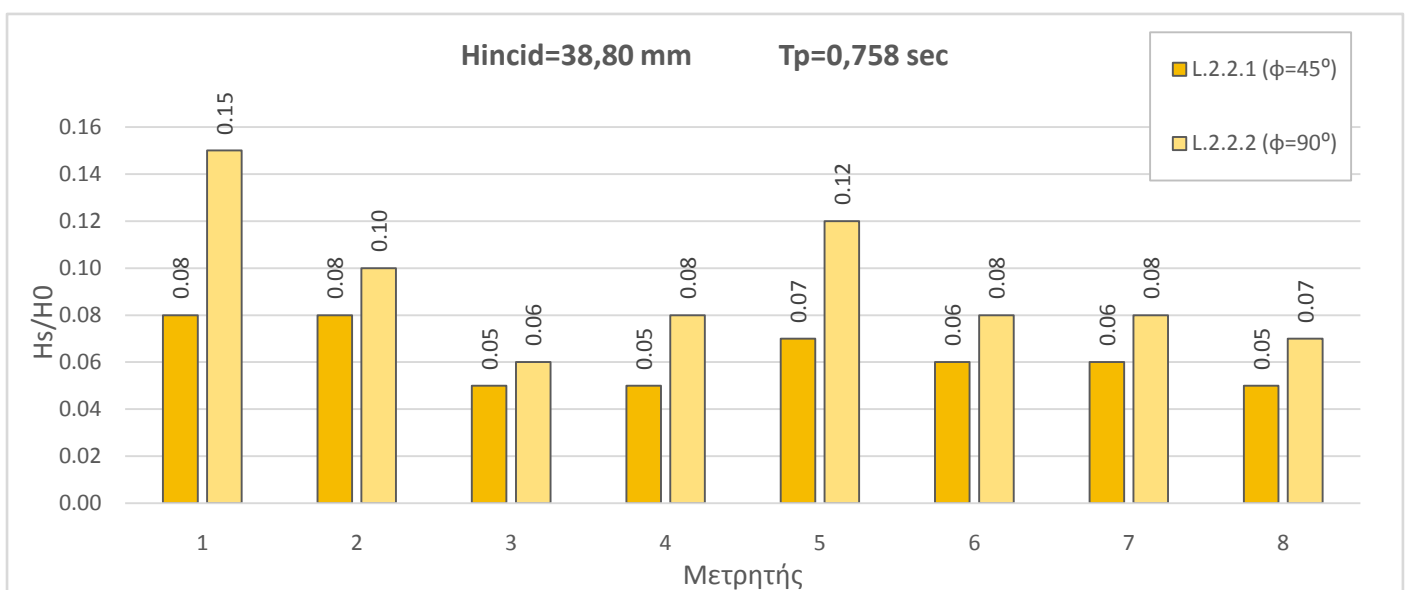
Διάγραμμα 5.84



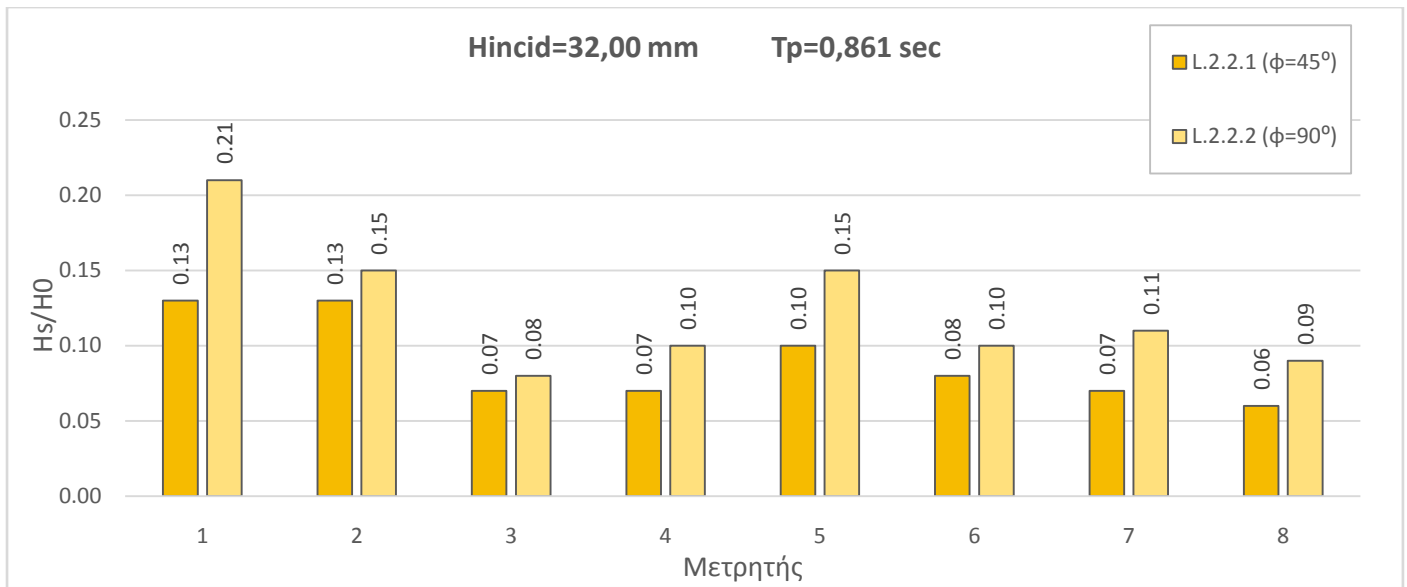
*Διάγραμμα 5.85*



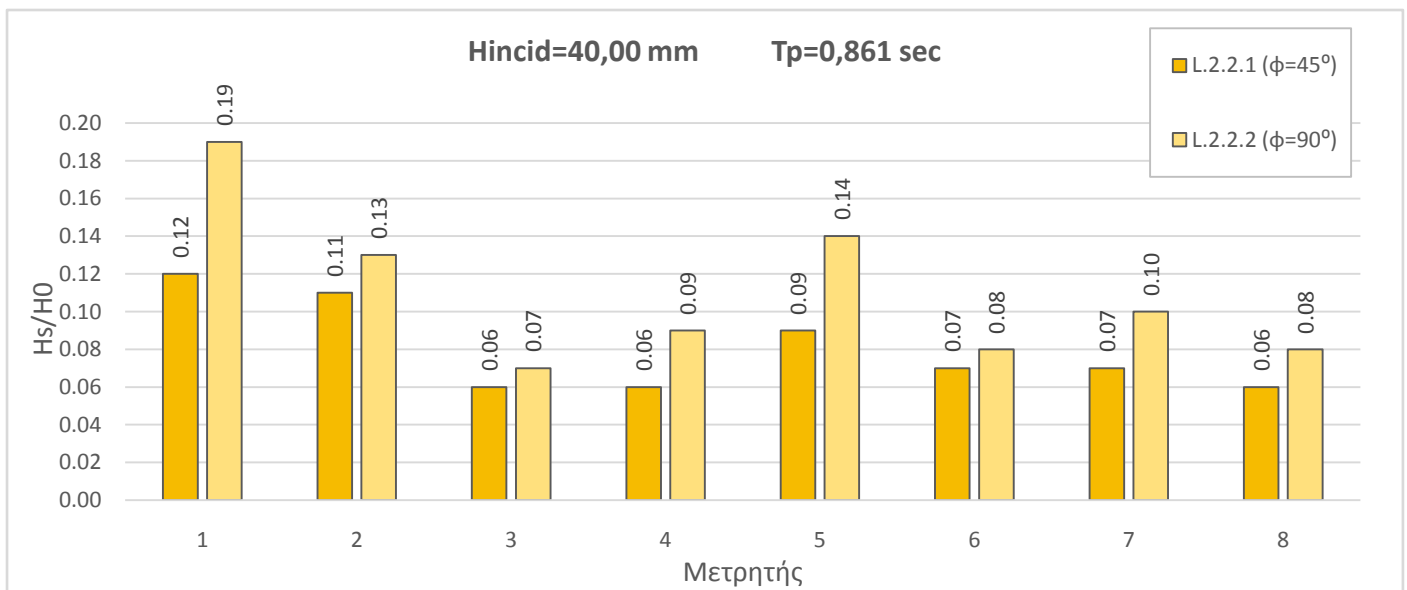
*Διάγραμμα 5.86*



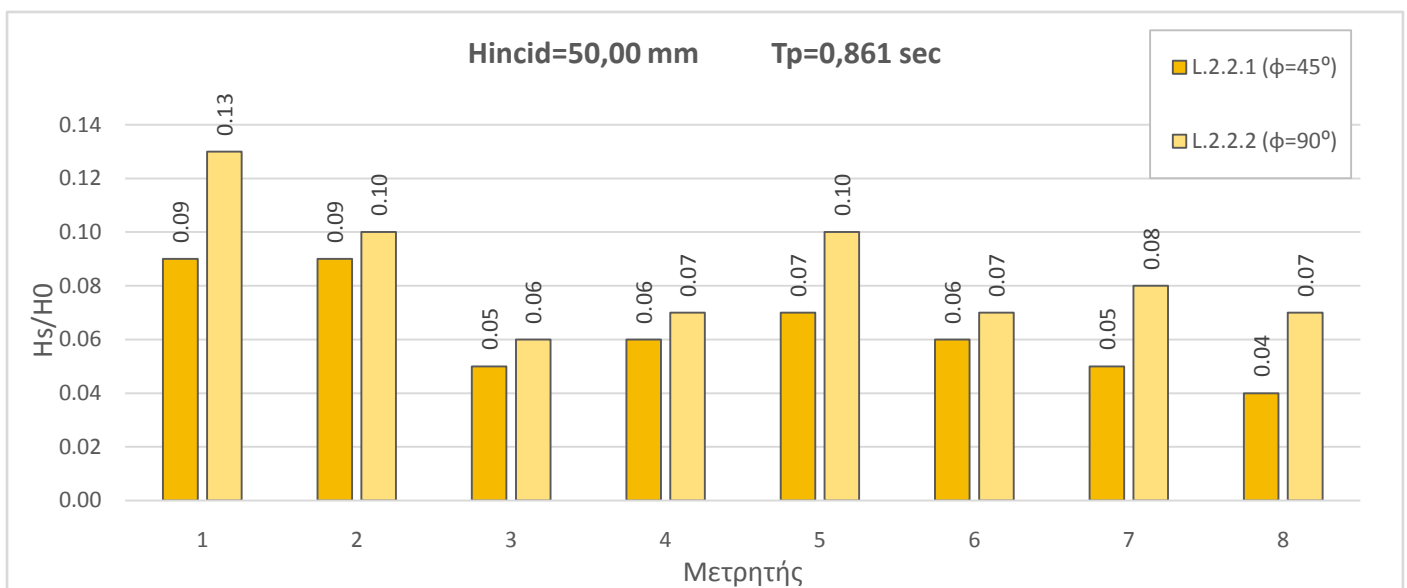
*Διάγραμμα 5.87*



*Διάγραμμα 5.88*



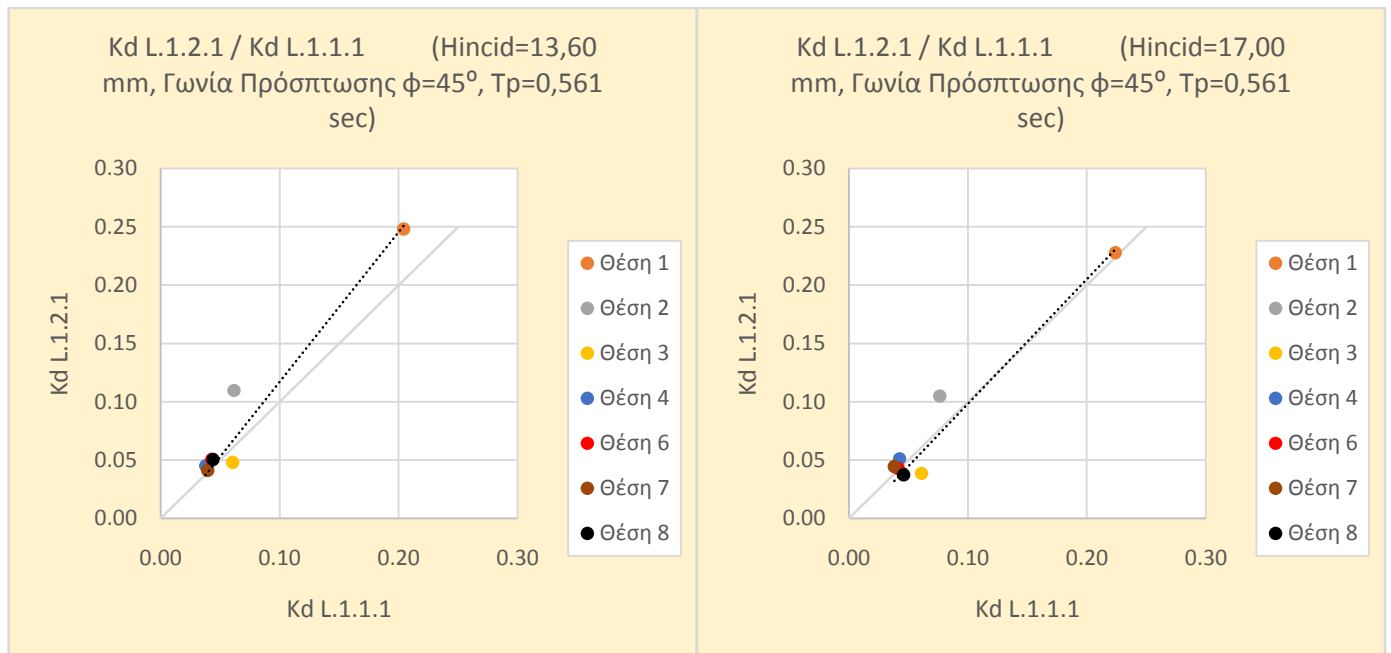
*Διάγραμμα 5.89*



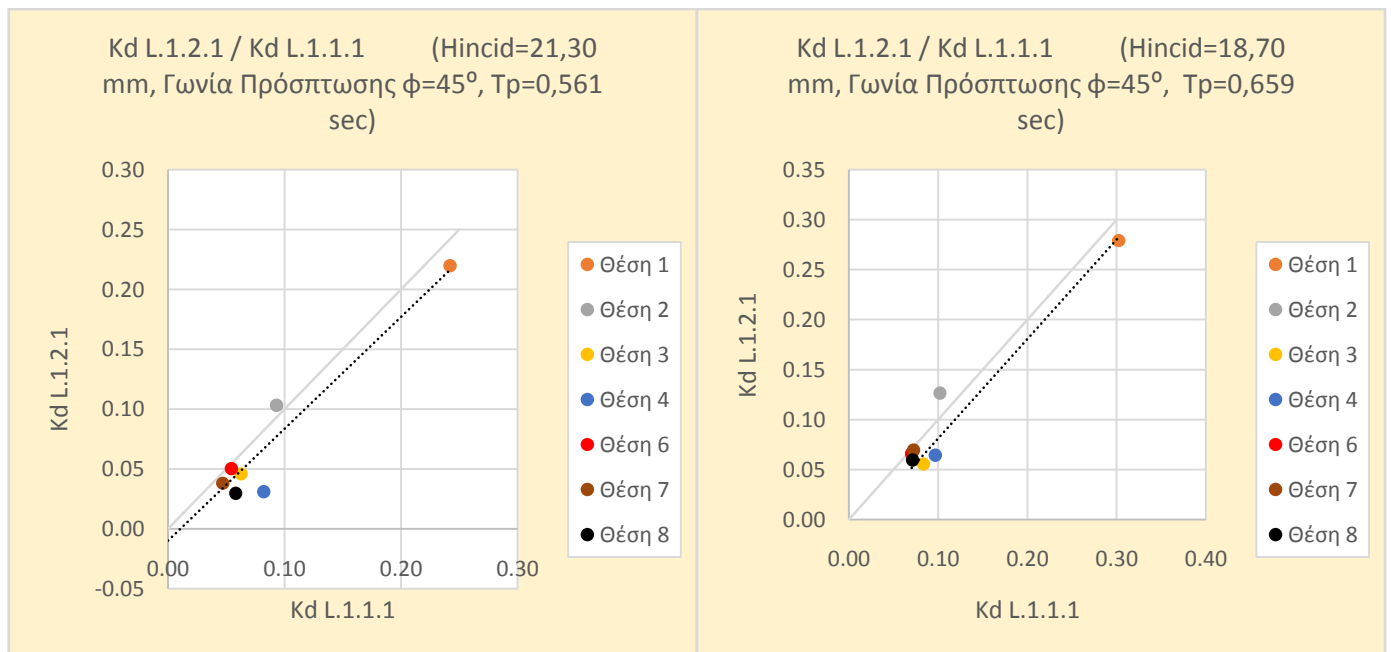
*Διάγραμμα 5.90*

## 5.8.4 Σύγκριση συντελεστών κDδιάταξης έργων με εσωτερικούς / χωρίς εσωτερικούς προβόλους

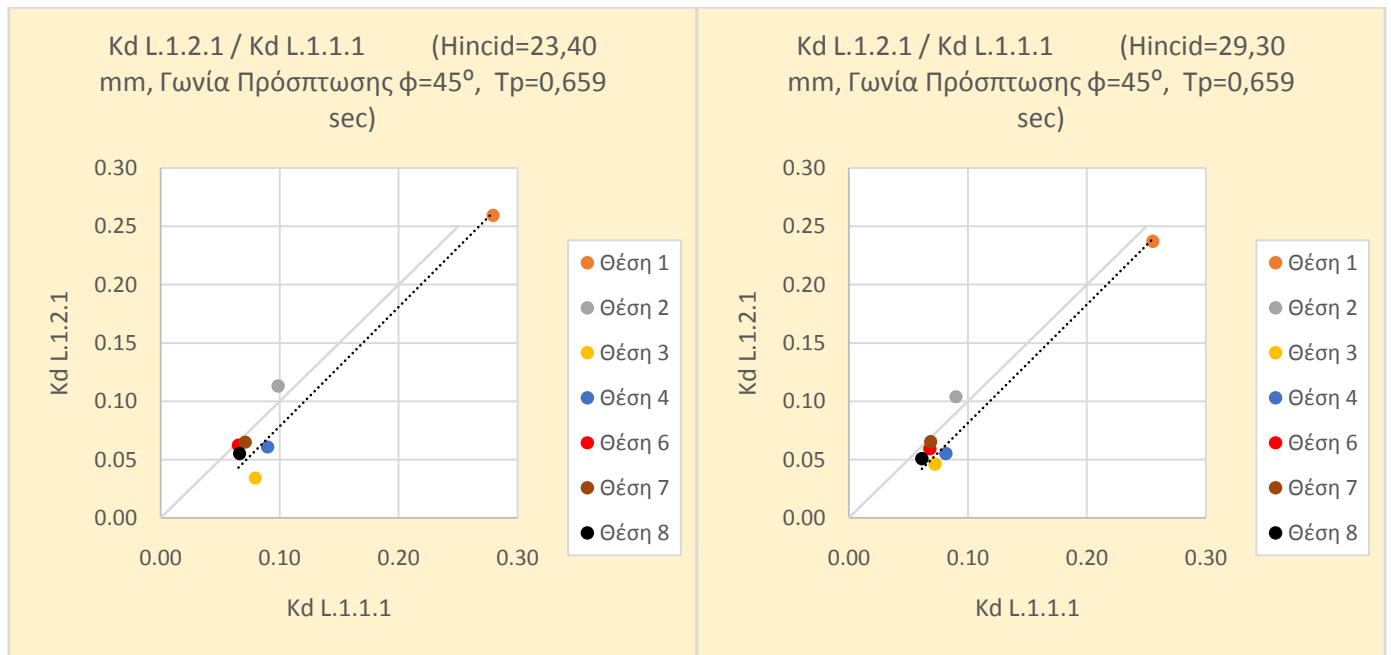
α) Σύγκριση κDL.1.2.1 / κDL.1.1.1, Γωνία Πρόσπτωσης  $\phi=45^\circ$



