



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ
ΖΩΝΗΣ ΑΚΤΩΝ ΝΟΤΙΟΥ
ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ-
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΚΤΗΣ
ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΩΝ ΚΙΑΤΟΥ**

Ευάγγελος Α. Παπαφωτίου

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

Επιβλέπων: Καθηγητής Κ. Ι. Μουτζούρης

Στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τελειώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω αρκετούς ανθρώπους οι οποίοι με βοήθησαν να φέρω εις πέρας αυτήν την προσπάθεια. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κύριο Κωνσταντίνο Ι. Μουτζούρη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την παρούσα εργασία. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω την Δρα. Θεοδώρα Γιαντσή για την καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την DHI και τον εκπρόσωπό της στην Ελλάδα κύριο Ηλία Μουσουλή για την παραχώρηση της άδειας λογισμικού για το πρόγραμμα MIKE by DHI.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Απόστολο και Μαργαρίτα καθώς και την αδελφή μου Χρυσάνθη για την αμέριστη συμπαράστασή τους.

Ευάγγελος Α. Παπαφωτίου

Acknowledgments

This M.Sc. Thesis would not have been possible without the support of many people. First of all I would like to express my gratitude to my supervisor, Professor Constantinos I. Moutzouris for all the assistance he provided. Moreover i would like to thank Dr. Theodora Giantsi for the guidance and the support she provided throughout the whole thesis.

I would like to thank DHI and Mr Elias Moussoulis for providing the license key of MIKE by DHI software.

Finally, I would like to express my gratitude to my parents Apostolos and Margarita as well as my sister Chrysanthi for their endless support.

Evangelos A. Papafotiou

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract	8
1. Εισαγωγή	10
1. 1 Αντικείμενο εργασίας	10
1. 2 Διάρθρωση της Εργασίας.....	11
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	13
2.1 Παράκτια ζώνη και διεργασίες	13
2.2 Θαλάσσια κύματα	15
2.3 Θαλάσσια ρεύματα	16
2.4 Μηχανισμοί κινήσεων ιζήματος	17
2.5 Μηχανισμοί στερεομεταφοράς	18
2.5.1 Στερεομεταφορά κάθετα στην ακτή.....	18
2.5.2 Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής	18
2.6 Παράκτια Τεχνικά έργα	19
2.6.1 Έργα Παράλληλα στην Ακτογραμμή.....	19
2.6.2 Έργα κάθετα στην Ακτογραμμή	20
2.6.3 Αναπλήρωση ακτής με ίζημα.....	21
2.7 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης.....	21
2.7.1 Στόχοι και βασικά βήματα υλοποίησης της Ο.Δ.Π.Ζ.	22
2.7.2 Δείκτες	23
2.8 Ενσωμάτωση της παράκτιας διάβρωσης στην Ο.Δ.Π.Ζ.	24
2.9 Ανάλυση κινδύνου	26
2.9.1 Κατηγοριοποίηση τρωτότητας και κινδύνου και προτεινόμενες επεμβάσεις.....	27
2.9.2 Επιλογή των μέτρων προστασίας.....	29
3. Διάβρωση παράκτιας ζώνης Νότιου Κορινθιακού κόλπου	31
3.1 Περιγραφή ευρύτερης περιοχής μελέτης	31
3.2 Στόχοι παρούσας εργασίας	32
3.3 Παλαιότερες έρευνες στην περιοχή μελέτης.....	33
3.4 Υφιστάμενη κατάσταση.....	36
3.4.1 Περιοχές μελέτης – Χρήσεις γης – Ανάλυση κινδύνου	36
3.5 Προτάσεις έργων ανά περιοχή	39
3.5.1. Περιοχή Άσσου	39
3.5.2. Περιοχή Βραχατίου Κορινθίας	41
3.5.3. Περιοχή Νεράτζας Κορινθίας	43
3.5.4. Περιοχή δυτικά κυματοθραυστών Κιάτου Κορινθίας	46

3.5.5. Περιοχή Μελισσίου Κορινθίας	48
3.5.6. Περιοχή Λυκοποριάς – Στομίου – Λυγιάς	51
3.5.7. Περιοχή Δερβενίου – Μαύρων Λιθαριών	53
4. Περιοχή αριθμητικής προσομοίωσης.....	57
4.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης.....	57
4.2 Βυθομετρία της περιοχής.....	59
4.3 Ιζήματα στην περιοχή	60
4.4 Ανεμολογικά στοιχεία περιοχής μελέτης.....	62
4.5 Αποτύπωση της ακτογραμμής στην περιοχή του Κιάτου	65
5. Αριθμητική προσομοίωση με το πρόγραμμα MIKE 21	66
5.1 MIKE 21 SW	66
5.1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο.....	68
5.1.2 Παράμετροι του MIKE 21 SW	70
5.2 MIKE 21 Flow Model FM HD	72
5.2.1 Παράμετροι του υποπρογράμματος MIKE 21 Flow Model FM (HD)	74
5.3 MIKE 21 Flow Model FM ST	77
5.3.1 Πίνακας μεταφοράς ιζήματος	78
5.3.2 Παράμετροι του υποπρογράμματος MIKE 21 Flow Model FM ST	78
5.4 MIKE 21 Flow Model FM Shoreline Morphology	80
5.4.1 Παράμετροι του υποπρογράμματος MIKE 21 Flow Model FM Shoreline Morphology	81
5.5 Παράμετροι χρήσης του μοντέλου.....	83
5.5.1 Μη δομημένο υπολογιστικό πλέγμα-βαθυμετρία	84
5.5.2 Πίνακας στερεομεταφοράς	85
5.5.2 Παράμετροι του μοντέλου εξέλιξης ακτογραμμής	87
6. Σενάρια Προσομοίωσης.....	90
6.1 Δεδομένα ανέμων και ισοδύναμοι κυματισμοί.....	90
6.2 Διαρκώς μεταβαλλόμενος άνεμος.....	92
6.3 Σενάρια αριθμητικής προσομοίωσης με το πρόγραμμα MIKE 21	92
7. Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	93
7.1 Αποτελέσματα Σεναρίου Σ1 (Ισοδύναμοι κυματισμοί)	93
7.1.1 Σενάριο Σ1.1. (Ιζημα διαμέτρου 0,20 mm)	93
7.1.2 Σενάριο Σ1.2. (Ιζημα διαμέτρου 0,25 mm)	99
7.1.3 Σενάριο Σ1.3. (Ιζημα διαμέτρου 0,50 mm)	102
7.2 Αποτελέσματα Σεναρίου Σ2 (Διαρκώς μεταβαλλόμενος άνεμος).....	105
7.2.1 Σενάριο Σ.2.1. (Ιζημα διαμέτρου 0.20 mm)	105
7.2.2 Σενάριο Σ.2.2. (Ιζημα διαμέτρου 0,25 mm)	111

7.2.2 Σενάριο Σ.2.3. (Ιζήμα διαμέτρου 0,50 mm)	114
7.3 Εξέλιξη ακτογραμμής	117
7.3.1 Πρόβλεψη εξέλιξης ακτογραμμής με προσέγγιση ισοδύναμων κυματισμών, Σ.1.....	117
7.3.2 Πρόβλεψη εξέλιξης ακτογραμμής με προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2.....	120
7.3.2 Σύγκριση προσεγγίσεων εξέλιξης ακτογραμμής για διάμετρο κόκκων ιζήματος 0,25mm	121
8. Συμπεράσματα	124
8.1 Συμπεράσματα ως προς την διάβρωση	124
8.2 Συμπεράσματα αριθμητικής προσομοίωσης.....	124
8.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	126
Βιβλιογραφία	127

Περίληψη

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής είναι η παράκτια ζώνη του Νότιου Κορινθιακού κόλπου και πιο συγκεκριμένα το τμήμα από την πόλη της Κορίνθου μέχρι τα διοικητικά όρια του νομού προς δυσμάς, τα Μαύρα λιθάρια. Σε μεγάλο τμήμα των ακτών αυτών παρατηρούνται έντονα διαχρονικά φαινόμενα διάβρωσης λόγω της δράσης των παράκτιων μηχανισμών. Η διάβρωση αυτή οδηγεί σε απώλεια ή καταστροφή τμημάτων έργων υποδομής (παράκτιοι δρόμοι), φυσικών πόρων (παραλίες) όπως και περιουσιών. Στην περιοχή επίσης έχει παρατηρηθεί η αυξανόμενη ένταση των φαινομένων αυτών η οποία οφείλεται στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες οι οποίες παρατηρούνται στην περιοχή (διευθετήσεις ρεμάτων, αμμοληψίες, κατασκευές τεχνικών έργων επί της ακτής).

