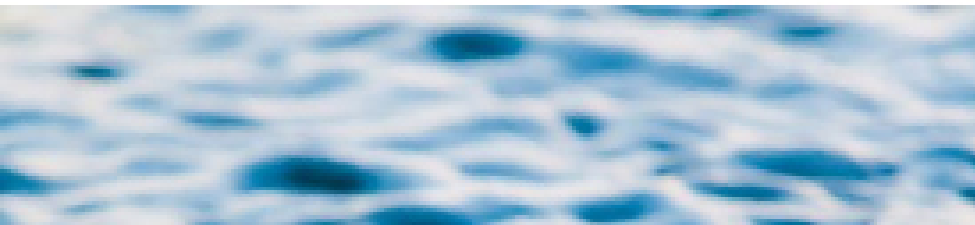


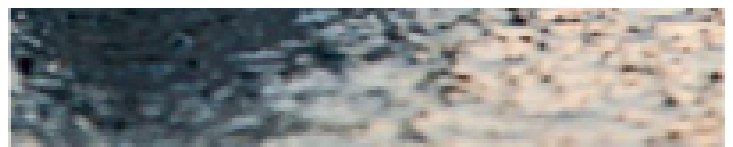


Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Υδατικών Πόρων και  
Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Λιμενικών Έργων

Διπλωματική Εργασία  
Πειραματική Διερεύνηση Πιέσεων Μη Θραυόμενων  
Κυματισμών Σε Κοίλο Αδιαπέρατο Κυματοθραύστη



Αντωνίου Κλεάνθης



Επιβλέπων : Αζοράκος Σαμψών, Λέκτορας ΕΜΠ

Συνεπιβλέπουσα: Γιαντσή Θεοδώρα, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2017



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Υδρατικών Πόρων και Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Λιμενικών Έργων

Διπλωματική Εργασία

**«Πειραματική διερεύνηση πιέσεων μη θραυόμενων  
κυματισμών σε κοίλο αδιαπέρατο κυματοθραύστη»**

Αντωνίου Κλεάνθης

Επιβλέπων: Αζοράκος Σαμψών, Λέκτορας ΕΜΠ  
Συνεπιβλέπουσα: Γιαντσή Θεοδώρα, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2017

*Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής (ή μεταπτυχιακής κτλ.) εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου (μας) πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.*

Αντωνίου Κλεάνθης

## Ευχαριστίες

Τον Δεκέμβρη του 2015 ο καθηγητής Κωνσταντίνος Μουντζούρης μου ανέθεσε την ακόλουθη εργασία ως μια διαδικασία εμπάθουσας στην θεωρία των πιέσεων, κάτι που προσωπικά ευελπιστούσα καθώς ήθελα να αφιερώσω τον χρόνο μου σε μια πραγματικά επιστημονικά παραγωγική διαδικασία. Θέλω να τον ευχαριστήσω που με εγκόλπωσε στην διαδικασία ενός πειράματος, μια διαδικασία πάντα γεμάτη αμφιβολία, η μοναδική ωστόσο που μπορεί αποτελεσματικά να δημιουργήσει καινούρια θεωρία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον λέκτορα κ. Σαμψών Αζοράκο για την επιστημονική του συμβολή, και το θεωρητικό υπόβαθρο, που έθεσε το πείραμα στο σωστό του πλαίσιο και κατεύθυνση. Είναι ανεκτίμητη η κατάλληλη προοπτική όταν αντιμετωπίζεις ένα καινούριο πρόβλημα.

Τα ειλικρινά μου ευχαριστήρια κατευθύνονται στην συνεπιβλέπουσα κα. Θεοδώρα Γιαντσή που διαδραμάτισε καταλυτικό ρόλο στην εκπόνηση αυτής της εργασίας. Η καθημερινή ενασχόληση, θεωρητική αντίληψη, αλλά και προσωπική ταπεινότητα που επιβάλει η ενασχόληση με τόσο λεπτές επιστημονικές έννοιες είναι στοιχεία που η κ.Γιαντσή προέβαλε με την στάση της κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, της επεξεργασίας των δεδομένων αλλά και της συγγραφής του τεύχους που κρατάτε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τον καθηγητή Γ. Γρηγορόπουλο της Σχολής Ναυπηγών Μηχανικών, ΕΜΠ, και τον Δ. Λιαροκάπη ΙΔΑΧ ΕΜΠ, για την συνεργασία κατά την διάρκεια των πειραμάτων αλλά και της επεξεργασίας των δεδομένων.

Θα ήθελα επίσης να δείξω την ευγνωμοσύνη μου στο προσωπικό του εργαστηρίου που συνέδραμε στην εκπόνηση των πειραμάτων.

Η εργασία αυτή κλείνει την φοιτητική μου ζωή και με αυτή την ενασχόληση με το φοιτητικό κίνημα με την τυπική έννοια. Η ανεξάρτητη αριστερή παρέμβαση υπήρξε το όχημα μέσα από το οποίο κατάφερα σε βάθος ετών να βρω έδαφος να εκφράσω την θέση μου στην ταξική πάλη, το μεγαλύτερο σχολείο είναι μια γωνία στο Κτίριο Ζ. Τρεις γενιές συντρόφων έχω να ευχαριστήσω, το μεγαλύτερο στάδιο πάλης ωστόσο ξεκινάει, και εκεί ελπίζω να βρεθούμε ξανά, σε μια άλλη γωνία σε ένα άλλο κτίριο.

# Abstract

At this diploma thesis it is presented the experimental investigation of wave pressures on a physical model on a non-conventional wall. The waves we are consider are non-breaking. We have also calculated the parameter of pulsating waves and the wave reflection.

All experiments were conducted at the Laboratory of Harbor Works, in the National Technical University of Athens in January 2015.

The purpose of this thesis is to record the pressure distribution on a non-conventional wall. This record is necessary for the calculation of wave forces, in which we find the constructional features of the sea structures, especially in cases where design guidelines for seawalls often propose the use of a seaward overhanging part at the top of the structure in order to reduce overtopping without further increasing the height of the seawall.

The report begins with the presentation of theoretical base concerning the sea waves, something indispensable for one to indulge in the main part of the thesis. Next are presented the experimental process, the gear and the layouts of everything that was used in the laboratory. Then the results of the investigation are presented in the form of tables and graphs. There is a short correlation of our results with these of the same waves and their impact upon a sloping wall, as well as in correlation with the numerical results of the Sainflou method. The last part consists of the general conclusion of this diploma thesis.

Our assumptions conclude to the fact that the physical model we used encourages the augmentation of hydrodynamic pressures in comparison with the slope wall, or the numerical analysis of Sainflou method. The higher pressures are found in most cases in the pressure gauges outside the water. The record of the pressure formed resembles that of a breaking wave, when we used only non-breaking waves in our experiment.

Such high values pressure presented in front of the specific curve section , leads us to the conclusion that this physical model is not suitable for the needs of a seawall, as walls easier for the process of construction, hence with lower cost, can achieve lower water pressures.

# Περιεχόμενα

## 1. Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή και σκοπός διπλωματικής εργασίας .....	8
1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας .....	9

## 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1.1 Θαλάσσια Υδραυλική.....	10
2.1.2 Γένεση και ανάπτυξη κυματισμών.....	11
2.1.3 Χαρακτηριστικά στοιχεία κυμάτων.....	12

## 2.2 Μαθηματικές Θεωρίες Κυμάτων.....

2.2.1 Εισαγωγικά.....	17
2.2.2 Μη γραμμικές θεωρίες κύματος .....	20
2.2.4 Χαρακτηριστικά της συνάρτησης φάσματος στα βαθειά νερά.....	21
2.2.5 Παλλόμενα Κύματα .....	23
2.2.6 Ανάκλαση θαλάσσιων κυματισμών.....	24

## 2.3 Πιέσεις Θαλάσσιων κυματισμών σε κατακόρυφα μέτωπα.....

2.3.1 Εισαγωγικά.....	25
2.3.2 Γραμμική θεωρία.....	26
2.3.3 Μέθοδος Sainflou.....	27
2.3.4 Μέθοδος Minikin για θραυόμενα κύματα.....	28
2.3.4.1 Μέθοδος Minikin για έργο υψηλής στέψης.....	29
2.3.4.2 Μέθοδος Minikin για έργο χαμηλής στέψης.....	30
2.3.5 Μέθοδος Goda.....	31
2.3.6 Μέθοδος Kirkgöz για κεκλιμένα μέτωπα.....	32
2.3.8 Έρευνα Mamak-Guzel.....	33
2.3.9 Έρευνα Πανεπιστημίου Πατρών, UCL, JRC, FZK, Hanover.....	34

## 2.4 Κυματοθραύστες.....

2.4.1 Η συμβολή του κυματοθραύστη.....	35
2.4.2 Κυματοθραύστες με πρηνή.....	36
2.4.3 Κυματοθραύστες με κατακόρυφο μέτωπο.....	37
2.4.4 Αρχές σχεδιασμού.....	39

## 3. Πειραματικές διατάξεις

3.1 Εγκαταστάσεις και εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκαν .....	41
3.1.1 Δεξαμενή Δ1 του Ε.Λ.Ε .....	41
3.1.2 Συστήματα παραγωγής τυχαίων κυματισμών .....	42
3.1.3 Μετρητές κύματος .....	42
3.1.4 Βαθμονόμηση δεξαμενής και μετρητών κύματος .....	43
3.1.5 Μέτρηση Πιέσης.....	44
3.1.6 Κατασκευή φυσικού προσομοιώματος .....	45
3.1.7 Πειραματική διάταξη .....	47
3.2 Παραγωγή κυμάτων .....	50
3.2.1 Συλλογή μετρήσεων και ανάλυση .....	50

3.2.2 Μετρήσεις κυματικής διαταραχής .....	51
3.2.3 Μετρήσεις πιέσεων .....	52
<b>4. Πειραματικά αποτελέσματα</b>	
4.1 Έλεγχος παλλόμενου κύματος .....	55
4.2 Χρονοσειρές πιέσεων.....	56
4.3 Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές πιέσεων(υδροδυναμικές και υδροστατικές) .....	59
4.3.1 Υδροδυναμικές Δυνάμεις .....	59
4.3.2 Αθροιστικά, Υδροδυναμικές και Υδροστατικές Δυνάμεις.....	75
4.4 Σύγκριση τιμών με αντίστοιχες κεκλιμένου τοίχου και αριθμητική μέθοδο Sainflou.....	91
4.5 Αποτελέσματα ανάκλασης κυμάτων .....	97
<b>5. Συμπεράσματα</b>	
5.1 Πιέσεις .....	101
5.2 Ανάκλαση .....	102
Βιβλιογραφία.....	103
<b>Παραρτήματα</b>	

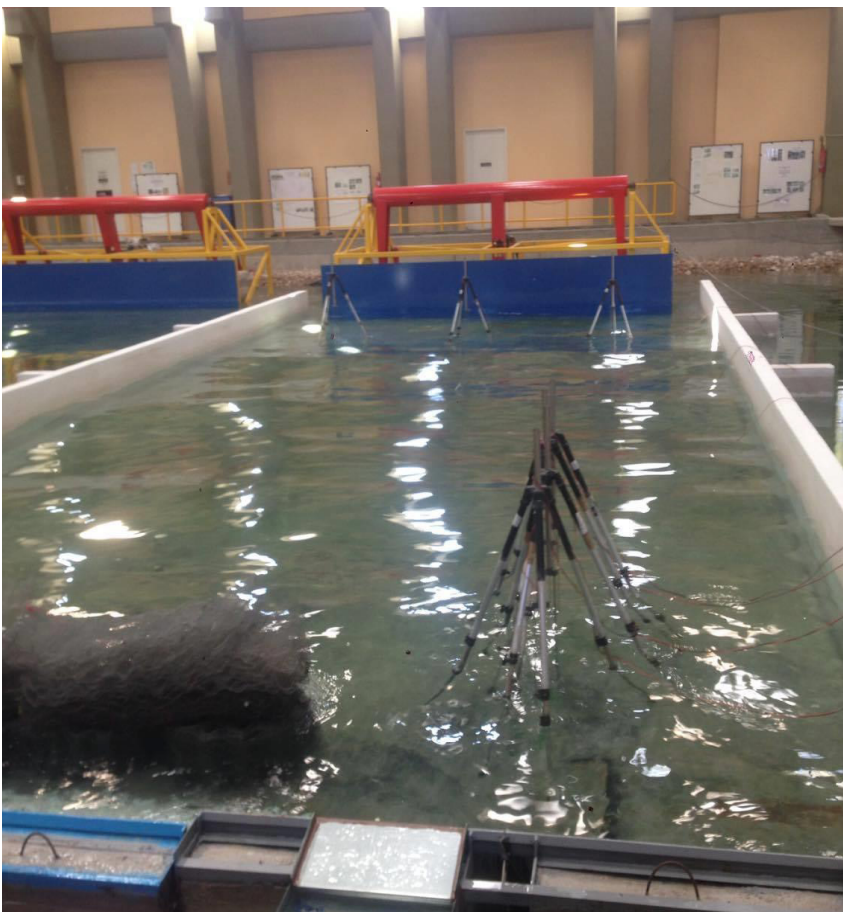
# 1.Εισαγωγή

## 1.1Περιγραφή και σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η πειραματική διερεύνηση σε φυσικό προσομοίωμα των πιέσεων που αναπτύσσονται σε ένα κυματοθραύστη με καμπύλο μέτωπο. Γενικά τα αποτελέσματα του υπολογισμού των πιέσεων είναι η βάση για τον υπολογισμό των συνολικών δυνάμεων που ασκούνται από την κυματική διαταραχή σε ένα κυματοθραύστη. Λαμβάνοντας υπόψιν αυτές τις δυνάμεις γίνεται ο έλεγχος ευστάθειας του λιμενικού κυματοθραύστης ώστε να διαστασιολογηθεί καταλλήλως.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, αφού επιβεβαιώθηκε ότι όλα τα κύματα είναι παλλόμενα, εξετάζεται αποκλειστικά η καταγραφή και η επεξεργασία των αναπτυσσόμενων πιέσεων μη θραυόμενων κυματισμών πάνω στο καμπύλο μέτωπο από κύματα σχεδιασμού με διαφορετικά χαρακτηριστικά. (ύψος κύματος και περίοδος), ώστε να φαίνεται η κατανομή των πιέσεων. Επίσης, γίνεται σύγκριση με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από διπλωματική που έγινε κατά την διάρκεια του ίδιου πειράματος σε μια διαφορετική, κεκλιμένη διατομή. Τα αποτελέσματα και των δύο συγκρίνονται με τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ίδια κυματικά χαρακτηριστικά από την θεωρητική μέθοδο Sainflou.

Τέλος, υπολογίστηκε η ανάκλαση των κυμάτων πάνω στην συγκεκριμένη διατομή που δημιουργούν τα κύματα αυτά.



Εικ. 1.1 : Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας



## 1.2 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής γίνεται μια γενική περιγραφή του αντικειμένου της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά των θεωρητικών στοιχείων που αφορούν τους θαλάσσιους κυματισμούς. Αναπτύσσονται βασικές θεωρίες πιέσεων και παρουσιάζονται βασικές έννοιες, όπως αναγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι πειραματικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομενων. Αρχικά γίνεται έλεγχος παλλόμενου κύματος. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων μέσα από διαγράμματα χρονοσειρών και την παρουσίαση των μεγίστων, ελαχίστων και μέσων τιμών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναγράφονται τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε αυτή η διπλωματική εργασία.

Ακολουθούν παραρτήματα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων βάσει των οποίων καταλήξαμε στα συμπεράσματά μας.

# Κεφάλαιο 2 : Θεωρητικό Υπόβαθρο

## 2.1.1 Θαλάσσια Υδραυλική

Η θαλάσσια υδραυλική είναι ένας από τους σπάνιους κλάδους της ρευστομηχανικής και πιο ειδικά της υδραυλικής, που ερευνά τη φύση, την ισορροπία, και τη διάδοση των κυμάνσεων της θάλασσας καθώς και τις συναφείς, με τις κινήσεις, δυνάμεις που αναπτύσσονται, μετααδίδονται, και ασκούνται πάνω σε φυσικά ή τεχνητά εμπόδια.

Αντίθετα με την υδραυλική του νερού που ερευνά τις κινήσεις που συνοδεύονται με ροή μορίων ή μεταφορά υγρών μαζών, η θαλάσσια υδραυλική, κυρίως πραγματεύεται τις κινήσεις του θαλάσσιου νερού οι οποίες θεωρούνται καθαρές κυμάνσεις.

Η ιδιάζουσα αυτή κίνηση της θάλασσας, που είναι μια κύμανση μεταδόσεως μόνο ενέργειας και όχι ύλης, οφείλεται αποκλειστικά στο αίτιο διέγερσης των θαλάσσιων μαζών. Η κίνηση συνεπώς της θάλασσας αποτελεί ένα ξεχωριστό φυσικό φαινόμενο.

Με την επίδραση δυνάμεων που είναι ικανές να προσβάλλουν άμεσα ή έμμεσα τη θαλάσσια μάζα μιας περιοχής τα μόρια της θάλασσας θέτονται αναγκαστικά σε κίνηση.

Στη φύση υπάρχουν διάφορες μορφές διαταραχής της θαλάσσιας μάζας, που εξαρτώνται από το γενεσιουργό αίτιο που προέρχεται από εξωτερικές ή εσωτερικές δυνάμεις. Πρέπει να σημειώσουμε ότι οι διαταραχές της θάλασσας είναι αναγκαστικά κυματοειδείς.

Διαταραχή της θάλασσας που οφείλεται σε εσωτερικές δυνάμεις μπορεί να προκληθεί από διαφορά θερμοκρασίας ή αλμυρότητας των διάφορων γειτονικών θαλάσσιων μαζών.

Διαταραχή που οφείλεται σε εξωτερικές δυνάμεις μπορεί να προκληθεί από την μεταβολή των μετεωρολογικών στοιχείων, από κάποια σεισμική έκρηξη στον βυθό, από την αλληλεπίδραση έλξης μεταξύ Γης και ουράνιων σωμάτων. Όσον αφορά το τελευταίο παράδειγμα, οφείλει να σημειωθεί ότι οι ταλαντώσεις που προκαλούνται από αυτό το φαινόμενο προκαλούν την παλίρροιας, μοναδική περίπτωση όπου τα μόρια της θάλασσας κινούνται οριζόντια από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα.

Η συνηθέστερη ωστόσο, άρα και σπουδαιότερη κυματοειδής διαταραχή οφείλεται στην δράση των ανέμων οι οποίοι κατά την διάρκεια του έτους επηρεάζουν ολόκληρη την υδρόγειο.

Αυτή είναι και η διαταραχή που μας απασχολεί κυρίως στην αντιμετώπισή της, όλες οι μελέτες που ακολουθούν προσπαθούν να περιγράψουν την κυματοειδή συμπεριφορά ως επίπτωση αυτής της διαταραχής.

Εκτός από τις γενεσιουργές δυνάμεις υπάρχουν και οι δυνάμεις επαναφοράς, οι οποίες τείνουν να αποκαταστήσουν την ισορροπία των υγρών μορίων. Τέτοιες δυνάμεις είναι η δύναμη Coriolis (λόγω περιστροφής της γης) και η επιφανειακή τάση. Η κυριότερη επαναφέρουσα δύναμη είναι η έλξη της βαρύτητας της γης.

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

Κατά τη διάδοση ενός κύματος στη θάλασσα, τα σωματίδια του νερού που συμμετέχουν στην κίνησή του, κινούνται γύρω από τη Σ.Η.Υ.

Η κίνηση αυτή μπορεί να προσεγγισθεί με επαλληλία απλών αρμονικών συναρτήσεων ως προς  $x$  και  $t$ . Με τη θεωρία των κυμάτων και την κίνηση των σωματιδίων έχουν ασχοληθεί πολλοί ερευνητές και επιστήμονες με στόχο την ποσοτική περιγραφή των μεγεθών του πεδίου ροής τους (ταχύτητα, πίεση).

## 2.1.2 Γένεση και ανάπτυξη κυματισμών

Η κυριότερη γενεσιουργός δύναμη ενός πεδίου κυμάτων στην ανοιχτή θάλασσα είναι η τυρβώδης ροή του ανέμου. Σύμφωνα με τις επικρατούσες θεωρίες των Philips και Miles, η κυματογένεση ξεκινά με γραμμική αύξηση του κύματος λόγω συντονισμού με τις τυρβώδεις διαταραχές πίεσης και τριβής στην επιφάνεια της θάλασσας και συνεχίζει με εκθετικό ρυθμό ανάπτυξης λόγω υδροδυναμικής αστάθειας.

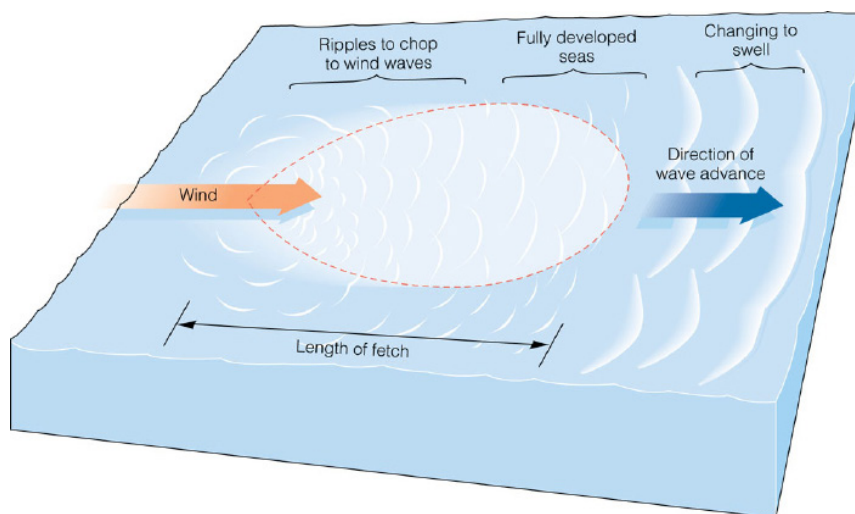
Αναλυτικά, με την επίδραση του ανέμου στην ελεύθερη θαλάσσια επιφάνεια αναπτύσσονται δυνάμεις πίεσης και τριβής, οι οποίες θέτουν σε κίνηση τα τέσσερα μόρια του νερού. Οι κινήσεις των μορίων του νερού προκαλούν ανωμαλίες στη θαλάσσια επιφάνεια που διαρκώς μεγαλώνουν με τη ροή του ανέμου. Μετά την ανάπτυξη των ανωμαλιών αρχίζει η μεταφορά ενέργειας από το πεδίο ροής του ανέμου στο πεδίο ροής των κυμάτων. Μέρος της ενέργειας αυτής δημιουργεί την κυματοειδή κίνηση των υγρών σωματιδίων.

Προοδευτικά, η ενέργεια που μεταβιβάζεται από τις αέριες στις θαλάσσιες μάζες έχει σαν συνέπεια τα μόρια του νερού να κινούνται ταχύτερα και η διαταραχή της θάλασσας να κινείται προς όλες τις διευθύνσεις και κυρίως κατά την κυρίαρχη διεύθυνση πνοής του ανέμου.

Τα στοιχεία του ανέμου που ενδιαφέρουν είναι η διεύθυνση από την οποία πνέει, η μέση ταχύτητά του ( $U$ ) στο χρονικό διάστημα ανάπτυξης των κυμάτων (ένταση) και τέλος η διάρκεια πνοής του ( $tD$ ) που εκφράζεται σε ώρες (hr).

Η δύναμη πνοής του ανέμου κατατάσσεται σύμφωνα με την κλίμακα Beaufort. Η ταχύτητα του ανέμου εκφράζεται είτε σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec), είτε σε χιλιόμετρα ανά ώρα (km/hr) ή σε μίλια ανά ώρα (miles/hr). Κατά σύμβαση τα ανεμόμετρα των μετεωρολογικών σταθμών μετρούν την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10m πάνω από την επιφάνεια αναφοράς. Στην περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου έχει μετρηθεί σε διαφορετικό ύψος  $z$  πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, μπορεί να γίνει αναγωγή στο υψόμετρο χρησιμοποιώντας τη σχέση 2.1 :

$$U_{10} = U(z) \left( \frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (2.1)$$



Εικόνα 2.1: Κυματογένεση εξαιτίας της πνοής του ανέμου(Πηγή : <http://ksuweb.kennesaw.edu>)

## 2.1.3 Χαρακτηριστικά στοιχεία κυμάτων

Τα κύματα διαδίδονται στην ανοιχτή θάλασσα και κατευθύνονται προς τις πλησιέστερες ακτές. Διακρίνονται σε δισδιάστατα και τρισδιάστατα ανάλογα με τις τροχιές των ταλαντούμενων σωματιδίων, οι οποίες μπορεί να είναι επίπεδες και τρισδιάστατες αντίστοιχα. Ένα κύμα που μεταδίδεται σε μία διεύθυνση ονομάζεται προοδευτικό κύμα, ενώ από την επαλληλία δύο ή περισσότερων προοδευτικών κυμάτων προκύπτουν κύματα πολύπλοκης υφής. Μονοχρωματικό ονομάζεται το κύμα που έχει μία μόνο συχνότητα.

Τα κυριότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά δισδιάστατων μονοχρωματικών προοδευτικών κυμάτων βαρύτητας ορίζονται αναλυτικά ως εξής :

- Ύψος του κύματος (m) λέγεται η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κορυφής και της κοιλίας του κύματος και συμβολίζεται με H.
- Μήκος του κύματος (m) καλείται η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλιών της ταλάντωσης και μετράται κατά μήκος της διεύθυνσης μετάδοσης του κύματος. Συμβολίζεται με L.
- Περίοδος του κύματος (sec) είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ της διέλευσης δύο διαδοχικών κορυφών κύματος από την ίδια θέση ή ο χρόνος μιας πλήρους ταλάντωσης των σωματιδίων. Συμβολίζεται με T.
- Κυκλική συχνότητα του κύματος (Hz) είναι το αντίστροφο της περιόδου του κύματος και συμβολίζεται με  $f$  ( $=1/T$ ). Η γωνιακή συχνότητα του κύματος  $\sigma$  ή  $\omega$  (rad/sec) σχετίζεται με την περίοδο ή την κυκλική συχνότητα με τη σχέση  $\omega=2\pi/T=2\pi f$

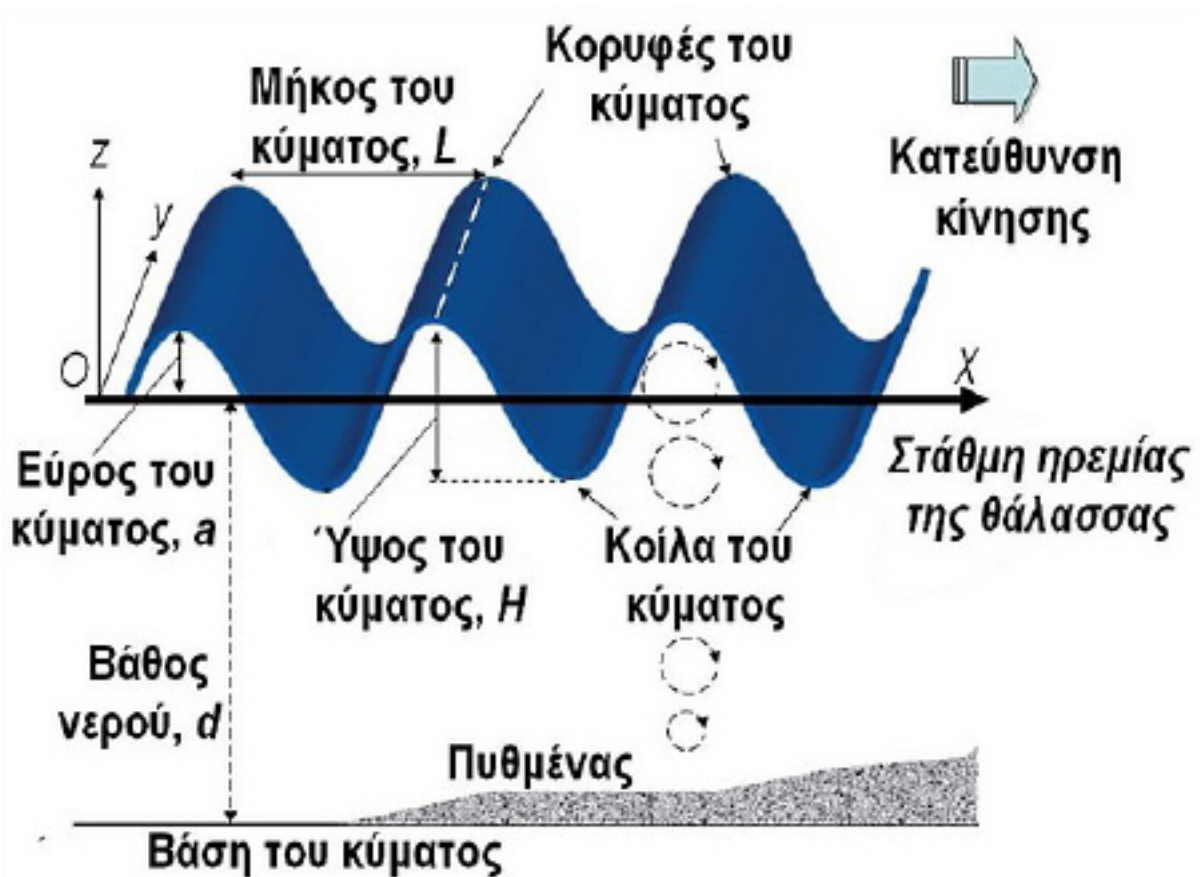
Άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά για τον καθορισμό του κύματος είναι τα παρακάτω:

- Διεύθυνση μετάδοσης του κύματος είναι η διεύθυνση κατά την οποία ταξιδεύουν οι κορυφές του.
- Ταχύτητα μετάδοσης του κύματος (m/sec) ή ταχύτητα φάσης είναι η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύουν οι κορυφές του κύματος κατά τη διεύθυνσή του. Συμβολίζεται με C και είναι εξ ορισμού  $C=L/T$
- Καμπυλότητα ή κυρτότητα του κύματος λέγεται ο λόγος του ύψους κύματος προς το μήκος κύματος και συμβολίζεται με  $\gamma = H/L$
- Κορυφή του κύματος καλείται το υψηλότερο σημείο του πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία.
- Κοιλία του κύματος καλείται το χαμηλότερο σημείο κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία.
- Διατομή του κύματος είναι η κατακόρυφη διατομή του κατά τη διεύθυνση μετάδοσης.
- Μέτωπο του κύματος είναι ένα επίπεδο επαπτόμενο στη διατομή του κύματος.
- Βάθος νερού (m) είναι η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας σε ηρεμία πάνω από τον πυθμένα και συμβολίζεται με d.
- Σχετικό βάθος νερού ορίζεται ο λόγος  $d/L$ .

- Στάθμη Ηρεμούντος Ύδατος (Σ.Η.Υ) είναι το οριζόντιο επίπεδο της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας σε ηρεμία.
- Αριθμός κύματος συμβολίζεται με  $k$  και ισούται με  $k = 2\pi/L$

Η κίνηση των σωματιδίων του νερού εξαρτάται από το μήκος του κύματος, το ύψος του κύματος αλλά και το βάθος του νερού. Το βάθος του νερού σε σχέση με το μήκος κύματος έχει μεγάλη επιρροή στα χαρακτηριστικά των κυμάτων. Στις θεωρίες των κυμάτων, έχει επικρατήσει ο διαχωρισμός των περιοχών διάδοσης του κύματος ανάλογα με τη τιμή του σχετικού βάθους  $d/L$ . Θεωρούνται λοιπόν βαθιά νερά όταν  $d/L > 0.5$ , ενδιάμεσα νερά όταν  $0.04 < d/L < 0.5$  και ρηχά (ή αβαθή) νερά όταν  $d/L < 0.04$ .

Στα βαθιά νερά η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων εξαρτάται μόνο από την περίοδό τους. Οι τροχιές που διαγράφουν τα υγρά σωματίδια είναι κυκλικές και η ακτίνα τους μειώνεται εκθετικά με το βάθος. Στα ενδιάμεσα νερά η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων εξαρτάται από την περίοδό τους και από το βάθος της θάλασσας, ενώ στα ρηχά (ή αβαθή) νερά εξαρτάται μόνο από το βάθος του πυθμένα. Στα ενδιάμεσα και ρηχά νερά οι τροχιές των υγρών σωματιδίων γίνονται ελλειπτικές λόγω επίδρασης του στερεού ορίου. Ο θαλάσσιος πυθμένας επιδρά στην υφή, τη μορφή και τη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων. Για βάθη μικρότερα από το μισό μήκος κύματος, το κύμα υφίσταται παραμορφώσεις



Εικ. 2.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία κυμάτων(Πηγή : Γεωδαισίας Δείγματα & Παραδείγματα Τεύχος 2)

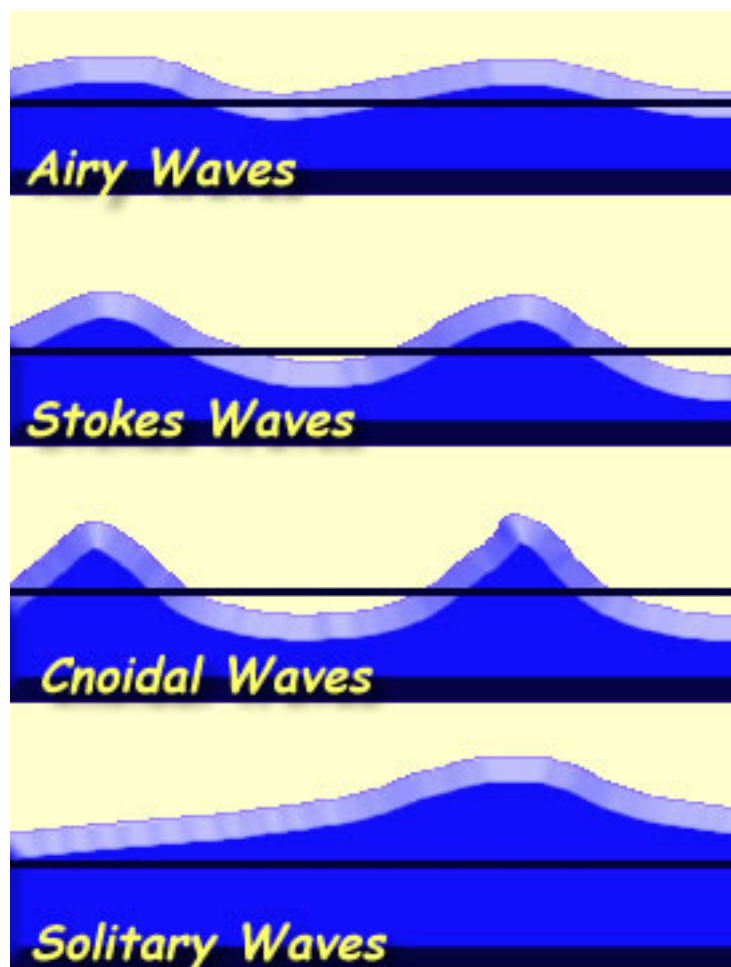
## 2.1 : Μαθηματικές Θεωρίες Κυμάτων

### 2.1.1 Εισαγωγικά

Ο Gerstner (1802) παρουσίασε την πρώτη θεωρία της διάδοσης των κυμάτων σε βαθιά νερά (θεωρητικά άπειρο βάθος). Πήρε τις εξισώσεις κίνησης της ροής στον τύπο των εξισώσεων Lagrange και χρησιμοποίησε την αρχή διατήρησης της μάζας. Θεωρώντας σταθερές τις πιέσεις πάνω στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας και μηδενικές τις κινήσεις των μορίων σε μεγάλα βάθη εξήγαγε μαθηματικές σχέσεις που συνδέουν την περίοδο και το μήκος ενός κύματος ορισμένου ύψους.

Η μέθοδος βασίζεται στην καταγραφή της μετατόπισης των σωματιδίων του ρευστού ώστε να καταγράφονται οι τροχιές τους, από όπου βγαίνουν συμπεράσματα για τη διεύθυνση και την ταχύτητα διάδοσης του κύματος, η οποία εξαρτάται μόνο από την περίοδο του κύματος. Οι τροχιές που διαγράφουν τα υγρά σωματίδια ικανοποιούν τις εξισώσεις της τροχοειδούς καμπύλης και είναι σχεδόν κυκλικές. Το κύμα ονομάστηκε κύμα Gerstner ή κυκλικό τροχοειδές κύμα ή κυκλικό κυλινδρικό κύμα.

Με τη θεωρία διάδοσης του κύματος σε πεπερασμένο αλλά σταθερό βάθος ασχολήθηκε ο Airy (1801-1892) και η μελέτη αυτή που παρουσιάστηκε το 1845 είναι σήμερα γνωστή ως θεωρία Airy-Laplace. Ο Airy βασίστηκε στις εξισώσεις κίνησης του Euler για ιδεατά ρευστά (ασυμπίεστα και μη συνεκτικά) και για διαδιδόμενα περιοδικά κύματα μικρού ύψους σε σχέση με το μήκος τους. Με τη μέθοδο αυτή καταγράφονται οι ταχύτητες των σωματιδίων του νερού με βάση τις οποίες παράγονται οι γραμμές ροής, οι οποίες δείχνουν τη διεύθυνση και την ταχύτητα σε κάθε σημείο του ρευστού, η οποία εξαρτάται από την περίοδο του κύματος και το βάθος του πυθμένα. Οι τροχιές της κίνησης των μορίων της θάλασσας για κύματα που διαδίδονται σε πεπερασμένα βάθη είναι ελλειπτικές. Το κύμα καλείται ελλειπτικό τροχοειδές ή ελλειπτικό κυλινδρικό κύμα. Το κυκλικό τροχοειδές και το ελλειπτικό τροχοειδές κύμα λέγονται και στροβιλιά κύματα.



Εικ. 2.3 : Θεωρίες διάδοσης κύματος  
Πηγή (w3.salemstate.edu)

Η θεωρία του τροχοειδούς κύματος του Gerstner αντικαταστάθηκε από τη θεωρία του Stokes (1819-1903). Η θεωρία αυτή, η οποία έγινε γνωστή το 1880, αποκλείει τη στροβιλότητα του κύματος. Η αστρόβιλη κίνηση προκύπτει από το γεγονός ότι δεν είναι δυνατή η ύπαρξη μηχανισμού δημιουργίας στροβίλων στην κίνηση ενός τέλει ρευστού, εφόσον η κίνηση άρχισε από την κατάσταση ηρεμίας (2). Η θεωρία της διάδοσης του αστρόβιλου κύματος ονομάστηκε αστρόβιλη και το κύμα αστρόβιλο κύμα ή κύμα του Stokes. Η μαθηματική ανάλυση του προβλήματος είναι πολύπλοκη και ανήκει στη θεωρία των δυναμικών πεδίων ροής. Αφού η ροή είναι αστρόβιλη, η ταχύτητα  $V=(u,v,w)$  μπορεί να εκφραστεί με τη χρήση της συνάρτησης του δυναμικού  $\Phi$ . Έστω ότι στον τρισδιάστατο χώρο  $(x, y, z)$  το κύμα διαδίδεται κατά τον άξονα  $x$ , ο οποίος συμπίπτει με την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας και ο άξονας  $z$  είναι κατακόρυφος και θετικός προς τα πάνω. Έτσι λοιπόν, η εξίσωση της ελεύθερης επιφάνειας θα είναι της μορφής  $z = \eta(x,y,t)$ . Το δυναμικό ταχυτήτων είναι μία συνάρτηση  $\Phi(x,y,z,t)$  από την οποία προκύπτουν οι συνιστώσες της ταχύτητας και η πίεση του ρευστού από τις σχέσεις 2.2.,2.3,2.4,2.5 :

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad (2.2)$$

$$v = \frac{\partial \Phi}{\partial y} \quad (2.3)$$

$$w = \frac{\partial \Phi}{\partial z} \quad (2.4)$$

$$p = -\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} - \frac{1}{2} \rho (u^2 + v^2 + w^2) - \rho g z, \text{ (εξίσωση Bernoulli)} \quad (2.5)$$

όπου  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας,  $p$  η πίεση και  $\rho$  η πυκνότητα του ρευστού. Γίνονται οι παραδοχές ότι οι ταλαντώσεις των σωματιδίων είναι μόνιμες χωρίς απόσβεση και ότι το ρευστό στο οποίο πραγματοποιούνται οι ταλαντώσεις είναι ιδεατό και ασυμπίεστο με ελεύθερη επιφάνεια. Εφόσον το ρευστό είναι ασυμπίεστο, ισχύει η εξίσωση Laplace ή εξίσωση δυναμικού (αρχή διατήρησης της μάζας) 2.6:

$$\Delta \Phi = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.6)$$

Για τη λύση του προβλήματος είναι απαραίτητες κάποιες οριακές συνθήκες για το πεδίο ροής. Η πρώτη συνοριακή συνθήκη στην ελεύθερη επιφάνεια είναι η κινηματική και δηλώνει ότι ένα σωματίδιο της Ε.Ε θα παραμένει διαρκώς εκεί:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{d\eta(x,y,t)}{dt} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{dy}{dt} \quad (2.7)$$

Η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας του ρευστού είναι :

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (2.8)$$

Και αντικαθιστώντας την 2.6 στην 2.7, κάνοντας χρήση των προηγούμενων εξισώσεων, η κινηματική συνθήκη γράφεται :

$$-\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad (2.9)$$

Η δεύτερη συνοριακή συνθήκη στην Ε.Ε είναι η δυναμική. Με την παραδοχή ότι η πίεση στην Ε.Ε είναι ίση με την ατμοσφαιρική και θεωρώντας την ίση με μηδέν, η εξίσωση Bernoulli παίρνει τη μορφή :

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2) + g \eta = 0 \quad (2.10)$$

Η τρίτη οριακή συνθήκη αναφέρεται στο στερεό όριο, δηλαδή στον πυθμένα, όπου η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας ( $w$ ) ισούται με μηδέν και θέτοντας  $z = -\eta(x,y)$  στην κινηματική συνθήκη προκύπτει:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad (2.11)$$

Η κινηματική και η δυναμική συνθήκη της Ε.Ε δεν είναι γραμμικές σχέσεις. Προκειμένου να δοθεί λύση στο πρόβλημα, γίνεται μία προσπάθεια απλοποίησης με την παραδοχή ότι :

$$\nabla \Phi = u + v + w = 0 \quad (2.12)$$

και γραμμικοποιούνται έτσι οι οριακές συνθήκες:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -g \eta \quad (2.14)$$

Θεωρώντας γραμμικές τις οριακές συνθήκες ροής στην ελεύθερη επιφάνεια και τον πυθμένα (επίπεδες επιφάνειες) το πρόβλημα γίνεται πιο απλό, όμως πάλι δεν μπορεί να προκύψει αναλυτική λύση για τη συνάρτηση του δυναμικού. Για αυτό γίνεται και δεύτερη προσπάθεια απλοποίησης θεωρώντας ότι η συνάρτηση  $\Phi$  παίρνει τη μορφή δυναμοσειράς ως προς μία μικρή παράμετρο  $\varepsilon$  :

$$\Phi = \varepsilon^0 \Phi_0 + \varepsilon^1 \Phi_1 + \varepsilon^2 \Phi_2 + \varepsilon^3 \Phi_3 + \dots \quad (2.15)$$

όπου  $\varepsilon$  είναι ο λόγος  $H/L (= \gamma)$  ή  $H/d$ . Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι διάφορες μαθηματικές θεωρίες κυμάτων, γραμμικές και μη γραμμικές, οι οποίες κατατάσσονται σύμφωνα με τη χρησιμοποιούμενη παράμετρο  $\varepsilon$ . Το πεδίο εφαρμογής τους διαφέρει και εξαρτάται από το σχετικό βάθος  $d/L$ .



## 2.2.2: Γραμμική θεωρία κύματος απειροστού μήκους (Θεωρία Airy ή Stokes 1ης Τάξης)

Από την υπόθεση ότι κατά τη διάδοση του κύματος η επιφάνειά του αποκλίνει ελάχιστα από την ελεύθερη επιφάνεια μιας ομοιόμορφης ροής, προκύπτει η γραμμική θεωρία του κύματος απειροστού (μικρού) ύψους ( $(H/2)/L \ll 1$ ). Η γραμμική θεωρία κύματος απειροστού ύψους είναι επίσης γνωστή ως θεωρία Airy ή θεωρία Stokes 1ης τάξης. Με τον όρο γραμμικοί χαρακτηρίζονται οι κυματισμοί των οποίων το προφίλ περιγράφεται από μία αρμονική (ημιτονοειδή ή συνημιτονοειδή) συνάρτηση και παρουσιάζει συμμετρία τόσο στον οριζόντιο (Ox) όσο και στον κατακόρυφο άξονα (Oz). Βασίζεται στην παραδοχή μικρών τιμών των λόγων  $H/d$  και  $H/L$  (μικρές παράμετροι  $\epsilon$ ) για μικρά ύψη κύματος και μπορεί να εφαρμοστεί για όλες τις τιμές του σχετικού βάθους  $d/L$ .

Εξετάζεται το δισδιάστατο πρόβλημα  $(x,z)$  στην περίπτωση οριζόντιου πυθμένα πεπερασμένου και σταθερού βάθους  $d$ . Οι οριακές συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται από τη συνάρτηση του δυναμικού  $\Phi(x,z,t)$  είναι :

- ο Η αρχή διατήρησης της μάζας που εκφράζεται από την εξίσωση Laplace
- ο Η κινηματική συνοριακή συνθήκη στην ελεύθερη επιφάνεια  $z=\eta(x,t)$
- ο Η δυναμική συνοριακή συνθήκη στην ελεύθερη επιφάνεια  $z=\eta(x,t)$
- ο Η κινηματική οριακή συνθήκη του στερεού ορίου (πάνω στον οριζόντιο και σταθερό πυθμένα)

$$\Delta\Phi = \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (\text{εξίσωση Laplace}) \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial z} = \frac{\partial\eta(x,t)}{\partial t} \quad (\text{κινηματική συνθήκη}) \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial t} = -g\eta(x,t) \quad (\text{δυναμική συνθήκη Bernoulli}) \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial z} = 0 \quad (\text{κινηματική συνθήκη στερεού ορίου}) \quad (2.19)$$

Αντικαθιστώντας τη δυναμική 2.18 στην κινητική συνθήκη της Ε.Ε 2.19, προκύπτει :

$$\frac{1}{g} \frac{\partial^2\Phi}{\partial t^2} + \frac{\partial\Phi}{\partial z} = 0 \quad (2.20)$$

Στη γραμμική θεωρία, για τον προσδιορισμό της συνάρτησης δυναμικού αρκεί μόνο ο πρώτος προσθετός  $\Phi(0)$  του αναπτύγματος της δυναμοσειράς  $\Phi$ , που να ικανοποιεί ταυτόχρονα την εξίσωση Laplace, τη συνθήκη στερεού ορίου στη Σ.Η.Υ όπου  $z=0$  και την εξίσωση Laplace στον πυθμένα όπου  $z=-d$ . Οι συνθήκες αυτές αποτελούν ένα σύστημα γραμμικών διαφορικών εξισώσεων, για την επίλυση του οποίου εφαρμόζεται η μέθοδος χωρισμού των μεταβλητών ή μέθοδος Fourier, σύμφωνα με την οποία το δυναμικό  $\Phi$  θα είναι της μορφής :

$$\Phi(x,z,t) = \Phi_1(x)\Phi_2(z)\Phi_3(t) \quad (2.21)$$

Αντικαθιστώντας την παραδοχή 2.21 στη μερική διαφορική εξίσωση Laplace 2.16, προκύπτουν οι ακόλουθες συνήθεις διαφορικές εξισώσεις :

$$\frac{\Phi_1''}{\Phi_1} = -\frac{\Phi_2''}{\Phi_2} = -\lambda^2 \quad (2.22)$$

όπου  $\lambda$  η σταθερά διαχωρισμού του προβλήματος. Λύνοντας το πρόβλημα των ομογενών συνοριακών συνθηκών, προκύπτει τελικά η γενική λύση της συνάρτησης του δυναμικού 2.23 η οποία είναι αρμονική ως προς το χρόνο  $t$  και την οριζόντια απόσταση  $x$  :

$$\Phi = \frac{H g}{2 \omega} \frac{\cosh(k(d+z))}{\cosh(kd)} \sin(kx - \omega t) \quad (2.23)$$

Όπως αναφέρθηκε,  $H/2$  είναι το εύρος ταλάντωσης ή αλλιώς η μέγιστη απομάκρυνση της ελεύθερης επιφάνειας πάνω ή κάτω από τη Σ.Η.Υ και  $\omega$  η κυκλική συχνότητα (ή  $\sigma =$  σταθερά περιοδικότητας) του κύματος ( $=2\pi/T$ ). Η εξίσωση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού είναι περιοδική ως προς  $x$  και  $t$  και δίνεται από τη σχέση :

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (2.24)$$

όπου  $k$  είναι ο αριθμός κύματος ( $2\pi/L$ ). Αντικαθιστώντας τις σχέσεις των συναρτήσεων δυναμικού και ελεύθερης επιφάνειας στην κινηματική συνθήκη της ελεύθερης επιφάνειας προκύπτει η εξίσωση διασποράς (ή διακύμανσης), η οποία συσχετίζει το μήκος κύματος, την περίοδο και το βάθος του πυθμένα :

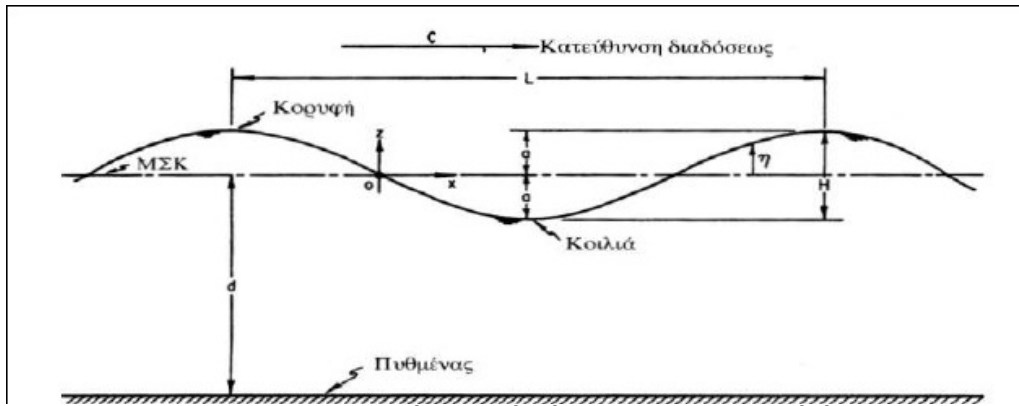
$$\sigma^2 = \omega^2 = g k \tanh(kd) \quad (2.25)$$

Η εξίσωση διασποράς δηλώνει το διαχωρισμό των κυμάτων ανάλογα με τη συχνότητά τους (2). Δηλαδή, κύματα διαφορετικής συχνότητας (ή περιόδου) έχουν διαφορετικές ταχύτητες φάσης, με αποτέλεσμα να ταξιδεύουν με διαφορετικό ρυθμό και να διασπείρονται χωρικά. Επειδή  $C = L/T$ ,  $k = 2\pi/L$  και  $\omega = 2\pi/T$ , η εξίσωση διασποράς δίνει την ταχύτητα μετάδοσης ή ταχύτητα φάσης του κύματος σαν αύξουσα συνάρτηση της περιόδου του κύματος :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh(kd) \quad (2.26)$$

και την έκφραση για το μήκος κύματος:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kd) \quad (2.27)$$



Εικ. 2.4 : Περιοδική μορφή κύματος απείροστου ύψους  
(Πηγή Κ.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2009)

Η κίνηση των μορίων του νερού είναι μία απλή αρμονική συνάρτηση του χρόνου. Οι συνιστώσες της ταχύτητας των υγρών σωματιδίων  $u$  και  $w$ , κατά τη διεύθυνση  $x$  και  $z$  αντίστοιχα, προκύπτουν παραγωγίζοντας τη συνάρτηση δυναμικού  $\Phi$  :

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{\pi H \cosh(k(d+z))}{T \sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (2.28)$$

$$w = \frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{\pi H \sinh(k(d+z))}{T \sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) \quad (2.29)$$

Η μεταβλητή που εκφράζει την απομάκρυνση των σωματιδίων που εκτελούν ταλάντωση από τη θέση ισορροπίας τους σε κάποιο δεδομένο χρόνο ονομάζεται φάση του κύματος και αντιστοιχεί στο τόξο  $(kx - \omega t)$ . Παρατηρείται ότι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας  $u$  έχει την ίδια φάση με την ελεύθερη επιφάνεια  $\eta$ , ενώ η κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας  $w$  παρουσιάζει διαφορά φάσης  $(\pi/2)$  με την ελεύθερη επιφάνεια.

Η ενέργεια που φέρει το κύμα στη μονάδα μήκους της κορυφογραμμής του είναι δυναμική και κινητική. Η δυναμική ενέργεια του κύματος λόγω θέσης, στο μήκος του κύματος είναι :

$$E_p = \frac{1}{16} \rho g H^2 L \quad (2.30)$$

όπου  $\rho$  η πυκνότητα του νερού, και η ολική κινητική του ενέργεια είναι επίσης :

$$E_K = \frac{1}{16} \rho g H^2 L \quad (2.31)$$

Συνεπώς, η ολική ενέργεια ισούται με το άθροισμα των επιμέρους ενεργειών και είναι:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 L \quad (2.32)$$

Η πυκνότητα ενέργειας του κύματος ορίζεται ως η ολική του ενέργεια ανά μονάδα μήκους :

$$\bar{E} = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (2.33)$$

### 2.2.3: Μη γραμμικές θεωρίες κύματος

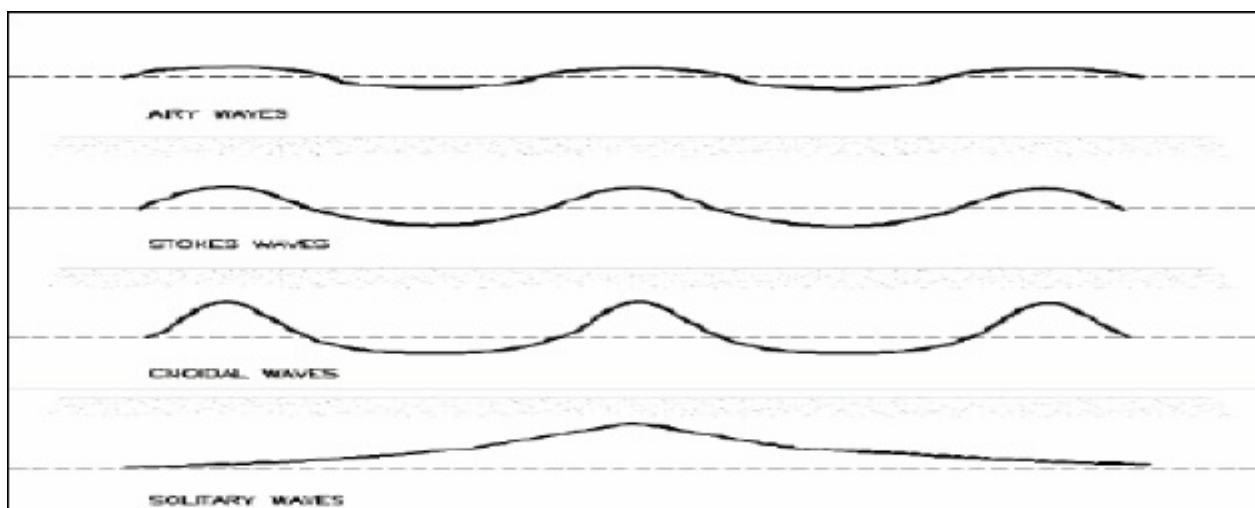
Από τη γραμμική θεωρία κύματος απειροστού ύψους προκύπτουν τα χαρακτηριστικά των κυμάτων, το προφίλ των οποίων είναι μια ημιτονοειδής ή συνημιτονοειδής καμπύλη. Τα κύματα όμως στα βαθιά νερά μπορεί να έχουν μεγαλύτερα ύψη. Επιπλέον, καθώς προσεγγίζουν την ακτή η ελεύθερη επιφάνεια και οι τροχιές των μορίων υφίστανται παραμορφώσεις. Στην περίπτωση αυτή η γραμμική θεωρία δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Για την περιγραφή των μη γραμμικών κυματισμών πεπερασμένου ύψους έχουν αναπτυχθεί πολλές θεωρίες. Τέτοιες είναι η θεωρία του Stokes 2ης, 3ης και ανωτέρων τάξεων (4ης και 5ης ) στην οποία χρησιμοποιείται σαν μικρή παράμετρος  $\epsilon$  ο λόγος  $H/L$  και η θεωρία κύματος σε μικρό βάθος νερού (ή θεωρία της υδροστατικής πίεσης) στην οποία χρησιμοποιείται σαν παράμετρος ο λόγος  $d/L$ .

Επιπλέον, η θεωρία του μοναχικού κύματος στην οποία χρησιμοποιείται ένα αριθμητικό μοντέλο τύπου Boussinesq (1872) και η θεωρία ελλειπτικού κύματος (cnoidal) των Korteweg and de Vries (1895). Πρόσφατα, έχουν αναπτυχθεί επίσης οι «θεωρίες ροϊκής συνάρτησης» (stream function theories) οι οποίες αναπτύσσουν σε πεπερασμένες σειρές Fourier τη ροϊκή συνάρτηση  $\Psi$ .

Όλες οι θεωρίες αναφέρονται σε συμμετρικά προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας ως προς την κατακόρυφο όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5. Το κύμα του Stokes είναι περιοδικό κύμα σε βαθιά και ενδιάμεσα νερά και κάθε τάξη εισάγει πρόσθετους όρους, που κάθε ένας βελτιώνει την ακρίβεια του προηγούμενου. Το ελλειπτικό κύμα ανήκει στα μακρά περιοδικά κύματα σε ενδιάμεσα και ρηχά νερά.

Οι θεωρίες του μοναχικού κύματος, του κύματος σε μικρό βάθος νερού και του ελλειπτικού κύματος εφαρμόζονται για μικρά σχετικά βάθη. Αντίθετα με τα υπόλοιπα, το μοναχικό κύμα (solitary wave) δεν είναι περιοδικό όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.5.

Έχει αποδειχτεί ότι η αστρόβιλη θεωρία δίνει ακριβέστερες λύσεις στα προβλήματα μη γραμμικών κυμάτων πεπερασμένου ύψους. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η θεωρία 2ης και 3ης τάξης.



Εικ. 2.5 : Προφίλ ελεύθερης επιφάνειας κύματος Airy, κύματος Stokes 2ης τάξης, ελλειπτικού και μοναχικού κύματος (Πηγή Κ.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2009)

## 2.2.4 : Χαρακτηριστικά της συνάρτησης φάσματος στα βαθιά νερά

Ιδιαίτερες προσπάθειες καταβάλλονται στα τελευταία χρόνια για τον προσδιορισμό με μετρήσεις των συναρτήσεων  $S(f)$  σε διάφορες περιοχές της υδρογείου. Οι περισσότερες προσπάθειες συγκεντρώνονται στην περιοχή των βαθιών νερών, όπου η επίδραση του πυθμένα στη θαλάσσια επιφάνεια είναι μηδενική και κατά συνέπεια το φάσμα είναι κατ' αρχήν συνάρτηση μόνο των αναπτυσσόμενων πελάγους και των πνεόντων ανέμων.

Έχουν προταθεί μέχρι σήμερα διάφορες μορφές συναρτήσεων  $S(f)$ . Οι πιο χαρακτηριστικές έχουν την παρακάτω μορφή :

$$S(f) = C_1 f^{-l} \exp(-C_2 f^{-n}) \quad (2.34)$$

Όπου  $K$ ,  $KM$ ,  $l$  και  $n$  είναι εμπειρικοί συντελεστές. Συνήθως η  $KM$  είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου  $U_y$ , σε στάθμη  $y$ . Η μέγιστη πυκνότητα ενέργειας βρίσκεται σε συχνότητα  $f_p$ . Συχνά οι συναρτήσεις πυκνότητας φάσματος δίνονται με μεταβλητή  $\sigma (= 2\pi f)$  αντί της  $f$ .

Στις υψηλές συχνότητες ο εκθετικός όρος στις παραπάνω εξισώσεις τείνει στη μονάδα. Παλαιότερα επικρατούσε η άποψη ότι σε αυτές τις περιοχές η  $S$  ήταν συνάρτηση της  $f^{-7}$  (Darbyshire) ή της  $f^{-6}$  (Neumann). Οι Rolland και Fischer τροποποίησαν τον εκθέτη σε  $-5$ , τιμή που επιβεβαιώθηκε από πειραματικά και θεωρητικά αποτελέσματα του Phillips. Ο Phillips (1958) θεώρησε πρώτος, ότι στα φάσματα ανεμογενών κυμάτων βαρύτητας στα βαθιά νερά υπάρχει περιοχή συχνοτήτων, στην οποία η πυκνότητα ενέργειας έχει το παρακάτω άνω όριο. Το όριο τίθεται από τη θραύση των κυμάτων για περισσότερη ενέργεια :

$$S(f) = \frac{8.10 \cdot 10^{-3} g^2}{(2\pi)^4} f^{-5} \quad \text{για} \quad f_p \leq f \leq f_c \quad (2.35)$$

Όπου  $f_c$  η συχνότητα εμφάνισης κυμάτων επιφανειακής τάσεως. Πρόκειται για την περιοχή συχνοτήτων ισορροπίας ή περιοχή κορεσμού, που ορίζει την οριακή καμπυλότητα των κυμάτων, πάνω από την οποία επέρχεται θραύση. Κάθε πρόσθετη προσφορά ενέργειας στις συχνότητες αυτές καταναλίσκεται στη θραύση και από τη μεταφορά σ' άλλες συχνότητες μέσω μηχανισμών διαχύσεως και αλληλεπιδράσεως κυμάτων / κυμάτων. Κατά συνέπεια, η σχέση του Phillips περιγράφει τη σταθερή κατάσταση διαταραχής, που βρίσκεται προς τις υψηλότερες συχνότητες σε σχέση με το μέγιστο του φάσματος. Όλες οι νεώτερες θεωρίες δέχονται τον εκθέτη  $(-5)$ . Στην περιοχή ισορροπίας το φάσμα είναι πλήρως ανεπτυγμένο. Στον πίνακα 2.2.5α δίνονται οι τιμές των  $C_1, C_2, l$  και  $n$  των εξισώσεων της  $S$  για ορισμένα φάσματα με ευρεία αποδοχή.

Το φάσμα των Pierson – Moskowitz βασίστηκε σε πολλά δεδομένα από το ΝΕ Ατλαντικό ωκεανό. Περιέχει την ίδια περιοχή συχνοτήτων ισορροπίας του Phillips, προς τα δεξιά της συχνότητας του μεγίστου φάσματος  $f_p$ . Το εμπρόσθιο μέτωπο του φάσματος αντιπροσωπεύεται από τον εκθετικό όρο. Πάντως πρόκειται πάλι για πλήρως αναπτυγμένη θαλάσσια διαταραχή. Το φάσμα JONSWAP προτάθηκε από τους Hasselmann et al., 1973, με βάση τα δεδομένα από το Joint North Sea Wave Program (JONSWAP) του 1969 στα δυτικά των ακτών της ανίας. Πρόκειται για μία επέκταση του φάσματος Pierson – Moskowitz προς τις μερικά ανεπτυγμένες θαλάσσιες διαταραχές, που εισάγονται με μία νέα παράμετρο – συνάρτηση του αναπτύγματος πελάγους  $X$  και της ταχύτητας  $U_{10}$ . Η νέα παράμετρος παρέχει τη δυνατότητα για στενότερα και πιο απότομα φάσματα, χαρακτηριστικά αύξουσας θαλάσσιας διαταραχής. Το φάσμα JONSWAP είναι σήμερα το πιο διαδεδομένο και χρησιμοποιούμενο.

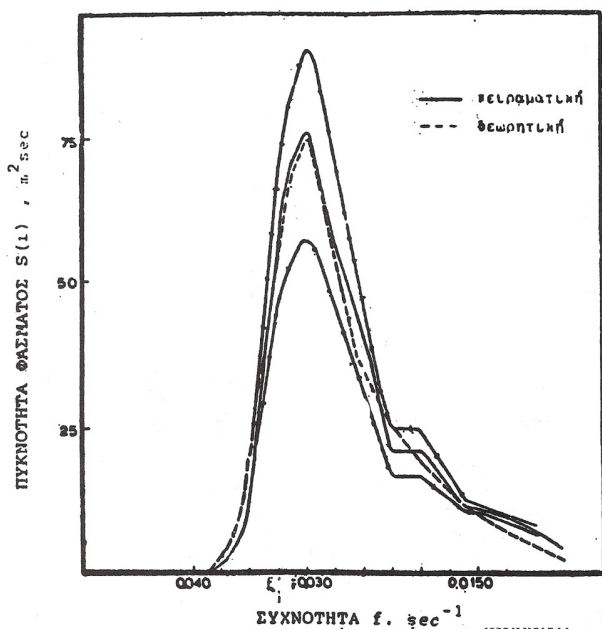
ΦΑΣΜΑ	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	1	n	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ
Philips (1958)	$\frac{8.10 \times 10^{-3} g^2}{(2\pi)^2}$	0	5		
Philips and Moskowitz (1964) (και Kitaigorodski)	$\frac{8.10 \times 10^{-3} g^2}{(2\pi)^4}$	$\frac{5}{4} f_p^2$	5	4	$f_p = 0.82 \frac{g}{2\pi U_{10}}$ ή $f_p = 0.877 \frac{g}{2\pi U_{10.5}}$
JONSWAP Όπως προτάθηκε από τους Hasselmann et. al. (1973)	$\frac{ag^2}{(2\pi)^4} \gamma^2$	$\frac{5}{4} f_p^2$	5	4	$\sigma = 0.076 \left( \frac{gX}{U^2} \right)^{-0.22}$ $q = \exp \left( - \frac{(f - f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2} \right)$  0.07 για $f < f_p$ $\sigma^m$ 0.09 για $f > f_p$  $f_p = 3.5 \left( \frac{g}{U_{10}} \right) \left( \frac{g^2}{U_{10}^2} \right)^{-0.33}$ $\gamma = 7 \left( \frac{g^2}{U_{10}^2} \right)^{0.143}$

όπου X ανάπτυγμα πελάγους

Πίνακας 2.1: Συντελεστές των σπουδαιότερων συναρτήσεων φάσματος  
(Πηγή Κ.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2009)

Pierson – Moskowitz  $T_m = 0.785 U_{10} \quad (T \text{ σε sec, } U_{10} \text{ σε m/sec}) \quad (2.36)$

JONSWAP  $T_m = 0.605 X^{0.33} U_{10}^{0.34} \quad (X \text{ σε Km}) \quad (2.37)$



Εικ. 2.6 : Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος JON-SWAP (Πηγή Κ.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2009)

Από την ολοκλήρωση των διαφόρων συναρτήσεων πυκνότητας φάσματος προκύπτει το χαρακτηριστικό ύψος κύματος. Έτσι :

Το ύψος  $H_s$  σύμφωνα με άλλα φάσματα υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Moskowitz} \quad H_s = 1.82 \times 10^{-2} U^2 \quad (H_s \text{ σε ft, } U \text{ σε knots}) \quad (2.37)$$

$$\text{Darbyshire} \quad H_s = 1.33 \times 10^{-2} U^2 \quad " \quad " \quad (2.38)$$

$$\text{SMB} \quad H_s = 2.33 \times 10^{-2} U^2 \quad " \quad " \quad (2.39)$$

- Κατά Pierson – Moskowitz:

$$H_s = 2.47 \times 10^{-2} U_{10}^2 \quad (H_s \text{ σε m, } U \text{ σε m/sec}) \quad (2.40)$$

ή

$$H_s = 2.14 \times 10^{-2} U_{19.5}^2 \quad (\text{δεδομένου ότι: } U_{10} = 0.93 U_{19.5}) \quad (2.41)$$

- Κατά JONSWAP:

$$H_s = 2.013 \times 10^{-2} U_{10}^{0.90} X^{0.55} \quad (X \text{ σε km}) \quad (2.42)$$

## 2.2.5 : Παλλόμενα κύματα

Σύμφωνα με το Eurotopmanual (T.Pullen, 2007) για τη διάκριση των κυμάτων σε παλλόμενα και μη, έχει οριστεί η παράμετρος  $h^*$  η οποία εξαρτάται από το μήκος κύματος, το ύψος κύματος και το βάθος του νερού από τη στάθμη του ηρεμούντος ύδατος. Αν η παράμετρος  $h^*$  είναι μεγαλύτερη του 0.3 τότε το κύμα χαρακτηρίζεται ως παλλόμενο, ενώ σε αντίθετη περίπτωση χαρακτηρίζεται ως μη παλλόμενο.

$$h^* = d^2 / (H_s \cdot L_0)$$

Όπου:

$d$ : το βάθος του πυθμένα

$H_s$ : το ύψος κύματος

$L_0$ : το μήκος κύματος ( $= gT^2 / 2\pi$ )

## 2.2.6 Ανάκλαση Θαλασσίων Κυμάτων

Οι θαλάσσιοι κυματισμοί ανακλώνται σε όλες τις παράκτιες κατασκευές. Σε κατακόρυφα μη πορώδη μέτωπα η ανάκλαση μπορεί να φτάσει το 100% της ενέργειας των προσπιπτόντων κυματισμών. Οι φυσικές κεκλιμένες ακτές συναντώνται ευρέως στη φύση συνεισφέροντας στην απορρόφηση της κυματικής ενέργειας. Λόγω του πορώδους τους και της μη ομοιόμορφης κλίσης, που τις χαρακτηρίζει, ανακλούν μικρότερο ποσοστό κυματικής ενέργειας από ισοδύναμες μη πορώδεις ακτές με ομοιόμορφη κλίση πυθμένα. Η ανάκλαση ποσοτικοποιείται βάσει του συντελεστή ανάκλασης,  $Cr$ , ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο του ύψους του ανακλώμενου κυματισμού,  $Hr$ , προς το ύψος του προσπίπτοντος κυματισμού,  $Hi$  στην περίπτωση μονοχρωματικών κυματισμών.

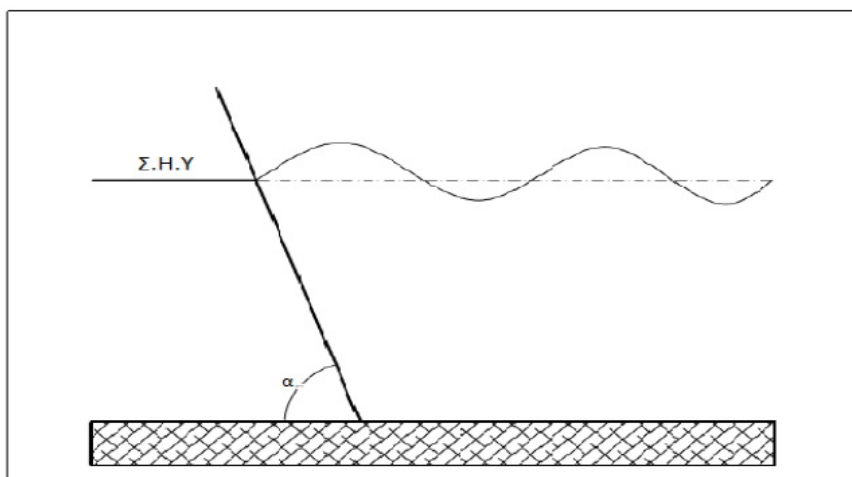
Αντίθετα, στην περίπτωση τυχαίων κυματισμών ο συντελεστής ανάκλασης,  $Cr$ , ορίζεται ως το πηλίκο του μέσου τετραγωνικού ύψους του ανακλώμενου κυματισμού,  $H_{rms-r}$ , προς το μέσο τετραγωνικό ύψος του προσπίπτοντος κυματισμού,  $H_{rms-i}$ .

Επειδή τα παραγόμενα κύματα είναι φασματικά, ο συντελεστής ανάκλασης διαφέρει ανάλογα με τη συχνότητα κάθε προσπίπτοντος κύματος. Έτσι ο μέσος συντελεστής ανάκλασης, ισούται με το μέσο όρο όλων των συντελεστών ανάκλασης που αυτός είναι ίσος με το λόγο των ανακλώμενων προς των προσπιπτόντων ενεργειών ανά συχνότητα.

Ο συντελεστής ανάκλασης εξαρτάται βασικά από δύο κατηγορίες χαρακτηριστικών: Τα χαρακτηριστικά διεπιφάνειας κατασκευής/θάλασσας, και τα χαρακτηριστικά του κύματος. Για την πρώτη περίπτωση, όσο αυξάνεται η κλίση, το σχετικό βάθος, η γωνία προσπτώσεως ή όταν μειώνεται η τραχύτητα, η διαπερατότητα, και η καμπυλότητα, ο  $Cr$  αυξάνεται. Τώρα, όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των κυμάτων και το συντελεστή ανάκλασης δεν υπάρχει ακριβής συσχέτιση. Γενικά ο συντελεστής ανάκλασης μειώνεται όσο μειώνεται η περίοδος του κύματος και μεγαλώνει η κυρτότητα του, χωρίς να εξαρτάται ισχυρά από το ύψος κύματος (Paul Postma 1989). Ο Miche (1953) επίσης είχε προτείνει μια συσχέτιση του συντελεστή ανάκλασης με την καμπυλότητα του κύματος, αλλά έχει πρακτική εφαρμογή μόνο σε πολύ κεκλιμένα επίπεδα (με γωνία κλίσης μικρότερη από  $10^\circ$ ). Υπάρχει επίσης σχέση μεταξύ ανάκλασης και υπερπήδησης.

Για την διευκόλυνση της διερεύνησης του συντελεστή ανάκλασης και την κατηγοριοποίηση των παράκτιων κατασκευών ως προς την συμπεριφορά τους στο φαινόμενο της ανάκλασης, γίνεται ο παρακάτω διαχωρισμός ως προς τις τιμές του.

- Έργα υψηλής ανακλαστικότητας με :  $Cr > 0.85$
- Έργα μεσαίας ανακλαστικότητας με :  $0.85 > Cr > 0.50$
- Έργα χαμηλής ανακλαστικότητας με :  $Cr < 0.50$



Εικ. 2.7 : Ανάκλαση σε κεκλιμένο μέτωπο (Πηγή Κ.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2009)



## 2.3 : Πιέσεις θαλάσσιων κυματισμών σε κατακόρυφα μέτωπα

### 2.3.1 Εισαγωγικά

Οι θαλάσσιες πιέσεις που αναπτύσσονται σε ένα κατακόρυφο μέτωπο συντίθεται από την επαλληλία των υδροστατικών και των υδροδυναμικών πιέσεων. Η υδροστατική πίεση σε ένα βάθος  $h$  ισούται με το γινόμενο  $p = \rho * g * h$  όπου  $h$  είναι η απόσταση απ' την ελεύθερη επιφάνεια του νερού στη ηρεμία ενώ η υδροδυναμική πίεση εξαρτάται από τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας, η οποία εμφανίζεται με τη μορφή πίεσης. Μέγιστη υδροστατική πίεση παρουσιάζεται όταν το κύμα την επιφάνεια νερού βρίσκεται στην κορυφή του στάσιμου κύματος

Πολλοί ερευνητές έχουν επικεντρωθεί στη μέτρηση και την ανάλυση των πιέσεων και των επιπτώσεων τους σε διάφορες θαλάσσιες κατασκευές. Ωστόσο δεν έχει γίνει πλήρως κατανοητή η συμπεριφορά των πιέσεων αφού η διάρκεια των μετρήσεων είναι μικρή καθώς επίσης και λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων που προκύπτουν και τα οποία χρειάζεται να αποθηκευτούν ώστε να αναλυθούν.

