

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract .....	5
1. Εισαγωγή .....	6
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	6
1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	7
2. Θεωρητικά Στοιχεία.....	8
2.1 Ορισμοί εννοιών.....	8
2.2 Επιδράσεις στη διατομή του κύματος. ....	9
2.3 Κίνηση ιζημάτων.....	10
2.4 Μεταφορά ιζημάτων (Στερεομεταφορά).....	11
2.4.1 Στερεομεταφορά κάθετα στην ακτογραμμή.....	11
2.4.2 Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτογραμμής .....	13
2.5 Έργα Προστασίας Ακτής .....	13
2.5.1 Έργα παράλληλα στην ακτογραμμή.....	13
2.5.2 Έργα κάθετα στην ακτογραμμή.....	14
2.6 Φυσικά προσομοιώματα σε αμμώδη πυθμένα.....	14
3. Περιοχή υπό διερεύνηση .....	15
4. Περιγραφή Πειραματικών Εγκαταστάσεων.....	19
4.1 Δεξαμενή Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε. ....	19
4.2 Σύστημα Παραγωγής Τυχαίων Κυματισμών .....	21
4.3 Μετρητές Κύματος .....	21
4.4 Βαθμονόμηση.....	22
5. Περιγραφή Φυσικού Προσομοιώματος – Διαδικασία Πειραμάτων.....	23
5.1 Κλίμακες ομοιότητας.....	23
5.2 Κατασκευή ομοιώματος .....	25
5.3 Παραγωγή κυμάτων .....	26
5.4 Διατάξεις υπό πειραματική διερεύνηση.....	28
5.5 Διαδικασία Πειραμάτων.....	46
6. Συλλογή και Επεξεργασία Μετρήσεων .....	48
6.1 Μετρήσεις Κυμάτων.....	48
6.2 Εξέλιξη Ακτογραμμής .....	52
6.3 Αποτύπωση Πυθμένα.....	52

7. Συγκριτικά Αποτελέσματα Μέτρησης Κυμάτων και Εξέλιξης Ακτογραμμής .....	53
7.1 Συγκριτικά Αποτελέσματα Μέτρησης Κυμάτων .....	53
7.2 Εξέλιξη Ακτογραμμής .....	59
7.3 Σύγκριση και Αξιολόγηση Μετρήσεων Εξέλιξης Ακτογραμμής .....	74
8. Αποτύπωση Επιφάνειας Φυσικού Πυθμένα.....	83
8.1 Υπολογισμός ισοβαθών και όγκου ιζημάτων.....	83
8.2 Σύγκριση βυθομετρίας νέου πυθμένα μεταξύ πειραμάτων με ίδιο ύψος κύματος και ίδια διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων .....	129
8.3 Σύγκριση μορφής ισοβαθών που προέκυψαν από τα προγράμματα Autocad και Surfer .....	131
9. Συμπεράσματα .....	132
Βιβλιογραφία.....	134

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή ΕΜΠ και επικεφαλής του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων κ. Κωνσταντίνο Μουτζούρη για την εμπιστοσύνη του να μου αναθέσει την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Χωρίς την αμέριστη βοήθειά του και τις επιστημονικές του γνώσεις και δεξιότητες δε θα ήταν δυνατή η επιτυχής ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ την επιστημονική συνεργάτη κ. Θεοδώρα Γιαντσή, της οποίας η βοήθεια, η γνώση και η εμπειρία αποδείχθηκαν πολύτιμες.

Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους Παναγιώτη Μαργαρώνη και Στάθη Τσούνη για την άψογη συνεργασία στην εκτέλεση των πειραμάτων.

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η συμπεριφορά της ακτής προ του ξενοδοχείου Venus στην περιοχή της Πάφου στην Κύπρο. Διεξήχθησαν πειράματα, με σκοπό να προσδιοριστούν η εξέλιξη της ακτογραμμής, η μεταφορά του ιζήματος του πυθμένα, αλλά και το ύψος της κυματικής διαταραχής.

Εξετάστηκαν τέσσερις διατάξεις έργων προστασίας ακτής. Η πρώτη περιλαμβάνει έξαλλο κυματοθραύστη, ίσαλο μώλο και δύο ίσαλους κυματοθραύστες κοντά στην ακτή, η δεύτερη δύο αποσπασμένους έξαλλους κυματοθραύστες, ενώ η τρίτη και η τέταρτη τα έργα της δεύτερης με την προσθήκη ενός προβόλου σε διαφορετικές θέσεις.

Προκειμένου να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα των προαναφερθέντων έργων, κατασκευάστηκε φυσικό προσομοίωμα της περιοχής με μεταβαλλόμενο αμμώδη πυθμένα σε κλίμακα 1:40. Ελέγχθηκαν διατάξεις με τα έργα προστασίας και χωρίς αυτά για 2 διευθύνσεις πρόσπτωσης κυμάτων (Δυτική και Νοτιοδυτική) και για 2 διαφορετικές κυματικές συνθήκες.

Τα πειράματα έλαβαν χώρα στην τρισδιάστατη δεξαμενή δοκιμών, του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Για κάθε πειραματική διάταξη έγιναν μετρήσεις κυματικής διαταραχής, αποτυπώθηκε η εξέλιξη της ακτογραμμής, καθώς και η μορφή του πυθμένα.

Έγινε επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων με χρήση λογισμικών προγραμμάτων, σχεδιάστηκαν οι καινούριες ισοβαθείς και υπολογίστηκε η μεταβολή του ιζήματος του πυθμένα μετά από κάθε πείραμα σε σχέση με την αρχική κατάσταση.

## Abstract

This thesis studied the behavior of the coast in front of Venus hotel in the Paphos area of Cyprus. Experiments were conducted, in order to study the shoreline evolution of the coastline, the sediment transport in the bottom of the studied area, as well as the size of the wave disturbance.

Four layouts of coastal protection works were examined . The first includes a breakwater with crest above sea level, a jetty and two breakwaters with crest at sea level. The second includes two detached breakwaters with crest above sea level. The third and fourth include the works of the second with the addition of a cantilever in two different positions.

To test the effectiveness of the above works, a physical model of the region with movable sand bed was built in a geometrical scale of 1:40. Layouts with and without the coastal protection works were tested for two different directions of wave attack (W AND NW) and for two different wave heights.

The tests were conducted in the 3D wave basin of the Laboratory of Harbour Works of the Department of Civil Engineering of National Technical University of Athens.

For each experimental set wave height measurements were conducted, the evolution of the shoreline was examined, as well as the shape of the natural bottom.

The experimental data were edited using computer software, the new depth contours were designed and the bottom sediment movement was examined in comparison with the initial state after each experiment.

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς της ακτής προ του ξενοδοχείου Venus στην Πάφο της Κύπρου.

Η συγκεκριμένη περιοχή αντιμετωπίζει πολύ σοβαρό πρόβλημα εξαιτίας των κυματισμών μεγάλου ύψους που την πλήττουν. Μάλιστα, παρατηρούνται πολύ έντονα ρεύματα, τα οποία ευθύνονται για τους πνιγμούς που σημειώνονται στην περιοχή.

Για τη μελέτη των παραπάνω δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο φυσικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενο αμμώδη πυθμένα της ακτής στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων ΕΜΠ.

Σε φυσικό προσομοίωμα ελέγχθηκαν η υφιστάμενη κατάσταση, καθώς και οι διατάξεις με τα προτεινόμενα έργα προστασίας σε κυματική δράση προερχόμενη από 2 διευθύνσεις πρόσπτωσης κυματισμών και για δύο διαφορετικά ύψη κύματος (ακραίο και σύνηθες).

Η πρώτη διάταξη περιλαμβάνει έναν έξαλλο κυματοθραύστη, έναν ίσαλο μώλο, καθώς και δύο ίσαλους κυματοθραύστες σε κοντινή απόσταση από την ακτή. Η δεύτερη δύο έξαλλους αποσπασμένους κυματοθραύστες. Η τρίτη τα έργα της δεύτερης με την προσθήκη ενός προβόλου, ενώ η τέταρτη τα έργα της τρίτης με τον πρόβολο να βρίσκεται τοποθετημένος σε διαφορετικό σημείο.

Τελικά, μετά από κάθε πείραμα έγινε προσδιορισμός του ύψους κύματος στην περιοχή, χαράχθηκε η μορφή της καινούριας ακτογραμμής, αποτυπώθηκε η μεταβολή του αμμώδους πυθμένα μετά την κυματική δράση και έγινε εκτίμηση του διακινηθέντος όγκου ιζήματος.

## 1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται στα εξής κεφάλαια:

**1° Κεφάλαιο**, όπου παρουσιάζεται το αντικείμενο και η διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.

**2° Κεφάλαιο**, όπου ορίζονται βασικές έννοιες της ακτομηχανικής και περιγράφονται οι θεωρητικοί μηχανισμοί που διέπουν την κίνηση και μεταφορά των ιζημάτων.

**3° Κεφάλαιο**, όπου παρουσιάζεται η περιοχή διερεύνησης.

**4° Κεφάλαιο**, όπου παρουσιάζονται οι εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π., στις οποίες έγιναν τα πειράματα.

**5° Κεφάλαιο**, όπου περιγράφεται το φυσικό προσομοίωμα και ο τρόπος κατασκευής του, καθώς και οι κλίμακες ομοιότητας που χρησιμοποιήθηκαν. Ακόμα, γίνεται αναφορά στην πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

**6° Κεφάλαιο**, όπου γίνεται περιγραφή της μεθόδου συλλογής και επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων για τις μετρήσεις των κυμάτων, την εξέλιξη της ακτογραμμής, την αποτύπωση της μεταβολής του πυθμένα και τον υπολογισμό των όγκων των ιζημάτων.

**7° Κεφάλαιο**, όπου παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις κύματος και την εξέλιξη της ακτογραμμής.

**8° Κεφάλαιο**, όπου παρουσιάζεται η αποτύπωση του φυσικού πυθμένα, καθώς και οι όγκοι των ιζημάτων που διακινήθηκαν.

**9° Κεφάλαιο**, στο οποίο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται.

## 2. Θεωρητικά Στοιχεία

### 2.1 Ορισμοί εννοιών

**Ακτή** ονομάζεται η ζώνη ξηράς, το ανάγλυφο της οποίας σχηματίστηκε από τη δράση της θάλασσας. Έχει εξωτερικό όριο (προς τη θάλασσα) την ακτογραμμή. Εσωτερικό όριο της ακτής (προς τη ξηρά) είναι για τις βραχώδεις ακτές η ακμή που σχηματίζεται από την απότομη αλλαγή κλίσης της επιφάνειας του εδάφους και για τις ιζηματογενείς ακτές το πέρας της ζώνης εναπόθεσης θαλάσσιων ιζημάτων.

**Ακτογραμμή** είναι η τομή της θαλάσσιας επιφάνειας με την επιφάνεια του εδάφους της ξηράς ή του πυθμένα. Μεταβολή της ακτογραμμής μπορεί να οφείλεται είτε σε μεταβολή της επιφάνειας του εδάφους της ακτής (διάβρωση, εναπόθεση) είτε σε αστάθεια της θαλάσσιας επιφάνειας (κύματα, παλίρροια).

**Παράκτια ζώνη** ονομάζεται το τμήμα της θάλασσας αμέσως μετά την ακτή. Το εσωτερικό της όριο είναι η ακτογραμμή και το εξωτερικό της όριο είναι η ισοβαθής εκείνη, στην οποία ακόμα γίνεται αισθητή η επίδραση των κυμάτων ως τον πυθμένα. Η παράκτια ζώνη περιλαμβάνει τις ζώνες θραύσης, απόσβεσης, και διαβροχής.

**Ζώνη θραύσης** είναι το πλέον δυναμικό τμήμα της παράκτιας ζώνης, καθότι εκεί εμφανίζεται και ολοκληρώνεται ο μηχανισμός της θραύσης.

**Ζώνη απόσβεσης** είναι η ζώνη στην οποία αποσβένεται το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του θραυσμένου κύματος. Το όριο της με τη ζώνη διαβροχής είναι η κατώτερη θέση της ακτογραμμής.

**Ζώνη διαβροχής** είναι η ζώνη το εξωτερικό όριο της οποίας ορίζεται από την κατώτερη θέση της ακτογραμμής και το εσωτερικό της από την ανώτατη θέση της ίδιας γραμμής. Το πλάτος της ζώνης διαβροχής εξαρτάται από την κλίση του πυθμένα και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

**Μέτωπο ακτής** ονομάζεται το τμήμα της διατομής μιας παράκτιας ζώνης με τη μεγαλύτερη κλίση ως προς την οριζόντιο. Το μέτωπο της ακτής μπορεί να εμφανίζεται και στις ζώνες απόσβεσης και διαβροχής. Η κλίση του εξαρτάται από την κοκκομετρία των ιζημάτων και τα χαρακτηριστικά των κυμάτων.



**Βελοειδές ρεύμα** ονομάζεται το αποτέλεσμα της συμβολής δύο ρευμάτων αντίθετης φοράς, όταν εκτρέπεται η ροή προς τα ανοιχτά. Αυτό διασχίζει τη ζώνη θραύσης σε περιοχές μικρών υψών κύματος και συνεχίζει την κίνησή του στη ζώνη πριν από τη θραύση, όπου και εκφυλίζεται. Το βελοειδές ρεύμα μπορεί να διαιρεθεί σε τρία τμήματα:

- Πηγή, στην περιοχή δημιουργίας του ρεύματος, όπου η ροή είναι σχεδόν παράλληλη στην ακτογραμμή, δηλαδή στη ζώνη μετά τη θραύση.
- Κορμός, όπου το ρεύμα ρέει σχεδόν κάθετα στην ακτογραμμή και συνδέει τις ζώνες πριν και μετά τη θραύση.
- Κεφαλή, όπου παρατηρείται μείωση της ταχύτητας ροής μέχρι μηδενισμού.

## 2.2 Επιδράσεις στη διατομή του κύματος.

Οι κυριότερες μορφές επίδρασης του πυθμένα στους θαλάσσιους κυματισμούς είναι οι παραμορφώσεις στη διατομή του κύματος, η θραύση και η διάθλαση.

### Παραμορφώσεις

Η διατομή του κύματος μεταβάλλεται ριζικά στην περιοχή των μικρών σχετικών βαθών  $h/L$ . Οι σημαντικότερες μεταβολές που συμβαίνουν σε μια διατομή είναι η μείωση του μήκους κύματος, η μείωση και εν συνεχεία η αύξηση του ύψους κύματος, η αύξηση της καμπυλότητας και η εμφάνιση υψηλότερων αρμονικών.

### Θραύση

Όταν οι παραπάνω παραμορφώσεις υπερβούν ορισμένα όρια, το κύμα θραύεται. Στη ζώνη θραύσης η διατομή του κύματος διαφέρει από τη διατομή του κύματος στην ανοιχτή θάλασσα. Σε μερικούς τύπους θραύσης η κορυφή τείνει να εμφανίσει ένα γωνιακό σημείο, το οποίο δηλώνει τη συσσώρευση πολλών αρμονικών υψηλής τάξης. Κατά τη θραύση μέρος της ενέργειας του κύματος μετατρέπεται σε ενέργεια τύρβης. Θραύση μπορεί να εμφανιστεί στη βάση (θραύση εφορμήσεως), στο άνω μέρος του μετώπου (θραύση κυλίσεως) ή στην κορυφή της διατομής του κύματος (θραύση εκτινάξεως). Θραύση έχουμε όταν ικανοποιείται το παρακάτω κριτήριο:

$$H_b/h_b = 0.8$$

Όπου  $H_b$ : το ύψος κύματος στη θραύση και

$h_b$ : το βάθος στη θραύση

### Διάθλαση

Οι θαλάσσιοι κυματισμοί αλλάζουν διεύθυνση μετάδοσης, καθώς προσεγγίζουν την ακτή. Αυτό συμβαίνει, καθώς η γωνία μεταξύ των καθέτων στο μέτωπο κύματος και στις ισοβαθείς του πυθμένα συνεχώς μειώνεται. Έτσι, η ορθογωνική του κύματος τείνει να κινηθεί κάθετα στις ισοβαθείς και να καμπυλωθεί. Οι κυματισμοί αρχίζουν να υφίστανται διάθλαση, όταν ο λόγος  $h/L$  γίνει μικρότερος του 0,50, όπου  $h$  το βάθος του πυθμένα και  $L$  το μήκος του κύματος.

Πέραν του πυθμένα στη διατομή του κύματος επιδρούν και τυχόν εμπόδια που συναντά. Οι κυριότερες επιδράσεις αυτής της κατηγορίας είναι η ανάκλαση και η περίθλαση.

### **Ανάκλαση**

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

### **Περίθλαση**

Η περίθλαση των κυματισμών είναι φυσικός μηχανισμός, στον οποίο λαμβάνει χώρα μετάδοση ενέργειας κατά μήκος κορυφογραμμών του προσπίπτοντος κύματος. Χαρακτηριστικό αποτέλεσμα είναι οι κυματισμοί που εμφανίζονται σε θαλάσσια περιοχή προστατευμένη από θαλάσσιο έργο, η οποία θα ηρεμούσε, αν δεν υπήρχε το φαινόμενο της περίθλασης.

## **2.3 Κίνηση ιζημάτων**

Τα ιζήματα προέρχονται από την εναπόθεση φερτών υλών που διακινούνται με το θαλάσσιο νερό σε αιώρηση ή σε επαφή με τον πυθμένα. Η έναρξη κινήσεως ενός κόκκου ιζήματος εξαρτάται από τη διατμητική ή επιφανειακή τάση που αναπτύσσεται στον κόκκο λόγω της κίνησης της θαλάσσιας μάζας που βρίσκεται σε επαφή με το στρώμα ιζημάτων. Ο υπολογισμός της κρίσιμης αυτής τάσης συναρτάται με την πυκνότητα του νερού, την ταχύτητα ροής και τις παραμέτρους του ιζήματος (σημαντικότερες εκ των οποίων είναι η πυκνότητα και η κοκκομετρία). Η κίνηση αυτή μπορεί να προέρχεται από επαλληλία κύματος και ρεύματος και συνεχίζεται μέχρι να εκλείψουν τα γενεσιουργά αιτία ή να συναντηθούν παράκτια εμπόδια. Σε φάση ηρεμίας τα ιζήματα ισορροπούν σε ορισμένες θέσεις και συσσωρεύσεις. Η κατανομή των ιζημάτων στην παράκτια ζώνη και η βυθομετρία της αντανακλούν το βραχυπρόθεσμο και το μακροπρόθεσμο κλίμα κυμάτων και ρευμάτων στην περιοχή. Το κλίμα αντιπροσωπεύει μια ολόκληρη σειρά χαρακτηριστικών κυμάτων στα ανοιχτά. Τα μακρύτερα κύματα επηρεάζουν μια ευρύτερη ζώνη, ενώ τα κύματα μικρού ύψους και περιόδου επηρεάζουν μικρότερο εύρος παράκτιας ζώνης.

Ένα κύμα στην παράκτια ζώνη υφίσταται απώλειες λόγω της επίδρασης του πυθμένα. Οι απώλειες αυτές αυξάνονται σε περίπτωση ύπαρξης στρώματος ιζημάτων στον πυθμένα. Στη ζώνη πριν από τη θραύση ο κυριότερος μηχανισμός απώλειας ενέργειας είναι η τριβή στον πυθμένα. Επομένως, στη ζώνη αυτή η μεταφορά ιζημάτων γίνεται κυρίως σαν φορτίο στον πυθμένα. Στη ζώνη θραύσης και μετά από αυτήν οι κυριότεροι μηχανισμοί απώλειας ενέργειας είναι η τριβή και η τύρβη. Στην περίπτωση αυτή η μεταφορά ιζημάτων γίνεται σαν φορτίο στον πυθμένα και σε αιώρηση.

## 2.4 Μεταφορά ιζημάτων (Στερεομεταφορά)

Η μεταφορά ιζημάτων ονομάζεται στερεομεταφορά και εξαρτάται κυρίως από τη θαλάσσια διαταραχή που την προκαλεί. Έτσι τα παράκτια ρεύματα μπορούν να μεταφέρουν σχετικά λεπτόκοκκα ιζήματα. Χονδρόκοκκα ιζήματα μεταφέρονται μόνο από κυματική κίνηση.

Κύματα υπό γωνία ως προς την ακτογραμμή μπορούν να μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες ιζημάτων στην παράκτια ζώνη. Έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχει ένας βέλτιστος συνδυασμός των χαρακτηριστικών ενός κύματος, που μεγιστοποιεί την προκαλούμενη μεταφορά ιζήματος.

Οι συνιστώσες της παράκτιας κινήσεως των ιζημάτων συνήθως λαμβάνονται κάθετα προς την ακτογραμμή (στερεομεταφορά κάθετα προς την ακτογραμμή ή απλά κάθετη μεταφορά) και παράλληλα προς την ακτογραμμή (στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής ή απλά παράλληλη μεταφορά). Σε γενικές γραμμές η μεταφορά στη ζώνη απόσβεσης γίνεται κατά τις δύο συνιστώσες. Στη ζώνη πριν από τη θραύση η ύπαρξη παράλληλης μεταφοράς εξαρτάται από τη διεύθυνση προσπτώσεως των κυμάτων δεδομένου ότι οι διευθύνσεις μεταφοράς και προσπτώσεως συμπίπτουν.

Η θέση, όπου οι δυνάμεις που ασκούνται στον κόκκο (βαρύτητα λόγω του κεκλιμένου πυθμένα και κυματική δύναμη) βρίσκονται σε ισορροπία, ονομάζεται ουδέτερη γραμμή. Η θέση της είναι συνάρτηση της τοπογραφίας του πυθμένα και των χαρακτηριστικών των κυμάτων, αλλά πάντα βρίσκεται προς τα ανοιχτά της ζώνης θραύσης. Πιο βαθιά της γραμμής τα ιζήματα κινούνται προς τα ανοιχτά, ενώ προς τα ρηχά της τα ιζήματα κινούνται προς την ακτή.

### 2.4.1 Στερεομεταφορά κάθετα στην ακτογραμμή

Η μεταφορά ιζημάτων κάθετα στην ακτογραμμή, οφείλεται κυρίως στη δράση των κυμάτων. Ιζήματα τίθενται σε κίνηση από την κάθετη συνιστώσα της τροχιακής κίνησης των υγρών σωματιδίων και στη συνέχεια μεταφέρονται από το κυματογενές ρεύμα. Η δράση της τροχιακής κίνησης είναι τελείως διαφορετική στις ζώνες πριν από τη θραύση και μετά τη θραύση.

Στη ζώνη πριν από τη θραύση η τροχιά είναι κλειστή ή λίγο ανοιχτή. Σε επαφή με το στρώμα ιζημάτων η τροχιά γίνεται πολύ πεπλατυσμένη και τείνει σε μια ευθύγραμμη ταλάντωση. Κατά συνέπεια η μέση κίνηση ιζημάτων σε μια περίοδο κύματος γίνεται προς την ακτή. Βέβαια στην πραγματικότητα έχει παρατηρηθεί ότι η επίδραση του αναπτυσσόμενου οριακού στρώματος δημιουργεί μια αναστροφή της μέσης κίνησης κατά την κατακόρυφο.

Στις ζώνες θραύσεως και μετά τη θραύση η στερεομεταφορά κάθετα στην ακτογραμμή είναι θεαματική. Η μεταφερόμενη στερεοπαροχή μπορεί να είναι σημαντική, αλλά δε χάνεται από το παράκτιο σύστημα δεδομένου ότι κινείται εναλλακτικά προς την ακτή και προς τον ύφαλο αναβαθμό, ανάλογα με την καμπυλότητα των κυμάτων. Κύματα μεγάλης καμπυλότητας μεταφέρουν ιζήματα προς τον ύφαλο αναβαθμό. Κύματα μικρής καμπυλότητας προκαλούν αντίθετη κίνηση.

Όταν ένα κύμα πλησιάζει στη ζώνη θραύσεως η κίνηση του επιβραδύνεται λόγω της επίδρασης του πυθμένα και το μέτωπο του τείνει να γίνει παράλληλο προς την ακτογραμμή λόγω διαθλάσεως. Η όλη δομή του κύματος τείνει να μεταβληθεί, ώστε το κύμα να γίνει κύμα μεταφοράς, στο οποίο το μέτρο του διανύσματος ταχυτήτων των υγρών σωματιδίων αυξάνει με τη στάθμη πάνω από τον πυθμένα. Κατά συνέπεια η συνιστάμενη κίνηση των ιζημάτων είναι προς την ακτή. Στη ζώνη θραύσεως τα ιζήματα τίθενται σε αιώρηση, οπότε η αναρρίχηση των κυμάτων τα μεταφέρει στην ακτή, όπου σχηματίζεται έξαλος αναβαθμός. Λόγω μετατροπής μέρους της ολικής ενέργειας του κύματος σε ενέργεια τύρβης και λόγω διηθήσεως στον πυθμένα η ενέργεια καθόδου είναι μικρότερη από την ενέργεια ανόδου και μέρος των ιζημάτων αποτίθεται στην ακτή.

Η διατομή ισορροπίας της ακτής επιτυγχάνεται, όταν έλθει ισορροπία των δυνάμεων στο ιζήμα προς την ακτή, προς τη θάλασσα, και από την επιτάχυνση της βαρύτητας. Η μεταφορά προς την ακτή γίνεται συνήθως το καλοκαίρι, οπότε και εμφανίζονται τα κύματα μικρής καμπυλότητας. Για το λόγο αυτό, η διατομή, που προκύπτει, συνηθίζεται να ονομάζεται θερινή διατομή της ακτής.

Σε κύματα μεγάλης καμπυλότητας η ακτή είναι δυνατόν να διαβρωθεί κυρίως λόγω της ενέργειας θραύσεων εκτινάξεως. Η κίνηση καθόδου μεταφέρει μεγαλύτερη ποσότητα ιζημάτων προς τα ανοιχτά από την κίνηση ανόδου. Κατά συνέπεια το μέτωπο της ακτής μετακινείται προς την ξηρά. Τα ιζήματα, που μετακινήθηκαν προς τα ανοιχτά, αποτίθενται στον πυθμένα και σχηματίζονται οι υποθαλάσσιες συσσωρεύσεις ιζημάτων παράλληλα προς την ακτογραμμή. Οι συσσωρεύσεις αυτές επιδρούν στη συνέχεια επί των κυμάτων και προκαλούν θραύσεις κυμάτων σε μεγαλύτερα βάθη. Η μεταφορά προς τα ανοιχτά γίνεται συνήθως τον χειμώνα, οπότε και εμφανίζονται τα κύματα μεγάλης καμπυλότητας. Η διατομή της παράκτιας ζώνης που προκύπτει από την μεταφορά αυτή συνηθίζεται να ονομάζεται χειμερινή διατομή της ακτής.

## 2.4.2 Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτογραμμής

Η στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής οφείλεται κυρίως στη θραύση κυμάτων υπό γωνία με την ακτογραμμή. Η στερεομεταφορά στη ζώνη πριν από τη θραύση είναι ασήμαντη λόγω της μικρής συνιστώσας κινήσεως κατά μήκος της ακτής. Τα ιζήματα διαταράσσονται και τίθενται σε αιώρηση από τα θραυόμενα κύματα. Η μετατόπιση τους κατά μήκος της ακτής γίνεται από την κατά μήκος της ακτής συνιστώσα κινήσεως των κυμάτων και τα κατά μήκος της ακτής ρεύματα, που δημιουργούνται από τα θραυόμενα κύματα. Η παροχή στερεομεταφοράς εξαρτάται από τη γωνία προσπτώσεως των κυμάτων και την ενέργειά τους. Μεγιστοποιείται για γωνίες προσπτώσεως της τάξεως των 45°, οπότε και μεγιστοποιείται η ταχύτητα του δημιουργούμενου ρεύματος κατά μήκος της ακτής. Όσον αφορά στην παράλληλη στην ακτή συνιστώσα της τάσης ακτινοβολίας, αξίζει να παρατεθεί ο τύπος του Longuet Higgins (1970).

$$S_{xy} = \frac{1}{16} \rho g H^2 \sin(2\theta)$$

Η στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής επηρεάζεται από έναν αριθμό παραμέτρων, όπως το ύψος και η περίοδος του κύματος, αλλά και η κλίση, καθώς και οι ιδιότητες του υλικού του πυθμένα.

Ο συγκεκριμένος τύπος στερεομεταφοράς, δηλαδή κατά μήκος της ακτής, αποτελεί και την κύρια αιτία των μακροχρόνιων αλλαγών στη μορφή της ακτογραμμής. Και αυτό, διότι η στερεομεταφορά κάθετα στην ακτογραμμή μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, αφού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ακτογραμμή μετά από κάποιο χρόνο επιστρέφει στο σημείο ισορροπίας.

## 2.5 Έργα Προστασίας Ακτής

### 2.5.1 Έργα παράλληλα στην ακτογραμμή

Είναι τα έργα, των οποίων ο διαμήκης άξονας είναι παράλληλος στην ακτογραμμή. Μπορούν να κατασκευαστούν είτε στο μέτωπο της ακτής είτε σε κάποια απόσταση από αυτήν. Τα δεύτερα παρεμποδίζουν τη δράση μεγάλου μέρους της προσπίπτουσας ενέργειας απευθείας στο μέτωπο της ακτής, καθώς η ενέργεια αυτή ανακλάται και αποδίδεται με τη θραύση. Οι κυματοθραύστες κατασκευάζονται συνήθως από:

- Φυσικούς ογκολίθους
- Τεχνητούς ογκολίθους
- Συνδυασμό και των δύο

Όσον αφορά το ύψος της στάθμης τους, οι κυματοθραύστες χωρίζονται σε:

- Ύφαλους, των οποίων η στάθμη βρίσκεται κάτω από τη ΜΣΘ
- Έξαλους, των οποίων η στάθμη βρίσκεται πάνω από τη ΜΣΘ

## 2.5.2 Έργα κάθετα στην ακτογραμμή

Το έργο προστασίας ακτής, του οποίου ο διαμήκης άξονας είναι κάθετος στην ακτογραμμή και συνήθως συνδέεται με την ακτή, ονομάζεται πρόβολος. Αυτού του είδους το έργο έχει άμεση επίδραση στο φορτίο των ιζημάτων τόσο στον πυθμένα όσο και σε αιώρηση. Οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό ενός προβόλου είναι:

Μήκος προβόλου: Επειδή το 80% περίπου της στερεομεταφοράς κατά μήκος μιας ακτής σημειώνεται στη ζώνη μετά τη θραύση, ένας πρόβολος πρέπει να φθάνει ως τη ζώνη πριν τη θραύση.

Ύψος προβόλου: Ένας πρόβολος μπορεί να θεωρηθεί υψηλός, όταν η στέψη του βρίσκεται υψηλότερα από τη ΣΗΘ. Έχουν προταθεί διάφορες τιμές για τη στάθμη στέψης υψηλού προβόλου. Κατά τον Brunh η στέψη πρέπει να βρίσκεται σε μια στάθμη τουλάχιστον ίση με τη μέγιστη δυνατή στάθμη της θάλασσας αυξημένη κατά το ύψος της μέγιστης υπερύψωσης των κυμάτων στη ζώνη μετά τη θραύση. Όταν η στέψη βρίσκεται σε στάθμη χαμηλότερη από τη ΣΗΘ, ο πρόβολος αποκαλείται χαμηλός.

Προσανατολισμός Άξονα: Ένας πρόβολος έχει βέλτιστη απόδοση στη συγκράτηση των ιζημάτων, όταν ο άξονας κατευθύνεται ελαφρά προς τα ανάντη της ροής των ιζημάτων.

## 2.6 Φυσικά προσομοιώματα σε αμμώδη πυθμένα

Τρισδιάστατα προσομοιώματα με μεταβαλλόμενο αμμώδη πυθμένα έχουν κατασκευασθεί σε εργαστήρια κατά το παρελθόν. Πείραμα σε τέτοιο μοντέλο είχε διεξαχθεί από τους Kazumasa Mizumura και Naofumi Shiraiishi στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Kanazawa του Τόκιο, με σκοπό τη διερεύνηση των ακτομηχανικών επιπτώσεων από την κατασκευή αεροδρομίου στην ακτή Sennan. Επίσης, οι Tiffany M. Roberts, Ping Wang και Nicholas C. Kraus έκαναν παρόμοιο πείραμα στο Εργαστήριο Ακτομηχανικής του Κέντρου Έρευνας και Ανάπτυξης του Αμερικανικού Στρατού, με σκοπό τη μελέτη της κυματικής υπερπήδησης και της επίδρασής της στο προφίλ της ακτής. Στο ίδιο εργαστήριο έγινε πείραμα από τους David G. Hamilton, Bruce A. Ebersole και Ernest R. Smith, με σκοπό τη μελέτη της μεταφοράς του ιζήματος. Εκτός αυτού, πείραμα σε φυσικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενο αμμώδη πυθμένα είχε διεξαχθεί από τους Servet Karasu, Paul A. Work, M. Kemal Cambazoglu, Omer Yuksek στο Karadeniz Πολυτεχνείο στην Τουρκία, με σκοπό τη μελέτη της αναπλήρωσης του ιζήματος σε ακτή. Επίσης, στο Zonguldak Karaelmas University στην Τουρκία ο Ismail Hakki Ozolcer μελέτησε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του προφίλ της διάβρωσης παραλίας σε παρόμοιο προσομοίωμα. Οι Raquel Silva, Francisco Taveira-Pinto και Fernando Veloso-Gomes εξέτασαν σε φυσικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενο αμμώδη πυθμένα τη διάβρωση ακτής στη δυτική Πορτογαλία. Τέλος, οι Γ. Καρμπαδάκης και Φ. Χατζημιχαλάκης μελέτησαν στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ σε φυσικό προσομοίωμα με αμμώδη πυθμένα την υπό διάβρωση ακτή της Ορόκλινης στην Κύπρο.

### 3. Περιοχή υπό διερεύνηση

Η περιοχή που προσομοιώθηκε είναι η ακτή προ του ξενοδοχείου Venus στην περιοχή της Πάφου στο νοτιοδυτικό τμήμα της Κύπρου. Η συγκεκριμένη ακτή έχει μήκος περίπου 200 m, είναι τύπου “rocket beach” και οριοθετείται από βραχώδη ακρωτήρια.

Η μορφολογία της ευρύτερης περιοχής, τόσο της ακτογραμμής όσο και του βυθού, είναι έντονα βραχώδης με απόκρημνους σχηματισμούς, σχετικά ήπια κλίση πυθμένα θαλάσσης και ισχυρά θαλάσσια ρεύματα. Η περιοχή είναι, επίσης, εκτεθειμένη σε μεγάλα αναπτύγματα πελάγους, γι’ αυτό και αναπτύσσονται κύματα υψηλής ενέργειας.



Εικόνα 1: Θέση περιοχής διερεύνησης στην Κύπρο



Εικόνα 2: Ευρύτερη Περιοχή Διερεύνησης

Η ακτή μπορεί να χωρισθεί σε 3 επιμέρους τμήματα: το νότιο, το κεντρικό και το βόρειο. Μπροστά από το νότιο και το κεντρικό τμήμα υπάρχει παραλία, ενώ το βόρειο είναι βραχώδες.

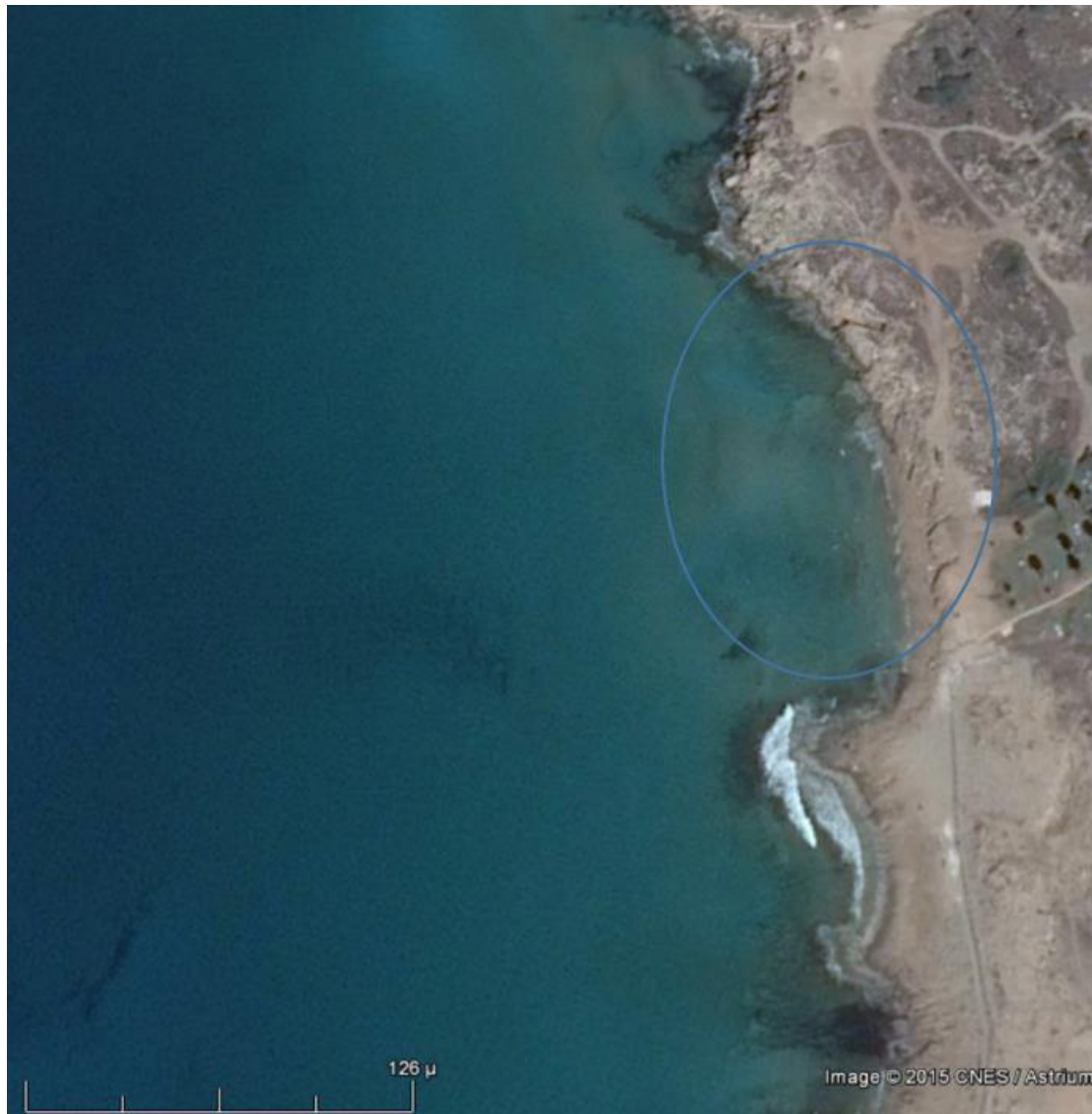
Το εύρος της ακτής είναι μικρό περί τα 10-20 m ενώ στα ανάντη υπάρχουν απότομα βραχώδη πρανή ύψους περί το 1 m. Στη συνέχεια το επίπεδο του εδάφους συνεχίζει με ομαλή κλίση. Επί του επιπέδου αυτού είναι διαμορφωμένος ο κήπος του ξενοδοχείου VENUS. Για την πρόσβαση στην παραλία έχουν κατασκευασθεί τιμμεντένια σκαλοπάτια. Επίσης η περιοχή



έχει σημανθεί με πινακίδες για την επικινδυνότητά της και υπάρχει ιστός με σημαία, το χρώμα της οποίας υποδηλώνει την καταλληλότητα για κολύμβηση.

Παρόλα ταύτα, το καλοκαίρι χρησιμοποιείται από λουόμενους με αποτέλεσμα να σημειώνονται πνιγμοί εξαιτίας του μεγάλου ύψους κύματος και των έντονων βελοειδών ρευμάτων (rip currents).

Πέραν αυτών, η ακτή αντιμετωπίζει και σημαντικό πρόβλημα διάβρωσης, αφού το ίζημα παρασύρεται από τα ρεύματα και τα κύματα και δε συγκρατείται.



Εικόνα 3: Περιοχή Διερεύνησης

Όσον αφορά το ίζημα της ακτής, αυτό είναι λεπτόκοκκο, ενώ υπάρχουν ιζηματογενείς σχηματισμοί ιδίου χρώματος.



*Εικόνα 4: Άποψη της ακτής από τα νότια προς τα βόρεια*

## 4. Περιγραφή Πειραματικών Εγκαταστάσεων

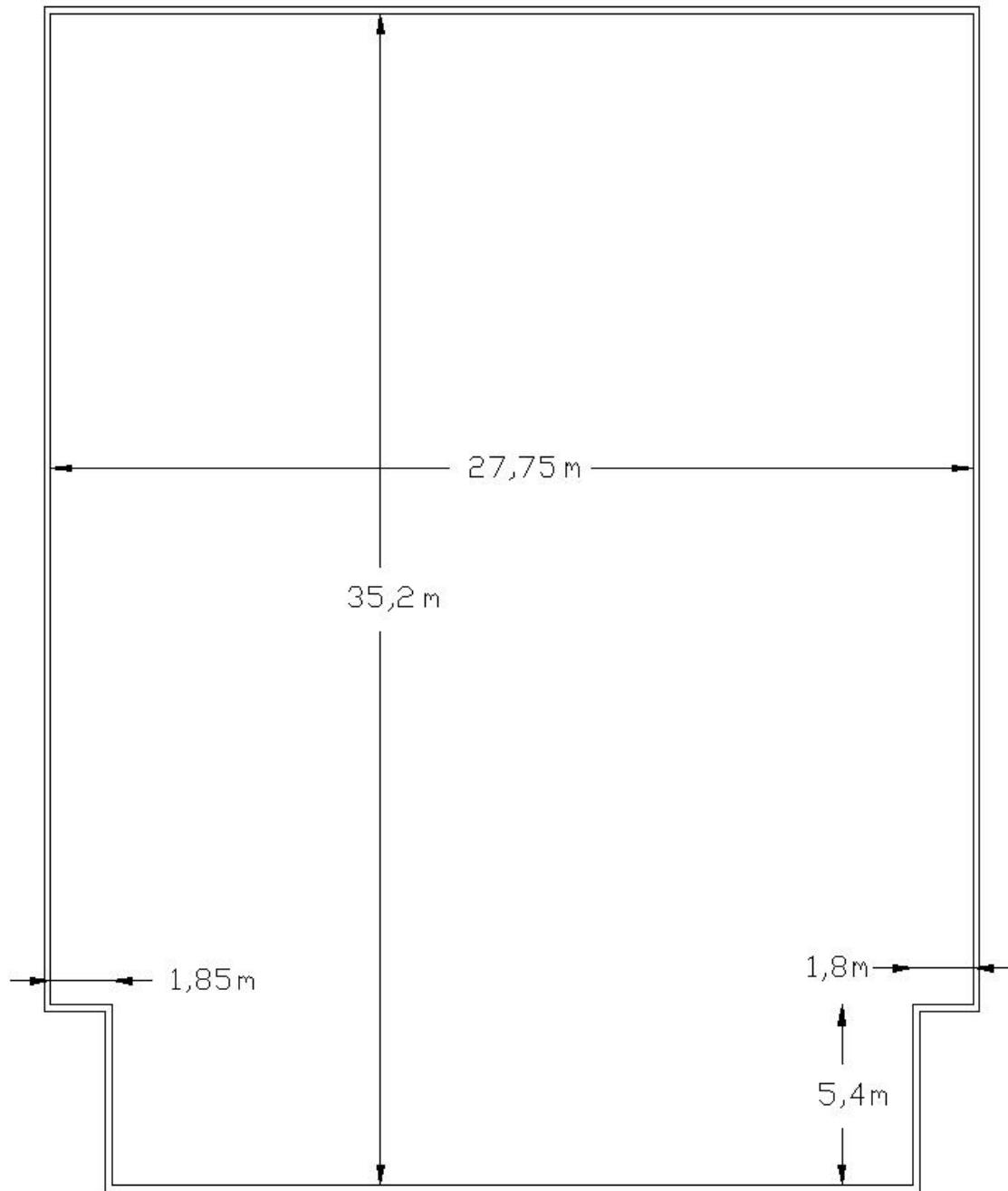
Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται οι πειραματικές εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων και συγκεκριμένα οι εγκαταστάσεις της Δεξαμενής Δ2 που χρησιμοποιήθηκε.

### 4.1 Δεξαμενή Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε.

Η Δεξαμενή Δοκιμών Δ2 του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων (Ε.Λ.Ε.) έχει εξωτερικές διαστάσεις 35,20 m x 27,75 m και βάθος 1,0 m. Η κάτοψη της δεξαμενής αυτής παρουσιάζεται σε παρακάτω εικόνα.

Στη δεξαμενή είναι εγκατεστημένο σύστημα παραγωγής τυχαίων κυματισμών.

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



Εικόνα 5: Κάτοψη Δεξαμενής Δ2 ΕΛΕ

## 4.2 Σύστημα Παραγωγής Τυχαίων Κυματισμών

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

Υδραυλικό μηχανισμό-κινητήρα

Υδραυλικά έμβολα

Τρεις κυματιστήρες

Σύστημα ελέγχου

Κατάλληλο λογισμικό

Ο υδραυλικός μηχανισμός αποτελείται από μία αντλία και ένα δοχείο λαδιού, το οποίο κινεί τα έμβολα. Τα έμβολα είναι εγκατεστημένα επί των κυματογεννητριών και κινούν τους βραχίονες των γεννητριών, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούν το κατακόρυφο μέτωπο των κυματογεννητριών και παράγονται τα κύματα. Το μέτωπο έκαστης κυματογεννήτριας έχει πλάτος 8,00 m.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τρεις κυματιστήρες, τα μέτωπα των οποίων καλύπτουν συνολικό μήκος 24,00m στη δεξαμενή. Το ύψος έκαστου μετώπου είναι 0.80 m. Υπάρχει η δυνατότητα μετατοπίσεως των κυματογεννητριών, ώστε να ελέγχεται το προσομοίωμα σε διαφορετικές διευθύνσεις προσπτώσεως κυμάτων. Η κίνηση των τριών κυματογεννητριών είναι ταυτόχρονη. Οι εντολές για τη 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 WAVEGEN SD της Αγγλικής Εταιρίας H.R Wallingford. Έχει τη δυνατότητα παραγωγής μονοχρωματικών (ημιτονοειδών) κυματισμών και φασματικών διαταραχών διαφόρων μορφών – τυχαίων κυματισμών.

## 4.3 Μετρητές Κύματος

Για τη μέτρηση των κυμάτων στη δεξαμενή χρησιμοποιήθηκαν δύο ειδών μετρητές κύματος, τύπου αντιστάσεως (M) και με ηχοβολιστικούς αισθητήρες (S).

Οι μετρητές κύματος τύπου αντιστάσεως μετρούν τη 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 στη συνέχεια μεταφέρει το σήμα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Οι μετρητές κύματος με ηχοβολιστικούς αισθητήρες μετρούν την απόσταση της ελεύθερης επιφάνειας του ύδατος από το σημείο στο οποίο είναι τοποθετημένος ο ηχοβολιστικός αισθητήρας. Δεν απαιτείται βαθμονόμηση των οργάνων και επειδή μπορούν να τοποθετηθούν χωρίς σταθερές βάσεις δε διαταράσσεται η επιφάνεια του νερού από τις

βάσεις εδράσεως των μετρητών αντιστάσεως. Οι μετρητές είναι συνδεδεμένοι με ενισχυτή σήματος, ο οποίος στη συνέχεια μεταφέρει το σήμα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Το Ε.Λ.Ε. διαθέτει δύο σειρές μετρητών κύματος τύπου αντιστάσεως. Η σειρά Α αποτελείται από μετρητές με κοντά στελέχη, ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση του κύματος σε βάθος νερού πολύ μικρό ( $4\text{cm} < d < 20\text{cm}$ ). Η σειρά Β αποτελείται από μετρητές με μακρύτερα στελέχη και δύναται να μετρά σε μεγαλύτερα βάθη νερού ( $7\text{cm} < d < 80\text{cm}$ ). Επίσης διαθέτει μια σειρά μετρητών κύματος με ηχοβολιστικούς αισθητήρες με δυνατότητα μέτρησης απόστασης από 3 cm έως 28 cm.

#### 4.4 Βαθμονόμηση

Πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων έγινε βαθμονόμηση της δεξαμενής με τα κυματικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων. Βαθμονόμηση της δεξαμενής έγινε και μετά τη μετατόπιση των κυματογεννητριών. Τα μετρητικά όργανα βαθμονομήθηκαν κάθε φορά πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων.

## 5. Περιγραφή Φυσικού Προσομοιώματος – Διαδικασία Πειραμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται το φυσικό προσομοίωμα της περιοχής υπό διερεύνηση. Αρχικά, αναφέρονται στοιχεία για τις κλίμακες ομοιότητας, κατόπιν περιγράφεται ο τρόπος κατασκευής του φυσικού προσομοιώματος και στη συνέχεια παρουσιάζεται η πειραματική διαδικασία. Περιγράφονται οι διαδικασίες της βαθμονόμησης των οργάνων, της παραγωγής κυμάτων, του τρόπος συλλογής και της επεξεργασία των μετρήσεων.

### 5.1 Κλίμακες ομοιότητας

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

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

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

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

όπου  $u$ : χαρακτηριστική ταχύτητα (m/sec )

$g$ : η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec<sup>2</sup>)

$D$ : χαρακτηριστικό μήκος (m)

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

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

Στο εν λόγω προσομοίωμα εκλέχθηκε γεωμετρική κλίμακα προσομοιώσεως  $\lambda=40$ . Οι τιμές των λόγων ομοιότητας διαφόρων παραμέτρων δίνονται στον επόμενο πίνακα.

Παράμετρος	Κλίμακα	Τιμή
Μήκος	$\lambda = \lambda$	40
Χρόνος	$\lambda_p = \lambda^{1/2}$	6,32
Ταχύτητα	$\lambda_T = \lambda^{1/2}$	6,32
Δύναμη	$\lambda_\Delta = \lambda^3$	64.000
Όγκος	$\lambda_o = \lambda^3$	64.000
Μάζα	$\lambda_\mu = \lambda^3 \times (M_p/M_m)$	157.282,08
Επιτάχυνση	1	1

Πίνακας 1: Τιμές λόγων ομοιότητας

Με βάση την γεωμετρική κλίμακα ομοιότητας υπολογίζονται τα υπόλοιπα υδροδυναμικά μεγέθη σύμφωνα με τον νόμο του Froude. Για την προσομοίωση της μάζας των στοιχείων της θωρακίσεως ισχύει :

$$m_p / m_m = \lambda^3 \times (M_p / M_m)$$

Ο λόγος  $M_p/M_m$  δίνεται από την σχέση:

$$\frac{M_p}{M_m} = \frac{\rho_{sp}}{\rho_{sm}} \times \left[ \frac{\frac{\rho_{sm}}{\rho_{fm}} - 1}{\frac{\rho_{sp}}{\rho_{fp}} - 1} \right]^3$$

- όπου  $m_p$  : Μάζα πρωτότυπου  
 $m_m$  : Μάζα ομοιώματος  
 $\rho_{sp}$  : Πυκνότητα στερεού στο πρωτότυπο ίση με 2,1 t/m<sup>3</sup>  
 $\rho_{sm}$  : Πυκνότητα στερεού στο ομοίωμα ίση με 2,5 t/m<sup>3</sup>  
 $\rho_{fp}$  : Πυκνότητα υγρού στο πρωτότυπο ίση με 1,025 t/m<sup>3</sup>  
 $\rho_{fm}$  : Πυκνότητα υγρού στο ομοίωμα ίση με 1,0 t/m<sup>3</sup>



## 5.2 Κατασκευή ομοιώματος

Για την κατασκευή του φυσικού προσομοιώματος διαμορφώθηκε το ανάγλυφο του πυθμένα από ελαφρό σκυρόδεμα μέχρι την ισοβαθή των -16m. Η στάθμη του σκυροδέματος διαμορφώθηκε 2m κάτω από την επιφάνεια του φυσικού πυθμένα μέχρι την ισοβαθή των -5 m και συμπληρώθηκε με άμμο κατάλληλης κοκκομετρίας, ώστε να καταστεί δυνατή η αποτύπωση της μεταβολής του φυσικού πυθμένα υπό την δράση των κυμάτων. (μεταβαλλόμενος αμμόδης πυθμένας). Τοποθετήθηκε άμμος διοξειδίου του πυριτίου χρώματος γκρι με κοκκομετρία  $d=0.2$  mm.