Για τους λόγους αυτούς είναι εμφανής η ανάγκη μελέτης και διαχείρισης της συγκεκριμένης παράκτιας ζώνης. Στην παρούσα διπλωματική πραγματοποιείται μία καταγραφή των βασικών αρχών της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Παράκτιας Ζώνης, με έμφαση στο κομμάτι της μείωσης της παράκτιας διάβρωσης. Πραγματοποιείται η καταγραφή των περιοχών οι οποίες χρήζουν άμεσης επέμβασης για τη μείωση της διάβρωσης καθώς έχουν εμφανιστεί ήδη βλάβες από τη διαβρωτική δράση. Στη συνέχεια γίνεται κατηγοριοποίηση των περιοχών αυτών ανάλογα με τις χρήσεις γης καθώς και το είδος της διάβρωσης το οποίο εμφανίζει κάθε περιοχή. Τέλος γίνεται κατηγοριοποίηση κινδύνου για την κάθε περιοχή και τότε μπορούμε να επιλέξουμε τον τρόπο επέμβασης τον οποίο θα ακολουθήσουμε για τη μείωση της διάβρωσης. Στην περίπτωση που επιλέξουμε την κατασκευή έργων προστασίας γίνεται πρόταση του καταλληλότερου σχήματος προστασίας της ακτής.

Στο δεύτερο κομμάτι της διπλωματικής γίνεται η αριθμητική προσομοίωση της απόκρισης της ακτής κυματοθραυστών Κιάτου από την κατασκευή τους μέχρι το τέλος του 2016. Για την ακριβέστερη προσομοίωση της περιοχής μελέτης ήταν απαραίτητα κάποια επιμέρους δεδομένα. Αρχικά τα στοιχεία βαθυμετρίας όπως και η αρχική θέση της ακτογραμμής της περιοχής είχαν καταγραφεί στα πλαίσια παλαιότερου ερευνητικού προγράμματος του Ε.Λ.Ε. του Ε.Μ.Π. Από το ίδιο πρόγραμμα ελήφθησαν και οι κοκκομετρικές καμπύλες της περιοχής μελέτης. Επίσης τα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής ελήφθησαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και αφορούσαν τους πλησιέστερους μετεωρολογικούς σταθμούς, Κιάτου και Ισθμού. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των δεδομένων με σκοπό να καταρτιστούν οι πίνακες ανεμολογικών στοιχείων της περιοχής. Στη συνέχεια για τον υπολογισμό των ισοδύναμων κυματισμών υπολογίστηκαν τα ενεργά αναπτύγματα πελάγους στις κύριες διευθύνσεις και μετά εφαρμόστηκε η μέθοδος SMB για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών των ανεμογενών κυματισμών στα βαθειά. Στη συνέχεια με τη χρήση των τύπων Borah και Ballofet έγινε ο υπολογισμός των ισοδύναμων κυματισμών στην περιοχή μελέτης. Έτσι προέκυψαν δύο κύρια σενάρια προσομοίωσης καθώς και έξι ακόμα υποσενάρια. Τον Ιούλιο του 2017 πραγματοποιήθηκε αυτοψία στην περιοχή μελέτης και με τη χρήση τοπογραφικού G.P.S. έγινε αποτύπωση της ακτογραμμής εκείνη την ημέρα.

Για τον προσδιορισμό των κυματικών και των υδροδυναμικών χαρακτηριστικών την περιοχή όπως και των χαρακτηριστικών της στερεομεταφοράς καθώς και της εξέλιξης της ακτογραμμής έγινε χρήση του προγράμματος MIKE 21 και συγκεκριμένα των υποπρογραμμάτων MIKE 21 SW FM, MIKE 21 HD FM, MIKE 21 ST FM. Η εισαγωγή της περιοχής μελέτης στο πρόγραμμα έγινε με τη χρήση μη δομημένου τριγωνικού υπολογιστικού πλέγματος (Flexible mesh).

Στη συνέχεια έγινε αποτύπωση των ακτογραμμών που προκύπτουν από κάθε σενάριο όπως και της αρχικής ακτογραμμής και της αποτυπωμένης τον Ιούλιο του 2017 ακτογραμμής με σκοπό να συγκριθεί η απόδοση του κάθε σεναρίου προσομοίωσης.

Τέλος, εξάχθηκαν συμπεράσματα για τον καλύτερο τρόπο προσέγγισης της εξέλιξης της ακτογραμμής με βάση τα σενάρια τα οποία χρησιμοποιήσαμε.

Abstract

This master thesis focuses on the coastal zone of the South Corinthian gulf. More specifically the area of study is the coastal zone starting in the city of Corinth and ending at the west border of the Corinthian prefecture, Mavra Litharia. The erosion phenomena that are exhibited here are chronic and in some areas extreme. The erosion leads to loss or destruction of parts of infrastructure (roads), natural resources (sandy beaches) as well as properties. The increasing intensity of these phenomena is exhibited in the area, due to the anthropogenic activities conducted in this area (sand extraction, construction of coastal works).

Therefore, the need of studying and managing this coastal zone is evident. In this master thesis a recording of the basic principles of Integrated Coastal Zone Management is performed, with emphasis given in the mitigation of coastal erosion. The side areas that are in need of immediate management are recorded due to the fact that the erosion in these side areas has already caused a lot of damage. Subsequently, these side areas are categorized based on the land use that is performed in each area as well as the type of erosion that each area has exhibited. Ultimately, these side areas are categorized based on the risk category for each area. At this point we can choose the means of intervention that will be performed concerning coastal erosion mitigation. In case we select the construction of coastal works for the stabilization of the coastline we can suggest the suitable scheme of coast protection for each area.

The second part of this master thesis consists of the computational simulation of the response of the coast near Kiato to the construction of two breakwaters. The computational period is from 2009 to 2016. To achieve that some side data concerning the area were needed. To start with, the bathymetry data as well as the original coastline position were available from the Laboratory of Harbor Works of the National Technical University of Athens. Both the grading curves and the sediment properties were also available from the same laboratory from pasta studies in the area. The wind data for the area were available courtesy of the National Observatory of Athens. The wind data from two different meteorological stations near to the area were available, the station of Kiato and the station of Isthmos. The data from the station of Isthmos covered the period 2009 to 2014 and the data from the station of Kiato covered the period from 2015 to 2016. This happened due to the fact that the station of Kiato started operating in 2015 and no past data from this area was available. Subsequently, a statistical analysis of the raw data was performed aiming for the matrices of wind data of the area to be formed. Then, the effective Fetches of the main directions were calculated. Using the SMB method the characteristics of the wind generated waves were calculated for deep waters. Using the formulation of Borah and Ballofet we calculated the equivalent waves for every main direction. This way, 2 main different scenarios were chosen for the simulation as well as six more sub-scenarios. In July 2017 using a topography G.P.S. the present day position of the coastline was captured.

The simulations concerning the wave field, the hydrodynamic field, the sand transport characteristics and the coastline evolution were carried out by MIKE 21 program from DHI. The modules used for this purpose were Mike 21 SW FM, MIKE 21 HD FM, MIKE 21 ST FM. These modules required the use of an unstructured computational mesh for the calculations to be carried out.

After all the sub-scenarios were computed, Autocad was used to imprint the estimation of the coastline position, which was exported from the program results, in each main scenario and each sub-scenario. The comparison measure was the original coastline position as well as the present day coastline position. This way the areas of erosion and the areas of sand deposition were identified. Subsequently the comparison of the estimation of each scenario was feasible, allowing us to draw some conclusions concerning the estimation of each scenario and sub-scenario.