Στις κατανομές των πιέσεων και τις επιδράσεις τους στις θαλάσσιες κατασκευές υπάρχει μια ικανοποιητική βιβλιογραφία που αναπτύσσεται κυρίως τον τελευταίο αιώνα. Στη βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί κυρίως κατακόρυφα μέτωπα, ενώ για διαφορετικού τύπου διατομές (όπως αυτή που εξετάσαμε εμείς) είναι αρκετά περιορισμένη.

Υπάρχει ένας αριθμός θεωρημάτων και μεθόδων για διαφορετικούς τύπους κυμάτων σε μια δομή. Αυτοί οι τύποι περιλαμβάνουν γενικά μεγέθη των μέγιστων πιέσεων, τις κατανομές τους και τις δυνάμεις που αναπτύσσονται σε αυτές. Σε ορισμένες περιπτώσεις δίνονται και οι πιέσεις ανύψωσης. Όλα αυτά τα θεωρήματα και οι μέθοδοι είναι πλήρως εμπειρικές ή ημι-εμπειρική καθώς η διαδικασία της θραύσης κύματος σε μια κατασκευή δεν έχει εξηγηθεί ακόμη πλήρως. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι σημαντικότερες μέθοδοι κατά χρονολογική σειρά.

Μια απλή μέθοδος είναι απαραίτητη για να γίνει η διάκριση μεταξύ:

- α) των ψευδών μόνιμων φορτίσεων για τις οποίες η απαραίτητη μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς να λάβουμε υπ' όψιν τη διάρκεια της φόρτισης
- β) των φορτίσεων από ελαφρώς θραυόμενα κύματα τα οποία αποτελούνται ήδη από θραυόμενα κύματα αλλά δεν υπερβαίνουν σημαντικά τις φορτίσεις που χρησιμοποίησε ο Goda.
- γ) των επιπτώσεων των πιέσεων, για τις οποίες χρησιμοποιούνται νέες μέθοδοι οι οποίες συμπεριλαμβάνουν τη διάρκεια τους
- δ) των φορτίσεων από θραυόμενα κύματα και από κύματα που έχουν θραυστεί πριν φτάσουν στην κατασκευή.

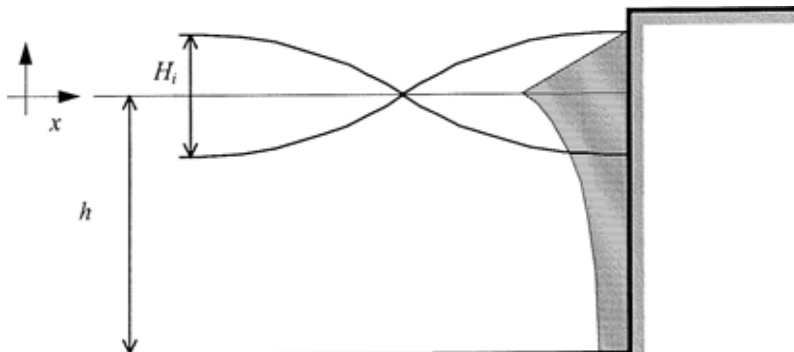
Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένας γνωμικός παραμετρικός χάρτης. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τη χρήση του χάρτη αυτού, είναι γεωμετρικές και κυματικές παράμετροι, ο συνδυασμός των οποίων δίνει μια ένδειξη για την πιθανότητα να συμβεί ένα από τα παραπάνω.

Συγγραφέας-ερευνητής	Έτος	Πιέσεις	Δυνάμεις	Σχόλια
<b>Οιωνοί στατικά κύματα</b>				
Sainflou	1928	NAI	NAI	Κατακόρυφοι τοίχοι
Miche - Rudgren	1944	NAI	NAI	Σχεδιασμός καμπύλων SPM
Goda	1985	NAI	NAI	Η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος σχεδιασμού
<b>Προσκρουόμενα κύματα</b>				
Hiroi	1919	NAI	NAI	Κατακόρυφοι τοίχοι
BagOXIld	1939	-	-	Εννοιολογικά μοντέλα μόνο
Minikin	1963	NAI	NAI	Λάθος διαστάσεις κάποιες φορές
Ito	1971	NAI	NAI	
Blackmore and Hewson	1984	NAI	NAI	
Partenscky	1988	NAI	OXI	Εμπεριεχόμενος αέρας στο κύμα
Kirkgöz	1990	NAI	NAI	Κατακόρυφοι τοίχοι
Takahashi	1994	NAI	NAI	Επέκταση της μεθόδου του Goda
Allsop et al.	1996	OXI	NAI	
Walkden et al.	1996	OXI	NAI	Σχέση δύναμης και χρόνου αύξησης
Oumeraci and Kortenhaus	1997	NAI	NAI	Προσέγγιση για την εξάρτηση από το χρόνο
McConnell	1998	OXI	NAI	Τροποποίηση του O&K, 1997
Hull & Müller	1998	NAI	NAI	Τροποποίηση του O&K, 1997
Vicinanza	1998	NAI	NAI	Τροποποίηση του O&K, 1997
<b>Θραυόμενα κύματα</b>				
SPM	1984	NAI	NAI	Κατακόρυφοι τοίχοι
Camfield	1991	NAI	NAI	Τροποποίηση του O&K, 1997
Jensen	1984	NAI	NAI	Προστατευτικοί τοίχοι
Bradbury and Allsop	1988	NAI	NAI	Προστατευτικοί τοίχοι
Pedersen	1997	NAI	NAI	Προστατευτικοί τοίχοι
Martín et al.	1997	NAI	NAI	Προστατευτικοί τοίχοι

Πίνακας 2.2 : Μέθοδοι σχεδιασμού λόγω πιέσεων

## 2.3.2: Γραμμική Θεωρία

Η κατανομή των πιέσεων μη θραυόμενων κυμάτων σε έναν κάθετο τοίχο μπορούν να προέρχονται από τη γραμμική θεωρία.



Εικ. 2.8 : Γραμμική Θεωρία

Σύμφωνα με τη γραμμική θεωρία κυμάτων, με πλήρη αντανάκλαση του εισερχόμενου κύματος, η μέγιστη πίεση που καταγράφεται υπολογίζεται:

$$p = \rho_w g H_i \frac{\cosh(k(h+z))}{\cosh(kh)} \quad \text{for } -h < z < 0 \quad (2.43)$$

$$p = \left(1 - \frac{z}{H_i}\right) \rho_w g H_i \quad \text{for } 0 < z < H_i \quad (2.44)$$

Όπου:

$p$  = πίεση νερού

$H_i$  = ύψος κύματος

$h$  = βάθος νερού

$\rho_w$  = πυκνότητα νερού

$g$  = συντελεστής βαρύτητας

$K$  = αριθμός κυμάτων ( $=2\pi/L_i$ )

Η δύναμη ανά γραμμικό μέτρο κατά μήκος της δομής, από την ολοκλήρωση μέχρι το βάθος του νερού, υποθέτει ότι  $Rc > H_i$ :

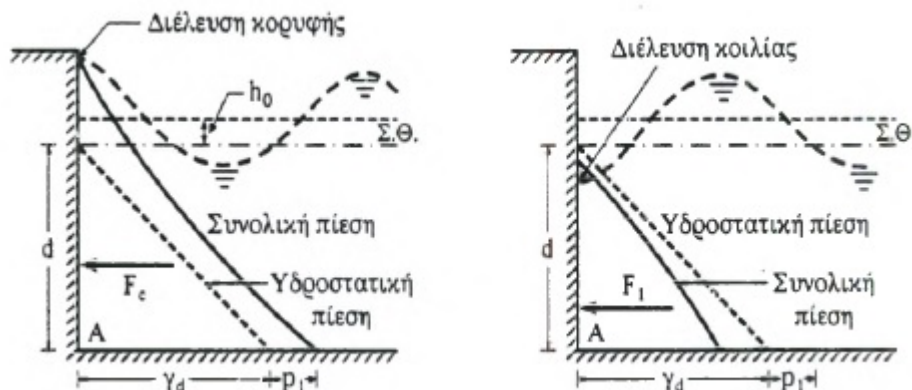
$$F = \int_{-h}^0 \rho_w g H_i \frac{\cosh(k(h+z))}{\cosh(kh)} dz + \int_0^{H_i} \left(1 - \frac{z}{H_i}\right) \rho_w g H_i dz = \quad (2.45)$$

$$F = \rho_w g H_i \left( \frac{\sinh(kh)}{k \cosh(kh)} + \frac{H_i}{2} \right) \quad (2.46)$$

Αυτή η μέθοδος συνήθως αντικαθίσταται από τη μέθοδο του Sainflou και χρησιμοποιείται για θεωρία κυμάτων υψηλότερης τάξης.

### 2.3.3: Μέθοδος Sainflou

Με τη μέθοδο αυτή ο Sainflou αξιοποιεί τον δεύτερο κανόνα της θεωρίας των κυμάτων του Stokes και την πλήρη ανάκλαση των κυμάτων τα οποία έχουν τροχοειδή μορφή.

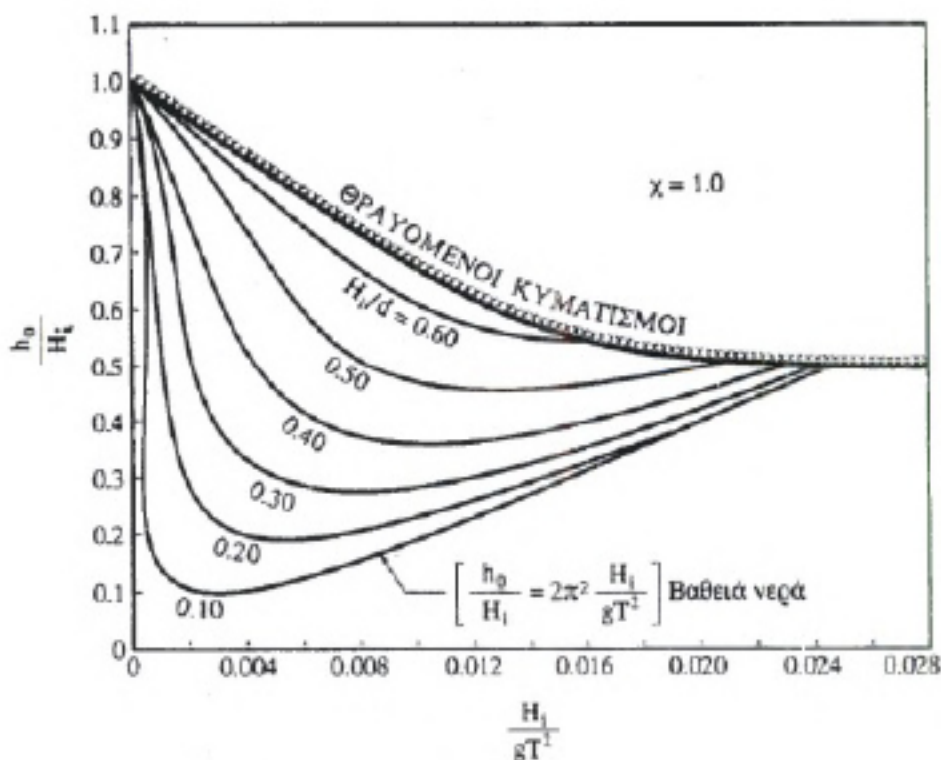


Εικ. 2.9: Μέθοδος Sainflou - Κατανομή πιέσεων κατά τη διέλευση κορυφής και κοιλάς (Πηγή Κ.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2009)

Η μέση στάθμη του στάσιμου κυματισμού βρίσκεται σε απόσταση  $h_0$  πάνω από τη στάθμη ηρεμίας της θάλασσας και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$h_0 = \frac{1+x}{2} \cdot \frac{\pi \cdot H^2}{L} \cdot \coth\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right) \quad (2.47)$$

Η υπερύψωση  $h_0$  πέρα από τον αναλυτικό τρόπο υπολογισμού της, μπορεί να προκύψει προσεγγιστικά (γραφικά) από το διάγραμμα του σχήματος 4.3 συναρτήσει του λόγου  $H/d$  για  $x=1.0$



Εικ. 2.10 : Υπολογισμός υπερύψωσης  $h_0$  για  $x=1$  (Πηγή Κ.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2009)

## 2.3.4: Μέθοδος Minikin για θραυόμενα κύματα

Είναι πολύ σημαντική η εκτίμηση των πιέσεων των θραυόμενων κυματισμών (άμεσα θραυόμενων πάνω στο μέτωπο) γιατί οι πιέσεις αυτές είναι πολύ μεγάλες και πρέπει να λαμβάνονται πάντα υπόψη στους υπολογισμούς ευστάθειας. Αξιόλογη είναι η μεθοδολογία που ανέπτυξε ο Minikin σχετικά μ' αυτή την περίπτωση:

### 2.3.4.1: Μέθοδος Minikin για έργου υψηλής στέψης

Η μέγιστη τιμή  $p_m$  της δυναμικής συνιστώσας της φόρτισης δίνεται από τον τύπο:

$$p_m = 101 \cdot \gamma \cdot \frac{H_\theta}{L_D} \cdot \frac{d}{D} \cdot (D + d) \quad (2.48)$$

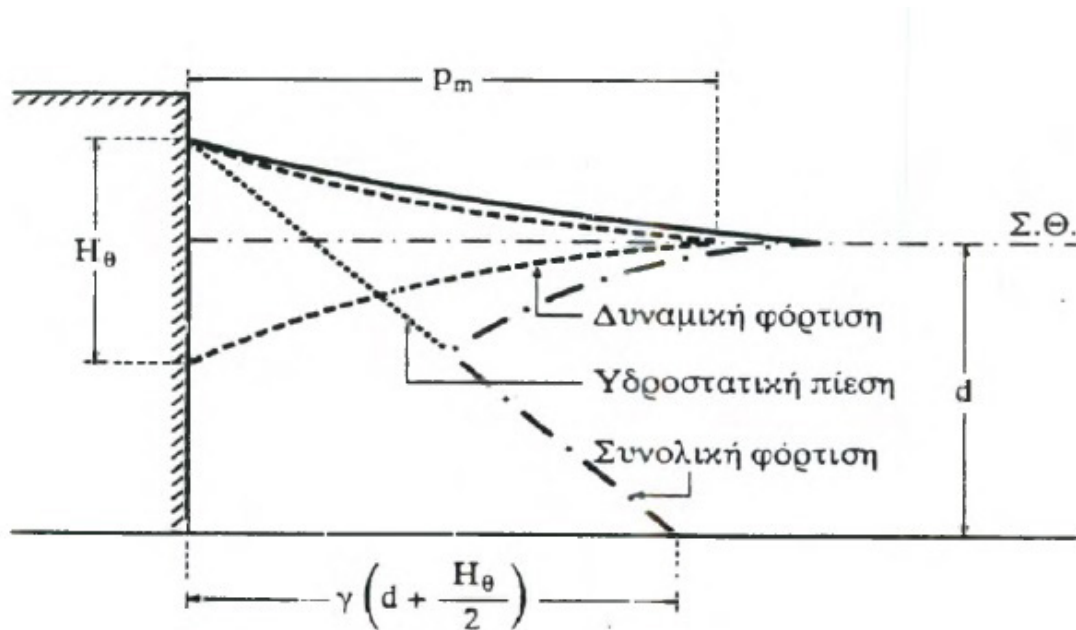
όπου  $H_\theta$  : το ύψος του θραυόμενου κύματος

$d$  : το βάθος στη θέση του έργου

$D$  : το βάθος σε απόσταση ενός μήκους κύματος  $L_D$

$L_D$  : το μήκος κύματος σε βάθος  $D$

$\gamma$  : το ειδικό βάρος του νερού



Εικ. 2.11 : Πιέσεις κατά Minikin (Πηγή Κ.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2009)

Η οριζόντια δύναμη  $R_m$  λόγω της δυναμικής φόρτισης μόνο, και η ροπή ανατροπής  $M_m$  ως προς την επιφάνεια έδρασης προκύπτει αντίστοιχα :

$$R_m = \frac{p_m \cdot H_\theta}{3} \quad (2.49)$$

$$M_m = \frac{p_m \cdot H_\theta \cdot d}{3} \quad (2.50)$$

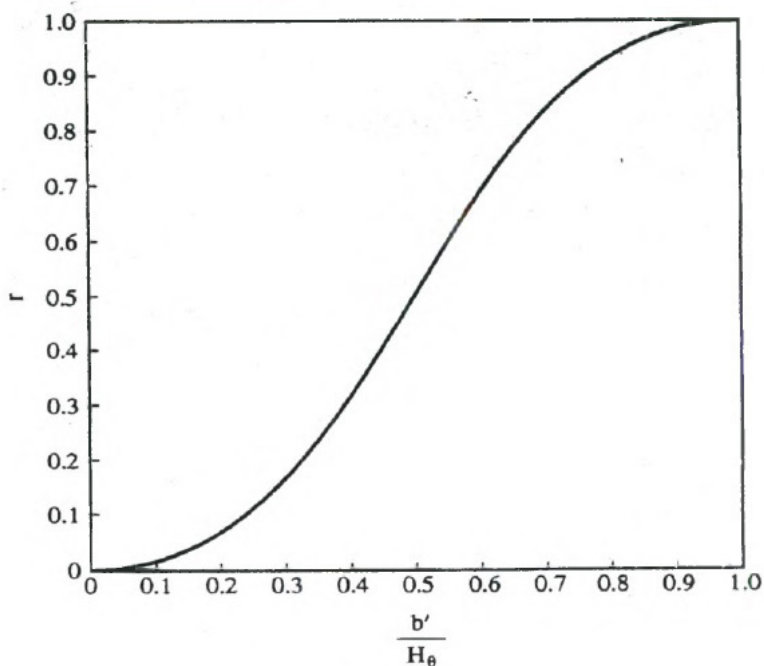
### 2.3.4.2 : Μέθοδος Minikin για έργο χαμηλής στέψης

Οι μειωμένες τιμές  $R_m$  και  $M_m$  λόγω υπερπήδησης της χαμηλής στέψης υπολογίζονται ως:

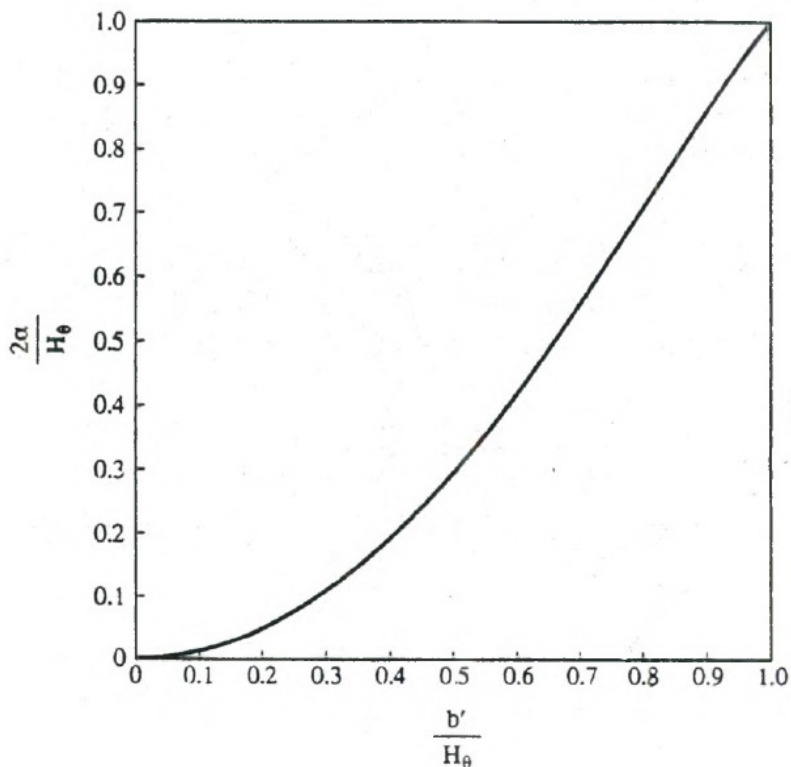
$$R'_m = r \cdot R_m \quad (2.51)$$

$$M'_m = d \cdot R_m - (d + \alpha) \cdot (1 - r) \cdot R_m \quad (2.52)$$

όπου  $r, \alpha$  συντελεστές που υπολογίζονται από της εικόνες 2.12 και 2.13.



Εικ. 2.12 : Υπολογισμός  $r$  (Πηγή Κ.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2009)



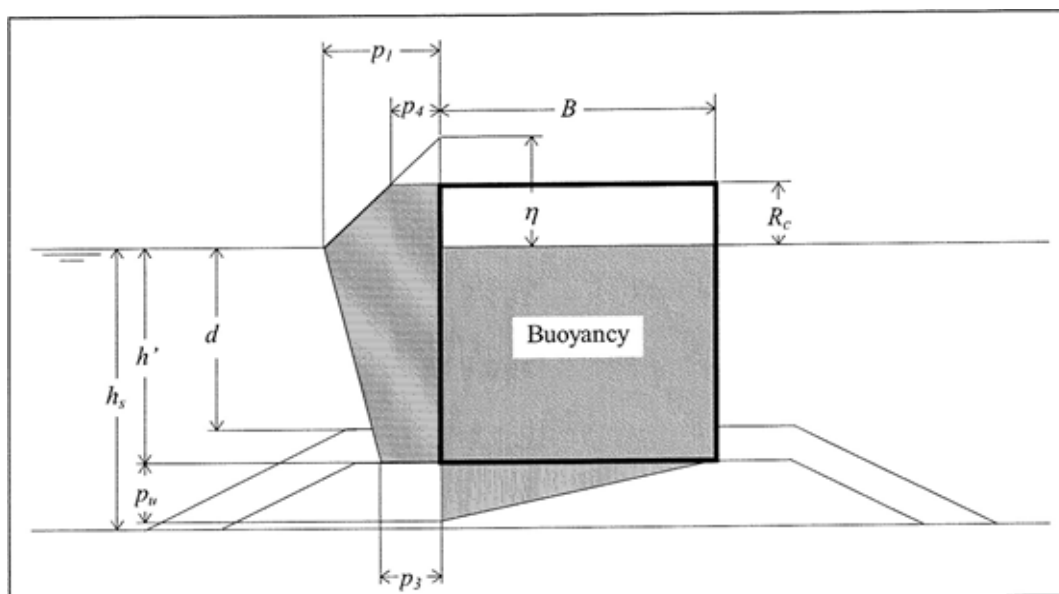
Εικ. 2.13 : Υπολογισμός  $\alpha$  (Πηγή Κ.Μουτζούρης Θαλάσσια Υδραυλική 2009)

## 2.3.5: Μέθοδος Goda

Η επίδραση των κυματισμών στα εξωτερικά λιμενικά έργα με κατακόρυφο μέτωπο εκφράζεται με τις πιέσεις που καταγράφονται σε αυτά. Τα κύματα προκαλούν πιέσεις είτε λόγω της ολικής ανάκλασης τους είτε λόγω της θραύσης τους πάνω στο στερεό όριο.

Η μέθοδος Goda αναπτύχθηκε αρχικά το 1973 για το σχεδιασμό κυματοθράυστη με κατακόρυφο μέτωπο υπολογίζοντας την κυματική φόρτιση. Πλεονεκτεί σε σχέση με άλλες μεθόδους διότι εφαρμόζεται για όλες τις κυματικές συνθήκες, δηλαδή και για θραυόμενους και μη θραυόμενους κυματισμούς. Το 1981 οι Tanimoto, Takahashi, and Kitatani τροποποίησαν τη μέθοδο εισάγοντας κατάλληλους συντελεστές για να εκτιμάται η υδροδυναμική φόρτιση σε κατακόρυφα απορροφητικά μέτωπα. Αργότερα η μέθοδος προσαρμόστηκε για τον υπολογισμό των πιέσεων σε κατακόρυφα μέτωπα με επικλινή κορυφή αλλά και κατακόρυφα μέτωπα που δέχονται κρουστικά φορτία από θραυόμενους κυματισμούς. Η μέθοδος στην περίπτωση κατασκευής κατακόρυφου απορροφητικού μετώπου προβλέπει την ύπαρξη ανοιχτού θαλάμου κυματισμών στην οποία διακρίνει τρεις φάσεις όπου οι δυνάμεις που ασκούνται μεγιστοποιούνται:

- Φάση I: Οι κυματικές δυνάμεις στο έμπροσθεν μέτωπο (και στο διάτρητο και στο συμπαγές τμήμα του) φθάνουν τη θετική μέγιστη τιμή τους (κορυφή).
- Φάση-IIa: Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης η δύναμη που ασκείται στον πίσω τοίχο του θαλάμου εκτόνωσης των κυματισμών φθάνει το μέγιστο κρουστικό φορτίο λόγω θραύσης τους.
- Φάση-IIb: Σε αυτή τη φάση, η δύναμη στον τοίχο του θαλάμου εκτόνωσης λαμβάνει την μέγιστη τιμή από το μέγιστο κρουστικό φορτίο λόγω θραύσης των κυματισμών εφόσον είναι όλος πληρωμένος με νερό.



Εικ. 2.14 : Κατανομή πιέσεων κατά Goda

(Πηγή :researchgate.net)

Στη μέθοδο Goda υποθέτουμε ότι η υδροδυναμική πίεση κατά μήκος του έμπροσθεν κατακόρυφου μετώπου έχει τραπεζοειδή κατανομή πάνω και κάτω από τη στάθμη της θάλασσας.

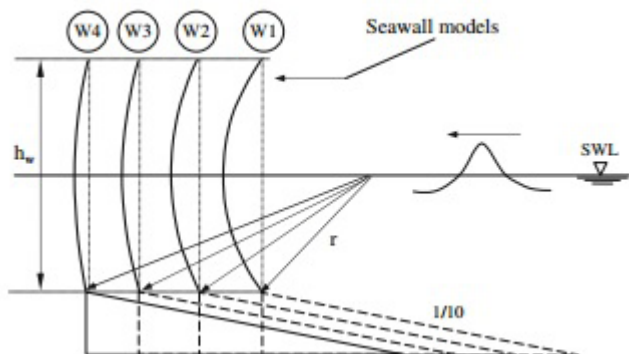
Σημαντική διαφορά με τις άλλες μεθόδους είναι ότι στη μέθοδο Goda αναπτύσσεται στη βάση της κατασκευής μια ανωστική πίεση  $p_u$  (uplift pressure) τριγωνικής κατανομής. Η πίεση αυτή έχει αμελητέα τιμή για κανονική κυματική φόρτιση (μικρότερη του σχεδιασμού). Όπως έχει προαναφερθεί στη Διατομή II-II του έργου δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης προκύπτει από την επαλληλία των ομόροπων δυνάμεων από τις πιέσεις του κύματος όταν βρίσκεται στην κοιλία και από τις ωθήσεις γαιών της ζώνης επίχωσης. Η μέθοδος Goda δε δίνει τιμές για τις πιέσεις που ασκούνται στο μέτωπο όταν το κύμα διέρχεται από την κοιλία. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνει χρήση της μεθόδου Sainflou σε αυτή την περίπτωση.



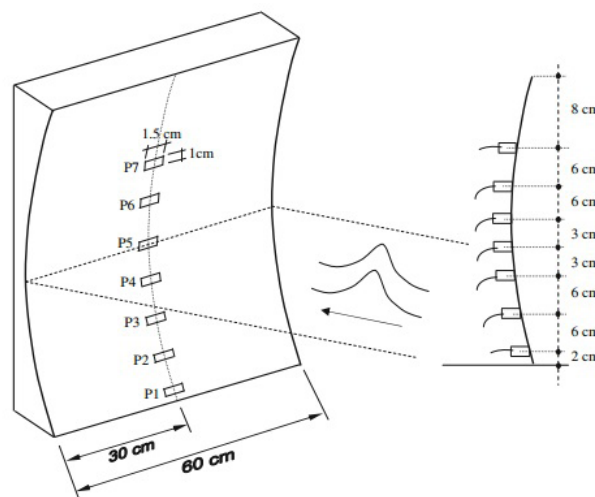


## 2.3.7: Έρευνα Mamak - Guzel

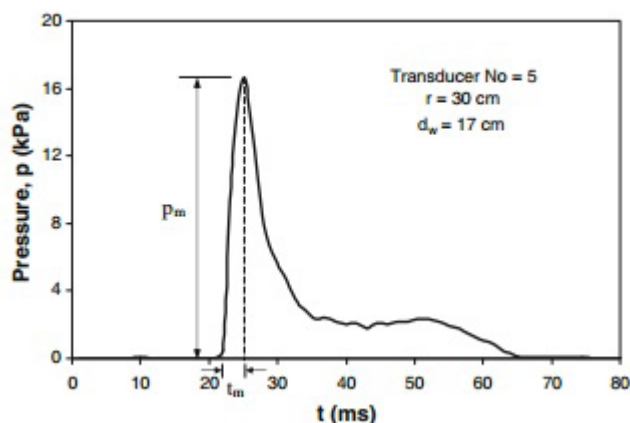
Οι Mamak-Guzel μελέτησαν πειραματικά το 2013 την συμπεριφορά θραυόμενου κυματισμού σε καμπύλο κυματοθραύστη, αλλάζοντας ελαφρά την κλίση της καμπύλης και συγκρίνοντας. Οι θεωρητικές μελέτες για τις κυματικές πιέσεις εφαρμόστηκαν παράλληλα για την σύγκριση των αριθμητικών δεδομένων. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγάλη ομοιότητα ανάμεσα στην θεωρητική μέθοδο και τα πειραματικά αποτελέσματα. Θεωρητικά παρατηρήθηκε ελαφρά μικρότερη πίεση θραύσης. Η στάθμη του νερού σε διαφορετικές καμπύλες τέθηκε στην μέση της καμπύλης. Σε κάθε περίπτωση οι μεγαλύτερες πιέσεις παρατηρήθηκαν στους μετρητές που ήταν εκτεθειμένοι, πάνω από την στάθμη.



Εικ. 2.19 : Οι διαφορετικές διατομές που χρησιμοποιήθηκαν (Πηγή Mamak-Guzel 2013)



Εικ. 2.20 : Θέση των μετρητών πίεσης (Πηγή Mamak-Guzel 2013)



Εικ. 2.21 : Μια τυπική εικόνα πίεσης σε μετρητή πάνω από τη στάθμη (Πηγή Mamak-Guzel 2013)

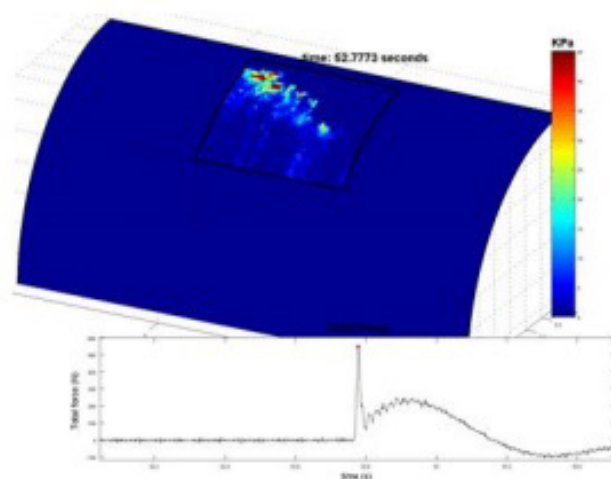
Η παρατήρησή τους καταλήγει στην μικρή συσχέτιση της καμπυλότητας της διατομής και της αυξομείωσης της πίεσης. Η ίδια η κατεύθυνση της καμπυλότητας προς τα κοίλα ωθεί την κυματική διαταραχή στην μετάδοση ενέργειας στους υψηλότερους μετρητές.

## 2.3.8: Έρευνα Πανεπιστημίου Πατρών, UCL, JRC, FZK, Hanover

Η συνεργασία του Πανεπιστημίου Πατρών με τα UCL, JRC, FZK, Hanover έγινε στα πλαίσια αναζήτησης μιας λύσης που θα εμποδίζει την υπερπήδηση του κύματος χωρίς να χρειαστεί να αυξηθεί το ύψος του κυματοθραύστη, μια γενικότερα πιο δαπανηρή επιλογή. Για αυτό επέλεξαν και αυτοί την μελέτη κάθετων διατομών με ένα προεξέχον προς τη θάλασσα κομμάτι, κάτι που επίσης είναι όμοιο με το παρόν πείραμα και μπορεί να προσφέρει στα συμπεράσματά μας

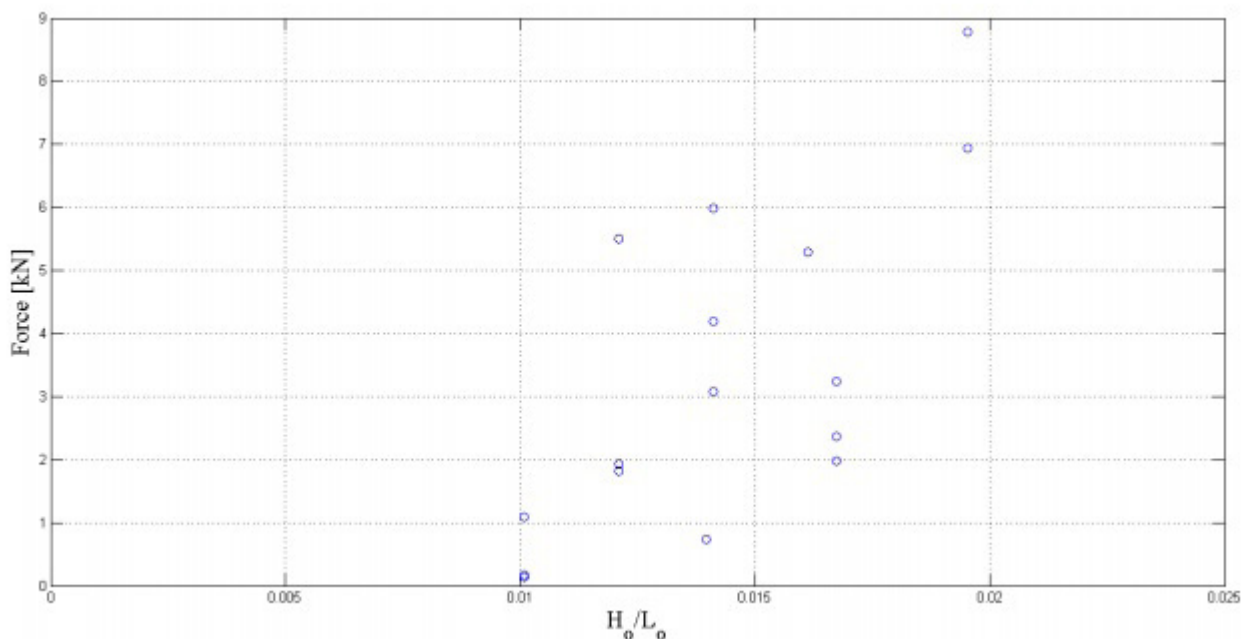


Εικ. 2.22 Η διατομή που χρησιμοποιήθηκε (Πηγή Stagonas et al, 2014)



Εικ. 2.23 : Τρισδιάστατη και δισδιάστατη παρουσίαση των πιέσεων (Πηγή Stagonas et al, 2014)

Μελετώντας θραυόμενο και μη θραυόμενο κυματισμό παρατηρήθηκε αύξηση του μεγέθους της πίεσης αναλογικά με την απόσταση των μετρητών πίεσης από την στάθμη. Επίσης η αυξομείωση της καμπυλότητας επηρέασε σημαντικά το μέγεθος της πίεσης, με την μεγαλύτερη καμπυλότητα να σημαίνει αισθητά μεγαλύτερη πίεση.



Εικ. 2.24: Οι υψηλότερες δυνάμεις που μετρήθηκαν για όλα τα διαφορετικά κύματα (θραυόμενα/μη θραυόμενα) (Πηγή Stagonas et al, 2014)

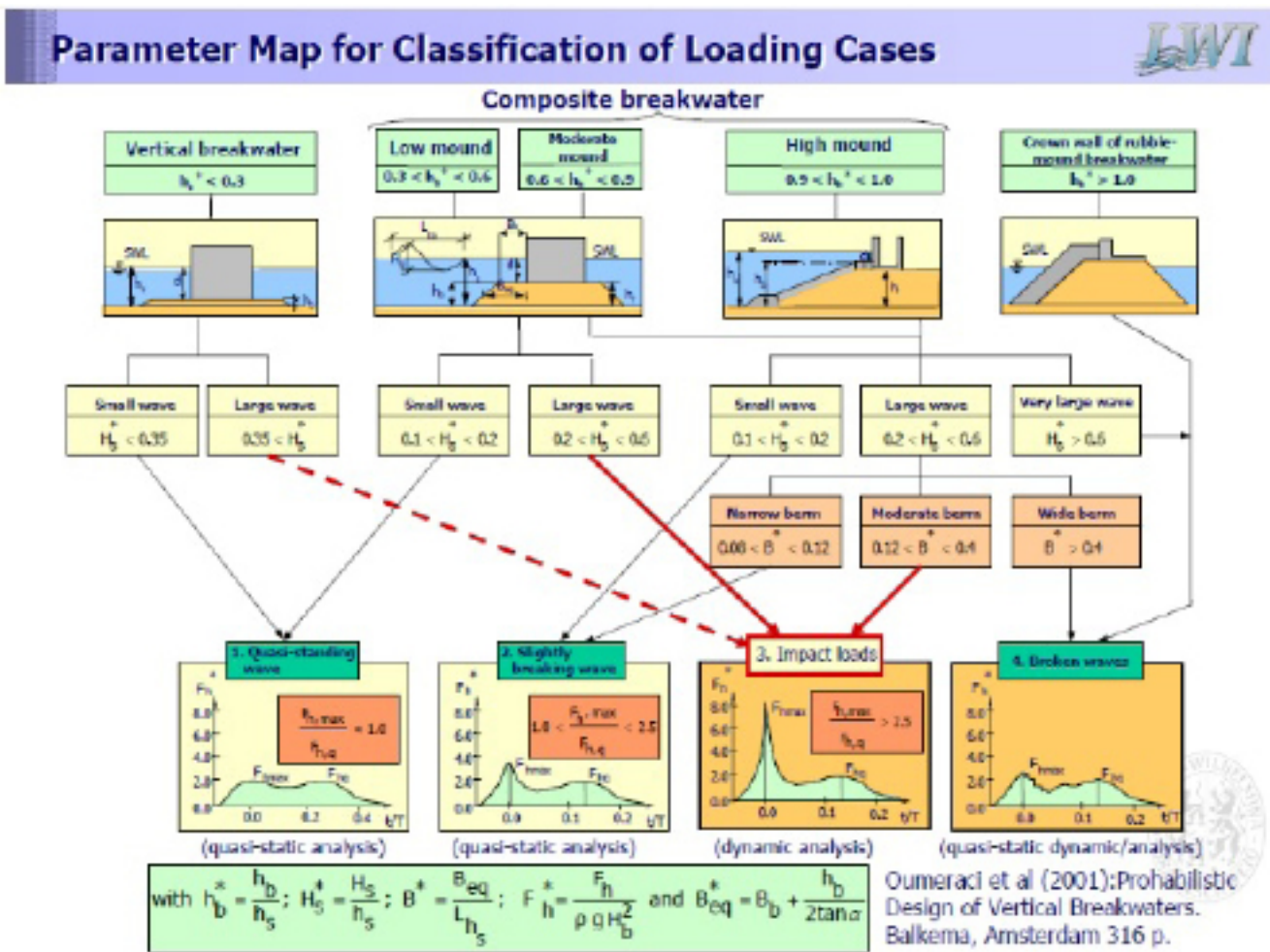
# 2.4 : Κυματοθραύστες

## 2.4.1 : Η συμβολή του κυματοθραύστη

Οι κυματοθραύστες είναι κατασκευές που χρησιμοποιούνται όταν επιθυμείται μείωση της κυματικής ενέργειας σε μια περιοχή. Για παράδειγμα, προκειμένου να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία ενός λιμένας, απαιτείται να επικρατεί σχετική ηρεμία στο εσωτερικό της λιμενολεκάνης. Έτσι, τα πλοία μπορούν να προσδένουν και να πραγματοποιείται με ασφάλεια η φορτοεκφόρτωσή τους, αλλά και η κίνηση επιβατών και εργαζόμενων.

Επιπλέον, υπάρχουν ακτές όπου παρατηρείται διάβρωση λόγω αυξημένης στερεομεταφοράς με δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον, σε παρακείμενες κατασκευές (κατοικίες, οδοί) και στον τοπικό τουρισμό. Σε τέτοιες περιπτώσεις η κατασκευή κυματοθραύστη μπορεί να επιλύσει το πρόβλημα, καθώς αναχαιτίζει τη δράση των κυμάτων. Μάλιστα, υπάρχουν διάφοροι τύποι κυματοθραύστη (αναλύονται σε επόμενη ενότητα), κάθε ένας από τους οποίους ενδείκνυται σε ορισμένες περιπτώσεις.

Όπως κάθε δομικό έργο, ο κυματοθραύστης σχεδιάζεται για ορισμένο χρόνο ζωής. Απαιτείται στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα η κατασκευή να είναι λειτουργική, ασφαλής έναντι αστοχίας και παράλληλα οικονομικά συμφέρουσα. Ο σχεδιασμός στοχεύει στην ευστάθεια του έργου και στην επιτυχή αναχίτιση των προσπίπτοντων κυματισμών.



Εικ. 2.25 :Τύποι Φορτίσεων

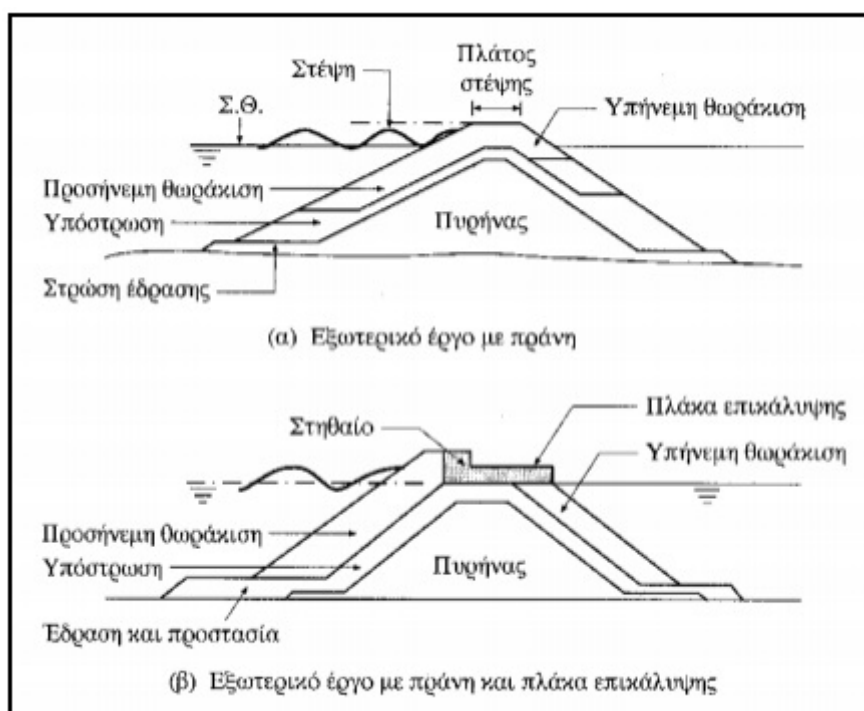
(Πηγή Oumeraci et al, Probabilistic Design Tools For Vertical Breakwaters,2001)

## 2.4.2 : Κυματοθραύστες με πρανή

Οι κυματοθραύστες αυτοί μορφώνονται ώστε να έχουν τραπεζοειδή πρισματική μορφή και κατασκευάζονται με λιθορριπές (rubble mound breakwaters). Τυπικό παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 2.3.2. Χρησιμοποιούνται διαβαθμισμένοι λίθοι με μέγεθος και βάρος που ποικίλλει. Πιο συγκεκριμένα, τα μικρότερα τεμάχια χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του πυρήνα, ενώ στην εξωτερική θωράκιση τοποθετούνται τα μεγαλύτερα και βαρύτερα τεμάχια ώστε να αντιστέκονται στη δράση των κυμάτων και να εμποδίζουν τη διάβρωση του πυρήνα. Η λειτουργία αυτού του κυματοθραύστη βασίζεται στη δημιουργία συνθηκών θραύσης του προσπίπτοντος κυματισμού.

Αυτός ο τύπος προστασίας χρησιμοποιείται κυρίως στα ρηχά καθώς κατασκευάζεται και θεμελιώνεται εύκολα. Αυτός ο τύπος κυματοθραύστη πλεονεκτεί έναντι άλλων λόγω της εύκαμπτης μορφής του. Εάν υπό τη δράση των κυμάτων μετακινηθούν κάποιοι ογκολίθοι, θεωρούμε ότι έχουμε μερική αστοχία του έργου, το οποίο επισκευάζεται εύκολα με την αναπλήρωση των εν λόγω ογκολίθων. Βέβαια, δεν μπορεί να αγνοηθεί το γεγονός ότι απαιτείται σημαντικός όγκος υλικών για την κατασκευή, διότι τέτοια έργα έχουν μεγάλες διαστάσεις. Ωστόσο το κόστος μπορεί να κρατηθεί σχετικά χαμηλό χάρη στην κατασκευαστική ευκολία.

Το αποδεκτό ποσοστό υπερπήδησης των κυμάτων είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την εύρεση του υψόμετρου της στέψης. Κατά το σχεδιασμό θα πρέπει επίσης να προβλεφθεί επαρκής χώρος επί της στέψης ώστε να είναι δυνατή εκεί η κίνηση μηχανημάτων για τη συντήρηση και ενδεχόμενες επισκευές του έργου. Η συμβατική μορφή των κυματοθραυστών συνίσταται από λιθορριπές που σχηματίζουν τον πυρήνα, τις στρώσεις θωράκισης, αλλά και τη στέψη. Η στέψη μπορεί επίσης να διαμορφωθεί και με στηθαίο και πλάκα επικάλυψης, ώστε να διευκολύνεται η κίνηση μηχανημάτων.

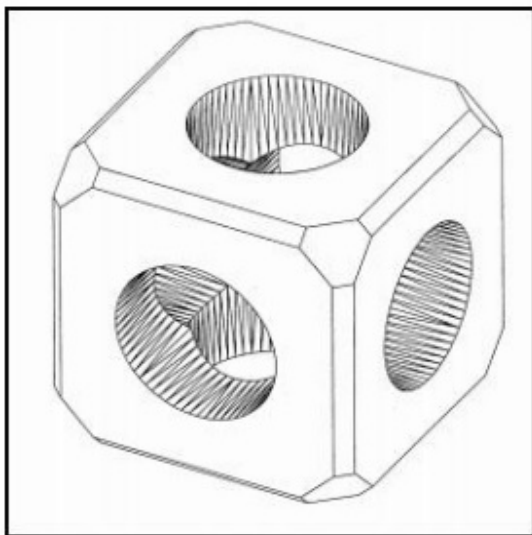


**Εικ. 2.26 : Κυματοθραύστες με πρανή**  
(Πηγή Κ.Μέμος, Εισαγωγή στα Λιμενικά Έργα 2008)

Συνηθίζεται οι κυματοθραύστες με πρανή να κατασκευάζονται με φυσικούς ογκολίθους λατομείου. Όμως, σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας φυσικών λίθων κατάλληλου βάρους, χρησιμοποιούνται τεχνητοί ογκολίθοι. Πρόκειται για προκατασκευασμένα τυποποιημένα τεμάχια από σκυρόδεμα από των οποίων το σχήμα εξαρτάται και ο τρόπος με τον οποίο συνισφέρουν στην ευστάθεια της κατασκευής. Όπως αναφέρουν οι Palmer and Christian (1998), σύμφωνα με αποτελέσματα ερευνών του φορέα PIANC (1985) χρησιμοποιούνται τεχνητοί ογκολίθοι όταν το χαρακτηριστικό ύψος κύματος σχεδιασμού  $H_s$  υπερβαίνει τα 5 m.

Επιπλέον, είναι πιθανό η επιλογή μεταξύ φυσικών λίθων και τεχνητών από σκυρόδεμα να επηρεαστεί από την ανάγκη εναρμονισμού του έργου είτε με το φυσικό περιβάλλον είτε με υπάρχουσες κατασκευές.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, το σχήμα των λίθων θωράκισης καθορίζει τον τρόπο ευστάθειας του έργου. Οι συμπαγείς λίθοι, συμπεριλαμβανομένου και των φυσικών λίθων θωράκισης, αντιστέκονται στην κυματική δράση κυρίως με τη βοήθεια του βάρους τους και σε μικρότερο βαθμό με τη βοήθεια της τριβής. Επιπλέον, κυκλοφορούν και τύποι ογκολίθων, όπως ο δόλος, που συνεισφέρουν στην ευστάθεια χάρη στην αλληλοεμπλοκή μεταξύ γειτονικών τεμαχίων, ενώ τα κένα που δημιουργούνται μεταξύ τους προσφέρουν τη δυνατότητα πρόσθετης εκτόνωσης ενέργειας. Βασικό μειονέκτημα αυτού του τύπου λίθων θωράκισης είναι ότι, σε περίπτωση μετακίνησης ελάχιστων ογκολίθων, η ολική αστοχία της θωράκισης είναι αναπόφευκτη.



Τέλος, υπάρχουν και κοίλα/ κούφια τεμάχια θωράκισης, των οποίων το εσωτερικό κενό εξασφαλίζει επαρκή χώρο για την εκτόνωση ενέργειας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν ο λίθος SHED (Shepherd Hill Energy Dissipator) που παρουσιάζεται στην εικόνα 2.27

**Εικ. 2.27 : Τεχνητός λίθος θωράκισης τύπου SHED  
(Πηγή Κ.Μέμος, Εισαγωγή στα Λιμενικά Έργα 2008)**

Στα πλαίσια σύντομης ιστορικής αναδρομής, το τετράποδο ήταν ο πρώτος προκατασκευασμένος λίθος θωράκισης από σκυρόδεμα. Δημιουργήθηκε το 1953 από τη γαλλική εταιρεία Neyrpic που επιδίωκε τη δημιουργία ογκολίθων κατάλληλης διαπερατότητας και με ικανότητα αλληλοεμπλοκής ώστε να μην απαιτείται υψηλό ίδιο βάρος για την ευστάθεια. Το 1966 αναζητήθηκε νέος τύπος λίθων θωράκισης για την αποκατάσταση και επισκευή του κυματοθραύστη στο λιμένα East London στη νότια Αφρική λόγω του υψηλού κόστους των ήδη υπάρχοντων. Έτσι, το 1967 οι Merrifield & Zwamborn εφηύραν το δόλο ύστερα από πολλά εργαστηριακά πειράματα και παρατηρήσεις στο πεδίο χρησιμοποιώντας ξύλινα προσομοίωματα.

Γενικά, συνηθίζεται σε μια στρώση θωράκισης να εφαρμόζεται μόνο ένας τύπος ογκολίθου και να μη γίνεται συνδυασμός διαφορετικών ειδών. Βέβαια, ενδέχεται να υπάρχει διακύμανση του βάθους της θάλασσας και του ύψους κύματος σχεδιασμού  $H_s$  κατά μήκος ενός κυματοθραύστη, αλλά είναι φρόνιμο να διατηρείται ενιαίος τύπος ογκολίθων σταθερού βάρους για οικονομικούς λόγους και προς αποφυγή λαθών. Άλλωστε, ο Foster (1985) διαπίστωσε προβλήματα κατά την εφαρμογή συνδυασμού δόλων και λίθων Tribar, ειδικά κοντά στην ελεύθερη στάθμη της θάλασσας όπου εμφανίζεται η μέγιστη συγκέντρωση κυματικής ενέργειας.

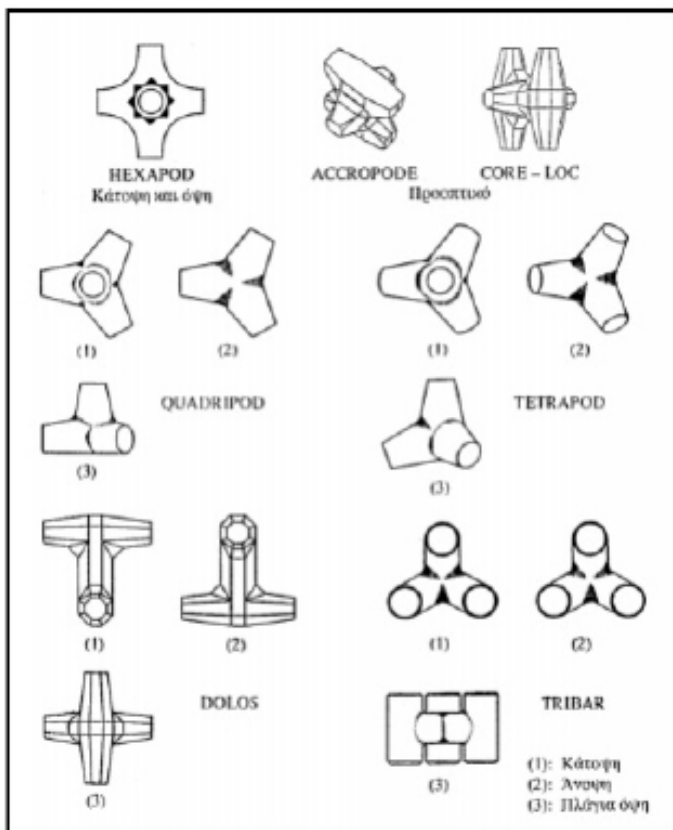
Κατά τη συντήρηση και επισκευή κυματοθραυστών απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη σύνδεση των νέων με τα υπάρχοντα τεμάχια θωράκισης.

### **2.4.3 : Κυματοθραύστες με κατακόρυφο μέτωπο**

Οι κατακόρυφοι κυματοθραύστες (vertical breakwaters), όπως υποδεικνύει η ονομασία τους, έχουν κατακόρυφο μέτωπο αντί για πρηνή από λιθορριπές, όπου οι προσερχόμενοι κυματισμοί θραύονται και έτσι απορροφάται η ενέργειά τους. Αντίθετως, στο κατακόρυφο μέτωπο οι προσπίπτοντες κυματισμοί ανακλώνται με αποτέλεσμα να δημιουργείται στάσιμο κύμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση υψηλών ταχυτήτων εκεί απειλώντας τον πόδα της κατασκευής με υποσκαφή, ενώ ταυτόχρονα πιθανές

ζημιές δεν είναι εύκολο να επιδιορθωθούν. Επιπρόσθετα, οι τάσεις που μεταβιβάζει το έργο στον πυθμένα θεμελίωσης είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις έδρασης ενός κυματοθραύστη με πρηνή. Αυτό είναι λογικό καθώς ο κατακόρυφος κυματοθραύστης μεταφέρει τις δυνάμεις σε μικρότερη επιφάνεια έδρασης. Για όλους αυτούς τους λόγους τα έργα με κατακόρυφα πρηνή θα πρέπει να θεμελιώνονται πολύ προσεκτικά.

Ένα ακόμη μειονέκτημα αυτού του τύπου κυματοθραύστη είναι το γεγονός ότι το κόστος κατασκευής αυξάνει σημαντικά με το βάθος, γεγονός που οδηγεί στη λύση σύνθετης διατομής ( με πρηνή και κατακόρυφο μέτωπο), που αναλύεται στην επόμενη υποενότητα.

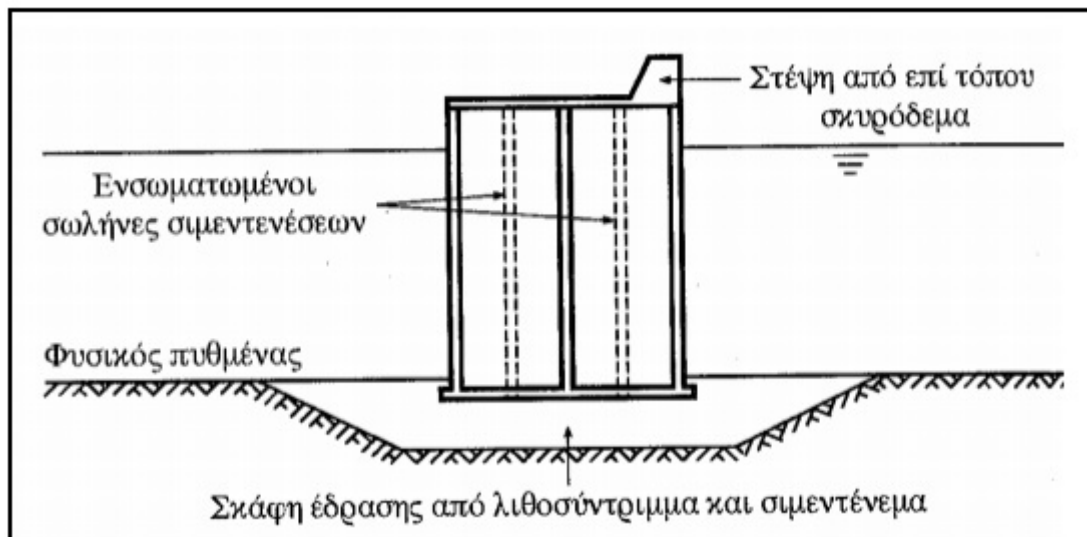


Εικ. 2.28: Μερικά είδη τεχνητών ογκολίθων (Πηγή Κ.Μέμος, Εισαγωγή στα Λιμενικά Έργα 2008)

Παρόλ'αυτά, οι κυματοθραύστες με κατακόρυφο μέτωπο παρουσιάζουν και αξιόλογα πλεονεκτήματα, ένα από τα οποία είναι η μικρότερη κατάληψη χώρου σε σύγκριση με τους κυματοθραύστες με πρηνή. Η κατασκευή τους μπορεί να λάβει χώρα οπουδήποτε, ακόμα και στην ξηρά, με αποτέλεσμα στη φάση της κατασκευής να μην εμποδίζονται οι παρακείμενες λιμενικές, ή γενικά παράκτιες, δραστηριότητες και έτσι έχουμε λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Δεν απαιτείται μεγάλος όγκος υλικών και επομένως αποτελούν ιδανική λύση όταν η χρήση λίθων λατομείου είναι απαγορευτική είτε από οικονομική είτε από περιβαλλοντική άποψη. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι κατακόρυφοι κυματοθραύστες εξασφαλίζουν ασφαλέστερη πλοήγηση των πλοίων κοντά σε αυτούς, καθώς τα τελευταία μπορούν να πλησιάσουν πιο κοντά στο έργο.

Κυματοθραύστες με κατακόρυφο μέτωπο μπορούν να κατασκευαστούν με δύο τρόπους.

Ο ένας τύπος κατακόρυφου κυματοθραύστη είναι με πλωτά κιβώτια οπλισμένου σκυροδέματος (caisson), όπως η κατασκευή που απεικονίζεται στην εικόνα 2.3.3. Τα κιβώτια αυτά κατασκευάζονται σε νεωκό ή μόνιμη δεξαμενή στην ξηρά και στη συνέχεια ποντίζονται στη θέση για την οποία προορίζονται. Έπειτα, το εσωτερικό τους συμπληρώνεται με υλικά όπως αμμοχάλικο, λιθοσύντριμμα, κ.τ.λ., ώστε να αποκτήσουν το κατάλληλο βάρος και να μείνουν σταθερά στη θέση τους. Τα caisson κατασκευάζονται από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα με ή χωρίς πυθμένα. Συνεπώς, χαρακτηρίζονται ως κλειστού ή ανοικτού τύπου αντίστοιχα.



**Εικ. 2.29: Κατακόρυφος κυματοθραύστης με πλωτά κιβώτια (caisson)  
(Πηγή Κ.Μέμος, Εισαγωγή στα Λιμενικά Έργα 2008)**

Ο επόμενος τύπος κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο κατασκευάζεται με προκατασκευασμένους ογκολίθους, οι οποίοι μπορεί είτε να είναι συμπαγείς είτε όχι. Προκειμένου να μην αποδιοργανωθεί η κατασκευή υπό την υδροδυναμική φόρτιση που επιβάλλουν οι κυματισμοί, χρειάζεται να ληφθούν μέτρα που να εξασφαλίζουν τη διατήρηση της αλληλοεμπλοκής των λίθων και κατ' επέκταση τη μονολιθικότητα της κατασκευής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλη διάταξη των ογκολίθων ή με χρήση σπονδυλωτών στοιχείων.

Οι σπόνδυλοι διατάσσονται με τρόπο ώστε να εμποδίζεται όσο το δυνατόν η σχετική μετακίνηση τους, ενώ τα κενά μεταξύ τους συμπληρώνονται με ύφαλο σκυρόδεμα. Εάν οι σπόνδυλοι έχουν κενά μεγάλων διαστάσεων καλούνται κυψελωτοί (Σχήμα 2.6) και σ' αυτή την περίπτωση το σκυρόδεμα πλήρωσης καλείται να αναλάβει σημαντικά φορτία. Ωστόσο, το ύφαλο χυτό σκυρόδεμα είναι αρκετές φορές αμφιβόλου ποιότητας, οπότε καλό είναι να αποφεύγονται οι κυψελωτοί σπόνδυλοι σε κυματοθραύστες με κατακόρυφο μέτωπο.

#### 2.4.4 : Αρχές σχεδιασμού

Συμβατικά ο σχεδιασμός των κυματοθραυστών γίνεται με ντετερμινιστικές μεθόδους με στόχο το επιλεγμένο φορτίο σχεδιασμού να μην υπερβαίνει την αντοχή (φέρουσα ικανότητα) του έργου. Σ' αυτές τις μεθόδους ως ύψος κύματος σχεδιασμού χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικές τιμές (για παράδειγμα  $H_{1/3}$  ή  $H_{1/10}$ ) που θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν το κυματικό κλίμα μιας συγκεκριμένης περιοχής. Σε όσες σχέσεις υπεισέρχεται και η περίοδος του κυματισμού χρησιμοποιούνται συνήθως η μέση περίοδος  $T_m$  ή η περίοδος αιχμής  $T_p$ . Στην πραγματικότητα, όμως, ο κυματοθραύστης είναι εκτεθειμένος σε μια ποικιλία κυμάτων διαφόρων χαρακτηριστικών με διαφορετική συχνότητα εμφάνισης το κάθε ένα. Είναι πιθανό, λοιπόν, η θωράκιση να δεχτεί φορτίσεις υψηλότερες αυτών που χρησιμοποιήθηκαν κατά το σχεδιασμό και έτσι να επέλθει αστοχία. Γι' αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί και πιθανοτικές μέθοδοι σχεδιασμού. Σύμφωνα με αυτές η θωράκιση σχεδιάζεται για ορισμένη αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας (π.χ.  $P_f = 0,05$ ). Έτσι, υπάρχει δυνατότητα καλύτερης πρόβλεψης της απόκρισης της κατασκευής για διάφορα επιβαλλόμενα φορτία και των ζημιών που ενδέχεται να προκληθούν. Η οικονομική βελτιστοποίηση του έργου καθίσταται πλέον εφικτή, αφού μπορεί να κατασκευαστεί θωράκιση με την απαραίτητη ευστάθεια και ασφάλεια και χωρίς περιττή οικονομική δαπάνη.





# Κεφάλαιο 3 : Πειραματικές Διατάξεις

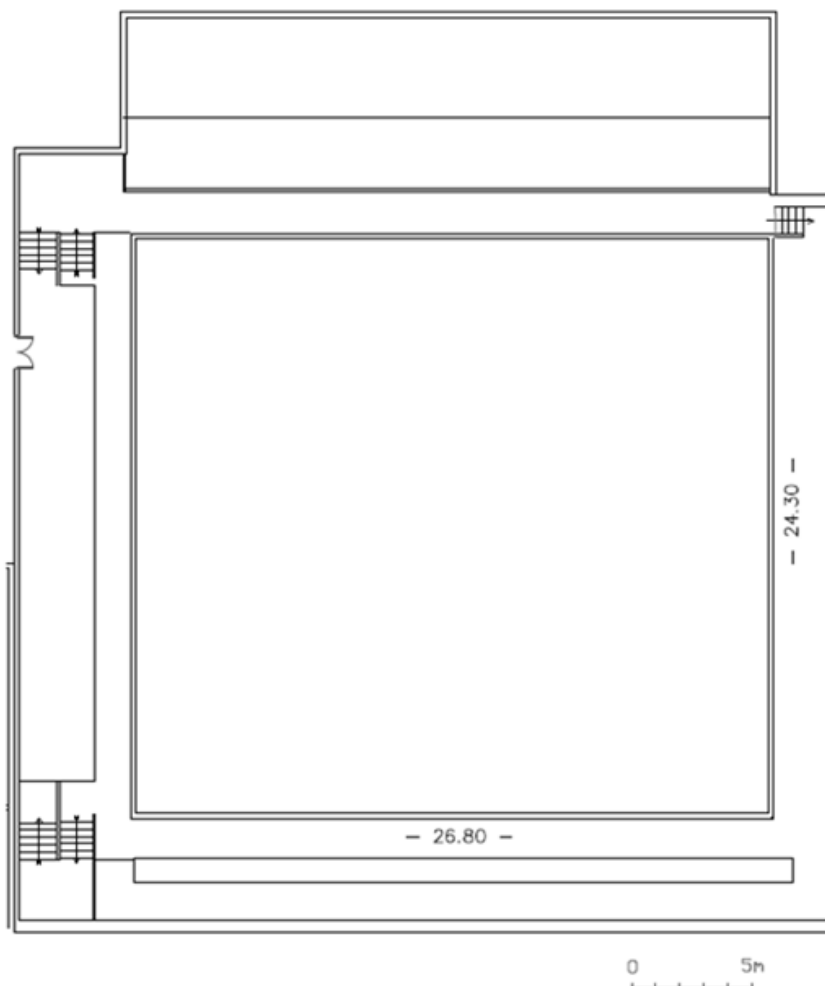
## 3.1 : Εγκαστάσεις και εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκαν

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται οι χρησιμοποιούμενες στην παρούσα μελέτη πειραματικές εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων. Βασική εγκατάσταση ήταν η τρισδιάστατη Δεξαμενή Δοκιμών Δ1 του Ε.Λ.Ε. εξοπλισμένη με τα κατάλληλα όργανά και λογισμικό για την εκτέλεση παρομοίων δοκιμών.

### 3.1.1 : Δεξαμενή Δ1 του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων

Η Δεξαμενή Δοκιμών Δ1 έχει εξωτερικές διαστάσεις 26,80 x 24,30 m<sup>2</sup> και βάθος 1,1 m. Η κάτοψη της δεξαμενής παρουσιάζεται στην εικόνα 3.1. Στην δεξαμενή είναι εγκατεστημένο σύστημα παραγωγής τυχαίων κυματισμών και για τις ανάγκες του συγκεκριμένου πειράματος διαμορφώθηκε τμήμα της δεξαμενής σε δώρυγα με την κατασκευή 2 κατακόρυφων τοίχων. Στο ένα άκρο της δώρυγας τοποθετήθηκε ένας κυματιστήρας ενώ στο άλλο άκρο τοποθετήθηκε το φυσικό προσομοίωμα.

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



Εικ. 3.1: Κάτοψη της Δεξαμενής Δοκιμών Δ1 του Ε.Λ.Ε.

### 3.1.2 Συστήματα παραγωγής τυχαίων κυματισμών

Το σύστημα παραγωγής κυμάτων κινείται υδραυλικά και αποτελείται από 3 κυματιστήρες, εκ των οποίων ο ένας χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Οι διαστάσεις του μετώπου του κυματιστήρα είναι 6.0 x 1.2m<sup>2</sup>. Το σύστημα παραγωγής κυμάτων είναι της Αγγλικής εταιρείας HR Wallinford.

Οι εντολές για την λειτουργία του υδραυλικού συστήματος δίδονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό στο σύστημα ελέγχου. Το λογισμικό, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των κυμάτων είναι το πακέτο WAVEDATA της Αγγλικής Εταιρείας H.R Wallingford. Έχει την δυνατότητα παραγωγής μονοχρωματικών (ημιτονοειδών) κυματισμών και φασματικών διαταραχών



Εικ. 3.2 Κυματιστήρας του Εργαστηρίου

### 3.1.3 Μετρητές κύματος

Για την μέτρηση των κυμάτων στην δεξαμενή χρησιμοποιήθηκαν μετρητές κύματος τύπου αντιστάσεως, οι οποίοι μετρούν την στιγμιαία μεταβολή της στάθμης του ύδατος. Αποτελούνται από δύο σύρματα στερεωμένα σε στέλεχος στηριζόμενο σε τρίποδο (βάση). Η διαφορετική στάθμη νερού δημιουργεί διαφορετική διαφορά δυναμικού, από την οποία με την κατάλληλη βαθμονόμηση προκύπτει η μεταβολή της στάθμης. Οι μετρητές είναι συνδεδεμένοι με ενισχυτή σήματος, ο οποίος στην συνέχεια μεταφέρει το σήμα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι μετρητές κύματος που χρησιμοποιήθηκαν είναι της εταιρείας HR Wallingford. Στην παρούσα μελέτη μετρήθηκε και αναλύθηκε η κυματική διαταραχή σε 7 διαφορετικά σημεία για κάθε διατομή που ελέγχθηκε. Για την συλλογή και ανάλυση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο WAVEDATA της εταιρείας HR WALLINGFORD. Οι μετρητές κύματος είναι συνδεδεμένοι με ηλεκτρονικό υπολογιστή στον οποίο αποθηκεύονται οι πληροφορίες για την περαιτέρω ανάλυση. Τα μετρηθέντα κύματα αναλύθηκαν φασματικά και στατιστικά.



**Εικ. 3.3 : Μετρητής κύματος του εργαστηρίου, τοποθετημένος πάνω σε τρίποδο**

### **3.1.4 Βαθμονόμηση δεξαμενής και μετρητών κύματος**

Πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων έγινε βαθμονόμηση της δεξαμενής με τα κυματικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων χωρίς την παρουσία του φυσικού προσομοιώματος. Επειδή όμως το φυσικό προσομοίωμα ήταν πολύανακλαστικό, τα κύματα βαθμονομούνται καθημερινά πριν την έναρξη των μετρήσεων. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν 4 μετρητές κύματος σε απόσταση από 1 έως και 2 μέτρα από τον πόδα του φυσικού προσομοιώματος και στην συνέχεια γινόταν ανάλυση της ανάκλασης ούτως ώστε ο προσπίπτων κυματισμός να είναι ο προδιαγεγραμμένος. Τα μετρητικά όργανα (μετρητές κύματος) βαθμονομούνται επίσης καθημερινά πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων. Για την βαθμονόμηση των μετρητών κύματος μεταβαλλόταν το εμβαπτισμένο τμήμα του σύρματος και μεταβαλλόταν η διαφορά δυναμικού, η οποία κατεγράφετο. Για τον σκοπό αυτό τα στελέχη επί των οποίων στηρίζονται τα σύρματα των μετρητών κύματος είναι εφοδιασμένα με σπές ανά 2 cm ούτως ώστε να είναι δυνατή η μεταβολή του εμβαπτισμένου τμήματος του μετρητή.

### 3.1.5 Μέτρηση Πίεσης

Για τη μέτρηση των πιέσεων χρησιμοποιήθηκαν επτά (7) αισθητήρες πίεσης της εταιρείας Micron Instruments τύπου MP100B-50G, ενώ ένας επιπλέον αισθητήρας τύπου MP100B100G τοποθετήθηκε στο βαθύτερο σημείο του κυματοθραύστη (Εικόνα 5.1.5α). Οι αισθητήρες 50G και 100G έχουν περιοχή μέτρησης μέχρι 50 PSI και 100 PSI, αντίστοιχα. Οι αισθητήρες αυτοί αποτελούνται από ένα δίσκο διαμέτρου 6 mm και πάχους 0.6 mm. Στο πίσω μέρος της επιφάνειας που ασκείται η πίεση είναι συγκολλημένα επιταχυνσιόμετρα τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται με μια γέφυρα Wheatstone. Είναι φανερό ότι το σήμα που λαμβάνουμε είναι κάποια τάση η οποία πρέπει να μετατραπεί με τη βοήθεια μιας γραμμικής συνάρτησης μεταφοράς σε μονάδες πίεσης. Η επιφάνεια του αισθητήρα τοποθετείται στο μέσο του προτύπου του κυματοθραύστη, αφού αυτό διατηρηθεί πρώτα εσωτερικά, ώστε ο άξονας του δίσκου του αισθητήρα να είναι κάθετος στην εξωτερική επιφάνεια του κυματοθραύστη. Ακολουθεί δειγματοληψία του σήματος που προέρχεται από τους αισθητήρες και αποθήκευσή του στον ένα φορητό Η/Υ για περαιτέρω ανάλυση.

Πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων έγινε βαθμονόμηση της δεξαμενής με τα κυματικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων χωρίς την παρουσία του φυσικού προσομοιώματος. Επειδή όμως το φυσικό προσομοίωμα ήταν πολύ ανακλαστικό, τα κύματα βαθμονομούνται καθημερινά πριν την έναρξη των μετρήσεων. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν 4 μετρητές κύματος σε απόσταση από 1 έως και 2 μέτρα από τον πόδα του φυσικού προσομοιώματος και στην συνέχεια γινόταν ανάλυση Πριν Πριν



Εικ. 3.4 : Αισθητήρας Πίεσης

Οι αισθητήρες βαθμονομήθηκαν στην Πειραματική Δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του ΕΜΠ με μέτρηση στον αέρα και στον πυθμένα της Δεξαμενής. Αρχικές τιμές (χωρίς κυματισμούς) λαμβάνονταν και πριν από κάθε μέτρηση ώστε να διορθώνονται κατάλληλα οι μετρήσεις λαμβάνοντας υπόψη την υδροστατική πίεση.

Η δειγματοληψία έγινε με ένα σύστημα SPIDER 8-30 της εταιρείας HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK (HBM) GMBH Γερμανίας (Εικόνα 3.1.5.β) Πρόκειται για ένα ενισχυτή παράλληλης δειγματοληψίας για συνεργασία με Η/Υ, 4 εισόδων (differential) στάνταρτ + 4 εισοδοί προαιρετικοί, για σύνδεση αισθητηρίων ωμικής γέφυρας (1/4 - 1/2 - 4/4) & τάσεως. Ακρίβεια 16 bit, ταχύτητα μετρήσεων 9600 μετρ./sec. Το σύστημα αυτό των 8 καναλιών αντιστοιχεί σε ταχύτητα των συμβατικών πολυπλεκτικών καρτών > 100000 μετρ./sec. Δεν διαθέτει τοπική μνήμη κάνοντας χρήση της μνήμης του Η/Υ. Το σύστημα συνδέεται με κάρτα μετατροπής της παράλληλης εξόδου σε USB.



Εικ. 3.5 : Σύστημα παράλληλης δειγματοληψίας SPIDER 8-30

### 3.1.6 Κατασκευή Φυσικού Προσομοιώματος

Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας κατασκευάστηκε ένα φυσικό προσομοίωμα υπό γεωμετρική κλίμακα 1:40. Το φυσικό προσομοίωμα τοποθετήθηκε σε διαμορφωμένη διώρυγα πλάτους 7 m και μήκους 22 m, εντός της Δεξαμενής Δοκιμών 1 του Ε.Λ.Ε. Στην μια πλευρά της διώρυγας τοποθετήθηκε ο κυματιστήρας πλάτους 6.0 m, ενώ στην απέναντι πλευρά τοποθετήθηκε το φυσικό προσομοίωμα πλάτους 2.0 m.

