

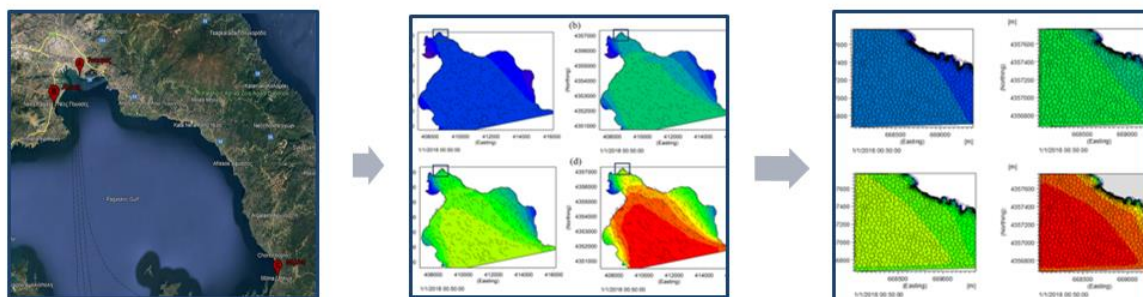


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΠΡΟΤΑΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ
ΠΕΔΙΟΥ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΣΤΟΝ ΠΑΓΑΣΗΤΙΚΟ
ΚΟΛΠΟ**

ΑΝΕΣΤΙΑΗ ΜΥΡΣΙΝΗ



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του
διπλώματος του πολιτικού μηχανικού

ΒΟΛΟΣ 2025

© 2025 Ανεστίδη Μυρσίνη

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα των Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος εξεταστής Δρ. Βανέσσα Κατσαρδή
(Επιβλέπουσα) Επίκουρη Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος εξεταστής Δρ. Μάριος Σπηλιωτόπουλος
ΕΔΠΙ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος εξεταστής Δρ. Χρήστος Δριτσέλης
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Βανέσσα Κατσαρδή, για το ενδιαφέρον της, τον χρόνο που αφιέρωσε και τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις της, που αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα για το τελικό αποτέλεσμα. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Χρήστο Δριτσέλη και τον Δρ. Μάριο Σπηλιωτόπουλο, μέλος ΕΔΠ, για την λεπτομερή ανάγνωση της εργασίας μου και τις σημαντικές επισημάνσεις τους. Οφείλω επιπλέον τις ευχαριστίες μου στον κ. Ηλία Μουσούλη, υπεύθυνος Πωλήσεων και Μάρκετινγκ των προϊόντων του λογισμικού MIKE 21, της εταιρείας DHI, για την άμεση βοήθεια όπου κρίθηκε απαραίτητο, αλλά και στην ίδια την εταιρεία DHI, για την χορήγηση εκπαιδευτικής άδειας για το λογισμικό MIKE 21. Ιδιαίτερες ευχαριστίες, θα ήθελα να εκφράσω στον υποψήφιο διδάκτορα Γιώργο Σπηλιωτόπουλο και στην συνάδελφό μου, Χριστίνα Τσιάρα για την βοήθεια τους σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της εργασίας μου. Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στη συνάδελφο μου, Μαρία Κωστούλα, για τον χρόνο της και την πολύτιμη καθοδήγησή της με το λογισμικό MIKE 21. Ένα μεγάλο ευχαριστώ από καρδιάς, οφείλω επίσης στις φίλες, τους φίλους μου και φυσικά στην αδερφή μου, που είναι πάντα δίπλα μου και ενθαρρύνουν κάθε επιλογή μου. Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και ιδιαίτερα στους γονείς μου, που στέκονται δίπλα μου σε κάθε βήμα και με στηρίζουν με κάθε τρόπο.

Με εκτίμηση,

Μυρσίνη Ανεστίδη,

Βόλος, Φεβρουάριος 2025

ΠΡΟΤΑΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΣΤΟΝ ΠΑΓΑΣΗΤΙΚΟ ΚΟΛΠΟ

Μυρσίνη Ανεστίδη

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2025

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Βανέσσα Κατσαρδή, Επίκουρη Καθηγήτρια

Περίληψη

Τα ερευνητικά κέντρα και εργαστήρια αποτελούν βασικούς πυλώνες ανάπτυξης και καινοτομίας για όλα τα επιστημονικά πεδία. Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στα θαλάσσια υδραυλικά εργαστήρια και πιο συγκεκριμένα, στο ενδεχόμενο εγκατάστασης ενός φυσικού εργαστηρίου μικρής κλίμακας εντός του Παγασητικού κόλπου, με την ονομασία Εργαστήριο Παράκτιας και Ωκεάνιας Έρευνας και Εφαρμογών (CORAL – Coastal & Ocean Research & Application Laboratory). Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για μια μελέτη συνδυασμού κριτηρίων, με σκοπό την βέλτιστη χωροθέτηση του εργαστηρίου και ακολούθως τον υπολογισμό των κυματικών συνθηκών, ώστε να ελεγχθεί η καταλληλότητα της περιοχής. Οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν μέσω του λογισμικού προσομοίωσης MIKE 21, και ειδικότερα του εργαλείου Spectral Waves. Κατά την ολοκλήρωση των υπολογισμών, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η περιοχή του Αναύρου κρίνεται ως η καταλληλότερη για την τοποθέτηση θαλάσσιου εργαστηρίου. Επίσης, αποδείχθηκε μέσω των προσομοιώσεων ότι το κυματικό δυναμικό στην περιοχή είναι κατάλληλο για εφαρμογή πειραματικών μετρήσεων πεδίου. Κατά αυτόν τον τρόπο, τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την αρχική ιδέα, θέτοντας μια γερή βάση για την υλοποίησή της στο εγγύς μέλλον.

Λέξεις κλειδιά: Θαλάσσιο Εργαστήριο Πεδίου, Εργαστήριο Μικρής Κλίμακας, Μετρήσεις Πεδίου, Παγασητικός Κόλπος, MIKE 21, Εφαρμοσμένη Έρευνα, Ερευνητικό Κέντρο

PROPOSAL FOR THE INSTALLATION OF A SMALL-SCALED NATURAL FIELD LABORATORY IN THE PAGASITIKOS GOLF

Myrsini Anestidi

University of Thessaly, Department of Civil Engineering, 2025

Supervisor: Vanessa Katsardi, Assistant Professor

Abstract

Research centres and laboratories are key pillars of development and innovation for all scientific fields. This thesis focuses on marine hydraulic laboratories and more specifically, on the possibility of establishing a small-scaled physical laboratory within the Pagasitikos Gulf, called CORAL (Coastal & Ocean Research & Application Laboratory). More specifically, it is a study of a combination of criteria, aiming at the optimal siting of the laboratory and subsequently the calculation of wave conditions in order to verify the suitability of the site. These calculations were carried out using the MIKE 21 simulation software and, in particular, the Spectral Waves tool. On completion of the calculations, it was concluded that the Anavros site is considered the most suitable for the location of a hydraulic laboratory. It was also proved through the simulations that the wave potential in the area is suitable for the application of field experimental measurements. In this way, the results confirmed the initial concept, setting a solid basis for its implementation in the near future.

Keywords: *Marine Field Laboratory, Small Scaled Laboratory, Field Measurements, Pagasitikos Gulf, MIKE 21, Applied Research, Research Centre*

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	15
1.1 Κίνητρο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας	15
1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	16
1.3 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας	17
Κεφάλαιο 2 Εργαστήρια θαλάσσιας υδραυλικής ανά τον κόσμο	19
2.1 Κατηγοριοποίηση εργαστηρίων και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που διέπουν την κάθε κατηγορία	19
2.2 Ερευνητικά εργαστήρια στον τομέα της ωκεάνιας και παράκτιας μηχανικής	22
2.2.1 Τα ελληνικά εργαστήρια θαλάσσιας υδραυλικής και υδροδυναμικής	27
2.2.2 Το Hydrodynamics laboratory του βρετανικού Πανεπιστημίου Imperial College, London	30
2.2.3 Το ερευνητικό εργαστήριο Deltares	31
2.2.4 Το Danish Hydraulic Institute (DHI)	34
Κεφάλαιο 3 Εργαστήριο μικρής κλίμακας – NOEL Laboratory	35
3.1 Πλεονεκτική γεωγραφική θέση του εργαστηρίου και ανεμολογικές και κυματικές συνθήκες στην περιοχή	35
3.2 Κτηριακές εγκαταστάσεις του εργαστηρίου NOEL και το ερευνητικό του έργο ανά τα χρόνια	36
Κεφάλαιο 4 Οι συνθήκες εντός του Παγασητικού κόλπου και επιλογή βέλτιστης θέσης χωροθέτησης θαλάσσιου εργαστηρίου	42
4.1 Η πλεονεκτική θέση του Παγασητικού κόλπου και οι συνθήκες που επικρατούν εντός αυτού	42
4.2 Κριτήρια επιλογής βέλτιστων θέσεων τοποθέτησης εργαστηρίου μικρής κλίμακας	48
4.3 Θέσεις που ικανοποιούν έναν συνδυασμό των παραπάνω κριτηρίων	49
4.4 Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος των περιοχών ενδιαφέροντος	51
4.5 Υπολογισμός σημαντικού ύψους κύματος και περιόδου επαναφοράς στο λογισμικό Matlab, για τις τρεις περιοχές ενδιαφέροντος	60
4.6 Επιπρόσθετα κριτήρια σύγκρισης και τελική περιοχή μελέτης	68
Κεφάλαιο 5 Το λογισμικό MIKE 21 και το μοντέλο προσομοίωσης	71
5.1 MIKE 21-Εισαγωγή	71
5.2 Δυνατότητες και εφαρμογές MIKE 21	71
5.3 Το εργαλείο Image Rectifier	72
5.4 Διαδικασία διόρθωσης εικόνας ράστερ της επιλεγμένης περιοχής του Αναύρου	73
5.5 Το εργαλείο Bathymetry	75
5.6 Δημιουργία αρχείου Mesh generator	76
5.7 Η μέθοδος παρεμβολής τριγώνου - Natural Neighbor	79

5.8 Το εργαλείο προσομοίωσης Spectral Waves.....	80
5.8.1 Εξισώσεις και σημαντικές παράμετροι και σταθερές που λήφθηκαν υπόψιν	81
Κεφάλαιο 6 Αποτελέσματα προσομοιώσεων στην περιοχή του Αναύρου	86
6.1 Υπολογισμός σημαντικού ύψους κύματος για τις τρεις διευθύνσεις ανέμων κοντά στην παραλία του Αναύρου, μέσω προσομοιώσεων στο λογισμικό MIKE 21.....	86
6.1.1 Αποτελέσματα για ακραίες ανεμολογικές συνθήκες.....	99
6.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ μεθόδων	102
6.3 Υπολογισμός κλίσης πυθμένα, για δύο πιθανές θέσεις τοποθέτησης του εργαστηρίου	103
Κεφάλαιο 7 Απαραίτητος εξοπλισμός για την διεξαγωγή μετρήσεων και προσεγγιστικός υπολογισμός κόστους.....	109
7.1 Εισαγωγή.....	109
7.2 Επιθυμητές μετρήσεις τιμών και απαραίτητος εξοπλισμός για την λειτουργία του θαλάσσιου εργαστηρίου	109
Κεφάλαιο 8 Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	117
8.1 Συμπεράσματα.....	117
8.2 Προτάσεις για έρευνα.....	119
Βιβλιογραφία.....	120

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Δεξαμενή του εργαστηρίου λιμενικών έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.....	27
Εικόνα 2: Δεξαμενή του εργαστηρίου λιμενικών έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.....	28
Εικόνα 3: Εγκαταστάσεις του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.....	28
Εικόνα 4: Εγκαταστάσεις του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.....	29
Εικόνα 5: Διαστάσεις του καναλιού ροής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.....	29
Εικόνα 6: : Εξοπλισμός του Εργαστηρίου Υδραυλικής Μηχανικής του Πανεπιστημίου Πατρών.....	30
Εικόνα 7: Κανάλι ροής του Εργαστηρίου Υδραυλικής Μηχανικής του Πανεπιστημίου Πατρών.....	30
Εικόνα 8: Η Deep-water wave basin του κολεγίου Imperial College, London.....	31
Εικόνα 9: Η coastal flume του κολεγίου Imperial College, London.....	31
Εικόνα 10: Το Delta Flume του ερευνητικού ινστιτούτου Deltares.....	32
Εικόνα 11: Το Delta Basin του ερευνητικού ινστιτούτου Deltares.....	33
Εικόνα 12: Το Delta Flume του ερευνητικού ινστιτούτου Deltares.....	33
Εικόνα 13: Πλωτές off-shore ανεμογεννήτριες.....	34
Εικόνα 14: Η γεωγραφική θέση του Reggio di Calabria, όπου βρίσκεται το εργαστήριο NOEL.....	36
Εικόνα 15: Βαθυμετρία περιοχής Reggio di Calabria.....	38
Εικόνα 16: Βαθυμετρία του Παγασητικού κόλπου (Πηγή: Navionics).....	43
Εικόνα 17: Μετεωρολογικοί σταθμοί γύρω από την περιοχή του Παγασητικού κόλπου.....	44
Εικόνα 18: Ο μετεωρολογικός σταθμός της Ιστιαίας στην είσοδο του Παγασητικού κόλπου.....	44
Εικόνα 19: Οι τρεις πιθανές περιοχές.....	50
Εικόνα 20: Η περιοχή του Αναύρου.....	50
Εικόνα 21: Η περιοχή των Αλυκών.....	50
Εικόνα 22: Η περιοχή της Μηλίνας.....	51
Εικόνα 23: Βεντάλια υπολογισμού μηκών αναπτύγματος για τις περιοχές του Αναύρου και των Αλυκών.....	52
Εικόνα 24: Βεντάλια υπολογισμού μηκών αναπτύγματος για τις περιοχές του Αναύρου και των Αλυκών.....	56
Εικόνα 25: Βαθυμετρία Αναύρου (Πηγή: Navionics – Google Earth).....	68
Εικόνα 26: Βαθυμετρία Μηλίνας (Πηγή: Navionics– Google Earth).....	68
Εικόνα 27: Βαθυμετρία Αλυκών (Πηγή: Navionics– Google Earth).....	69
Εικόνα 28: Βαθυμετρία Αναύρου (Πηγή: Navionics).....	73
Εικόνα 29: Πλήθος σημείων αναφοράς για την σωστή γεωαναφορά της εικόνας (Πηγή: Navionics – Google Earth).....	74
Εικόνα 30: Το αποτέλεσμα μετά την γεωαναφορά (Πηγή: MIKE 21).....	75
Εικόνα 31: Το αποτέλεσμα μετά την χάραξη της βαθυμετρίας (Πηγή: MIKE 21).....	76
Εικόνα 32: Ορισμός διεύθυνσης πνοής κάθε ανέμου (Πηγή: MIKE 21).....	77
Εικόνα 33: Οριοθέτηση μεταξύ στεριάς και θάλασσας (Πηγή: MIKE 21).....	77

Εικόνα 34: Δημιουργία πολυγώνων, ώστε να προκύψει το τελικό αρχείο Mesh (Πηγή: MIKE 21).....	78
Εικόνα 35: Τελικό αρχείο Mesh (Πηγή: MIKE 21)	79
Εικόνα 36: Μετατροπή πλήθους σημείων σε παρεμβλλόμενο όγκο με την μέθοδο Natural Neighbor.....	80
Εικόνα 37: Βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό MIKE 21 (Πηγή: MIKE 21).....	82
Εικόνα 38: Η μέθοδο επίλυσης που χρησιμοποιήθηκε (Πηγή: MIKE 21).....	83
Εικόνα 39: Η παράμετρος της δύναμης ανέμου (Πηγή: MIKE 21)	84
Εικόνα 40: Η παράμετρος τριβής πυθμένα (Πηγή: MIKE 21).....	85
Εικόνα 41: Η είσοδος του κόλπου του Βόλου (Πηγή: Google Earth).....	86
Εικόνα 42: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νότιου ανέμου για την παραλία του Αναύρου σύμφωνα με την αρχική προσομοίωση (Πηγή: MIKE 21)	87
Εικόνα 43: Ο κόλπος του Βόλου (Πηγή: Google Maps)	88
Εικόνα 44: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νότιου ανέμου στην περιοχή του κόλπου του Βόλου (Πηγή: MIKE 21)	88
Εικόνα 45: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νοτιοδυτικού ανέμου στην περιοχή του κόλπου του Βόλου (Πηγή: MIKE 21).....	89
Εικόνα 46: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νοτιοανατολικού ανέμου στην περιοχή του κόλπου του Βόλου (Πηγή: MIKE 21)	90
Εικόνα 47: Προσδιορισμός περιοχής αναφοράς για τα δεδομένα εισόδου της προσομοίωσης του Αναύρου (Πηγή: Navionics – Google Earth).....	91
Εικόνα 48: Τελικά αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νότιου ανέμου στην περιοχή του Αναύρου (Πηγή: MIKE 21).....	94
Εικόνα 49: Τελικά αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νοτιοανατολικού ανέμου στην περιοχή του Αναύρου (Πηγή: MIKE 21)	95
Εικόνα 50: Τελικά αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νοτιοδυτικού ανέμου στην περιοχή του Αναύρου (Πηγή: MIKE 21)	96
Εικόνα 51: Περιοχή αναφοράς (κόκκινη γραμμή) για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από τις προσομοιώσεις του Αναύρου (Πηγή: Navionics)	97
Εικόνα 52: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νότιου ανέμου στην περιοχή του κόλπου του Βόλου (Πηγή: MIKE 21)	100
Εικόνα 53: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νότιου ανέμου στην περιοχή του Αναύρου	101
Εικόνα 54: Προτεινόμενες θέσεις τοποθέτησης του εξοπλισμού (Πηγή: Navionics).....	104
Εικόνα 55: Σημείο τοποθέτησης 1 (Κόκκινη Γραμμή)	104
Εικόνα 56: Σημείο τοποθέτησης 2 (Κίτρινη Γραμμή).....	104
Εικόνα 57: Θέση κτιριακής εγκατάστασης (Πηγή: Google Earth)	111
Εικόνα 58: Το κτήριο του παλιού ενυδρείου του Βόλου	111
Εικόνα 59: Η αυτόνομη ενεργειακά συσκευή solar powered ocean buoy	113
Εικόνα 60: Προτεινόμενη διάταξη συσκευών.....	114
Εικόνα 61: Ο αισθητήρας YSI EXO Total Algae Sensor.....	114
Εικόνα 62: Συσκευή μέτρησης ρευμάτων και κατευθυντικών κυματισμών - Τρίποδο.....	115
Εικόνα 63: Τυπικοί αισθητήρες.....	115

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση ερευνητικών εργαστηρίων και επισημάνση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε κατηγορίας	21
Πίνακας 2: Σημαντικές θαλάσσιες εγκαταστάσεις σε εργαστήρια ανά τον κόσμο.....	23
Πίνακας 3: Ποσοστιαία συχνότητας εμφάνισης ανέμων από 2 έως 9 Beaufort, σύμφωνα με το μετεωρολογικό σταθμό Ωρεών (Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία).....	45
Πίνακας 4: Ποσοστιαία συχνότητας εμφάνισης ανέμων από 2 έως 9 Beaufort, σύμφωνα με το μετεωρολογικό σταθμό Ωρεών (Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία).....	46
Πίνακας 5: Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής περιοχής και η κατάταξη τους ανάλογα με την σπουδαιότητα τους	49
Πίνακας 6: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στις περιοχές των Αλυκών και του Αναύρου για νοτιοανατολικό άνεμο	53
Πίνακας 7: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στις περιοχές των Αλυκών και του Αναύρου για νότιο άνεμο	54
Πίνακας 8: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στις περιοχές των Αλυκών και του Αναύρου για νοτιοδυτικό άνεμο	55
Πίνακας 9: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στην περιοχή της Μηλίνας για νοτιοδυτικό άνεμο	57
Πίνακας 10: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στην περιοχή της Μηλίνας για βορειοδυτικό άνεμο	58
Πίνακας 11: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στην περιοχή της Μηλίνας για δυτικό άνεμο	59
Πίνακας 12: Ταχύτητες ανέμου από 2 έως 9 Beaufort.....	60
Πίνακας 13: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος και περιόδου κορυφής στα βαθιά για 2 έως 7 Beaufort για τις περιοχές του Αναύρου και των Αλυκών.....	62
Πίνακας 14: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος και περιόδου κορυφής στα βαθιά για 2 έως 7 Beaufort για την περιοχή της Μηλίνας.....	63
Πίνακας 15: Τιμές κλίσης πυθμένα κοντά στην ακτή, για τον Αναύρο, τις Αλυκές και την Μηλίνα	64
Πίνακας 16: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος στο βάθος θραύσης για τρεις διευθύνσεις ανέμων και Beaufort από 2 έως 7, για την περιοχή του Αναύρου.....	65
Πίνακας 17: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος στο βάθος θραύσης για τρεις διευθύνσεις ανέμων και Beaufort από 2 έως 7, για την περιοχή των Αλυκών.....	66
Πίνακας 18: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος στο βάθος θραύσης για τρεις διευθύνσεις ανέμων και Beaufort από 2 έως 7, για την περιοχή της Μηλίνας.....	67
Πίνακας 19: Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής της βέλτιστης περιοχής και η σπουδαιότητα του καθενός από αυτά	70
Πίνακας 20: Συντεταγμένες των 9 σημείων στο σύστημα UTM (Universal Transverse Mercator).....	74
Πίνακας 21: Σημαντικά μεγέθη κυματισμών που προέκυψαν από την προσομοίωση του κόλπου του Βόλου για Beaufort από 3 έως 6 για νότιο άνεμο	91
Πίνακας 22: Σημαντικά μεγέθη κυματισμών που προέκυψαν από την προσομοίωση του κόλπου του Βόλου για Beaufort από 3 έως 5 για νοτιοανατολικό άνεμο	92
Πίνακας 23: Σημαντικά μεγέθη κυματισμών που προέκυψαν από την προσομοίωση του κόλπου του Βόλου για Beaufort από 3 έως 6 για νοτιοδυτικό άνεμο	92
Πίνακας 24: Αποτελέσματα σημαντικών μεγεθών κυματισμών για τον νότιο άνεμο για 3,4,5 και 6 Beaufort.....	98

Πίνακας 25: Αποτελέσματα σημαντικών μεγεθών κυματισμών για τον νοτιοανατολικό άνεμο για 3,4 και 5 Beaufort.....	98
Πίνακας 26: Αποτελέσματα σημαντικών μεγεθών κυματισμών για τον νοτιοδυτικό άνεμο για 3,4,5 και 6 Beaufort.....	98
Πίνακας 27: Σημαντικά μεγέθη κυματισμών για την ακραία περίπτωση των 7 Beaufort	101
Πίνακας 28: Σύγκριση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από τις τρεις μεθόδους για τα σημαντικά ύψη κύματος στην περιοχή ενδιαφέροντος για 3 έως 6 Beaufort.....	102
Πίνακας 29: Ενδεικτικό κόστος εξοπλισμού του εργαστηρίου.....	116

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής των ειδών των εργαστηρίων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο πίνακα.....	26
Διάγραμμα 2: Συχνότητες εμφάνισης των σχετικών διευθύνσεων ανέμων, σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό των Ωρεών.....	47
Διάγραμμα 3: Συχνότητες εμφάνισης των επιθυμητών διευθύνσεων ανέμων, σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό της Αγχιάλου.....	47
Διάγραμμα 4: Απεικόνιση μέσω διαγράμματος της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των σημαντικών μεγεθών των κυματισμών	93
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα απόστασης-βάθους για την κόκκινη περιοχή	105
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα κλίσης πυθμένα για την κόκκινη περιοχή.....	105
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα απόστασης-βάθους για την κίτρινη περιοχή.....	106
Διάγραμμα 8: Διάγραμμα κλίσης για την κίτρινη περιοχή.....	106
Διάγραμμα 9: Συγκριτικό διάγραμμα απόστασης-βάθους για τις δύο περιοχές	107
Διάγραμμα 10: Συγκριτικό διάγραμμα κλίσης για τις δύο περιοχές	107

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, διεκπεραιώθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και ως αντικείμενο της έχει την μελέτη εύρεσης της βέλτιστης θέσης, για την τοποθέτηση υδραυλικού εργαστηρίου μικρής κλίμακας στην περιοχή του Παγασητικού κόλπου. Κύριο εργαλείο για τους υπολογισμούς των χαρακτηριστικών μεγεθών των κυματογενών κυματισμών για διάφορες διευθύνσεις και ταχύτητες ανέμων, είναι το λογισμικό MIKE 21, το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Danish Hydraulic Institute (DHI).

1.1 Κίνητρο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας

Η έρευνα και η καινοτομία είναι θεμελιώδεις τομείς, που μόνο εκθετική ανάπτυξη μπορούν να επιφέρουν σε κάθε κράτος-κοινωνία που επενδύει σε αυτά. Τις τελευταίες δεκαετίες μάλιστα, ιδιαίτερη βαρύτητα έχει δοθεί στην έρευνα γύρω από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στους τρόπους μέγιστης αξιοποίησης τους. Κύριο κίνητρο για αυτό, ήταν η κλιματική κρίση και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αυτή έχει επιφέρει. Σε αυτό, σημαντική συμβολή μπορεί να έχει η γαλάζια ενέργεια (blue energy), η οποία αποτελεί αστείρευτη πηγή με ανεξάντλητες δυνατότητες. Η παρούσα διπλωματική εργασία, θα εστιάσει λοιπόν, στην έρευνα και την μελέτη γύρω από το θαλάσσιο περιβάλλον και τις προοπτικές που μπορεί αυτό να προσφέρει μέσω ενός εργαστηρίου μικρής κλίμακας.

Ο Παγασητικός κόλπος, αποτελεί ένα ευαίσθητο οικοσύστημα, που χρήζει προστασίας και παρακολούθησης, ώστε να συνεχίσει να είναι ένα περιβαλλοντικά άρτιο οικοσύστημα, όχημα μίας υγιούς οικιστικής, τουριστικής και αγροτικής ανάπτυξης και να μην αποτελεί πηγή προβλημάτων και εστία ρύπανσης για την πόλη του Βόλου και τους παραθαλάσσιους οικισμούς. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, ο Παγασητικός κόλπος έχει έρθει αντιμέτωπος με σοβαρές προκλήσεις που ο αντίκτυπος τους δεν έχει αξιολογηθεί σε βάθος. Οι δύο καταστροφικές πλημμύρες Daniel-Elias, που έλαβαν χώρα στην περιοχή της Μαγνησίας, το Σεπτέμβριο του 2023 επιβάρυναν σε υπέρογκο βαθμό το θαλάσσιο περιβάλλον λόγω των φερτών υλικών που παρασύρθηκαν από τη στεριά προς της θάλασσα. Πράγματι, το θαλάσσιο περιβάλλον παρουσιάζει μέχρι

σήμερα (Φεβρουάριος 2025) θολερότητα. Μία από τις επιπτώσεις των πλημμυρών ήταν και η υπερχειλίση της λίμνης Κάρλα σε παραλίμνιες περιοχές. Εκεί αναπτύχθηκαν ανεξέλεγκτα ψάρια του γλυκού νερού. Νεκρά ψάρια γέμισαν τις παραλίμνιες βάθρες λόγω έλλειψης οξυγόνου και κατέληξαν εντός του Παγασητικού κόλπου, με αποτέλεσμα τη περαιτέρω επιβάρυνσή του. Ταυτόχρονα, η προσπάθεια εγκατάστασης πλωτής μονάδας αποθήκευσης και επαναεριοποίησης υγροποιημένου φυσικού αερίου (FSRU) στο κλειστό αυτό κόλπο, αποτελεί μια πολύ σοβαρή πρόκληση που πρέπει να αποφευχθεί, για την αποφυγή μελλοντικών δυσάρεστων επιπτώσεων.

Κίνητρο της εργασίας είναι η ανάδειξη των κυριότερων λόγων που απαιτούν την εξασφάλιση της βέλτιστης και αποδοτικής λειτουργίας ενός τέτοιου εργαστηρίου, η παρουσίαση των δυνατοτήτων του, ώστε να διασφαλισθεί η χρησιμότητα της παρουσίας του εντός του Παγασητικού κόλπου. Επιπροσθέτως, μεταγενέστεροι στόχοι αποτελούν η ύπαρξη διακρίσεων και αριστείας για το εργαστήριο και η ανάπτυξη υγιούς ανταγωνιστικότητας σε σχέση με άλλα αντίστοιχα κέντρα ανά τον κόσμο. Όλες αυτές οι δράσεις, θα οδηγήσουν με βεβαιότητα σε συνεργασίες και χρηματοδοτήσεις από ερευνητικά κέντρα, ιδιωτικούς ή/και δημόσιους οργανισμούς, που θα προάγουν περαιτέρω ανάπτυξη στην περιοχή και θα δημιουργηθεί ένας πόλος έλξης για φοιτητές και επιστημονικές ομάδες.

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Με ορμητήριο λοιπόν το γενικότερο πνεύμα καινοτομίας και βιώσιμης εξέλιξης που εδραιώνεται τις τελευταίες δεκαετίες, γεννάται η ανάγκη ύπαρξης ερευνητικών εργαστηρίων, τα οποία θα στεγάσουν τις ιδέες και θα συμβάλλουν στην επιτυχή εφαρμογή τους. Ανά την Ευρώπη, αλλά και τον κόσμο, εδράζεται μια πληθώρα αξιόλογων θαλάσσιων ερευνητικών κέντρων με σημαντικές επινοήσεις και διακρίσεις. Η πλειοψηφία αυτών αφορά πειράματα με μεθόδους παραγωγής κυμάτων και προσομοίωσης της ωκεάνιας κατάστασης. Η παρούσα διπλωματική, θα εστιάσει στο εργαστήριο NOEL (Natural Ocean Engineering Laboratory), του Πανεπιστημίου Mediterranea, το οποίο αποτελεί μια ιδιαίτερα καινοτόμα ιδέα και είναι μάλιστα μοναδικό στον κόσμο.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη των συνθηκών στην περιοχή του Παγασητικού κόλπου και η διερεύνηση γύρω από την εύρεση της καταλληλότερης θέσης, ώστε να συζητηθεί το ενδεχόμενο ύπαρξης υδραυλικού εργαστηρίου, αντίστοιχο με το NOEL, εντός αυτού. Η τελική περιοχή θα προκύψει έπειτα από συνδυασμό διάφορων κριτηρίων και αφού εντοπιστεί θα πραγματοποιηθεί μελέτη των κυματικών συνθηκών που επικρατούν, ώστε να διασφαλισθεί η ομαλή λειτουργία ενός τέτοιου εργαστηρίου.

Ένας επιπλέον πολύ βασικός σκοπός της εργασίας, είναι η τεκμηρίωση των λόγων για τους οποίους ο Παγασητικός κόλπος απαιτεί παρακολούθηση και προστασία, αλλά και η διαπίστωση της χρησιμότητας ενός εργαστηρίου για την επιστημονική κοινότητα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

1.3 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 7 Κεφάλαια, εξαιρώντας το παρόν, το οποίο έχει εισαγωγικό χαρακτήρα.

Το *Κεφάλαιο 2*, αναφέρεται στα θαλάσσια υδραυλικά εργαστήρια που υπάρχουν ανά τον κόσμο, στην κατηγοριοποίηση τους, καθώς και στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που διέπουν την κάθε κατηγορία.

Το *Κεφάλαιο 3*, εστιάζει στο φυσικό εργαστήριο μικρής κλίμακας, NOEL Laboratory, το οποίο έχει την έδρα του στην Ιταλία, έχει σημαντικό ερευνητικό έργο και αποτελεί πρότυπο για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Το *Κεφάλαιο 4*, αφορά τον Παγασητικό κόλπο, τις συνθήκες εντός αυτού και τους πλησιέστερους μετεωρολογικούς σταθμούς σε αυτόν. Επίσης, γίνεται ανάλυση των κριτηρίων σύμφωνα με τα οποία θα επιλεγθεί η καταλληλότερη θέση τοποθέτησης εργαστηρίου μικρής κλίμακας και υπολογίστηκαν τα σημαντικά μεγέθη των κυματισμών στις περιοχές ενδιαφέροντος.

Το *Κεφάλαιο 5*, αναφέρεται στο λογισμικό MIKE 21 της εταιρείας DHI, στις εφαρμογές του, καθώς και στα εργαλεία και τις σταθερές που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις που ακολούθησαν.

Το *Κεφάλαιο 6*, έχει ως αντικείμενο μελέτης τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων από το λογισμικό για τις περιοχές του Αναύρου και του κόλπου του Βόλου και την λήψη συμπερασμάτων για τα σημαντικά μεγέθη των κυματισμών στην περιοχή.

Το *Κεφάλαιο 7*, τις τιμές που κρίνεται σημαντικό να μετρούνται σε ένα φυσικό εργαστήριο μικρής κλίμακας εντός του Παγασητικού, καθώς και το ποιος είναι ο απαραίτητος εξοπλισμός για αυτό.

Το *Κεφάλαιο 8*, περιλαμβάνει τελικά συμπεράσματα και προτάσεις.

Κεφάλαιο 2 Εργαστήρια θαλάσσιας υδραυλικής ανά τον κόσμο

2.1 Κατηγοριοποίηση εργαστηρίων και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που διέπουν την κάθε κατηγορία

Τα πειραματικά εργαστήρια, κατατάσσονται γενικά, σε τρεις βασικές κατηγορίες: τα εργαστήρια πεδίου, τα εργαστήρια που οι πειραματικές διαδικασίες γίνονται σε ειδικές εγκαταστάσεις προσομοίωσης και τα εργαστήρια μικρής κλίμακας. Πιο συχνά, ανά τον κόσμο, συναντώνται τα εργαστήρια με ειδικές εγκαταστάσεις σε εσωτερικούς χώρους. Το συμπέρασμα αυτό αφορά, εργαστήρια ωκεάνιας και παράκτιας μηχανικής, καθώς αυτό είναι και το πεδίο ενδιαφέροντος της παρούσας διπλωματικής. Κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες, παρουσιάζει μια σειρά από πλεονεκτήματα, αλλά και μειονεκτήματα, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω.

Αρχικά, τα εργαστήρια πεδίου, απαιτούν διαθέσιμο εξωτερικό χώρο, με ικανοποιητική έκταση, ώστε να ολοκληρωθούν οι απαιτούμενες διαδικασίες. Επιπλέον, τα πειράματα πεδίου δεν μπορούν να έχουν επαναληψιμότητα, καθώς οι συνθήκες στη φύση είναι μοναδικές κάθε φορά και δεν μπορούν να αντιγραφούν επ' ακριβώς. Επιπλέον, ένα άλλο μειονέκτημα είναι η συχνότητα εμφάνισης κάποιων φαινομένων και συνθηκών, που οδηγούν σε αναμονή και πολλές φορές σε καθυστέρηση ολοκλήρωσης της διαδικασίας. Πολλές φορές επίσης, η έρευνα πεδίου είναι ιδιαίτερα κοστοβόρα και δεν διατίθενται οι απαραίτητοι πόροι για την κάλυψη της, ενώ απαιτεί συχνά και πιο έμπειρους και εξειδικευμένους ερευνητές. Στα πλεονεκτήματα, συγκαταλέγεται η πιο βαθιά κατανόηση ενός αντικειμένου, που μπορεί να προσφέρει μια πειραματική διαδικασία, καθώς και τα πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα, που μπορούν να προκύψουν, καθώς δεν υπάρχουν παραδοχές που μπορεί να αλλοιώσουν τα εξαγόμενα δεδομένα.

Όσον αφορά τα πειράματα σε ειδικά διαμορφωμένες εγκαταστάσεις, αυτά δίνουν την ευελιξία επανάληψης του ίδιου πειράματος, όσες φορές απαιτείται, ώστε να διεξαχθούν τα απαραίτητα αποτελέσματα. Ταυτόχρονα, το πείραμα βρίσκεται υπό τον πλήρη έλεγχο των αρμόδιων και δίνεται η δυνατότητα τροποποιήσεων των δεδομένων, όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο. Αυτή η δομημένη προσέγγιση βοηθά στην εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων και στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Σημαντικό μειονέκτημα όμως, αποτελεί η ύπαρξη ενός πλήθους παραδοχών που μπορούν να μειώσουν την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, απομακρύνοντας τα από την

πραγματικότητα. Επίσης, πολλές φορές κρίνεται δύσκολη η συντήρηση και η ανανέωση του εξοπλισμού των εργαστηρίων, καθώς το κόστος είναι αρκετά υψηλό. Τέλος, είναι αδύνατον να γίνει ακριβής προσομοίωση του περιβάλλοντος και των συνθηκών που ισχύουν στο πεδίο, με αποτέλεσμα να προκύπτουν συχνά, σοβαρές αποκλίσεις.

Τέλος, τα εργαστήρια πεδίου μικρής κλίμακας, δεν είναι ένας διαδεδομένος τύπος εργαστηρίου, καθώς απαιτεί την ύπαρξη συγκεκριμένων περιβαλλοντικών συνθηκών, ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει με εγκυρότητα. Πιο συγκεκριμένα, σε όλο τον κόσμο υπάρχει μόνο ένα εργαστήριο μικρής κλίμακας, παράκτιας και ωκεάνιας μηχανικής και είναι το NOEL Laboratory, στην πόλη Reggio της Ιταλίας. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των εργαστηρίων αυτού του τύπου, είναι αντίστοιχα με αυτά των εργαστηρίων πεδίου, όπως είναι λογικό. Υπάρχει βέβαια μια ειδοποιός διαφορά, η οποία καθιστά τα εργαστήρια μικρής κλίμακας, ιδιαίτερα αποδοτικά και χρήσιμα. Αυτή είναι, η δυνατότητα προσομοίωσης ωκεάνιων συνθηκών σε φυσικό περιβάλλον υπό κλίμακα, αλλά και η μελέτη απόκρισης κατασκευών υπό αυτές τις συνθήκες.

Από την παραπάνω ανάλυση, εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα εργαστήρια πεδίου μικρής κλίμακας, αποτελούν μια καινοτόμα και πρωτοποριακή πρακτική. Επιπλέον, η ορθή αξιοποίηση τους μπορεί να οδηγήσει σε μια βιώσιμη ανάπτυξη που είναι προτεραιότητα και κύριο ζητούμενο της επιστημονικής κοινότητας τις τελευταίες δεκαετίες. Για αυτούς τους λόγους, η παρούσα διπλωματική θα εστιάσει στην ανάλυση και στην απόδειξη της χρησιμότητας μιας τέτοιας εργαστηριακής εγκατάστασης, εντός του Παγασητικού κόλπου. Παρακάτω ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας των κύριων πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των περιπτώσεων που αναλύθηκαν.