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Η παράκτια ζώνη του Νότιου Κορινθιακού χαρακτηρίζεται από έντονες πιέσεις λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην ξηρά προς τη θάλασσα. Οι κατασκευές εντός αιγιαλού καθώς και τα παράκτια έργα υποδομής (δρόμοι) συναντώνται σχεδόν σε όλο το μήκος της ακτογραμμής της Π.Ε. Κορινθίας. Η διάβρωση γενικά είναι μία φυσική διαδικασία όμως οι κατασκευές στην ακτή έχουν οδηγήσει στην εντατικοποίησή της. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες με την κατασκευή έργων προστασίας (κυματοθραύστες, πρόβολοι, αναπλήρωση ακτής) αλλά αυτές οι προσπάθειες χαρακτηρίζονται από την τοπική αντιμετώπιση του προβλήματος, μετατοπίζοντας το. Επίσης η πλημμελής συντήρηση των έργων έχει οδηγήσει στην μερική ή και ολική καταστροφή τους.

Για την κατανόηση της απόδοσης των έργων αυτών είναι αναγκαία η υπολογιστική προσομοίωση των ακτομηχανικών διεργασιών οι οποίες λαμβάνουν χώρα στην περιοχή. Κανονικά η υπολογιστική προσομοίωση αποτελεί τμήμα της μελέτης οποιουδήποτε έργου όμως στην παρούσα διπλωματική έγινε σύγκριση με την πραγματική κατάσταση για δεδομένο κυματικό κλίμα έτσι ώστε να κρίνουμε την απόδοση των έργων αυτών.

Αντικείμενο επομένως της παρούσας διπλωματικής σε πρώτη φάση είναι η καταγραφή των περιοχών οι οποίες χρήζουν προσοχής και άμεσης διαχείρισης για την αποφυγή ζημιών σε κατασκευές και οικίες καθώς και ο χαρακτηρισμός όλης της παράκτιας ζώνης της Π.Ε. Κορινθίας με δείκτες. Η περιοχή μελέτης ξεκινάει από τα όρια του νομού δηλαδή το λιμάνι των Μαύρων Λιθαρίων Ευρωστίνης και τελειώνει στην πόλη της Κορίνθου. Οι επιλεγμένες περιοχές κατηγοριοποιούνται ως προς τις χρήσεις γης σύμφωνα με τις βάσεις δεδομένων CORINE 2000 καθώς και τις χρήσεις γης 2007 έτσι όπως καταγράφηκαν από την WWF. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του εγχειριδίου της PIANC και ανάλογα με την κατηγοριοποίηση της περιοχής προτείνεται συγκεκριμένο πλάνο αντιμετώπισης της διάβρωσης. Το κομμάτι της διαχείρισης της παράκτιας ζώνης ολοκληρώνεται με την συγκριτική αναπαράσταση των επιλεγμένων για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής θέσεων καθώς και τις θέσεις οι οποίες είχαν καταγραφεί στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων τα οποία πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Λιμενικών έργων του Ε.Μ.Π. το 1998 και το 2005.

Το δεύτερο τμήμα της διπλωματικής αποτελείται από αριθμητική προσομοίωση του συστήματος δύο κυματοθραυστών το οποίο προτάθηκε από το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων και κατασκευάστηκε πλησίον του Κιάτου Κορινθίας το 2008. Οι κυματοθραύστες αυτοί είναι μέρος ενός συστήματος κυματοθραυστών το οποίο προτάθηκε και θα κατασκευαστεί στο μέλλον. Η αριθμητική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος MIKE 21 της DHI. Χρησιμοποιώντας τα μετρημένα δεδομένα των ανέμων οι οποίοι έπνεαν στην περιοχή έτσι όπως καταγράφηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό Κιάτου και το μετεωρολογικό σταθμό Ισθμού του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, καταρτίστηκαν τα ανεμολογικά πινακίδια της περιοχής και υπολογίστηκε το ισοδύναμο κυματικό κλίμα της περιοχής. Το ισοδύναμο κυματικό κλίμα αποτέλεσε το πρώτο σενάριο προσομοίωσης. Επίσης έγινε και ένα δεύτερο σενάριο προσομοίωσης το οποίο εκμεταλλεύεται στο έπακρο τη δυνατότητα του προγράμματος να χρησιμοποιεί μεταβαλλόμενο άνεμο για κινητήρια δύναμη στο πεδίο μας, επιτρέποντας μας έτσι να χρησιμοποιήσουμε την πραγματική κατάσταση η οποία υπήρξε στο πεδίο μας από την κατασκευή των κυματοθραυστών μέχρι το τέλος του 2016. Τα χαρακτηριστικά του ιζήματος για την περιοχή λήφθηκαν από αμμοληψίες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή. Η αριθμητική προσομοίωση έγινε για την καταγραφή των κυματικών και υδροδυναμικών χαρακτηριστικών της περιοχής καθώς και των συνθηκών στερεομεταφοράς οι οποίες επικρατούν στην περιοχή. Επίσης έγινε εκτίμηση της εξέλιξης

της ακτογραμμής από το πρόγραμμα για κάθε σενάριο προσομοίωσης το οποίο πραγματοποιήθηκε. Για μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές διάμετροι ιζήματος στο μοντέλο. Πραγματοποιήθηκε επιτόπια αυτοψία της περιοχής των κυματοθραυστών τον Ιούλιο του 2017 και έγινε με τη χρήση τοπογραφικού GPS καταγραφή της ακτογραμμής. Τέλος παρουσιάζονται συγκριτικά σχέδια για κάθε σενάριο προσομοίωσης για να αξιολογήσουμε την κάθε μέθοδο προσομοίωσης.

1. 2 Διάρθρωση της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από οκτώ Κεφάλαια, τα οποία διακρίνονται σε 2 τμήματα. Τα δύο πρώτα κεφάλαια αποτελούν την εισαγωγή και τη βιβλιογραφική ανασκόπηση η οποία γίνεται. Στο πρώτο τμήμα (Κεφάλαιο 3) παρουσιάζεται η καταγραφή των περιοχών του νοτίου Κορινθιακού κόλπου στο τμήμα Κόρινθος – Μαύρα λιθάρια, οι οποίες χρήζουν άμεσης προστασίας από τη διάβρωση καθώς και προτείνονται έργα προστασίας των περιοχών αυτών. Το δεύτερο τμήμα (Κεφάλαια 4-5-6-7) αποτελείται από την παρουσίαση του προγράμματος MIKE 21 το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της περιοχής κυματοθραυστών Κιάτου, την παρουσίαση της περιοχής μελέτης καθώς και τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση των βασικών εννοιών που σχετίζονται με την παράκτια ζώνη, τις φυσικές διεργασίες και τους κυματισμούς. Επίσης παρουσιάζονται στοιχεία βιβλιογραφίας τα οποία σχετίζονται με την Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης (Ο.Δ.Π.Ζ) και την ενσωμάτωση της προσέγγισης μείωσης της διάβρωσης στα πλαίσια μίας Ο.Δ.Π.Ζ.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η παράκτια ζώνη της ευρύτερης περιοχής μελέτης του Νότιου Κορινθιακού κόλπου στο τμήμα Κόρινθος - Μαύρα λιθάρια. Επίσης παρουσιάζονται οι επιλεγμένες από εμάς υποπεριοχές οι οποίες χρήζουν άμεσης προστασίας από τη διάβρωση, καταγράφονται οι χρήσεις γης στις περιοχές αυτές, καταγράφεται η κατηγορία κινδύνου σε αυτές τις περιοχές και τέλος προτείνονται έργα προστασίας.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης κυματοθραυστών Κιάτου Κορινθίας. Αναφέρονται τα χαρακτηριστικά της βαθυμετρίας της περιοχής μελέτης, η κοκκομετρική ανάλυση της περιοχής μελέτης, τα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης, οι ροζέτες ανέμων και τέλος περιγράφεται η διαδικασία τοπογραφικής αποτύπωσης της ακτογραμμής τον Ιούλιο του 2017 η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται η παρουσίαση του προγράμματος MIKE 21 καθώς και όλων των υποπρογραμμάτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την αριθμητική προσομοίωση η οποία πραγματοποιήθηκε. Αναφέρεται το θεωρητικό υπόβαθρο του κάθε υποπρογράμματος ενώ τέλος περιγράφεται και η διαδικασία εισόδου των απαιτούμενων στοιχείων (βαθυμετρία, χρονοσειρά ανέμων, ισοδύναμοι κυματισμοί) στο πρόγραμμα.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα σενάρια και τα υποσενάρια προσομοίωσης τα οποία επιλέχθηκαν. Επίσης παρουσιάζεται και η διαδικασία υπολογισμού των ισοδύναμων κυματισμών.