Το εξωτερικό μέτωπο της διατομής που προσομοιώθηκε, κατασκευάστηκε από στρατζαριστή λαμαρίνα πάχους 2 mm. Με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής κατασκευάστηκαν 4 σιδηροί οδηγοί, επί των οποίων επικολλήθηκε η στρατζαριστή λαμαρίνα, αφού είχε καμπυλωθεί σύμφωνα με τα τις διαστάσεις του προσομοιώματος. Η κοπή των οδηγών και η καμπύλωση των λαμαρινών έγινε από ειδικό συνεργείο με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, ούτως ώστε το προσομοίωμα να είναι απολύτως σωστά κατασκευασμένο. Το μήκος του προσομοιώματος ήταν 2.0 m. Στο κέντρο της εξωτερικής επιφάνειας της διατομής σε 8 καθορισμένες κατακόρυφες διαστάσεις ανοίχθηκαν οπές πάνω στις οποίες θα στερεώνονται οι μετρητές πίεσης.

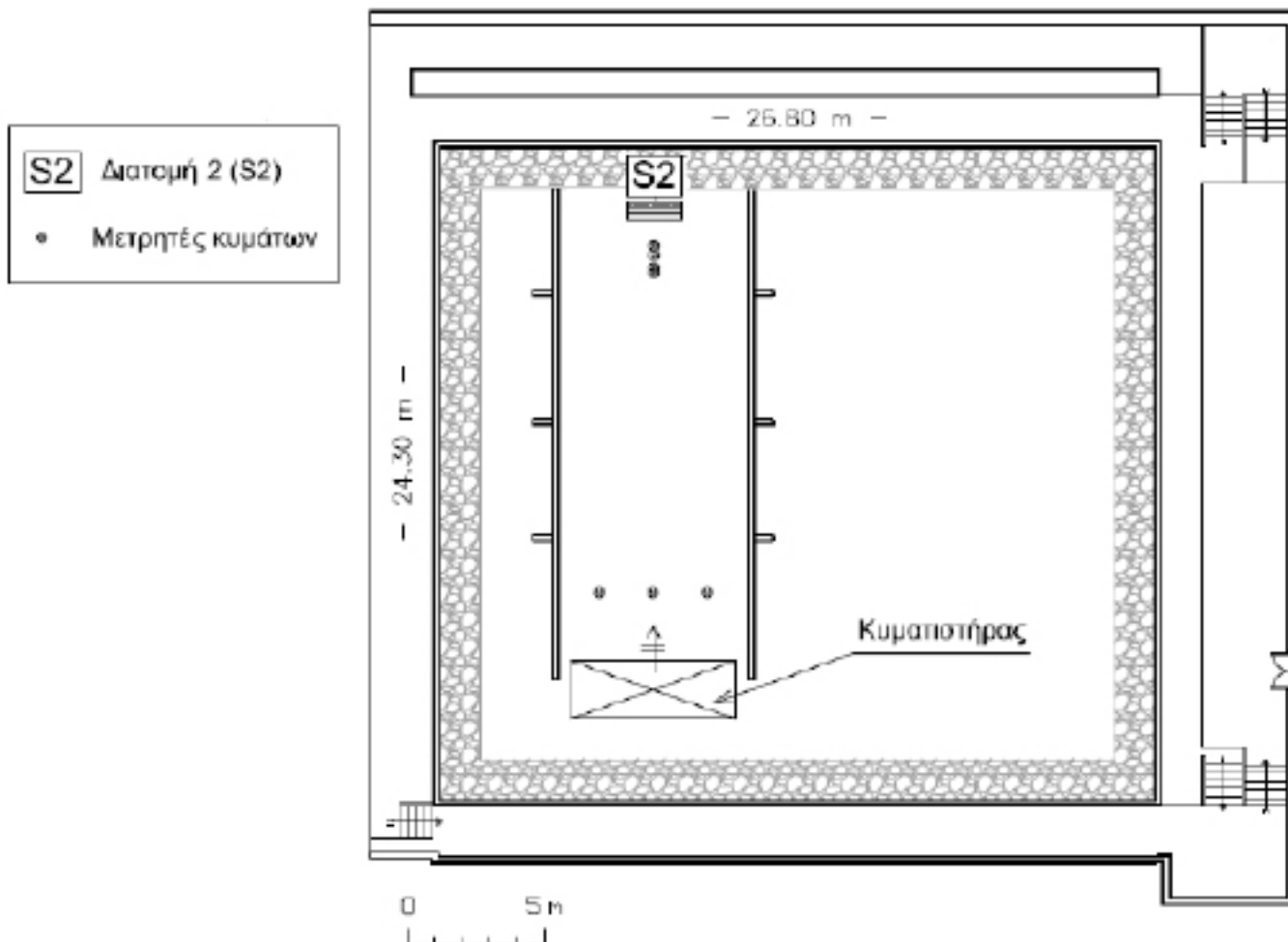
Στην συνέχεια το «κουτί» της διατομής έκλεισε και τοποθετήθηκε στην θέση του στην δεξαμενή δοκιμών όπου και πληρώθηκε με σκυρόδεμα.

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων η στάθμη ηρεμούντος ύδατος ορίστηκε σε 53cm και σε 49cm για τις μετρήσεις της πίεσης.

Για την καταγραφή της κυματικής διαταραχής χρησιμοποιήθηκαν 5 μετρητές κύματος εμπρός από κάθε διατομή κάθετα στο μέσον της διατομής. Στην εικόνα 3.7 δίνεται η οριζοντιογραφία του φυσικού προσομοιώματος στην δεξαμενή δοκιμών με τις θέσεις των μετρητών κύματος ενδεικτικά.



Εικ. 3.6 : Αρχική τοποθέτηση φυσικών προσομοιωμάτων στην διώρυγα



Εικ. 3.7: Κάτοψη λυμενικών εγκαταστάσεων Ε.Λ.Ε

Στον Πίνακα 3.1 δίνονται οι αποστάσεις των κέντρων των μετρητών πίεσεως από την ορισθείσα στάθμη ύδατος για τις μετρήσεις πίεσεως για την ελεγχθείσα διατομή S2.

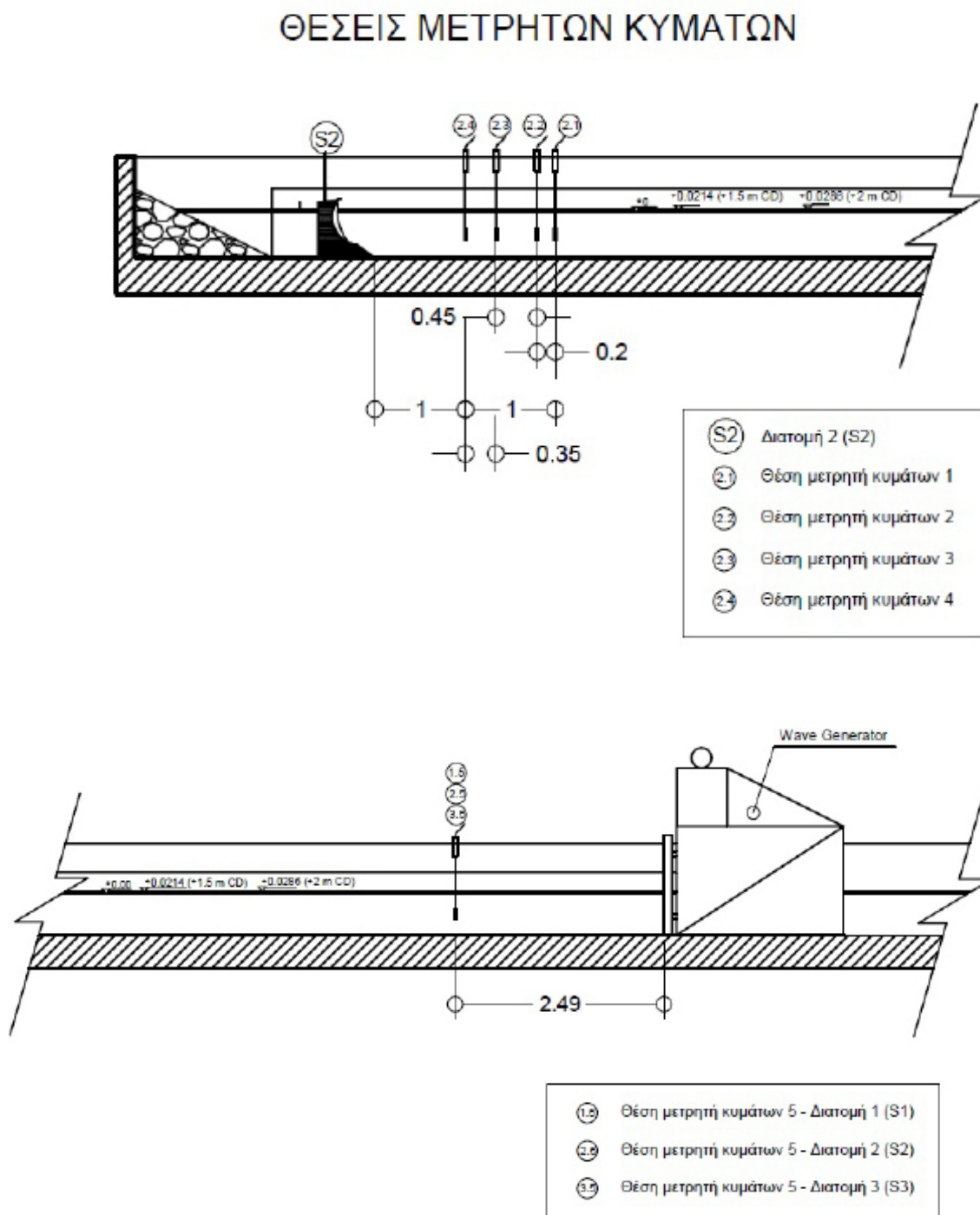
Διατομή S2		
	d(m)	
	+0,53	+0,49
PT-0	0,142	0,102
PT-1	0,087	0,047
PT-2	0,037	-0,003
PT-3	-0,013	-0,053
PT-4	-0,063	-0,103
PT-5	-0,113	-0,153
PT-6	-0,163	-0,203
PT-7	-0,212	-0,252

Πίνακας 3.1 : . Θέσεις μετρητών πίεσεως από την ανωτάτη στάθμη ηρεμούντος ύδατος

### 3.1.7 Πειραματική διάταξη

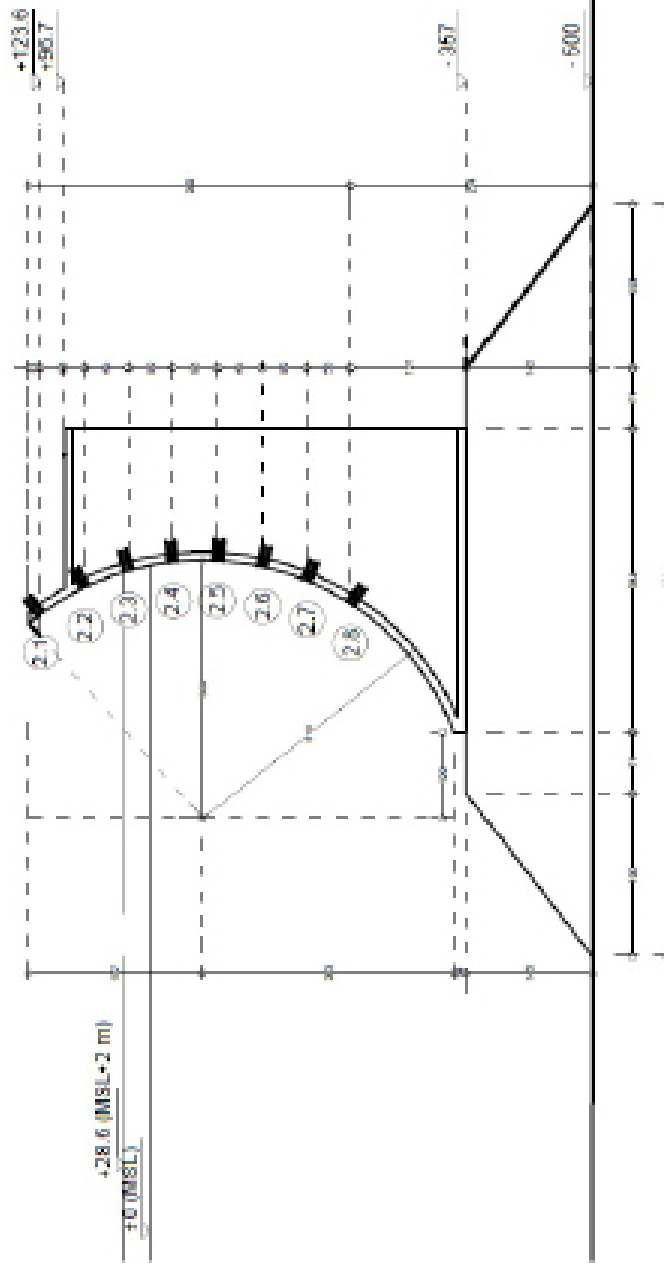
Το μέτωπο της Διατομής αποτελείται από κεκλιμένο τοίχιο από σκυροδέμα. Στο έξαλλο τμήμα της ανωδομής διαμορφώνεται προστατευτικό καμπύλο τοίχιο με στάθμη στέψης στο +0,62.

Τομή της διάταξης της Διατομής S2 εντός της διώρυγας δίνεται στην Εικόνα 3.8. Τυπική τομή της Διατομής S2 με τις θέσεις των μετρητών πίεσης παρουσιάζεται στα Σχήματα 3.9 και 3.10.



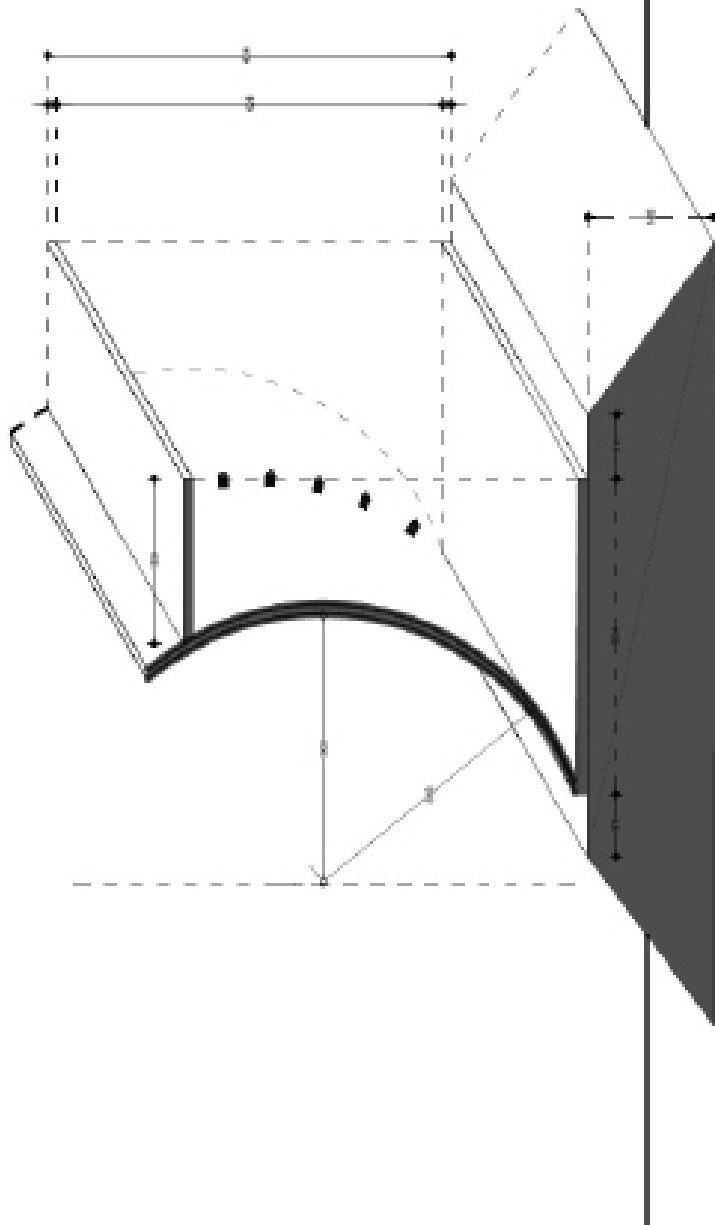
Εικ. 3.8 : Τομή της πειραματικής διάταξης

- 2.1 Εύρη μισογώνι πάσης ΡΤ-8
- 2.2 Εύρη μισογώνι πάσης ΡΤ-3
- 2.3 Εύρη μισογώνι πάσης ΡΤ-2
- 2.4 Εύρη μισογώνι πάσης ΡΤ-3
- 2.5 Εύρη μισογώνι πάσης ΡΤ-4
- 2.6 Εύρη μισογώνι πάσης ΡΤ-8
- 2.7 Εύρη μισογώνι πάσης ΡΤ-8
- 2.8 Εύρη μισογώνι πάσης ΡΤ-7



**ΔΙΑΤΟΜΗ 2 (S2)**  
**ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ**  
 κλίμακα 1:70  
 (διαστάσεις σε mm)





## ΔΙΑΤΟΜΗ 2 (S2)

ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ  
αξονομετρικό  
(διαστάσεις σε mm)

## 3.2 Παραγωγή Κυμάτων

Για τις μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκαν φάσματα τύπου JONSWAP με παράμετρο κλίσης ίση με 3.3. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ειδικά αρχεία βάσει των χαρακτηριστικών παραμέτρων των κυμάτων  $H_s$  και  $T_p$ , της κλίμακας ομοιότητας καθώς και του τύπου φάσματος JONSWAP, που έδιναν τις κατάλληλες εντολές στο σύστημα ελέγχου της κυματογεννήτριας. Στους επόμενους πίνακες δίνονται τα χαρακτηριστικά  $H_s$  και  $T_p$  των φασμάτων των κυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

Κωδικός Μητρώου	Πραγματικά Κύματα			Υπό Κλίμακα 1:40			Gain Factor
	$H(m)$	$T_p(s)$	$f$	$H(cm)$	$T_p(s)$	$f$	
K1.A	7	11.39	0.088	17.5	1.801	0.555	1
K1.B	7	11.39	0.088	17.5	1.801	0.555	1.1
K2.A	6.5	10.98	0.091	16.25	1.736	0.576	1
K2.B	6.5	10.98	0.091	16.25	1.736	0.576	1.1
K3.A	6	10.55	0.095	15	1.668	0.6	1
K3.B	6	10.55	0.095	15	1.668	0.6	1.1
K3.Γ	6	10.55	0.095	15	1.668	0.6	1.2
K4.A	5.3	9.91	0.101	13.25	1.567	0.638	1.1
K4.B	5.3	9.91	0.101	13.25	1.567	0.638	1.2
K4.Γ	5.3	9.91	0.101	13.25	1.567	0.638	1.35
K5.A	4.5	9.13	0.109	11.25	1.444	0.692	1.05
K5.B	4.5	9.13	0.109	11.25	1.444	0.692	1.2
K5.Γ	4.5	9.13	0.109	11.25	1.444	0.692	1.35
K6.A	3.8	8.32	0.12	9.5	1.315	0.761	1.1
K6.B	3.8	8.32	0.12	9.5	1.315	0.761	1.25
K6.Γ	3.8	8.32	0.12	9.5	1.315	0.761	1.35
K7	3.2	7.7	0.13	8	1.218	0.821	1.3
K8	2.5	6.81	0.147	6.25	1.077	0.929	1.35

Πίνακας 3.2 :Χαρακτηριστικά κυμάτων που χρησιμοποιήσαμε στο πείραμα

### 3.2.1 Συλλογή μετρήσεων και ανάλυση

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγιναν βασικά μετρήσεις πίεσης και η συμπεριφορά της ανάκλασης από τις μετρήσεις της κυματικής διαταραχής. Συγχρόνως έγιναν και μετρήσεις κυματικής διαταραχής σε 3 σημεία για τον έλεγχο των παραγόμενων κυμάτων. Οι καταγραφές των κυμάτων γινόταν ταυτόχρονα με τις καταγραφές των πιέσεων, ενώ κατά την διάρκεια των μετρήσεων ανάκλασης γινόταν ταυτόχρονη καταγραφή των κυμάτων με βάση τα δεδομένα που καταγράφονταν από τους 4 μετρητές(Παράρτημα Δ).

### 3.2.2 Μετρήσεις κυματικής διαταραχής

Για την καταγραφή της κυματικής διαταραχής σε κάθε φυσικό προσομοίωμα τοποθετήθηκαν 7 μετρητές κύματος σε προκαθορισμένες θέσεις. Με τα δεδομένα των 4 μετρητών ελέγξαμε τη μέτρηση της ανάκλασης σε όλα τα πειράματα. Στη σελίδα 48 παρουσιάζονται οι θέσεις των μετρητών κύματος Mi.1 έως Mi.4 εμπρός από το φυσικό προσομοίωμα. Ο μετρητής Mi.5 έως Mi.7 βρίσκονται σε απόσταση  $\sim 2.5$  m από τον κυματιστήρα και αποτελούν τους μετρητές ελέγχου του προσπίπτοντος κυματισμού.

Όσον αφορά τις συνοδευτικές ταυτόχρονες μετρήσεις κυμάτων κατά την διάρκεια των μετρήσεων πίεσεως γινόταν καταγραφή 359 sec με 60 Hz. Η διάρκεια των 359 sec επελέγη διότι το κύμα παρέμενε σταθερό κατά την διάρκεια αυτή, ενώ στην συνέχεια υπήρχαν επιδράσεις στερεών ορίων.

A/A	Κωδικός μέτρησης	Φάσμα	Στάθμη ηρεμίας κύματος	Χαρακτηριστικά κύματος(probe 4)	
			d(m)	Hs(mm)	Tr(s)
1	1.1.1	K8	0.53	67.17512	1.066667
2	1.1.2	K8	0.53	70.31334	1.066667
3	1.2.1	K7	0.53	69.95317	1.422222
4	1.3.1	K6.A	0.53	77.60443	1.422222
5	1.3.2	K6.A	0.53	75.22743	1.422222
6	1.3.3	K6.B	0.53	75.22743	1.422222
7	1.3.4	K6.Γ	0.53	81.74212	1.422222
8	1.4.1	K5.A	0.53	75.90703	1.422222
9	1.4.2	K5.B	0.53	86.91754	1.422222
10	1.4.3	K5.B	0.53	83.36376	1.422222
11	1.4.4	K5.Γ	0.53	87.33393	1.422222
12	1.4.5	K5.Γ	0.53	96.88309	1.422222
13	1.5.1	K4.A	0.53	104.3413	1.422222
14	1.5.2	K4.A	0.53	109.0119	1.422222
15	1.5.3	K4.B	0.53	109.0119	1.422222
16	1.5.4	K4.B	0.53	103.631	1.706667
17	1.5.5	K4.Γ	0.53	104.1959	1.706667
18	1.5.6	K4.Γ	0.53	112.5521	1.706667
19	1.6.1	K3.A	0.53	115.5086	1.706667
20	1.6.2	K3.A	0.53	126.9579	1.706667
21	1.6.3	K3.B	0.53	127.7415	1.706667
22	1.6.4	K3.B	0.53	110.2061	1.706667
23	1.7.1	K3.Γ	0.53	118.8256	1.706667
24	1.7.2	K3.Γ	0.53	126.2738	1.706667
25	1.8.1	K2.A	0.53	133.3459	1.706667

26	1.8.2	K2.A	0.53	117.346	1.706667
27	1.8.3	K2.B	0.53	110.1284	1.706667
28	1.8.4	K2.B	0.53	132.9771	1.706667
29	1.9.1	K1.A	0.53	150.0918	1.706667
30	1.9.2	K1.B	0.53	126.1787	1.706667
31	1.9.3	K1.B	0.53	142.195	1.706667
32	2.1.1	K4.B	0.49	146.5647	1.706667
33	2.1.2	K4.B	0.49	101.2965	1.706667
34	2.1.3	K4.Γ	0.49	98.9961	1.422222
35	2.1.4	K4.Γ	0.49	113.2831	1.706667
36	2.2.1	K3.B	0.49	118.3081	1.422222
37	2.2.2	K3.B	0.49	108.265	1.706667
38	2.2.3	K3.Γ	0.49	103.3458	1.706667
39	2.2.4	K3.Γ	0.49	123.743	1.706667
40	2.3.1	K2.A	0.49	114.5446	1.706667
41	2.3.2	K2.A	0.49	112.4899	1.706667
42	2.3.3	K2.B	0.49	113.4199	1.706667
43	2.3.4	K2.B	0.49	126.4768	1.706667
44	2.4.1	K1.A	0.49	126.5826	1.706667
45	2.4.2	K1.A	0.49	108.3794	1.706667
46	2.4.3	K1.B	0.49	121.5227	1.706667
47	2.4.4	K1.B	0.49	120.6056	1.706667

Πίνακας 3.4 : Εκτελεσθέντα Πειράματα

### 3.2.3 Μετρήσεις πιέσεων

Οι μετρήσεις έγιναν σε δύο διαφορετικές στάθμες νερού(+53cm και +49cm) και μετρήθηκαν συνολικά 42 διαφορετικοί συνδυασμοί ύψους κύματος και περιόδου κύματος από τον κυματηστήρα. Οι μετρήσεις των πιέσεων επι του μετώπου έγιναν με τη χρήση 8 αισθητήρων πίεσης(PT-0/PT-1/PT-2/PT-3/PT-4/PT-5/PT-6/PT-7). Το σήμα που λαμβάναμε ήταν ως μία μορφή τάσης και με τη χρήση μιας συνάρτησης μεταφοράς το μετατρέψαμε σε μονάδες πίεσης(Πίνακας 3.2.3). από μέτρησή σε μέτρηση καταμετρούσαμε και τις τιμές του ηρεμούντος κύματος. Τις τιμές αυτές τις αφαιρέσαμε από τις μετρούμενες για να γίνει πιο ακριβής η καταγραφή της πίεσης από το δοσμένο κύμα

	PT-0	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6	PT-7
S/N	57.877	57.886	13.766	13.763	57.884	57.891	57.890	13.761
PSI	100G	50G	50G	50G	50G	50G	50G	50G
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	-0.2096	-0.2094	0.0492	0.0452	0.2682	0.4908	0.249	0.0342
ΒΥΘΙΣΗ	-0.1501 (51cm)	-0.07428 (50.6cm)	0.1902 (50.4cm)	0.1835 (50.01cm)	0.4098 (50.2cm)	0.6368 (50cm)	0.4058 (49.9cm)	0.1747 (49.9cm)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ(ΑΜ)	-0.2110	-0.2046	0.04594	0.0534	0.2712	0.491	0.2605	0.0297
	$y=12.19*x+17.05$	$y=5.326*x+15.61$	$y=5.084*x+14.25$	$y=5.143*x+14.27$	$y=5.042*x+13.15$	$y=4.871*x+12.11$	$y=4.526*x+13.37$	$y=5.051*x+14.33$
	ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ							

Πίνακας 3.5 : εξισώσεις μεταφοράς



# Κεφάλαιο 4 : Πειραματικά Αποτελέσματα

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των πειραματικών αποτελεσμάτων. Αρχικά γίνεται ο έλεγχος παλλόμενου κύματος. Συνεχίζουμε με ενδεικτικές χρονοσειρές καταγραφών των μετρητών πίεσης, και τέλος παρουσιάζονται όλες οι καταγραφές υδροδυναμικών και συνολικών πιέσεων στους 8 μετρητές πίεσης.

## 4.1 Έλεγχος παλλόμενου κύματος

Στον παρακάτω πίνακα υπολογίζεται η παράμετρος  $h^*$ , όπως ορίζεται στο πρώτο κεφάλαιο. Επιβεβαιώνεται ότι όλα τα κύματα που εξετάστηκαν ορίζονται παλλόμενα καθώς η παράμετρος αυτή είναι μεγαλύτερη από 0,3 για όλα τα κύματα.

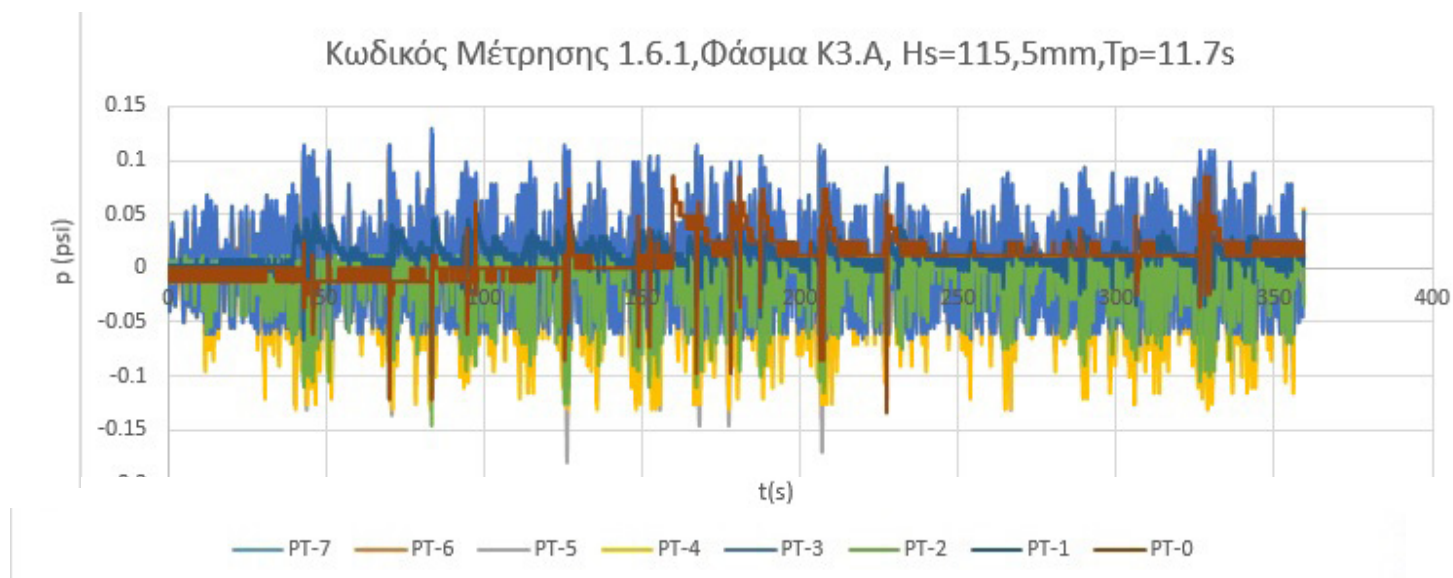
Probe 4							
A/A	Κωδικός μέτρησης	Φάσμα	Στάθμη Ηρεμίας Κύματος	Χαρακτηριστικά Κύματος		Μήκος Κύματος	Παράμετρος Παλλόμενου Κύματος
			d(m)	Hs(mm)	Tr(s)	Lo	$h^*$
1	1.1.1	K8	0,53	67.17512	1.066667	1.777325952	1.777325952
2	1.1.2	K8	0,53	70.31334	1.066667	1.777325952	1.777325952
3	1.2.1	K7	0,53	69.95317	1.422222	3.159687618	3.159687618
4	1.3.1	K6.A	0,53	77.60443	1.422222	3.159687618	3.159687618
5	1.3.2	K6.A	0,53	75.22743	1.422222	3.159687618	3.159687618
6	1.3.3	K6.B	0,53	75.22743	1.422222	3.159687618	3.159687618
7	1.3.4	K6.Γ	0,53	81.74212	1.422222	3.159687618	3.159687618
8	1.4.1	K5.A	0,53	75.90703	1.422222	3.159687618	3.159687618
9	1.4.2	K5.B	0,53	86.91754	1.422222	3.159687618	3.159687618
10	1.4.3	K5.B	0,53	83.36376	1.422222	3.159687618	3.159687618
11	1.4.4	K5.Γ	0,53	87.33393	1.422222	3.159687618	3.159687618
12	1.4.5	K5.Γ	0,53	96.88309	1.422222	3.159687618	3.159687618
13	1.5.1	K4.A	0,53	104.3413	1.422222	3.159687618	3.159687618
14	1.5.2	K4.A	0,53	109.0119	1.422222	3.159687618	3.159687618
15	1.5.3	K4.B	0,53	109.0119	1.422222	3.159687618	3.159687618
16	1.5.4	K4.B	0,53	103.631	1.706667	4.54995337	4.54995337
17	1.5.5	K4.Γ	0,53	104.1959	1.706667	4.54995337	4.54995337
18	1.5.6	K4.Γ	0,53	112.5521	1.706667	4.54995337	4.54995337
19	1.6.1	K3.A	0,53	115.5086	1.706667	4.54995337	4.54995337
20	1.6.2	K3.A	0,53	126.9579	1.706667	4.54995337	4.54995337
21	1.6.3	K3.B	0,53	127.7415	1.706667	4.54995337	4.54995337
22	1.6.4	K3.B	0,53	110.2061	1.706667	4.54995337	4.54995337
23	1.7.1	K3.Γ	0,53	118.8256	1.706667	4.54995337	4.54995337
24	1.7.2	K3.Γ	0,53	126.2738	1.706667	4.54995337	4.54995337
25	1.8.1	K2.A	0,53	133.3459	1.706667	4.54995337	4.54995337

26	1.8.2	K2.A	0,53	117.346	1.706667	4.54995337	4.54995337
27	1.8.3	K2.B	0,53	110.1284	1.706667	4.54995337	4.54995337
28	1.8.4	K2.B	0,53	132.9771	1.706667	4.54995337	4.54995337
29	1.9.1	K1.A	0,53	150.0918	1.706667	4.54995337	4.54995337
30	1.9.2	K1.B	0,53	126.1787	1.706667	4.54995337	4.54995337
31	1.9.3	K1.B	0,53	142.195	1.706667	4.54995337	4.54995337
32	2.1.1	K4.B	0.49	146.5647	1.706667	4.54995337	4.54995337
33	2.1.2	K4.B	0.49	101.2965	1.706667	4.54995337	4.54995337
34	2.1.3	K4.Γ	0.49	98.9961	1.422222	3.159687618	3.159687618
35	2.1.4	K4.Γ	0.49	113.2831	1.706667	4.54995337	4.54995337
36	2.2.1	K3.B	0.49	118.3081	1.422222	3.159687618	3.159687618
37	2.2.2	K3.B	0.49	108.265	1.706667	4.54995337	4.54995337
38	2.2.3	K3.Γ	0.49	103.3458	1.706667	4.54995337	4.54995337
39	2.2.4	K3.Γ	0.49	123.743	1.706667	4.54995337	4.54995337
40	2.3.1	K2.A	0.49	114.5446	1.706667	4.54995337	4.54995337
41	2.3.2	K2.A	0.49	112.4899	1.706667	4.54995337	4.54995337
42	2.3.3	K2.B	0.49	113.4199	1.706667	4.54995337	4.54995337
43	2.3.4	K2.B	0.49	126.4768	1.706667	4.54995337	4.54995337
44	2.4.1	K1.A	0.49	126.5826	1.706667	4.54995337	4.54995337
45	2.4.2	K1.A	0.49	108.3794	1.706667	4.54995337	4.54995337
46	2.4.3	K1.B	0.49	121.5227	1.706667	4.54995337	4.54995337
47	2.4.4	K1.B	0.49	120.6056	1.706667	4.54995337	4.54995337

Πίνακας 4.1: έλεγχος παλλόμενου κύματος

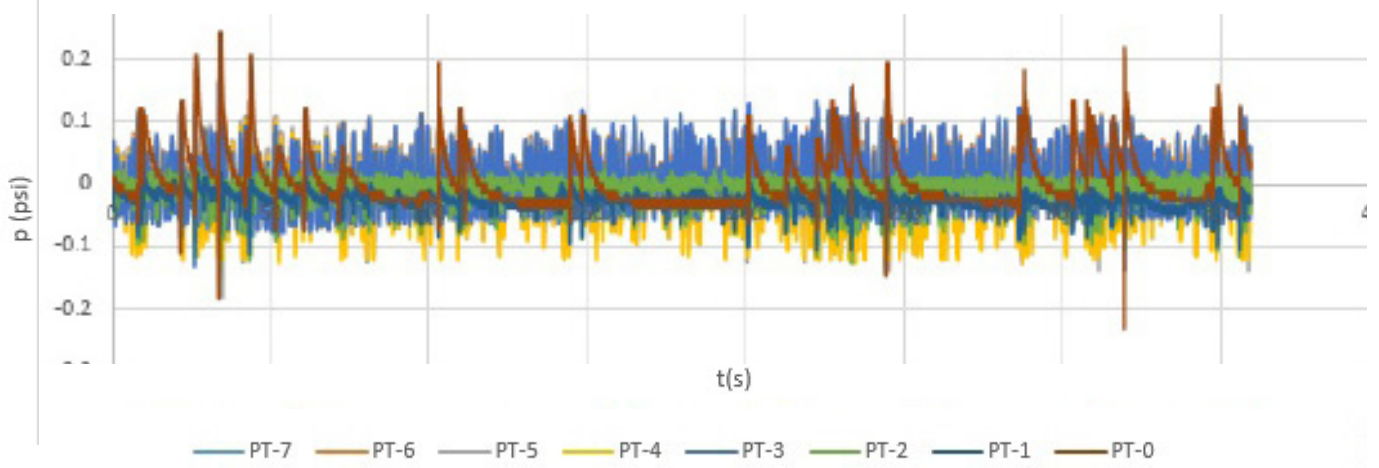
## 4.2 Χρονοσειρές πιέσεων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διαγράμματα των χρονοσειρών, όπως αυτά προέκυψαν από την επεξεργασία των αναγραφόμενων τιμών στους οχτώ διαφορετικούς μετρητές πίεσης. Επίσης γίνεται και μία παρουσίαση λεπτομερειών της καταγραφής( Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα ενώ οι υπόλοιπες μετρήσεις βρίσκονται στο παράρτημα Α).

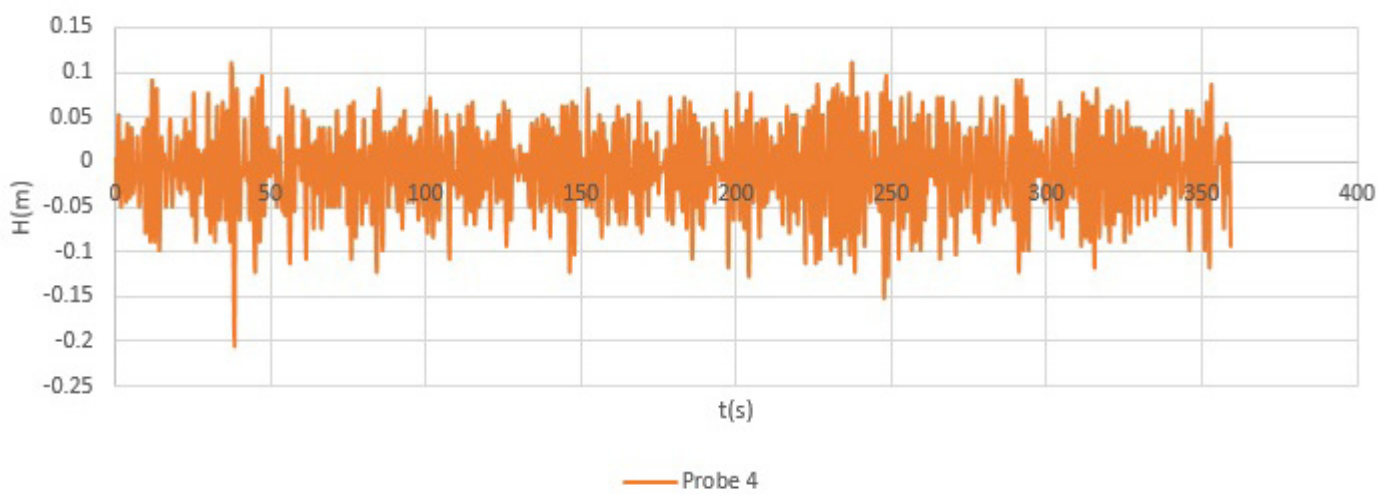




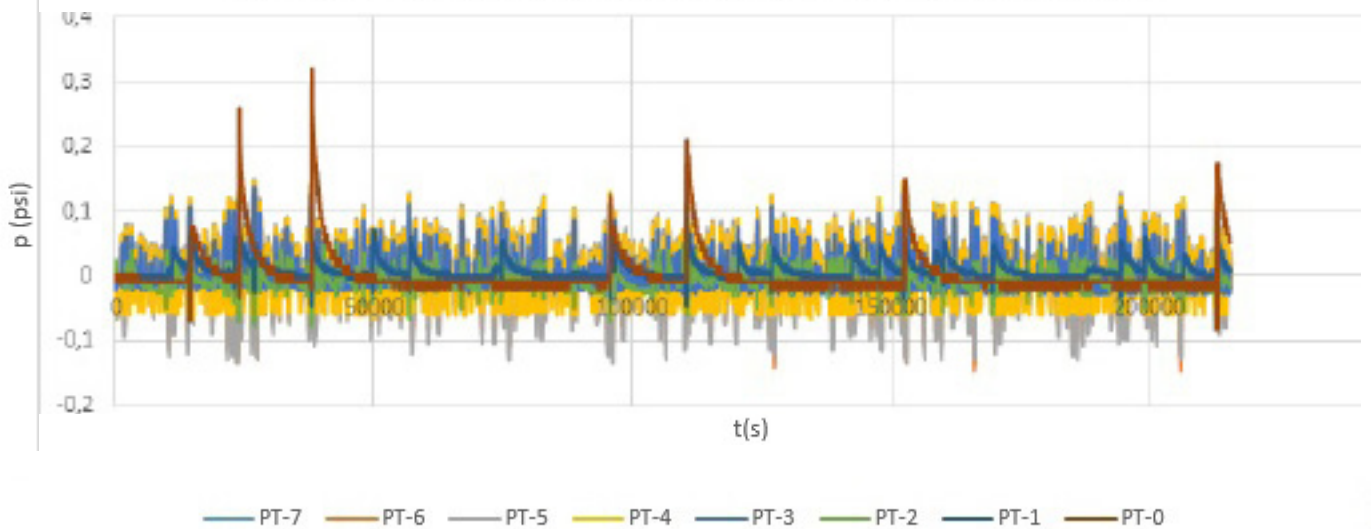
Κωδικός Μέτρησης 1.8.2, Φάσμα Κ2.Β, Hs=117.34mm, T<sub>p</sub>=1.7s



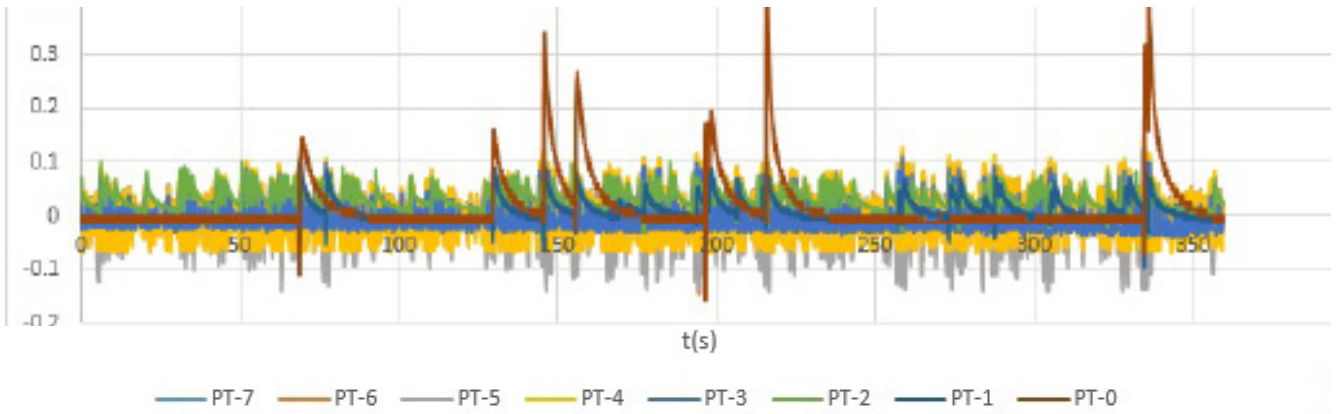
Χρονοσειρά κύματος αισθητήρα 4



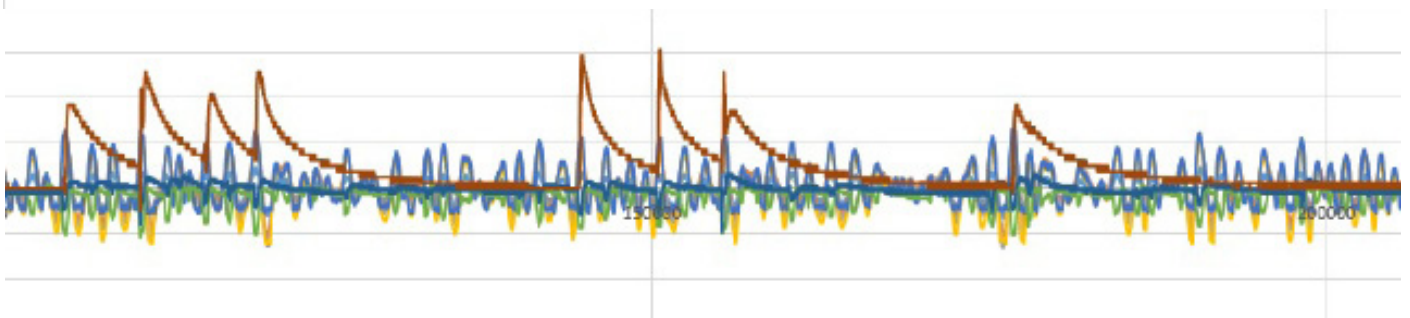
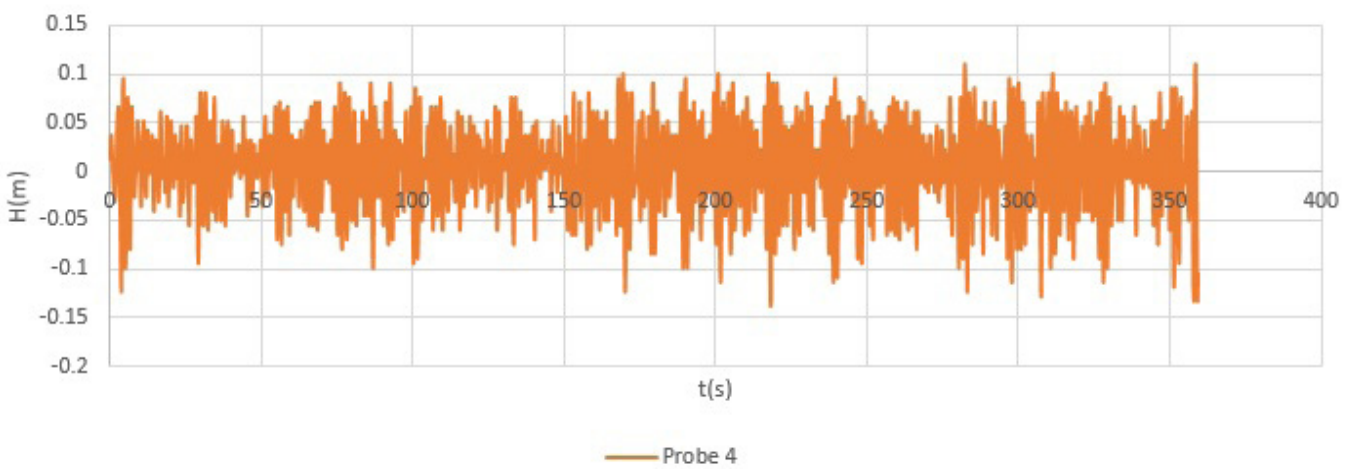
Κωδικός Μέτρησης 2.4.4, Φάσμα Κ1.Δ, Hs=120.6mm, T<sub>p</sub>=1.7s



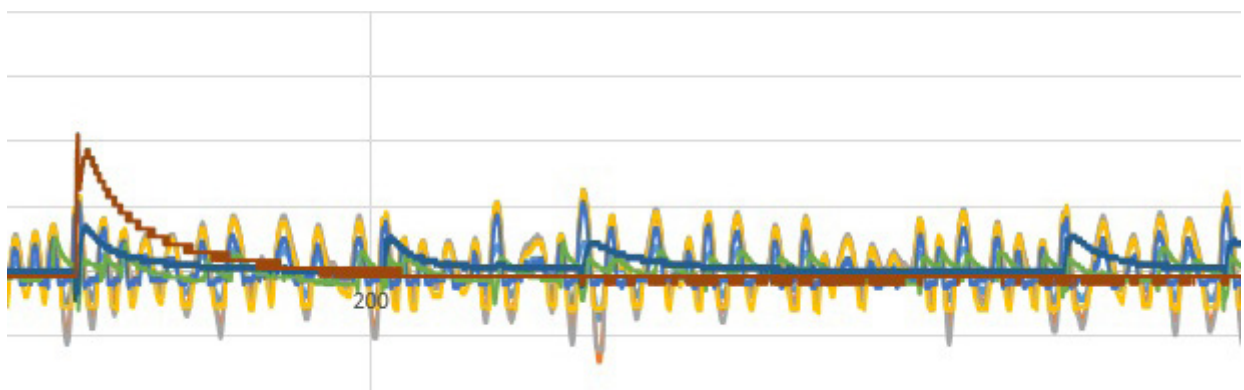
Κωδικός Μέτρησης 2.1.2, Φάσμα Κ4.Β, Hs=101.29mm, Tr=1.7s



Χρονοσειρά κύματος αισθητήρα 4



Σχ.4.2.7 : Κωδ.Μέτρησης 2.4.1, Λεπτομέρεια Χρονοσειράς Μετρούμενων Πίεσεων Κ4



Σχ.4.2.9 : Κωδ.Μέτρησης 2.7.4, Λεπτομέρεια Χρονοσειράς Μετρούμενων Πίεσεων Κ1

## 4.3 Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές πιέσεων (υδροδυναμικές και υδροστατικές)

Για κάθε διατομή και θέση μετρήσεων έγιναν 215600 καταγραφές πίεσης (συχνότητα καταγραφής 600 Hz, διάρκεια 359 sec). Από τον πληθυσμό των 215600 τιμών πίεσης προέκυψαν τα παρακάτω μεγέθη:

min p: ελάχιστη τιμή (στα διαγράμματα με πορτοκαλί)

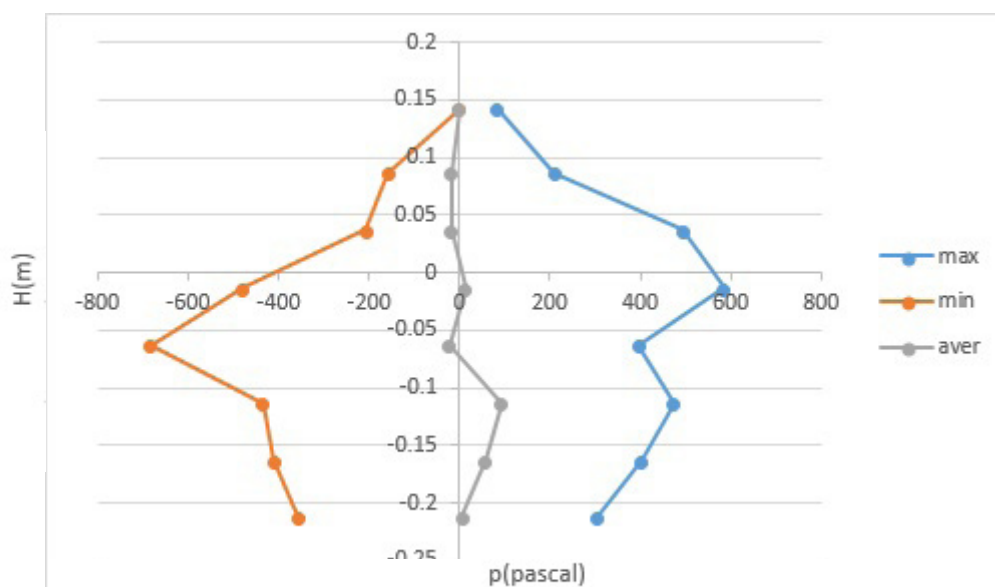
max p: μέγιστη τιμή (στα διαγράμματα με γαλάζιο)

average: μέση τιμή (στα διαγράμματα με γκρι)

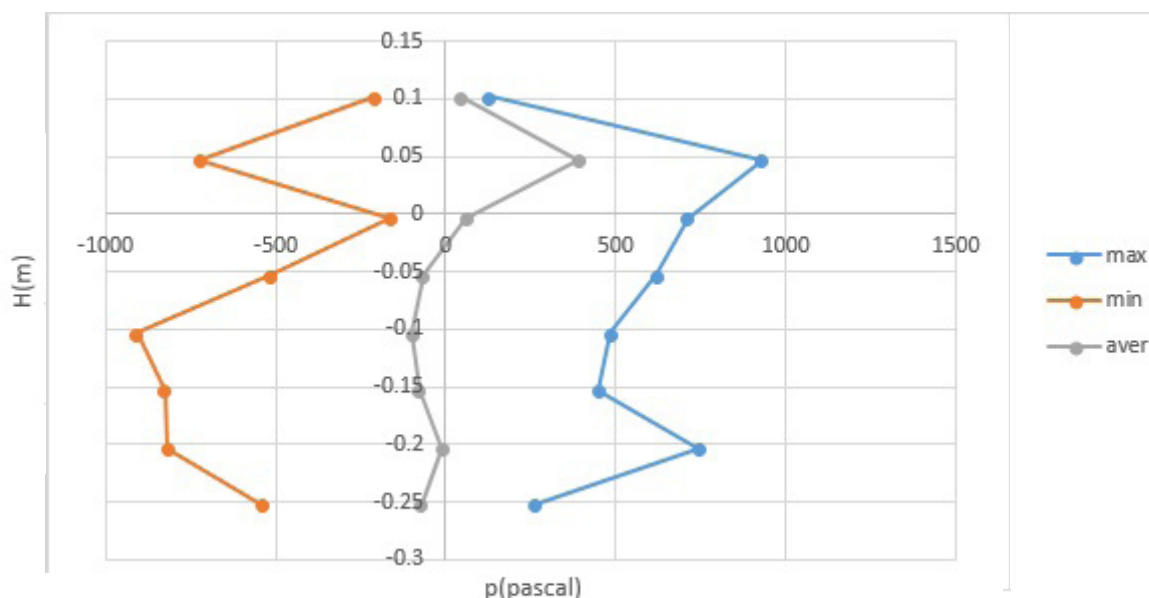
Στα σχήματα παρουσιάζονται οι κατανομές των υδροδυναμικών πιέσεων maxp, minp και p-μέσο στη μελετηθείσα διατομή από τις καταγραφές στις 8 θέσεις. (Στους πίνακες του παραρτήματος Δ) δίνονται οι τιμές των ανωτέρω αναφερομένων πιέσεων.

Οι πιέσεις που παρουσιάζονται είναι σε Pascal(pa) ενώ η διάσταση του ύψους σε μέτρα(m).