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση ερευνητικών εργαστηρίων και επισήμανση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε κατηγορίας

Κατηγοριοποίηση ερευνητικών εργαστηρίων		
Τύπος εργαστηρίου	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εργαστήριο πεδίου	Λιγότερες παραδοχές Αποτελέσματα κοντά στην πραγματικότητα Βαθιά κατανόηση του αντικειμένου	Διαθέσιμος εξωτερικός χώρος Μεγάλη έκταση Αδυναμία επαναληψιμότητας Απρόβλεπτη συχνότητα εμφάνισης φυσικών φαινομένων Υψηλό κόστος Απαίτηση έμπειρων/εξειδικευμένων ερευνητών
Εργαστήριο προσομοίωσης	Ευελιξία επανάληψης πειράματος Δυνατότητα τροποποίησης δεδομένων Πλήρης έλεγχος της πειραματικής διαδικασίας Αξιόπιστα συμπεράσματα	Παραδοχές Μείωση εγκυρότητας αποτελεσμάτων σε σχέση με την πραγματικότητα Απαιτητική συντήρηση εξοπλισμού Ανανέωση εξοπλισμού Υψηλό κόστος Αδυναμία ακριβούς προσομοίωσης πραγματικών συνθηκών
Εργαστήριο μικρής κλίμακας	Αποτελέσματα με μικρή απόκλιση από την πραγματικότητα Δυνατότητα προσομοίωσης ωκεάνιων συνθηκών σε φυσικό περιβάλλον υπό κλίμακα Μελέτη απόκρισης κατασκευών υπό πραγματικές συνθήκες Λιγότερες παραδοχές Βαθιά κατανόηση του αντικειμένου	Απαίτηση ύπαρξης συγκεκριμένων περιβαλλοντικών συνθηκών Αδυναμία επαναληψιμότητας Απρόβλεπτη συχνότητα εμφάνισης φυσικών φαινομένων Απαίτηση έμπειρων/εξειδικευμένων ερευνητών

2.2 Ερευνητικά εργαστήρια στον τομέα της ωκεάνιας και παράκτιας μηχανικής

Ανά τον κόσμο έχει ιδρυθεί μια πληθώρα ερευνητικών εργαστηρίων, με αντικείμενο την θαλάσσια μηχανική. Τα περισσότερα είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένα και το ερευνητικό έργο τους, έχει συμβάλει σημαντικά στην εδραίωση καινοτομιών και στην βιώσιμη εξέλιξη. Υψίστης σημασίας είναι επιπροσθέτως, η συμβολή τους στην εξέλιξη των φοιτητών, καθώς η απευθείας επαφή και ενασχόληση με το αντικείμενο μέσω ενός διδακτικού πειράματος, προσφέρει βαθύτερη κατανόηση των θεωριών και των πραγματικών συνθηκών.

Στην πλειοψηφία τους είναι εργαστήρια προσομοίωσης, υπάρχει όμως και ένα ποσοστό εργαστηρίων πεδίου. Όσον αφορά τους κυματισμούς που μελετούν, υπάρχουν τόσο διδιάστατα κανάλια ροής, όσο και τρισδιάστατες λεκάνες. Στην παρούσα εργασία, θα γίνει εστίαση κυρίως στα εργαστήρια που μελετούν τριδιάστατους κυματισμούς, καθώς τα αποτελέσματα τους είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα.

Ακολούθως, παρουσιάζεται συνοπτικός πίνακας των ερευνητικών εργαστηρίων θαλάσσιας υδραυλικής, σε συνδυασμό με κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του καθενός. Στη συνέχεια ακολουθεί το Διάγραμμα 1, που απεικονίζει το ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε είδος εργαστηρίου ανάμεσα σε αυτά που αναλύθηκαν στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Σημαντικές θαλάσσιες εγκαταστάσεις σε εργαστήρια ανά τον κόσμο
Μέρος Α: Τοποθεσία

Εργαστήρια - Εγκατάσταση	Τύπος Εργαστηρίου	Πανεπιστήμιο / Ερευνητικό Κέντρο	Χώρα/Πόλη
<i>Noel</i>	Small scaled lab	Mediterranea University of Reggio Calabria	Reggio Calabria, Ιταλία
<i>Emilio Castagneto seakeeping tank</i>	Lab	Istituto di ingegneria del mare (INM)	Ρώμη, Ιταλία
<i>Umberto Pugliese towing tank</i>	Lab	Istituto di ingegneria del mare (INM)	Ρώμη, Ιταλία
<i>Large Wave Flume-GWK</i>	Lab	Leibniz Universität Hannover and Technische Universität Braunschweig	Ανόβερο, Γερμανία
<i>Hydrodynamics laboratory</i>	Lab	Imperial College, London	Λονδίνο, Αγγλία
<i>COAST Laboratory (Ocean basin)</i>	Lab	University of Plymouth	Πλίμουθ, Αγγλία
<i>COAST Laboratory (Coastal basin)</i>	Lab	University of Plymouth	Πλίμουθ, Αγγλία
<i>Hydraulic Engineering Laboratory</i>	Lab	University of Patras	Πάτρα, Ελλάδα
<i>Εργαστήριο Λιμενικών Έργων</i>	Lab	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο	Αθήνα, Ελλάδα
<i>European Marine Energy Centre (EMEC)</i>	Field	EMEC	Όρκνι, Σκωτία
<i>Scripps Institution of Oceanography</i>	Field	UCSan Diego	Καλιφόρνια, Αμερική
<i>Scripps Institution of Oceanography (Hydraulics Laboratory)</i>	Lab	UCSan Diego	Καλιφόρνια, Αμερική
<i>AMC's Towing Tank</i>	Field	University of Tasmania	Τασμανία, Αυστραλία
<i>Ocean and Coastal Engineering Laboratory (Wave Basin)</i>	Lab	Aalborg University, Department of the built Environment	Aalborg/Κοπεγχάγη, Δανία
<i>Ocean and Coastal Engineering Laboratory (Wave and Current flume)</i>	Lab	Aalborg University, Department of the built Environment	Aalborg/Κοπεγχάγη, Δανία
<i>Outdoor wave basin , (OWB)</i>	Lab	Leibniz University, Hannover	Ανόβερο, Γερμανία
<i>hr wallingford (Wave Basin)</i>	Lab	HR- Wallingford	Γουόλινγκφορντ, Ηνωμένο Βασίλειο
<i>hr wallingford (Fast Flow Facility)</i>	Lab	HR- Wallingford	Γουόλινγκφορντ, Ηνωμένο Βασίλειο
<i>hr wallingford (Wave Flumes)</i>	Lab	HR- Wallingford	Γουόλινγκφορντ, Ηνωμένο Βασίλειο
<i>hr wallingford (Volumetric flow flume)</i>	Lab	HR- Wallingford	Γουόλινγκφορντ, Ηνωμένο Βασίλειο
<i>Deltares (Delta basin)</i>	Lab	Deltares	Ολλανδία

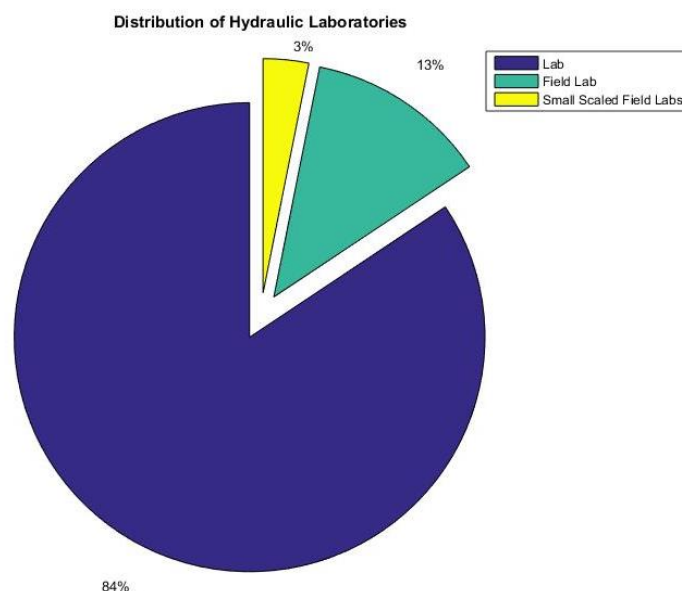
Εργαστήρια - Εγκατάσταση	Τύπος Εργαστηρίου	Πανεπιστήμιο / Ερευνητικό Κέντρο	Χώρα/Πόλη
<i>Deltares (Atlantic basin)</i>	Lab	Deltares	Ολλανδία
<i>Deltares (Scheldt flume)</i>	Lab	Deltares	Ολλανδία
<i>Deltares (Pasific basin)</i>	Lab	Deltares	Ολλανδία
<i>Deltares (Delta flume)</i>	Lab	Deltares	Ολλανδία
<i>Deltares (Lock facility)</i>	Lab	Deltares	Ολλανδία
<i>Sletvik Field station</i>	Field	Norwegian University of Science and Technology	Χοπαβάγεν, Νορβηγία
<i>AUTH Wave Tank</i>	Lab	Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης	Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
<i>Ocean Laboratory</i>	Lab	Sintef	Τροντχαιμ, Νορβηγία
<i>Danish Hydraulic Institute(DHI) (Wave Basin)</i>	Lab	Danish Hydraulic Institute (DHI)	Χόρσχολμ, Δανία
<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) - Hydraulic Channel</i>	Lab	Istituto di ingegneria del mare (INM)	Ρώμη, Ιταλία

Σημαντικές θαλάσσιες εγκαταστάσεις σε εργαστήρια ανά τον κόσμο
Μέρος Β: Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Εργαστήρια	Μήκος	Βάθος	Έκταση	Κλίμακα	Σημαντικό ύψος κύματος/Υψος Κύματος	Περίοδος Κορυφής	Διάσταση
<i>Noel</i>	N/A	N/A	N/A	1:30 για μεσογειακές καταιγίδες / 1:50 για ωκεάνιες	0.2-0.8m	2-3.6 sec	N/A
<i>Emilio Castagneto seakeeping tank</i>	220m	N/A	1980 m ²	1:25	0.1-0.45m	N/A	3D
<i>Umberto Pugliese towing tank</i>	470m	N/A	6345 m ²	N/A	1.3m	3-20 sec	3D
<i>Large Wave Flume-GWK</i>	330m	N/A	1650 m ²	N/A	N/A	N/A	2D
<i>Hydrodynamics laboratory</i>	N/A	N/A	3000 m ²	N/A	N/A	N/A	3D
<i>COAST Laboratory (Ocean basin)</i>	35m	N/A	542.5 m ²	1:40	0.2-0.9m	N/A	3D
<i>COAST Laboratory (Coastal basin)</i>	15.5m	N/A	155 m ²	N/A	0.32m	N/A	N/A

Εργαστήρια	Μήκος	Βάθος	Έκταση	Κλίμακα	Σημαντικό ύψος κύματος/Υψος Κύματος	Περίοδος Κορυφής	Διάσταση
<i>Hydraulic Engineering Laboratory</i>	12m	N/A	84 m ²	N/A	N/A	N/A	N/A
<i>Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (Wave Basin)</i>	26.8m	1m	80.4 m ²	N/A	N/A	N/A	3D
<i>Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (Wave Basin)</i>	35.2m	1m	978.6 m ²	N/A	N/A	N/A	3D
<i>Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (Wave Basin)</i>	15m	1.6m	299.3 m ²	N/A	N/A	N/A	3D
<i>Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (Flume)</i>	60	1.6m	1620 m ²	N/A	N/A	N/A	2D
<i>Scripps Institution of Oceanography (Hydraulics Laboratory)</i>	N/A	N/A	1426 m ²	N/A	N/A	N/A	N/A
<i>AMC's Towing Tank</i>	100m	N/A	355 m ²	N/A	N/A	N/A	N/A
<i>Ocean and Coastal Engineering Laboratory (Wave Basin)</i>	14.6m	1.5m	281.78 m ²	N/A	0.25-0.30m	3 sec	3D
<i>Ocean and Coastal Engineering Laboratory (Wave and Current flume)</i>	22.1m	1.5m	33.15 m ²	N/A	0.65 m	3 sec	2D
<i>Outdoor wave basin , (OWB)</i>	24.10m	0.8-1m	342.22 m ²	N/A	0.25m	3 sec	3D
<i>hr wallingford (Wave Basin)</i>	55m	0.3-0.8m	2400 m ²	N/A	up to 0.25m	N/A	3D
<i>hr wallingford (Fast Flow Facility)</i>	75m	N/A	N/A	N/A	1m	N/A	2D
<i>hr wallingford (Wave Flumes)</i>	40m	1m	48 m ²	1:10 - 1:40	up to 0.3m	N/A	2D
<i>hr wallingford (Volumetric flow flume)</i>	25m	0.7-0.9m	60 m ²	N/A	N/A	N/A	2D
<i>Deltares (Delta basin)</i>	50m	1m	2500 m ²	N/A	0.25m	N/A	3D
<i>Deltares (Atlantic basin)</i>	75m	1m	652.5 m ²	N/A	0.25m	2 sec	3D

Εργαστήρια	Μήκος	Βάθος	Έκταση	Κλίμακα	Σημαντικό ύψος κύματος/Υψος Κύματος	Περίοδος Κορυφής	Διάσταση
<i>Deltares (Scheldt flume)</i>	110m	1.2m	110 m ²	N/A	0.25m	N/A	2D
<i>Deltares (Pasific basin)</i>	28m	1m	392 m ²	N/A	0.21m	1.9 sec	3D
<i>Deltares (Delta flume)</i>	300m	9.5m	1500 m ²	N/A	2-2.05m	N/A	2D
<i>Deltares (Lock facility)</i>	60m	0.7m	1200 m ²	1:40 - 1:30	N/A	N/A	N/A
<i>Sletvik Field station</i>	N/A	average 18m	370.000 m ²	N/A	N/A	N/A	3D
<i>AUTH Wave Tank</i>	14m	0.28m	5.6 m ²	N/A	N/A	N/A	2D
<i>Ocean Laboratory</i>	80m	0-10m	4000 m ²	N/A	0.2-0.5m	0.7 and above	3D
<i>Danish Hydraulic Institute(DHI) (Wave Basin)</i>	20m	3-12m	600 m ²	N/A	7m	N/A	3D
<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) - Hydraulic Channel</i>	27m	0.75m	45 m ²	N/A	N/A	N/A	2D



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής των ειδών των εργαστηρίων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο πίνακα

2.2.1 Τα ελληνικά εργαστήρια θαλάσσιας υδραυλικής και υδροδυναμικής

Η Ελλάδα, διαθέτει τρία υδραυλικά εργαστήρια: το εργαστήριο λιμενικών έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, την AUTH Wave Tank του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και το Hydraulic Engineering Laboratory του Πανεπιστημίου Πατρών.

Το εργαστήριο λιμενικών έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, υπάγεται στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και ιδρύθηκε το 1978. Το συγκεκριμένο κατέχει τόσο ερευνητικό, όσο και εκπαιδευτικό ρόλο για τους φοιτητές του Πανεπιστημίου και το πεδίο του αφορά κυρίως την μελέτη, τον σχεδιασμό και την έρευνα γύρω από λιμενικά και παράκτια έργα και την προστασία των ακτών. Οι εγκαταστάσεις του, συμπεριλαμβάνουν δεξαμενές και επιμήκεις διώρυγες για την διεξαγωγή πειραματικών διαδικασιών για την μελέτη της κυματικής μηχανικής, αλλά και της απόκρισης κατασκευών υπό την επίδραση κυματισμών. Αναλυτικότερα, διαθέτει δύο μεγάλες τρισδιάστατες δεξαμενές με κυματιστήρες και ενσωματωμένο λογισμικό, το οποίο συλλέγει και επεξεργάζεται τα αποτελέσματα, αλλά και μια επιμήκη δεξαμενή και μια επιμήκη διώρυγα για την παραγωγή μονοχρωματικών κυματισμών. Επίσης, διαθέτει κατάλληλα λογισμικά υδροδυναμικών προσομοιώσεων και προσομοιώσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ κυμάτων και ρευμάτων με τις κατασκευές. Το εργαστήριο λιμενικών έργων κατέχει εξέχουσα θέση στον τομέα των παράκτιων και λιμενικών έργων στην Ελλάδα, καθώς έκτος της έντονης ερευνητικής δραστηριότητας που παρουσιάζει, διαθέτει και σημαντικές συνεργασίες με δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς, αλλά και με διεθνείς οργανισμούς.



Εικόνα 1: Δεξαμενή του εργαστηρίου λιμενικών έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου



Εικόνα 2: Δεξαμενή του εργαστηρίου λιμενικών έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

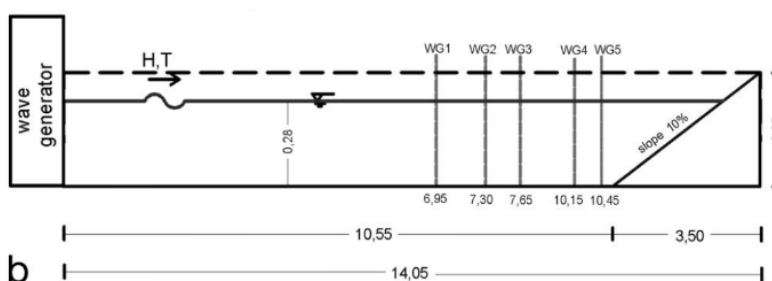
Η δεξαμενή AUTH Wave Tank (Εικόνα 3) του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, υπάγεται στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και έχει και αυτή ιδιαίτερη εκπαιδευτική και ερευνητική σημασία. Η συγκεκριμένη δεξαμενή είναι κατάλληλα σχεδιασμένη, ώστε να δίνει ορθά αποτελέσματα για την μελέτη κυματικών φαινομένων και για την αλληλεπίδρασή τους με τεχνικά έργα. Ο σύγχρονος εξοπλισμός γέννησης κυματισμών που διαθέτει, δίνει την δυνατότητα παραγωγής κυμάτων διαφορετικών τύπων και ελεγχόμενης συχνότητας και ύψους κύματος, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο την δυνατότητα προσομοίωσης κυματικών συνθηκών ανοιχτής θαλάσσης, αλλά και παράκτιων.



Εικόνα 3: Εγκαταστάσεις του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης



Εικόνα 4: Εγκαταστάσεις του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης



Εικόνα 5: Διαστάσεις του καναλιού ροής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Το Εργαστήριο Υδραυλικής Μηχανικής του Πανεπιστημίου Πατρών, ιδρύθηκε το 1980. Οι κτηριακές εγκαταστάσεις του εργαστηρίου απαρτίζονται από δύο επιμέρους χώρους: τον κύριο, ο οποίος καλύπτει έκταση περίπου 1000 τετραγωνικά μέτρα και τον δευτερεύοντα, ο οποίος εκτείνεται σε ένα εμβαδόν περίπου ίσο με 100 τετραγωνικά μέτρα. Στον κύριο εργαστηριακό χώρο, στεγάζονται η Μεγάλη Διώρυγα, η Μεσαία Διώρυγα, η Δεξαμενή Κυμάτων και το Δίκτυο Κλειστών Αγωγών Σταθερού Φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του αντίστοιχο χώρο τοποθέτησης υδραυλικών ομοιωμάτων, ενώ στον δευτερεύοντα βρίσκονται η Μικρή Διώρυγα και οι Υδραυλικές Τράπεζες, όπως και οι αντίστοιχες πειραματικές συσκευές. Πρωταρχικός σκοπός του εργαστηρίου και των καθηγητών που το απαρτίζουν, είναι η ουσιαστική επαφή των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών φοιτητών με το αντικείμενο και η προώθηση της έρευνας γύρω από αυτό. Επιπροσθέτως, το εργαστήριο και οι αρμόδιοι ερευνητές του, παρέχουν ταυτόχρονα και υπηρεσίες που αφορούν θέματα ροής επιφανειακών, υπογείων και θαλάσσιων υδάτων, ακτομηχανικής, υδρολογίας αλλά και διαχείρισης υδατικών πόρων, καθώς και συναφών τεχνικών έργων.



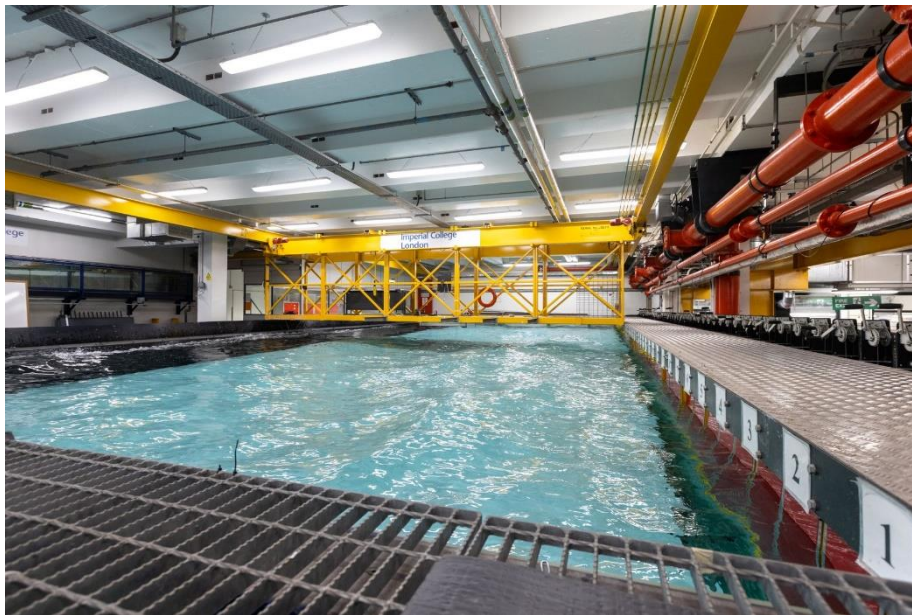
Εικόνα 6: : Εξοπλισμός του Εργαστηρίου Υδραυλικής Μηχανικής του Πανεπιστημίου Πατρών



Εικόνα 7: Κανάλι ροής του Εργαστηρίου Υδραυλικής Μηχανικής του Πανεπιστημίου Πατρών

2.2.2 Το Hydrodynamics laboratory του βρετανικού Πανεπιστημίου Imperial College, London

Το Imperial College, London, το οποίο βρίσκεται στο Λονδίνο, διαθέτει το Εργαστήριο Υδροδυναμικής, το οποίο υπάγεται στο τμήμα Πολιτικών και Περιβαλλοντικών Μηχανικών, της Πανεπιστημιούπολης του Νότιου Kensington. Οι εγκαταστάσεις του υδραυλικού εργαστηρίου καλύπτουν έκταση 3000 τετραγωνικών μέτρων κατά προσέγγιση και διαθέτει έξι κυματοδόχους (flumes) και δύο δεξαμενές κυμάτων (wave basins), δίνοντας έτσι την δυνατότητα παραγωγής κυματισμών μίας ή και παραπάνω κατευθύνσεων, ανάλογα με τις απαιτήσεις της πειραματικής διαδικασίας. Οι ερευνητικές δραστηριότητες του εργαστηρίου, εστιάζονται στους τομείς της παράκτιας και κυματικής μηχανικής, αλληλεπίδρασης ρευστών με κατασκευές, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της υδροδυναμικής και υποστηρίζουν τόσο το ερευνητικό έργο μίας πληθώρας διδακτορικών φοιτητών, αλλά και την έρευνα γύρω από πρακτικές εφαρμογές.



Εικόνα 8: Η Deep-water wave basin του κολεγίου Imperial College, London



Εικόνα 9: Η coastal flume του κολεγίου Imperial College, London

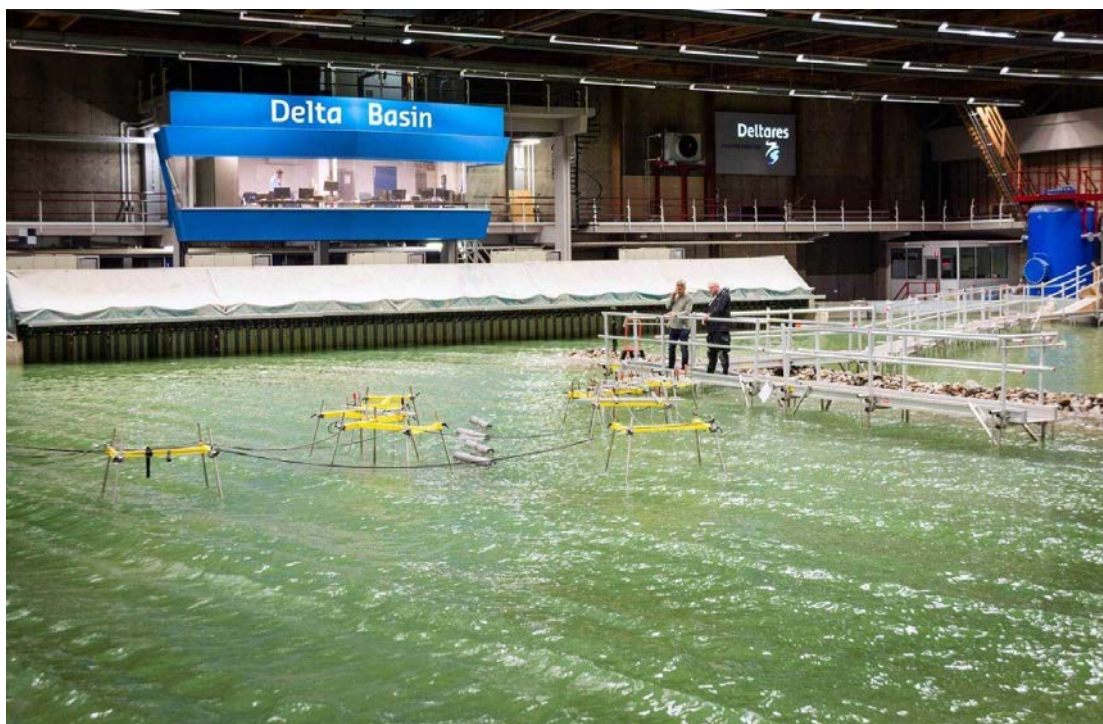
2.2.3 Το ερευνητικό εργαστήριο Deltares

Το ερευνητικό ινστιτούτο Deltares, εδρεύει στην Ολλανδία και δρα ανεξάρτητα, καθώς δεν υπάγεται σε κάποια Πανεπιστημιακή δομή. Οι ερευνητικές δράσεις του, αφορούν την διαχείριση υδάτινων πόρων, την παράκτια μηχανική και υδροδυναμική, όπως και την απόκριση κατασκευών που αλληλεπιδρούν με ρευστά. Άξιο να σημειωθεί είναι

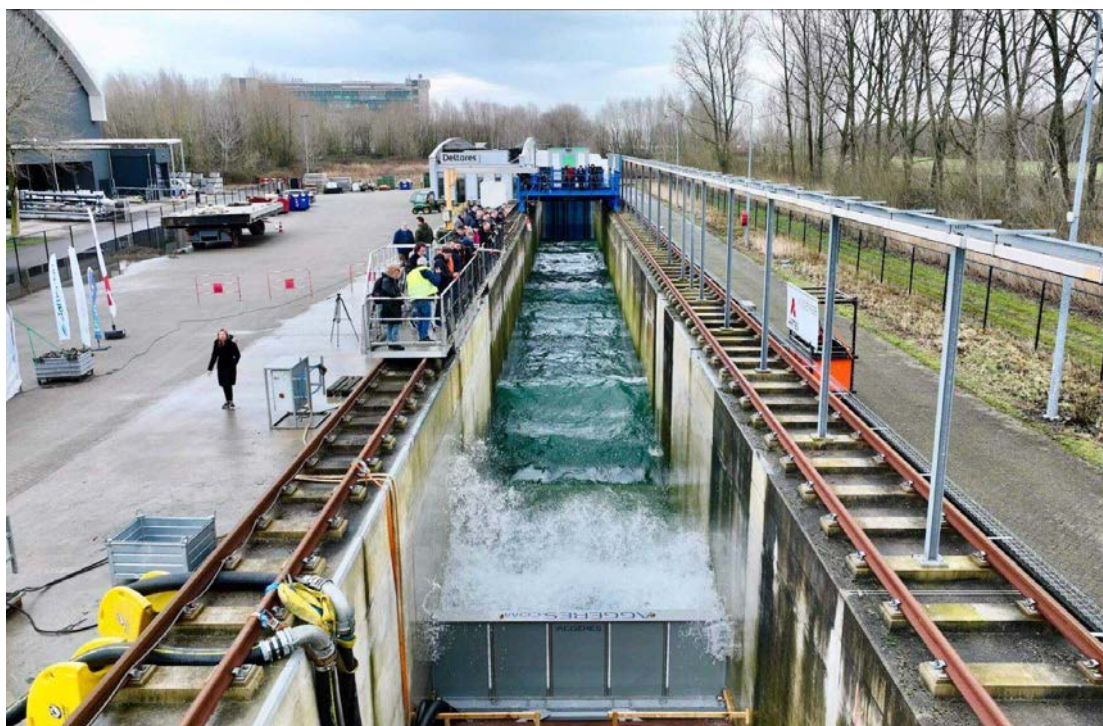
επίσης, ότι διαθέτει στις εγκαταστάσεις του ένα κανάλι μήκους 300 μέτρων (Εικόνα 10 και 12). Αυτό δίνει την δυνατότητα δημιουργίας κυματισμών ύψους μεγαλύτερου των 4.5 μέτρων. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η ικανότητα διερεύνησης της αντοχής παράκτιων και θαλάσσιων κατασκευών σε πραγματικές συνθήκες. Διαθέτοντας λοιπόν εγκαταστάσεις με υψηλές δυνατότητες και έχοντας στο δυναμικό του πάνω από 900 ειδικούς, το ινστιτούτο Deltares, είναι σε θέση να συνεργάζεται με διεθνείς οργανισμούς και επιχειρήσεις, προσφέροντας ασφαλής και βιώσιμες λύσεις με αντοχή στον χρόνο.



Εικόνα 10: Το Delta Flume του ερευνητικού ινστιτούτου Deltares



Εικόνα 11: Το Delta Basin του ερευνητικού ινστιτούτου Deltares



Εικόνα 12: Το Delta Flume του ερευνητικού ινστιτούτου Deltares

2.2.4 To Danish Hydraulic Institute (DHI)

Το ερευνητικό ινστιτούτο DHI (Danish Hydraulic Institute), έχει την έδρα του στο Χόρσχολμ της Δανίας και ιδρύθηκε το 1964. Ο συγκεκριμένος οργανισμός, διαθέτει διεθνή παρουσία στον τομέα της έρευνας γύρω από το υδάτινο περιβάλλον και την αλληλεπίδραση κατασκευών με αυτό. Ταυτόχρονα, έχει αναπτύξει το λογισμικό MIKE powered by DHI, το οποίο παρέχει εργαλεία μοντελοποίησης υδάτινων περιβαλλόντων, παρέχοντας αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας και εγκυρότητας. Το λογισμικό αυτό, θα χρησιμοποιηθεί και στην παρούσα διπλωματική εργασία, για την προσομοίωση της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, άξιο αναφοράς είναι το FloatLab, ένα έργο το οποίο φιλοξενείται στις εγκαταστάσεις του DHI και ασχολείται με ερευνητικά προγράμματα γύρω από τις υπεράκτιες πλωτές ανεμογεννήτριες (Εικόνα 13). Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα χρήσιμο και καινοτόμο ερευνητικό έργο, το οποίο εξελίσσεται σε συνεργασία με άλλα ερευνητικά κέντρα και οργανισμούς και έχει ως στόχο την αύξηση της αποτελεσματικότητας των αιολικών πάρκων, που θα έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της παρουσίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος.



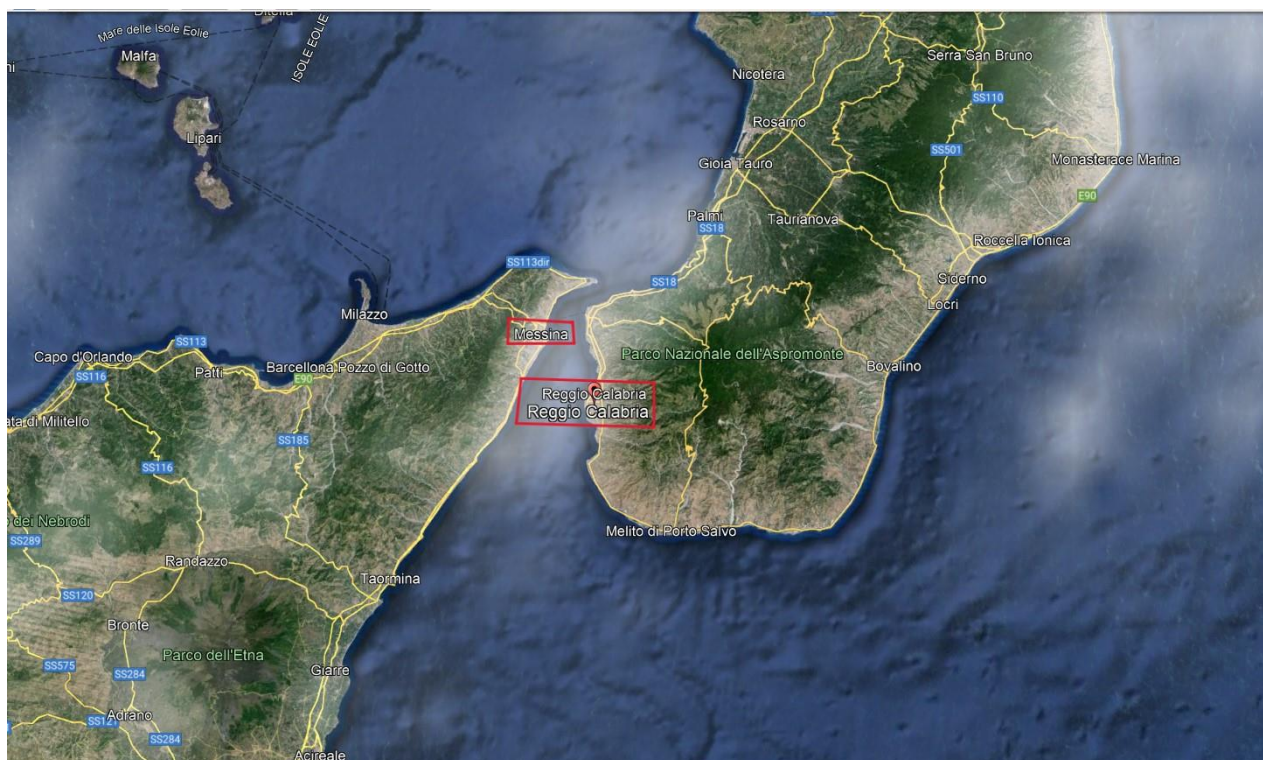
Εικόνα 13: Πλωτές off-shore ανεμογεννήτριες

Κεφάλαιο 3 Εργαστήριο μικρής κλίμακας – NOEL Laboratory

3.1 Πλεονεκτική γεωγραφική θέση του εργαστηρίου και ανεμολογικές και κυματικές συνθήκες στην περιοχή

Στην νότια Ιταλία και πιο συγκεκριμένα στην πόλη Reggio di Calabria, εδράζεται ένα εργαστήριο πεδίου μικρής κλίμακας, το NOEL Laboratory (Natural Ocean Engineering Laboratory), το οποίο πραγματοποιεί πειράματα με πραγματικούς κυματισμούς. Το εργαστήριο αυτό υπάγεται στο Πανεπιστήμιο Mediterranea με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή Paolo Bocotti και υπεύθυνο του εργαστηρίου τον καθηγητή Felice Arena και είναι το πρώτο εργαστήριο μηχανικής των ωκεανών με τέτοιο πεδίο εργασίας. Αυτή η δυνατότητα του προσφέρεται εξαιτίας της μοναδικής γεωγραφικής του θέσης. Το γεγονός ότι βρίσκεται στο νοτιότερο άκρο της Ιταλίας, σε συνδυασμό με την θέση της Σικελίας, δημιουργούν συνθήκες κλειστού κόλπου. Ταυτόχρονα, ο νότιος-νοτιοδυτικός άνεμος που πνέει συχνά στην περιοχή, παράγει καθαρά ανεμογενή κύματα που αντιστοιχούν σε κλίμακα 1:30 σε μεσογειακές και σε κλίμακα 1:50 σε ωκεάνιες καταιγίδες. Ο άνεμος αυτός, διακρίνεται από ιδιαίτερη σταθερότητα, με αποτέλεσμα πολλές φορές να πνέει από το πρωί έως το βράδυ. Τα κύματα αυτά, παρουσιάζουν ένα εύρος σημαντικού ύψους κύματος από 0.2 μέτρα έως 0.8 μέτρα, με αντίστοιχες περιόδους αιχμής από 2 έως και 3.6 δευτερόλεπτα και έχει αποδειχθεί ότι τα φάσματα των κυμάτων αυτών, είναι πολύ κοντά στα φάσματα JONSWAP.

Πιο συγκεκριμένα, τρεις είναι οι κυριότεροι λόγοι, που θέτουν την ακτή του Reggio di Calabria, ως κατάλληλη περιοχή. Αρχικά, βασικό λόγο αποτελεί ο άνεμος με κατεύθυνση από την Μεσσήνη προς το Reggio, ο οποίος είναι και ιδιαίτερα σταθερός, καθώς μπορεί να πνέει ακόμη και για ημέρες. Επιπροσθέτως, ο κατάλληλος προσανατολισμός της ακτής, την προστατεύει από τα κύματα που διαδίδονται από το στενό της Μεσσήνης. Τέλος, πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το ρεύμα του Στενού που διέρχεται με συχνότητα δύο φορές την ημέρα, εξασφαλίζοντας την καθαρότητα των υδάτων, καθώς και το μικρό πλάτος παλίρροιας, το οποίο συνήθως δε ξεπερνά τα 0.10 μέτρα.