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για όλα τα Σενάρια και Υποσενάρια. Πιο συγκεκριμένα απεικονίζεται η χωρική κατανομή υδροδυναμικών στοιχείων και κυμάτων όπως και των μεγεθών στερεομεταφοράς για την περιοχή μελέτης. Επίσης παρουσιάζεται η εκτίμηση της εξέλιξης της ακτογραμμής η οποία προκύπτει από το κάθε σενάριο και υποσενάριο καθώς και η σύγκριση της με την αποτύπωση η οποία πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2017.

Στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την παρούσα εργασία. Επίσης διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Παράκτια ζώνη και διεργασίες

Για την κατανόηση των ακολούθων κεφαλαίων της εργασίας κρίνεται σκόπιμο να οριστούν οι έννοιες οι οποίες θα συναντηθούν. Οι ορισμοί δίνονται από (Μουτζούρης, Εισαγωγή στην ακτομηχανική, 1985)

Ακτή (Coast)

Ακτή ονομάζεται η ζώνη ξηράς, το ανάγλυφο της οποίας σχηματίστηκε από τη δράση της θάλασσας. Το θαλάσσιο όριο είναι η ακτογραμμή, ενώ το χερσαίο όριο είναι:

- Η ακμή, που σχηματίζεται από την απότομη αλλαγή κλίσης της επιφάνειας του εδάφους για βραχώδεις ακτές ή
- Το πέρας της ζώνης αποθέσεων θαλασσιών ιζημάτων (ιζηματογενείς ακτές)

Ακτογραμμή (shoreline)

Ακτογραμμή ονομάζεται η τομή της θαλάσσιας επιφάνειας με την επιφάνεια του εδάφους της ξηράς ή του πυθμένα της θάλασσας. Κατά συνέπεια, η ακτογραμμή μεταβάλλεται κατά θέση και μορφή λόγω:

- Της μεταβολής της επιφάνειας του εδάφους στην ακτή (διάβρωση, απόθεση)
- Της αστάθειας της θαλάσσιας επιφάνειας (κύματα, παλίρροια, κλπ.)

Παράκτια Ζώνη (Coastal Zone)

Παράκτια ζώνη ονομάζεται η θαλάσσια ζώνη αμέσως μετά την ακτή. Το εσωτερικό όριο της είναι η ακτογραμμή, ενώ το εξωτερικό όριο ορίζεται από την ισοβαθή στην οποία γίνεται αισθητή η επίδραση του πυθμένα στους κυματισμούς. Υποδιαιρείται σε:

- Επάκτια ζώνη (inshore zone)
- Προάκτια ζώνη (foreshore zone)

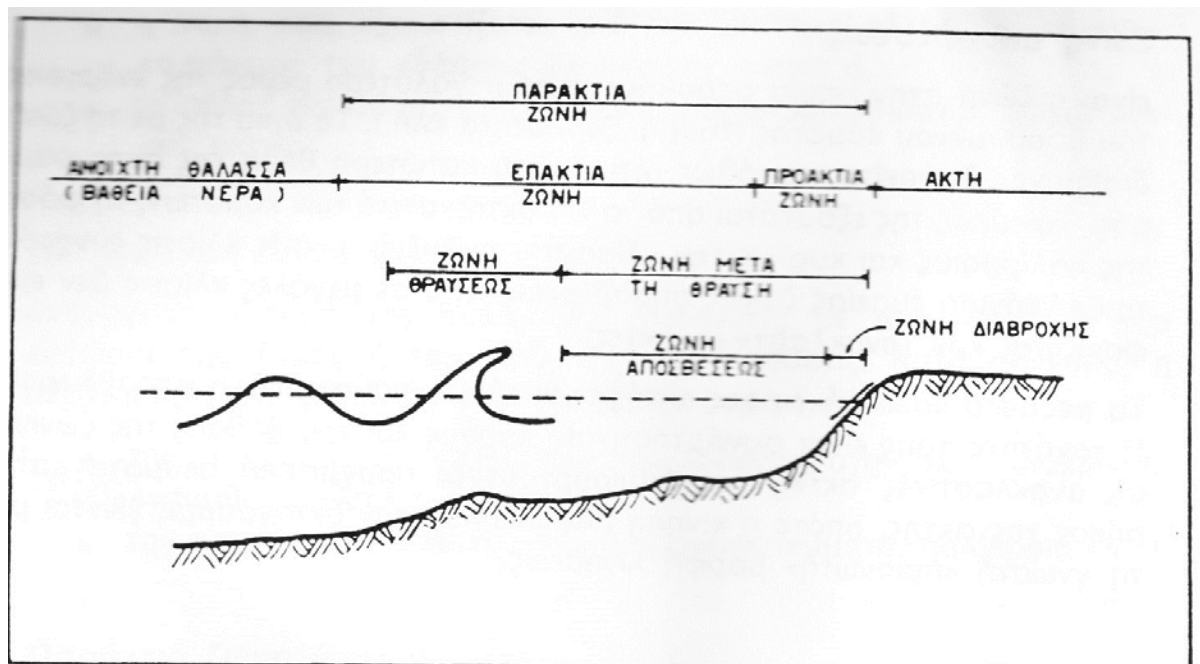
Το όριο μεταξύ της επάκτιας και της προάκτιας ζώνης τοποθετείται στη γραμμή της κατώτατης ρηχίας (mean lower low-water line)

Η παράκτια ζώνη περιλαμβάνει τις

- Ζώνη πριν από τη θραύση
- Ζώνη θραύσης (breaker zone)
- Ζώνη μετά τη θραύση (after-breaker zone)

Η βαθύτερη ζώνη είναι το πεδίο, όπου εμφανίζονται οι παραμορφώσεις των κυμάτων οι οποίες οδηγούν τελικά στη θραύση. Η ζώνη μετά τη θραύση χωρίζεται στις

- Ζώνη αποσβέσεως (surf zone)
- Ζώνη διαβροχής (swash zone)



Σχήμα 2.1. Παράκτια ζώνη. (Μουτζούρης, 1994)

Ζώνη Θραύσεως (breaker zone)

Η ζώνη θραύσης είναι το κατ' εξοχήν δυναμικό τμήμα της παράκτιας ζώνης. Σε αυτήν εμφανίζεται και ολοκληρώνεται ο φυσικός μηχανισμός της θραύσεως των κυμάτων, ο οποίος είναι η γενεσιουργός μηχανισμός των περισσότερων διαδικασιών της ακτομηχανικής.

Παράκτιο ρεύμα (littoral current)

Παράκτιο ρεύμα ονομάζεται οποιοδήποτε ρεύμα εμφανίζεται στην παράκτια ζώνη. Τα σημαντικότερα είναι αυτά τα οποία δημιουργούνται από τη δράση των κυμάτων (κυματογενή ρεύματα). Τέτοια ρεύματα είναι:

- Το ρεύμα κατά μήκος της ακτής (longshore current)
- Το βελοειδές ρεύμα (rip current)

Ρεύμα κατά μήκος της ακτής

Ρεύμα κατά μήκος της ακτής ονομάζεται το παράκτιο ρεύμα κυρίως στις ζώνες θραύσης και μετά τη θραύση, το οποίο ρέει παράλληλα προς την ακτογραμμή. Δημιουργείται συνήθως από κύματα θραυόμενα υπό γωνία με την ακτογραμμή.

Παράκτιο φορτίο (littoral drift)

Παράκτιο φορτίο ονομάζεται το φορτίο ιζημάτων το οποίο διακινείται στην παράκτια ζώνη υπό την επίδραση κυμάτων και ρευμάτων.

Παράκτια στερεομεταφορά (littoral transport)

Παράκτια στερεομεταφορά ονομάζεται η κίνηση του παράκτιου φορτίου. Διακρίνεται σε στερεομεταφορά κάθετα και κατά μήκος της ακτογραμμής.

Στερεομεταφορά κάθετα στην ακτή (onshore-offshore transport)

Στερεομεταφορά κάθετα στην ακτή λέγεται η στερεομεταφορά με διεύθυνση κινήσεως κάθετη στην ακτογραμμή και φορά από τη ζώνη νερών μεγάλου βάθους προς τη ζώνη νερών μικρού βάθους και αντίθετα.

Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής (longshore transport)

Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής ονομάζεται η στερεομεταφορά παράλληλα προς την ακτογραμμή.

Παροχή στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής (longshore transport rate)

Παροχή στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής ονομάζεται η παροχή του παράκτιου φορτίου, το οποίο διακινείται παράλληλα προς την ακτή.

2.2 Θαλάσσια κύματα

Τα θαλάσσια κύματα προκαλούνται λόγω της συνισταμένης διαταραχής των θαλάσσιων μαζών από τις ταλαντώσεις των σωματιδίων. Οι ταλαντώσεις προκαλούνται λόγω της δράσης δυνάμεων απομακρύνσεως από τη θέση ηρεμίας στα σωματίδια της θάλασσας καθώς και τη δράση δυνάμεων επαναφοράς των σωματιδίων στις αρχικές τους θέσεις. Έτσι έχουμε δύο κατηγορίες δυνάμεων που προκαλούν τις ταλαντώσεις, τις γενεσιουργές δυνάμεις όπως και τις δυνάμεις επαναφοράς. Η διαταραχή η οποία προκύπτει από όλες αυτές τις ταλαντώσεις των σωματιδίων προκαλεί τους θαλάσσιους κυματισμούς. Οι κυριότερες γενεσιουργές δυνάμεις των ταλαντώσεων είναι ο άνεμος, οι ταχείες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσεως, οι σεισμοί καθώς και η έλξη των ουρανίων σωμάτων.

Σύμφωνα με τους (LeBlond, Mysak, 1978) οι σημαντικότερες κατηγορίες κυματισμών είναι οι εξής:

- Επιφανειακά κύματα λόγω των ανέμων
- Εσωτερικά κύματα λόγω διαφοράς πυκνότητας
- Γυροσκοπικά κύματα λόγω της στροφικής κίνησης των σωματιδίων του υγρού
- Πλανητικά κύματα λόγω της κίνησης των ουρανίων σωμάτων
- Παλιρροϊκά κύματα λόγω της βαρύτητας της Σελήνης

Οι συνηθέστεροι κυματισμοί στη φύση είναι τα κύματα βαρύτητας. Ο άνεμος προκαλεί την μετακίνηση των σωματιδίων του νερού από τη θέση ισορροπίας. Στη συνέχεια δρα η βαρύτητα λειτουργώντας ως δύναμη επαναφοράς και έτσι τα σωματίδια επανέρχονται στην αρχική τους θέση. Στη συνέχεια λόγω αδράνειας απομακρύνονται ξανά από τη θέση ισορροπίας και επαναφέρονται ξανά.

Τα σωματίδια του νερού κινούνται σε τροχιές οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με το βάθος των νερών στο οποίο κινούνται. Αν L είναι το μήκος κύματος και d είναι το βάθος στη συγκεκριμένη περιοχή τα νερά χαρακτηρίζονται βαθιά όταν $d > 0.5 L$ ενώ τα νερά χαρακτηρίζονται ενδιάμεσα και ρηγά εάν $d < 0.5 L$. Οι τροχιές των σωματιδίων στα βαθιά νερά είναι κυκλικές ενώ στα ενδιάμεσα και στα ρηγά νερά οι τροχιές τείνουν να γίνουν ελλειπτικές. Στα βαθιά νερά επομένως η ύπαρξη των κυκλικών τροχιών των σωματιδίων έχει ως αποτέλεσμα η κυκλοφορία να γίνεται κυρίως κατά τη διεύθυνση μεταφοράς του κύματος. Στη ζώνη μετά τη θραύση μίας παράκτιας ζώνης με ομοιόμορφη κλίση οι ελλειπτικές τροχιές έχουν ως αποτέλεσμα την αυξημένη κυκλοφορία κατά την τοπική διεύθυνση πρόσπτωσης των κυματισμών με τάση να γίνει κάθετη στην ακτογραμμή.

Για την μελέτη της παράκτιας ζώνης μας ενδιαφέρουν περισσότερο τα ενδιάμεσα και τα ρηχά νερά, εφόσον αυτά περικλείουν την έννοια της παράκτιας ζώνης. Σε αυτή τη ζώνη εμφανίζονται κάποια φαινόμενα τα οποία μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά των κυματισμών. Αυτά τα φαινόμενα είναι

- Ανάκλαση κυματισμών όταν προσπίπτουν σε κάθετο ή υπό γωνία μέτωπο.
- Διάθλαση κυματισμών
- Ρήγωση
- Διασπορά των κυματισμών
- Τριβή του πυθμένα
- Γένεση κυματογενών ρευμάτων
- Θραύση των κυματισμών

Για την εξέταση των κυματισμών υπάρχουν δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη είναι η θεωρία των μονοχρωματικών κυματισμών και η δεύτερη η θεωρία των φασματικών κυματισμών. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιείται έντονα η θεωρία των φασματικών κυματισμών και ειδικά στο υποπρόγραμμα MIKE 21 Spectral Waves το οποίο θεωρεί πλήρως φασματική ανάπτυξη κυματισμών.

Η πρώτη θεωρία υποστηρίζει ότι η διαταραγμένη επιφάνεια αποτελείται από σειρά μονοχρωματικών κυματισμών ή σειρά κυματισμών με συχνότητες οι οποίες είναι πολλαπλάσιες της βασικής. Η δεύτερη θεωρία θεωρεί ότι η επιφάνεια της θάλασσας αποτελείται από απεριόριστο αριθμό κυμάτων, με διάφορα χαρακτηριστικά. (Μουτζούρης, 2009)

2.3 Θαλάσσια ρεύματα

Τα θαλάσσια ρεύματα στις παράκτιες περιοχές είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφθούν με αξιοπιστία. Αυτό οφείλεται στις πολλές επιμέρους συνιστώσες των ρευμάτων οι οποίες είναι (Μέμος, 2005):

- Τα ωκεάνια ρεύματα
- Τα ρεύματα λόγω παλίρροιας
- Τα ανεμογενή ρεύματα
- Τα ρεύματα λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης
- Τα κυματογενή ρεύματα.

Τα ωκεάνια καθώς και τα ρεύματα λόγω παλίρροιας συναντώνται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, εν αντιθέσει με τα ανεμογενή και τα ρεύματα λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης. Τα κυματογενή ρεύματα συναντώνται σε περιοχές κυρίως με ρηχά νερά.

Μία άλλη κατηγορία ρευμάτων η οποία εμφανίζεται σίγουρα και στην περίπτωση των κυματοθραυστών του Κιάτου Κορινθίας είναι τα ρεύματα τα οποία οφείλονται στην πυκνότητα. Ο (Μέμος, 2005) αναφέρει ότι: «Οι ποσότητες του γλυκού νερού οι οποίες εισρέουν στη θάλασσα συντηρούν ρεύματα πυκνότητας με φορά κάθετα προς τις επιφάνειες ίσης πυκνότητας».

Επομένως είναι κατανοητό ότι τα ρεύματα τα οποία εμφανίζονται στην παράκτια ζώνη χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τα ρεύματα κατά μήκος της ακτής και τα βελοειδή ρεύματα.

Η γένεση των ρευμάτων κατά μήκος της ακτής οφείλεται στην ανομοιόμορφη κατανομή του ύψους κύματος στη ζώνη θραύσης και/ή στην κλίση της γραμμής θραύσης ως προς την ακτογραμμή (Μουτζούρης 1994). Η ανομοιόμορφη αυτή κατανομή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υδραυλικών βαθμίδων οδηγώντας έτσι στη ροή ρευμάτων. Σε γραμμές θραύσεως οι οποίες βρίσκονται υπό γωνία με την ακτογραμμή, ένα τμήμα της ενέργειας του κύματος ανακλάται και

κινείται παράλληλα προς την ακτογραμμή οδηγώντας έτσι στην εμφάνιση ενός ρεύματος κατά μήκος της ακτής.

Συνήθεις τιμές ταχυτήτων των ρευμάτων κατά μήκος της ακτής είναι 0.3-0.4 m/s. Το ταχύτερο ρεύμα το οποίο έχει παρατηρηθεί είχε ταχύτητα 2 m/s.