### 4.3.1 Υδροδυναμικές Δυνάμεις

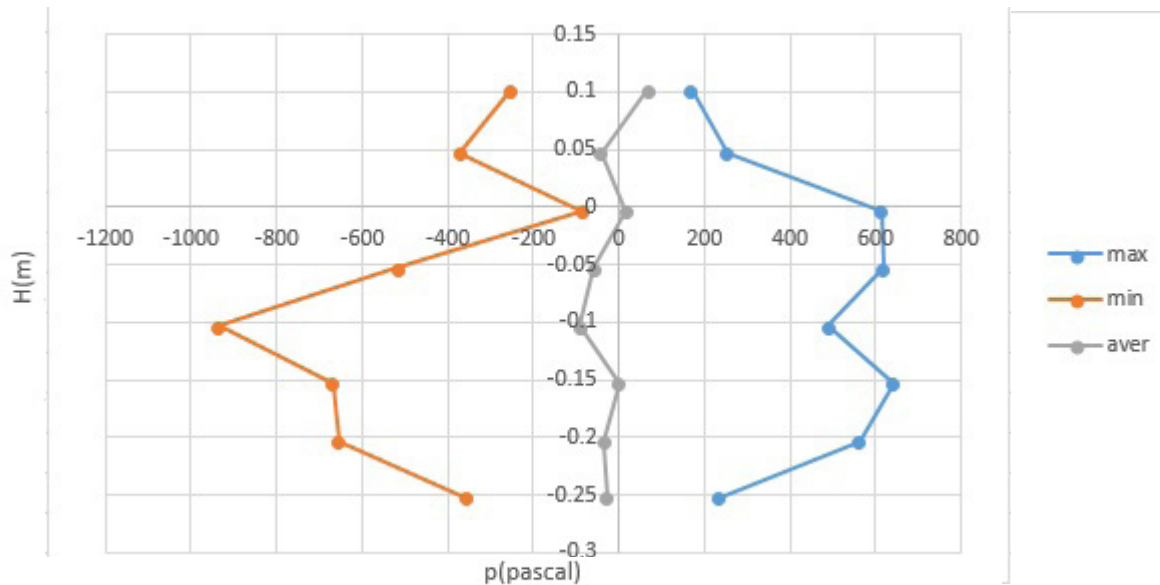


Κωδικός μέτρησης 1.1.1, Φάσμα K8

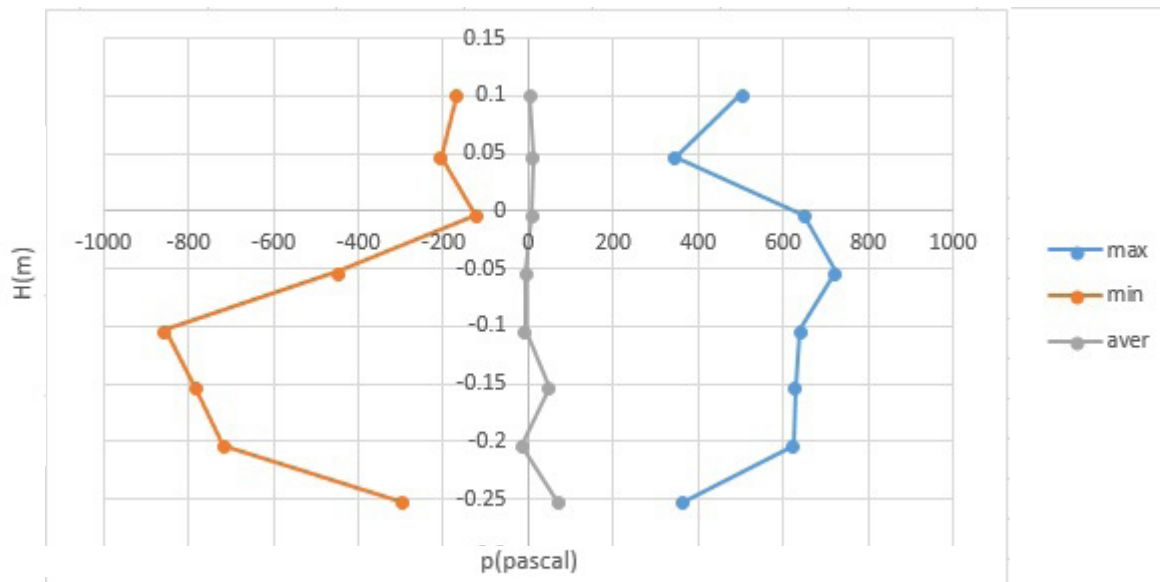


Κωδικός μέτρησης 1.1.2, Φάσμα K8

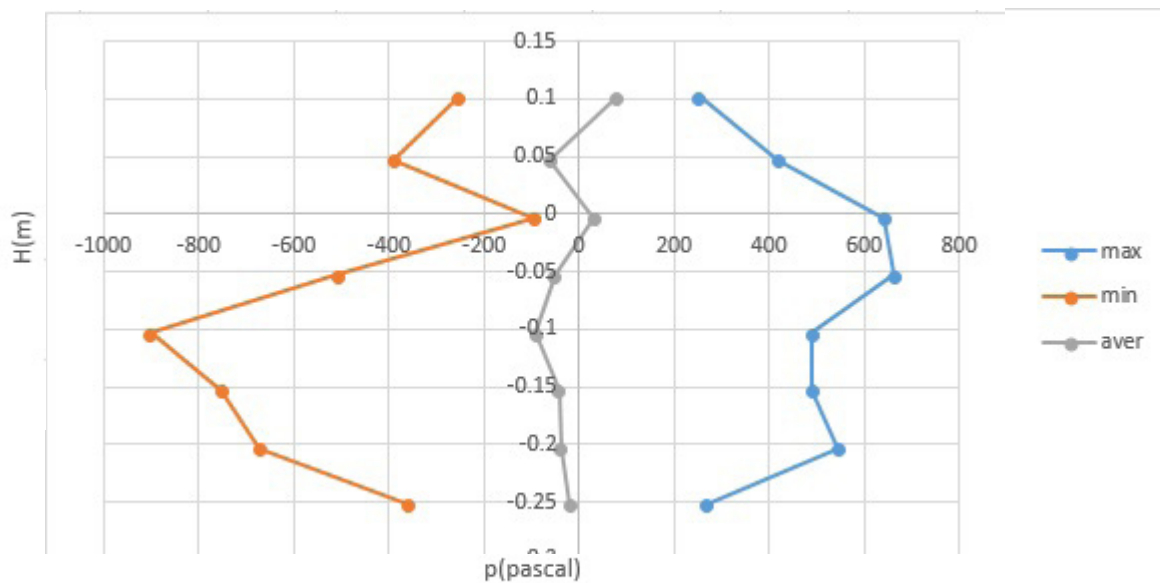




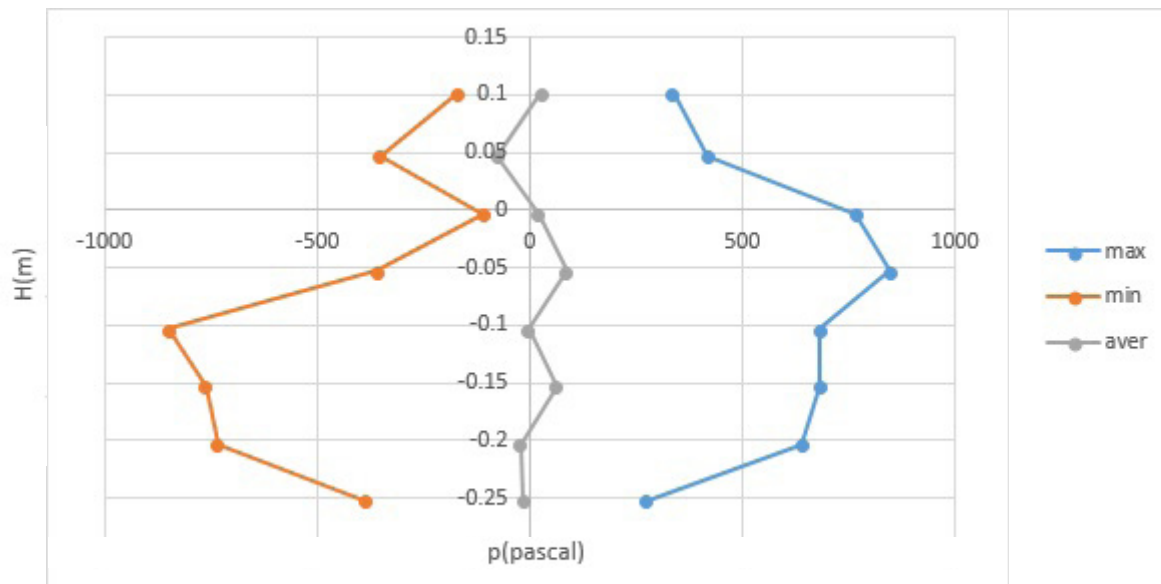
Κωδικός μέτρησης 1.3.3, Φάσμα Κ6



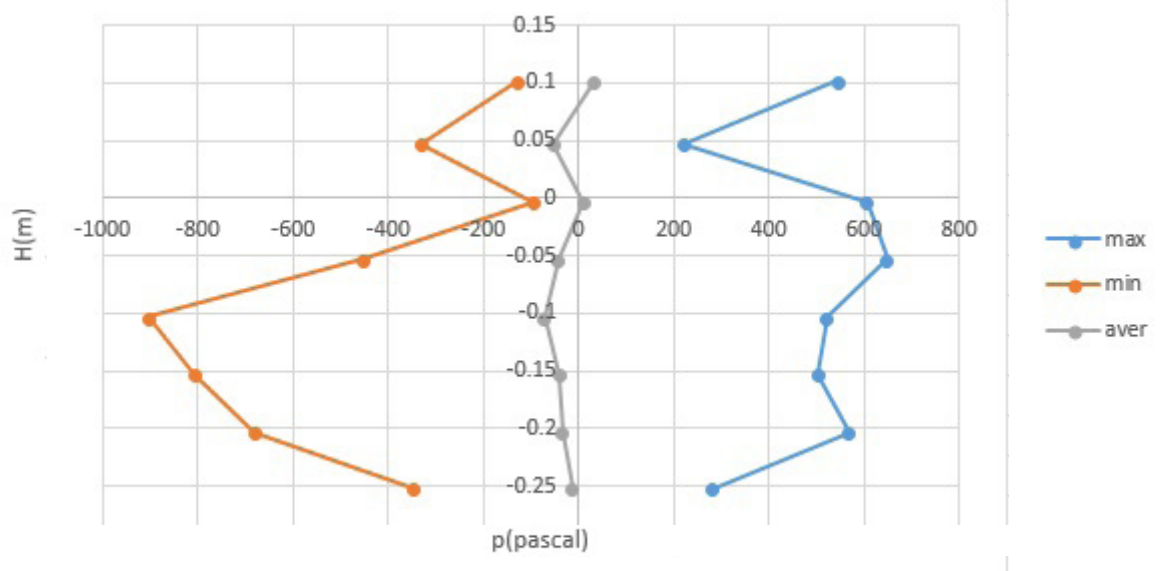
Κωδικός μέτρησης 1.3.4, Φάσμα Κ6



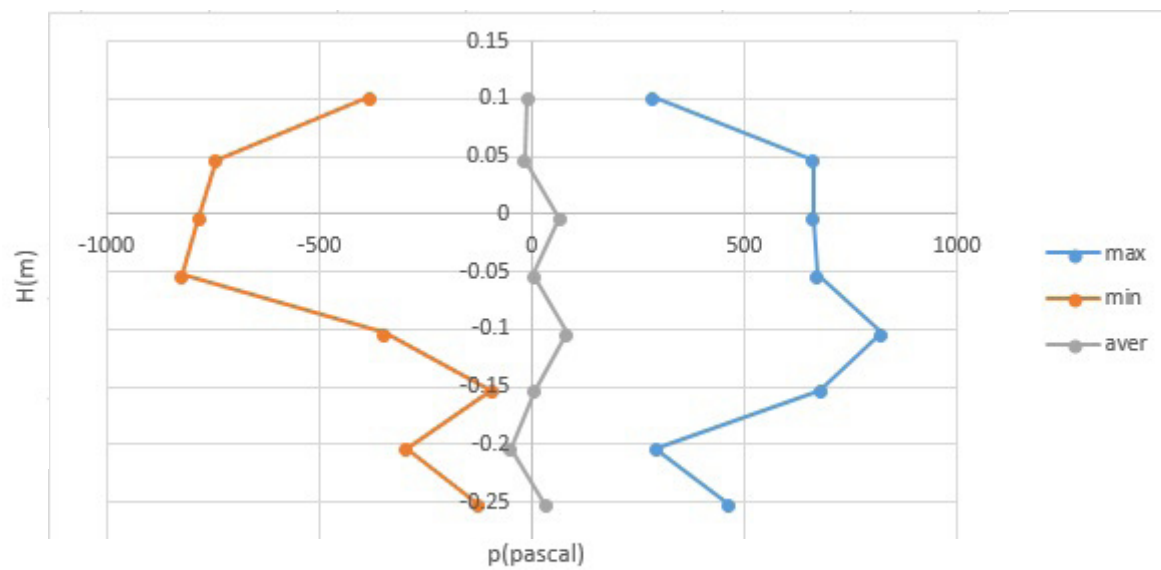
Κωδικός μέτρησης 1.4.1, Φάσμα Κ5



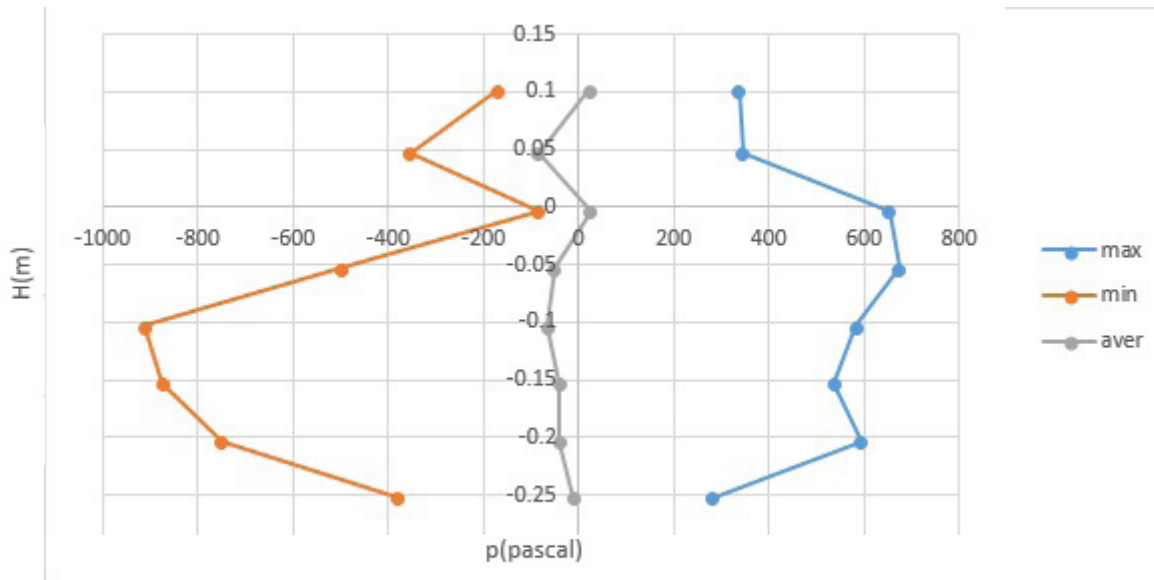
Κωδικός μέτρησης 1.4.2 Φάσμα K5



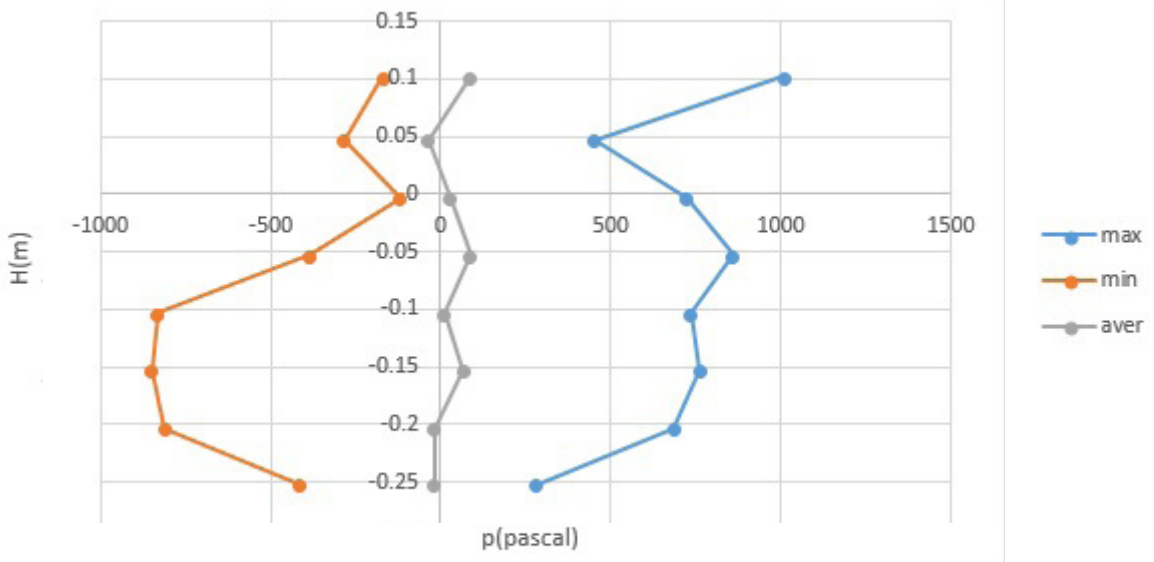
Κωδικός μέτρησης 1.4.3, Φάσμα K5



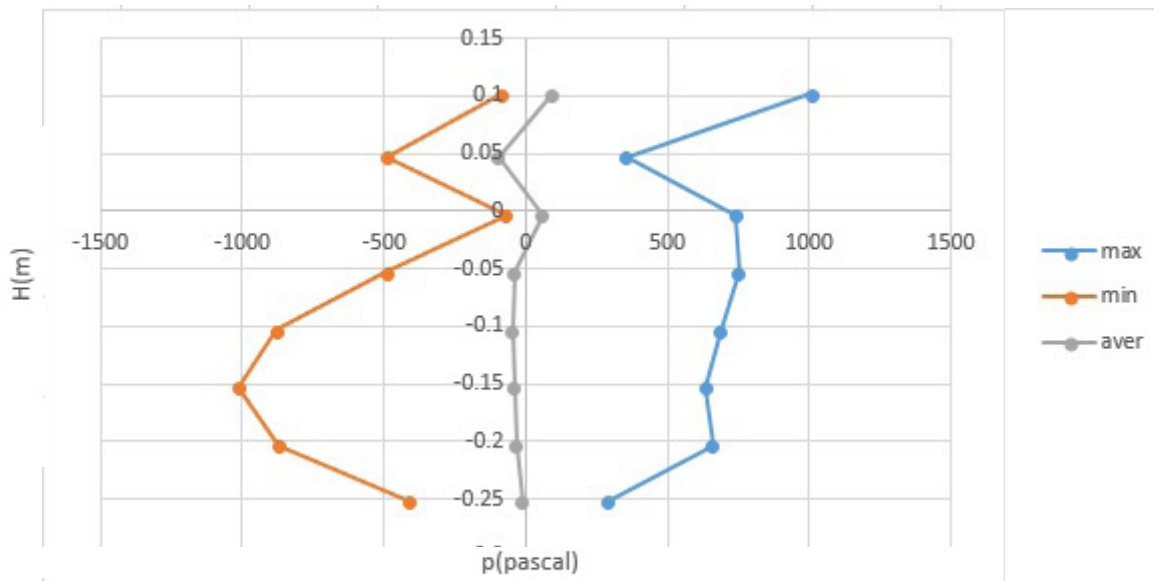
Κωδικός μέτρησης 1.4.4, Φάσμα K5



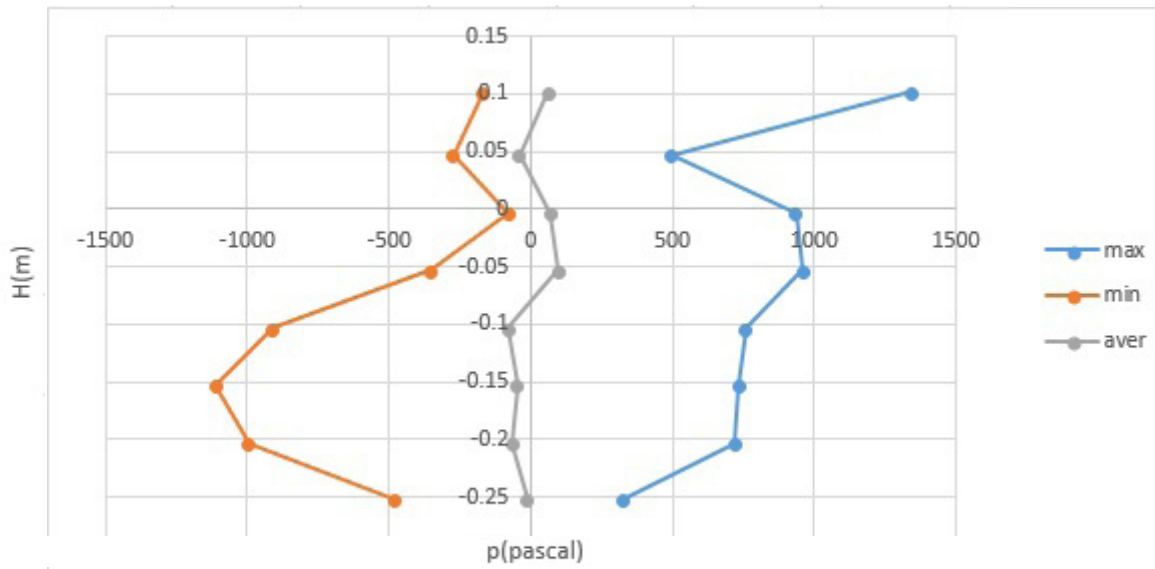
Κωδικός μέτρησης 1.4.5, Φάσμα K5



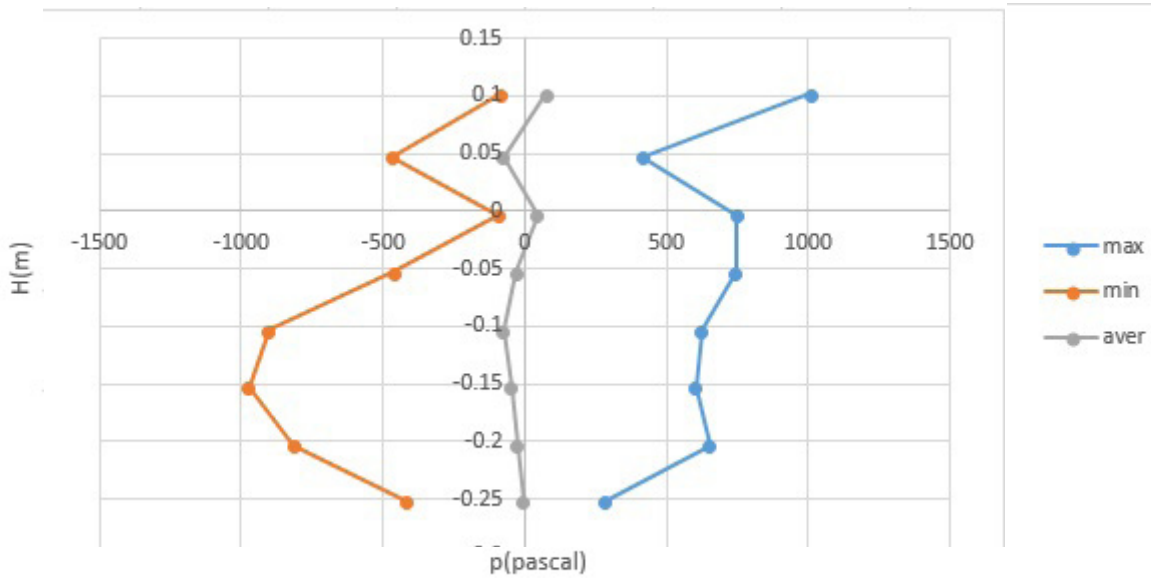
Κωδικός μέτρησης 1.5.1, Φάσμα K4



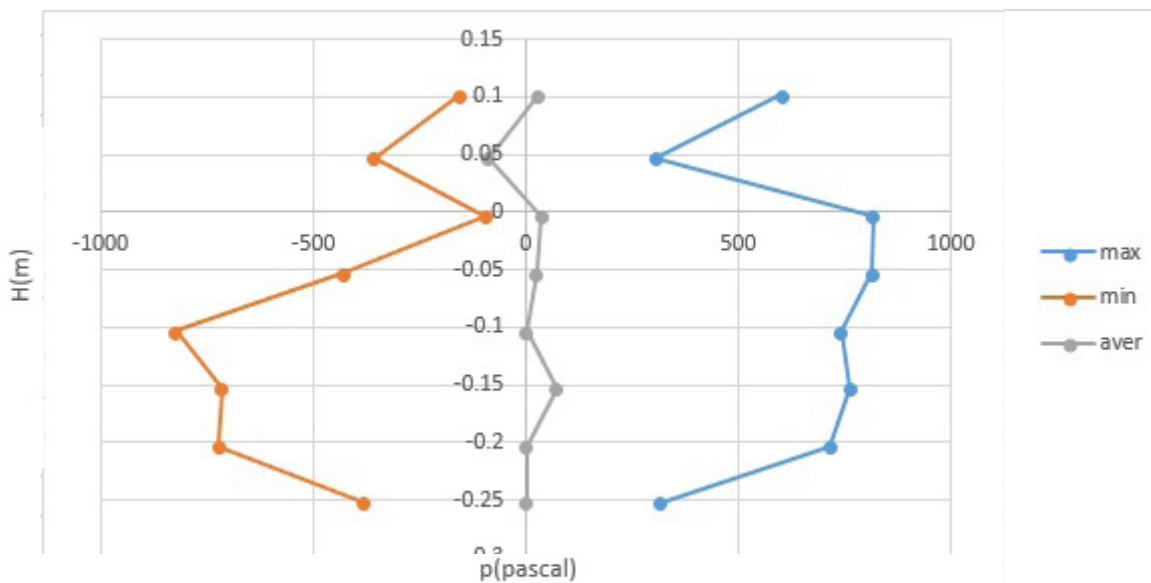
Κωδικός μέτρησης 1.5.2, Φάσμα K4



Κωδικός μέτρησης 1.5.3, Φάσμα K4

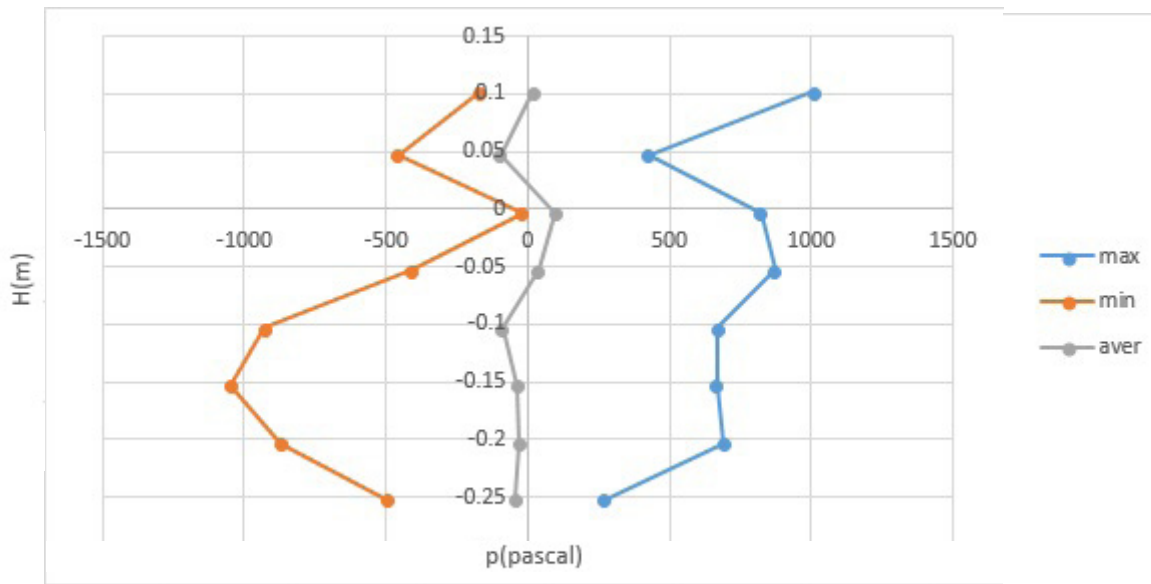


Κωδικός μέτρησης 1.5.4, Φάσμα K4

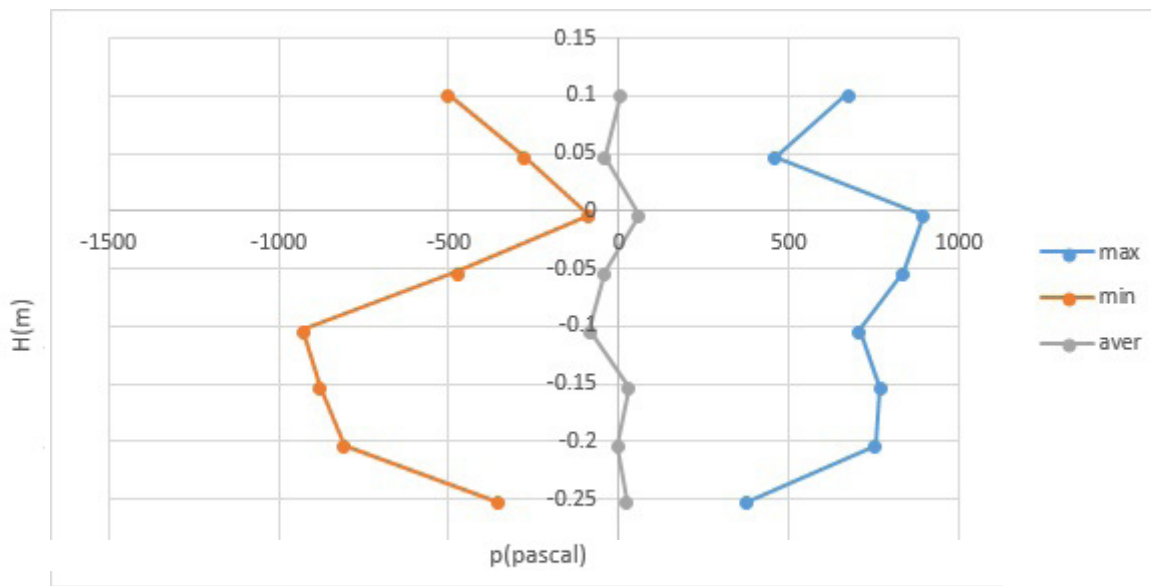


Κωδικός μέτρησης 1.5.5, Φάσμα K4

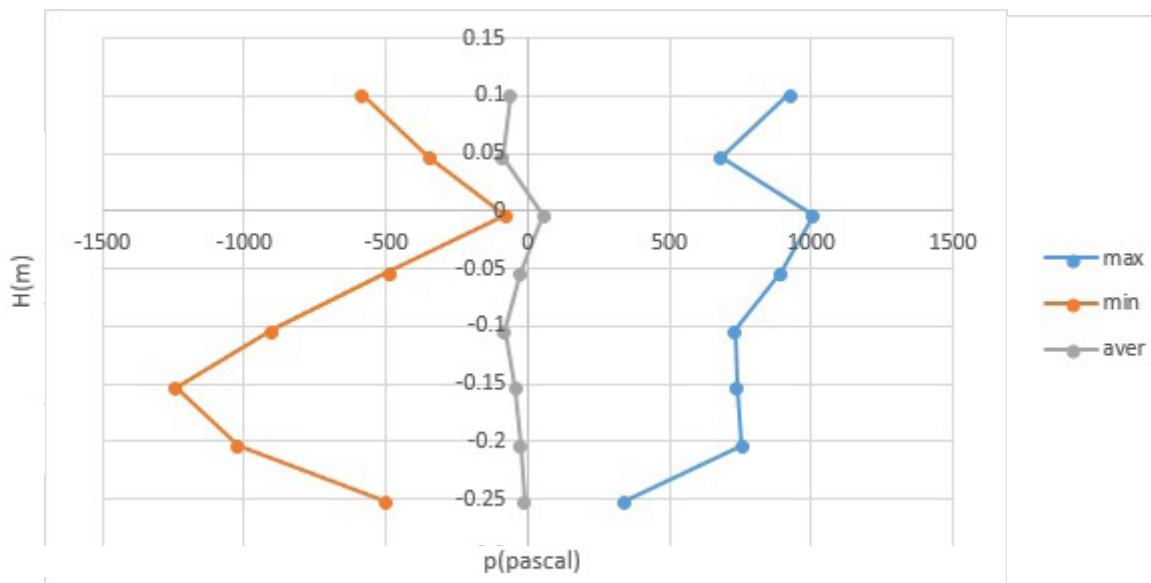




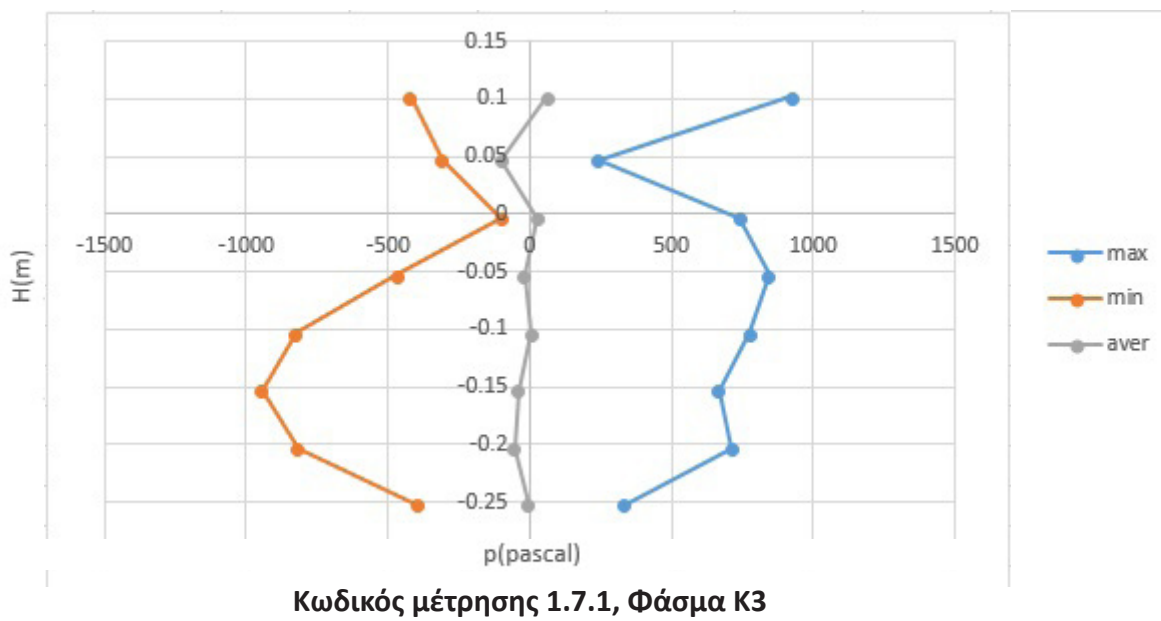
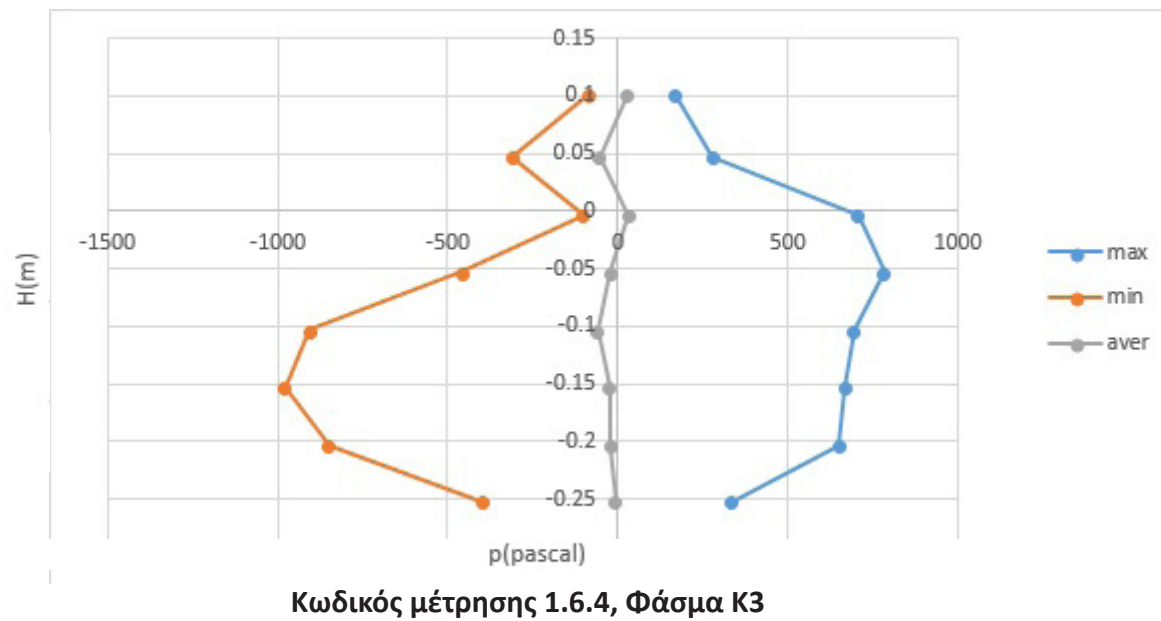
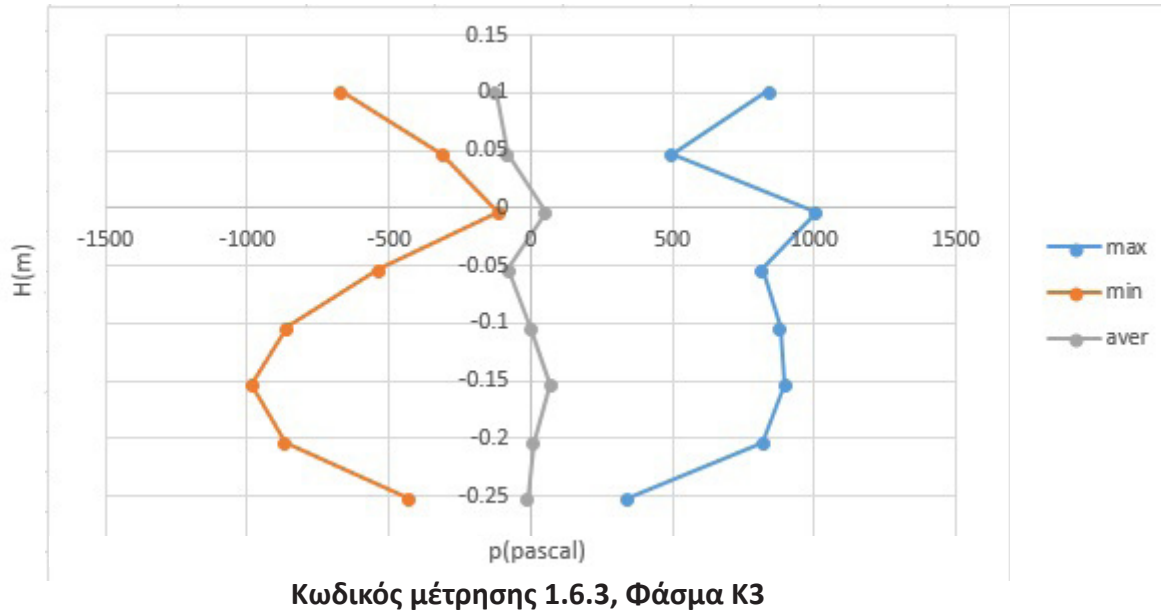
Κωδικός μέτρησης 1.5.6, Φάσμα K4

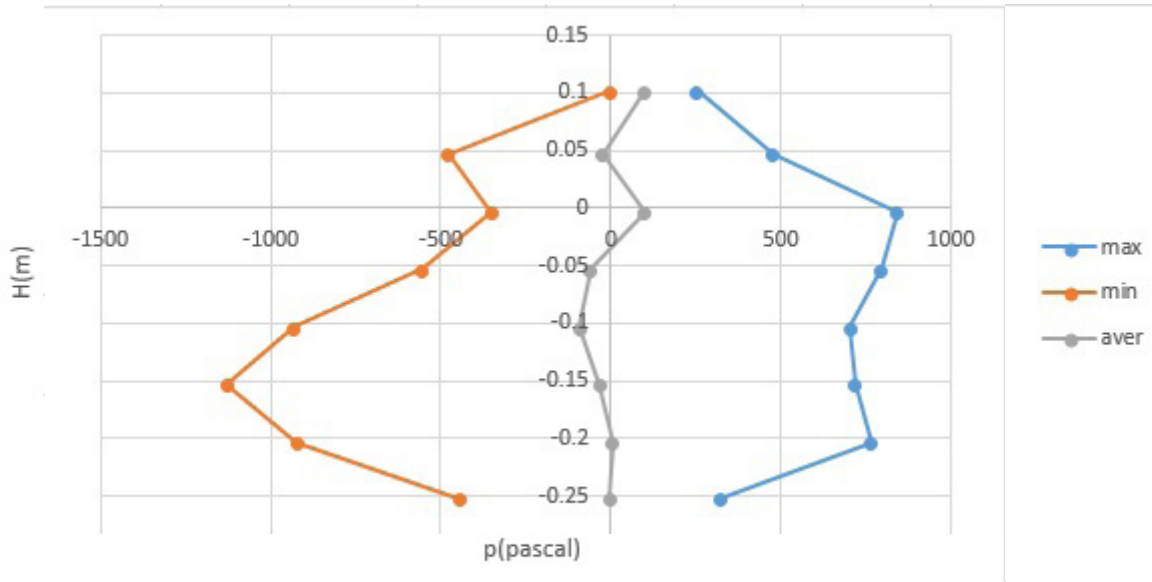


Κωδικός μέτρησης 1.6.1, Φάσμα K3

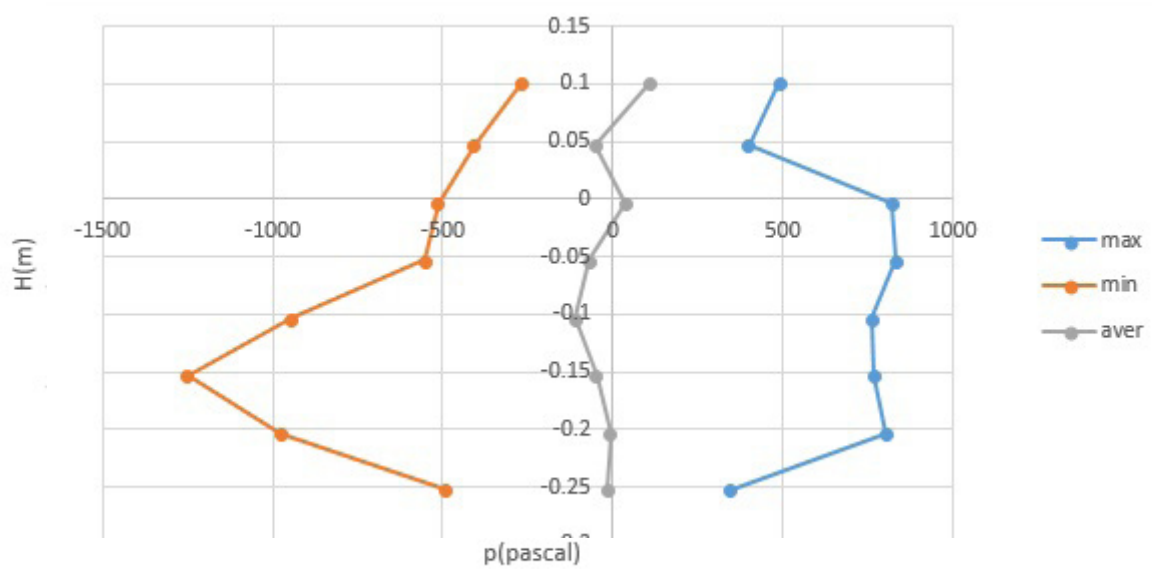


Κωδικός μέτρησης 1.6.2, Φάσμα K3

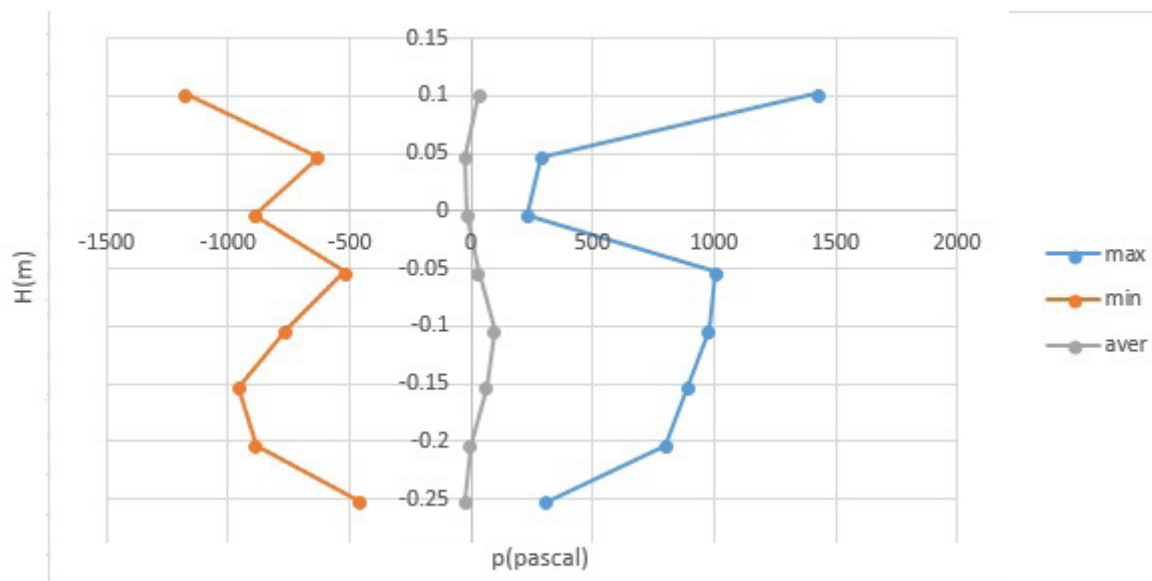




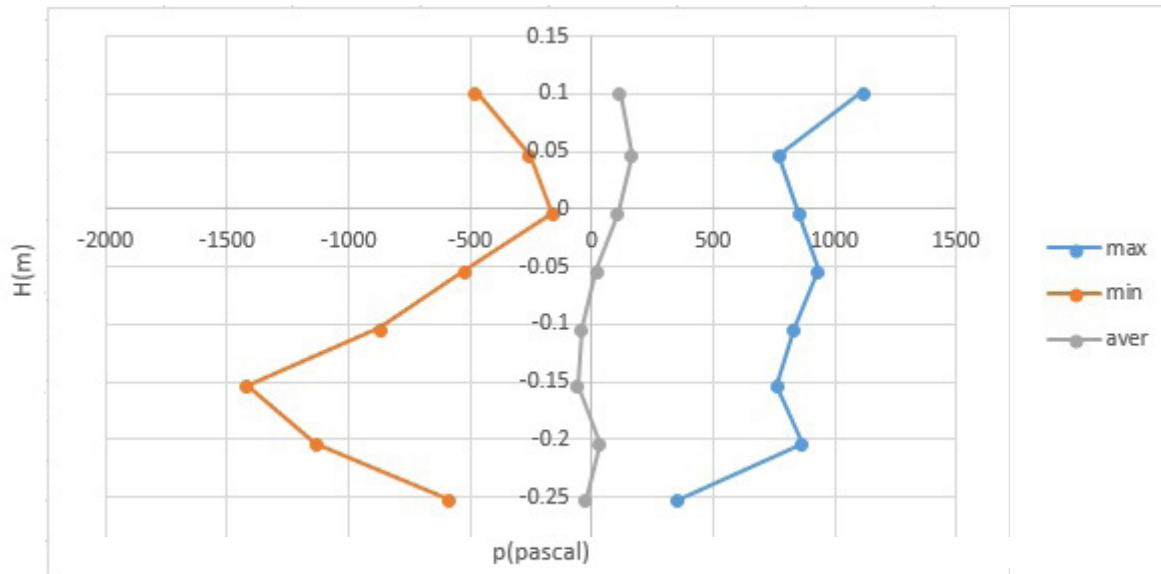
Κωδικός μέτρησης 1.7.2, Φάσμα K3



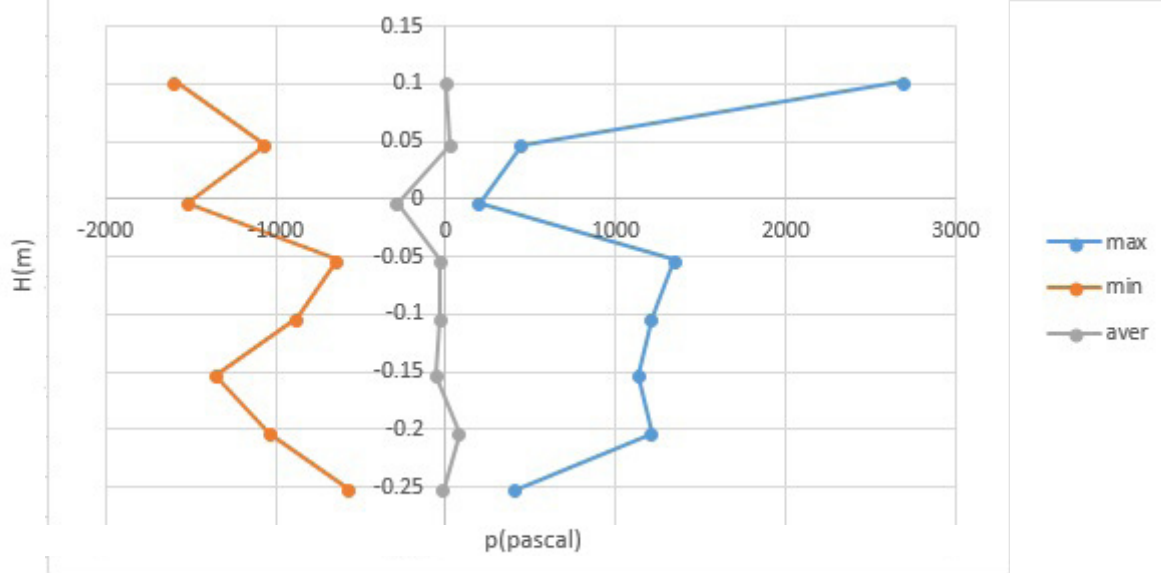
Κωδικός μέτρησης 1.8.1, Φάσμα K3



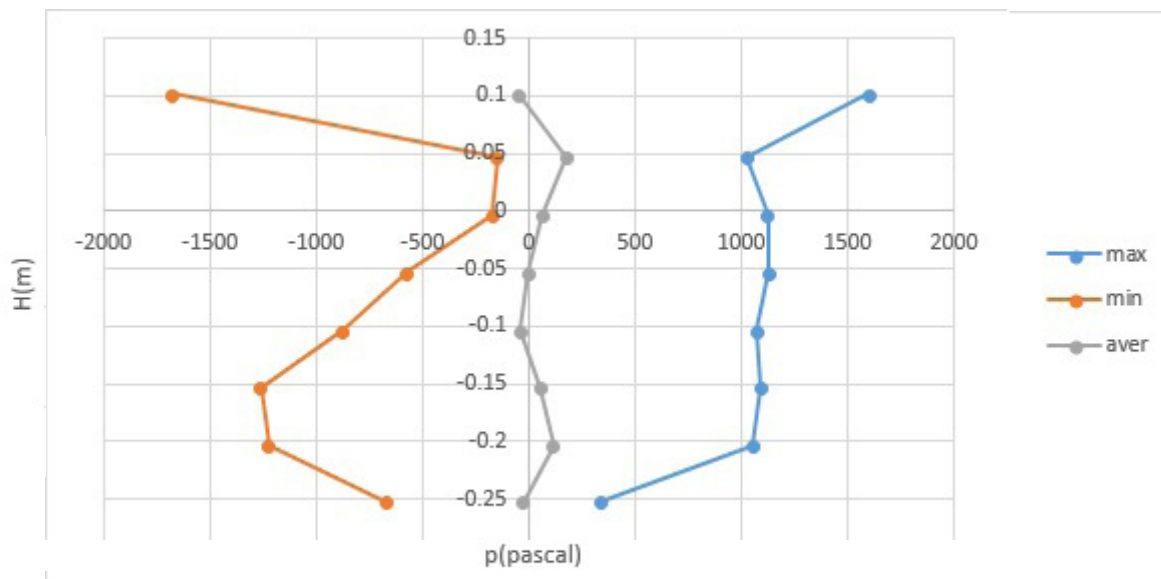
Κωδικός μέτρησης 1.8.2, Φάσμα K2



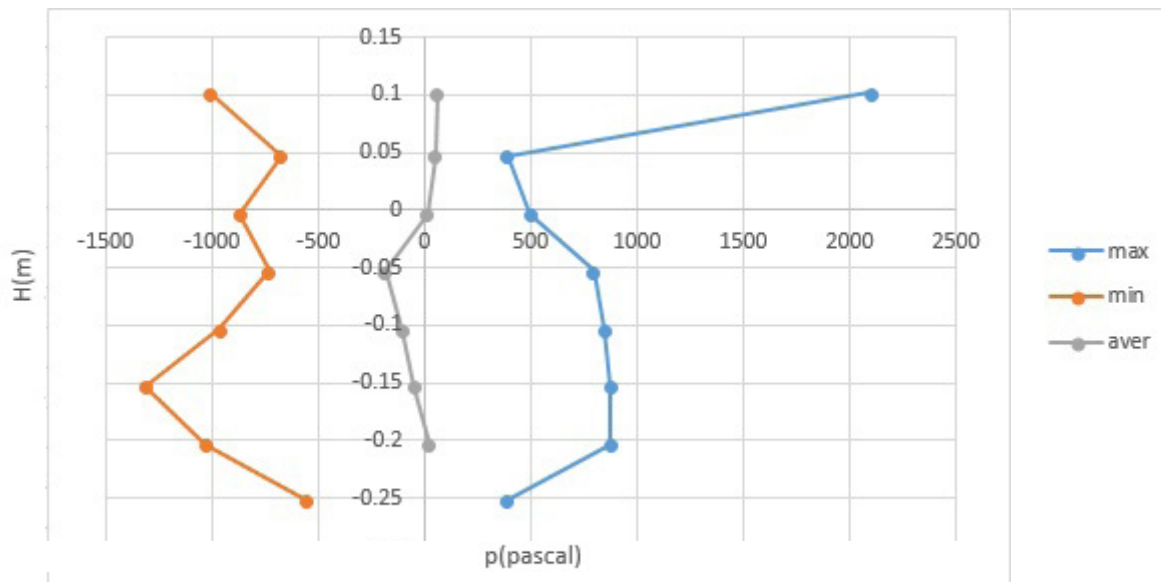
Κωδικός μέτρησης 1.8.3, Φάσμα K2



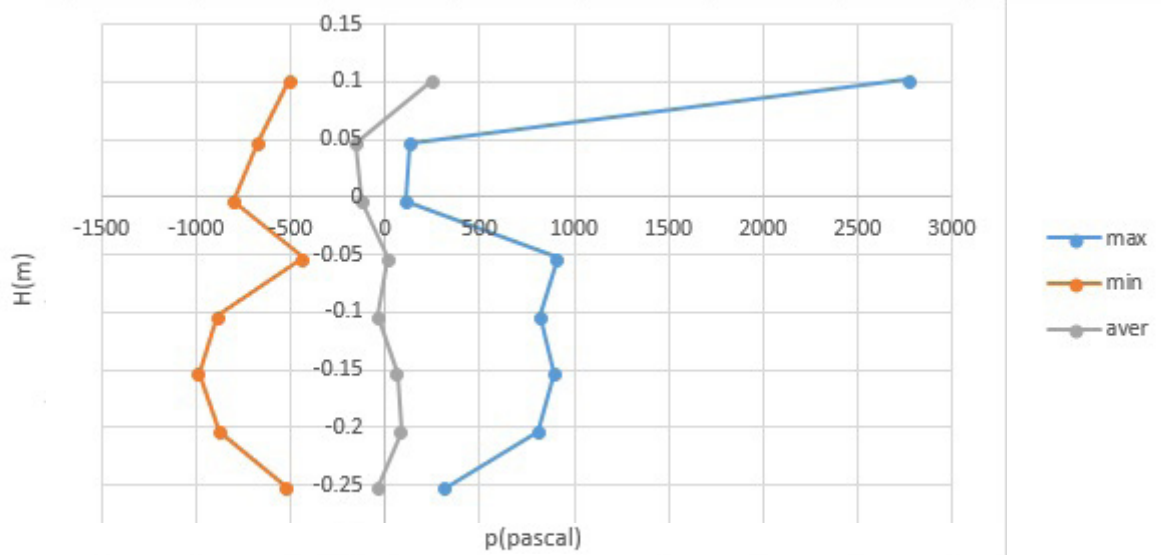
Κωδικός μέτρησης 1.8.4, Φάσμα K2



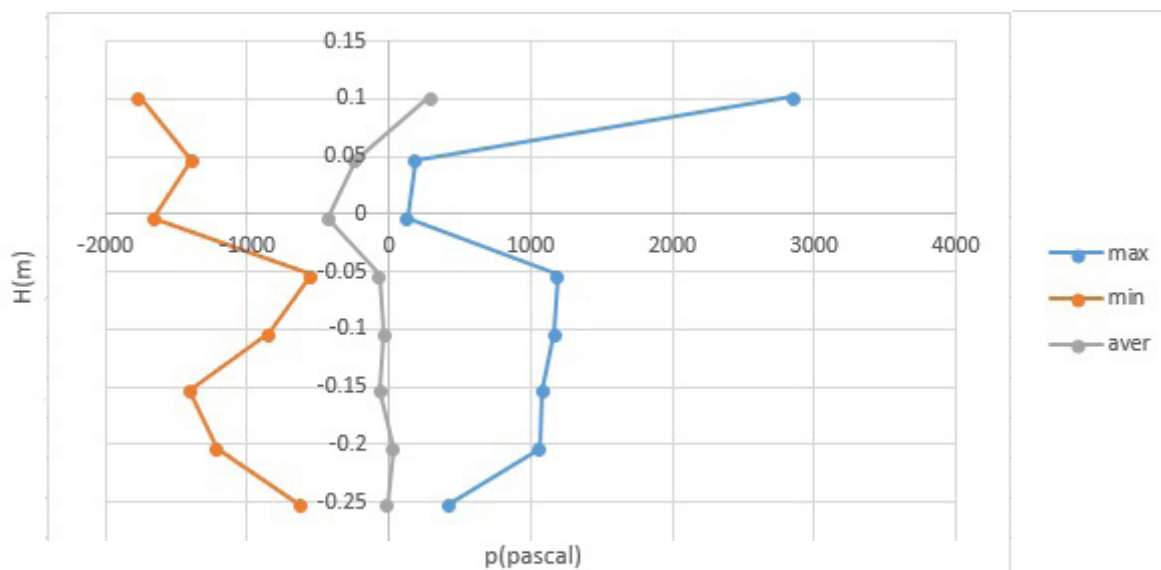
Κωδικός μέτρησης 1.9.1, Φάσμα K2



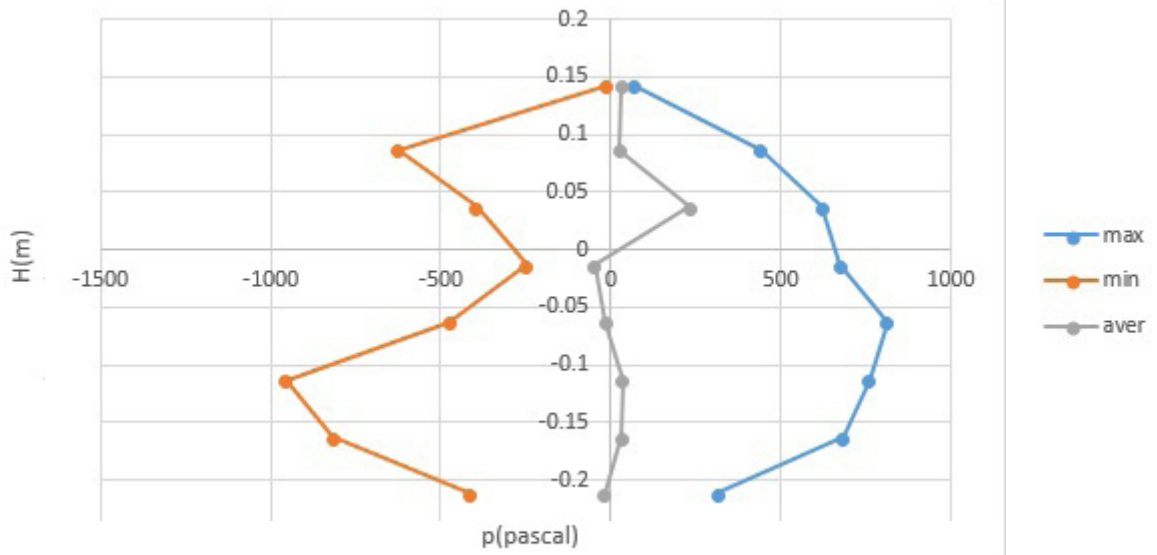
Κωδικός μέτρησης 1.9.2, Φάσμα K1



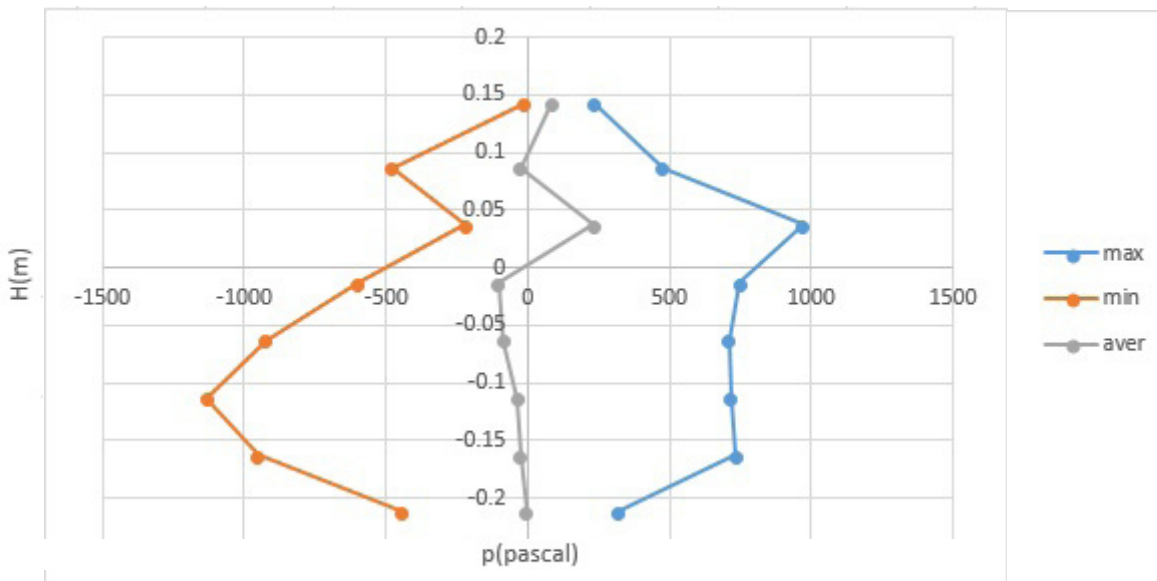
Κωδικός μέτρησης 1.9.3, Φάσμα K1



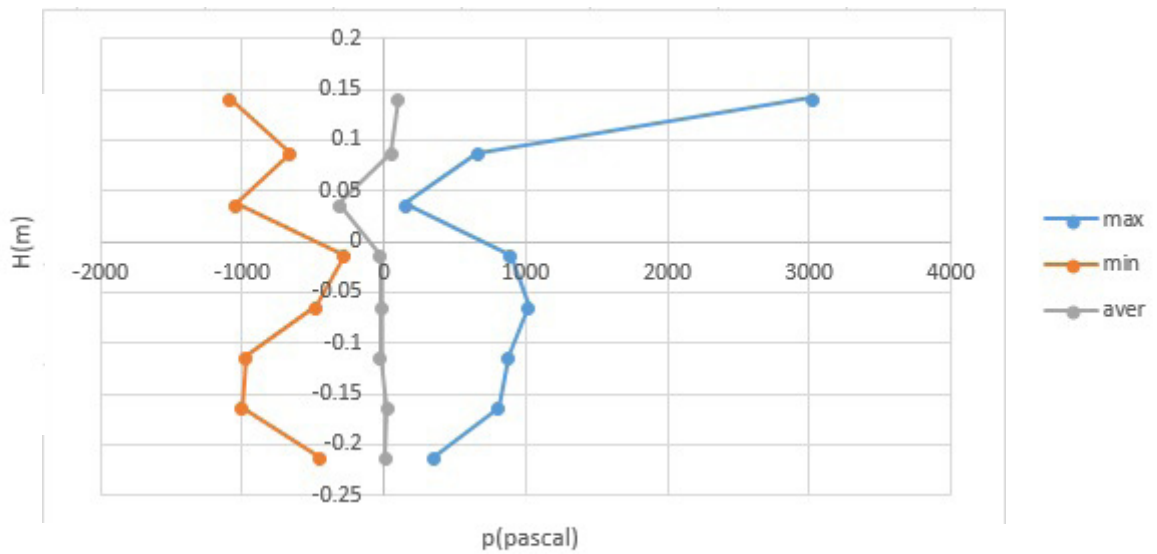
Κωδικός μέτρησης 2.1.1, Φάσμα K1



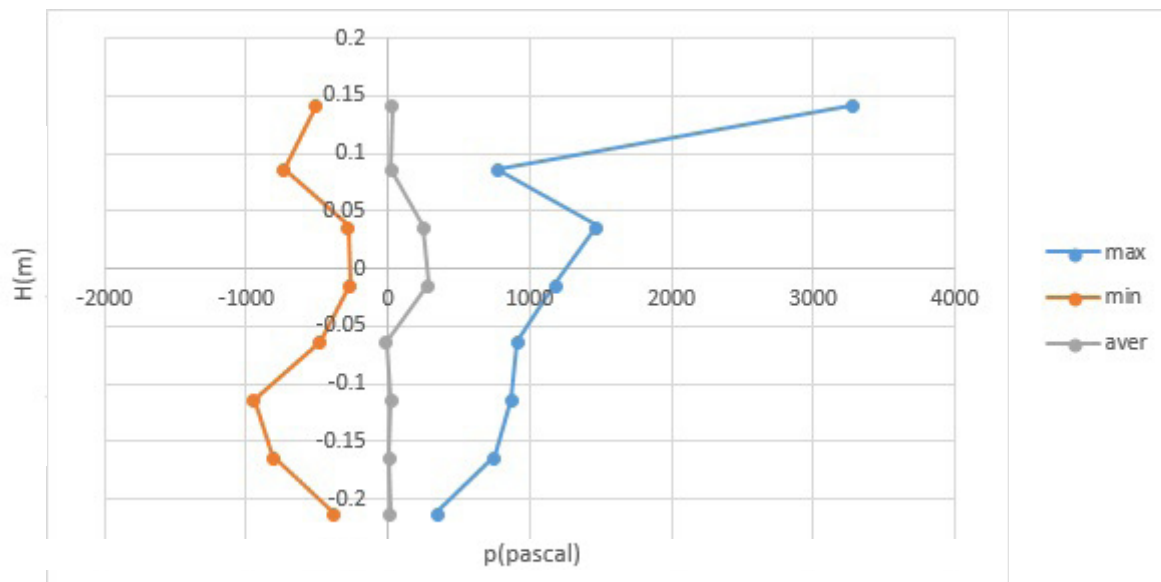
Κωδικός μέτρησης 2.1.2, Φάσμα K4



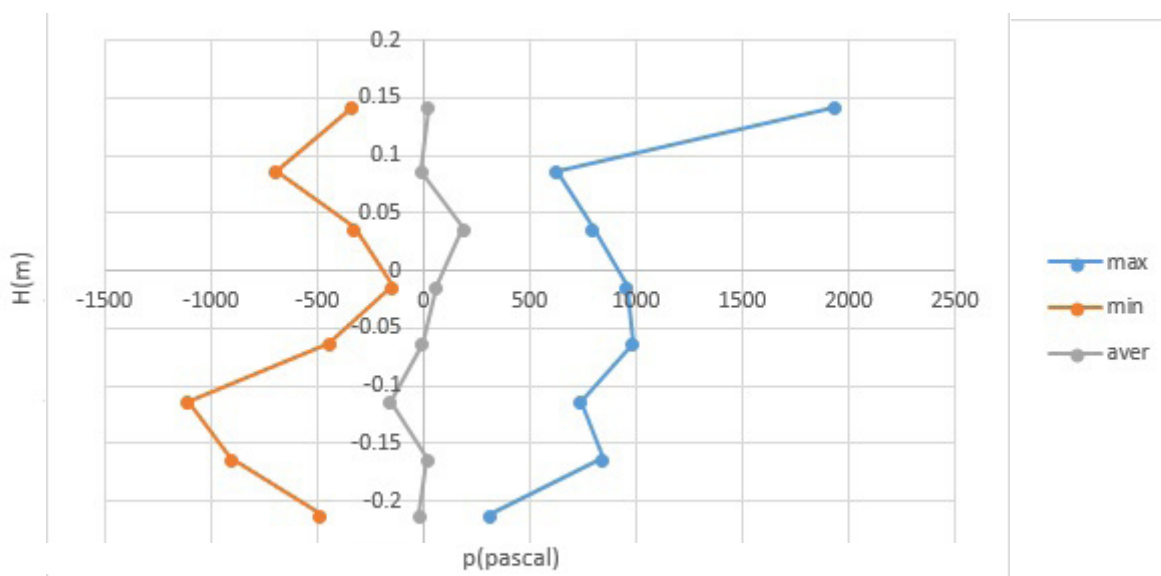
Κωδικός μέτρησης 2.1.3, Φάσμα K4



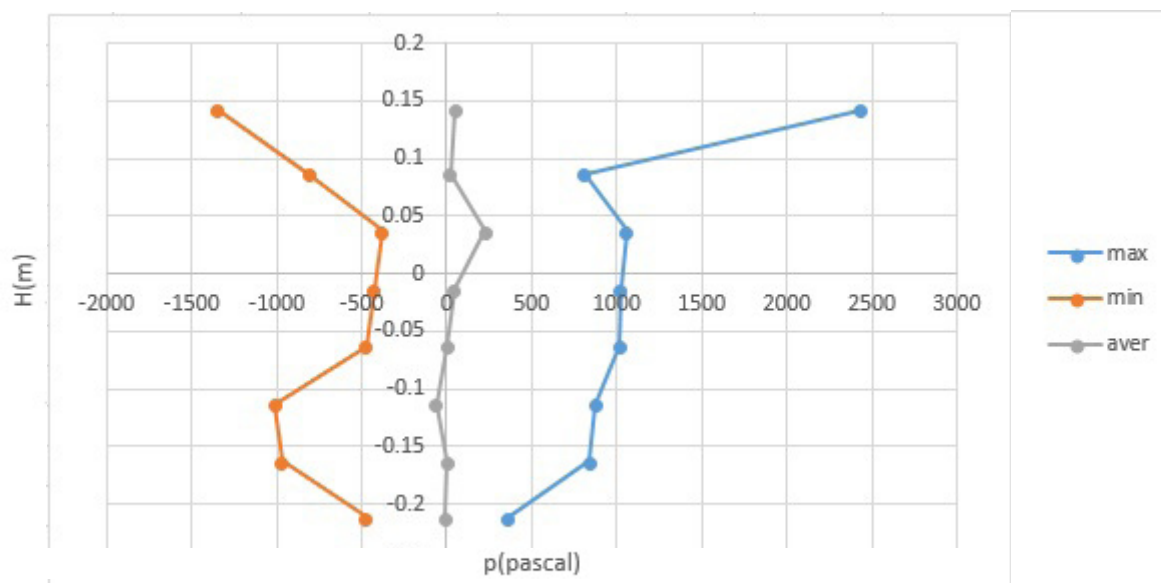
Κωδικός μέτρησης 2.1.4, Φάσμα K4



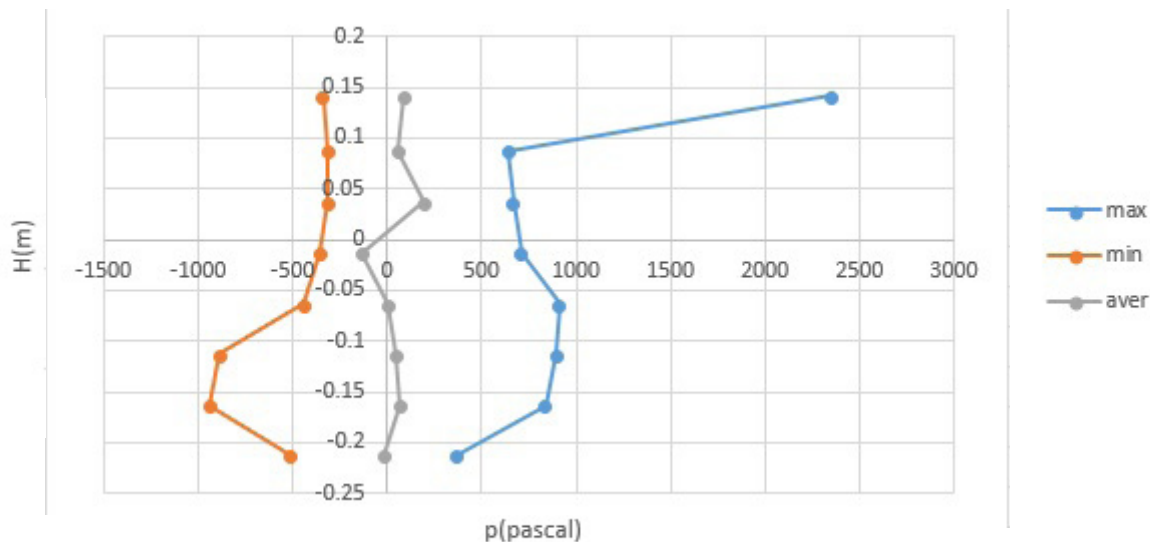
Κωδικός μέτρησης 2.2.1, Φάσμα Κ4



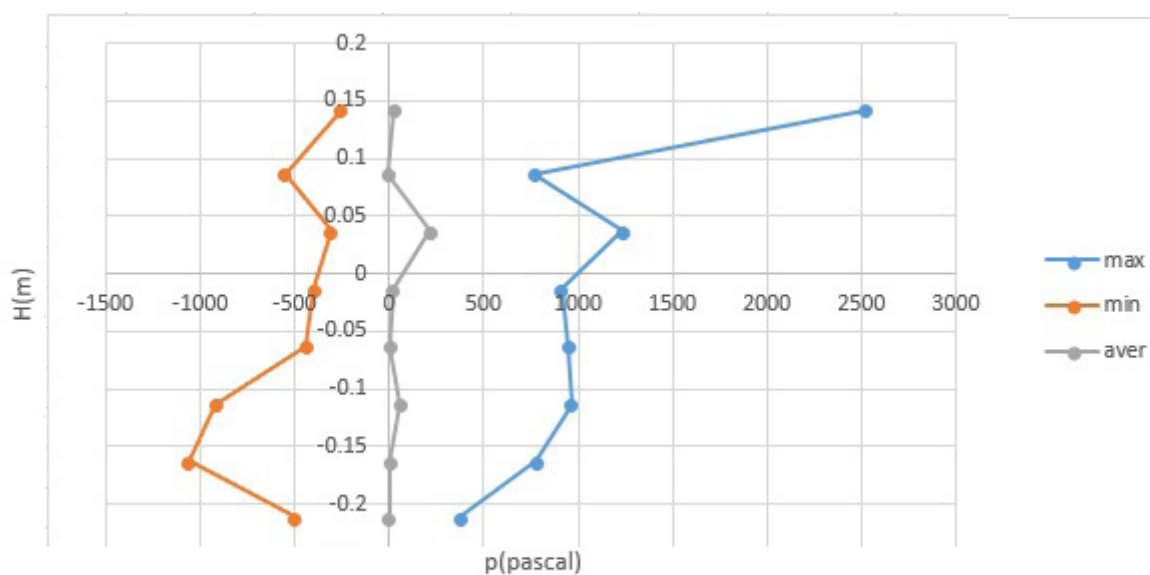
Κωδικός μέτρησης 2.2.2, Φάσμα Κ3



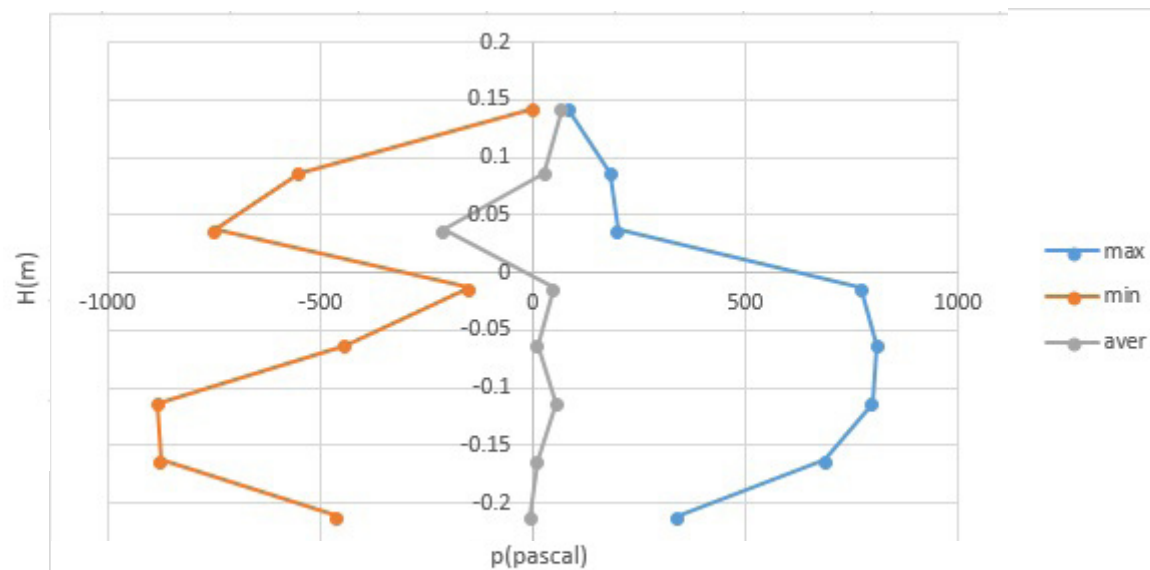
Κωδικός μέτρησης 2.2.3, Φάσμα Κ3



Κωδικός μέτρησης 2.2.4, Φάσμα K3

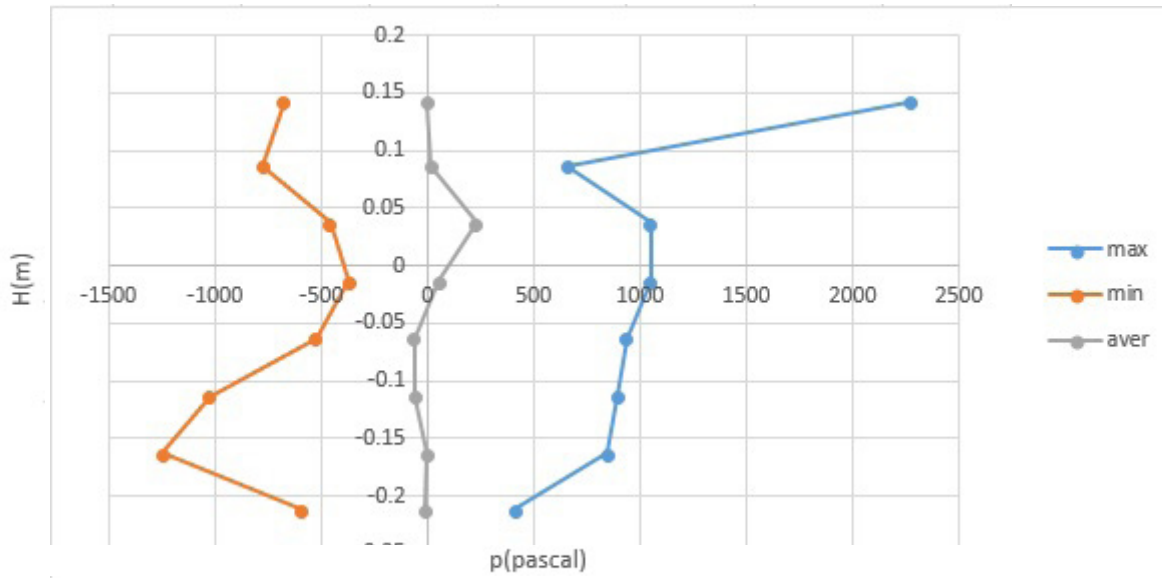


Κωδικός μέτρησης 2.3.1, Φάσμα K3

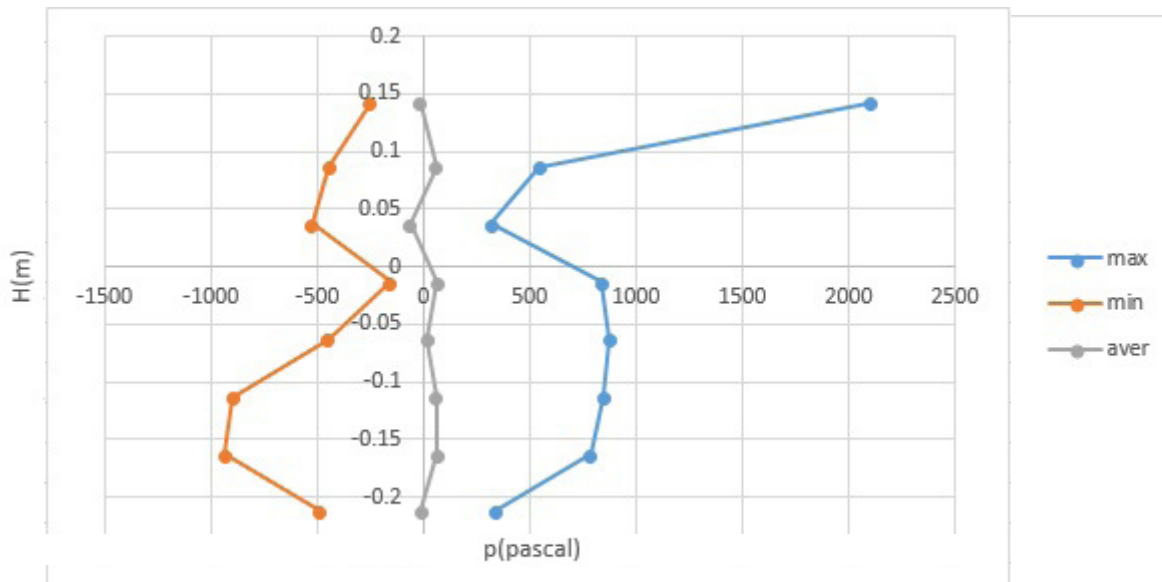


Κωδικός μέτρησης 2.3.2, Φάσμα K2

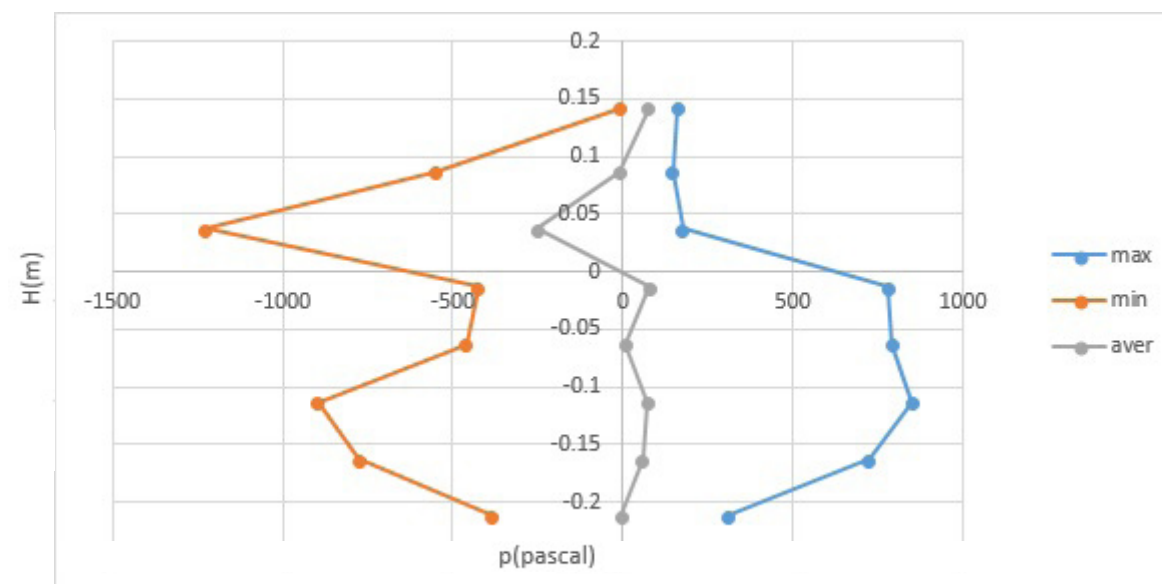




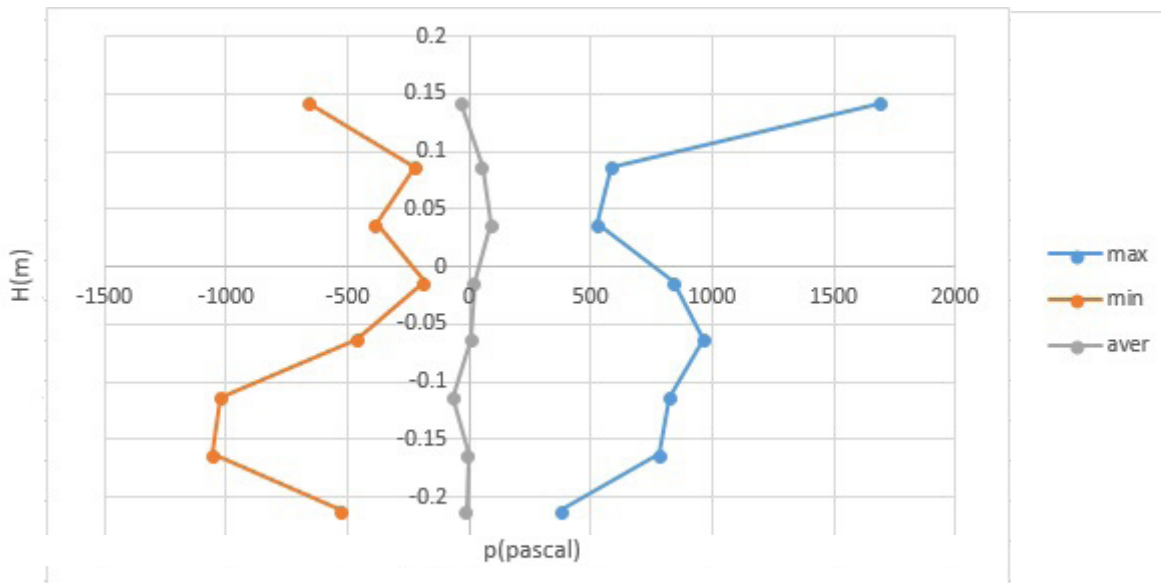
Κωδικός μέτρησης 2.3.3, Φάσμα K2



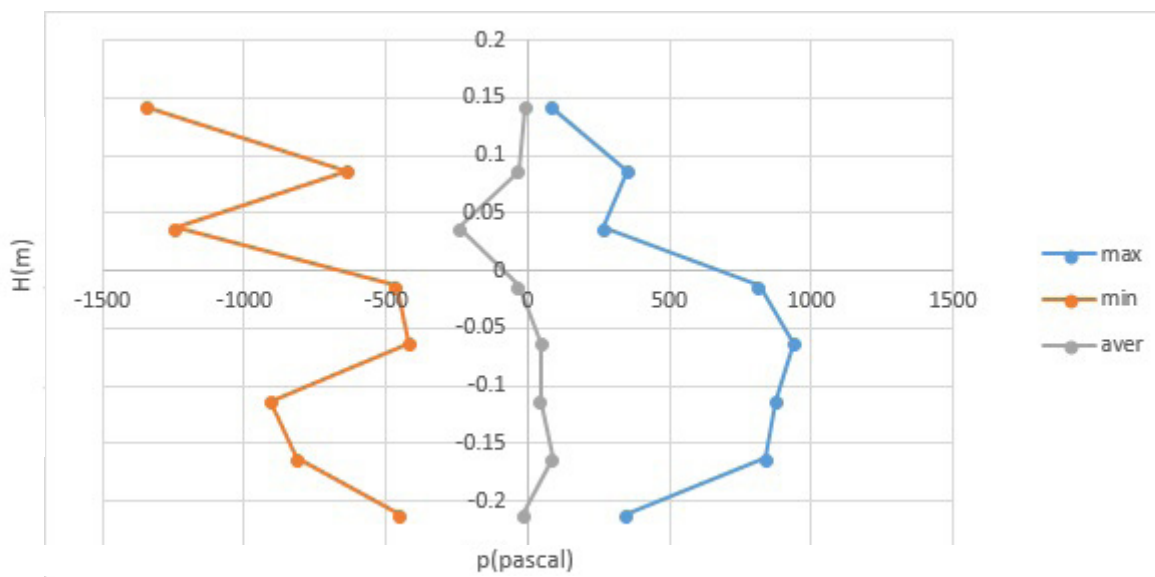
Κωδικός μέτρησης 2.3.4, Φάσμα K2



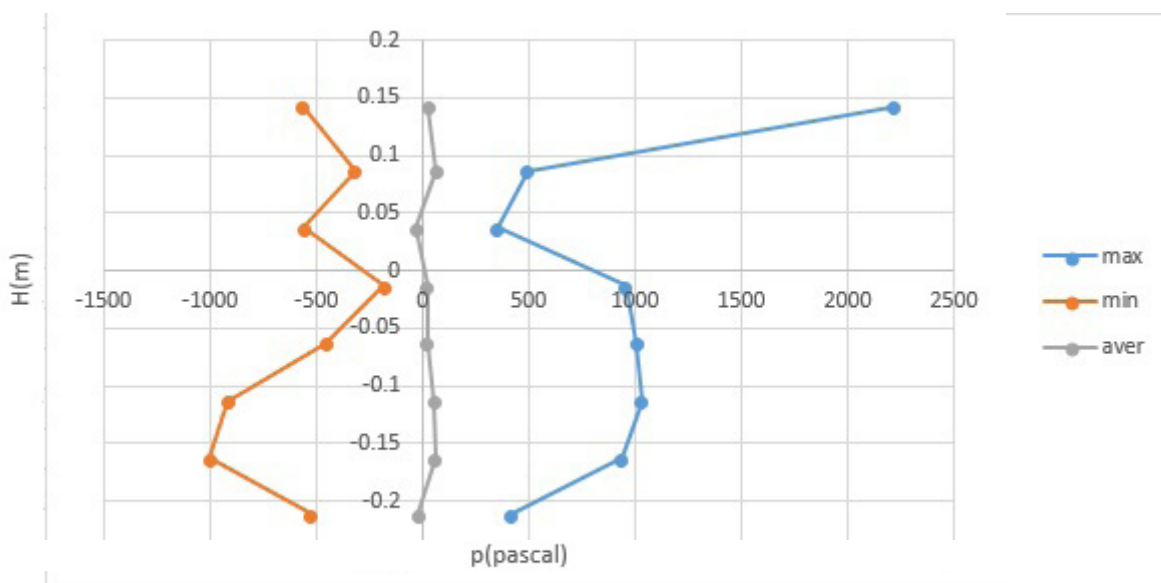
Κωδικός μέτρησης 2.4.1, Φάσμα K2



Κωδικός μέτρησης 2.4.2, Φάσμα K1

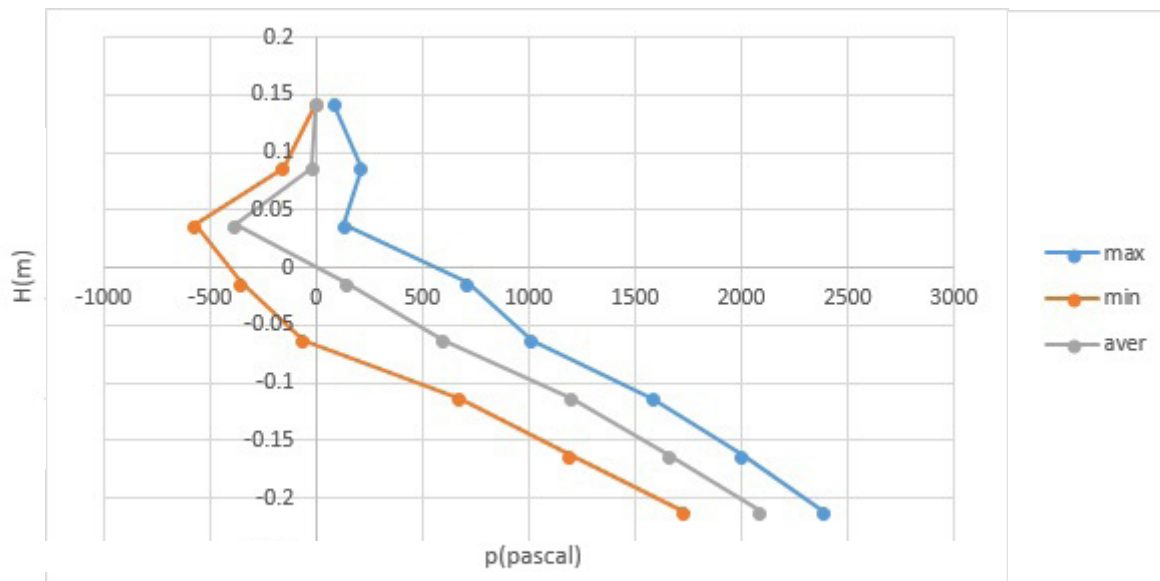


Κωδικός μέτρησης 2.4.3, Φάσμα K1

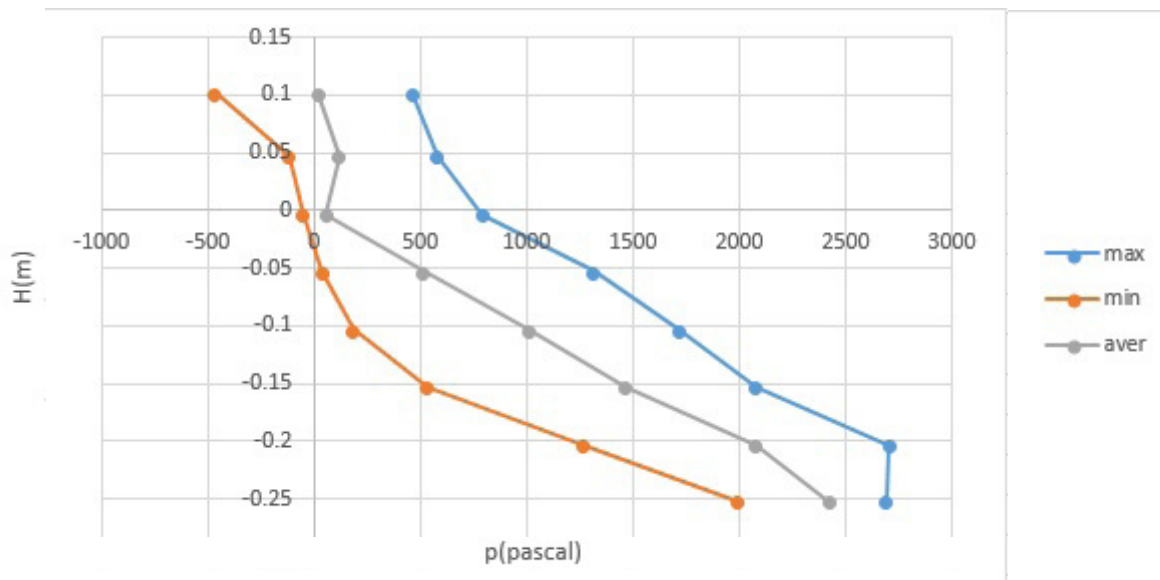


Κωδικός μέτρησης 2.4.4, Φάσμα K1

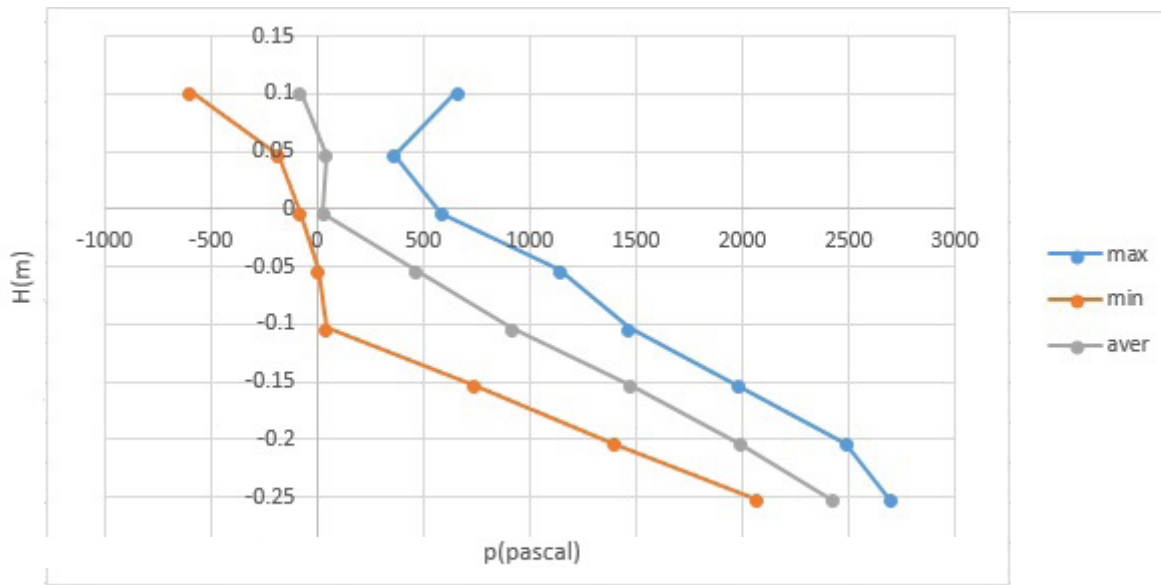
### 4.3.2 Αθροιστικά, Υδροδυναμικές και Υδροστατικές Δυνάμεις