Εικόνα 14: Η γεωγραφική θέση του Reggio di Calabria, όπου βρίσκεται το εργαστήριο NOEL

3.2 Κτηριακές εγκαταστάσεις του εργαστηρίου NOEL και το ερευνητικό του έργο ανά τα χρόνια

Το εργαστήριο NOEL (Natural Ocean Engineering Laboratory), έχει στην διάθεσή του, κτηριακές εγκαταστάσεις που καλύπτουν έκταση περίπου ίση με 350 τετραγωνικά μέτρα, κατάλληλα σχεδιασμένες και εξοπλισμένες, ώστε να βρίσκονται σε θέση να αναλύσουν και να εξάγουν αληθή και έγκυρα πειραματικά αποτελέσματα. Στην δομή αυτή στεγάζονται μια αίθουσα συνεδριάσεων ένα δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών, έναν χώρο φύλαξης του ηλεκτρονικού σταθμού, καθώς και κάποια γραφεία. Ταυτόχρονα, διαθέτει χώρους όπου διεξάγονται διαλέξεις προπτυχιακών φοιτητών, σχετικών με το αντικείμενο, ενώ στις πειραματικές διαδικασίες συμμετέχουν διδακτορικοί, μεταδιδακτορικοί και μεταπτυχιακοί φοιτητές. Με τον τρόπο αυτό, τους δίνεται η δυνατότητα να έρθουν σε επαφή και με πειραματικές διαδικασίες και να υπάρξει εξοικείωση με αυτές.

Εκτός από τις κτηριακές εγκαταστάσεις, το εργαστήριο διαθέτει παραλία με έκταση περίπου ίση με 4500 τετραγωνικά μέτρα και υδάτινο μέτωπο μέχρι την απόσταση των

πενήντα μέτρων από την ακτή. Επιπροσθέτως, τα μετρητικά όργανα είναι συνδεδεμένα με τον ηλεκτρονικό σταθμό που βρίσκεται εντός του κτηρίου. Με αυτόν τον τρόπο, παρέχεται η δυνατότητα παρακολούθησης των εν εξελίξει πειραμάτων σε πραγματικό χρόνο.

Το εργαστήριο NOEL, έχει πραγματοποιήσει ανά τα χρόνια μια πληθώρα πειραμάτων, με αρχή όλων, την επαλήθευση της θεωρίας του οιονεί ντετερμινισμού μπροστά σε έναν κατακόρυφο θαλάσσιο τοίχο, αλλά και στα ανοιχτά της θάλασσας. Πιο συγκεκριμένα, η θεωρία του οιονεί ντετερμινισμού, κατά τον καθηγητή Paolo Bocotti, προβλέπει ότι τα υψηλά κύματα που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια καταιγίδων ενώνονται δημιουργώντας ομάδες κυματισμών. Κατά συνέπεια, όλες οι ομάδες κυμάτων με υψηλά κύματα έχουν κοινά χαρακτηριστικά και μεταβάλλονται παρόμοια κατά τη διάδοσή τους. Για την διεξαγωγή του προαναφερθέντος πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν 26 κυματογράφοι για την καταγραφή των κυμάτων την ίδια χρονική στιγμή. Μετά το πέρας των διαδικασιών, οι ερευνητές έφτασαν στην διαπίστωση πως οι διάφορες ομάδες κυμάτων που καταγράφηκαν σε διαφορετικές ημέρες παρουσιάζουν κοντινές τιμές μεταξύ τους όταν εμφανίζεται ένα πολύ υψηλό κύμα – έχοντας ως κριτήριο σύγκρισης το μέσο ύψος κύματος για την περιοχή-.

Έπειτα από μια σειρά επιτυχημένων πειραμάτων, το 2001 κατασκευάστηκε η μονάδα REWEC (Resonant Wave Energy Converter), ύστερα από αναλυτική μελέτη σχεδιασμού, αλλά και πειραματική δοκιμή στο εργαστήριο. Αναλυτικότερα, πρόκειται για ένα υδατοστεγές κιβώτιο, το οποίο μετατρέπει την ενέργεια των παραγόμενων κυματισμών σε ηλεκτρική, απουσία μηχανικών διατάξεων. Αυτό συμβαίνει μέσω μιας ταλαντευόμενης στήλης νερού, με κατάλληλη διάταξη και γεωμετρία, η οποία επιτρέπει στην κατασκευή να φτάσει σε κατάσταση συντονισμού με τα προσπίπτοντα σε αυτήν κύματα. Ταυτόχρονα, η κατασκευή του υδατοστεγούς κιβωτίου – έπειτα από διεξαγωγή πειράματος μικρής κλίμακας το 2001 (REWEC1) -, μπορεί να λειτουργήσει και ως κυματοθραύστης. Αντίστοιχα, πείραμα που διεξήχθη το 2005 (REWEC3), σε κατακόρυφο κυματοθραύστη, έδειξε ότι αυτός είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί και ως λιμενική δομή.



Εικόνα 15: Βαθυμετρία περιοχής Reggio di Calabria

Το 2010 πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο NOEL, το πρώτο πείραμα που διεξήχθη στην θάλασσα με εργαστηριακές τεχνικές και αφορά την άσκηση, από τα θαλάσσια κύματα, υδροδυναμικών δυνάμεων σε οριζόντιους βυθισμένους αγωγούς (Boccotti et al., 2013). Το προαναφερθέν, ονομάστηκε NOEL6 και για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, απαιτήθηκαν δύο υπερηχητικοί ανιχνευτές – για τον υπολογισμό της μετατόπισης της ελεύθερης επιφάνειας- και οκτώ μετατροπείς πίεσης – για την άσκηση των δυνάμεων στον βυθισμένο κύλινδρο.

Σημαντικό για την εξέλιξη του εργαστηρίου, υπήρξε και το πείραμα που έλαβε χώρα το 2013, καθώς μέσω αυτού πιστοποιήθηκε η δυνατότητα χρήσης του για εφαρμογές παράκτιας μηχανικής. Η πειραματική αυτή διαδικασία, αφορούσε τις κυματικές δυνάμεις που ασκούνται πάνω σε κατακόρυφους κυματοθραύστες σε ρηχά νερά και την θραύση των κυματισμών σε αυτούς. (Arena et al., 2013; Arena et al, 2013; Barbaro & Martino, 2007).

Εκτός από τις πειραματικές διαδικασίες, το εργαστήριο μικρής κλίμακας NOEL, συμμετέχει ενεργά σε διάφορα ερευνητικά έργα, σε συνεργασία με άλλα πανεπιστήμια και οργανισμούς. Παρακάτω, θα αναλυθούν οι ενέργειες αυτές και ο τελικός στόχος, στον οποίο αποβλέπει η ερευνητική ομάδα για το καθένα από αυτά.

Το πρώτο πρόγραμμα, ονομάζεται TEN-T project και γίνεται σε συνεργασία με την Λιμενική Αρχή της Civitavecchia. Η χρηματοδότηση του προέρχεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και η μελέτη αφορά την επίτευξη μιας πιο οικολογικής κινητικότητας εντός του προαναφερθέντος λιμένος. Αυτό θα επιτευχθεί, με την βοήθεια της εφαρμογής της πιλοτικής τεχνολογίας REWEC3 - 2013-IT-92050-S, η οποία ως κύριο στόχο θα έχει την παρακολούθηση των ποσοτήτων των εκπομπών CO₂, ώστε να εκπονηθεί η μελέτη σκοπιμότητας μείωσης τους κατά το δυνατόν περισσότερο. Με γνώμονα αυτό, ένα από τα 17 υδατοστεγή κιβώτια τύπου REWEC3, εξοπλίστηκε με μια τυπική τουρμπίνα Wells. Ο μηχανισμός αυτός, έχει σκοπό να παράγει ηλεκτρική ενέργεια ικανή να καλύψει τις ανάγκες του λιμανιού Civitavecchia με όσο το δυνατόν λιγότερο περιβαλλοντικό κόστος.

Ένα άλλο έργο στο οποίο συμμετείχε η ερευνητική ομάδα του NOEL, που απαρτιζόνταν από τον επικεφαλής του έργου Καθηγητή Felice Arena και τους Paolo Boccotti, Giuseppe Barbaro, Vincenzo Fiamma και Alessandra Romolo, ήταν το "POSEIDONE". Η έρευνα αυτή, έλαβε χρηματοδότηση από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και μέλημά της είναι η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών εντός του αστικού ιστού. Αυτό θα πραγματοποιούνταν μέσω ενός συστήματος που θα απαρτιζόταν από μια τουρμπίνα Wells εγκατεστημένης ισχύος 2kW και ενός κιβωτίου μετατροπής ενέργειας με χρήση του συστήματος στήλης νερού (U-OWC plant). Για τον λόγο αυτό, συντελέστηκε πείραμα μικρής κλίμακας για την απόκριση της κατασκευής σε πραγματικές συνθήκες θαλάσσης.

Μια ακόμη πειραματική διαδικασία που έλαβε χώρα στο εργαστήριο, ήταν το GRE.ENE.LOG. "from GREen-ENERgy to green-LOGistic", η μελέτη του οποίου θα πραγματοποιηθεί για την ιταλική μαρίνα Porto delle Grazie της Roccella Jonica. Το έργο θα διεκπεραιωθεί με οδηγό τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της ιταλικής κυβέρνησης (Εθνικό Γενικό Σχέδιο Ενέργειας), οι οποίοι επιδιώκουν αποτελεσματική μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων και εστιάζουν σε πιο βιώσιμες και περιβαλλοντικά φιλικές ενεργειακές λύσεις. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω ενός συστήματος παραγωγής πράσινης ενέργειας εντός του λιμένος, η χρήση της οποίας θα κινεί ηλεκτρικά οχήματα μεταφοράς ανθρώπων και εμπορευμάτων προς τον αστικό ιστό. Η επιτυχία του πλάνου αυτού, θα επιφέρει ποιοτική αναβάθμιση, οικονομική ενίσχυση και γενικότερα βιώσιμη ανάπτυξη της περιοχής.

Το πρόγραμμα MAPINET- "Marine Renewables Infrastructure Network for Emerging Energy Technologies", διεκπεραιώθηκε σε συνεργασία του NOEL με το ερευνητικό κέντρο TECNALIA στην Ισπανία και αποτελεί πρόγραμμα-πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος του έργου, είναι η εύρεση του ιδανικού συστήματος απολαβής ισχύος (PTO), για την σύνδεση του με υδατοστεγές κιβώτιο REWEC3, το οποίο θα έχει βέλτιστη απόδοση σε διάφορες καταστάσεις κυματισμών.

Το επόμενο ερευνητικό πρόγραμμα που θα αναλυθεί, αποτελεί επίσης πρόγραμμα – πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και έχει τίτλο: MARIE CURIE: Large Multipurpose Platforms for Exploiting Renewable Energy in Open Seas (PLENOSE). Το Πανεπιστήμιο Mediterranea είναι ο επικεφαλής του έργου, με επιβλέποντα καθηγητή τον καθηγητή Felice Arena. Τα συνεργαζόμενα πανεπιστήμια είναι τα εξής: το Instituto Superior Tecnico στην Λισαβόνα με επιστημονικό σύμβουλο τον καθηγητή Carlos Guedes Soares, το Πανεπιστήμιο William Marsh Rice στο Χιούστον με επιστημονικό σύμβουλο τον καθηγητή Pol Spanos, το Πανεπιστήμιο του Λίβερπουλ στο Ηνωμένο Βασίλειο με επιστημονικό σύμβουλο τον καθηγητή Michael Beer, το Πανεπιστήμιο Trustees of Columbia University in City of New York στην Νέα Υόρκη με επιστημονικό σύμβουλο τον καθηγητή George Deodatis και το Ινδικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας στην πόλη Μάδρας (IITM) με επιστημονικό σύμβουλο τον καθηγητή Vallam Sundar. Το πρόγραμμα έχει εκτιμώμενη διάρκεια τα τέσσερα έτη και περιλαμβάνει δύο επιμέρους εργασίες: την δυναμική μοντελοποίηση κυρίως υπό την επίβλεψη του Πανεπιστημίου του Λίβερπουλ και την φυσική μοντελοποίηση, με επιστημονικό σύμβουλο το Πανεπιστήμιο Mediterranea.

Το εργαστήριο Noel, συμμετάσχει επίσης, στο έργο Green ports, το οποίο γίνεται σε συνεργασία με δύο κέντρα: το CNR, ΠΑ (Ινστιτούτο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης) και ISAC (Ινστιτούτο Επιστημών της Ατμόσφαιρας και του Κλίματος) και με εταιρείες με μακροχρόνια εμπειρία στον τομέα της παραγωγής ενέργειας από θαλάσσια κύματα και της διαχείρισης και του ελέγχου των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Το έργο αυτό έχει ως κύριο μέλημα την προώθηση της βιωσιμότητας εντός των λιμένων, καθώς ως επί το πλείστον, ο τρόπος χρήσης τους έχει σοβαρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Ο στόχος αυτός θα επιτευχθεί, μέσω της εισαγωγής της τεχνολογίας REWEC3 (REsonant Wave Energy Converter Realization 3/3) ή U-OWC (U - Oscillating Water Column) , για τη μετατροπή της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική, αφού πρώτα ολοκληρωθεί η μελέτη

σκοπιμότητας του έργου. Οι τεχνολογίες αυτές, θα ενσωματωθούν τόσο σε υφιστάμενες κατασκευές, όσο και σε μελλοντικά λιμενικά έργα.

Το τελευταίο έργο, αφορά υπεράκτιες πλωτές ανεμογεννήτριες και την απόκρισή των στηρίξεων τους υπό κυματική φόρτιση. Στόχος ήταν η ταυτοποίηση της εγκυρότητας των πειραμάτων κλίμακας, ώστε να συνδυαστούν ή και να αντικαταστήσουν τις κλασικές μεθόδους μικρής κλίμακας σε τεχνητές δεξαμενές κύματος ή ωκεάνιες λεκάνες. Για την διεξαγωγή του πειράματος, εδράστηκε στο εργαστήριο NOEL, σε βάθος περίπου επτά μέτρα, πλωτή υπεράκτια ανεμογεννήτρια με σπάθη, φτιαγμένη σε κλίμακα 1:30, σε συνθήκες σταθμευμένου ρότορα. Το βύθισμα της κατασκευής, φτάνει στα τέσσερα μέτρα και έχουν διεξαχθεί μετρήσεις για τις κινήσεις του άκαμπτου σώματος και στους 6 βαθμούς ελευθερίας του, ενώ δρουν σε αυτό διάφορες κυματικές συνθήκες.

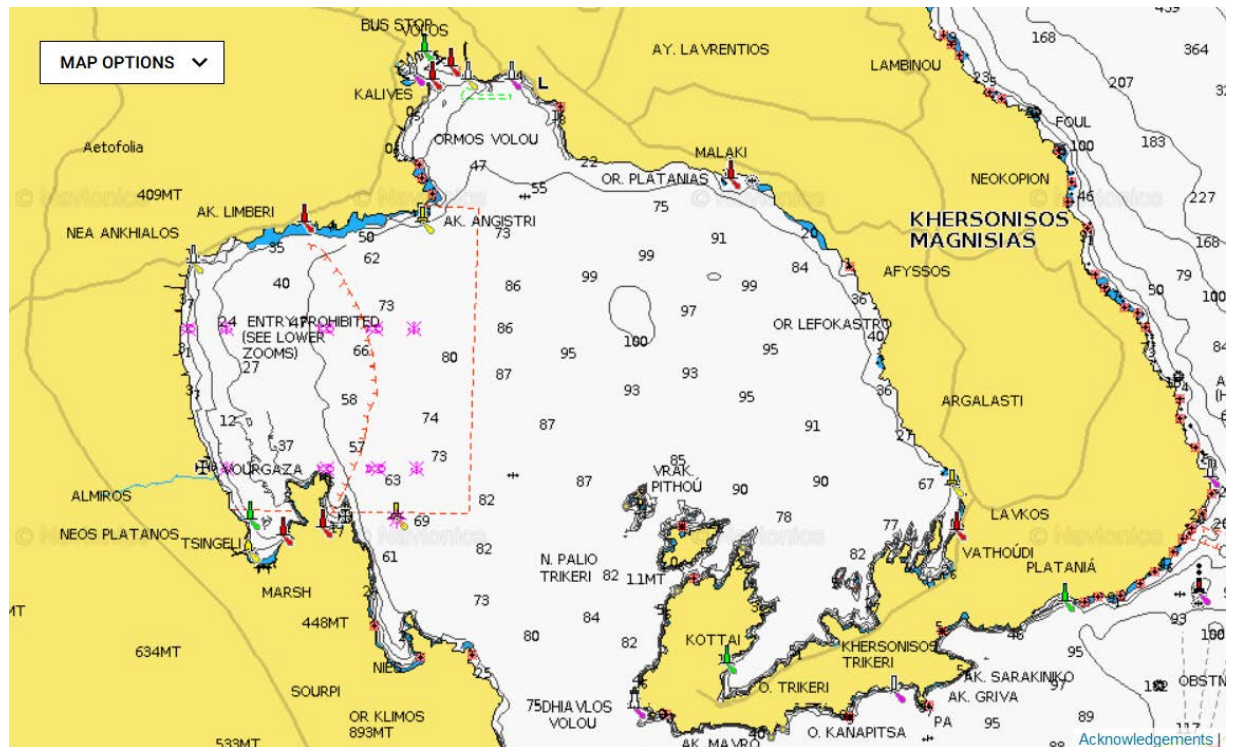
Όπως γίνεται αντιληπτό, το εργαστήριο NOEL, προσφέρει ένα ευρύ φάσμα έρευνας. Υπό την αιγίδα του, μπορούν να διεξαχθούν πειράματα παράκτιας μηχανικής, να γίνουν πειράματα κλίμακας που αφορούν ωκεάνιες καταιγίδες και μελέτη απόκρισης κατασκευών σε αυτές. Επιπλέον, κατέχει ιδιαίτερα ενεργό ρόλο σε μελέτες μείωσης περιβαλλοντικών επιπτώσεων και έρευνες σχετικές με την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Τέλος, ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην ανάπτυξη της βιώσιμης λειτουργίας των λιμένων, οι οποίοι συχνά γίνονται επιβλαβείς για το περιβάλλον.

Κεφάλαιο 4 Οι συνθήκες εντός του Παγασητικού κόλπου και επιλογή βέλτιστης θέσης χωροθέτησης θαλάσσιου εργαστηρίου

4.1 Η πλεονεκτική θέση του Παγασητικού κόλπου και οι συνθήκες που επικρατούν εντός αυτού

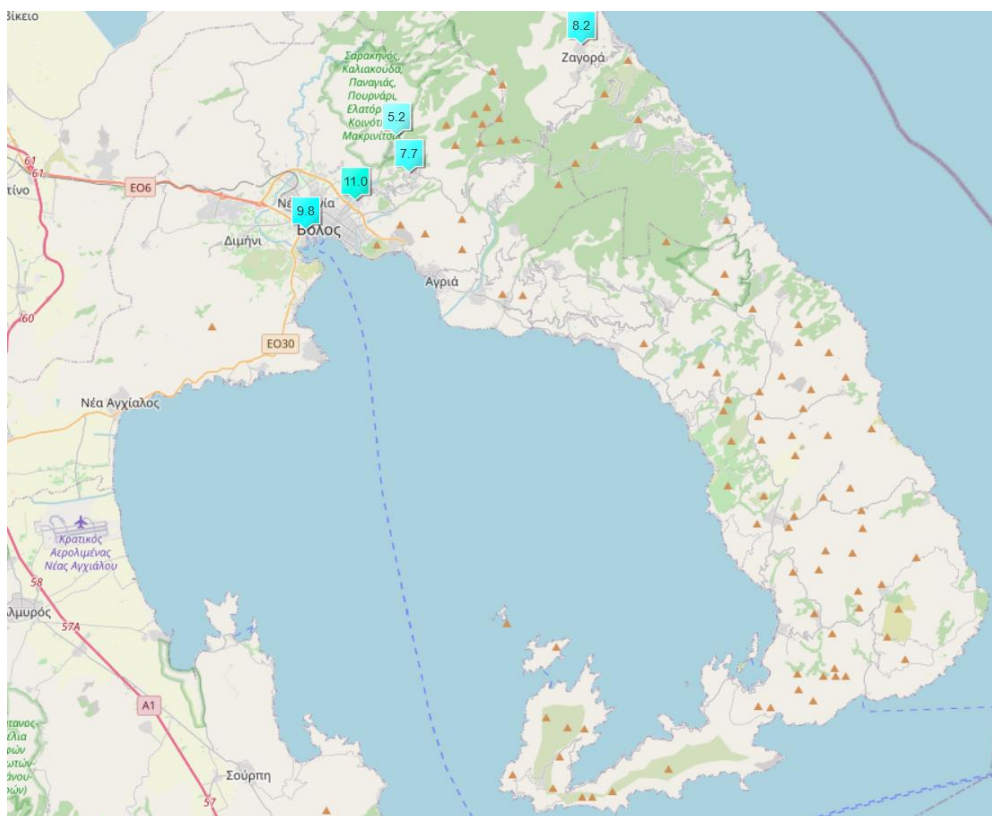
Ο Παγασητικός κόλπος βρίσκεται στο δυτικό Αιγαίο πέλαγος και σχηματίζεται ανάμεσα στην κύρια ελληνική χερσόνησο και την χερσόνησο του Πηλίου. Η είσοδος αυτού, τοποθετείται στα νότια και έχει άνοιγμα μόλις 4 χιλιόμετρα. Ο κόλπος αυτός περιβάλλεται από τέσσερα συνολικά όρη: το Χαλκοδόνιο όρος και τα βουνά Γούρας στα δυτικά, το όρος Όθρυς στα νοτιοδυτικά και το σημαντικότερο όλων, ο εκτεταμένος όγκος του όρους του Πηλίου στα βόρεια και βορειοανατολικά. Ο κόλπος καλύπτει ένα εμβαδόν της τάξης των 550 τετραγωνικών χιλιομέτρων, ενώ ο όγκος του πλησιάζει τα 36 κυβικά χιλιόμετρα. Όσον αφορά το βάθος, το μέγιστο παρουσιάζεται στα ανατολικά του κόλπου και είναι περίπου 101 μέτρα. Το ανάγλυφο του πυθμένα φαίνεται να είναι ιδιαίτερα απότομο, ενώ αντίθετα στο δυτικό και βόρειο τμήμα η κλίση είναι ομαλή.

Όσον αφορά τους ανέμους, αυτοί θα αποτελέσουν πολύ σημαντικό στοιχείο της παρούσας εργασίας, λόγω των ανεμογενών κυματισμών που παράγουν. Έτσι, θα συμβάλλουν σημαντικά στην απόφαση της τελικής περιοχής ενδιαφέροντος, η οποία θα είναι η θέση με τις ευνοϊκότερες κυματικές και ανεμολογικές συνθήκες για τις πειραματικές διαδικασίες. Γενικότερα, στην ευρύτερη περιοχή του Παγασητικού κόλπου κυριαρχούν ως επί το πλείστον νότιοι και νοτιοδυτικοί άνεμοι, ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες. Οι βόρειοι και βορειοδυτικοί άνεμοι δεν έχουν σημαντική επίδραση στην περιοχή, λόγω του ορεινού όγκου του Πηλίου, ο οποίος διακόπτει την πνοή τους.

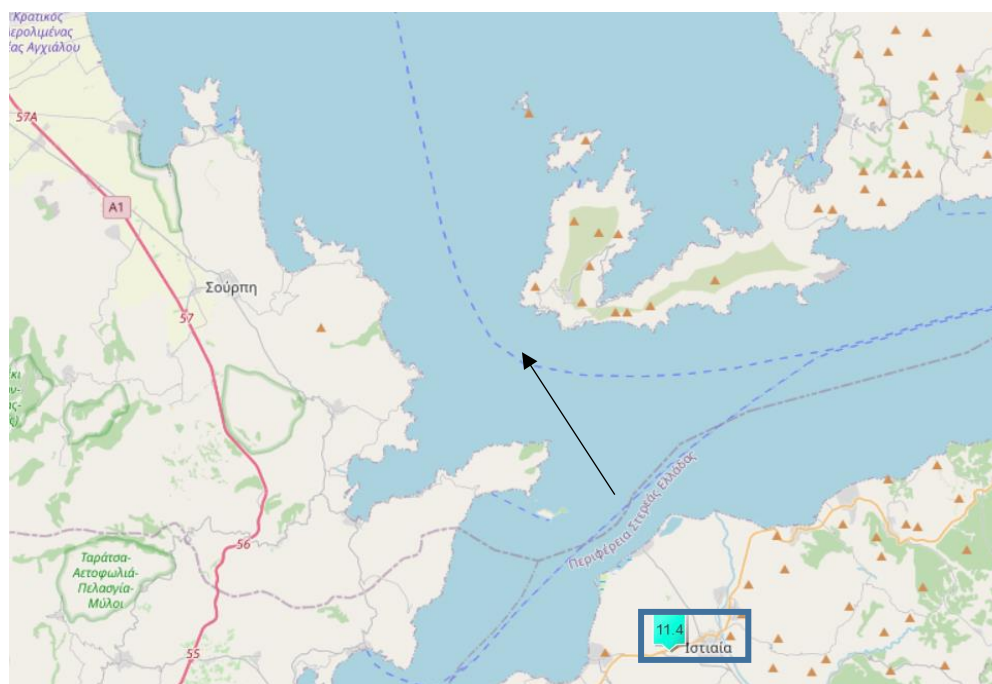


Εικόνα 16: Βαθυμετρία του Παγασητικού κόλπου (Πηγή: Navionics)

Γύρω από τον Παγασητικό κόλπο και στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου, είναι εγκατεστημένοι επτά μετεωρολογικοί σταθμοί. Οι τρεις από αυτούς, βρίσκονται σε χωριά του Πηλίου και πιο συγκεκριμένα, στην Πορταριά, στην Μακρινίτσα και στην Ζαγορά. Επίσης, υπάρχουν δυο σταθμοί κοντά στο κέντρο του Βόλου, εκ των οποίων ο ένας έχει την βάση του στο Τμήμα Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Υπάρχει επιπροσθέτως, και ο μετεωρολογικός σταθμός της Αγχιάλου, ο οποίος όμως δεν βρίσκεται πλέον σε λειτουργία.



Εικόνα 17: Μετεωρολογικοί σταθμοί γύρω από την περιοχή του Παγασητικού κόλπου



Εικόνα 18: Ο μετεωρολογικός σταθμός της Ιστιαίας στην είσοδο του Παγασητικού κόλπου

Τέλος, στο βόρειο κομμάτι του νησιού της Εύβοιας και ειδικότερα, στον Δήμο Ιστιαίας, είναι εγκατεστημένος ο σταθμός των Ωρεών, η θέση του οποίου είναι ιδιαίτερα ευνοϊκή για να περιγράψει την ανεμολογική κατάσταση της θαλάσσιας έκτασης του Παγασητικού κόλπου. Αυτό συμβαίνει, καθώς βρίσκεται ακριβώς απέναντι από την είσοδό του και δεν υπάρχει κανένας ορεινός όγκος που να εμποδίζει την χρήση των μετρήσεων του συγκεκριμένου σταθμού για την προαναφερθείσα περιοχή.

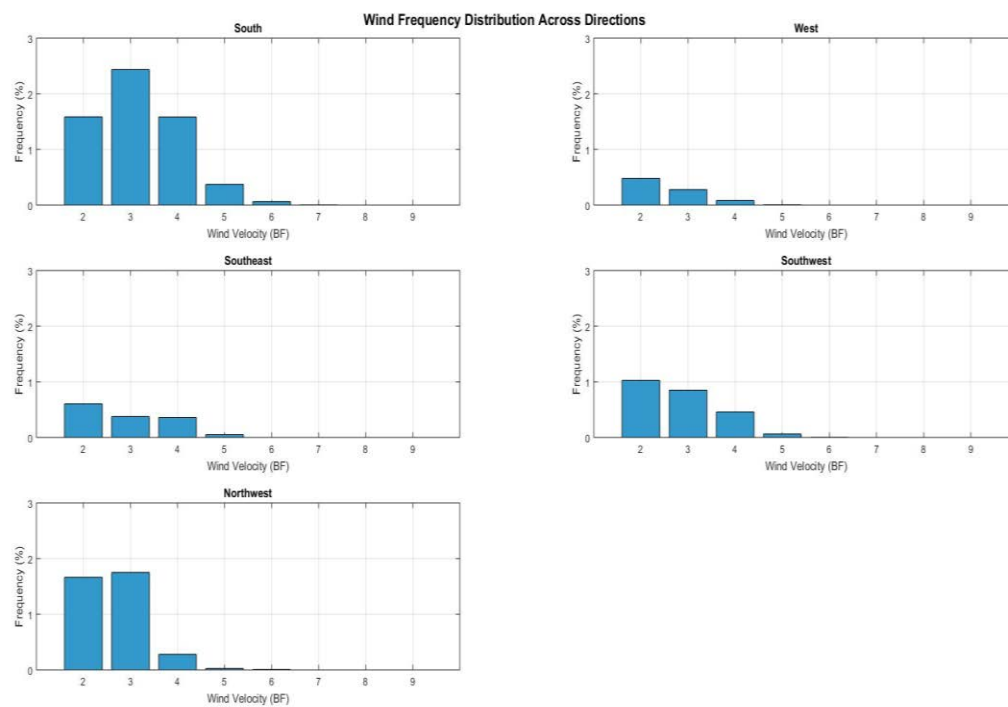
Ακολουθώς, παρατίθενται οι πίνακες με την ποσοστιαία συχνότητα εμφάνισης κάθε διεύθυνσης ανέμου, που αφορά τις τρεις περιοχές μελέτης, από δύο έως εννιά της κλίμακας Beaufort. Τα δεδομένα αυτά έχουν συλλεχθεί από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ), σε μηνιαία βάση και έχουν μετατραπεί καταλλήλως σε ετήσια.

Πίνακας 3: Ποσοστιαία συχνότητας εμφάνισης ανέμων από 2 έως 9 Beaufort, σύμφωνα με το μετεωρολογικό σταθμό Ωρεών (Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)

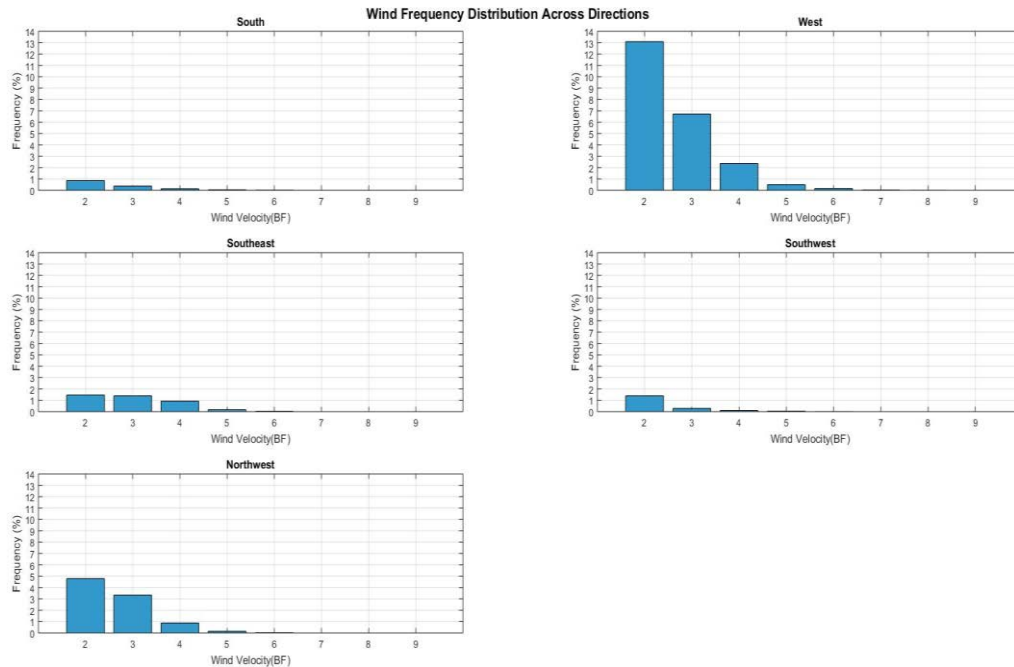
Μετεωρολογικός Σταθμός Ωρεών – Ποσοστιαία συχνότητα εμφάνισης (%)					
	Νότιος	Δυτικός	Νοτιοανατολικός	Νοτιοδυτικός	Βορειοδυτικός
	South	West	South-East	South-West	North-West
2BF	1.585	0.479	0.605	1.026	1.663
3BF	2.436	0.278	0.376	0.850	1.751
4BF	1.582	0.083	0.360	0.458	0.279
5BF	0.371	0.005	0.052	0.063	0.026
6BF	0.063	0.000	0.000	0.004	0.009
7BF	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
8BF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
>=9BF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Πίνακας 4: Ποσοστιαία συχνότητα εμφάνισης ανέμων από 2 έως 9 Beaufort, σύμφωνα με το μετεωρολογικό σταθμό Ωρεών (Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)

Μετεωρολογικός Σταθμός Αγχιάλου – Ποσοστιαία συχνότητα εμφάνισης (%)					
	Νότιος	Δυτικός	Νοτιοανατολικός	Νοτιοδυτικός	Βορειοδυτικός
	South	West	South-East	South-West	North-West
2BF	0.861	13.092	1.459	1.389	4.790
3BF	0.374	6.717	1.388	0.280	3.339
4BF	0.136	2.371	0.928	0.101	0.875
5BF	0.041	0.496	0.171	0.039	0.147
6BF	0.016	0.155	0.034	0.013	0.025
7BF	0.003	0.027	0.004	0.003	0.004
8BF	0.003	0.006	0.000	0.001	0.001
>=9BF	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000



Διάγραμμα 2: Συχνότητες εμφάνισης των σχετικών διευθύνσεων ανέμων, σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό των Ωρεών



Διάγραμμα 3: Συχνότητες εμφάνισης των επιθυμητών διευθύνσεων ανέμων, σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό της Αγκιάλου

4.2 Κριτήρια επιλογής βέλτιστων θέσεων τοποθέτησης εργαστηρίου μικρής κλίμακας

Τα κριτήρια επιλογής της βέλτιστης θέσης τοποθέτησης ενός εργαστηρίου μικρής κλίμακας, είναι αρκετά και πολυδιάστατα, για αυτό και θα αναλυθούν εκτενώς. Αυτό συμβαίνει καθώς η δημιουργία ενός κέντρου έρευνας και καινοτομίας, δεν διέπτετε από αμιγώς επιστημονικά κριτήρια, αλλά και από κοινωνικά, αισθητικά και πρακτικά.

Πρωταρχικό κριτήριο θέσης, θα αποτελέσει η δυναμική των ανέμων στις περιοχές ενδιαφέροντος, καθώς οι ανεμογενείς κυματισμοί είναι ένα από τα βασικότερα σημεία μελέτης. Στην Ελλάδα, πνέουν με μεγαλύτερη συχνότητα βόρειοι και βορειοανατολικοί άνεμοι, οι οποίοι όμως στην περίπτωση του Παγασητικού κόλπου, περιορίζονται από τον ορεινό όγκο του Πηλίου, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Επιπροσθέτως, μείζον κριτήριο, αποτελεί το μήκος αναπτύγματος που θα υπολογιστεί για τις κύριες διευθύνσεις ανέμων των επικρατέστερων περιοχών χωροθέτησης του εργαστηρίου. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος αναπτύγματος, τόσο περισσότερο ανεμπόδιση είναι η ανάπτυξη των κυματισμών και αυτό ενισχύει την δημιουργία συνθηκών πιο κοντά σε αυτές της ανοιχτής θάλασσας. Επιπλέον, θα ήταν επιθυμητή η απουσία παράκτιων τεχνικών έργων, η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει τους κυματισμούς, καθώς αυτοί πλησιάζουν την ακτή. Σημαντική παράμετρος είναι και η απόσταση από τον αστικό ιστό και από τις εγκαταστάσεις των τμημάτων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η περιοχή εδραίωσης του εργαστηρίου μικρής κλίμακας θα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμη, τόσο από το διδακτικό και ερευνητικό προσωπικό, όσο και από τους φοιτητές με ενδιαφέρον γύρω από το αντικείμενο. Επιπλέον, κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη, η ύπαρξη κτιριακών εγκαταστάσεων κοντά στην περιοχή που να μπορούν να διατεθούν, με σκοπό να στεγάσουν γραφεία, αίθουσες διαλέξεων και συνεδριάσεων, χώρους μελέτης των πειραματικών αποτελεσμάτων και οποιαδήποτε άλλη χρήση αποδειχθεί απαραίτητη.

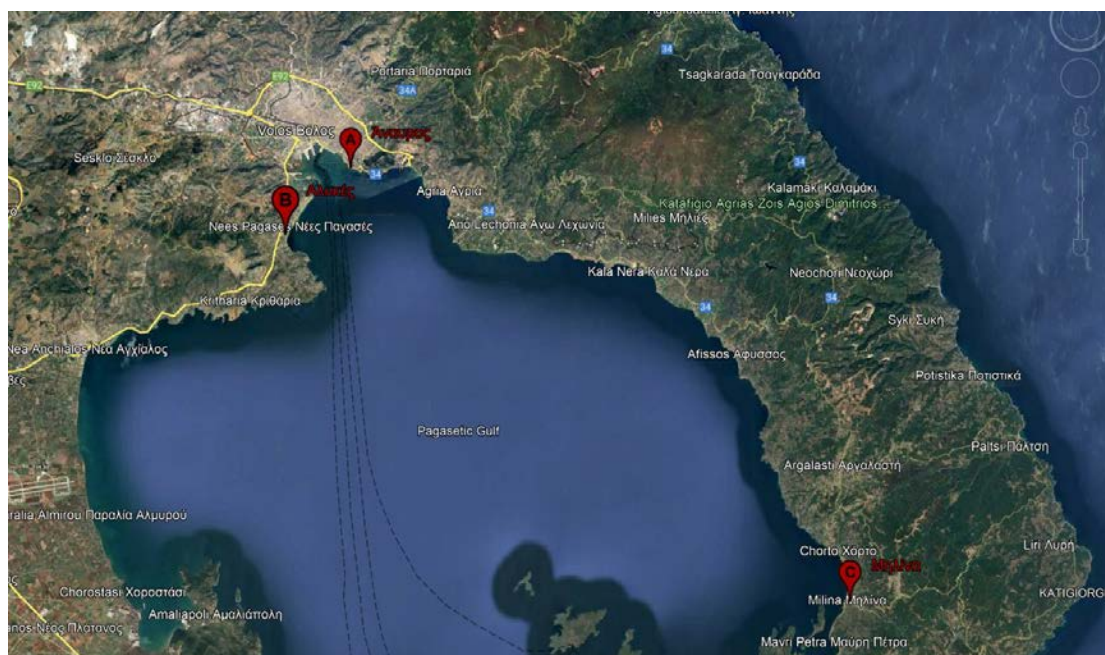
Παρακάτω, έχει οργανωθεί ο Πίνακας 5, μέσω του οποίου παρουσιάζονται τα κυριότερα κριτήρια, και επισημαίνεται η σπουδαιότητα του καθενός από αυτά για την τελική επιλογή θέσης.