Η δημιουργία των βελοειδών ρευμάτων προέρχονται από τη συμβολή δύο ρευμάτων κατά μήκος της ακτής οδηγώντας έτσι τη ροή προς τα ανοιχτά. Τα βελοειδή ρεύματα διασχίζουν τη ζώνη θραύσης σε περιοχές μικρών υψών κύματος και συνεχίζουν την κίνησή τους στη ζώνη πριν τη θραύση όπου και σταδιακά εξαφανίζεται. Τα βελοειδή ρεύματα είναι συνήθως ισχυρά ρεύματα επιστροφής μάζας από τη ζώνη μετά τη θραύση στη ζώνη πριν τη θραύση. Επομένως συμβάλλει στην κυκλοφορία μέσω της ισχυρής ζώνης θραύσεως.

Η κάθετη προς την ακτογραμμή ροή έχει ως προϋπόθεση τη συμβολή δύο ρευμάτων ίδιας περίπου εντάσεως. Όταν συμβάλλουν δύο ρεύματα άνισης εντάσεως προκαλείται στροφή του βελοειδούς ρεύματος και παρατηρείται μείωση της ταχύτητάς του. Το βελοειδές ρεύμα μπορεί να χωριστεί σε τρία τμήματα (Μουτζούρης 2005):

- **Πηγή**
Είναι η περιοχή δημιουργίας του ρεύματος, όπου η ροή είναι σχεδόν παράλληλη στην ακτογραμμή, ήτοι η ζώνη μετά ακριβώς από τη θραύση.
- **Κορμός**
Η ροή η οποία παρατηρείται είναι σχεδόν κάθετη στην ακτογραμμή και συνδέει τις ζώνες μετά και πριν τη θραύση. Το τμήμα του ρεύματος είναι στενό μετά τη θραύση και πλαταίνει πριν την θραύση.
- **Κεφαλή**
Στην κεφαλή του ρεύματος παρουσιάζεται μείωση της ταχύτητας ροής μέχρι τον μηδενισμό της.

Πρέπει να τονιστεί σε αυτό το σημείο ότι τα βελοειδή ρεύματα δεν σχηματίζονται μόνο από τη συμβολή δύο αντίθετων ρευμάτων κατά μήκος της ακτής. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες ένα ισχυρό ρεύμα κατά μήκος της ακτής στρέφεται στα ανοιχτά υπό την επίδραση τοπογραφικής ανωμαλίας του πυθμένα.

2.4 Μηχανισμοί κινήσεων ιζήματος

Η έναρξη της κινήσεως του ιζήματος είναι ένα φαινόμενο το οποίο προκαλείται από την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων στον πυθμένα, λόγω της κινήσεων των σωματιδίων του νερού. Η κίνηση των σωματιδίων είναι συνεχής μέχρις ότου να σταματήσει η γενεσιουργός αιτία της κίνησης. Τα κύματα με μεγάλο μήκος επηρεάζουν και κατανέμουν τα ιζήματα σε ζώνη μεγαλύτερου εύρους από ότι τα κύματα μικρού ύψους και περιόδου. Κάθε κύμα το οποίο εισέρχεται στην παράκτια ζώνη υφίσταται απώλειες ενέργειας επειδή επικρατεί η επίδραση του πυθμένα σε αυτό. Εφόσον υφίστανται στρώματα ιζήματος στον πυθμένα της περιοχής της οποίας διατρέχει το κύμα οι απώλειες αυτές γίνονται μεγαλύτερες.

Για τις περιοχές πριν τη θραύση των κυματισμών ο κυρίαρχος μηχανισμός απώλειας ενέργειας είναι η τριβή στον πυθμένας. Επομένως σε αυτήν την περιοχή η μεταφορά ιζήματος κυρίως συναντάται με τη μορφή φορτίου πυθμένας. Μετά τη ζώνη θραύσεως σημαντικότεροι μηχανισμοί είναι η τριβή και η τύρβη. Επομένως η μεταφορά των ιζημάτων σε αυτή τη ζώνη γίνεται ως φορτίο πυθμένας καθώς και φορτίο σε αιώρηση (Μουτζούρης 2005).

Η έναρξη της κίνησης ενός κόκκου ιζήματος στον πυθμένα εξαρτάται από την διατμητική ή επιφανειακή τάση η οποία ασκείται στον κόκκο. Ο υπολογισμός της κρίσιμης τιμής εξαρτάται από τις ακόλουθες συνιστώσες:

- Πυκνότητα του νερού
- Ταχύτητα ροής
- Κοκκομετρία ιζήματος
- Πυκνότητα ιζήματος

2.5 Μηχανισμοί στερεομεταφοράς

Η στερεομεταφορά στην παράκτια ζώνη χωρίζεται σε δύο συνιστώσες. Εγκάρσια (κάθετα) στην ακτογραμμή και παράλληλα στην ακτογραμμή. Η στερεομεταφορά κάθετα στην ακτή οφείλεται κυρίως στην κυματική δράση η οποία αναπτύσσεται στην παράκτια ζώνη. Η στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής οφείλεται κυρίως στη θραύση των κυματισμών υπό γωνία με την ακτογραμμή.

2.5.1 Στερεομεταφορά κάθετα στην ακτή

Τα ιζήματα σε αυτήν την περίπτωση τίθενται σε κίνηση από την κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας και στη συνέχεια μεταφέρονται λόγω της ύπαρξης του κυματογενούς ρεύματος. Στις ζώνες θραύσεως καθώς και ειδικότερα μετά τη θραύση το μέγεθος της στερεομεταφοράς κάθετα στην ακτή είναι πολύ μεγάλο.

Σύμφωνα με (Κουτίτας, 1998) εγκάρσια στην ακτή διακρίνεται το όριο επιδράσεως των κυματισμών προς την ανοιχτή θάλασσα, μία ζώνη μεταξύ αυτού του ορίου και της γραμμής θραύσεως και μία ζώνη μεταξύ της γραμμής θραύσεως και του ορίου αναρρίχησης των κυματισμών. Στη δεύτερη ζώνη βρίσκεται το μέτωπο της ακτής το οποίο είναι το τμήμα μεταξύ της ακτογραμμής και του ορίου αναρρίχησης των κυματισμών. Πίσω από τις ζώνες αυτές βρίσκεται η ράχη της ακτής η οποία φτάνει ως το μέγιστο όριο αναρρίχησης των χειμερινών κυματισμών. Η διαμόρφωση του βάρους του νερού ή του έξαλου υψομέτρου των ζωνών αυτών επηρεάζεται από τις κάθετες στην ακτή διαδικασίες στερεομεταφοράς.

Αποτέλεσμα της δράσης των κυματισμών και των κυματογενών ρευμάτων κάθετων στην ακτή που αυτά δημιουργούν είναι η διαμόρφωση δύο ξεχωριστών προφίλ, του χειμερινού και του θερινού. (Κουτίτας, 1998)

- **Χειμερινό προφίλ.** Οι κυματισμοί μεγάλης καμπυλότητας προκαλούν διάβρωση σε μέρος του υλικού του μετώπου της ακτής καθώς και του τμήματος του βυθού το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στη γραμμή θραύσης και της ακτογραμμής και μεταφέρουν αυτό το ίζημα στη ζώνη θραύσης δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο έναν διαμήκη ύφαλο ο οποίος είναι παράλληλος προς την ακτή προκαλώντας έτσι τη θραύση των κυματισμών και τη μείωση του ύψους των κυμάτων τα οποία διαδίδονται πίσω από αυτόν. Η διατομή η οποία προκύπτει σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται χειμερινή διατομή της ακτής.
- **Θερινό προφίλ.** Οι θερινοί κυματισμοί με μικρή καμπυλότητα προκαλούν επαναφορά του υλικού στο έξαλο τμήμα της ακτής, μειώνοντας το ύψος του υφάλου και αναπληρώνοντας την ακτή με ίζημα. Η διατομή η οποία προκύπτει σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται θερινή διατομή της ακτής.

2.5.2 Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής

Όπως προαναφέραμε η στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής οφείλεται στη θραύση κυματισμών υπό γωνία με την ακτογραμμή. Η θραύση των κυματισμών προκαλεί την αιώρηση του ιζήματος στη

ζώνη θραύσης. Στη συνέχεια μέσω των ρευμάτων κατά μήκος της ακτής που δημιουργούνται από τα θραυόμενα κύματα καθώς και από τη συνιστώσα κατά μήκος της ακτής των κυματισμών. Η παροχή στερεομεταφοράς εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών και μεγιστοποιείται για γωνίες 45°.