Για την προσομοίωση των διατάξεων που ελέγχθησαν κατασκευάστηκαν στο προσομοίωμα τα έργα που περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο (κυματοθραύστες, πρόβολοι κλπ).

Προσομοιώθηκαν, επίσης, οι βραχώδεις περιοχές των ακρωτηρίων στο νότιο και βόρειο τμήμα της περιοχής.

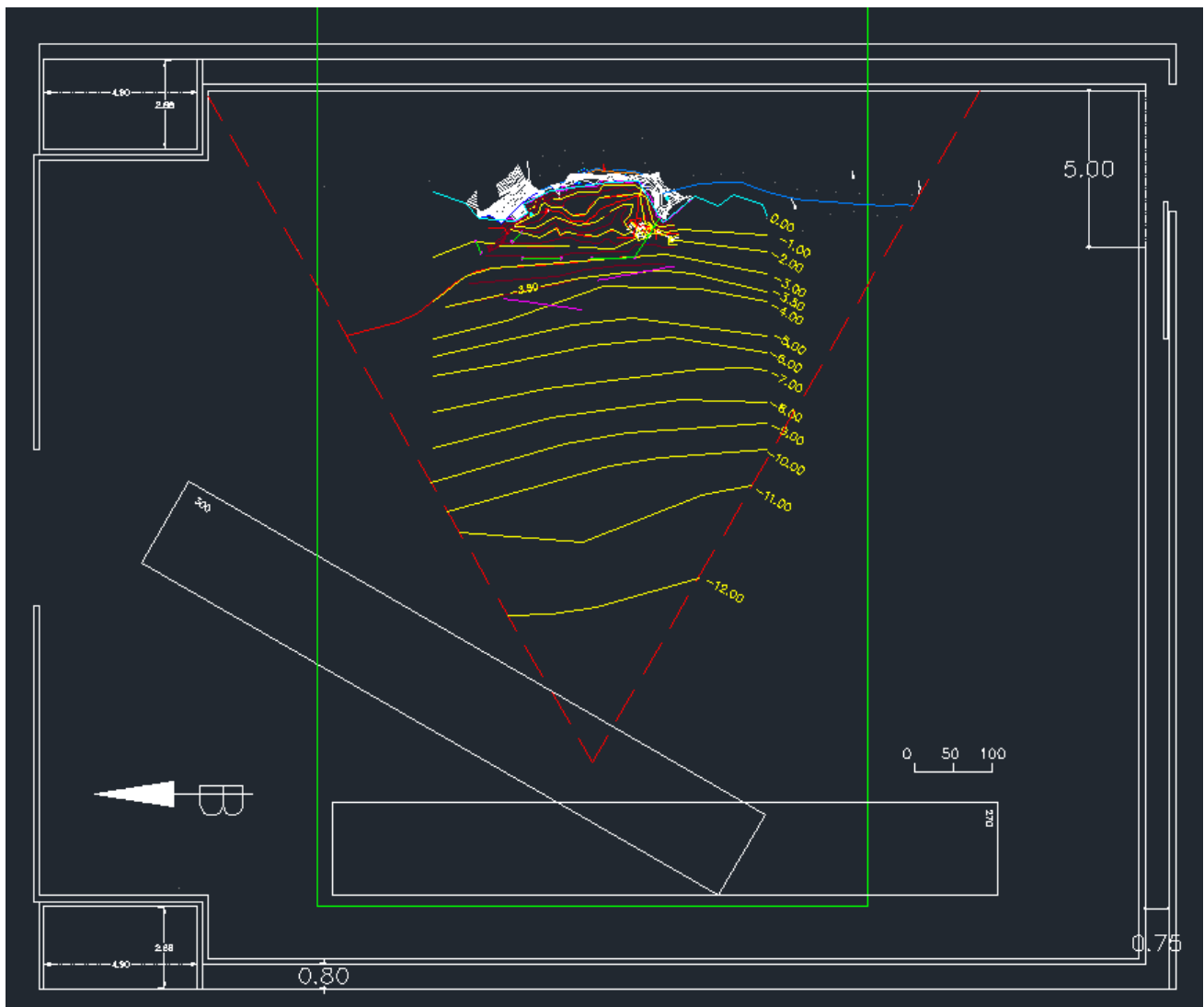
Οι φυσικοί ογκόλιθοι των έργων προσομοιώθηκαν με λίθους κατάλληλης κοκκομετρίας. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι φυσικοί ογκόλιθοι στην Κύπρο είναι ελαφριοί.

Η υφιστάμενη ακτογραμμή σημάνθηκε με νήμα, ενώ μετά από κάθε πείραμα χαράχθηκε και επισημάνθηκε με άλλου χρώματος νήμα η καινούρια ακτογραμμή.

Το μέγιστο βάθος νερού στη δεξαμενή ήταν 40 cm, που αντιστοιχεί σε πυθμένα βάθους 16 m στη φύση.

Σε κάθε τμήμα προσομοιώματος, τοποθετήθηκαν για την καταγραφή της κυματικής διαταραχής :

- 7 μετρητές κύματος τύπου αντιστάσεως (M) σε περιοχή βαθιών νερών για τον έλεγχο της προσπίπτουσας κυματικής διαταραχής στα ανοικτά των έργων
- 8 ηχοβολιστικοί μετρητές κύματος (S) στην περιοχή κατασκευής των κυματοθραυστών (προς τα ανοικτά και προς τα ρηχά των έργων) για τον έλεγχο της μεταβολής της κυματικής διαταραχής κοντά στην ακτή.



Εικόνα 6: Κάτοψη φυσικού προσομοιώματος

### 5.3 Παραγωγή κυμάτων

Η φυσική προσομοίωση του θαλάσσιου πυθμένα έγινε έως το βάθος των 16m. Υπολογίστηκε η μεταβολή των χαρακτηριστικών των κυμάτων από τα βαθιά έως τα -16m και στη συνέχεια έγινε η φυσική προσομοίωση των κυματισμών.

Χρησιμοποιήθηκαν φάσματα τύπου JONSWAP με παράμετρο κλίσεως ίσο με 3.3. Για το 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.

Στον επόμενο Πίνακα δίνονται τα χαρακτηριστικά  $H_s$  και  $T_p$  των φασμάτων των κυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΘΗΚΗ	ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ			ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ		
		H	H <sub>d</sub>	T <sub>p</sub>	H	H <sub>ex</sub>	T <sub>p</sub>
		(m)	(m)	(sec)	(cm)	(cm)	(sec)
<b>270°</b>	<b>ΣΥΝΗΘΗΣ</b>	3.50	3.20	8.060	8.750	8.000	1.274
<b>270°</b>	<b>ΑΚΡΑΙΑ</b>	6.25	5.90	10.770	15.625	14.750	1.703
<b>300°</b>	<b>ΣΥΝΗΘΗΣ</b>	3.50	3.20	8.060	8.750	8.000	1.274
<b>300°</b>	<b>ΑΚΡΑΙΑ</b>	6.70	6.37	11.150	16.750	15.935	1.763

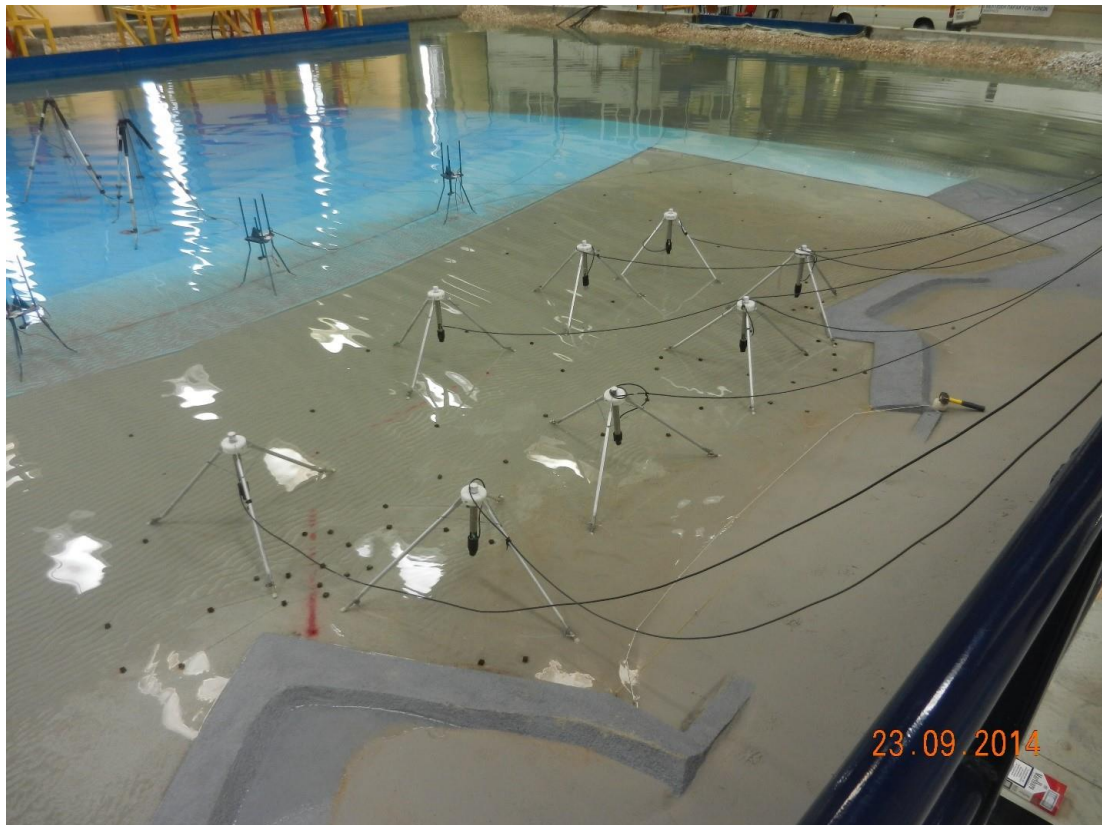
Πίνακας 2: Παράμετροι φασμάτων κυμάτων σε πρωτότυπο και προσομοίωμα

## 5.4 Διατάξεις υπό πειραματική διερεύνηση

Για την προστασία της περιοχής από τους κυματισμούς ελέγχθηκαν 5 διαφορετικές διατάξεις. Η πρώτη περιλαμβάνει την υφιστάμενη κατάσταση χωρίς τα έργα προστασίας, ενώ οι υπόλοιπες περιλαμβάνουν τα έργα προστασίας ακτής. Αυτές αναλύονται παρακάτω.

### ΔΙΑΤΑΞΗ 1

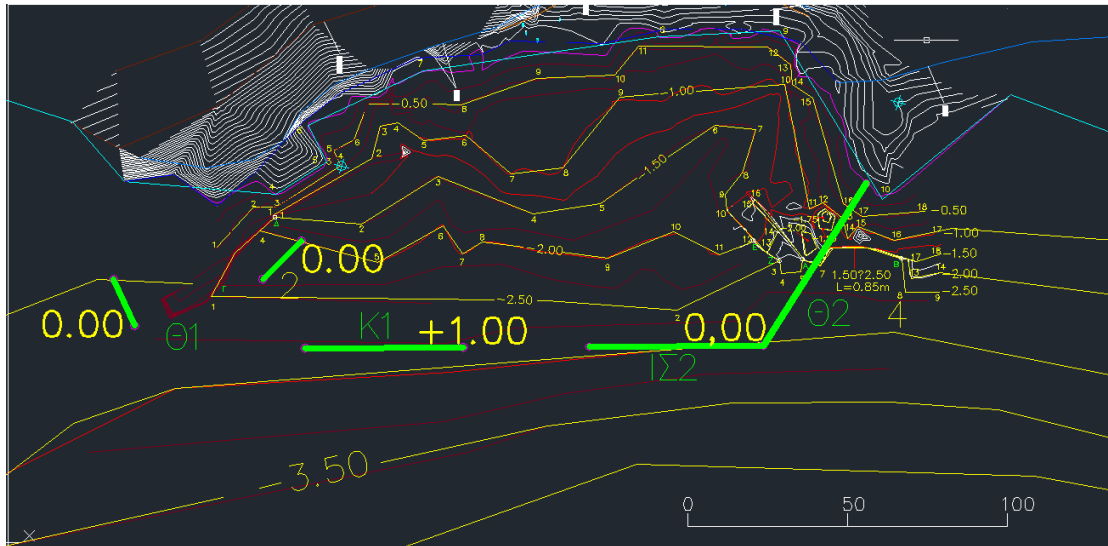
Περιλαμβάνει την υφιστάμενη κατάσταση της ακτής προ του ξενοδοχείου Venus χωρίς καμία παρέμβαση.



Εικόνα 7: Άποψη του προσομοιώματος της ΔΙΑΤΑΞΗΣ 1

## ΔΙΑΤΑΞΗ 2

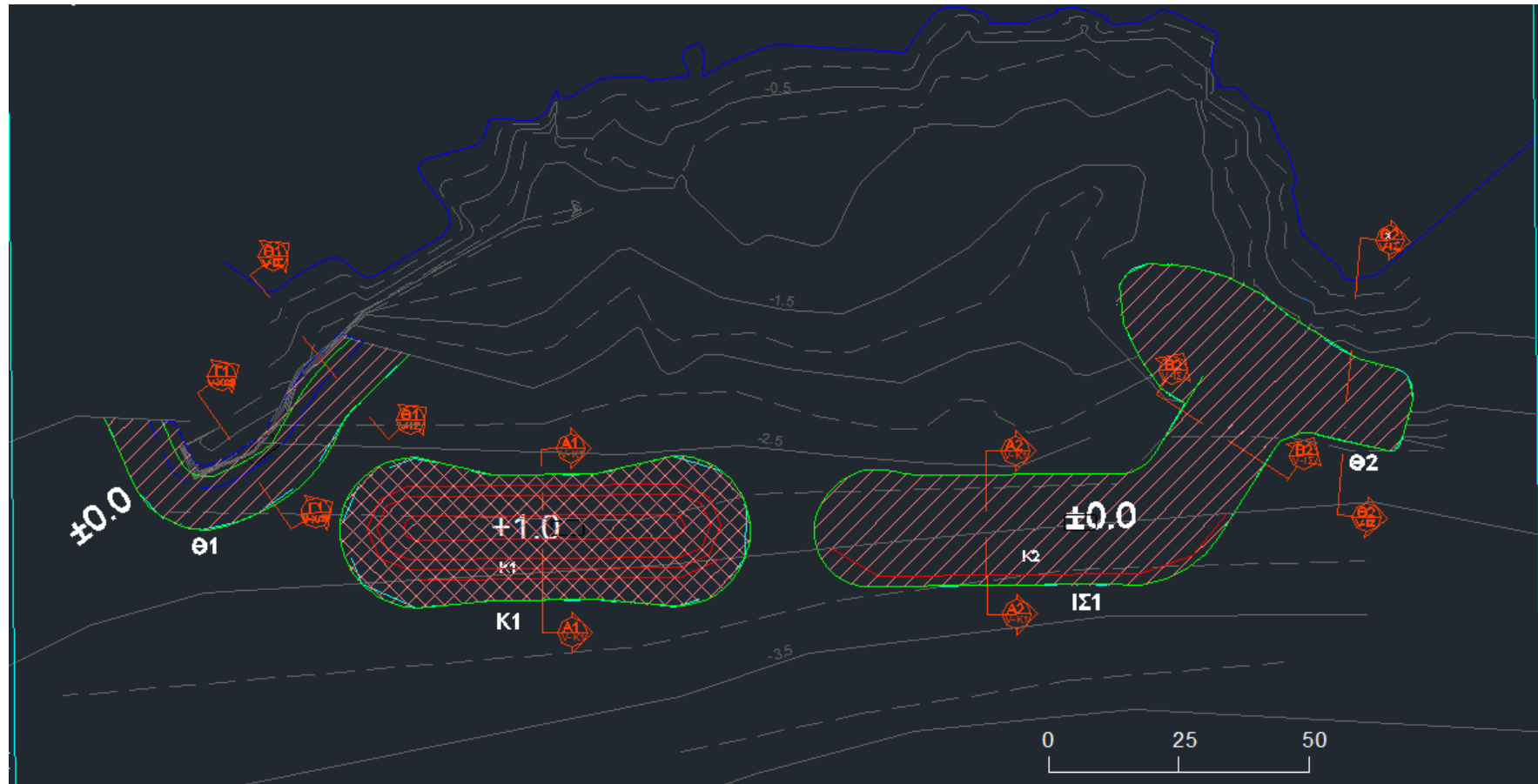
Τα έργα της διάταξης αυτής περιλαμβάνουν αποσπασμένο κυματοθραύστη K1, η στάθμη του οποίου βρίσκεται 1m πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας, ίσαλο μόλο ΙΣ1 και δύο ίσαλους κυματοθραύστες Θ1 και Θ2.



Εικόνα 8: Άξονες Έργων ΔΙΑΤΑΞΗΣ 2



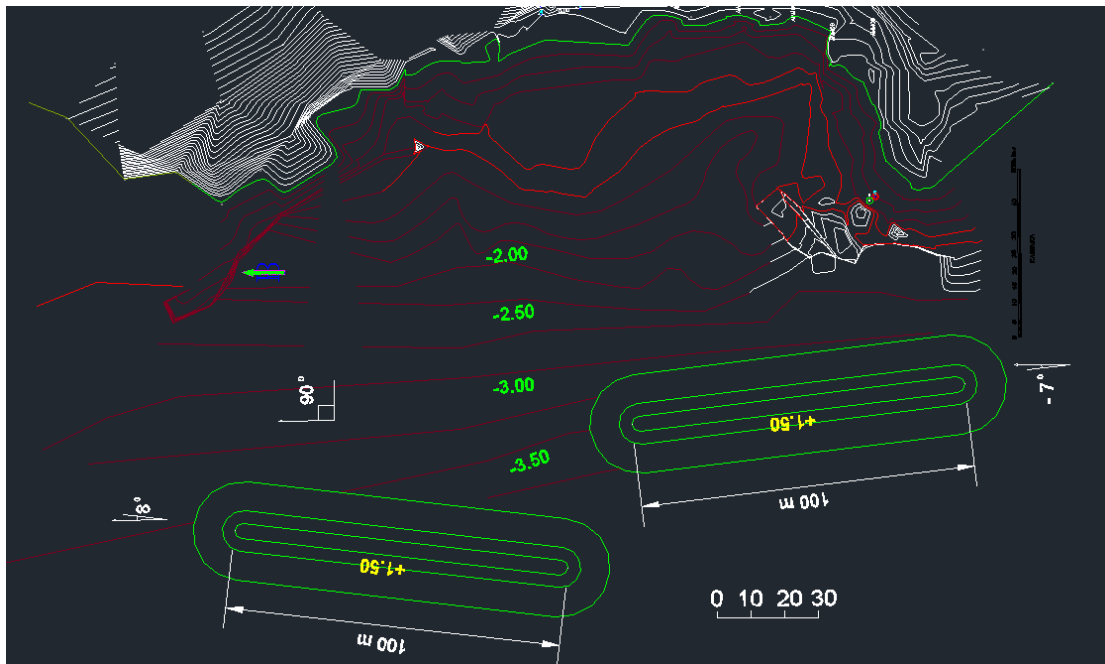
Εικόνα 9: Άποψη του προσομοιώματος της ΔΙΑΤΑΞΗΣ 2



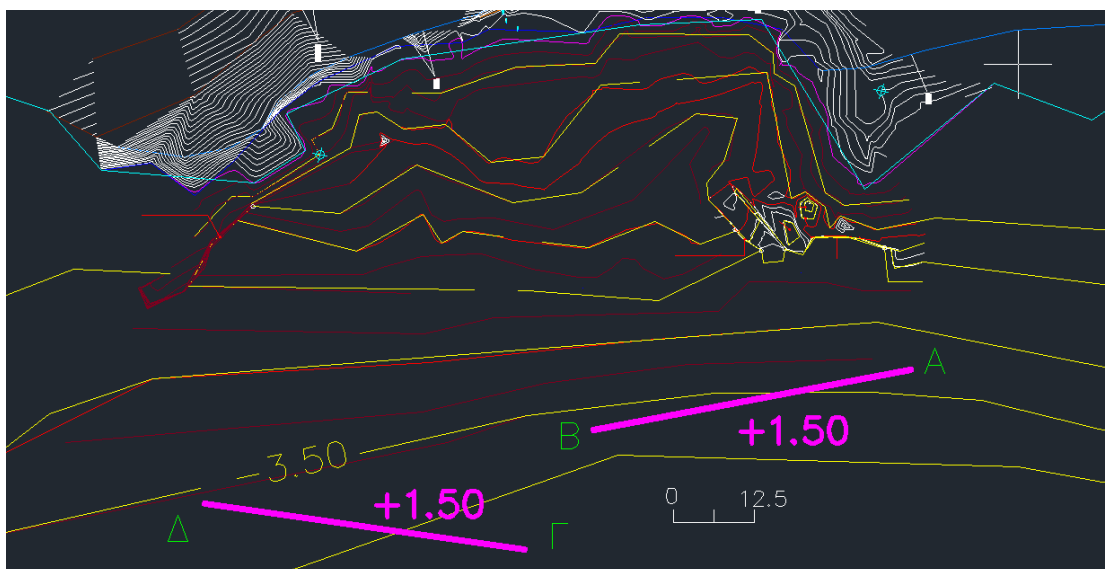
Εικόνα 10: Κάτοψη Έργων ΔΙΑΤΑΞΗΣ 2

### ΔΙΑΤΑΞΗ 3

Τα συγκεκριμένα έργα αποτελούνται από δύο αποσπασμένους κυματοθραύστες Κ1 και Κ2 με στέψη 1,5m πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας.



Εικόνα 11: Προτεινόμενα Έργα ΔΙΑΤΑΞΗΣ 3



Εικόνα 12:4: Άξονες Έργων ΔΙΑΤΑΞΗΣ 3

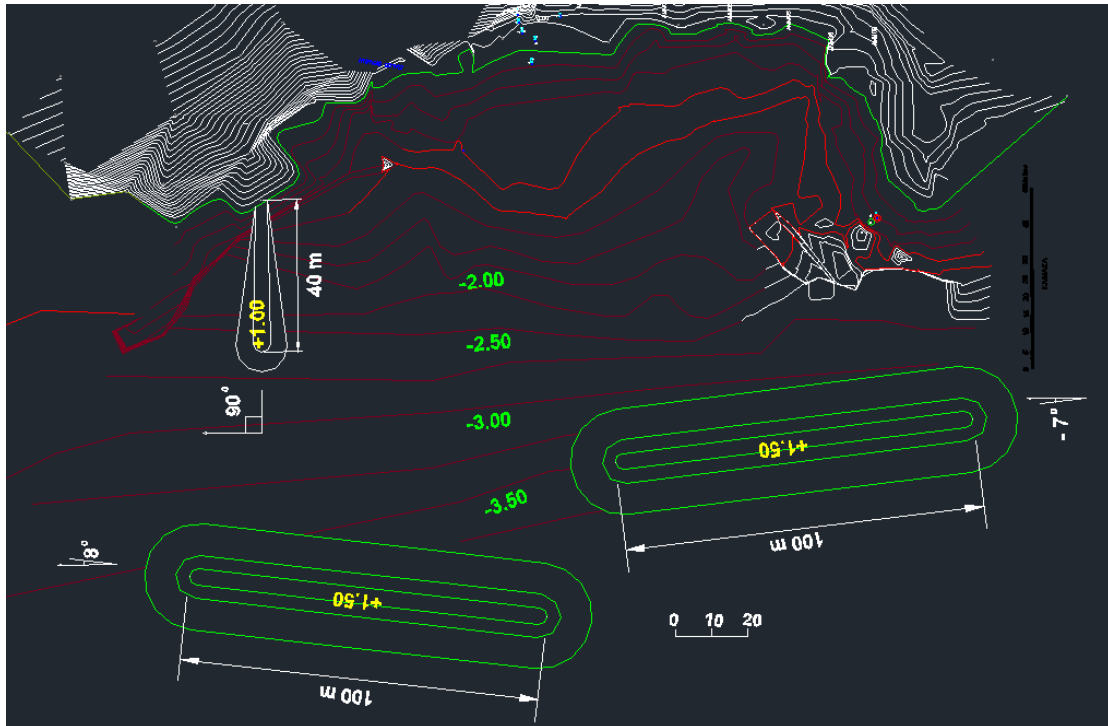


Εικόνα 13: Άποψη του προσομοιώματος της ΔΙΑΤΑΞΗΣ 3

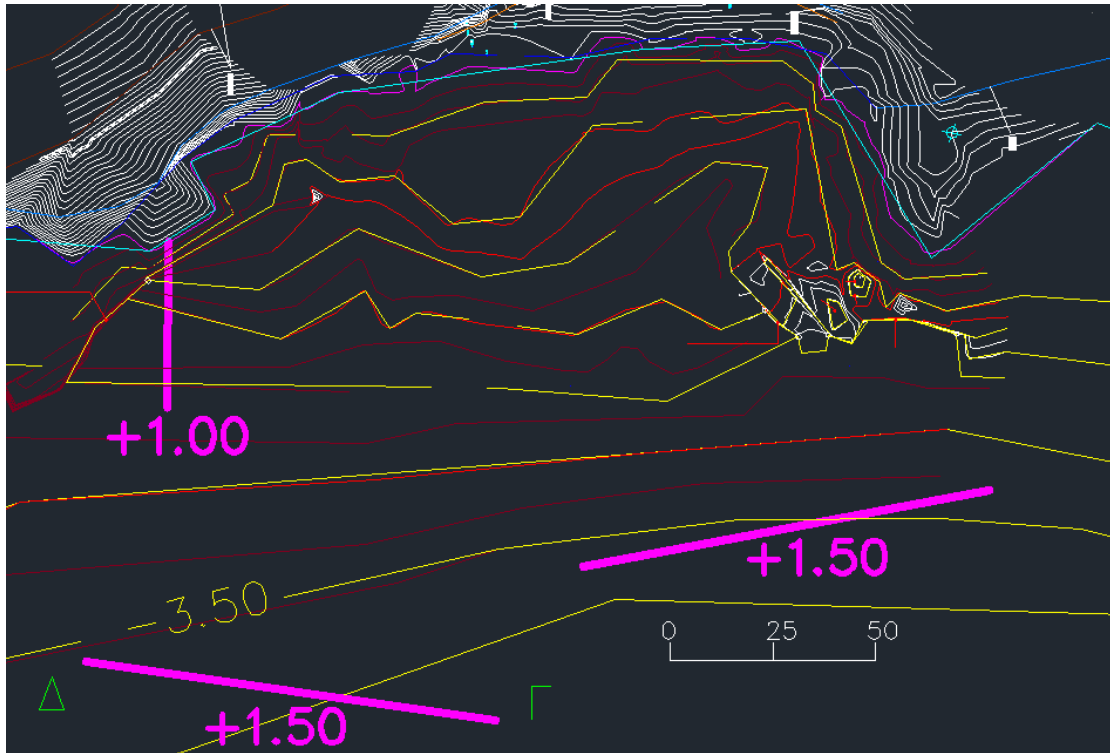


## ΔΙΑΤΑΞΗ 4

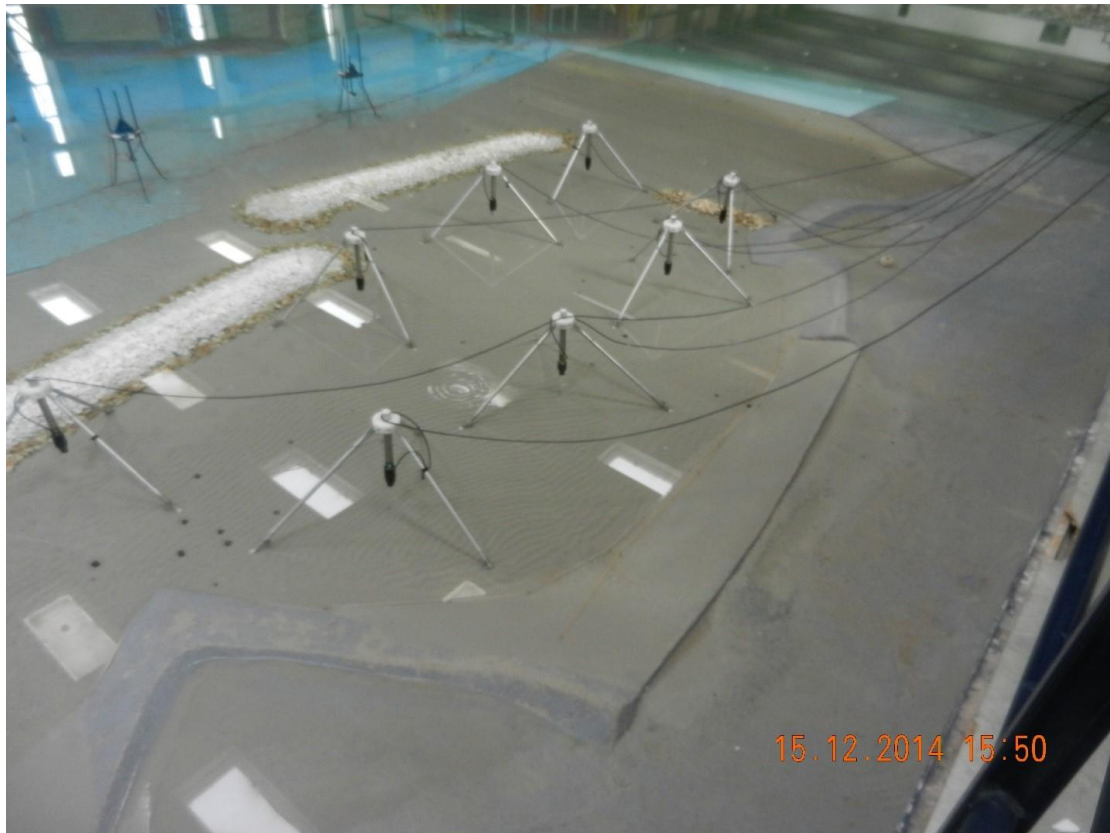
Τα έργα της ΔΙΑΤΑΞΗΣ 4 αποτελούνται από τους προαναφερθέντες κυματοθραύστες Κ1 και Κ2 της ΔΙΑΤΑΞΗΣ 3, καθώς και από χαμηλής στέψης πρόβολο μήκους 40 m στο βόρειο τμήμα της ακτής. Η στέψη του προβόλου βρίσκεται 1m πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας.



Εικόνα 14: Προτεινόμενα Έργα ΔΙΑΤΑΞΗΣ 4



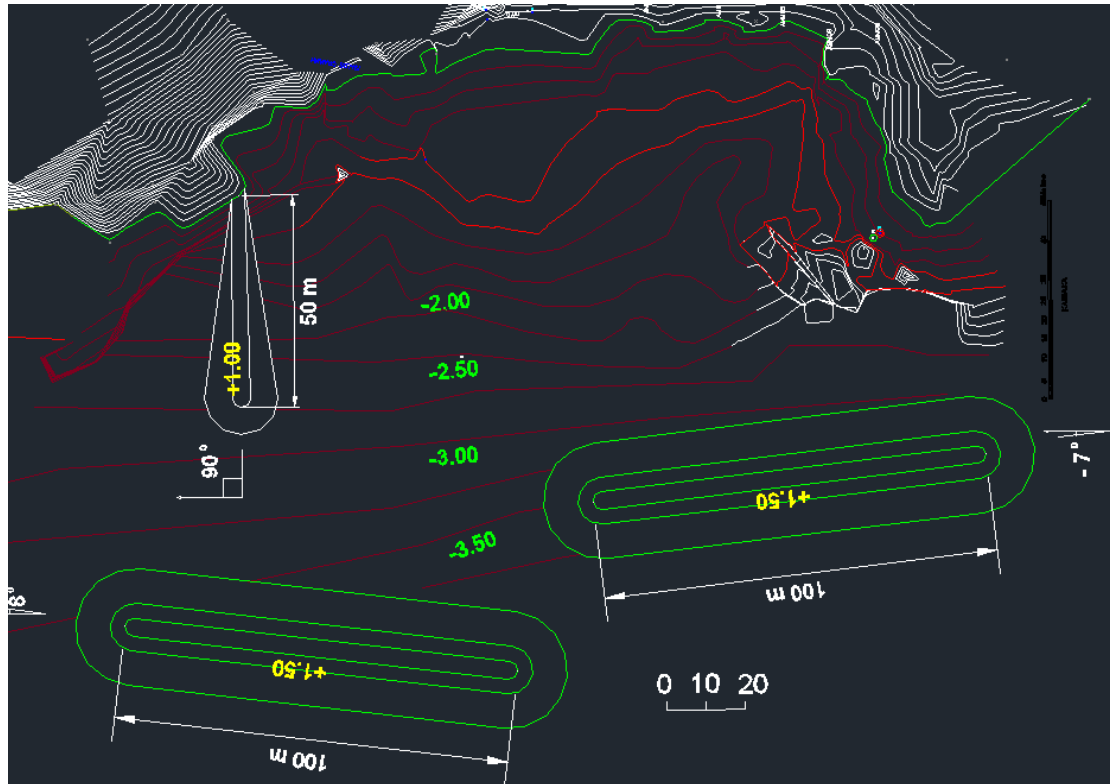
Εικόνα 15: Αξονες Έργων ΔΙΑΤΑΞΗΣ 4



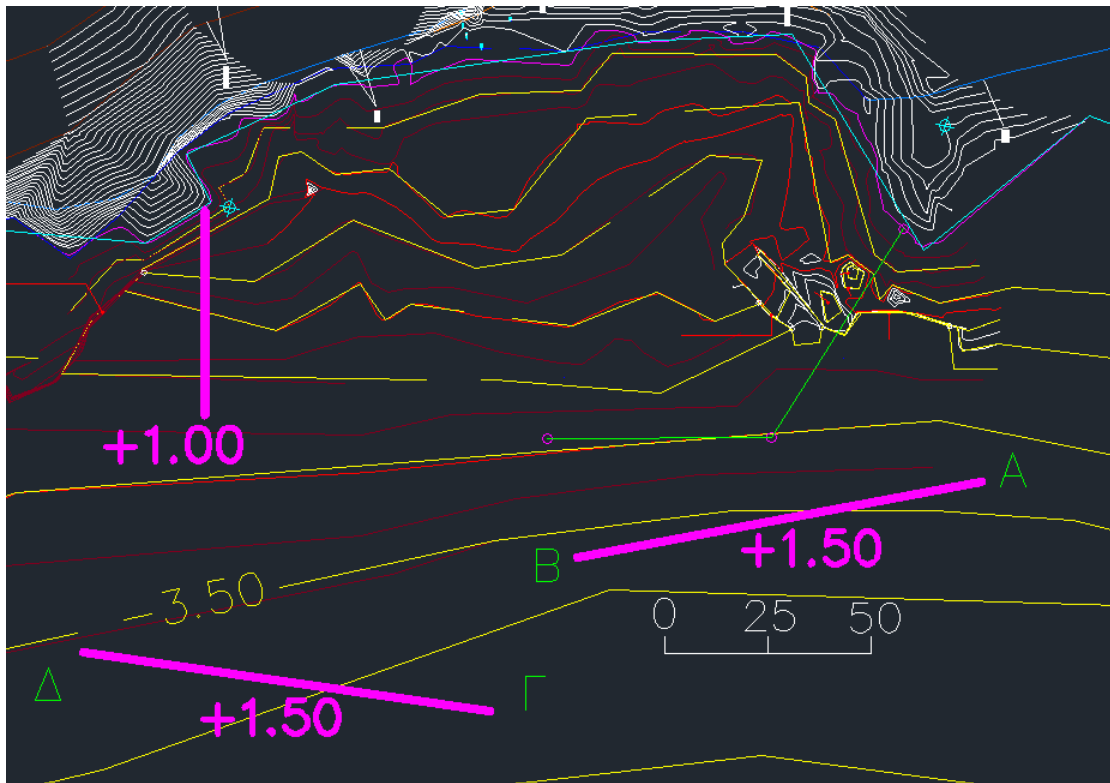
Εικόνα 16: Άποψη προσομιώματος ΔΙΑΤΑΞΗΣ 4

## ΔΙΑΤΑΞΗ 5

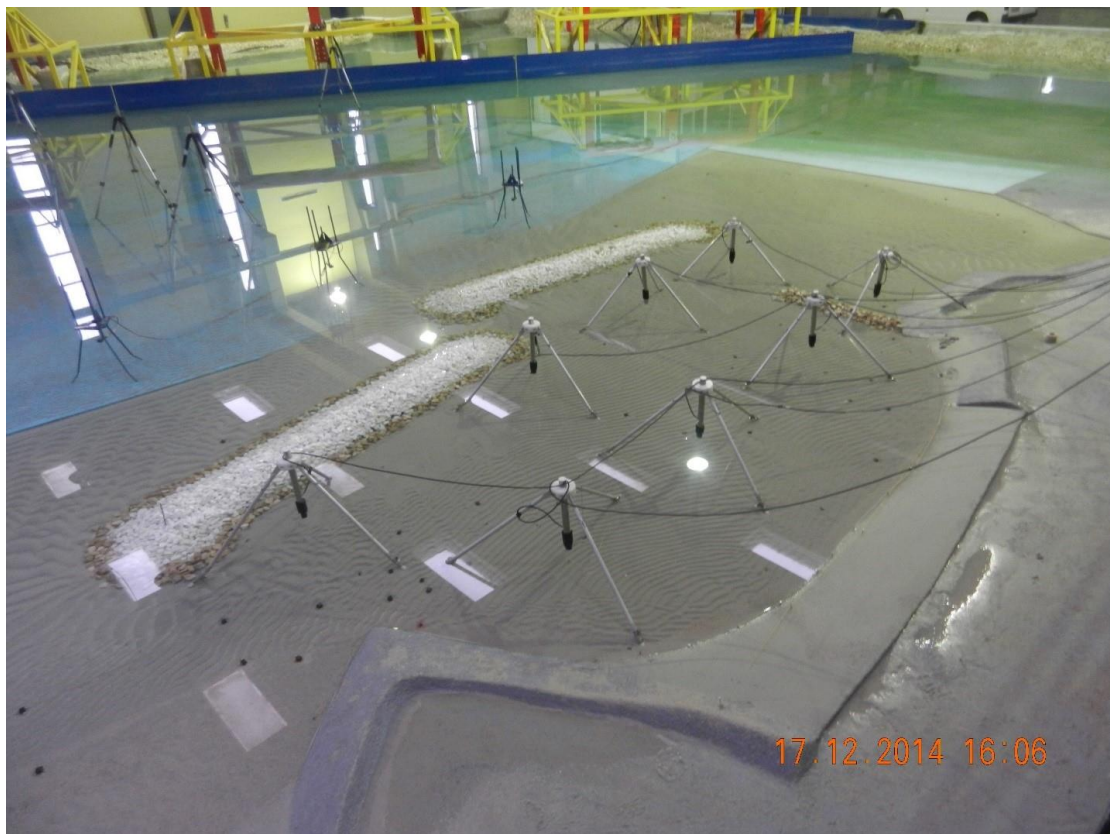
Τα έργα της ΔΙΑΤΑΞΗΣ 5 αποτελούνται πάλι από τους κυματοθραύστες Κ1 και Κ2 της ΔΙΑΤΑΞΗΣ 3 και από πρόβολο μήκους 55m, ο οποίος βρίσκεται επίσης στο βόρειο τμήμα της ακτής, αλλά πιο δεξιά από τον πρόβολο της ΔΙΑΤΑΞΗΣ 4.



Εικόνα 17: Προτεινόμενα έργα ΔΙΑΤΑΞΗΣ 5

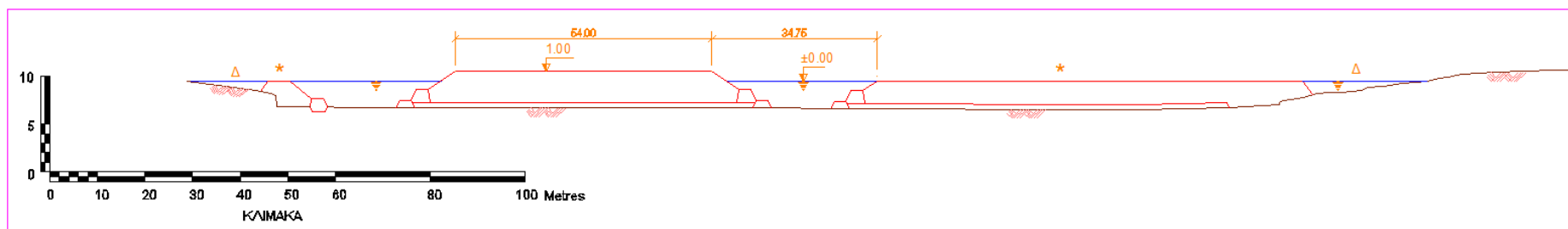


Εικόνα 18: Άξονες έργων ΔΙΑΤΑΞΗΣ 5



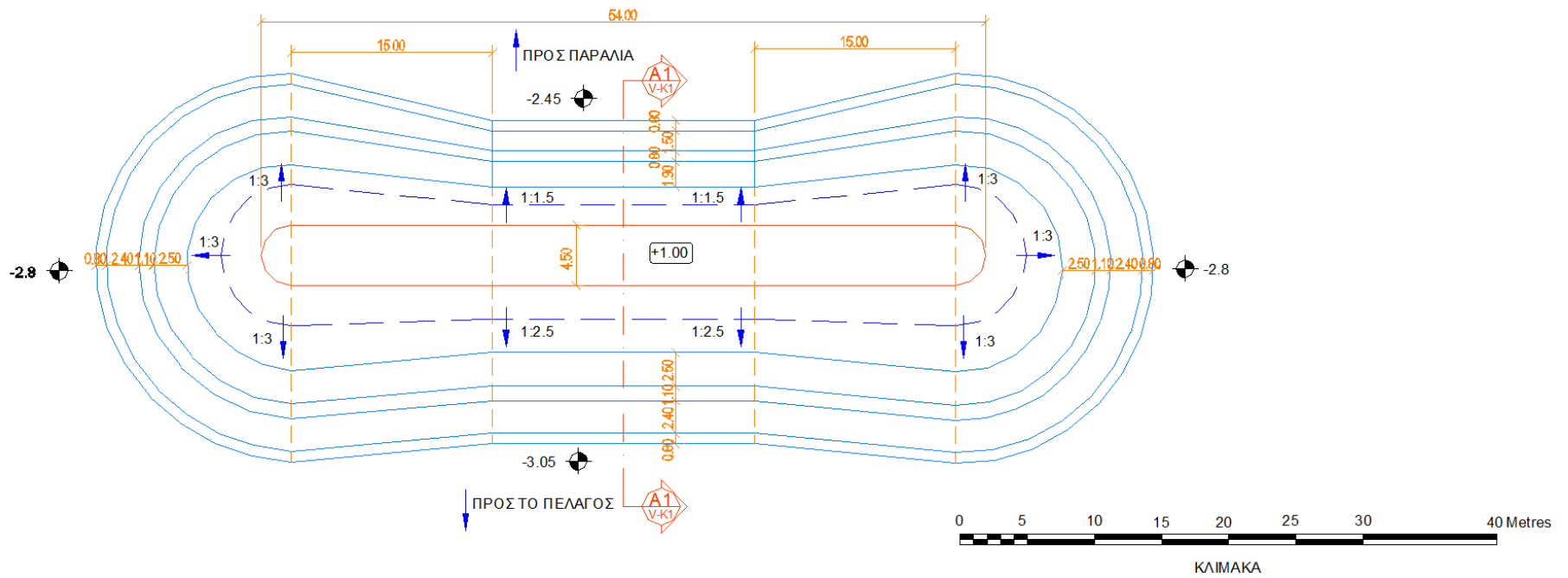
Εικόνα 19: Άποψη προσομοιώματος ΔΙΑΤΑΞΗΣ 5

Παρακάτω παρουσιάζονται τυπικές διατομές των παραπάνω έργων, οι οποίες έχουν ληφθεί από το μελετητή το έργου.