Πίνακας 5: Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής περιοχής και η κατάταξη τους ανάλογα με την σπουδαιότητα τους

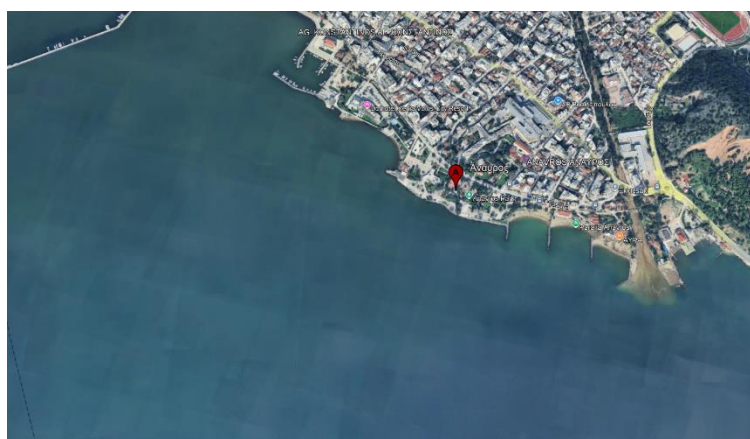
Κύρια Κριτήρια Επιλογής περιοχής	Σπουδαιότητα κριτηρίου
Ανεμολογικές/κυματικές συνθήκες	***
Μήκος αναπτύγματος	**
Εγγύτητα στον αστικό ιστό	**
Προϋπάρχουσα κτιριακή εγκατάσταση	*
Απουσία τεχνικών έργων	*

4.3 Θέσεις που ικανοποιούν έναν συνδυασμό των παραπάνω κριτηρίων

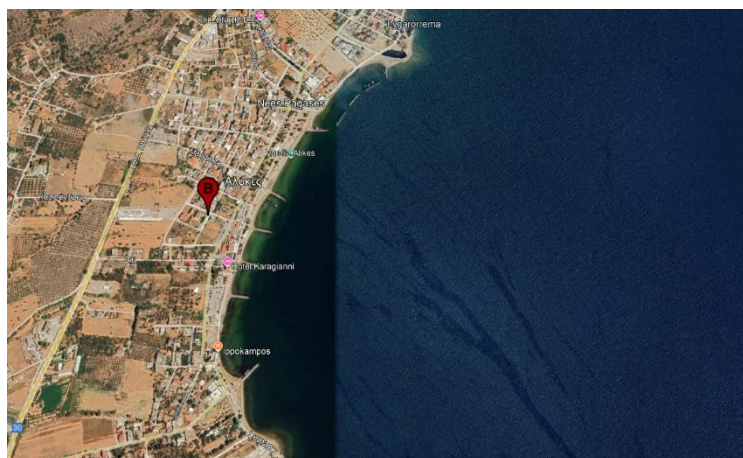
Έχοντας υπόψιν, τα παραπάνω βασικά κριτήρια επιλέχθηκαν τρεις περιοχές μελέτης, που η κάθε μια πληροί κάποια από αυτά. Αυτές είναι οι εξής: ο Άναυρος στα ανατολικά του κόλπου, η Μηλίνα στα νοτιοανατολικά και η παραλία των Αλυκών στα βορειοδυτικά του Παγασητικού κόλπου. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η περιοχή από την Άφησσο έως και την Μηλίνα, αποτελείται από μικρά χωριά, αρκετά δυσπρόσιτα, έχοντας ως σημείο αναφοράς το κέντρο του Βόλου, με αποτέλεσμα να απορριφθούν. Αντίστοιχοι είναι οι λόγοι που απορρίφθηκε εξαρχής και το δυτικό κομμάτι του κόλπου. Ακολούθως, θα αναλυθούν διεξοδικά οι περιοχές αυτές, σύμφωνα και με τα προαναφερθέντα κριτήρια.



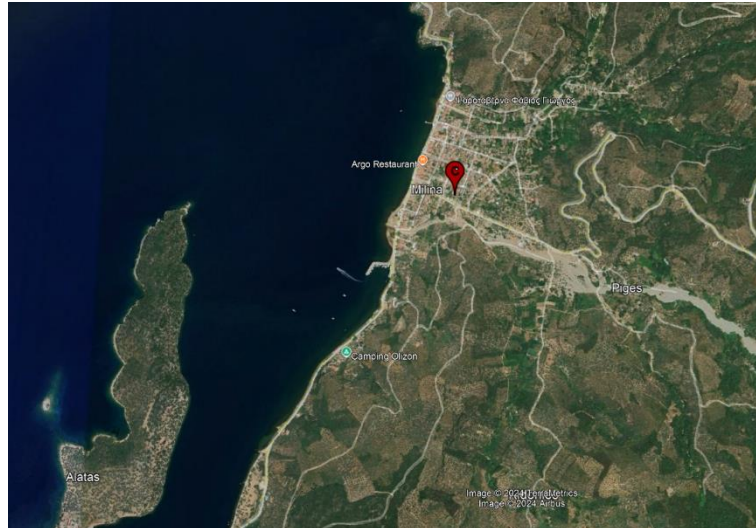
Εικόνα 19: Οι τρεις πιθανές περιοχές



Εικόνα 20: Η περιοχή του Αναύρου



Εικόνα 21: Η περιοχή των Αλυκών



Εικόνα 22: Η περιοχή της Μηλίνας

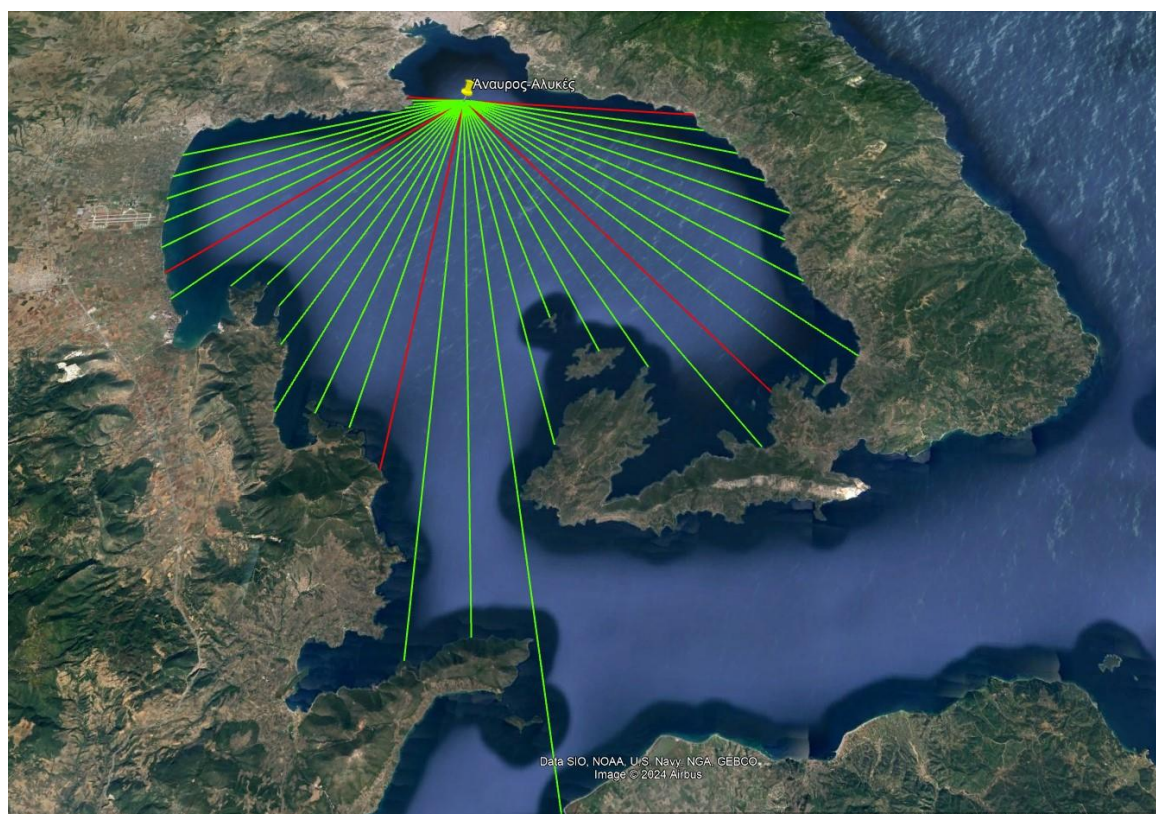
4.4 Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος των περιοχών ενδιαφέροντος

Για τον υπολογισμό των μηκών αναπτύγματος των κυματισμών, για τις τρεις περιοχές μελέτης, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Google Earth Pro. Σε αυτό σχεδιάστηκε ο τομέας σχηματισμού ανεμογενών κυματισμών και έπειτα με κατάλληλη επεξεργασία και υπολογισμούς σε φύλλο Excel, εξήχθησαν τα τελικά μήκη αναπτύγματος για κάθε κύρια διεύθυνση ανέμου. Για τον Άναυρο και τις Αλυκές οι κύριες διευθύνσεις ανέμων είναι ο νοτιοανατολικός, ο νότιος και ο νοτιοδυτικός, ενώ για την Μηλίνα είναι ο νοτιοδυτικός, βορειοδυτικός και ο δυτικός και ο σχεδιασμός των τομέων έγινε ανά 45 μοίρες εκατέρωθεν των κύριων διευθύνσεων των ανέμων για κάθε περιοχή.

Το μήκος αναπτύγματος υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$F_{eff} = \frac{\sum_i F_i \cos^2 a_i}{\sum_i \cos a_i} \quad (4.1)$$

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι τομείς σχηματισμού των κυματισμών και ο αναλυτικός πίνακας των υπολογισμών.



Εικόνα 23: Βεντάλια υπολογισμού μηκών αναπτύγματος για τις περιοχές του Αναύρου και των Αλυκών

Πίνακας 6: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στις περιοχές των Αλυκών και του Αναύρου για νοτιοανατολικό άνεμο

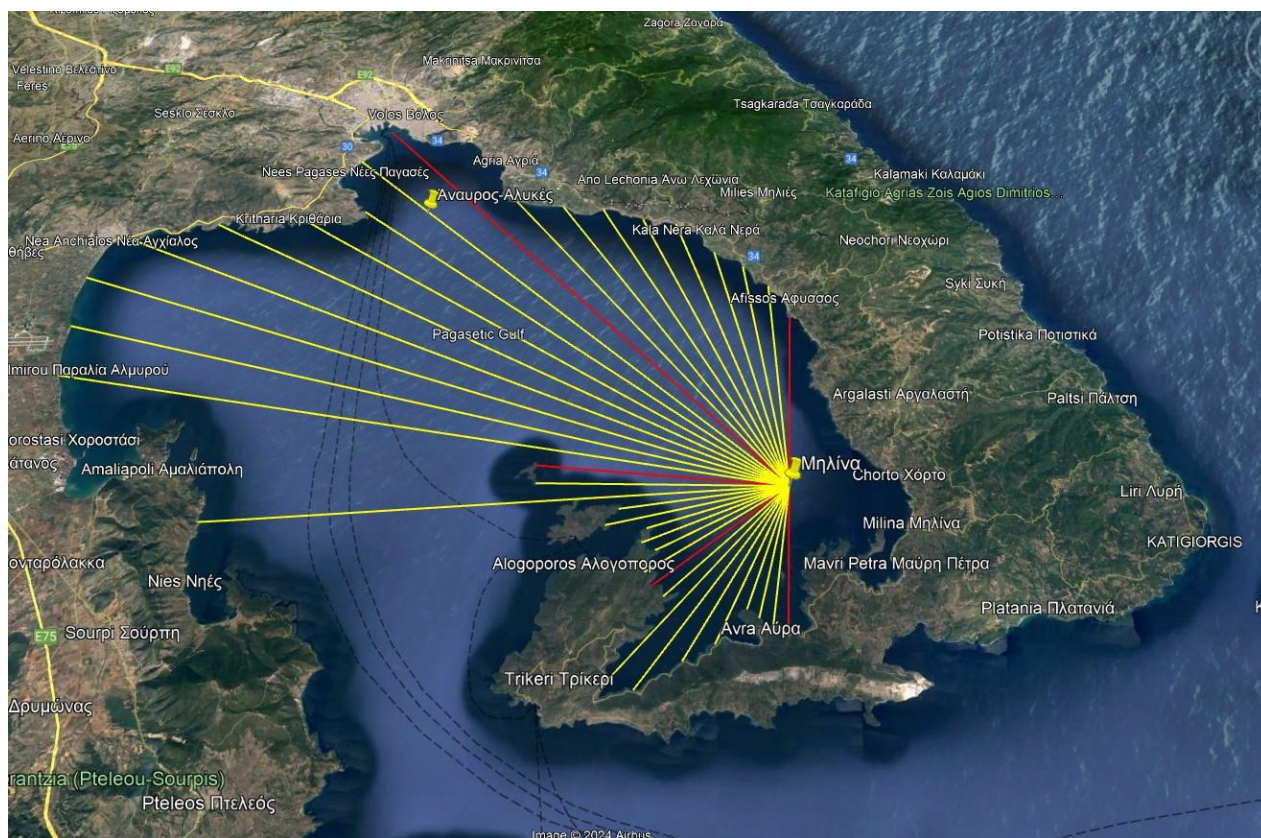
Αναυρος - Αλυκές				
Fi	α			$rads$
24021	0	24021.00	1	0
25969	-5	25771.74	0.996195	-0.08727
19682	-10	19088.52	0.984808	-0.17453
17856	-15	16659.87	0.965926	-0.2618
15142	-20	13370.72	0.939693	-0.34907
21862	-25	17957.31	0.906308	-0.43633
38493	-30	28869.75	0.866025	-0.5236
30126	-35	20214.85	0.819152	-0.61087
30954	-40	18164.55	0.766044	-0.69813
25414	5	25220.95	0.996195	0.087266
25650	10	24876.56	0.984808	0.174533
21224	15	19802.26	0.965926	0.261799
19200	20	16954.03	0.939693	0.349066
18714	25	15371.56	0.906308	0.436332
16808	30	12606.00	0.866025	0.523599
14850	35	9964.50	0.819152	0.610865
12669	40	7434.47	0.766044	0.698132
$F_{eff(Νοτιοανατολικός)}$ = 20425.006m				

Πίνακας 7: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στις περιοχές των Αλυκών και του Αναύρου για νότιο άνεμο

Άναυρος - Αλυκές				
Fi	α			rads
22426	0	22426.00	1	0
20508	-5	20352.22	0.996194698	-0.0872665
20148	-10	19540.46	0.984807753	-0.1745329
20614	-15	19233.12	0.965925826	-0.2617994
17362	-20	15331.03	0.939692621	-0.3490659
15586	-25	12802.24	0.906307787	-0.4363323
14913	-30	11184.75	0.866025404	-0.5235988
16066	-35	10780.45	0.819152044	-0.6108652
18473	-40	10840.40	0.766044443	-0.6981317
30954	5	30718.87	0.996194698	0.08726646
30126	10	29217.59	0.984807753	0.17453293
38493	15	35914.46	0.965925826	0.26179939
21862	20	19304.63	0.939692621	0.34906585
15142	25	12437.54	0.906307787	0.43633231
17856	30	13392.00	0.866025404	0.52359878
19682	35	13206.82	0.819152044	0.61086524
25969	40	15239.23	0.766044443	0.6981317
$F_{\text{eff(Νότιος)}} = 20139.189\text{m}$				

Πίνακας 8: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στις περιοχές των Αλυκών και του Αναύρου για νοτιοδυτικό άνεμο

Αναυρος - Αλυκές				
Fi	α			rads
17853	0	17853.00	1	0
17313	-5	17181.49	0.996195	-0.08727
16630	-10	16128.54	0.984808	-0.17453
16075	-15	14998.18	0.965926	-0.2618
15556	-20	13736.29	0.939693	-0.34907
14898	-25	12237.12	0.906308	-0.43633
3196	-30	2397.00	0.866025	-0.5236
2704	-35	1814.41	0.819152	-0.61087
2828	-40	1659.54	0.766044	-0.69813
18473	5	18332.68	0.996195	0.087266
16066	10	15581.55	0.984808	0.174533
14913	15	13914.02	0.965926	0.261799
15586	20	13762.78	0.939693	0.349066
17362	25	14261.04	0.906308	0.436332
20614	30	15460.50	0.866025	0.523599
20148	35	13519.51	0.819152	0.610865
20508	40	12034.59	0.766044	0.698132
$F_{\text{eff(Νοτιοδυτικός)}} =$ 13873.2m				



Εικόνα 24: Βεντάλια υπολογισμού μηκών αναπτύγματος για τις περιοχές του Αναύρου και των Αλυκών

Πίνακας 9: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στην περιοχή της Μηλίνας για νοτιοδυτικό άνεμο

Μηλίνα				
Fi	α			<i>rads</i>
7102	0	7102.00	1	0
6870	-5	6817.81	0.996195	-0.08727
6004	-10	5822.96	0.984808	-0.17453
6316	-15	5892.91	0.965926	-0.2618
5876	-20	5188.64	0.939693	-0.34907
7321	-25	6013.42	0.906308	-0.43633
6648	-30	4986.00	0.866025	-0.5236
22446	-35	15061.49	0.819152	-0.61087
9743	-40	5717.43	0.766044	-0.69813
7015	5	6961.71	0.996195	0.087266
10907	10	10578.11	0.984808	0.174533
10584	15	9875.01	0.965926	0.261799
8698	20	7680.53	0.939693	0.349066
7572	25	6219.59	0.906308	0.436332
5783	30	4337.25	0.866025	0.523599
6000	35	4026.06	0.819152	0.610865
6243	40	3663.54	0.766044	0.698132
$F_{\text{eff(Νοτιοδυτικός)}} = 7485.9385\text{m}$				

Πίνακας 10: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στην περιοχή της Μηλίνας για βορειοδυτικό άνεμο

Μηλίνα				
Fi	α			<i>rads</i>
27044	0	27044.00	1	0
19414	-5	19266.53	0.996195	-0.08727
17981	-10	17438.81	0.984808	-0.17453
16982	-15	15844.42	0.965926	-0.2618
15695	-20	13859.03	0.939693	-0.34907
14989	-25	12311.87	0.906308	-0.43633
12889	-30	9666.75	0.866025	-0.5236
11854	-35	7954.15	0.819152	-0.61087
10607	-40	6224.44	0.766044	-0.69813
26251	5	26051.59	0.996195	0.087266
23498	10	22789.45	0.984808	0.174533
24973	15	23300.13	0.965926	0.261799
28352	20	25035.45	0.939693	0.349066
31000	25	25463.21	0.906308	0.436332
31596	30	23697.00	0.866025	0.523599
30677	35	20584.58	0.819152	0.610865
29864	40	17524.91	0.766044	0.698132
$F_{\text{eff(Βορειοδυτικός)}} =$ 20277m				

Πίνακας 11: Υπολογισμός μήκους αναπτύγματος στην περιοχή της Μηλίνας για δυτικό άνεμο

Μηλίνα				
Fi	α			rads
9823	0	9823.00	1	0
29864	-5	29637.15	0.996195	-0.08727
30677	-10	29751.98	0.984808	-0.17453
31596	-15	29479.47	0.965926	-0.2618
31000	-20	27373.69	0.939693	-0.34907
28352	-25	23288.16	0.906308	-0.43633
24973	-30	18729.75	0.866025	-0.5236
23498	-35	15767.39	0.819152	-0.61087
26251	-40	15404.72	0.766044	-0.69813
9743	5	9668.99	0.996195	0.087266
22446	10	21769.17	0.984808	0.174533
6648	15	6202.67	0.965926	0.261799
7321	20	6464.61	0.939693	0.349066
5876	25	4826.51	0.906308	0.436332
6316	30	4737.00	0.866025	0.523599
6004	35	4028.74	0.819152	0.610865
6870	40	4031.48	0.766044	0.698132
$F_{\text{eff}}(\text{Δυτικός}) =$ 16850.43m				

Παρατηρείται ότι, το μήκος αναπτύγματος που υπολογίστηκε για τις περιοχές του Αναύρου και των Αλυκών είναι σημαντικά μεγαλύτερο για τον νοτιοδυτικό άνεμο, σε σχέση με αυτό στην Μηλίνα. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό των Ωρεών, ο οποίος έχει επιλεγεί ως ο καταλληλότερος, μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης παρουσιάζει ο νότιος και ο βορειοδυτικός άνεμος. Ο βορειοδυτικός άνεμος όμως, που φαίνεται να δίνει μεγάλο μήκος αναπτύγματος για την Μηλίνα, έχει αναφερθεί και προηγουμένως ότι η πνοή του παρεμποδίζεται από τον εκτεταμένο όγκο του Πηλίου. Από την άλλη πλευρά, ο νότιος παρουσιάζει μεγάλη συχνότητα εμφάνισης, ενώ ταυτόχρονα φαίνεται να παράγει και σημαντικά μήκη αναπτύγματος για τις δύο άλλες περιοχές μελέτης. Επομένως, όσον αφορά το μήκος αναπτύγματος, υπερσχύουν οι περιοχές του Αναύρου και των Αλυκών.

4.5 Υπολογισμός σημαντικού ύψους κύματος και περιόδου επαναφοράς στο λογισμικό Matlab, για τις τρεις περιοχές ενδιαφέροντος

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των σημαντικών μεγεθών του κυματισμού, είναι η πρόγνωση κυματισμών μέσω ενεργειακών φασμάτων. Έχοντας ως δεδομένα από τους προηγούμενους υπολογισμούς τα μήκη αναπτύγματος και αφού υπολογίστηκαν οι ταχύτητες ανέμου για Beaufort από 2 έως 9 μέσω των τύπων που παρατίθενται ακολούθως, έγινε ο έλεγχος για την ικανοποίηση του ενεργειακού φάσματος Pierson-Moskowitz μέσω της παρακάτω ανίσωσης:

$$\text{Έλεγχος: } \frac{(g \cdot F)}{Ua^2} \geq 22.8 * 10^3 \quad (4.2)$$

$$\text{όπου, } U = 1.87 * B^{\frac{3}{2}} \text{ και } Ua = 0.7 * U^{1.23}$$

Πίνακας 12: Ταχύτητες ανέμου από 2 έως 9 Beaufort

Ταχύτητα ανέμου (Beaufort)	Ταχύτητα U_a (m/s)
2	2.031605
3	4.292672
4	7.298602
5	11.016374
6	15.421552
7	20.494858
8	26.220445
9	32.584905

Η σχέση δεν ικανοποιήθηκε, οπότε η συγκεκριμένη μέθοδος απορρίφθηκε. Ο επόμενος έλεγχος που πραγματοποιήθηκε αφορά το ενεργειακό φάσμα JONSWAP, το οποίο ισχύει στην δεδομένη περίπτωση, λόγω της αρχικής θεώρησης ότι η διάρκεια πνοής του ανέμου t_D τείνει στο άπειρο. Επομένως έχουμε ανάπτυξη κυματισμών σε συνθήκες περιορισμένου μήκους. Η ανίσωση που αν ικανοποιείται ισχύει το ενεργειακό φάσμα JONSWAP είναι η ακόλουθη:

$$\text{Έλεγχος: } \frac{(g*t_D)}{Ua^2} > 68.8 * \left(\frac{(g*F)}{Ua^2} \right)^{0.66} \quad (4.3)$$

Κάνοντας λοιπόν χρήση των τύπων του προαναφερθέντος φάσματος, προέκυψαν τα σημαντικά μεγέθη των κυματισμών στα βαθιά από 2 έως 7 της κλίμακας Beaufort – καθώς αυτές οι ταχύτητες ανέμων παρουσιάζουν σημαντικές συχνότητες εμφάνισης - (Εξίσωση 4.4), (Εξίσωση 4.5) για τις τρεις επιθυμητές περιοχές και παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

$$\frac{(g*Hs)}{Ua^2} = 0.0016 * \left(\frac{(g*x)}{Ua^2} \right)^{0.5} \quad (4.4)$$

$$\frac{(g*Tp)}{Ua^2} = 0.286 * \left(\frac{(g*x)}{Ua^2} \right)^{0.33} \quad (4.5)$$

Πίνακας 13: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος και περιόδου κορυφής στα βαθιά για 2 έως 7 Beaufort για τις περιοχές του Αναύρου και των Αλυκών

Αναυρος - Αλυκές						
Νότιος Άνεμος			Νοτιοδυτικός Άνεμος		Νοτιοανατολικός Άνεμος	
Ταχύτητα Ανέμου (Beaufort)	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)
2	0.147281	2.07466	0.12224	1.834558	0.148322	2.084331
3	0.311196	2.67553	0.258286	2.365884	0.313397	2.687997
4	0.52911	3.20467	0.439151	2.83379	0.532852	3.219607
5	0.798629	3.68617	0.662847	3.259565	0.804278	3.703351
6	1.117981	4.13281	0.927904	3.654518	1.12589	4.152076
7	1.485769	4.55241	1.233161	4.025554	1.496278	4.573629

Πίνακας 14: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος και περιόδου κορυφής στα βαθιά για 2 έως 7 Beaufort για την περιοχή της Μηλίνας

Μηλίνα						
Νοτιοδυτικός Άνεμος			Βορειοδυτικός Άνεμος		Δυτικός Άνεμος	
Ταχύτητα Ανέμου (Beaufort)	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)
2	0.089794	1.49663	0.147784	2.079335	0.134719	1.956117
3	0.18973	1.930085	0.312259	2.681553	0.284655	2.522649
4	0.322588	2.311802	0.530918	3.211889	0.483984	3.021558
5	0.48691	2.659148	0.801359	3.694473	0.730518	3.475545
6	0.681613	2.981351	1.121803	4.142123	1.022634	3.896668
7	0.905846	3.284041	1.490847	4.562665	1.359054	4.292289

Έχοντας πλέον υπολογίσει τα σημαντικά μεγέθη των κυματισμών για τα βαθιά νερά, ακολούθησε ο υπολογισμός για τα ρηχά νερά. Τα αποτελέσματα εξήχθησαν από κώδικα στο λογισμικό του Matlab με χρήση του κριτηρίου θραύσης του Goda, το οποίο είναι το εξής (Εξίσωση 4.6):

$$\frac{H_b}{h_b} = \frac{0.17}{h_b/L_o} [1 - \exp[-1.5\pi * h_b/L_o * (1 + 15^{4/3})]] \quad (4.6)$$

Το κριτήριο θραύσης του Goda, επιλέχθηκε έναντι αυτού του Miche (Εξίσωση 4.7), καθώς λαμβάνει υπόψιν και την κλίση του πυθμένα της περιοχής.

$$\frac{H}{2} * k = 0.142\pi * \tanh(kd) \quad (4.7)$$

Επιπροσθέτως, το κριτήριο του Goda είναι μεταγενέστερο σε σχέση με αυτό του Miche, επομένως αναμένεται να δίνει ορθότερα αποτελέσματα και πιο κοντά στην πραγματικότητα.

Για τους υπολογισμούς, χρειάστηκαν ορισμένα δεδομένα εισόδου, τα οποία είναι το σημαντικό ύψος κύματος και η περίοδος κορυφής στα βαθιά – τα οποία υπάρχουν σε προηγούμενους πίνακες- και η κλίση του πυθμένα στην περιοχή. Παρακάτω, παρατίθεται σχετικός πίνακας με τις τιμές των κλίσεων και τα σημαντικά ύψη κύματος στα ρηχά νερά για κάθε μια από τις τρεις περιοχές, που υπολογίστηκαν με στοιχεία που εξήχθησαν από το Google Earth.

Πίνακας 15: Τιμές κλίσης πυθμένα κοντά στην ακτή, για τον Άναυρο, τις Αλυκές και την Μηλίνα

	Άναυρος	Αλυκές	Μηλίνα
Κλίση κοντά στην ακτή	0.07308	0.03696	0.08962

Πίνακας 16: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος στο βάθος θραύσης για τρεις διευθύνσεις ανέμων και Beaufort από 2 έως 7, για την περιοχή του Αναύρου

Αναυρος			
	Νότιος Άνεμος	Νοτιοδυτικός Άνεμος	Νοτιοανατολικός Άνεμος
Ταχύτητα Ανέμου (Beaufort)	Σημαντικό Ύψος Θραύσης (m)	Σημαντικό Ύψος Θραύσης (m)	Σημαντικό Ύψος Θραύσης (m)
2	0.1077	0.0895	0.1084
3	0.2287	0.1902	0.2304
4	0.3908	0.325	0.3936
5	0.5926	0.493	0.5968
6	0.8332	0.6934	0.839
7	1.1118	0.9255	1.1196

Πίνακας 17: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος στο βάθος θραύσης για τρεις διευθύνσεις ανέμων και Beaufort από 2 έως 7, για την περιοχή των Αλυκών

Αλυκές			
	Νότιος Άνεμος	Νοτιοδυτικός Άνεμος	Νοτιοανατολικός Άνεμος
Ταχύτητα Ανέμου (Beaufort)	Σημαντικό Ύψος Θραύσης (m)	Σημαντικό Ύψος Θραύσης (m)	Σημαντικό Ύψος Θραύσης (m)
2	0.1278	0.1062	0.1287
3	0.2708	0.225	0.2727
4	0.4616	0.3835	0.4648
5	0.6983	0.5802	0.7032
6	0.9795	0.8141	0.9864
7	1.3044	1.0842	1.3136

Πίνακας 18: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος στο βάθος θραύσης για τρεις διευθύνσεις ανέμων και Beaufort από 2 έως 7, για την περιοχή της Μηλίνας

Μηλίνα			
	Νοτιοδυτικός Άνεμος	Βορειοδυτικός Άνεμος	Δυτικός Άνεμος
Ταχύτητα Ανέμου (Beaufort)	Σημαντικό Ύψος Θραύσης (m)	Σημαντικό Ύψος Θραύσης (m)	Σημαντικό Ύψος Θραύσης (m)
2	0.0611	0.1001	0.0913
3	0.1301	0.2129	0.1942
4	0.2227	0.3641	0.3323
5	0.3384	0.5525	0.5044
6	0.4767	0.7775	0.7098
7	0.6373	1.0383	0.9482

Όσον αφορά τα σημαντικά ύψη κύματος, προέκυψαν επίσης, μεγαλύτερα για τις περιοχές του Αναύρου και των Αλυκών, σε σύγκριση με την Μηλίνα. Ανάμεσα, στις περιοχές του Αναύρου και των Αλυκών, μεγαλύτερες τιμές εμφανίζουν οι Αλυκές, αλλά όχι με πολύ σημαντική διαφορά.

4.6 Επιπρόσθετα κριτήρια σύγκρισης και τελική περιοχή μελέτης

Έχοντας ως γνώμονα, τις βαθυμετρίες των τριών περιοχών, η βαθυμετρία των Αλυκών και της Μηλίνας παρουσιάζουν πιο ομαλή μεταβολή, άρα πιθανότατα και οι κλίσεις του πυθμένα θα είναι βαθμιαίες και όχι ιδιαίτερα έντονες. Αυτό είναι αρκετά θετικό, καθώς θα είναι πιο εύκολη η εγκατάσταση και συντήρηση του εξοπλισμού του εργαστηρίου. Ο Άναυρος, φαίνεται να παρουσιάζει πιο πυκνή βαθυμετρία, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η περιοχή είναι απαγορευτική.



Εικόνα 25: Βαθυμετρία Αναύρου (Πηγή: Navionics – Google Earth)



Εικόνα 26: Βαθυμετρία Μηλίνας (Πηγή: Navionics– Google Earth)



Εικόνα 27: Βαθυμετρία Αλκυόν (Πηγή: Navionics– Google Earth)

Επιπροσθέτως, η ύπαρξη τεχνικών έργων κατά μήκος όλης της ακτογραμμής της παραλίας των Αλκυόν, είναι ιδιαίτερα αποτρεπτική, καθώς αυτά θα επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Επίσης, η περιοχή της Μηλίνας και των Αλκυόν, αποτελούν μέρη με έντονη παρουσία λουόμενων και τουριστών κατά την θερινή περίοδο. Κατά συνέπεια, οι συσκευές και οι μετρητές μπορεί να δημιουργήσουν οπτική όχληση στην περιοχή. Σημαντικό κρίνεται να σημειωθεί ότι, η περιοχή του Αναύρου, δεν έχει έντονη στερεομεταφορά, εξαιτίας της μορφολογίας της περιοχής και της γεωγραφικής της θέσης. Αυτό σημαίνει πως δεν υπάρχουν ουσιαστικές μεταβολές στον πυθμένα, οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν δυσκολίες στην εγκατάσταση και την συντήρηση του εξοπλισμού. Συμπερασματικά, φαίνεται ο Άναυρος να είναι η επικρατέστερη περιοχή, καθώς οι κυματικές συνθήκες γύρω από αυτόν είναι ευνοϊκές και βρίσκεται σε πολύ προσιτή περιοχή όσον αφορά το κέντρο του Βόλου και το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Επίσης, διαθέτει δημόσιες κτηριακές δομές, που θα μπορούσαν να διατεθούν, ώστε να στεγάσουν τις εγκαταστάσεις και τα γραφεία του θαλάσσιου εργαστηρίου και τέλος απουσιάζουν τα τεχνικά έργα.

Ακολούθως, παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας των σημαντικότερων κριτηρίων τοποθέτησης υδραυλικού εργαστηρίου (Πίνακας 19), καθώς και ποια από αυτά πληρούνται για κάθε περιοχή.

Πίνακας 19: Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής της βέλτιστης περιοχής και η σπουδαιότητα του καθενός από αυτά

Κριτήρια Επιλογής περιοχής	Σπουδαιότητα κριτηρίου	Περιοχές μελέτης		
		Άναυρος	Αλυκές	Μηλίνα
Ανεμολογικές/κυματικές συνθήκες	***	Ναι	Ναι	Όχι
Μήκος αναπτύγματος	**	Ναι	Ναι	Όχι
Εγγύτητα στον αστικό ιστό	**	Ναι	Όχι	Όχι
Προϋπάρχουσα κτιριακή εγκατάσταση	*	Ναι	Όχι	Όχι
Απουσία τεχνικών έργων	*	Ναι	Όχι	Ναι

Μέσω του Πίνακα 19, προκύπτει το τελικό συμπέρασμα ότι η τελική θέση τοποθέτησης του εργαστηρίου, είναι η περιοχή του Αναύρου, η οποία φαίνεται να πληροί σε ικανοποιητικό βαθμό όλα τα κριτήρια.

Έχοντας πλέον ορίσει την τελική περιοχή μελέτης, θα πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί και προσομοιώσεις στο λογισμικό MIKE 21, ώστε να αξιολογηθεί περεταίρω η καταλληλότητα της περιοχής για την εγκατάσταση εργαστηρίου μικρής κλίμακας και να εξαχθούν τα απαραίτητα συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 5 Το λογισμικό MIKE 21 και το μοντέλο προσομοίωσης

5.1 MIKE 21-Εισαγωγή

Το λογισμικό MIKE 21 αναπτύχθηκε και υποστηρίζεται από την εταιρεία Danish Hydraulic Institute (DHI) με κύρια έδρα την Δανία και υποστήριξη από το ομώνυμο Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας. Το λογισμικό αυτό, αφορά μια πληθώρα κλάδων, που έχουν ως κύρια ενασχόλησή τους τα υδάτινα περιβάλλοντα και οικοσυστήματα, όπως θάλασσες, ποτάμια, λίμνες και παράκτιες περιοχές. Η κύρια χρήση του, σχετίζεται με την δισδιάστατη αριθμητική προσομοίωση υδροδυναμικών μοντέλων, στα προαναφερθέντα περιβάλλοντα.

5.2 Δυνατότητες και εφαρμογές MIKE 21

Το παρόν λογισμικό, περιλαμβάνει ένα σύνολο εργαλείων με πολυδιάστατες δυνατότητες. Πρωταρχική χρήση του είναι η υδροδυναμική προσομοίωση πεδίων ροής με στόχο την παρακολούθηση στις αυξομειώσεις της στάθμης και γίνεται με το εργαλείο Hydrodynamic Module. Σημαντική δυνατότητα του είναι επιπροσθέτως, η προσομοίωση της βαθυμετρίας μιας περιοχής μελέτης, με μεγάλη ακρίβεια. Όσον αφορά την μοντελοποίηση κυματισμών, διαθέτει το μέσον Wave Model, το οποίο είναι ικανό να δώσει αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας για την κίνηση των κυματισμών, την διάθλαση και την διάχυση τους στο υδάτινο περιβάλλον, αλλά και τις επιδράσεις που προκαλεί η παλίρροια. Ταυτόχρονα, μπορεί να γίνει και υπολογισμός διάβρωσης μιας παράκτιας ζώνης και μελέτη εναπόθεσης των μεταφερόμενων ιζημάτων σε αυτήν, μέσω του Sediment Transport. Πολύ σημαντική κρίνεται επίσης, η ύπαρξη του εργαλείου Water Quality Module, το οποίο έχει την δυνατότητα να εξετάζει την διάχυση ρύπων και ουσιών που καταλήγουν, λόγω διάφορων ανθρωπογενών και περιβαλλοντικών διεργασιών, στα υδάτινα περιβάλλοντα. Επιπλέον, το προαναφερθέν εργαλείο σχετίζεται και με την παρακολούθηση των αντιδράσεων που είναι δυνατόν να προκληθούν ανάμεσα σε βιολογικές και χημικές ουσίες.