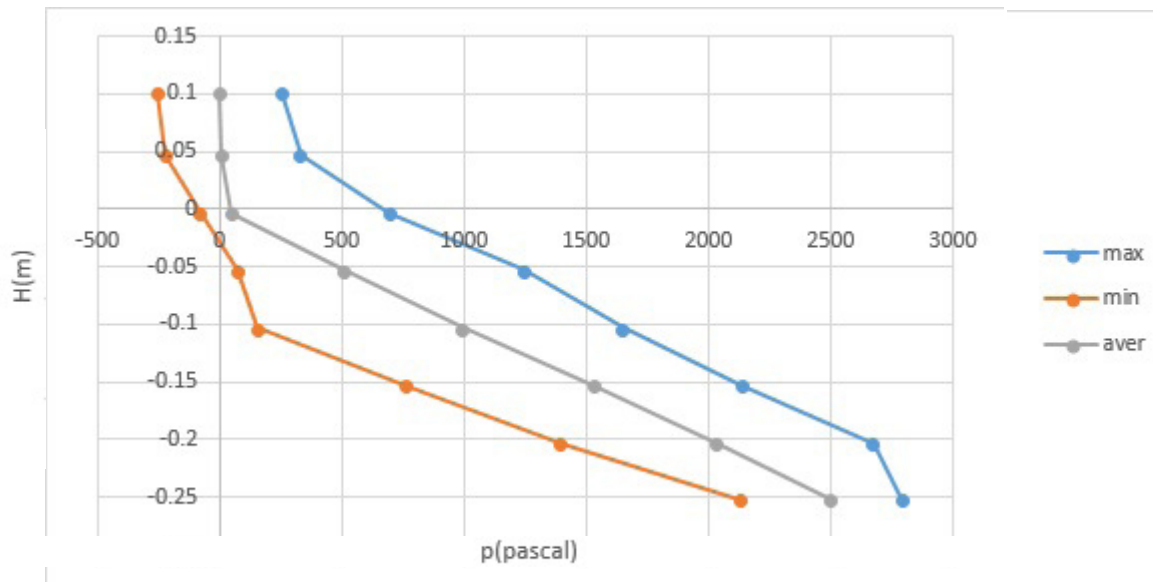
Κωδικός μέτρησης 1.1.1, Φάσμα K8



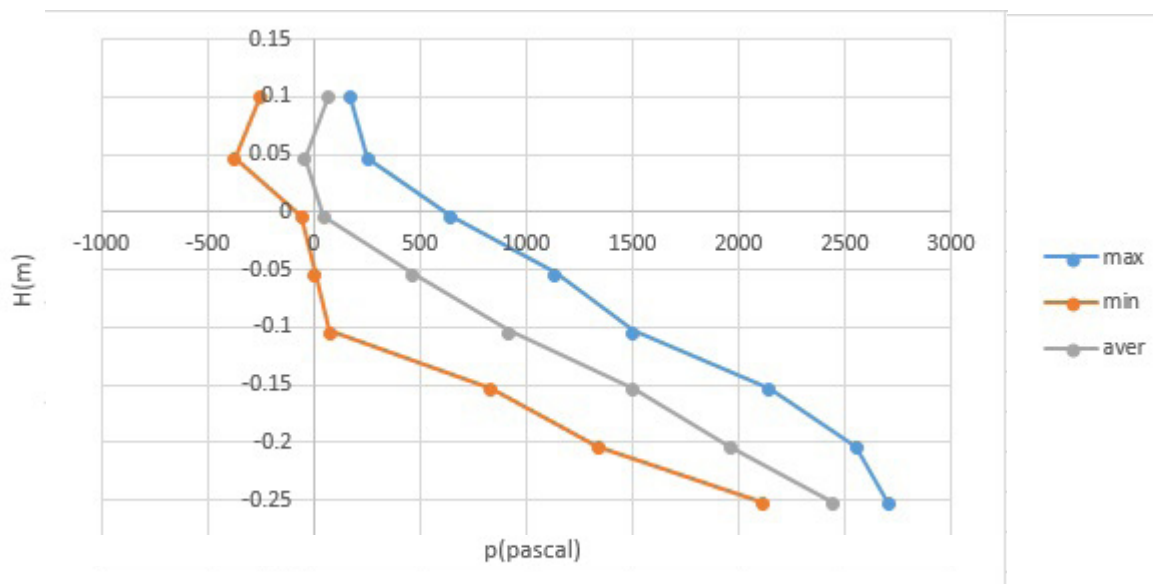
Κωδικός μέτρησης 1.1.2, Φάσμα K8



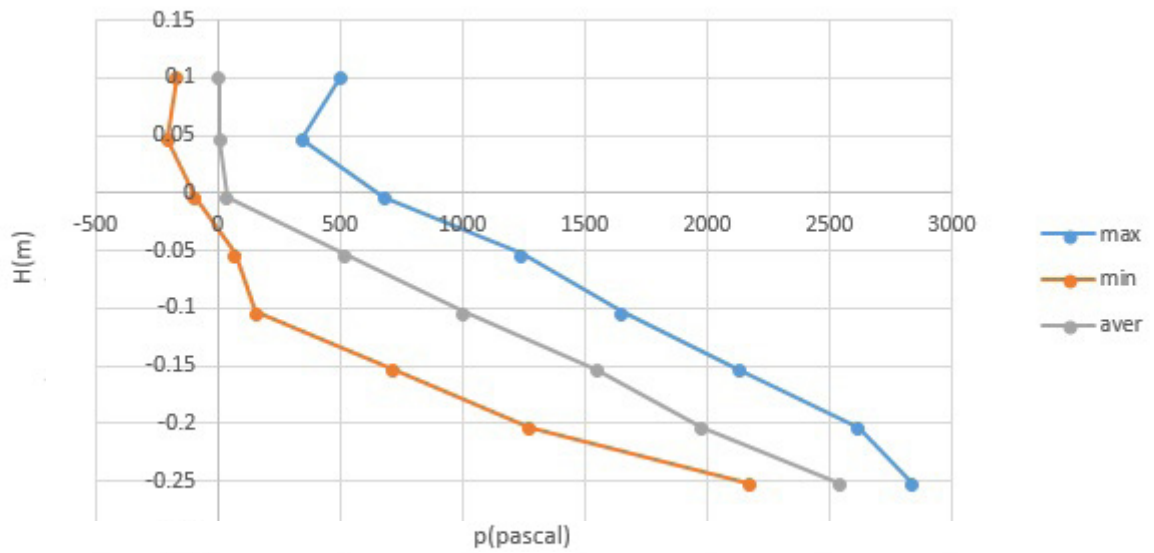
Κωδικός μέτρησης 1.2.1 Φάσμα K7



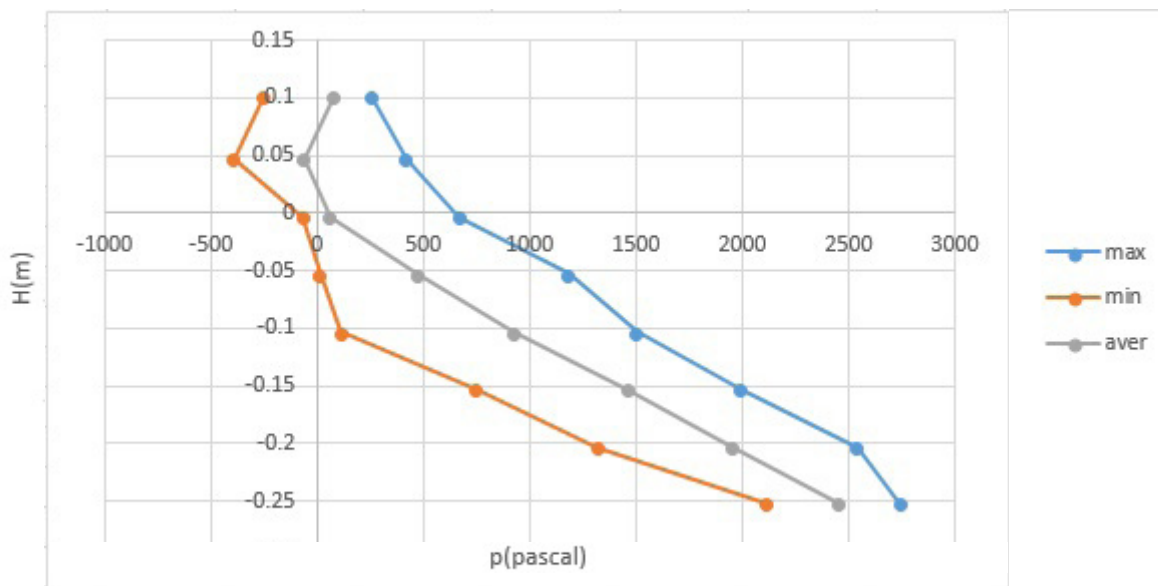
Κωδικός μέτρησης 1.3.1, Φάσμα K6



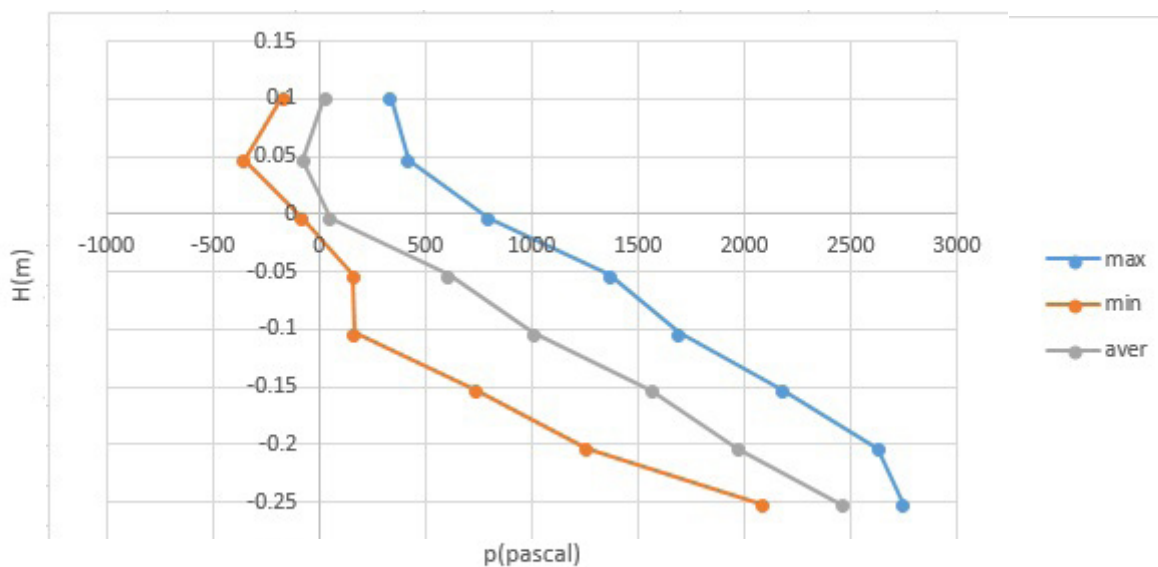
Κωδικός μέτρησης 1.3.2, Φάσμα K6



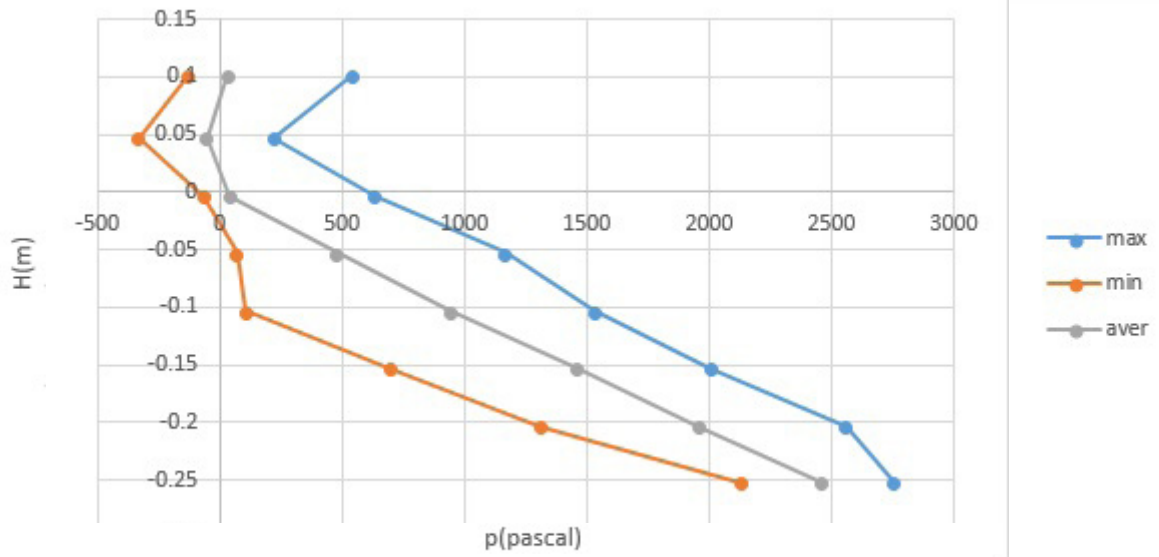
Κωδικός μέτρησης 1.3.3, Φάσμα K6



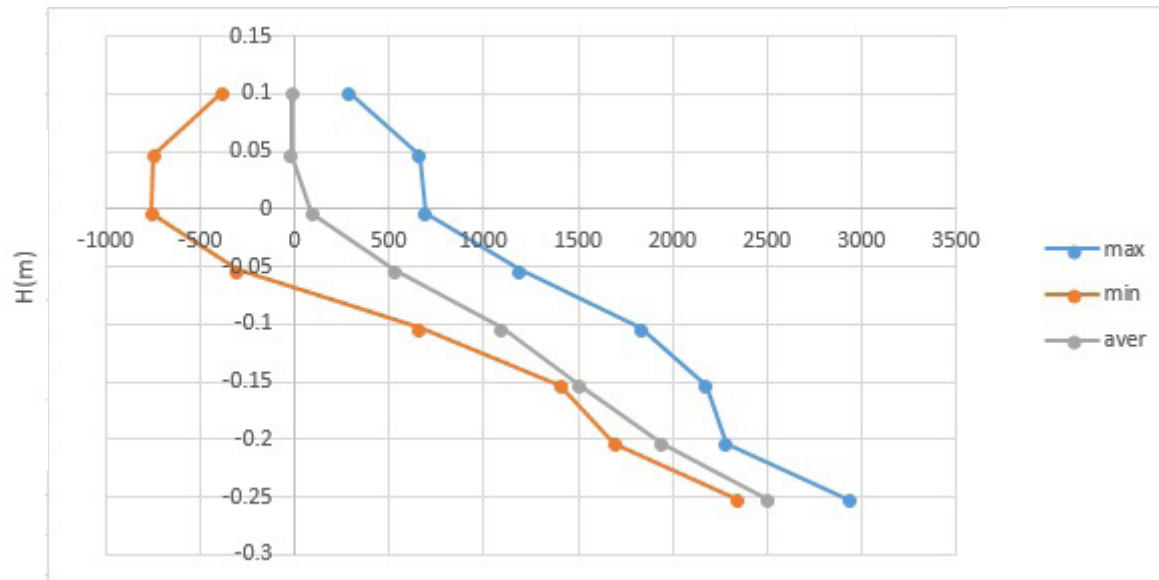
Κωδικός μέτρησης 1.3.4, Φάσμα K6



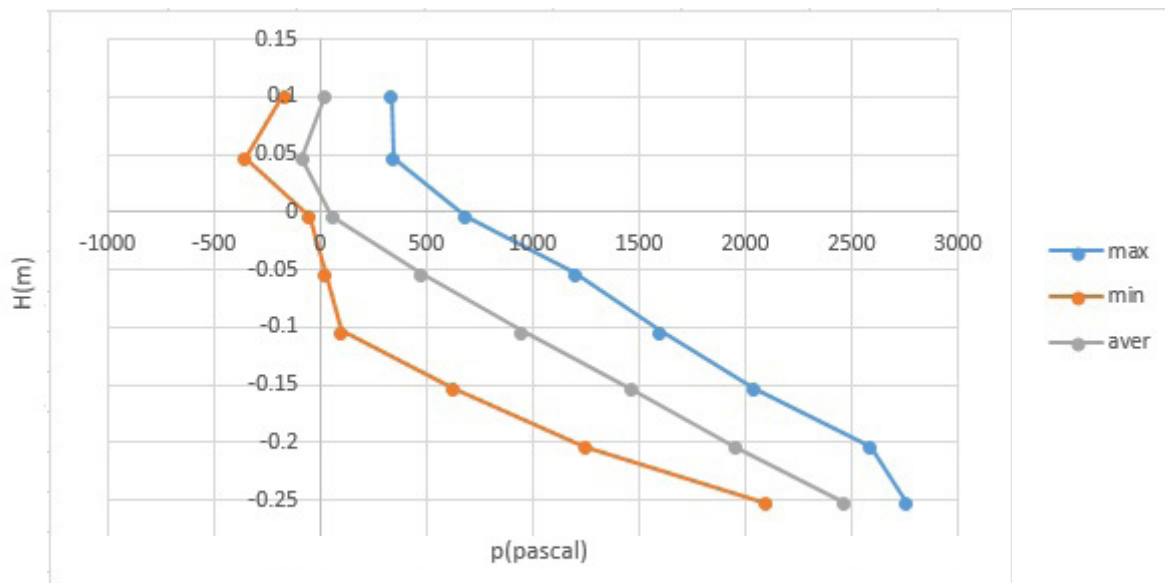
Κωδικός μέτρησης 1.4.1, Φάσμα K5



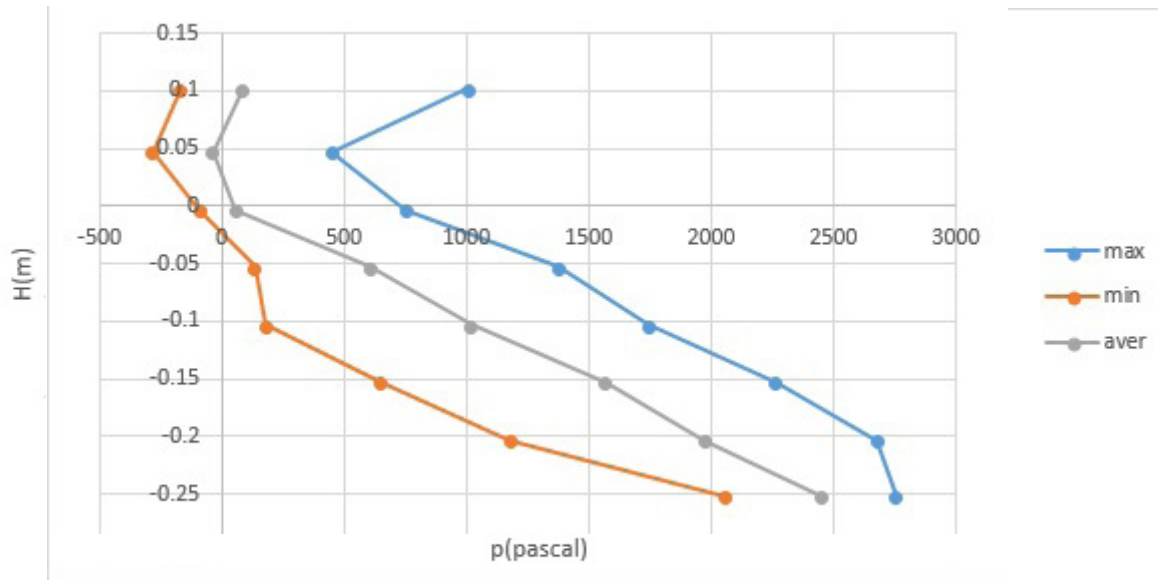
Κωδικός μέτρησης 1.4.2 Φάσμα K5



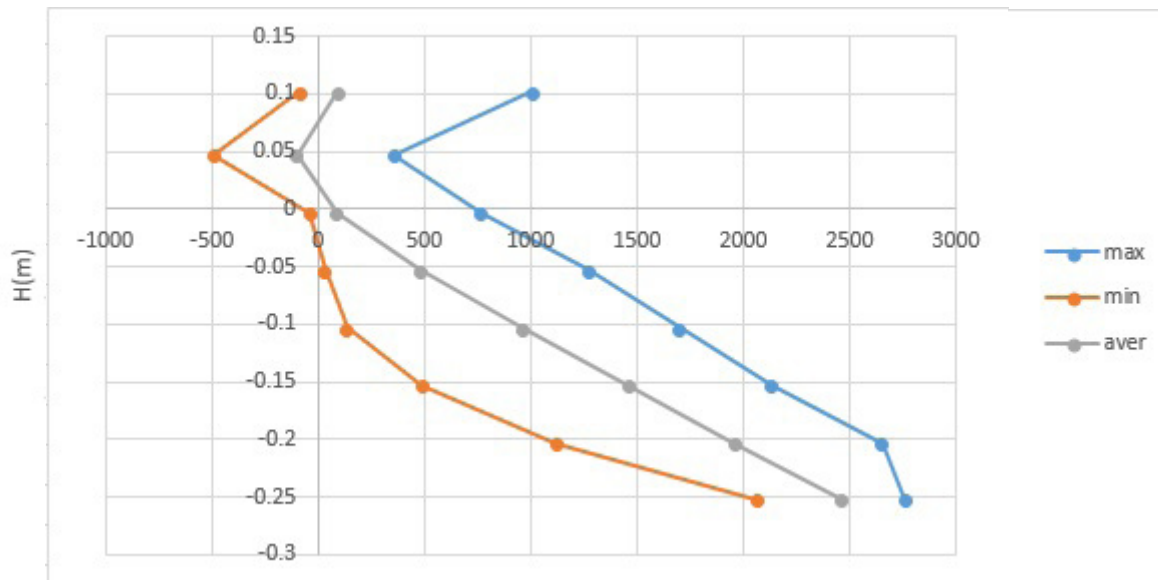
Κωδικός μέτρησης 1.4.3, Φάσμα K5



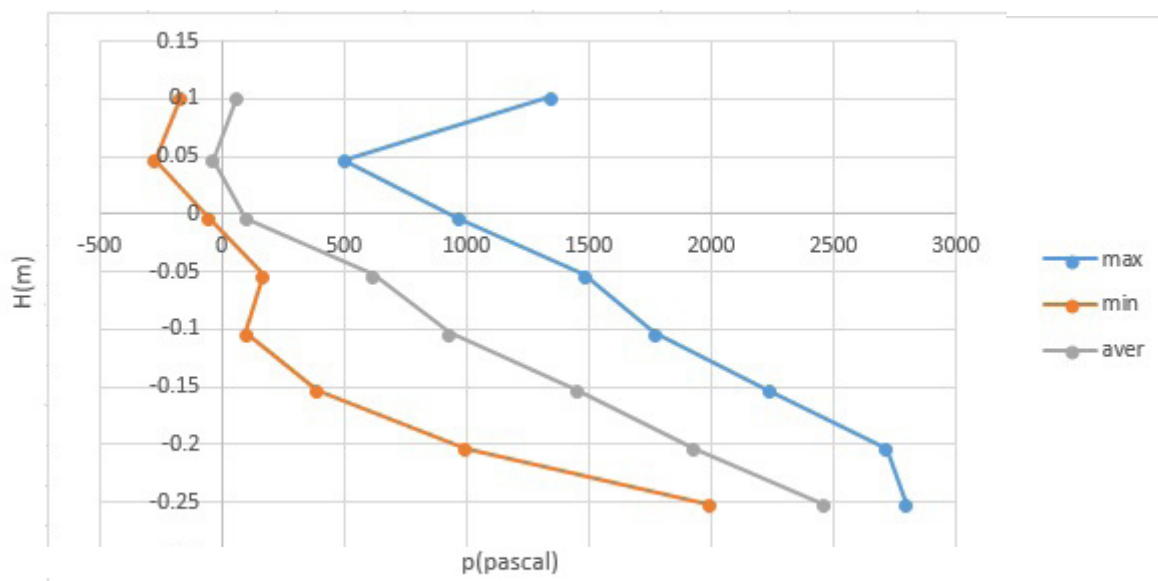
Κωδικός μέτρησης 1.4.4, Φάσμα K5



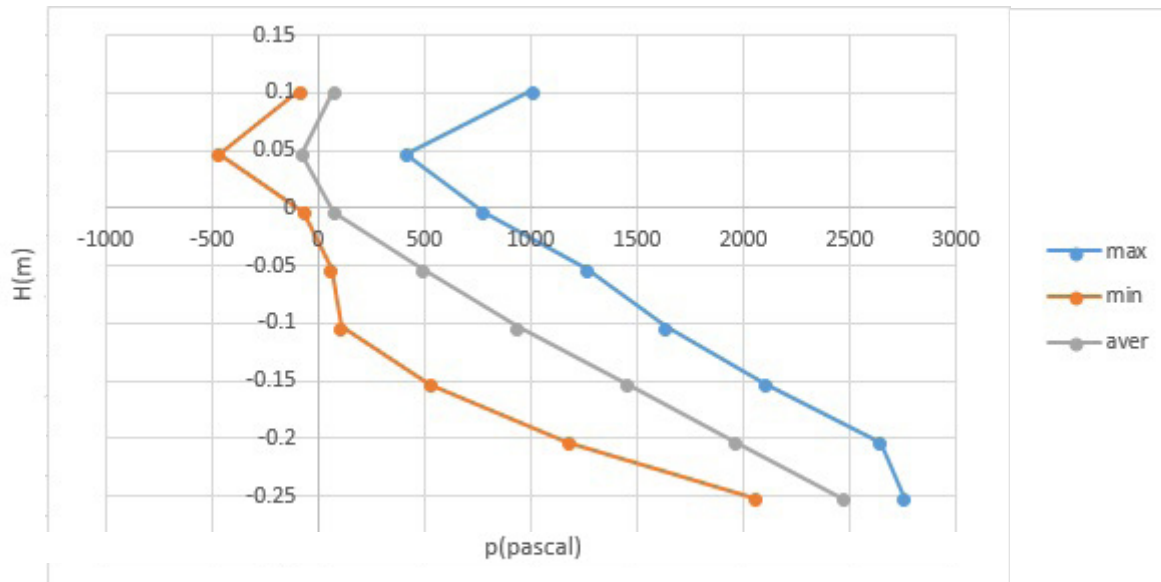
Κωδικός μέτρησης 1.4.5, Φάσμα K5



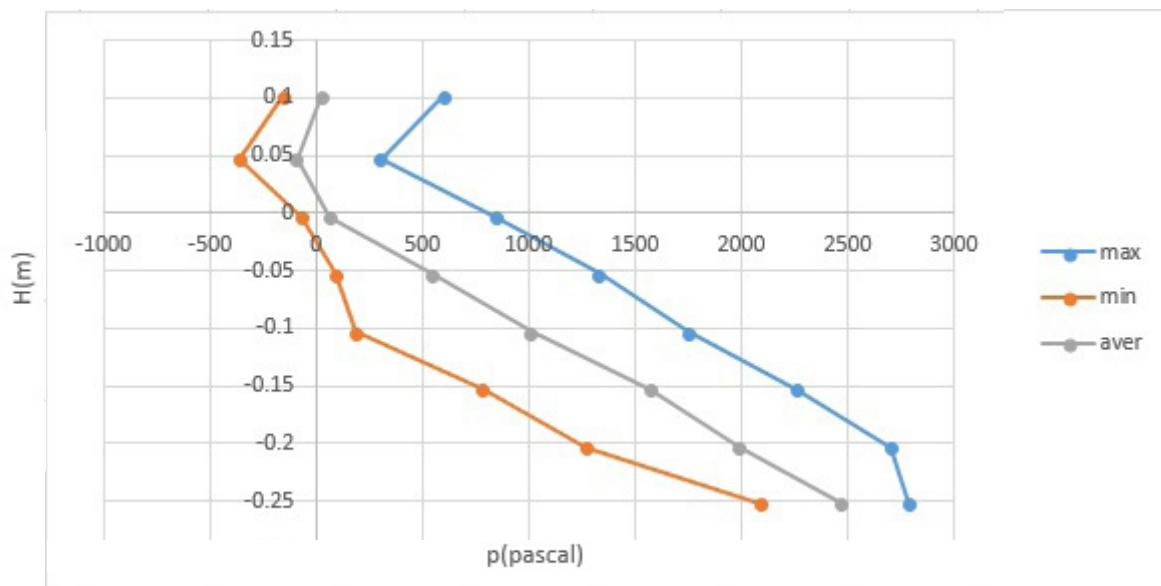
Κωδικός μέτρησης 1.5.1, Φάσμα K4



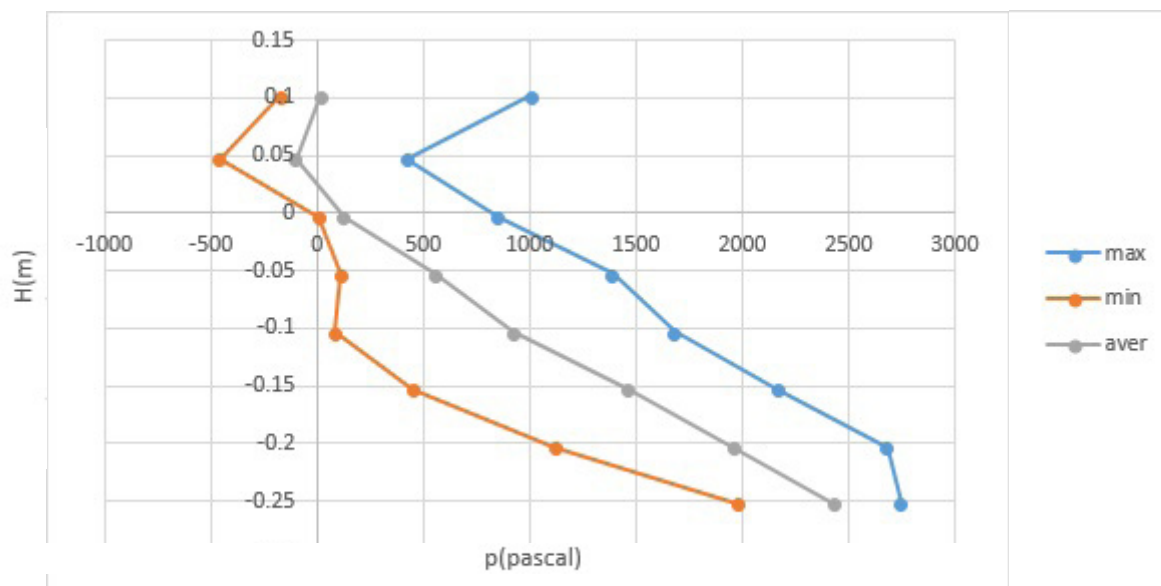
Κωδικός μέτρησης 1.5.2, Φάσμα K4



Κωδικός μέτρησης 1.5.3, Φάσμα K4

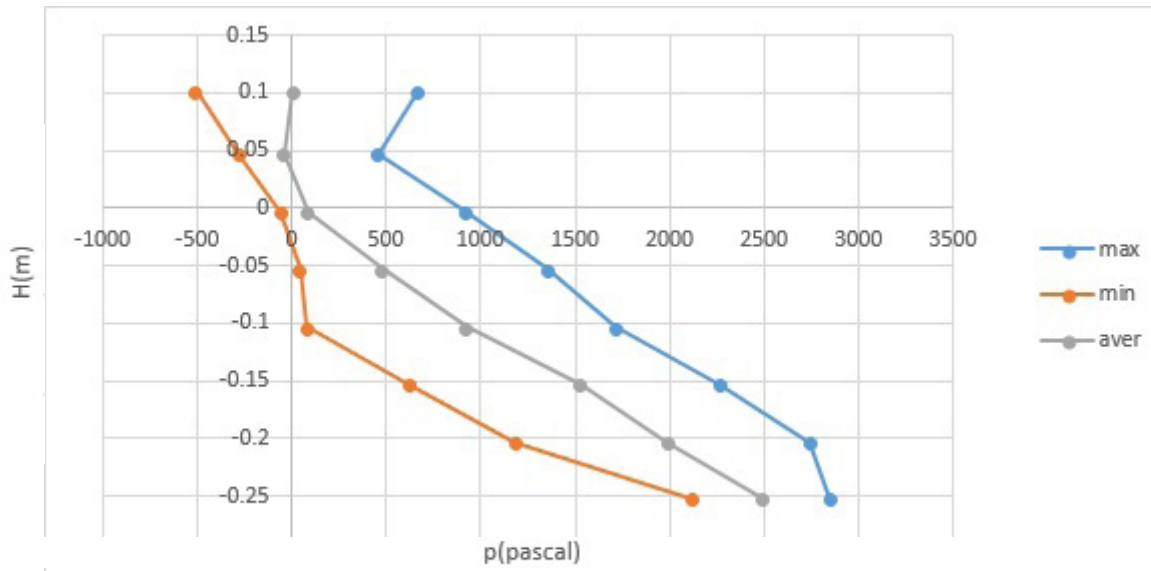


Κωδικός μέτρησης 1.5.4, Φάσμα K4

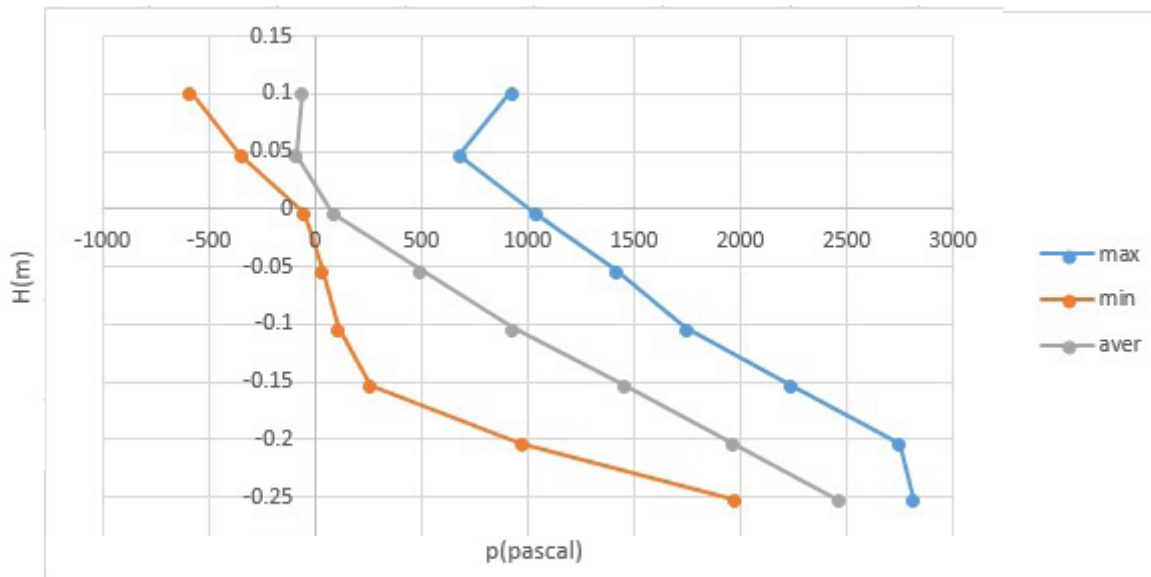


Κωδικός μέτρησης 1.5.5, Φάσμα K4

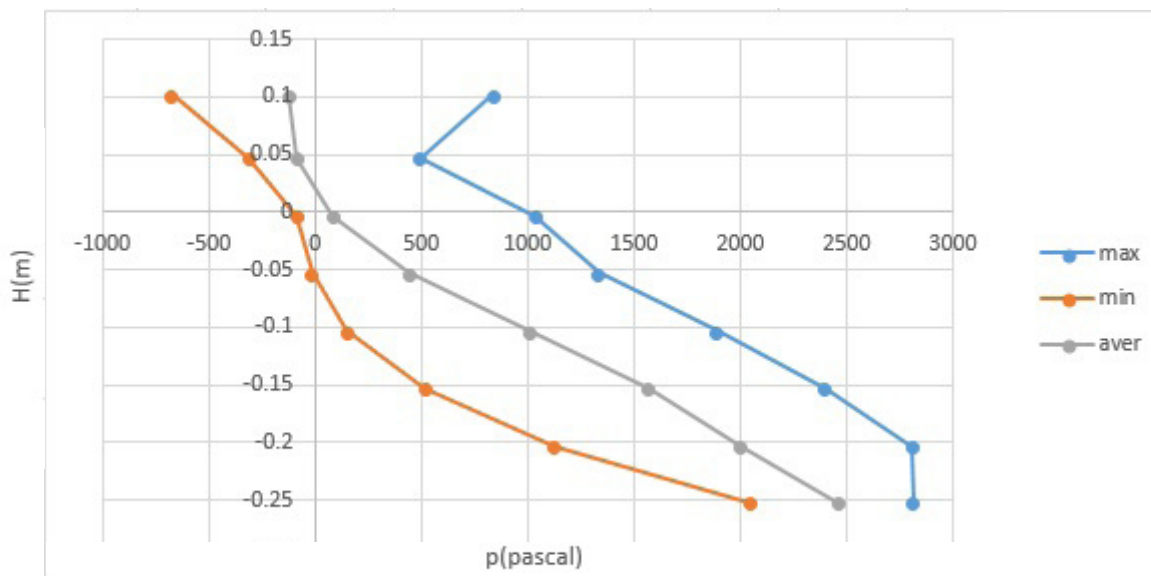




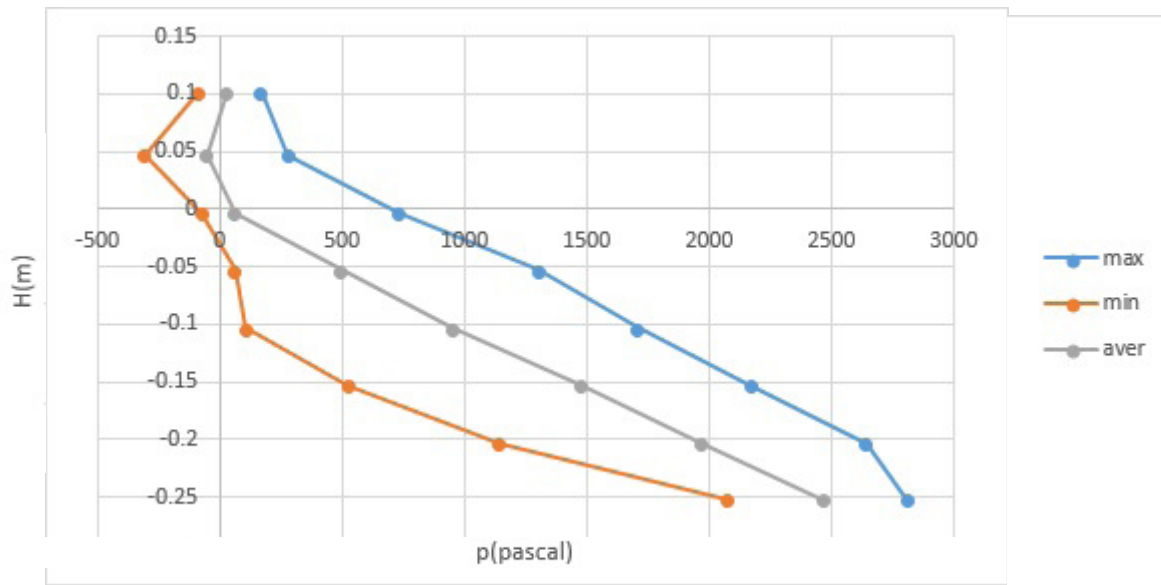
Κωδικός μέτρησης 1.5.6, Φάσμα K4



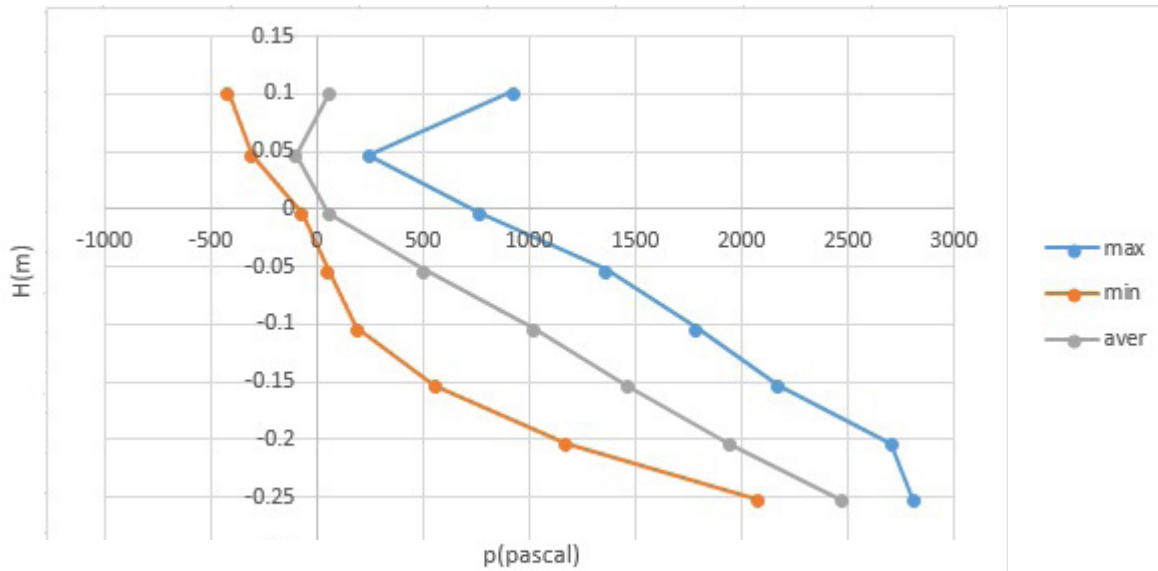
Κωδικός μέτρησης 1.6.1, Φάσμα K3



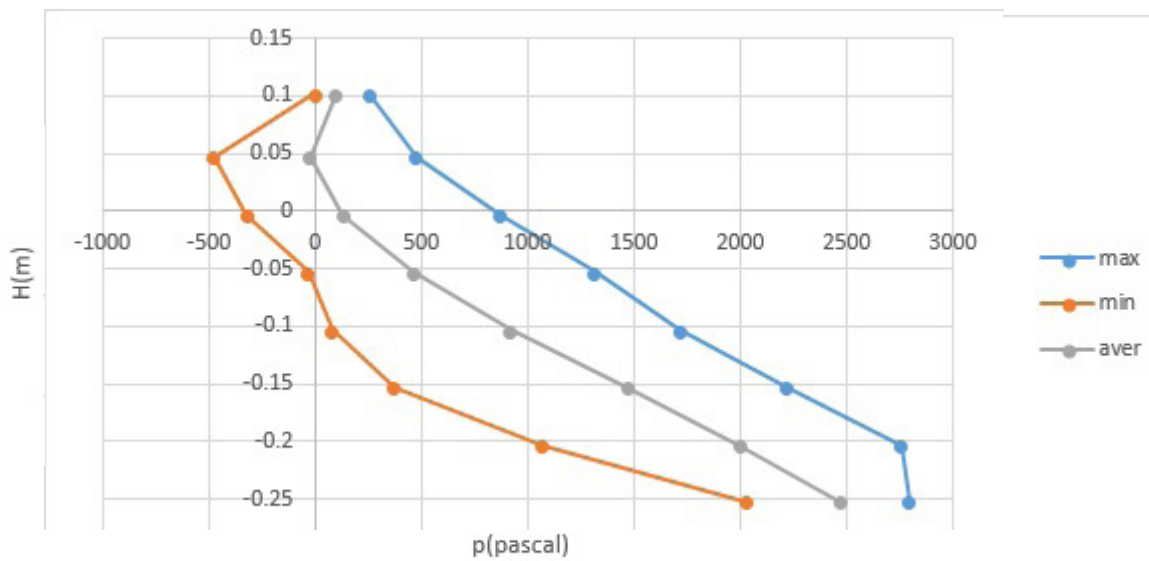
Κωδικός μέτρησης 1.6.2, Φάσμα K3



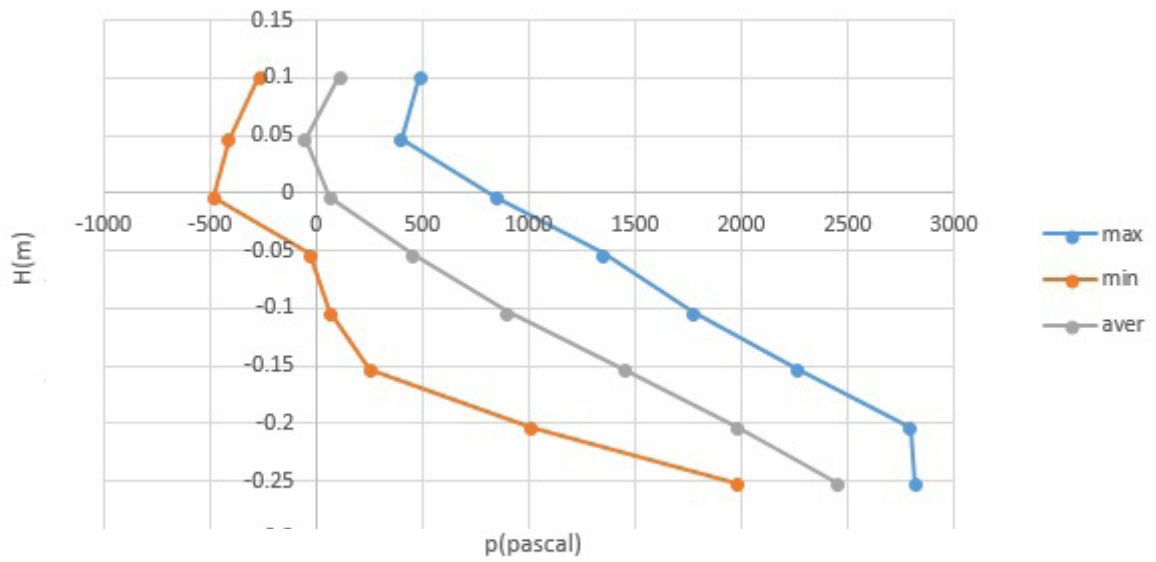
Κωδικός μέτρησης 1.6.3, Φάσμα K3



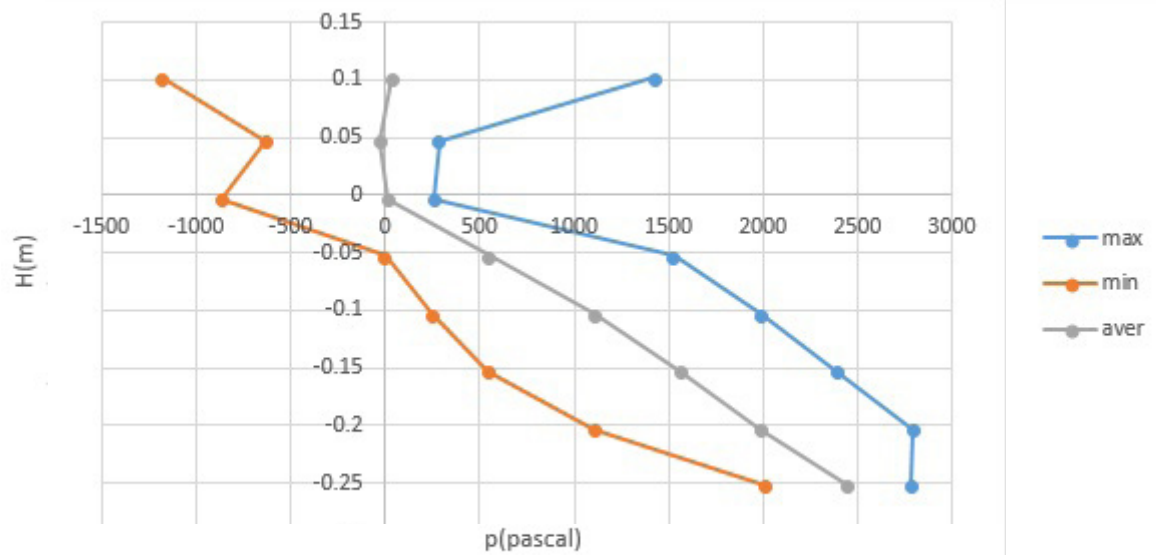
Κωδικός μέτρησης 1.6.4, Φάσμα K3



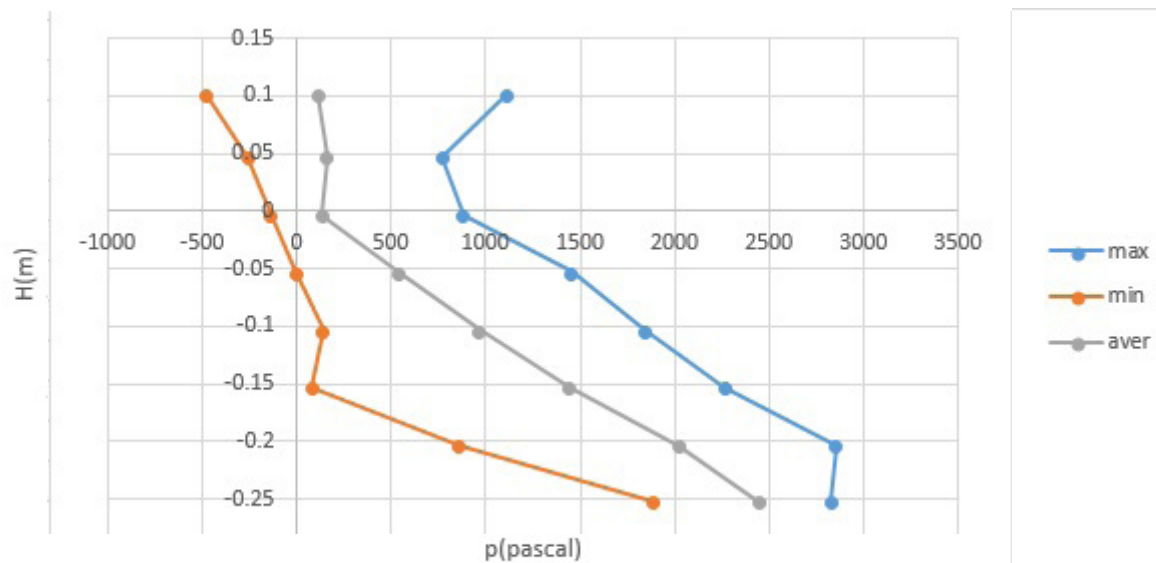
Κωδικός μέτρησης 1.7.1, Φάσμα K3



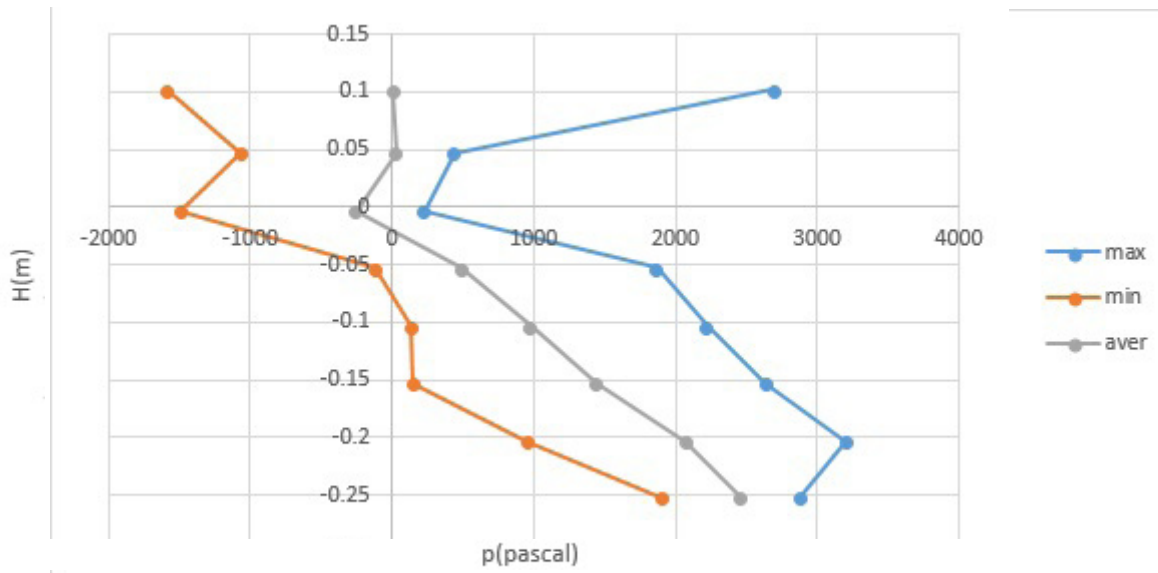
Κωδικός μέτρησης 1.7.2, Φάσμα K3



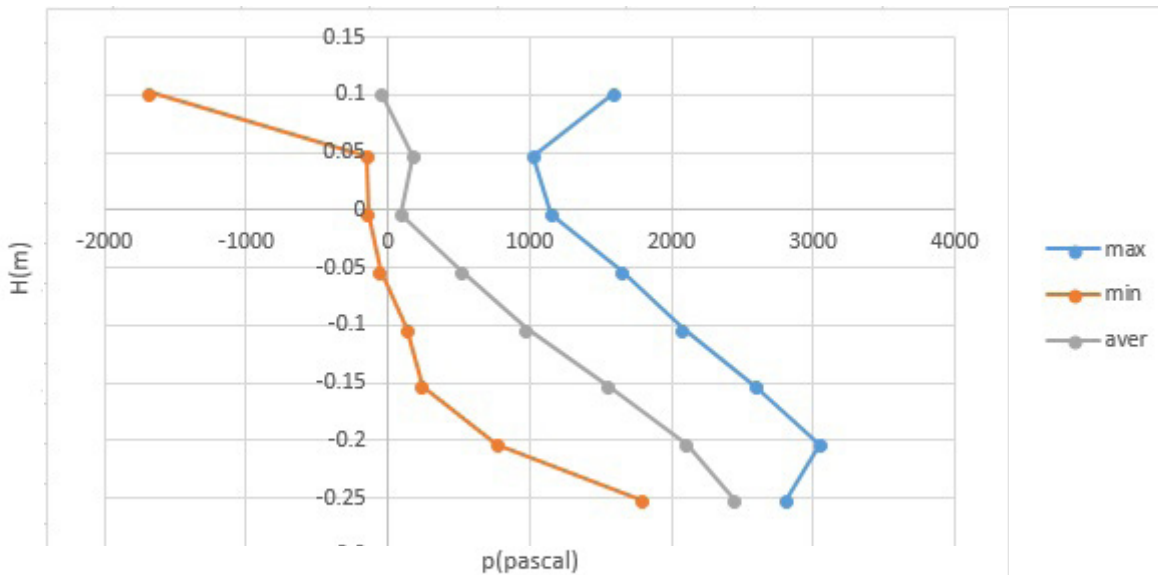
Κωδικός μέτρησης 1.8.1, Φάσμα K2



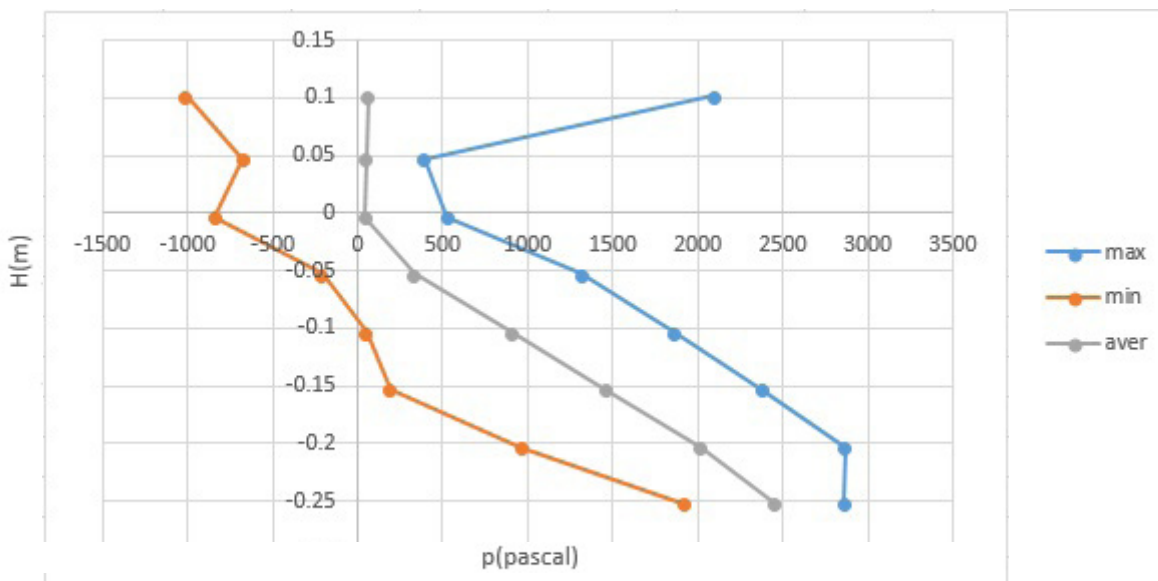
Κωδικός μέτρησης 1.8.2, Φάσμα K2



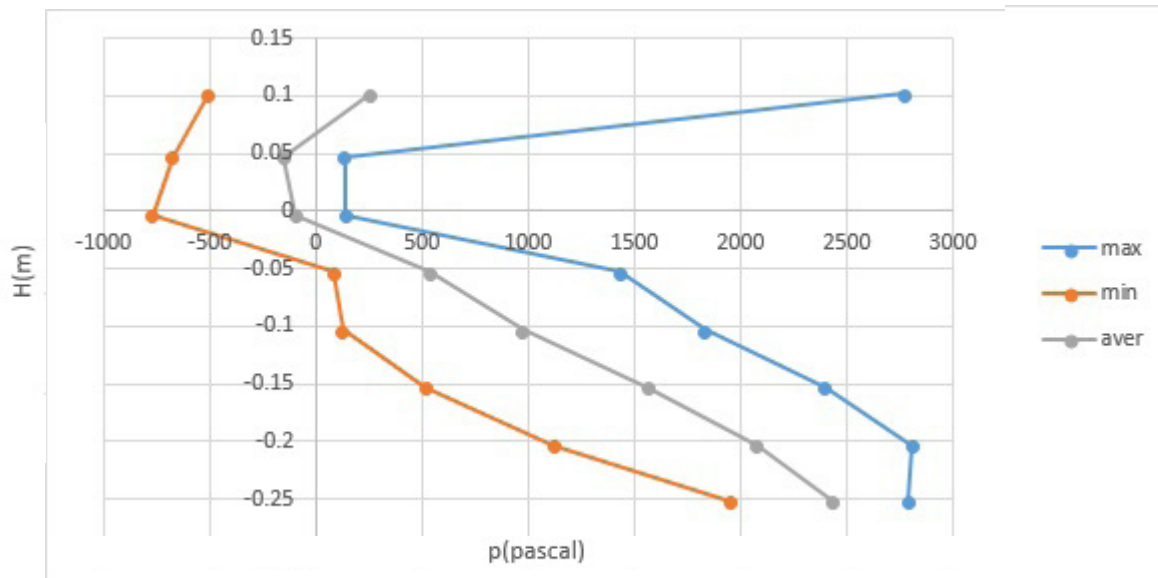
Κωδικός μέτρησης 1.8.3, Φάσμα K2



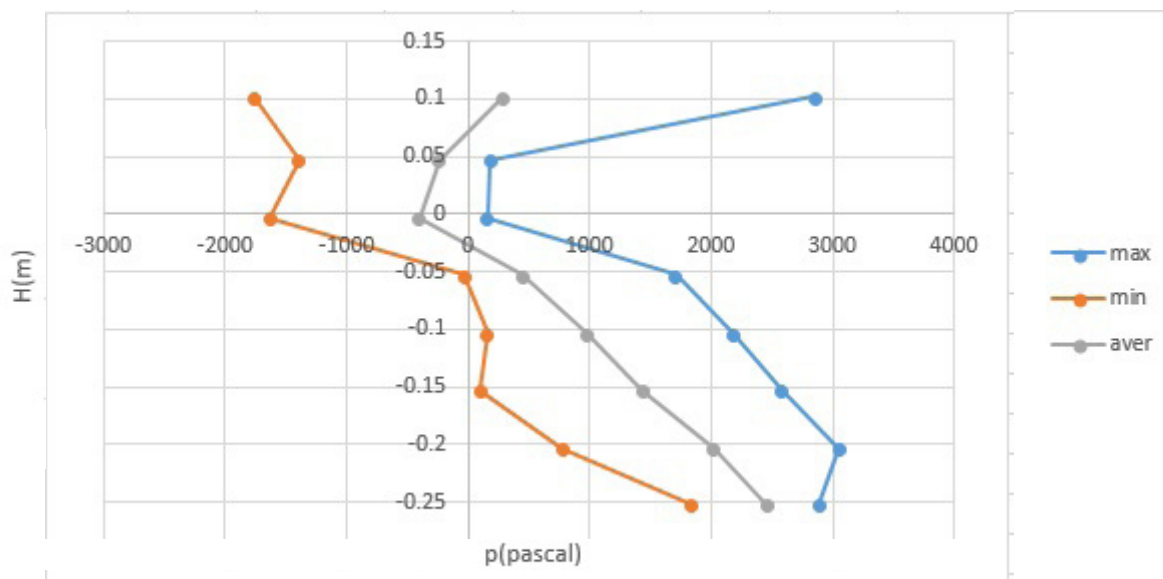
Κωδικός μέτρησης 1.8.4, Φάσμα K2



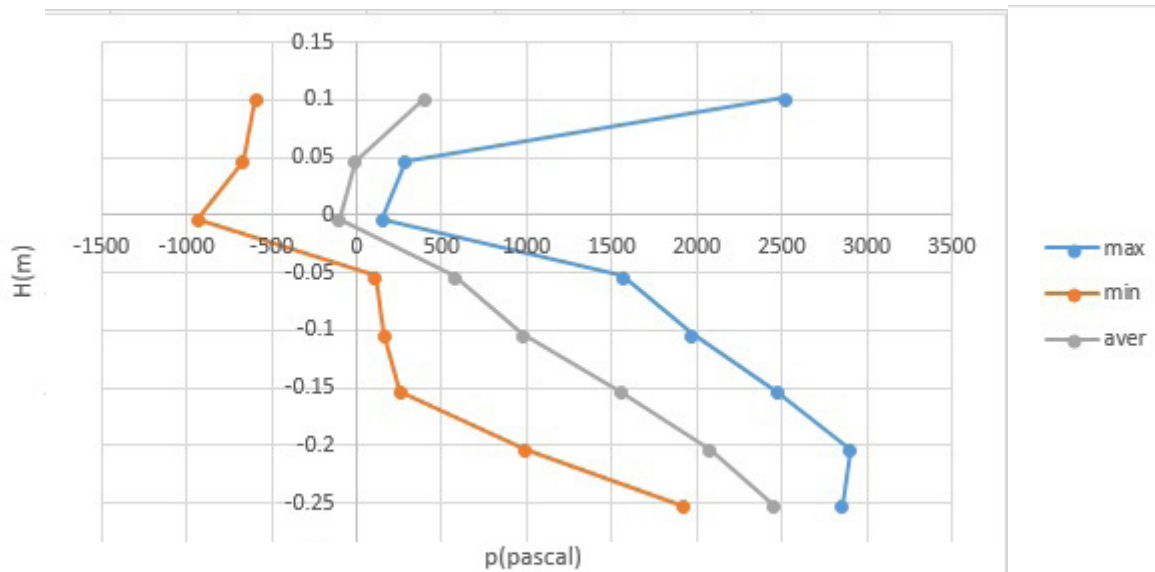
Κωδικός μέτρησης 1.9.1, Φάσμα K1



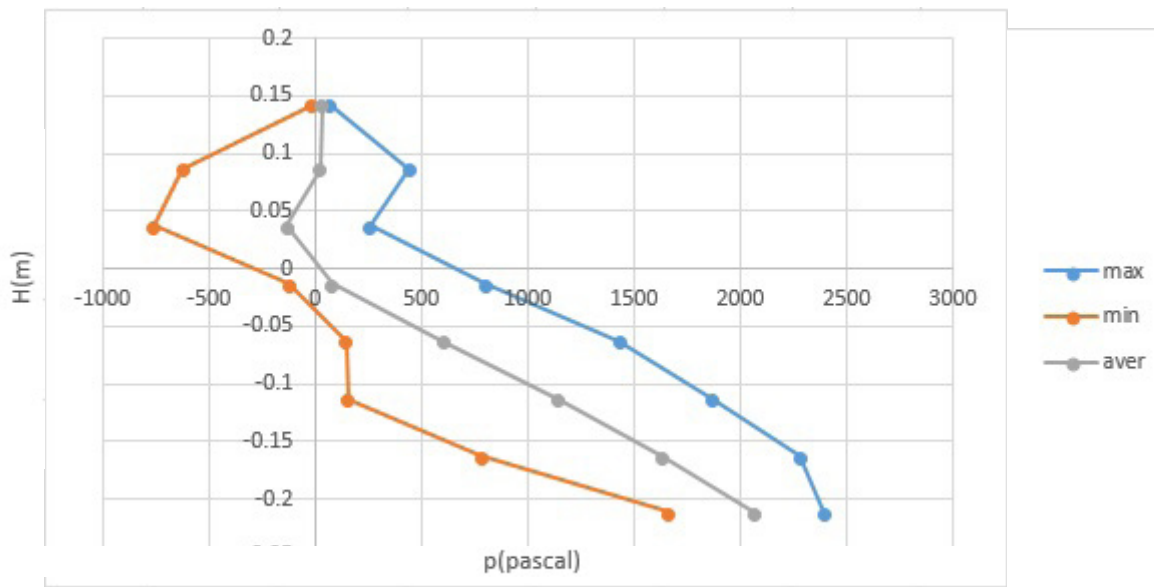
Κωδικός μέτρησης 1.9.2, Φάσμα K1



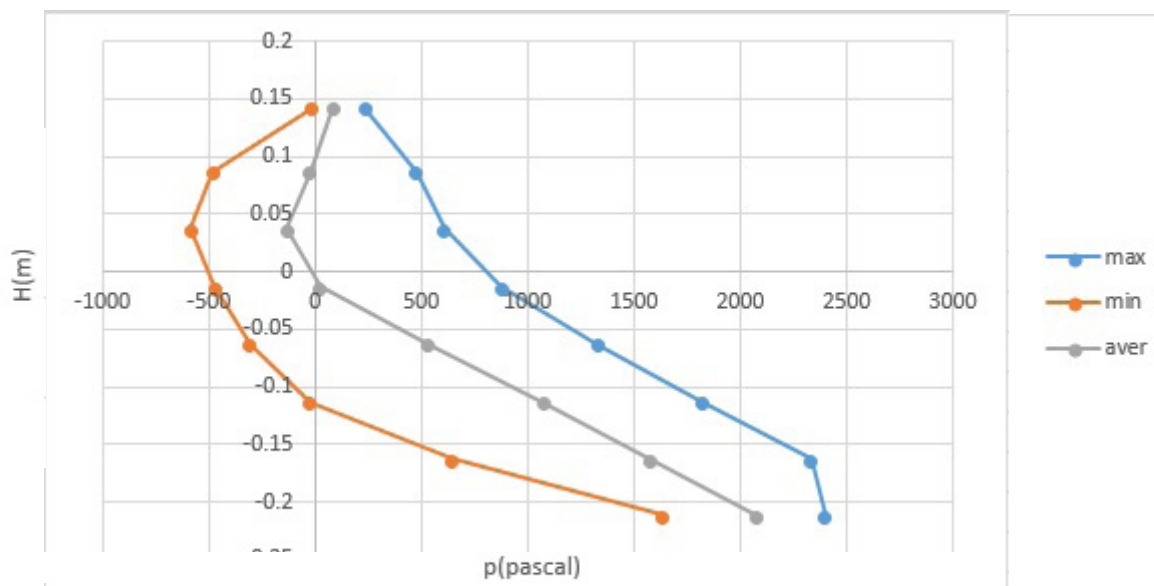
Κωδικός μέτρησης 1.9.3, Φάσμα K1



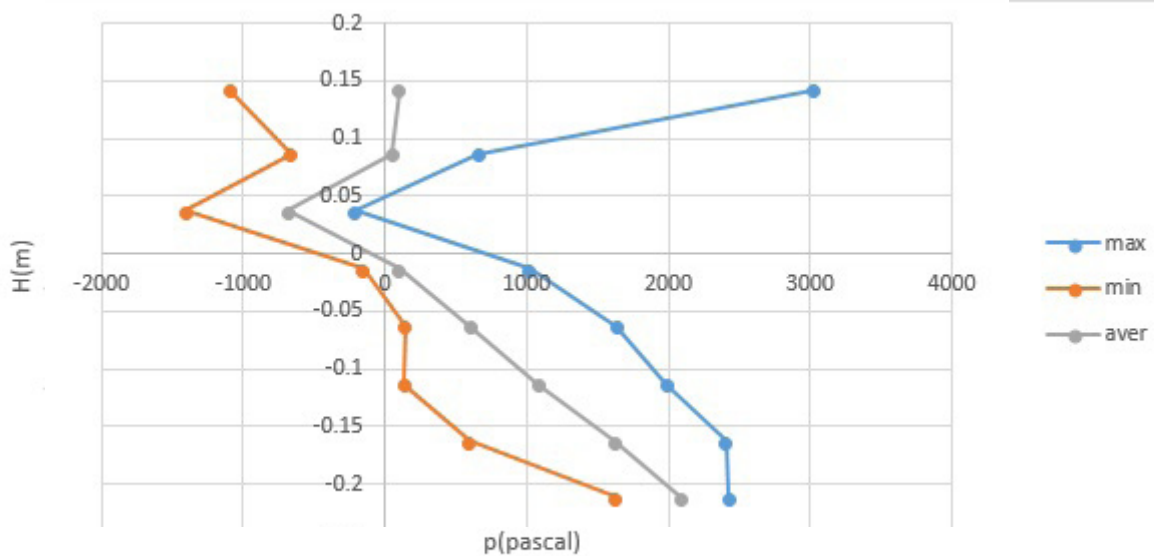
Κωδικός μέτρησης 2.1.1, Φάσμα K4



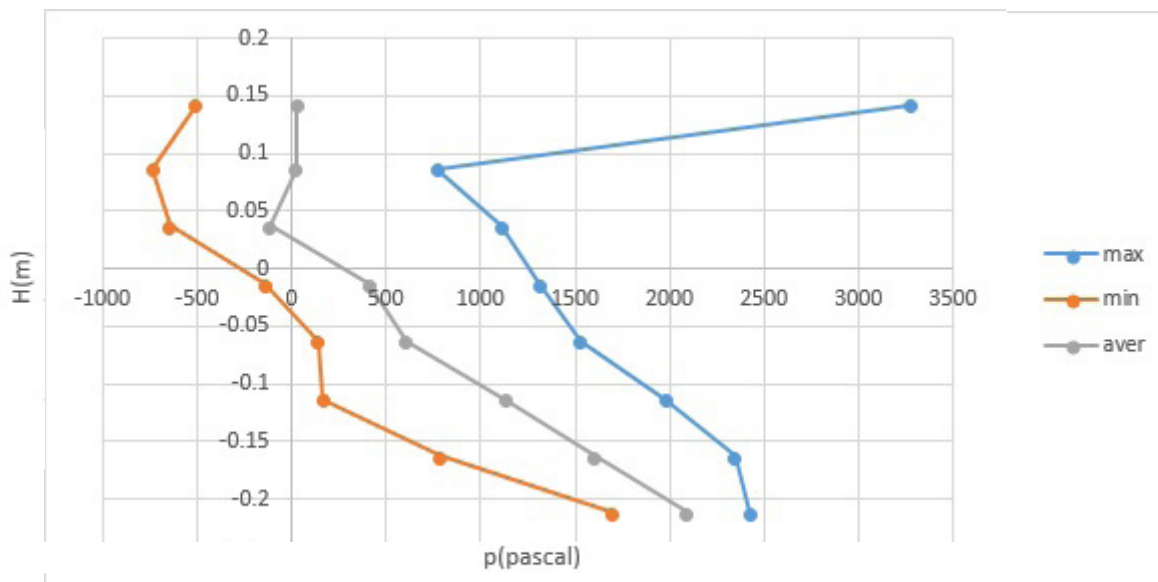
Κωδικός μέτρησης 2.1.2, Φάσμα K4



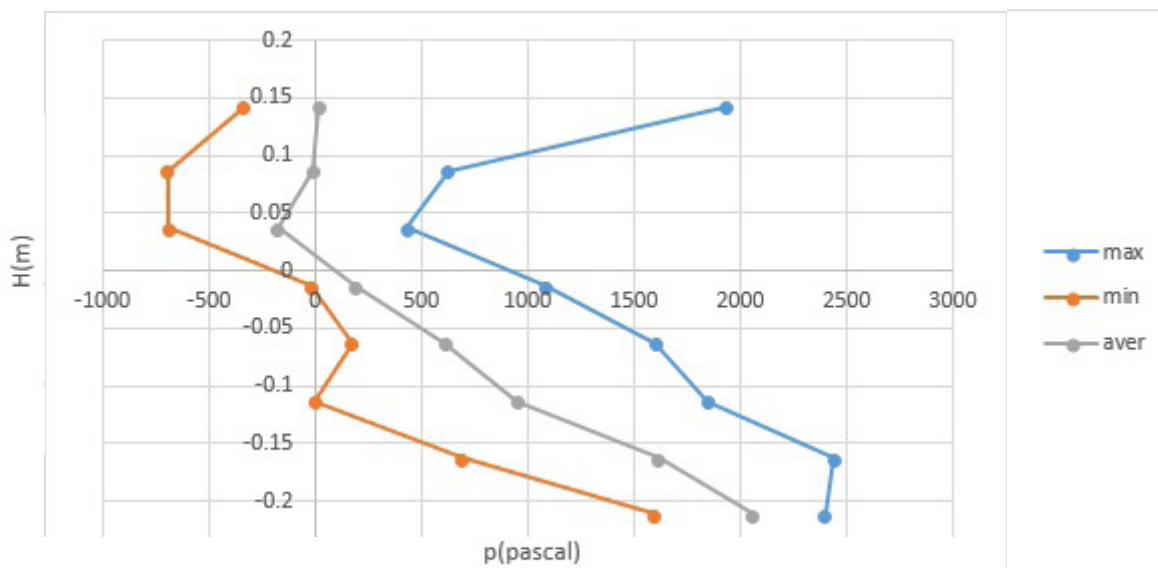
Κωδικός μέτρησης 2.1.3, Φάσμα K4



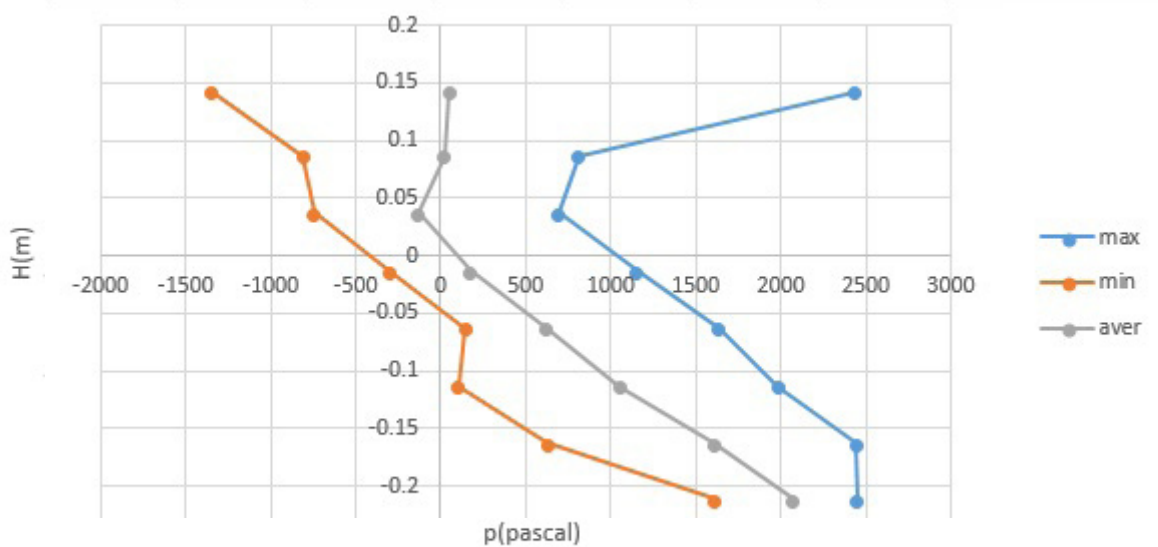
Κωδικός μέτρησης 2.1.4, Φάσμα K4



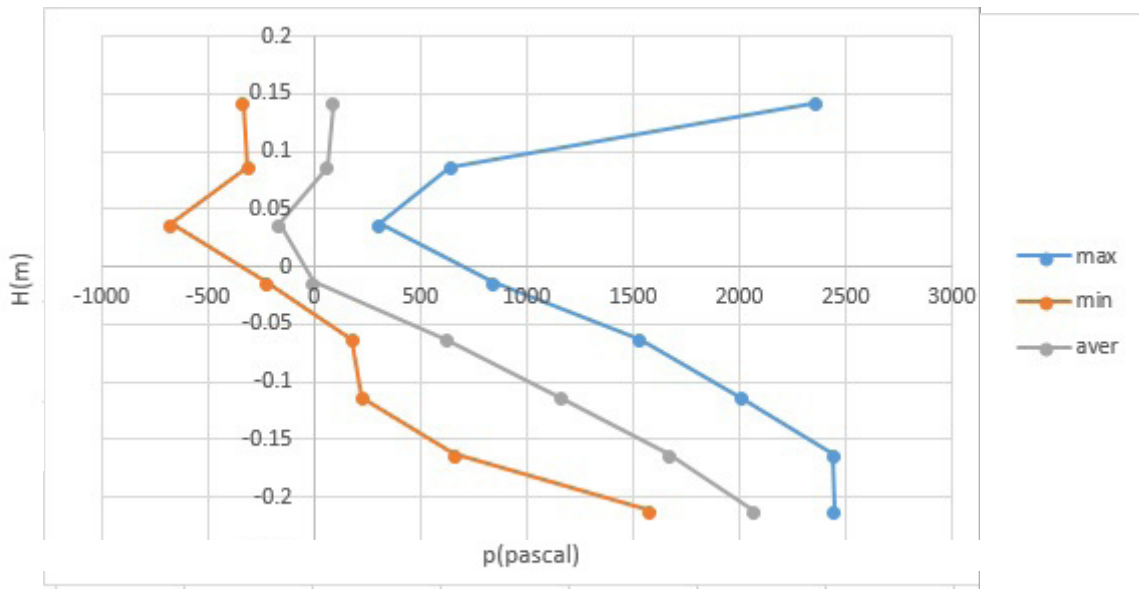
Κωδικός μέτρησης 2.2.1, Φάσμα K3



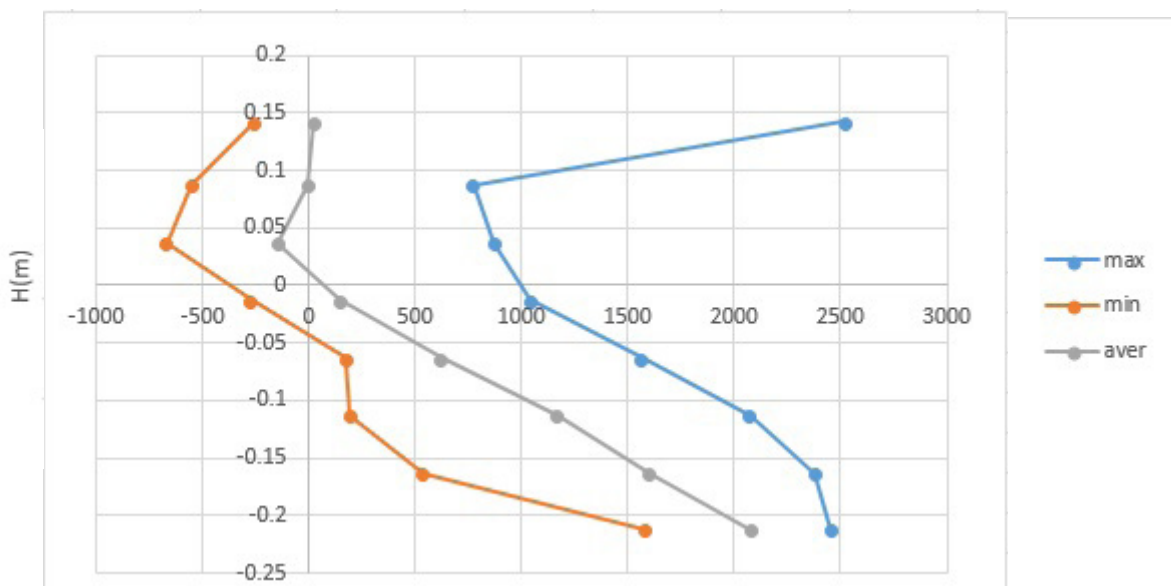
Κωδικός μέτρησης 2.2.2, Φάσμα K3



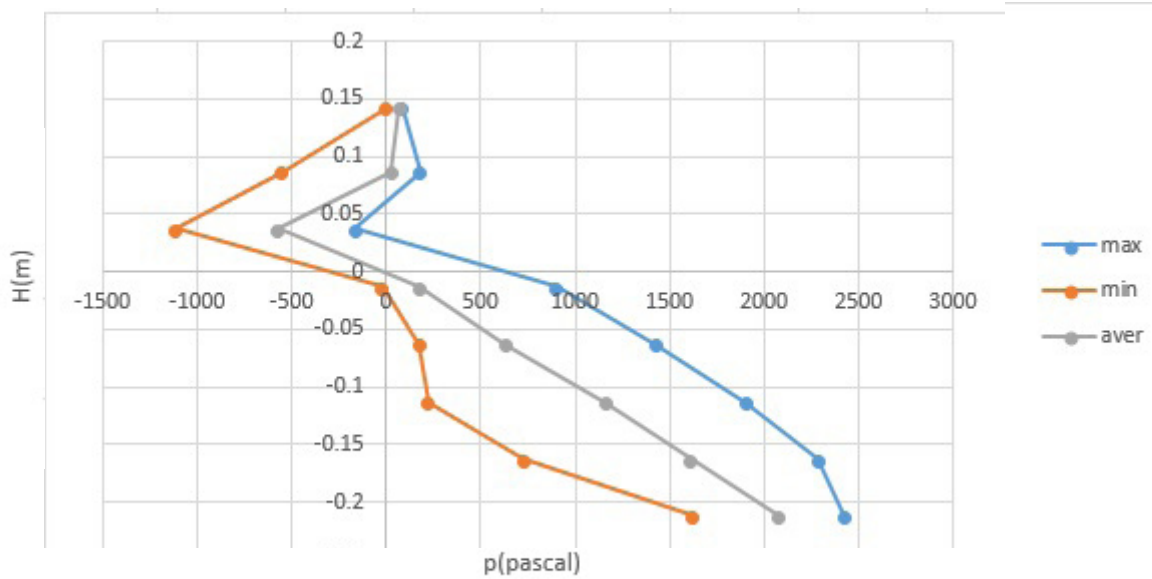
Κωδικός μέτρησης 2.2.3, Φάσμα K3



Κωδικός μέτρησης 2.2.4 Φάσμα K3

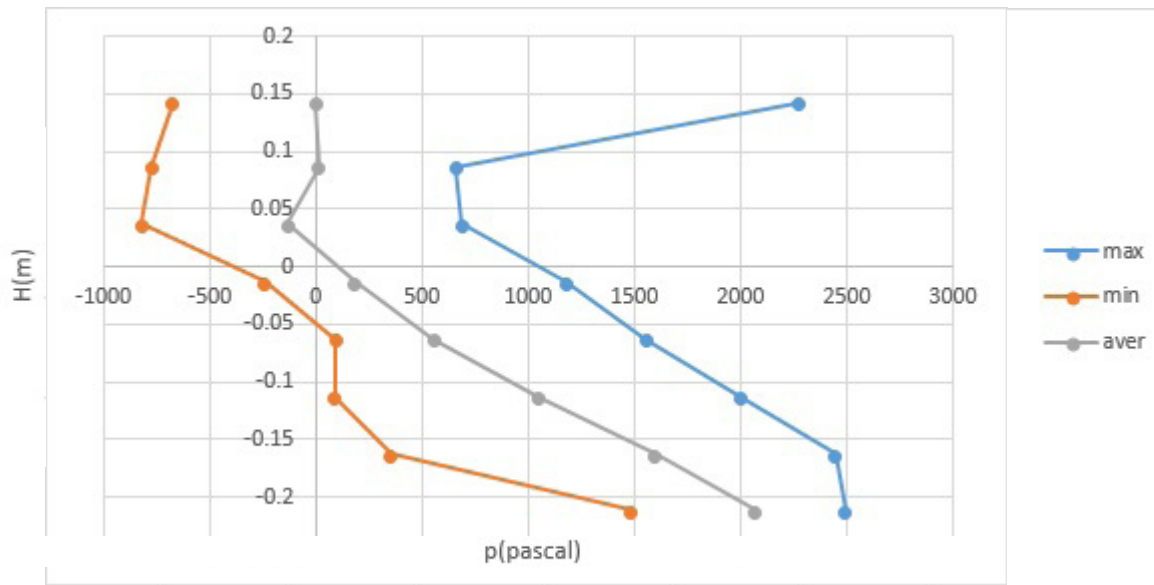


Κωδικός μέτρησης 2.3.1, Φάσμα K2

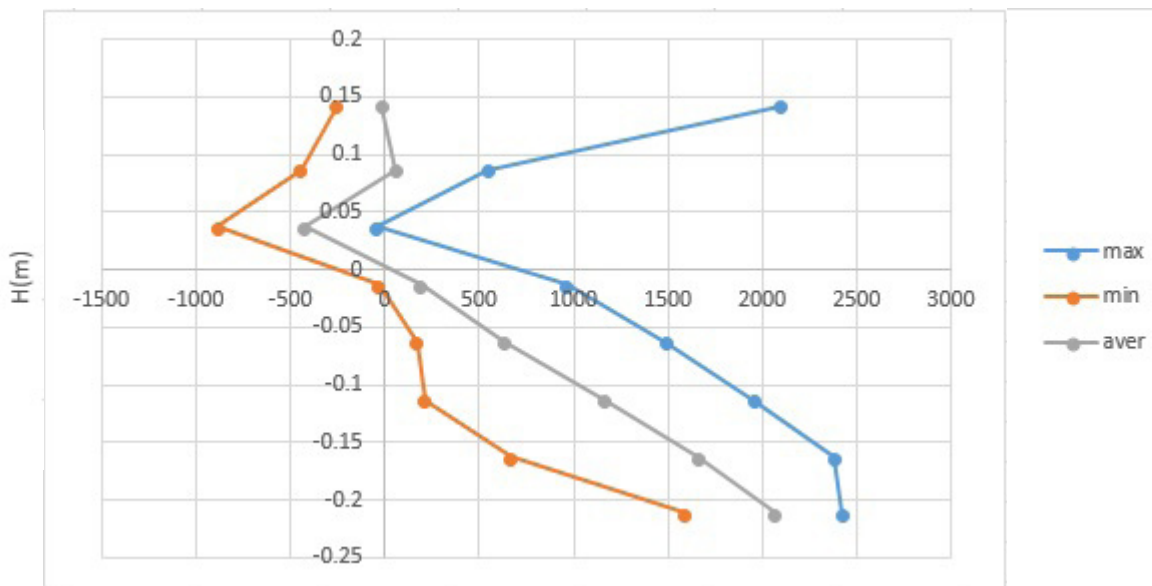


Κωδικός μέτρησης 2.3.2, Φάσμα K2

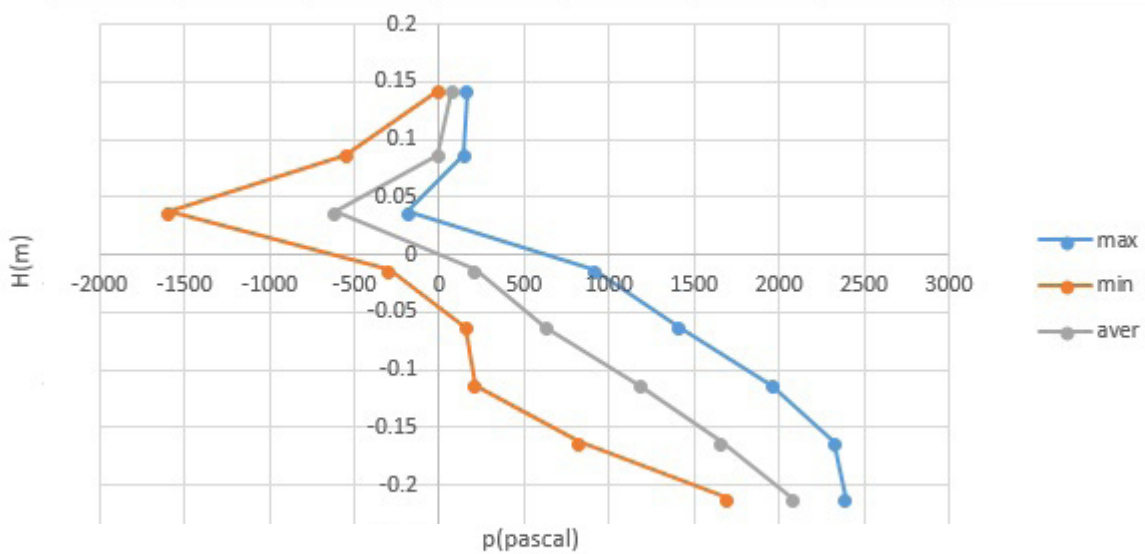




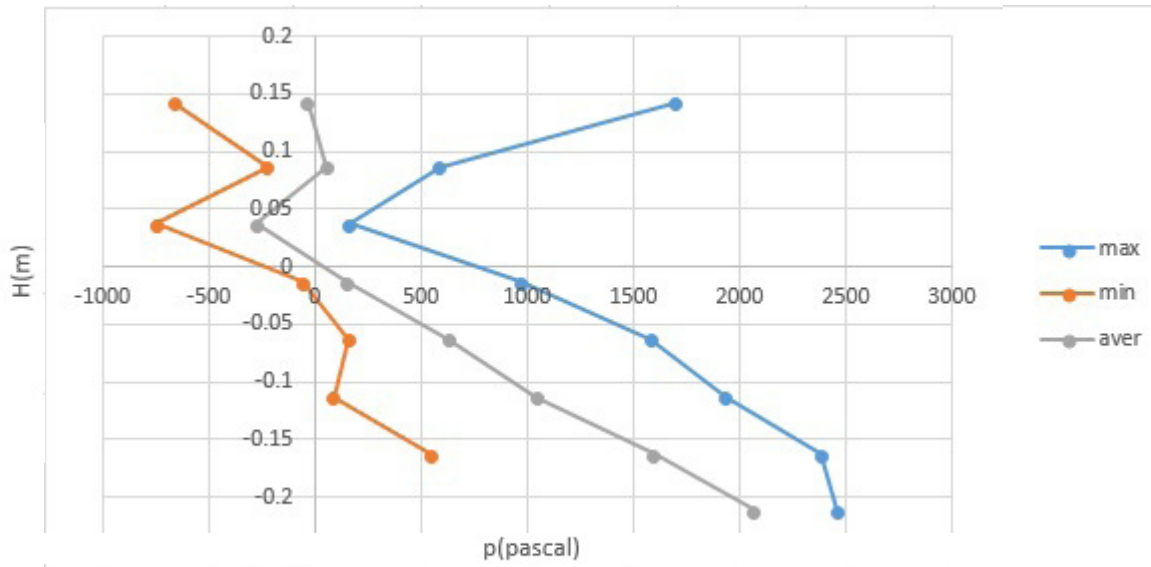
Κωδικός μέτρησης 2.3.3, Φάσμα K2



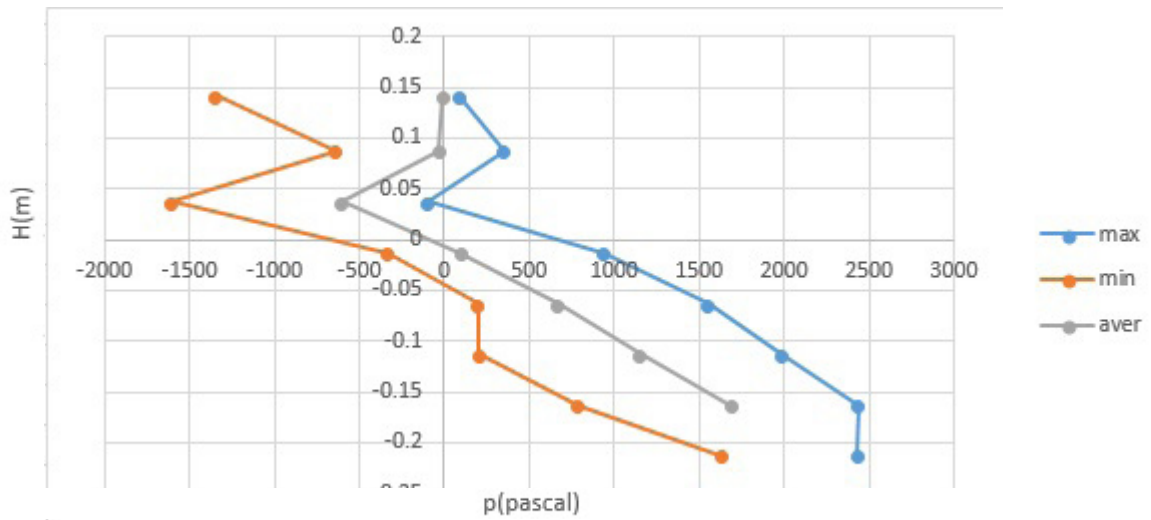
Κωδικός μέτρησης 2.3.4, Φάσμα K2



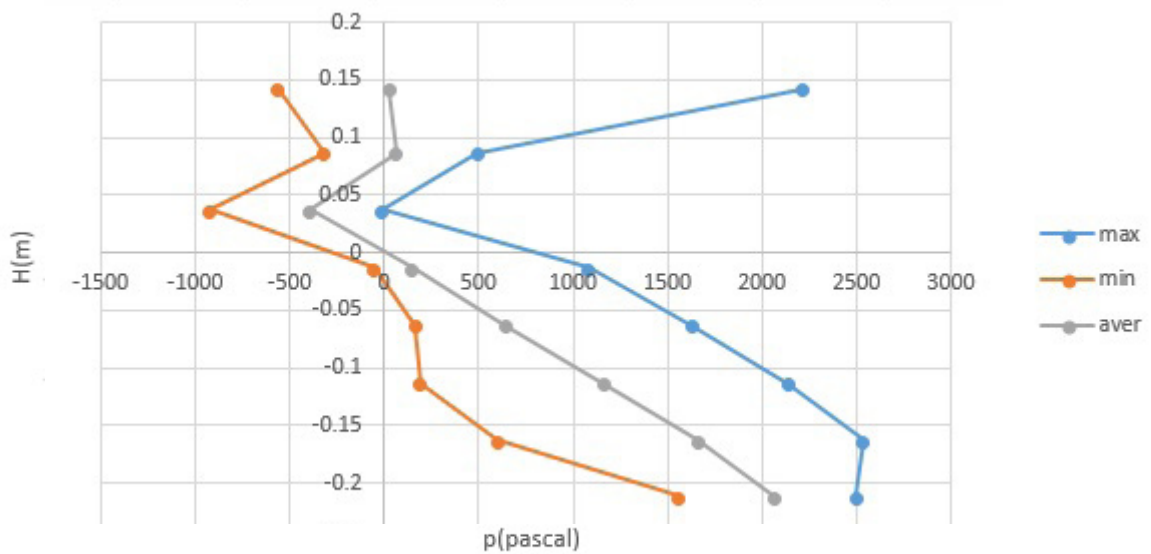
Κωδικός μέτρησης 2.4.1, Φάσμα K1



Κωδικός μέτρησης 2.4.2, Φάσμα K1



Κωδικός μέτρησης 2.4.3, Φάσμα K1



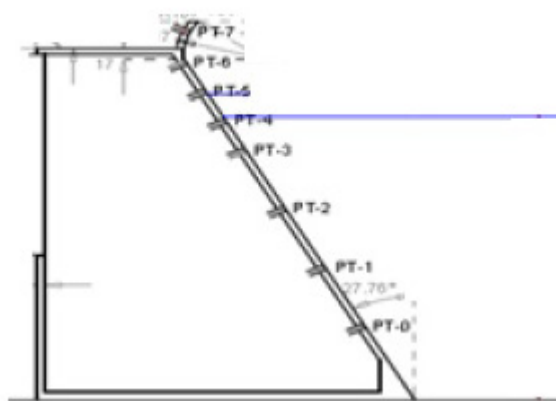
Κωδικός μέτρησης 2.4.4, Φάσμα K1

## 4.4 : Σύγκριση τιμών με αντίστοιχες κεκλιμένου τοίχου και αριθμητική μέθοδο Sainflou

Κρίσιμο στον σκοπό της διπλωματικής κρίνεται η παράθεση των αποτελεσμάτων δίπλα στα προβλεπόμενα από τις μαθηματικές θεωρίες που προβλέπουν πιέσεις. Μόνο έτσι είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων, και εκ τούτου, δικαιολογεί τον ίδιο τον σκοπό της διπλωματικής η παρουσίαση διαφορετικών από τα προβλεπόμενα αποτελέσματα καθώς βρισκόμαστε σε ένα στάδιο ανιδοτελούς πλήρης πρόβλεψης της θαλάσσιας κίνησης. Σε σύγκριση μπαίνουν τα αποτελέσματά μας με αυτά της μεθόδου Sainflou.

Παράλληλα με το πείραμά μας, στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων έλαβαν χώρα πειράματα για άλλες δύο διατομές και υπολογίστηκε η κατανομή της πίεσης για τα ίδια φασματικά κύματα. Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα της διατομής κεκλιμένου τοίχου για να τα συγκρίνουμε δίπλα στα δικά μας και αυτά της μεθόδου Sainflou για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα.

Επιλέγουμε να συγκρίνουμε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις όπου τα κύματα έδειξαν να προκαλούν τις πιο μεγάλες πιέσεις, συγκεκριμένα, επιλέγουμε τις μετρήσεις με κωδικό 2.5.3, 2.7.2, 2.7.4. Είναι χαρακτηριστικό ότι είναι όλες μετρήσεις όπου η αλλαγή στάθμης έχει αφήσει τον τρίτο μετρητή PT-2 εκτός νερού. Κάτι που θα μείνει και στα συμπεράσματα της εργασίας.



Εικ.4.1 : Διατομή S1

Τα κυματικά χαρακτηριστικά που έχουμε για τις ανάλογες μετρήσεις, για τον μαθηματικό υπολογισμό της μεθόδου Sainflou χρησιμοποιώ το  $1,27H_s$  και το  $T_{peak}$  :

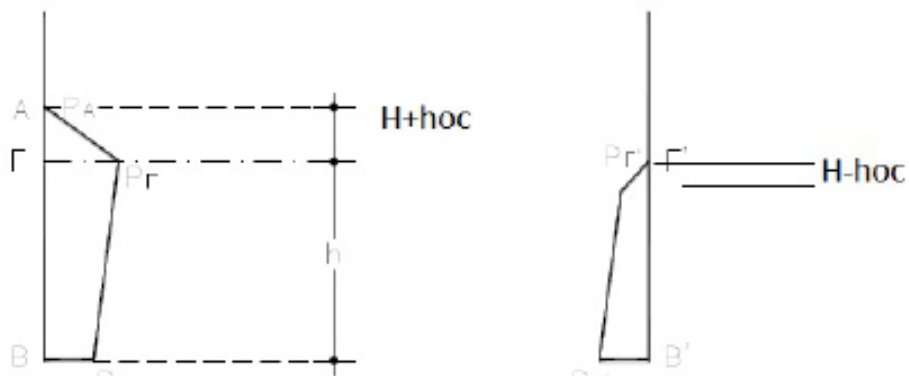
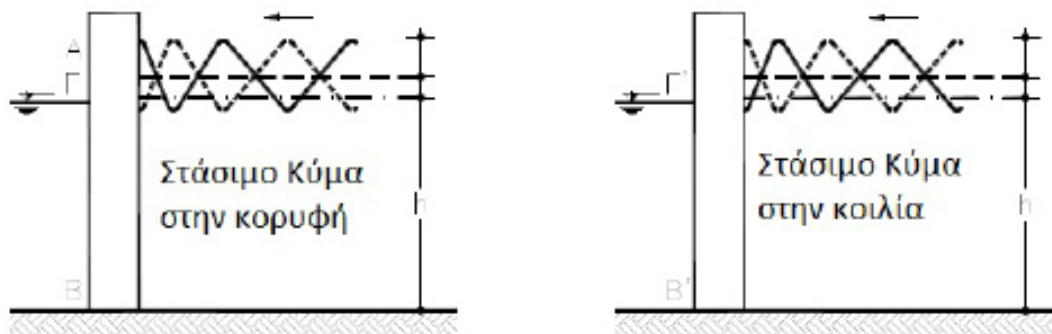
Α/Α	Κωδικός Μέτρησης	Στάθμη(m)	Χαρακτηριστικά Κύματος			
			$1,27H_s$ (mm)	$T_p$ (s)	$L_0$ (m)	$d/L_0$
1	2.5.3	0.49	190.5	1.688	2.636828025	0.185829336
2	2.7.2	0.49	222.25	1.801	2.813345541	0.17416986
3	2.7.4	0.49	222.25	1.801	2.813345541	0.17416986

Πίνακας 4.2 : Χαρακτηριστικά κύματων σύγκρισης

Από Σχήμα 6.1 Σελ. 87 Βιβλίου Θαλάσσια Υδραυλική(Κ.Μουντζούρης, 2009) προκύπτει για  $d/L_0$  του παραπάνω πίνακα:

A/A	Κωδικός Μέτρησης	H(mm)	L(m)	hoc(m)	H+hoc(m)	H-hoc(m)
1	2.5.3	0.1743075	2.412697643	0.046233947	0.207214097	0.220541447
2	2.7.2	0.2022475	2.560144443	0.060135923	0.224820399	0.262383423
3	2.7.4	0.200025	2.532010987	0.059190203	0.223251471	0.259215203

Πίνακας 4.3 : Υπολογισμός διαδικασίας Sainflou



Εικ. 4.2 : Κατανομή Πίεσεων με μέθοδο Sainflou

Όπου 
$$h_{oc} = \frac{\pi H^2}{L} \coth \frac{2\pi d}{L} \quad (4.1)$$

Όταν το κύμα είναι στην κορυφή :

$$p_r = \rho g \left( d + \frac{H}{\cosh \frac{2\pi d}{L}} \right) \left( \frac{H + h_{oc}}{H + h_{oc} + d} \right) \quad (4.2)$$

Η πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια είναι  $p_A=0$ .

Η πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια της ηρεμίας :

Η πίεση στον πυθμένα είναι :

$$p_b = \rho g \left( \frac{H}{\cosh \frac{2\pi d}{L}} \right) \quad (4.3)$$

A/A	Κωδικός Μέτρησης	Κύμα στην Κορυφή			Κύμα στην Κοιλία		
		$p_A$ (pa)	$p_B$ (pa)	$p_C$ (pa)	$p_A$ (pa)	$p_B$ (pa)	$p_C$ (pa)
1	2.5.3	0	1767.021909	886.099304	0	1179.669709	-886.099304
2	2.7.2	0	2057.847481	1093.969481	0	1326.635833	-1093.969481
3	2.7.4	0	2033.279661	1069.931354	0	1312.011247	-1069.931354

Πίνακας 4.4 : Πιέσεις με μέθοδο Sainflou

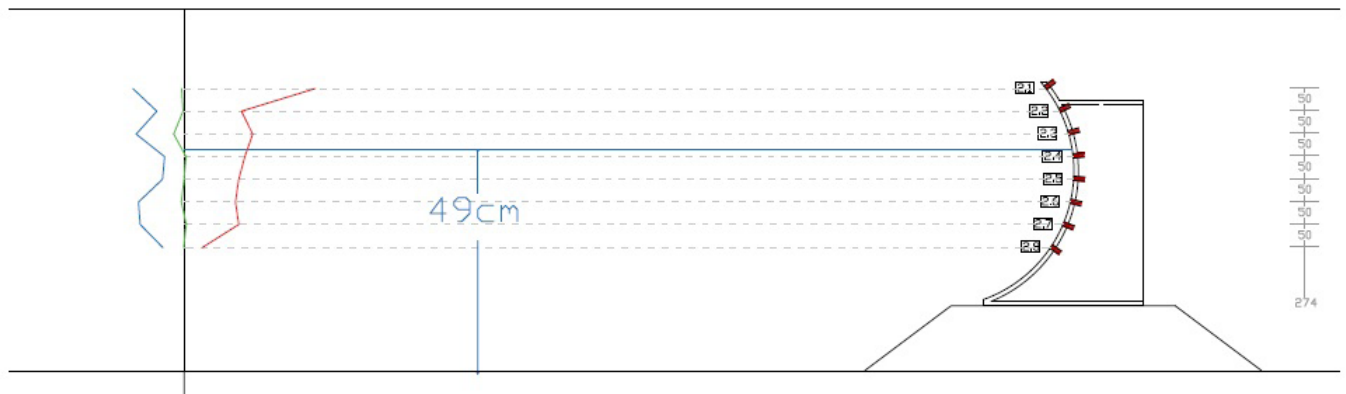
Αντίστοιχα, για τα ίδια κύματα, οι πιέσεις που καταμετρήθηκαν στην κεκλιμένη διατομή σε μονάδα μέτρησης PSI :

2.1.1				
a/a	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	0.653001	0.238541	0.507677	-0.35615
PT-1	0.514336	0.125538	0.369372	-0.25615
PT-2	0.388909	-0.00764	0.227284	-0.15615
PT-3	0.28433	-0.00882	0.096209	-0.05615
PT-4	0.215445	-0.01144	0.04104	-0.00615
PT-5	0.146026	-0.03907	-0.00546	0.044127
PT-6	0.208196	-0.00453	0.032622	0.094127
PT-7	0.212142	-0.00505	0.028761	0.144127

2.1.4				
a/a	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	0.639542	0.212892	0.506425	-0.35615
PT-1	0.503507	0.109383	0.365338	-0.25615
PT-2	0.385383	-0.01117	0.224722	-0.15615
PT-3	0.279211	-0.01908	0.088682	-0.05615
PT-4	0.220384	-0.00651	0.043491	-0.00615
PT-5	0.168241	-0.01686	0.015604	0.044127
PT-6	0.117676	-0.05884	0.004307	0.094127
PT-7	0.121224	-0.03536	0.012088	0.144127

2.3.3				
a/a	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	0.64793	0.25785	0.519632	-0.35615
PT-1	0.503688	0.146846	0.369516	-0.25615
PT-2	0.379381	-0.01209	0.221172	-0.15615
PT-3	0.27411	-0.02418	0.083725	-0.05615
PT-4	0.216717	-0.01521	0.036401	-0.00615
PT-5	0.165614	-0.02923	0.009624	0.044127
PT-6	0.190092	-0.00453	0.036452	0.094127
PT-7	0.232346	-0.0101	0.021688	0.144127

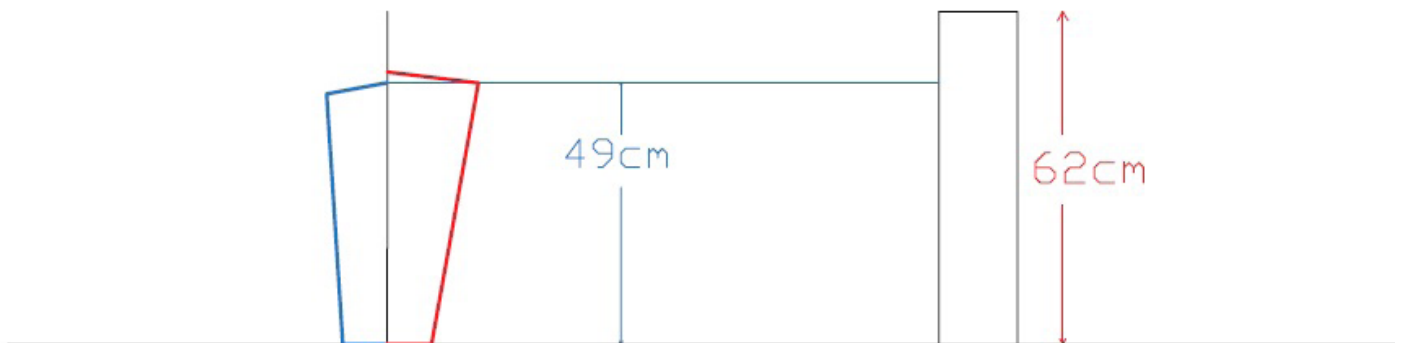
Τα αποτελέσματα των μετρητών πίεσης για τις μετρήσεις της διατομής S1, 2.1.1-K1, 2.1.4-K1, 2.3.3-K3



Διατομή S2

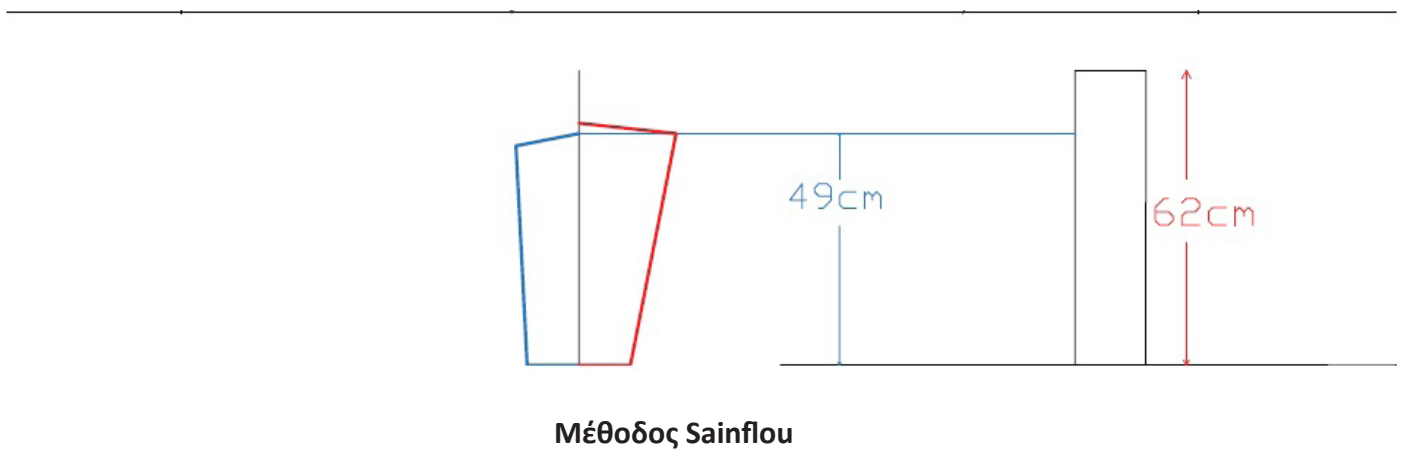
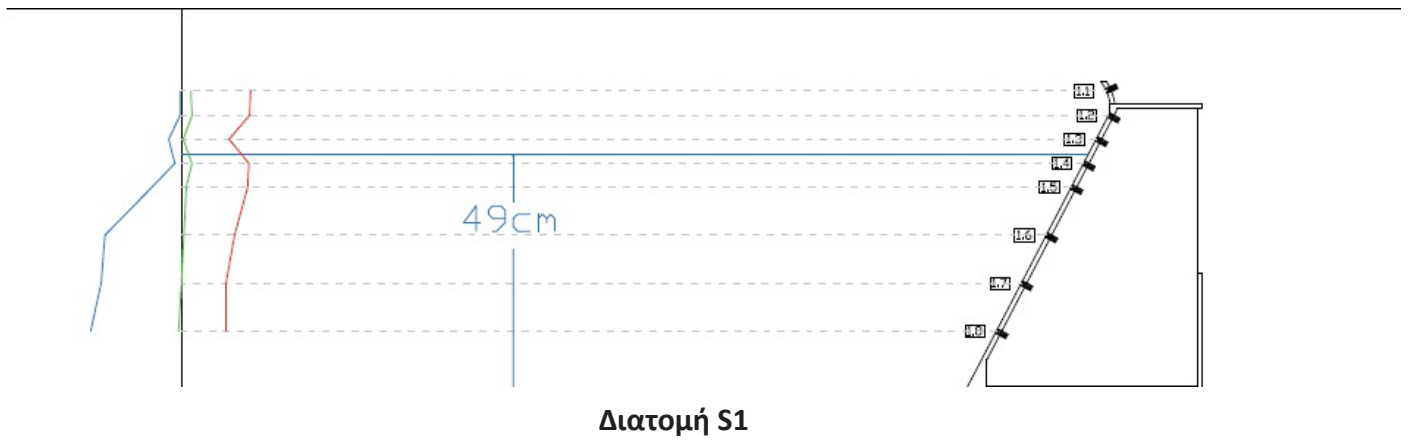
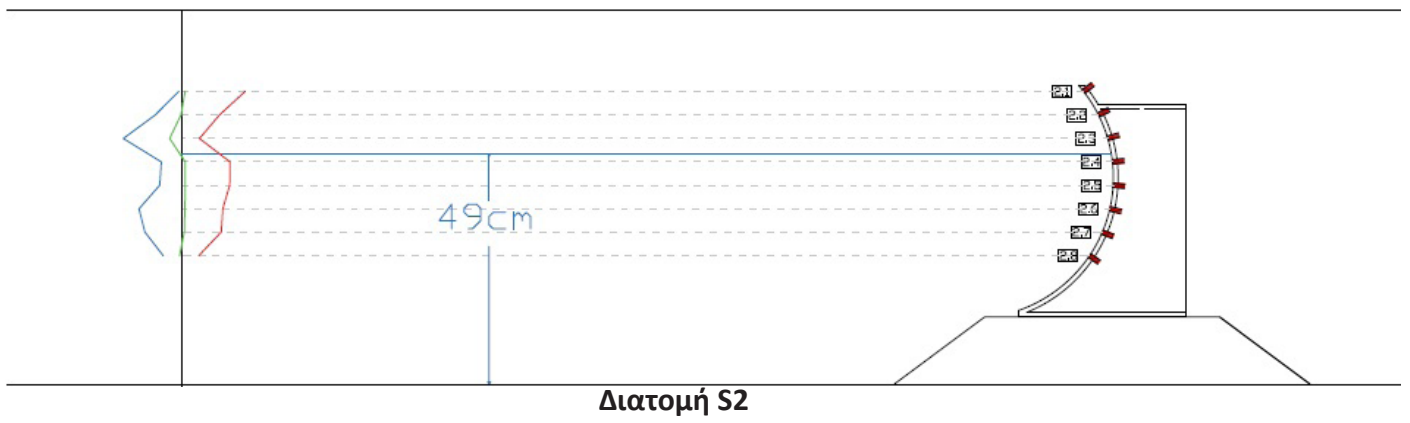


Διατομή S1

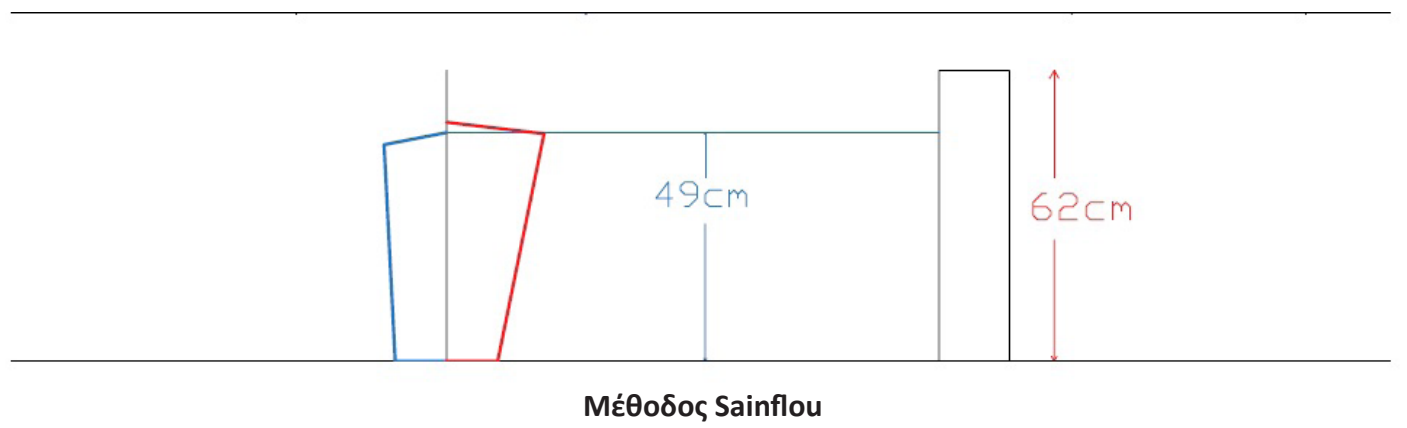