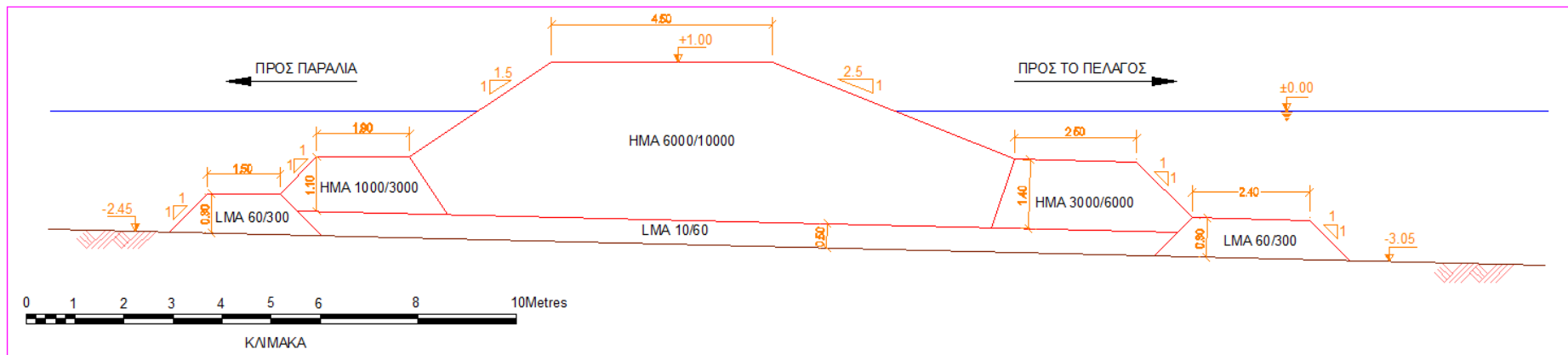


ΤΟΜΗ Γ1-Γ1

Εικόνα 20: Τομή Γ1 – Γ1 Έργου Διάταξης 2

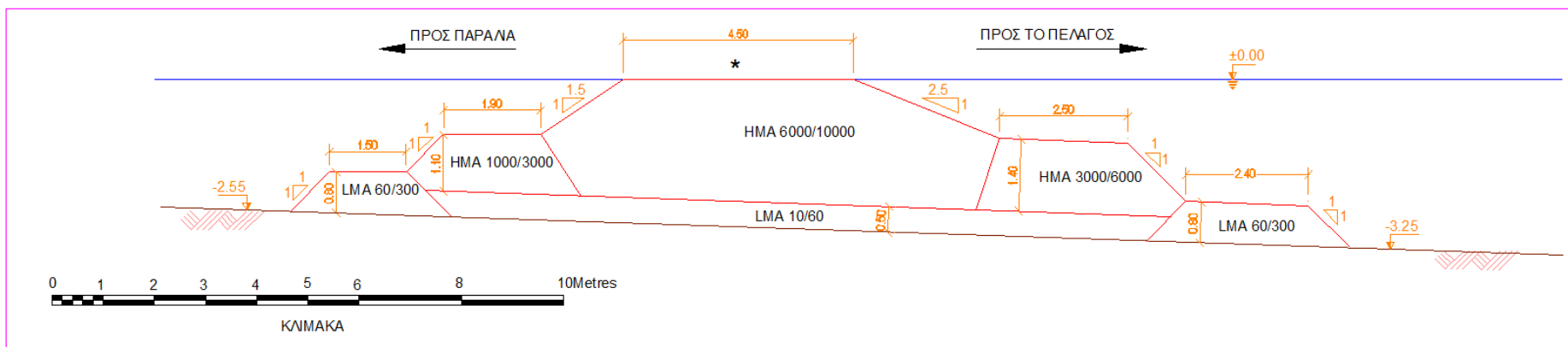


Εικόνα 21: Κάτοψη αποσπασμένου κυματοθραύστη K1 Διάταξης 2

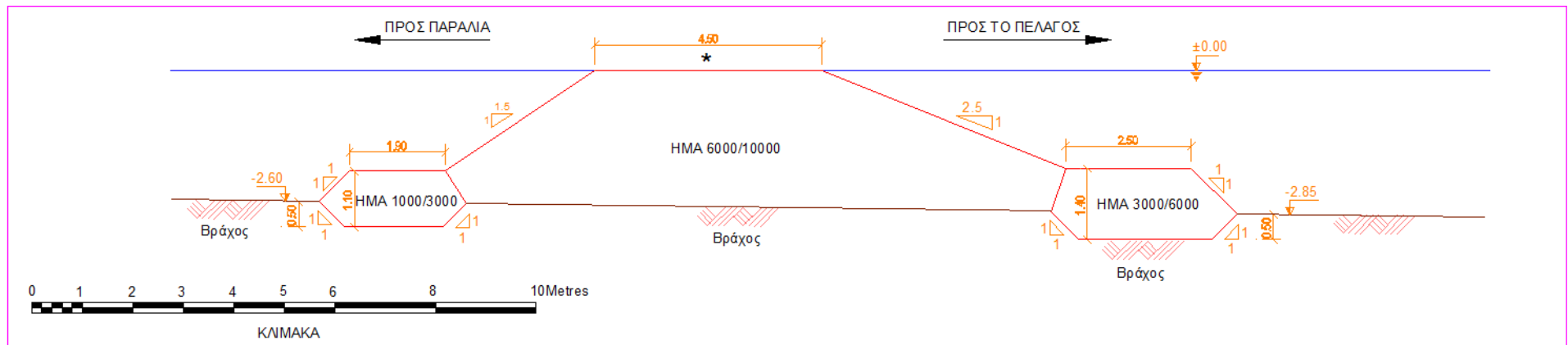


Εικόνα 22: Διατομή Α1-Α1 Έργου Διάταξης 2



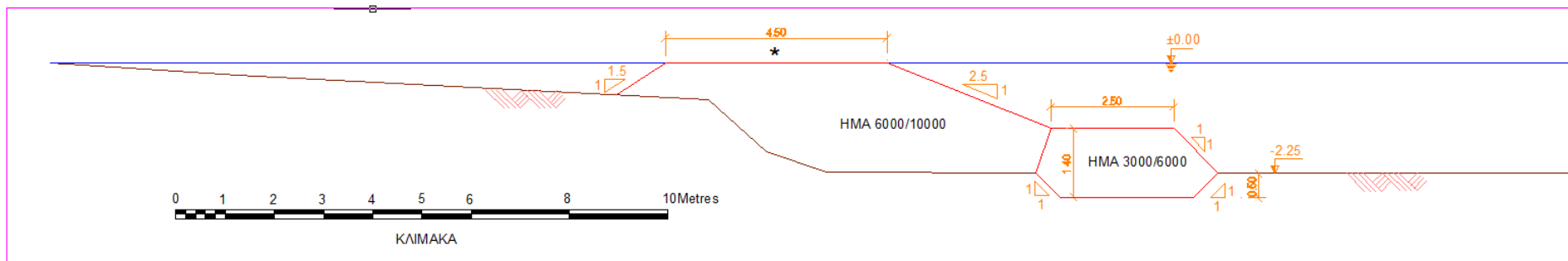


Εικόνα 23: Διατομή Α2-Α2 Έργου Διάταξης 2



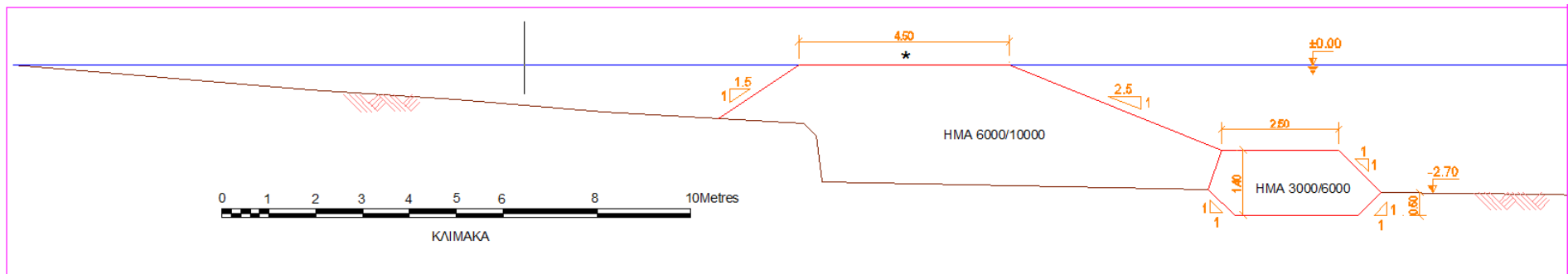
ΔΙΑΤΟΜΗ Β2-Β2

Εικόνα 24: Διατομή Β2 - Β2 έργου προστασίας ΙΣ1 Διάταξης 2

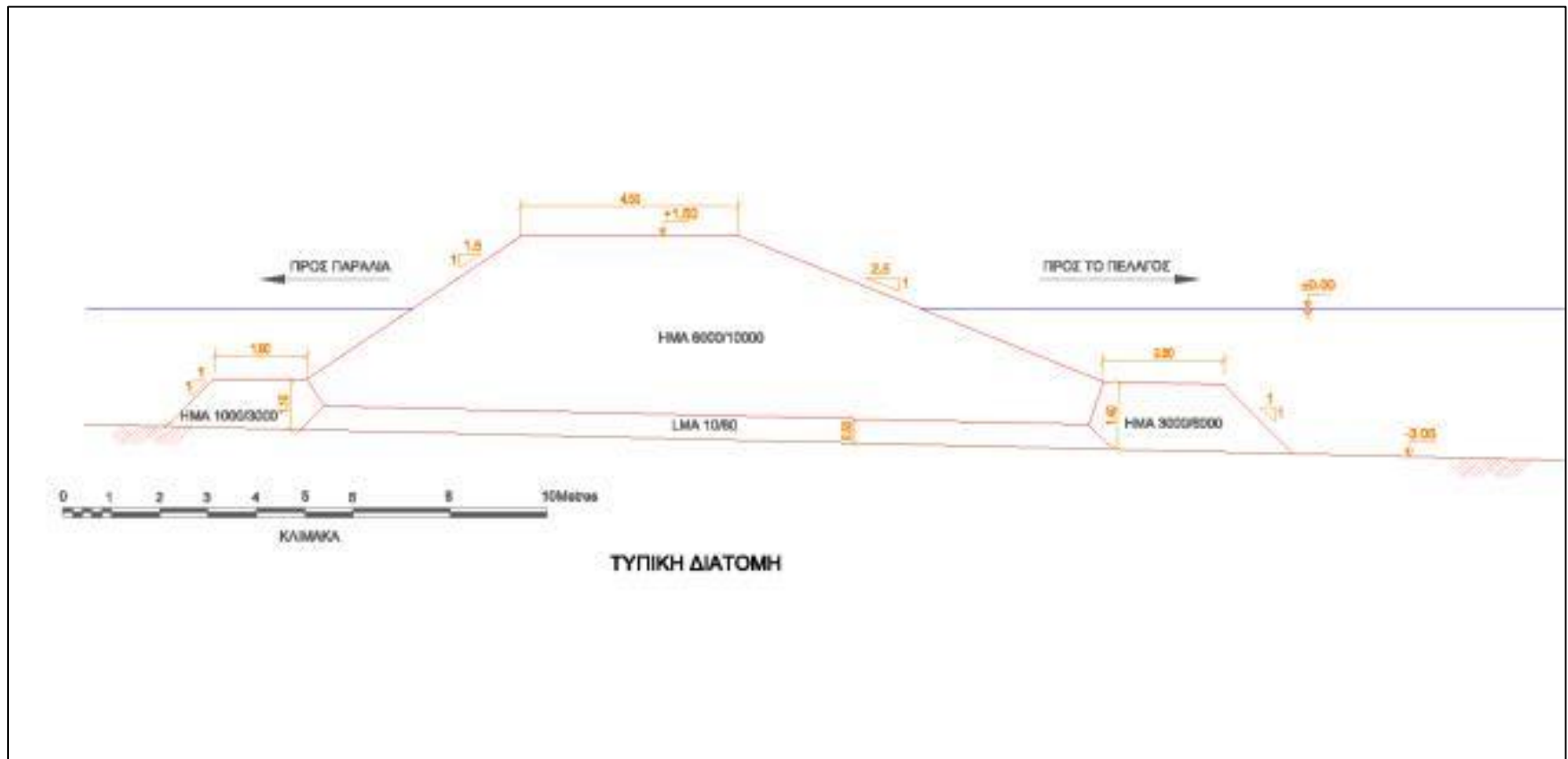


ΔΙΑΤΟΜΗ Θ1-Θ1

Εικόνα 25: Διατομή Θ1 - Θ1 έργου προτασίας Θ1 Διάταξης 2



Εικόνα 26: Διατομή Θ2 - Θ2 έργου προστασίας ΙΣ1 Διάταξης 2



Εικόνα 27: Τομή κυματοθραυστών ΔΙΑΤΑΞΗΣ 3

## 5.5 Διαδικασία Πειραμάτων

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε κάθε πείραμα ήταν η ακόλουθη:

- Έλεγχος στάθμης νερού στη δεξαμενή
- Βαθμονόμηση μετρητών κύματος αντιστάσεως
- Αρχική φωτογράφιση και βιντεοσκόπηση

Στη συνέχεια ξεκινούσε το πείραμα με την πρόσπτωση κυμάτων και τη λήψη 7, 5 ή 4 μετρήσεων (ανάλογα με την διάρκεια του πειράματος) κυμάτων διάρκειας 10 min στις 15 θέσεις. Κατά τη διάρκεια του πειράματος γινόταν φωτογράφιση και βιντεοσκόπηση. Οι μετρήσεις κυμάτων άρχιζαν με την έναρξη του πειράματος και συνεχίζονταν ανά μισή ώρα οι 2 επόμενες και στη συνέχεια ανά ώρα.

Για τις μετρήσεις εξέλιξης ακτογραμμής τοποθετήθηκε στην ακτή μελέτης μέχρι την ισοβαθή των -5 m στρώμα ιζήματος πάχους 2 cm και οριοθετήθηκε με νήμα η ακτογραμμή. Στη συνέχεια για τις συνήθεις κυματικές συνθήκες έδρασε κυματισμός διάρκειας 5 ωρών, που αντιστοιχεί σε 26 ώρες στη φύση. Για τη δυτική ακραία κυματική συνθήκη η διάρκεια δράσης του κυματισμού ήταν 2 ώρες, ενώ για την ακραία κυματική συνθήκη την προερχόμενη από διεύθυνση πρόσπτωσης 300° ήταν 1 ώρα. Μετά το πέρας της κυματικής διαταραχής γινόταν επισήμανση της καινούριας ακτογραμμής με νήμα διαφορετικού χρώματος. Επίσης, πραγματοποιούταν αποτύπωση του πυθμένα με τη μέτρηση της στάθμης του ιζήματος στους 75 “μάρτυρες” που χρησιμοποιήθηκαν στον πυθμένα της δεξαμενής.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται το ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ των 12 διεξαχθέντων πειραμάτων.

α/α	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩ- ΣΕΩΣ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤ ΟΣ	ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ	
					H <sub>s</sub> (m)	T <sub>p</sub> (sec)
1	Δ1 ΔΙΑΤΑΞΗ 1	270°	1.1.1	ΣΥΝΗΘΗΣ	3.50	8.06
2		270°	1.1.2	ΑΚΡΑΙΑ	6.25	10.77
3		300°	1.2.1	ΣΥΝΗΘΗΣ	3.50	8.06
4		300°	1.2.2	ΑΚΡΑΙΑ	6.70	11.15
5	Δ2 ΔΙΑΤΑΞΗ 2	270°	2.1.1	ΣΥΝΗΘΗΣ	3.50	8.06
6		300°	2.2.1	ΣΥΝΗΘΗΣ	3.50	8.06
7	Δ3 ΔΙΑΤΑΞΗ 3	270°	3.1.1	ΣΥΝΗΘΗΣ	3.50	8.06
8		270°	3.1.2	ΑΚΡΑΙΑ	6.25	10.77
9		300°	3.2.1	ΣΥΝΗΘΗΣ	3.50	8.06
10		300°	3.2.2	ΑΚΡΑΙΑ	6.70	11.15
11	Δ4 ΔΙΑΤΑΞΗ 4	300°	4.2.1	ΣΥΝΗΘΗΣ	3.50	8.06
12	Δ5 ΔΙΑΤΑΞΗ 5	300°	5.2.1	ΣΥΝΗΘΗΣ	3.50	8.06

Πίνακας 3: Εκτελεσθέντα Πειράματα

## 6. Συλλογή και Επεξεργασία Μετρήσεων

### 6.1 Μετρήσεις Κυμάτων

Στην παρούσα μελέτη μετρήθηκε και αναλύθηκε η κυματική διαταραχή σε 15 διαφορετικά σημεία της δεξαμενής.

Χρησιμοποιήθηκαν 4 μετρητές τύπου αντιστάσεως στα βαθιά νερά , 3 μετρητές αντιστάσεως στα ρηχά νερά και 8 ηχοβολιστικοί μετρητές στην περιοχή των έργων προστασίας (κυματοθραύστες) σε επιλεγμένες θέσεις εξωτερικά και εσωτερικά των έργων. Η ακριβής θέση των μετρητών σε κάθε πειραματική διάταξη φαίνεται στον πίνακα και στα σχέδια που παρατίθενται παρακάτω.

Οι μετρητές κύματος ήταν συνδεδεμένοι με ηλεκτρονικό υπολογιστή, στον οποίο αποθηκεύτηκαν οι πληροφορίες για περαιτέρω ανάλυση. Τα κύματα που μετρήθηκαν αναλύθηκαν φασματικά και στατιστικά.

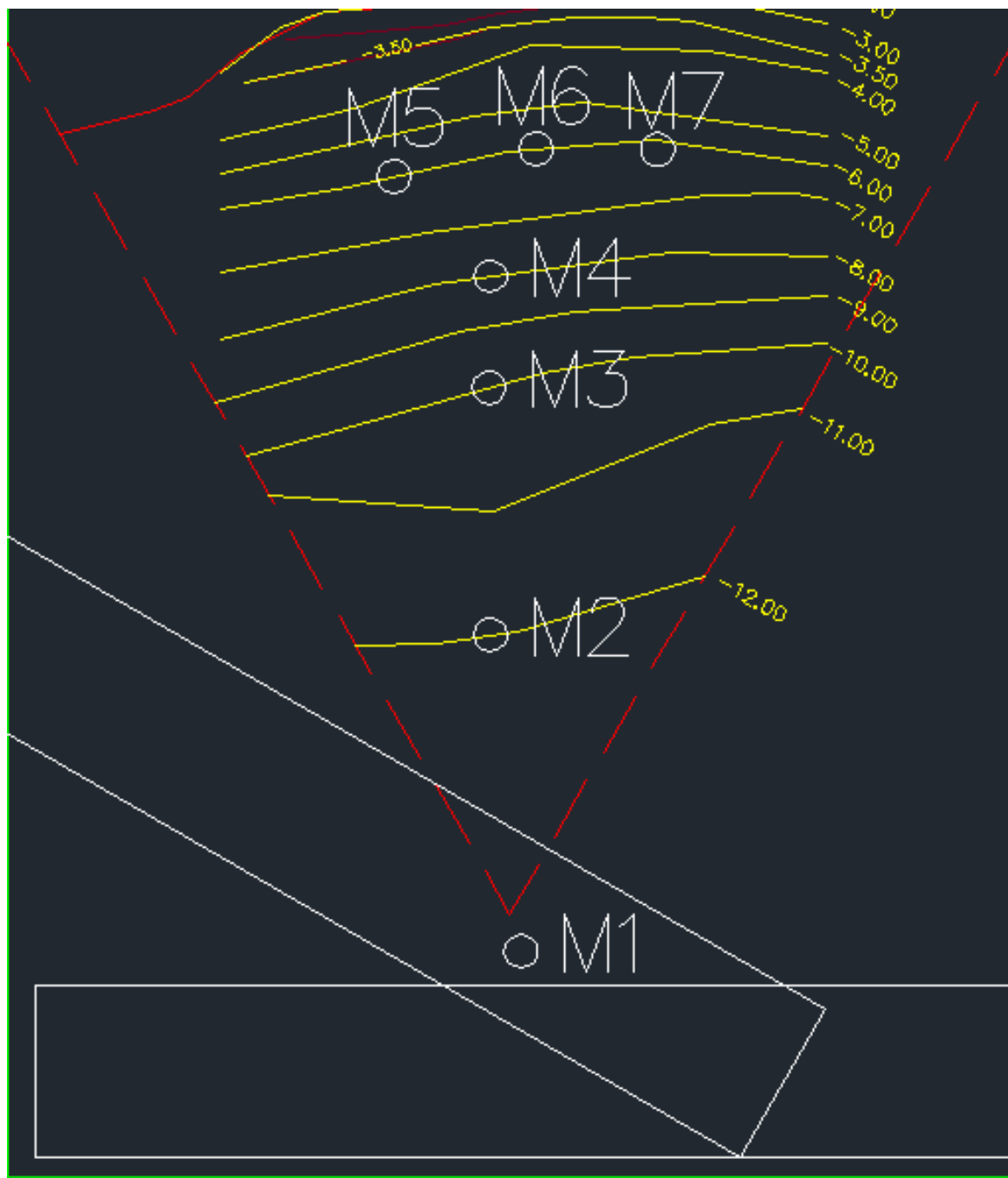
Για τη συλλογή και ανάλυση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το λογιστικό πακέτο WAVEDATA της εταιρείας HR WALLINFORD, το οποίο χρησιμοποιεί μετασχηματισμό Fourier (Fast Fourier Transform).

Τα συγκριτικά αποτελέσματα μέτρησης κυμάτων παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

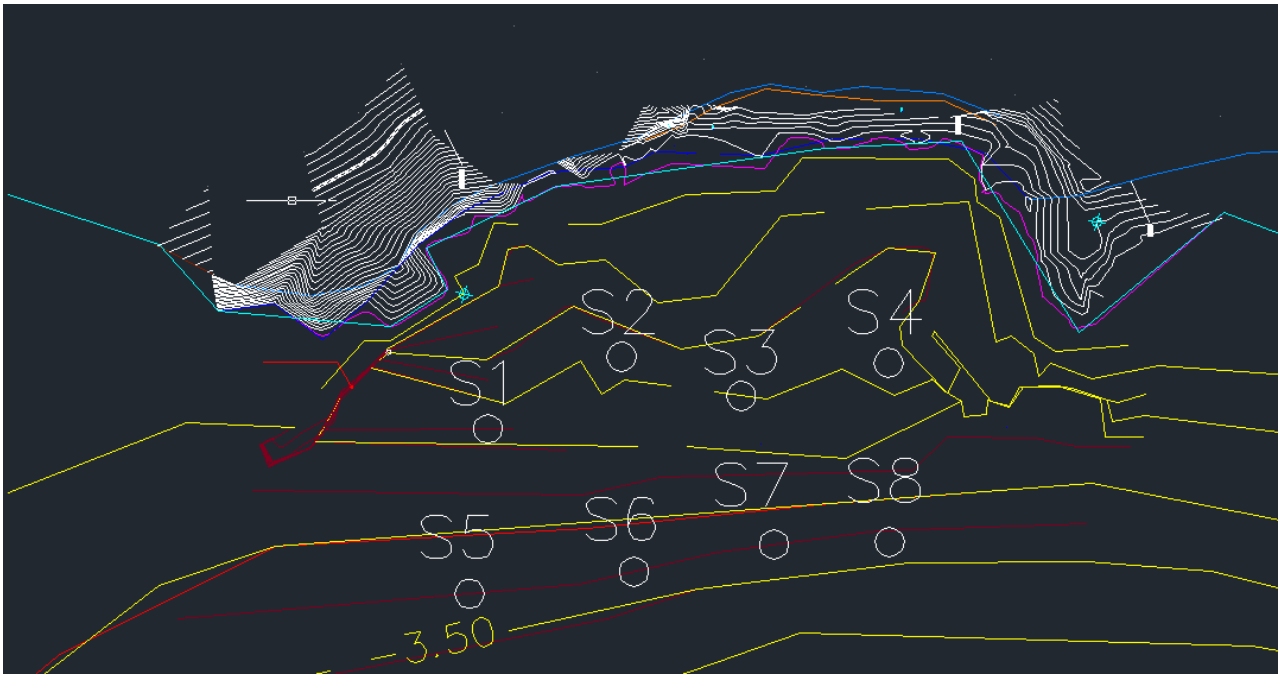


A/A	ΜΕΤΡΗΤΗΣ	ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΤΗ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ
1	M1	Βρίσκεται εμπρός από τους κυματιστήρες, σε βάθος -16 m. Είναι μετρητής ελέγχου. Η θέση του μεταβάλλεται ανά διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων.
2	M2	Βρίσκεται σε βάθος πυθμένα -12 m στο μέσον του φυσικού προσομοιώματος
3	M3	Βρίσκεται σε βάθος πυθμένα -10 m στο μέσον του φυσικού προσομοιώματος.
4	M4	Βρίσκεται σε βάθος πυθμένα -8 m στο μέσον του φυσικού προσομοιώματος
5	M5	Βρίσκεται σε βάθος πυθμένα -6 m στο βόρειο τμήμα της ακτής μελέτης
6	M6	Βρίσκεται σε βάθος πυθμένα -6 m στο κεντρικό τμήμα της ακτής μελέτης
7	M7	Βρίσκεται σε βάθος πυθμένα -6 m στο νότιο τμήμα της ακτής μελέτης
8	S1	Βρίσκεται σε βάθος πυθμένα -2,5 m στο βόρειο τμήμα της ακτής μελέτης.
9	S2	Βρίσκεται σε βάθος -1.5 m, εμπρός από το βόρειο βραχώδες ακρωτήριο
10	S3	Βρίσκεται σε βάθος -2.0 m, στο κέντρο της θαλάσσιας περιοχής
11	S4	Βρίσκεται σε βάθος -1.5 m, στο νότιο τμήμα της θαλάσσιας περιοχής
12	S5	Βρίσκεται σε βάθος -3.5 m, ανοιχτά του S1
13	S6	Βρίσκεται σε βάθος -3.5 m, ανοιχτά του S2
14	S7	Βρίσκεται σε βάθος -3.5 m, ανοιχτά του S3
15	S8	Βρίσκεται σε βάθος -3.5 m, ανοιχτά του S4

Πίνακας 4: Θέσεις μετρητών κυμάτων



Εικόνα 28: Θέσεις μετρητών στα βαθιά νερά



Εικόνα 29: Θέσεις μετρητών στα ρηχά νερά

## 6.2 Εξέλιξη Ακτογραμμής

Πριν από κάθε πείραμα γινόταν επισήμανση της αρχικής ακτογραμμής με νήμα. Μετά το τέλος κάθε πειράματος η νέα ακτογραμμή επισημαίνονταν με νήμα διαφορετικού χρώματος.

Με αυτόν τον τρόπο έγινε δυνατή η αποτύπωση της εξέλιξης της ακτογραμμής μετά τη δράση των κυμάτων.

Τα συγκριτικά αποτελέσματα της εξέλιξης της ακτογραμμής παρατίθενται σε επόμενο κεφάλαιο.

## 6.3 Αποτύπωση Πυθμένα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν “μάρτυρες”, με σκοπό την αποτύπωση του νέου πυθμένα μετά από κάθε πείραμα. Πριν τη διεξαγωγή του πειράματος, οι μάρτυρες ήταν καλυμμένοι μέχρι την κορυφή τους με 2 cm άμμου. Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος μετρήθηκε κάθε φορά η αφαίρεση ή η προσθήκη άμμου και τα αποτελέσματα καταγράφηκαν σε ειδικό έντυπο. Τα στοιχεία περάστηκαν σε λογιστικό φύλλο του excel, όπου υπολογίστηκαν τα καινούρια βάθη κάθε σημείου.

Οι συντεταγμένες των σημείων (X,Y,Z,) εισήχθησαν στο τοπογραφικό πρόγραμμα Surfer της εταιρίας Golden Software. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι καινούριες ισοβαθείς και υπολογίστηκε ο όγκος της άμμου που συγκρατήθηκε στην υπό μελέτη περιοχή μετά από κάθε πείραμα. Οι καινούριες ισοβαθείς σχεδιάστηκαν και σε Autocad, επειδή στο Surfer δεν κατέστη δυνατό να τοποθετηθούν τα τεχνικά έργα.

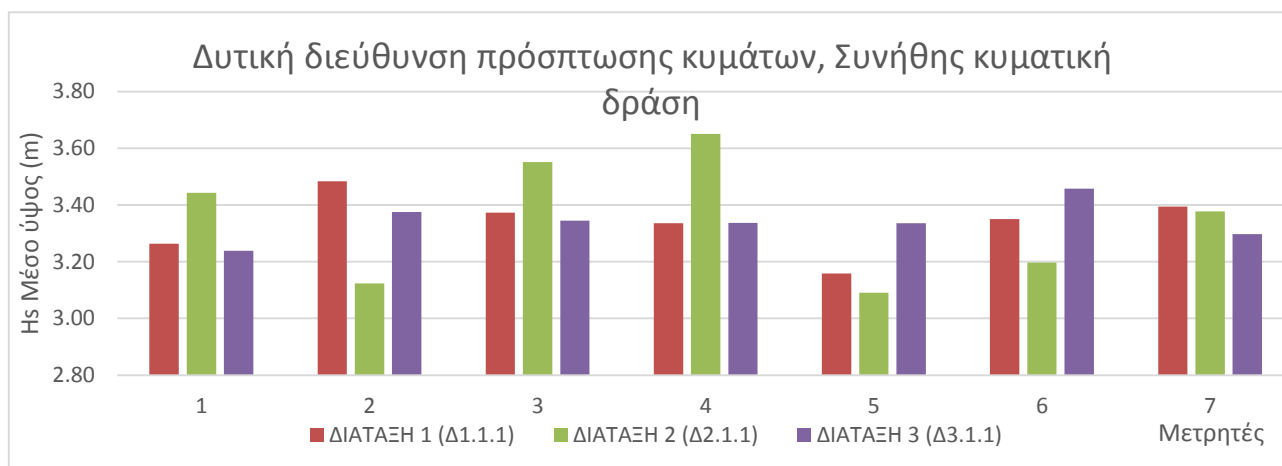
### **Πρόγραμμα Surfer**

Το Surfer αποτελεί ένα πρόγραμμα μοντελοποίησης. Ο χρήστης εισάγει συντεταγμένες σημείων (X,Y,Z), δημιουργεί τον κάναβο και στη συνέχεια μπορεί να επιλέξει μέσα από μια σειρά απεικονίσεων (διδιάστατων, τρισδιάστατων) των δεδομένων. Πέραν αυτών, παρέχονται μια σειρά δυνατότητες, ανάμεσα στις οποίες είναι και ο υπολογισμός του όγκου του υλικού μεταξύ διάφορων υψομετρικών επιπέδων της περιοχής που προσομοιώνεται.

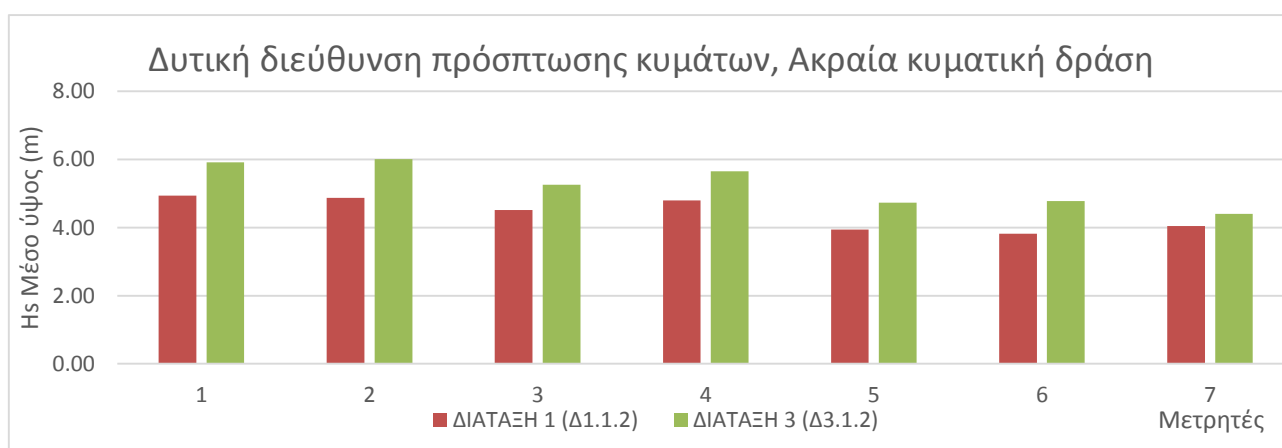
## 7. Συγκριτικά Αποτελέσματα Μέτρησης Κυμάτων και Εξέλιξης Ακτογραμμής

### 7.1 Συγκριτικά Αποτελέσματα Μέτρησης Κυμάτων

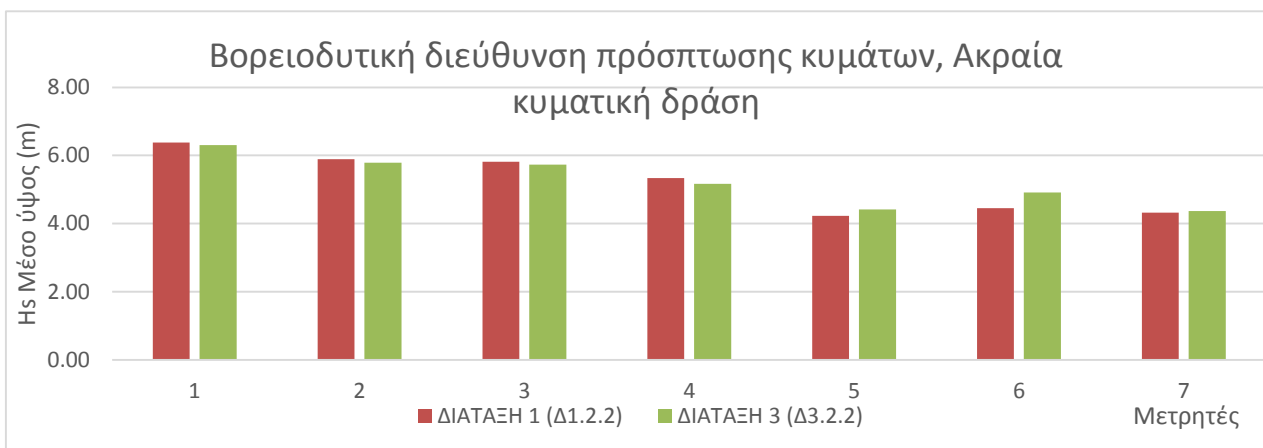
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, παρουσιάζεται συγκριτικά ανά διάταξη, ανά διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων και ανά κυματική συνθήκη (συνήθη ή ακραία) το μέσο χαρακτηριστικό ύψος κύματος.



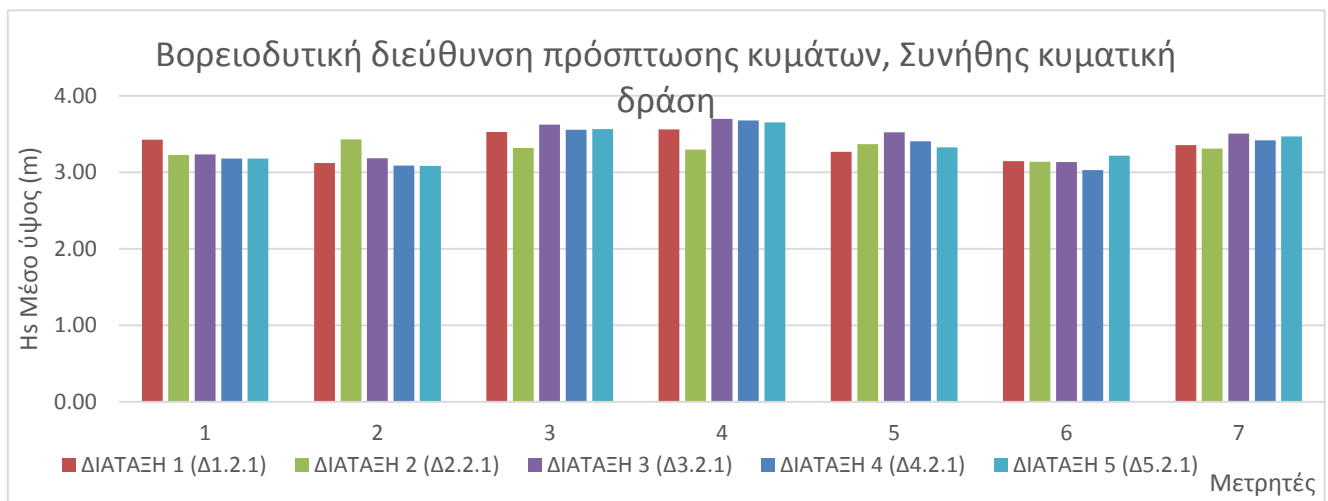
Εικόνα 30: Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων Δυτική, Ύψος Κύματος 3,5m



Εικόνα 31: Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων Δυτική, Ύψος κύματος 6,25m



Εικόνα 32: Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων Βορειοδυτική, Ύψος κύματος 6,25m



Εικόνα 5: Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων Βορειοδυτική, Ύψος κύματος 3,5m

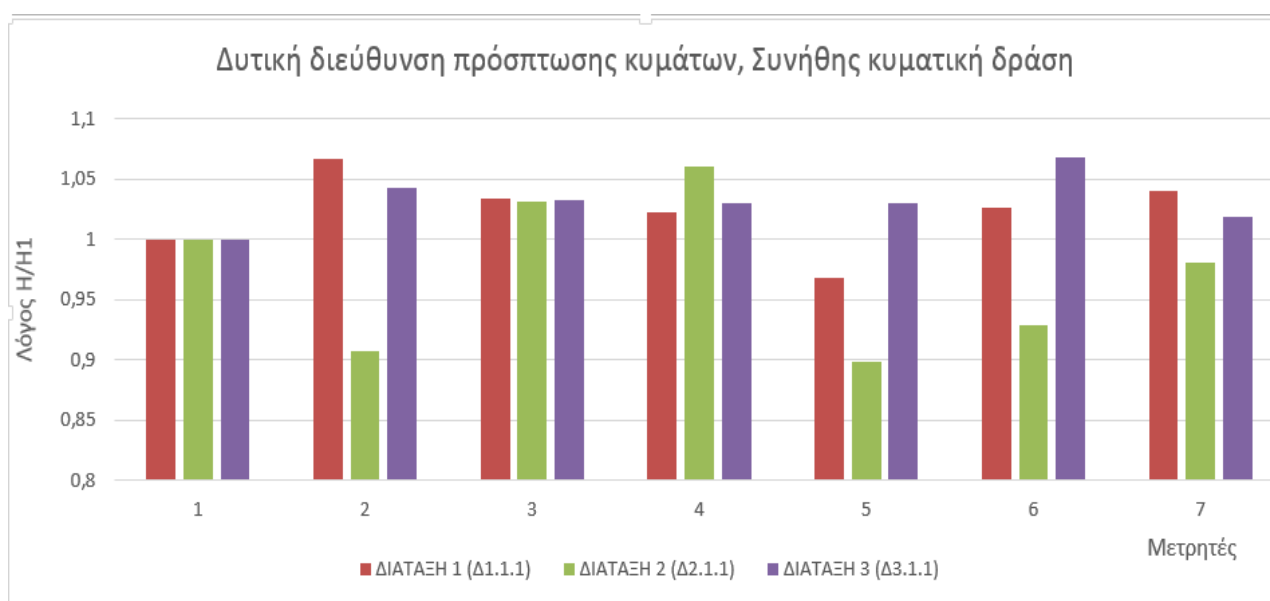
ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΑ	ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (m)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ΔΙΑΤΑΞΗ								
<b>Δ1.1.1</b>	1,51	1,49	1,78	1,52	1,77	2,52	1,67	1,96
<b>Δ1.1.2</b>	2,67	2,84	3,11	2,93	2,74	2,75	3,15	2,90
<b>Δ1.2.1</b>	1,45	1,54	1,77	1,84	3,19	2,28	2,50	1,52
<b>Δ1.2.2</b>	3,84	3,20	3,74	4,03	3,89	3,02	3,58	3,75
<b>Δ2.1.1</b>	1,46	1,45	1,29	1,15	4,79	2,73	2,57	2,14

Πίνακας 5: Ύψη κύματος στους 8 ηχοβολιστικούς μετρητές

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο λόγος  $H_i/H_1$ , όπου  $H_i$  το ύψος κύματος του  $i$  μετρητή στα βαθιά (από M2 έως M6) και  $H_1$  το ύψος κύματος που καταγράφηκε στο μετρητή ελέγχου M1. Προέκυψαν οι παρακάτω πίνακες και τα διαγράμματα ανά διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων και κυματική συνθήκη.

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ ΔΥΤΙΚΗ 270°							
ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ							
H <sub>s</sub> =3,5m ΣΥΝΗΘΗΣ							
Τιμή Λόγου H/H <sub>1</sub>							
ΜΕΤΡΗΤΕΣ	1	2	3	4	5	6	7
ΔΙΑΤΑΞΗ 1 (Δ1.1.1)	1	1,07	1,03	1,02	0,97	1,03	1,04
ΔΙΑΤΑΞΗ 2 (Δ2.1.1)	1	0,91	1,03	1,06	0,90	0,93	0,98
ΔΙΑΤΑΞΗ 3 (Δ3.1.1)	1	1,04	1,03	1,03	1,03	1,07	1,02

Εικόνα 34: Τιμή Λόγου  $H/H_1$  για  $H_s=3.5m$  και διεύθυνση πρόσπτωσης 270°

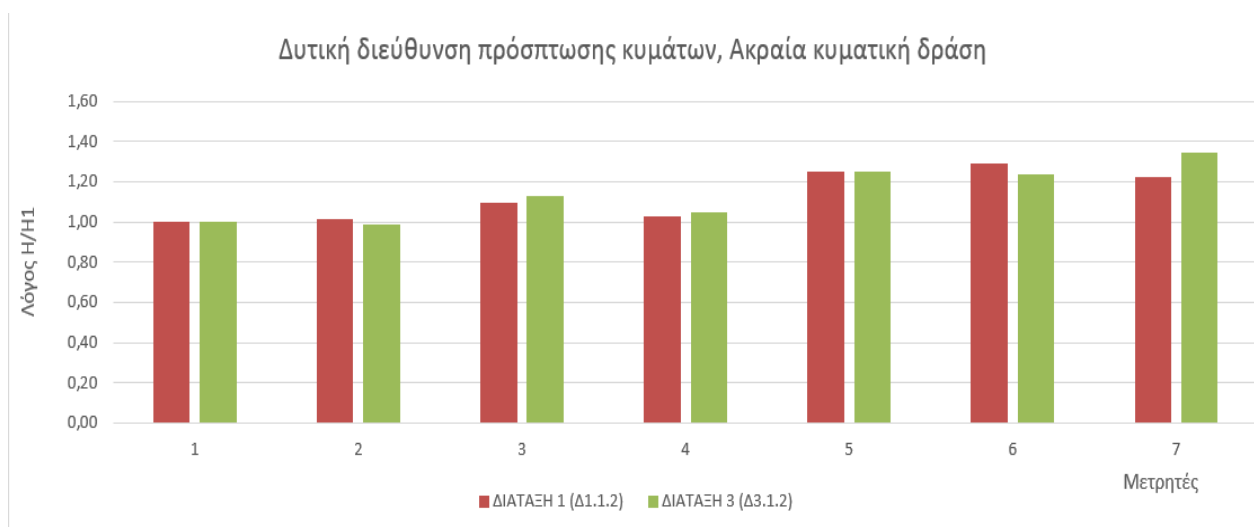


Εικόνα 35: Διάγραμμα  $H/H_1$  για  $H_s=3.5m$  και διεύθυνση πρόσπτωσης 270°

Όσον αφορά στο μετρητή M2, ο μέγιστος λόγος παρατηρείται στο πείραμα 1.1.1. Στο πείραμα 2.1.1 πέφτει κατά 0,16, ενώ στο πείραμα 3.1.1 ανεβαίνει κοντά στην τιμή του πειράματος 1.1.1. Παρόμοια μεταβολή παρατηρείται και στους μετρητές M5, M6, M7. Στο μετρητή M4 έχω αύξηση του λόγου στο πείραμα 2.1.1, ενώ στο μετρητή M3 η τιμή του λόγου παραμένει σταθερή.

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ ΔΥΤΙΚΗ 270°							
ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ							
Hs=6,25m ΑΚΡΑΙΑ							
Τιμή Λόγου H/H1							
ΜΕΤΡΗΤΕΣ	1	2	3	4	5	6	7
ΔΙΑΤΑΞΗ 1 (Δ1.1.2)	1,00	1,01	1,09	1,03	1,25	1,29	1,22
ΔΙΑΤΑΞΗ 3 (Δ3.1.2)	1,00	0,98	1,13	1,05	1,25	1,24	1,35

Εικόνα 36: Τιμή Λόγου  $H/H_1$  για  $H_s=6.25m$  και διεύθυνση πρόσπτωσης  $270^\circ$



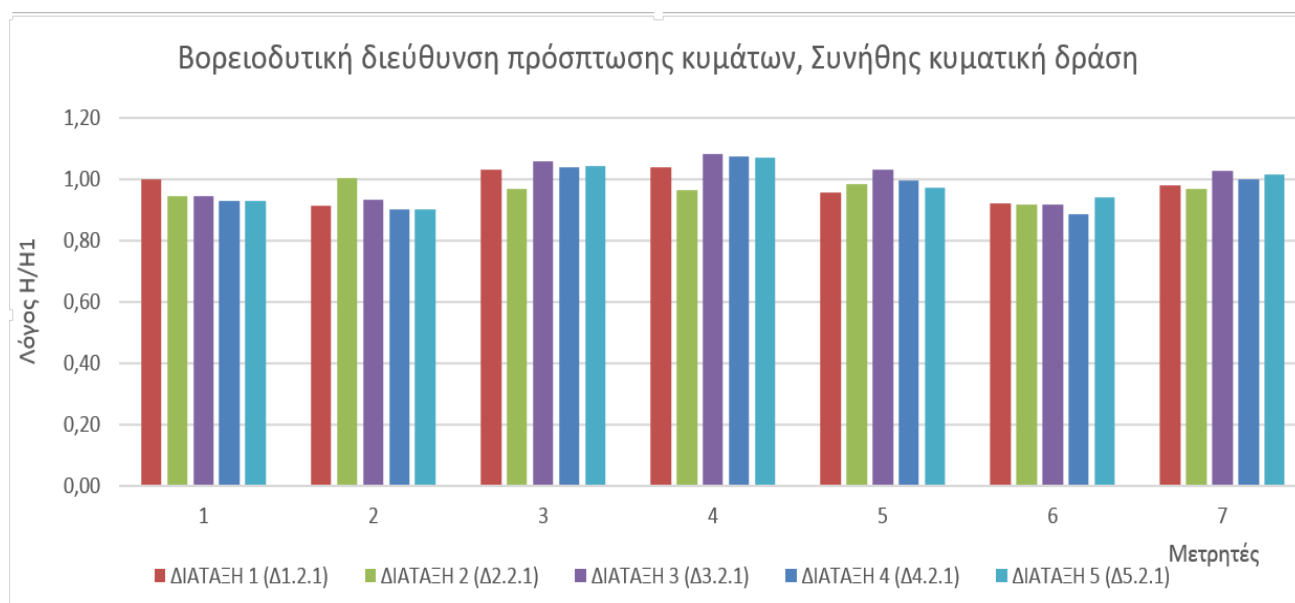
Εικόνα 37: Διάγραμμα  $H/H_1$  για  $H_s=6.25m$  και διεύθυνση πρόσπτωσης  $270^\circ$

Οι τιμές του λόγου  $H/H_1$  δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες μεταβολές μεταξύ των πειραμάτων 1.1.2 και 3.1.2 για τους επτά μετρητές στα βαθιά νερά.



ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ 300°							
ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ							
Hs=3,5m ΣΥΝΗΘΗΣ							
Τιμή Λόγου H/H1							
ΜΕΤΡΗΤΕΣ	1	2	3	4	5	6	7
ΔΙΑΤΑΞΗ 1 (Δ1.2.1)	1,00	0,91	1,03	1,04	0,95	0,92	0,98
ΔΙΑΤΑΞΗ 2 (Δ2.2.1)	0,94	1,00	0,97	0,96	0,98	0,92	0,97
ΔΙΑΤΑΞΗ 3 (Δ3.2.1)	0,94	0,93	1,06	1,08	1,03	0,91	1,02
ΔΙΑΤΑΞΗ 4 (Δ4.2.1)	0,93	0,90	1,04	1,07	0,99	0,88	1,00
ΔΙΑΤΑΞΗ 5 (Δ5.2.1)	0,93	0,90	1,04	1,07	0,97	0,94	1,01

Εικόνα 38: Τιμή Λόγου  $H/H_1$  για  $H_s=3.50m$  και διεύθυνση πρόσπτωσης 300°

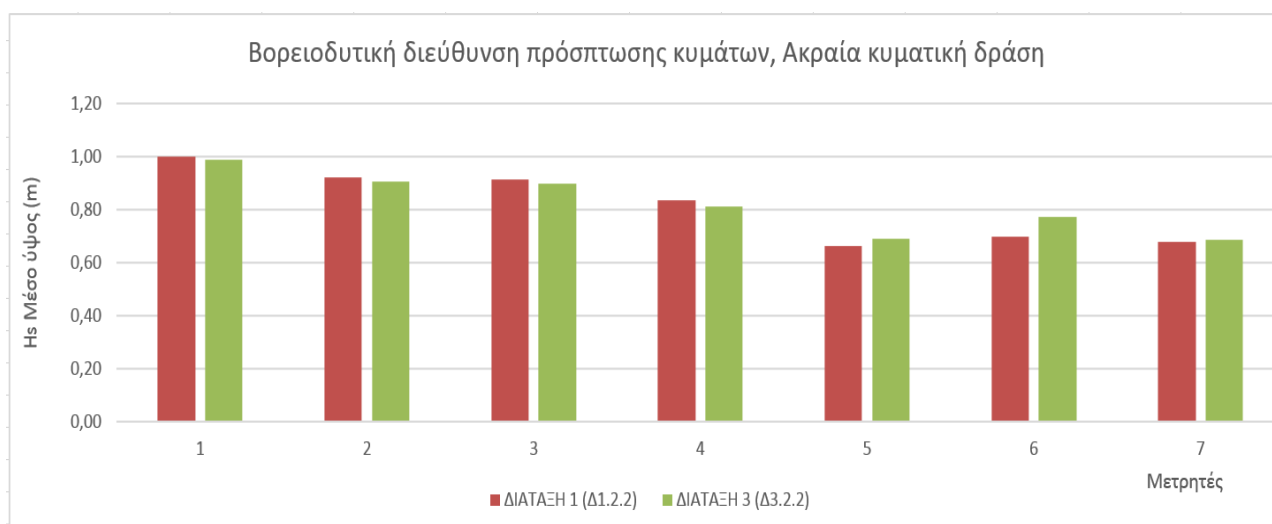


Εικόνα 39: Διάγραμμα  $H/H_1$  για  $H_s=3.50m$  και διεύθυνση πρόσπτωσης 300°

Στους μετρητές Μ2, Μ5 και Μ6 παρατηρείται μείωση του λόγου στο πείραμα 2.1.1. Μείωση παρατηρείται και στο μετρητή Μ7, αλλά πιο μικρή από αυτήν των προαναφερθέντων μετρητών. Στο μετρητή Μ3 δεν παρατηρήθηκε μεταβολή του λόγου  $H/H_1$ , ενώ στο μετρητή Μ4 παρατηρήθηκε σχετικά μικρή αύξηση στο πείραμα 2.1.1.

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ 300°							
ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ							
Hs=6,25m ΑΚΡΑΙΑ							
Τιμή Λόγου H/H <sub>1</sub>							
ΜΕΤΡΗΤΕΣ	1	2	3	4	5	6	7
ΔΙΑΤΑΞΗ 1 (Δ1.2.2)	1,00	0,92	0,91	0,84	0,66	0,70	0,68
ΔΙΑΤΑΞΗ 3 (Δ3.2.2)	0,99	0,91	0,90	0,81	0,69	0,77	0,68

Εικόνα 40: Τιμή Λόγου H/H<sub>1</sub> για Hs=6,25m και διεύθυνση πρόσπτωσης 300°



Εικόνα 41: Διάγραμμα H/H<sub>1</sub> για Hs=6,25m και διεύθυνση πρόσπτωσης 300°

Στους μετρητές M2, M5, M6 και M7 παρατηρείται μείωση του λόγου H/H<sub>1</sub> στο πείραμα 2.1.1. Στο μετρητή M3 δεν υπάρχει μεταβολή του λόγου, ενώ στο μετρητή M4 έχουμε μια μικρή αύξηση του λόγου στο πείραμα 2.1.1.

## 7.2 Εξέλιξη Ακτογραμμής

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτογραμμής μετά από κάθε πείραμα εξαιτίας της δράσης των κυμάτων. Επίσης, παρατίθενται φωτογραφίες, οι οποίες τραβήχτηκαν μετά από κάθε πείραμα και στις οποίες φαίνεται πώς διαμορφώθηκε η ακτογραμμή. Η αρχική ακτογραμμή εμφανίζεται με θαλασσί χρώμα, ενώ η νέα ακτογραμμή με άλλο χρώμα, όπως στο υπόμνημα. Σχολιάζεται, τέλος, η μεταβολή της ακτογραμμής μετά από κάθε πείραμα.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1.1



Εικόνα 42: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 1.1.1



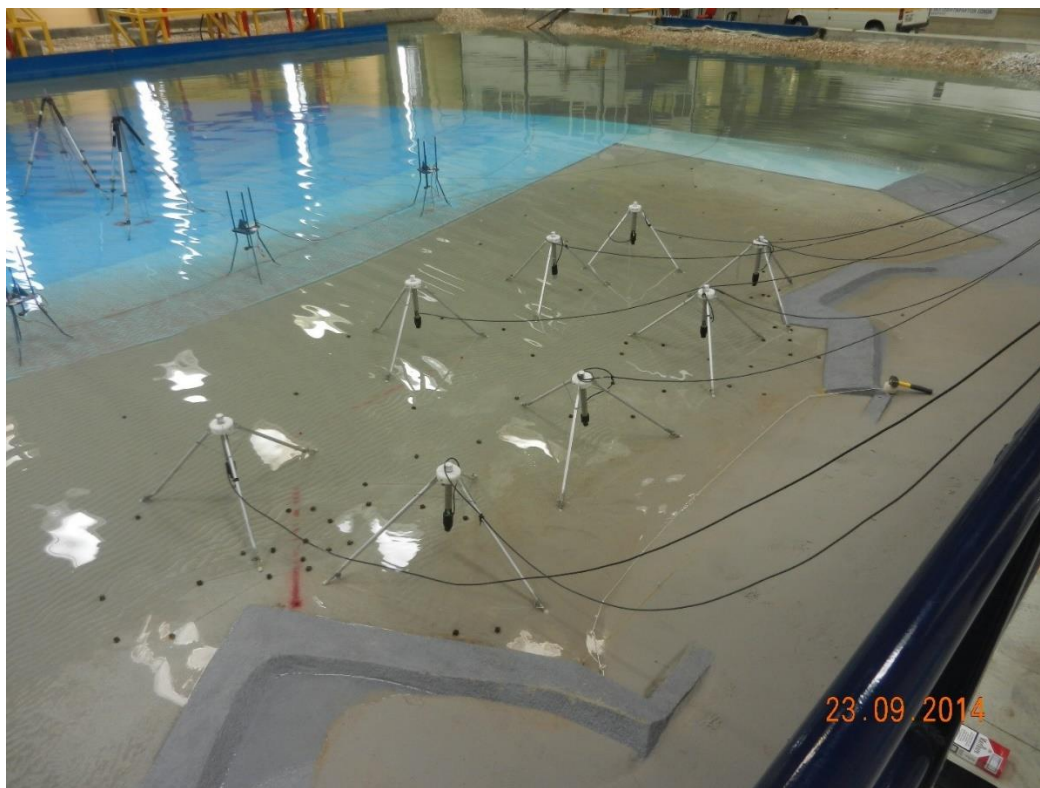
*Εικόνα 43: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 1.1.1*

Το εύρος της ακτής αυξήθηκε σε όλο το μήκος της. Το μέσο εύρος αύξησης της ακτογραμμής μετρήθηκε 12m, το μέγιστο 13.5m και το ελάχιστο 9.5m.

## ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1.2



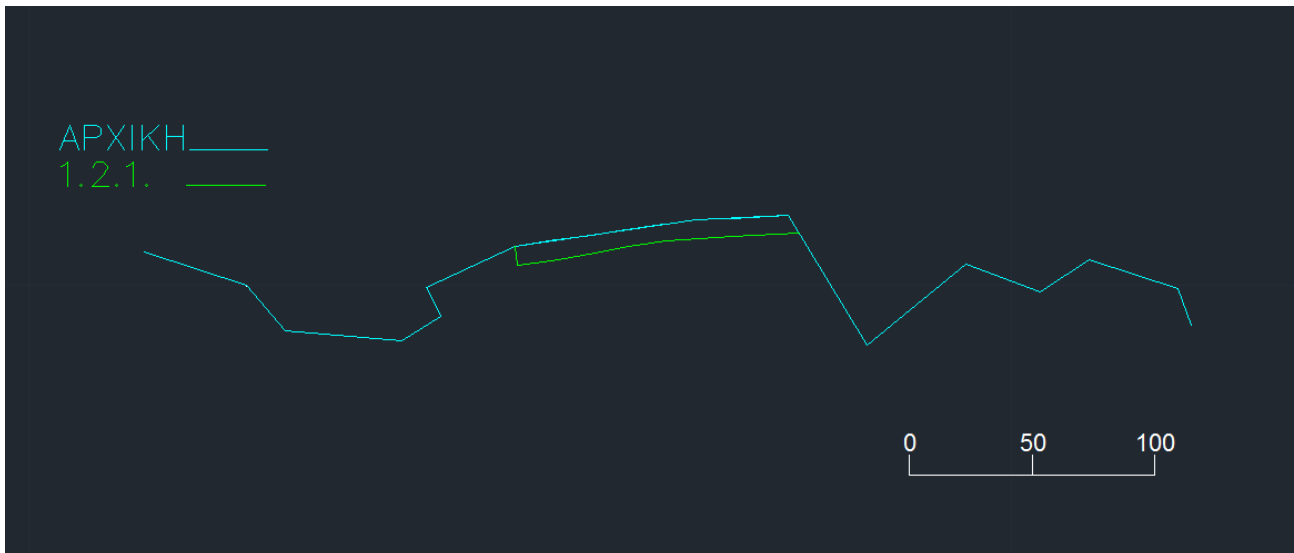
Εικόνα 44: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 1.1.2



Εικόνα 45: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 1.1.2

Στο μέσο του μήκους της ακτής παρατηρήθηκε αύξηση του εύρους της ακτής κατά 9.5m. Το εύρος αυξήθηκε καθ' όλο το μήκος της ακτής, αλλά σε μικρότερο βαθμό.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2.1



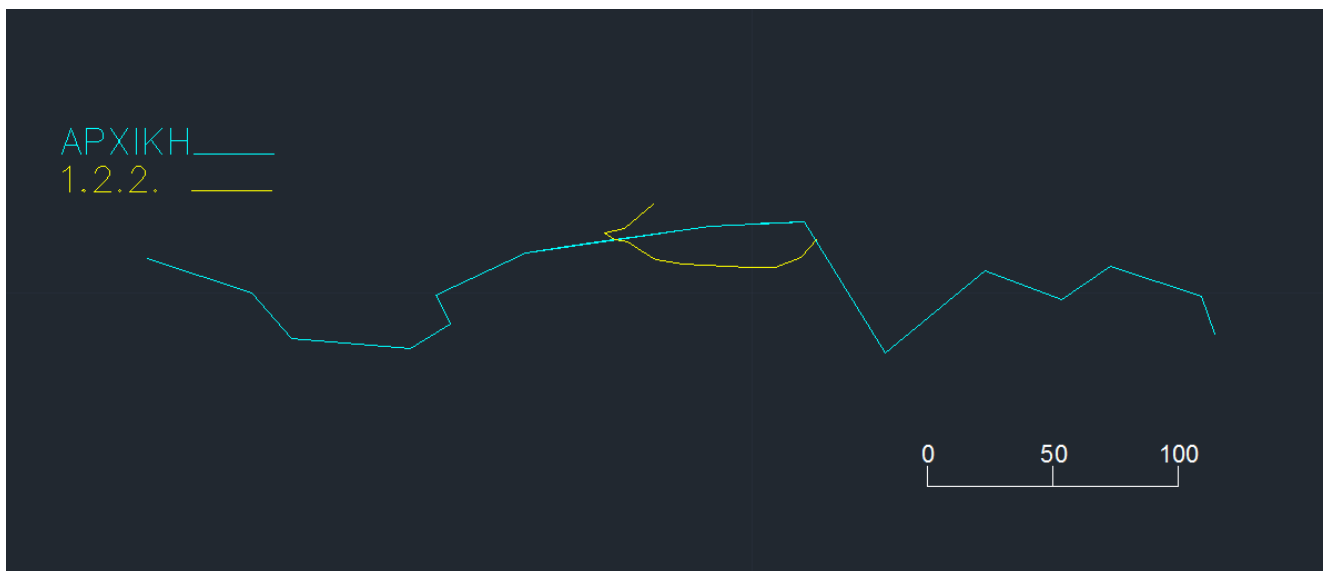
Εικόνα 46: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 1.2.1



Εικόνα 47: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 1.2.1

Στο συγκεκριμένο πείραμα το εύρος της παραλίας αυξήθηκε καθ' όλο το πλάτος της ακτής σχεδόν ομοιόμορφα. Το νέο πλάτος μετρήθηκε και βρέθηκε 7m.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2.2



Εικόνα 48: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 1.2.2

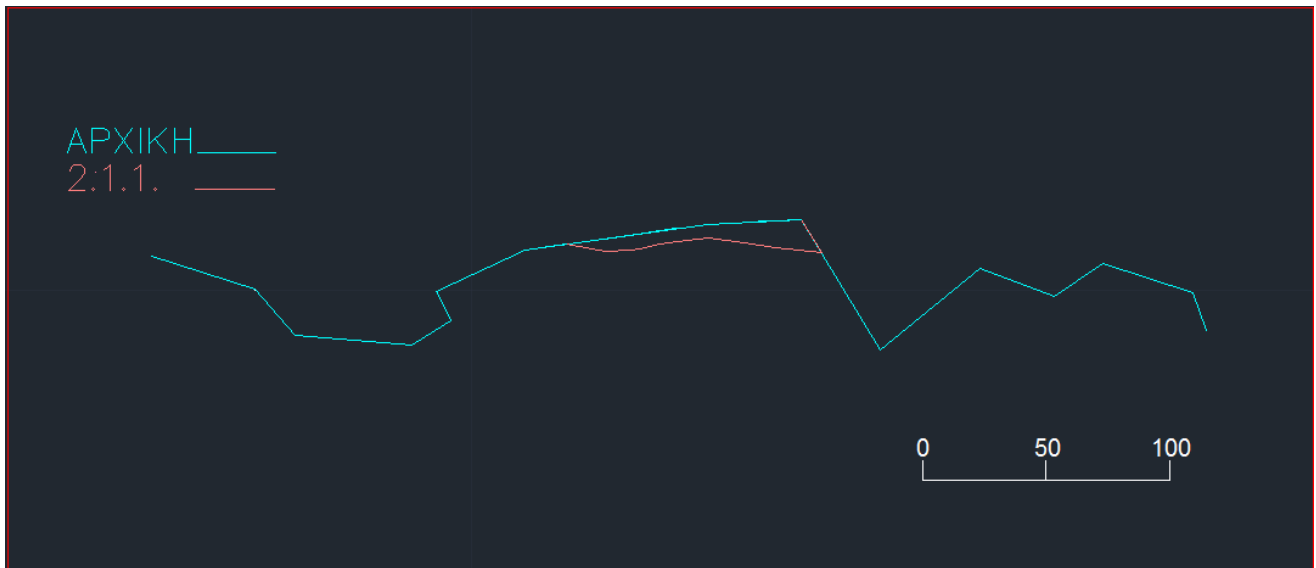


*Εικόνα 49: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 1.2.2*

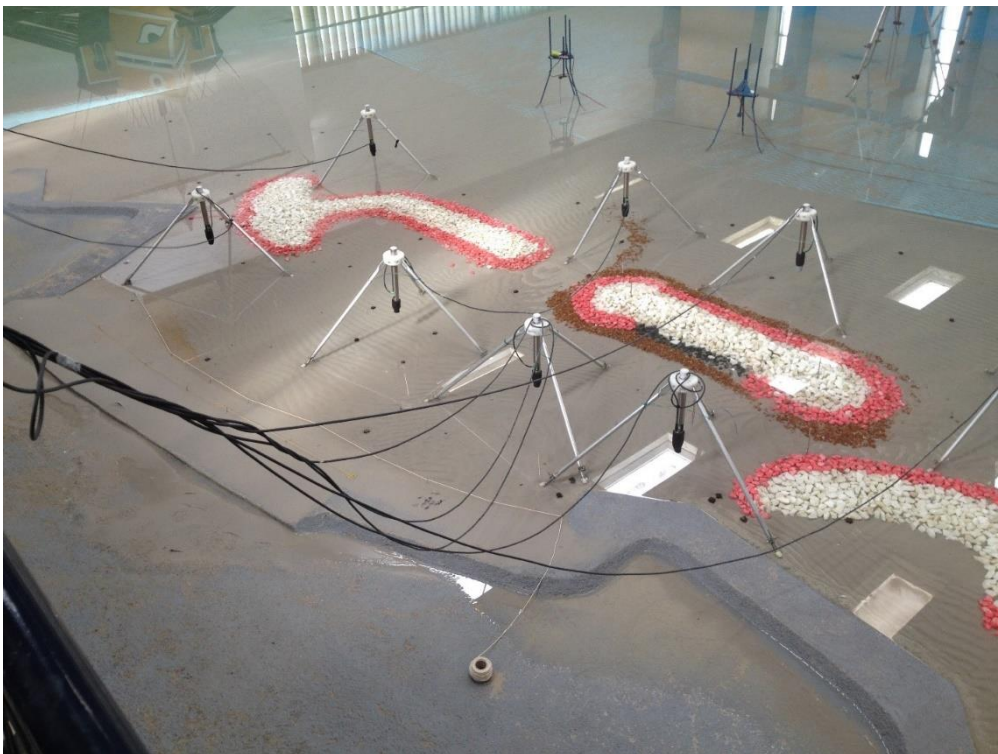
Το εύρος της ακτής αυξήθηκε μόνο στο νότιο τμήμα της φτάνοντας τα 18m, ενώ στο βόρειο μέχρι και το κεντρικό τμήμα παρατηρήθηκε σημαντική διάβρωση.



## ΠΕΙΡΑΜΑ 2.1.1



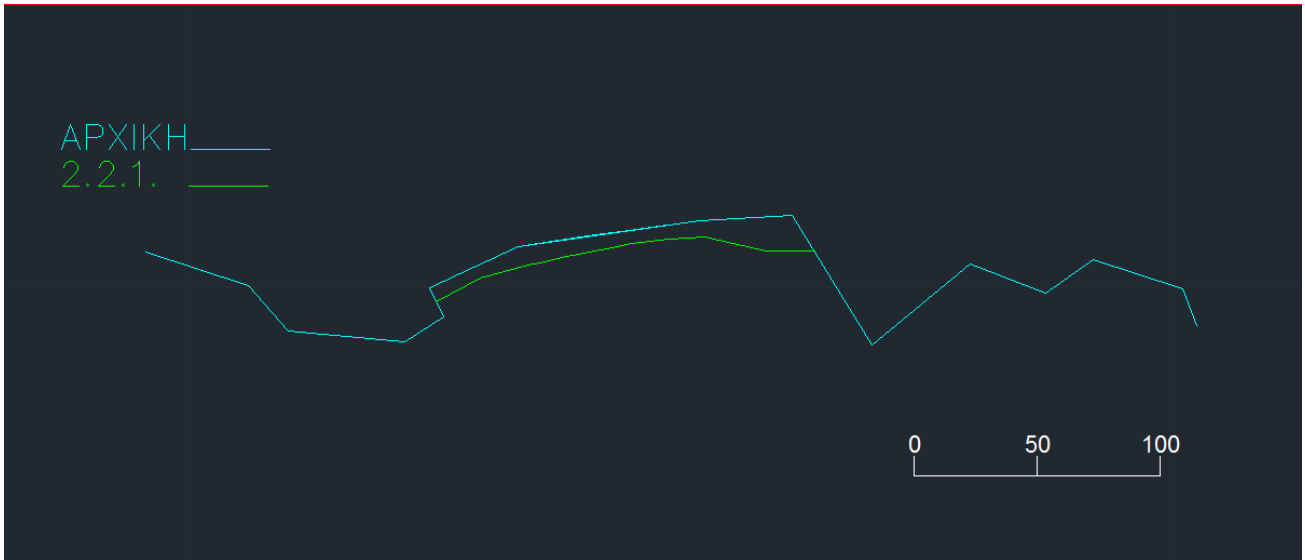
Εικόνα 50: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 2.1.1



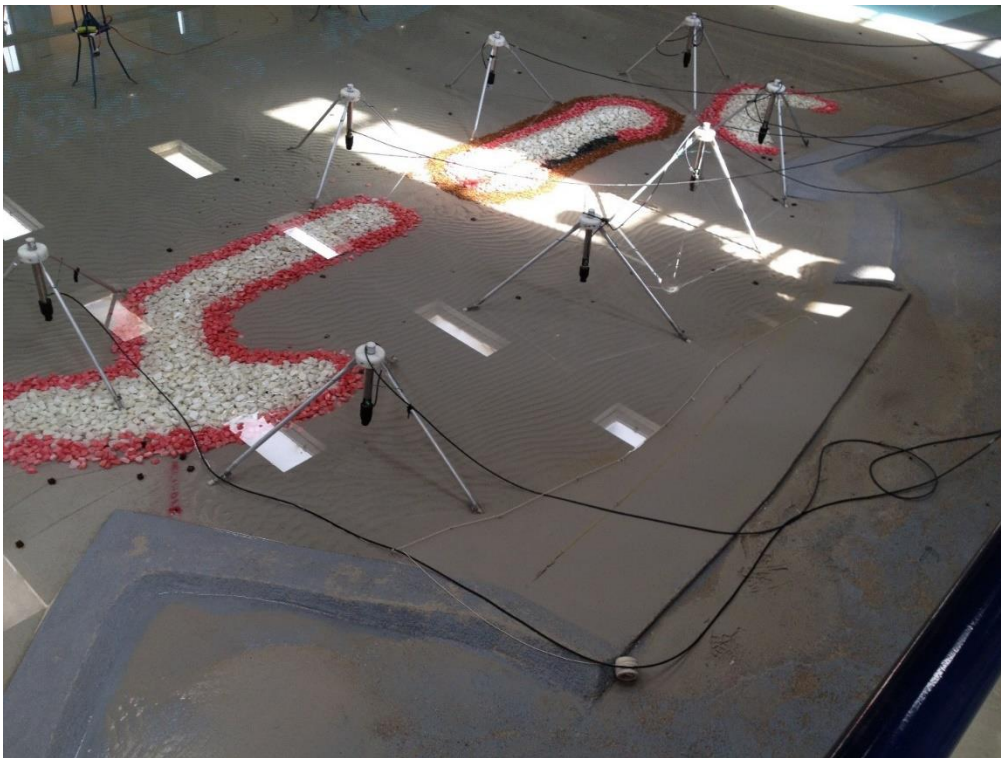
Εικόνα 6: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 2.1.1

Το εύρος της ακτής αυξήθηκε σε όλο το μήκος της και περισσότερο στο νότιο τμήμα της. Η μέγιστη αύξηση του εύρους μετρήθηκε 18m.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 2.2.1



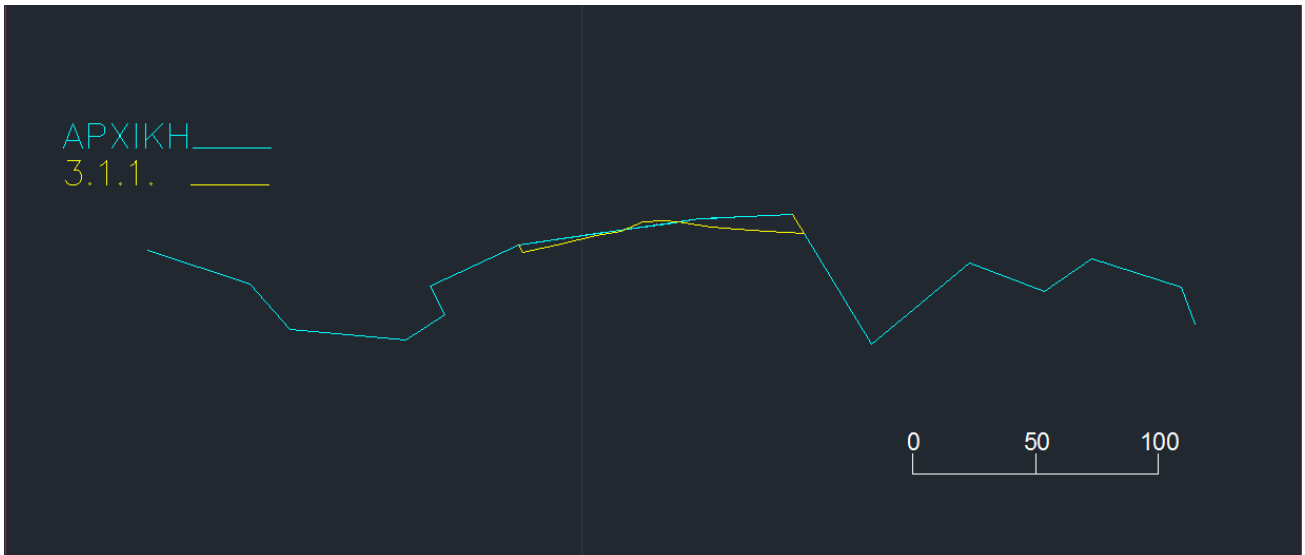
Εικόνα 52: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 2.2.1



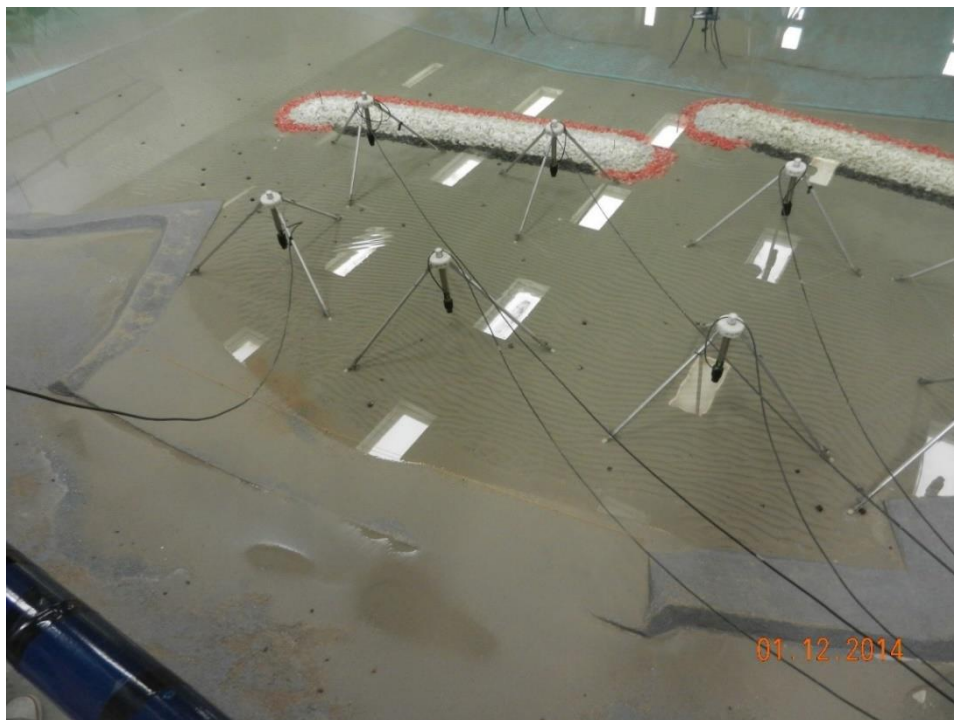
Εικόνα 53: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 2.2.1

Το εύρος της ακτής αυξήθηκε σε όλο το μήκος της και κυρίως στο νότιο τμήμα, όπου έφτασε τα 18m. Επίσης, στο βόρειο τμήμα παρατηρήθηκε ο σχηματισμός νέας παραλίας.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1.1



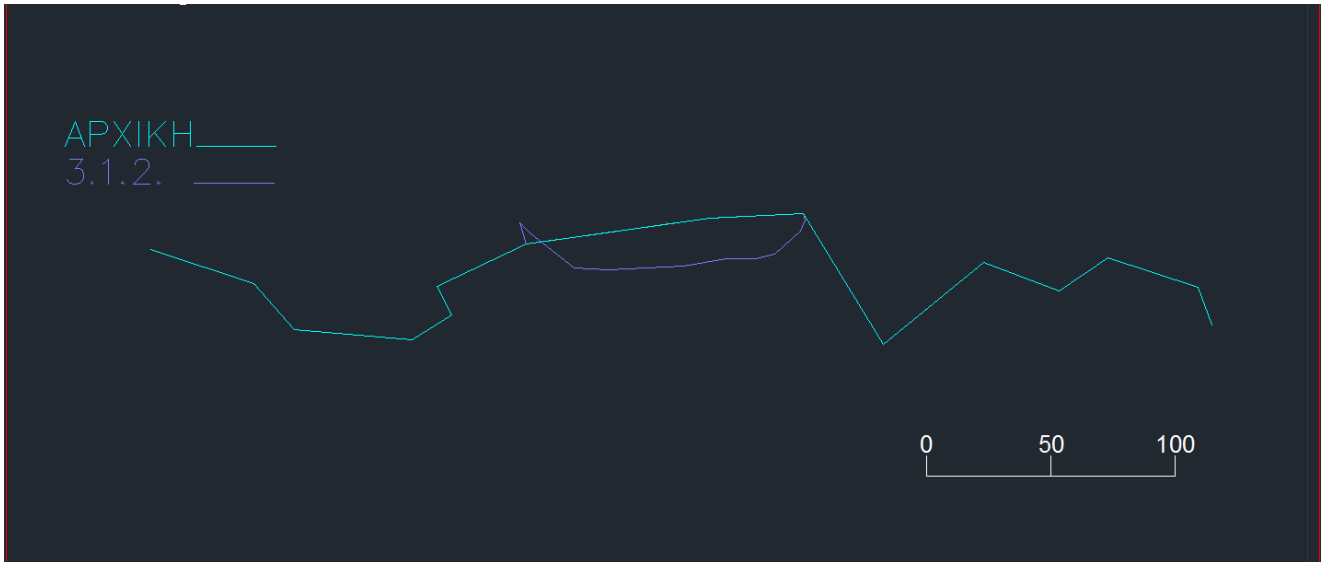
Εικόνα 54: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 3.1.1



Εικόνα 55: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 3.1.1

Στο νότιο τμήμα η ακτογραμμή δε μεταβλήθηκε σημαντικά, στο κεντρικό παρατηρήθηκε μικρή διάβρωση, ενώ στο νότιο είχαμε επέκταση της ακτογραμμής. Η μέγιστη διάβρωση μετρήθηκε 1.8m, ενώ η μέγιστη επέκταση 9.2m.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1.2



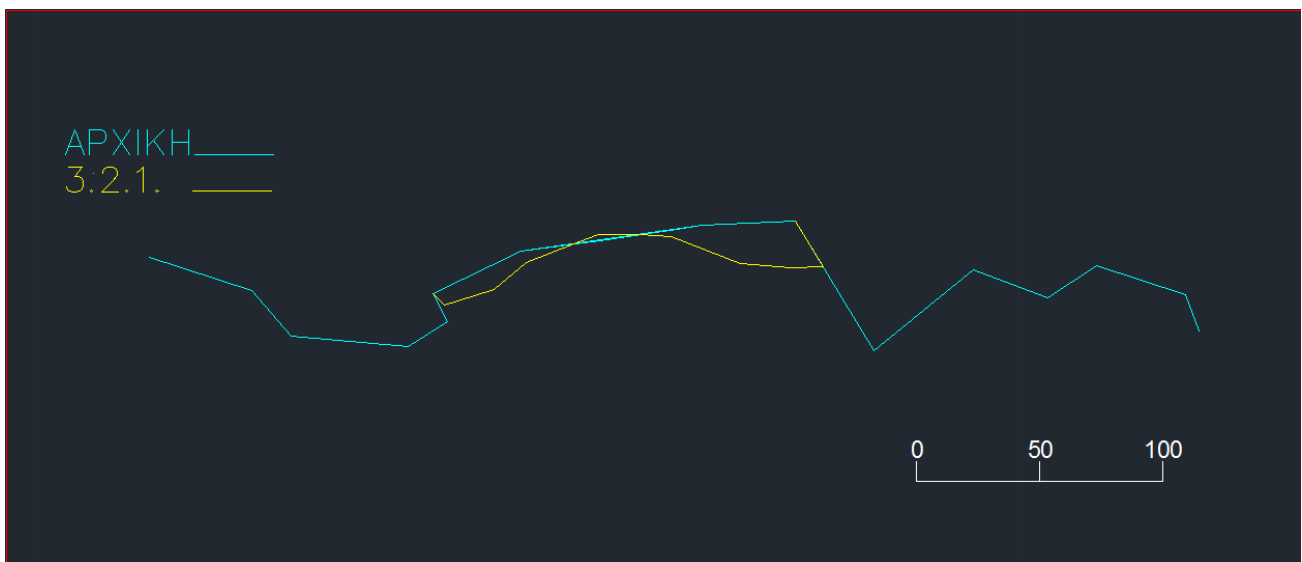
Εικόνα 56: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 3.1.2



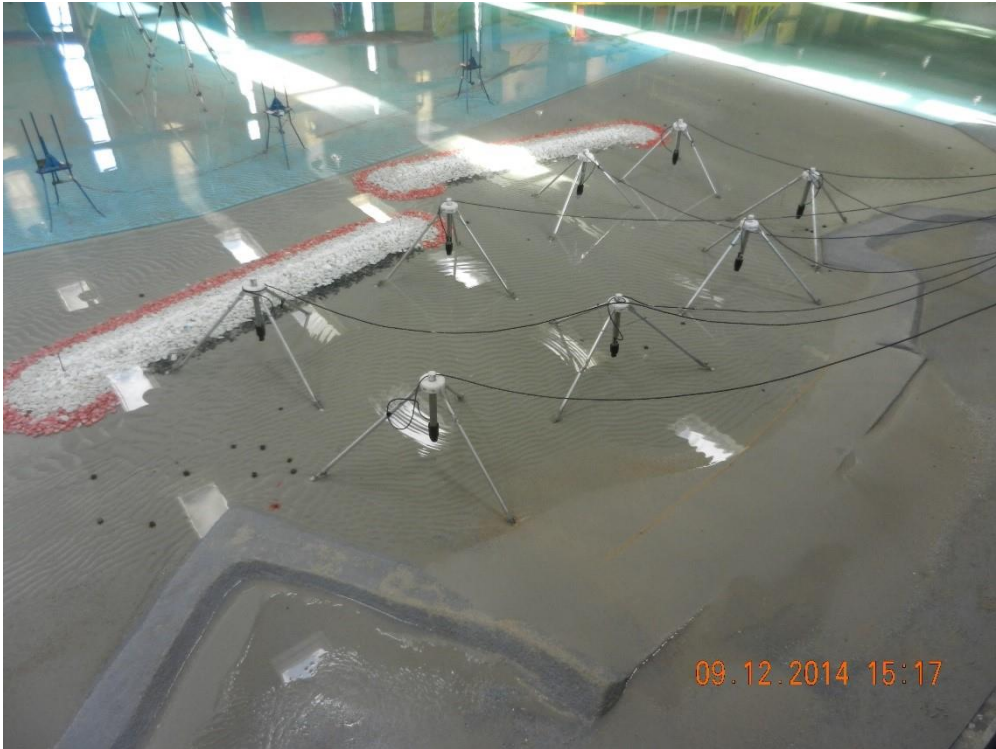
Εικόνα 57: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 3.1.2

Το εύρος της ακτής αυξήθηκε σε όλο το τμήμα της. Η μέγιστη αύξηση μετρήθηκε και βρέθηκε 17m.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2.1



Εικόνα 58: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 3.2.1



*Εικόνα 59: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 3.2.1*

Το εύρος της ακτής αυξήθηκε στο βόρειο τμήμα, όπου δημιουργήθηκε παραλία. Επίσης, αυξήθηκε πολύ περισσότερο στο νότιο τμήμα. Στο μέσον παρατηρήθηκε μικρή υποχώρηση της ακτογραμμής. Η μέγιστη αύξηση μετρήθηκε 21m, ενώ η μέγιστη υποχώρηση 2,4m.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2.2



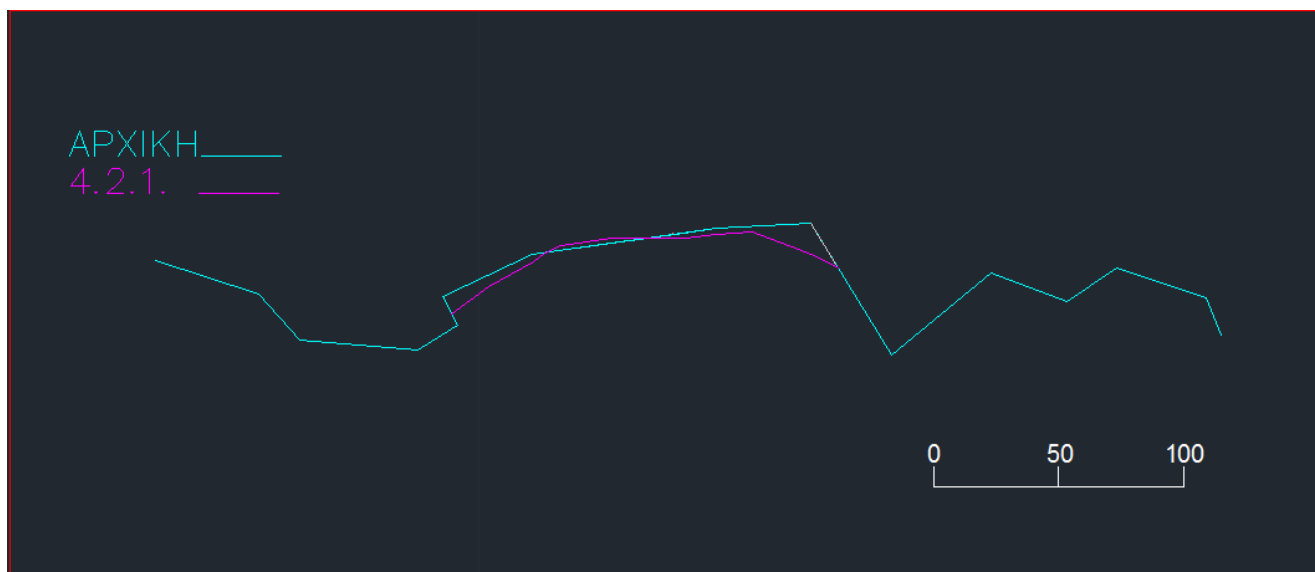
Εικόνα 60: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 3.2.2



Εικόνα 7: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 3.2.2

Το εύρος της ακτής αυξήθηκε σε όλο το τμήμα με τη μεγαλύτερη επέκταση να παρατηρείται στο νότιο. Αυτή μετρήθηκε 24m.

## ΠΕΙΡΑΜΑ 4.2.1



Εικόνα 62: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 4.2.1



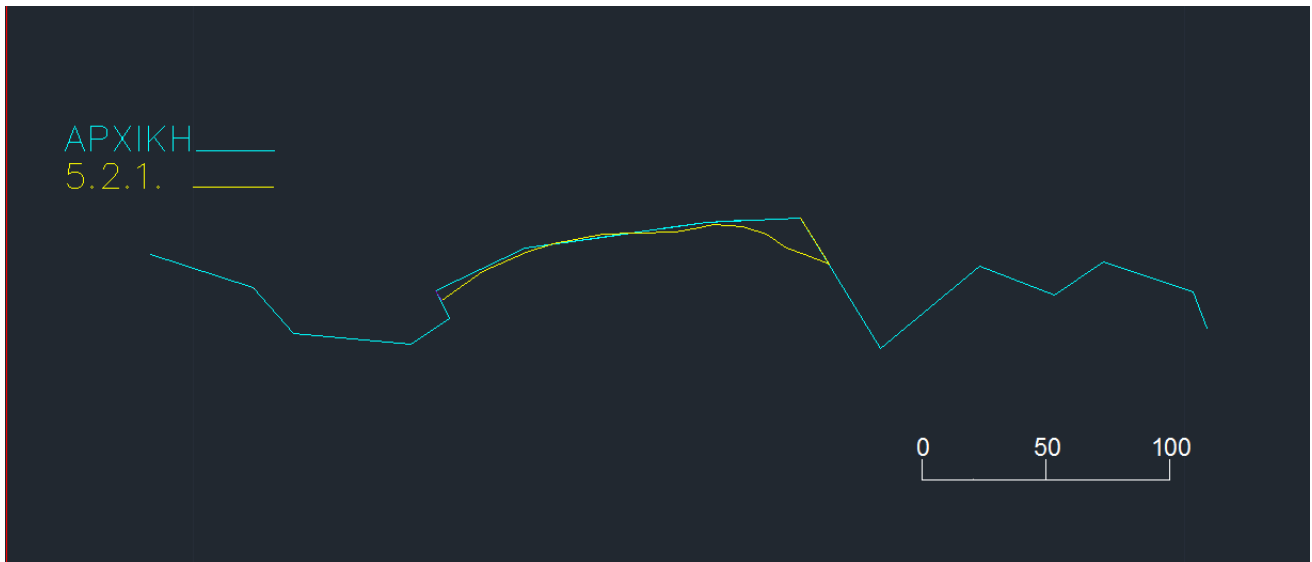
Εικόνα 63: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 4.2.1

Το εύρος της ακτής αυξήθηκε στο νότιο τμήμα, όπου δημιουργήθηκε παραλία. Παρατηρήθηκε μικρή υποχώρηση της ακτογραμμής στο μέσον της ακτής, ενώ στο βόρειο

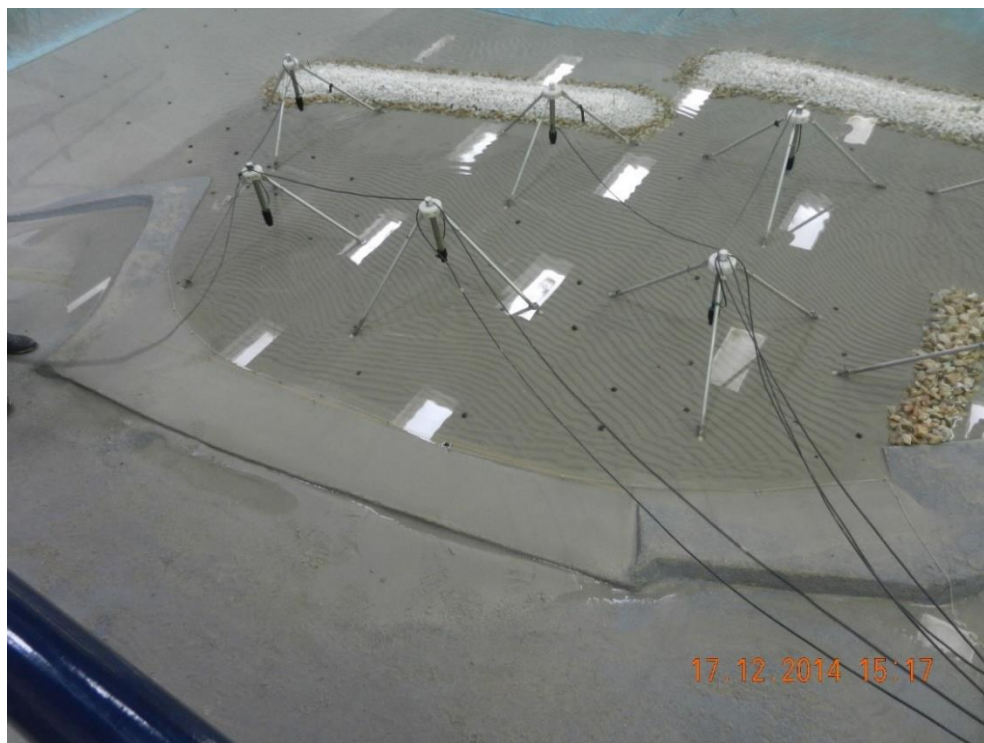


βραχώδες τμήμα δημιουργήθηκε παραλία. Το μέγιστο εύρος της παραλίας στο νότιο τμήμα μετρήθηκε 19m, ενώ στο βόρειο 7.8m.

#### ΠΕΙΡΑΜΑ 5.2.1



Εικόνα 64: Σχέδιο ακτογραμμής μετά το πέρας του πειράματος 5.2.1



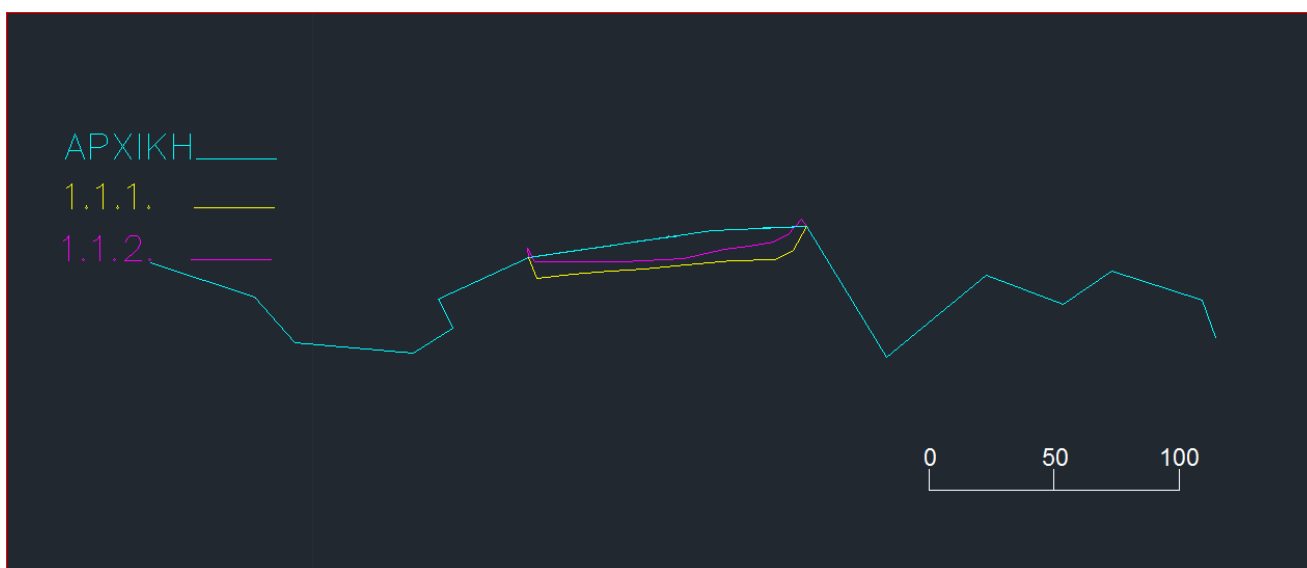
Εικόνα 65: Ακτογραμμή μετά το πέρας του πειράματος 5.2.1

Το εύρος της ακτής αυξήθηκε αρκετά στο νότιο τμήμα κατά 22m, παρατηρήθηκε πολύ μικρή υποχώρηση της ακτογραμμής στο μέσον της ακτής, ενώ στο βόρειο βραχώδες τμήμα δημιουργήθηκε παραλία με μέγιστο εύρος 5m.

### 7.3 Σύγκριση και Αξιολόγηση Μετρήσεων Εξέλιξης Ακτογραμμής

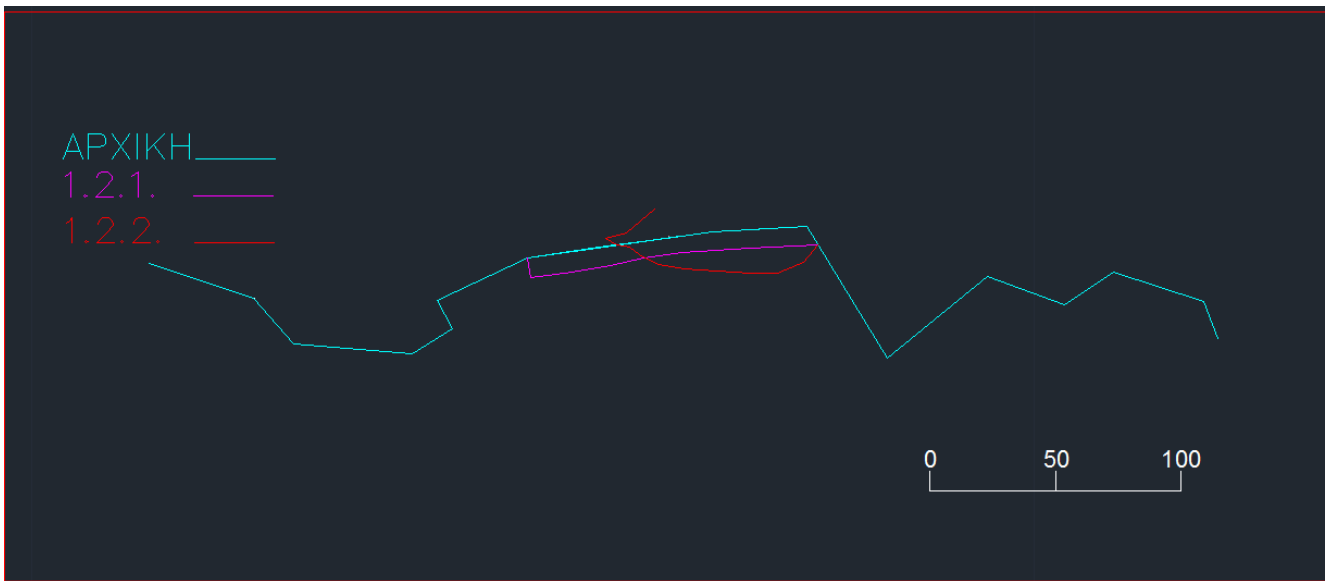
Στη συνέχεια παρατίθενται συγκριτικά διαγράμματα της ακτογραμμής ανά διεύθυνση πρόσπτωσης και ανά κυματική συνθήκη για τις διάφορες πειραματικές διατάξεις. Στα σχέδια φαίνεται η υφιστάμενη ακτογραμμή, η νέα ακτογραμμή μετά τη δράση των κυμάτων στις διατάξεις χωρίς έργα προστασίας, καθώς και η νέα ακτογραμμή μετά τη δράση των κυμάτων στις διατάξεις με τα έργα προστασίας.

#### ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.1.1 ΚΑΙ 1.1.2 – Συνήθης και ακραία κυματική συνθήκη και πρόσπτωση κυμάτων 270°



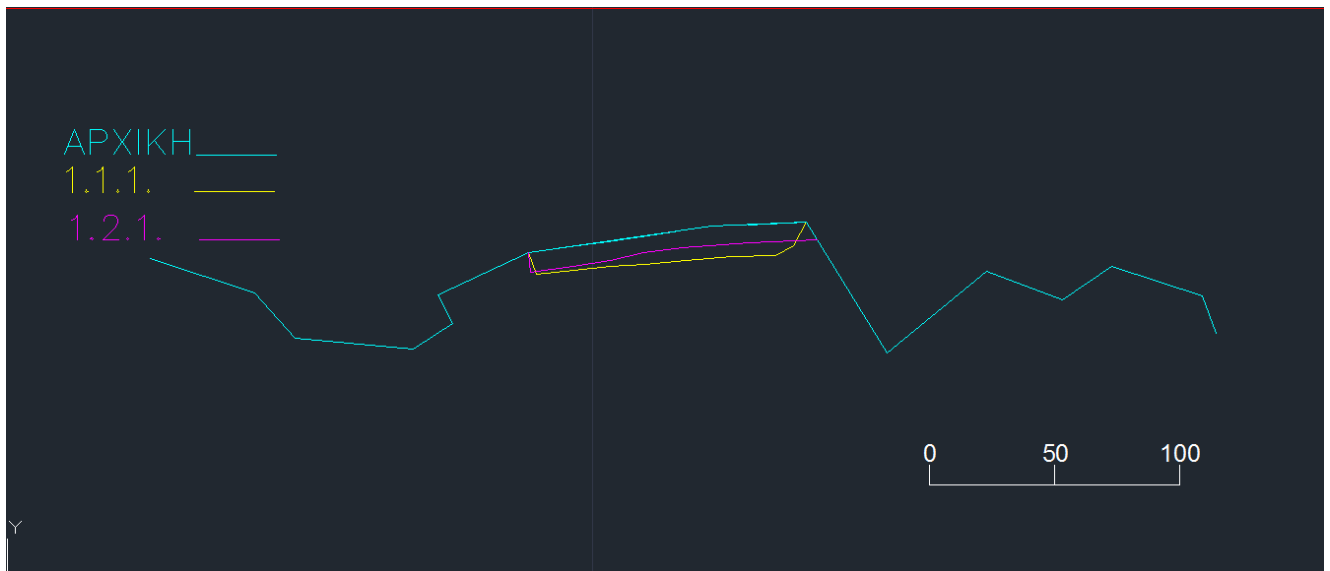
Εικόνα 66: Συγκριτική εξέλιξη ακτογραμμής των πειραμάτων 1.1.1 και 1.1.2

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.2.1 ΚΑΙ 1.2.2 – Συνήθης και ακραία κυματική συνθήκη και πρόσπτωση κυμάτων 300°**



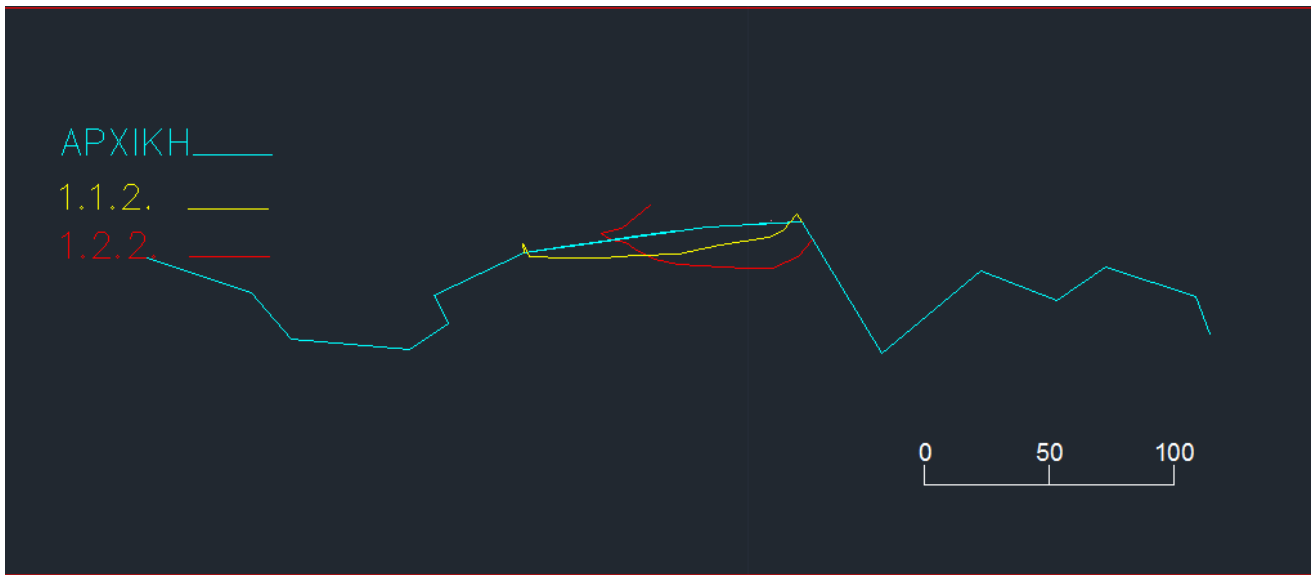
Εικόνα 67: Συγκριτική εξέλιξη ακτογραμμής των πειραμάτων 1.2.1 και 1.2.2

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.1.1 ΚΑΙ 1.2.1 – Συνήθης κυματική συνθήκη και 270°- 300° πρόσπτωση κυμάτων**



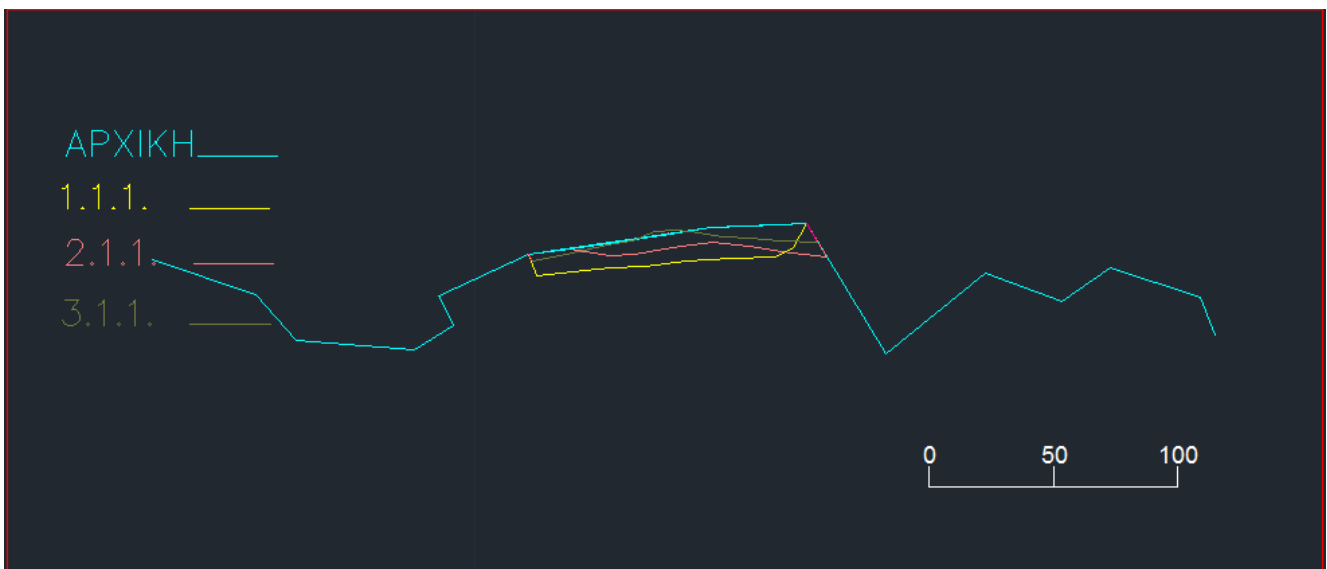
Εικόνα 68: Συγκριτική εξέλιξη ακτογραμμής των πειραμάτων 1.1.1 και 1.2.1

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.1.2 ΚΑΙ 1.2.2 – Ακραία κυματική συνθήκη και 270°- 300° πρόσπτωση κυμάτων**



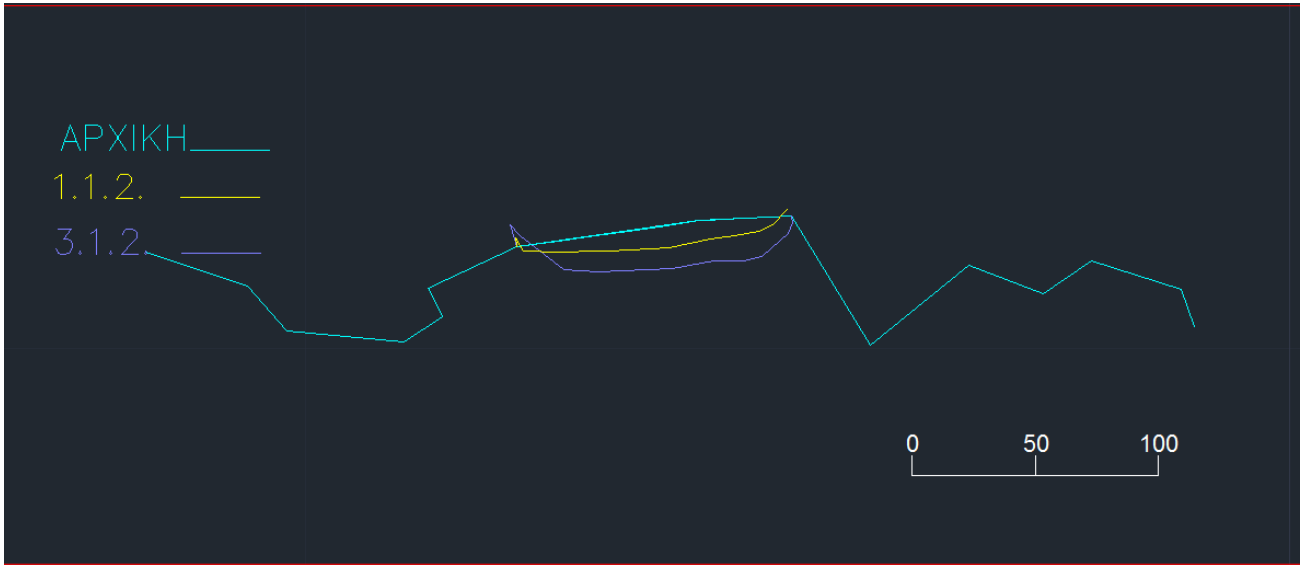
Εικόνα 69: Συγκριτική εξέλιξη ακτογραμμής των πειραμάτων 1.1.2 και 1.2.2