Οι παραπάνω δυνατότητες του λογισμικού, μπορούν να αξιοποιηθούν, τόσο σε ερευνητικό και ακαδημαϊκό επίπεδο, όσο και σε μελέτες και σχεδιασμό έργων. Όσον

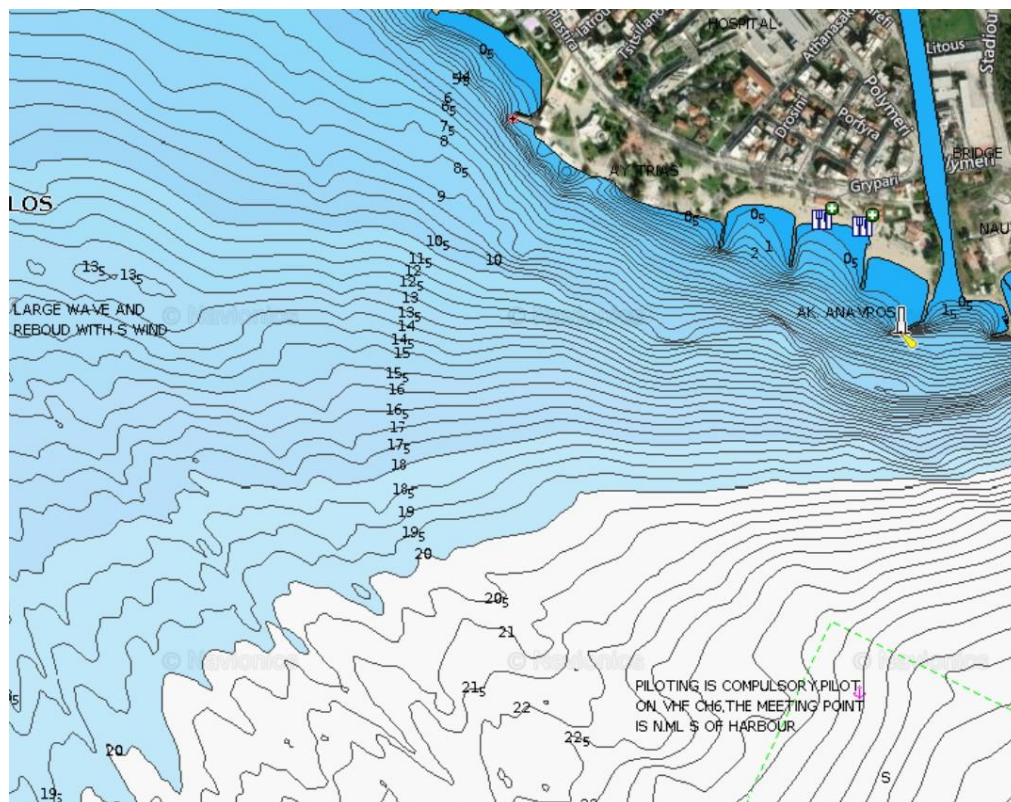
αφορά τις μελέτες, είναι δυνατόν να δώσει ακριβή αποτελέσματα για περιπτώσεις κυματικής και παράκτιας διάβρωσης, για μελέτες ρύπανσης υδάτινων οικοσυστημάτων και εξέτασης επιπτώσεων σε αυτά, αλλά και εξέταση της σταθερότητας κατασκευών σε παράκτιες ζώνες. Από την άλλη πλευρά, έχοντας ως γνώμονα τον σχεδιασμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παράκτια έργα, σε σχεδιασμό λιμένων, σε έργα αποκατάστασης ακτογραμμών, διευθέτησης ποταμών και διαχείρισης πλημμυρών τόσο σε αστικές, όσο και σε αγροτικές περιοχές.

5.3 Το εργαλείο Image Rectifier

Το Image Rectifier, είναι ένα εργαλείο γεωαναφοράς εικόνων, το οποίο συμπεριλαμβάνεται στο πακέτο εργαλείων του λογισμικού MIKE 21. Ο επεξεργαστής αυτός, λαμβάνει ως δεδομένο από τον χρήστη μια εικόνα ράστερ, την οποία πρέπει να λυγίσει ή/και να στρέψει με τρόπο κατάλληλο ώστε να καταφέρει να την ευθυγραμμίσει με το σύστημα συντεταγμένων μιας συγκεκριμένης προβολής χάρτη. Με αυτό τον τρόπο θα αποφευχθούν λάθη και ανακρίβειες που μπορούν να προκύψουν από την διαστρέβλωση μιας ράστερ εικόνας. Επιπροσθέτως, υπάρχουν τρεις τάξεις επεξεργασίας, που μπορεί να πραγματοποιήσει το Image Rectifier. Η επιλογή της κατάλληλης τάξης θα πρέπει να γίνει ανάλογα με το ποσοστό ακρίβειας που απαιτείται για την περάτωση του εκάστοτε έργου. Η διόρθωση πρώτης τάξης, κάνει χρήση τουλάχιστον τριών σημείων αναφοράς για τον επανακαθορισμό της θέσης της εικόνας, η διόρθωση δεύτερης τάξης, απαιτεί τουλάχιστον έξι σημεία, ενώ η τρίτης τάξης, η οποία διαθέτει και την μεγαλύτερη ακρίβεια, χρειάζεται το ελάχιστο έντεκα σημεία. Επίσης, τα σημεία αυτά, όποιο και αν είναι το πλήθος τους, θα πρέπει να είναι στο σύστημα UTM (Universal Transverse Mercator), το οποίο χωρίζει την γη σε εξήντα ζώνες. Τέλος, για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της γεωαναφοράς σωστά και με την επιθυμητή ακρίβεια, θα πρέπει η εικόνα να είναι της μορφής Bitmap Image File (.bmp) και πιο συγκεκριμένα 24 bitmap.

5.4 Διαδικασία διόρθωσης εικόνας ράστερ της επιλεγμένης περιοχής του Αναύρου

Για τις απαιτήσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε διόρθωση μιας εικόνας ράστερ, που εξάχθηκε από το περιβάλλον του Navionics. Έπειτα, έγινε εισαγωγή της εικόνας στην εφαρμογή Google Earth Pro και ακολούθησε η επιλογή των καταλληλότερων σημείων, για την ορθότερη γεωαναφορά της εικόνας.



Εικόνα 28: Βαθυμετρία Αναύρου (Πηγή: Navionics)

Το πλήθος των σημείων κρίθηκε σωστό να είναι εννιά, ώστε να γίνει διόρθωση δεύτερης τάξης. Ακολούθως, παρατίθεται εικόνα, με τα επιλεγθέντα σημεία και πίνακας των συντεταγμένων του σε σύστημα UTM, όπως απαιτείται.

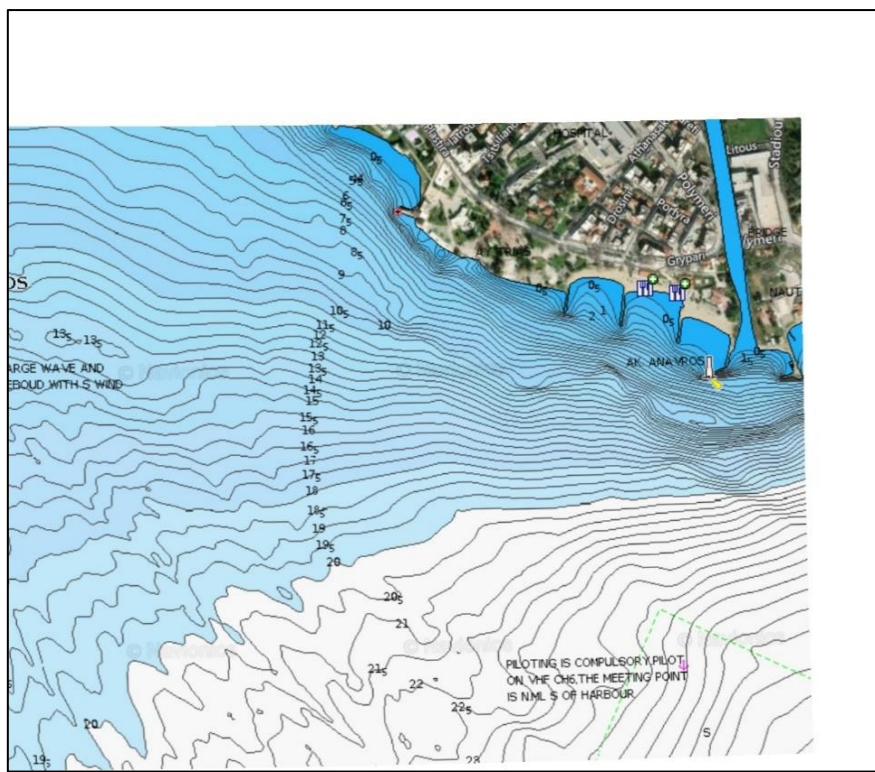


Εικόνα 29: Πλήθος σημείων αναφοράς για την σωστή γεωαναφορά της εικόνας (Πηγή: Navionics – Google Earth)

Πίνακας 20: Συντεταγμένες των 9 σημείων στο σύστημα UTM (Universal Transverse Mercator)

Άναυρος		
UTM		
Πινέζες	X (Latitude)	Y (Longitude)
1	668017.9341	4356663.067
2	669370.5304	4357781.217
3	668746.59	4356820.47
4	669394.1863	4356694.124
5	668681.3915	4357623.436
6	668970.1188	4357450.796
7	669065.226	4357427.26
8	669164.5043	4357399.189
9	669301.2885	4357386.431

Ακολούθησε, η εισαγωγή αυτών στο εργαλείο Image Rectifier, του λογισμικού MIKE 21 και προέκυψε το αποτέλεσμα, το οποίο θα παρατεθεί παρακάτω.

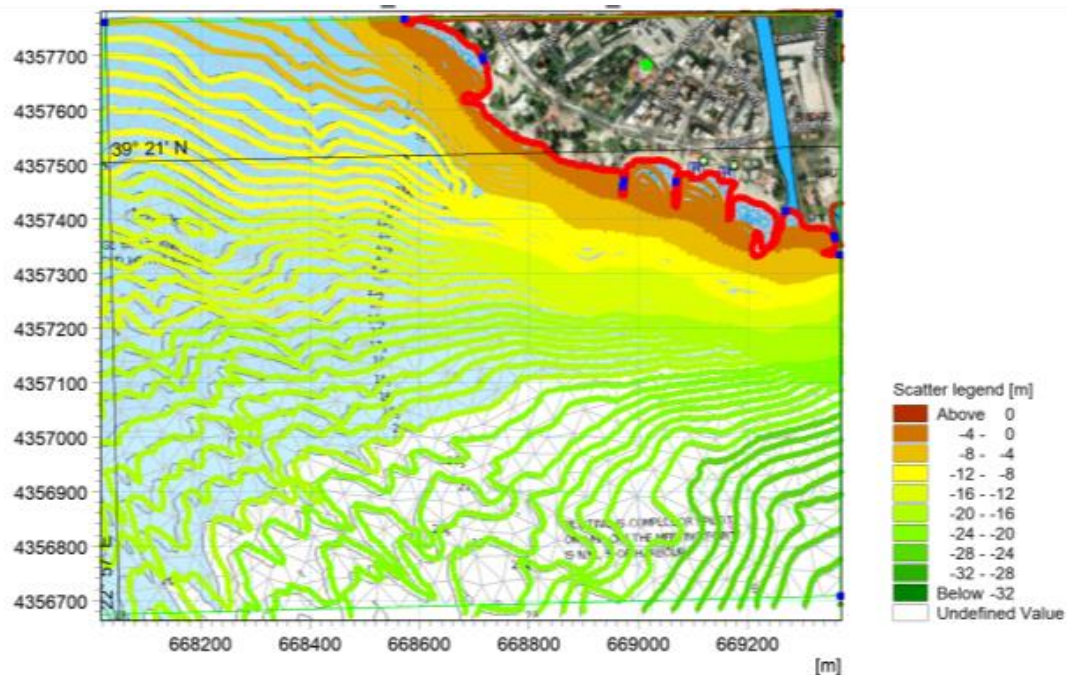


Εικόνα 30: Το αποτέλεσμα μετά την γεωαναφορά (Πηγή: MIKE 21)

Παρατηρείται, μια ελαφριά στρέψη της εικόνας, η οποία θα της δώσει τον προσανατολισμό και την σωστή θέση, που πρέπει να έχει ως προς την σφαιρική επιφάνεια της γης.

5.5 Το εργαλείο Bathymetry

Μετά την ολοκλήρωση της γεωαναφοράς της εικόνας, ακολούθησε ο σχεδιασμός της βαθυμετρίας της περιοχής μελέτης, έχοντας ως σημείο αναφοράς τις πληροφορίες που προκύπτουν από το ράστερ αρχείο. Η βαθυμετρία, επιλέχθηκε να περατωθεί με την ενέργεια Add points, αντί της συνεχόμενης γραμμής, με κύριο στόχο την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας και λεπτομέρειας. Όσον αφορά τις ισοβαθής, αυτές εκτείνονται από τα 28.5 μέτρα βάθος έως 0.5 μέτρα, με βήμα 0.5. Παράλληλα, διαχωρίστηκε και το κομμάτι της στεριάς, ορίζοντας τα όρια της ακτογραμμής. Μετά το πέρας της διαδικασίας, προέκυψε το τελικό αποτέλεσμα, το οποίο οπτικοποιείται στην Εικόνα 31.

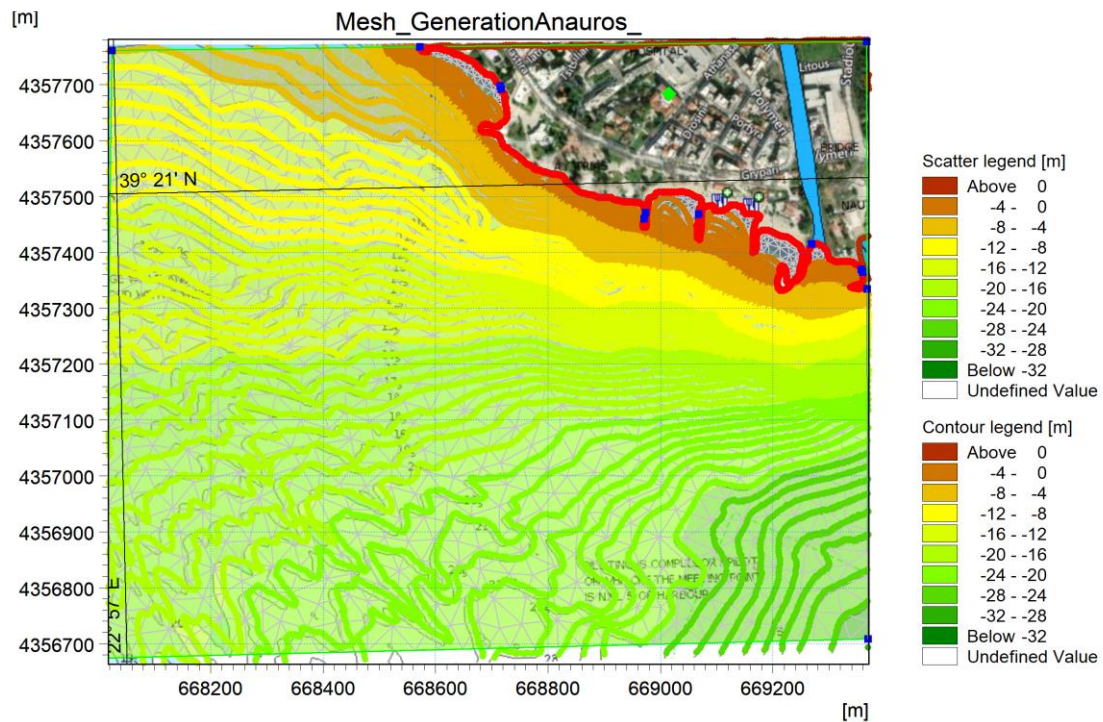


Εικόνα 31: Το αποτέλεσμα μετά την χάραξη της βαθυμετρίας (Πηγή: MIKE 21)

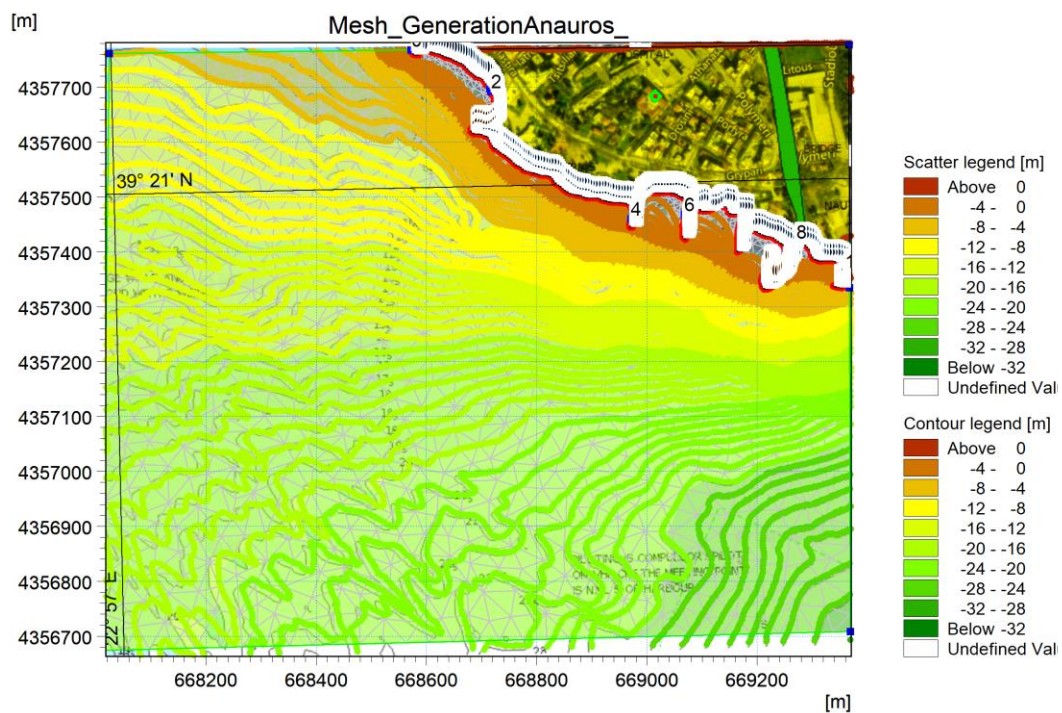
5.6 Δημιουργία αρχείου Mesh generator

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού της βαθυμετρίας, έπρεπε να γίνει η μετατροπή των σημειακών στοιχείων των ισοβαθών, σε στοιχεία πλέγματος. Τελικός σκοπός, ήταν η εξαγωγή πληροφοριών για όλη την περιοχή, ώστε να προκύψει μια ορθή προσομοίωση.

Πριν την δημιουργία του πλέγματος, ήταν αναγκαίο να οριστούν κάποια όρια για την περιοχή μελέτης. Πρώτα, δημιουργήθηκε το οριοθετημένο πεδίο της στεριάς, ώστε το λογισμικό να μην το συγχέει με την θάλασσα και να αποφευχθούν προβλήματα στα αποτελέσματα. Επιπροσθέτως, καθορίστηκαν και τα όρια των τεσσάρων βασικών διευθύνσεων του ανέμου, γύρω από το πεδίο ύπαρξης νερού. Παρακάτω, παρατίθενται οι χάρτες, όπου οπτικοποιούν την τοποθέτηση των ορίων.



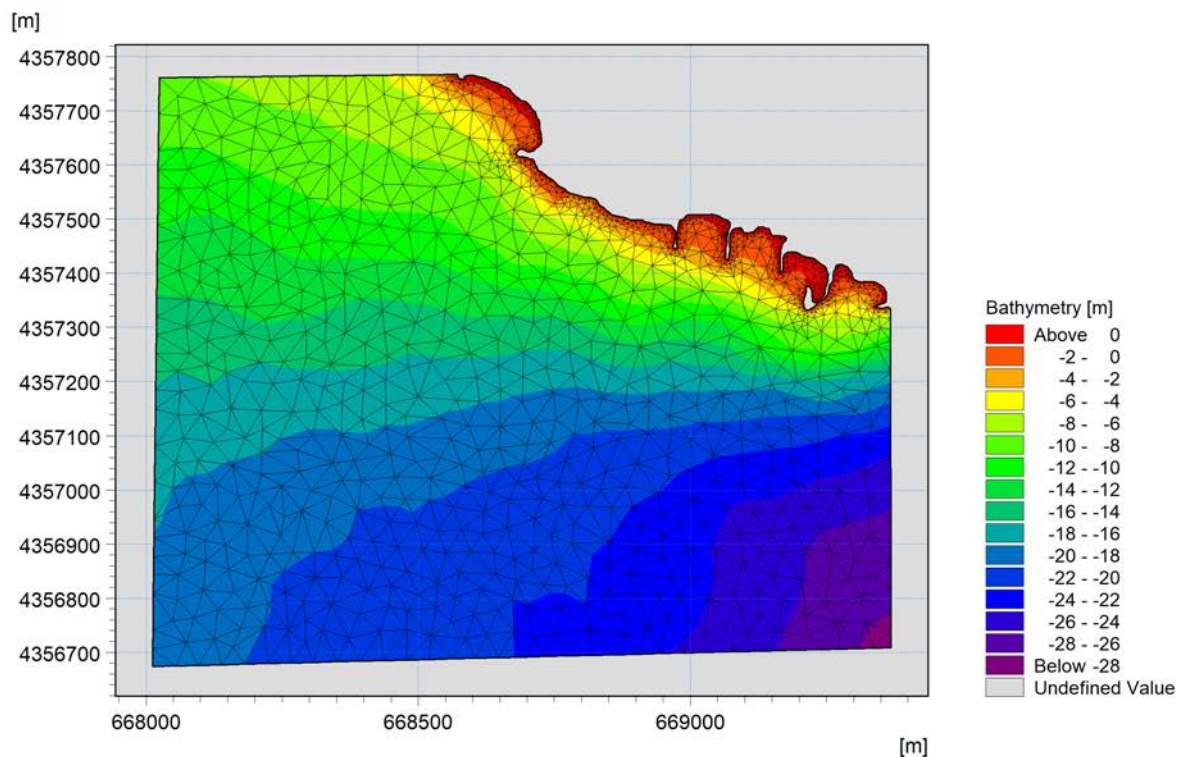
Εικόνα 32: Ορισμός διεύθυνσης πνοής κάθε ανέμου (Πηγή: MIKE 21)



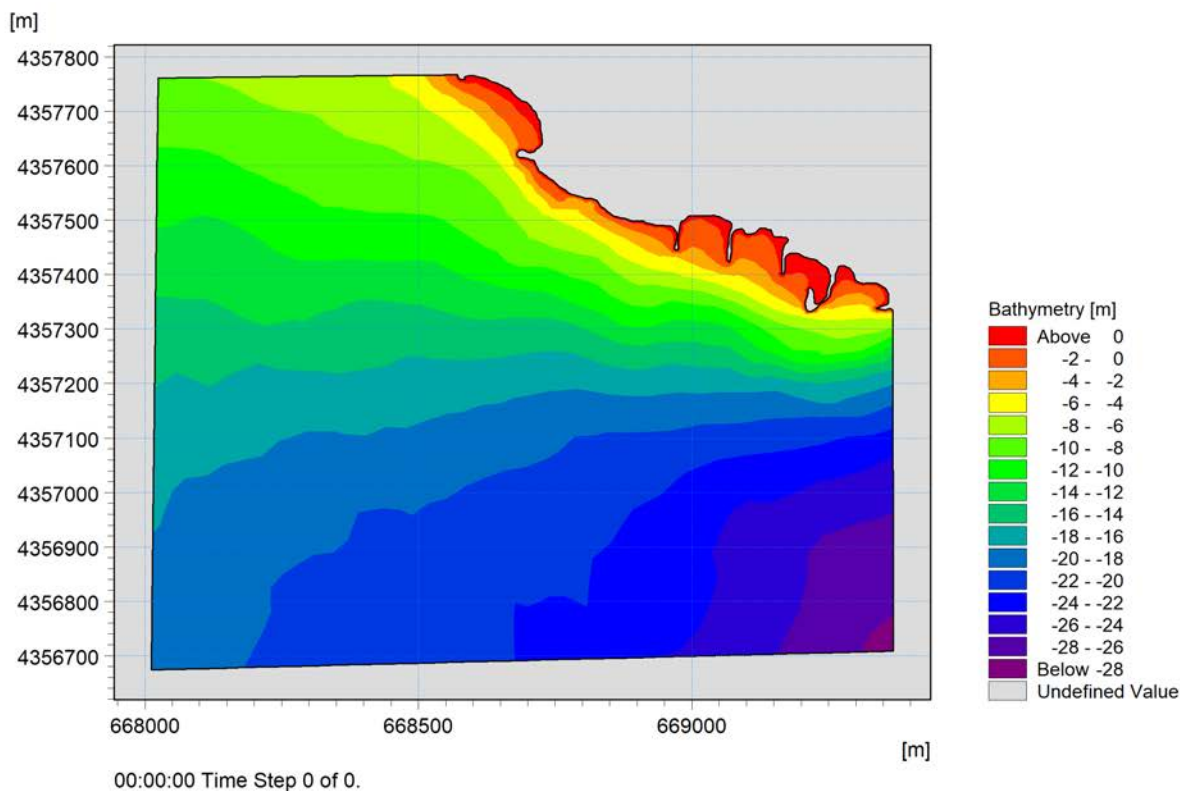
Εικόνα 33: Οριοθέτηση μεταξύ στεριάς και θάλασσας (Πηγή: MIKE 21)

Έχοντας μορφοποιήσει πλέον κατάλληλα την περιοχή, εξήχθη το αποτέλεσμα της δημιουργίας πλέγματος ομαλής μετάβασης μεταξύ των ισοβαθών, για πλήρη εικόνα της κατάστασης σε κάθε σημείο ενδιαφέροντος της ευρύτερης, θαλάσσιας περιοχής του Αναύρου.

Το προαναφερθέν αποτέλεσμα, παρουσιάζεται στην Εικόνα 34, όπου γίνεται διακριτή και η τριγωνοποίηση που δημιουργήθηκε, με την μέθοδο παρεμβολής natural neighbor.



Εικόνα 34: Δημιουργία πολυγώνων, ώστε να προκύψει το τελικό αρχείο Mesh (Πηγή: MIKE 21)



Εικόνα 35: Τελικό αρχείο Mesh (Πηγή: MIKE 21)

5.7 Η μέθοδος παρεμβολής τριγώνου - Natural Neighbor

Η μέθοδος παρεμβολής τριγώνου, υπολογίζει όλες τις ενδιάμεσες τιμές, εντός ενός τριγώνου καθορισμένου μεγέθους, κάνοντας χρήση των βαρυκεντρικών συντεταγμένων των κορυφών του τριγώνου. Πιο συγκεκριμένα, οι συντεταγμένες αυτές, ορίζουν κάθε σημείο του εσωτερικού του τριγώνου, ως γραμμικό συνδυασμό των κορυφών του. Η εξίσωση που περιγράφει τις βαρυκεντρικές συντεταγμένες είναι η παρακάτω:

$$P = \omega_A * A + \omega_B * B + \omega_C * C \quad (5.7.1)$$

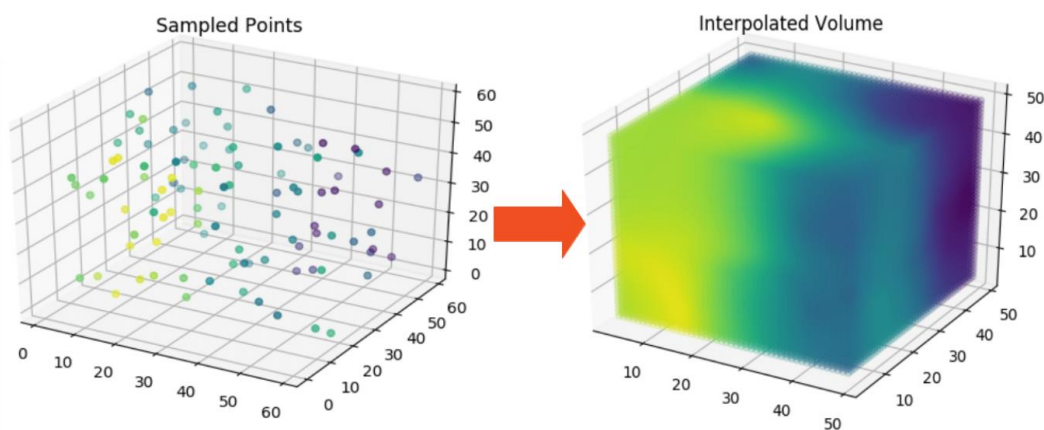
όπου P είναι το ζητούμενο σημείο, A,B,C είναι οι κορυφές του τριγώνου και ω_A, ω_B και ω_C , οι βαρυκεντρικές συντεταγμένες, οι οποίες ικανοποιούν τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\omega_A, \omega_B, \omega_C \geq 0, \quad \omega_A + \omega_B + \omega_C = 1 \quad (5.7.2)$$

Η μέθοδος αυτή, είναι γραμμική και τα στοιχεί που εξάγει, αφορούν αποκλειστικά ότι περικλείεται στο παραγόμενο τρίγωνο.

Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος του φυσικού γείτονα, -natural neighbour-, είναι μη γραμμική και τα αποτελέσματά της στην πλειονότητα των περιπτώσεων είναι ορθότερα. Αυτή βασίζεται στη γεωμετρία των διαγραμμάτων Voronoi, τα οποία χωρίζουν τον ζητούμενο χώρο, σε επιμέρους περιοχές με βάση ένα σύνολο σημείων, τα οποία είναι τα πλησιέστερα στο σημείο ενδιαφέροντος.

Natural Neighbor Interpolation



Εικόνα 36: Μετατροπή πλήθους σημείων σε παρεμβλλόμενο όγκο με την μέθοδο Natural Neighbor

5.8 Το εργαλείο προσομοίωσης Spectral Waves

Το εργαλείο Spectral Waves, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ακολούθως, χρησιμοποιεί ως αρχείο εισόδου, το αρχείο πλέγματος που δημιουργήθηκε από το mesh generator, ώστε να μοντελοποιήσει αριθμητικά τα παραγόμενα κύματα που προκύπτουν, για διάφορες τιμές και σταθερές εισαγωγής. Η μοντελοποίηση αναφέρεται σε κυματογενής κυματισμούς, δίνοντας και την δυνατότητα μελέτης της αλληλεπίδρασής τους και με ρεύματα, η οποία όμως δεν ερευνήθηκε στην παρούσα εργασία. Επιπροσθέτως, επιλέχθηκε να γίνει προσομοίωση για σταθερές συνθήκες ανέμου, χωρίς μελέτη

μεταβολής στον χρόνο. Αυτό έγινε, κάνοντας την παραδοχή, ότι εντός ενός κλειστού κόλπου, όπως είναι ο Παγασητικός, οι κυματικές και ανεμολογικές συνθήκες υφίστανται κατά κύριο λόγο, σταθερές και αργές μεταβολές. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις έχουν επιλεχθεί να περατωθούν, για ταχύτητες ανέμων από 2 έως 9 Beaufort. Συνήθως, οι χαμηλές ταχύτητες, - όπως είναι τα 2,3 ή και 4 Beaufort-, δεν προτιμώνται εξαιτίας του ασθενούς κυματικού δυναμικού που προσφέρουν. Στην παρούσα εργασία όμως, καθώς μελετάται ένας κλειστός κόλπος και η πιθανότητα διεργασίας πειραμάτων υπό κλίμακα, είναι χρήσιμες κυρίως αυτές οι τιμές.

5.8.1 Εξισώσεις και σημαντικές παράμετροι και σταθερές που λήφθηκαν υπόψη

Για την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, επιλέχθηκαν οι κατάλληλες εξισώσεις και σταθερές από το μενού του εργαλείου spectral waves, ώστε να περατωθεί με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια και ορθότητα.

Αρχικά, ως βασικές εξισώσεις επιλέχθηκαν, η **directionally decoupled parametric formulation** (Εξίσωση 5.8.1), όσον αφορά την εξέλιξη των κυματισμών στον χρόνο και τον χώρο και η **quasi stationary formulation** (Εξίσωση 5.8.2) , η οποία είναι η απλοποίηση της προηγούμενης για την περιγραφή φαινομένων υπό σταθερές συνθήκες.

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla * (c_g * E) = S \quad (5.8.1)$$

Όπου,

E: η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας

T: ο χρόνος

c_g : η ταχύτητα διάδοσης της ομάδας κυμάτων

S: το φασματικό μέλος πηγής - απώλειες

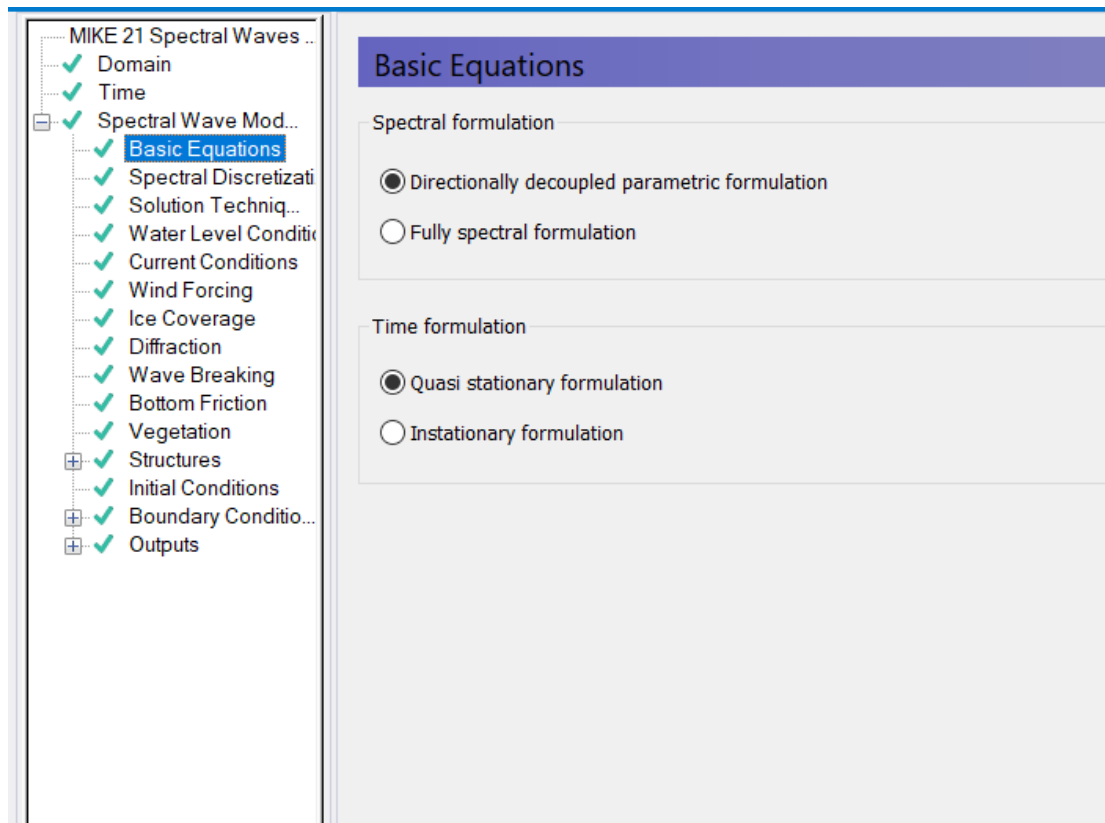
$$\nabla * (c_g * E) = S \quad (5.8.2)$$

Όπου,

E : η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας

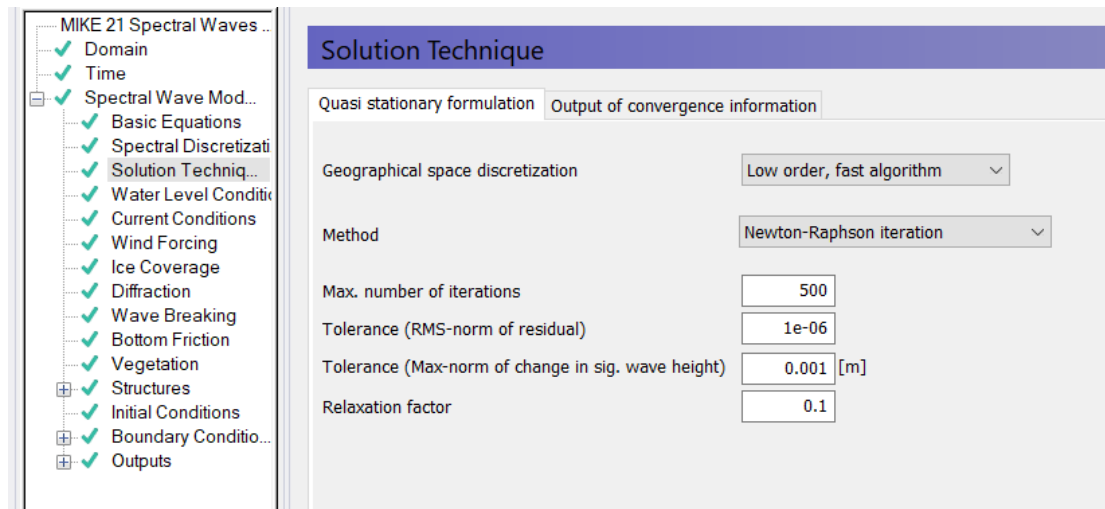
c_g : η ταχύτητα διάδοσης της ομάδας κυμάτων

S : το φασματικό μέλος πηγής - απώλειας



Εικόνα 37: Βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό MIKE 21 (Πηγή: MIKE 21)

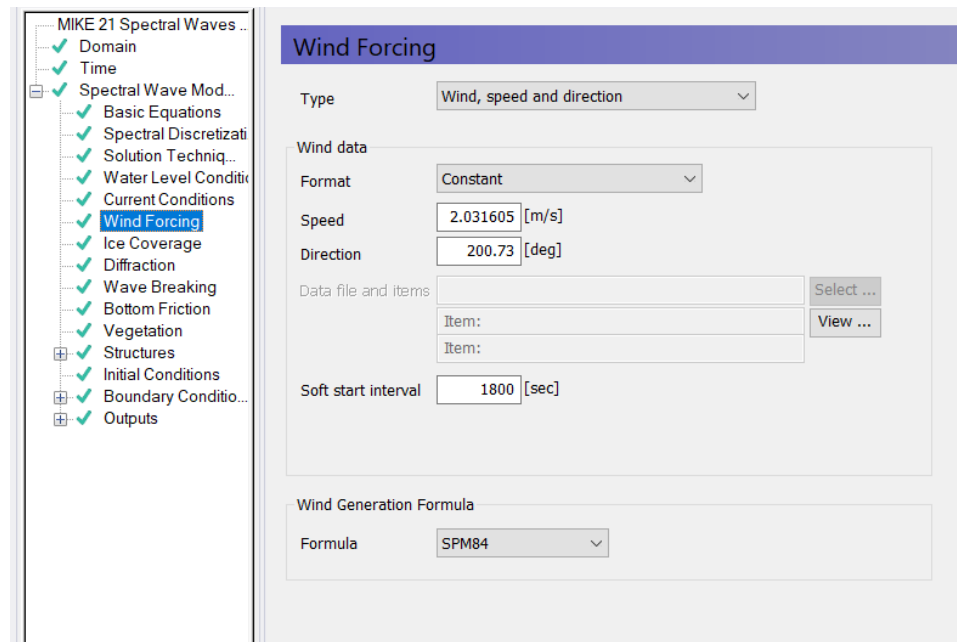
Έπειτα, έπρεπε να καθοριστεί, η τεχνική επίλυσης της **quasi stationary formulation** και επιλέχθηκε να είναι η μέθοδος **Newton-Raphson**. Πρόκειται για μια μέθοδο επίλυσης μη γραμμικών εξισώσεων, με στόχο τον υπολογισμό σταθερών λύσεων που να ικανοποιούν την χωρική εξίσωση μεταφοράς της ενέργειας. Επίσης, η επίλυση γίνεται αριθμητικά με επαναληπτική διαδικασία, οπότε γίνεται χρήση μιας αρχικής εκτίμησης της μεταφοράς ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας E_0 .