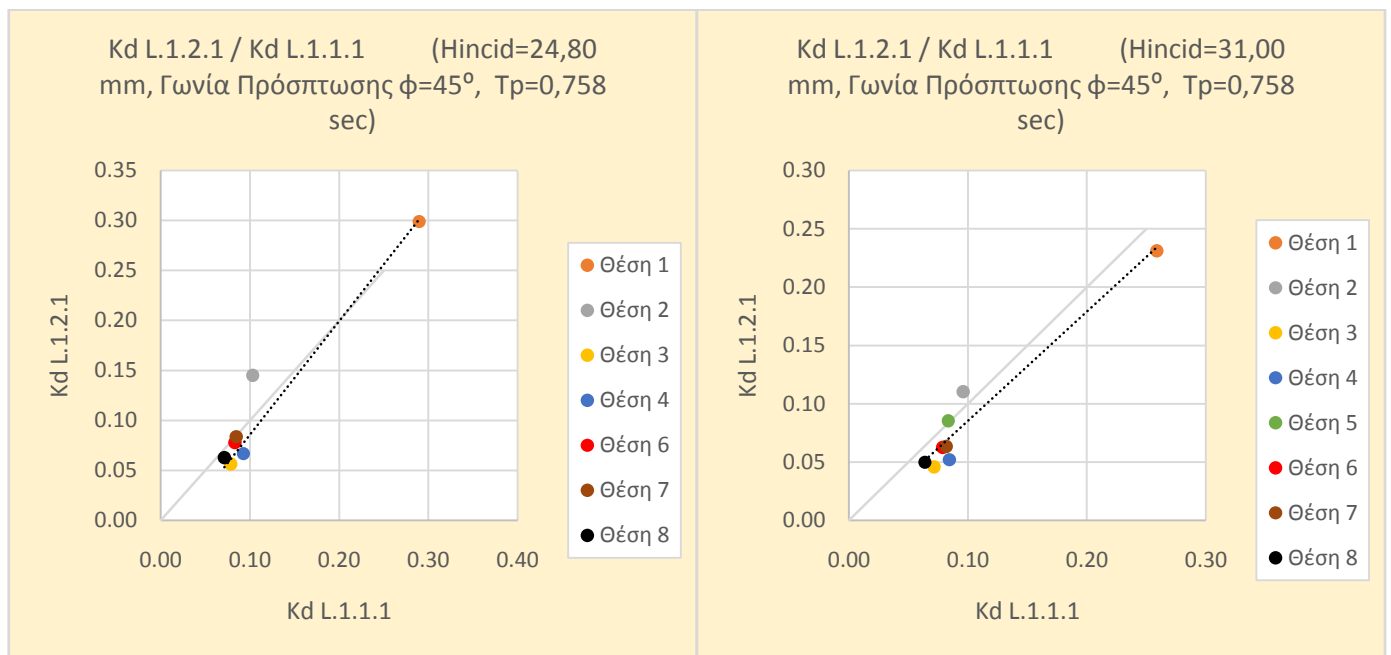
Διαγράμματα 5.91& 5.92



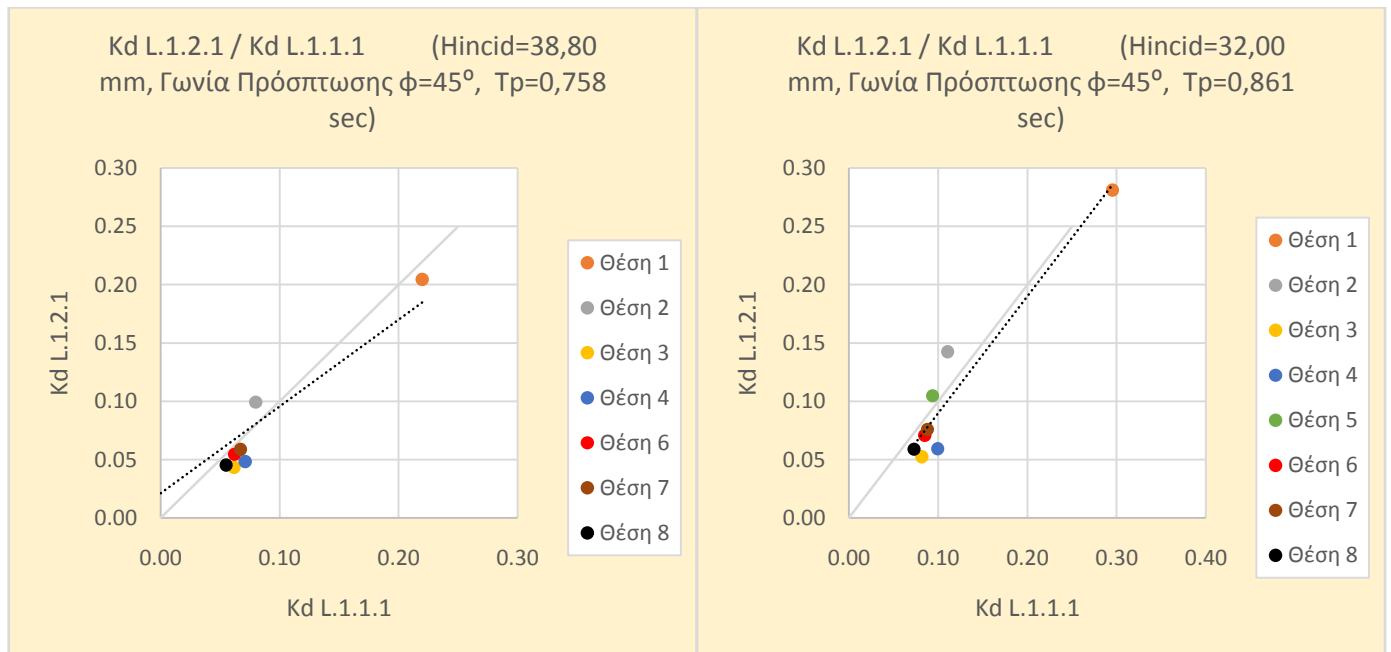
Διαγράμματα 5.93& 5.94



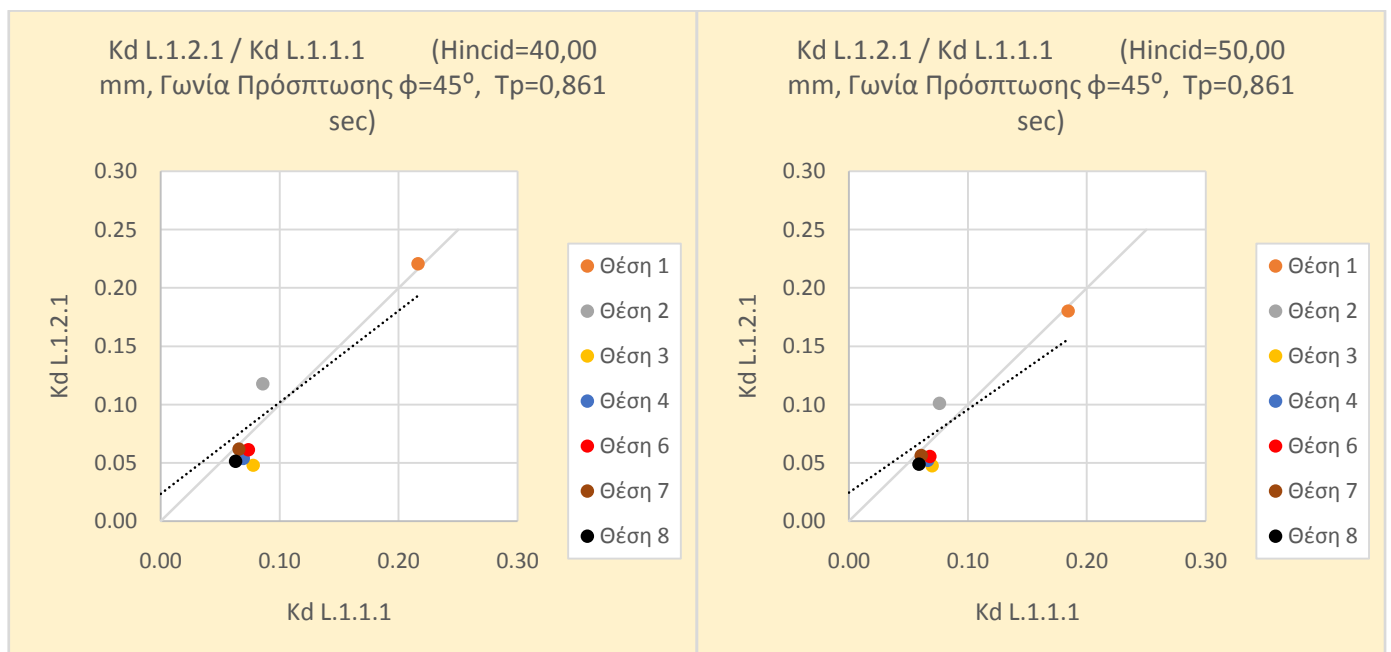
Διαγράμματα 5.95 & 5.96



Διαγράμματα 5.97 & 5.98



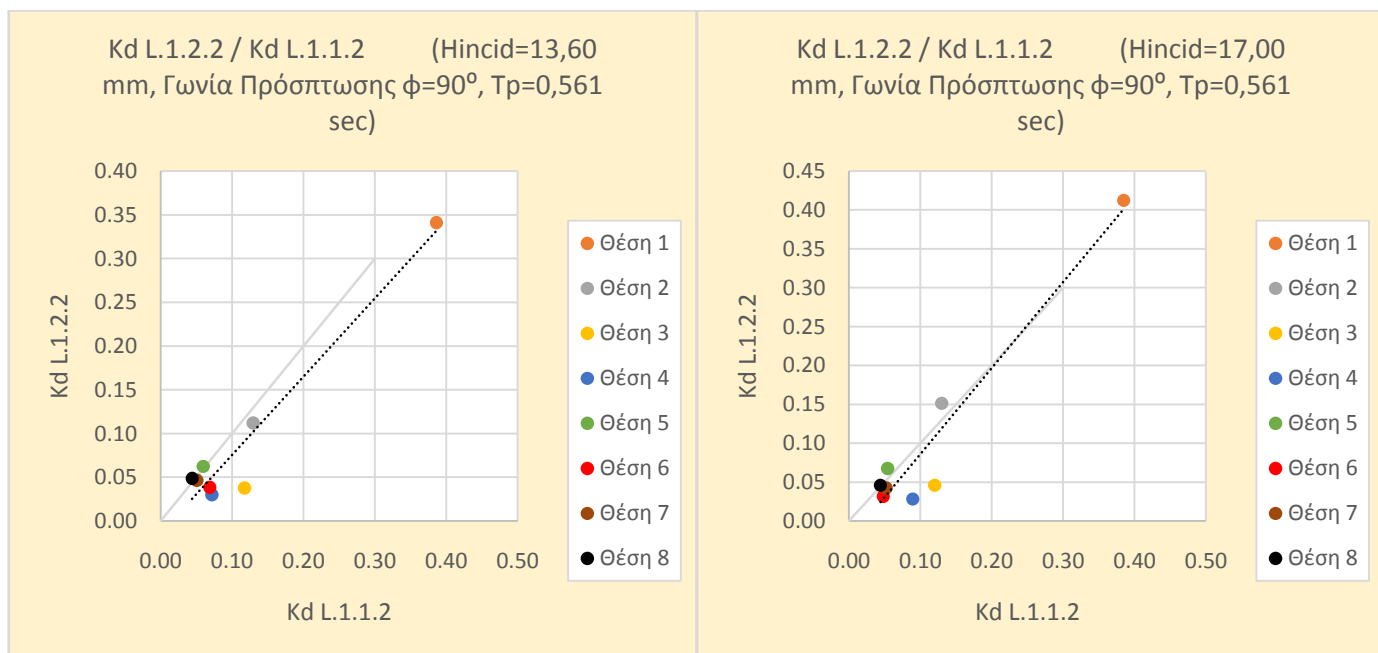
Διαγράμματα 5.99 & 5.100



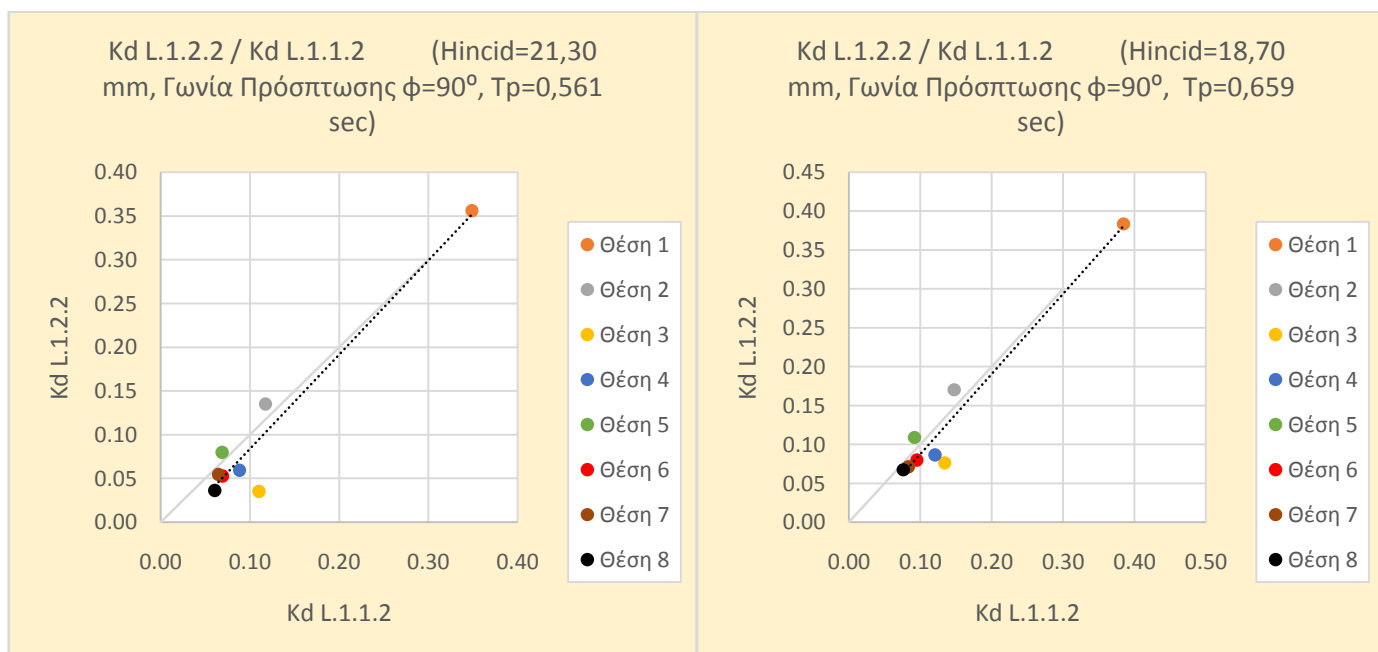
Διαγράμματα 5.101 & 5.102



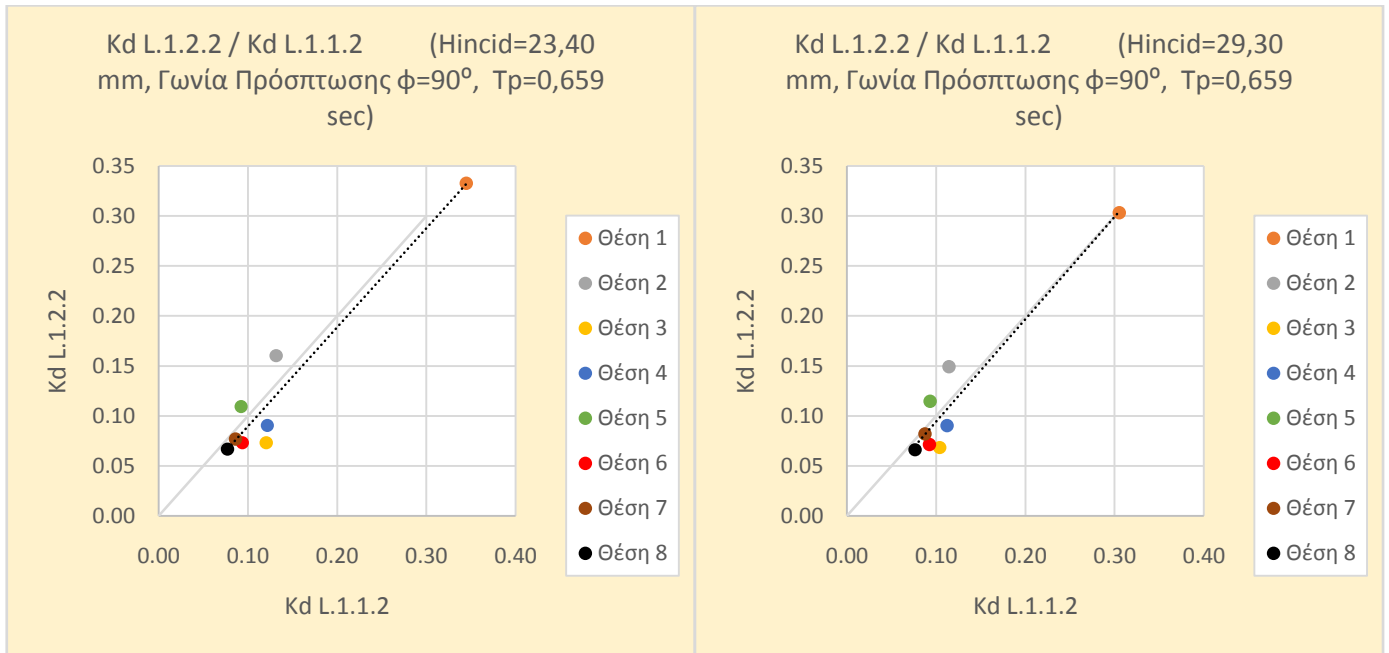
**β) Σύγκριση  $k_{DL.1.2.2} / k_{DL.1.1.2}$ , Γωνία Πρόσπτωσης  $\varphi=90^\circ$**



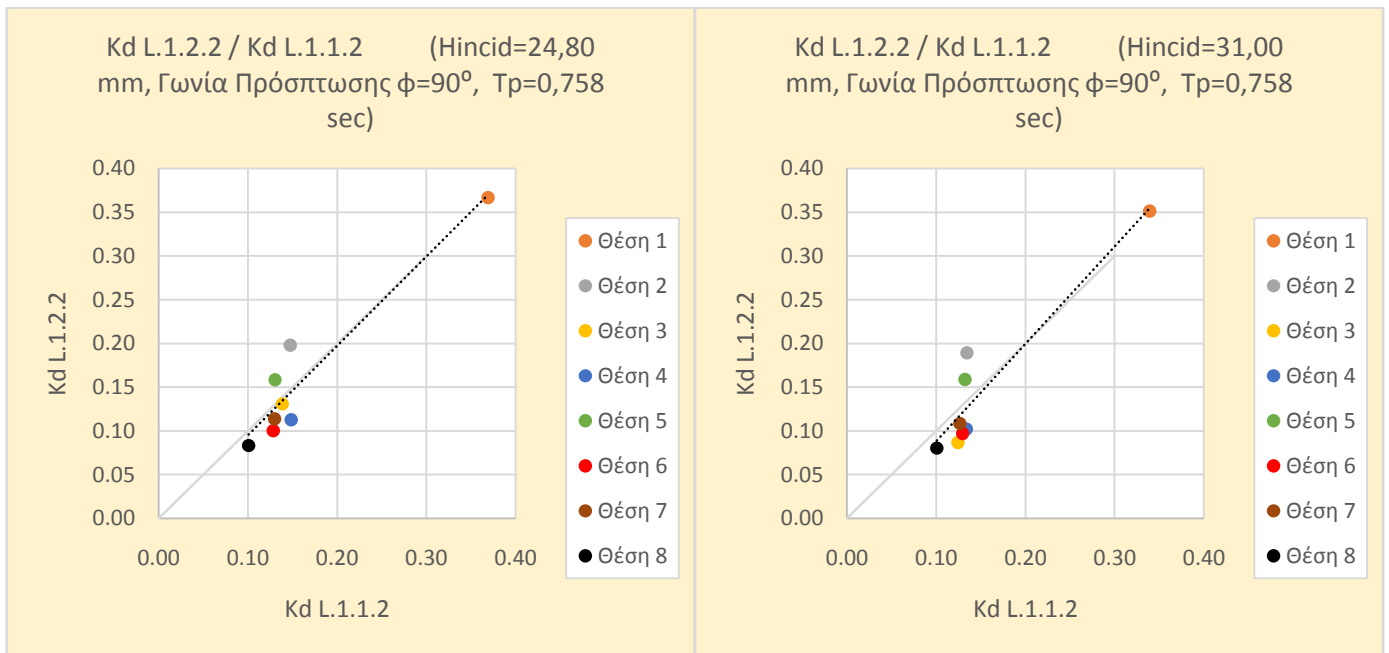
Διαγράμματα 5.103 & 5.104



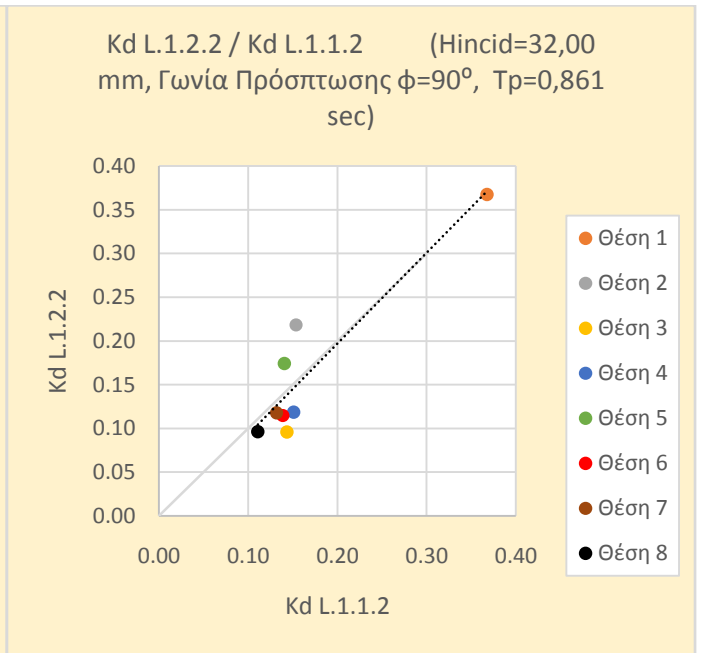
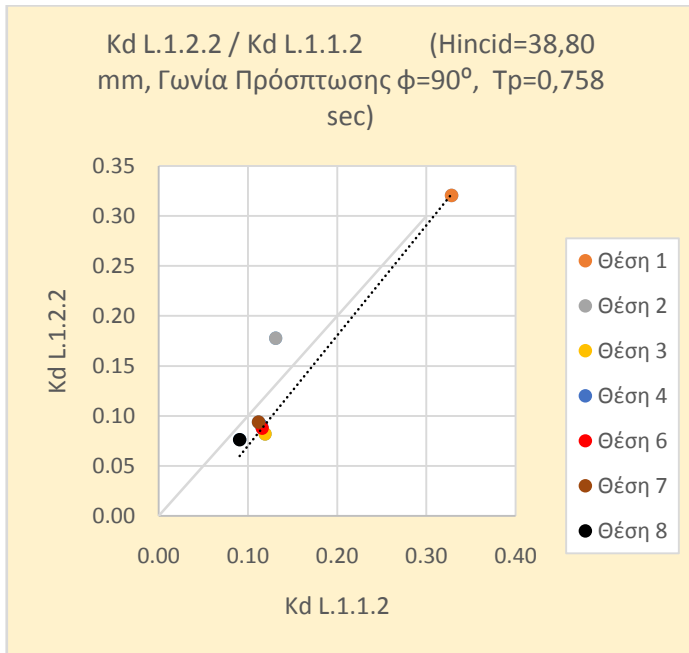
Διαγράμματα 5.105 & 5.106



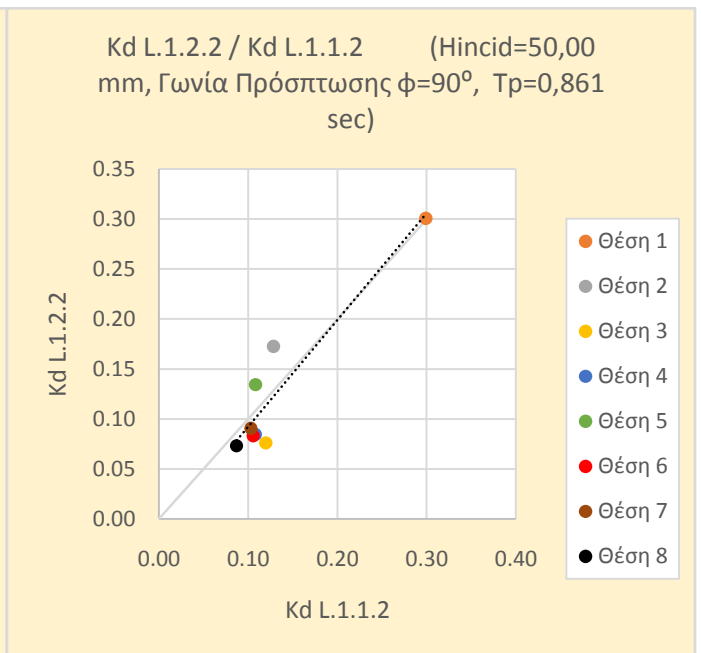
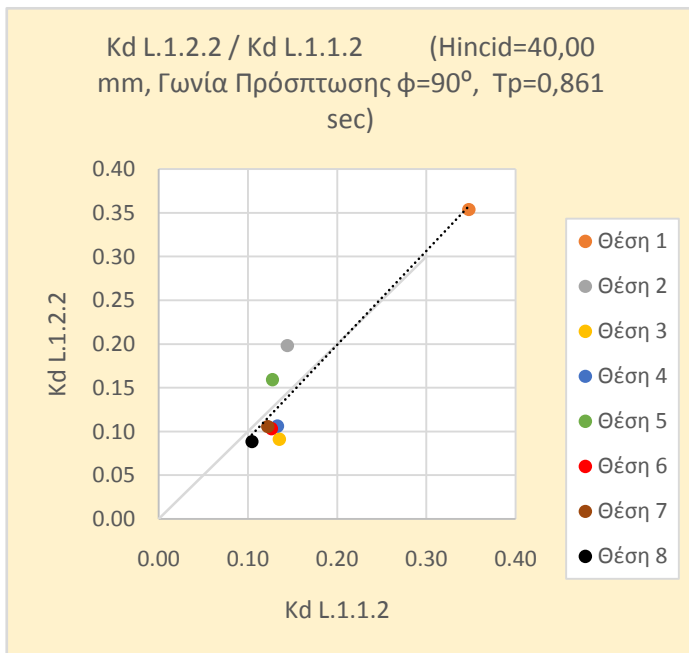
Διαγράμματα 5.107 & 5.108



Διαγράμματα 5.109 & 5.110

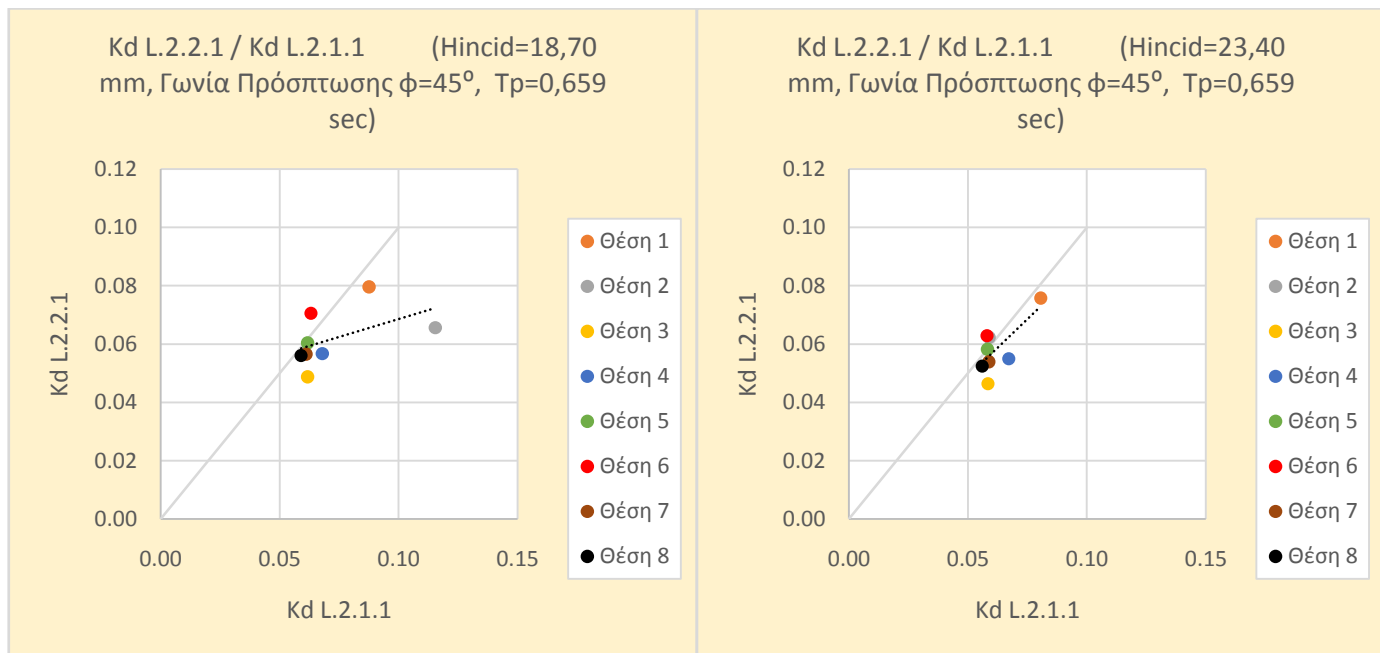


Διαγράμματα 5.111 & 5.112

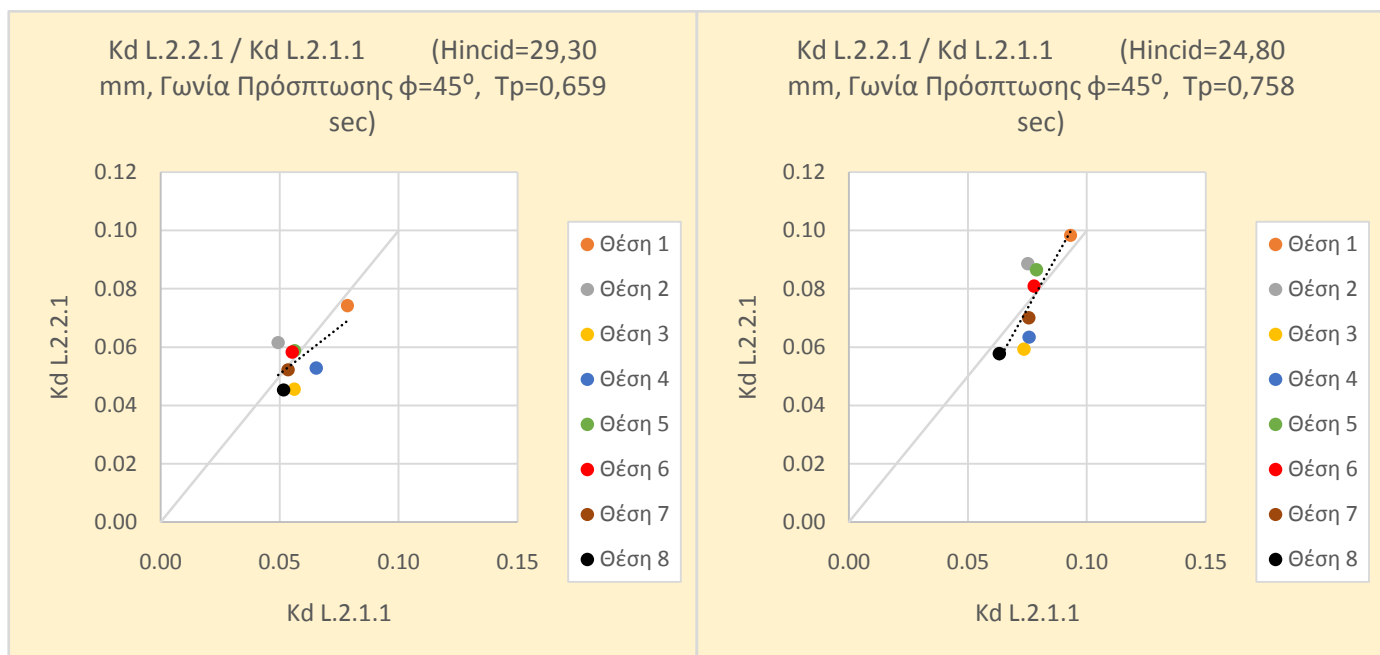


Διαγράμματα 5.113 & 5.114

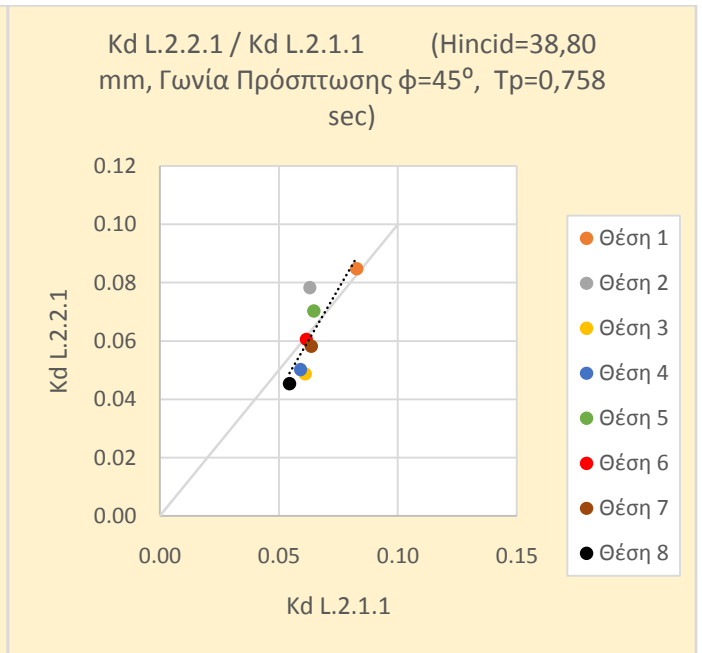
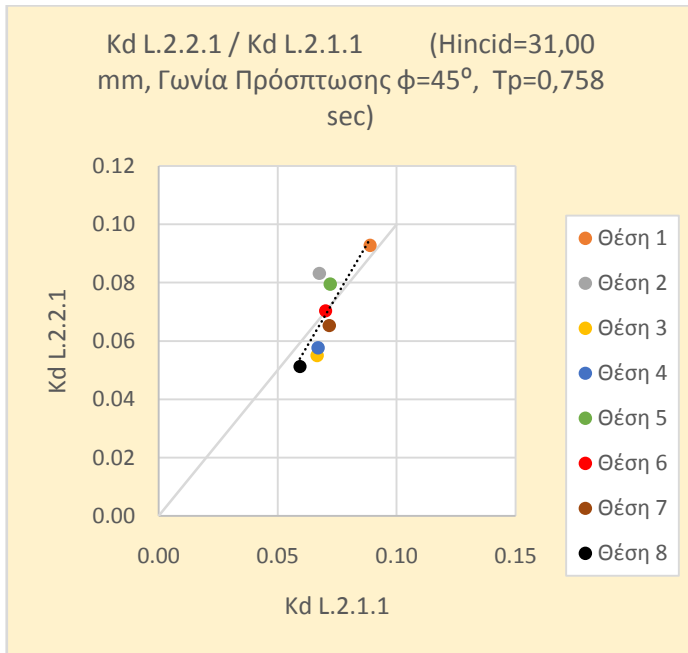
γ) Σύγκριση κDL.2.2.1 / κDL.2.1.1, Γωνία Πρόσπτωσης  $\phi=45^\circ$



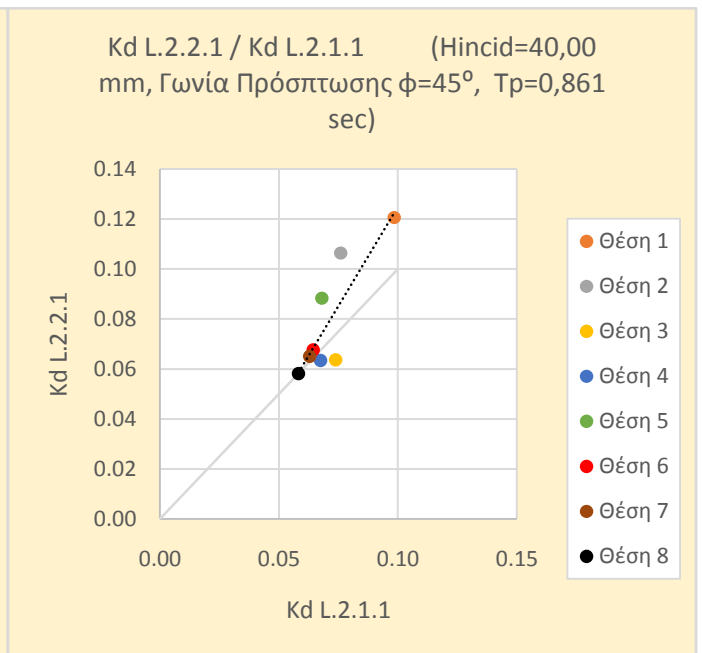
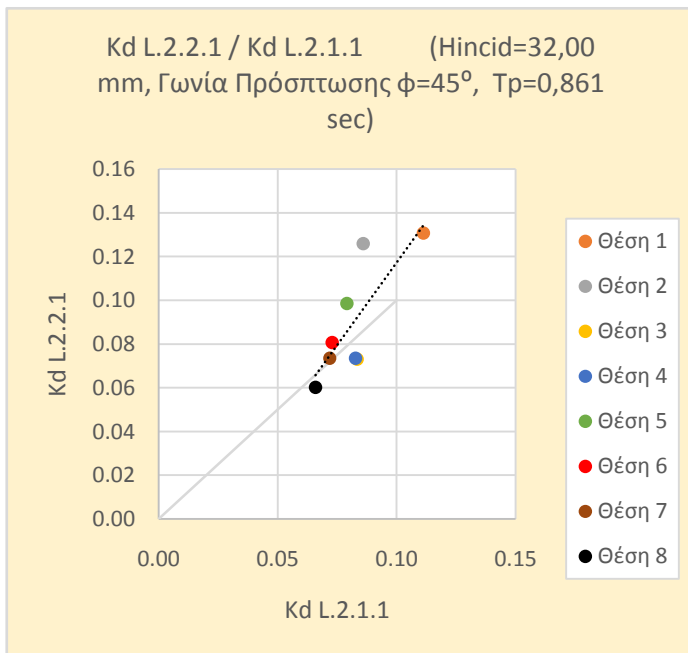
Διαγράμματα 5.115 & 5.116