Για το σωστό σχεδιασμό των παράκτιων έργων η παροχή στερεομεταφοράς είναι ένα από τα μεγέθη σχεδιασμού τα οποία είναι απαραίτητα. Για τον προσδιορισμό και την διαστασιολόγηση των έργων σύμφωνα με (Μουτζούρης, 2005) έχουμε τις εξής επιλογές κατά σειρά ακρίβειας:

- Μετρήσεις επί τόπου στο πεδίο μελέτης ή σε προσομοίωμα στο εργαστήριο
- Χρήση στατιστικών δεδομένων παρελθόντων ετών
- Προσαρμογή δεδομένων από κοντινές περιοχές λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιομορφίες που μπορεί να εμφανίζει η προς μελέτη περιοχή
- Εμπειρικά ή ημι-εμπειρικά μοντέλα

2.6 Παράκτια Τεχνικά έργα

Τα παράκτια τεχνικά έργα χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Τα έργα τα οποία είναι παράλληλα στην ακτογραμμή, τα έργα τα οποία είναι κάθετα στην ακτογραμμή και την αναπλήρωση ακτής με ίζημα.

2.6.1 Έργα Παράλληλα στην Ακτογραμμή

Έργα παράλληλα στην ακτογραμμή μπορούν να κατασκευαστούν είτε στο μέτωπο της ακτής, τοποθετώντας έτσι την ακτογραμμή στο μέτωπο του έργου είτε σε απόσταση από την ακτογραμμή. Στην πρώτη περίπτωση η θωράκιση αφορά το μέτωπο το οποίο διαβρώνεται από την πρόσπτωση των κυματισμών. Τα έργα τα οποία βρίσκονται σε απόσταση από την ακτογραμμή μετριάζουν τη δράση της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας απευθείας στο μέτωπο της ακτής. Η ενέργεια αυτή ανακλάται ή/και αποδίδεται με τη θραύση. Στα έργα της πρώτης περίπτωσης δημιουργείται συνήθως διάβρωση στον πόδα του έργου όπως και στα κατάντη του έργου λόγω της ανεμπόδιστης πρόσπτωσης των κυματισμών. Στη δεύτερη περίπτωση δημιουργείται απόθεση ιζήματος ανάμεσα στην ακτογραμμή και το έργο μεταβάλλοντας επομένως την ακτογραμμή. (Μουτζούρης, 2005).

Τα είδη θωράκισης του μετώπου ακτής είναι τα εξής (Μουτζούρης, 2005):

- Θωράκιση με ογκόλιθους
- Επένδυση με πλάκες – θαλάσσιος τοίχος
- Αμμόσακοι
- Αμμοσωλήνες
- Συρματοκιβώτια

Μειονεκτήματα των θωρακίσεων

Το σημαντικότερο μειονέκτημα των θωρακίσεων είναι η απώλεια της παράκτιας ζώνης ως τουριστικής ζώνης ή ζώνης αναψυχής καθώς έχουμε απώλεια της παραλίας και αντικατάσταση με ογκόλιθους θωράκισης. Επίσης υπάρχει περίπτωση διαταραχής του οικοσυστήματος χλωρίδας και πανίδας στην περιοχή εφαρμογής τους.

Μειονεκτήματα κάθετων τοίχων

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των κάθετων τοίχων είναι ότι η υποσκαφή η οποία παρατηρείται στον πόδα του έργου λόγω της κυματικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, λόγω της ανάκλασης των

κυματισμών η δημιουργία στάσιμου κύματος μεγάλης ταχύτητας επιταχύνει τη διαδικασία υποσκαφής. Αυτό το πρόβλημα λύνεται με την σωστή θωράκιση του πόδα του έργου.

Κυματοθραύστες

Το κυριότερο έργο σε απόσταση από την ακτή είναι οι κυματοθραύστες. Οι κυματοθραύστες με κεκλιμένα μέτωπα συνήθως κατασκευάζονται από φυσικούς ογκόλιθους ή τεχνητούς ογκόλιθους ή συνδυασμό και των δύο. Η επιλογή εξαρτάται συνήθως από το κυματικό κλίμα, το βάθος του πυθμένα, την κατάσταση του πυθμένα και τέλος τα διαθέσιμα υλικά στη γύρω περιοχή. Οι κυματοθραύστες μπορεί να είναι ύφαλοι ή έξαλοι. Οι έξαλοι κυματοθραύστες έχουν ύψος στέψης το οποίο εξαρτάται από το τη χρήση της στέψεως, την ανώτατη στάθμη της πλημμυρίδας, το υψηλότερο κύμα σχεδιασμού και τη μέγιστη ανύψωση της στάθμης λόγω κυματισμού. Γενικά η τοποθέτηση της στέψεως σε στάθμη ίση με αυτή του υψηλότερου κύματος σχεδιασμού καθιστά την κατασκευή ανυπερπήδητη, κάτι το οποίο δεν είναι απαραίτητο για την προστασία της ακτής. Το πιο σημαντικό στοιχείο στους κυματοθραύστες είναι η δημιουργία ενός αδιαπέρατου πυρήνα ο οποίος προστατεύεται από στιβάδες ογκολίθων αυξανόμενων διαστάσεων από τον πυρήνα προς τα έξω. Η χωροθέτηση των κυματοθραυστών πρέπει να γίνεται σε τέτοια απόσταση από την ακτή ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία tombolo. Η διαμόρφωση των tombolos έχει ως αποτέλεσμα την διακοπή της στερεομεταφοράς παράλληλα στην ακτή. Στην υπήνεμη πλευρά του κυματοθραύστη τα κύματα συνήθως προσδιορίζονται από τρεις διαδικασίες (Μουτζούρης, 2005).:

- Περίθλαση στα άκρα του κυματοθραύστη
- Μεταφορά κύματος λόγω υπερπήδησης του κυματοθραύστη
- Κυματική διείδυση μέσω του σώματος του κυματοθραύστη

Μειονεκτήματα των κυματοθραυστών

Το κυριότερο πρόβλημα το οποίο εμφανίζουν οι κυματοθραύστες είναι οι μεγάλες τους διαστάσεις. Καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο και για να επιτευχθεί η επιθυμητή στέψη απαιτείται μεγάλη ποσότητα ογκολίθων για την σωστή λειτουργία. Επίσης οι κυματοθραύστες προκαλούν διαταραχές στο οικοσύστημα της περιοχής της οποίας καταλαμβάνουν καθώς καταστρέφουν τα συστήματα χλωρίδας και πανίδας στην περιοχή κατασκευής τους. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα είναι τα λιβάδια ποσειδωνίας τα οποία δεν πρέπει να διαταράσσονται σε περίπτωση κατασκευής ενός κυματοθραύστη.

Ένα ακόμα πρόβλημα, ίσως το κυριότερο, είναι η δημιουργία tombolo στα κατάντη του κυματοθραύστη. Η δημιουργία tombolo είναι ένδειξη για την λανθασμένη μελέτη του κυματοθραύστη και διαταράσσει την ισορροπία ιζήματος στην περιοχή. Διακόπτει εντελώς την στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής και έτσι δημιουργούνται προβλήματα διάβρωσης σε παρακείμενα σημεία της ακτής.

Τέλος, λόγω της παρουσίας του κυματοθραύστη και της μειωμένης κυματικής ενέργειας η οποία εμφανίζεται πίσω από αυτόν υπάρχει πιθανότητα να παρατηρηθεί μειωμένη ανανέωση υδάτων στη «σκιά» του κυματοθραύστη, αυξάνοντας έτσι το ρυπαντικό φορτίο σε αυτήν την περιοχή.