Εικόνα 38: Η μέθοδο επίλυσης που χρησιμοποιήθηκε (Πηγή: MIKE 21)

Όσον αφορά, την στάθμη του νερού, την ύπαρξη παγετού και βλάστησης επιλέχθηκε να μην ληφθούν υπόψιν, ενώ η περίθλαση συμπεριλήφθηκε ως παράμετρος.

Για την δύναμη του ανέμου, εισήχθησαν ως δεδομένα οι υπολογισμένες ταχύτητες U_a , για κάθε τιμή Beaufort και η απαραίτητη γωνία ανάλογα με την διεύθυνση πνοής του εκάστοτε ανέμου. Επίσης, για την ομαλή εφαρμογή της ταχύτητας του ανέμου και την αποφυγή ασταθειών, ορίστηκαν τα 1800 δευτερόλεπτα ως **soft start interval**. Για την δημιουργία των κυμάτων, ακολουθήθηκε το πρότυπο SPM84 (Shore Protection Manual, 1984), το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του σημαντικού ύψους και της περιόδου κύματος.



Εικόνα 39: Η παράμετρος της δύναμης ανέμου (Πηγή: MIKE 21)

Όσον αφορά την προσέγγιση της τριβής του πυθμένα, έγινε μέσω της μεθόδου **Nikuradse roughness (kn)**. Αυτή η μέθοδος, χρησιμοποιείται ώστε να περιγραφεί η αντίσταση που προβάλλει ο πυθμένας κατά την ροή του νερού. Η παράμετρος kn, έχει ως μονάδα μέτρησης το μέτρο, αντιπροσωπεύει την τραχύτητα του πυθμένα και σχετίζεται άμεσα τον συντελεστή τριβής πυθμένα C_f , όπως γίνεται εμφανές στην ακόλουθη εξίσωση.

$$C_f = \left(\frac{\kappa}{\ln\left(\frac{h}{kn}\right)} \right)^2 \quad (5.8.3)$$

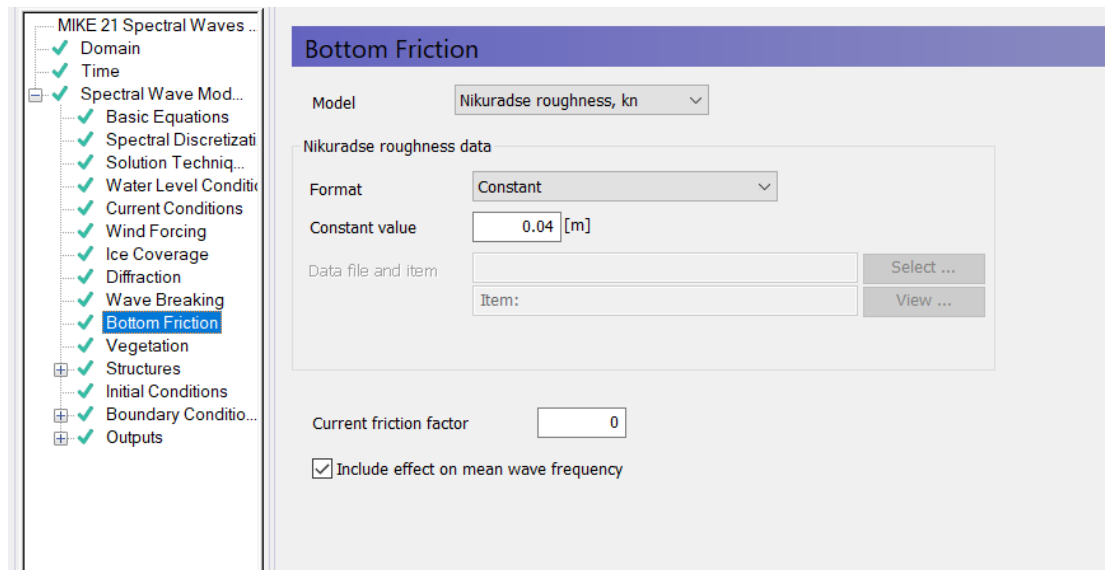
Όπου,

C_f : Συντελεστής τριβής

κ : Σταθερά von Kármán (περίπου ίση με 0.4)

h : Βάθος (m)

Kn : Τραχύτητα πυθμένα (m)

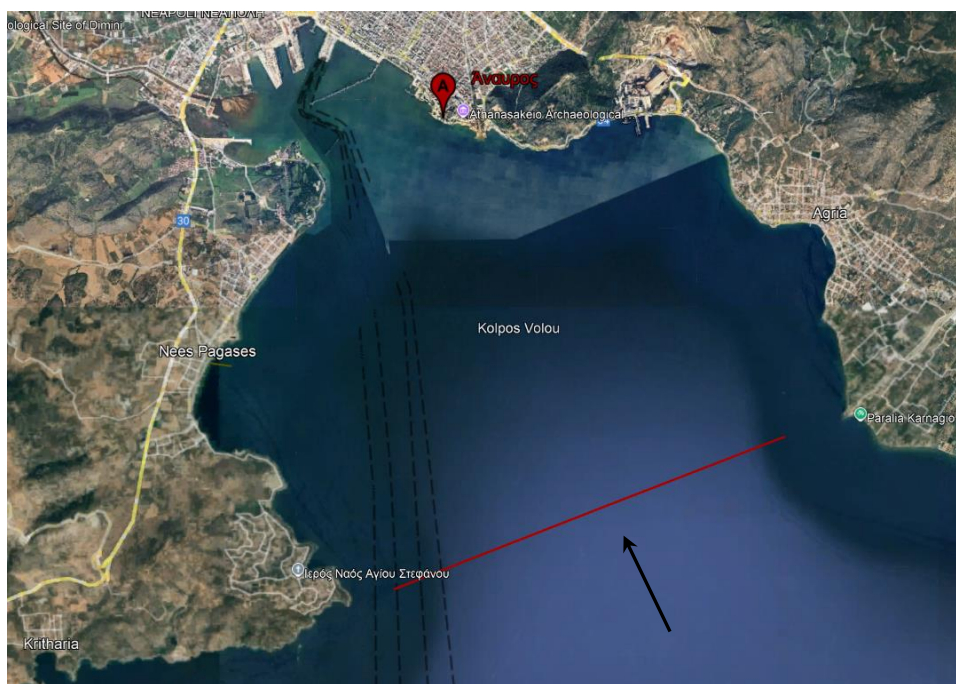


Εικόνα 40: Η παράμετρος τριβής πυθμένα (Πηγή: MIKE 21)

Κεφάλαιο 6 Αποτελέσματα προσομοιώσεων στην περιοχή του Αναύρου

6.1 Υπολογισμός σημαντικού ύψους κύματος για τις τρεις διευθύνσεις ανέμων κοντά στην παραλία του Αναύρου, μέσω προσομοιώσεων στο λογισμικό MIKE 21

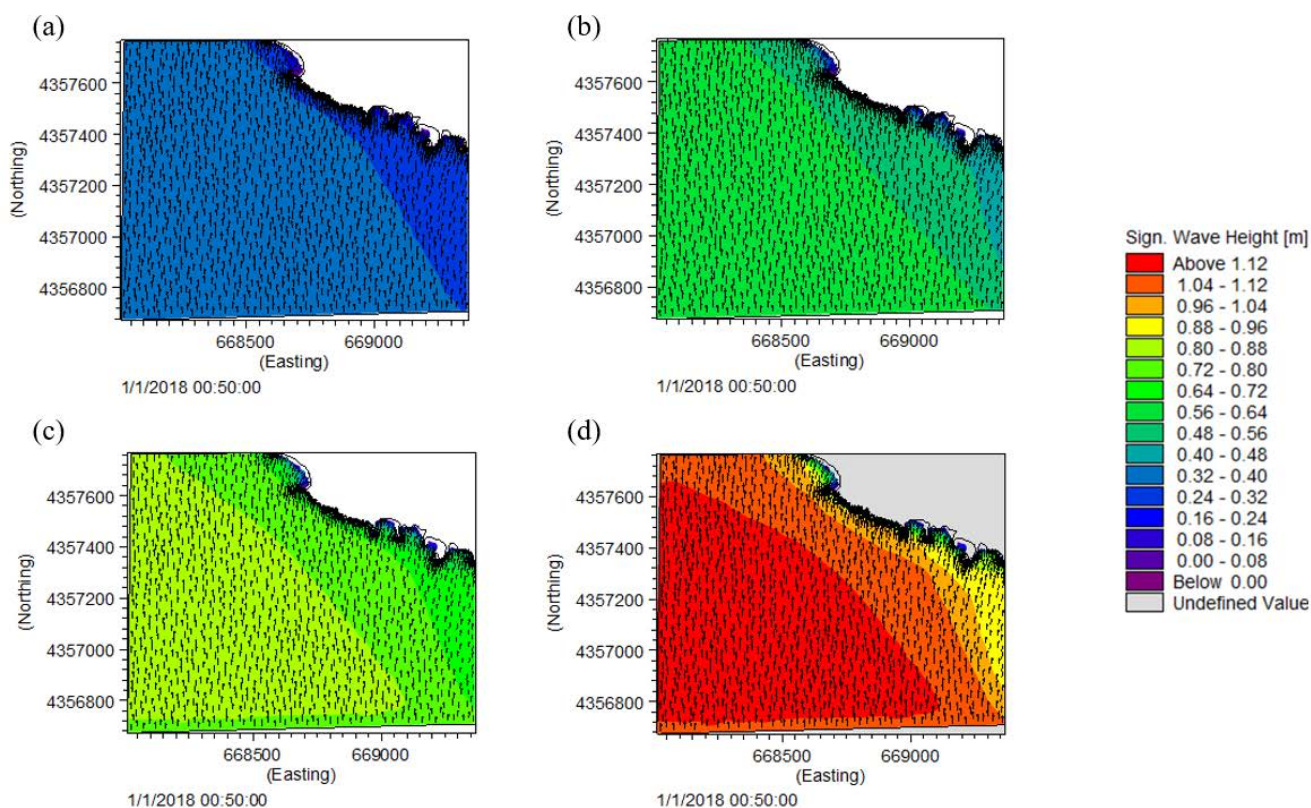
Αρχικά, επιλέχθηκε να γίνει προσομοίωση στο λογισμικό MIKE 21 στο εργαλείο Spectral Waves, χρησιμοποιώντας ως τιμές εισόδου, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν με την χρήση εμπειρικών μεθόδων για βαθιά νερά και έχουν παρατεθεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 4. Τα αποτελέσματα αυτά όμως, δεν ήταν ικανά να προσομοιώσουν με ακρίβεια την περιοχή της παραλίας του Αναύρου, καθώς αφορούσαν την είσοδο του κόλπου του Βόλου.



Εικόνα 41: Η είσοδος του κόλπου του Βόλου (Πηγή: Google Earth)

Κατά συνέπεια, παρατηρήθηκε ότι αγνοούσαν τους μετασχηματισμούς των κυματισμών που θα μεσολαβούσαν έως ότου το κύμα φτάσει πιο κοντά στην επιθυμητή περιοχή. Αυτό, λοιπόν, θα επηρέαζε αρνητικά την ακρίβεια και την ορθότητα των αποτελεσμάτων. Οι προσομοιώσεις επιλέχθηκε να γίνουν από 2 έως και 9 Beaufort,

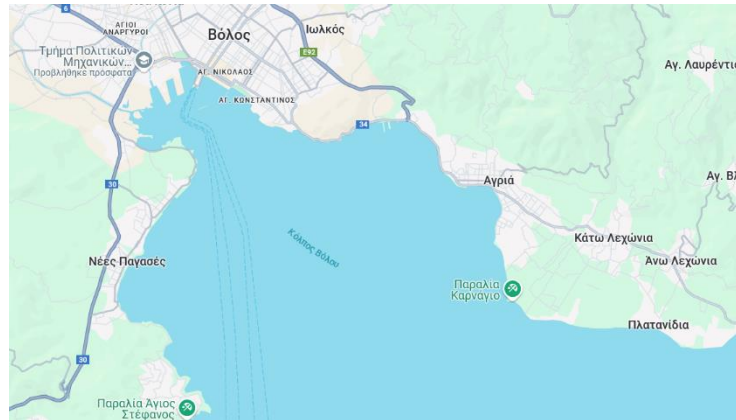
ώστε να μπορέσει να υπάρξει μια πλήρης εικόνα της κυματικής κατάστασης της περιοχής ακόμη και για μια ακραία περίπτωση. Παρόλα αυτά, σε αυτό το σημείο θα παρατεθούν τα αποτελέσματα για νότιο άνεμο από 3 έως και 6 Beaufort, οι οποίοι είναι οι συχνότεροι σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό των Ωρεών και ταυτόχρονα είναι ικανοί να παράξουν αποτελεσματικό κυματικό δυναμικό.



Εικόνα 42: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νότιου ανέμου για την παραλία του Αναύρου σύμφωνα με την αρχική προσομοίωση (Πηγή: MIKE 21)

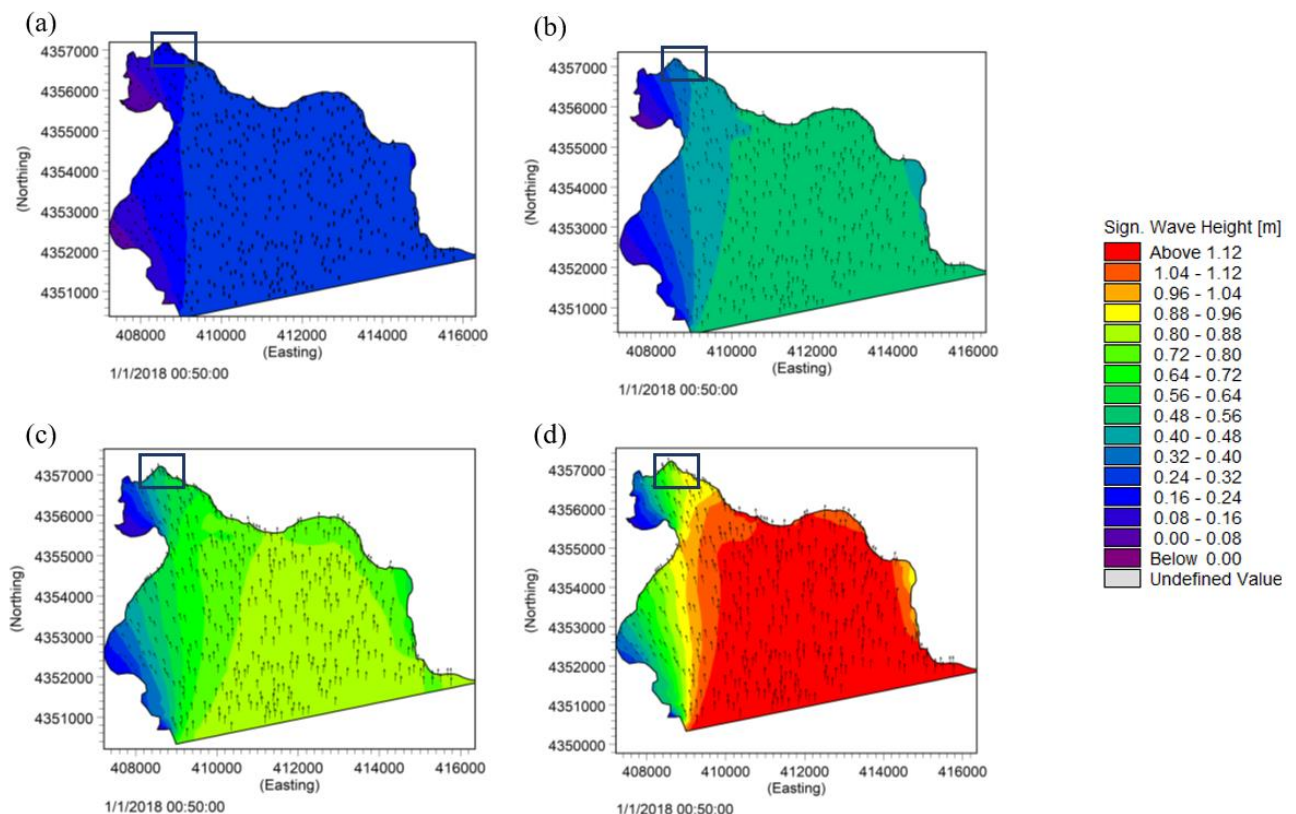
(a) 3Bf, $f_w = 2.436\%$, (b) 4Bf, $f_w = 1.582\%$, (c) 5Bf, $f_w = 0.371\%$ (d) 6Bf, $f_w = 0.063\%$

Για τους παραπάνω λόγους, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί, μια σταδιακή μελέτη, η οποία θα λάμβανε υπόψιν με αποτελεσματικότερο τρόπο την περίθλαση, διάθλαση και ρήγωση των κυματισμών, πριν αυτοί φτάσουν στην παραλία του Αναύρου. Έχοντας ως γνώμονα αυτήν την πορεία σκέψης, έγινε μια πρώτη προσομοίωση στην περιοχή του κόλπου του Βόλου, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισόδου, αυτά που είχαν εξαχθεί με την μέθοδο SBM και αφορούσαν κατ' ουσίαν τις κυματικές συνθήκες στην είσοδο αυτού.



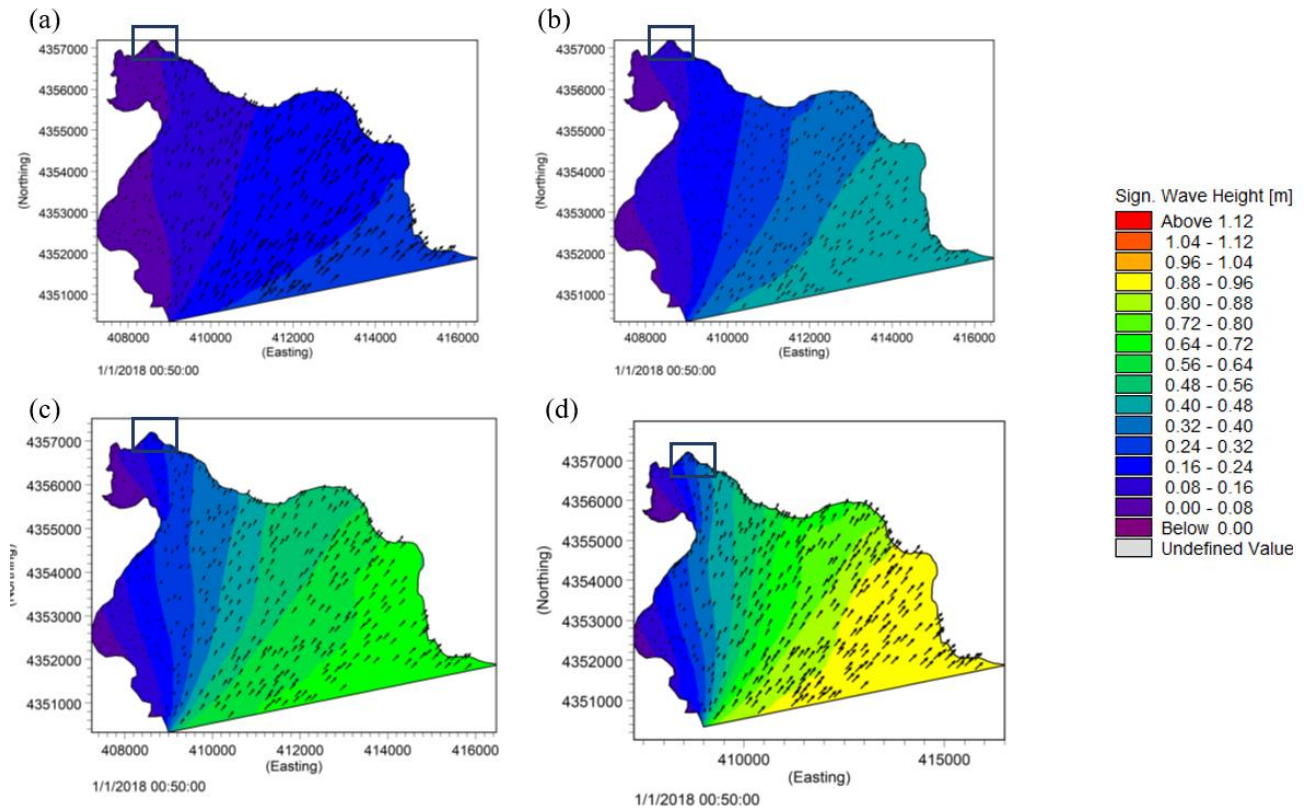
Εικόνα 43: Ο κόλπος του Βόλου (Πηγή: Google Maps)

Τα αποτελέσματα αυτών των προσομοιώσεων για ταχύτητα ανέμου από 3 έως και 6 Beaufort και για νότιο και νοτιοδυτικό άνεμο και για 3 έως και 5 Beaufort για νοτιοανατολικό άνεμο, παρουσιάζονται στις Εικόνες 44,45 και 46, αντίστοιχα. Ο νοτιοδυτικός άνεμος παρουσιάζει μηδενική συχνότητα εμφάνισης για τα 6Bf και για αυτό τον λόγο τα αποτελέσματα για αυτή την ταχύτητα ανέμου παραλείπονται.



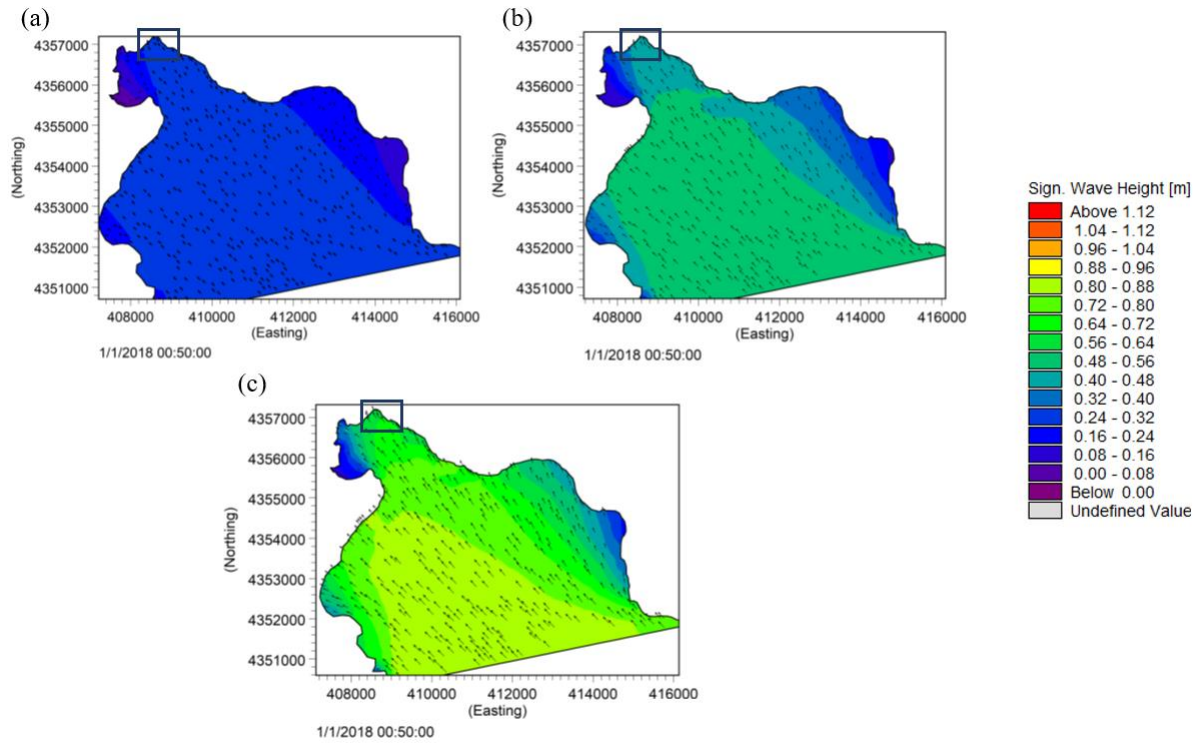
Εικόνα 44: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νότιου ανέμου στην περιοχή του κόλπου του Βόλου (Πηγή: MIKE 21)

(a) 3Bf, $f_w = 2.436\%$, (b) 4Bf, $f_w = 1.582\%$, (c) 5Bf, $f_w = 0.371\%$ (d) 6Bf, $f_w = 0.063\%$



Εικόνα 45: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νοτιοδυτικού ανέμου στην περιοχή του κόλπου του Βόλου (Πηγή: MIKE 21)

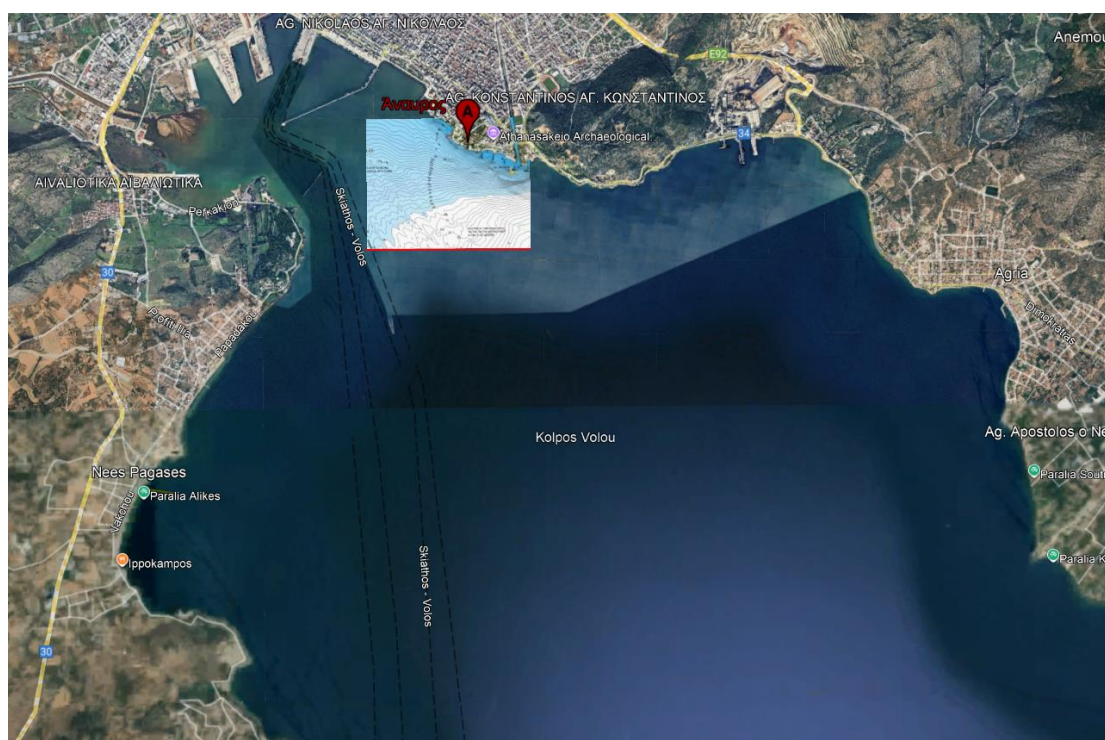
(a) 3Bf, $f_w = 0.850\%$, (b) 4Bf, $f_w = 0.458\%$, (c) 5Bf, $f_w = 0.063\%$ (d) 6Bf, $f_w = 0.004\%$



Εικόνα 46: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νοτιοανατολικού ανέμου στην περιοχή του κόλπου του Βόλου (Πηγή: MIKE 21)

(a) 3Bf, $f_w = 0.376\%$, (b) 4Bf, $f_w = 0.360\%$, (c) 5Bf, $f_w = 0.052\%$

Εν συνεχεία, βρέθηκε ένα εύρος σημείων αναφοράς – γύρω από την κόκκινη γραμμή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 47-, το οποίο θα αφορούσε τα δεδομένα εισόδου της προσομοίωσης στην περιοχή του Αναύρου. Μέσω αυτού, εξήχθησαν οι πληροφορίες από το αποτέλεσμα της προσομοίωσης για τον κόλπο του Βόλου, για τις τιμές του σημαντικού ύψους κύματος, της περιόδου κορυφής και της γωνίας διεύθυνσης των κυματισμών. Σχετικοί πίνακες, με τις τιμές για την συγκεκριμένη περιοχή και για Beaufort από 3 έως 6 παρατίθεται ακολούθως:



Εικόνα 47: Προσδιορισμός περιοχής αναφοράς για τα δεδομένα εισόδου της προσομοίωσης του Αναύρου (Πηγή: Navionics – Google Earth)

Πίνακας 21: Σημαντικά μεγέθη κυματισμών που προέκυψαν από την προσομοίωση του κόλπου του Βόλου για Beaufort από 3 έως 6 για νότιο άνεμο

Νότιος Άνεμος			
	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)	Γωνία Διεύθυνσης κύματος (deg)
3BF	0.272	2.773	165.338
4BF	0.475	3.278	165.352
5BF	0.733	3.756	164.714
6BF	1.040	4.124	163.644

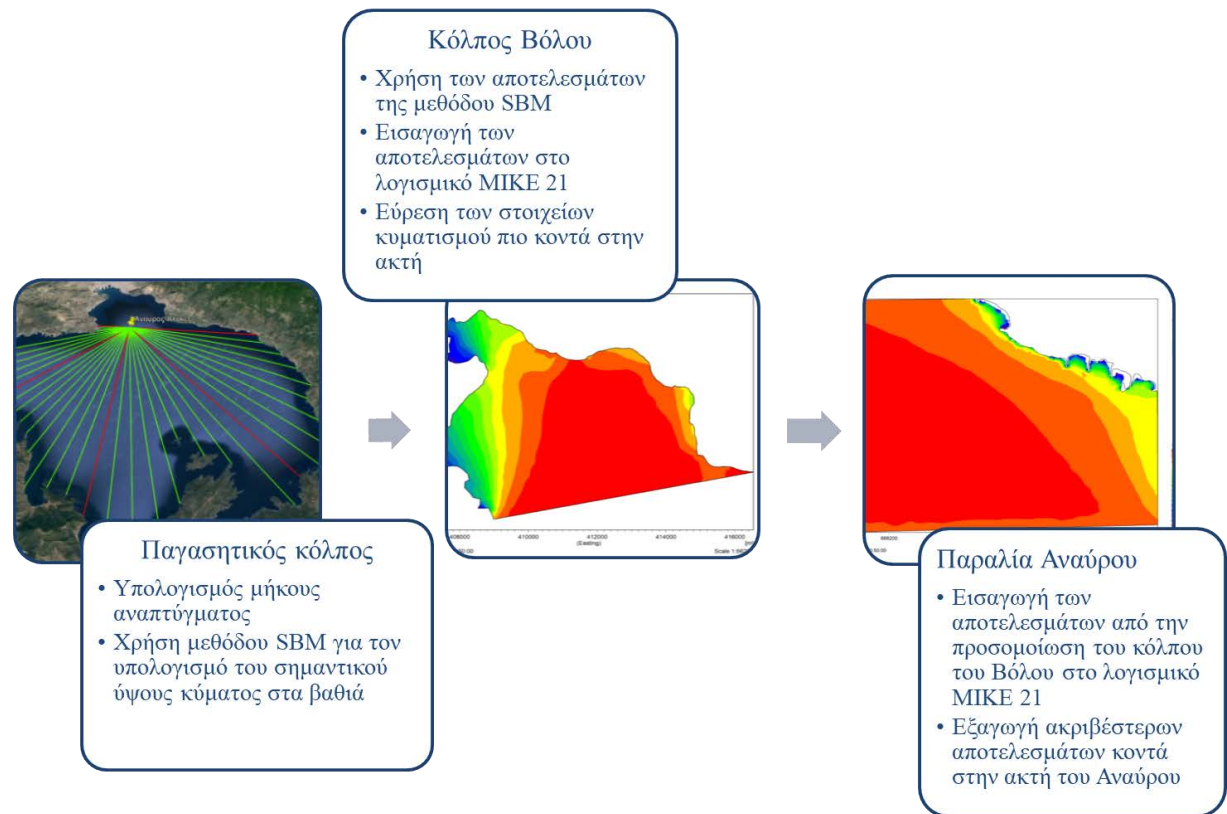
Πίνακας 22: Σημαντικά μεγέθη κυματισμών που προέκυψαν από την προσομοίωση του κόλπου του Βόλου για Beaufort από 3 έως 5 για νοτιοανατολικό άνεμο

Νοτιοανατολικός Άνεμος			
	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)	Γωνία Διεύθυνσης κύματος (deg)
3BF	0.289	2.836	140.303
4BF	0.506	3.378	139.875
5BF	0.780	3.886	139.098

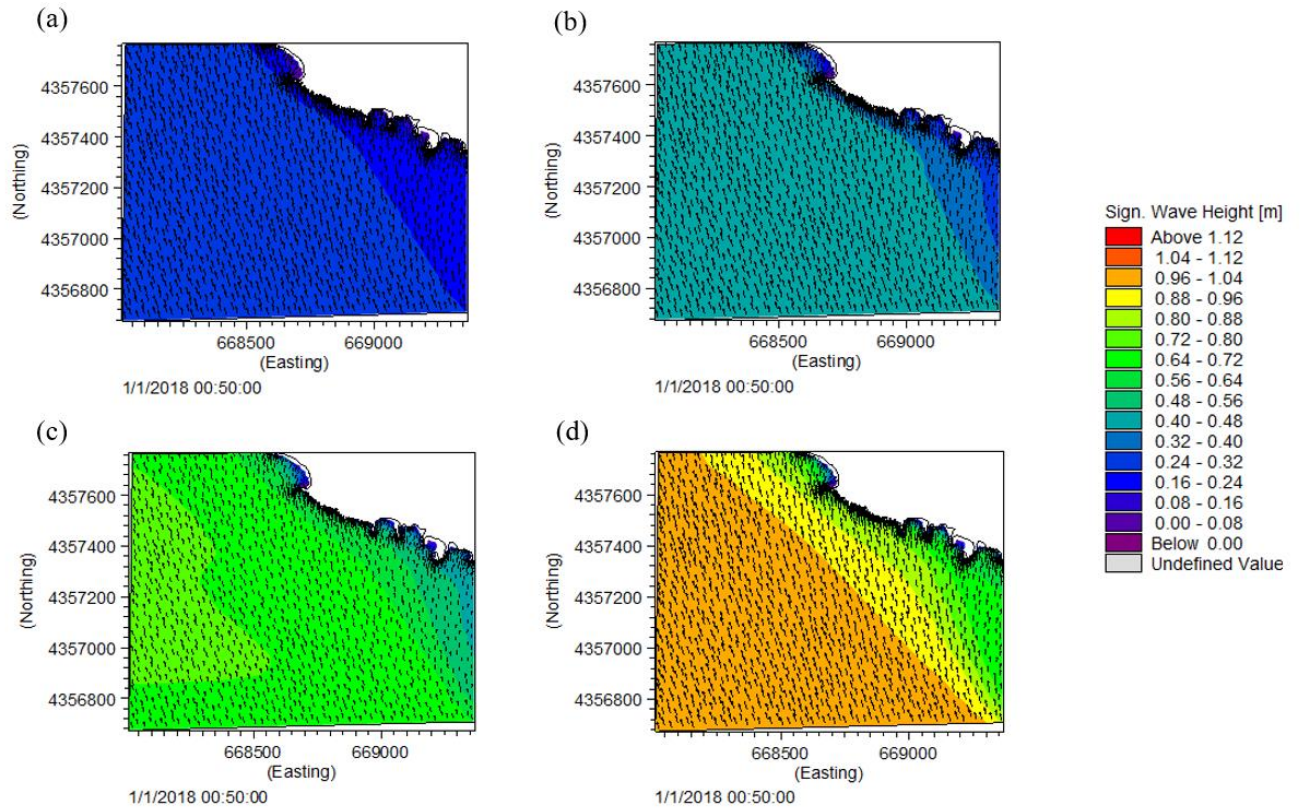
Πίνακας 23: Σημαντικά μεγέθη κυματισμών που προέκυψαν από την προσομοίωση του κόλπου του Βόλου για Beaufort από 3 έως 6 για νοτιοδυτικό άνεμο

Νοτιοδυτικός Άνεμος			
	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)	Γωνία Διεύθυνσης κύματος (deg)
3BF	0.119	1.728	200.81
4BF	0.219	1.997	201.853
5BF	0.348	2.516	202.366
6BF	0.495	2.789	202.214

Παρακάτω, παρατίθεται διάγραμμα της μεθοδολογίας μέσω της οποίας έγιναν οι υπολογισμοί, καθώς και τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν στο λογισμικό MIKE 21, μετά την προσομοίωση της περιοχής μελέτης του Αναύρου. Τα δεδομένα εισόδου για την πραγματοποίηση της, ήταν αυτά που εξήχθησαν παραπάνω, από τα αποτελέσματα του κόλπου του Βόλου και παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 21,22 και 23.