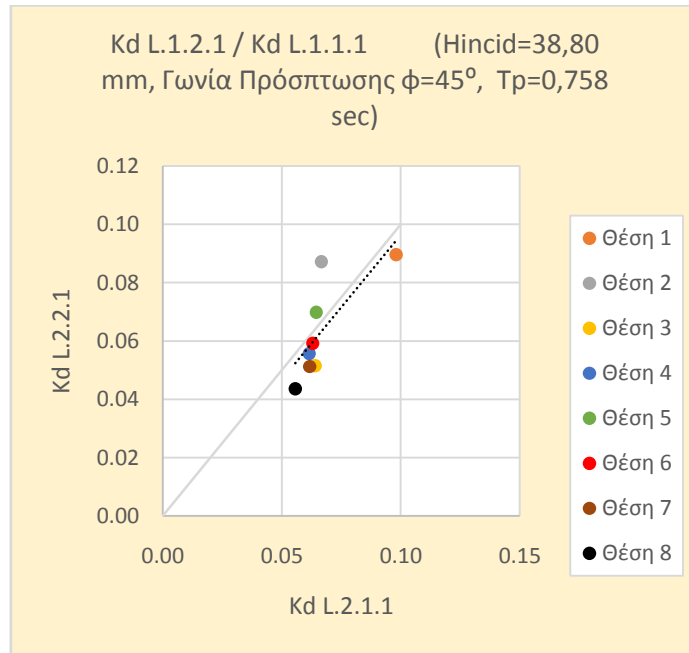
Διαγράμματα 5.117 & 5.118



Διαγράμματα 5.119 & 5.120

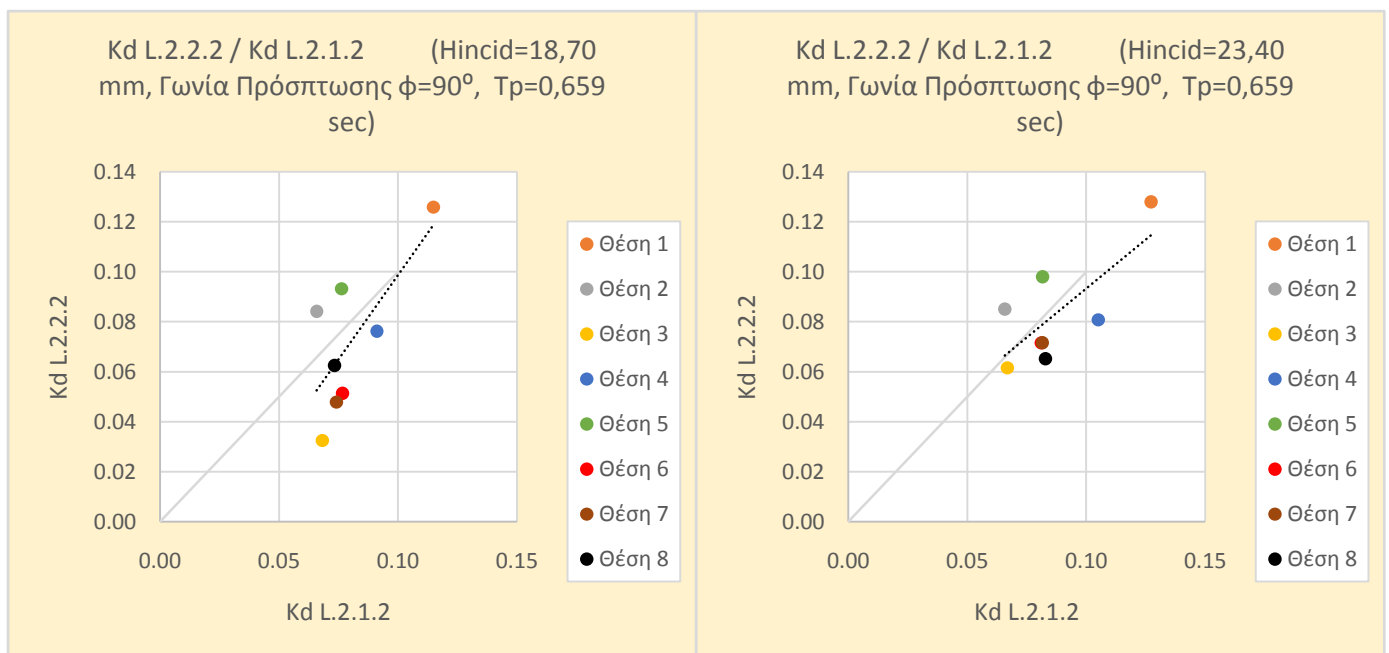


Διαγράμματα 5.121 & 5.122

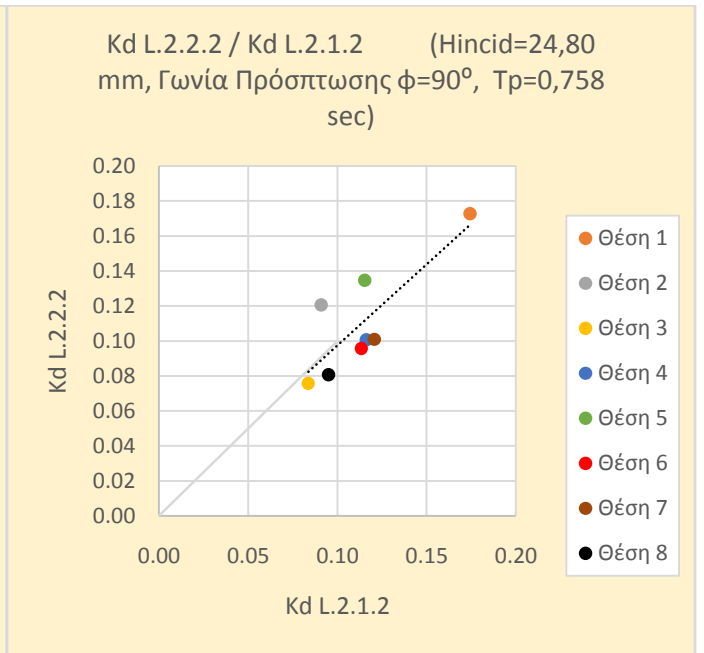
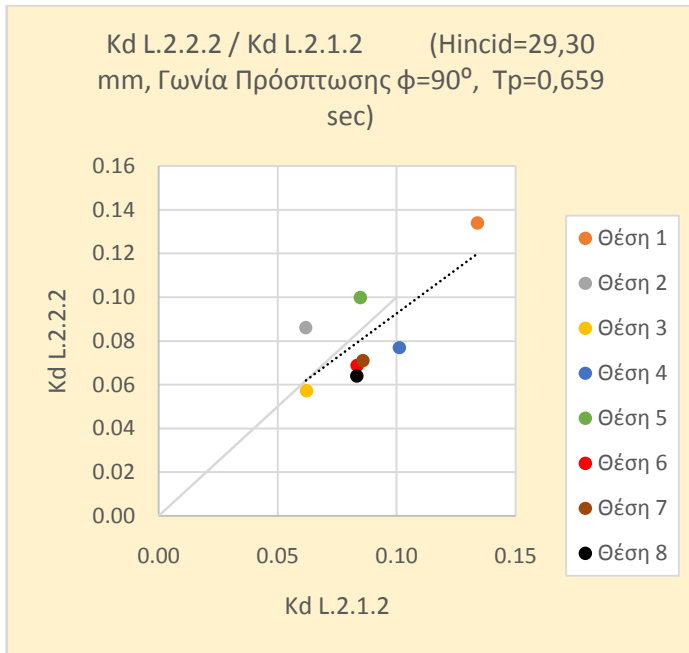


Διάγραμμα 5.123

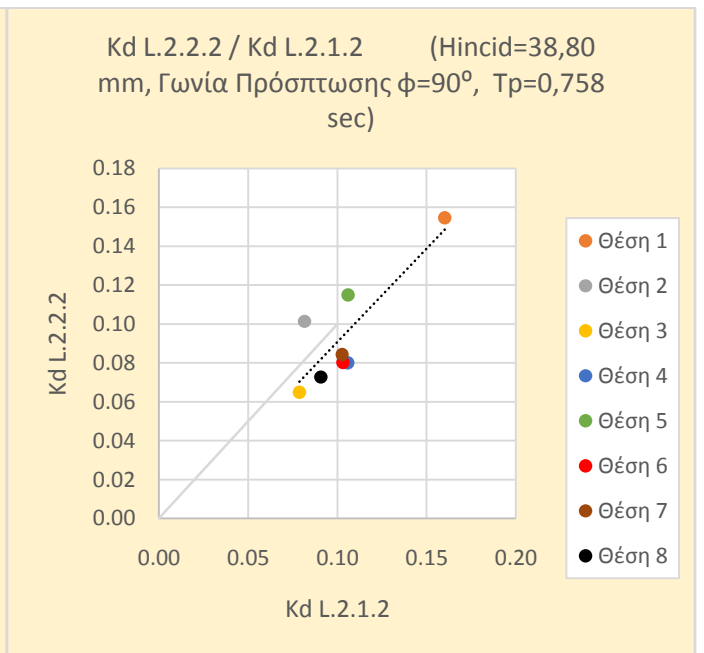
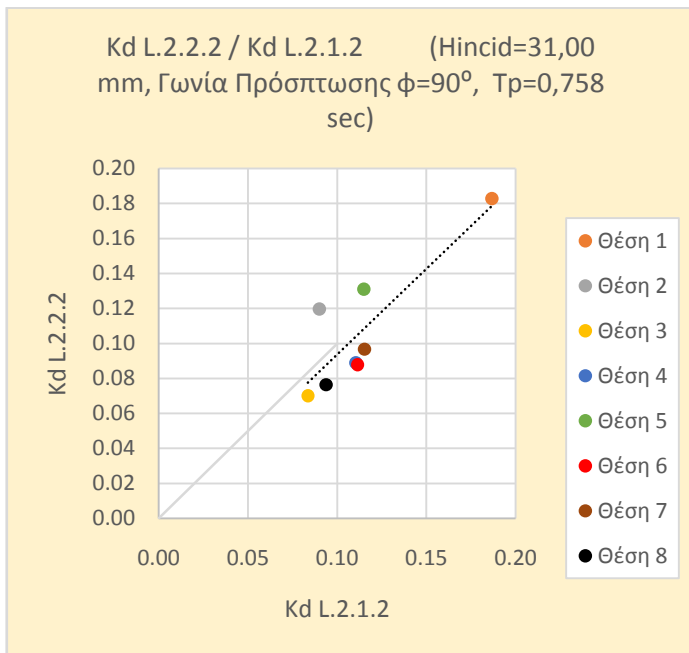
**δ) Σύγκριση  $k_{DL.2.2.2} / k_{DL.2.1.2}$ , Γωνία Πρόσπτωσης  $\phi=90^\circ$**



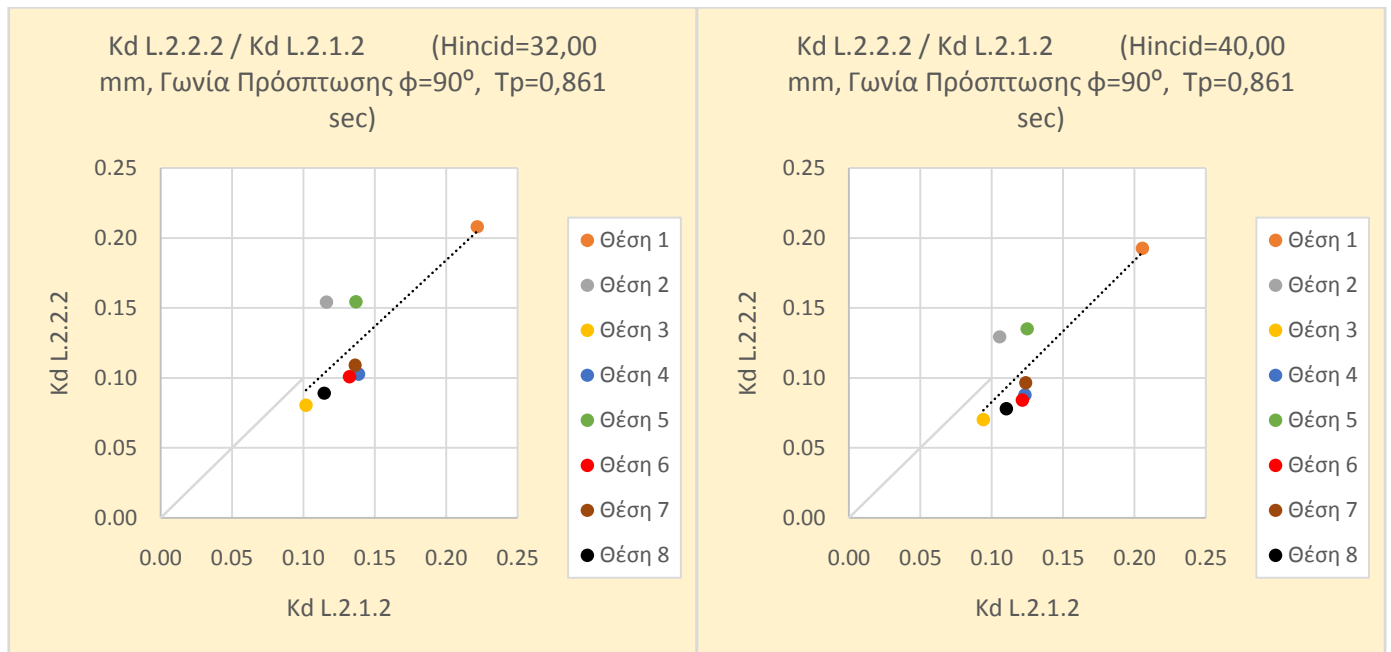
Διαγράμματα 5.124 & 5.125



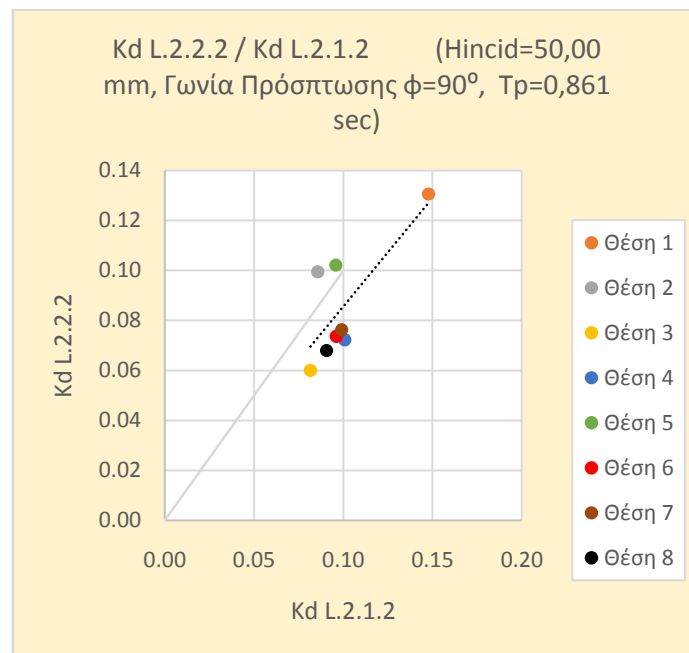
Διαγράμματα 5.126 & 5.127



Διαγράμματα 5.128 & 5.129



Διαγράμματα 5.130 & 5.131



Διάγραμμα 5.132





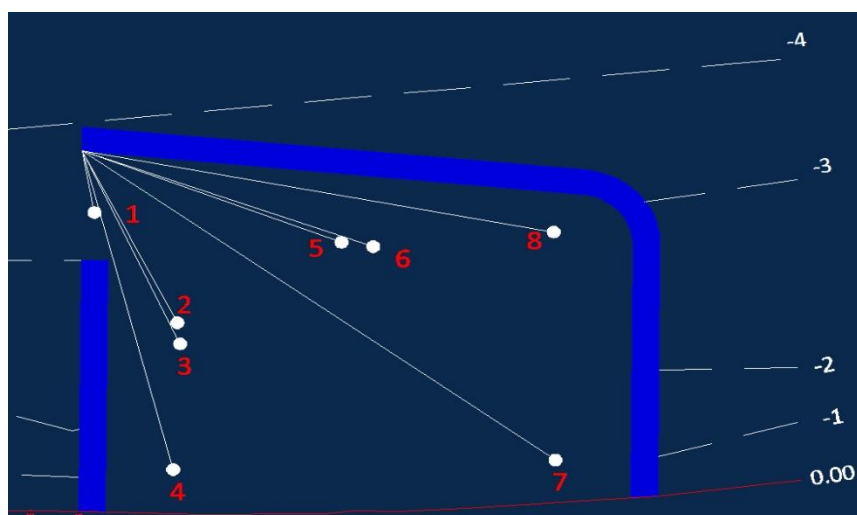
## 5.9 Διαγράμματα Wiegels και υπολογισμός κD για κάθε σημείο μέτρησης

Α) Εύρεση πολικών συντεταγμένων σημείων μελέτης για διατάξεις L.1.1 και L.2.1

Πρώτο στάδιο της θεωρητικής μελέτης του μοντέλου μέσω διαγραμμάτων Wiegel ήταν η εύρεση των πολικών συντεταγμένων των καθορισμένων σημείων μέτρησης εντός της λιμενολεκάνης. Μετρήθηκαν για τις διατάξεις L.1.1 και L.2.1, δηλαδή για το προσομοίωμα πριν και μετά το επιπρόσθετο έργο της προέκτασης προσήνεμου μώλου ίσης με το άνοιγμα εισόδου λιμένα, οι αποστάσεις σημείων μελέτης – εσωτερικής πλευράς ακρομωλίου και η σχηματιζόμενη γωνία μεταξύ αυτών και του προσήνεμου μώλου.

Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Autodesk AutoCAD, όπου υπολογίστηκαν με ακρίβεια τα ζητούμενα μεγέθη πάνω στο λεπτομερές σχέδιο διατάξεων.

i) Διάταξη L.1.1

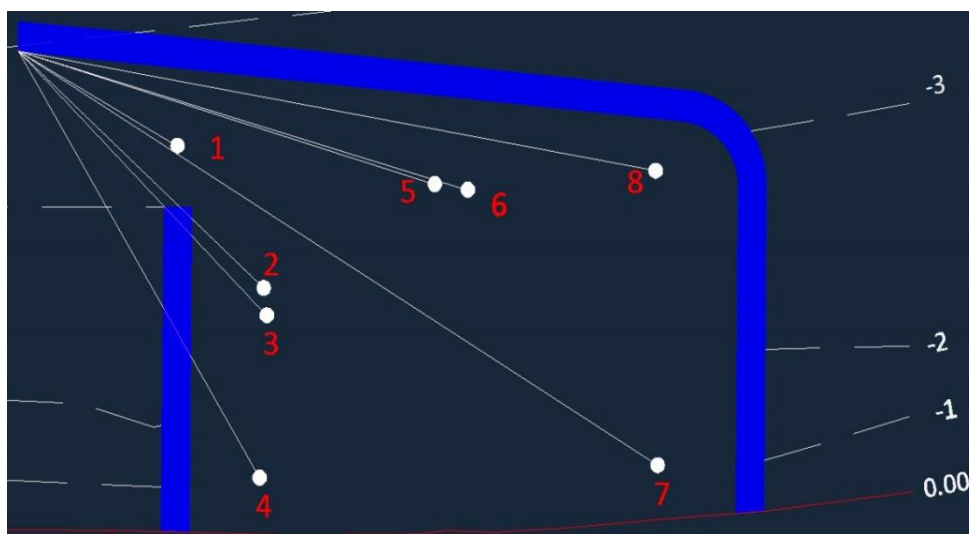


Εικόνα 5.15

ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.1	ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\theta^\circ$	74,38	58,15	60,05	70,17	15,99	14,67	30,61	5,38
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ								
x (m)	0,52	1,6	1,77	2,75	2,09	2,33	4,4	3,6
ΦΥΣΗ								
x (m)	52	160	177	275	209	233	440	360

Πίνακας 5.3

ii) Διάταξη L.2.1



Εικόνα 5.16

ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.1	ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
θ°	22,86	35,55	38,31	52,41	10,62	10,09	24,80	4,16
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ								
x (m)	1,3	2,34	2,48	3,27	3,12	3,36	5,34	4,66
ΦΥΣΗ								
x (m)	130	234	248	327	312	336	534	466

Πίνακας 5.4

Β) Υπολογισμός μήκους κύματος  $L$  για κάθε πειραματική διαδικασία

Δεύτερο μέρος της διαδικασίας ήταν η εύρεση του μήκους κύματος  $L$  εντός έργου για κάθε μελετούμενο κυματισμό δεδομένης περιόδου και ύψους κύματος. Χρησιμοποιώντας τα πειραματικά αποτελέσματα μέσης περιόδου  $T_{m0}$  για κάθε περίπτωση σε σημείο κοντά στην άκρη του θαλάσσιου έργου υπολογίστηκε αρχικά το μήκος κύματος στα βαθιά ύδατα μέσω της σχέσης

$$L_0 = \frac{g T_{m0}^2}{2\pi}$$

όπου  $g=9,81 \text{ m/s}^2$  η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Έπειτα, για δεδομένο βάθος πυθμένα στο σημείο κοντά στο ακρομώλιο  $h=3,5\text{m}$ , το οποίο παραμένει σταθερό εντός της περιοχής μελέτης υπολογίστηκαν οι λόγοι

$\frac{h}{L_0}$  και στη συνέχεια μέσω των πινάκων C-1 του παραρτήματος του SHORE

PROTECTIONMANUALολόγοι  $\frac{h}{L}$  και επομένως τα ζητούμενα μήκη κύματος L.

Γ) Πίνακες βασισμένοι στα διαγράμματα Wiegel και εύρεση  $kD$

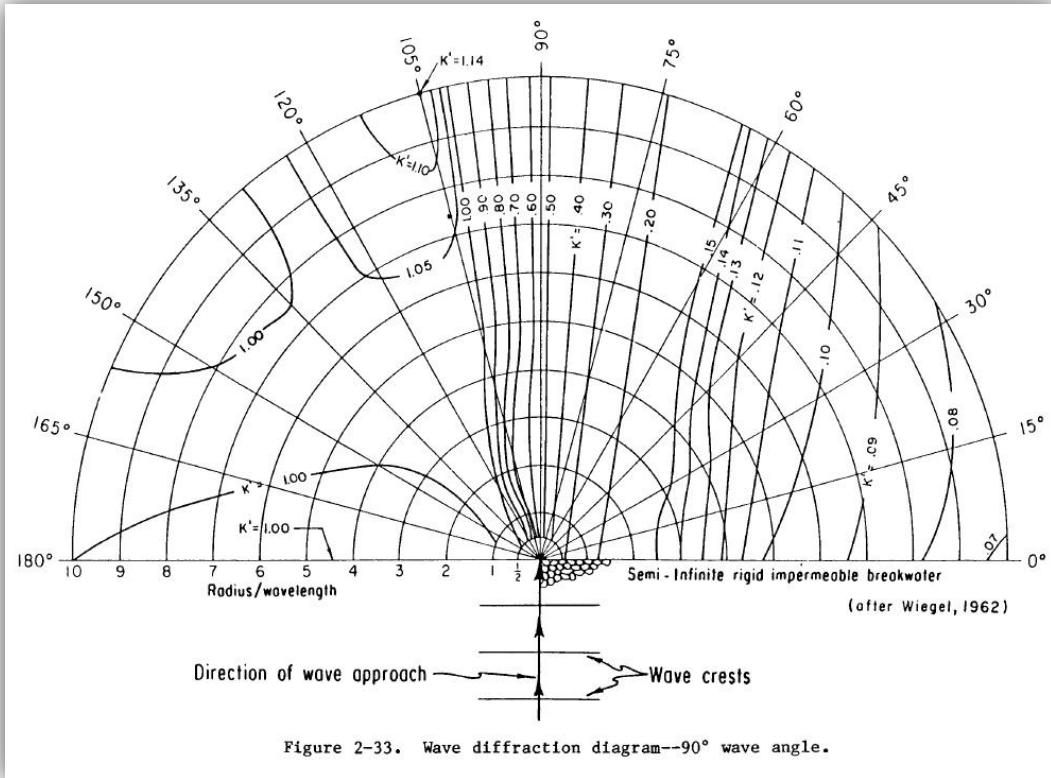
Έχοντας πλέον δεδομένα τα μήκη κύματος  $L$  κάθε μελετουμένης περίπτωσης και τις πολικές συντεταγμένες των σημείων προς μελέτη για κάθε διάταξη το  $kD$  υπολογίστηκε μέσω των πινάκων Wiegel, που αποτελούν μια συγκεντρωτική καταγραφή σημείων των διαγραμμάτων Wiegel για ευκολότερη και ακριβέστερη εύρεση αποτελεσμάτων μέσω γραμμικής παρεμβολής.

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα και οι πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν για τις δεδομένες γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών του πειράματος (Πίνακας 5.5, Εικόνες 5.17 & 5.18) (Πηγή: Oceanographical Engineering By Robert L. Wiegel):

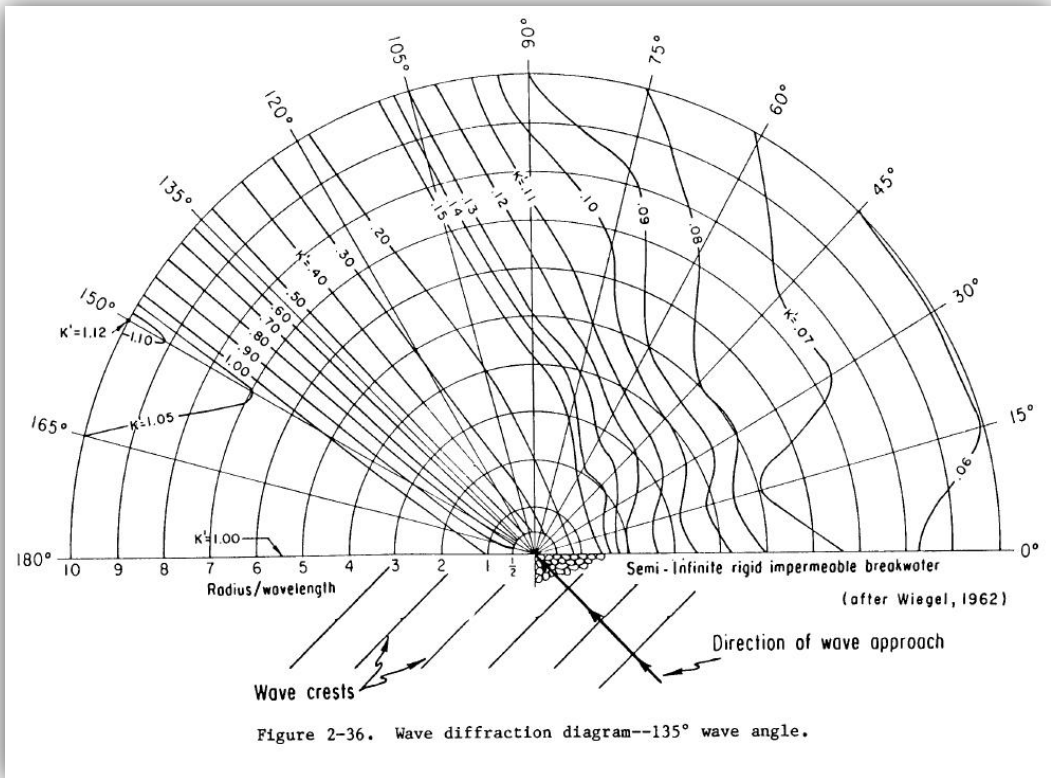
Table 8.1. DIFFRACTION COEFFICIENTS,  $K'$ , AS A FUNCTION OF INCIDENT WAVE ANGLE,  $\theta_0$ , AND POSITION,  $r/L$  AND  $\theta$ , (from Wiegel, 1962)

Value of $r/L$	Value of $\theta$ (degrees)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\theta_0 = 15^\circ$													
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	1.05	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	1.02	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
$\theta_0 = 30^\circ$													
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	0.24	0.54	1.12	1.06	0.97	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
$\theta_0 = 45^\circ$													
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	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00	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
$\theta_0 = 60^\circ$													
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	0.96	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	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	1.00
$\theta_0 = 75^\circ$													
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
$\theta_0 = 90^\circ$													
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
$\theta_0 = 105^\circ$													
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
$\theta_0 = 120^\circ$													
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
$\theta_0 = 135^\circ$													
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	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.21	0.53	1.12	1.05	1.00
$\theta_0 = 150^\circ$													
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