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.1.1 ΚΑΙ 2.1.1 ΚΑΙ 3.1.1 – Συνήθης κυματική συνθήκη και πρόσπτωση κυμάτων 270°**



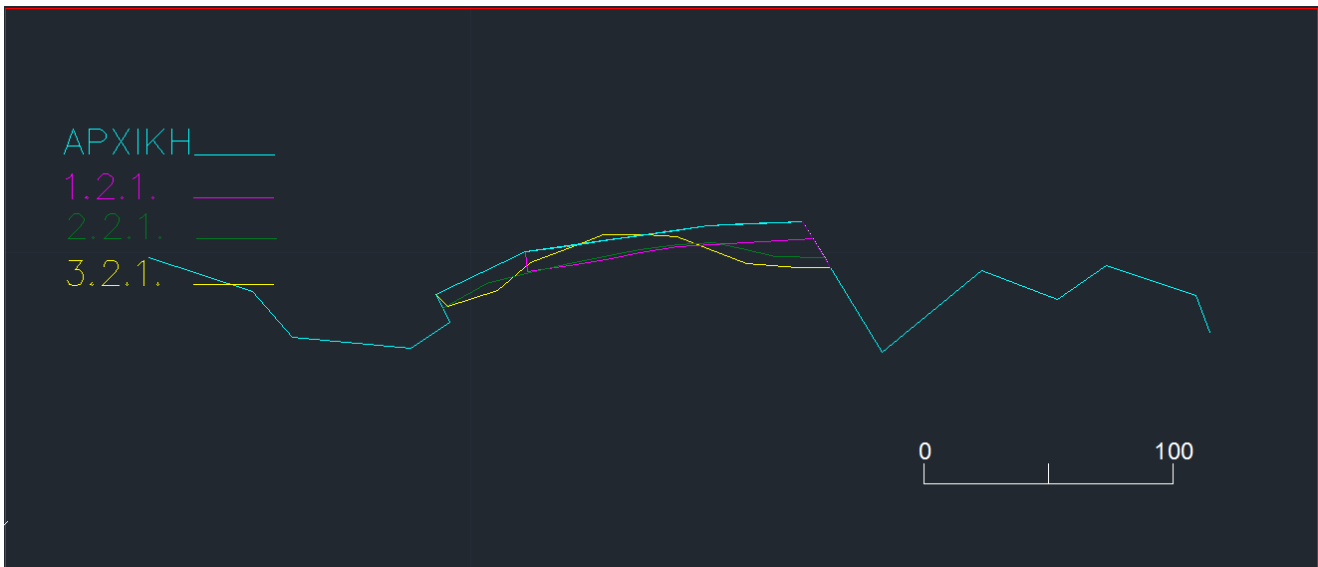
Εικόνα 70: Συγκριτική εξέλιξη ακτογραμμής των πειραμάτων 1.1.1 και 2.1.1 και 3.1.1

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.1.2 ΚΑΙ 3.1.2 – Ακραία κυματική συνθήκη και πρόσπτωση κυμάτων 270°**



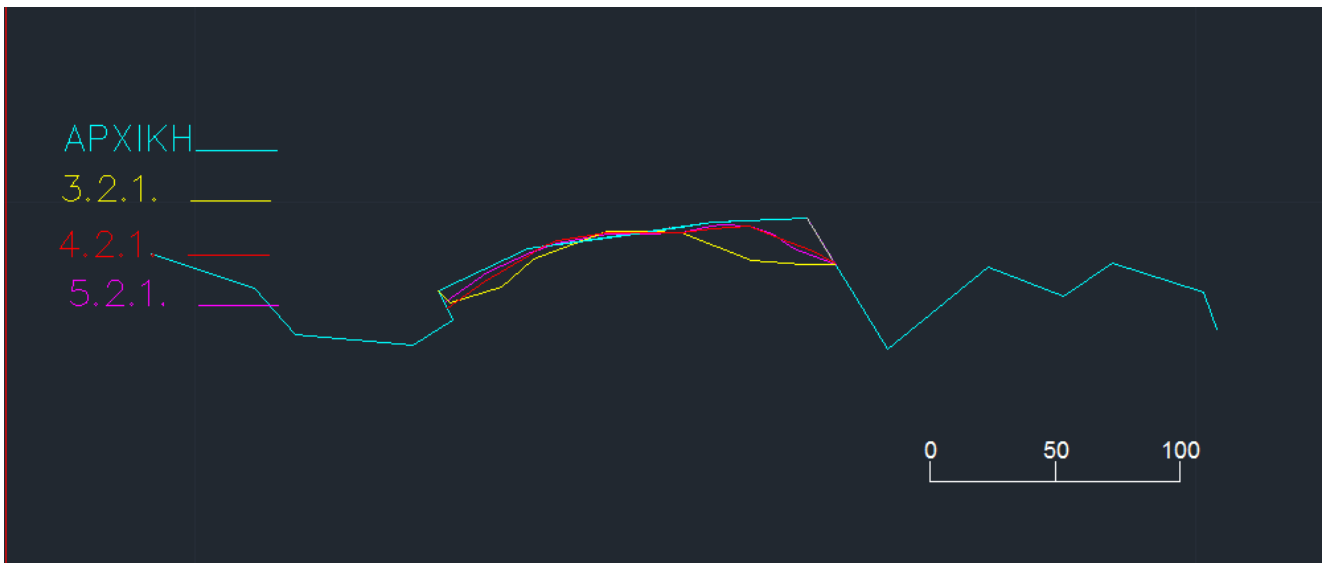
Εικόνα 71: Συγκριτική εξέλιξη ακτογραμμής των πειραμάτων 1.1.2 και 3.1.2

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.2.1 ΚΑΙ 2.2.1 ΚΑΙ 3.2.1 – Συνήθης κυματική συνθήκη και πρόσπτωση κυμάτων 300°**



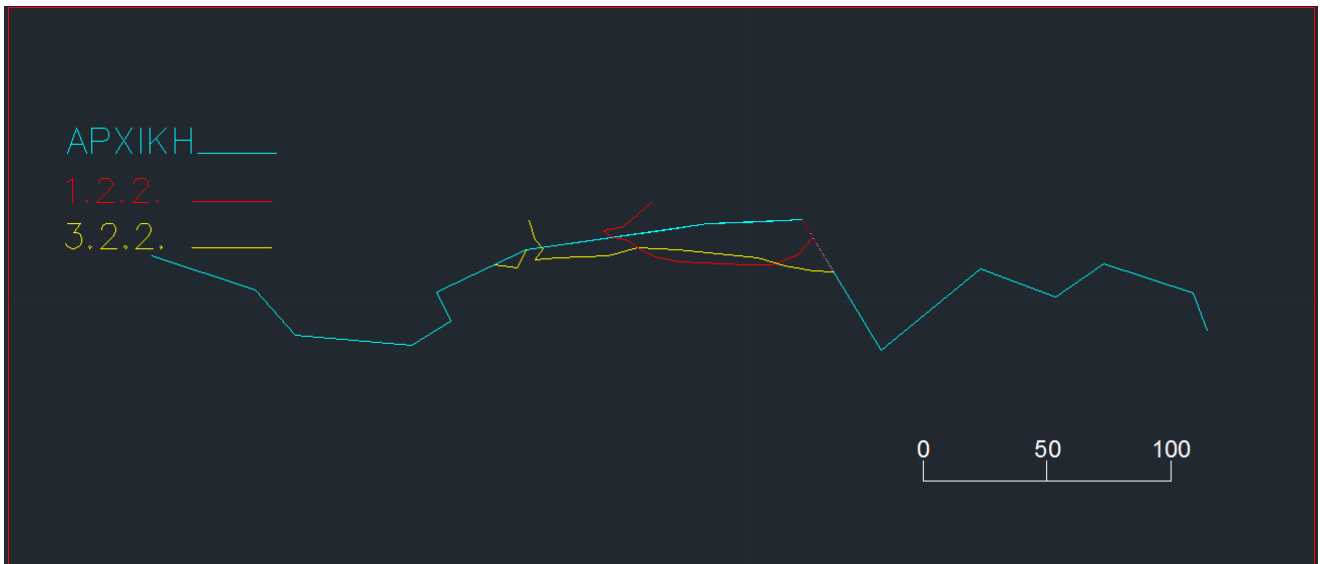
Εικόνα 72: Συγκριτική εξέλιξη ακτογραμμής των πειραμάτων 1.2.1 και 2.2.1 και 3.2.1

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 3.2.1 ΚΑΙ 4.2.1 ΚΑΙ 5.2.1 – Συνήθης κυματική συνθήκη και πρόσπτωση κυμάτων 300°**



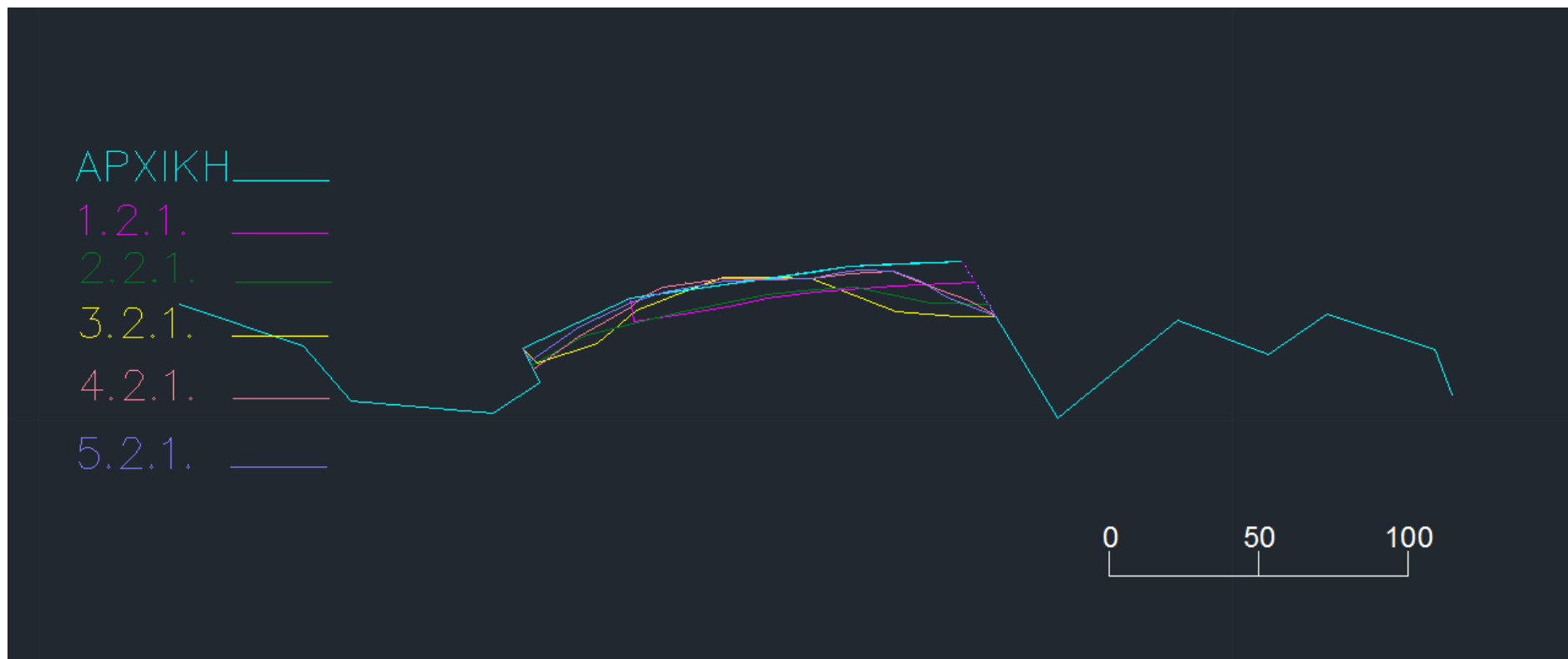
Εικόνα 73: Συγκριτική εξέλιξη ακτογραμμής των πειραμάτων 3.2.1 και 4.2.1 και 5.2.1

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.2.2 ΚΑΙ 3.2.2 – Ακραία κυματική συνθήκη και πρόσπτωση κυμάτων 300°**



Εικόνα 74: Συγκριτική εξέλιξη ακτογραμμής των πειραμάτων 1.2.2 και 3.2.2

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.2.1 ΚΑΙ 2.2.1 ΚΑΙ 3.2.1 ΚΑΙ 4.2.1 ΚΑΙ 5.2.1 – Συνήθης κυματική συνθήκη και πρόσπτωση κυμάτων 300°



Εικόνα 75: Συγκριτική εξέλιξη ακτογραμμής των πειραμάτων 1.2.1 και 2.2.1 και 3.2.1 και 4.2.1 και 5.2.1

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τη μεταβολή της ακτογραμμής ανά διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων.



## **ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ 270°**

### **ΔΙΑΤΑΞΗ 1**

Μετά τη δράση των κυμάτων στην υφιστάμενη κατάσταση και για τις 2 κυματικές συνθήκες που ελέγχθηκαν προέκυψε αύξηση της ακτογραμμής και μάλιστα η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται για τη συνήθη κυματική συνθήκη. Αυτό πραγματοποιήθηκε στο πείραμα 1.2.2 στο νότιο τμήμα της ακτογραμμής.

### **ΔΙΑΤΑΞΗ 2**

Μετά την κατασκευή των έργων της Διάταξης 2 το εύρος της ακτογραμμής μετά το πείραμα προκύπτει μικρότερο από αυτό της ακτογραμμής χωρίς έργα προστασίας. Δημιουργείται, επίσης, παραλία στο βραχώδες τμήμα της ακτής του νοτίου τμήματος.

### **ΔΙΑΤΑΞΗ 3**

Μετά την κατασκευή των έργων της Διάταξης 3 η μεταβολή της ακτογραμμής περιορίζεται αισθητά ακόμη και για ακραία κυματική συνθήκη, ενώ εμφανίζεται μικρή υποχώρηση της ακτογραμμής μόνο στο κεντρικό τμήμα της ακτής. Επίσης είναι εμφανής η παρουσία άμμου στον προστατευόμενο πυθμένα.

## **ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ 300°**

### **ΔΙΑΤΑΞΗ 1**

Μετά το πέρας του πειράματος 1.2.1 (συνήθης κυματική συνθήκη) παρατηρήθηκε ομοιόμορφη αύξηση του εύρους της ακτογραμμής σε όλο το μήκος της. Μετά το πέρας του πειράματος 1.2.2 παρατηρήθηκε διάβρωση της ακτής στο κεντρικό τμήμα και προσάμμωση στο νότιο, κάτι το οποίο δικαιολογείται εξαιτίας της διεύθυνσης πρόσπτωσης των κυμάτων.

### **ΔΙΑΤΑΞΗ 2**

Μετά το πέρας του πειράματος 2.2.1 παρατηρήθηκε αύξηση του εύρους της ακτογραμμής σε όλο το μήκος της και λίγο περισσότερο στο νότιο τμήμα της. Στο βόρειο βραχώδες τμήμα δημιουργήθηκε παραλία.

### ΔΙΑΤΑΞΗ 3

Μετά την κατασκευή των έργων της Διάταξης 3 η μεταβολή της ακτογραμμής περιορίζεται αισθητά ακόμη και για την ακραία κυματική συνθήκη. Παρουσιάζεται μικρή υποχώρηση της ακτογραμμής μόνο στο κεντρικό τμήμα της ακτής, ενώ στο βόρειο τμήμα παρατηρείται επιμήκυνση της αμμώδους παραλίας στις συνήθεις κυματικές συνθήκες. Στο νότιο τμήμα έχουμε σημαντική επέκταση της παραλίας και για τις δύο κυματικές συνθήκες.

### ΔΙΑΤΑΞΗ 4 ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ 5

Η μεταβολή της ακτογραμμής μετά τη δράση των κυμάτων στη Διάταξη 4 περιορίσθηκε περαιτέρω, ενώ παρέμεινε σε μικρότερο βαθμό η διάβρωση του κεντρικού τμήματος. Επίσης, οι κυματικές συνθήκες στην προστατευμένη περιοχή βελτιώθηκαν σημαντικά.

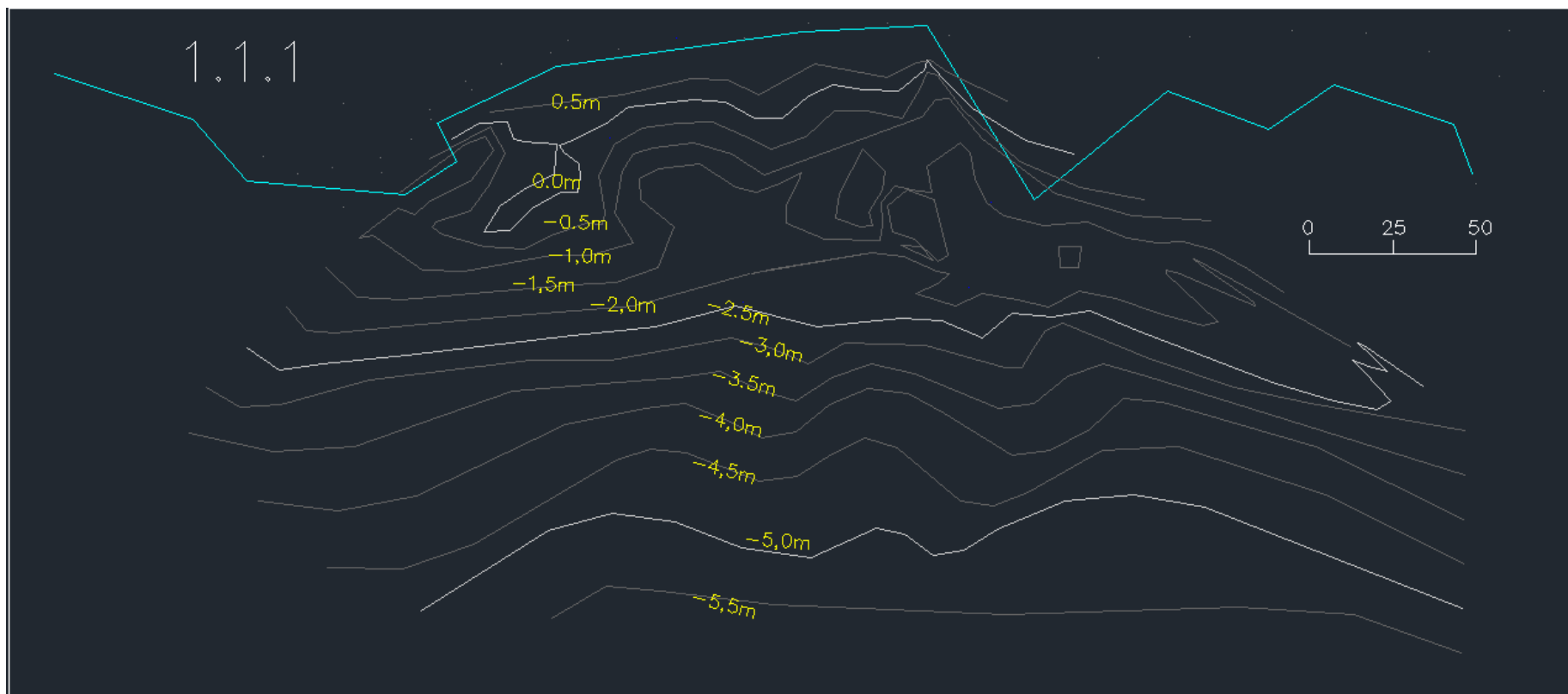
Τέλος στη Διάταξη 5 με τη μετατόπιση του προβόλου λίγο νοτιότερα μειώθηκε ακόμη περισσότερο η διάβρωση του κεντρικού τμήματος, ενώ η επέκταση του υπόλοιπου τμήματος της ακτογραμμής ήταν μικρότερη.

## 8. Αποτύπωση Επιφάνειας Φυσικού Πυθμένα

### 8.1 Υπολογισμός ισοβαθών και όγκου ιζημάτων

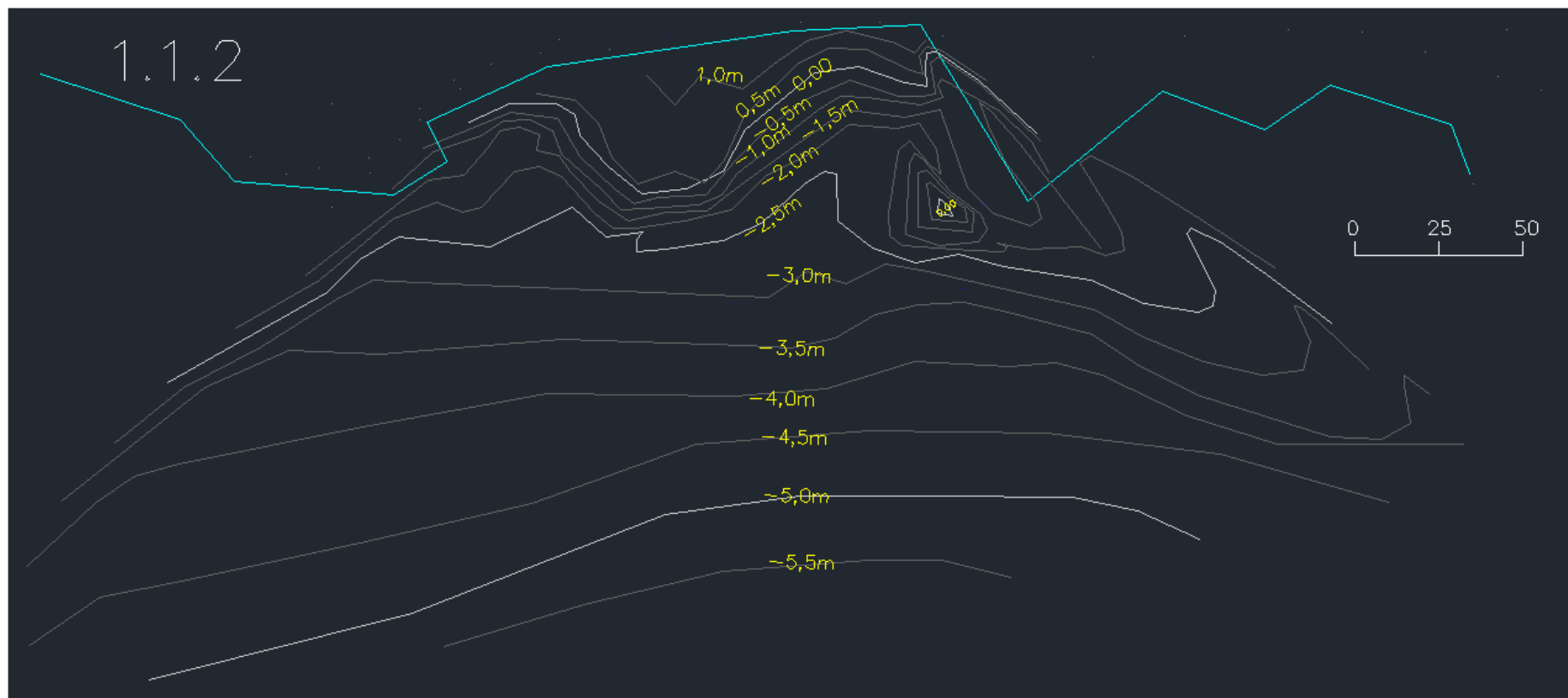
Στα παρακάτω σχέδια παρουσιάζονται οι ισοβαθείς που προέκυψαν μετά από κάθε πείραμα τόσο από το πρόγραμμα Autocad όσο και από το πρόγραμμα Surfer. Στο τέλος, σχολιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν και παρατίθενται συγκεντρωτικός πίνακας με τους όγκους τους μετακινηθέντος ιζήματος μετά από κάθε πείραμα σε σχέση με την αρχική κατάσταση.

**ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1.1**



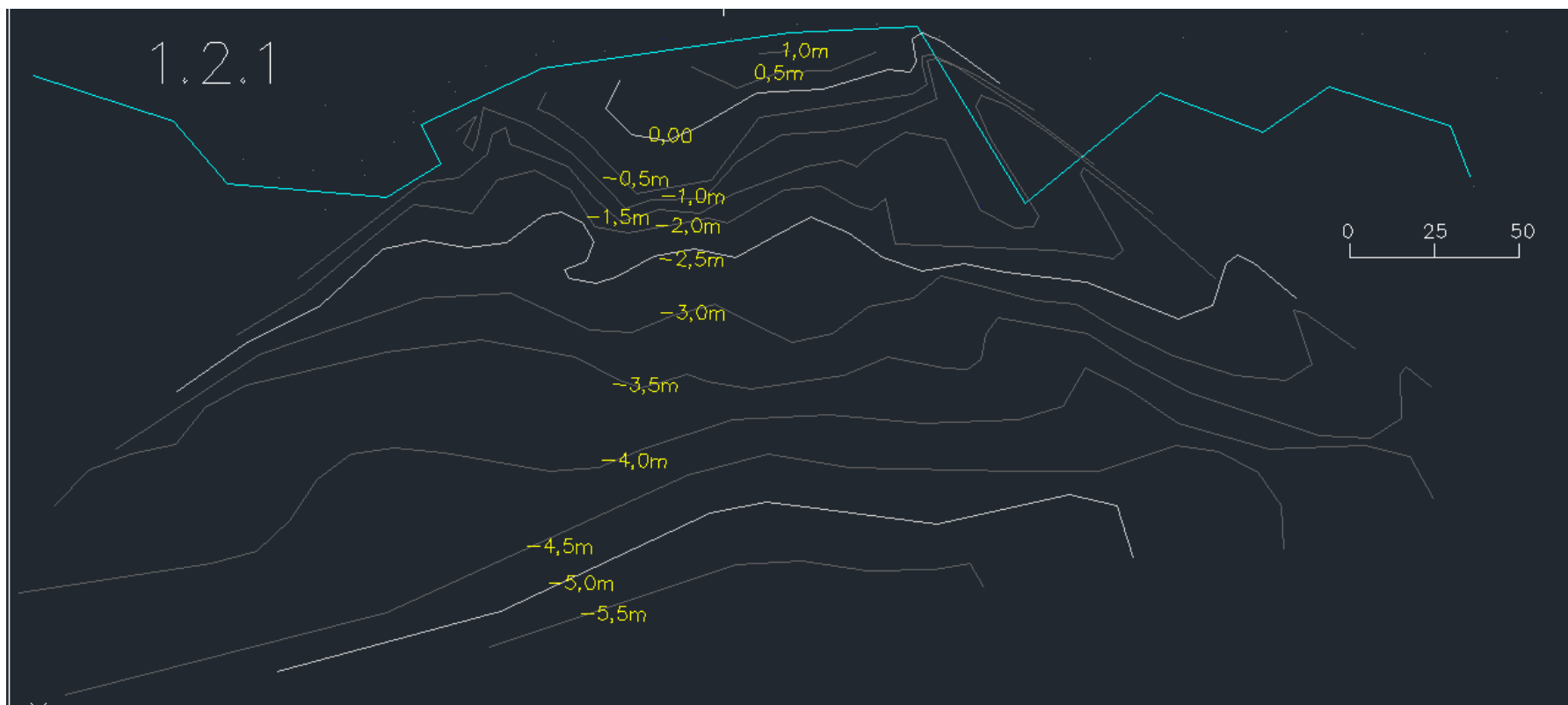
Εικόνα 76: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 1.1.1

ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1.2



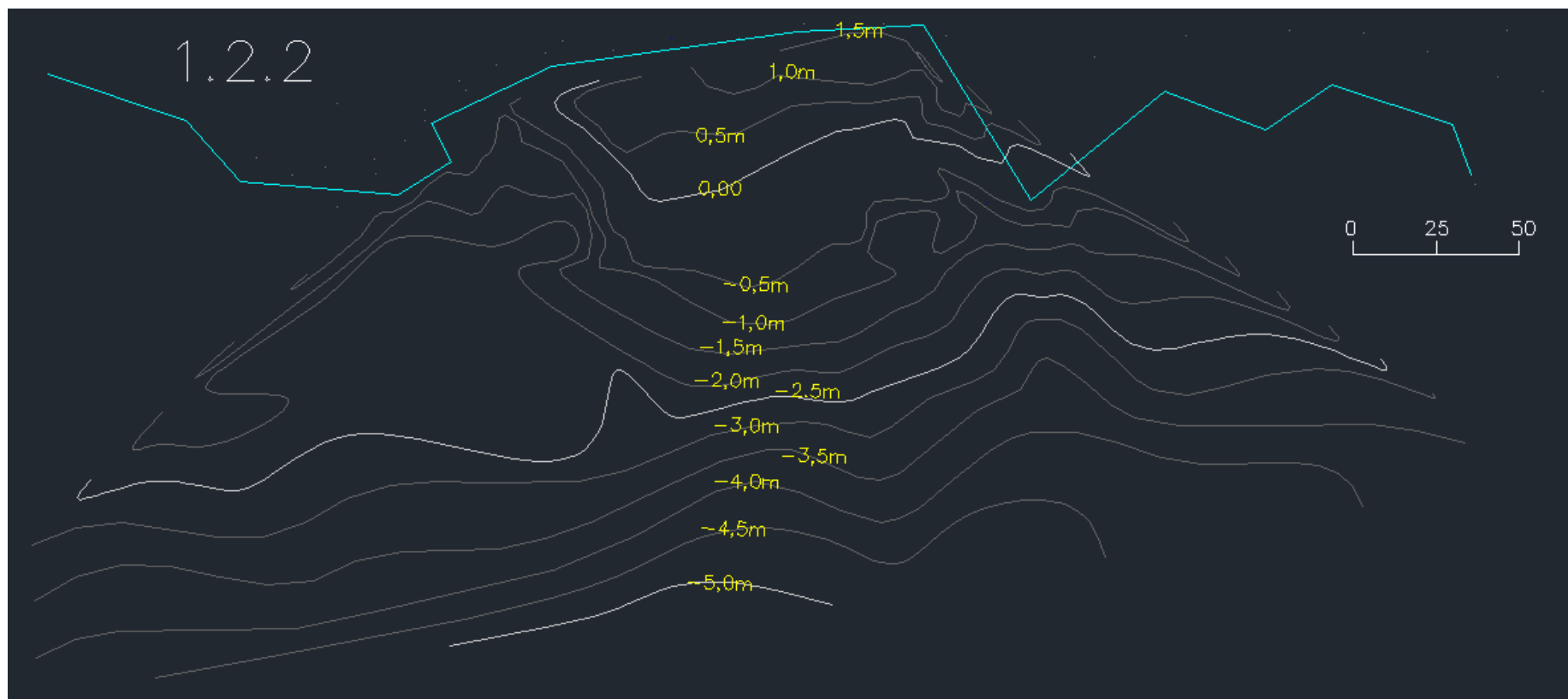
Εικόνα 77: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 1.1.2

ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2.1



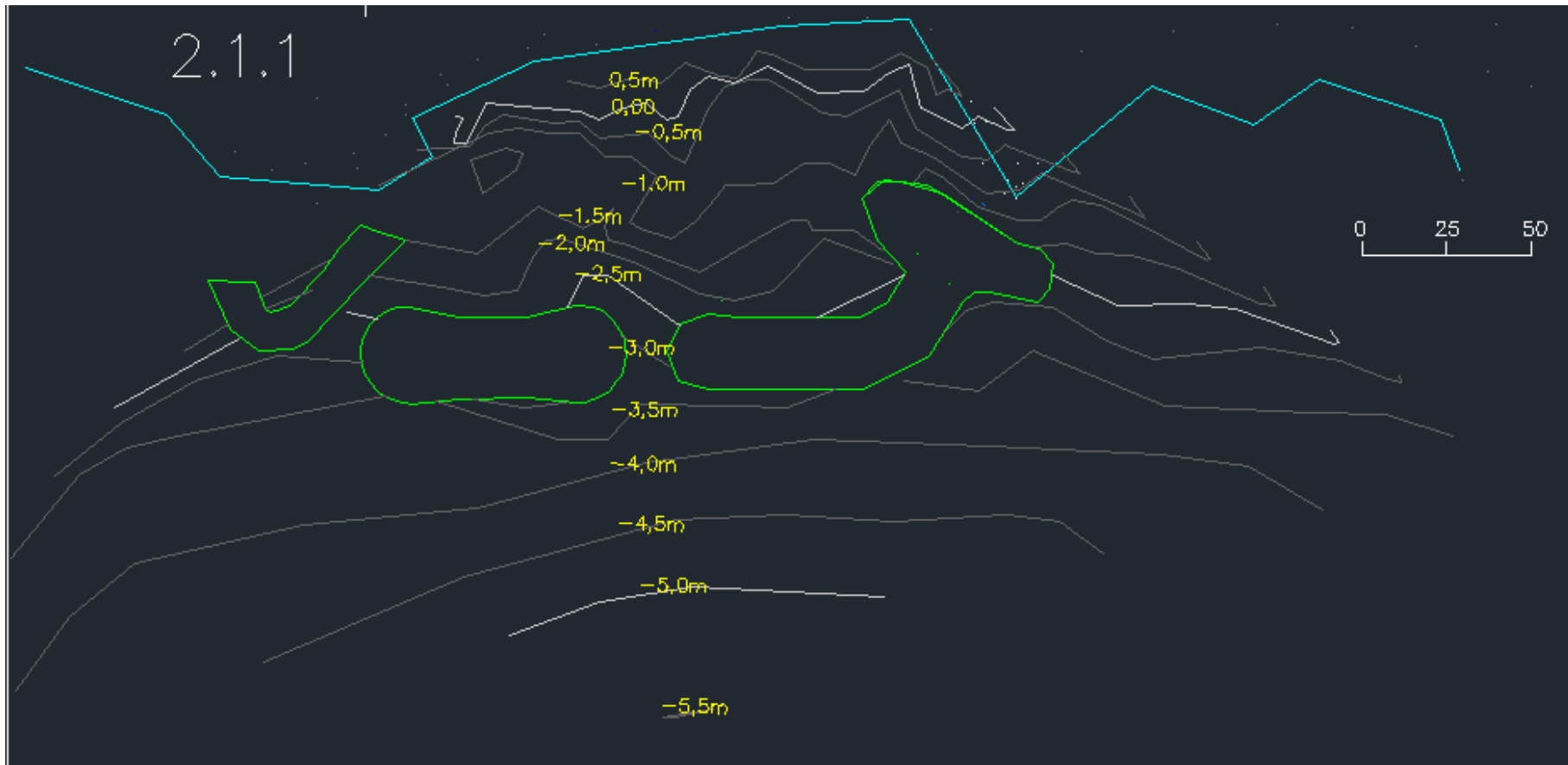
Εικόνα 78: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 1.2.1

ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2.2



Εικόνα 79: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 1.2.2

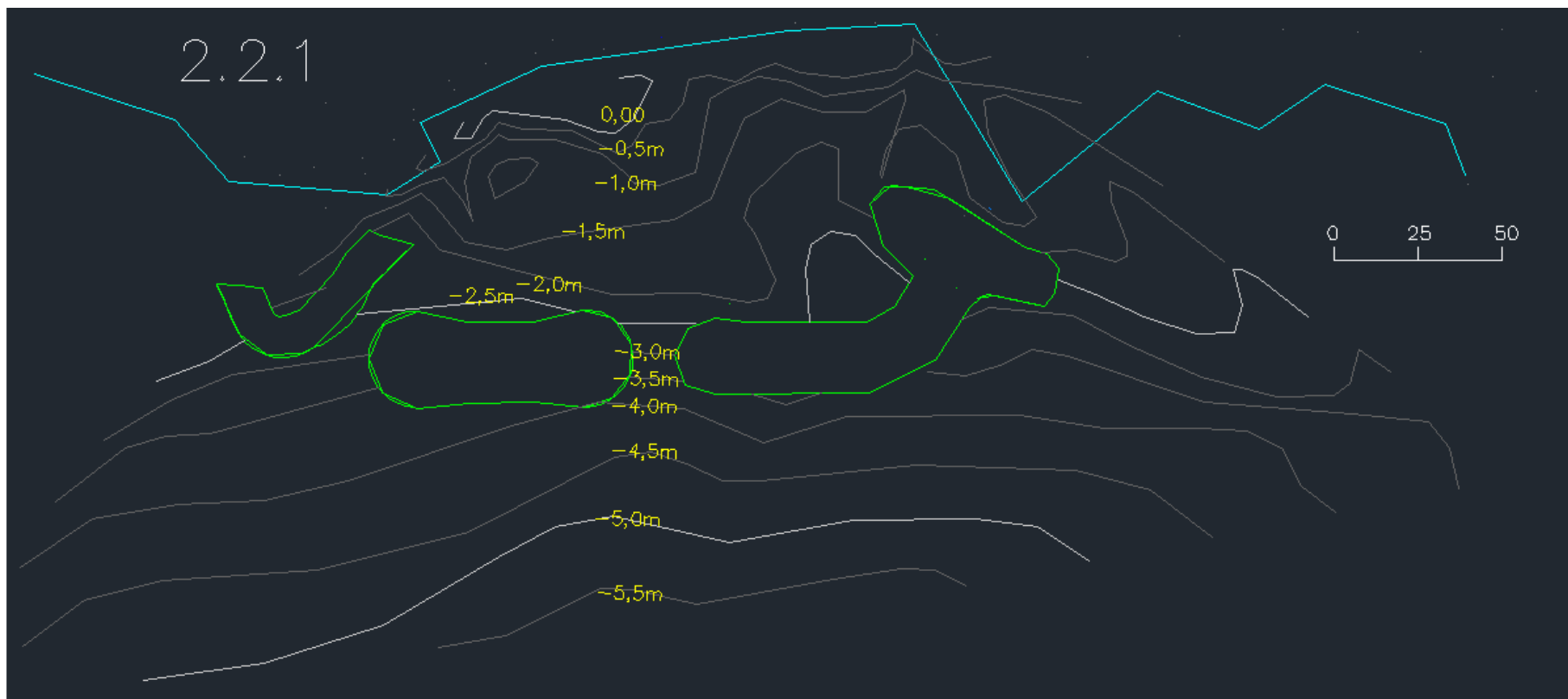
ΠΕΙΡΑΜΑ 2.1.1



Εικόνα 80: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 2.1.1

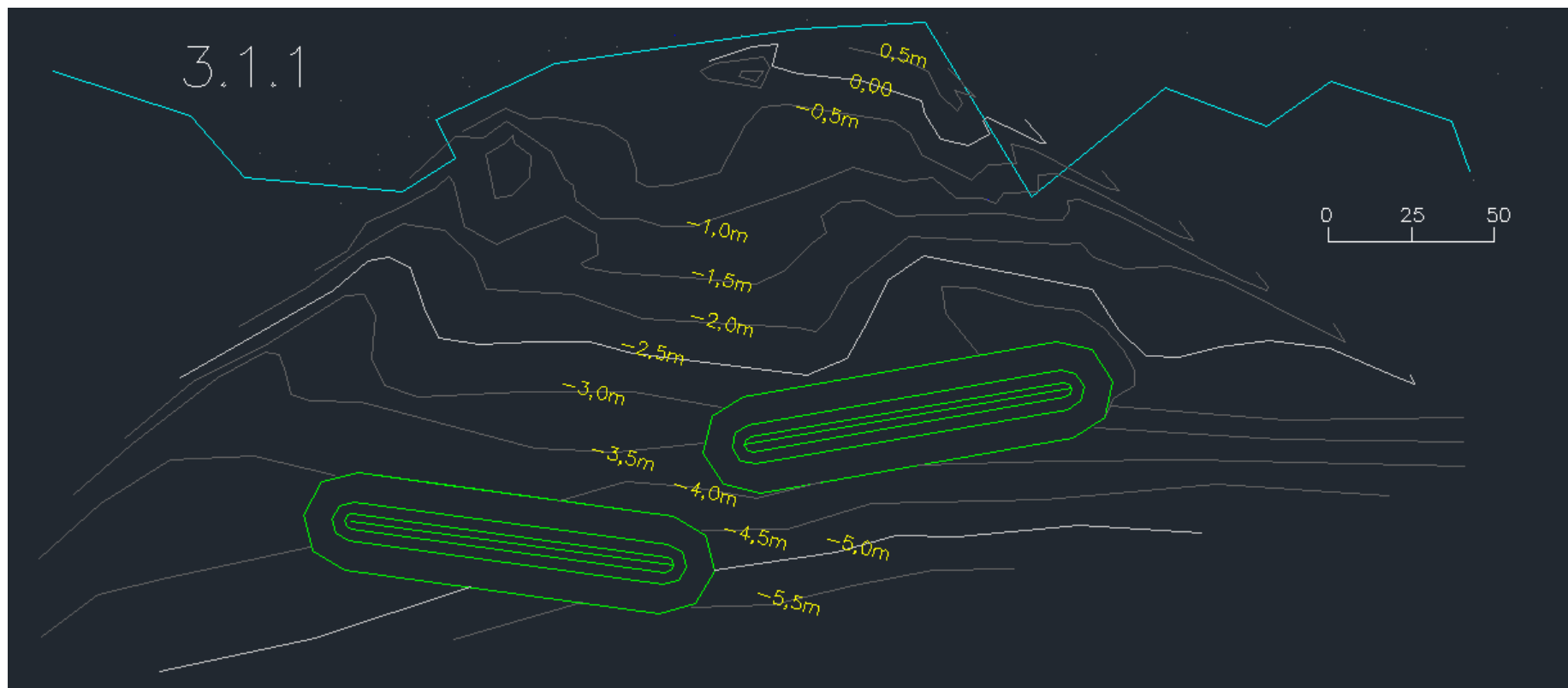


ΠΕΙΡΑΜΑ 2.2.1



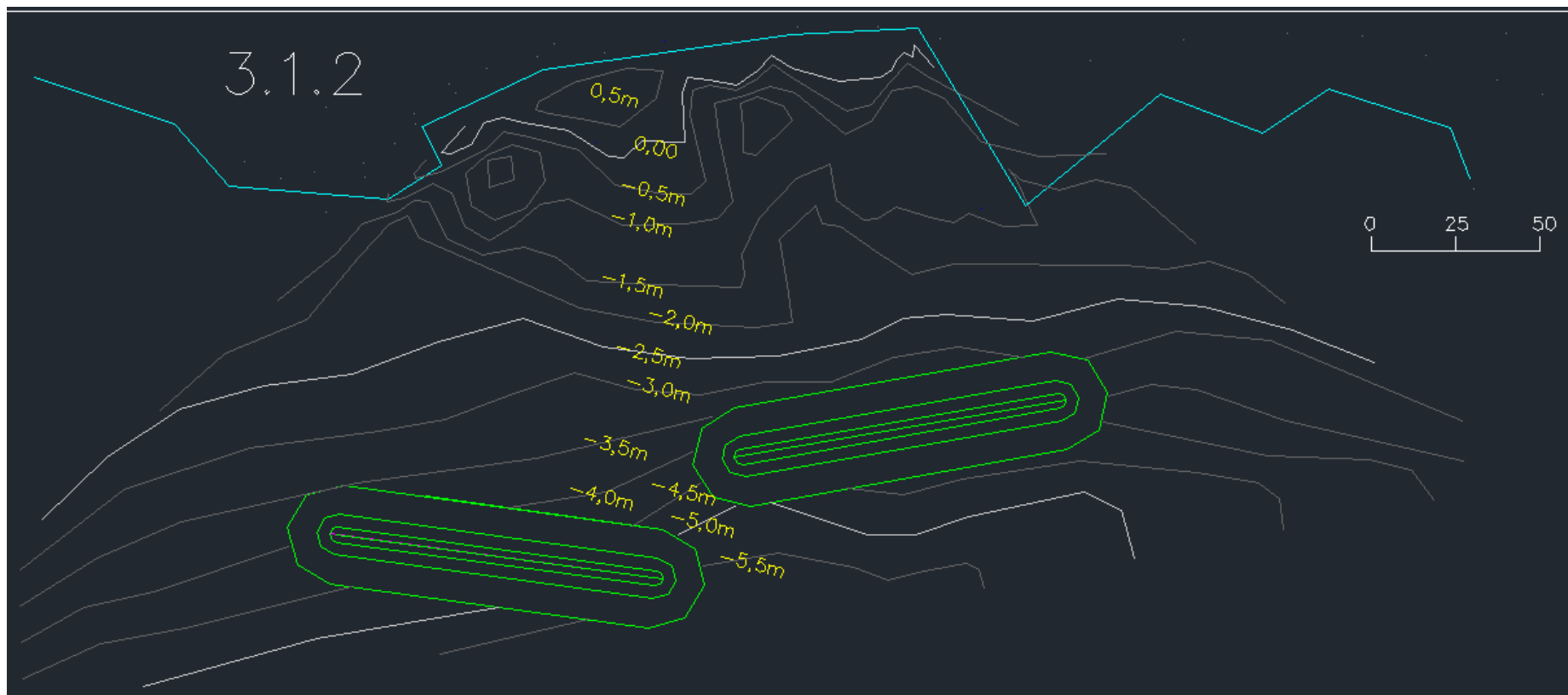
Εικόνα 81: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 2.2.1

ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1.1



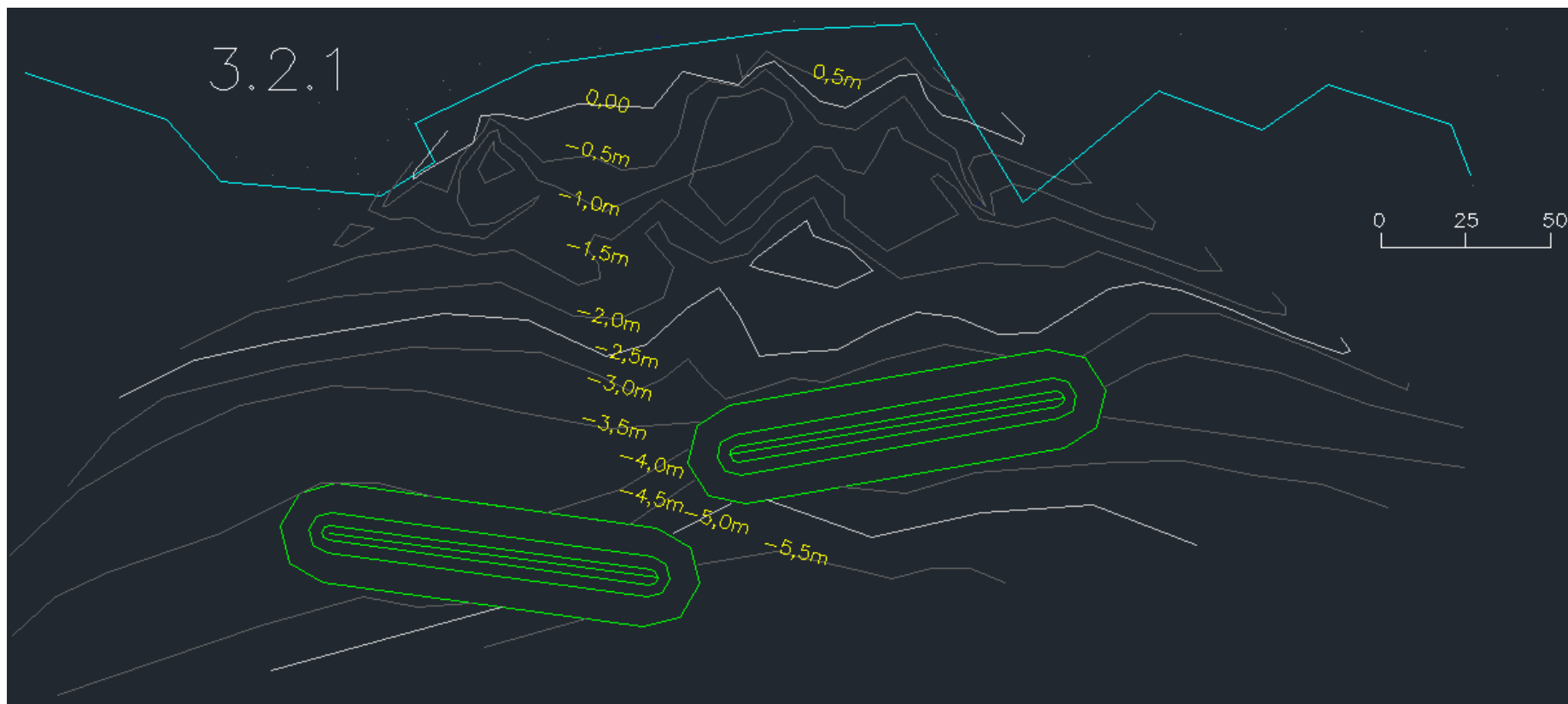
Εικόνα 82: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 3.1.1

ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1.2



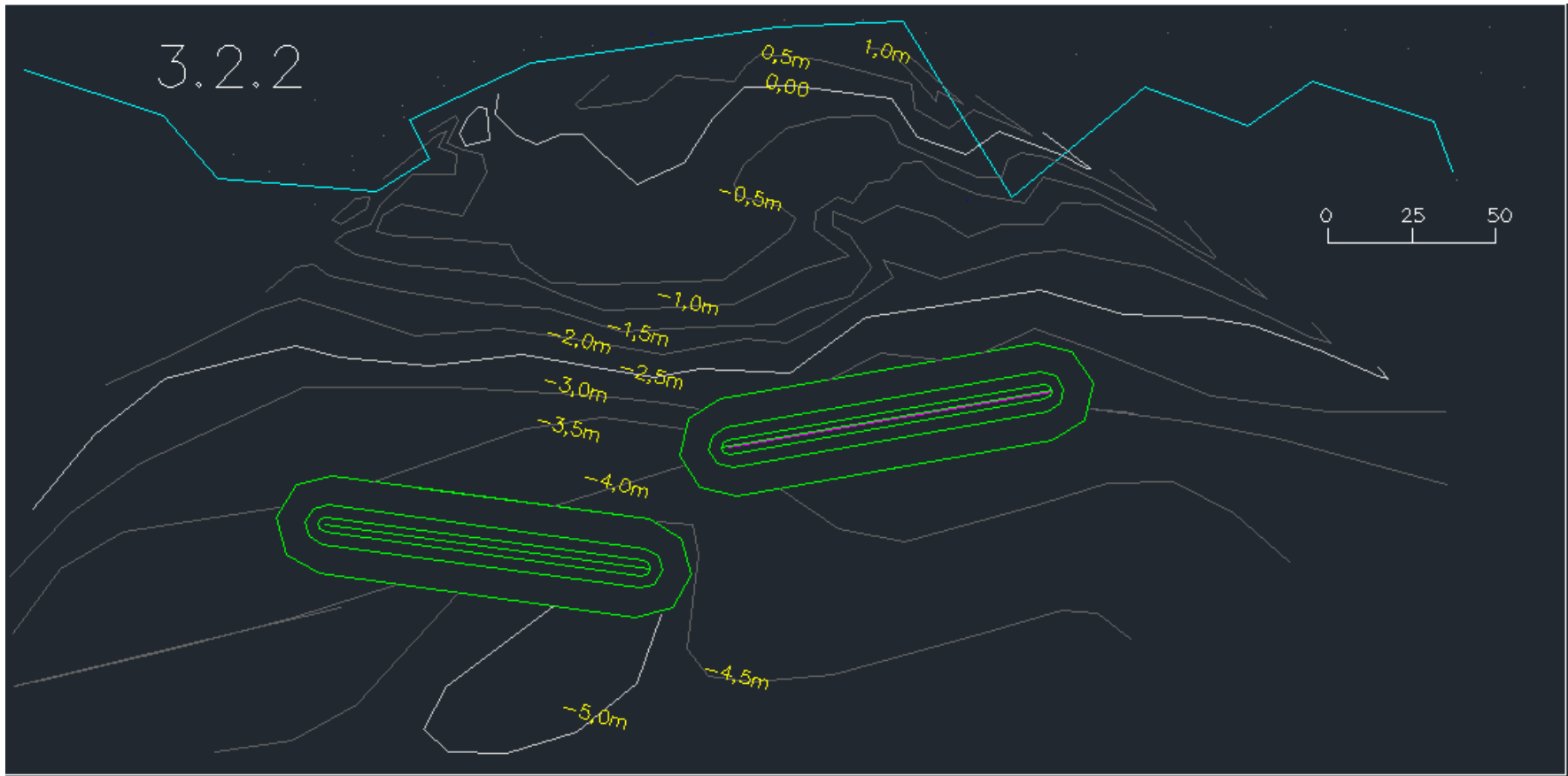
Εικόνα 83: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 3.1.2

ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2.1



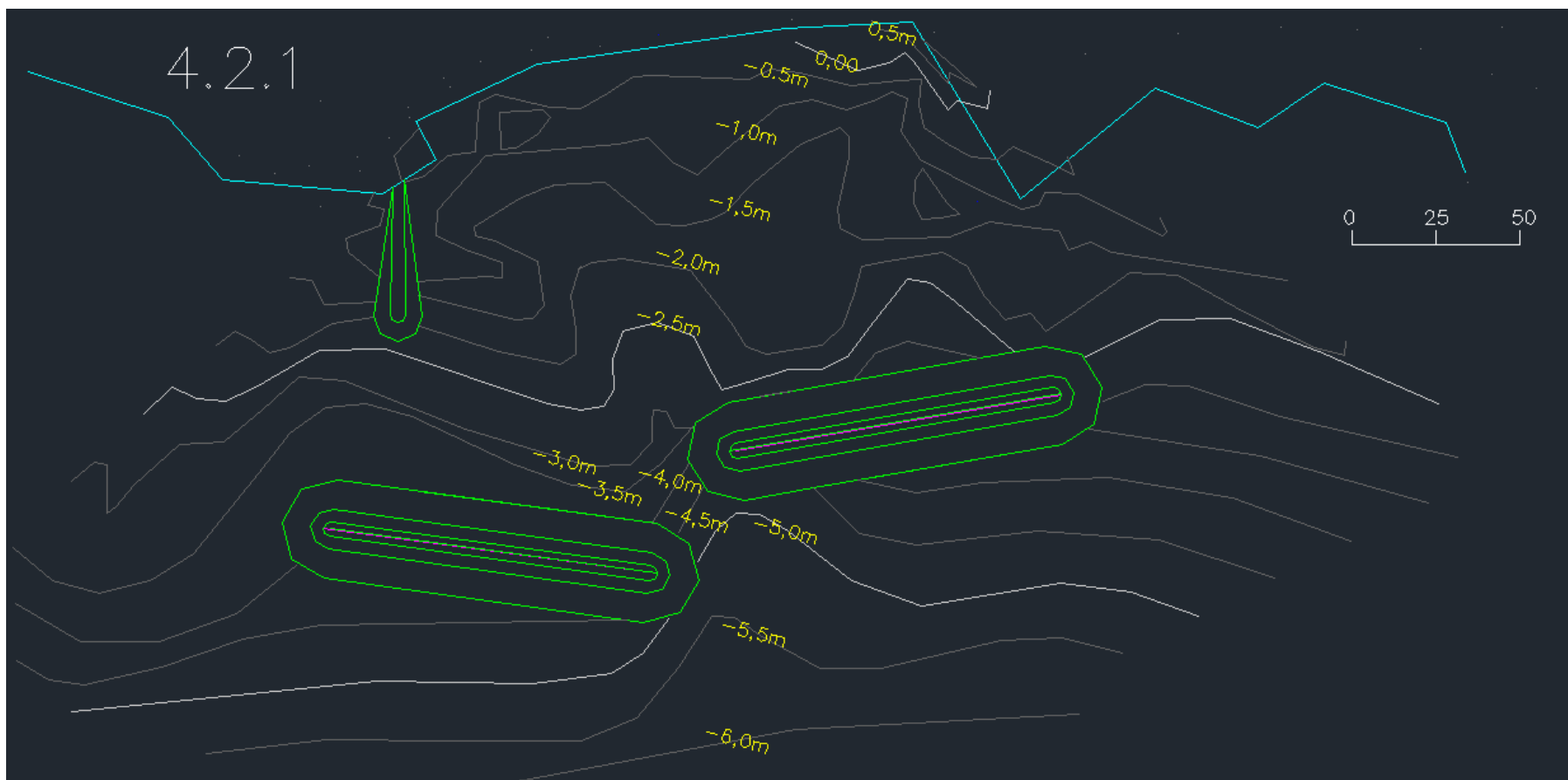
Εικόνα 84: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 3.2.1

ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2.2



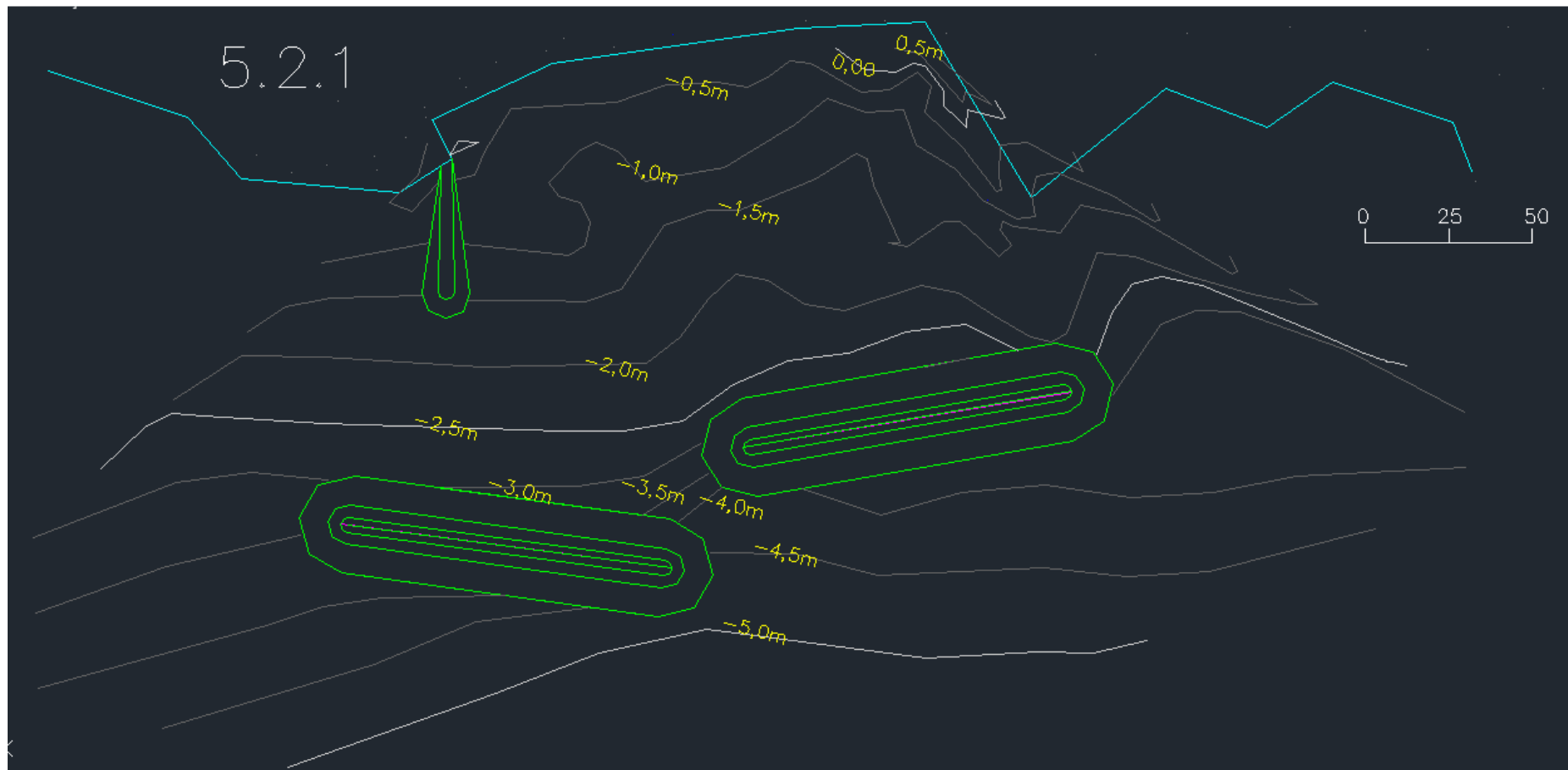
Εικόνα 85: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 3.2.2

ΠΕΙΡΑΜΑ 4.2.1



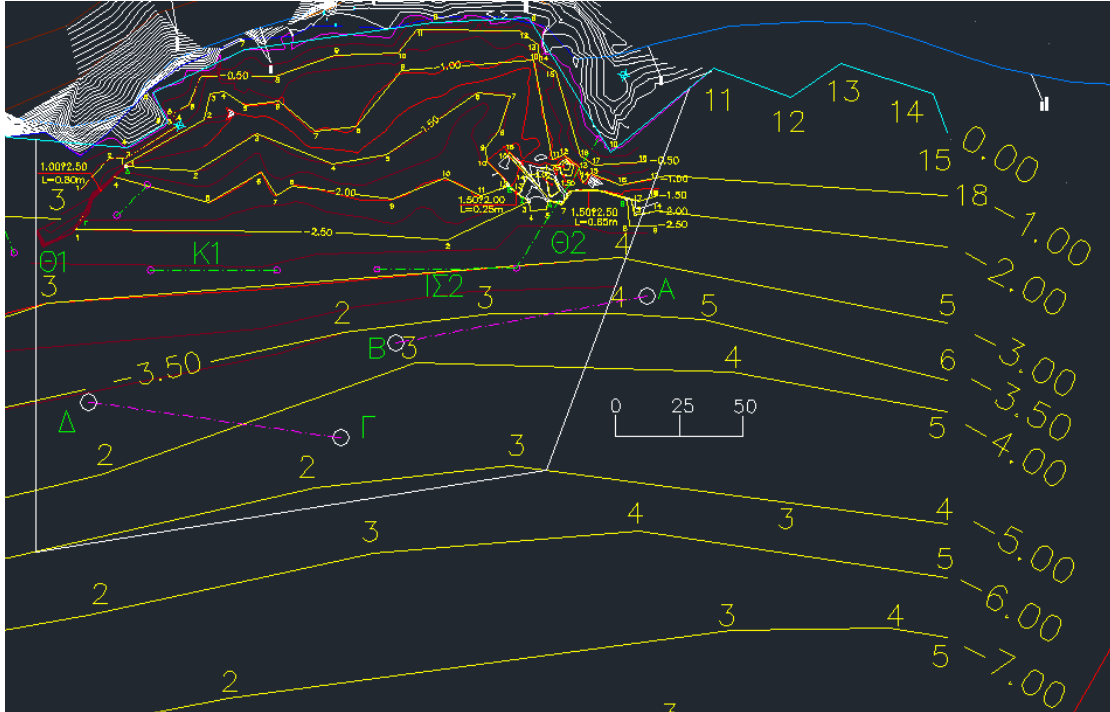
Εικόνα 86: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 4.2.1

ΠΕΙΡΑΜΑ 5.2.1



Εικόνα 87: Ισοβαθείς μετά το πείραμα 5.2.1

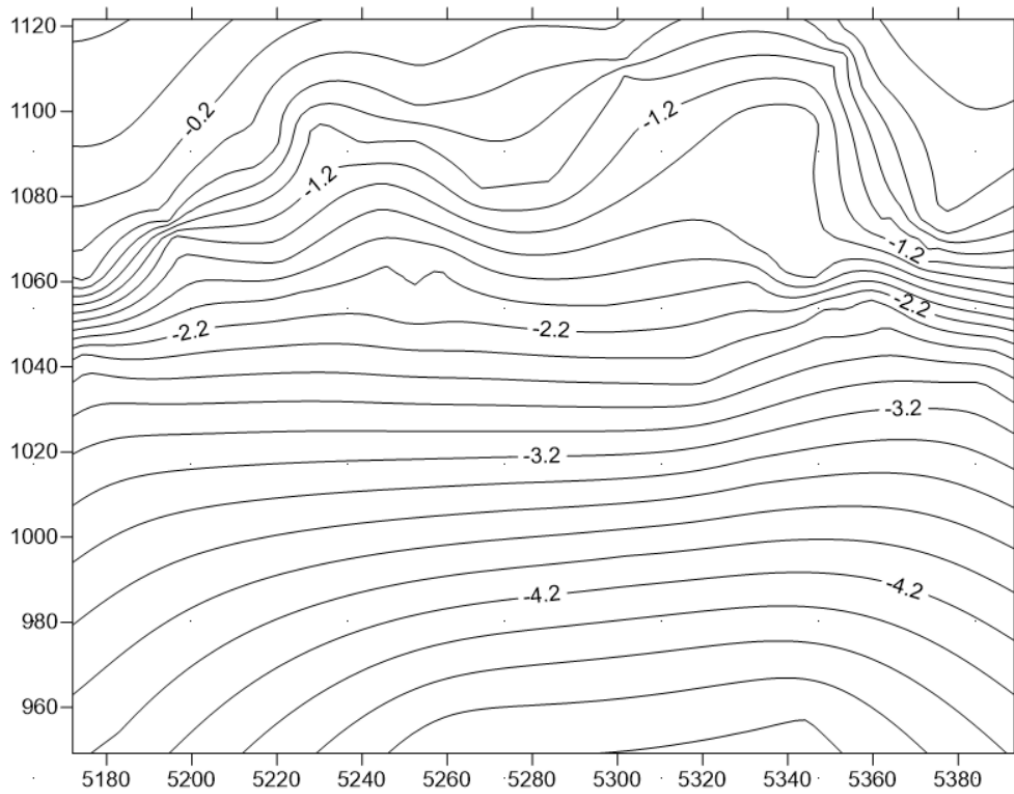
Στη συνέχεια με τη χρήση του τοπογραφικού προγράμματος Surfer υπολογίστηκαν οι όγκοι του ιζήματος που συγκρατήθηκε στην περιοχή μελέτης μετά από κάθε πείραμα. Η περιοχή που εξετάστηκε συγκεκριμένα σημειώνεται με λευκό περίγραμμα στον παρακάτω χάρτη.



Εικόνα 88: Περιοχή στην οποία διερευνήθηκε η συγκράτηση ιζήματος



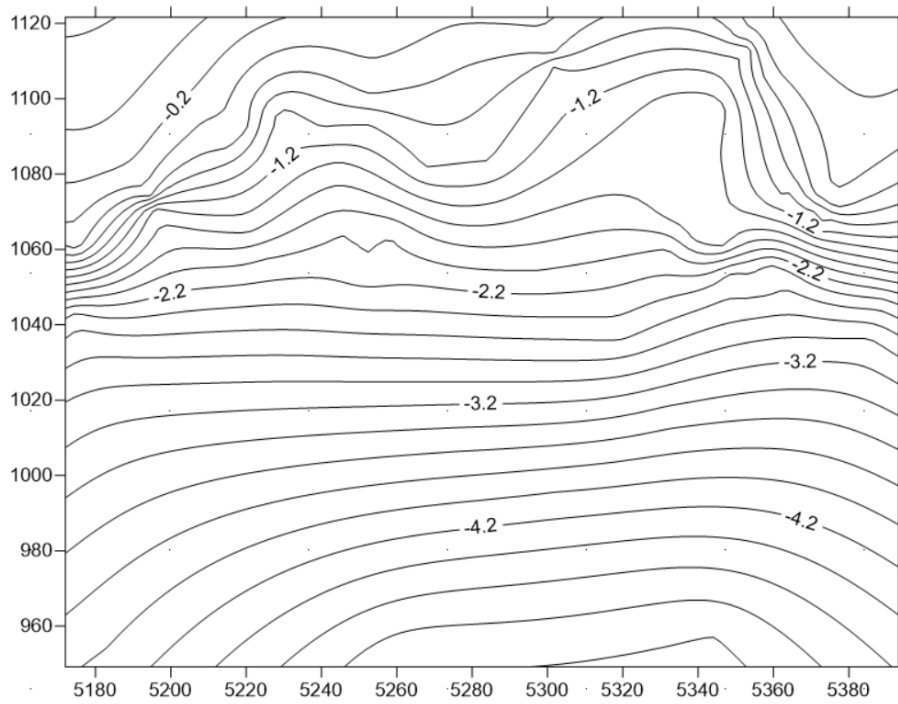
Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι αρχικές ισοβαθείς.



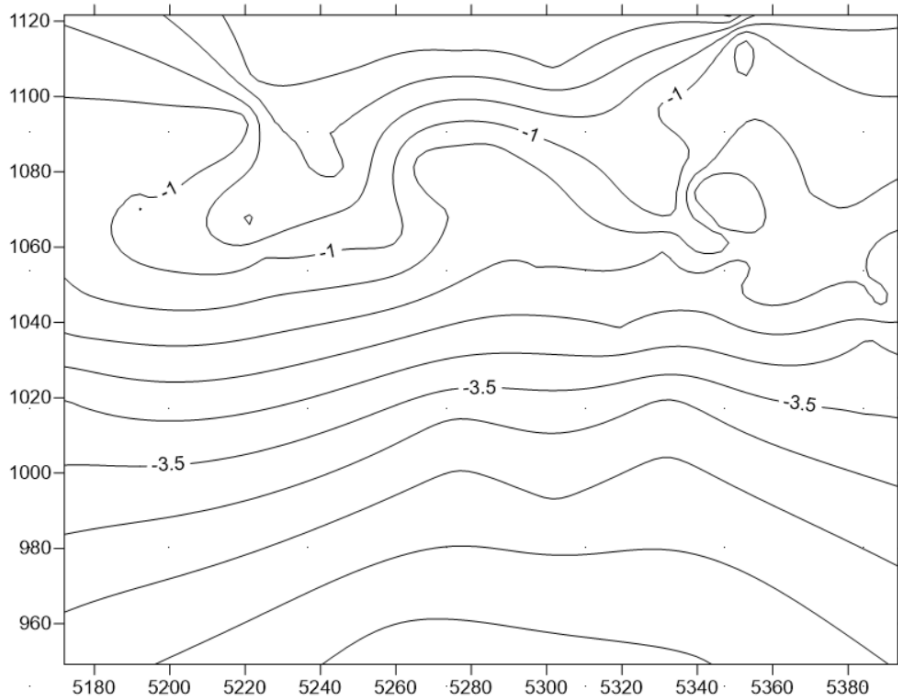
Εικόνα 89: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι ισοβαθείς που προέκυψαν μετά το πέρας κάθε πειράματος σε σχέση με τις ισοβαθείς της αρχικής κατάστασης.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1.1

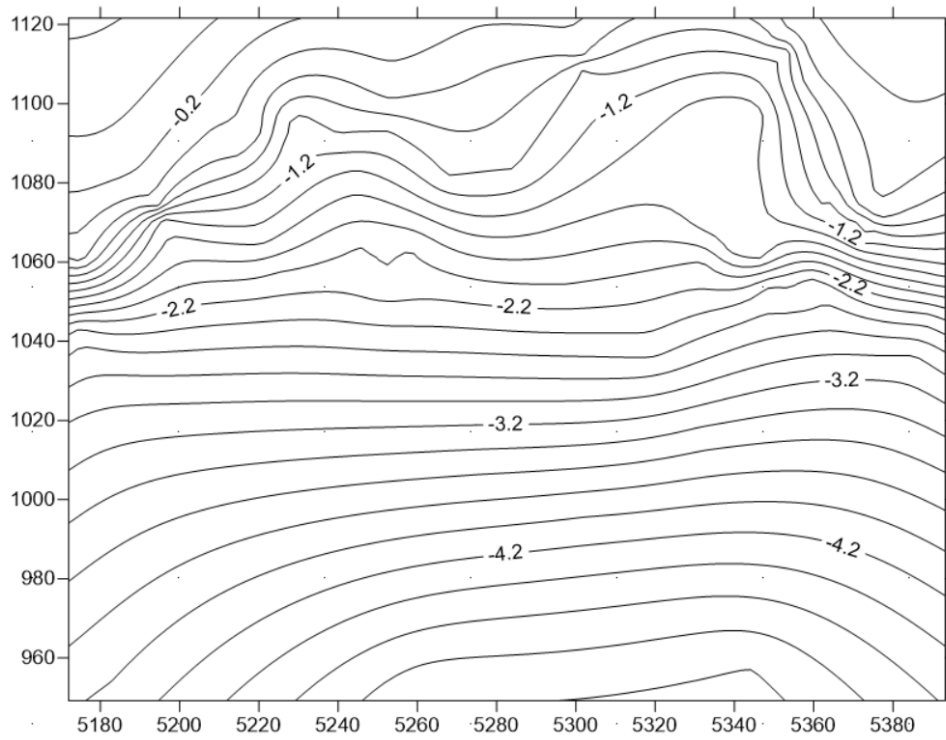


Εικόνα 90: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

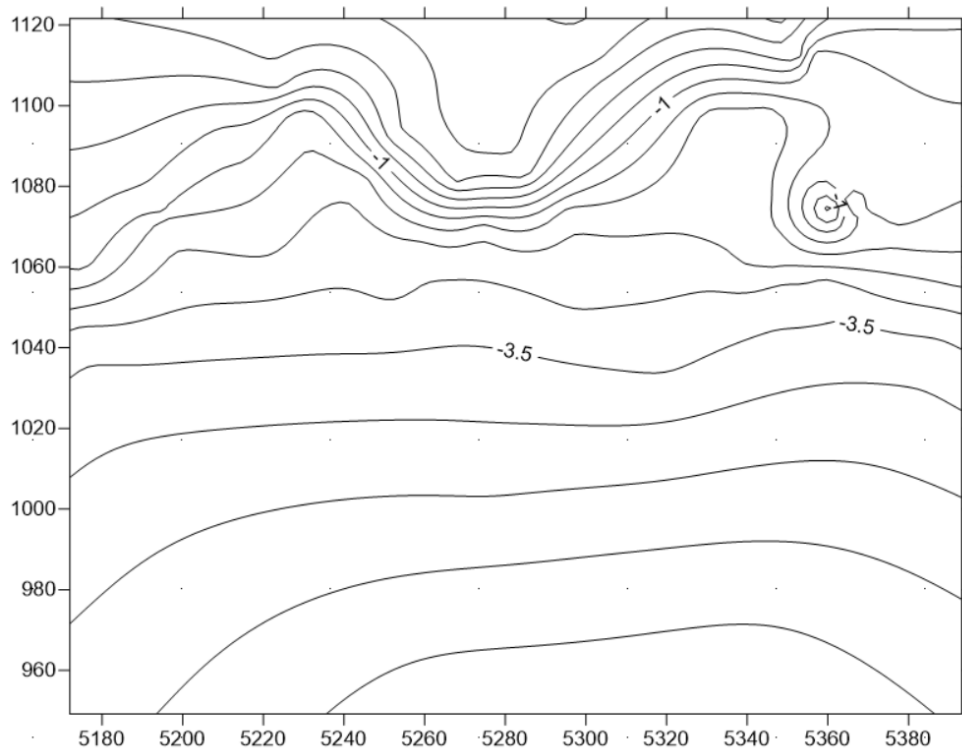


Εικόνα 91: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για το πείραμα 1.1.1

### ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1.2

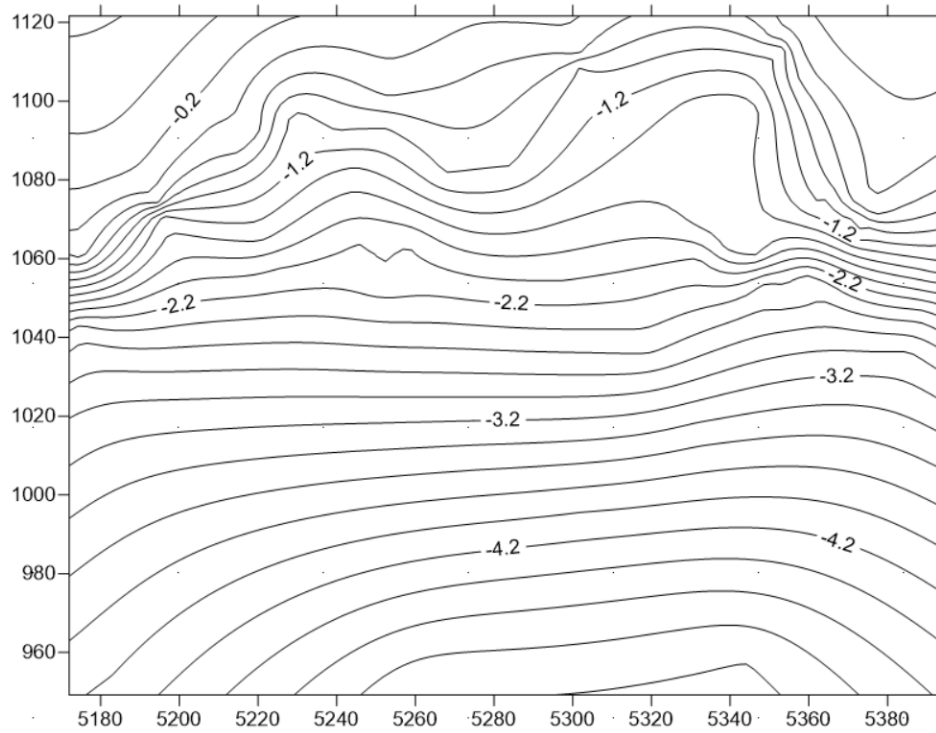


Εικόνα 92: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

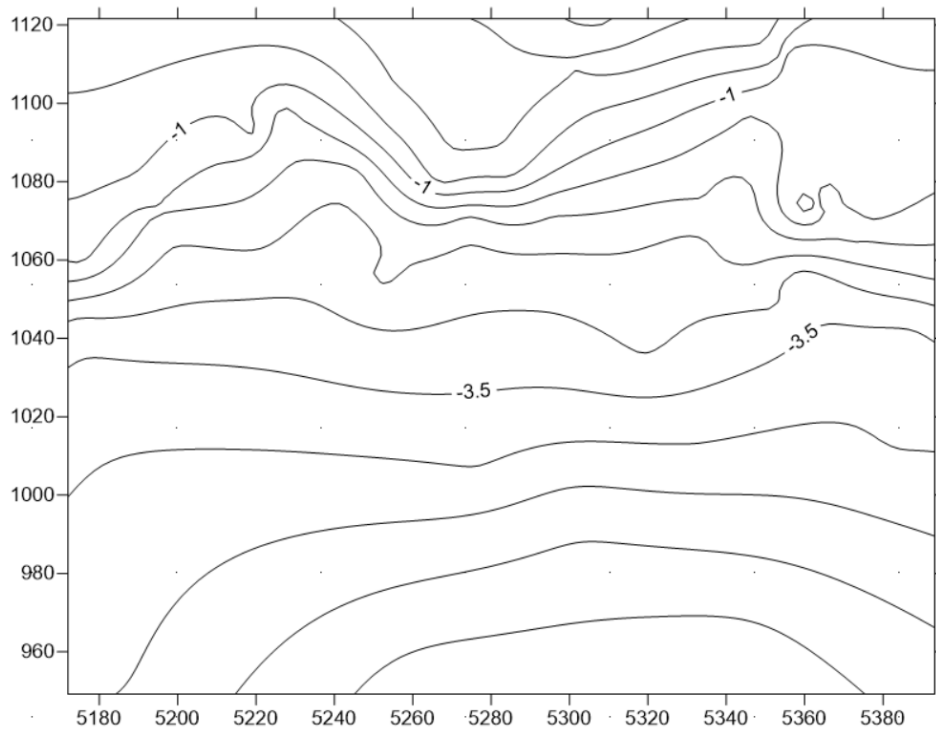


Εικόνα 93: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για το πείραμα 1.1.2

### ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2.1

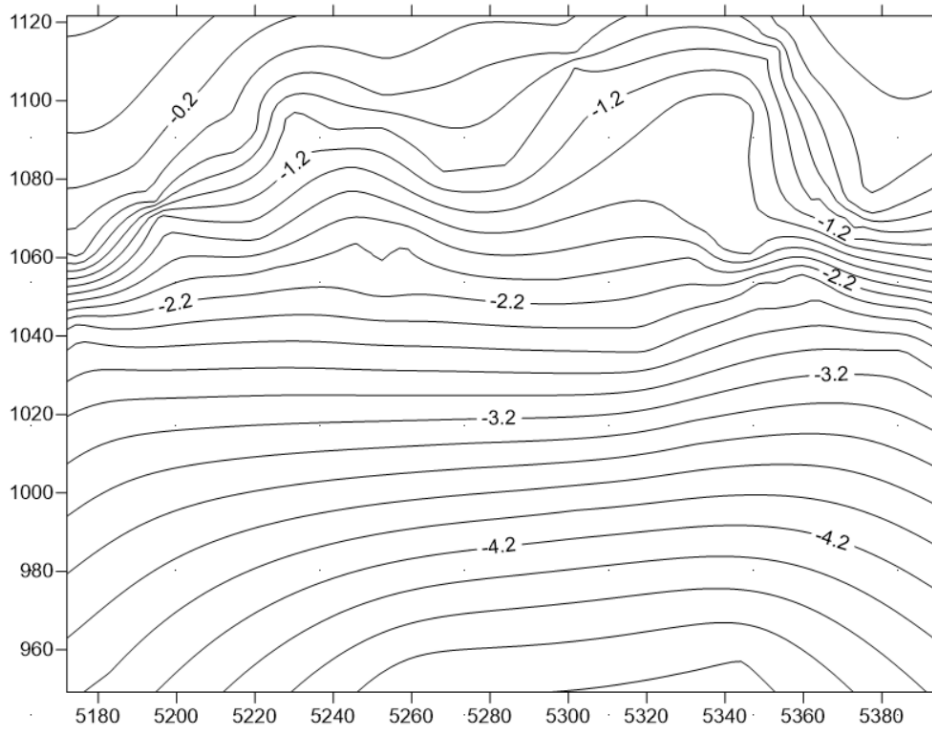


Εικόνα 94: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

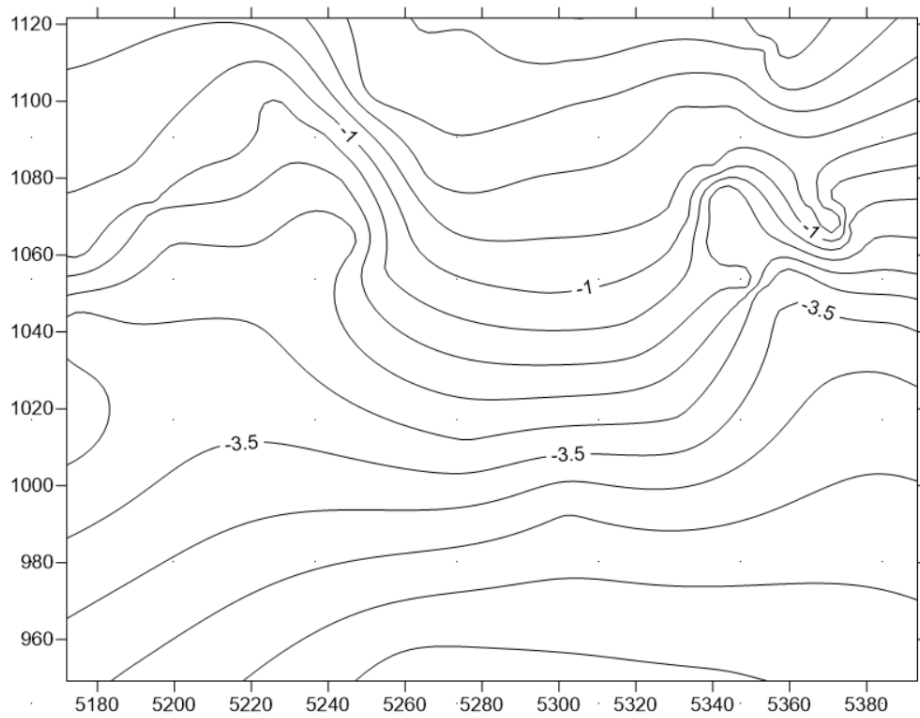


Εικόνα 95: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για το πείραμα 1.2.1

## ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2.2

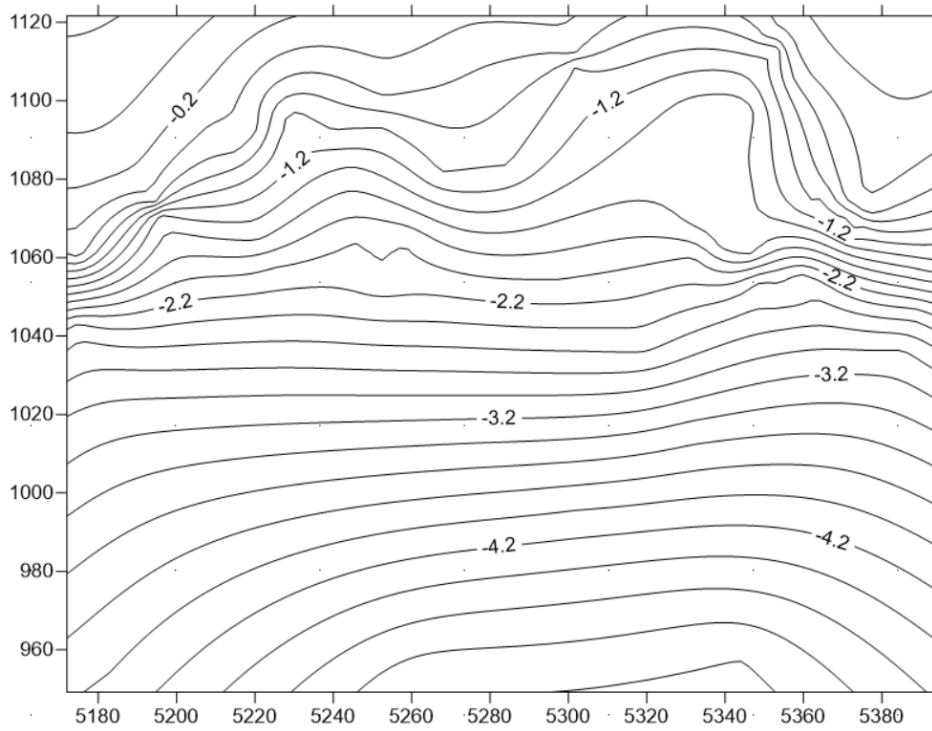


Εικόνα 96: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

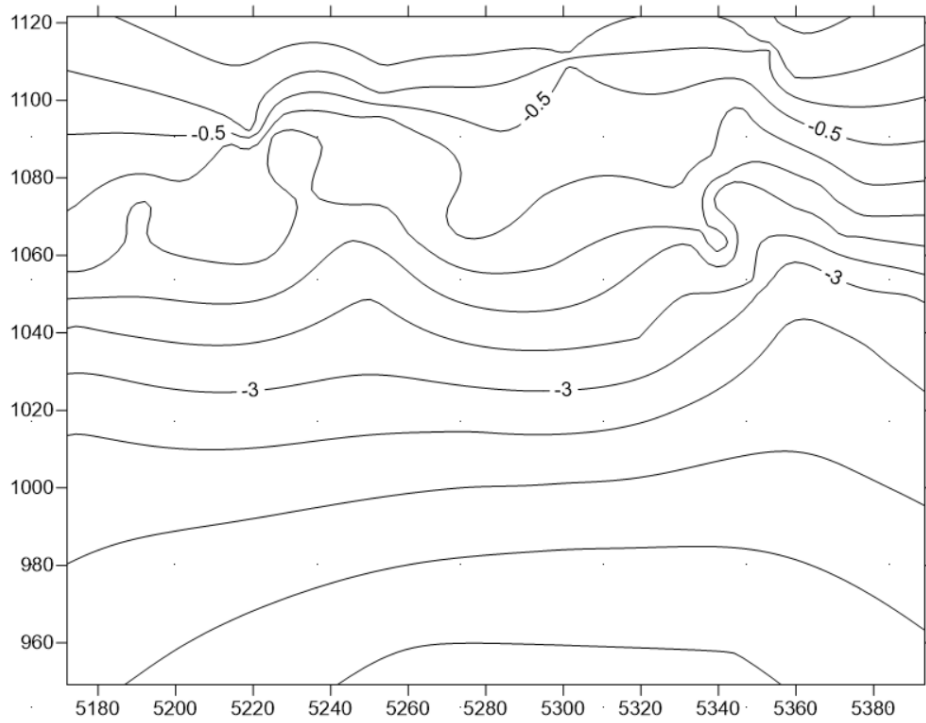


Εικόνα 97: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για το πείραμα 1.2.2

### ΠΕΙΡΑΜΑ 2.1.1

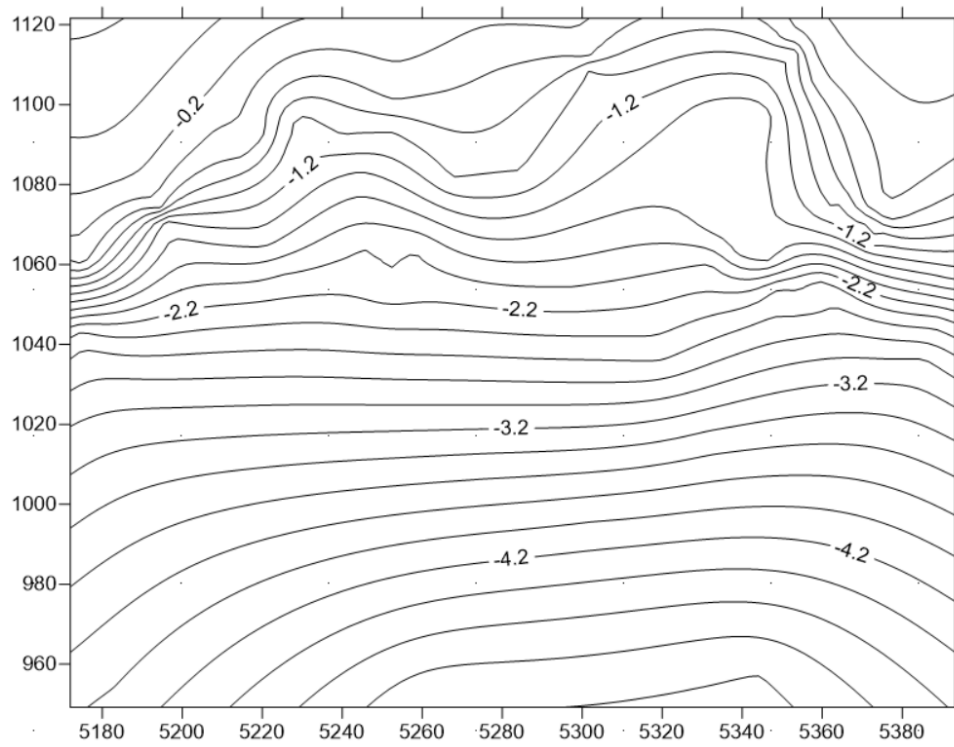


Εικόνα 98: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

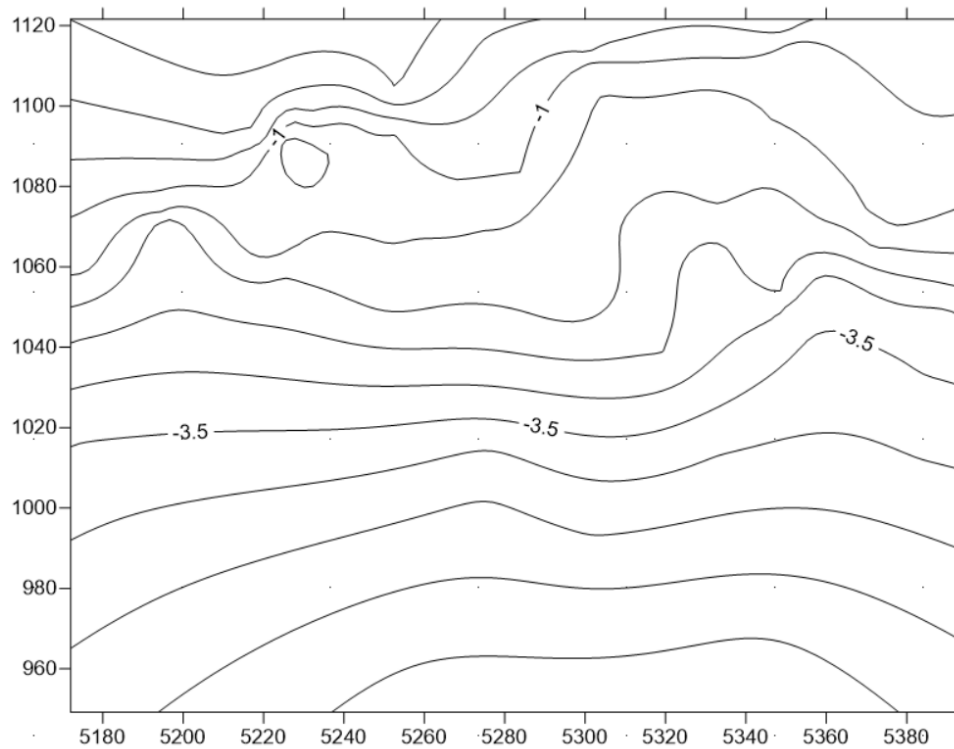


Εικόνα 99: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για το πείραμα 2.1.1

### ΠΕΙΡΑΜΑ 2.2.1

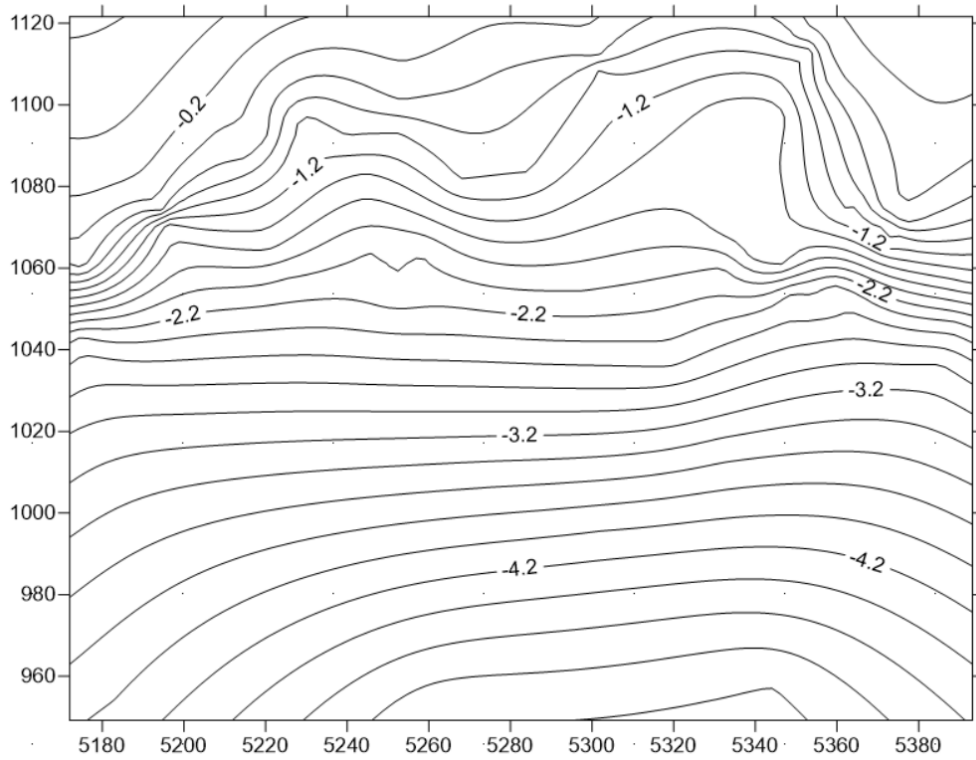


Εικόνα 100: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

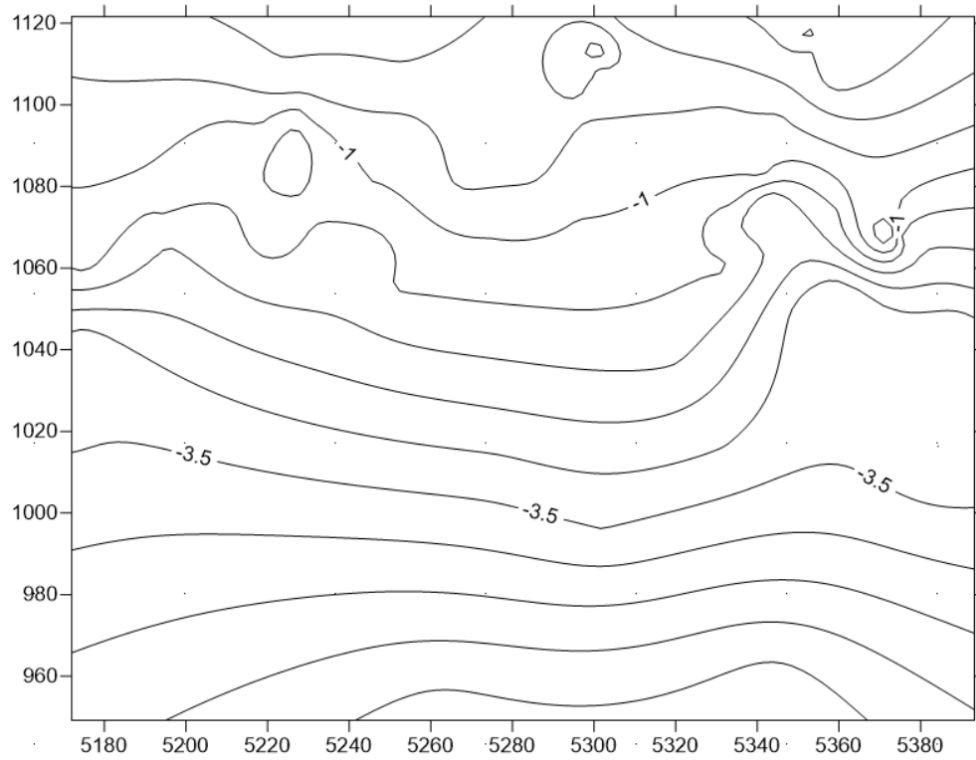


Εικόνα 101: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για το πείραμα 2.2.1

### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1.1



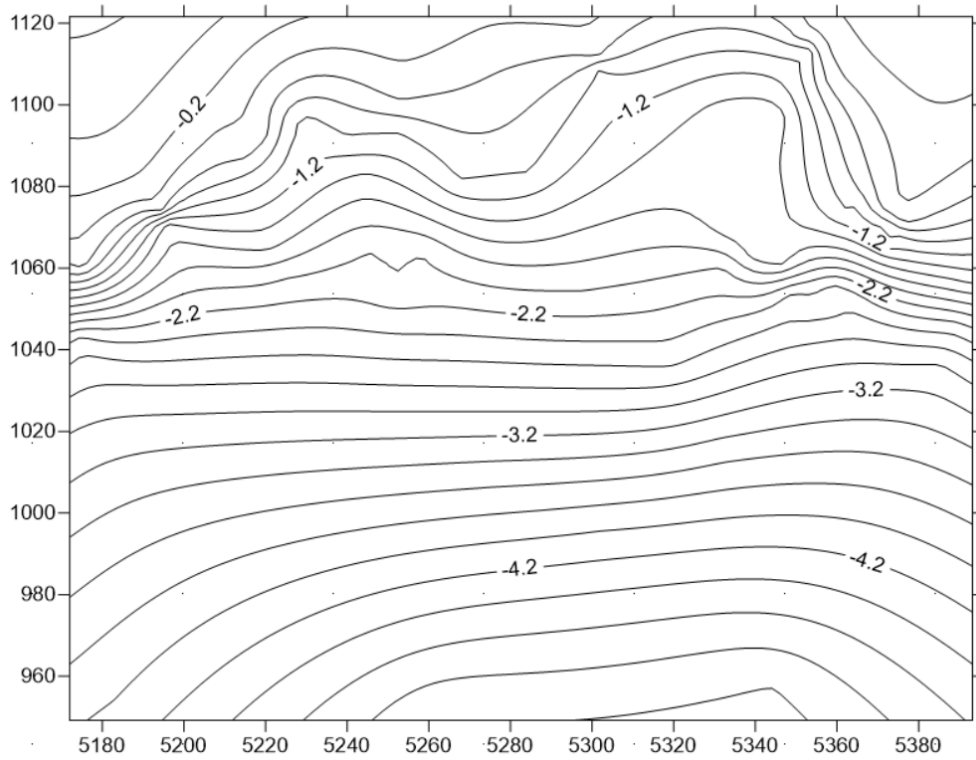
Εικόνα 102: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση



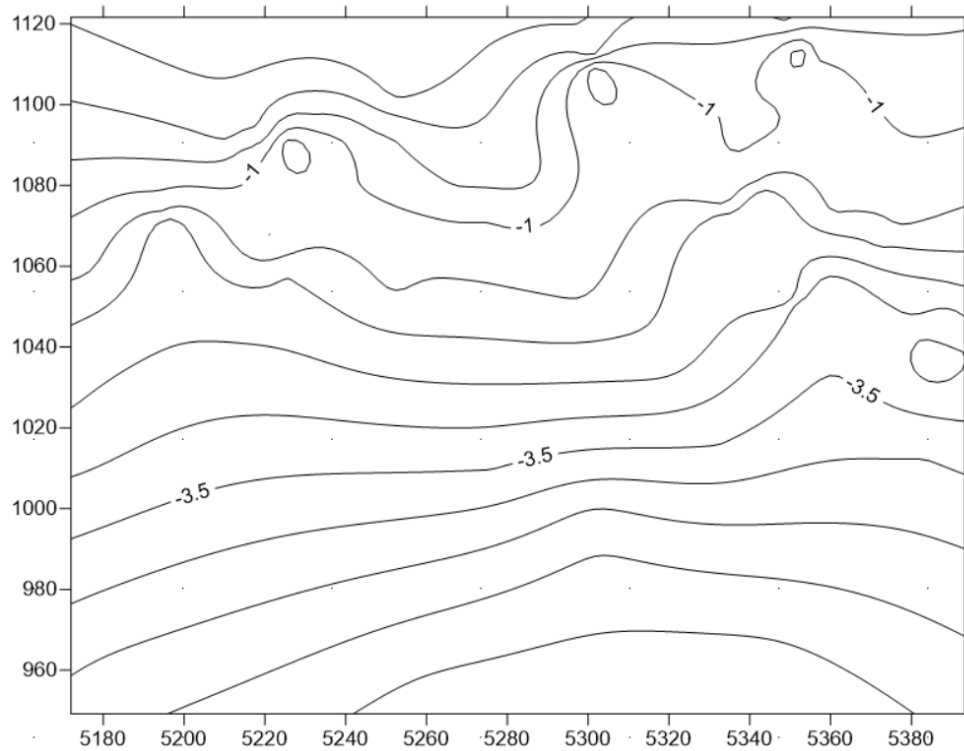
Εικόνα 103: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer μετά το πείραμα 3.1.1



### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1.2

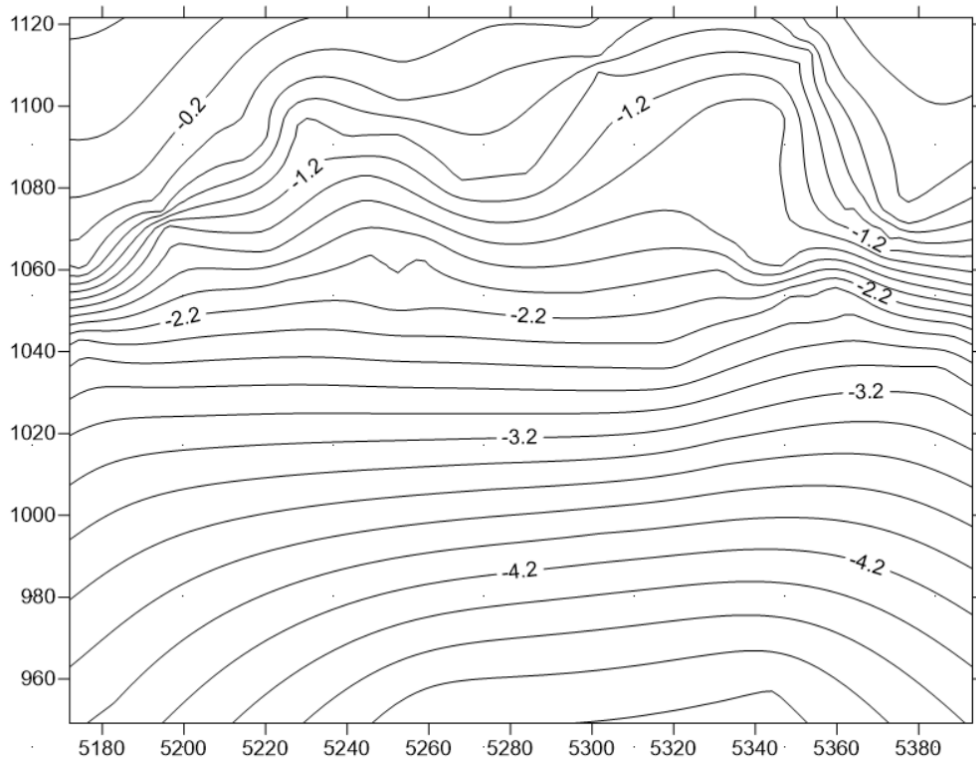


Εικόνα 104: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

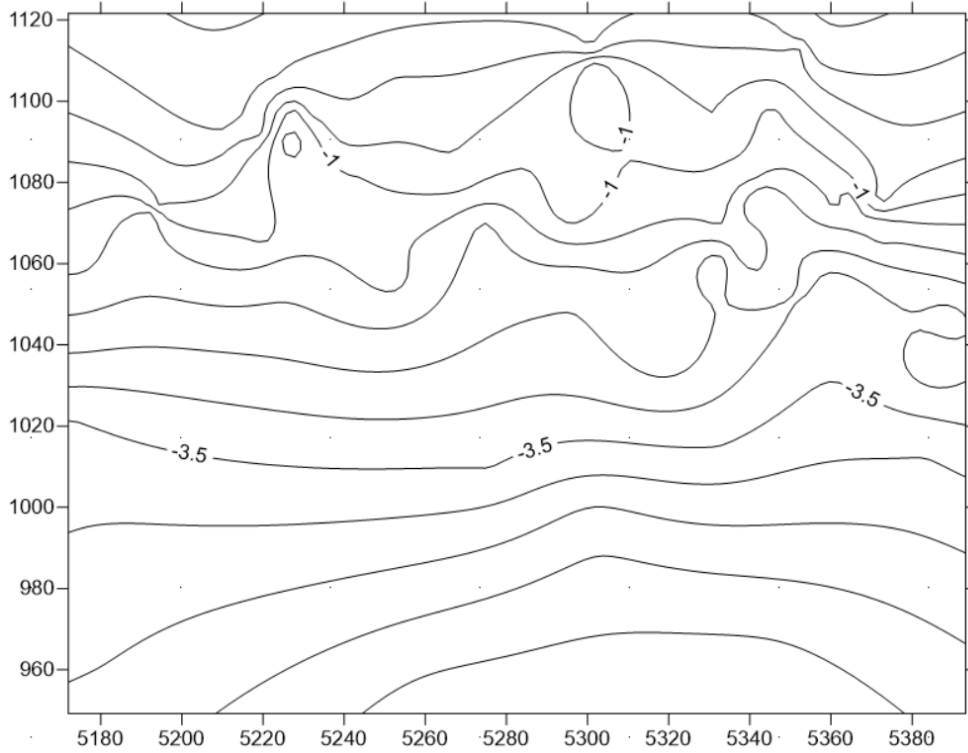


Εικόνα 105: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer μετά το πείραμα 3.1.2

### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2.1

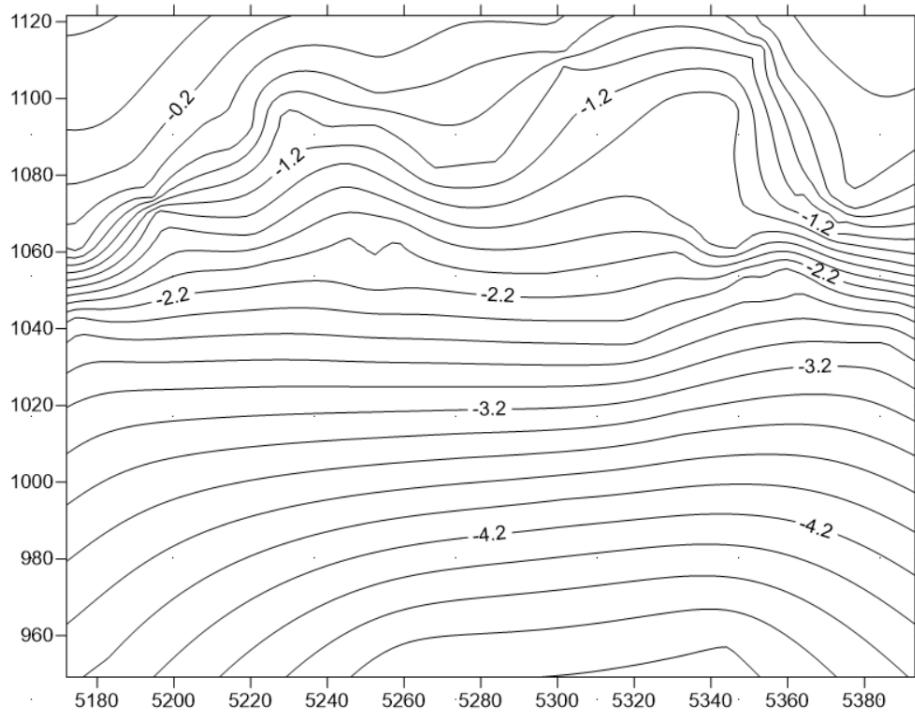


Εικόνα 106: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

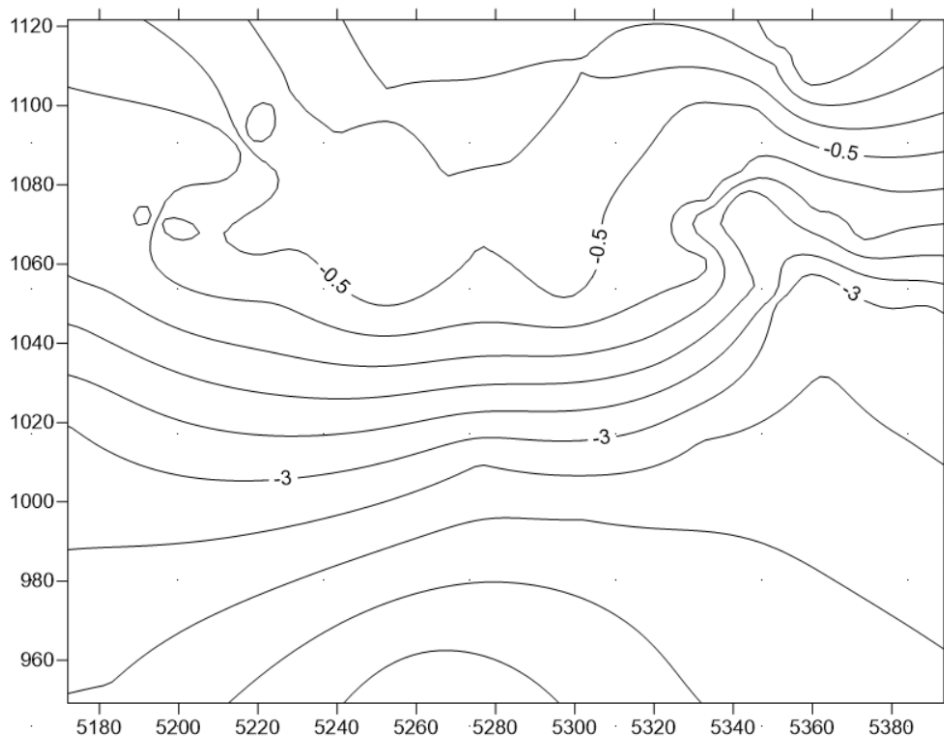


Εικόνα 107: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer μετά το πείραμα 3.2.1

### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2.2

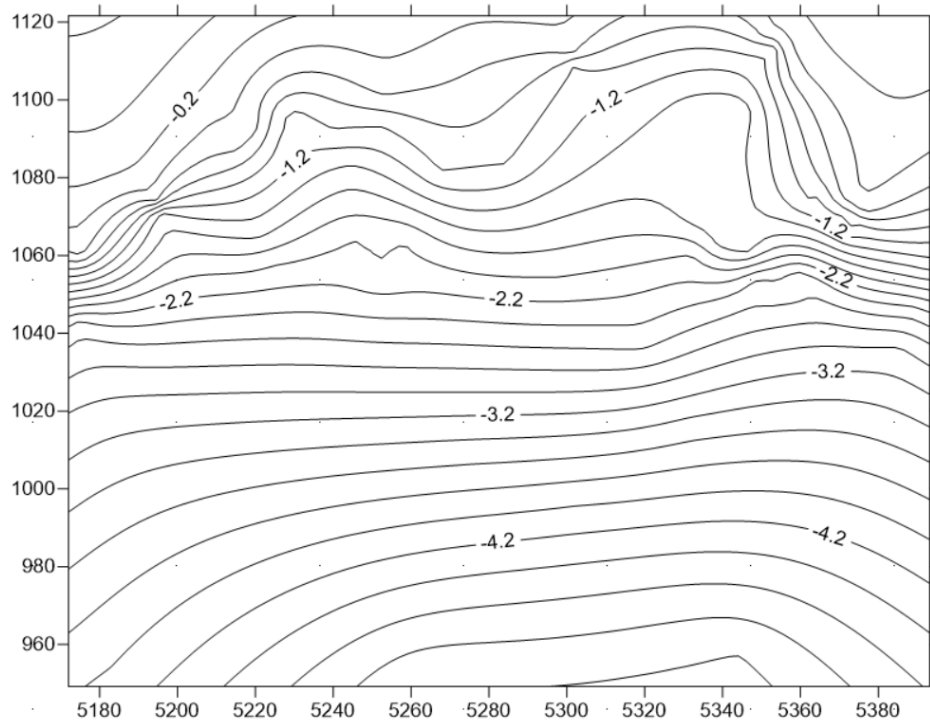


Εικόνα 108: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

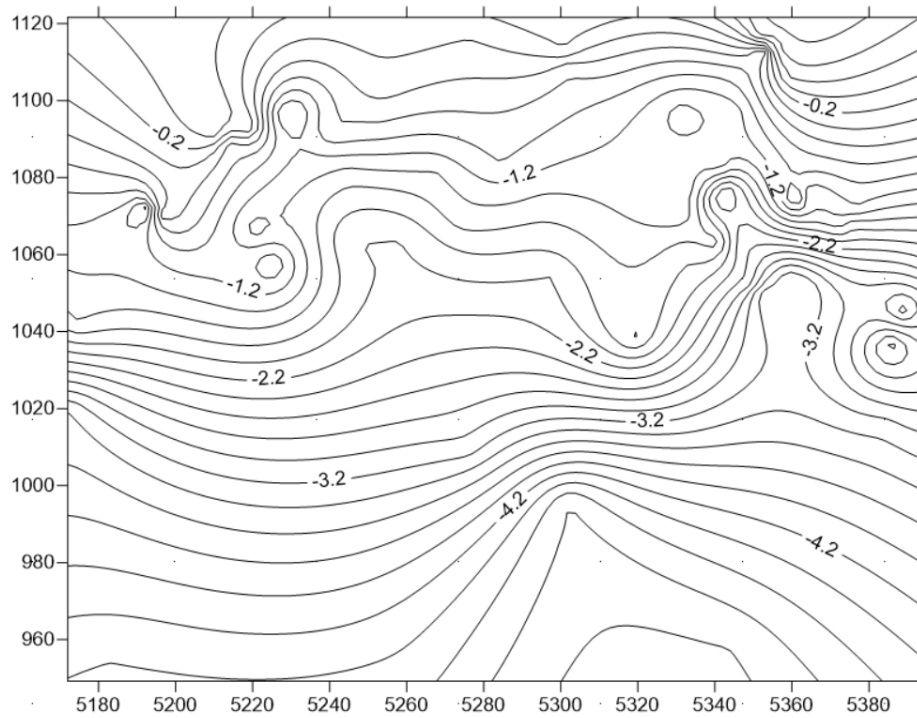


Εικόνα 109: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer μετά το πείραμα 3.2.2

### ΠΕΙΡΑΜΑ 4.2.1

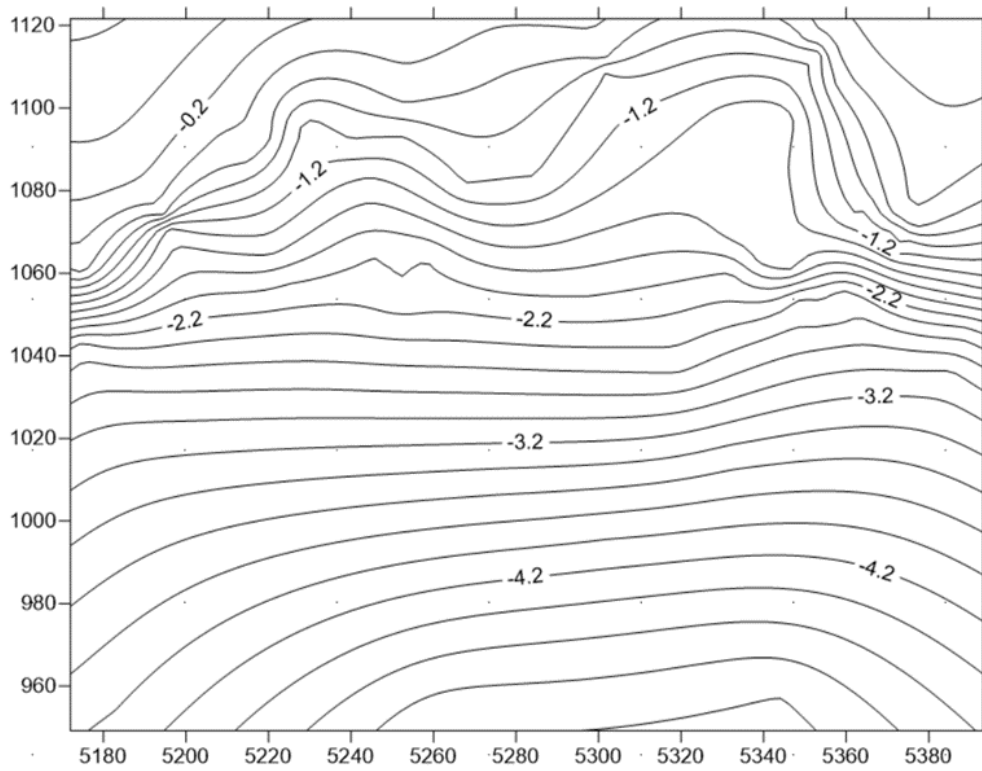


Εικόνα 110: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση

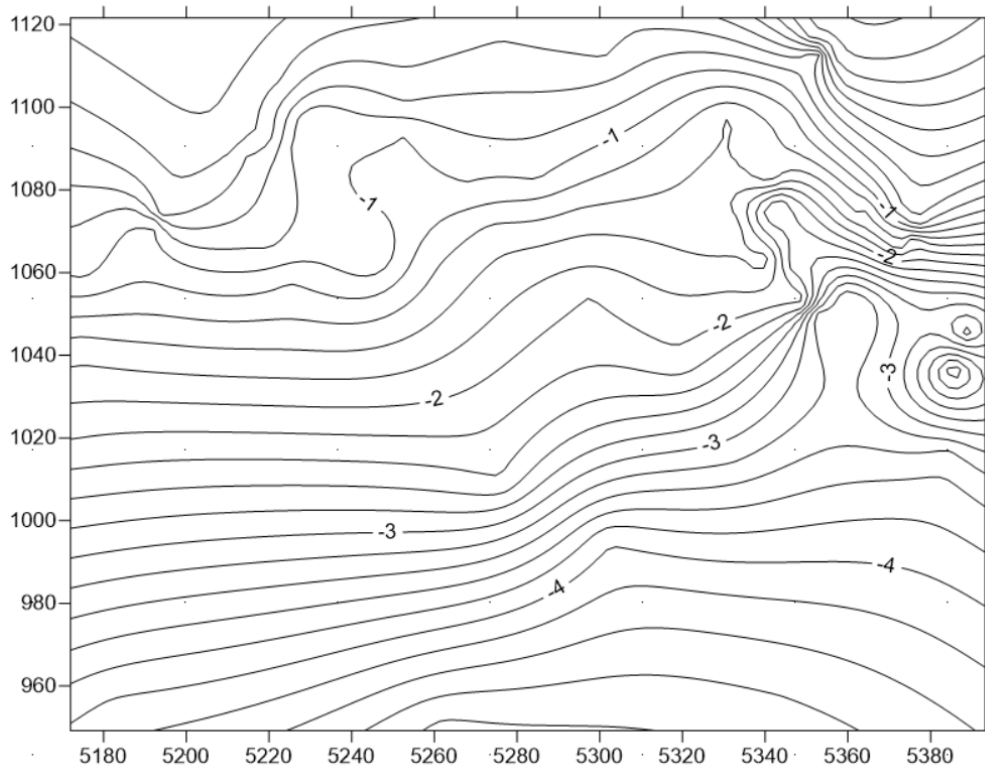


Εικόνα 111: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer μετά το πείραμα 4.2.1

### ΠΕΙΡΑΜΑ 5.2.1



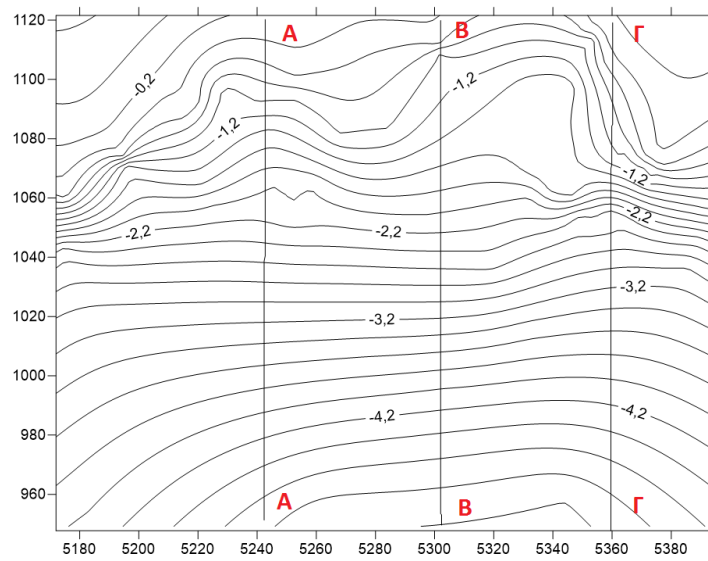
Εικόνα 112: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer για την αρχική κατάσταση



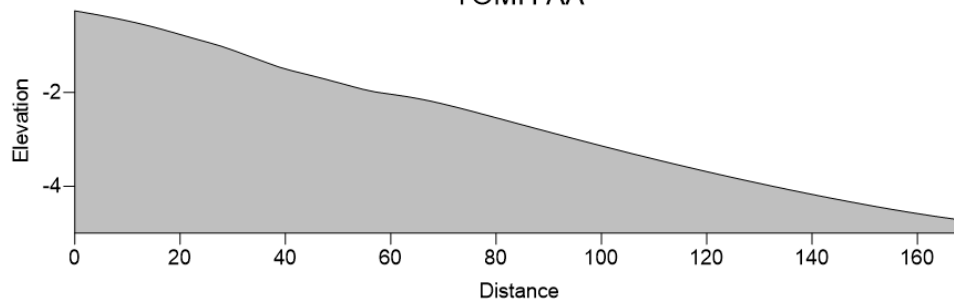
Εικόνα 113: Ισοβαθείς από το πρόγραμμα Surfer μετά το πείραμα 5.2.1

Παρακάτω παρουσιάζονται τρεις χαρακτηριστικές τομές ανά σχέδιο (ΑΑ στα αριστερά, ΒΒ στο κέντρο, ΓΓ στα δεξιά) για την αρχική κατάσταση και για κάθε πείραμα.

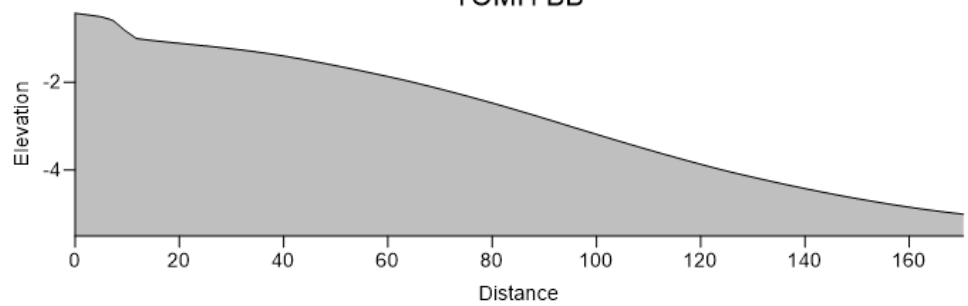
## ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ



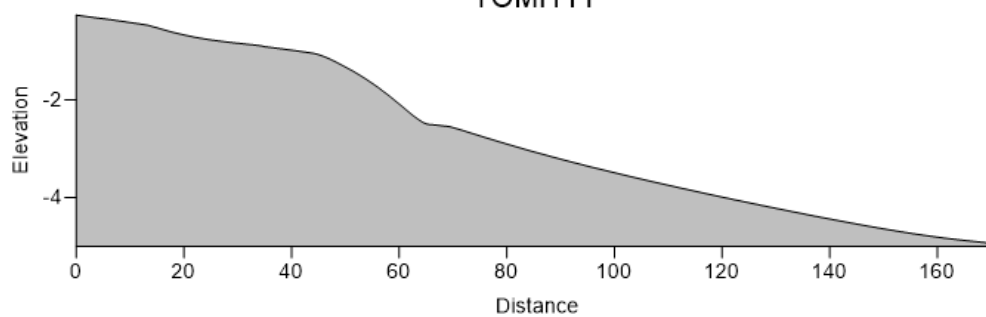
### TOMH AA



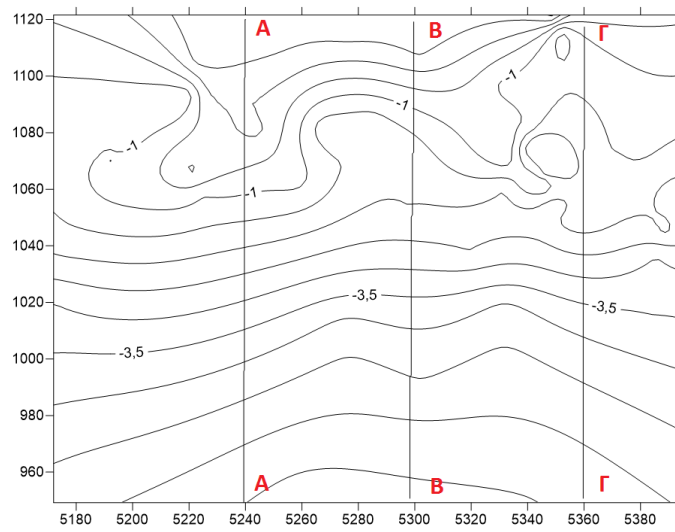
### TOMH BB



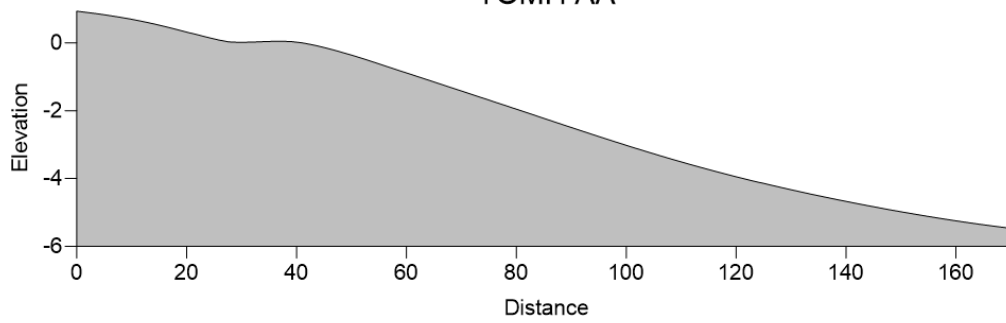
### TOMH ΓΓ



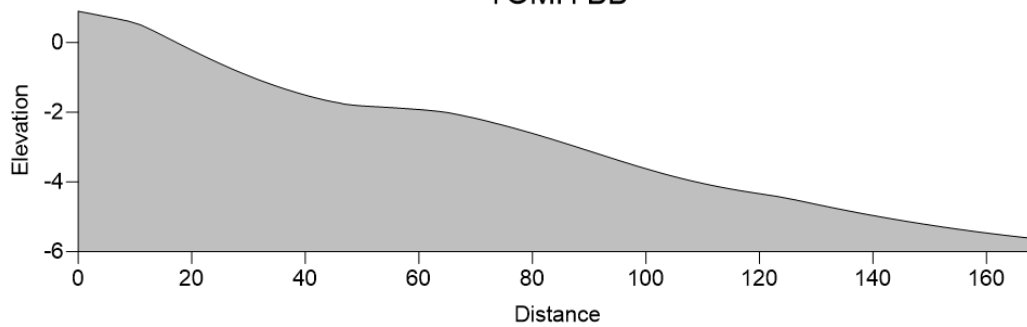
### ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1.1



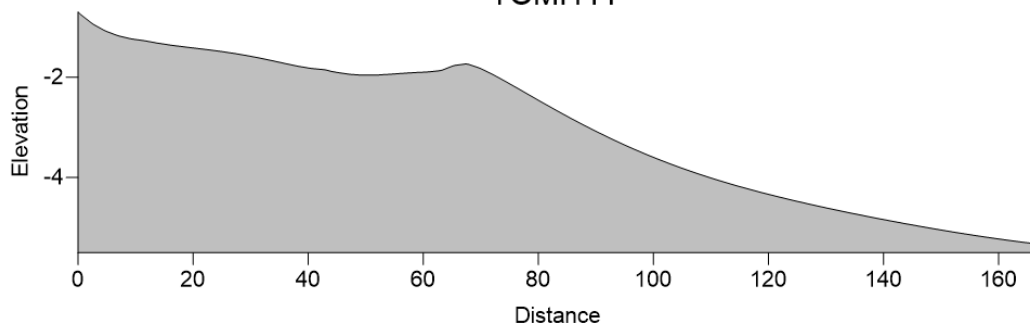
TOMH AA



TOMH BB

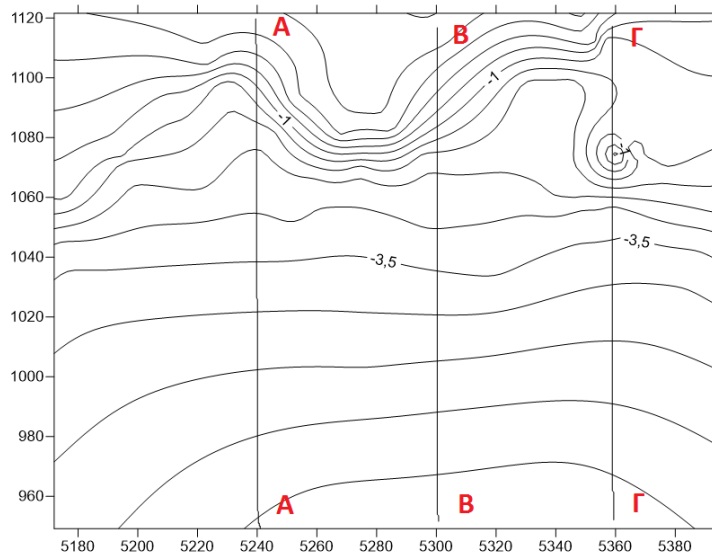


TOMH ΓΓ

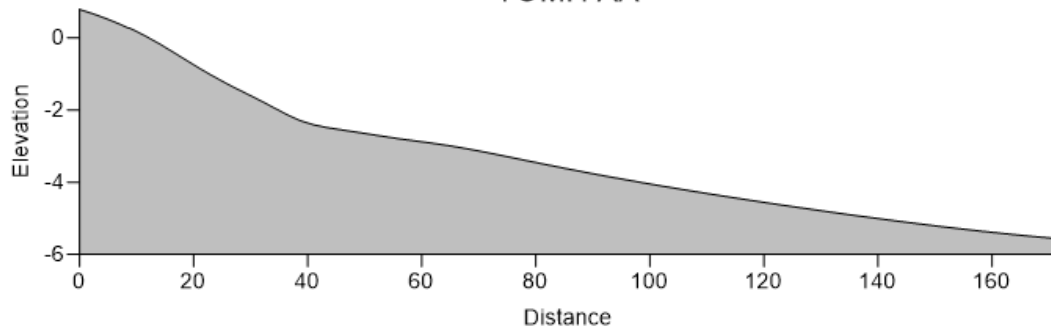




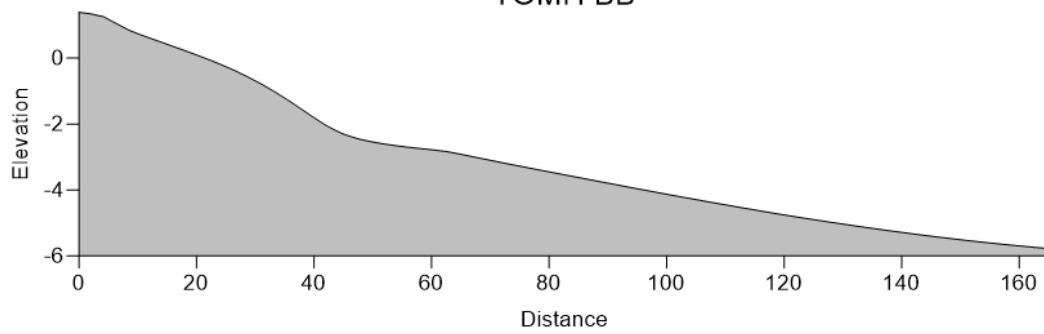
### ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1.2



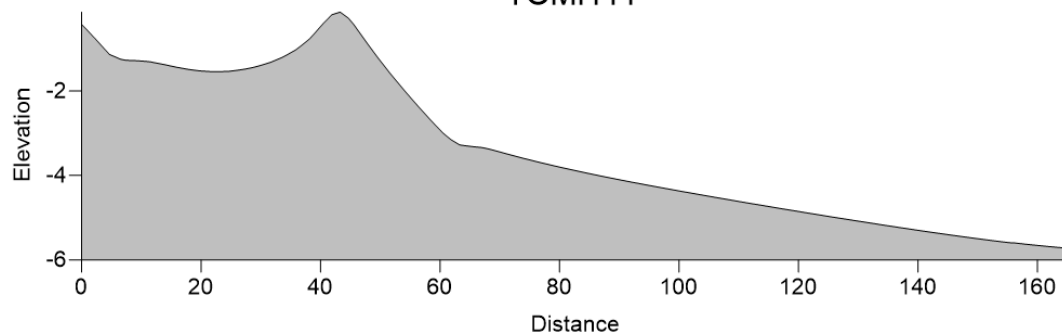
TOMH AA



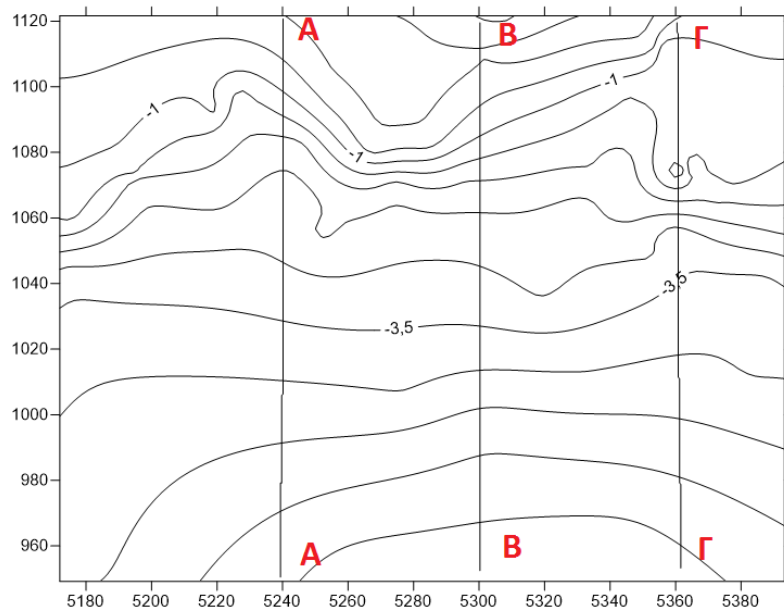
TOMH BB



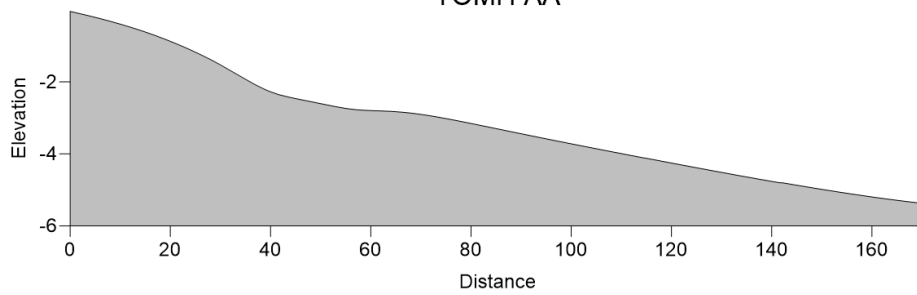
TOMH ΓΓ



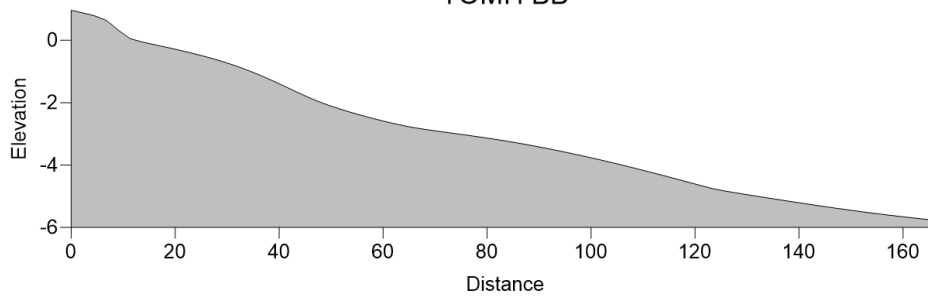
### ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2.1



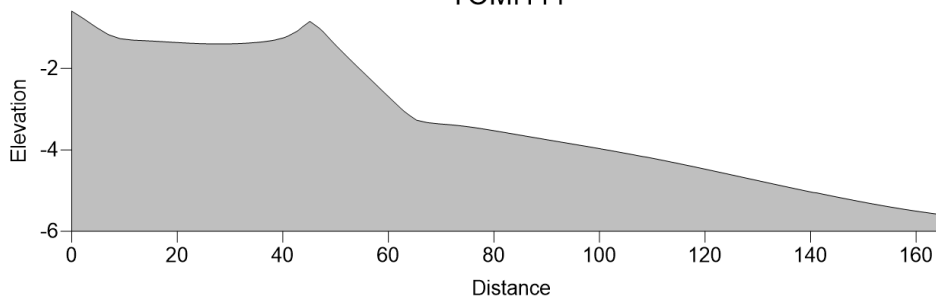
TOMH AA



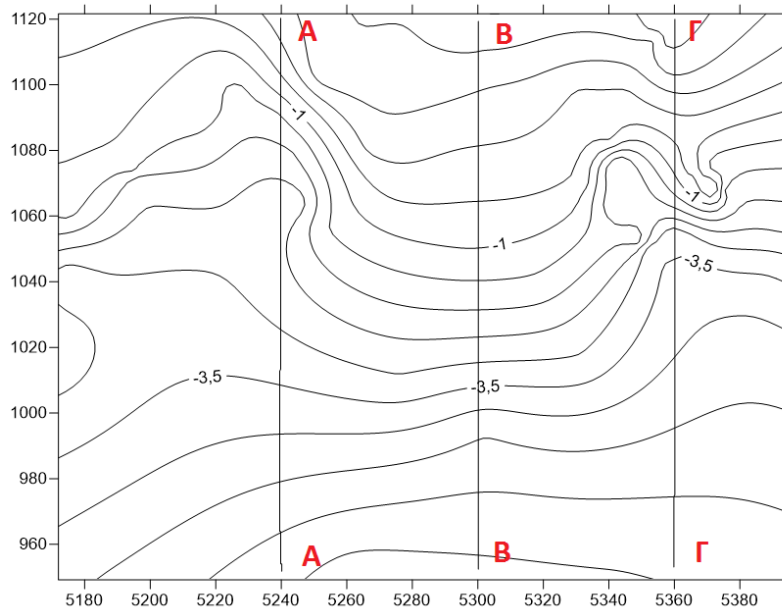
TOMH BB



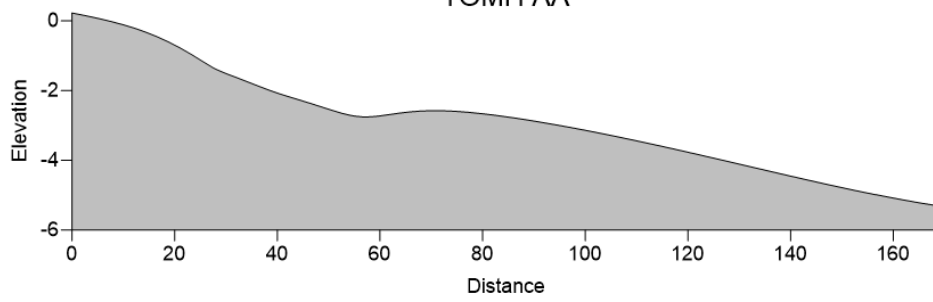
TOMH ΓΓ



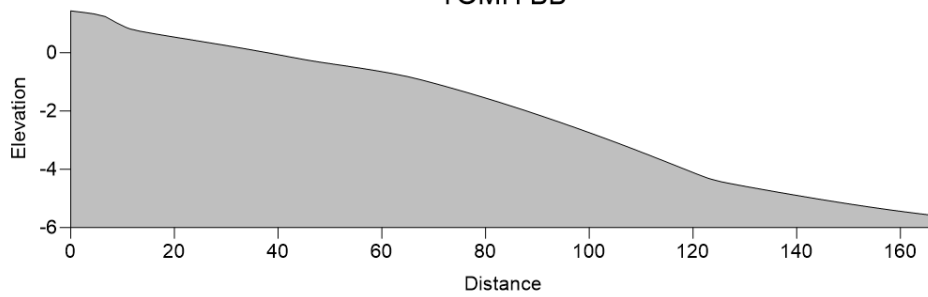
## ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2.2



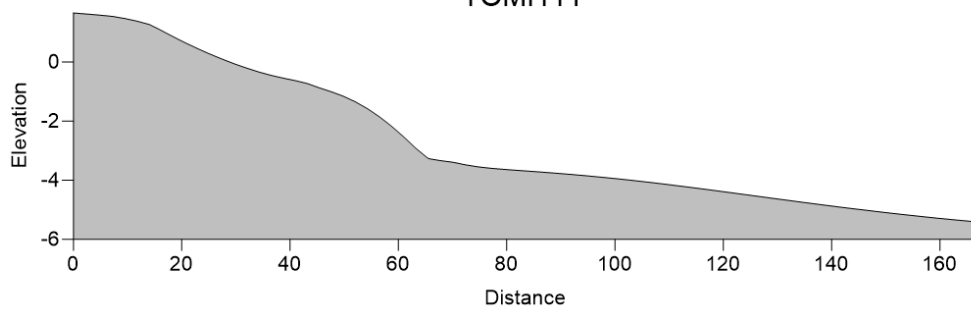
TOMH AA



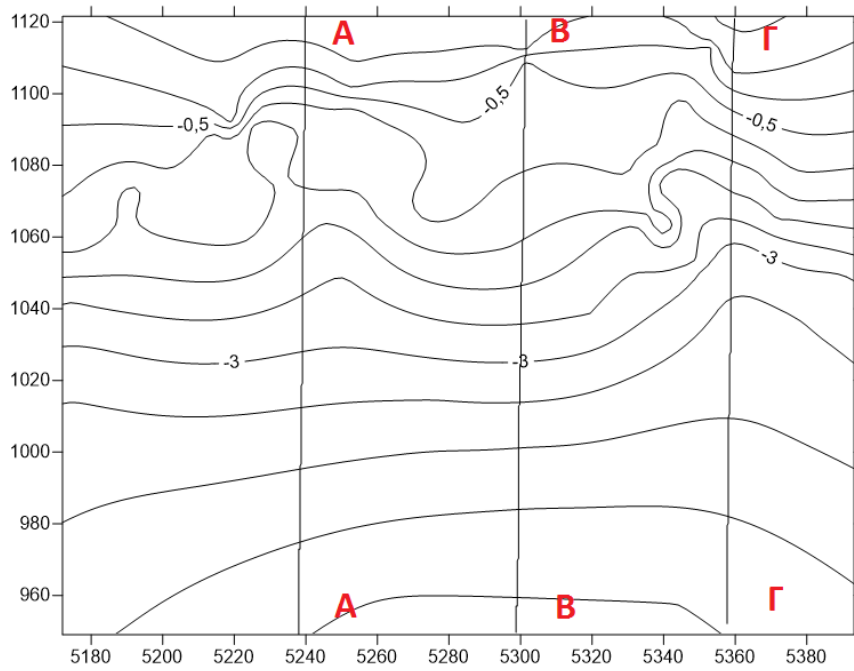
TOMH BB



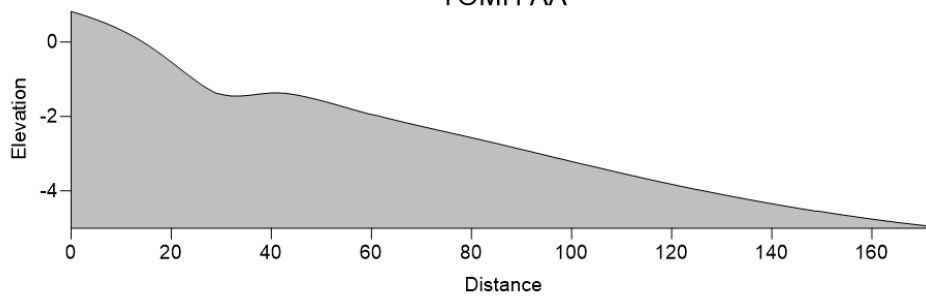
TOMH ΓΓ



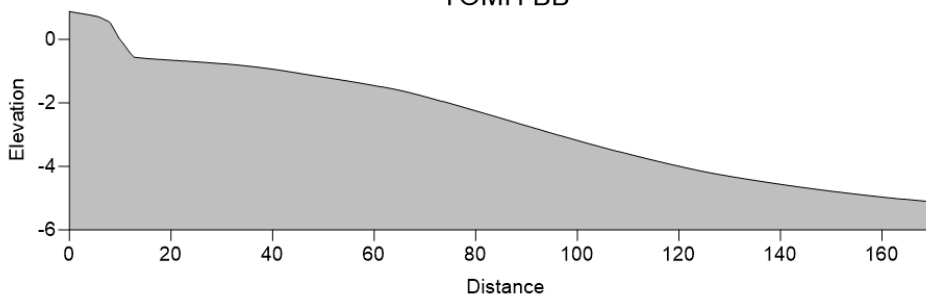
### ΠΕΙΡΑΜΑ 2.1.1



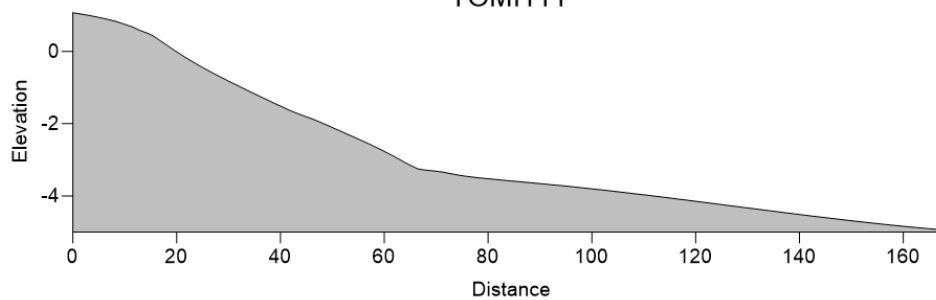
TOMH AA



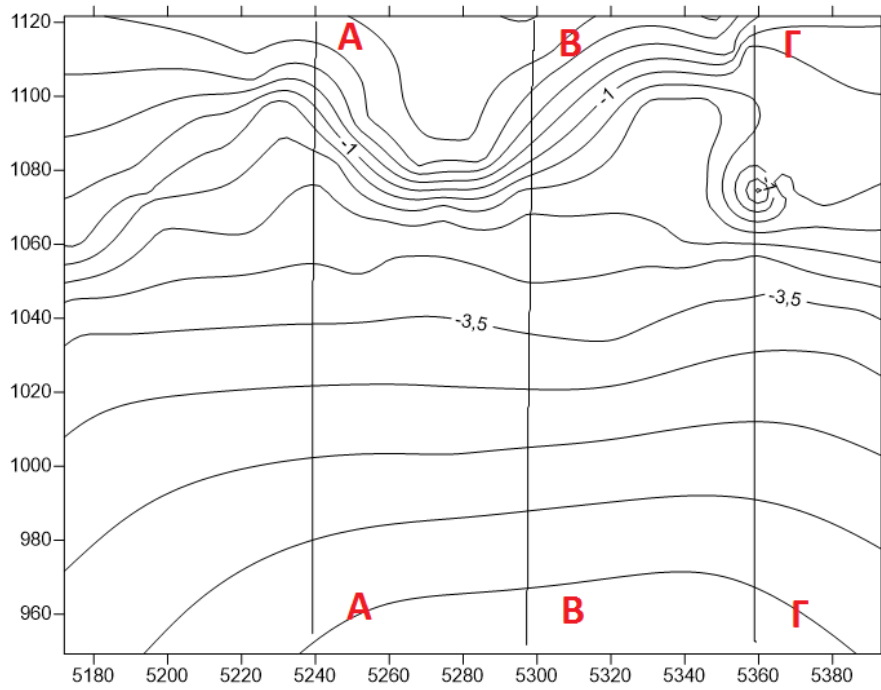
TOMH BB



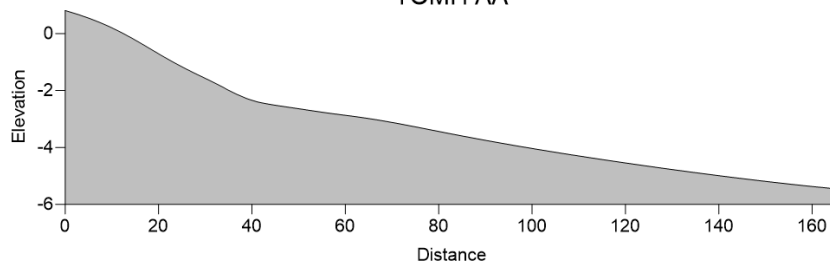
TOMH ΓΓ



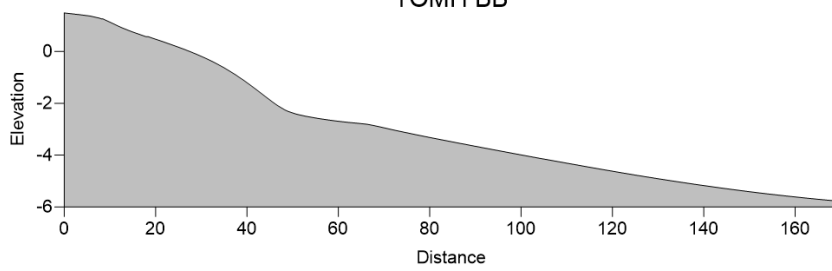
**ΠΕΙΡΑΜΑ 2.2.1**



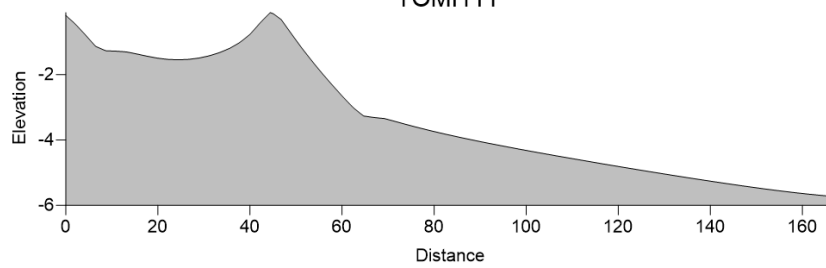
**TOMH AA**



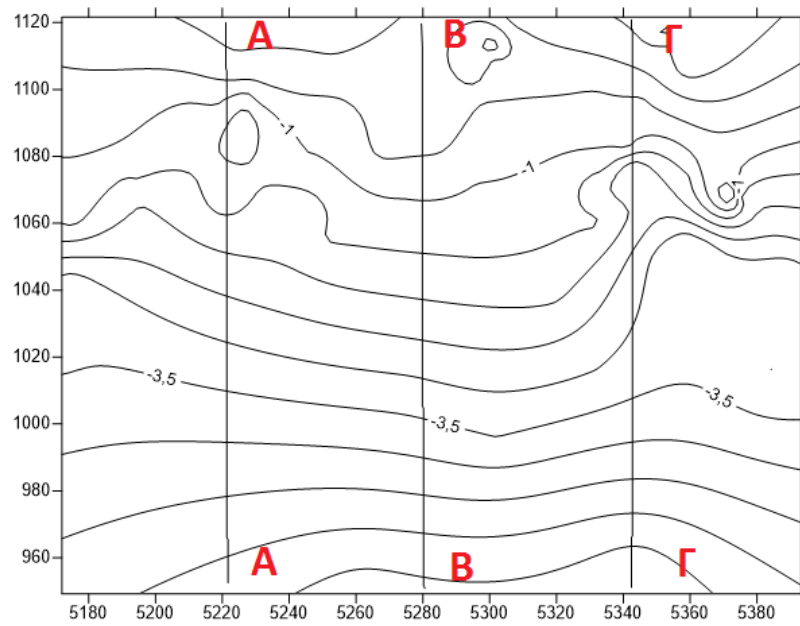
**TOMH BB**



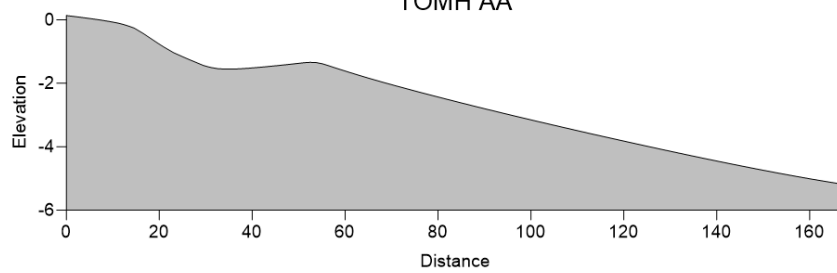
**TOMH ΓΓ**



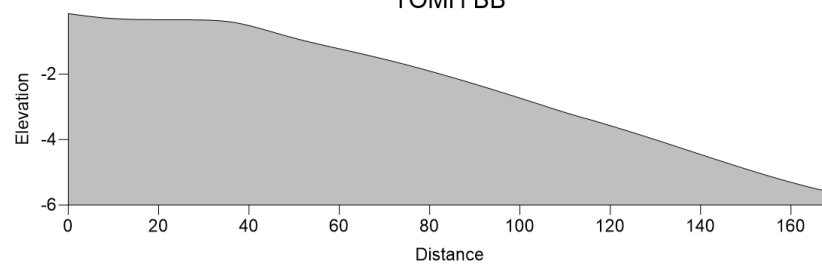
### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1.1