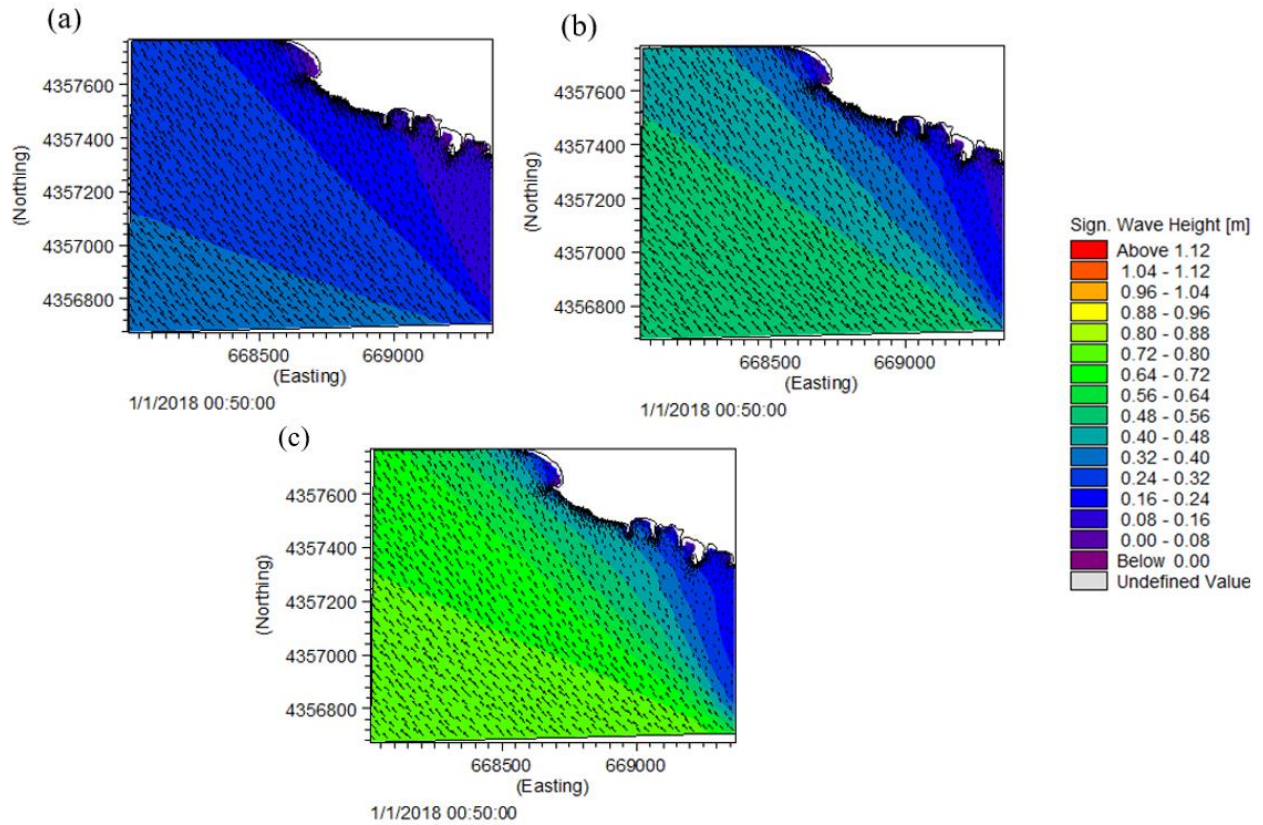


Διάγραμμα 4: Απεικόνιση μέσω διαγράμματος της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των σημαντικών μεγεθών των κυματισμών



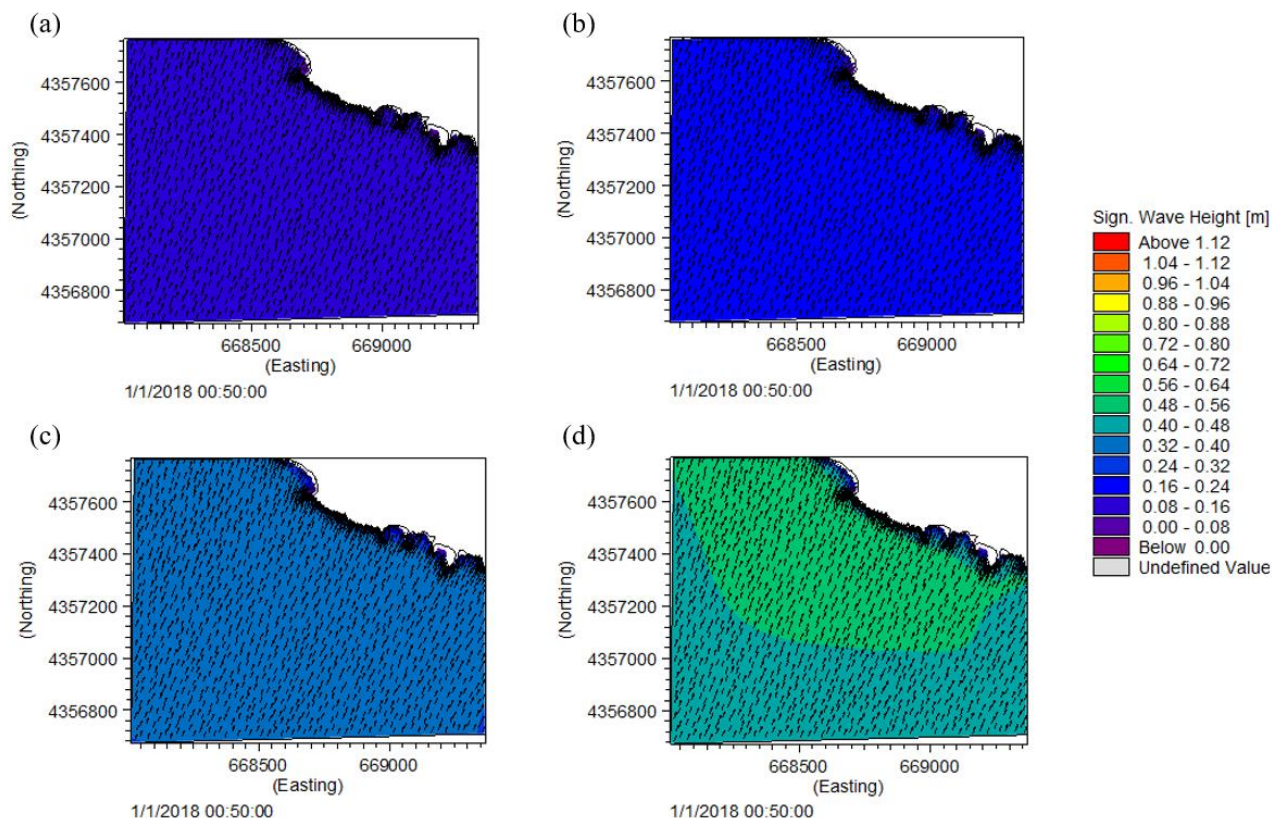
Εικόνα 48: Τελικά αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νότιου ανέμου στην περιοχή του Αναύρου (Πηγή: MIKE 21)

(a) 3Bf, $f_w = 2.436\%$, (b) 4Bf, $f_w = 1.582\%$, (c) 5Bf, $f_w = 0.371\%$ (d) 6Bf, $f_w = 0.063\%$



Εικόνα 49: Τελικά αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νοτιοανατολικού ανέμου στην περιοχή του Αναύρου (Πηγή: MIKE 21)

(a) 3Bf, $f_w = 0.376\%$, (b) 4Bf, $f_w = 0.360\%$, (c) 5Bf, $f_w = 0.052\%$



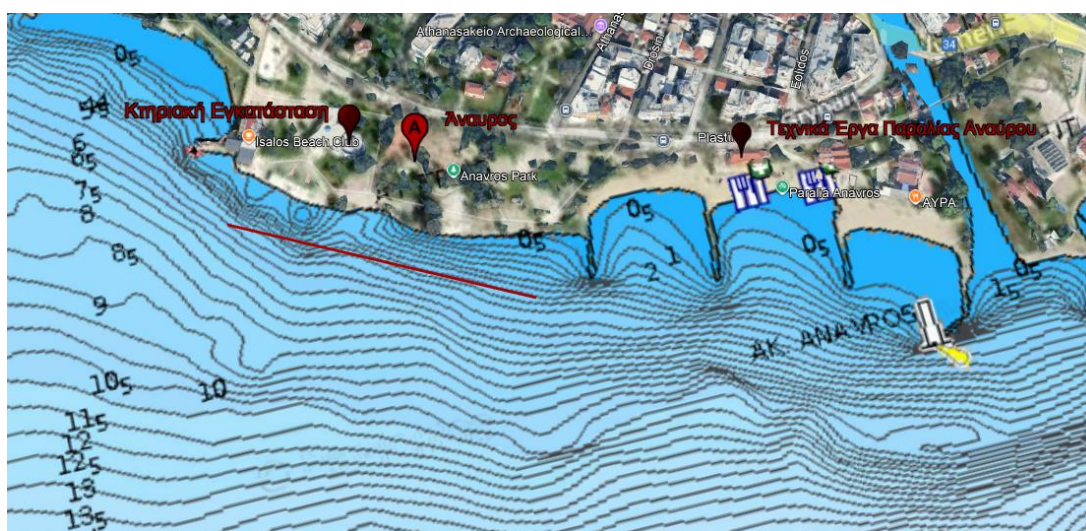
Εικόνα 50: Τελικά αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νοτιοδυτικού ανέμου στην περιοχή του Αναύρου (Πηγή: MIKE 21)

(a) 3Bf, $f_w = 0.850\%$, (b) 4Bf, $f_w = 0.458\%$, (c) 5Bf, $f_w = 0.063\%$ (d) 6Bf, $f_w = 0.004\%$

Το επιθυμητό εύρος τιμών για τα σημαντικά ύψη κύματος, ώστε να διεξαχθούν αποτελεσματικά πειράματα μικρής κλίμακας είναι περίπου 0.2-0.8 μέτρα. Αυτό προτιμάται καθώς αυτό το εύρος κυματισμών είναι ικανοποιητικό, ώστε να διεξαχθούν πειράματα υπό κλίμακα, με ακριβή και ορθά αποτελέσματα, χωρίς όμως να είναι πρακτικά δύσκολη η ολοκλήρωσή τους ή να τίθεται σε κίνδυνο η λειτουργία των συσκευών και του εξοπλισμού μετρήσεων. Επίσης, σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό των Ωρεών, έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι για τις διευθύνσεις ανέμων που αφορούν την περιοχή του Αναύρου -δηλαδή τον νότιο, νοτιοδυτικό και νοτιοανατολικό άνεμο-, μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης έχουν τα 2,3 και 4 Beaufort. Επιπροσθέτως, κυρίως ο νότιος άνεμος εμφανίζει και στα 5 και 6 Beaufort μια σημαντική συχνότητα εμφάνισης. Επομένως, αυτός είναι ο λόγος που η προσοχή έχει εστιαστεί σε αυτές τις ταχύτητες ανέμων, όσον αφορά τις προσομοιώσεις, όπως αναφέρθηκε συνοπτικά και στην αρχή αυτού του Κεφαλαίου. Αυτό είχε ως στόχο, να εξαχθούν τελικά

συμπεράσματα για το ποιες συνθήκες είναι πιο ευνοϊκές για την διεξαγωγή πειραματικών διαδικασιών.

Ακολουθώντας τα παραπάνω συμπεράσματα, εξήχθησαν από τις τελικές προσομοιώσεις, οι τιμές του σημαντικού ύψους κύματος και της περιόδου κορυφής για ταχύτητες ανέμου 3, 4, 5 και 6 Beaufort. Τα 2 Beaufort, εξαιρέθηκαν από τα αποτελέσματα, καθώς όπως έγινε κατανοητό από τις προσομοιώσεις, δεν παράγουν τόσο ικανοποιητικό κυματικό δυναμικό. Ως περιοχή αναφοράς, επιλέχθηκε αυτή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 51, καθώς βρίσκεται μπροστά από την δημοτική κτιριακή εγκατάσταση και δεν επηρεάζεται από τα τεχνικά έργα της παραλίας του Αναύρου, ενώ ταυτόχρονα δεν αναμένεται να υπάρχουν απότομες κλίσεις πυθμένα στο σημείο.



Εικόνα 51: Περιοχή αναφοράς (κόκκινη γραμμή) για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από τις προσομοιώσεις του Αναύρου (Πηγή: Navionics)

Ακολούθως, παρατίθενται οι πίνακες με τον μέσο όρο των τιμών των σημαντικών μεγεθών των κυματισμών της περιοχής που ορίστηκε παραπάνω. Τα αποτελέσματα εξήχθησαν και για τις τρεις επιθυμητές διευθύνσεις ανέμων.

Πίνακας 24: Αποτελέσματα σημαντικών μεγεθών κυματισμών για τον νότιο άνεμο για 3,4,5 και 6 Beaufort

Νότιος Άνεμος		
Ταχύτητα Ανέμου	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)
3BF	0.225	2.729
4BF	0.388	3.386
5BF	0.575	3.685
6BF	0.778	4.041

Πίνακας 25: Αποτελέσματα σημαντικών μεγεθών κυματισμών για τον νοτιοανατολικό άνεμο για 3,4 και 5 Beaufort

Νοτιοανατολικός Άνεμος		
Ταχύτητα Ανέμου	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)
3BF	0.189	2.819
4BF	0.320	3.345
5BF	0.470	3.824

Πίνακας 26: Αποτελέσματα σημαντικών μεγεθών κυματισμών για τον νοτιοδυτικό άνεμο για 3,4,5 και 6 Beaufort

Νοτιοδυτικός Άνεμος		
Ταχύτητα Ανέμου	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής (sec)
3BF	0.114	1.639
4BF	0.212	1.976
5BF	0.339	2.285
6BF	0.469	2.534

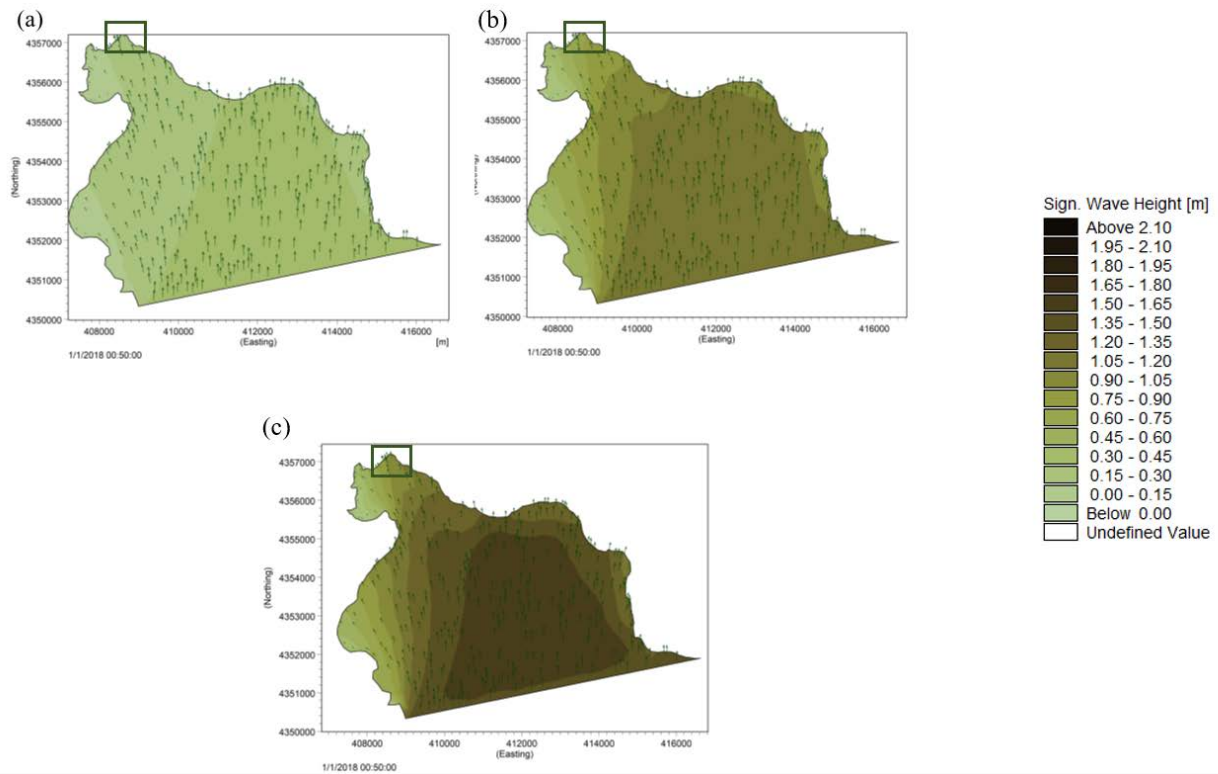
Από τα αποτελέσματα προκύπτει το συμπέρασμα ότι, ο νότιος άνεμος αποδίδει ευνοϊκές τιμές για τα 3,4,5 και 6 Beaufort, καθώς είναι όλες εντός του εύρους των 0.2-0.8 μέτρων, ενώ ο νοτιοδυτικός είναι περισσότερο αποδοτικός για τα 4, 5 και 6 Beaufort και ο νοτιοανατολικός για 4 και 5 Beaufort. Όπως φαίνεται και στους Πίνακες 25 και 26 στα 3 Beaufort, αποδίδουν πιο χαμηλό δυναμικό, που είναι έκτος των αποδεκτών ορίων που έχουν τεθεί, αλλά όχι και απαγορευτικό για διεξαγωγή μετρήσεων.

Ένα φυσικό εργαστήριο πεδίου μικρής κλίμακας, έχει το πλεονέκτημα της διεξαγωγής πειραμάτων ανοιχτής θάλασσας, σε συνθήκες προστατευμένου κόλπου, χρησιμοποιώντας μια κλίμακα αναλογίας μεταξύ των δύο θαλάσσιων συνθηκών. Όσον αφορά τον Άναυρο, πρώτο μέλημα είναι η σύγκριση του με τις κυματικές συνθήκες του Αιγαίου πελάγους. Μέσω του Copernicus Marine Service (CMEMS), το οποίο είναι ένα πρόγραμμα συλλογής πληροφοριών μέσω δορυφόρων και επίγειων μετρήσεων για την παροχή ωκεάνιων και κυματικών δεδομένων, συλλέχθηκαν τιμές σημαντικού ύψους κύματος και περιόδου κορυφής για κάποιες ενδεικτικές περιοχές του Αιγαίου πελάγους. Σε γενικές γραμμές, το Αιγαίο διακρίνεται από μεγάλα σημαντικά ύψη κύματος σε σχέση με τις περιόδους αιχμής τους. Αυτό προκύπτει εξαιτίας του περιορισμένου μήκους αναπτύγματος, λόγω των πυκνών νησιωτικών συμπλεγμάτων. Το γενικό συμπέρασμα που εξήχθη λοιπόν, ήταν ότι επικρατεί μια κλίμακα 1:7 με 1:10, ανάμεσα στα σημαντικά ύψη κύματος του Αναύρου σε σχέση με το Αιγαίο πέλαγος. Αναλυτικότερα, το μεγάλο μήκος αναπτύγματος που παράγει ο νότιος άνεμος, συμβάλλει περισσότερο στην διεξαγωγή πειραμάτων υπό κλίμακα για ωκεάνιες συνθήκες. Από την άλλη πλευρά, τα μικρότερα μήκη αναπτύγματος του νοτιοανατολικού και νοτιοδυτικού ανέμου, προσεγγίζουν καλύτερα τις κυματικές συνθήκες του Αιγαίου ή άλλων αντίστοιχων θαλασσών.

6.1.1 Αποτελέσματα για ακραίες ανεμολογικές συνθήκες

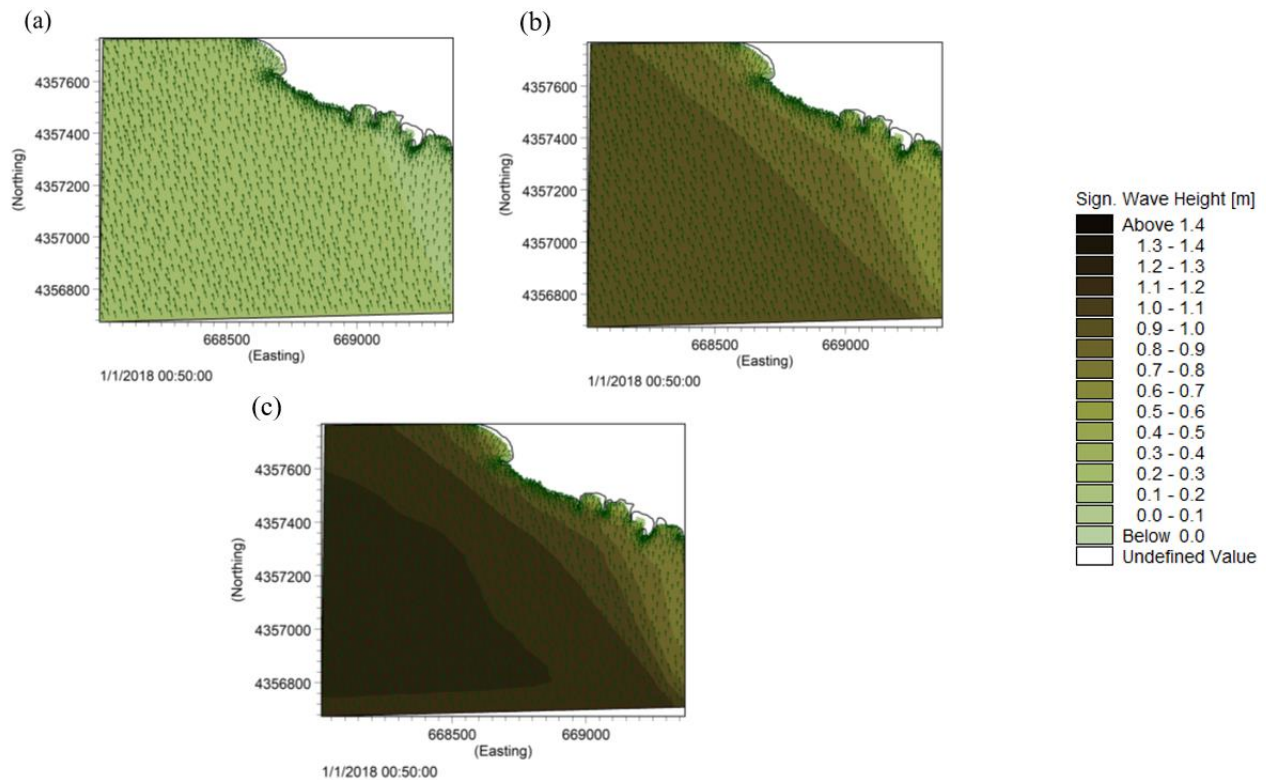
Σύμφωνα με τους ανεμολογικούς σταθμούς και κυρίως από την παρατήρηση των δεδομένων του ανεμολογικού σταθμού των Ωρεών, η συχνότητα εμφάνισης ανέμων από 7 Beaufort και πάνω είναι ιδιαίτερα μικρή έως και μηδενική. Κρίθηκε λοιπόν σκόπιμο, να σχολιαστούν τα αποτελέσματα που δίνονται για τα 7 Beaufort ως η μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου που εμφανίζει συχνότητα εμφάνισης. Ακολουθώντας,

παρατίθενται τα αποτελέσματα για τον κόλπο του Βόλου και για την περιοχή του Αναύρου, για 3,6 και 7 Beaufort για τον νότιο άνεμο, ο οποίος είναι ο επικρατέστερος σε συχνότητα πνοής.



Εικόνα 52: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νότιου ανέμου στην περιοχή του κόλπου του Βόλου (Πηγή: MIKE 21)

(a) 3Bf, $f_w = 2.436\%$, (b) 6Bf, $f_w = 0.063\%$, (c) 7Bf, $f_w = 0.003\%$



Εικόνα 53: Αποτελέσματα σημαντικού ύψους κύματος νότιου ανέμου στην περιοχή του Αναύρου

(Πηγή: MIKE 21)

(a) 3Bf, $f_w = 2.436\%$, (b) 6Bf, $f_w = 0.063\%$, (c) 7Bf, $f_w = 0.003\%$

Από τα αποτελέσματα, γίνεται αντιληπτό ότι ακόμη και σε πιο σπάνιες, ακραίες ανεμολογικές συνθήκες, η περιοχή μελέτης δεν φαίνεται να εμφανίζει επικίνδυνα σημαντικά ύψη κύματος, που θα μπορούσαν ίσως να βλάψουν τον εξοπλισμό ή/και να επηρεάσουν τις μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές δεν ξεπερνούν το 1 μέτρο, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 27 για την περιοχή του Αναύρου.

Πίνακας 27: Σημαντικά μεγέθη κυματισμών για την ακραία περίπτωση των 7 Beaufort

Νότιος Άνεμος		
Ταχύτητα Ανέμου	Σημαντικό Ύψος Κύματος (m)	Περίοδος Κορυφής(sec)
3BF	0.225	2.729
6BF	0.778	4.041
7BF	0.991	4.397

6.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ μεθόδων

Στο σημείο αυτό θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν για την περιοχή ενδιαφέροντος στην παραλία του Αναύρου, από την μέθοδο SBM και το κριτήριο θραύσης του Goda, από την πρώτη προσομοίωση στο λογισμικό MIKE 21, που δεν λάμβανε υπόψιν τους μετασχηματισμούς των κυματισμών και από την τελική προσομοίωση του Αναύρου, μετά την χρήση των τιμών που εξήχθησαν από την προσομοίωση του κόλπου του Βόλου. Η σύγκριση θα γίνει για τον νότιο άνεμο, ο οποίος είναι ο συνηθέστερος και για 3 έως και 6 Beaufort.

Ακολούθως, παρατίθεται πίνακας των αποτελεσμάτων για τα σημαντικά ύψη κύματος.

Πίνακας 28: Σύγκριση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από τις τρεις μεθόδους για τα σημαντικά ύψη κύματος στην περιοχή ενδιαφέροντος για 3 έως 6 Beaufort

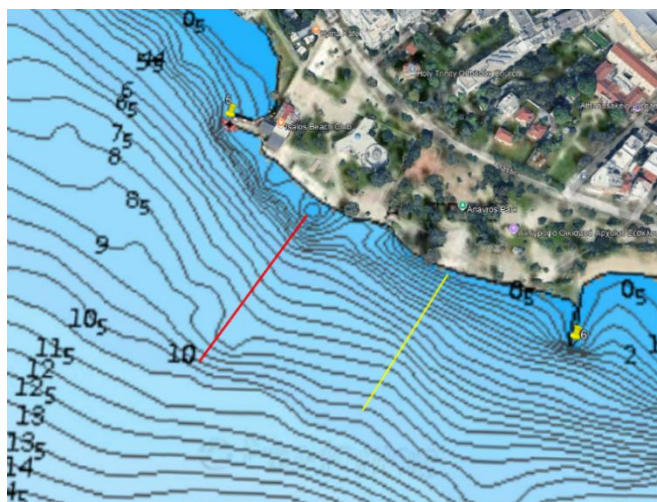
Αποτελέσματα εμπειρικών μεθόδων (Κεφάλαιο 4)		Αρχική προσομοίωση (Κεφάλαιο 6)	Τελική προσομοίωση (Κεφάλαιο 6)
Ταχύτητα Ανέμου (Beaufort)	Σημαντικό Ύψος Θραύσης (m)	Σημαντικό Ύψος Κύματος στο d=6 (m)	Σημαντικό Ύψος Κύματος στο d=6 (m)
3	0.229	0.280	0.225
4	0.391	0.471	0.388
5	0.593	0.696	0.575
6	0.833	0.957	0.778

Όπως, μπορεί να γίνει αντιληπτό από τα παραπάνω αποτελέσματα, οι διαφορές μεταξύ των τριών τρόπων υπολογισμού δεν είναι σημαντικές. Αυτό συμβαίνει καθώς τα σημαντικά ύψη κύματος δεν εμφανίζουν υψηλές τιμές κοντά στην περιοχή μελέτης, επομένως δεν υπάρχουν και έντονες μη γραμμικότητες. Επιπροσθέτως, η περιοχή διακρίνεται από σχετικά ομαλή βαθυμετρία με μικρές κλίσεις και για αυτόν τον λόγο αποφεύγεται η δημιουργία περίπλοκων συνθηκών αλληλεπίδρασης μεταξύ του πυθμένα και των κυματισμών. Παρόλα αυτά όμως, ο τελικός τρόπος υπολογισμού που επιλέχθηκε, είναι πιο λεπτομερής, ολοκληρωμένος και λαμβάνει υπόψιν όλες τις σημαντικές παραμέτρους που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά τα αποτελέσματα, καθώς υπολογίζει όλους τους μετασχηματισμούς που δέχτηκε το ανεμογενές κύμα από την είσοδο του Παγασητικού κόλπου, έως την παραλία του Αναύρου.

6.3 Υπολογισμός κλίσης πυθμένα, για δύο πιθανές θέσεις τοποθέτησης του εργαστηρίου

Αφού έχει επιλεγεί ως θέση τοποθέτησης του εργαστηρίου η ευρύτερη περιοχή της παραλίας του Αναύρου, σε αυτό το σημείο θα γίνει περεταίρω διερεύνηση της καταλληλότερης θέσης, σύμφωνα με την κλίση που εμφανίζει ο πυθμένας. Η περιοχή ενδιαφέροντος έχει εστιαστεί στο κομμάτι που φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, λόγω της εγγύτητάς τους ως προς την δημοτική κτιριακή εγκατάσταση, τις αποδοτικές κυματικές συνθήκες που εμφανίζει το σημείο, όπως αναλύθηκε προηγουμένως και τέλος εξαιτίας της απουσίας τεχνικών έργων.

Το σημείο 1 επιλέχθηκε να είναι ακριβώς μπροστά στο κτίριο, ενώ το σημείο 2 σε ένα κομμάτι που εμφανίζει ομαλή κατανομή των ισοβαθών, επομένως αναμένεται και ομαλότερη κλίση.

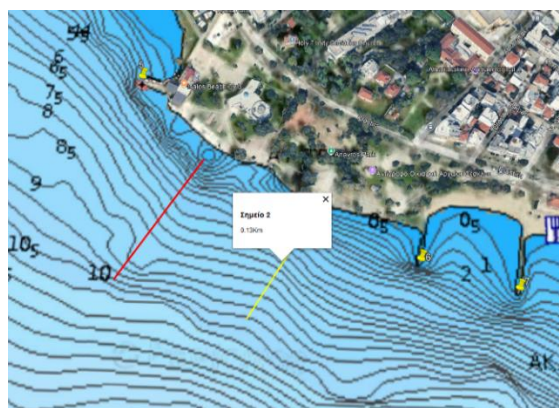


Εικόνα 54: Προτεινόμενες θέσεις τοποθέτησης του εξοπλισμού (Πηγή: Navionics)



Εικόνα 55: Σημείο τοποθέτησης 1 (Κόκκινη Γραμμή)

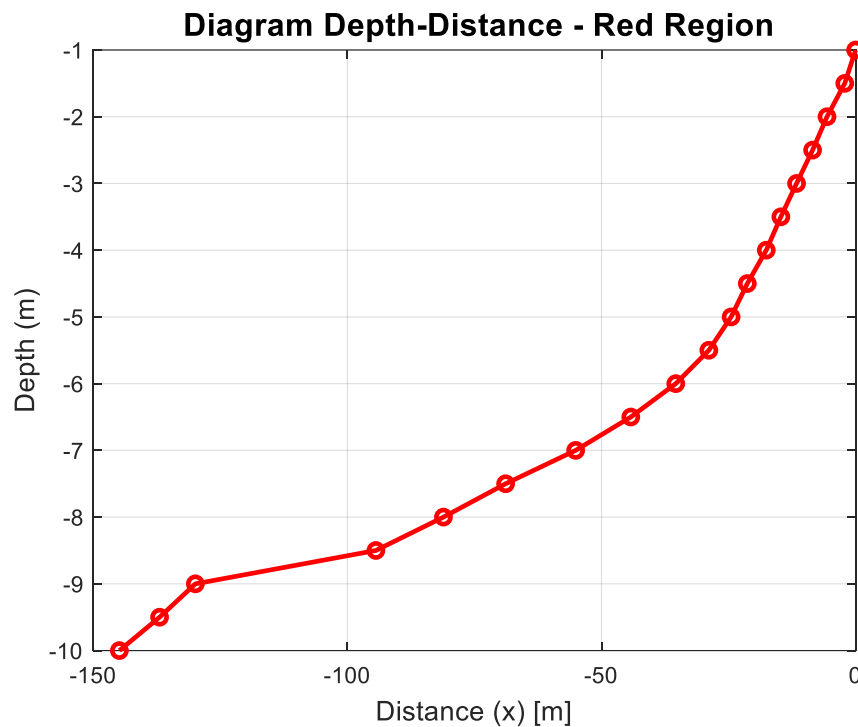
(Πηγή: Navionics)



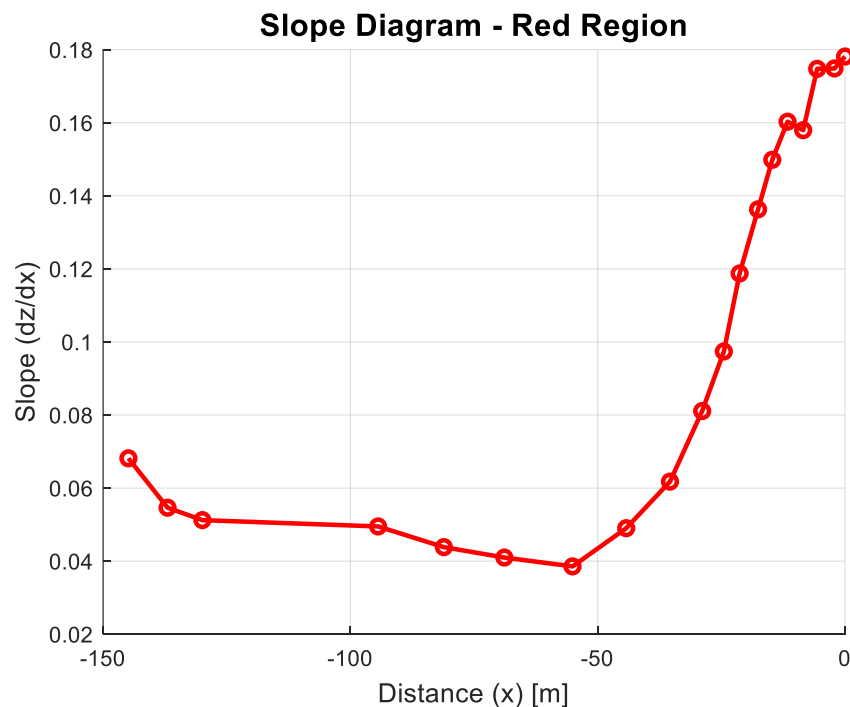
Εικόνα 56: Σημείο τοποθέτησης 2 (Κίτρινη Γραμμή)

(Πηγή: Navionics)

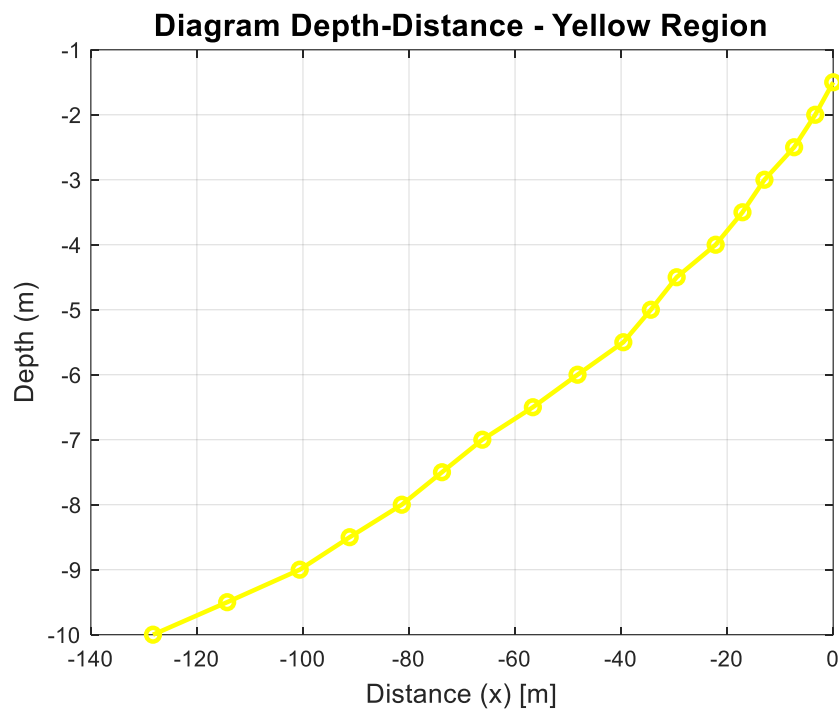
Μετά την επιλογή των σημείων σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια, έγινε υπολογισμός της κλίσης πυθμένα σε αυτά και εξήχθησαν αντίστοιχα διαγράμματα στο λογισμικό MATLAB.