Πίνακας 5.5



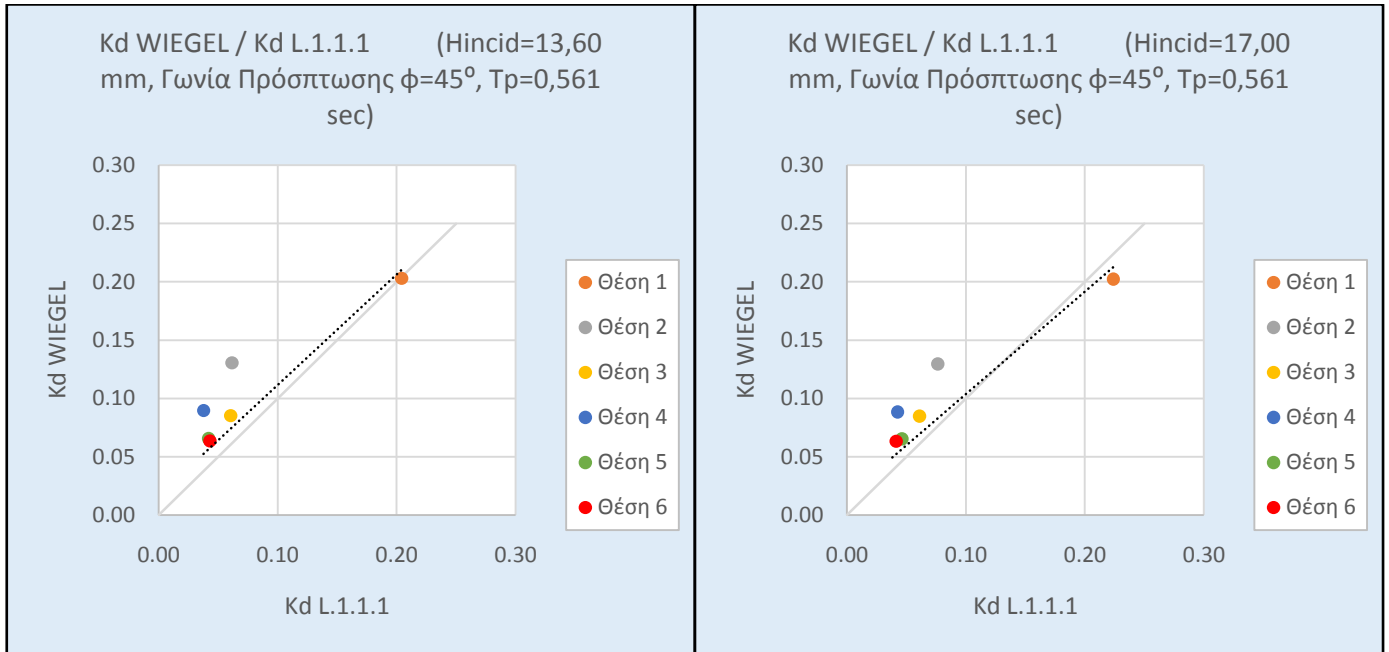
Εικόνα 5.17



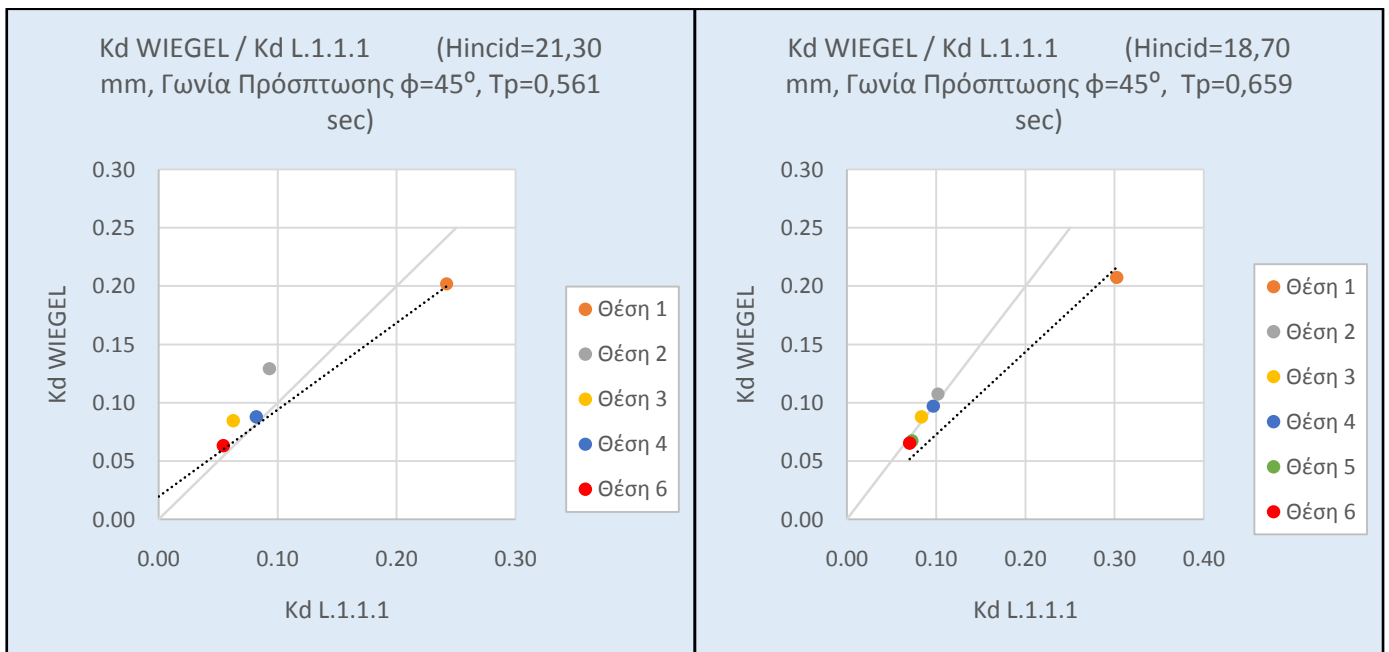
Εικόνα 5.18

## 5.9.1 Σύγκριση συντελεστών κDθεωρητικού υπολογισμού διάταξης κατά Wiegel/κDπειραματικών μετρήσεων

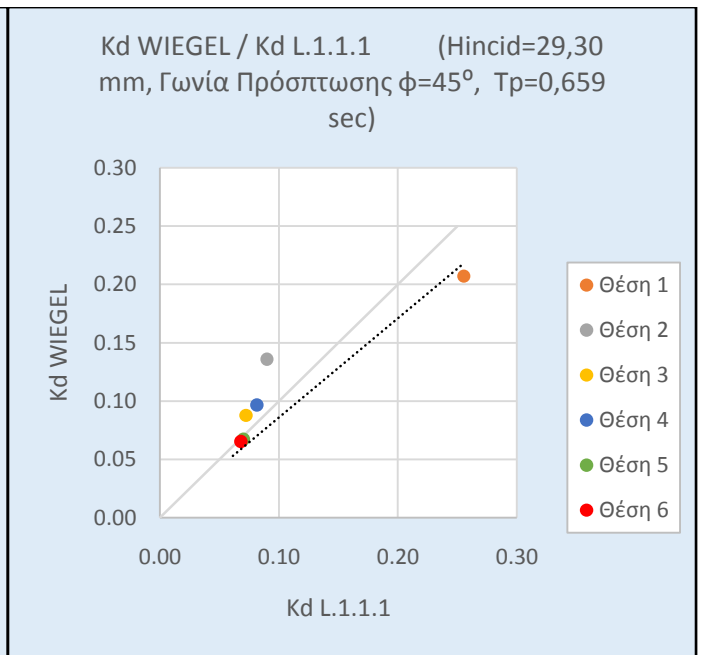
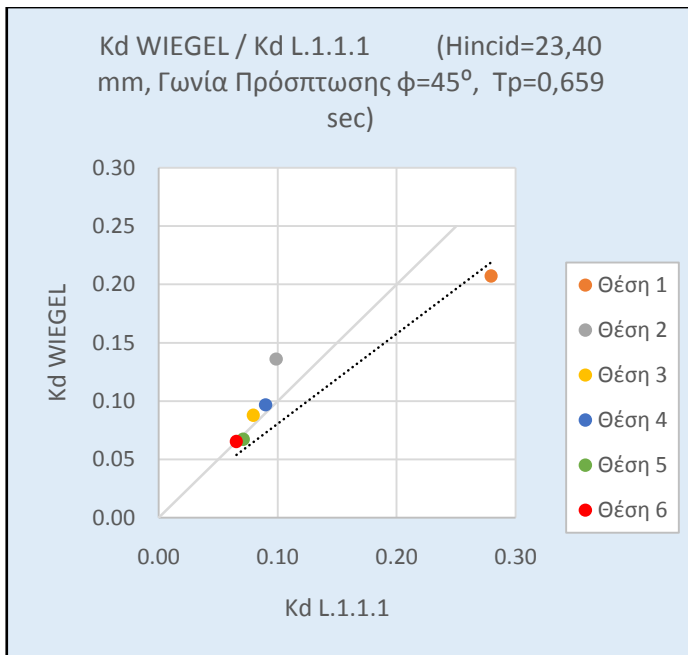
α) Σύγκριση κDWIEGEL / κDL.1.1.1, Γωνία Πρόσπτωσης  $\varphi=45^\circ$



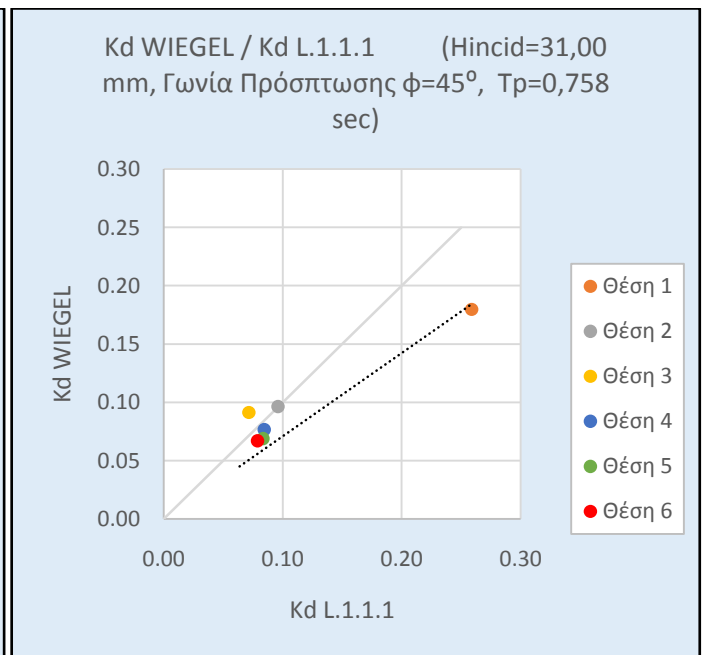
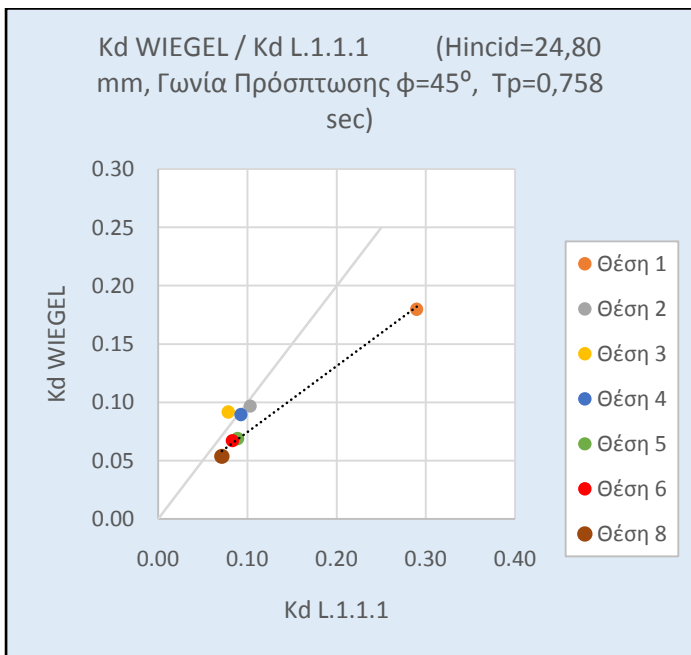
Διαγράμματα 5.133 & 5.134



Διαγράμματα 5.135 & 5.136

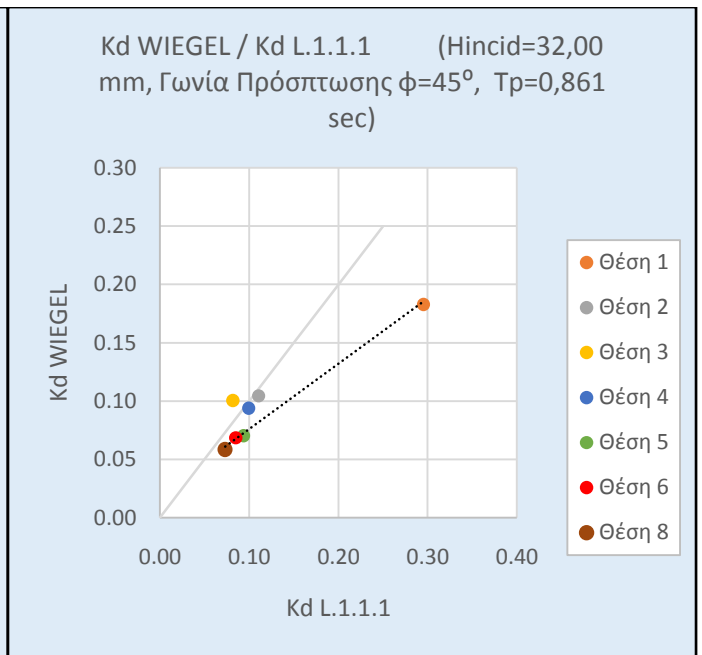
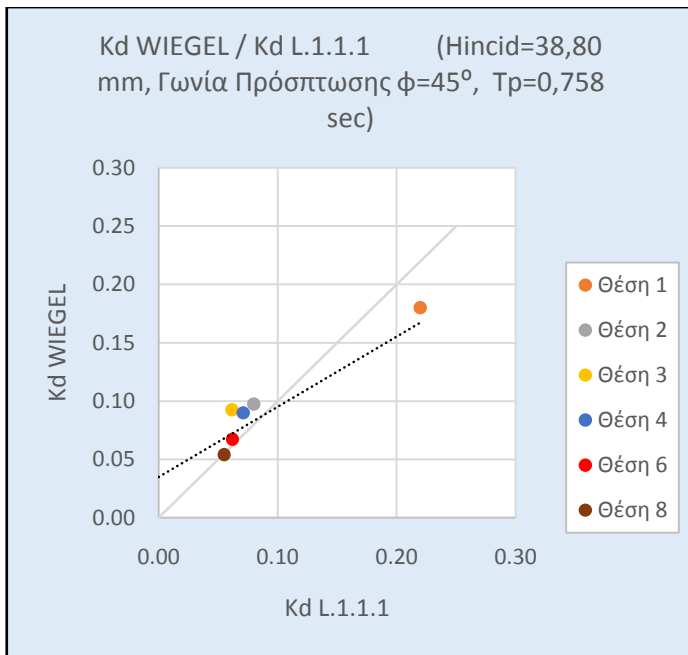


Διαγράμματα 5.137 & 5.138

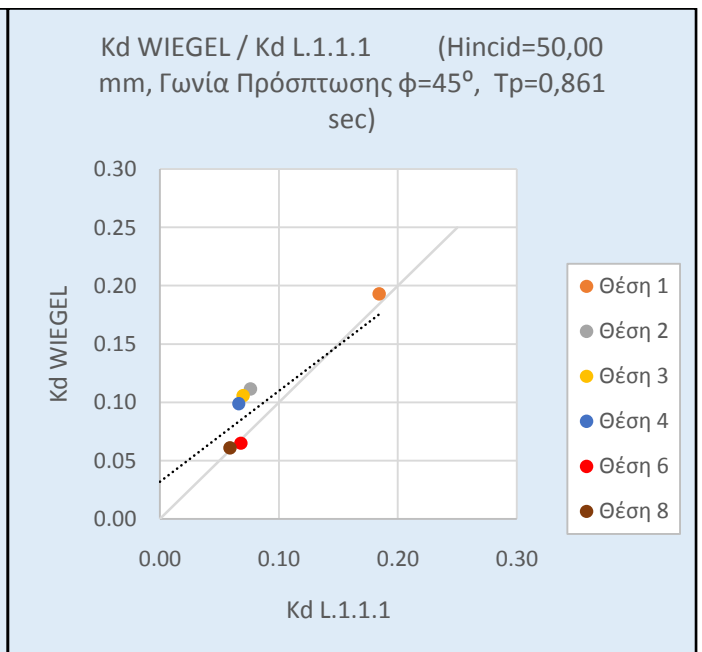
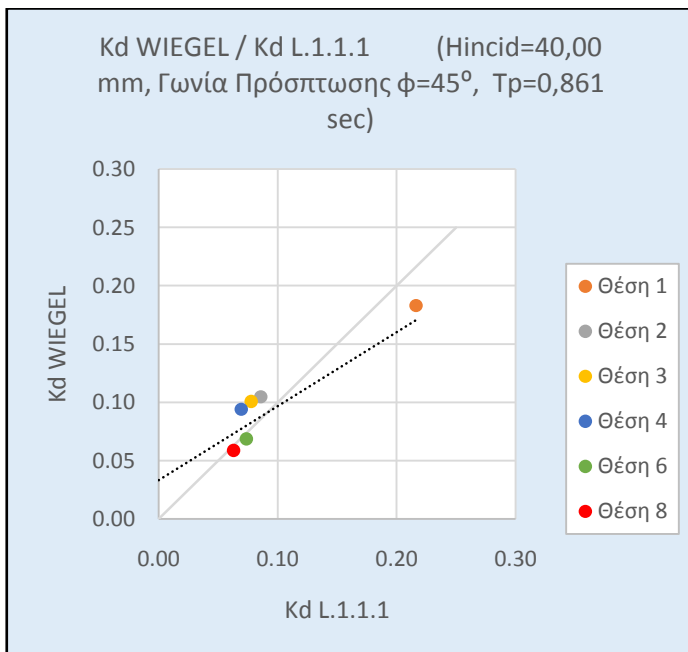


Διαγράμματα 5.139 & 5.140



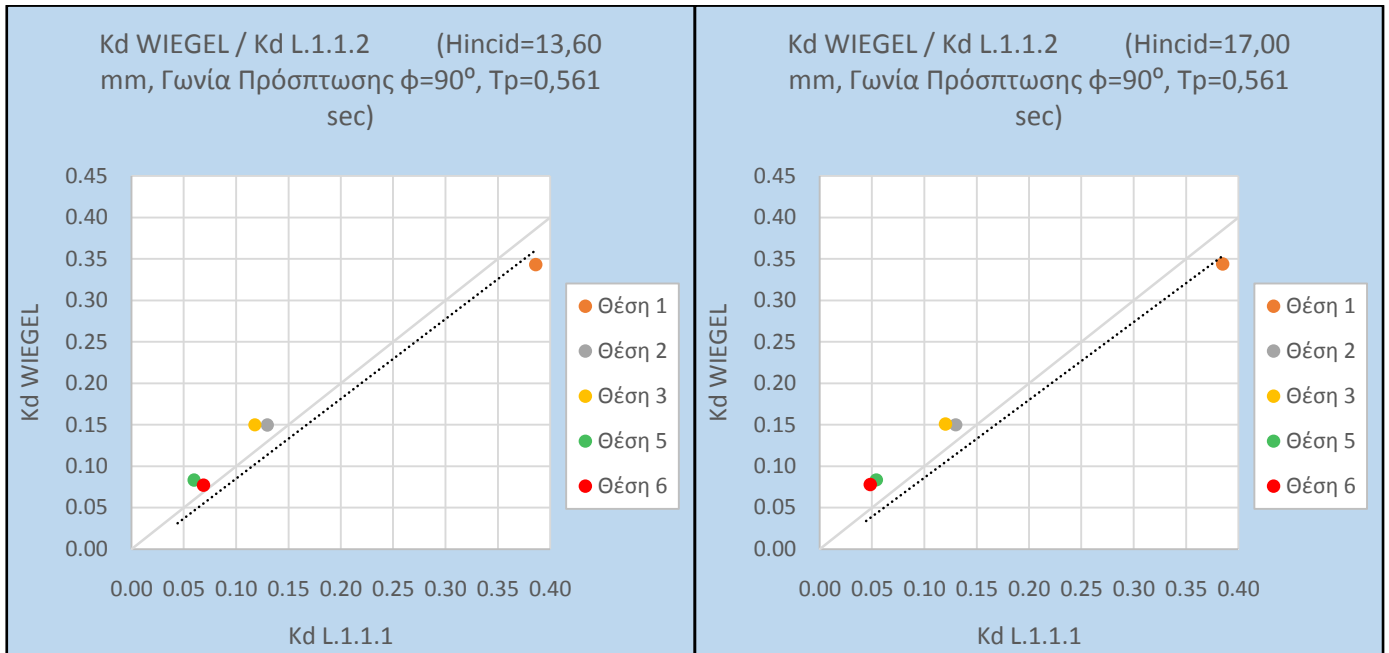


Διαγράμματα 5.141 & 5.142

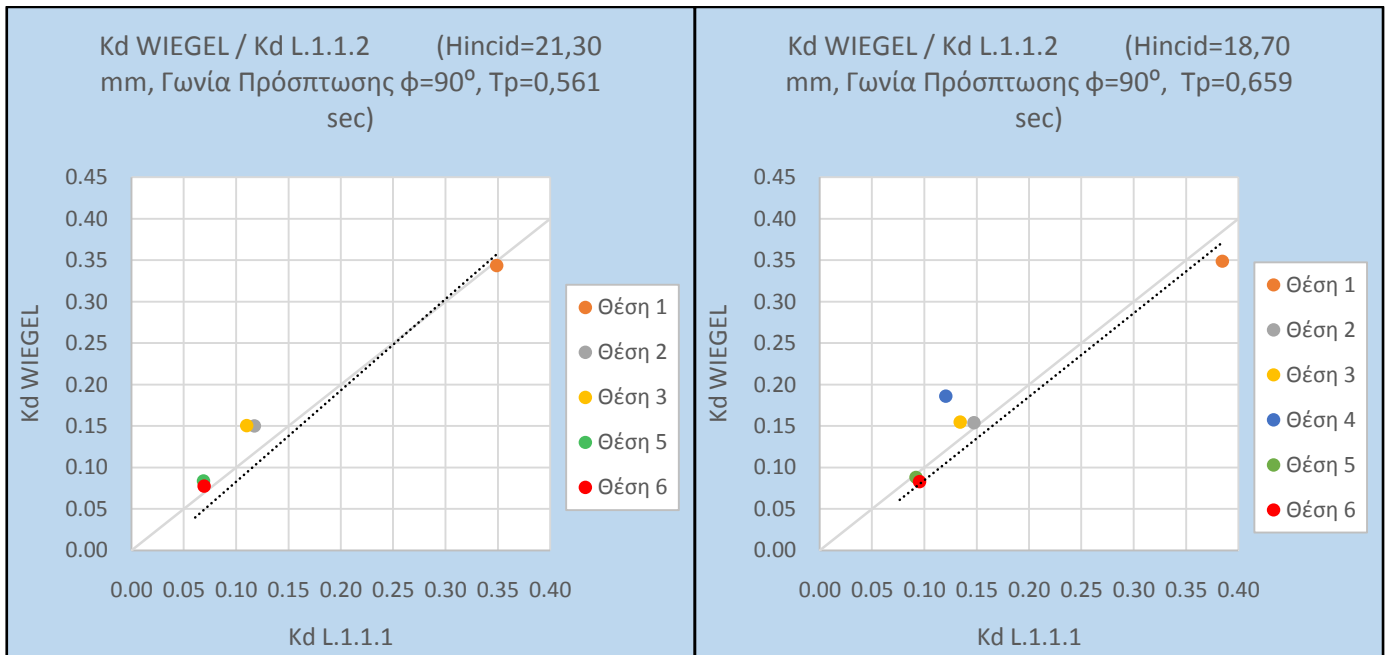


Διαγράμματα 5.143 & 5.144

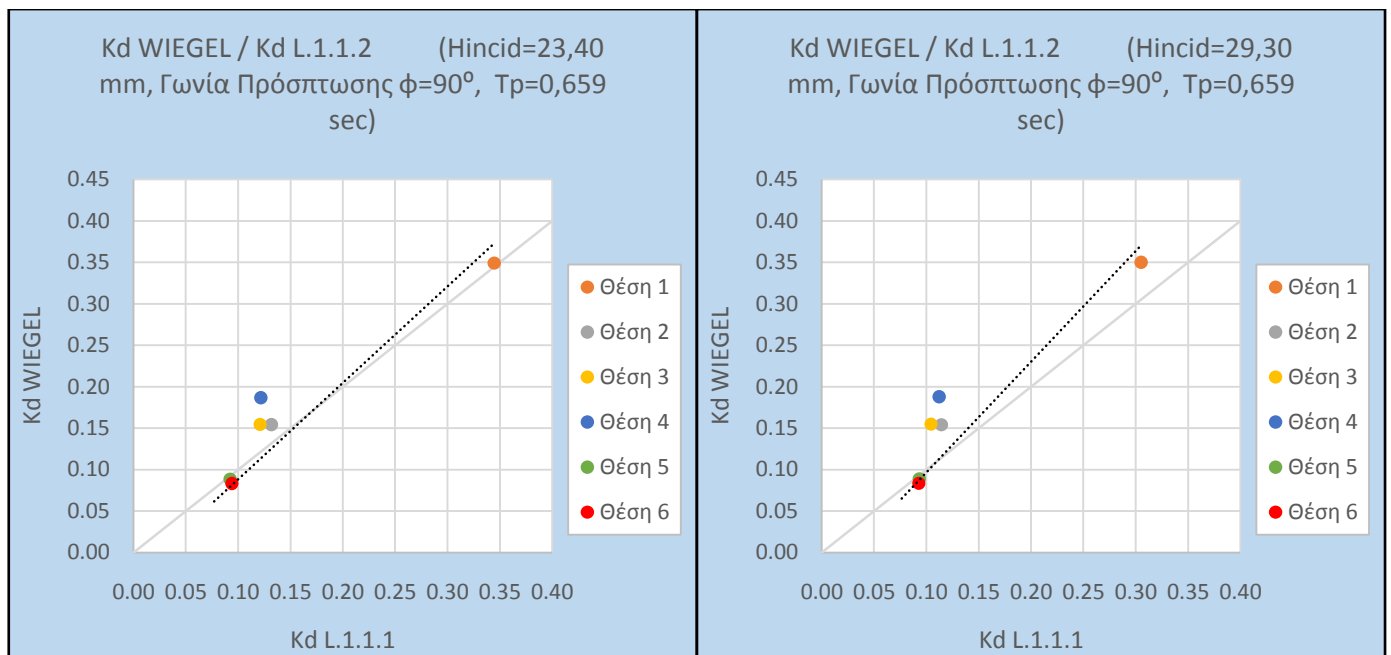
**Β) Σύγκριση  $k_{DWIEGEL} / k_{DL.1.1.2}$ , Γωνία Πρόσπτωσης  $\varphi=90^\circ$**