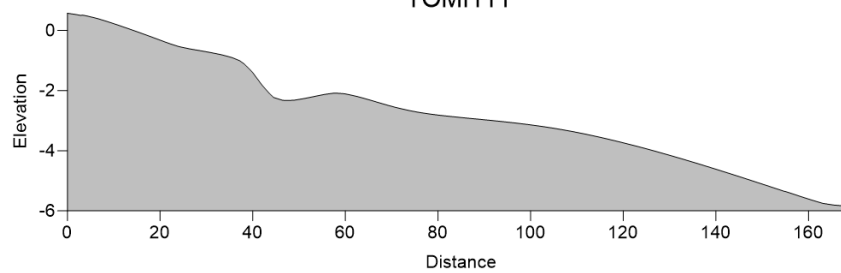
TOMH AA



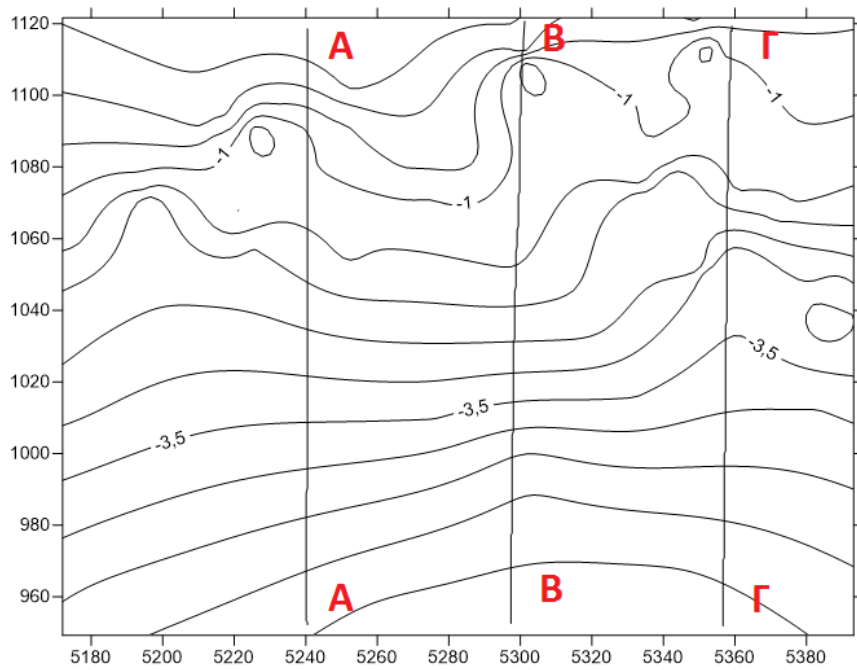
TOMH BB



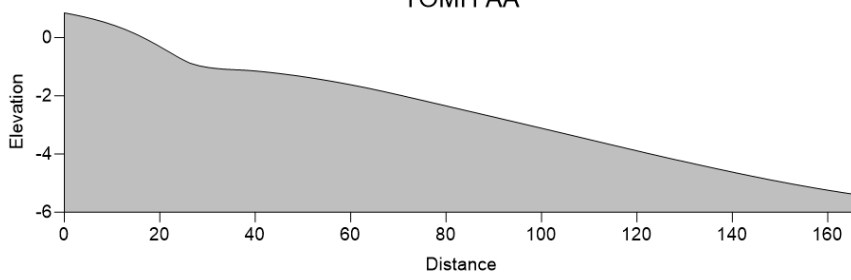
TOMH ΓΓ



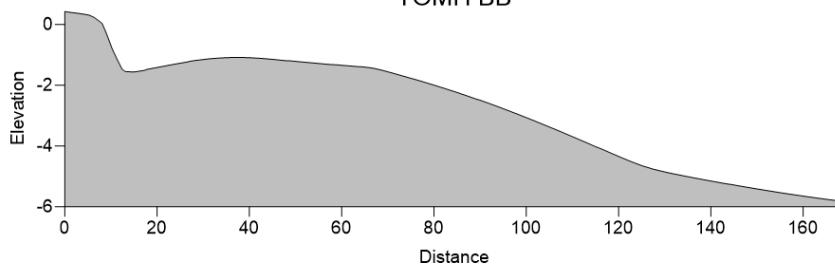
### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1.2



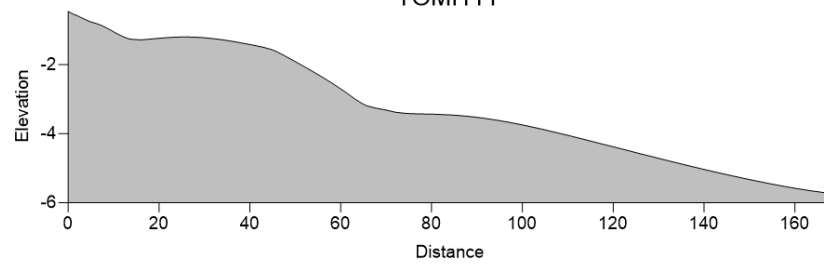
TOMH AA



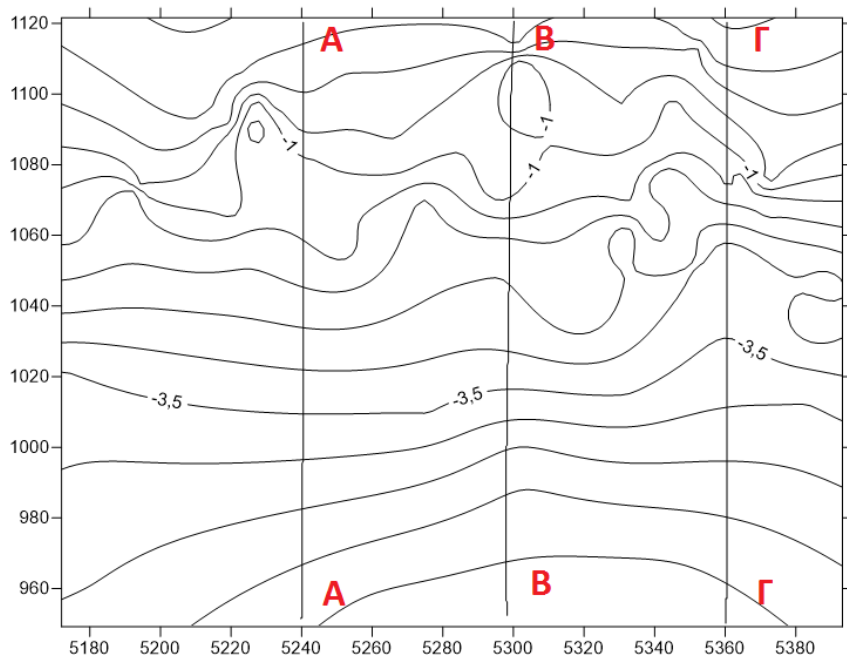
TOMH BB



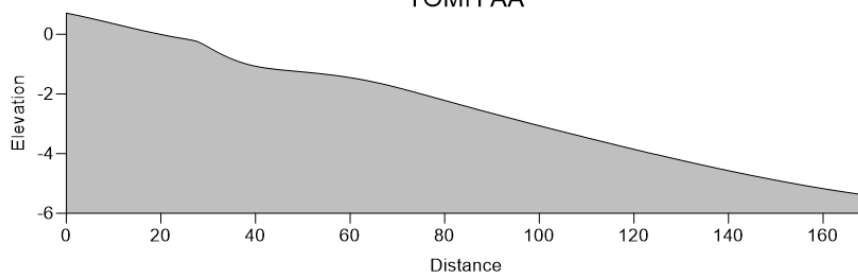
TOMH ΓΓ



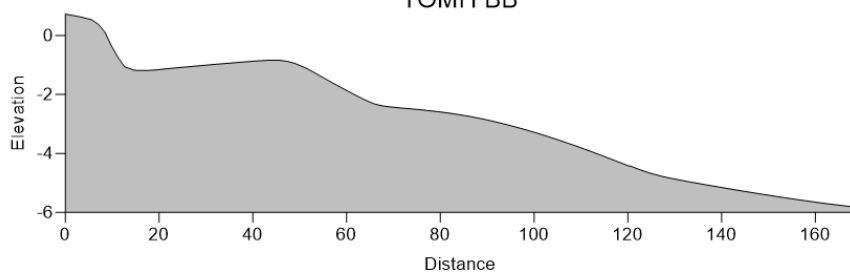
### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2.1



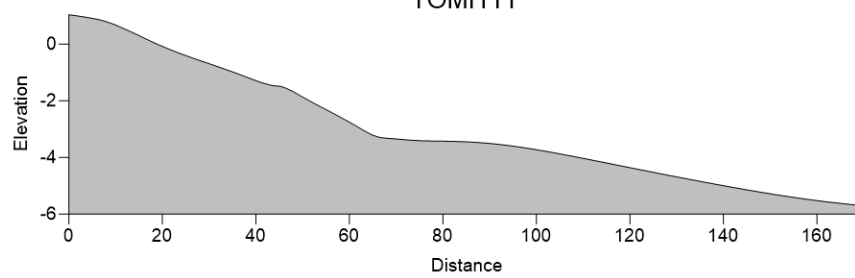
TOMH AA



TOMH BB

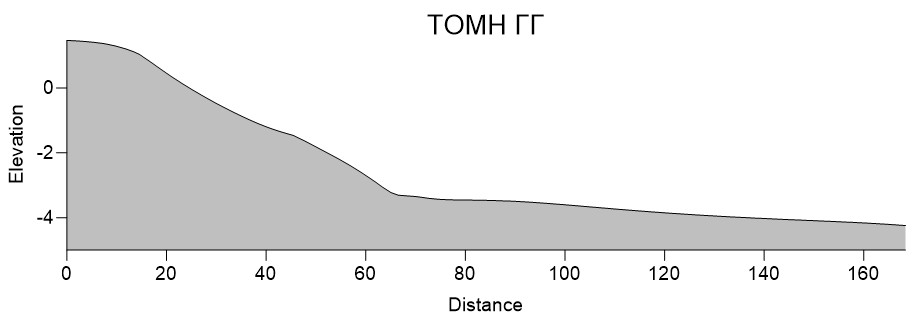
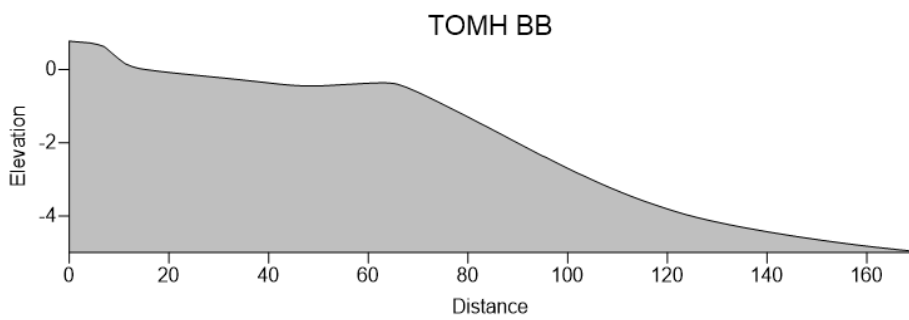
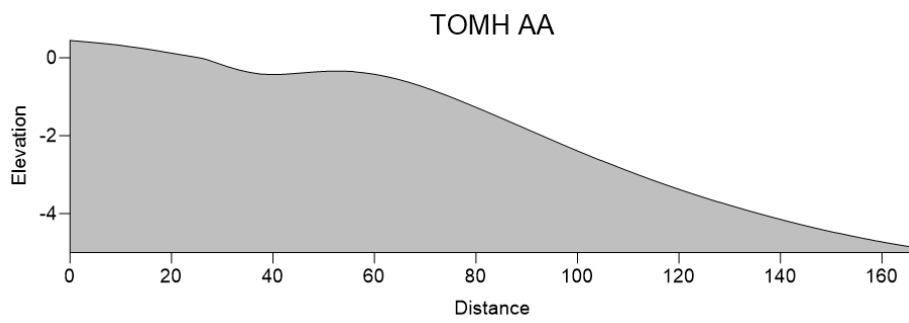
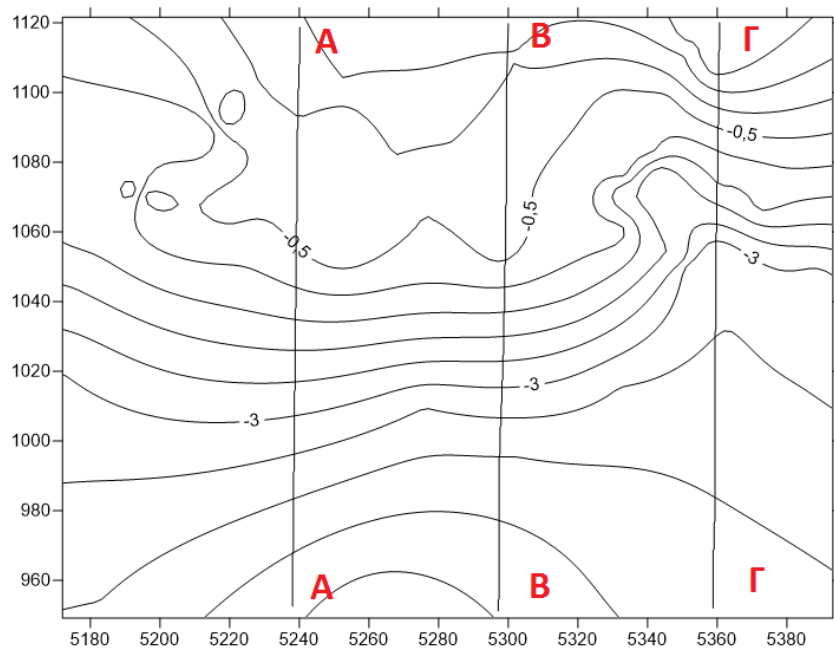


TOMH ΓΓ

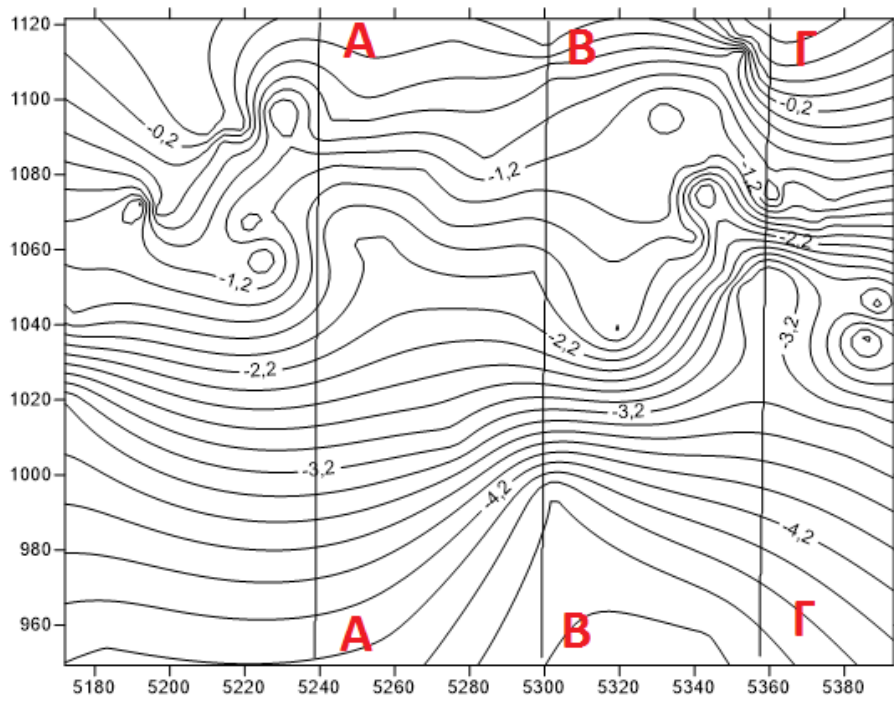




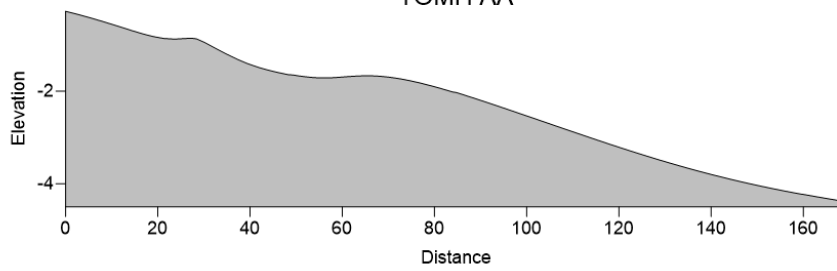
### ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2.2



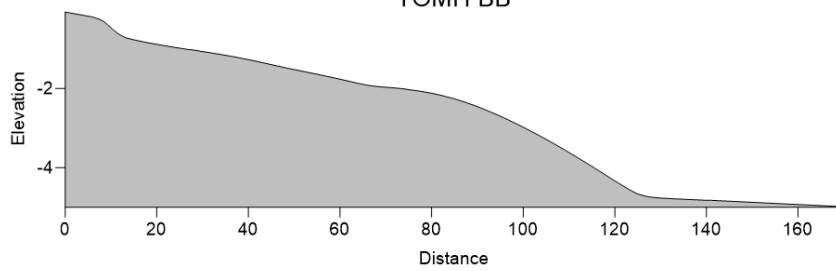
**ΠΕΙΡΑΜΑ 4.2.1**



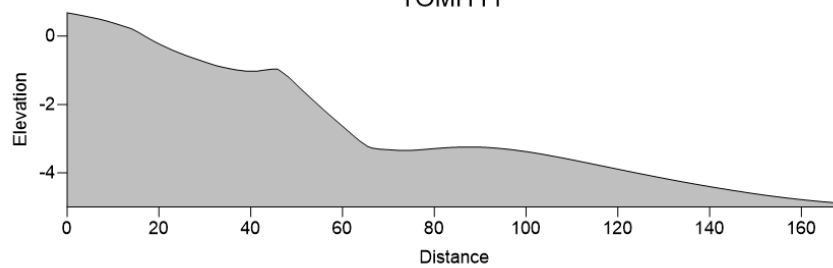
**TOMH AA**



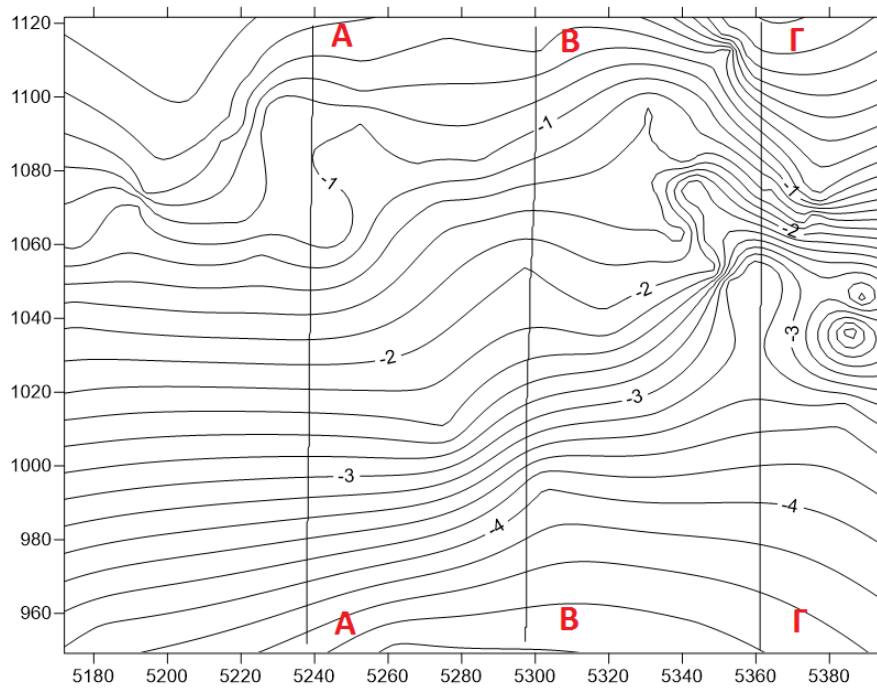
**TOMH BB**



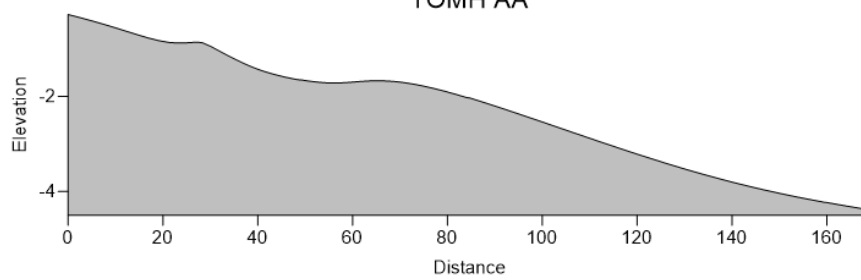
**TOMH ΓΓ**



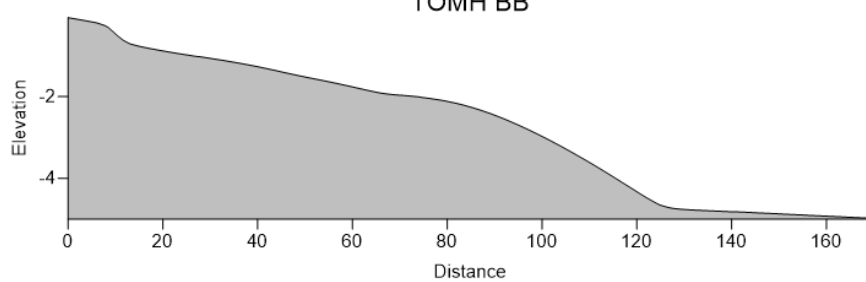
### ΠΕΙΡΑΜΑ 5.2.1



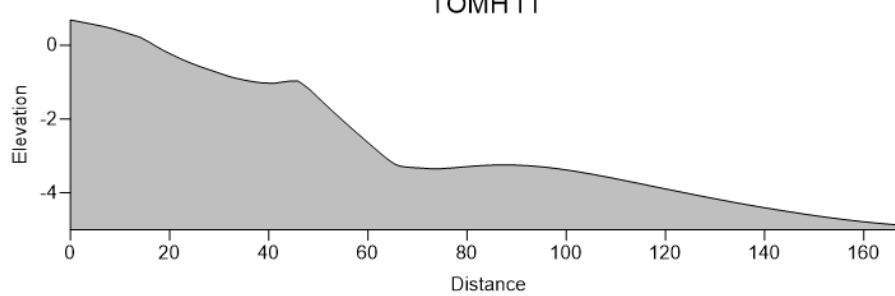
TOMH AA



TOMH BB



TOMH ΓΓ



Αφού δημιουργήθηκαν οι καινούριες ισοβαθείς, υπολογίστηκε το ιζημα που μετακινήθηκε μετά από κάθε πείραμα σε σχέση με την αρχική κατάσταση της υπό μελέτη περιοχής. Ο όγκος του ιζήματος υπολογίστηκε μεταξύ των ισοβαθών -5,00 και 0,00 για κάθε πείραμα, καθώς και για την αρχική κατάσταση της περιοχής. Τελικά, υπολογίστηκε με διαφορά όγκων το ιζημα που έφυγε ή συγκρατήθηκε μετά από κάθε πείραμα.

Έτσι, δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας, στον οποίο φαίνεται ο όγκος του ιζήματος που μετακινήθηκε, αλλά και το αποτέλεσμα (Προσάμμιση ή Διάβρωση)

ΠΕΙΡΑΜΑ	ΟΓΚΟΣ ΠΟΥ ΜΕΤΑΒΛΗΘΗΚΕ (m <sup>3</sup> )	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ (ΔΙΑΒΡΩΣΗ Ή ΠΡΟΣΑΜΜΩΣΗ)
1.1.1	-1178	ΔΙΑΒΡΩΣΗ
1.1.2	-19467	ΔΙΑΒΡΩΣΗ
1.2.1	-15684	ΔΙΑΒΡΩΣΗ
1.2.2	+734	ΠΡΟΣΑΜΜΩΣΗ
2.1.1	-983	ΔΙΑΒΡΩΣΗ
2.2.1	-11112	ΔΙΑΒΡΩΣΗ
3.1.1	+1836	ΠΡΟΣΑΜΜΩΣΗ
3.1.2	-3073	ΔΙΑΒΡΩΣΗ
3.2.1	-2397	ΔΙΑΒΡΩΣΗ
3.2.2	+14555	ΠΡΟΣΑΜΜΩΣΗ
4.2.1	+4889	ΠΡΟΣΑΜΜΩΣΗ
5.2.1	+12799	ΠΡΟΣΑΜΜΩΣΗ

Πίνακας 6: Όγκος ιζήματος που μεταβλήθηκε

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη σύγκριση των σχεδίων των ισοβαθών που προέκυψαν από τα προγράμματα Autocad και Surfer για κάθε πείραμα.

### **ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1.1**

Παρατηρείται μια σχετικά ήπια μεταβολή του πυθμένα. Συγκριτικά με την αρχική κατάσταση οι ισοβαθείς προχώρησαν προς τα ρηχά, κάτι το οποίο σημαίνει ότι στην ίδια απόσταση από την ακτή συναντάμε μικρότερο βάθος απ' ό,τι στην αρχική κατάσταση. Μετά το πείραμα 1.1.1 παρατηρήθηκε σχηματισμός αμμοκυμάτων στον πυθμένα, ενώ στις περιοχές των βραχωδών ακρωτηρίων το ίζημα δε συγκρατήθηκε, με αποτέλεσμα να φανεί ο πυθμένας.

### **ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1.2**

Η μεταβολή του πυθμένα από την ισοβαθή των 0.00 μέχρι την ισοβαθή των -2.50 είναι αρκετά απότομη. Από εκεί και μέχρι την ισοβαθή των -5.00 η μεταβολή του πυθμένα είναι ήπια. Αυτό υποδηλώνει τη μετακίνηση του ιζήματος από την περιοχή μεταξύ 0.00 και -2.50m και την εναπόθεσή του στην περιοχή μεταξύ -2.50m και -5.00m.

### **ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2.1**

Η μεταβολή του πυθμένα είναι σχετικά ήπια, εκτός από το κομμάτι μεταξύ των ισοβαθών -0.50 και -2.00, όπου οι ισοβαθείς είναι πυκνές και η κλίση σχετικά απότομη. Από τη μορφή των ισοβαθών το ίζημα φαίνεται να έχει μετακινηθεί προς το νότιο τμήμα της ακτογραμμής και να έχει φύγει από τον πυθμένα. Η μορφή αυτή δικαιολογείται και από τη διεύθυνση πρόσπτωσης των κυματισμών (βορειοδυτική).

### **ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2.2**

Από τη μορφή των ισοβαθών παρατηρείται μια σχετικά ήπια μεταβολή του πυθμένα. Φαίνεται επίσης μετακίνηση του ιζήματος προς τα έξω και προς το νότιο τμήμα της ακτής.

### **ΠΕΙΡΑΜΑ 2.1.1**

Λόγω της κατασκευής των έργων προστασίας της Διάταξης 1 το ίζημα έχει συγκρατηθεί στο εσωτερικό της προστατευόμενης περιοχής, αλλά όχι σε ικανοποιητικό βαθμό. Σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το πρόβλημα της διάβρωσης έχει λυθεί. Η μεταβολή του πυθμένα είναι σχετικά ομαλή. Ίζημα δε συγκρατήθηκε στις περιοχές των βραχωδών ακρωτηρίων, στις εισόδους των ανοιγμάτων παρατηρήθηκαν ρεύματα έως και δίνες, ενώ σχηματίστηκε μικρό salient στη σκιά του K1.

### **ΠΕΙΡΑΜΑ 2.2.1**

Οι ισοβαθείς στην περιοχή μεταξύ 0.00 και -1.00 έχουν πυκνώσει, κάτι το οποίο υποδηλώνει συγκέντρωση ιζήματος στην περιοχή. Προς τα βαθιά οι ισοβαθείς γίνονται πιο αραιές, το οποίο δείχνει πιο ήπια μεταβολή του πυθμένα.

### **ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1.1**

Εδώ παρατηρείται ομαλή μεταβολή του πυθμένα. Οι ισοβαθείς έχουν μετακινηθεί προς το νότιο τμήμα της παραλίας, κάτι το οποίο δείχνει απόθεση ιζήματος εκεί.

### **ΠΕΙΡΑΜΑ 3.1.2**

Η μεταβολή της βυθομετρίας του πυθμένα είναι αρκετά ομαλή. Λόγω του πολύ μεγάλου ύψους κύματος του συγκεκριμένου πειράματος (6,25m), παρατηρήθηκε διάβρωση της τάξεως των 3073 m<sup>3</sup>, η οποία, όμως συγκρατείται σε λογικά πλαίσια. , ενώ οι περιοχές των ακρωτηρίων δε συγκράτησαν ίζημα. Μικρό ρεύμα εμφανίστηκε στην περιοχή επικάλυψης των ακρομωλίων των κυματοθραυστών.

### **ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2.1**

Παρατηρείται ήπια μεταβολή της βυθομετρίας του πυθμένα. Υπάρχει συγκέντρωση ιζήματος στο νότιο τμήμα της παραλίας, το οποίο δικαιολογείται εξαιτίας της βορειοδυτικής διεύθυνσης πρόσπτωσης των κυματισμών. Οι περιοχές των ακρωτηρίων δε συγκράτησαν ίζημα. Μικρό ρεύμα δημιουργήθηκε στην περιοχή επικάλυψης των ακρομωλίων των κυματοθραυστών. Το ίζημα στην προστατευόμενη περιοχή συγκρατήθηκε.

### **ΠΕΙΡΑΜΑ 3.2.2**

Υπολογίστηκε προσάμμωση της τάξεως των 14555 m<sup>3</sup>, που είναι πολύ ικανοποιητική, ιδιαίτερα για το ύψος κύματος των 6,25m. Το ίζημα μεταφέρθηκε προς το νότιο τμήμα της ακτής, κάτι λογικό, αφού η διεύθυνση πρόσπτωσης των κυματισμών ήταν βορειοδυτική. Οι περιοχές των ακρωτηρίων δε συγκράτησαν ίζημα. Λόγω της εξεταζόμενης κυματικής διεύθυνσης η κυματική διαταραχή εισέρχεται εντός της προστατευμένης περιοχής από το βόρειο τμήμα. Μικρό ρεύμα φαίνεται να εμφανίζεται στην περιοχή επικάλυψης των ακρομωλίων των κυματοθραυστών. Οι ισοβαθείς πυκνώνουν στο τμήμα μεταξύ -0.50m και -3.00m, πράγμα το οποίο δείχνει απότομη μεταβολή του πυθμένα και απομάκρυνση του ιζήματος από τη συγκεκριμένη περιοχή.

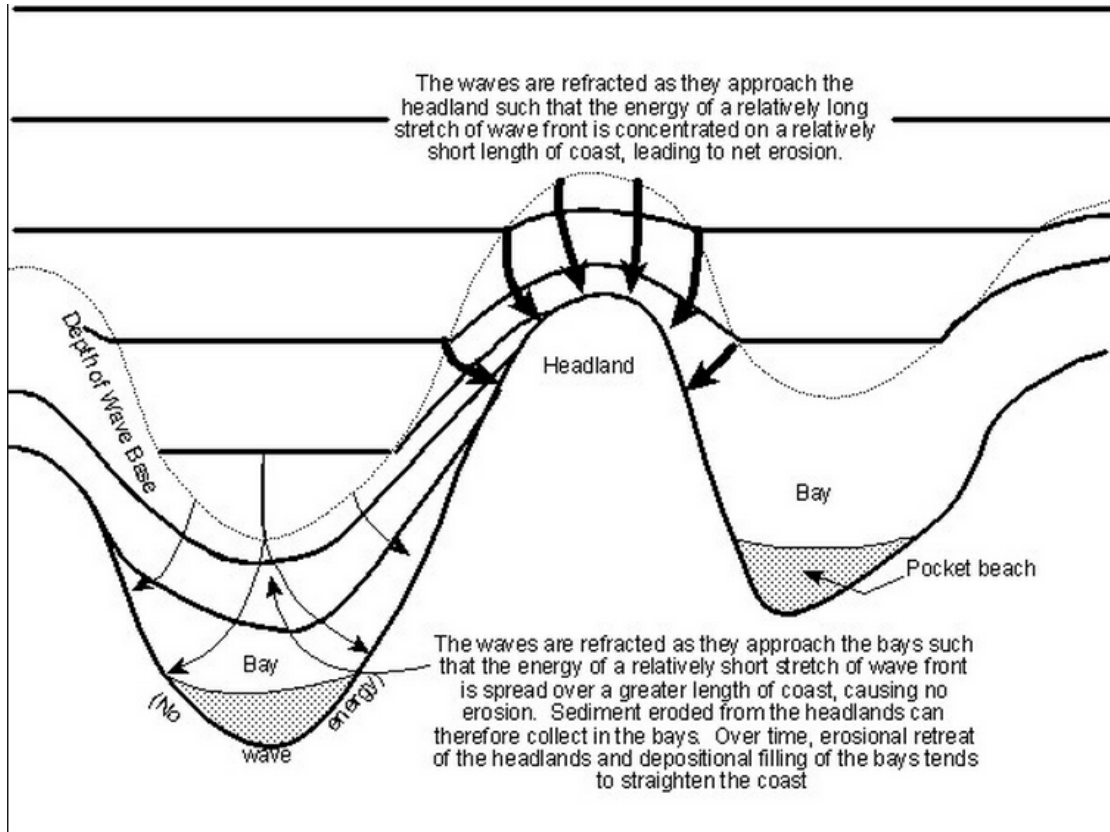
#### **ΠΕΙΡΑΜΑ 4.2.1**

Η μεταβολή του πυθμένα είναι αρκετά ομαλή. Οι ισοβαθείς είναι αρκετά πυκνές στην περιοχή εσωτερικά των έργων. Υπάρχει συγκέντρωση ιζήματος στο νότιο τμήμα της ακτής. Ο πυθμένας βαθαίνει ομαλά, κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από τον όγκο του διακινηθέντος ιζήματος, το οποίο συγκρατήθηκε στην περιοχή. Συγκεκριμένα, προέκυψε προσάμμωση 4889 m<sup>3</sup>. Οι περιοχές των ακρωτηρίων δε συγκράτησαν ίζημα. Ο πρόβολος που προστέθηκε εμπόδισε την είσοδο σημαντικής διαταραχής εντός της υπό προστασία περιοχής. Μικρό ρεύμα φαίνεται να εμφανίζεται στην περιοχή επικάλυψης των ακρομωλίων των κυματοθραυστών.

#### **ΠΕΙΡΑΜΑ 5.2.1.**

Παρατηρείται μια ήπια μεταβολή του πυθμένα, ο οποίος βαθαίνει σχετικά αργά. Το γεγονός αυτό δείχνει σημαντική συγκράτηση του ιζήματος του πυθμένα της προστατευόμενης περιοχής. Από το πρόγραμμα Surfer προέκυψε προσάμμωση 12799 m<sup>3</sup>. Οι περιοχές των ακρωτηρίων δε συγκράτησαν ίζημα. Ο πρόβολος εμποδίζει την είσοδο σημαντικής διαταραχής εντός της υπό προστασία περιοχής. Μικρό ρεύμα φαίνεται να εμφανίζεται στην περιοχή επικάλυψης των ακρομωλίων των κυματοθραυστών.

Το ίζημα δε συκρατείται στις περιοχές των βραχωδών ακρωτηρίων, ενώ συγκεντρώνεται στο κέντρο της ακτής τύπου θύλακα (rocket beach). Αυτό συμβαίνει, διότι η κυματική ενέργεια εκτονώνεται στις περιοχές των ακρωτηρίων παρασύροντας το ίζημα και μεταφέροντάς το στο κέντρο της ακτής. Το παραπάνω φαινόμενο φαίνεται σχηματικά στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 112: Μεταφορά ιζήματος σε ακτές τύπου θύλακα. Πηγή: [itc.gsw.edu](http://itc.gsw.edu)



## 8.2 Σύγκριση βυθομετρίας νέου πυθμένα μεταξύ πειραμάτων με ίδιο ύψος κύματος και ίδια διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.1.1 – 2.1.1 – 3.1.1 (H=3.50m και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 270°)**

Παρατηρούμε ότι οι ισοβαθείς που προκύπτουν από την αποτύπωση του πυθμένα του πειράματος 1.1.1 είναι πιο πυκνές από αυτές που προέκυψαν από την αποτύπωση του πυθμένα του πειράματος 2.1.1. Αυτό σημαίνει ότι ο πυθμένας του πειράματος 2.1.1 είναι ομαλότερος. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τους όγκους του ιζήματος που μετακινήθηκε, αφού στο πείραμα 1.1.1 υπάρχει απώλεια ιζήματος 1178 m<sup>3</sup>, ενώ στο πείραμα 2.1.1 απώλεια ιζήματος 983 m<sup>3</sup>. Επιπλέον, στο πείραμα 2.1.1 παρατηρήθηκε μετακίνηση των ισοβαθών προς την ακτή, κάτι που υποδηλώνει μετακίνηση του ιζήματος προς την ακτή. Οι ισοβαθείς που προκύπτουν από την αποτύπωση του πυθμένα του πειράματος 3.1.1 είναι λιγότερο πυκνές από αυτές του πειράματος 2.1.1, με συνέπεια τη δημιουργία ομαλότερου πυθμένα σε σχέση με τα πειράματα 1.1.1 και 2.1.1. Επίσης, παρατηρείται μετακίνηση των ισοβαθών προς το νότιο τμήμα της ακτής. Ο όγκος του ιζήματος που συγκρατήθηκε στην περιοχή στο συγκεκριμένο πείραμα υπολογίσθηκε 1836 m<sup>3</sup>.

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.1.2 – 3.1.2 (H=6.25m και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 270°)**

Οι ισοβαθείς που προκύπτουν από την αποτύπωση του πυθμένα του πειράματος 1.1.2 είναι πιο πυκνές από αυτές που προκύπτουν από την αποτύπωση του πυθμένα του πειράματος 3.1.2 ιδιαίτερα στην περιοχή βαθών μεταξύ 0.00 και -2.50m. Αυτό δείχνει ότι η μεταβολή του πυθμένα είναι πολύ πιο ομαλή στο πείραμα 3.1.2 από αυτή του πειράματος 1.1.2. Αυτό δείχνει μεγαλύτερη συγκράτηση ιζήματος στην περιοχή στο πείραμα 3.1.2. Πράγματι, υπολογίσθηκε ο όγκος του ιζήματος που μετακινήθηκε και βρέθηκε ότι στο πείραμα 1.1.2 είχαμε απομάκρυνση ιζήματος όγκου 19467 m<sup>3</sup>, ενώ στο πείραμα 3.1.2 είχαμε απομάκρυνση ιζήματος όγκου μόλις 3073 m<sup>3</sup>.

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.2.1 – 2.2.1 – 3.2.1 – 4.2.1 – 5.2.1 (H=3.50m και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 300°)**

Οι ισοβαθείς που προκύπτουν από την αποτύπωση του πυθμένα του πειράματος 2.2.1 είναι πιο αραιές από αυτές που προκύπτουν από την αποτύπωση του πυθμένα του πειράματος 1.2.1 ειδικά στην περιοχή μεταξύ -0.5m και -2.00m. Επομένως, ο πυθμένας που αποτυπώθηκε στο πείραμα 2.2.1 είναι ομαλότερος από αυτόν που αποτυπώθηκε στο πείραμα 1.2.1. Πράγματι, από τον υπολογισμό από το πρόγραμμα Surfer του όγκου του ιζήματος που μετακινήθηκε προέκυψε στο πείραμα 2.2.1 απώλεια ιζήματος όγκου 11112 m<sup>3</sup> έναντι απώλειας ιζήματος όγκου 15684 m<sup>3</sup> στο πείραμα 1.2.1. Επίσης, στο πείραμα 1.2.1 παρατηρήθηκε μετακίνηση των ισοβαθών προς τα έξω και στο νότιο τμήμα της ακτής. Από την αποτύπωση του πυθμένα του πειράματος 3.2.1 σε σχέση με το πείραμα 2.2.1 προκύπτει

ομαλότερη μεταβολή του πυθμένα και πολύ μικρότερη απώλεια ιζήματος. Αυτή υπολογίσθηκε σε 2397 m<sup>3</sup> έναντι απώλειας 1112 m<sup>3</sup> του πειράματος 2.2.1. Στο πείραμα 4.2.1 παρατηρήθηκε μετακίνηση ιζήματος προς το νότιο τμήμα της ακτής και περαιτέρω ομαλοποίηση του πυθμένα σε σχέση με τα προαναφερθέντα πειράματα. Παρατηρείται τάση συγκράτησης του ιζήματος στην περιοχή, κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από τον υπολογισμό του όγκου του ιζήματος που εναποτέθηκε και υπολογίσθηκε σε 4889 m<sup>3</sup>. Από την παρατήρηση των ισοβαθών που προέκυψαν από την αποτύπωση του πυθμένα στο πείραμα 5.2.1 παρατηρείται αραίωσή τους, κάτι το οποίο δείχνει ακόμα μεγαλύτερη εξομάλυνση του πυθμένα. Επίσης, αυτό υποδηλώνει τη συγκράτηση ιζήματος στην περιοχή. Πράγματι, μετρήθηκε ο όγκος του ιζήματος που συγκρατήθηκε και βρέθηκε 12799 m<sup>3</sup> έναντι 4889 m<sup>3</sup> του πειράματος 4.2.1.

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ 1.2.2 - 3.2.2 (H=6.70m και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 300°)**

Από τη μορφή των ισοβαθών που προέκυψαν από την αποτύπωση του πυθμένα των πειραμάτων 1.2.2 και 3.2.2 προκύπτει ότι η μεταβολή της βυθομετρίας του πυθμένα στο πείραμα 3.2.2 είναι ομαλότερη από τη μεταβολή της βυθομετρίας του πυθμένα στο πείραμα 1.2.2. Υπολογίσθηκε επίσης ότι στο πείραμα 3.2.2 υπάρχει συγκράτηση ιζήματος όγκου 14555 m<sup>3</sup>, ενώ στο πείραμα 1.2.2 συγκράτηση ιζήματος όγκου 734 m<sup>3</sup>.

### 8.3 Σύγκριση μορφής ισοβαθών που προέκυψαν από τα προγράμματα Autocad και Surfer

Συγκρίνοντας τη μορφή των ισοβαθών στα παραπάνω διαγράμματα που προέκυψαν από τα προγράμματα Autocad και Surfer εξάγεται το συμπέρασμα ότι για κάθε πείραμα τα δύο διαγράμματα είναι σχεδόν ίδια. Έτσι, τα συμπεράσματά μας επιβεβαιώθηκαν με δύο τρόπους. Στο πρόγραμμα Surfer δεν είχαμε τη δυνατότητα να τοποθετήσουμε τα τεχνικά έργα στο χάρτη, κάτι το οποίο αντιμετωπίστηκε με τη χρήση Autocad.

## 9. Συμπεράσματα

Από την διερεύνηση σε φυσικό προσομοίωμα της ακτής προ του ξενοδοχείου Venus στην Πάφο προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Για την υφιστάμενη κατάσταση (χωρίς τα έργα προστασίας ακτής) επιβεβαιώνεται στο προσομοίωμα η τάση απομάκρυνσης του ιζήματος σε όλες τις διατάξεις που εξετάστηκαν. Επίσης επιβεβαιώνονται στο προσομοίωμα οι περιοχές εντονότερης διάβρωσης, που παρατηρούνται στη φύση, όπως τα βραχώδη ακρωτήρια, στα οποία δεν παρέμεινε ίζημα κάτω από οποιαδήποτε κυματική συνθήκη. Παρατηρήθηκε στο φυσικό προσομοίωμα η ύπαρξη βελοειδών ρευμάτων (rip currents), καθώς και δινών, κάτι το οποίο συμβαίνει και στην πραγματικότητα.

Όσον αφορά τα έργα της Διάταξης 2, η απόδοσή τους δεν ήταν ικανοποιητική, αφού δεν έφεραν την επιθυμητή μείωση στο ύψος κύματος. Εκτός αυτού, συνεχίστηκε το φαινόμενο των δινών και ρευμάτων. Επίσης, δε δόθηκε λύση στο πρόβλημα της διάβρωσης και της μετακίνησης του ιζήματος του πυθμένα εκτός της περιοχής. Στο πείραμα της ακραίας κυματικής διαταραχής απομακρύνθηκαν  $11112 \text{ m}^3$  ίζημα από την περιοχή.

Η απόδοση των δύο αποσπασμένων κυματοθραυστών (Διάταξη 3) ιδιαίτερα σε συνδυασμό με την προσθήκη προβόλου στο βόρειο ακρωτήριο είναι πολύ ικανοποιητική αναφορικά με τη μορφή της ακτογραμμής και τη βυθομετρία του πυθμένα που δημιουργείται. Η τελική μορφή της ακτογραμμής παραμένει πολύ κοντά στην αρχική και μάλιστα παρατηρείται η δημιουργία κομματιού παραλίας στο βόρειο τμήμα της περιοχής. Όπως φαίνεται και από τις ισοβαθείς η κλίση του πυθμένα είναι ήπια και ομαλή, κάτι που είναι επιθυμητό. Αναφορικά με το ίζημα, η συγκράτησή του είναι πολύ ικανοποιητική. Πιο συγκεκριμένα, στο πείραμα 5.2.1 έχουμε τη μεγαλύτερη προσάμμωση ύψους  $12799 \text{ m}^3$ .

Μεταξύ των πειραμάτων 1.1.1 – 2.1.1 – 3.1.1 (H=3.50m, διεύθυνση πρόσπτωσης  $270^\circ$ ) στο πείραμα 3.1.1 δημιουργείται πυθμένας με ομαλότερη επιφάνεια, όπου συγκρατείται η μεγαλύτερη ποσότητα ιζήματος ( $1836 \text{ m}^3$ ). Αντίθετα, στα πειράματα 1.1.1 και 2.1.1 παρατηρείται απομάκρυνση ιζήματος από την περιοχή όγκου  $1178 \text{ m}^3$  και  $983 \text{ m}^3$  αντίστοιχα.

Μεταξύ των πειραμάτων 1.1.2 – 3.1.2 (H=6.25m, διεύθυνση πρόσπτωσης  $270^\circ$ ) στο πείραμα 3.1.2 προκύπτει πιο ομαλή κλίση πυθμένα. Επίσης, διαφεύγει από την περιοχή ίζημα όγκου  $3073 \text{ m}^3$  έναντι ιζήματος όγκου  $19467 \text{ m}^3$  στο πείραμα 3.1.2.

Μεταξύ των πειραμάτων 1.2.2 – 3.2.2 (H=6.25m, διεύθυνση πρόσπτωσης 300°) στο πείραμα 3.2.2 προέκυψε πυθμένας με ηπιότερη μεταβολή κλίσης. Στο πείραμα αυτό συγκρατήθηκε ιζημα όγκου 14555 m<sup>3</sup> έναντι ιζηματος όγκου 734 m<sup>3</sup> που συγκρατήθηκε στο πείραμα 1.2.2.

Μεταξύ των πειραμάτων 1.2.1 – 2.2.1 – 3.2.1 – 4.2.1 – 5.2.1 (H=3.50m, διεύθυνση πρόσπτωσης 300°) στο πείραμα 5.2.1 προκύπτει ο ομαλότερος πυθμένας που συγκρατεί με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο τη μεγαλύτερη ποσότητα ιζηματος (12799 m<sup>3</sup>). Ακολουθεί το πείραμα 4.2.1 με συγκράτηση 4889 m<sup>3</sup>. Στα υπόλοιπα πειράματα έχουμε απώλεια ιζηματος από την περιοχή. Συγκεκριμένα, στα πειράματα 1.2.1, 2.2.1 και 3.2.1 ο όγκος του ιζηματος που φεύγει είναι 15684 m<sup>3</sup>, 1112 m<sup>3</sup> και 2397 m<sup>3</sup> αντίστοιχα.

Η ευστάθεια των έργων κρίνεται αρκετά ικανοποιητική. Εντούτοις, παρατηρήθηκε η αποκόλληση κάποιων πετρών από τους κυματοθραύστες, κυρίως από την περιοχή του πόδα τους. Όσον αφορά το ύψος των κυματοθραυστών, υπάρχουν περιθώρια αύξησής του πέραν του 1,50m, με σκοπό την πιο αποτελεσματική προστασία της περιοχής.

## Βιβλιογραφία

1. İsmail Hakkı Ozolcer (2008). An experimental study on geometric characteristics of beach erosion profiles, *Ocean Engineering* 35
2. Atilla Bayram, Magnus Larson, Hans Hanson (2007). A new formula for the total longshore sediment transport rate, *Coastal Engineering* 54
3. Raquel Silva, Francisco Taveira-Pinto, Fernando Veloso-Gomes. 3D movable Bed Model Of An Eroding Beach. Proceedings on the Third International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection
4. V. Russo, W. Allsop, J. Sutherland, C. Obhrai, F. Arena. Physical modelling of mobile beach material to study short-term beach dynamics. Proceedings on the Third International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection
5. Steven A. Hughes (2000). Simulation of Current-Induced Scour in Movable-Bed Inlet Models
6. Raquel Silva, Francisco Taveira-Pinto, Fernando Veloso-Gomes. 3D Movable Bed Model of an Eroding Beach
7. Tiffany M. Roberts, Ring Wang, Nicholas C. Kraus (2010). Limits of Wave Runup and Corresponding Beach-Profile Change from Large-Scale Laboratory Data.
8. Kazumasa Mizumura, Naofumi Shiraishi (1980). Laboratory Study on the Shoreline Changes Behind a Coastal Structure.
9. David G. Hamilton, Bruce A. Ebersole, Ernest R. Smith (2001). Development of a Large-Scale Laboratory Facility for Sediment Transport Research
10. S. A. Hughes. Movable bed modeling law for coastal dune erosion.
11. Schwartz, Maurice (2005). *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer
12. *Shore Protection Manual Volume II*. Coastal Engineering Research Center
13. Hamilton, Ebersole, Smith, Wang (2001). Development of a large-scale Laboratory Facility for Sediment Transport Research
14. Servet Karasu, Paul A. Work, M. Kemal Cambazoglu, Omer Yuksek. Coupled Longshore and Cross-Shore Models for Beach Nourishment Evolution at Laboratory Scale
15. *Autocad 2012 Manual*, Autodesk
16. *Surfer 9 User's Guide*, Golden Software
17. Χατζημιχαλάκης, Φ., Καρμπαδάκης, Ι. (2012). Πειραματική διερεύνηση μεταβολής βυθομετρίας στην Ορόκλινη Κύπρου υπό κυματική δράση
18. Μουτζούρης Κ.Ι. (2005). Εισαγωγή στην Ακτομηχανική
19. Μουτζούρης Κ.Ι. (2009). *Θαλάσσια Υδραυλική*