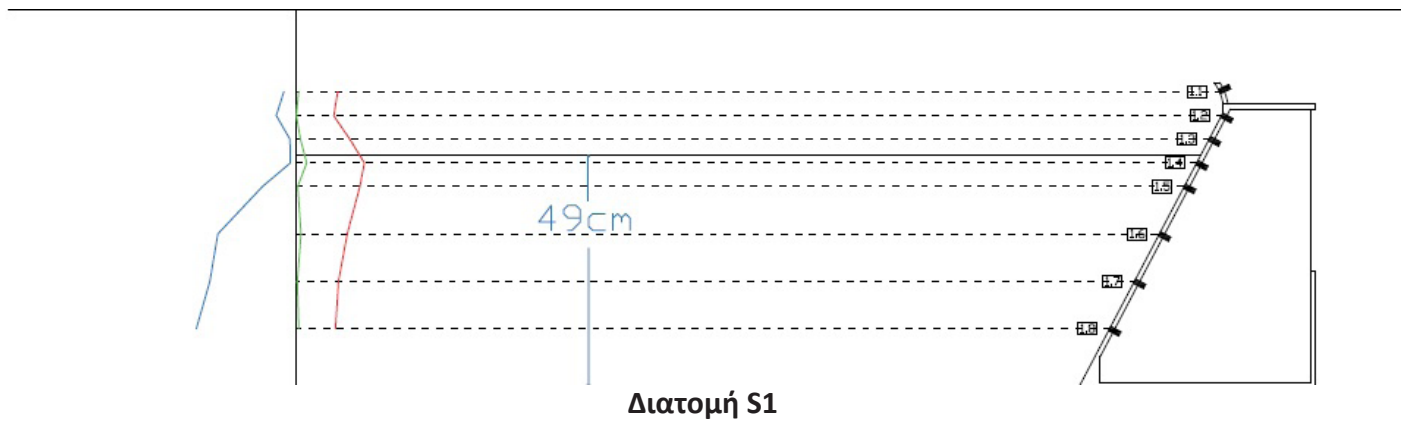
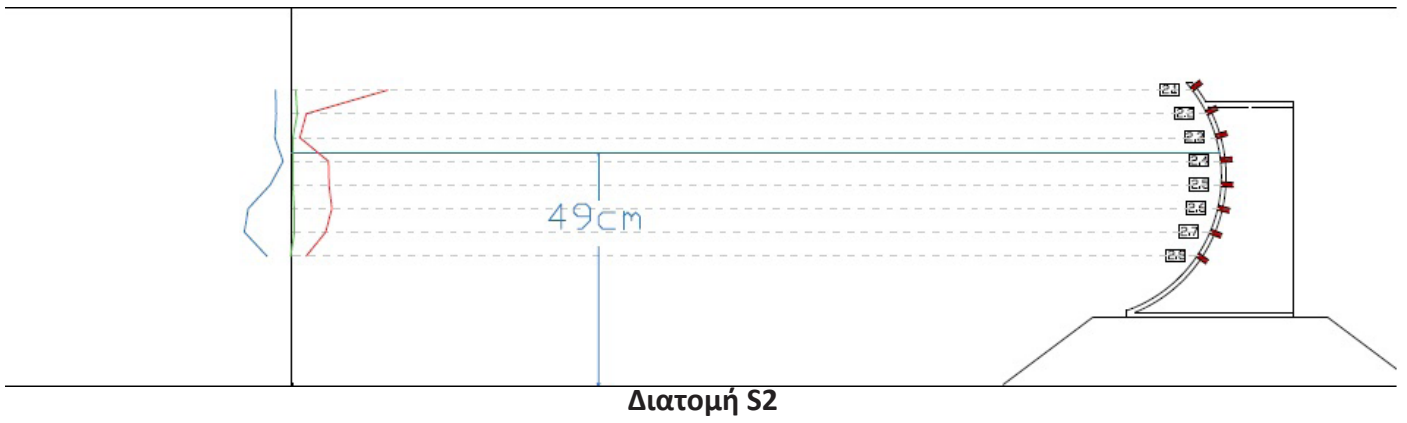


Μέθοδος Sainflou

Εικ. 4.3: Σύγκριση S2-S1-Sainflou για το K3



Εικ. 4.4: Σύγκριση S2-S1-Sainflou για το Κ1.Α



**Εικ. 4.5 : Σύγκριση S2-S1-Sainflou για το K1.B**

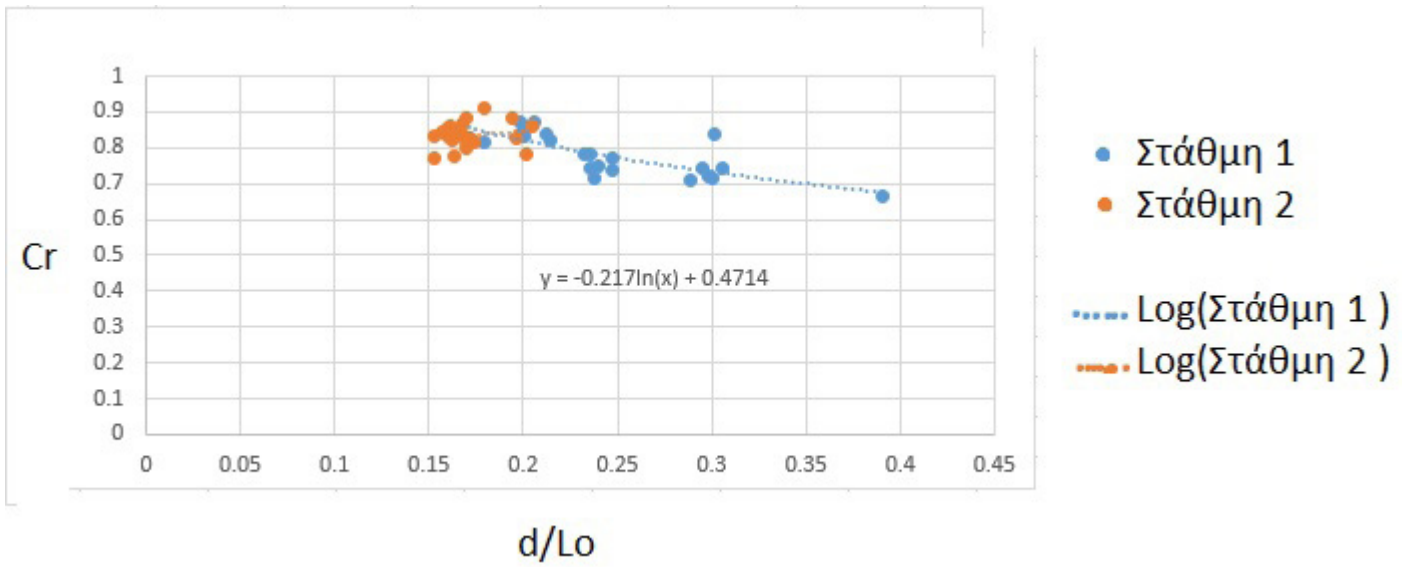


## 4.5 : Αποτελέσματα Ανάκλασης Κυμάτων

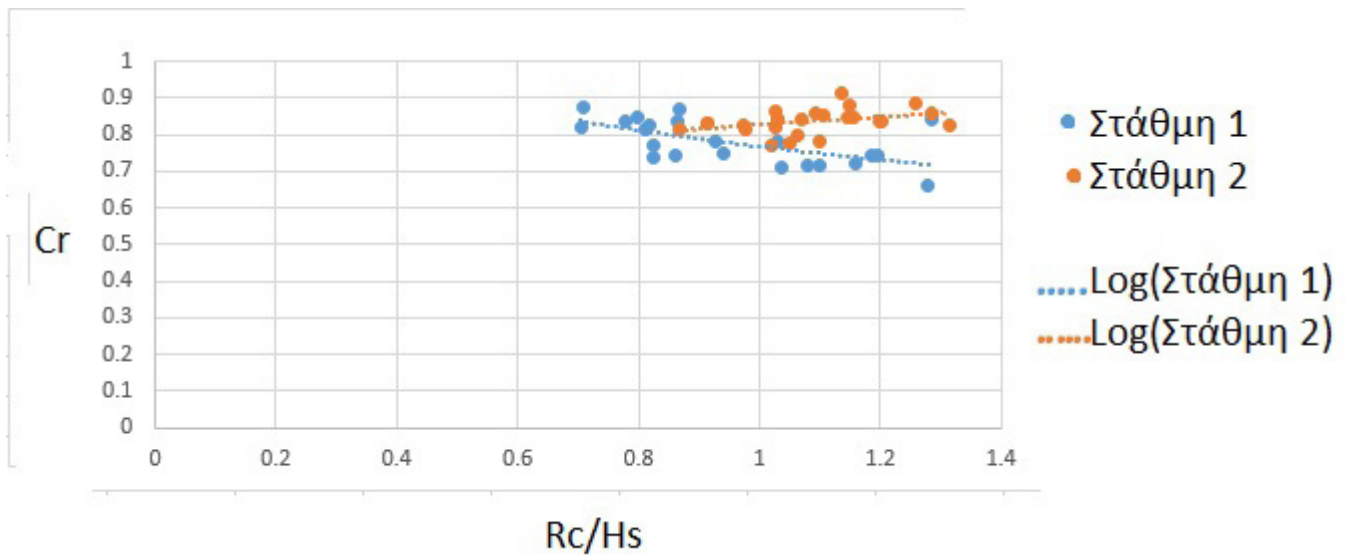
Α/Α	Κωδικός Μέτρησης	Φάσμα	Στάθμη Ηρεμίας Κύματος	Χαρακτηριστικά Κύματος		
			d(m)	Crr	Href	Hin
1	1.1.1	K8	0.53	0.6625	35.49	41.14
2	1.1.2	K8	0.53	0.8399	47.12	56.1
3	1.2.1	K7	0.53	0.7233	41.33	57.14
4	1.3.1	K6.A	0.53	0.743	46.96	63.21
5	1.3.2	K6.A	0.53	0.7158	44.17	61.71
6	1.3.3	K6.B	0.53	0.7458	49.01	65.72
7	1.3.4	K6.Γ	0.53	0.7109	45.16	63.52
8	1.4.1	K5.A	0.53	0.7174	50.69	70.66
9	1.4.2	K5.B	0.53	0.7809	51.66	66.15
10	1.4.3	K5.B	0.53	0.7815	51.98	66.51
11	1.4.4	K5.Γ	0.53	0.7498	56.85	75.82
12	1.4.5	K5.Γ	0.53	0.743	56.33	75.81
13	1.5.1	K4.A	0.53	0.7708	63.35	82.18
14	1.5.2	K4.A	0.53	0.7376	60.91	82.58
15	1.5.3	K4.B	0.53	0.8712	62.51	71.75
16	1.5.4	K4.B	0.53	0.8351	63.26	75.75
17	1.5.5	K4.Γ	0.53	0.8464	66.78	72.9
18	1.5.6	K4.Γ	0.53	0.8375	69.03	82.42
19	1.6.1	K3.A	0.53	0.8724	75.45	86.48
20	1.6.2	K3.A	0.53	0.8193	75.03	91.58
21	1.6.3	K3.B	0.53	0.8262	61.22	74.1
22	1.6.4	K3.B	0.53	0.8169	60.75	74.37
23	1.7.1	K3.Γ	0.53	0.8591	65.09	75.76
24	1.7.2	K3.Γ	0.53	0.8412	66.68	79.21
25	1.8.1	K2.A	0.53	0.8245	70.31	85.28
26	1.8.2	K2.A	0.53	0.798	62.98	78.93
27	1.8.3	K2.B	0.53	0.8155	71.65	87.86
28	1.8.4	K2.B	0.53	0.8152	72.99	89.54
29	1.9.1	K1.A	0.53	0.7716	80.02	103.7
30	1.9.2	K1.B	0.53	0.8402	70.95	84.44
31	1.9.3	K1.B	0.53	0.832	72.73	87.42

32	2.1.1	K4.B	0.49	0.8321	80.05	96.2
33	2.1.2	K4.B	0.49	0.859	64.82	75.46
34	2.1.3	K4.Γ	0.49	0.8279	60.31	72.84
35	2.1.4	K4.Γ	0.49	0.8817	71.42	81
36	2.2.1	K3.B	0.49	0.7835	68.57	87.51
37	2.2.2	K3.B	0.49	0.835	61.91	74.17
38	2.2.3	K3.Γ	0.49	0.8844	62.62	70.8
39	2.2.4	K3.Γ	0.49	0.7744	67.82	87.58
40	2.3.1	K2.A	0.49	0.9128	69.4	76.03
41	2.3.2	K2.A	0.49	0.8471	64.24	75.83
42	2.3.3	K2.B	0.49	0.8473	63.54	74.99
43	2.3.4	K2.B	0.49	0.853	71.59	83.93
44	2.4.1	K1.A	0.49	0.819	70.97	86.66
45	2.4.2	K1.A	0.49	0.8638	63.42	73.43
46	2.4.3	K1.B	0.49	0.8346	69.37	83.11
47	2.4.4	K1.B	0.49	0.843	70.18	83.24

**Πίνακας 4.5 : Αποτελέσματα Ανάκλασης**



Εικόνα 4.6 : Συσχέτιση  $Cr$  - $d/Lo$



Εικόνα 4.7 : Συσχέτιση  $Cr$  - $Rc/Hs$

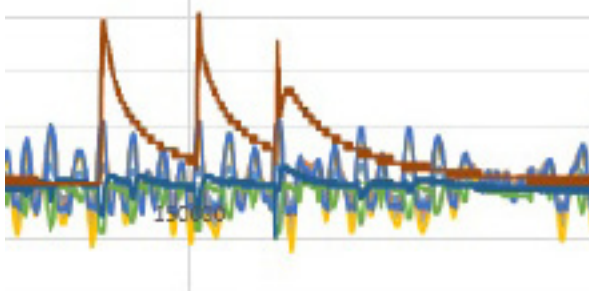


# 5 : Συμπεράσματα

## 5.1 : Συμπεράσματα από την επεξεργασία πιέσεων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων των πιέσεων, με την ανάγνωση των παραπάνω διαγραμμάτων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Συγκρίνοντας την καταγραφή των αισθητήρων πίεσης στη διατομή και αυτή του μετρητή της κυματικής διαταραχής ακριβώς εμπρός από το μέτωπο, παρατηρείται ότι παρουσιάζονται σχεδόν τις ίδιες χρονικές στιγμές μέγιστες και ελάχιστες τιμές με μικρή διαφορά φάσης. Η διαφορά φάσης που έχουν, οφείλεται στην απόσταση μεταξύ του μετρητή κυματικής διαταραχής και των αισθητήρων πίεσης, αφού όπως έχουμε προαναφέρει υπάρχει μια απόσταση μεταξύ τους 2.5m.
- Παρατηρώντας τις λεπτομέρειες των καταγραφεισών πιέσεων παρατηρείται ότι οι αισθητήρες πίεσης που βρίσκονται άνωθεν της στάθμης ηρεμούντος ύδατος και κυρίως για τα μικρά κύματα δεν παρουσιάζουν σταθερή καταγραφή, αφού δεν δέχονται συνεχόμενα κυματισμούς. Αντιθέτως, οι αισθητήρες πίεσης που βρίσκονται εντός του ύδατος παρουσιάζουν συνεχή καταγραφή, αφού δέχονται μονίμως υδροδυναμικές και υδροστατικές πιέσεις.
- Από τα αποτελέσματα της σύγκρισης προκύπτει ότι ενώ τόσο στην S1, όσο και στην Sainflou οι μεγαλύτερες πιέσεις παρατηρούνται στους μετρητές κοντά στην στάθμη του ηρεμούντος ύδατος, στην διατομή μας, S2, παρατηρούνται στις περισσότερες περιπτώσεις στον υψηλότερο μετρητή.
- Η μορφή της καταγραφής της πίεσης έχει την μορφή θραυόμενου κυματισμού ενώ εξετάζουμε μη θραυόμενα κύματα(βλ. σύγκριση Εικ. 5.1 και Εικ. 2.25). Η μορφή θραυόμενου κυματισμού φαίνεται στην έρευνα Oumeraci, των Mamak-Guzel και της έρευνας που έκανε το Πανεπιστήμιο Πατρών όπως φαίνεται στο κεφάλαιο 2.
- Η σύγκριση που έγινε για το ίδιο φάσμα κύματος ανάμεσα στην διατομή που εξετάζουμε S2 και της διατομής S1 καθώς και με τη θεωρητική μέθοδο Sainflou, δείχνει ότι η διατομή S2 δέχεται πάντα μεγαλύτερες πιέσεις. Η μέθοδος Sainflou παρουσιάζει μια καταγραφή πιέσεων με μέγιστα στο επίπεδο της στάθμης. Ανώτερα της στάθμης παρουσιάζονται μόνο θετικές πιέσεις σε έκταση  $H+h_{oc}=4\sim 5$  cm ενώ οι αρνητικές πιέσεις εκκινούν από μια απόσταση  $H-h_{oc}=4\sim 5$ cm κάτω από την στάθμη. Στην διατομή S2 η καταγραφή είναι πολύ διαφορετική. Μεγάλες θετικές και αρνητικές πιέσεις 5-6 φορές μεγαλύτερες από ότι προέκυπτε από τις μεγαλύτερες πιέσεις (θετικές αρνητικές) που προέκυπταν με την μέθοδο Sainflou. Η διατομή S1 παρουσιάζει τα μέγιστά της στον μετρητή που βρίσκεται κοντά στο επίπεδο της στάθμης, αμέσως πάνω από το νερό. Σε κάθε περίπτωση οι μέγιστες πιέσεις της S1 είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες της S2, θετικές ή αρνητικές.
- Γενικά στην διατομή S2 παρουσιάζονται μεγαλύτερες πιέσεις συγκριτικά με την S1 ή τα αποτελέσματα Sainflou για κατακόρυφο μέτωπο, κάτι που σημαίνει ότι δεν προκρίνεται για τη χρήση ως κρηπιδότοιχο. Το σχήμα της S2 ωστόσο μπορεί να είναι χρήσιμο για άλλες εργασίες στις οποίες είναι επιθυμητή η παραγωγή ενέργειας.
- Στα μεγαλύτερα κύματα όπου παρατηρούνται οι μεγάλες πιέσεις στους ανώτερους υψομετρικά μετρητές η περίοδος κύματος είναι  $T_p=1.6\sim 1.8s$ , η περίοδος με την οποία παρατηρείται η πίεση που έχει το σχήμα θραυόμενου κυματισμού έχει περίοδο απόσβεσης  $T=25\sim 30s$ . Δηλαδή αυτή η πίεση εμφανίζεται 12-14 φορές σε κάθε μέτρηση.



Εικ. 5.1 : Χαρακτηριστική λεπτομέρεια χρονοσειρών

## 5.2 : Συμπεράσματα από την ανάκλαση

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την ανάκλαση των κυμάτων, με την ανάγνωση των διαγραμμάτων που αφορούν την ανάκλαση, παρατηρούμε ότι:

- Όσον αφορά το διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή ανάκλασης Cr με το λόγο d/L<sub>0</sub> παρατηρούμε ότι ο συντελεστής ανάκλασης κυμαίνεται από 0,75 μέχρι 0,95, με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται σε μεγαλύτερες τιμές του d/L<sub>0</sub>. Με την αλλαγή της στάθμης από +0.53m σε +0.49m παρατηρείται μείωση των τιμών του Cr.
- Τα ίδια συμπεράσματα βγάζουμε και για το διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή ανάκλασης Cr με το λόγο R<sub>c</sub>/H<sub>s</sub> δηλαδή ότι τα κύματα με μεγαλύτερο χαρακτηριστικό ύψος ανακλώνται περισσότερο.

## Βιβλιογραφία

Μουτζούρης Κ.(α), 2009, Θαλάσσια Υδραυλική, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα

Μουτζούρης Κ.(β), 2005, Εισαγωγή στην ακτομηχανική, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα

Μέμος Κ., 2008, Εισαγωγή στα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Δασκαλάκης Μ., 2009, Λιμάνια Θαλάσσια Υδραυλική Λιμενικά Έργα(Τόμος Α, Τόμος Β), Εκδόσεις Σέλκα, Αθήνα

Κρεστενίτης Γ., Κομπιάδου Κ., Μακρής Χ., Ανδρουλιδάκης Γ., Καραμπάς Φ., 2015, Παράκτια Μηχανική Περιβαλλοντική Υδραυλική, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα

Oumeraci, Kortenhaus, Allsop, de Groot, Crouch, Vrijling, Voortman, 2001, Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters, A.A.Balkema, Tokyo

U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1975, Shore Protection Manual(Volume 1 and 2), Department of The Army Corps of Engineers, Virginia

T. Pullen, N.W.H Allsop, T.Bruce, A.Kortenhaus,2007.EurOtop,Wave Overtopping of Sea Defenses and Related Structures: Assessment Manual

T.M.G Schaap,1999, Wave impacts on a vertical breakwater, Graduation report

M. Salih Kirkgoz,1991, Impact pressure of breaking waves on vertical kai slopping walls

Dimmitris stagonas, Andreas Marzddu,2015, Measuring wave impact induced pressure with a pressure mapping-system

N.W.H Allsop, D. Vicinanza, J.E Ackenna, March 1995, Wave forces on vertical and composite breakwaters,

K.V. Avand, V Sundar,2000, Dynamic pressures on curved front seawalls models under random waves.

A. Koertenhaus, H. Oumeraci, N.W.H Allsop, Chapter 5.1: Wave impacts loads-pressures and forces,

Hasselmann, D. E., Dunckel M., Ewing J. A., 1980, Directional Wave Spectra Observed during JONSWAP 1973., J. Phys. Oceanogr., 10, 1264–1280

Giovanni Cuomo, Rodolfo Piscopia, William Allsop, 2015, Evaluation of wave impact loads on caisson breakwaters based on joint probability of impact maxima and rise time.