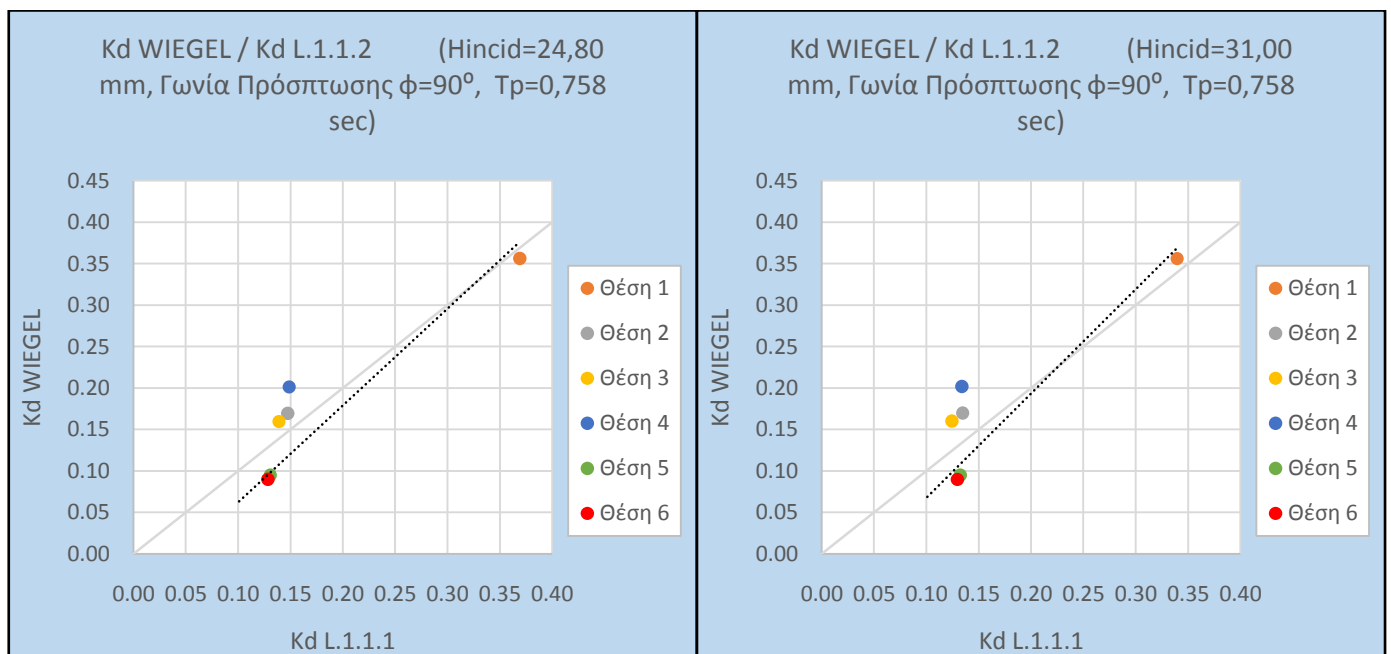
Διαγράμματα 5.145 & 5.146



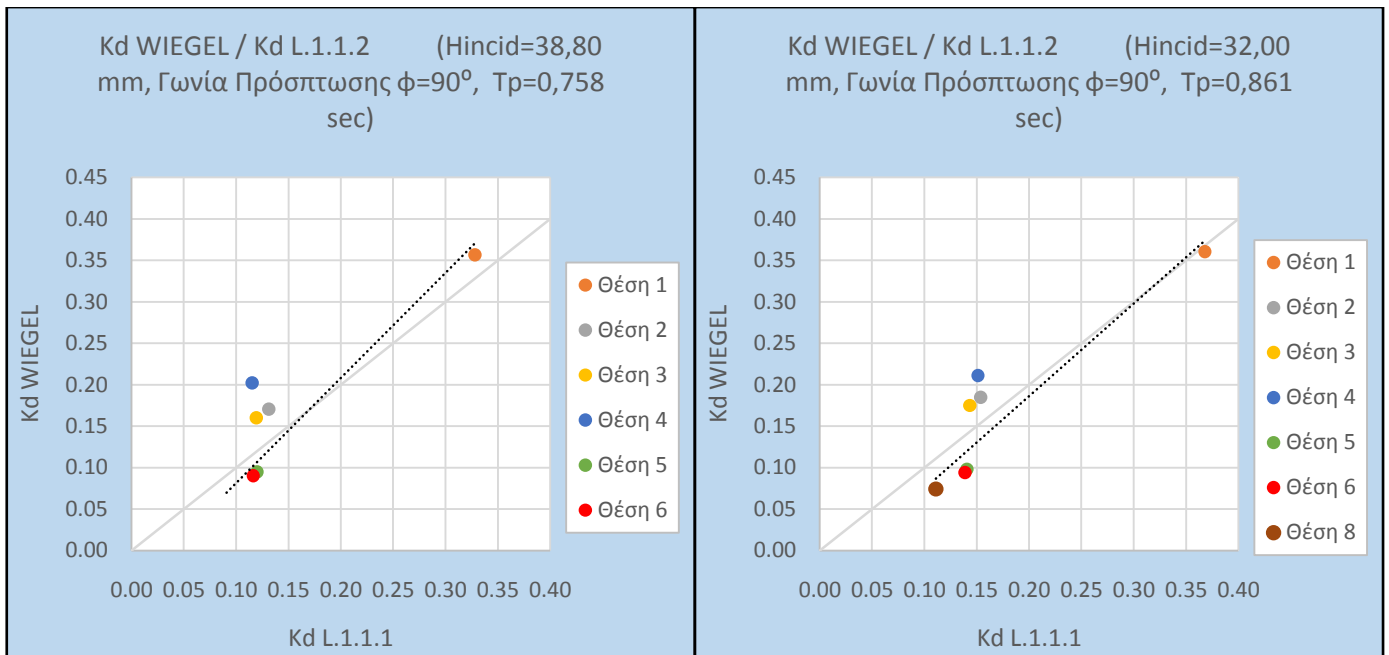
Διαγράμματα 5.147 & 5.148



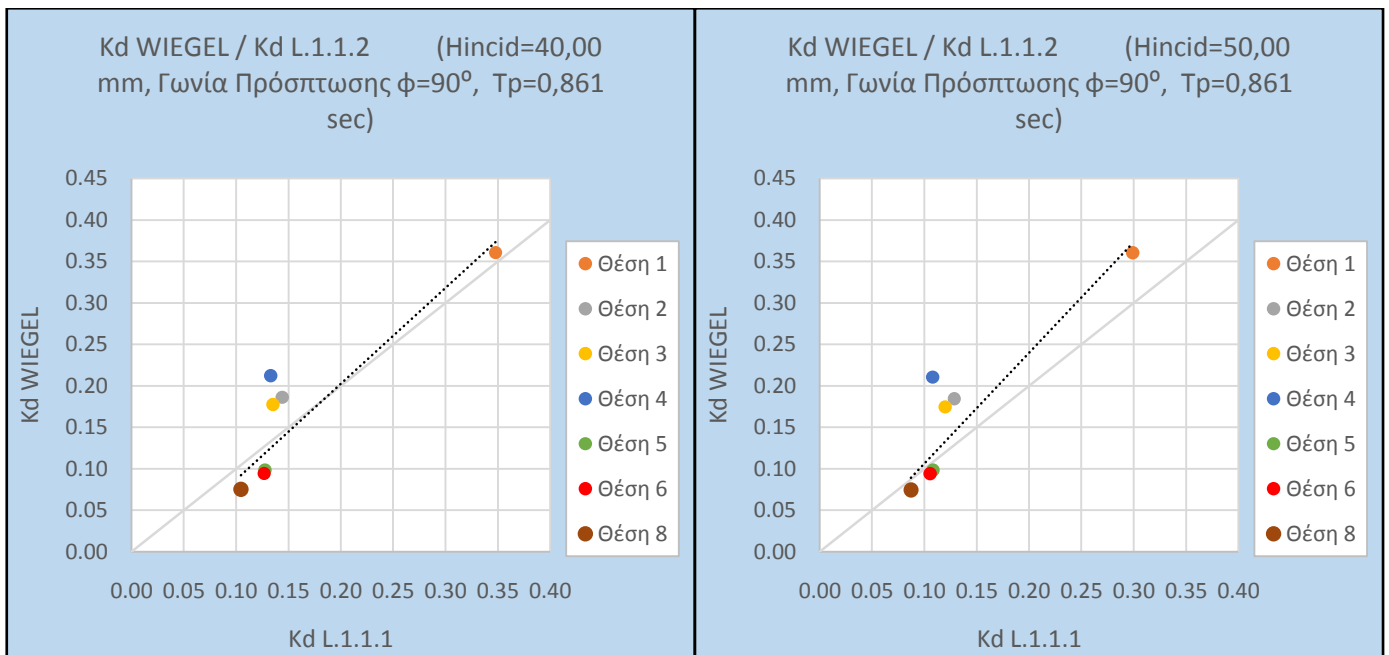
Διαγράμματα 5.149 & 5.150



Διαγράμματα 5.151 & 5.152

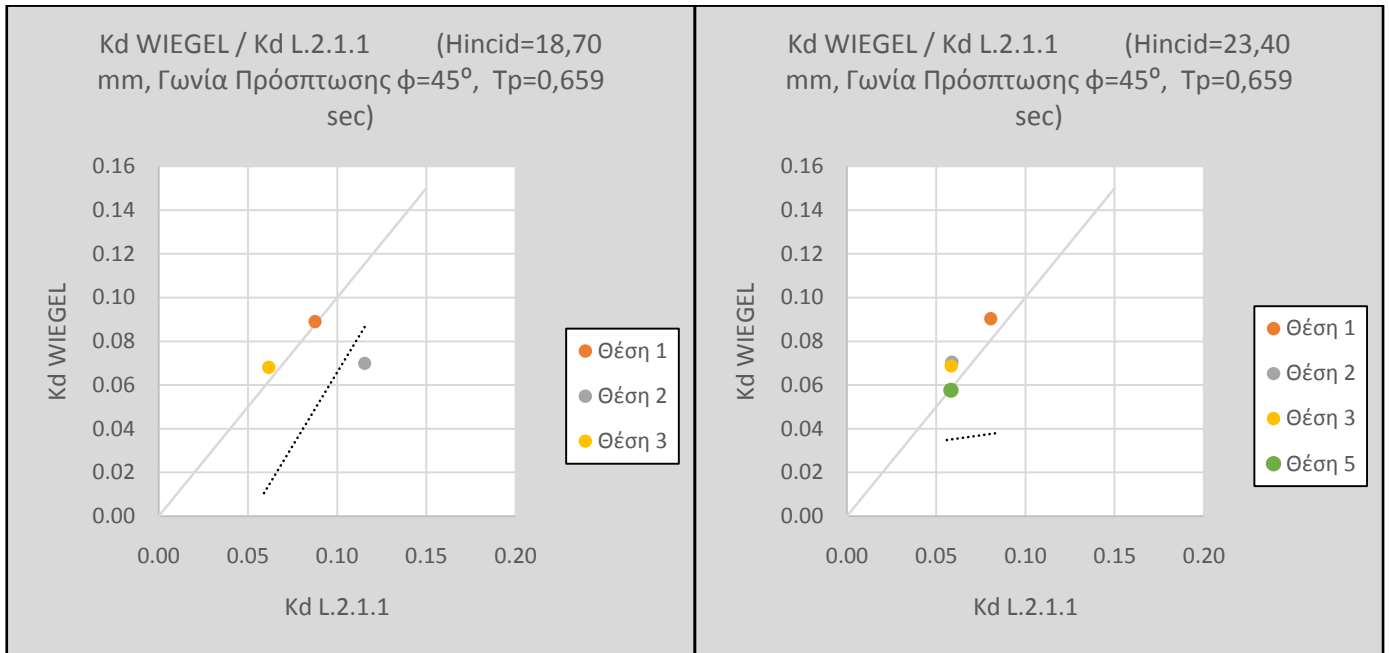


Διαγράμματα 5.153 & 5.154

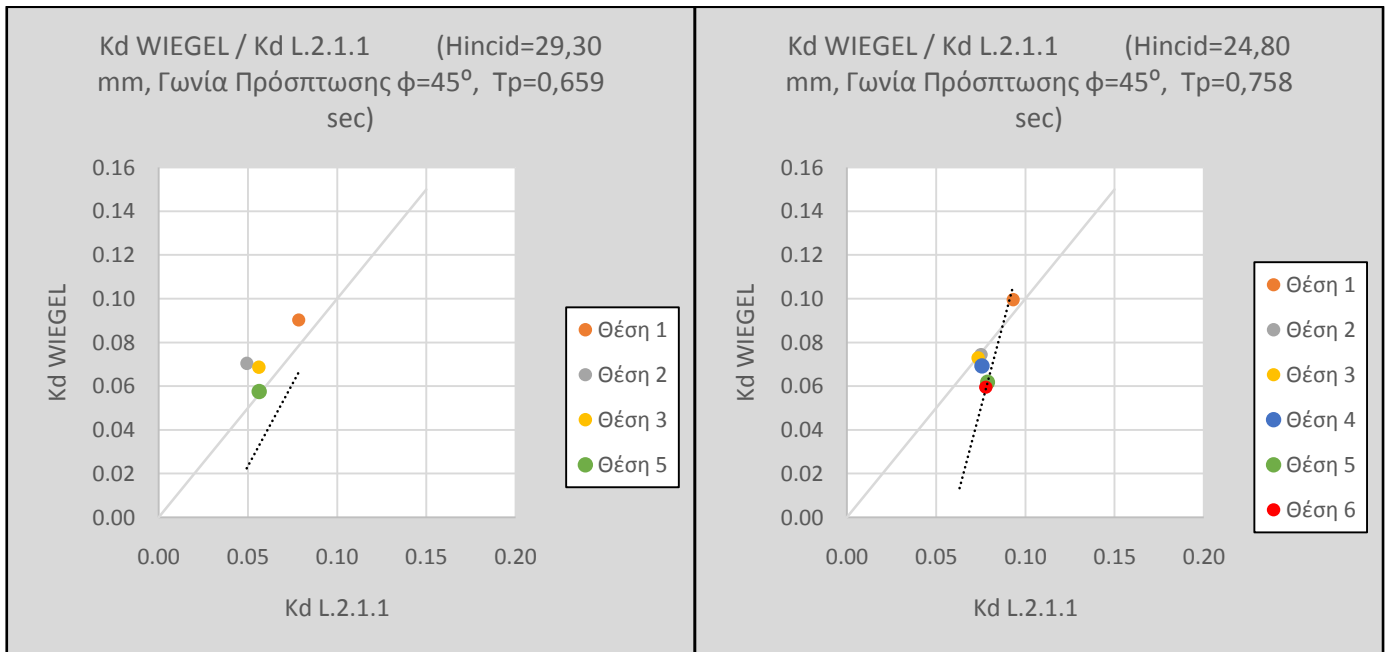


Διαγράμματα 5.155 & 5.156

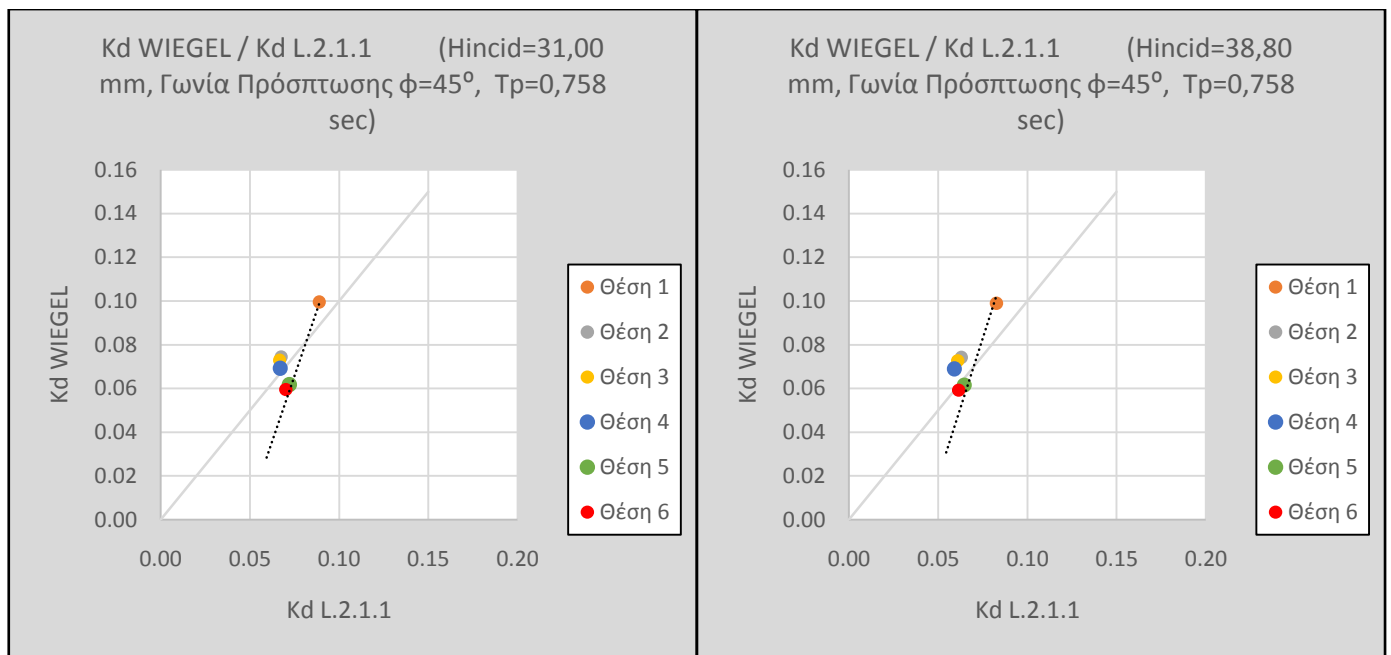
**Γ) Σύγκριση  $k_{DWIEGEL}$  /  $k_{DL.2.1.1}$ , Γωνία Πρόσπτωσης  $\phi=45^\circ$**



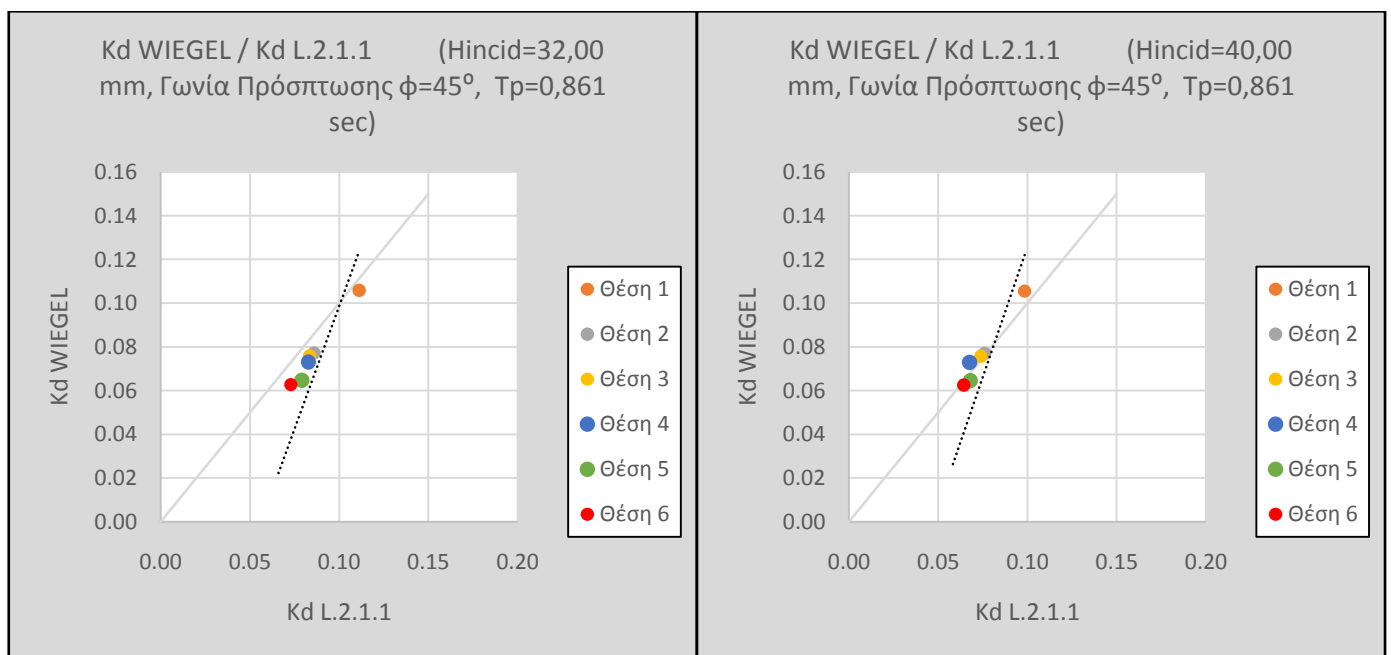
Διαγράμματα 5.157 & 5.158



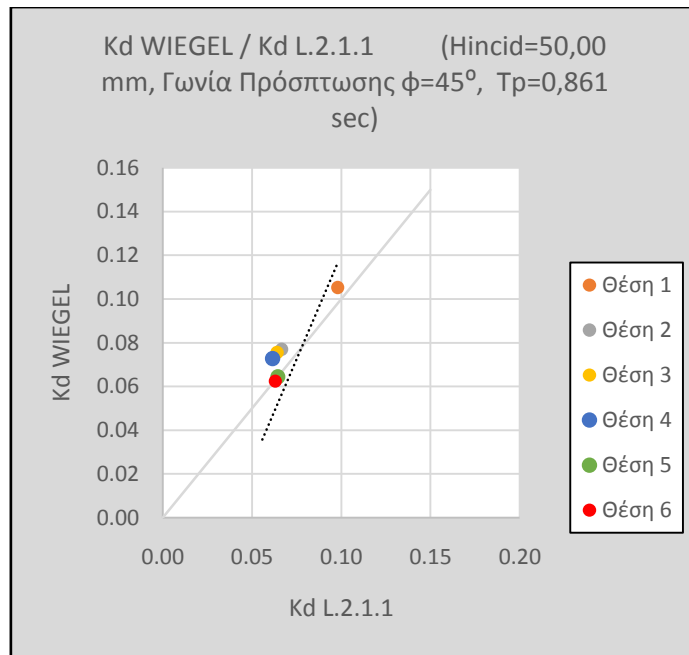
Διαγράμματα 5.159 & 5.160



Διαγράμματα 5.161 & 5.162

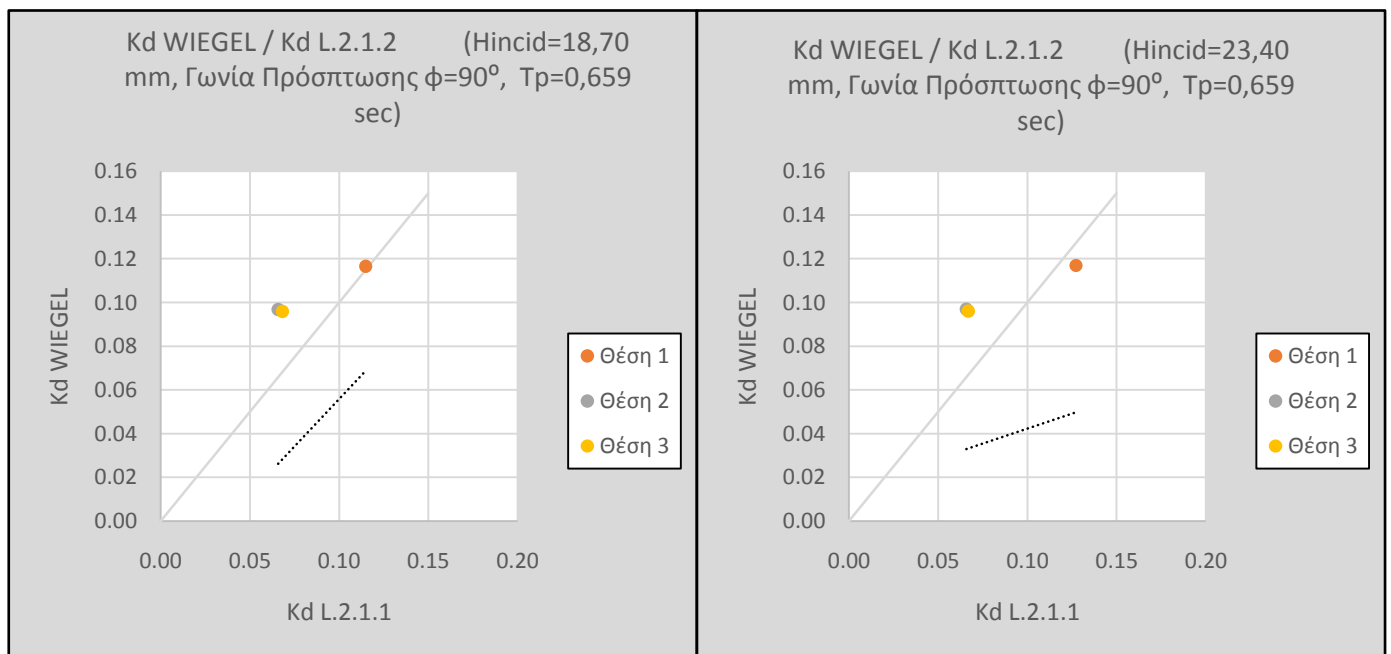


Διαγράμματα 5.163 & 5.164

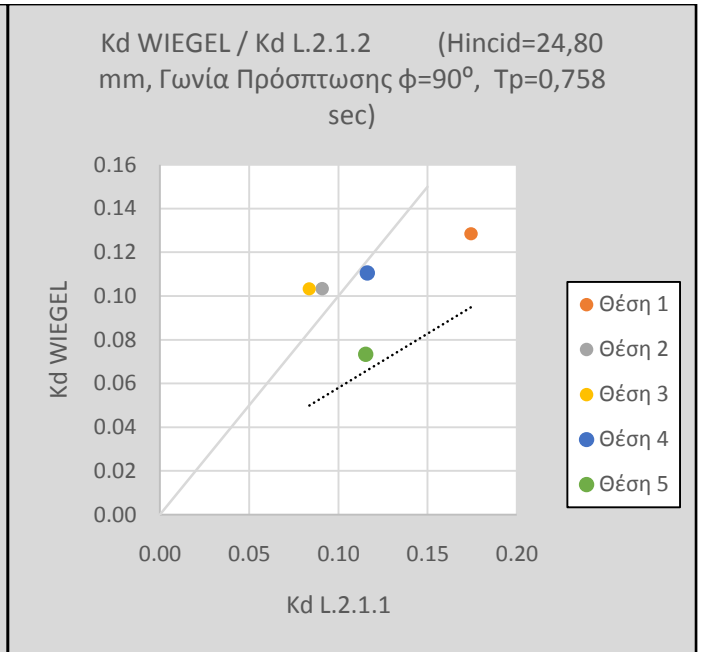
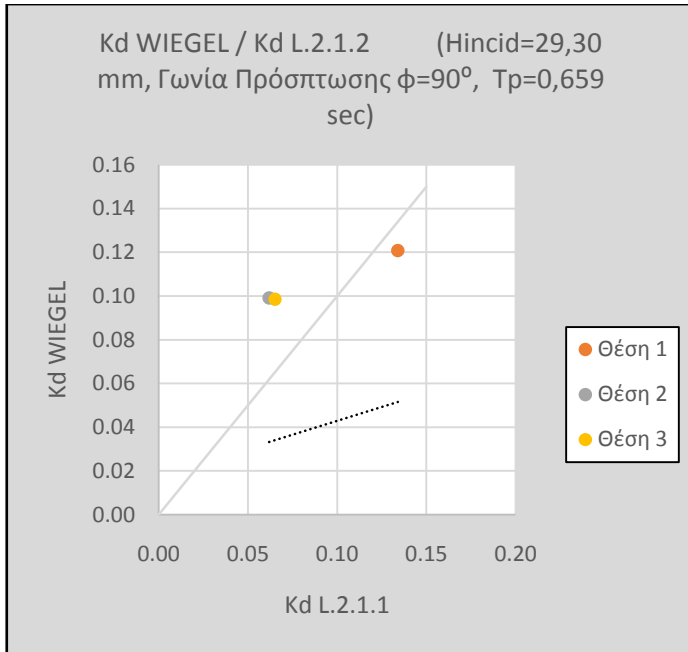


Διάγραμμα 5.165

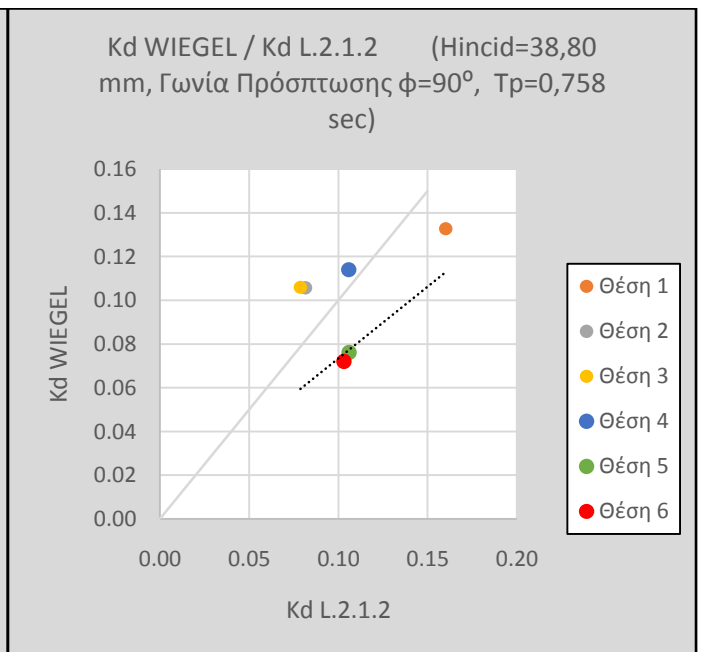
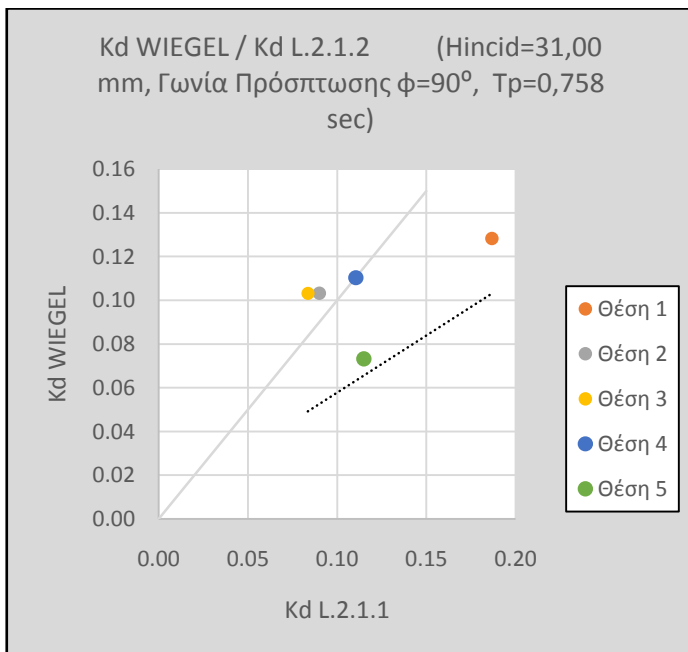
**Δ) Σύγκριση  $k_{DWIEGEL} / k_{DL.2.2.1}$ , Γωνία Πρόσπτωσης  $\phi=90^\circ$**



Διαγράμματα 5.166 & 5.167

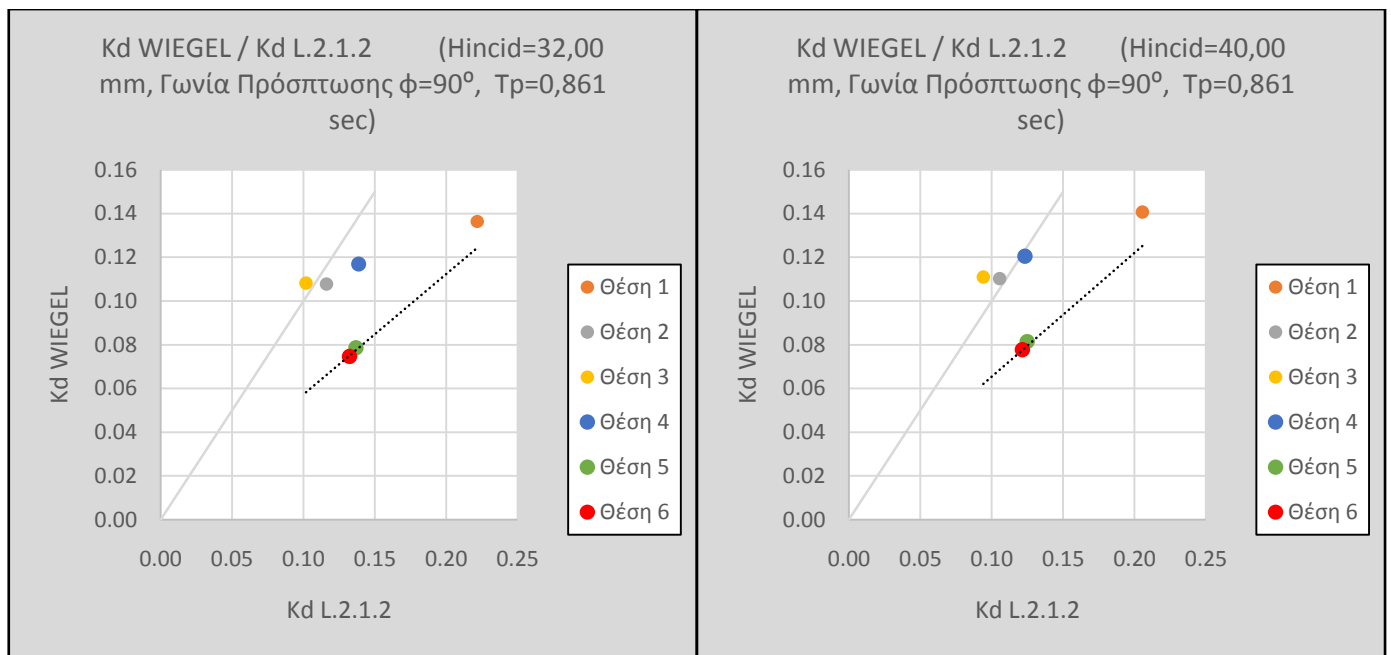


Διαγράμματα 5.168 & 5.169

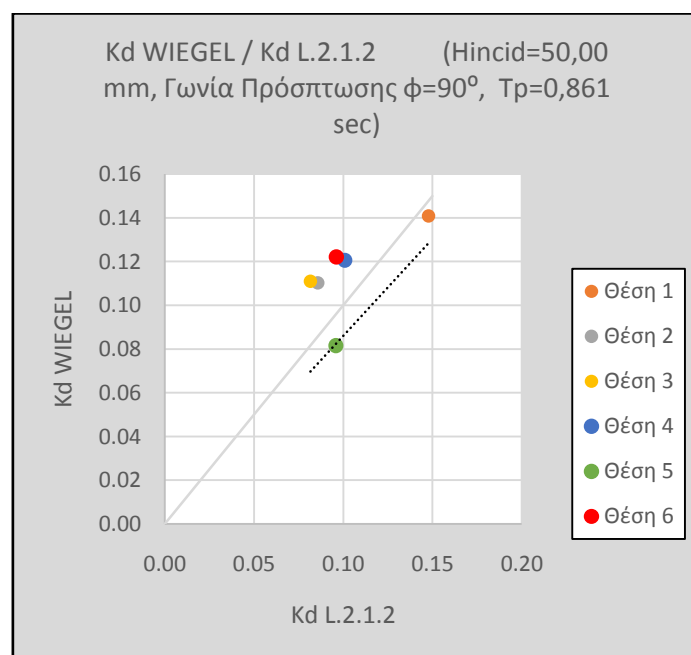


Διαγράμματα 5.170 & 5.171





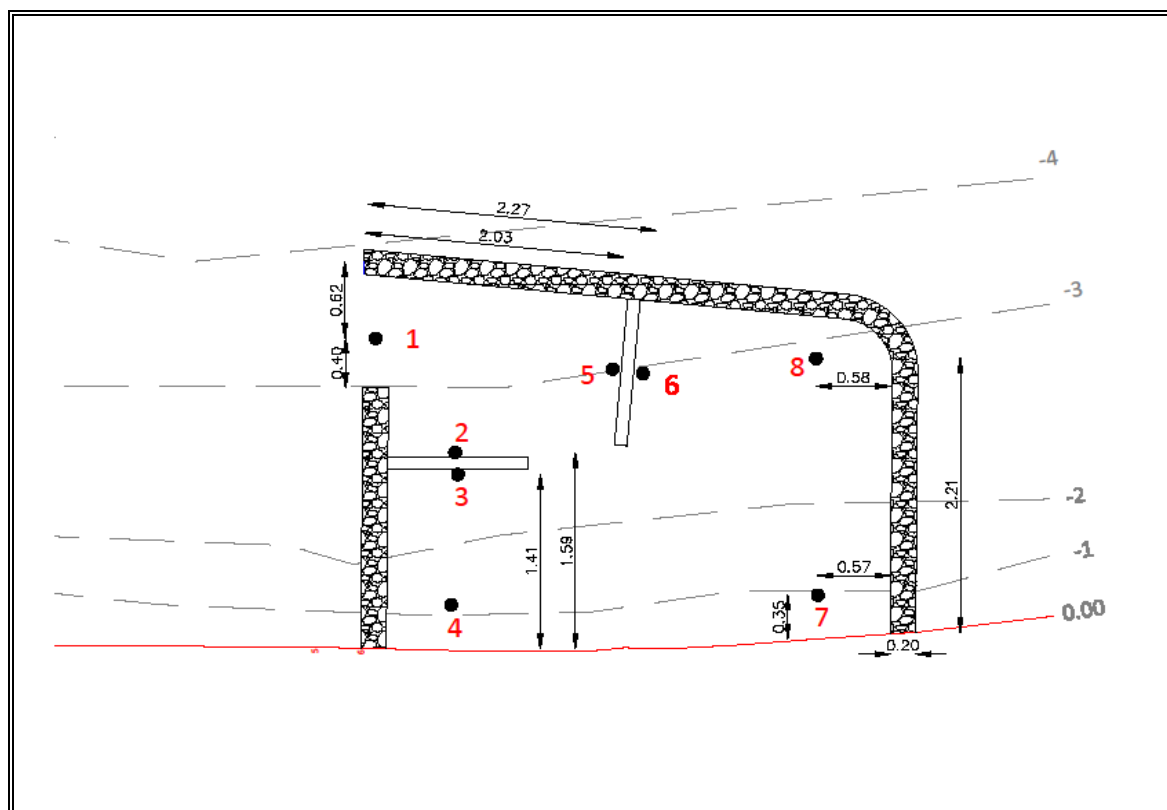
Διαγράμματα 5.172 & 5.173



Διάγραμμα 5.174

## 5.4 Αποτελέσματα

Για την καλύτερη αντίληψη των αποτελεσμάτων παρατίθεται η παρακάτω **Εικόνα 5.19**: Θέσεις ηχοβολιστικών μετρητών εντός λιμενολεκάνης



Εικόνα 5.19: Θέσεις ηχοβολιστικών μετρητών εντός λιμενολεκάνης

Από την μελέτη των διαγραμμάτων από τις παραγράφους 5.8 και 5.9 προκύπτουν τα εξής:

- **Σύγκριση διαγραμμάτων λόγου  $H_i/H_0$  για γωνίες πρόσπτωσης  $\phi=45^\circ$  και  $\phi=90^\circ$ :**
  1. Διάταξη L.1.1: Παρατηρείται στην είσοδο του λιμένα αύξηση ύψους κύματος κατά 6-13%, ενώ εντός λιμενολεκάνης αύξηση 3-6% για γωνία πρόσπτωσης  $\phi=90^\circ$ .
  2. Διάταξη L.1.2: Στην είσοδο του λιμένα η αύξηση ύψους κύματος διακυμαίνεται στο 7-13%, Μπροστά από τους εσωτερικούς προβόλους στο 5-8% και στο υπόλοιπο της λεκάνης στο 3-6% για γωνία πρόσπτωσης  $\phi=90^\circ$ .
  3. Διάταξη L.2.1: Για  $\phi=90^\circ$  το ύψος κύματος αυξάνεται στην είσοδο κατα 8-11%, στις θέσεις 2,3 δίπλα στον υπήνεμο μώλο κατά 1-3% και στις υπόλοιπες θέσεις μετρήσεων κατά 3-6%
  4. Διάταξη L.2.2: Αύξηση ύψους κύματος για  $\phi=90^\circ$  στην είσοδο κατά 7-9%, στη σκία και των δύο προβόλων (θέσεις 3,6)

κατλα 1-2%, στη θέσεις 2,5 μπροστά από τους πρόβλους κατά 3-4% και 4-5% αντίστοιχα και στα άκρα της λεκάνης (θέσεις 4,7,8) κατά 3%.