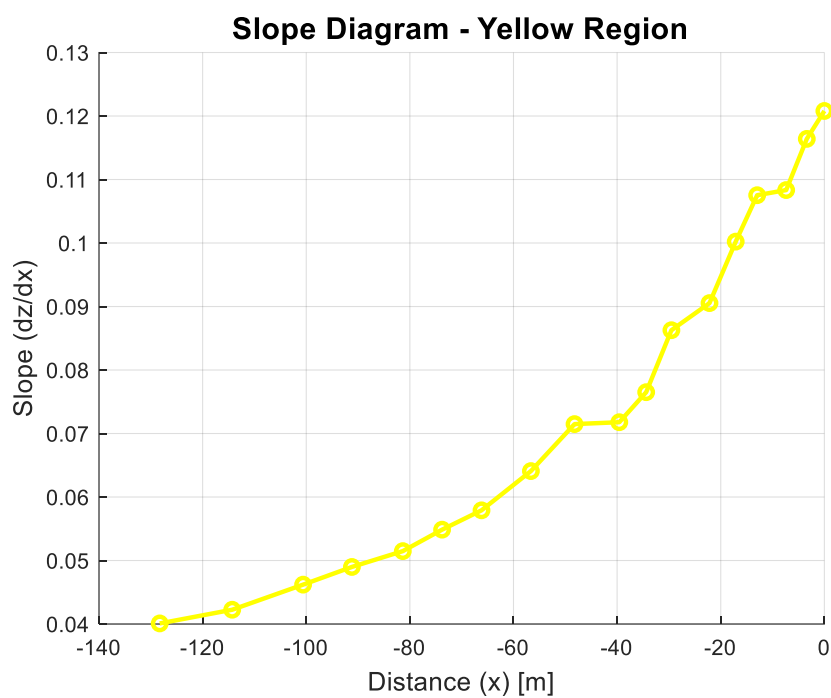
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα απόστασης-βάθους για την κόκκινη περιοχή



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα κλίσης πυθμένα για την κόκκινη περιοχή

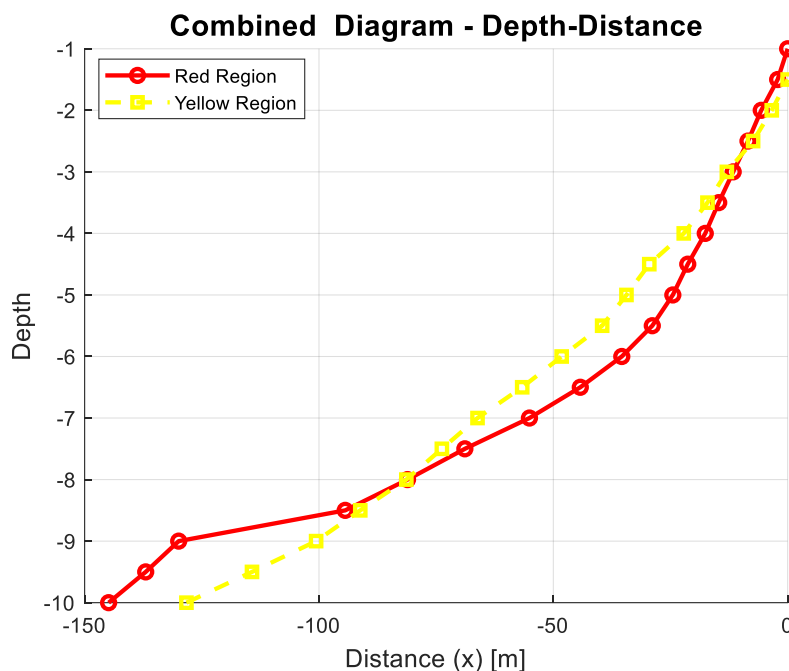


Διάγραμμα 7: Διάγραμμα απόστασης-βάθους για την κίτρινη περιοχή

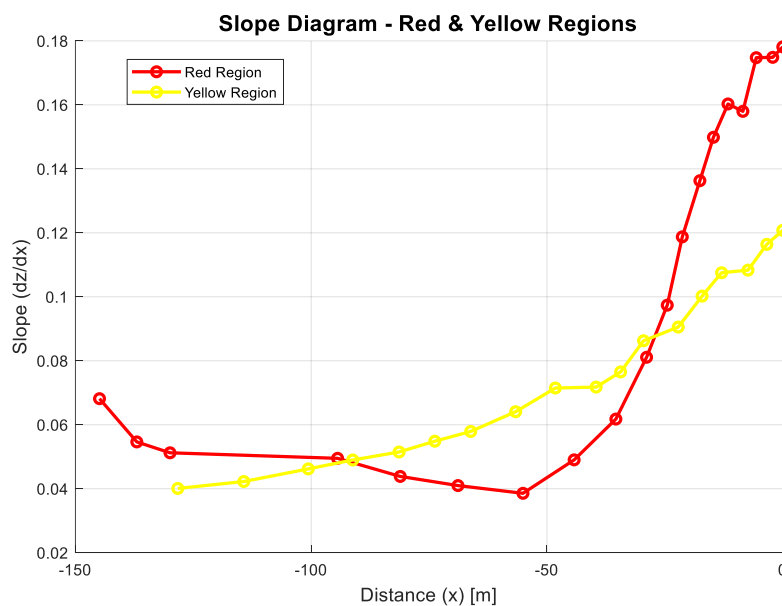


Διάγραμμα 8: Διάγραμμα κλίσης για την κίτρινη περιοχή

Δημιουργήθηκε και ένα τελικό, συγκριτικό διάγραμμα μεταξύ των δύο περιοχών, το οποίο παρατίθεται ακολούθως.



Διάγραμμα 9: Συγκριτικό διάγραμμα απόστασης-βάθους για τις δύο περιοχές



Διάγραμμα 10: Συγκριτικό διάγραμμα κλίσης για τις δύο περιοχές

Συμπερασματικά, κρίνεται ότι το σημείο δύο (κίτρινη περιοχή), υπερिशύει όσον αφορά την κλίση πυθμένα, καθώς φαίνεται να είναι πιο ομαλή, χωρίς απότομες αλλαγές κατά το μήκος, που θα μπορούσαν ίσως να προκαλέσουν δυσκολίες στην εγκατάσταση ή/και στην λειτουργία του εξοπλισμού. Επίσης, στην κίτρινη περιοχή η μέγιστη κλίση φτάνει μέχρι την τιμή 0.1-0.12, η οποία είναι πολύ κοντά στην κλίση πυθμένα του εργαστηρίου μικρής κλίμακας NOEL. Κρίνεται απαραίτητο να σημειωθεί βέβαια, ότι για πιο σωστό και λεπτομερή υπολογισμό της κλίσης του πυθμένα, απαιτείται

περιοδική βυθομέτρηση και εκτενέστερη μελέτη, η οποία δεν είναι στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας.

Κεφάλαιο 7 Απαραίτητος εξοπλισμός για την διεξαγωγή μετρήσεων και προσεγγιστικός υπολογισμός κόστους

7.1 Εισαγωγή

Έχοντας πλέον βρει την κατάλληλη θέση τοποθέτησης ενός υδραυλικού εργαστηρίου μικρής κλίμακας εντός του Παγασητικού κόλπου και αφού μελετήθηκαν και οι κυματικές συνθήκες της περιοχής, κρίνεται σκόπιμη η διερεύνηση γύρω από τον εξοπλισμό που θα ήταν απαραίτητος για την ομαλή λειτουργία του. Στο συγκεκριμένο Κεφάλαιο, θα αναλυθούν τα δεδομένα και οι μετρήσεις που είναι επιθυμητό να συλλέγονται στο εργαστήριο, οι συσκευές που θα διευκολύνουν την συγκεκριμένη διαδικασία, καθώς και μια συνοπτική οπτική του κόστους που θα απαιτηθεί.

7.2 Επιθυμητές μετρήσεις τιμών και απαραίτητος εξοπλισμός για την λειτουργία του θαλάσσιου εργαστηρίου

Η εγκατάσταση θαλάσσιου εργαστηρίου υδραυλικής στην ευρύτερη περιοχή του Αναύρου, έχει ως στόχο την εξαγωγή δεδομένων, μέσω κατάλληλων μετρήσεων. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα, θα έχουν τόσο ερευνητικό, όσο και περιβαλλοντικό ενδιαφέρον, καθώς ειδικοί αισθητήρες και συσκευές θα λαμβάνουν ακριβείς πληροφορίες για την στάθμη ελεύθερης επιφάνειας (surface elevation), τα ρεύματα του κόλπου (currents), όπως και την αλατότητα και την θερμοκρασία της θάλασσας. Θα λαμβάνονται επιπλέον, στοιχεία της ποιότητας των υδάτων, όπως είναι τα βακτηρίδια και η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, η οποία αποτελεί και δείκτη καθαρότητας για το υδάτινο οικοσύστημα.

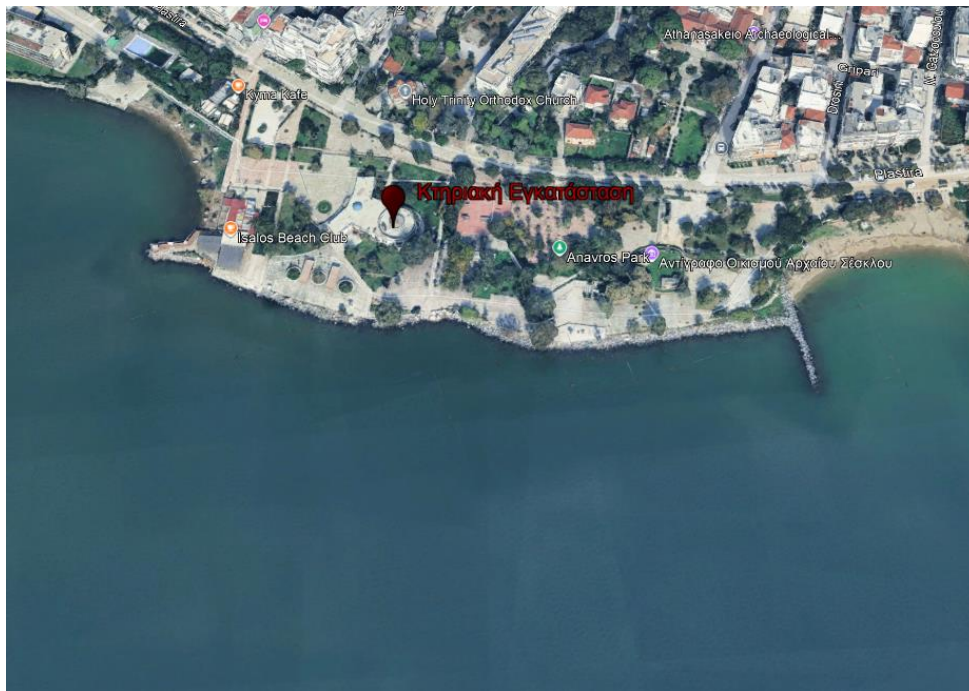
Τα παραπάνω στοιχεία, κρίνονται πολύ σημαντικά να συλλέγονται εντός κλειστών κόλπων και ιδιαίτερα μετά από τις αλλεπάλληλες φυσικές καταστροφές που υπέστη τα τελευταία χρόνια ο Παγασητικός κόλπος. Η μελέτη του θα δώσει χρήσιμες πληροφορίες για τον χρόνο ανάκαμψης, την κατάσταση της βιοποικιλότητας εντός αυτού και για την καταλληλότητα επαφής του νερού με τον άνθρωπο. Πέραν αυτού όμως, η συνεχής και σωστή παρακολούθηση του υδάτινου οικοσυστήματος δεν είναι αναγκαία μόνο σε περιόδους έκτακτης ανάγκης. Ο Βόλος, κατά σειρά ετών βρισκόταν σε καθεστώς συνεχούς ρύπανσης από βιομηχανικά, αστικά αλλά και γεωργικά

απόβλητα. Την κατάσταση αυτή, δυσχεραίνει το μικρό άνοιγμα της εισόδου του, που δεν διευκολύνει την γρήγορη ανανέωση των υδάτων του και το καθιστά ευαίσθητο οικοσύστημα. Η δημιουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων στην πόλη, συνέβαλλε σαφώς θετικά στην μείωση της ρύπανσης αυτής, παρόλα αυτά όμως, δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί η πλήρης ανάκαμψη του από την χρόνια επιβάρυνση. Η ίδρυση λοιπόν ενός υδραυλικού εργαστηρίου, θα δώσει την δυνατότητα δημιουργίας προφίλ του υδάτινου οικοσυστήματος, ώστε να παρακολουθείται η εξέλιξη του σε βάθος χρόνου και να πραγματοποιούνται, όποτε κρίνεται επιτακτική ανάγκη, ανθρώπινες επεμβάσεις.

Για την μέτρηση των επιθυμητών παραμέτρων, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ειδικών οργάνων σε κατάλληλες θέσεις εντός του Παγασητικού κόλπου. Ένα από αυτά είναι οι αισθητήρες, μέσω των οποίων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέτρηση βάθους. Χρήσιμη είναι και η εγκατάσταση Echo sounder, το οποίο αποτελεί έναν τύπο σόναρ, που όταν τοποθετείται εντός του νερού αντιλαμβάνεται τι βρίσκεται στον πυθμένα και σε ποιο βάθος, ενώ όταν τοποθετείται στην επιφάνεια της θάλασσας, μετρά κατευθυντικούς κυματισμούς. Επίσης, ιδιαίτερα αποτελεσματικός για την καταγραφή ταχυτήτων των κυματισμών σε τρεις άξονες, είναι ο πλωτός σταθμός Smart-800. Ο συγκεκριμένος λειτουργεί με τεχνολογία GPS (Global Positioning System), είναι ελαφρύς και εύκολος στην εγκατάσταση και διαθέτει αντοχή σε συνθήκες μεγάλων κυμάτων, εξαιτίας της μεθόδου Doppler που χρησιμοποιεί για τις μετρήσεις. Πολύ σημαντική είναι και η τοποθέτηση ενός συστήματος από 16 μετρητές αντίστασης (Wave Resistance Wave gauges) με το οποίο θα μπορούν να γίνουν ταυτόχρονες μετρήσεις χρονοϊστορίας της ελεύθερης επιφάνειας των κυματισμών σε διάφορα σημεία της περιοχής ενδιαφέροντος. Για την μέτρηση των ρευμάτων, αλλά και της στάθμης ελεύθερης επιφάνειας, θα χρειαστούν κατάλληλοι τύποι μετρητών ρεύματος, που θα λαμβάνουν τακτικές μετρήσεις. Τα συνηθέστερα, είναι τα τρίποδα, τα οποία τοποθετούνται σταθερά στον πυθμένα. Ταυτόχρονα, για την συλλογή στοιχείων θερμοκρασίας, αλατότητας και ποιότητας των υδάτων, θα ενσωματωθούν ειδικοί αισθητήρες, οι οποίοι θα συλλέγουν τις απαραίτητες τιμές.

Στην περιοχή του Αναύρου, η οποία έχει επιλεχθεί ως η καταλληλότερη για την εγκατάσταση του εργαστηρίου, υπάρχει και διαθέσιμη κτηριακή εγκατάσταση, όπως έχει αναφερθεί και σε προγενέστερο Κεφάλαιο. Πρόκειται για το κτίριο που στέγαζε

στο παρελθόν το ενυδρείο του Βόλου και βρίσκεται μόλις 55 μέτρα μακριά από το επιθυμητό σημείο τοποθέτησης του εξοπλισμού. Αυτό θα διευκόλυνε πολύ όλες τις πειραματικές διαδικασίες, καθώς θα υπήρχε άμεση συνεργασία του εξοπλισμού και των υπολογιστών συλλογής των αποτελεσμάτων. Επίσης, εκπονείται σχετική με το κτίριο αυτό, διπλωματική εργασία (Αναστασία Γκάγκα, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας), η οποία αφορά στην καταλληλότητα του κτιρίου και την επανάχρησή του ως εργαστήριο θαλάσσιας υδραυλικής.



Εικόνα 57: Θέση κτιριακής εγκατάστασης (Πηγή: Google Earth)



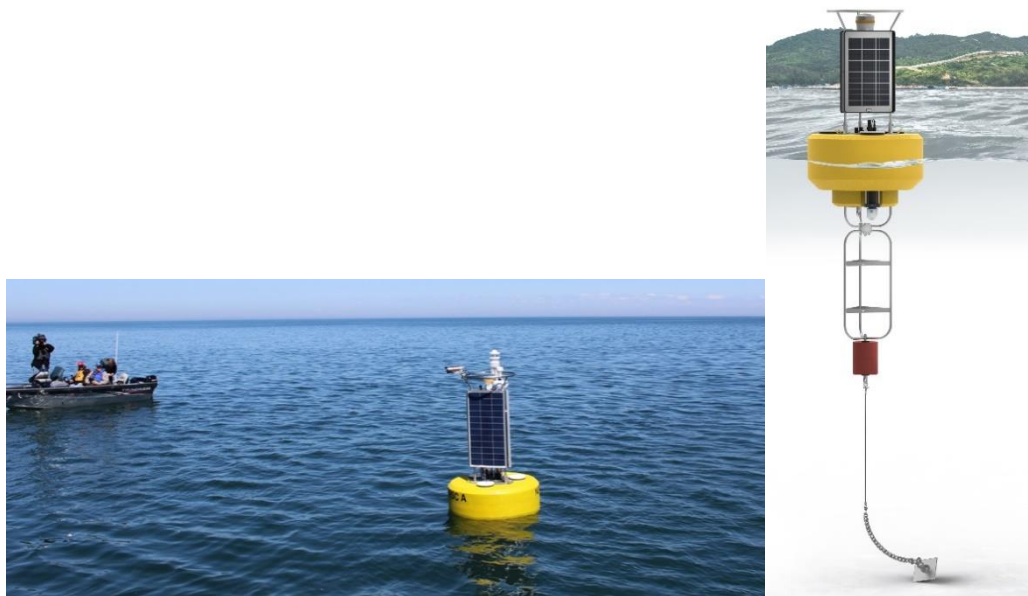
Εικόνα 58: Το κτήριο του παλιού ενυδρείου του Βόλου

Εκτός από την εγκατάσταση και την λειτουργία των συσκευών, πολύ σημαντική είναι και η συλλογή, αποθήκευση και ανάλυση αυτών, από κατάλληλα λογισμικά και υπολογιστές. Για την μεταφορά δεδομένων από τους αισθητήρες και τις πλωτές συσκευές, στην βάση που θα βρίσκεται στην ακτή, είναι δυνατόν να γίνει χρήση της τεχνολογίας UHF (Ultra High Frequency), καθώς εξασφαλίζει την αξιόπιστη, γρήγορη και αναλλοίωτη απόδοση των πληροφοριών ακόμη και σε έντονες κυματικές συνθήκες.

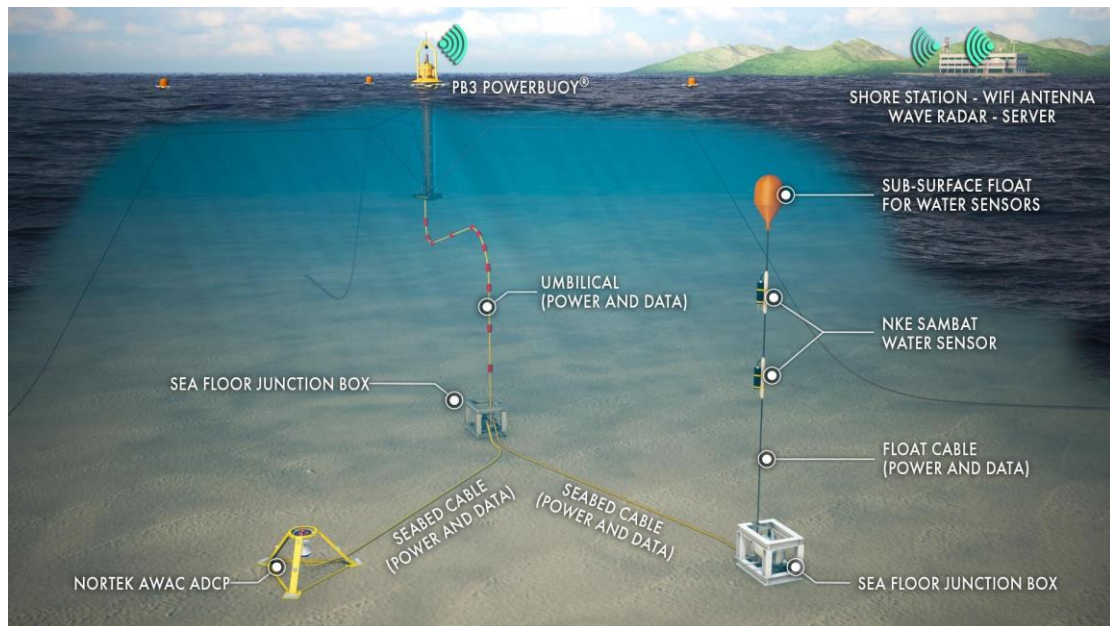
Παρακάτω, παρουσιάζεται μια πρότυπη διάταξη των συσκευών και αισθητήρων, που θα μπορούσε να ακολουθηθεί και στην περίπτωση του θαλάσσιου εργαστηρίου που μελετάται στην παρούσα διπλωματική. Η βασική ιδέα της διάταξης, προκύπτει από την επιθυμία συνεργασίας μεταξύ των συσκευών, ώστε να αντλούν πληροφορίες το ένα από το άλλο, οι οποίες σε τακτά χρονικά διαστήματα θα μεταφέρονται στο κέντρο συλλογής πληροφοριών, χωρίς απώλειες.

Αναλυτικότερα, τοποθετείται αρχικά στον πυθμένα το τρίποδο, το οποίο αποτελεί βάση τοποθέτησης και προστασίας της συσκευής AWAC ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Η συγκεκριμένη, καταγράφει πληροφορίες κατεύθυνσης και ταχύτητας ρευμάτων και είναι κατάλληλη για μετρήσεις σε παράκτιες περιοχές, με μέγιστο βάθος τοποθέτησης της τα 50 μέτρα. Ακολουθώς, ειδικά καλώδια συνδέουν το προηγούμενο σύστημα με ένα κουτί διασύνδεσης πυθμένα (sea junction box). Το συγκεκριμένο εξάρτημα είναι κατάλληλα σχεδιασμένο, ώστε να διαθέτει αντοχή σε συνθήκες εντός θάλασσας και να παρέχει την απαραίτητη ενέργεια σε όλα τα συνεργαζόμενα συστήματα. Ταυτόχρονα, συλλέγει τις πληροφορίες από αυτά, μέσω ειδικών καλωδίων (seabed cables) και συμβάλλει στην απλούστευσή της συνδεσμολογίας της διάταξης, καθώς λειτουργεί σαν κόμβος μεταξύ των οργάνων. Στη συνέχεια, ακολουθεί η σύνδεση του sea junction box, με το PB3 PowerBuoy, μια συσκευή η οποία μετατρέπει την κυματική ενέργεια σε ηλεκτρική και την αποθηκεύει σε ειδικές μπαταρίες που φέρει πάνω της. Αυτό μπορεί να προσδώσει ενεργειακή αυτονομία στο σύστημα, ενώ ταυτόχρονα μειώνει το ενεργειακό κόστος και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του εργαστηρίου. Θα πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι το κόστος αγοράς της είναι ιδιαίτερα υψηλό και ίσως να είναι ιδανικότερη για ανοιχτές θάλασσες. Επίσης, η συσκευή αυτή δεν παρέχει πληροφορίες για τα σημαντικά κυματικά μεγέθη, όμως μπορεί να τοποθετηθεί σε αυτή ένας αισθητήρας ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), ο οποίος θα είναι σε θέση να παρακολουθεί τις θαλάσσιες συνθήκες. Μια εναλλακτική

λύση αυτού, που είναι σε θέση να συνδυάσει την ενεργειακή αυτονομία, με την παροχή πληροφοριών και μετρήσεων, είναι το solar powered ocean buoy. Το σύστημα αυτό, διαθέτει ηλιακούς συλλέκτες, η ενέργεια των οποίων παρέχεται, τόσο στην ίδια την συσκευή, όσο και σε άλλες συσκευές της διάταξης που απαιτούν ενέργεια. Η συγκεκριμένη συσκευή, είναι πιο προσιτή όσον αφορά το κόστος και έχει την δυνατότητα να συλλέγει δεδομένα θερμοκρασίας και ποιότητας νερού, αλατότητας, μέτρησης ύψους, περιόδου και διεύθυνσης κύματος, αλλά και παρακολούθησης καιρού, όπως είναι η βροχή, η ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου και η πίεση.



Εικόνα 59: Η αυτόνομη ενεργειακά συσκευή solar powered ocean buoy

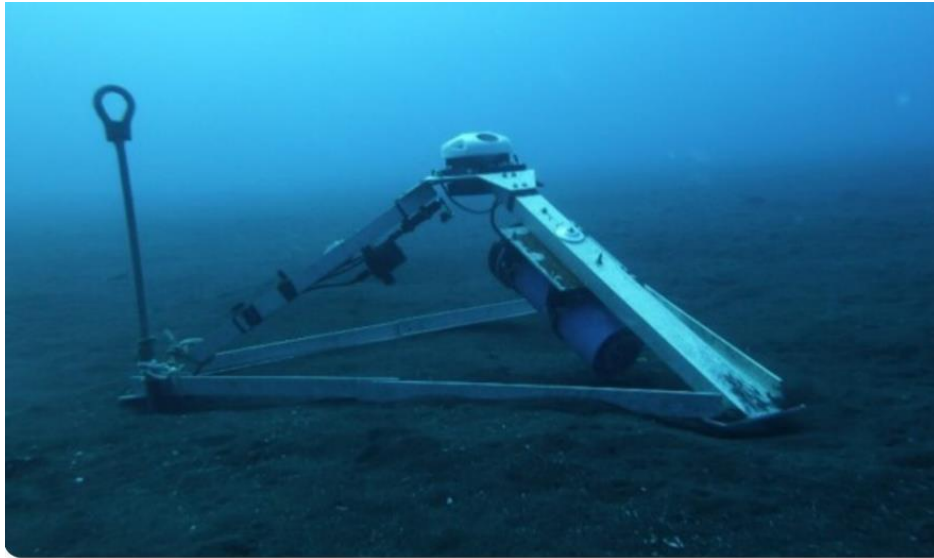


Εικόνα 60: Προτεινόμενη διάταξη συσκευών

Στην διάταξη, θα μπορούσε να προστεθεί και ένας αισθητήρας YSI EXO Total Algae Sensor. Ο συγκεκριμένος είναι κατάλληλος και για θαλάσσια οικοσυστήματα και παρακολουθεί κυρίως την ποιότητα του νερού και την παρατήρηση ανάπτυξης επιβλαβών φυκών, μέσω της ανίχνευσης ουσιών που προκαλούν την άνθισή τους.



Εικόνα 61: Ο αισθητήρας YSI EXO Total Algae Sensor



Εικόνα 62: Συσκευή μέτρησης ρευμάτων και κατευθυντικών κυματισμών - Τρίποδο



Εικόνα 63: Τυπικοί αισθητήρες

Ακολούθως, έγινε και μια έρευνα του κόστους των παραπάνω συσκευών, που θα ήταν επιθυμητό να εγκατασταθούν στο υδραυλικό εργαστήριο μικρής κλίμακας. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε σχετικός πίνακας που παρουσιάζει την ποσότητα και το κόστος ανά μονάδα για κάθε συσκευή ή λογισμικό. Να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι πρόκειται για ένα ενδεικτικό μέσο κόστος για την τρέχουσα χρονική περίοδο.

Πίνακας 29: Ενδεικτικό κόστος εξοπλισμού του εργαστηρίου

α/α	Ποσότητα	Κόστος
Αισθητήρες (Sensors)	16	200 €
Τρίποδας	1	3,000 €
Σύστημα Μετρητές κυμάτων (Wave gauges system) - AWAC (Acoustic Wave and Current Profiler)	1	4,500 €
Λογισμικό ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων	1	3,500 €
Echo Sounder (Sonar)	2	500 €
Σταθερός υπολογιστής	2	850 €
Οθόνη	2	150 €
YSI EXO Total Algae Sensor	1	3600
Solar powered ocean buoy	1	5000
Sea floor junction box	1	30000
Σύνολο:		55,800 €

Κεφάλαιο 8 Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

8.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστίασε στην εύρεση της βέλτιστης θέσης τοποθέτησης φυσικού εργαστηρίου μικρής κλίμακας, εντός του Παγασητικού κόλπου και στην μελέτη των κυματικών συνθηκών στην τελική περιοχή ενδιαφέροντος. Η περιοχή που κρίθηκε καταλληλότερη, σύμφωνα με τα κριτήρια που τέθηκαν, ήταν η περιοχή του Αναύρου. Τα σημαντικά μεγέθη των κυματισμών της επιλεγμένης θέσης (Άναυρος), βρέθηκαν έπειτα από προσομοιώσεις στο λογισμικό MIKE 21 της εταιρείας DHI. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τις προσομοιώσεις ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, επιβεβαιώνοντας την καταλληλότητα της περιοχής για την εγκατάσταση φυσικού εργαστηρίου μικρής κλίμακας.

Οι συνθήκες εντός του Παγασητικού κόλπου, κρίθηκαν ιδιαίτερα ευνοϊκές για την εγκατάσταση φυσικού εργαστηρίου και την διεξαγωγή πειραμάτων υπό κλίμακα. Επιπλέον, αποτελεί ευαίσθητο οικοσύστημα, που χρίζει προστασίας και παρακολούθησης, καθώς έχει υποστεί χρόνια επιβάρυνση και ρύπανση. Η θέση, η μορφολογία και οι ανεμολογικές συνθήκες που επικρατούν εντός αυτού, δημιουργούν ένα θαλάσσιο περιβάλλον ικανό να παράγει το επιθυμητό κυματικό δυναμικό για την διεξαγωγή μετρήσεων, αποφεύγοντας τις επικινδυνότητες και τις ακραίες συνθήκες που μπορούν να λάβουν χώρα σε μια ανοιχτή θάλασσα.

Οι τρεις περιοχές που κρίθηκαν ως οι επικρατέστερες, ήταν ο Άναυρος, οι Αλυκές και η Μηλίνα. Ακολούθως, έγινε μια πολυκριτηριακή ανάλυση ανάμεσα στις περιοχές αυτές, ώστε να βρεθεί η καταλληλότερη θέση για την τοποθέτηση φυσικού εργαστηρίου μικρής κλίμακας. Τα κυριότερα κριτήρια ήταν τα εξής:

- Οι ανεμολογικές/κυματικές συνθήκες
- Το μήκος αναπτύγματος των κυματισμών
- Η εγγύτητα στον αστικό ιστό
- Η ύπαρξη κτιριακής εγκατάστασης στην περιοχή
- Η απουσία τεχνικών έργων στο σημείο

Έπειτα από κατάλληλους υπολογισμούς, προέκυψε ότι ο Άναυρος είναι η βέλτιστη θέση τοποθέτησης του θαλάσσιου εργαστηρίου, καθώς φαίνεται να πληροί όλα τα κριτήρια.

Έχοντας πλέον καθορίσει την περιοχή μελέτης, ακολούθησε η διαδικασία των προσομοιώσεων για τις επιθυμητές διευθύνσεις ανέμων – νότιο, νοτιοδυτικό και νοτιοανατολικό άνεμο-. Οι προσομοιώσεις διεξήχθησαν στο εργαλείο Spectral Waves του λογισμικού MIKE 21 και έγιναν για ταχύτητες ανέμων από 2 έως 9 Beaufort. Τα αποτελέσματα όμως, περιορίστηκαν κυρίως στα 3, 4, 5 και 6 Beaufort, καθώς αυτά παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης, ενώ ταυτόχρονα παράγουν και σημαντικό κυματικό δυναμικό. Πιο συγκεκριμένα, η προσοχή εστιάστηκε σε ένα εύρος σημαντικού ύψους κύματος από 0.2 έως 0.8 Beaufort και προέκυψε το συμπέρασμα ότι ο νότιος άνεμος ικανοποιεί αυτό το εύρος και για τα 3,4,5 και 6 Beaufort, ενώ ταυτόχρονα είναι και ο συχνότερος σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό των Ωρεών. Οι τιμές για τα παραπάνω Beaufort παρατίθενται ακολούθως:

- 3Bf: Σημαντικό ύψος κύματος = 0.225m
- 4Bf: Σημαντικό ύψος κύματος = 0.388m
- 5Bf: Σημαντικό ύψος κύματος = 0.575m
- 6Bf: Σημαντικό ύψος κύματος = 0.778m

Επομένως, κρίνεται και ως ο ευνοϊκότερος άνεμος για την διεξαγωγή πειραμάτων. Πιο συγκεκριμένα, έπειτα από σύγκριση των αποτελεσμάτων με τιμές σημαντικών υψών κύματος στο Αιγαίο πέλαγος, προέκυψε το συμπέρασμα ότι ο νοτιοδυτικός και νοτιοανατολικός άνεμος είναι πιο κατάλληλοι για την προσέγγιση των κυματικών συνθηκών του Αιγαίου. Αντίθετα, ο νότιος άνεμος, λόγω του μεγάλου μήκους αναπτύγματος που παράγει για το Άναυρο, κρίνεται ευνοϊκότερος για πειραματικές διαδικασίες που αφορούν ωκεάνιες συνθήκες.

Επιπροσθέτως, μελετώντας τα αποτελέσματα που εξήχθησαν για ακραίες ανεμολογικές συνθήκες (7 Beaufort), παρατηρήθηκε ότι, το σημαντικό ύψος κύματος που προέκυψε δεν μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την λειτουργία του εξοπλισμού ή την ποιότητα των μετρήσεων.

Όσον αφορά τις πειραματικές μετρήσεις και τον εξοπλισμό που απαιτείται για αυτές, θεωρήθηκε απαραίτητο να λαμβάνονται μετρήσεις τόσο για την ποιότητα και την

κατάσταση του νερού, όσο και για τις κυματικές συνθήκες, τις ταχύτητες των ρευμάτων και των ανέμων. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται η συλλογή δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα, για την στάθμη ελεύθερης επιφάνειας (surface elevation), τα ρεύματα του κόλπου (currents), την αλατότητα και την θερμοκρασία της θάλασσας, αλλά και την συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, η οποία αποτελεί και δείκτη καθαρότητας για το υδάτινο οικοσύστημα.

8.2 Προτάσεις για έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί μια αρχική πρόταση τοποθέτησης εργαστηρίου μικρής κλίμακας εντός του Παγασητικού κόλπου, θέτοντας τις πρώτες βάσεις για την εγκατάστασή του. Προτείνεται λοιπόν, περαιτέρω έρευνα και ανάλυση, ώστε να γίνει μια πιο στοχευμένη και λεπτομερής μελέτη υλοποίησης του. Επιπλέον, πολύ σημαντική κρίνεται η αξιολόγηση της προτεινόμενης κτηριακής εγκατάστασης στην περιοχή του Αναύρου, με σκοπό την κατάλληλη διαμόρφωση της, ώστε να μπορέσει να στεγάσει γραφεία, εργαστήρια και οποιονδήποτε άλλο χώρο απαιτείται για την ομαλή διεξαγωγή πειραμάτων και την συλλογή και ανάλυση των συλλεγόμενων πληροφοριών. Προτείνεται επίσης, να γίνει κοκκομετρική μελέτη στην περιοχή του Αναύρου και να εξεταστεί η μεταφορά φερτών και η μεταβολή στις κλίσεις πυθμένα, η οποία θα μπορούσε να δυσχεράνει την εγκατάσταση ή/και την λειτουργία του εξοπλισμού.

Όσον αφορά την οικονομική μελέτη, κρίνεται ότι είναι σημαντική να γίνει. Πολύ σημαντικό είναι να ληφθεί υπόψιν σε αυτήν και η μακροπρόθεσμη συντήρηση των μηχανημάτων, αλλά και κάποιες τεχνικές εργασίες που είναι πιθανόν να απαιτηθούν. Αυτές μπορεί να είναι βυθοκόρηση του πυθμένα ή/και διάστρωσή του με καταλληλότερο υλικό, ανάλογα βέβαια και με τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από την μελέτη μεταφοράς φερτών.

Βιβλιογραφία

- Antaˆo, E. M., & Guedes Soares, C. (2006). On the Occurrence of Abnormal Waves in an Offshore Tank. Volume 3: Safety and Reliability; Materials Technology; Douglas Faulkner Symposium on Reliability and Ultimate Strength of Marine Structures, 909–917.
- Arena, F., & Barbaro, G. (2013). The Natural Ocean Engineering Laboratory, NOEL, in Reggio Calabria, Italy: A Commentary and Announcement. *Journal of Coastal Research*, 290, vii–x.
- Michalzik, J., Liebisch, S., & Schlurmann, T. (2019). Development of an Outdoor Wave Basin to Conduct Long-Term Model Tests with Real Vegetation for Green Coastal Infrastructures. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(1), 18.
- MIKE 21 WAVE MODELLING - MIKE 21 SW - Spectral Waves FM. (n.d.).
- Romolo, A., Timpano, B., Laface, V., Fiamma, V., & Arena, F. (2024). Small-scale field experiment on wave forces on a U-OWC breakwater. *Coastal Engineering*, 189, 104476.
- Skou, A., & Hvam, N. (n.d.). MIKE ZERO Mesh Generator Step-by-step training guide.
- Spanos, P. D., Strati, F. M., Malara, G., & Arena, F. (2018). An approach for non-linear stochastic analysis of U-shaped OWC wave energy converters. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 54, 44–52.
- Ιωάννης, Κ., & Επιτροπή, Τ. (n.d.). Αριθμητική προσομοίωση κυματισμού σε περιοχές μεταβαλλόμενης βαθυμετρίας με χρήση του αριθμητικού κυματικού μοντέλου MIKE 21 by DHI.
- Κωστούλα, Μ. (2025). Ακτομηχανική μελέτη για τη μετεγκατάσταση του εμπορευματικού λιμένα Βόλου στο Τσιγκέλι Αλμυρού (Diploma thesis). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

Γκάγκα, Α. Αποκατάσταση και επανάχρηση του κτιρίου του “Ενυδρείου” στον Άναυρο Βόλου σε εργαστήριο θαλάσσιας μηχανικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. (Diploma thesis). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Emilio Castagneto seakeeping tank—Institute of Marine Engineering. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from <https://www.inm.cnr.it/labs/emilio-castagneto-seakeeping-tank/>

Facilities in the Coastal, Ocean and Sediment Transport (COAST) laboratory—University of Plymouth. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from <https://www.plymouth.ac.uk/facilities/coast-laboratory/facilities>

HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY - Wave Basin. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from <http://www.hydraulics.civil.upatras.gr/en/Infrastructure/Egkatastaseis/WaveBasin/>

Hydrodynamics laboratory | Research groups | Imperial College London. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from <https://www.imperial.ac.uk/fluid-mechanics/hydrodynamics-laboratory/>

Institute of Marine Engineering. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from <https://www.inm.cnr.it/>

Marine Renewable Infrastructure Network for Enhancing Technologies 2 | MARINET2 | Project | Fact sheet | H2020 | CORDIS | European Commission. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from <https://cordis.europa.eu/project/id/731084>

Physical modelling | HR Wallingford. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from <https://www.hrwallingford.com/facilities/physical-modelling>

Umberto Pugliese towing tank—Institute of Marine Engineering. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from <https://www.inm.cnr.it/labs/umberto-pugliese-towing-tank/>

Wave and flow facilities | Deltares. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from <https://www.deltares.nl/en/research-facilities/wave-and-flow-facilities>

Noel – Natural Ocean Engineering Laboratory. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from <https://noel.unirc.it/>

(PDF) On the Occurrence of Abnormal Waves in an Offshore Tank. (n.d.). Retrieved February 12, 2025, from

https://www.researchgate.net/publication/239401974_On_the_Occurrence_of_Abnormal_Waves_in_an_Offshore_Tank

<https://hydraulab.eu/facilities--instruments/facilities-in-hydraulab/Large-wave-flumes/Large-Wave-Flume-GWK/>

<https://hydraulab.eu/facilities--instruments/facilities-in-hydraulab/Environmental-hydraulics-facilities/Sletvik-Field-station/>

<https://doi.org/10.1115/OMAE2006-92667>

<http://lhw.civil.ntua.gr/>

<https://marine.copernicus.eu/>