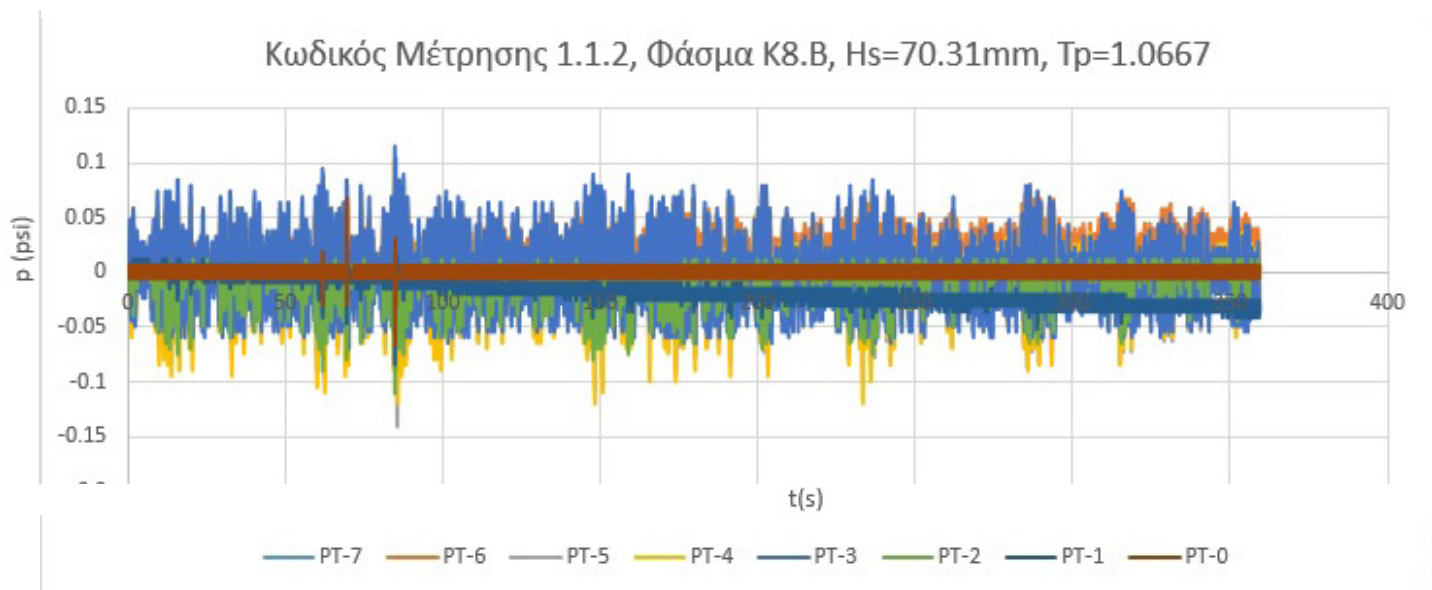
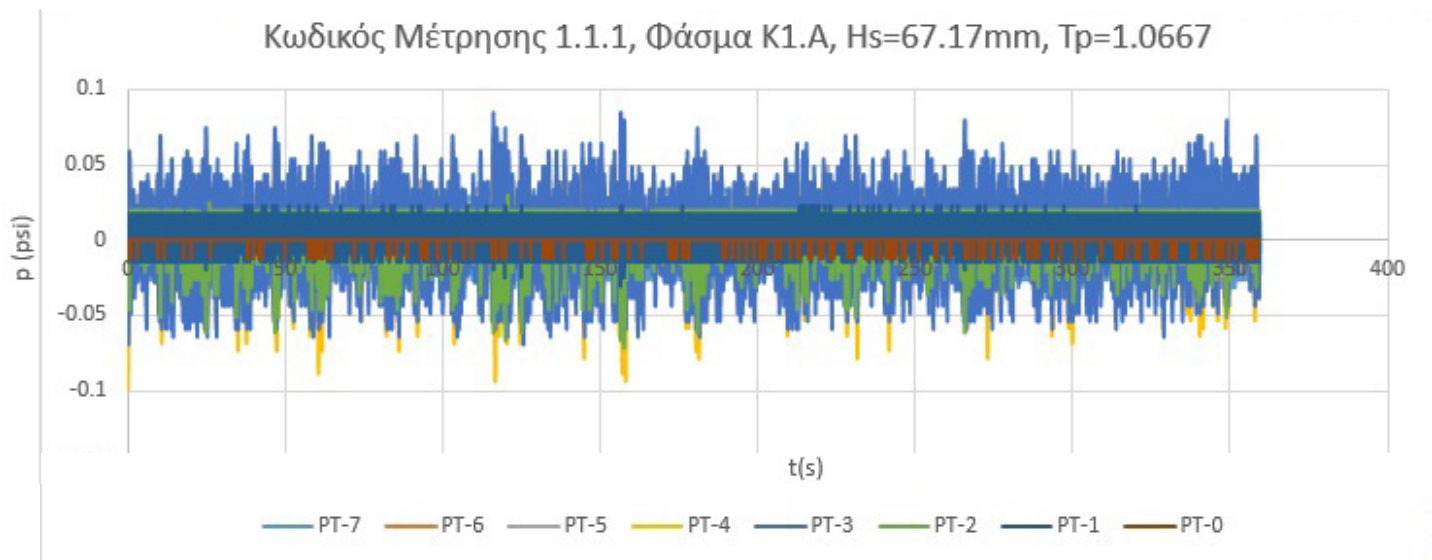
Mustafa Mamak · Hasan Guzel, 2013, Theoretical and Experimental Analysis of Wave Impact Pressures on Curved Seawalls

Dimitris Stagonas, Javier L. Lara, Inigo J. Losada, Pablo Higuera, Francisco F. Jaime, Konstantina Galani, Athanassios Dimas, Michalis Vousdoukas, Matthias Kudella, Gerald Muller, 2014, LARGE SCALE MEASUREMENTS OF WAVE LOADS AND MAPPING OF IMPACT PRESSURE DISTRIBUTION AT THE UNDERSIDE OF WAVE RECURVES

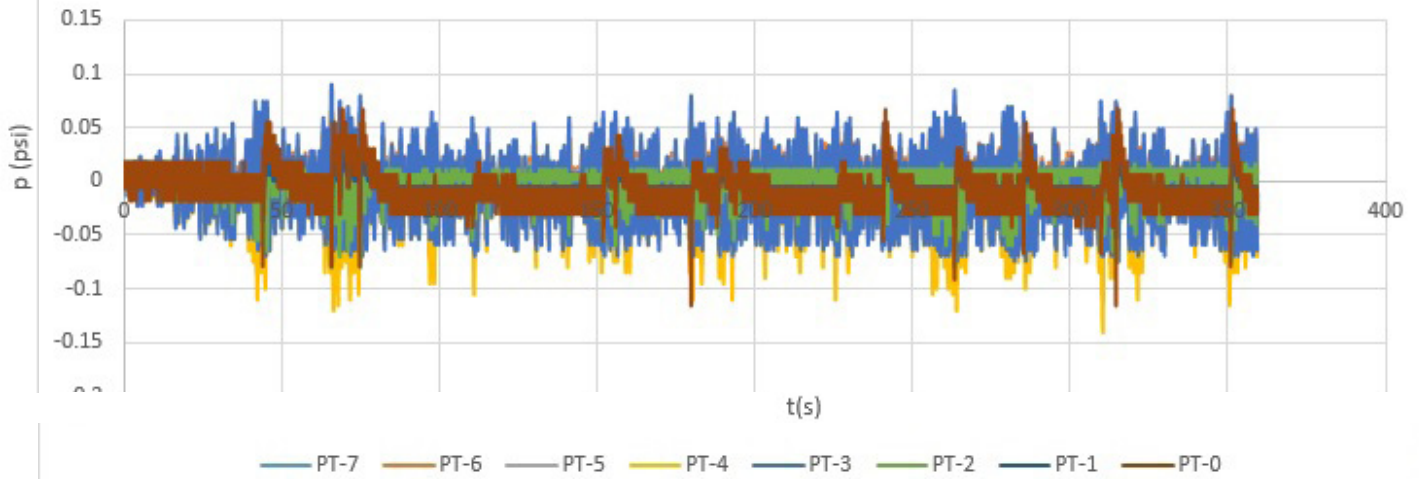


# Παράρτημα

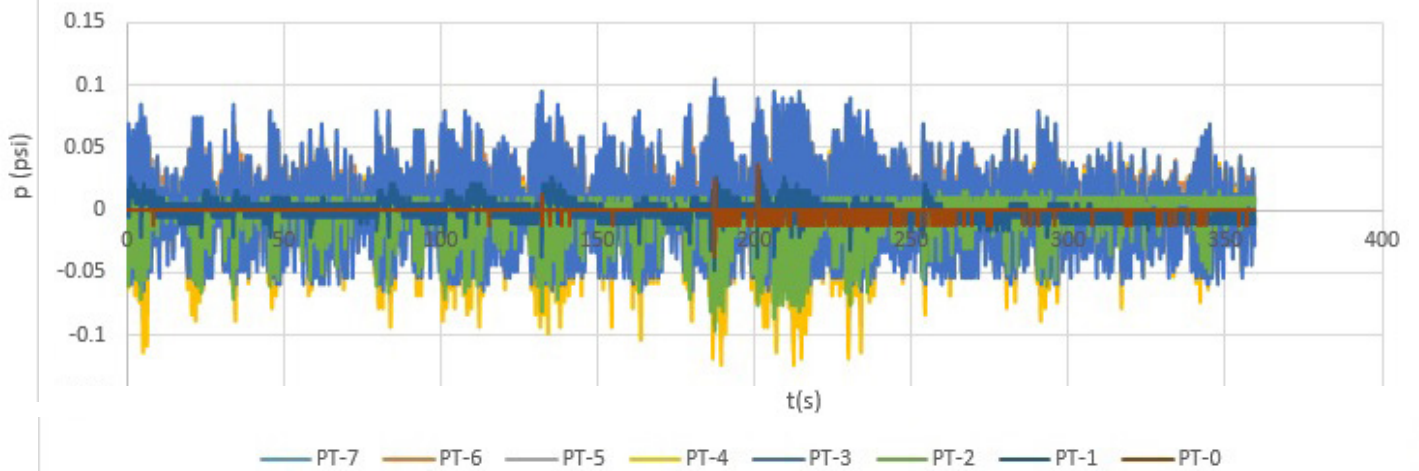
## Παράρτημα Α : Χρονοσειρές πιέσεων για όλα τα κύματα



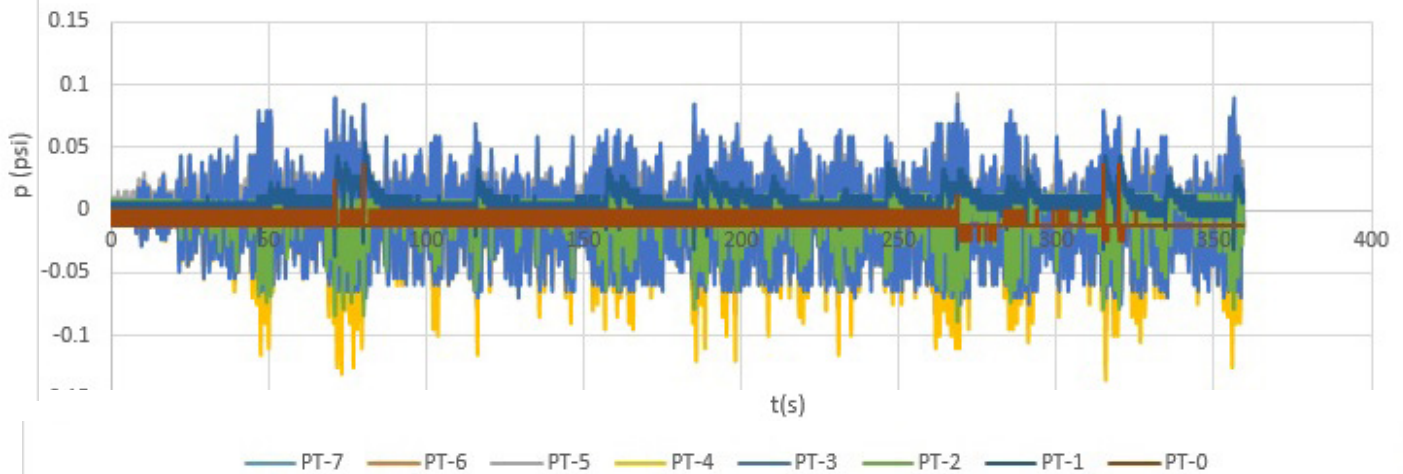
Κωδικός Μέτρησης 1.2.1, Φάσμα Κ7.Β, Hs=69.95mm, T<sub>p</sub>=1.422s



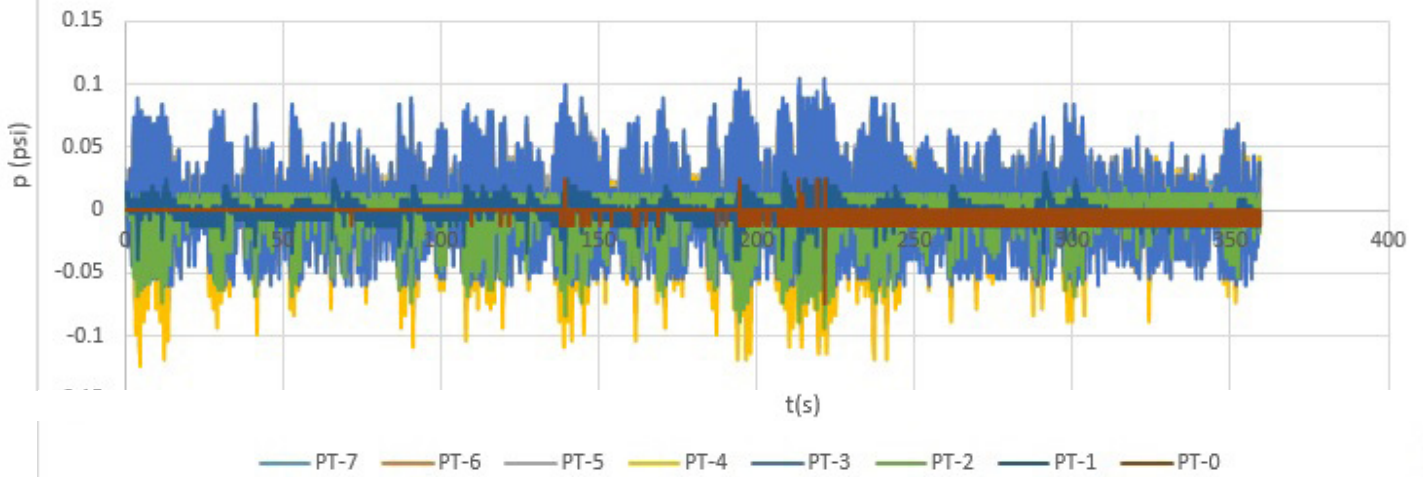
Κωδικός Μέτρησης 1.3.1, Φάσμα Κ6.Α, Hs=77.6mm, T<sub>p</sub>=14.22s



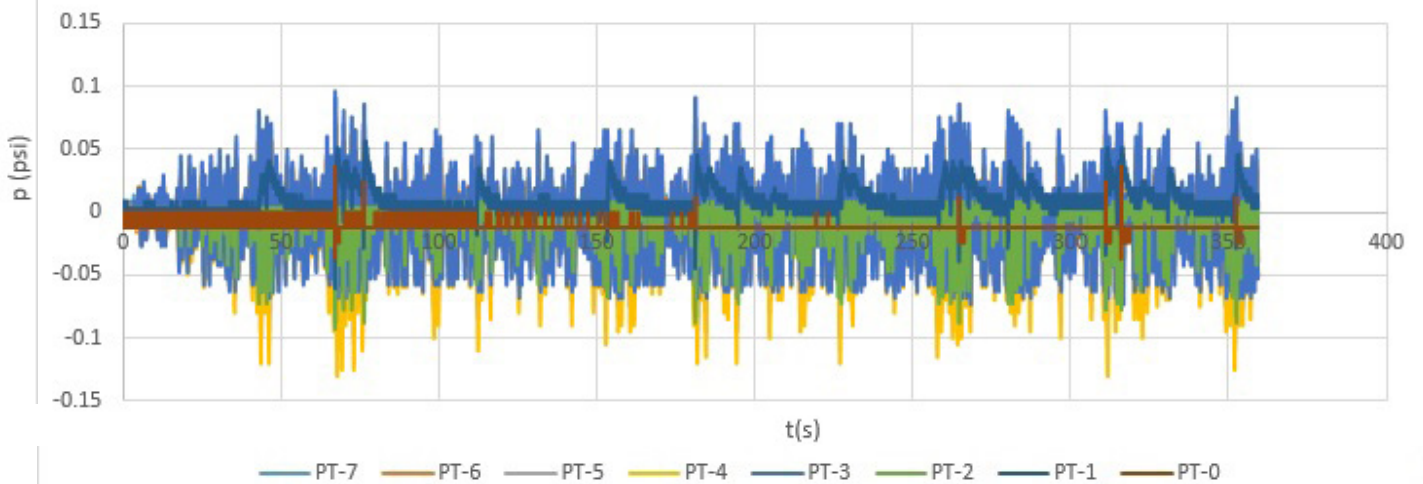
Κωδικός Μέτρησης 1.3.2, Φάσμα Κ6.Β, Hs=75.22mm, T<sub>p</sub>=14.22s



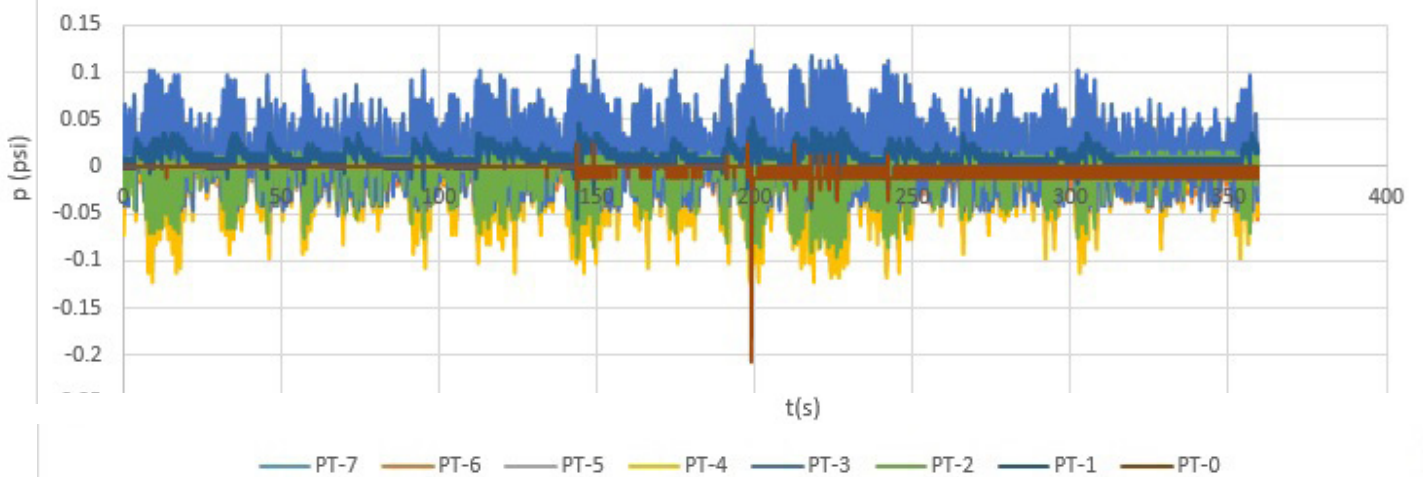
Κωδικός Μέτρησης 1.3.3, Φάσμα Κ6.Γ, Hs=75.22s, Tr=14.22s



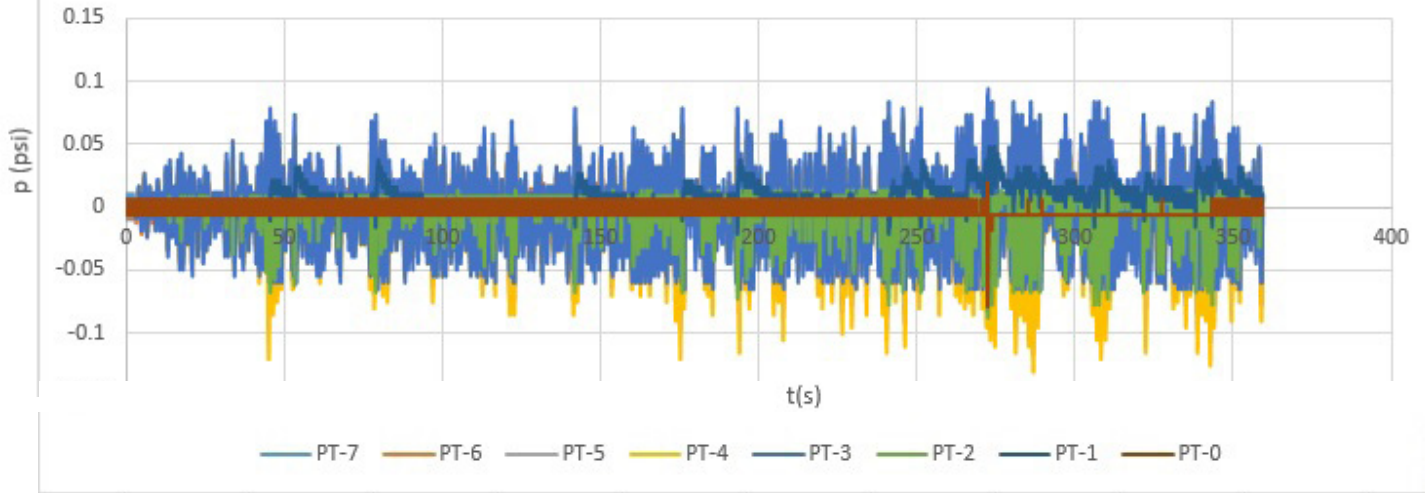
Κωδικός Μέτρησης 1.3.4, Φάσμα Κ6.Δ, Hs=81.74mm, Tr=1.422s



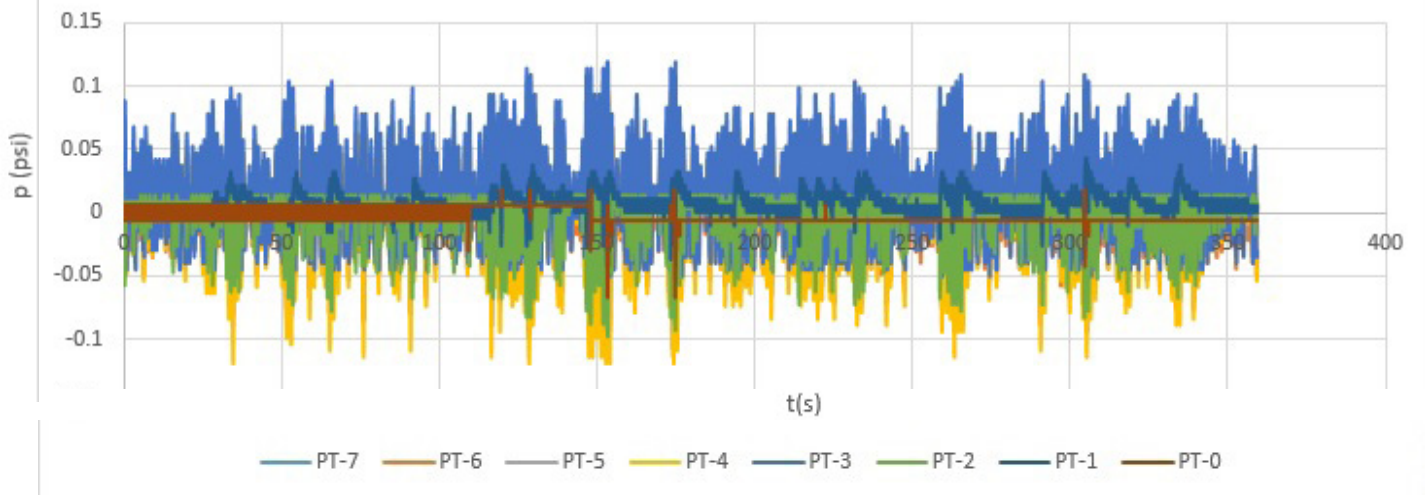
Κωδικός Μέτρησης 1.4.1, Φάσμα Κ5.Α, Hs=75.9mm, Tr=1.422s



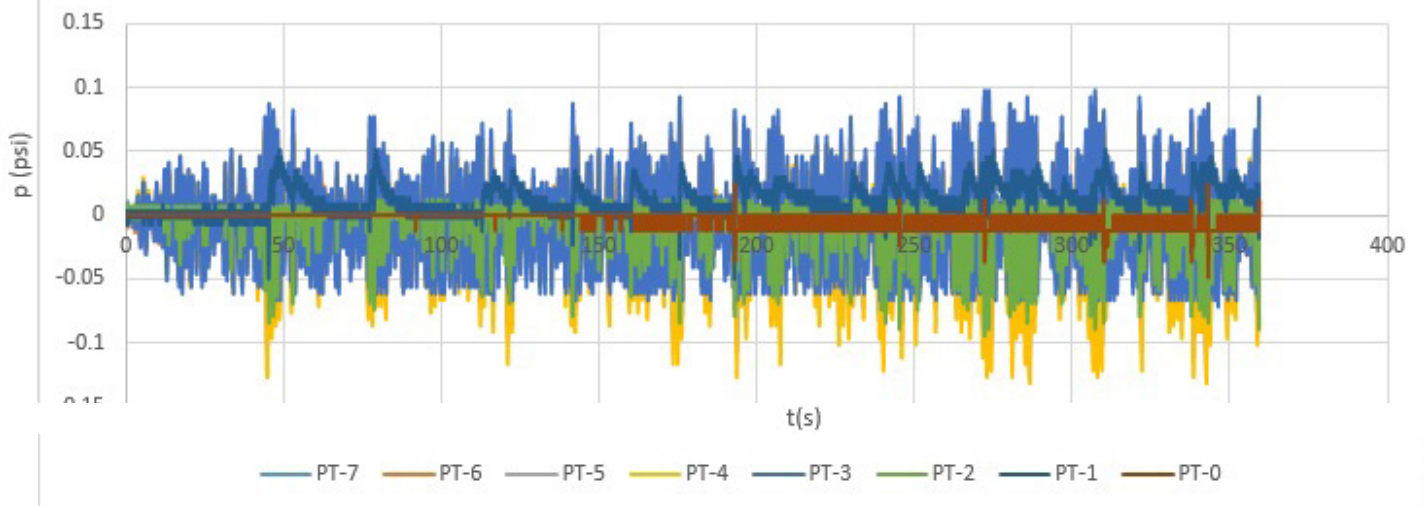
Κωδικός Μέτρησης 1.4.2, Φάσμα K5.B, Hs=86.91mm, T<sub>p</sub>=1.422s



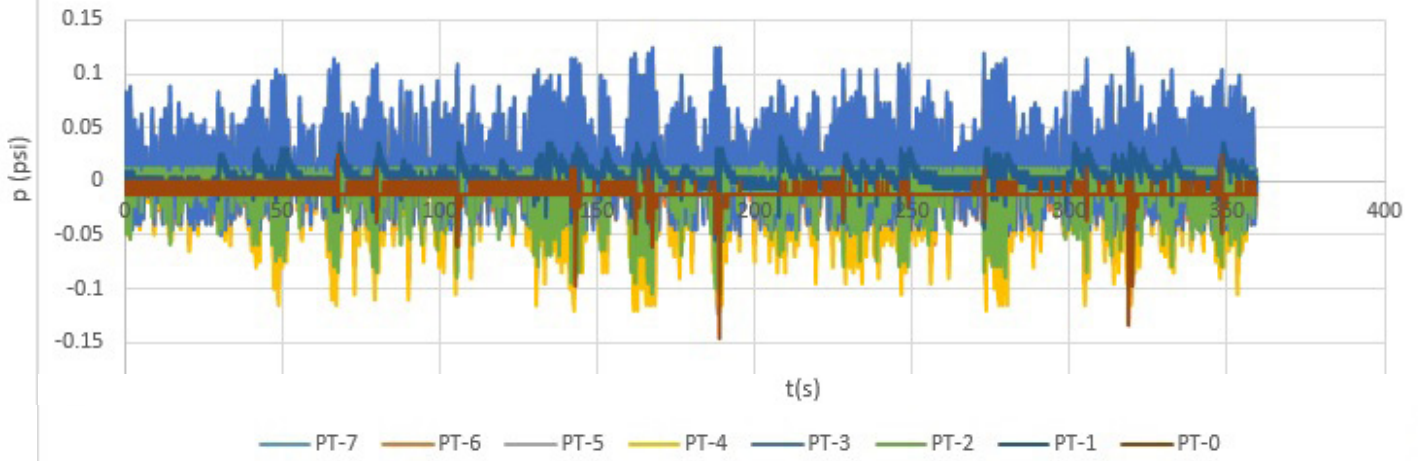
Κωδικός Μέτρησης 1.4.3, Φάσμα K5.Γ, Hs=83.36mm, T<sub>p</sub>=1.422s



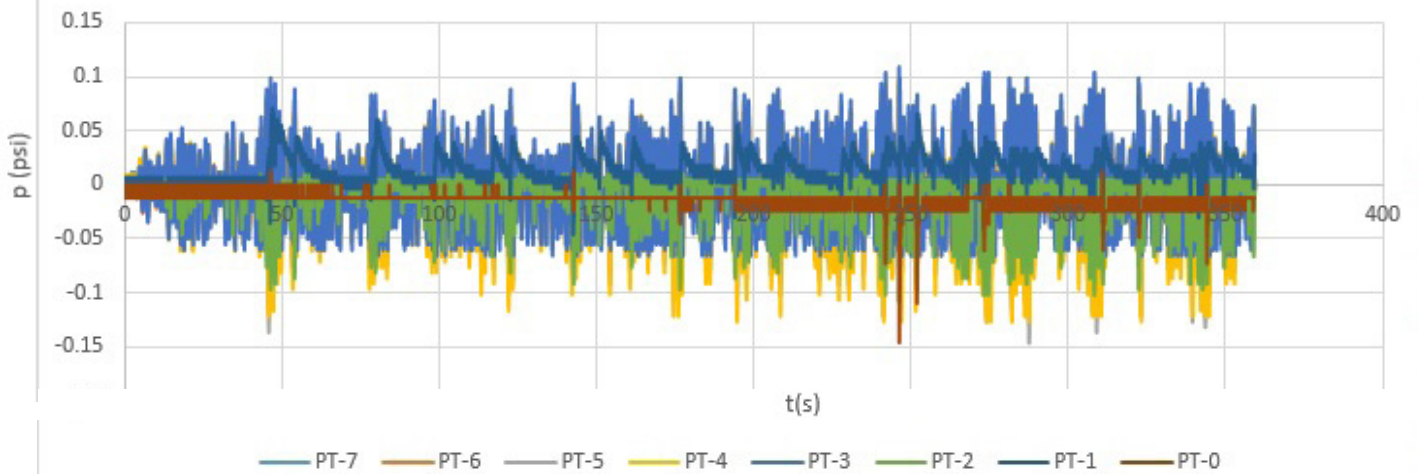
Κωδικός Μέτρησης 1.4.4., Φάσμα K5.Δ, Hs=87.33mm, T<sub>p</sub>=1.422s



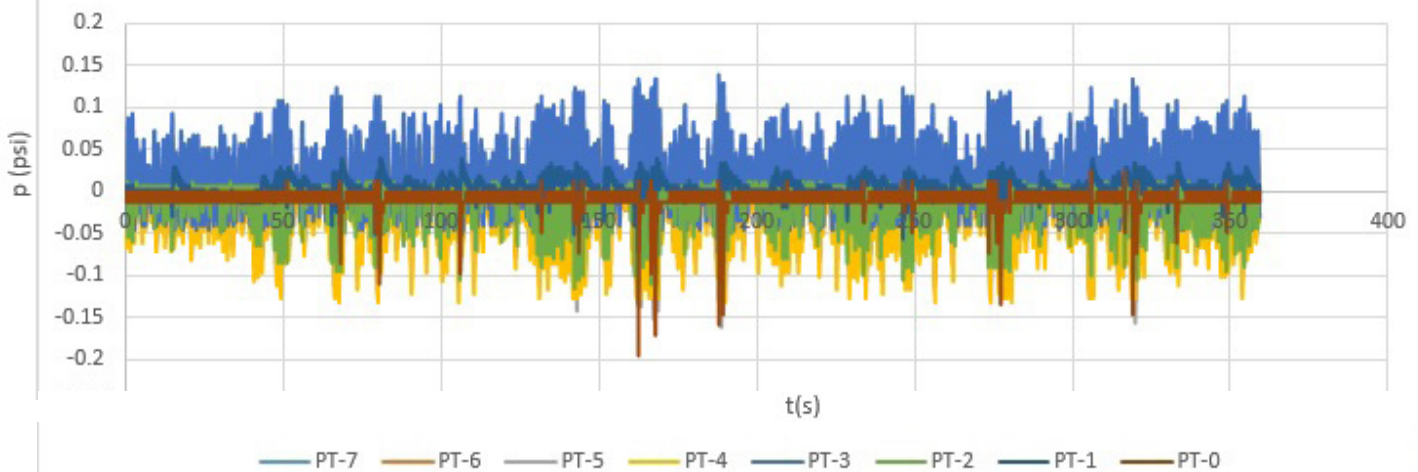
Κωδικός Μέτρησης 1.4.5, Φάσμα K5.E, Hs=96.88mm, T<sub>p</sub>=1.422s



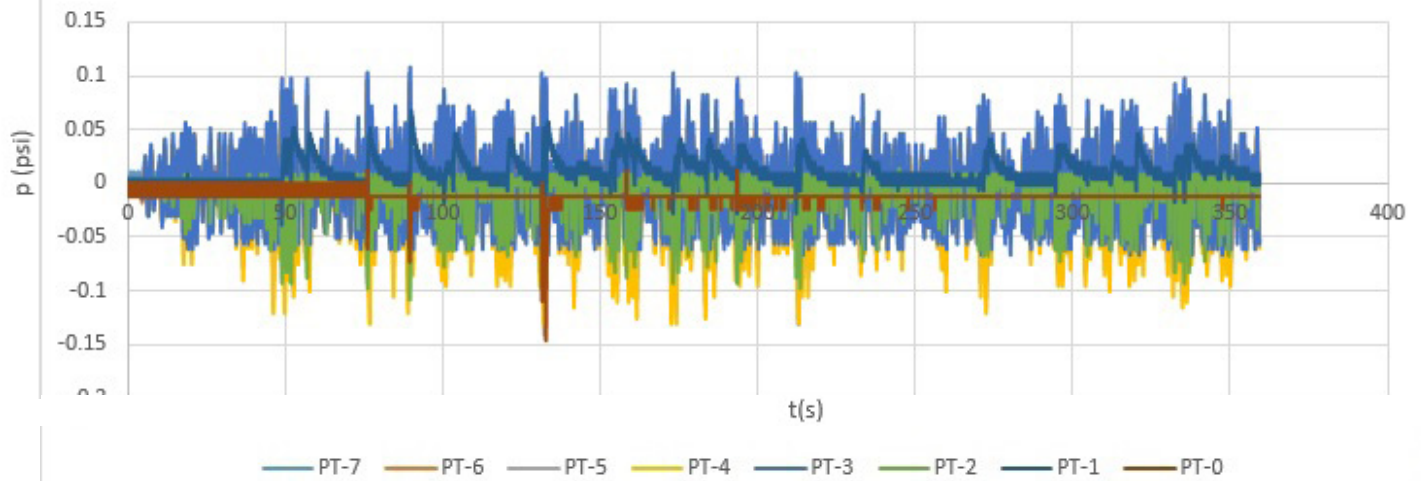
Κωδικός Μέτρησης 1.5.1, Φάσμα K5.A, Hs=104.31mm, T<sub>p</sub>=1.422s



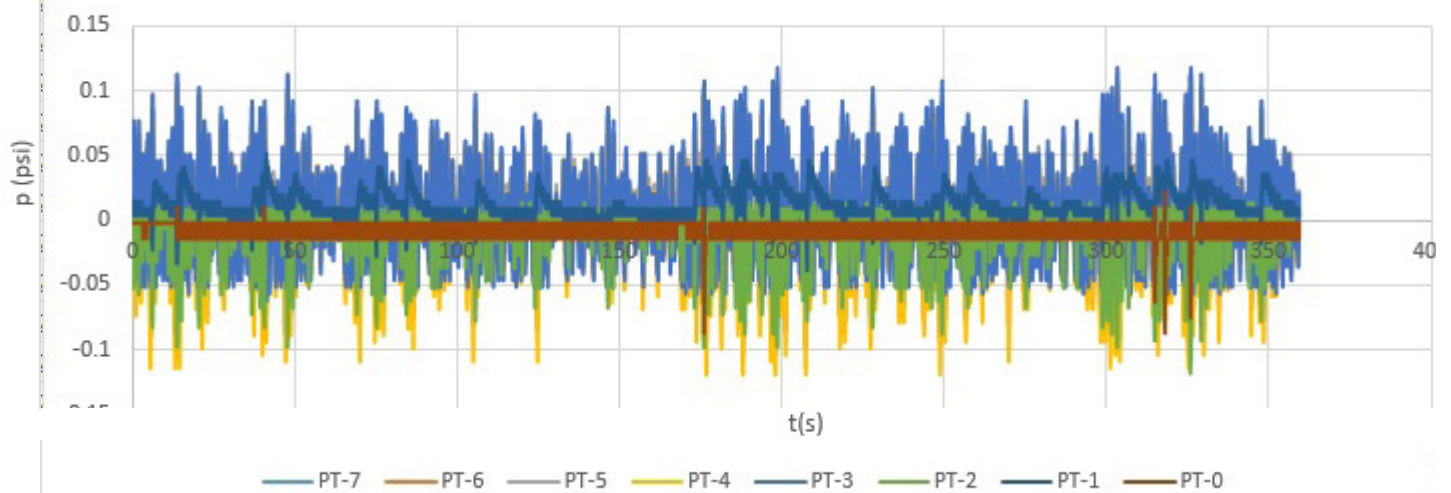
Κωδικός Μέτρησης 1.5.2, Φάσμα K4.B, Hs=109.01mm, T<sub>p</sub>=1.422s



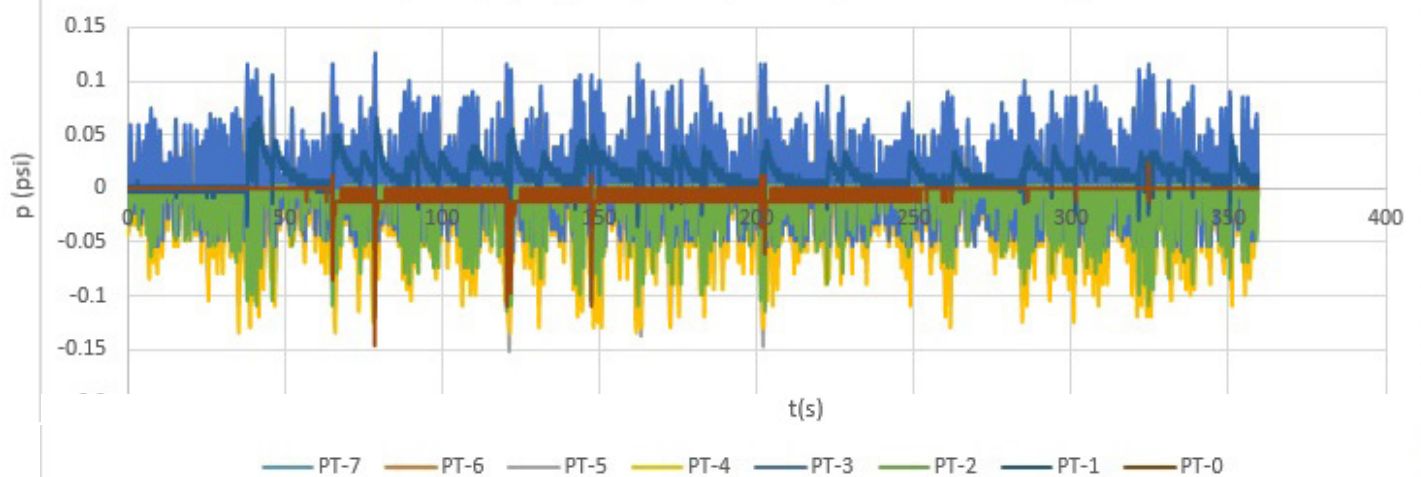
Κωδικός Μέτρησης 1.5.3, Φάσμα Κ4.Γ, Hs=109.01mm, Tp=1.422s



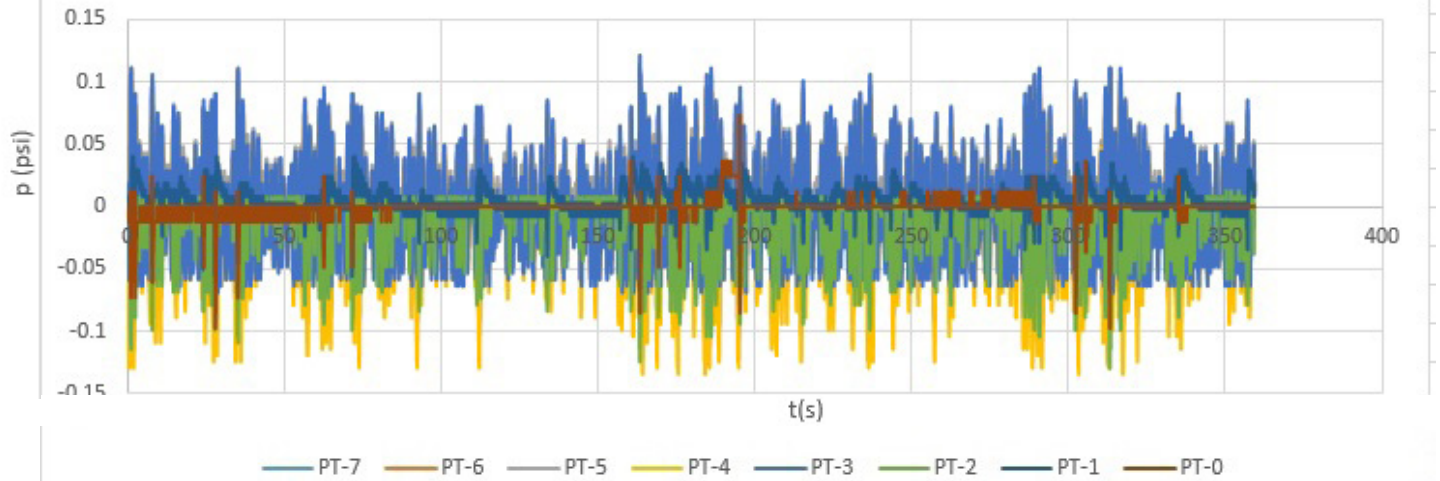
Κωδικός Μέτρησης 1.5.4, Φάσμα Κ5.Δ, Hs=103.63mm, Tp=1.7s



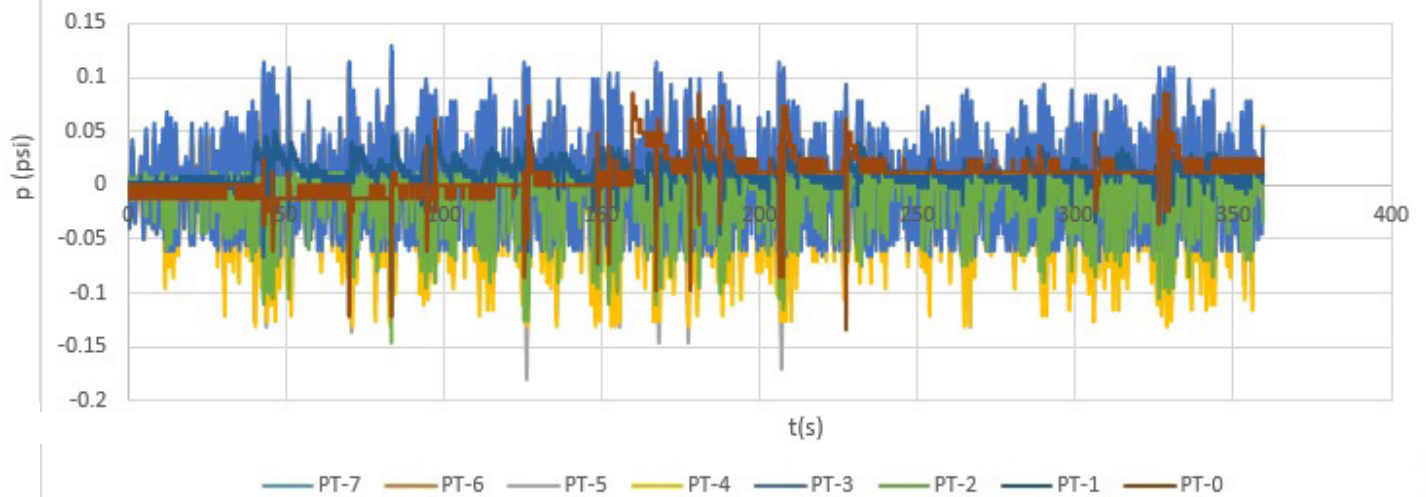
Κωδικός Μέτρησης 1.5., Φάσμα Κ4.Ε, Hs=104.19mm, Tp=1.7s



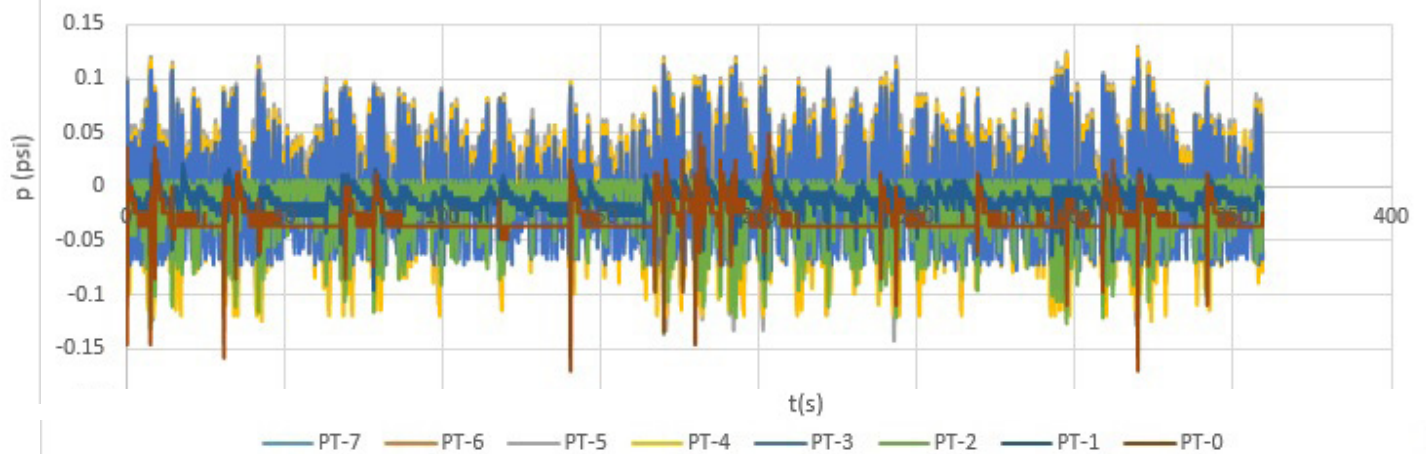
Κωδικός Μέτρησης 1.5.6, Φάσμα Κ4.ΣΤ,  $H_s=112.55\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



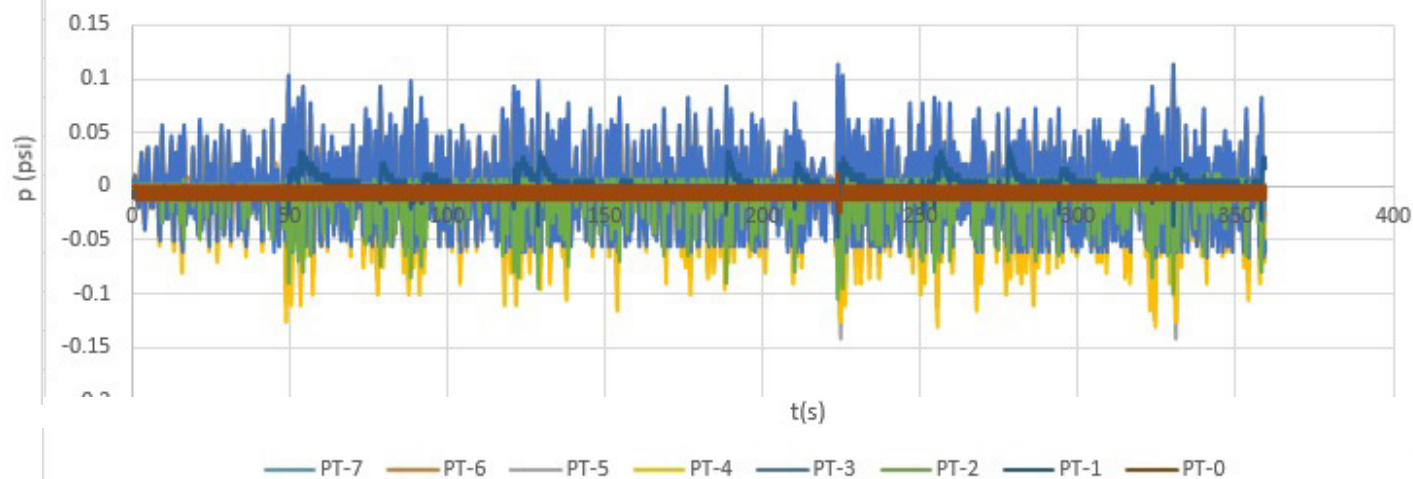
Κωδικός Μέτρησης 1.6.1, Φάσμα Κ3.Α,  $H_s=115.5\text{mm}$ ,  $T_p=11.7\text{s}$



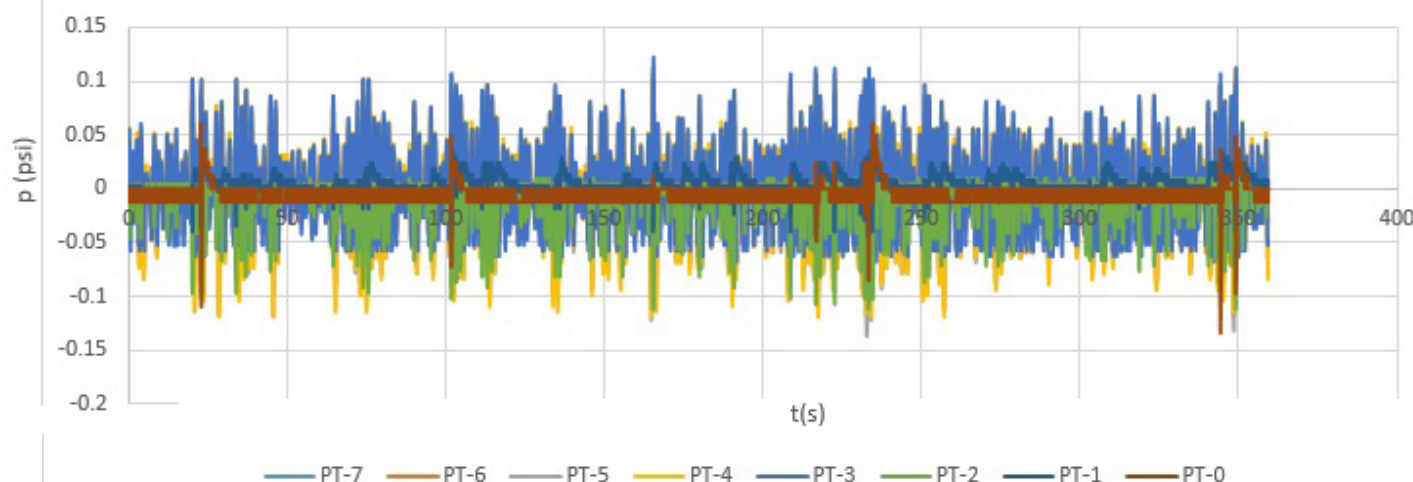
Κωδικός Μέτρησης 1.6.2, Φάσμα Κ3.Β,  $H_s=126.95\text{mm}$ ,  $T_p=1.6\text{s}$



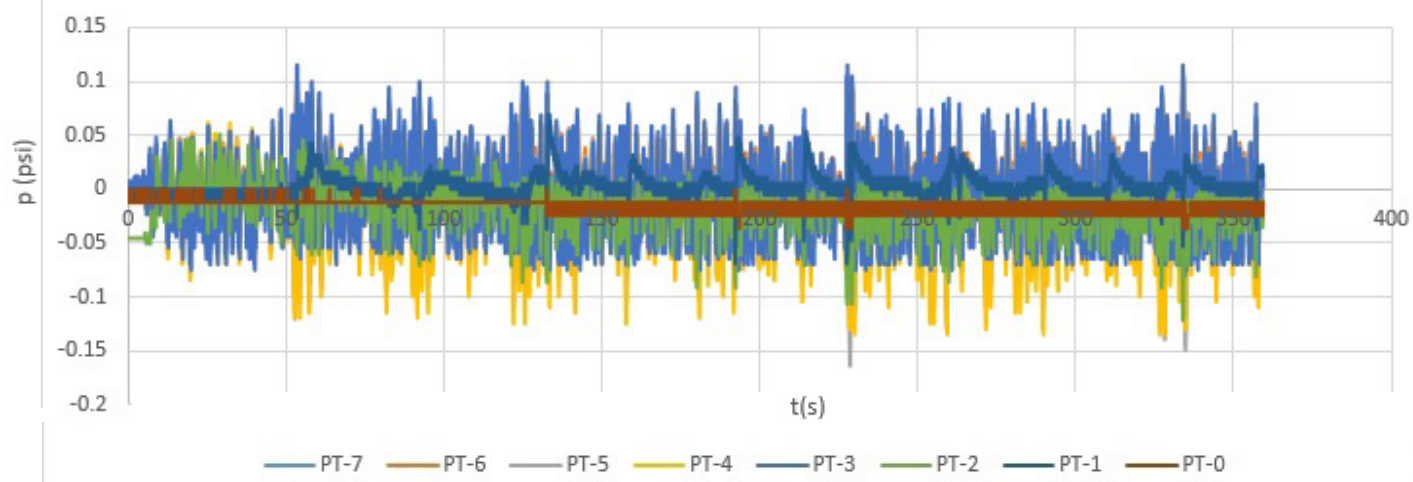
Κωδικός Μέτρησης 1.6.1, Φάσμα Κ3.Γ,  $H_s=127.74\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



Κωδικός Μέτρησης 1.6.4, Φάσμα Κ3.Γ,  $H_s=110.2\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$

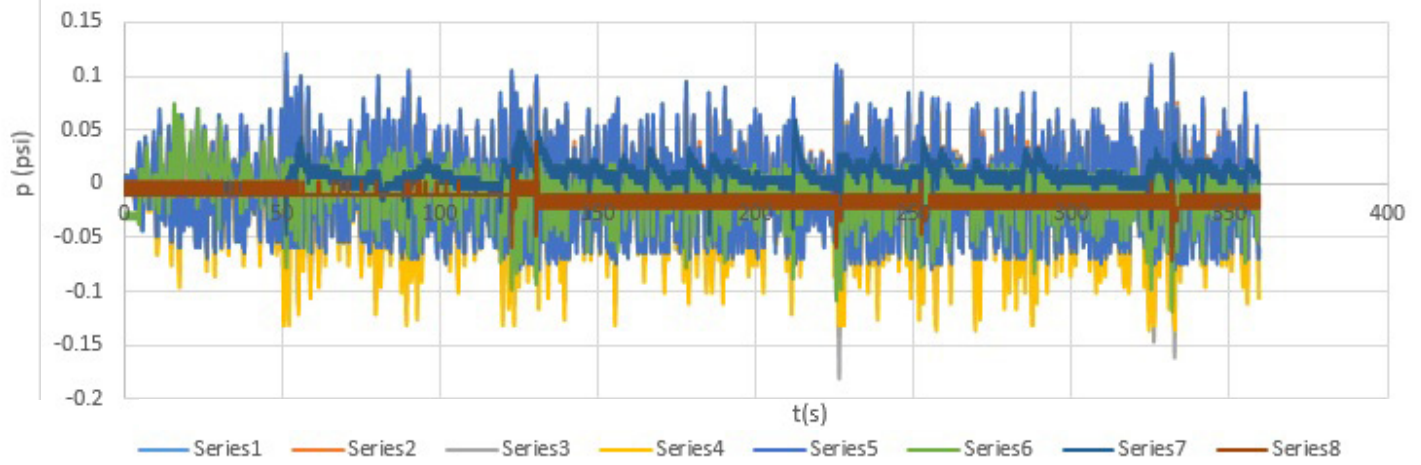


Κωδικός Μέτρησης 1.7.1, Φάσμα Κ3.Ε,  $H_s=118.82\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$

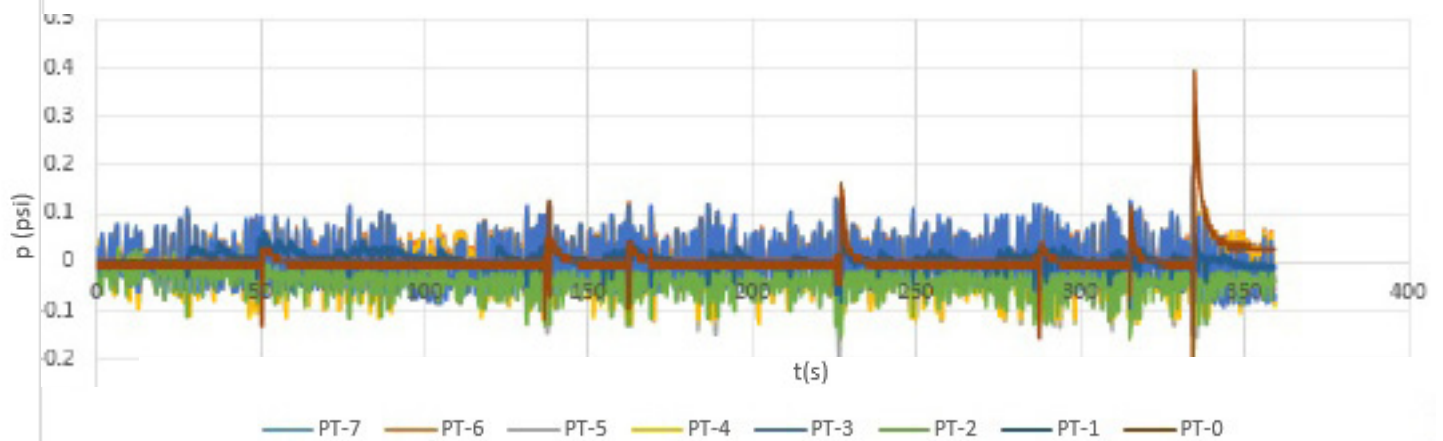




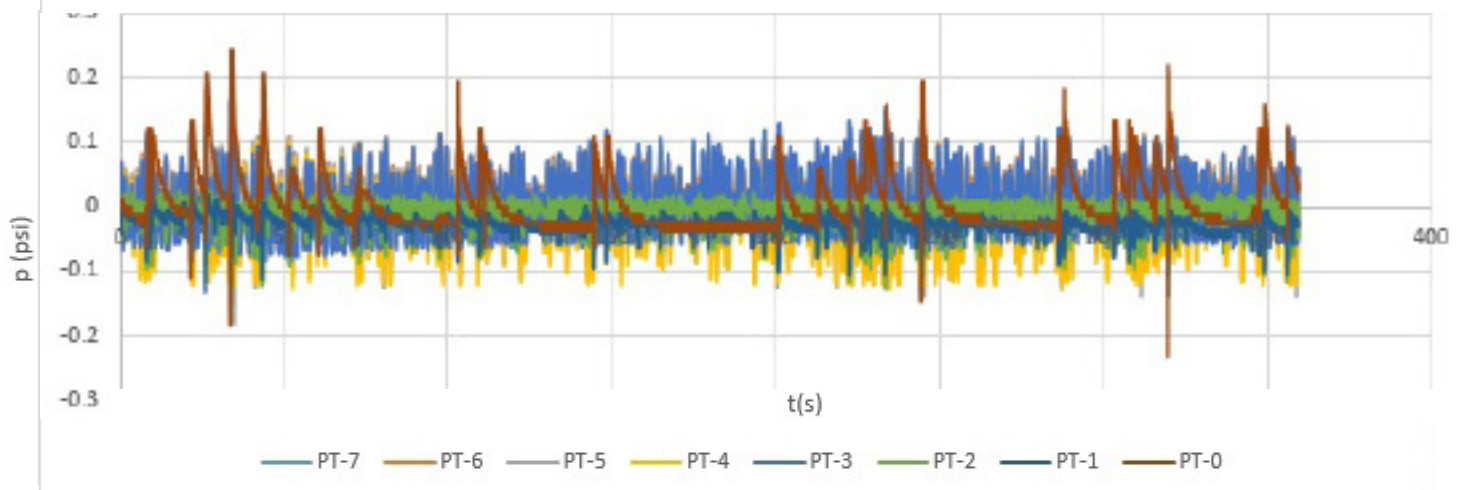
Κωδικός Μέτρησης 1.7.2, Φάσμα Κ3.ΣΤ, Hs=126.27mm, T<sub>p</sub>=1.7s



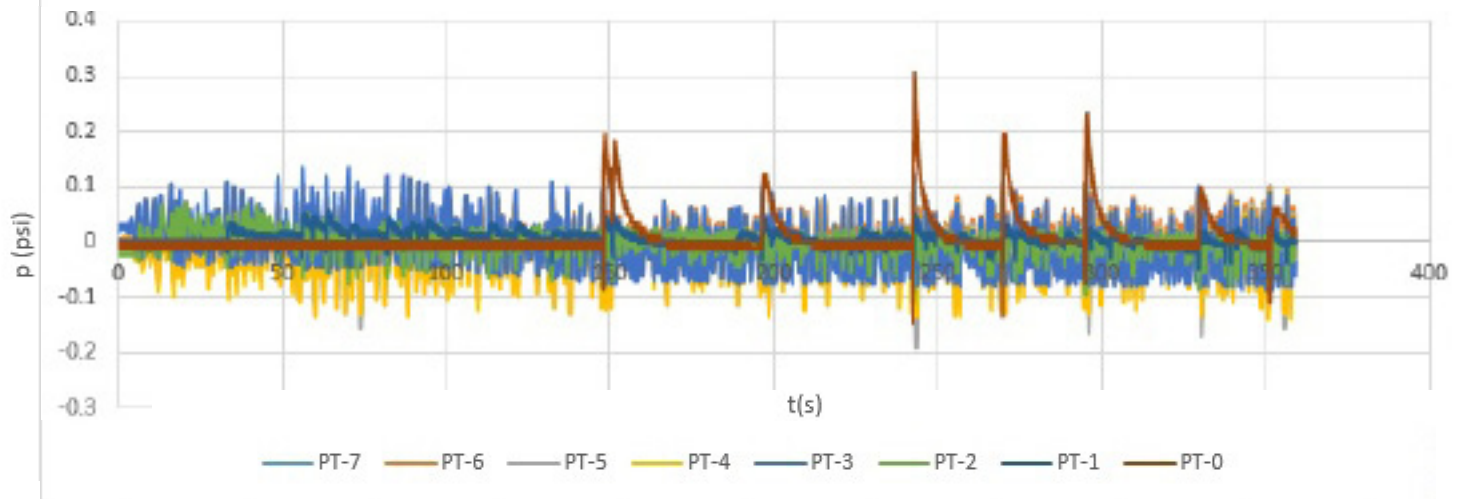
Κωδικός Μέτρησης 1.8.1, Φάσμα Κ2.Α, Hs=133.34mm, T<sub>p</sub>=1.7s



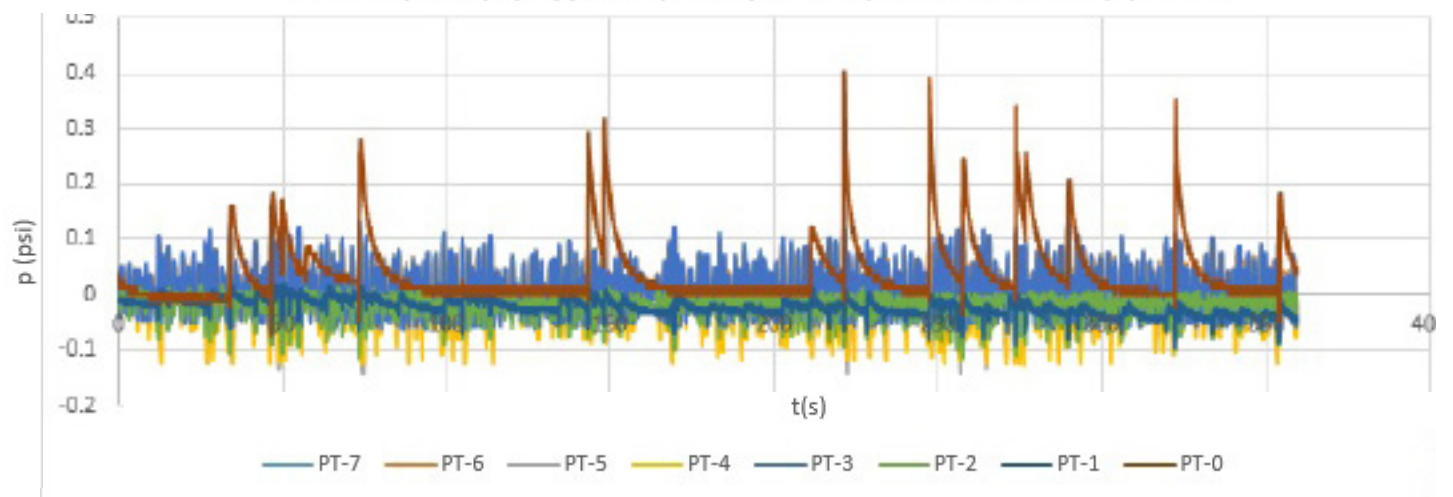
Κωδικός Μέτρησης 1.8.2, Φάσμα Κ2.Β, Hs=117.34mm, T<sub>p</sub>=1.7s



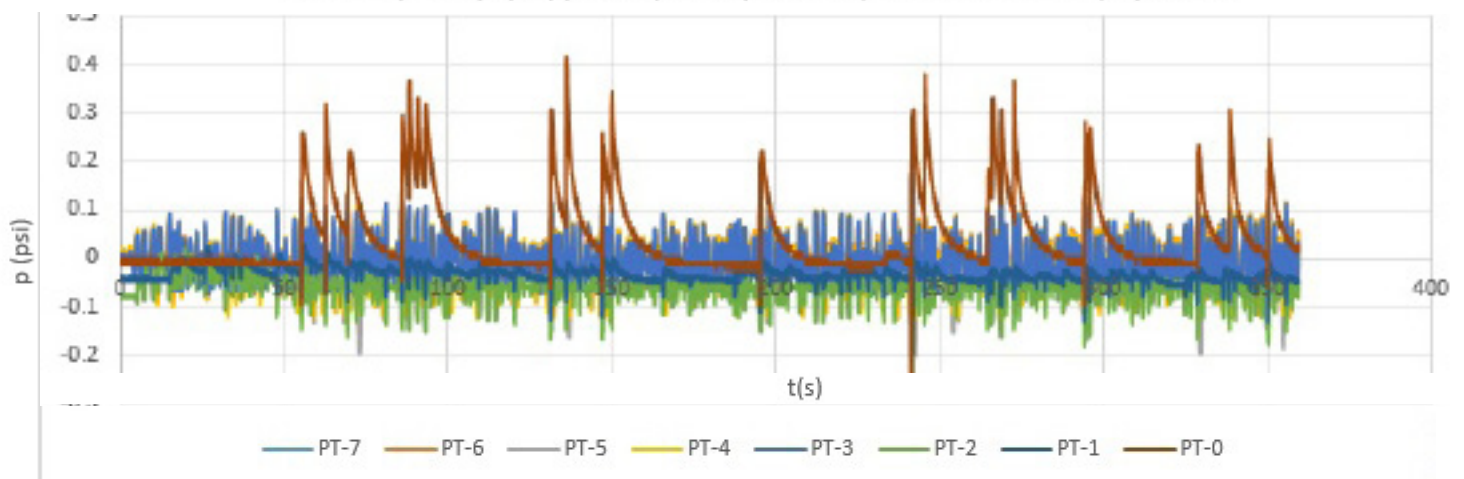
Κωδικός Μέτρησης 1.8.3, Φάσμα Κ2.Γ, Hs=110.12mm, Tr=1.7s



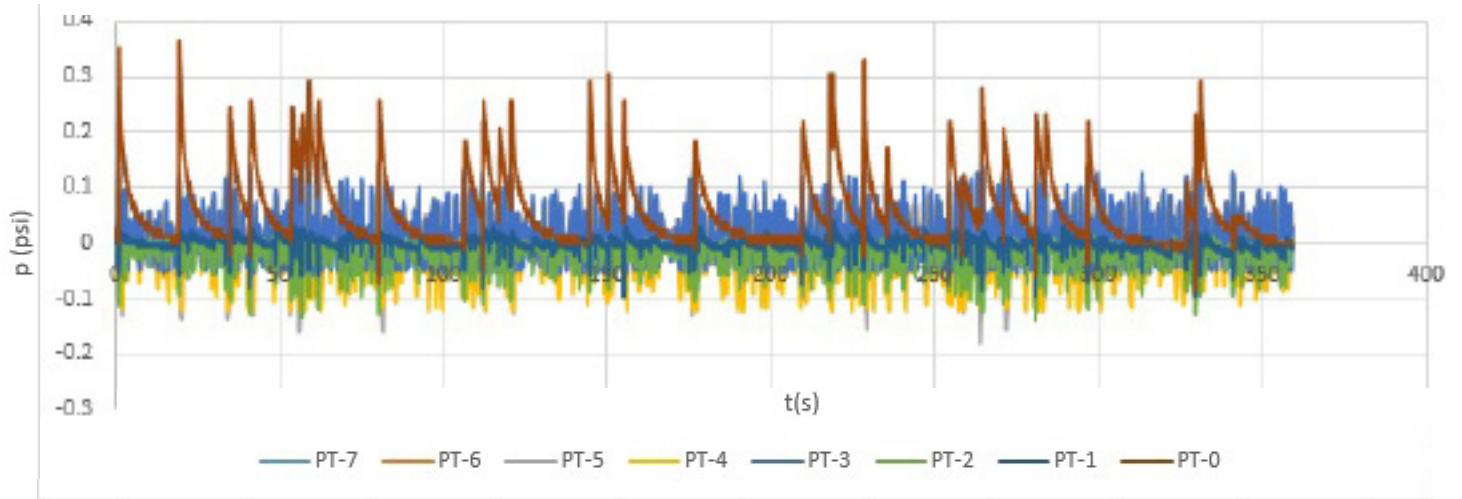
Κωδικός Μέτρησης 1.8.4, Φάσμα Κ2.Δ, Hs=132.97mm, Tr=1.7s



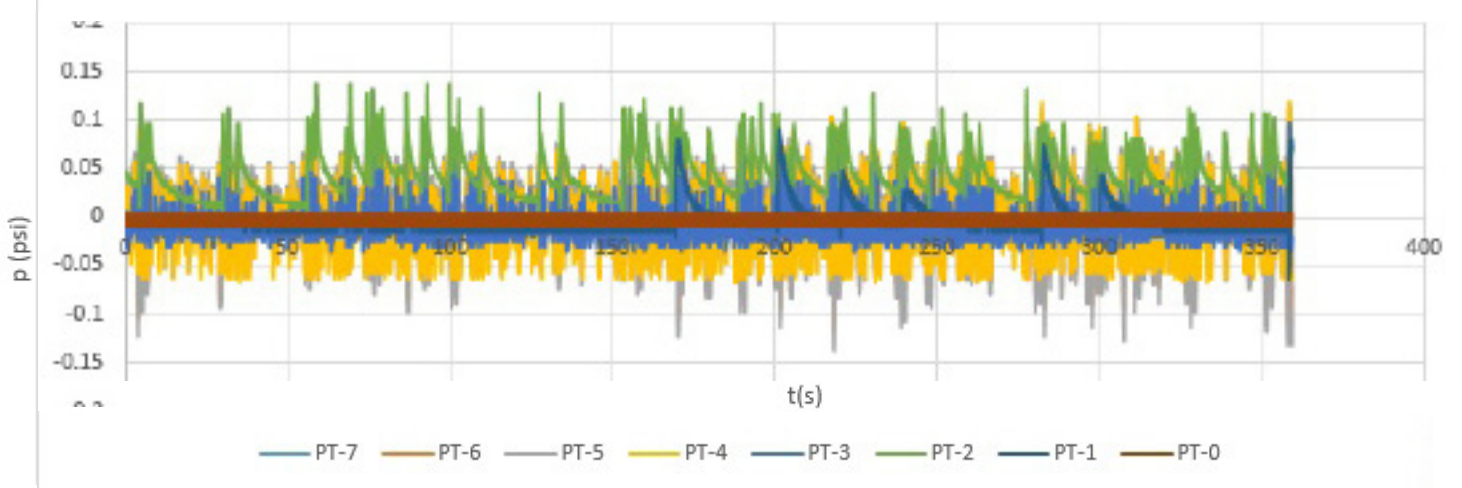
Κωδικός Μέτρησης 1.9.1, Φάσμα Κ1.Α, Hs=150.09mm, Tr=1.7s



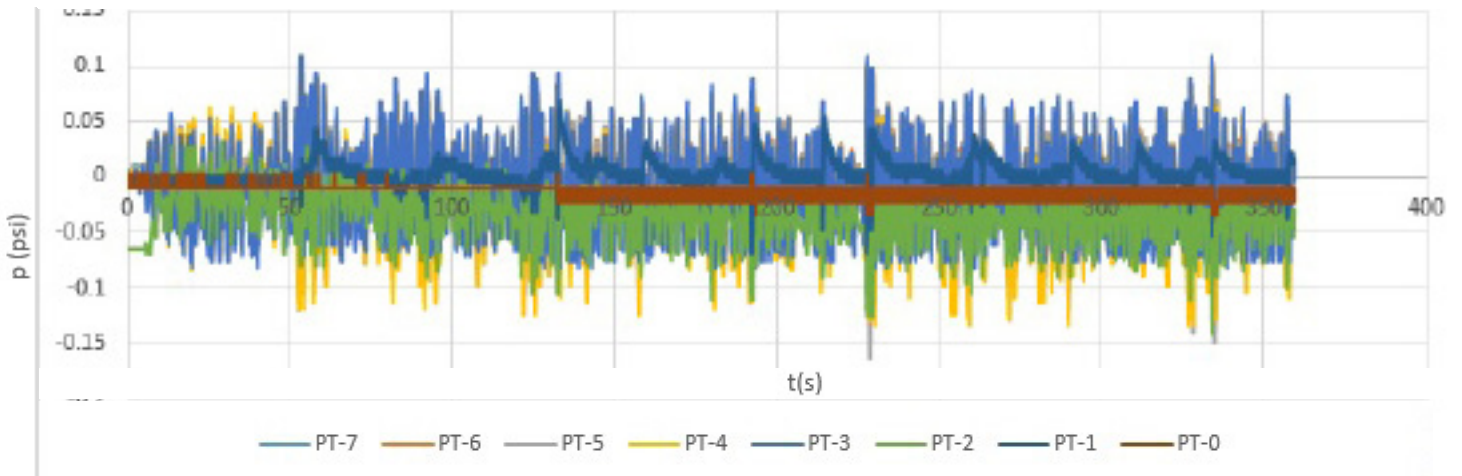
Κωδικός Μέτρησης 1.9.2, Φάσμα Κ1.Γ,  $H_s=126.17\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



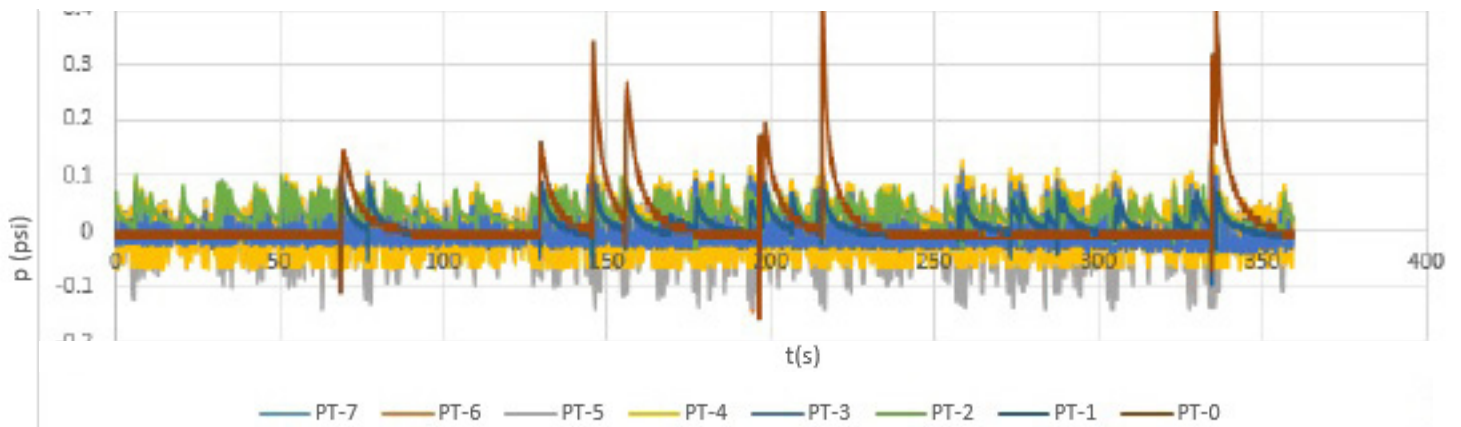
Κωδικός Μέτρησης 1.9.3, Φάσμα Κ1.Δ,  $H_s=142.19\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



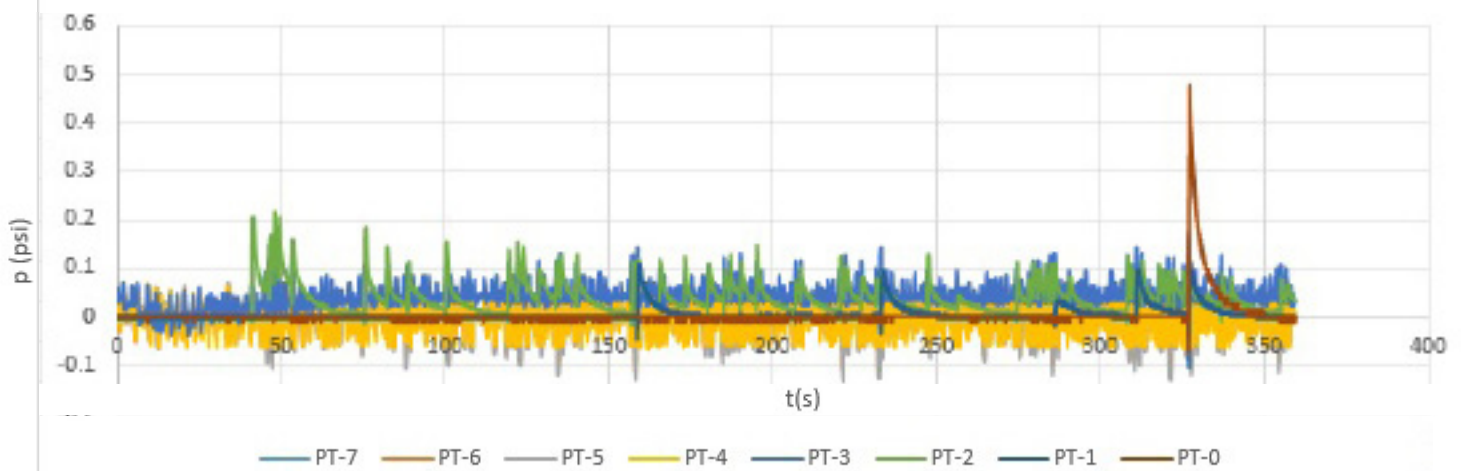
Κωδικός Μέτρησης 2.1.1, Φάσμα Κ4.Α,  $H_s=146.56\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



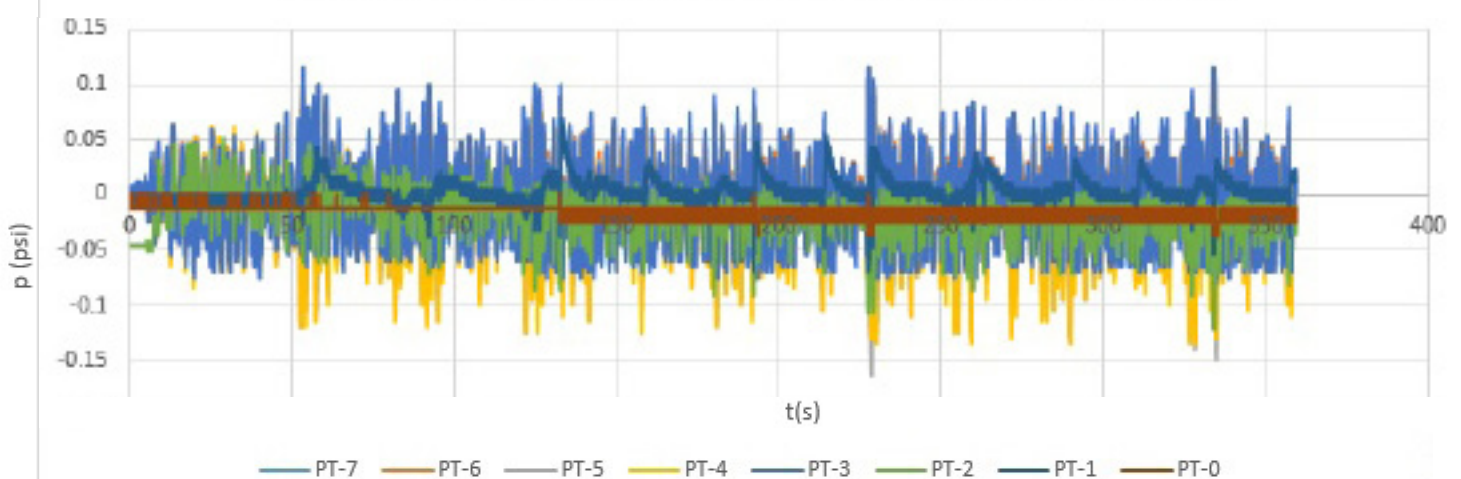
Κωδικός Μέτρησης 2.1.2, Φάσμα Κ4.Β,  $H_s=101.29\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



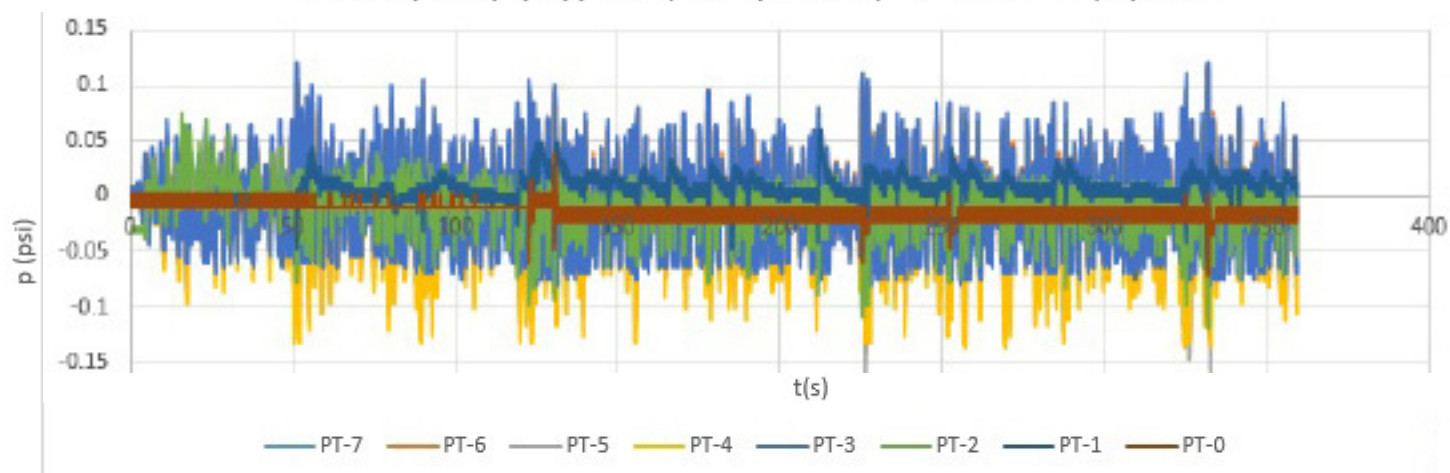
Κωδικός Μέτρησης 2.1.3, Φάσμα Κ4.Γ,  $H_s=98.99\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