- **Σύγκριση επιρροής εσωτερικών πρόβλων εντός λιμενολεκάνης:**

A) Συγκρίνοντας τις διατάξεις L.1.1.1 και L.1.2.1 ( $\phi=45^\circ$ ) παρατηρείται μικρή μείωση ύψους κύματος στις περιοχές θέσεων μετρητών 3,4 και 6 που βρίσκονται στη σκιά των εσωτερικών πρόβλων και μικρή αύξηση στη θέση 2 της τάξης του 2,5%, λόγω του φαινομένου της ανάκλασης. Η περιοχή 5 δεν ήταν δυνατό να διερευνηθεί λόγω ελλειπών αποτελεσμάτων στις μετρήσεις.

B) Στην σύγκριση των L.1.1.2 και L.1.2.2 ( $\phi=90^\circ$ ) το ύψος κύματος μειώνεται περισσότερο στην περιοχή 3-4 (κατά 5%) και λιγότερο στην περιοχή 6-7 (κατά 2,5%). Αντίστοιχα η αύξηση ύψους κύματος που προέρχεται από το φαινόμενο της ανάκλασης καταγράφεται στο 5% στη θέση του μετρητή 2 και κατά 2,5% στη θέση του μετρητή 5.

Γ) Για την περίπτωση των διατάξεων L.2.1.1 & L.2.2.1 ( $\phi=45^\circ$ ) η περιοχή 2,3 ο πρόβλος επιφέρει αύξηση και μείωση ύψους κύματος κατά 2% εκατέρωθέν του. Αντίστοιχα ο πρόβλος της περιοχής 5-6 επιφέρει ελάχιστη αύξηση του  $kD$  κατά μόλις 0,5% λόγω του φαινομένου της ανάκλασης (περιοχή 5) και καθόλου μείωση στη σκιά του (περιοχή 6).

Δ) Συγκρίνοντας τις διατάξεις L.2.1.2 και L.2.2.2 η περιοχή 2-3 υφίσταται εκατέρωθεν του προβόλου αύξηση ύψους κύματος κατά 4% λόγω ανάκλασης και αντίστοιχη μείωση κατά 2% στη σκιά αυτού. Στη θέση 5 η αύξηση του ύψους θεωρείται αμελητέα (0,5%) ενώ στον μετρητή 6 καταγράφεται μείωση ύψους κύματος κατά 4-5%

- **Σύγκριση Διατάξεων με ή χωρίς επέκταση προσήνεμου**

A) Για τις διατάξεις L.1.1.1 και L.2.1.1 η μείωση του ύψους κύματος στην θέση εισόδου στο λιμένα (θέση 1) αγγίζει το 15%, αλλά δεν υφίσταται περαιτέρω επίδραση της προέκτασης στο υπόλοιπο μέρος της λεκάνης

B) Στη σύγκριση των διατάξεων L.1.1.2 και L.2.1.2 το  $kD$  μειώνεται κατά 15% στην θέση 1, όπως σημειώθηκε και στην προηγούμενη περίπτωση, αλλά παρατηρείται και μείωση ύψους κύματος κατά 5% σε ολόκληρη την αριστερή πλευρά του λιμένα (περιοχή 2-3-4)

Γ) Για τις διατάξεις με εσωτερικούς προβόλους (L.1.2, L.2.2) και για τις δύο γωνίες πρόσπτωσης το  $kD$  μειώνεται αποκλειστικά στις περιοχές θέσεων 1,2 κατά 15% και 5% αντίστοιχα, ενώ το υπόλοιπο μέρος της λεκάνης πρακτικά δεν επηρεάζεται.

- **Σύγκριση Διατάξεων με και χωρίς πρόσθετα έργα (επέκταση προσήνεμου, πρόβολοι)**

Συγκρίνοντας τέλος τις διατάξεις L.1.1 και L.2.2 διαπιστώνουμε ότι η συνολική μείωση ύψους κύματος που φέρουν τα πρόσθετα έργα, λαμβάνοντας υπόψιν και το φαινόμενο της ανάκλασης έχουν ως εξής:

1. Θέση 1: Μείωση 15%
2. Θέση 2: Μείωση 2-4%
3. Θέση 3: Μείωση 5%
4. Θέση 4: Μείωση 4%
5. Θέση 5: Καμία μεταβολή
6. Θέση 6: Μείωση 1-2%
7. Θέσεις 7,8: Μείωση 0,5-1%

- **Σύγκριση συντελεστών kD θεωρητικού υπολογισμού διάταξης κατά Wiegel/ kD πειραματικών μετρήσεων.**

Στην σύγκριση των μετρημένων πειραματικών αποτελεσμάτων και τη θεωρητική προσέγγιση της συμπεριφοράς του λιμένα μέσω των διαγραμμάτων Wiegel καταγράφονται οι παρακάτω παρατηρήσεις:

**A) Σύγκριση kDWIEGEL / kDL.1.1.1, Γωνία Πρόσπτωσης  $\phi=45^\circ$ :**

Οι μετρήσεις των μετρημένων σημείων εντός λιμενολεκάνης συμμορφώνονται με τα θεωρητικά μεγέθη κατά Wiegel, όντας σε μικρό ποσοστό μειωμένες συγκριτικά με το θεωρητικό μοντέλο, ενώ στην είσοδο του λιμένα παρατηρείται μία μικρή αύξηση.

**B) Σύγκριση kDWIEGEL / kDL.1.1.2, Γωνία Πρόσπτωσης  $\phi=90^\circ$ :**

Η αριστερή πλευρά του λιμένα ως προς την *Εικόνα 5.19* (θέσεις 2-4) πειραματικά δίνει ελάχιστα μικρότερες τιμές από το θεωρητικό μοντέλο, η δεξιά (θέσεις 5-8) δίνει αντίστοιχα ελάχιστα μεγαλύτερες, ενώ η είσοδος στη θέση 1 συμμορφώνεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό των μετρήσεων

**Γ) Σύγκριση kDWIEGEL / kDL.2.1.1, Γωνία Πρόσπτωσης  $\phi=45^\circ$**

Εδώ παρατηρείται σχεδόν πλήρης αντιστοίχιση πειραματικών και θεωρητικά υπολογισμένων μεγεθών

**Δ) Σύγκριση kDWIEGEL / kDL.2.2.1, Γωνία Πρόσπτωσης  $\phi=90^\circ$ :**

Ως προς την *Εικόνα 5.19*: Θέσεις ηχοβολιστικών μετρητών εντός λιμενολεκάνης δεξιά πλευρά του λιμένα (θέσεις 5-8), καθώς και η θέση 1 θεωρούνται ελαφρά υποεκτιμημένες κατά το θεωρητικό υπολογισμό με τα διαγράμματα Wiegel, ενώ οι θέσεις 2-4 προσεγγίζουν περισσότερο το θεωρητικό μοντέλο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τα συμπεράσματα που καταγράφηκαν προέκυψαν από την επεξεργασία πειραματικών μετρήσεων, που έγιναν στα πλαίσια του χρόνου και κόστους που προβλέπονται για την εκπόνηση μίας διπλωματικής εργασίας στη διαδικασία βασικής έρευνας του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων του ΕΜΠ.

Κατά συνέπεια το υπό μελέτη φαινόμενο μπορεί να εξεταστεί αν υπάρξει χρόνος και οικονομικοί πόροι στα πλαίσια ενός προγράμματος, ως προς πλήθος πολλών άλλων παραμέτρων.

Οι μετρήσεις έγιναν εντός της λιμενολεκάνης με ηχοβολιστικούς σένσορες που μετρούν σε πολύ μικρό βάθος νερού.

Επίσης με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε μπορεί να εξεταστεί η πιθανότητα τροποποίησης της πραγματικής διάταξης, ώστε να καταστεί περισσότερο αποτελεσματική.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση από τα πειραματικά δεδομένα που παρουσιάστηκαν προκύπτουν τα εξής:

- Με την επέκταση του προσήνεμου μώλου στην είσοδο της λιμενολεκάνης διαπιστώθηκε σημαντική μείωση τάξης 15% στο ύψος κύματος, που καθιστά ασφαλή την χρήση του λιμένα από τα προς ελλιμενισμό σκάφη.
- Με την επέκταση του προσήνεμου μώλου και την κατασκευή των πρόβολου παρατηρείται στην περιοχή του υπηνεμου μώλου της λιμενολεκάνης επιπρόσθετη μείωση του ύψους κύματος κατά 5%, με το φαινόμενο της ανάκλασης στη θέση μπροστά από τον πρόβολο να μην δρα σε ποσοστό πρακτικά υπολογίσιμο από την επιρροή της επαλληλίας των φαινομένων. Σε αντίθεση, με την δημιουργία του κάθετου ως προς την ακτογραμμή πρόβολου στον προσήνεμο μώλο δεν παρατηρείται επίδραση, καθώς ο χώρος των θέσεων στη σκιά του πρόβολου πρακτικά ούτως ή άλλως ηρεμεί και η θέση μπροστά στον πρόβολο δεν υφίσταται καμία μεταβολή με την ύπαρξη αυτού. Συμπερασματικά λοιπόν δημιουργείται η ανάγκη περαιτέρω έρευνας εάν αξίζει να γίνει η δαπάνη της επιπρόσθετης κατασκευής του πρόβολου προσήνεμου μώλου, κάθετου ως προς την ακτογραμμή. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να αναλυθεί αν η επιπρόσθετη αυτή κατασκευή αξίζει να πραγματοποιηθεί με την προοπτική να παρέχει περισσότερες θέσεις εξυπηρέτησης. Επομένως θα πρέπει να αναλυθεί η ζήτηση του λιμένα, σύμφωνα με την τοποθεσία και την χρήση του.

- Χωρίς την επέκταση του προσήνεμου μώλου και με την κατασκευή και των δύο πρόβολου παρατηρείται αύξηση ύψους κύματος κατά 5% στα δεξιά της εισόδου του λιμένα και μπροστά από τον πρόβολο υπήνεμου μώλου και κατά 2,5% στη θέση εμπρός του πρόβολου προσήνεμου μώλου, ενώ στις περιοχές στην σκιά των πρόβολου παρατηρείται μείωση (2,5-5%). Επομένως πρέπει να εξεταστεί εάν αξίζει η κατασκευή του επιπρόσθετου έργου της επέκτασης του προσήνεμου μώλου, σε σχέση με την επικινδυνότητα στην πλεύση λόγω της αύξησης του ύψους κύματος στην περιοχή εισόδου του λιμένα, εξαιτίας της ανάκλασης. Αυτό έχει σχέση με το μέγεθος και τον τύπο των σκαφών που θα εξυπηρετούνται καθώς και με την κίνηση και τη ζήτηση στον αριθμό θέσεων ελλιμενισμού.
- Η σύγκριση με τα διαγράμματα του Wiegeler έδειξε ότι τα πειραματικά αποτελέσματα συμπίπτουν με τα υπολογισθέντα στην περίπτωση που δεν υπάρχουν πρόβουλοι.
- Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων λόγου  $H_i/H_0$  για γωνίες πρόσπτωσης  $\phi=45^\circ$  και  $\phi=90^\circ$  παρατηρείται ότι στην είσοδο του λιμένα υπάρχει αύξηση ύψους κύματος κατά 6-13% για γωνία πρόσπτωσης από  $45^\circ$  σε  $90^\circ$ . Ειδικότερα η αύξηση αυτή περιορίζεται σε απόκλιση 7-11% στην περίπτωση που έχουμε επέκταση προσήνεμου μώλου. Όταν η κυματική ροή δεν περιορίζεται από πρόβουλους εντός λεκάνης η αύξηση του ύψους κύματος καταγράφεται στο +3-6%, για γωνία πρόσπτωσης  $\phi=90^\circ$ , εκτός από την διάταξη L.2.1 στην περιοχή δίπλα στον υπήνεμο μώλο, όπου αγγίζει μόλις το +1-3%. Στις περιοχές των προβόλων παρατηρείται μία αύξηση ύψους κύματος της τάξης του 4-6% εκατέρωθεν αυτών για τη διάταξη L.1.2, ενώ στη διάταξη L.2.2 στις περιοχές μπροστά από αυτούς αυξάνεται λόγω ανάκλασης το ύψος κύματος σε 3-4%, σε αντίθεση με στις προστατευόμενες από πρόβουλους περιοχές, όπου η αύξηση περιορίζεται στο 1-3%.

Συμπερασματικά καταλήγουμε ότι:

- οι διατάξεις L.1.1 και L.1.2, χωρίς επέκταση προσήνεμου μώλου συμπεριφέρονται σχεδόν το ίδιο από τη μεταβολή της γωνίας από  $45^\circ$  σε  $90^\circ$  και μάλιστα μπροστά από του πρόβουλους λόγω ανάκλασης η κυματική δράση εντατικοποιείται.
- η διάταξη L.2.2 με την επέκταση προσήνεμου και την τοποθέτηση πρόβολου είναι η καλύτερα προστατευόμενη περίπτωση για εναλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης του κυματισμού από  $45^\circ$  σε  $90^\circ$ , και ιδιαίτερα στην πλευρά του υπήνεμου μώλου.
- Η επέκταση του προσήνεμου στη διάταξη L.2.1, χωρίς πρόβουλους συμβάλλει στην καλύτερη των συνθηκών του λιμένα μόνο στην είσοδο και την αριστερή πλευρά του λιμένα, στην περιοχή του υπήνεμου μώλου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1  
Λογισμικό  
HF108TOWD και  
ενισχυτής  
ULTRALAB\_ULS

Στο παράρτημα αυτό περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος HF108toWVD κατά την επεξεργασία των μετρήσεων. Το πρόγραμμα αυτό είναι αναγκαίο για τη μετατροπή των δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες σε επεξεργάσιμη μορφή.

### **Επεξεργασία δεδομένων στον ενισχυτή UltralabULS**

Με βοήθεια ενός μετατροπέα 232/ethernetRS ι ενισχυτής Ultralab ULS μεταδίδει τηλεγραφήματα ASCII σε έναν απομακρυσμένο υπολογιστή μέσω τοπικού δικτύου (LAN). Ένα πρόγραμμα τερματικού όπως το HyperTerminal ή το CommTerminal μετά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καταγραφούν τα ληφθέντα δεδομένα.

### **Δεδομένα**

Τα δεδομένα του Ultralab ULS περιέχουν 10 αριθμούς που χωρίζονται από (tab) μεταξύ της στήλης 1 και 2 και ένα κενό διάστημα μεταξύ κάθε μίας από τις άλλες στήλες. Κάθε γραμμή τελειώνει με μια <CR><LF> ακολουθία.

Η θύρα τύπου I/O ενεργοποιεί τη σφραγίδα του χρόνου για να ξεκινήσει να μετράει τα τηλεγραφήματα και αρχίζει από 0000000, 0000001... μέχρι το 9999999. Πριν ενεργοποιηθεί η σφραγίδα χρόνου ή αφού τελειώσει η μέτρηση, η τιμή της σφραγίδας χρόνου είναι -1.

Εκείνη τη στιγμή, το λογισμικό πρόγραμμα μέτρησης ξεκινά να μετράει και η σφραγίδα χρόνου της θύρας εισόδου-εξόδου ξεκινάει ταυτόχρονα τη μέτρηση. Αυτή η κατάσταση συνεχίζεται μέχρι να τελειώσει η μέτρηση.

Στη συνέχεια, μόλις τελειώσει η μέτρηση, η σφραγίδα χρόνου λαμβάνει τη τιμή -1. Ένα βήμα μετρητή αντιπροσωπεύει ένα χρονικό διάστημα 10ms. Αυτό σημαίνει ότι σε 50Hz συχνότητα δειγματοληψίας παρατηρείται μια μείωση των τιμών του μετρητή στα μισά. Ανεξαρτήτως της τιμής της σφραγίδας χρόνου, οι ενσωματωμένοι αισθητήρες στέλνουν συνεχώς δεδομένα στον συνδεδεμένο υπολογιστή. Το καλώδιο του triggerTTL συνδέεται σε ένα BNC δίκτυο στον πίνακα ελέγχου.



```

// ULTRALAB ULS HF108
// Ver. 2.33
// GENERAL ACOUSTICS 2009
//
//Count   CH1    CH2    CH3    CH4    CH5    CH6    CH7    CH8    C-REF
-1  077.15 068.61 080.48 046.90 077.58 090.31 056.73 073.90 341.78
-1  077.15 068.61 080.48 046.90 077.58 090.31 056.73 073.90 341.78
-1  077.15 068.61 080.48 046.90 077.58 090.31 056.73 073.90 341.78
-1  077.15 068.61 080.48 046.90 077.58 090.31 056.73 073.90 341.78
-1  077.15 068.61 080.48 046.90 077.58 090.31 056.73 073.90 341.78
-1  077.15 068.61 080.48 046.90 077.58 090.31 056.73 073.90 341.78
0000000  077.15 068.61 080.48 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000001  077.24 068.61 080.48 046.90 077.92 090.31 056.73 073.90 341.78
0000002  077.24 068.61 080.48 046.90 078.01 090.31 056.73 073.90 341.78
0000003  077.24 068.61 080.48 046.90 077.92 090.31 056.73 073.90 341.78
0000004  077.24 068.61 080.48 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000005  077.24 068.61 080.74 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000006  077.24 068.61 080.91 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000007  077.24 068.61 080.57 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000008  077.24 068.61 080.48 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000009  077.24 068.61 080.48 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000010  077.24 068.61 080.48 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000011  077.24 068.61 080.48 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000012  077.24 068.61 080.48 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000013  077.24 068.61 080.48 046.90 077.66 090.31 056.73 073.90 341.78
0000014  077.24 068.61 080.48 046.90 077.75 090.31 056.73 073.90 341.78
0000015  077.15 068.61 080.48 046.90 077.92 090.31 056.73 073.90 341.78
0000016  077.15 068.61 080.48 046.90 077.92 090.31 056.73 073.90 341.78

```

Εικόνα Α1: Παράδειγμα αρχείου δεδομένων

### Σειριακή μετάδοση δεδομένων

Για να επιτευχθεί τοπική μετάδοση δεδομένων χρειάζεται να συνδεθεί στον ενισχυτή μια σειριακή θύρα. Για να διατηρηθεί η μέγιστη ροή δεδομένων σε συχνότητα 100Hz χρησιμοποιείται ένας σταθερός ρυθμός 230.400 Baud.

### Αρχείο εισόδου και κατάλογος εξόδου

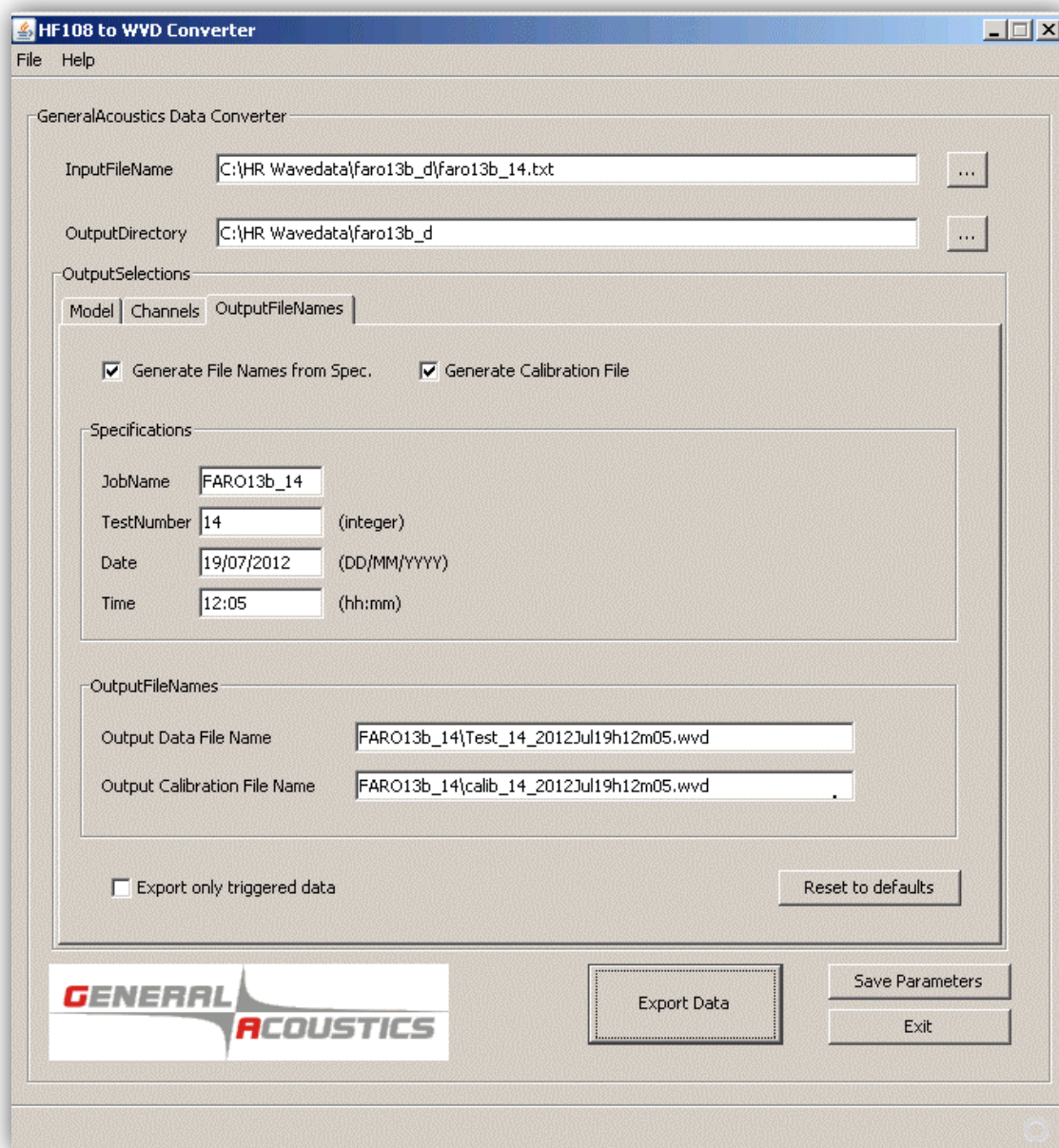
Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα να καθοριστεί το όνομα του αρχείου εισόδου καθώς και ο φάκελος που θα αποθηκευτεί το αρχείο εξόδου.

Το αρχείο εισόδου πρέπει να είναι ένα έγκυρο αρχείο δεδομένων καταγεγραμμένο από τον ενισχυτή Ultralab ULS όπου κάθε γραμμή δεδομένων αποτελείται από έναν μετρητή ενεργοποίησης που ακολουθείται από έναν χαρακτήρα Tab. Αυτός ο χαρακτήρας ακολουθείται από μια μετρημένη τιμή από το πρώτο κανάλι, και αυτή ακολουθείται από έναν χαρακτήρα κενού και μια μετρημένη τιμή από το δεύτερο κανάλι. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι και την τιμή μέτρησης από το 8<sup>ο</sup> κανάλι, η οποία ακολουθείται από έναν χαρακτήρα κενού και μια τιμή της ταχύτητας του ήχου.

Ο φάκελος εξόδου καθορίζει το μονοπάτι μέσα στο σύστημα αρχείων, όπου θα πρέπει να αποθηκευτεί το καινούργιο αρχείο HRWaveData.

## Διαδικασία διεξαγωγής των αποτελεσμάτων

Τα ονόματα των αρχείων εξόδου θα καθοριστούν στο παράθυρο των ονομάτων εξόδου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα Α.2:Καρτέλα εξαγομένων αρχείων

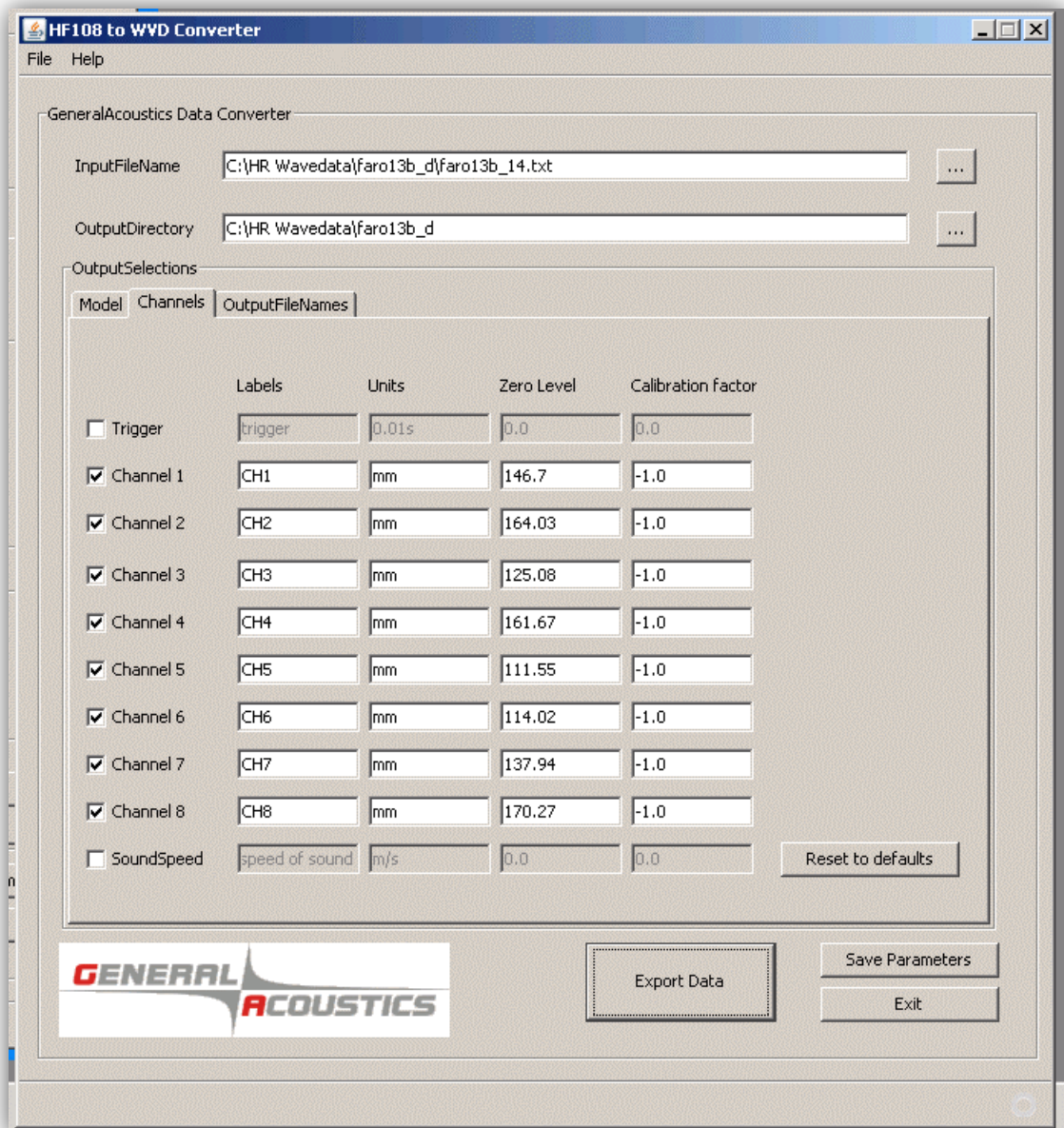
Η ονομασία του αρχείου μπορεί να επιλεγθεί μεταξύ μιας λίστας από αυθαίρετα ονόματα και μια λίστας από το φάκελο βαθμονόμησης. Ακόμα υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης ονομασίας του αρχείου από ένα όνομα, έναν αριθμό τεστ καθώς και μια ημερομηνία και ώρα.

## Επιλογή των καναλιών



Το πρόγραμμα παρέχει ένα χαρακτηριστικό (ημερομηνία, ώρα) του καναλιού, του οποίου τα δεδομένα χρειάζεται να εξαχθούν. Ως προεπιλογή τα δεδομένα όλων των καναλιών θα εξαχθούν μαζί με το μετρητή ενεργοποίησης και την ταχύτητα του ήχου.

Για κάθε ενεργοποιημένη πηγή δεδομένων μπορεί να καθοριστεί μια ετικέτα, καθώς και ένας παράγοντας βαθμονόμησης. Στο τέλος του παραθύρου υπάρχει ένα κουμπί “Resettodefaults” που επαναφέρει τις προεπιλεγμένες τιμές σε αυτές τις μεταβλητές. Οι διαφορετικές τιμές εμφανίζονται στα αρχεία δεδομένων και βαθμονόμησης.

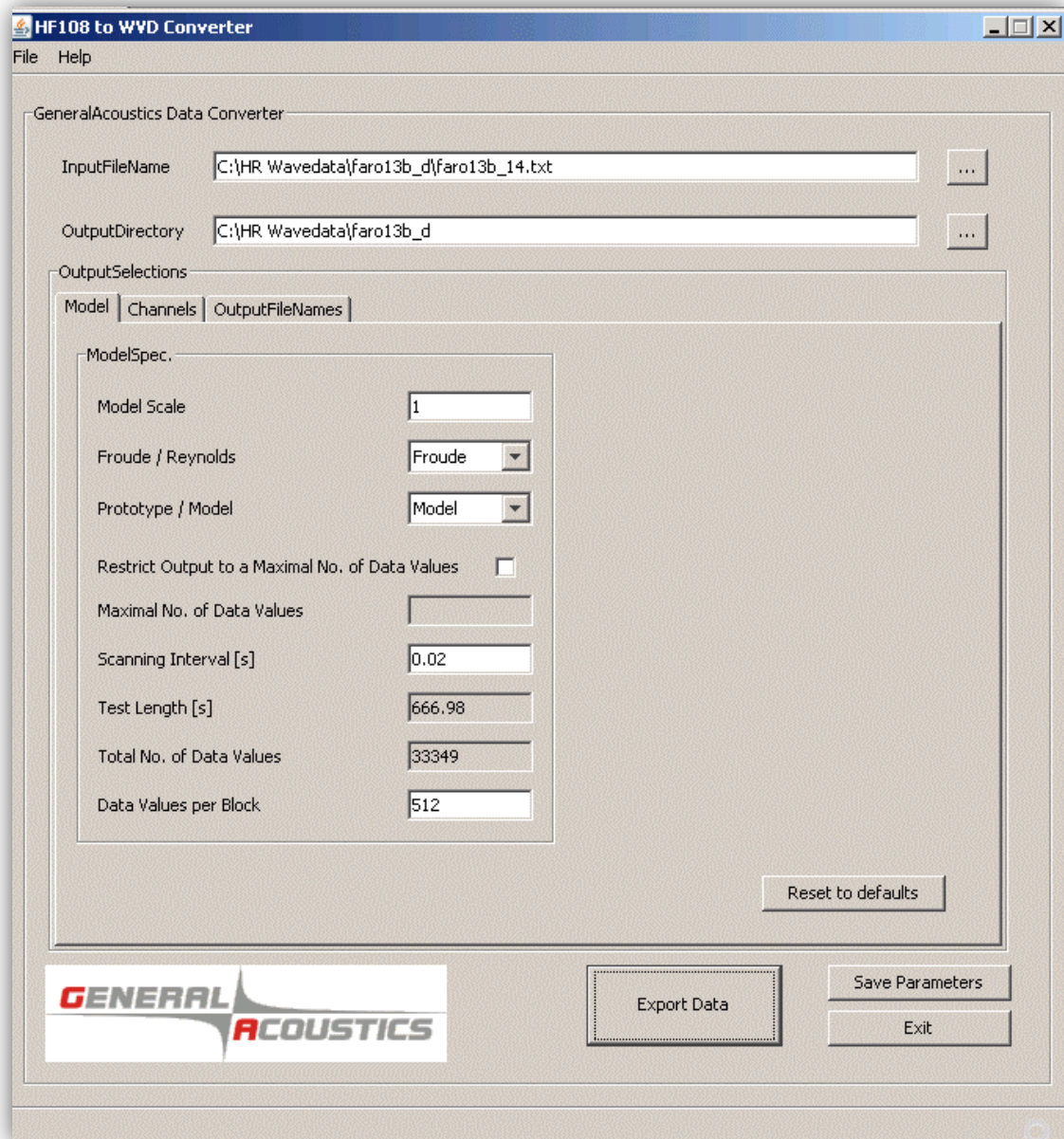


Εικόνα Α.3: Παράθυρο επιλογής καναλιών

## Δεδομένα του μοντέλου

Υπάρχει δυνατότητα να καθοριστούν συγκεκριμένες τιμές δεδομένων του μοντέλου που είναι εξορισμού κομμάτι του αρχείου δεδομένων και του αρχείου βαθμονόμησης. Αυτά τα δεδομένα περιγράφουν τις πειραματικές ρυθμίσεις.

Επίσης, επιτρέπεται να περιοριστεί ο μέγιστος αριθμός δεδομένων που θα εξαχθούν. Υπάρχει ένα κουτί ελέγχου και ένα πεδίο κειμένου για αυτό το λόγο.



Εικόνα Α.4: Παράθυρο καθορισμού παραμέτρων μοντέλου

## Εξαγωγή αποτελεσμάτων και αποθήκευση παραμέτρων.

Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα:



- Να ξεκινήσει τη δημιουργία της βαθμονόμησης και του αρχείου δεδομένων
- Να αποθηκευτούν οι παράμετροι σε ένα αρχείο διαμόρφωσης
- Να κλείσει η εφαρμογή

Οι καταχωρήσεις του μενού θα εξαχθούν σε ένα αρχείο διαμόρφωσης “userconfig.ini” το οποίο βρίσκεται στο φάκελο εγκατάστασης του προγράμματος.

Στο παράρτημα αυτό περιγράφονται, επίσης, αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά τη χρήση του ενισχυτή Ultralab ULS στα πλαίσια των πειραματικών μετρήσεων το εργαστήριο.

### Διαδικασία μέτρησης

Ο ενισχυτής Ultralab ULS είναι εξοπλισμένος με 8 ανεξάρτητα και συγχρονισμένα κανάλια(αισθητήρες).

Κανονικά όλοι οι αισθητήρες πρέπει να συνδέονται με τον βέλτιστο τρόπο, προκειμένου να μειωθούν οι ηχητικές απώλειες. Για χαμηλή σχετική ταχύτητα κύματος συνίσταται η συχνότητα των 50Hz σε μια μέτρηση, ενώ για την υψηλή ταχύτητα κύματος ή για υψηλότερη ανάλυση μετρήσεων συνίσταται συχνότητα 100Hz.



Εικόνα Α5: Ενισχυτής Ultralab ULS

### Απαιτήσεις για τις εφαρμογές

- Οι αισθητήρες πρέπει να συνδέονται σε διεύθυνση κάθετη με την ελεύθερη με την ελεύθερη επιφάνεια του νερού.
- Η απόσταση «οφθαλμού» - στάθμη ύδατος πρέπει να είναι από 3 έως 25εκ.

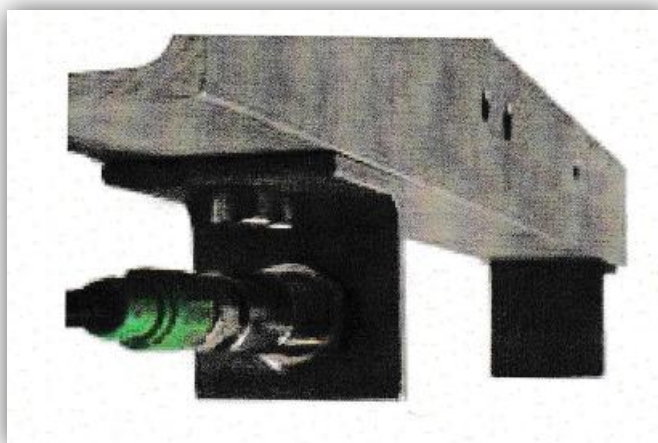
## Μετρήσεις ταχύτητας ήχου

Ο πιο ακριβής τρόπος υπολογισμού της ταχύτητας ήχου είναι μια μέτρηση αναφοράς. Αυτή είναι και το προαπαιτούμενο για μια βαθμονόμηση υψηλής ακρίβειας. Στη περίπτωση διασποράς, πυκνότητας ή στρωμάτωσης αέρινων μαζών, μέσω των οποίων πρέπει να περάσει ο παλμός του υπέρηχου, είναι απαραίτητο να μετρηθεί η πραγματική ταχύτητα του ήχου.

Ακόμα ο ενισχυτής UltraLab ULS είναι εξοπλισμένος με έναν αισθητήρα ταχύτητας ήχου REF 300, ο οποίος έχει πολύ υψηλή ακρίβεια. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας εκπέμπει τους ήχους κατά μήκος μιας διόδου μέσω του ιδίου μέσου σε μια καθορισμένη απόσταση.

Λόγω της καταγραφή δεδομένων της ταχύτητας υπέρηχου και της εσωτερικής βαθμονόμησης των δεδομένων που λαμβάνονται από όλα τα κανάλια, η επιρροή της θερμοκρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης, καθώς και υγρασίας μπορούν να αφαιρεθούν. Αυτή η μέθοδος μπορεί συνεπώς να χρησιμοποιηθεί για υψηλής ακρίβειας αντιστάθμιση όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την ταχύτητα του ήχου.

Ο υψηλής ακρίβειας αισθητήρας μέτρησης ήχου πρέπει να συνδέεται κοντά στους αισθητήρες και προφυλαγμένος από πιθανές παρεμβολές, για να πάρει μια αντιπροσωπευτική μέτρηση της ταχύτητας του ήχου.



*Εικόνα Α6: Αισθητήρας μέτρησης ήχου*



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

## Λογισμικό πακέτο HRWavedata

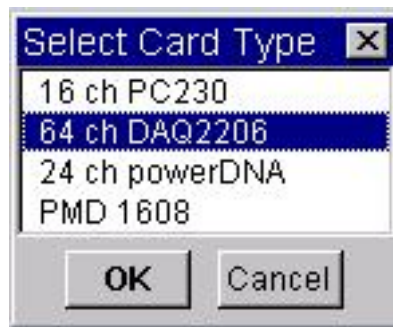


Στο παράρτημα αυτό περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος κατά τη διαδικασία των μετρήσεων.

Η εισαγωγή στο πρόγραμμα γίνεται από το εικονίδιο H.R. WaveData (Εικόνα Β.1Α) οπότε εμφανίζεται στην οθόνη το παράθυρο που φαίνεται στην εικόνα Β.1Β



Εικόνα Β.1Α:  
Εικονίδιο εισαγωγής στο λογισμικό



Εικόνα Β.1Β:  
Επιλογή τύπου εγκατεστημένης κάρτας  
στον Η/Υ

(α) Το εικονίδιο με το οποίο γίνεται η εισαγωγή στο πρόγραμμα και

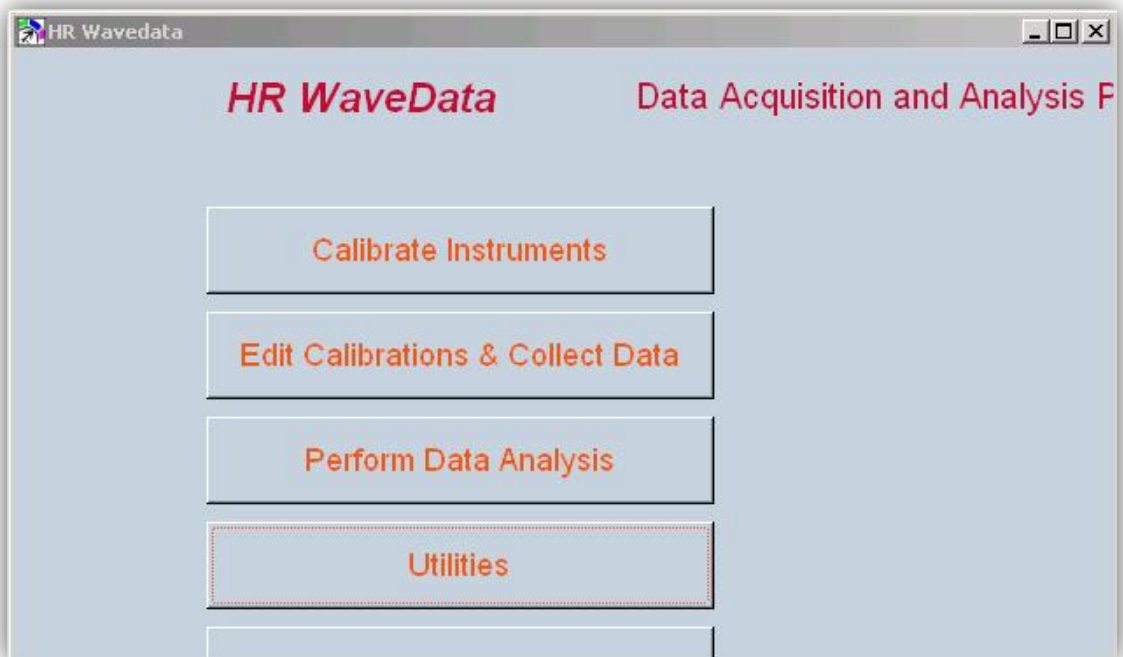
(β) το παράθυρο από το οποίο επιλέγεται ο τύπος της κάρτας που είναι εγκατεστημένος στον υπολογιστή

Από το παράθυρο αυτό επιλέγεται η εντολή 64chDAQ2206. Με την εντολή αυτή επιβεβαιώνεται ο τύπος της κάρτας συλλογής δεδομένων που είναι εγκατεστημένος στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Στη συνέχεια εμφανίζεται στην οθόνη το παράθυρο της Εικόνας Β.2, όπου εισάγεται το όνομα του φακέλου στο οποίο θα αποθηκευτούν τα δεδομένα των μετρήσεων που θα ακολουθήσουν. Με την εισαγωγή του ονόματος εμφανίζεται στην οθόνη το κυρίως μενού του προγράμματος (Εικόνα Β.3)

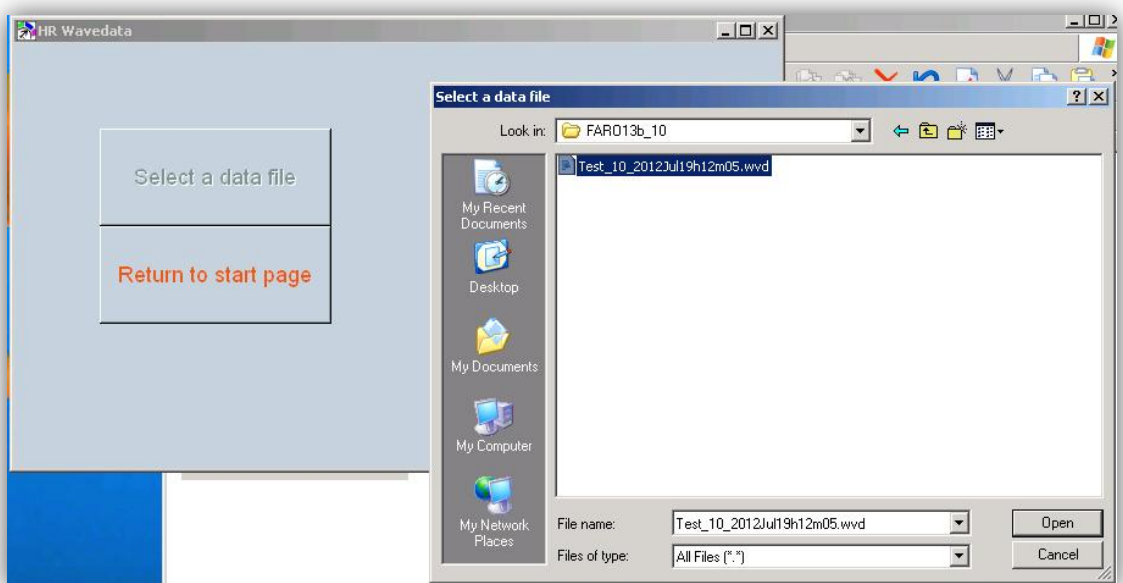


Εικόνα Β.2: Παράθυρο εισαγωγής ονόματος φακέλου αποθήκευσης αρχείων



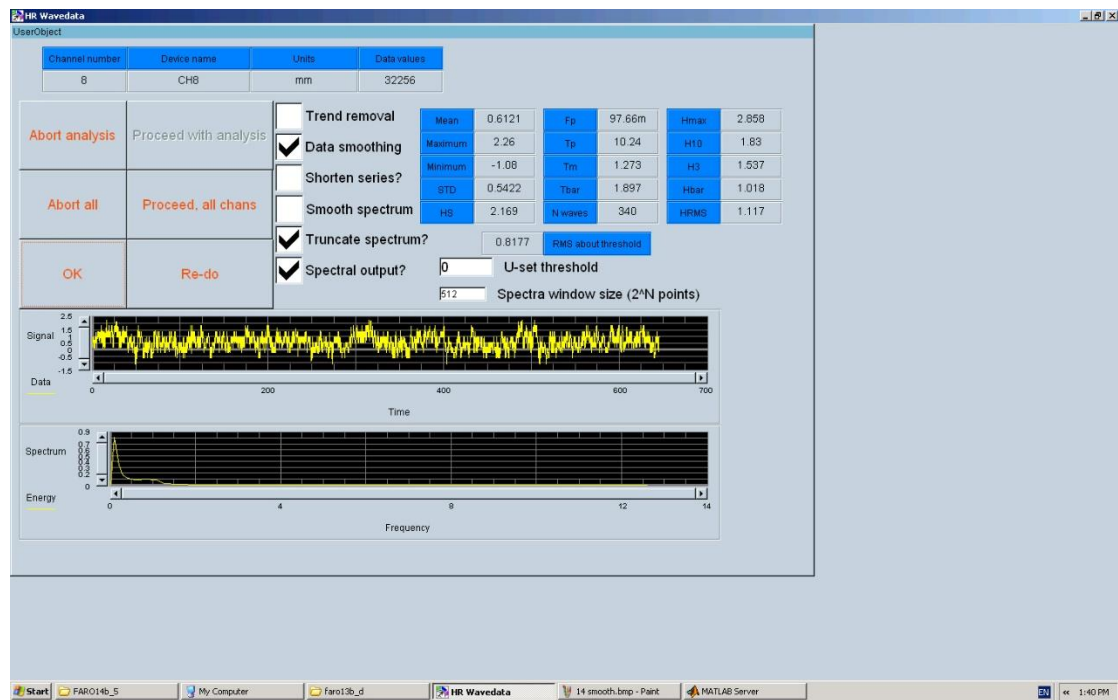
Εικόνα Β.3: Βασικό μενυλογισμικό

Για την επεξεργασία των δεδομένων η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής:  
Από το κυρίως μενού του προγράμματος επιλέγεται η εντολή PerformDataAnalysis. Έπειτα επιλέγεται το αρχείο στο οποίο θα γίνει επεξεργασία μέσω του προγράμματος για τη διεξαγωγή των τιμών διαφόρων παραμέτρων (σε mm για το ύψος του κύματος και σε sec για την περίοδο του κύματος), για κάθε μετρητή και για κάθε μέτρηση.



Εικόνα Β.4: Επιλογή αρχείου προς επεξεργασία

Κατόπιν αφού επιλεγεί το επιθυμητό αρχείο βαθμονόμησης (Εικόνα Β.4), εμφανίζεται στην οθόνη το βασικό φύλλο με βάση το οποίο γίνεται η επεξεργασία των μετρήσεων (Εικόνα Β.5)



Εικόνα Β.5: Κύριο παράθυρο επεξεργασίας δεδομένων

Επιλέγονται οι επιλογές TruncateSpectrum και SpectralOutput και με την εντολή αρχικά ProceedwithAnalysis και έπειτα με την εντολή Proceedallchins γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων για όλους τους μετρητές αφού εμφανιστούν με τη σειρά τα παράθυρα επιλογής πρόσθετων φίλτρων επεξεργασίας των κυματομορφών (trendremoval, datasmoothing).

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται αρχεία για τον κάθε μετρητή (και για κάθε μέτρηση) με το όνομα 'apres\_T000.....' καθώς και αρχεία με το όνομα 'conpres\_s.....' για όλους μαζί τους μετρητές αλλά για κάθε μέτρηση ξεχωριστά, και αποθηκεύονται στο βασικό φάκελο εργασίας. Το 'output' αυτών των αρχείων είναι μια σειρά από παραμέτρους. Με την εντολή Abortanalysis το πρόγραμμα επιστρέφει στο κυρίως μενού από όπου με την εντολή Stop γίνεται ο τερματισμός του προγράμματος.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Πίνακες παραμέτρων  
μετρήσεων στις  
χαρακτηριστικές θέσεις

**Α) Πίνακες ύψους κύματος Hs στα βαθιά νερά και εντός λιμενολεκάνης**

Hθεωρ	H0 (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.1.1							
				Hs							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm			mm							
13,60	13,20	13,14	14,55	2,70	0,81	0,80	0,50	0,55	0,57	0,52	0,58
17,00	16,92	17,65	18,24	3,79	1,29	1,03	0,72	0,78	0,70	0,64	0,78
21,30	21,27	21,56	22,62	5,15	1,98	1,33	1,75		1,16	1,00	1,24
18,70	20,10	19,78	20,08	6,08	2,05	1,68	1,95	1,47	1,41	1,46	1,43
23,40	25,22	23,71	24,92	7,05	2,49	2,00	2,27	1,79	1,65	1,79	1,67
29,30	30,59	29,35	30,60	7,81	2,75	2,21	2,49	2,15	2,08	2,10	1,88
24,80	27,53	25,63	26,42	7,98	2,84	2,16	2,55	2,45	2,29	2,33	1,96
31,00	33,84	29,54	31,73	8,76	3,25	2,42	2,86	2,83	2,67	2,77	2,16
38,80	42,20	35,48	39,57	9,28	3,37	2,60	3,00		2,61	2,83	2,32
32,00	32,27	27,00	30,82	9,53	3,57	2,64	3,21	3,03	2,74	2,84	2,36
40,00	40,27	31,18	38,14	8,71	3,45	3,13	2,79		2,97	2,65	2,53
50,00	48,15	37,33	45,61	8,88	3,66	3,36	3,19		3,28	2,93	2,84

Πίνακας Γ1

Hθεωρ	H0 (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.1.2							
				Hs							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm			mm							
13,60	14,00	13,33	15,33	5,41	1,81	1,65	1,00	0,83	0,96	0,71	0,62
17,00	17,72	16,72	18,99	6,82	2,30	2,13	1,59	0,96	0,85	0,92	0,78
21,30	21,76	20,58	22,81	7,59	2,56	2,39	1,92	1,50	1,51	1,41	1,32
18,70	19,57	20,10	22,72	7,53	2,89	2,63	2,36	1,80	1,87	1,63	1,49
23,40	23,95	25,30	28,05	8,25	3,15	2,89	2,92	2,21	2,24	2,06	1,85
29,30	29,26	31,28	33,59	8,93	3,35	3,05	3,28	2,73	2,70	2,56	2,24
24,80	24,76	29,34	29,54	9,14	3,65	3,43	3,67	3,23	3,18	3,21	2,50
31,00	30,80	35,62	35,77	10,45	4,14	3,84	4,12	4,08	3,99	3,90	3,10
38,80	38,19	42,89	43,17	12,53	5,01	4,56	4,41	4,57	4,43	4,27	3,46
32,00	29,21	32,35	35,11	10,74	4,49	4,19	4,41	4,11	4,05	3,85	3,24
40,00	36,47	41,48	42,73	12,67	5,26	4,93	4,85	4,65	4,61	4,46	3,81
50,00	46,67	51,35	51,30	13,96	5,99	5,59	5,04	5,05	4,93	4,81	4,06

Πίνακας Γ2

Hθεωρ	H0 (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.2.1							
				Hs							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm			mm							
13,60	13,66	13,84	14,62	3,39	1,50	0,66	0,62		0,69	0,56	0,69
17,00	17,13	17,57	18,24	3,91	1,80	0,66	0,88		0,74	0,76	0,64
21,30	21,39	21,15	22,52	4,70	2,21	0,98	0,66		1,08	0,81	0,63
18,70	20,24	19,24	19,97	5,65	2,56	1,13	1,31		1,34	1,41	1,21
23,40	25,30	23,15	24,77	6,57	2,87	0,87	1,54		1,58	1,65	1,40
29,30	30,94	28,00	29,87	7,34	3,22	1,43	1,71		1,83	2,03	1,57
24,80	27,31	23,53	25,35	8,17	3,97	1,54	1,83		2,13	2,29	1,72
31,00	35,85	30,18	32,48	8,29	3,96	1,65	1,87	3,06	2,24	2,28	1,79
38,80	43,39	34,58	39,10	8,88	4,31	1,88	2,10	3,21	2,37	2,56	1,97
32,00	33,33	25,87	30,56	9,37	4,75	1,75	1,98	3,49	2,37	2,53	1,97
40,00	40,43	30,92	37,20	8,93	4,76	1,94	2,18	3,42	2,48	2,50	2,08
50,00	48,58	37,75	44,98	8,76	4,91	2,31	2,54	3,49	2,70	2,74	2,38

Πίνακας Γ3

Hθεωρ	H0 (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.2.2							
				Hs							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm			mm							
13,60	14,08	13,55	13,95	4,81	1,58	0,53	0,42	0,88	0,54	0,66	0,69
17,00	17,33	16,41	17,14	7,15	2,62	0,80	0,49	1,17	0,55	0,74	0,80
21,30	22,13	19,94	21,91	7,88	2,99	0,78	1,31	1,77	1,17	1,21	0,80
18,70	19,75	19,31	21,49	7,58	3,36	1,51	1,71	2,15	1,58	1,41	1,33
23,40	24,54	24,53	26,88	8,17	3,94	1,80	2,22	2,69	1,80	1,89	1,64
29,30	29,50	30,10	32,32	8,95	4,41	2,02	2,67	3,38	2,11	2,42	1,95
24,80	24,75	28,17	28,59	9,08	4,90	3,24	2,79	3,92	2,49	2,82	2,06
31,00	30,76	35,45	35,64	10,81	5,83	2,67	3,15	4,89	2,99	3,34	2,48
38,80	38,20	42,25	43,37	12,25	6,79	3,13	3,45		3,36	3,59	2,92
32,00	28,76	32,31	34,59	10,57	6,28	2,76	3,41	5,01	3,30	3,39	2,78
40,00	35,47	39,81	42,05	12,55	7,03	3,23	3,77	5,65	3,66	3,75	3,14
50,00	45,87	51,47	50,77	13,80	7,92	3,50	3,88	6,17	3,82	4,16	3,36

Πίνακας Γ4

Ηθέρωρ	ΗΘ (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.1.1							
				Hs							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm			mm							
18,70	20,29	20,40	20,64	1,78	2,34	1,25	1,38	1,25	1,28	1,24	1,20
23,40	25,44	24,77	25,49	2,05	1,50	1,49	1,71	1,48	1,48	1,50	1,43
29,30	31,35	28,89	31,07	2,46	1,55	1,76	2,05	1,76	1,73	1,68	1,62
24,80	27,87	25,35	27,09	2,60	2,10	2,05	2,11	2,20	2,17	2,11	1,76
31,00	34,87	29,47	32,99	3,10	2,36	2,32	2,33	2,51	2,45	2,50	2,07
38,80	42,53	35,47	40,19	3,52	2,68	2,60	2,51	2,75	2,62	2,71	2,32
32,00	32,87	26,71	31,28	3,66	2,82	2,74	2,72	2,60	2,40	2,36	2,17
40,00	40,99	31,76	37,76	4,03	3,12	3,03	2,77	2,79	2,64	2,58	2,39
50,00	48,88	39,21	46,08	4,79	3,26	3,13	3,01	3,15	3,08	3,02	2,72