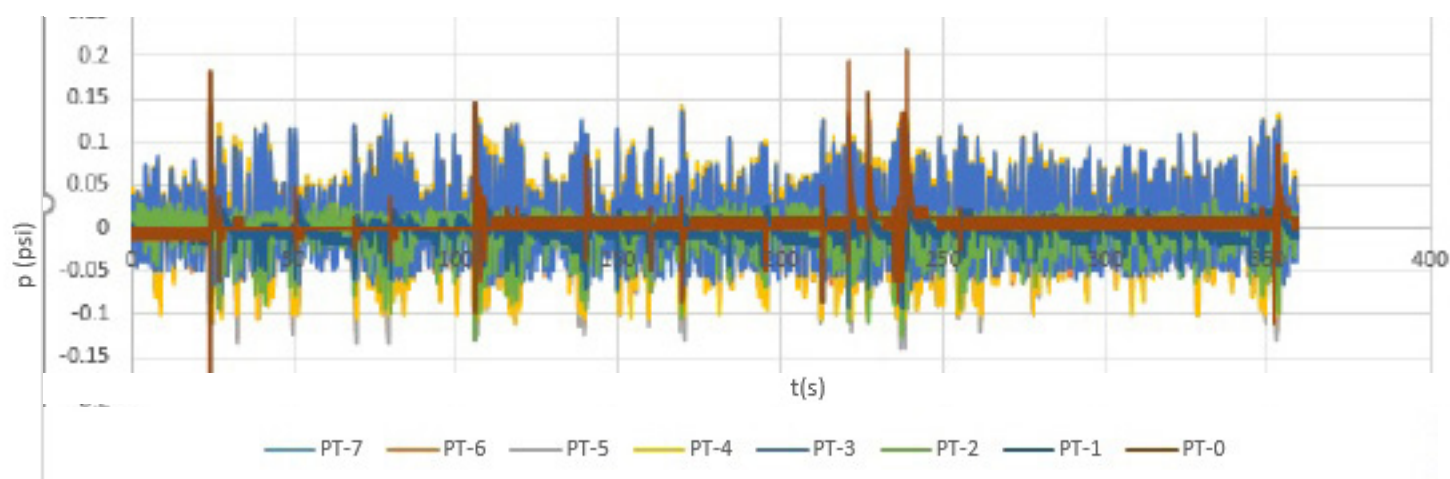
Κωδικός Μέτρησης 2.1.4, Φάσμα Κ4.Δ,  $H_s=113.28\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



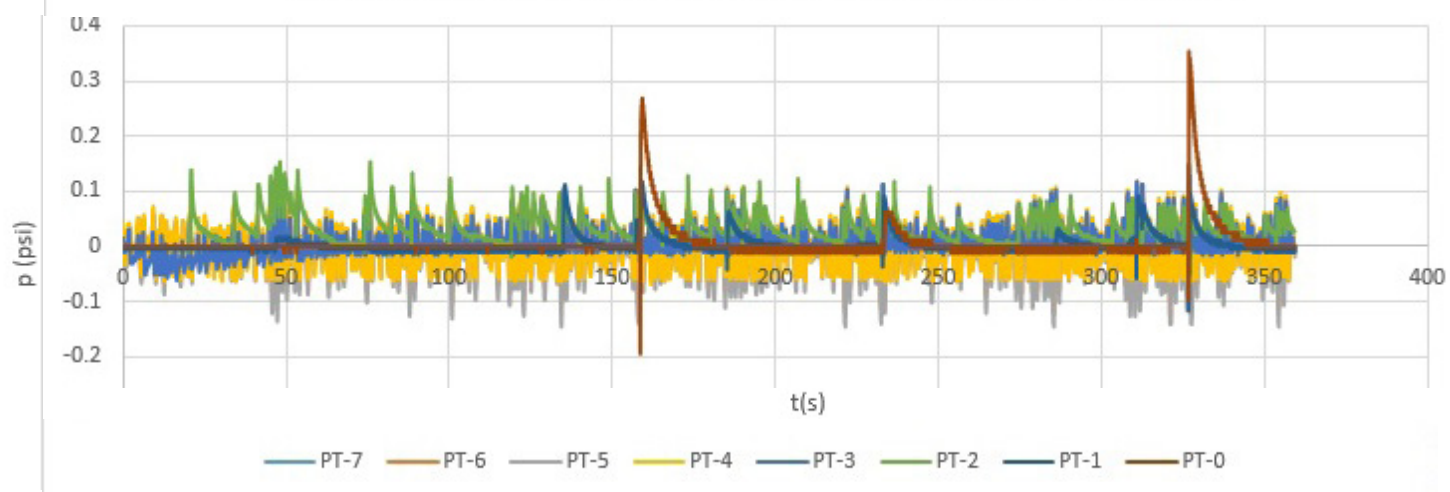
Κωδικός Μέτρησης 2.2.1, Φάσμα Κ3.Α,  $H_s=118.3\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



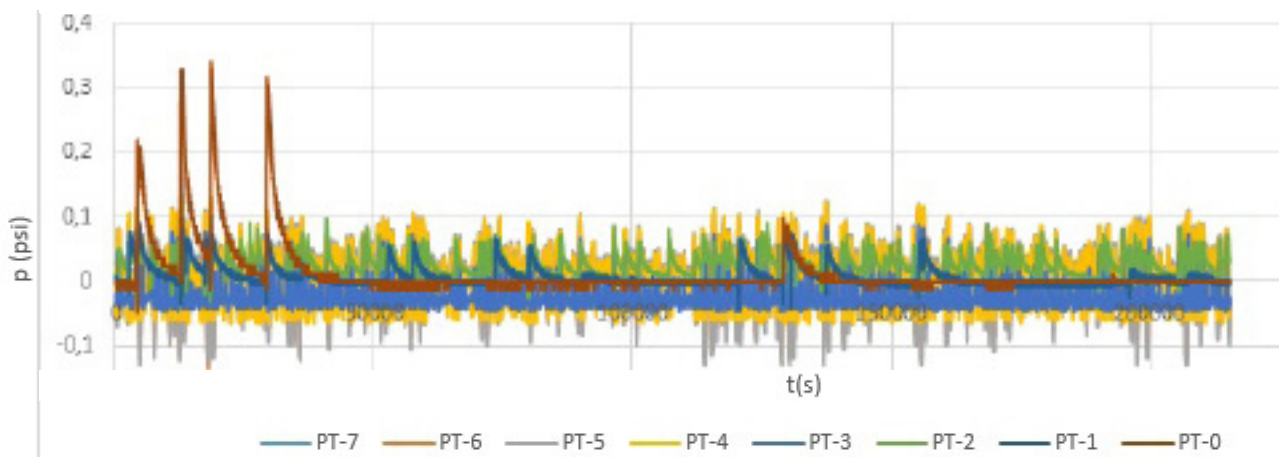
Κωδικός Μέτρησης 2.2.2, Φάσμα Κ3.Β,  $H_s=108.26\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



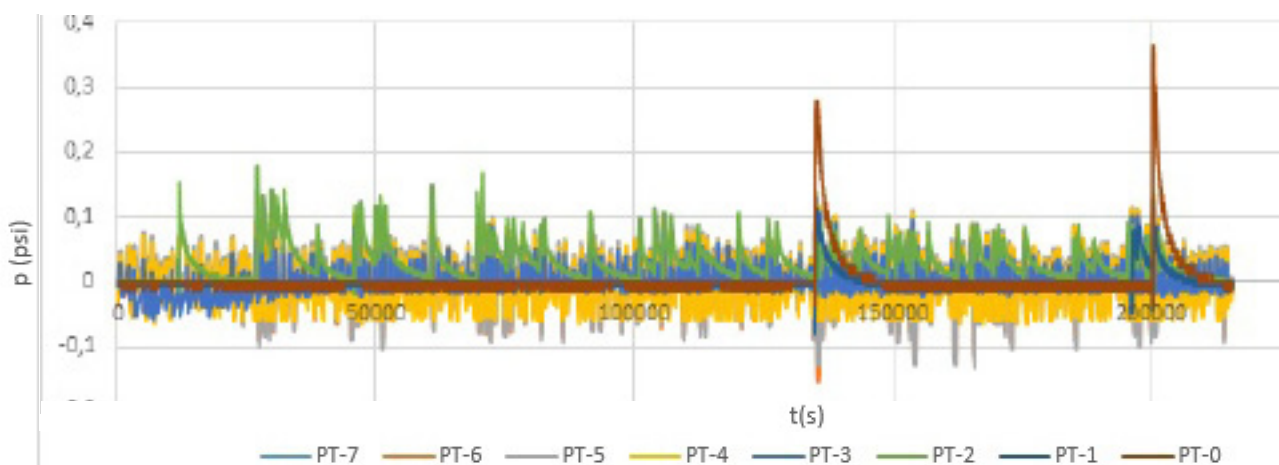
Κωδικός Μέτρησης 2.2.3, Φάσμα Κ3.Γ,  $H_s=103.34\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



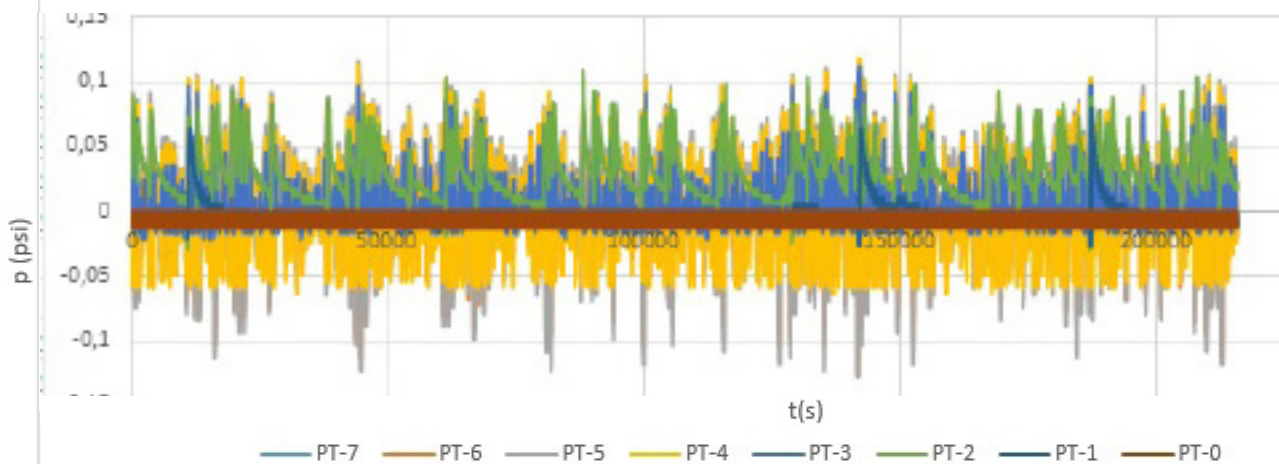
Κωδικός Μέτρησης 2.2.4, Φάσμα Κ3.Δ, Hs=123.74mm, Tr=1.7s



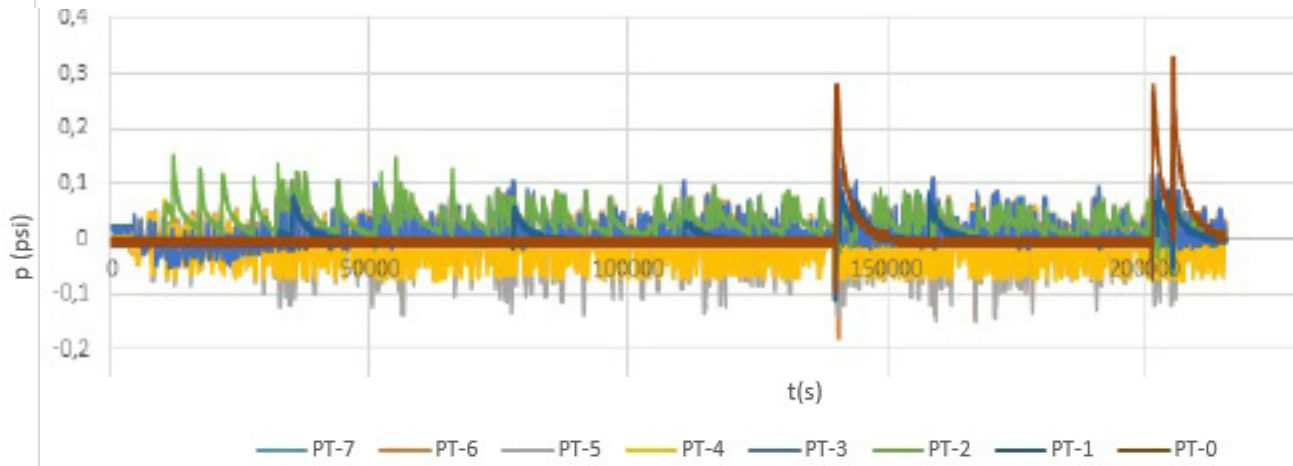
Κωδικός Μέτρησης 2.3.1, Φάσμα Κ2.Α, Hs=114.54mm, Tr=1.7s



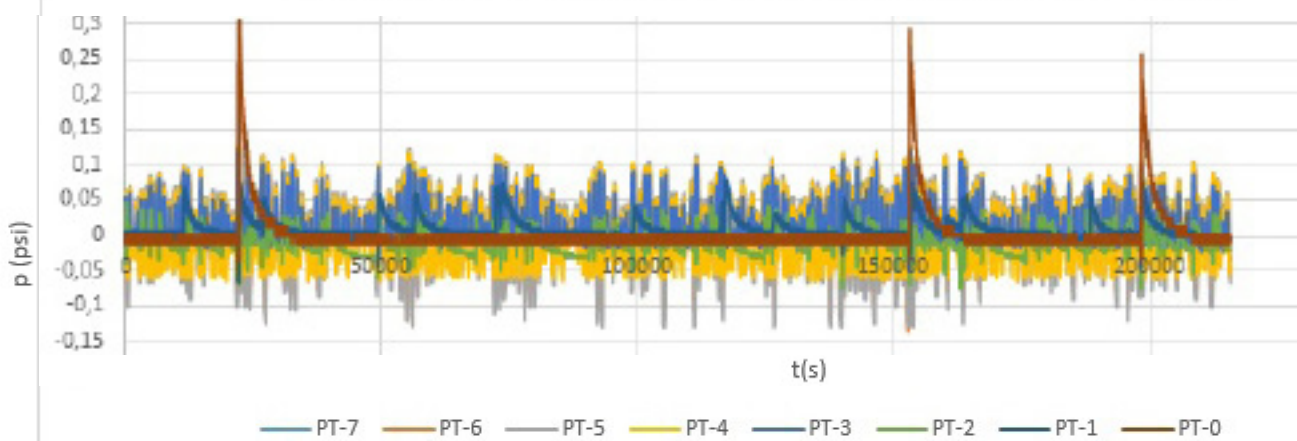
Κωδικός Μέτρησης 2.3.2, Φάσμα Κ2.Β, Hs=112.48mm, Tr=1.7s



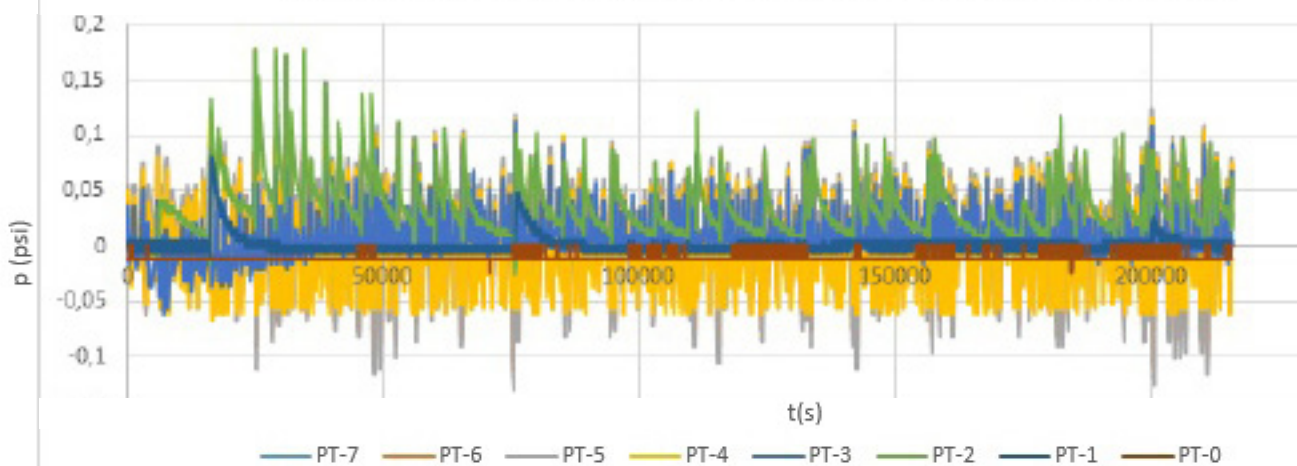
Κωδικός Μέτρησης 2.3.3, Φάσμα Κ2.Γ,  $H_s=113.41\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



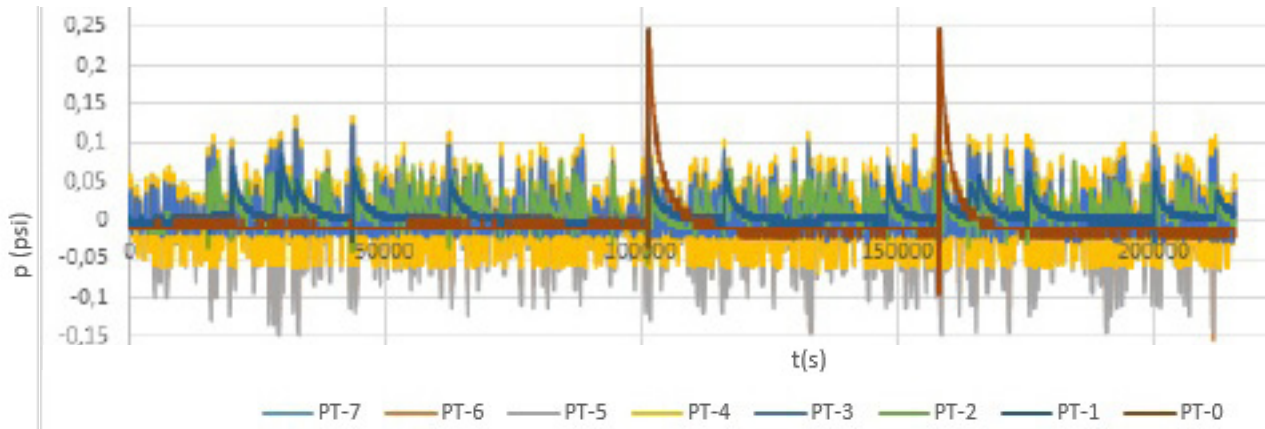
Κωδικός Μέτρησης 2.3.4, Φάσμα Κ2.Δ,  $H_s=126.47\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



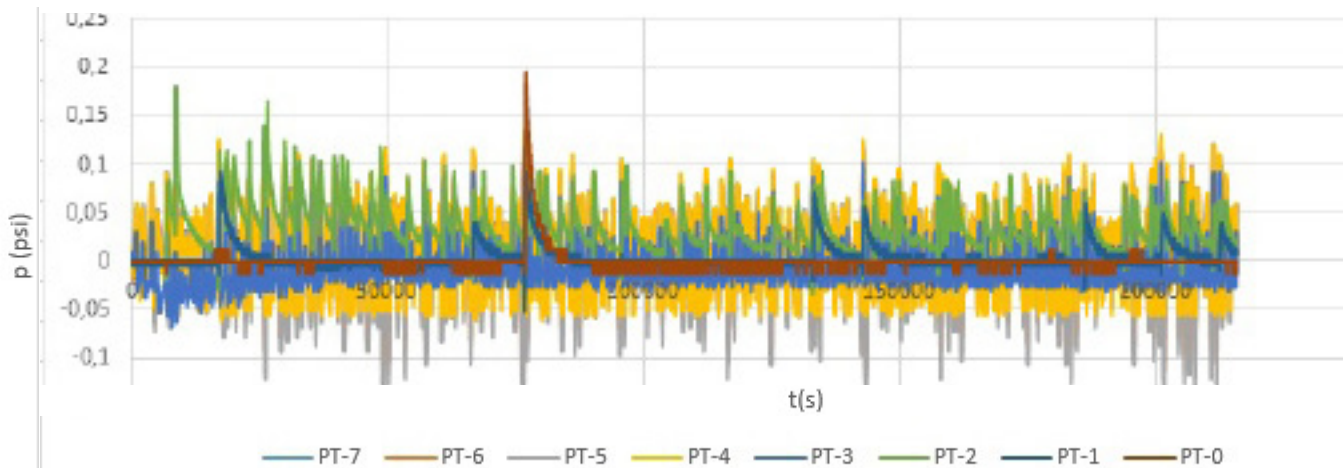
Κωδικός Μέτρησης 2.4.1, Φάσμα Κ1.Α,  $H_s=126.58\text{mm}$ ,  $T_p=1.7\text{s}$



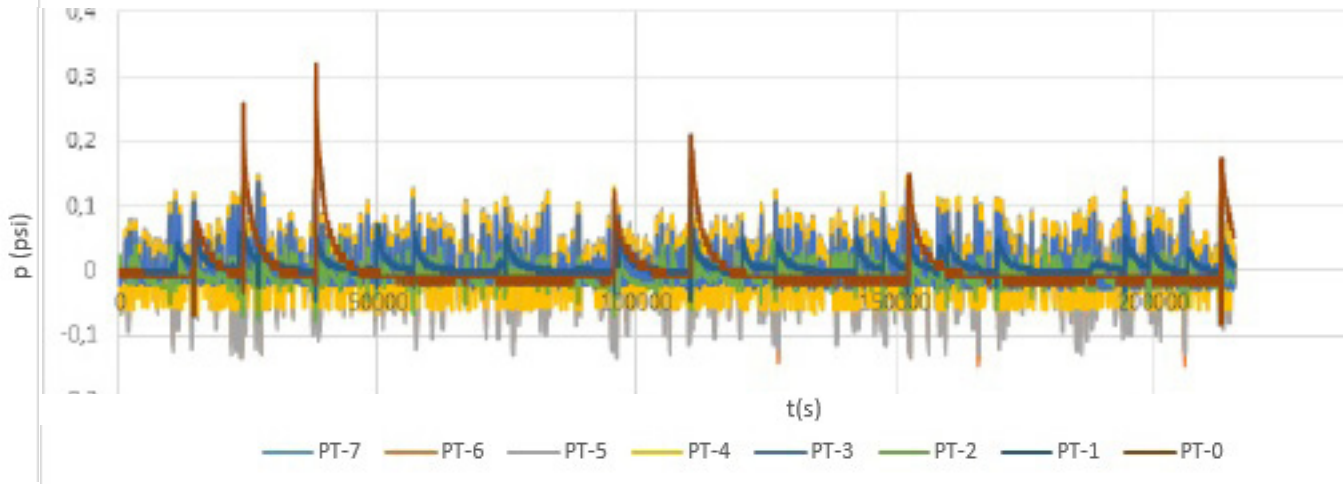
Κωδικός Μέτρησης 2.4.2, Φάσμα Κ1.Β, Hs=108.37mm, Tp=1.7s



Κωδικός Μέτρησης 2.4.3, Φάσμα Κ1.Γ, Hs=121.52mm, Tp=1.7s



Κωδικός Μέτρησης 2.4.4, Φάσμα Κ1.Δ, Hs=120.6mm, Tp=1.7s





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : Πίνακες μεγίστων ελαχίστων και μέσων τιμών για υδροδυναμικές πιέσεις

1.1.1				1.1.2					
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		
PT-0	84.05399	0.006895	0.075115	0.102	PT-0	459.6942	-464.824	20.26508	0.102
PT-1	209.3124	-157.902	-17.9748	0.047	PT-1	579.0617	-118.646	118.5965	0.047
PT-2	494.4782	-206.581	-17.6857	-0.003	PT-2	761.8072	-79.4635	28.40451	-0.003
PT-3	584.6878	-479.104	13.82225	-0.053	PT-3	794.8862	-481.664	-7.38703	-0.053
PT-4	396.3258	-681.339	-21.4765	-0.103	PT-4	702.2434	-827.345	-2.87904	-0.103
PT-5	473.383	-433.395	93.24774	-0.153	PT-5	574.1361	-970.745	-36.3723	-0.153
PT-6	402.1946	-409.153	57.10912	-0.203	PT-6	711.6589	-723.802	86.74147	-0.203
PT-7	305.4791	-356.204	5.611583	-0.252	PT-7	218.4156	-478.093	-48.7681	-0.252

1.2.1				1.3.1					
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		
PT-0	661.2072	-599.499	-78.1515	0.102	PT-0	252.1482	-252.134	0.448181	0.102
PT-1	364.4417	-186.38	41.40443	0.047	PT-1	332.2156	-218.607	7.507519	0.047
PT-2	554.0682	-111.938	-0.88463	-0.003	PT-2	666.0253	-105.14	19.63855	-0.003
PT-3	620.5454	-514.166	-57.1403	-0.053	PT-3	724.9527	-445.219	-12.9078	-0.053
PT-4	455.4001	-969.898	-94.9466	-0.103	PT-4	639.6694	-855.155	-13.7521	-0.103
PT-5	478.8616	-763.76	-26.9488	-0.153	PT-5	637.9464	-739.012	30.25805	-0.153
PT-6	496.1702	-596.028	-1.66001	-0.203	PT-6	683.0457	-596.387	42.4151	-0.203
PT-7	222.8827	-403.975	-49.2416	-0.252	PT-7	319.4093	-342.274	30.88053	-0.252

1.3.2				1.3.3					
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		
PT-0	168.0942	-252.141	68.48006	0.102	PT-0	504.3515	-168.025	5.057977	0.102
PT-1	253.3782	-370.887	-42.7628	0.047	PT-1	345.2577	-205.564	10.55424	0.047
PT-2	613.6582	-87.4007	16.29846	-0.003	PT-2	648.7112	-122.454	9.459888	-0.003
PT-3	617.3642	-517.347	-57.6438	-0.053	PT-3	721.7715	-448.4	-5.05117	-0.053
PT-4	490.1635	-935.135	-91.705	-0.103	PT-4	639.6694	-855.155	-7.17867	-0.103
PT-5	641.1986	-668.592	0.411489	-0.153	PT-5	627.8711	-782.672	48.34984	-0.153
PT-6	561.7021	-655.319	-33.6998	-0.203	PT-6	623.7549	-718.089	-13.9489	-0.203
PT-7	233.3303	-358.702	-28.6135	-0.252	PT-7	364.6823	-297.001	70.40625	-0.252

1.3.4				1.4.1					
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		
PT-0	252.1689	-252.114	79.71677	0.102	PT-0	336.2159	-168.067	27.56197	0.102
PT-1	418.6248	-389.248	-60.593	0.047	PT-1	418.6248	-352.526	-75.3373	0.047
PT-2	641.4689	-94.643	31.93265	-0.003	PT-2	767.8912	-108.432	21.43935	-0.003
PT-3	663.4618	-506.71	-49.6901	-0.053	PT-3	847.0899	-358.541	85.42378	-0.053
PT-4	490.8736	-899.661	-89.4643	-0.103	PT-4	681.3854	-848.203	-3.97547	-0.103
PT-5	490.3317	-752.29	-40.9843	-0.153	PT-5	681.6061	-762.522	61.95057	-0.153
PT-6	546.0993	-670.922	-37.5085	-0.203	PT-6	639.3577	-733.692	-20.8302	-0.203
PT-7	268.2261	-358.631	-19.3363	-0.252	PT-7	275.1208	-386.562	-14.8523	-0.252

1.4.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	546.3061	-126.071	33.84377	0.102
PT-1	220.3289	-330.493	-52.2561	0.047
PT-2	606.6476	-94.4113	11.43007	-0.003
PT-3	648.9132	-450.339	-41.893	-0.053
PT-4	521.4505	-903.848	-70.3026	-0.103
PT-5	503.7654	-806.025	-40.1631	-0.153
PT-6	567.9432	-680.284	-34.1662	-0.203
PT-7	282.0859	-344.772	-12.6278	-0.252

1.4.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	282.0859	-379.597	-10.8519	0.102
PT-1	661.2017	-743.054	-17.7647	0.047
PT-2	661.4554	-782.672	65.30137	-0.003
PT-3	670.9564	-823.868	5.005278	-0.053
PT-4	822.2681	-347.903	82.48355	-0.103
PT-5	676.7535	-94.4113	7.263714	-0.153
PT-6	291.5241	-296.02	-49.8999	-0.203
PT-7	462.259	-126.071	31.76208	-0.252

1.4.4				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	336.1884	-168.094	23.46146	0.102
PT-1	345.1819	-352.526	-83.0692	0.047
PT-2	652.2165	-83.8954	25.49417	-0.003
PT-3	674.0997	-496.072	-49.3634	-0.053
PT-4	584.0246	-910.8	-65.1225	-0.103
PT-5	537.3498	-873.193	-40.7243	-0.153
PT-6	592.9078	-748.936	-40.7011	-0.203
PT-7	282.0859	-379.597	-10.4544	-0.252

1.4.5				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1008.565	-168.094	86.24261	0.102
PT-1	450.8509	-283.579	-35.5739	0.047
PT-2	722.3224	-118.948	27.68319	-0.003
PT-3	857.7278	-383.363	85.74137	-0.053
PT-4	733.5305	-830.821	9.991467	-0.103
PT-5	762.2085	-849.841	67.52424	-0.153
PT-6	686.1662	-811.706	-18.4716	-0.203
PT-7	282.0859	-414.422	-19.5803	-0.252

1.5.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1008.565	-84.0471	94.06725	0.102
PT-1	356.1983	-488.396	-98.3488	0.047
PT-2	739.6172	-66.6006	59.80901	-0.003
PT-3	751.7464	-489.344	-38.9677	-0.053
PT-4	688.0251	-876.326	-48.8867	-0.103
PT-5	634.7445	-1010.89	-39.7216	-0.153
PT-6	658.4397	-870.638	-32.6532	-0.203
PT-7	289.051	-407.457	-10.1131	-0.252

1.5.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1346.063	-166.784	63.58204	0.102
PT-1	498.5889	-272.562	-38.3233	0.047
PT-2	936.1453	-80.3901	68.48492	-0.003
PT-3	960.561	-351.449	97.22796	-0.053
PT-4	757.8414	-910.8	-79.617	-0.103
PT-5	735.4975	-1111.64	-48.3144	-0.153
PT-6	720.851	-995.461	-63.8509	-0.203
PT-7	323.8764	-477.108	-11.5867	-0.252

1.5.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1008.565	-84.0471	75.12859	0.102
PT-1	414.9527	-466.363	-74.1162	0.047
PT-2	746.8594	-94.4113	43.29346	-0.003
PT-3	744.6545	-460.977	-30.5194	-0.053
PT-4	625.7406	-903.848	-75.0447	-0.103
PT-5	604.5185	-973.947	-46.8555	-0.153
PT-6	652.1985	-814.468	-27.3627	-0.203
PT-7	282.0859	-414.422	-3.78428	-0.252

1.5.4				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	603.4292	-152.995	29.97188	0.102
PT-1	304.7883	-356.198	-87.71	0.047
PT-2	816.9653	-94.4113	36.88963	-0.003
PT-3	813.602	-427.489	25.64607	-0.053
PT-4	740.4831	-823.868	1.236451	-0.103
PT-5	762.2085	-715.503	71.36089	-0.153
PT-6	714.2513	-721.21	0.830357	-0.203
PT-7	316.9113	-379.597	1.002119	-0.252

1.5.5					1.5.6				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1008.565	-168.094	20.56347	0.102	PT-0	672.3767	-504.283	5.840415	0.102
PT-1	425.9691	-455.346	-97.6761	0.047	PT-1	458.1952	-276.234	-41.7191	0.047
PT-2	823.1651	-18.1056	98.91983	-0.003	PT-2	893.8501	-87.6324	56.77846	-0.003
PT-3	870.3376	-406.213	36.87477	-0.053	PT-3	836.8498	-475.16	-42.5306	-0.053
PT-4	670.933	-928.182	-88.868	-0.103	PT-4	705.6963	-928.182	-85.0501	-0.103
PT-5	664.9704	-1047.83	-34.9089	-0.153	PT-5	767.5023	-878.131	27.95658	-0.153
PT-6	689.6453	-870.638	-30.8891	-0.203	PT-6	751.6982	-808.585	-2.47982	-0.203
PT-7	271.9899	-494.169	-43.0086	-0.252	PT-7	375.7629	-355.571	23.59989	-0.252

1.6.1					1.6.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	924.518	-588.33	-60.6808	0.102	PT-0	840.4709	-672.377	-124.244	0.102
PT-1	679.3473	-348.854	-88.7064	0.047	PT-1	495.7399	-312.133	-84.2078	0.047
PT-2	1006.251	-80.3901	56.19981	-0.003	PT-2	1006.251	-115.443	53.09755	-0.003
PT-3	893.5854	-489.344	-24.9723	-0.053	PT-3	813.3787	-534.091	-79.4506	-0.053
PT-4	730.0307	-903.848	-82.552	-0.103	PT-4	879.5366	-858.632	-2.52689	-0.103
PT-5	738.856	-1242.62	-44.3483	-0.153	PT-5	896.546	-984.178	69.6326	-0.153
PT-6	755.1773	-1023.55	-26.2711	-0.203	PT-6	817.2301	-867.876	8.658985	-0.203
PT-7	337.8066	-498.003	-12.7463	-0.252	PT-7	337.8066	-428.353	-12.8544	-0.252

1.6.3					1.6.4				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	168.0942	-84.0471	28.95843	0.102	PT-0	924.518	-420.235	62.36169	0.102
PT-1	279.0832	-308.46	-52.6616	0.047	PT-1	242.3618	-308.46	-99.1597	0.047
PT-2	704.7959	-101.422	32.04937	-0.003	PT-2	739.8488	-101.422	28.14135	-0.003
PT-3	783.6602	-457.431	-22.7625	-0.053	PT-3	843.3205	-468.69	-18.4465	-0.053
PT-4	695.2673	-903.848	-59.5434	-0.103	PT-4	775.2465	-823.868	6.344699	-0.103
PT-5	668.3288	-977.305	-24.2614	-0.153	PT-5	668.3288	-943.721	-39.2661	-0.153
PT-6	649.078	-848.794	-21.4498	-0.203	PT-6	711.4893	-817.589	-53.089	-0.203
PT-7	334.324	-397.01	-6.07377	-0.252	PT-7	334.324	-397.01	-4.22444	-0.252

1.7.1					1.7.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	252.1413	1.47E-10	99.24652	0.102	PT-0	491.7044	-264.719	111.2518	0.102
PT-1	477.2606	-477.498	-23.2707	0.047	PT-1	399.6955	-408.177	-51.357	0.047
PT-2	840.3854	-351.415	100.2932	-0.003	PT-2	819.393	-512.619	36.54848	-0.003
PT-3	794.2823	-553.188	-59.9274	-0.053	PT-3	832.5946	-550.335	-68.0125	-0.053
PT-4	703.41	-930.468	-91.867	-0.103	PT-4	760.8658	-942.539	-110.326	-0.103
PT-5	717.5797	-1129.56	-32.0217	-0.153	PT-5	766.3952	-1248.67	-49.0464	-0.153
PT-6	764.0656	-921.041	4.147029	-0.203	PT-6	801.9858	-976.738	-7.09857	-0.203
PT-7	320.9918	-445.167	-3.66982	-0.252	PT-7	346.1647	-489.645	-16.7965	-0.252

1.8.1					1.8.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	1426.279	-1179.18	36.14064	0.102	PT-0	1117.128	-479.767	116.1609	0.102
PT-1	288.7184	-629.319	-25.4764	0.047	PT-1	770.7128	-257.489	163.3407	0.047
PT-2	231.0371	-890.657	-13.3985	-0.003	PT-2	854.1655	-162.37	105.316	-0.003
PT-3	1005.95	-518.819	31.65639	-0.053	PT-3	933.5353	-520.314	18.85009	-0.053
PT-4	978.7401	-759.428	97.03184	-0.103	PT-4	831.6327	-871.772	-40.7911	-0.103
PT-5	890.5008	-956.639	63.50506	-0.153	PT-5	764.0443	-1418.94	-56.7517	-0.153
PT-6	801.9858	-883.121	-0.88609	-0.203	PT-6	865.0212	-1132.14	31.66912	-0.203
PT-7	311.3392	-454.82	-23.8979	-0.252	PT-7	355.2193	-585.067	-26.3956	-0.252

1.8.3					1.8.4				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	2694.55	-1591.85	6.261041	0.102	PT-0	1677.435	-1600.4	49.15842	0.102
PT-1	442.8421	-1062.74	28.71423	0.047	PT-1	148.9186	-1026.17	-175.131	0.047
PT-2	198.6194	-1518.97	-286.031	-0.003	PT-2	172.7227	-1124.24	-62.6446	-0.003
PT-3	1345.42	-640.325	-30.8503	-0.053	PT-3	1129.704	-572.363	-2.90863	-0.053
PT-4	1210.449	-875.353	-31.4257	-0.103	PT-4	1071.396	-875.353	-37.4624	-0.103
PT-5	1135.151	-1350.09	-54.5906	-0.153	PT-5	1091.335	-1259.57	56.67163	-0.153
PT-6	1211.982	-1034.83	77.19611	-0.203	PT-6	1055.953	-1222.06	115.6622	-0.203
PT-7	406.7609	-568.351	-12.4654	-0.252	PT-7	337.1101	-672.827	-24.6865	-0.252

1.9.1					1.9.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	2102.018	-1007.72	60.57238	0.102	PT-0	2774.394	-503.442	257.5151	0.102
PT-1	392.369	-672.554	49.45613	0.047	PT-1	135.3186	-672.554	-152.607	0.047
PT-2	497.4395	-869.625	12.22202	-0.003	PT-2	113.0154	-798.361	-121.704	-0.003
PT-3	793.9435	-730.825	-184.737	-0.053	PT-3	913.6779	-433.792	15.31497	-0.053
PT-4	844.7846	-962.91	-105.463	-0.103	PT-4	820.4736	-882.931	-37.7208	-0.103
PT-5	873.1934	-1309.79	-45.917	-0.153	PT-5	896.546	-984.178	65.03501	-0.153
PT-6	876.2553	-1027.29	22.61282	-0.203	PT-6	813.8439	-871.262	83.9518	-0.203
PT-7	386.5622	-553.724	-21.2768	-0.252	PT-7	316.9113	-518.899	-37.6583	-0.252

1.9.3					2.1.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	2858.071	-1764.52	292.0361	0.102	PT-0	2520.572	-589.17	401.5814	0.102
PT-1	185.8354	-1393.19	-238.904	0.047	PT-1	287.3124	-667.446	-7.41336	0.047
PT-2	128.4115	-1659.29	-432.936	-0.003	PT-2	122.6199	-964.021	-135.125	-0.003
PT-3	1189.32	-548.208	-72.9278	-0.053	PT-3	1043.537	-410.312	54.45375	-0.053
PT-4	1167.864	-848.411	-31.9659	-0.103	PT-4	959.2838	-848.411	-35.5235	-0.103
PT-5	1081.752	-1403.49	-64.2105	-0.153	PT-5	970.7674	-1245.8	50.516	-0.153
PT-6	1061.929	-1216.09	32.22145	-0.203	PT-6	905.9006	-997.645	86.06122	-0.203
PT-7	417.2085	-627.554	-14.2203	-0.252	PT-7	382.3831	-557.903	-19.1717	-0.252

2.1.2					2.1.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	69.2548	-14.7923	31.77042	0.142	PT-0	237.0418	-15.0995	84.147	0.142
PT-1	440.6133	-624.31	25.23244	0.087	PT-1	475.0584	-479.7	-25.4728	0.087
PT-2	621.7566	-394.779	231.5298	0.037	PT-2	972.2159	-219.584	232.1237	0.037
PT-3	672.628	-249.325	-48.0729	-0.013	PT-3	749.3884	-598.082	-104.821	-0.013
PT-4	812.3508	-473.894	-15.6542	-0.063	PT-4	709.1947	-924.683	-86.0822	-0.063
PT-5	759.5218	-953.281	35.42578	-0.113	PT-5	714.3934	-1132.75	-35.208	-0.113
PT-6	681.8439	-816.028	32.43653	-0.163	PT-6	732.5735	-952.533	-27.3451	-0.163
PT-7	314.8218	-416.512	-17.2072	-0.212	PT-7	319.7244	-446.435	-4.93721	-0.212

2.1.4					2.2.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	3025.695	-1092.61	103.5584	0.142	PT-0	3277.837	-504.283	30.87951	0.142
PT-1	660.0117	-661.962	51.30464	0.087	PT-1	771.6006	-733.98	22.22762	0.087
PT-2	149.6536	-1042.15	-317.838	0.037	PT-2	1473.623	-279.024	246.5211	0.037
PT-3	889.6416	-280.53	-30.1516	-0.013	PT-3	1183.881	-269.968	283.4478	-0.013
PT-4	1018.59	-476.235	-18.4874	-0.063	PT-4	913.2571	-477.278	-10.0176	-0.063
PT-5	874.9723	-972.168	-27.7481	-0.113	PT-5	870.982	-942.574	23.4356	-0.113
PT-6	805.1063	-1004.82	18.85312	-0.163	PT-6	748.6241	-811.66	4.885801	-0.163
PT-7	347.9377	-453.047	6.068891	-0.212	PT-7	347.2764	-384.057	13.76112	-0.212

2.2.2					2.2.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1933.083	-336.188	20.80984	0.142	PT-0	2437.366	-1344.75	53.24789	0.142
PT-1	626.9623	-695.011	-8.82746	0.087	PT-1	808.7805	-806.965	21.56515	0.087
PT-2	794.4065	-327.288	187.674	0.037	PT-2	1057.194	-379.977	228.8368	0.037
PT-3	953.4691	-145.783	59.50018	-0.013	PT-3	1024.743	-429.106	45.32303	-0.013
PT-4	982.7838	-442.514	-4.41969	-0.063	PT-4	1018.59	-476.235	2.861913	-0.063
PT-5	739.0922	-1108.05	-156.094	-0.113	PT-5	872.8576	-1007.87	-59.2745	-0.113
PT-6	842.2411	-905.277	15.64235	-0.163	PT-6	841.3049	-968.624	5.139962	-0.163
PT-7	316.9113	-484.073	-21.2874	-0.212	PT-7	364.9704	-470.84	-9.79683	-0.212

2.2.4					2.3.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	2353.319	-336.188	90.44262	0.142	PT-0	2521.413	-252.141	26.24172	0.142
PT-1	642.6259	-312.133	60.85035	0.087	PT-1	771.6006	-550.373	-4.09296	0.087
PT-2	669.8588	-311.624	196.8058	0.037	PT-2	1237.369	-304.961	217.7128	0.037
PT-3	711.5212	-352.271	-133.394	-0.013	PT-3	914.4634	-397.547	19.86521	-0.013
PT-4	914.3	-441.471	4.292758	-0.063	PT-4	949.0633	-441.471	6.339378	-0.063
PT-5	896.2101	-883.761	50.48749	-0.113	PT-5	964.7222	-916.002	60.86811	-0.113
PT-6	840.9464	-937.777	70.62222	-0.163	PT-6	780.4538	-1060.68	3.806195	-0.163
PT-7	364.9704	-505.665	-17.6104	-0.212	PT-7	375.7663	-494.869	-1.32356	-0.212

2.3.2					2.3.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	84.04709	0	67.96275	0.142	PT-0	2268.417	-673.232	1.01194	0.142
PT-1	183.6074	-550.822	26.32024	0.087	PT-1	659.7122	-772.425	15.71641	0.087
PT-2	199.8018	-746.628	-210.79	0.037	PT-2	1051.588	-455.688	230.0553	0.037
PT-3	772.6244	-149.329	48.42247	-0.013	PT-3	1049.21	-369.179	56.65945	-0.013
PT-4	810.0099	-441.471	12.04792	-0.063	PT-4	935.1346	-524.927	-64.2977	-0.063
PT-5	796.8004	-882.418	54.80112	-0.113	PT-5	892.6724	-1021.64	-56.0342	-0.113
PT-6	686.5248	-873.759	11.77102	-0.163	PT-6	846.6099	-1244.17	-2.77508	-0.163
PT-7	340.9409	-460.044	-4.91562	-0.212	PT-7	414.4225	-595.515	-10.4308	-0.212

2.3.4					2.4.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	2101.079	-252.24	-13.886	0.142	PT-0	161.3994	-6.69481	76.02063	0.142
PT-1	545.5621	-445.918	58.59291	0.087	PT-1	146.8859	-550.822	-9.11769	0.087
PT-2	319.5306	-521.74	-60.2653	0.037	PT-2	175.2647	-1226.85	-249.729	0.037
PT-3	836.8066	-156.066	64.98262	-0.013	PT-3	779.9516	-425.679	80.13136	-0.013
PT-4	874.4959	-446.512	17.23792	-0.063	PT-4	792.6282	-458.853	8.732826	-0.063
PT-5	848.8562	-897.531	58.89277	-0.113	PT-5	850.1996	-896.187	71.91746	-0.113
PT-6	783.84	-932.472	63.4355	-0.163	PT-6	723.6131	-774.259	59.00071	-0.163
PT-7	344.7716	-491.038	-12.4801	-0.212	PT-7	310.6427	-385.866	-4.57964	-0.212

2.4.2					2.4.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h	A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	1695.201	-658.118	-32.5114	0.142	PT-0	84.04709	-1344.75	-9.72935	0.142
PT-1	587.5436	-220.329	56.65599	0.087	PT-1	352.5262	-638.954	-31.5103	0.087
PT-2	528.1108	-383.266	90.35953	0.037	PT-2	266.6341	-1240.64	-243.165	0.037
PT-3	843.5439	-184.788	21.19626	-0.013	PT-3	813.9566	-462.594	-31.7071	-0.013
PT-4	966.445	-458.853	11.40087	-0.063	PT-4	936.989	-418.782	49.29643	-0.063
PT-5	826.847	-1020.29	-63.9997	-0.113	PT-5	875.8617	-904.11	43.7465	-0.113
PT-6	786.3829	-1054.75	-1.53872	-0.163	PT-6	838.88	-815.021	87.07619	-0.163
PT-7	380.2936	-525.167	-9.67035	-0.212	PT-7	348.2542	-452.73	-13.9473	-0.212

2.4.4				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE	h
PT-0	2214.113	-559.441	29.05393	0.142
PT-1	492.0678	-315.805	66.75167	0.087
PT-2	354.0044	-557.372	-27.4544	0.037
PT-3	953.8237	-180.888	22.14197	-0.013
PT-4	1008.161	-451.9	23.38149	-0.063
PT-5	1030.883	-917.01	55.57764	-0.113
PT-6	936.1237	-998.628	61.46706	-0.163
PT-7	417.905	-522.381	-18.5327	-0.212

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ : Πίνακες μεγίστων ελαχίστων και μέσων τιμών για υδροδυναμικές +υδροστατικές πιέσεις

1.1.1					1.1.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	84.05399	0.006895	0.075115	0.102	PT-0	459.6942	-464.824	20.26508	0.102
PT-1	209.3124	-157.902	-17.9748	0.047	PT-1	579.0617	-118.646	118.5965	0.047
PT-2	523.9082	-177.151	11.74434	-0.003	PT-2	791.2372	-50.0335	57.83451	-0.003
PT-3	1104.618	40.82573	533.7523	-0.053	PT-3	1314.816	38.2657	512.543	-0.053
PT-4	1406.756	329.0915	988.9535	-0.103	PT-4	1712.673	183.0853	1007.551	-0.103
PT-5	1974.313	1067.535	1594.178	-0.153	PT-5	2075.066	530.1854	1464.558	-0.153
PT-6	2393.625	1582.277	2048.539	-0.203	PT-6	2703.089	1267.628	2078.171	-0.203
PT-7	2777.599	2115.916	2477.732	-0.252	PT-7	2690.536	1994.027	2423.352	-0.252

1.2.1					1.3.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	661.2072	-599.499	-78.1515	0.102	PT-0	252.1482	-252.134	0.448181	0.102
PT-1	364.4417	-186.38	41.40443	0.047	PT-1	332.2156	-218.607	7.507519	0.047
PT-2	583.4982	-82.5078	28.54537	-0.003	PT-2	695.4553	-75.7095	49.06855	-0.003
PT-3	1140.475	5.763817	462.7897	-0.053	PT-3	1244.883	74.71139	507.0222	-0.053
PT-4	1465.83	40.53208	915.4834	-0.103	PT-4	1650.099	155.2746	996.6779	-0.103
PT-5	1979.792	737.1702	1473.981	-0.153	PT-5	2138.876	761.9175	1531.188	-0.153
PT-6	2487.6	1395.402	1989.77	-0.203	PT-6	2674.476	1395.043	2033.845	-0.203
PT-7	2695.003	2068.145	2422.878	-0.252	PT-7	2791.529	2129.846	2503.001	-0.252

1.3.2					1.3.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	168.0942	-252.141	68.48006	0.102	PT-0	504.3515	-168.025	5.057977	0.102
PT-1	253.3782	-370.887	-42.7628	0.047	PT-1	345.2577	-205.564	10.55424	0.047
PT-2	643.0882	-57.9707	45.72846	-0.003	PT-2	678.1412	-93.0236	38.88989	-0.003
PT-3	1137.294	2.582576	462.2862	-0.053	PT-3	1241.701	71.53015	514.8788	-0.053
PT-4	1500.593	75.29545	918.725	-0.103	PT-4	1650.099	155.2746	1003.251	-0.103
PT-5	2142.129	832.3385	1501.341	-0.153	PT-5	2128.801	718.2578	1549.28	-0.153
PT-6	2553.132	1336.111	1957.73	-0.203	PT-6	2615.185	1273.341	1977.481	-0.203
PT-7	2705.45	2113.418	2443.506	-0.252	PT-7	2836.802	2175.119	2542.526	-0.252

1.3.4					1.4.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	252.1689	-252.114	79.71677	0.102	PT-0	336.2159	-168.067	27.56197	0.102
PT-1	418.6248	-389.248	-60.593	0.047	PT-1	418.6248	-352.526	-75.3373	0.047
PT-2	670.8989	-65.213	61.36265	-0.003	PT-2	797.3212	-79.0025	50.86935	-0.003
PT-3	1183.392	13.2205	470.2399	-0.053	PT-3	1367.02	161.3888	605.3538	-0.053
PT-4	1501.304	110.769	920.9657	-0.103	PT-4	1691.815	162.2273	1006.455	-0.103
PT-5	1991.262	748.6403	1459.946	-0.153	PT-5	2182.536	738.4085	1562.881	-0.153
PT-6	2537.529	1320.508	1953.922	-0.203	PT-6	2630.788	1257.738	1970.6	-0.203
PT-7	2740.346	2113.489	2452.784	-0.252	PT-7	2747.241	2085.558	2457.268	-0.252

1.4.2					1.4.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	546.3061	-126.071	33.84377	0.102	PT-0	282.0859	-379.597	-10.8519	0.102
PT-1	220.3289	-330.493	-52.2561	0.047	PT-1	661.2017	-743.054	-17.7647	0.047
PT-2	636.0776	-64.9813	40.86007	-0.003	PT-2	690.8854	-753.242	94.73137	-0.003
PT-3	1168.843	69.59134	478.037	-0.053	PT-3	1190.886	-303.938	524.9353	-0.053
PT-4	1531.88	106.5825	940.1274	-0.103	PT-4	1832.698	662.5268	1092.914	-0.103
PT-5	2004.695	694.9053	1460.767	-0.153	PT-5	2177.684	1406.519	1508.194	-0.153
PT-6	2559.373	1311.146	1957.264	-0.203	PT-6	2282.954	1695.41	1941.53	-0.203
PT-7	2754.206	2127.348	2459.492	-0.252	PT-7	2934.379	2346.049	2503.882	-0.252

1.4.4					1.4.5				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	336.1884	-168.094	23.46146	0.102	PT-0	1008.565	-168.094	86.24261	0.102
PT-1	345.1819	-352.526	-83.0692	0.047	PT-1	450.8509	-283.579	-35.5739	0.047
PT-2	681.6465	-54.4654	54.92417	-0.003	PT-2	751.7524	-89.5184	57.11319	-0.003
PT-3	1194.03	23.85842	470.5666	-0.053	PT-3	1377.658	136.567	605.6714	-0.053
PT-4	1594.455	99.6298	945.3075	-0.103	PT-4	1743.96	179.609	1020.421	-0.103
PT-5	2038.28	627.7366	1460.206	-0.153	PT-5	2263.139	651.0891	1568.454	-0.153
PT-6	2584.338	1242.494	1950.729	-0.203	PT-6	2677.596	1179.724	1972.958	-0.203
PT-7	2754.206	2092.523	2461.666	-0.252	PT-7	2754.206	2057.698	2452.54	-0.252

1.5.1					1.5.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1008.565	-84.0471	94.06725	0.102	PT-0	1346.063	-166.784	63.58204	0.102
PT-1	356.1983	-488.396	-98.3488	0.047	PT-1	498.5889	-272.562	-38.3233	0.047
PT-2	769.0472	-37.1706	89.23901	-0.003	PT-2	965.5753	-50.9601	97.91492	-0.003
PT-3	1271.676	30.58563	480.9623	-0.053	PT-3	1480.491	168.4808	617.158	-0.053
PT-4	1698.455	134.1036	961.5433	-0.103	PT-4	1768.271	99.6298	930.813	-0.103
PT-5	2135.674	490.0407	1461.208	-0.153	PT-5	2236.428	389.2876	1452.616	-0.153
PT-6	2649.87	1120.792	1958.777	-0.203	PT-6	2712.281	995.9691	1927.579	-0.203
PT-7	2761.171	2064.663	2462.007	-0.252	PT-7	2795.996	1995.012	2460.533	-0.252

1.5.3					1.5.4				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1008.565	-84.0471	75.12859	0.102	PT-0	603.4292	-152.995	29.97188	0.102
PT-1	414.9527	-466.363	-74.1162	0.047	PT-1	304.7883	-356.198	-87.71	0.047
PT-2	776.2894	-64.9813	72.72346	-0.003	PT-2	846.3953	-64.9813	66.31963	-0.003
PT-3	1264.584	58.95342	489.4106	-0.053	PT-3	1333.532	92.44126	545.5761	-0.053
PT-4	1636.171	106.5825	935.3853	-0.103	PT-4	1750.913	186.5617	1011.666	-0.103
PT-5	2105.449	526.9835	1454.075	-0.153	PT-5	2263.139	785.4266	1572.291	-0.153
PT-6	2643.629	1176.962	1964.067	-0.203	PT-6	2705.681	1270.22	1992.26	-0.203
PT-7	2754.206	2057.698	2468.336	-0.252	PT-7	2789.031	2092.523	2473.122	-0.252



1.5.5					1.5.6				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1008.565	-168.094	20.56347	0.102	PT-0	672.3767	-504.283	5.840415	0.102
PT-1	425.9691	-455.346	-97.6761	0.047	PT-1	458.1952	-276.234	-41.7191	0.047
PT-2	852.5951	11.32437	128.3498	-0.003	PT-2	923.2801	-58.2024	86.20846	-0.003
PT-3	1390.268	113.7171	556.8048	-0.053	PT-3	1356.78	44.76953	477.3994	-0.053
PT-4	1681.363	82.24812	921.562	-0.103	PT-4	1716.126	82.24812	925.3799	-0.103
PT-5	2165.9	453.0979	1466.021	-0.153	PT-5	2268.432	622.7985	1528.887	-0.153
PT-6	2681.075	1120.792	1960.541	-0.203	PT-6	2743.128	1182.845	1988.95	-0.203
PT-7	2744.11	1977.951	2429.111	-0.252	PT-7	2847.883	2116.549	2495.72	-0.252

1.6.1					1.6.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	924.518	-588.33	-60.6808	0.102	PT-0	840.4709	-672.377	-124.244	0.102
PT-1	679.3473	-348.854	-88.7064	0.047	PT-1	495.7399	-312.133	-84.2078	0.047
PT-2	1035.681	-50.9601	85.62981	-0.003	PT-2	1035.681	-86.0131	82.52755	-0.003
PT-3	1413.515	30.58563	494.9577	-0.053	PT-3	1333.309	-14.1613	440.4794	-0.053
PT-4	1740.461	106.5825	927.878	-0.103	PT-4	1889.967	151.7983	1007.903	-0.103
PT-5	2239.786	258.3086	1456.582	-0.153	PT-5	2397.476	516.7517	1570.563	-0.153
PT-6	2746.607	967.884	1965.159	-0.203	PT-6	2808.66	1123.554	2000.089	-0.203
PT-7	2809.927	1974.117	2459.374	-0.252	PT-7	2809.927	2043.767	2459.266	-0.252

1.6.3					1.6.4				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	168.0942	-84.0471	28.95843	0.102	PT-0	924.518	-420.235	62.36169	0.102
PT-1	279.0832	-308.46	-52.6616	0.047	PT-1	242.3618	-308.46	-99.1597	0.047
PT-2	734.2259	-71.9919	61.47937	-0.003	PT-2	769.2788	-71.9919	57.57135	-0.003
PT-3	1303.59	62.4994	497.1675	-0.053	PT-3	1363.251	51.24026	501.4835	-0.053
PT-4	1705.697	106.5825	950.8866	-0.103	PT-4	1785.677	186.5617	1016.775	-0.103
PT-5	2169.259	523.625	1476.669	-0.153	PT-5	2169.259	557.2094	1461.664	-0.153
PT-6	2640.508	1142.636	1969.98	-0.203	PT-6	2702.919	1173.841	1938.341	-0.203
PT-7	2806.444	2075.11	2466.046	-0.252	PT-7	2806.444	2075.11	2467.896	-0.252

1.7.1					1.7.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	252.1413	1.47E-10	99.24652	0.102	PT-0	491.7044	-264.719	111.2518	0.102
PT-1	477.2606	-477.498	-23.2707	0.047	PT-1	399.6955	-408.177	-51.357	0.047
PT-2	869.8154	-321.985	129.7232	-0.003	PT-2	848.823	-483.189	65.97848	-0.003
PT-3	1314.212	-33.2577	460.0026	-0.053	PT-3	1352.525	-30.4051	451.9175	-0.053
PT-4	1713.84	79.96176	918.563	-0.103	PT-4	1771.296	67.89085	900.1041	-0.103
PT-5	2218.51	371.3698	1468.908	-0.153	PT-5	2267.325	252.2634	1451.884	-0.153
PT-6	2755.496	1070.389	1995.577	-0.203	PT-6	2793.416	1014.692	1984.331	-0.203
PT-7	2793.112	2026.953	2468.45	-0.252	PT-7	2818.285	1982.475	2455.324	-0.252

1.9.1					1.9.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	2102.018	-1007.72	60.57238	0.102	PT-0	2774.394	-503.442	257.5151	0.102
PT-1	392.369	-672.554	49.45613	0.047	PT-1	135.3186	-672.554	-152.607	0.047
PT-2	526.8695	-840.195	41.65202	-0.003	PT-2	142.4454	-768.931	-92.2736	-0.003
PT-3	1313.874	-210.895	335.193	-0.053	PT-3	1433.608	86.13786	535.245	-0.053
PT-4	1855.215	47.51952	904.9667	-0.103	PT-4	1830.904	127.4987	972.7092	-0.103
PT-5	2374.123	191.1399	1455.013	-0.153	PT-5	2397.476	516.7517	1565.965	-0.153
PT-6	2867.685	964.1393	2014.043	-0.203	PT-6	2805.274	1120.168	2075.382	-0.203
PT-7	2858.682	1918.396	2450.843	-0.252	PT-7	2789.031	1953.221	2434.462	-0.252

1.8.3					1.8.4				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	2694.55	-1591.85	6.261041	0.102	PT-0	1677.435	-1600.4	49.15842	0.102
PT-1	442.8421	-1062.74	28.71423	0.047	PT-1	148.9186	-1026.17	-175.131	0.047
PT-2	228.0494	-1489.54	-256.601	-0.003	PT-2	202.1527	-1094.81	-33.2146	-0.003
PT-3	1865.35	-120.395	489.0797	-0.053	PT-3	1649.634	-52.4334	517.0214	-0.053
PT-4	2220.879	135.0771	979.0043	-0.103	PT-4	2081.826	135.0771	972.9676	-0.103
PT-5	2636.081	150.8386	1446.339	-0.153	PT-5	2592.265	241.3599	1557.602	-0.153
PT-6	3203.412	956.6035	2068.626	-0.203	PT-6	3047.383	769.3694	2107.092	-0.203
PT-7	2878.881	1903.769	2459.655	-0.252	PT-7	2809.23	1799.293	2447.434	-0.252

1.9.1					1.9.2				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	2102.018	-1007.72	60.57238	0.102	PT-0	2774.394	-503.442	257.5151	0.102
PT-1	392.369	-672.554	49.45613	0.047	PT-1	135.3186	-672.554	-152.607	0.047
PT-2	526.8695	-840.195	41.65202	-0.003	PT-2	142.4454	-768.931	-92.2736	-0.003
PT-3	1313.874	-210.895	335.193	-0.053	PT-3	1433.608	86.13786	535.245	-0.053
PT-4	1855.215	47.51952	904.9667	-0.103	PT-4	1830.904	127.4987	972.7092	-0.103
PT-5	2374.123	191.1399	1455.013	-0.153	PT-5	2397.476	516.7517	1565.965	-0.153
PT-6	2867.685	964.1393	2014.043	-0.203	PT-6	2805.274	1120.168	2075.382	-0.203
PT-7	2858.682	1918.396	2450.843	-0.252	PT-7	2789.031	1953.221	2434.462	-0.252

1.9.3					2.1.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	2858.071	-1764.52	292.0361	0.102	PT-0	2520.572	-589.17	401.5814	0.102
PT-1	185.8354	-1393.19	-238.904	0.047	PT-1	287.3124	-667.446	-7.41336	0.047
PT-2	157.8415	-1629.86	-403.506	-0.003	PT-2	152.0499	-934.591	-105.695	-0.003
PT-3	1709.25	-28.2775	447.0022	-0.053	PT-3	1563.467	109.6176	574.3837	-0.053
PT-4	2178.294	162.0187	978.4641	-0.103	PT-4	1969.714	162.0187	974.9065	-0.103
PT-5	2582.682	97.43948	1436.72	-0.153	PT-5	2471.697	255.1295	1551.446	-0.153
PT-6	3053.359	775.345	2023.651	-0.203	PT-6	2897.331	993.7847	2077.491	-0.203
PT-7	2889.329	1844.566	2457.9	-0.252	PT-7	2854.503	1914.217	2452.948	-0.252

2.1.2					2.1.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	69.2548	-14.7923	31.77042	0.142	PT-0	237.0418	-15.0995	84.147	0.142
PT-1	440.6133	-624.31	25.23244	0.087	PT-1	475.0584	-479.7	-25.4728	0.087
PT-2	651.1866	-365.349	260.9598	0.037	PT-2	609.2459	-582.554	-130.846	0.037
PT-3	1192.558	270.6048	471.8571	-0.013	PT-3	876.9184	-470.552	22.70865	-0.013
PT-4	1822.781	536.5363	994.7758	-0.063	PT-4	1327.225	-306.653	531.9478	-0.063
PT-5	2260.452	547.6493	1536.356	-0.113	PT-5	1822.923	-24.2166	1073.322	-0.113
PT-6	2673.274	1175.402	2023.867	-0.163	PT-6	2331.603	646.4972	1571.685	-0.163
PT-7	2786.942	2055.608	2454.913	-0.212	PT-7	2399.444	1633.285	2074.783	-0.212

2.1.4					2.2.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	3025.695	-1092.61	103.5584	0.142	PT-0	3277.837	-504.283	30.87951	0.142
PT-1	660.0117	-661.962	51.30464	0.087	PT-1	771.6006	-733.98	22.22762	0.087
PT-2	-213.316	-1405.12	-680.808	0.037	PT-2	1110.653	-641.994	-116.449	0.037
PT-3	1017.172	-153	97.37839	-0.013	PT-3	1311.411	-142.438	410.9778	-0.013
PT-4	1636.62	141.7953	599.5426	-0.063	PT-4	1531.287	140.7524	608.0124	-0.063
PT-5	1983.502	136.3623	1080.782	-0.113	PT-5	1979.512	165.9564	1131.966	-0.113
PT-6	2404.136	594.2074	1617.883	-0.163	PT-6	2347.654	787.3705	1603.916	-0.163
PT-7	2427.658	1626.673	2085.789	-0.212	PT-7	2426.996	1695.663	2093.481	-0.212

2.2.2					2.2.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1933.083	-336.188	20.80984	0.142	PT-0	2437.366	-1344.75	53.24789	0.142
PT-1	626.9623	-695.011	-8.82746	0.087	PT-1	808.7805	-806.965	21.56515	0.087
PT-2	431.4365	-690.258	-175.296	0.037	PT-2	694.2238	-742.947	-134.133	0.037
PT-3	1080.999	-18.2527	187.0302	-0.013	PT-3	1152.273	-301.576	172.853	-0.013
PT-4	1600.814	175.5158	613.6103	-0.063	PT-4	1636.62	141.7953	620.8919	-0.063
PT-5	1847.622	0.482243	952.4357	-0.113	PT-5	1981.388	100.6633	1049.255	-0.113
PT-6	2441.271	693.7535	1614.672	-0.163	PT-6	2440.335	630.406	1604.17	-0.163
PT-7	2396.631	1595.647	2058.433	-0.212	PT-7	2444.69	1608.88	2069.923	-0.212

2.2.4					2.3.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	2353.319	-336.188	90.44262	0.142	PT-0	2521.413	-252.141	26.24172	0.142
PT-1	642.6259	-312.133	60.85035	0.087	PT-1	771.6006	-550.373	-4.09296	0.087
PT-2	306.8888	-674.594	-166.164	0.037	PT-2	874.399	-667.931	-145.257	0.037
PT-3	839.0512	-224.741	-5.86433	-0.013	PT-3	1041.993	-270.017	147.3952	-0.013
PT-4	1532.33	176.5587	622.3228	-0.063	PT-4	1567.093	176.5587	624.3694	-0.063
PT-5	2004.74	224.7689	1159.017	-0.113	PT-5	2073.252	192.5279	1169.398	-0.113
PT-6	2439.976	661.2531	1669.652	-0.163	PT-6	2379.484	538.3492	1602.836	-0.163
PT-7	2444.69	1574.055	2062.11	-0.212	PT-7	2455.486	1584.851	2078.396	-0.212

2.3.2					2.3.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	84.04709	0	67.96275	0.142	PT-0	2268.417	-673.232	1.01194	0.142
PT-1	183.6074	-550.822	26.32024	0.087	PT-1	659.7122	-772.425	15.71641	0.087
PT-2	-163.168	-1109.6	-573.76	0.037	PT-2	688.6184	-818.658	-132.915	0.037
PT-3	900.1544	-21.7987	175.9525	-0.013	PT-3	1176.74	-241.649	184.1895	-0.013
PT-4	1428.04	176.5587	630.0779	-0.063	PT-4	1553.165	93.10317	553.7323	-0.063
PT-5	1905.33	226.1123	1163.331	-0.113	PT-5	2001.202	86.89368	1052.496	-0.113
PT-6	2285.555	725.2712	1610.801	-0.163	PT-6	2445.64	354.8599	1596.255	-0.163

2.3.4					2.4.1				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	2101.079	-252.24	-13.886	0.142	PT-0	161.3994	-6.69481	76.02063	0.142
PT-1	545.5621	-445.918	58.59291	0.087	PT-1	146.8859	-550.822	-9.11769	0.087
PT-2	-43.4394	-884.71	-423.235	0.037	PT-2	-187.705	-1589.82	-612.699	0.037
PT-3	964.3366	-28.5361	192.5126	-0.013	PT-3	907.4816	-298.149	207.6614	-0.013
PT-4	1492.526	171.518	635.2679	-0.063	PT-4	1410.658	159.177	626.7628	-0.063
PT-5	1957.386	210.9993	1167.423	-0.113	PT-5	1958.73	212.3427	1180.447	-0.113
PT-6	2382.87	666.5581	1662.466	-0.163	PT-6	2322.643	824.7708	1658.031	-0.163
PT-7	2424.492	1588.682	2067.24	-0.212	PT-7	2390.363	1693.854	2075.14	-0.212

2.4.2					2.4.3				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h		A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	1695.201	-658.118	-32.5114	0.142	PT-0	84.04709	-1344.75	-9.72935	0.142
PT-1	587.5436	-220.329	56.65599	0.087	PT-1	352.5262	-638.954	-31.5103	0.087
PT-2	165.1408	-746.236	-272.61	0.037	PT-2	-96.3359	-1603.61	-606.135	0.037
PT-3	971.0739	-57.2585	148.7263	-0.013	PT-3	941.4866	-335.064	95.82291	-0.013
PT-4	1584.475	159.177	629.4309	-0.063	PT-4	1555.019	199.2477	667.3264	-0.063
PT-5	1935.377	88.23706	1044.53	-0.113	PT-5	1984.392	204.4205	1152.276	-0.113
PT-6	2385.413	544.2783	1597.491	-0.163	PT-6	2437.91	784.0094	1686.106	-0.163
PT-7	2460.014	1554.553	2070.05	-0.212	PT-7	2427.974	1626.99	2065.773	-0.212

2.4.4				
A/A	MAX	MIN	AVERAGE h	
PT-0	2214.113	-559.441	29.05393	0.142
PT-1	492.0678	-315.805	66.75167	0.087
PT-2	-8.96558	-920.342	-390.424	0.037
PT-3	1081.354	-53.3579	149.672	-0.013
PT-4	1626.191	166.1297	641.4115	-0.063
PT-5	2139.413	191.5204	1164.108	-0.113
PT-6	2535.154	600.402	1660.497	-0.163
PT-7	2497.625	1557.339	2061.187	-0.212

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ : Πίνακας καταγραφόμενων τιμών από τους 4 μετρητές κύματος

Α/Α	Κωδικός Μέτρησης	Στάθμη Ηρεμίας Κύματος	Χαρακτηριστικά Κύματος							
			Probe #1		Probe #2		Probe #3		Probe #4	
			Hs(mm)	Tp(s)	Hs(mm)	Tp(s)	Hs(mm)	Tp(s)	Hs(mm)	Tp(s)
1	1.1.1	0.53	65.034	1.066667	67.90704	1.0666	59.68432	1.066667	67.17512	1.066667
2	1.1.2	0.53	78.511	1.422222	82.55738	1.2190	71.56018	1.219048	70.31334	1.066667
3	1.2.1	0.53	89.213	1.422222	87.57711	1.4222	56.87599	1.219048	69.95317	1.422222
4	1.3.1	0.53	97.980	1.422222	98.62489	1.4222	63.4007	1.422222	77.60443	1.422222
5	1.3.2	0.53	95.371	1.422222	93.87986	1.4222	61.46119	1.219048	75.22743	1.422222
6	1.3.3	0.53	95.371	1.422222	93.87986	1.4222	61.46119	1.422222	75.22743	1.422222
7	1.3.4	0.53	101.4	1.422222	101.6652	1.4222	68.17632	1.219048	81.74212	1.422222
8	1.4.1	0.53	95.722	1.422222	94.82326	1.4222	63.41994	1.219048	75.90703	1.422222
9	1.4.2	0.53	107.94	1.422222	107.6669	1.4222	71.93221	1.219048	86.91754	1.422222
10	1.4.3	0.53	108.55	1.422222	98.13471	1.422	66.45644	1.422222	83.36376	1.422222
11	1.4.4	0.53	105.4	1.422222	98.31209	1.4222	63.35717	1.219048	87.33393	1.422222
12	1.4.5	0.53	118.76	1.422222	108.2744	1.422	76.45092	1.422222	96.88309	1.422222
13	1.5.1	0.53	133.72	1.422222	119.9054	1.422	83.25787	1.422222	104.3413	1.422222
14	1.5.2	0.53	128.48	1.422222	119.7522	1.4222	78.12313	1.219048	109.0119	1.422222
15	1.5.3	0.53	128.48	1.422222	119.7522	1.422	79.25856	1.219048	109.0119	1.422222
16	1.5.4	0.53	109.4	1.422222	100.0106	1.4222	84.90062	1.706667	103.631	1.706667
17	1.5.5	0.53	115.02	1.422222	103.0641	1.4222	88.57528	1.706667	104.1959	1.706667
18	1.5.6	0.53	118.77	1.422222	108.3564	1.4222	92.51219	1.706667	112.5521	1.706667
19	1.6.1	0.53	125.74	1.422222	112.6517	1.4222	98.0561	1.706667	115.5086	1.706667
20	1.6.2	0.53	131.15	1.422222	120.0382	1.4222	104.9642	1.706667	126.9579	1.706667
21	1.6.3	0.53	138.55	1.422222	124.5885	1.4222	108.8674	1.706667	127.7415	1.706667
22	1.6.4	0.53	95.367	1.422222	91.02363	1.4222	98.81638	1.706667	110.2061	1.706667
23	1.7.1	0.53	103.13	1.422222	97.09154	1.4222	110.5643	1.706667	118.8256	1.706667
24	1.7.2	0.53	109.56	1.422222	102.9707	1.4222	117.2836	1.706667	126.2738	1.706667
25	1.8.1	0.53	115.55	1.422222	111.2943	1.4222	122.6281	1.706667	133.3459	1.706667
26	1.8.2	0.53	99.103	1.422222	98.2878	1.4222	110.2735	1.706667	117.346	1.706667
27	1.8.3	0.53	114.75	1.422222	114.7564	1.4222	109.9823	1.706667	110.1284	1.706667
28	1.8.4	0.53	115.11	1.422222	114.1741	1.4222	124.7515	1.706667	132.9771	1.706667
29	1.9.1	0.53	131.60	1.422222	126.3578	1.4222	141.6209	1.706667	150.0918	1.706667
30	1.9.2	0.53	117.83	1.422222	112.4054	1.422	123.2961	1.706667	126.1787	1.706667
31	1.9.3	0.53	122.47	1.422222	124.8274	1.7066	140.0456	1.706667	142.195	1.706667
32	2.1.1	0.49	137.29	1.422222	132.0237	1.422	146.2077	1.706667	146.5647	1.706667
33	2.1.2	0.49	122.21	1.422222	107.1086	1.4222	85.46982	1.706667	101.2965	1.706667
34	2.1.3	0.49	113.52	1.422222	103.5333	1.422	81.8509	1.706667	98.9961	1.422222
35	2.1.4	0.49	131.98	1.422222	116.5457	1.422	96.14983	1.706667	113.2831	1.706667
36	2.2.1	0.49	133.47	1.422222	120.7649	1.422	96.68753	1.706667	118.3081	1.422222
37	2.2.2	0.49	99.177	1.422222	93.01939	1.422	99.52176	1.706667	108.265	1.706667
38	2.2.3	0.49	103.93	1.422222	96.55593	1.422	90.87955	1.706667	103.3458	1.706667

39	2.2.4	0.49	115.48	1.422222	108.679	1.422	113.2135	1.706667	123.743	1.706667
40	2.3.1	0.49	112.74	1.422222	105.305	1.422	104.3964	1.706667	114.5446	1.706667
41	2.3.2	0.49	97.53	1.422222	95.81708	1.422	106.0686	1.706667	112.4899	1.706667
42	2.3.3	0.49	99.870	1.422222	96.01454	1.422	103.7125	1.706667	113.4199	1.706667
43	2.3.4	0.49	108.56	1.422222	107.3778	1.422	119.7901	1.706667	126.4768	1.706667
44	2.4.1	0.49	115.16	1.422222	109.314	1.4222	117.3767	1.706667	126.5826	1.706667
45	2.4.2	0.49	98.592	1.422222	97.30135	1.422	103.6947	1.706667	108.3794	1.706667
46	2.4.3	0.49	107.69	1.422222	105.9285	1.422	117.2012	1.706667	121.5227	1.706667
47	2.4.4	0.49	109.41	1.422222	108.3799	1.706	116.5496	1.706667	120.6056	1.706667