Πίνακας Γ5

Ηθέρωρ	ΗΘ (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.1.2							
				Hs							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm			mm							
18,70	20,85	21,21	22,05	2,40	1,37	1,42	1,90	1,59	1,60	1,55	1,53
23,40	24,96	25,04	26,86	3,18	1,64	1,67	2,62	2,04	2,03	2,04	2,07
29,30	30,64	30,72	32,77	4,11	1,89	1,90	3,10	2,60	2,56	2,63	2,55
24,80	24,96	28,75	28,81	4,35	2,27	2,09	2,90	2,88	2,83	3,01	2,37
31,00	31,21	36,08	35,17	5,83	2,81	2,61	3,45	3,59	3,48	3,60	2,93
38,80	36,28	43,21	42,92	5,81	2,96	2,85	3,84	3,85	3,74	3,72	3,29
32,00	27,40	32,52	34,34	6,07	3,18	2,79	3,80	3,75	3,62	3,73	3,14
40,00	33,51	40,90	42,83	6,89	3,54	3,16	4,13	4,18	4,07	4,15	3,70
50,00	42,96	50,72	50,58	6,35	3,68	3,50	4,33	4,12	4,13	4,26	3,89

Πίνακας Γ6

Ηθέρωρ	ΗΘ (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.2.1							
				Hs							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm			mm							
18,70	19,70	20,55	20,59	1,57	1,29	0,96	1,12	1,19	1,39	1,12	1,11
23,40	25,35	24,71	24,92	1,92	1,58	1,18	1,39	1,48	1,59	1,37	1,33
29,30	31,48	29,05	30,63	2,34	1,94	1,44	1,66	1,85	1,84	1,65	1,43
24,80	28,06	25,56	26,32	2,76	2,49	1,66	1,78	2,43	2,27	1,97	1,62
31,00	34,93	29,98	32,86	3,24	2,91	1,92	2,02	2,78	2,46	2,28	1,79
38,80	42,88	36,39	40,14	3,64	3,36	2,09	2,15	3,02	2,60	2,50	1,95
32,00	32,38	25,63	30,97	4,19	4,03	2,34	2,35	3,15	2,58	2,35	1,93
40,00	41,32	32,27	37,95	4,83	4,26	2,55	2,54	3,53	2,71	2,60	2,33
50,00	49,58	37,46	45,73	3,70	3,60	2,13	2,30	2,89	2,45	2,12	1,80

Πίνακας Γ7

Ηθέρωρ	ΗΘ (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.2.2							
				Hs							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
mm	mm			mm							
18,70	18,43	20,01	22,34	2,32	1,55	0,60	1,41	1,72	0,95	0,88	1,15
23,40	22,71	25,70	27,45	2,91	1,93	1,40	1,84	2,23	1,63	1,63	1,48
29,30	27,99	31,66	33,18	3,75	2,41	1,60	2,16	2,80	1,93	1,99	1,79
24,80	23,41	29,11	29,40	4,04	2,83	1,77	2,36	3,15	2,24	2,36	1,89
31,00	28,85	35,35	34,94	5,28	3,46	2,03	2,57	3,78	2,54	2,79	2,21
38,80	35,95	43,29	43,05	5,56	3,65	2,34	2,88	4,13	2,89	3,03	2,62
32,00	27,76	33,03	34,59	5,78	4,28	2,24	2,85	4,29	2,80	3,03	2,48
40,00	36,47	41,53	42,66	7,03	4,72	2,56	3,21	4,93	3,07	3,52	2,85
50,00	45,66	50,66	50,38	5,97	4,54	2,74	3,30	4,67	3,37	3,49	3,11

Πίνακας Γ8



**Β) Πίνακες μέσης περιόδου Tm στα βαθιά νερά και εντός λιμενολεκάνης**

Tp	Tm (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.1.1							
				Tmi							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
sec	sec			sec							
0,561	0,536	0,527	0,504	0,510	0,520	0,350	0,510	0,500	0,500	0,510	0,520
	0,520	0,510	0,500	0,490	0,430	0,550	0,340	0,350	0,320	0,450	0,360
	0,520	0,520	0,500	0,470	0,430	0,490	0,410		0,650	3,050	0,500
0,659	0,590	0,570	0,560	0,500	0,550	0,560	0,430	0,490	0,400	0,800	0,560
	0,590	0,570	0,550	0,490	0,440	0,620	0,440	0,540	0,700	0,850	0,600
	0,590	0,580	0,560	0,490	0,440	0,670	0,450	0,590	0,480	0,860	0,630
0,758	0,680	0,640	0,630	0,550	0,590	0,710	0,600	0,710	0,570	0,710	0,690
	0,680	0,630	0,640	0,550	0,600	0,750	0,610	0,690	0,580	0,700	0,700
	0,670	0,650	0,640	0,570	0,650	0,790	0,660		0,840	0,740	0,740
0,861	0,770	0,700	0,730	0,570	0,680	0,820	0,690	0,750	0,880	0,740	0,780
	0,770	0,720	0,720	0,600	0,750	0,760	0,860		0,680	0,810	0,860
	0,760	0,710	0,720	0,620	0,780	0,800	0,950	0,830	0,700	1,140	0,930

Πίνακας Γ9

Tp	Tm (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.1.2							
				Tmi							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
sec	sec			sec							
0,561	0,500	0,500	0,530	0,510	0,540	0,440	0,370	0,340	0,740	0,480	0,490
	0,500	0,500	0,520	0,510	0,470	0,490	0,530	0,360	0,510	1,020	0,340
	0,500	0,510	0,530	0,512	0,574	0,517	0,612	0,481	0,447	0,701	0,491
0,659	0,550	0,560	0,600	0,540	0,576	0,587	0,736	0,540	0,480	0,755	0,542
	0,550	0,570	0,600	0,530	0,600	0,620	0,890	0,610	0,550	0,850	0,620
	0,570	0,580	0,600	0,540	0,650	0,670	1,010	0,690	0,620	0,770	0,720
0,758	0,630	0,650	0,690	0,580	0,730	0,750	1,020	0,820	0,750	0,940	0,830
	0,630	0,660	0,690	0,560	0,750	0,780	1,150	0,850	0,800	1,300	0,920
	0,640	0,670	0,700	0,550	0,770	0,810	1,190	0,830	0,800	1,240	0,930
0,861	0,720	0,750	0,780	0,591	0,808	0,841	1,204	0,835	0,787	1,363	0,945
	0,730	0,750	0,770	0,566	0,802	0,847	1,245	0,867	0,835	1,367	1,010
	0,730	0,750	0,770	0,570	0,790	0,840	1,200	0,840	0,820	1,020	1,000

Πίνακας Γ10

Tp	Tm (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.2.1							
				Tmi							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
sec	sec			sec							
0,561	0,530	0,510	0,490	0,480	0,390	0,360	0,340	0,930	0,330	0,310	0,400
	0,520	0,510	0,500	0,470	0,390	0,360	0,470	1,070	0,340	0,950	0,360
	0,520	0,510	0,500	0,470	0,400	0,490	0,350	1,260	0,800	0,330	0,560
0,659	0,580	0,570	0,550	0,505	0,450	0,513	0,570	1,234	0,858	0,510	0,585
	0,580	0,570	0,550	0,500	0,460	0,410	0,620	1,270	0,940	0,810	0,610
	0,580	0,580	0,550	0,500	0,460	0,580	0,640	1,220	0,610	0,580	0,670
0,758	0,680	0,630	0,630	0,540	0,570	0,630	0,690	1,220	1,070	0,620	0,680
	0,680	0,640	0,630	0,560	0,740	0,670	0,710	0,730	0,560	0,890	0,730
	0,680	0,650	0,640	0,570	0,780	0,720	0,750	0,730	0,610	0,700	0,780
0,861	0,770	0,700	0,720	0,578	0,807	0,672	0,731	0,772	0,616	0,878	0,769
	0,770	0,710	0,720	0,603	0,857	0,733	0,760	0,797	0,629	0,928	0,813
	0,760	0,710	0,720	0,620	0,880	0,820	0,840	0,840	0,670	0,950	0,880

Πίνακας Γ11

Tp	Tm (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.1.2.2							
				Tmi							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
sec	sec			sec							
0,561	0,510	0,520	0,550	0,550	0,490	0,510	0,530	0,370	0,520	0,350	0,350
	0,500	0,510	0,540	0,530	0,590	0,370	0,550	0,420	0,730	0,350	0,360
	0,500	0,510	0,530	0,520	0,575	0,561	0,667	0,535	0,794	0,465	0,370
0,659	0,550	0,570	0,600	0,547	0,656	0,631	0,791	0,589	0,571	0,731	0,545
	0,550	0,570	0,600	0,530	0,700	0,750	0,880	0,640	1,010	0,560	0,650
	0,560	0,580	0,600	0,520	0,710	0,820	0,930	0,650	1,160	0,630	0,740
0,758	0,630	0,650	0,690	0,560	0,810	0,970	0,920	0,700	0,810	0,720	0,760
	0,630	0,660	0,700	0,540	0,830	0,940	1,030	0,720	0,910	0,800	0,850
	0,640	0,680	0,700	0,540	0,890	1,050	1,120		0,960	0,880	0,940
0,861	0,730	0,760	0,780	0,595	0,934	1,608	1,105	0,854	0,923	0,880	0,938
	0,730	0,760	0,770	0,571	0,950	1,068	1,177	0,854	1,029	0,915	1,022
	0,730	0,760	0,770	0,580	0,950	1,050	1,180	0,860	1,550	0,890	1,030

Πίνακας Γ12

Tp	Tm (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.1.1							
				Tmi							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
sec	sec			sec							
0,659	0,580	0,570	0,560	0,478	0,681	0,506	0,621	0,458	0,474	0,532	0,785
	0,580	0,570	0,550	0,550	0,550	0,580	0,750	0,530	0,540	0,610	0,900
	0,580	0,580	0,560	0,550	1,290	0,650	0,770	0,560	0,560	1,050	0,930
0,758	0,670	0,650	0,640	0,710	0,720	0,740	0,820	0,770	0,790	0,850	0,710
	0,670	0,640	0,630	0,700	0,740	0,760	0,870	0,770	0,780	0,910	1,150
	0,680	0,660	0,640	0,730	0,760	0,780	0,880	0,760	1,050	0,890	0,770
0,861	0,770	0,720	0,730	0,749	0,848	0,859	0,945	0,747	1,022	0,813	0,729
	0,770	0,730	0,720	0,790	0,854	0,865	0,922	0,771	0,759	0,832	0,799
	0,770	0,730	0,720	0,840	1,070	1,140	0,970	0,790	1,010	0,910	0,830

Πίνακας Γ13

Tp	Tm (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.1.2							
				Tmi							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
sec	sec			sec							
0,659	0,550	0,570	0,600	0,670	0,540	0,560	1,700	0,600	0,600	0,660	0,670
	0,550	0,570	0,600	0,760	0,630	0,640	1,090	1,070	0,700	0,890	0,860
	0,560	0,580	0,600	0,757	0,663	0,683	2,733	0,775	0,783	1,012	0,960
0,758	0,630	0,650	0,690	0,776	0,717	1,055	1,113	0,814	0,822	1,013	0,863
	0,630	0,650	0,690	0,700	0,770	0,770	1,750	0,820	0,820	1,050	0,940
	0,650	0,670	0,690	0,750	0,810	0,820	1,300	0,900	0,910	1,170	1,030
0,861	0,690	0,740	0,770	0,780	0,810	0,790	1,840	0,870	0,870	1,020	1,020
	0,730	0,740	0,770	0,740	0,840	0,860	2,370	0,860	0,890	1,110	1,100
	0,730	0,750	0,770	0,860	0,950	0,940	1,890	0,970	1,000	1,260	1,200

Πίνακας Γ14

Tp	Tm (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 45° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.2.1							
				Tmi							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
sec	sec			sec							
0,659	0,580	0,580	0,560	0,520	0,550	0,680	0,890	0,540	0,560	0,570	0,810
	0,580	0,570	0,560	0,570	0,610	0,740	0,660	0,590	0,630	0,600	0,580
	0,580	0,580	0,560	0,580	0,650	0,720	0,680	0,620	0,680	0,630	1,350
0,758	0,680	0,640	0,630	0,633	0,769	0,819	0,742	0,698	0,775	0,718	0,684
	0,670	0,650	0,630	0,657	0,792	0,817	0,785	0,732	0,828	1,203	1,196
	0,670	0,660	0,640	0,670	0,820	0,820	0,780	0,750	0,830	0,820	1,230
0,861	0,770	0,720	0,720	0,750	1,060	0,870	0,820	0,750	0,800	0,760	1,200
	0,770	0,720	0,730	0,800	0,930	0,860	0,850	0,790	0,820	0,780	1,100
	0,760	0,720	0,720	0,745	0,916	0,898	0,860	0,750	0,797	1,076	1,107

Πίνακας Γ15

Tp	Tm (ΕΞΩΤ. ΜΕΤΡΗΤΕΣ)			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ 90° / ΔΙΑΤΑΞΗ L.2.2.2							
				Tmi							
	M1	M2	M3	1	2	3	4	5	6	7	8
sec	sec			sec							
0,659	0,550	0,560	0,590	0,629	0,599	0,390	1,867	0,636	0,424	0,389	0,485
	0,550	0,570	0,600	0,682	0,710	0,773	1,586	0,732	0,637	0,662	0,633
	0,560	0,580	0,600	0,650	0,750	0,770	1,990	0,760	0,730	0,720	0,750
0,758	0,630	0,650	0,690	0,750	0,840	0,800	0,960	0,840	0,770	0,820	0,740
	0,630	0,650	0,690	0,690	0,860	0,830	1,820	0,810	0,820	0,860	0,850
	0,650	0,670	0,700	0,708	0,907	1,415	1,036	0,870	0,887	0,902	0,949
0,861	0,730	0,740	0,780	0,708	0,920	1,373	1,950	0,823	0,883	0,862	0,928
	0,720	0,730	0,770	0,710	0,950	1,420	1,110	0,890	0,930	0,910	1,010
	0,730	0,740	0,780	0,780	1,020	0,980	1,150	0,990	0,990	1,000	1,080

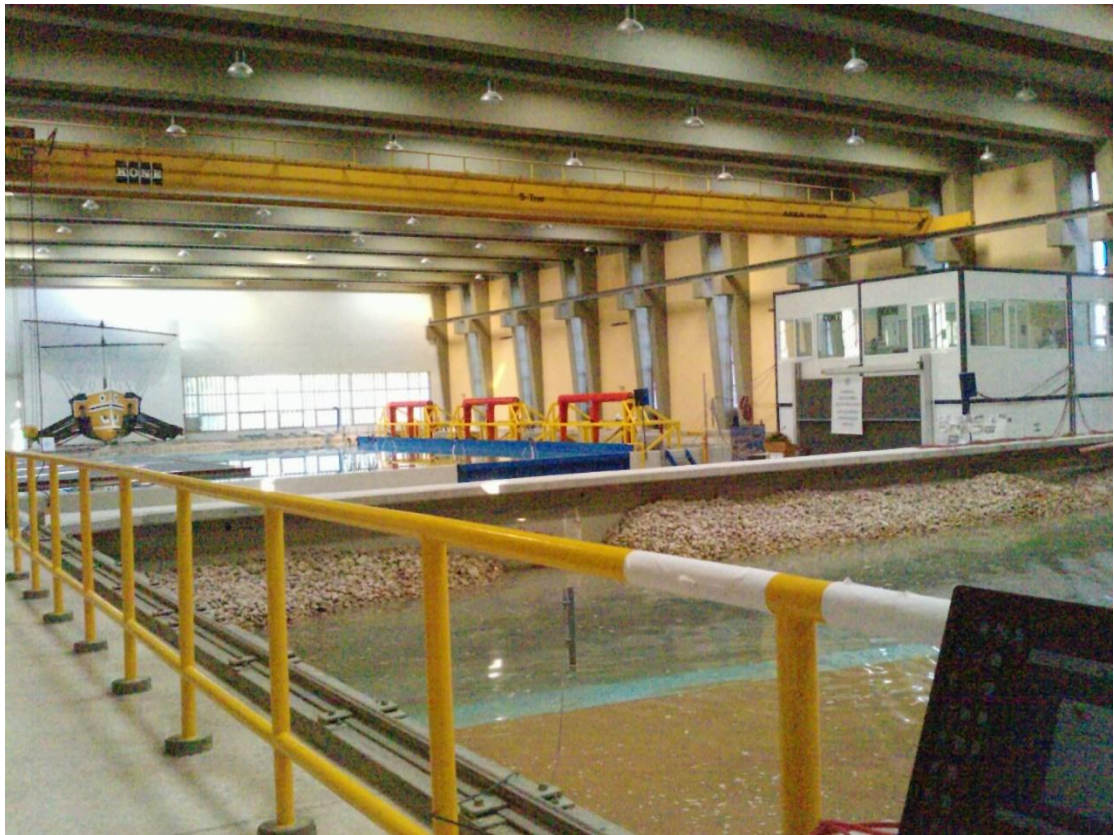
Πίνακας Γ16

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

Φωτογραφικό υλικό  
εκπόνησης μετρήσεων



Εικόνα Δ1

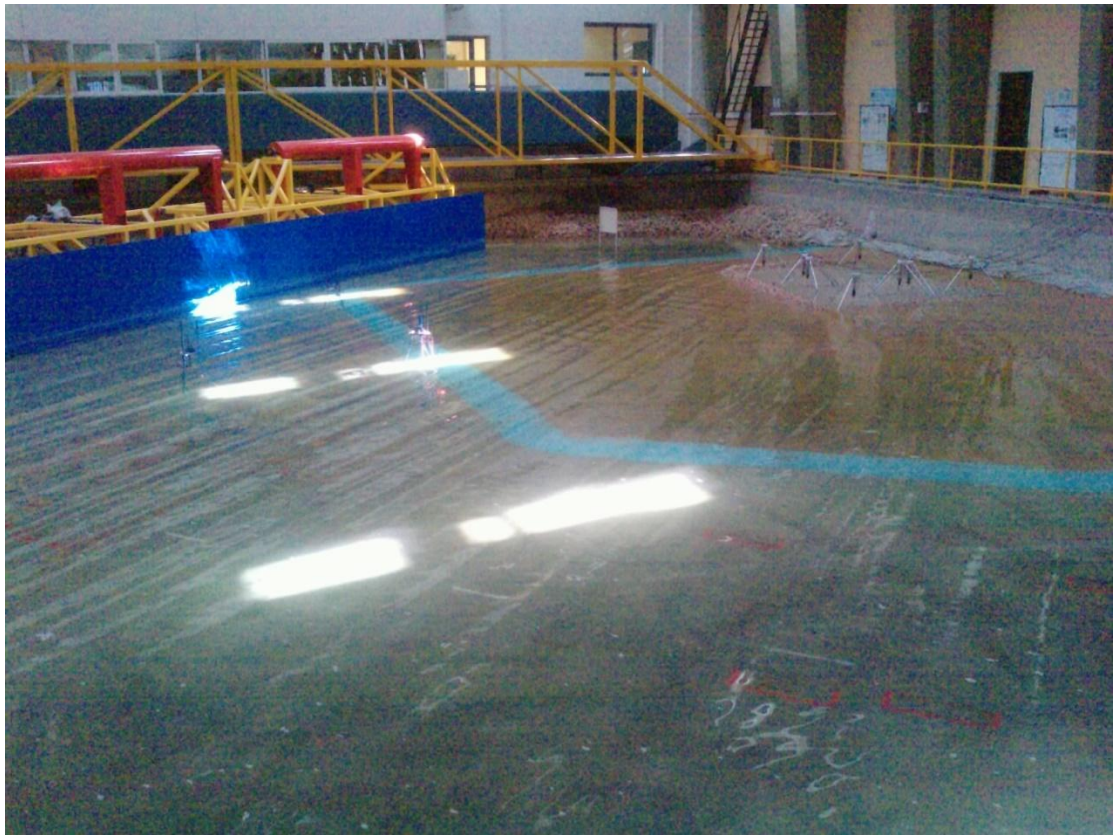


Εικόνα Δ2





Εικόνα Δ3



Εικόνα Δ4



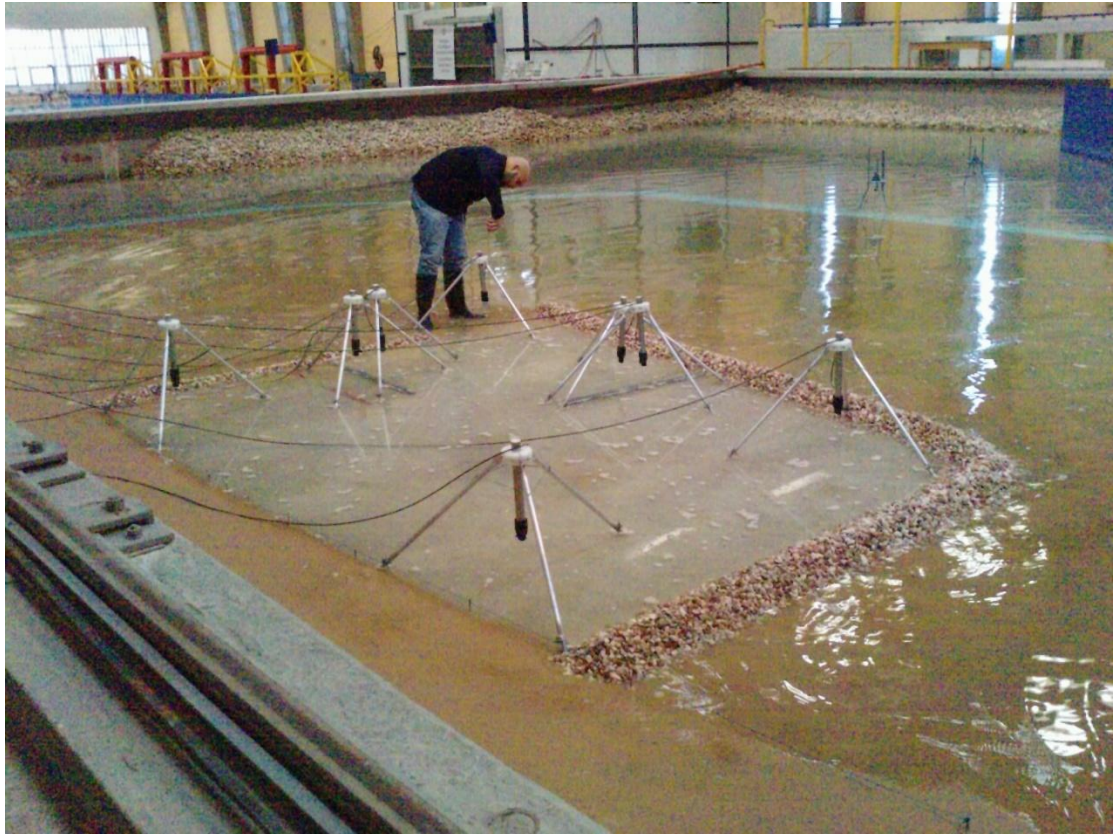


Εικόνα Δ5



Εικόνα Δ6





Εικόνα Δ7



Εικόνα Δ8





Εικόνα Δ9

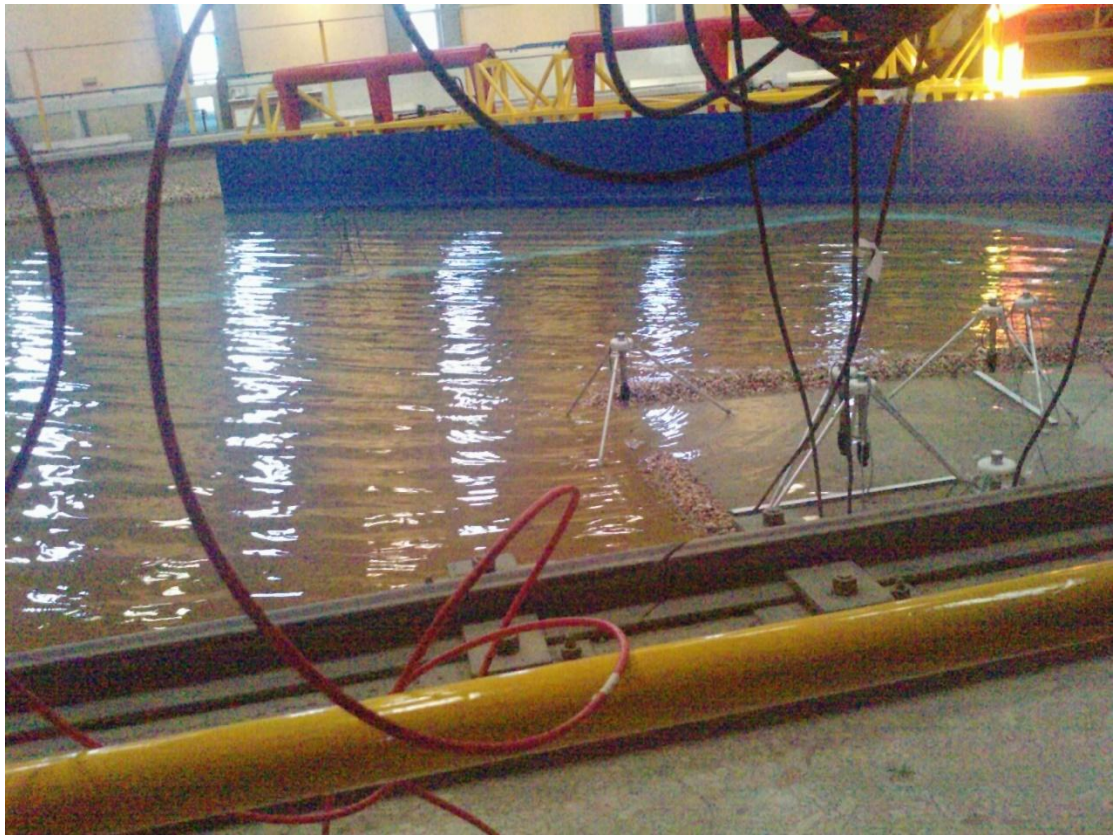


Εικόνα Δ10





*Εικόνα Δ11*



*Εικόνα Δ12*





Εικόνα Δ13



Εικόνα Δ14





Εικόνα Δ15



Εικόνα Δ16





Εικόνα Δ17

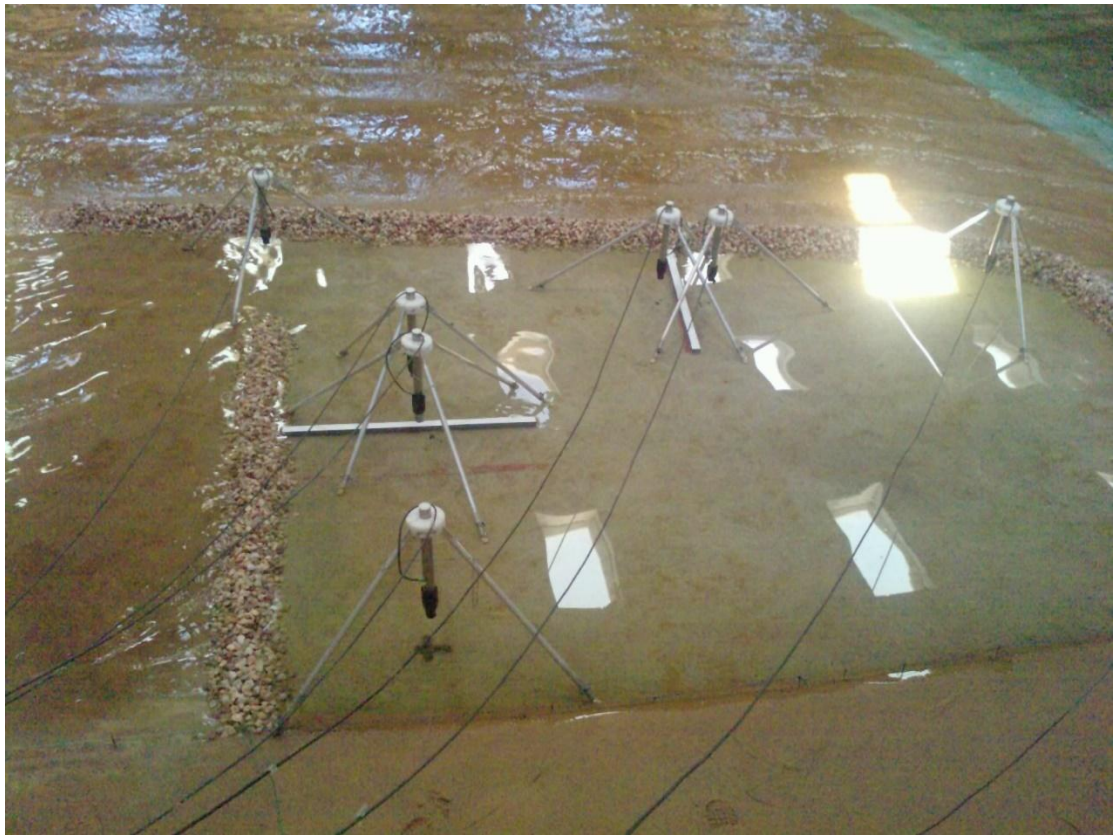


Εικόνα Δ18





*Εικόνα Δ19*



*Εικόνα Δ20*

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μουτζούρης Κ.Ι., 2006, “Θαλάσσια Υδραυλική”, Έκδοση Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, Αθήνα
2. Μουτζούρης Κ.Ι., 2005, “Εισαγωγή στην Ακτομηχανική”, Έκδοση Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, Αθήνα
3. Μέμος Κ., 2002, “Μαθήματα Λιμενικών Έργων”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
4. Κουτίτας Χ., 1994, “Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα”, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
5. Δασκαλάκης Μ.Κ., 1982, “Λιμάνια, Θαλάσσια Κύματα, Λιμενικά Έργα”, Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα
6. Παπαδοσπυριδάκης Ε.Ι., 2011, “Θέση σε Λειτουργία και Μετρήσεις με το Νέο Ηχοβολιστικό Σύστημα Κυματομετρήσεων του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων”, Αθήνα
7. Κούφαλη Μ.Γ., 2012, “Πειραματική Διερεύνηση της Εντατικοποίησης της Κυματικής Δράσης στα Κατάντη Μόλου Λιμένα”, Αθήνα
8. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, 1984, “Shore Protection Manual Volume I”, Mississippi
9. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, 1984, “Shore Protection Manual Volume II”, Mississippi
10. Wiegel R.L., 1962, “Diffraction of Waves by a Semi-infinite Breakwater”, *J. Hydraulics Div., ASCE*, Vol.88, NoHY1, 27-44
11. <http://eprints.hrwallingford.co.uk/>, “HR Wavedata Manual”
12. S.A. Kantoush, E.F.R. Bollaert, J.-L. Boillat & A.J. Schleiss, 2006, “Experimental study of suspended sediment transport and deposition in a rectangular shallow reservoir”.