2.6.2 Έργα κάθετα στην Ακτογραμμή

Τα έργα προστασίας ακτής τα οποία έχουν τον διαμήκη τους άξονα κάθετο στην ακτογραμμή ονομάζονται πρόβολοι. Είναι το παλαιότερο και συνηθέστερο έργο με σκοπό την προστασία της ακτής ή την συσσώρευση ιζήματος. Η διατομή ενός προβόλου είναι συνήθως παρόμοια με αυτή ενός κυματοθραύστη. Η παρεχόμενη προστασία κυρίως έγκειται στην ανακοπή μέρους της ενέργειας. Ο πρόβολος επηρεάζει την ενέργεια κατά μήκος της ακτής και επομένως έχει άμεση επίδραση στο

φορτίο ιζήματος και στον πυθμένα αλλά και σε αιώρηση. Ο πρόβολος εδράζεται στον πυθμένα, ενώ η στάθμη στέψεως ορίζεται ανάλογα με το στόχο αλλά και τις απαιτήσεις της κατασκευής. Μεγάλοι σε μήκος πρόβολοι τείνουν να εγκλωβίζουν μεγάλη ποσότητα ιζήματος οδηγώντας έτσι σε διάβρωση στα κατάντη. Μικρού μήκους πρόβολοι επιτρέπουν την διέλευση ιζήματος αποτρέποντας έτσι τη διάβρωση στα κατάντη όμως παρέχουν πλημμελή προστασία. Επίσης πρέπει να έχουν υπόψη μας ότι σε περίπτωση συστήματος προβόλων οι πρόβολοι δεν πρέπει να έχουν μεγάλη απόσταση ανάμεσά τους γιατί παύουν να λειτουργούν ως σύστημα προβόλων και λειτουργεί ο καθένας μεμονωμένος ούτε πολύ μικρή γιατί έτσι το ίζημα εκτρέπεται στα ανοικτά και δεν πραγματοποιείται η επιθυμητή συγκέντρωση του (Μουτζούρης 1994).

Μειονεκτήματα των προβόλων

Ένα από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα των προβόλων είναι ότι ενώ έχουν μελετηθεί εξονυχιστικά δεν έχουν κατανοηθεί όλοι οι μηχανισμοί ροής γύρω από τους πρόβλους. Επομένως η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός προβόλου ή ενός συστήματος προβόλων είναι μία διαδικασία στην οποία πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί γιατί σε περίπτωση υποδιαστασιολόγησης τους δεν εξυπηρετείται ο σκοπός για τον οποίον κατασκευάστηκαν ενώ σε περίπτωση υπερδιαστασιολόγησης πιθανότατα θα μεταφερθεί η διάβρωση σε θέση στην οποία δεν θα αναμένεται. Επίσης η κατάληψη χώρου στον πυθμένα οδηγεί σε διαταραχή του οικοσυστήματος στη θέση κατασκευής. Τέλος ένα πολύ σημαντικό μειονέκτημα είναι η μειωμένη ανανέωση των υδάτων που έχει ως αποτέλεσμα το ρυπαντικό φορτίο να παραμένει περισσότερη διάρκεια στην περιοχή των προβόλων. Οι πρόβολοι επίσης διαταράσσουν το παράκτιο ρεύμα και τη στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής με τα γνωστά αποτελέσματα διάβρωσης τα οποία παρατηρούνται.

2.6.3 Αναπλήρωση ακτής με ίζημα

Μία ήπια μορφή τεχνικής παρέμβασης στην παράκτια ζώνη είναι η αναπλήρωση της ακτής με ίζημα. Το φερτό ίζημα θα πρέπει να έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με την προς αναπλήρωση περιοχή. Η αναπλήρωση ακτής είναι μία μέθοδος με περιορισμένη διάρκεια ζωής και πρέπει να επαναλαμβάνεται σχετικά συχνά. Οι κρίσιμες παράμετροι σχεδιασμού είναι: (Μουτζούρης, 2005)

- Η γνώση των παράκτιων μηχανισμών του ιζήματος της περιοχής προς αναπλήρωση
- Η κατάλληλη επιλογή φερτού ιζήματος
- Η ρεαλιστική εκτίμηση του χρόνου ζωής της αναπληρώσεως
- Η σωστή εκλογή πιθανών απαραίτητων έργων υποστηρίξεως

Η αναπλήρωση με ίζημα έχει μεγάλο βαθμό κινδύνου αστοχίας. Είναι σχεδόν αδύνατη η πλήρης εξασφάλιση του έργου, ακόμα και στην περίπτωση υπερδιαστασιολόγησης (Μουτζούρης, 2005).

2.7 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης

Τα τελευταία έτη όλο και περισσότερες ομάδες χρηστών ασκούν πιέσεις στην παράκτια ζώνη, χρησιμοποιώντας της παράκτια ζώνη και τους πόρους της. Τα βασικά αίτια για αυτές τις πιέσεις είναι η απότομη αύξηση του πληθυσμού των παρακτίων αυτών περιοχών με ταυτόχρονη ανάπτυξη της βιομηχανίας και του τουρισμού όπως και η συνεχώς αυξανόμενη εκμετάλλευση και συνεπώς εξάρτηση από το παράκτιο περιβάλλον.

Επομένως απαιτείται ιδανικά ένας συνολικός σχεδιασμός ούτως ώστε να διαφυλαχθεί η ισόρροπη και βιώσιμη ανάπτυξη λαμβάνοντας υπόψη όλες τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς. Τα τελευταία έτη η βιώσιμη ανάπτυξη έχει γίνει ο πιο σημαντικό στόχος στον σχεδιασμό και τη διαχείριση της παράκτιας ζώνης, η οποία είναι η βάση της ανάπτυξης της έννοιας της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης

Παράκτιας Ζώνης (Ο.Δ.Π.Ζ.). Η ολοκληρωμένη διαχείριση παράκτιας ζώνης ενσωματώνει τις απαιτήσεις ανάπτυξης και προστασίας της ακτής και του περιβάλλοντος, σύμφωνα με τις δεδομένες οδηγίες για την περιοχή και σύμφωνα με τα χωροταξικά σχέδια. Η διαδικασία της ολοκληρωμένης διαχείρισης παράκτιας ζώνης συνήθως εκφράζεται στη μορφή ενός Σχεδίου Διαχείρισης Παράκτιας Ζώνης το οποίο καλύπτει μία ολόκληρη χώρα

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για την ολοκληρωμένη διαχείριση παράκτιας ζώνης. Σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα (1996) :

«Ολοκληρωμένη διαχείριση παράκτιας ζώνης είναι η διαδικασία διαχείρισης η οποία αποτελείται από τα νομικά και θεσμικά πλαίσια τα οποία απαιτούνται για να διασφαλιστεί ότι τα σχέδια ανάπτυξης και διαχείρισης για τις παράκτιες ζώνες συμπεριλαμβάνουν περιβαλλοντικούς (όπως και κοινωνικούς) στόχους και είναι καταρτισμένα με την συμμετοχή των επηρεαζόμενων ομάδων πληθυσμού. Ο σκοπός της ολοκληρωμένης διαχείρισης παράκτιας ζώνης είναι να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη τα οποία παρέχονται από την παράκτια ζώνη και να ελαχιστοποιηθούν οι συγκρούσεις και οι επιπτώσεις των δραστηριοτήτων στο περιβάλλον και στους πόρους.

Η έννοια επομένως της Ο.Δ.Π.Ζ. είναι ένας δομημένος συντονισμός των διαφόρων δραστηριοτήτων και των απαιτήσεων σε πόρους που εμφανίζονται στην παράκτια ζώνη, έτσι ώστε να επιτευχθεί οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά βιώσιμη ανάπτυξη σύμφωνα με τους τοπικούς, περιφερειακούς ή εθνικούς στόχους.

2.7.1 Στόχοι και βασικά βήματα υλοποίησης της Ο.Δ.Π.Ζ.

Σήμερα υπάρχει παγκοσμίως μία αυξανόμενη τάση για την ολοκληρωμένη προσέγγιση των ακτών λαμβάνοντας υπόψη διεργασίες και δραστηριότητες οι οποίες λαμβάνουν χώρα τόσο στο χερσαίο όσο και στο θαλάσσιο τμήμα των παρακτίων ζωνών. Κάθε καινούρια προσέγγιση διαχείρισης του παράκτιου χώρου εκτός του ότι θα πρέπει να είναι ολοκληρωμένη θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την πρόβλεψη της μελλοντικής εξέλιξης της παράκτιας περιοχής στην οποία ανεφέρεται. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές προσπάθειες διατύπωσης οδηγιών για την Ο.Δ.Π.Ζ. δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην σπουδαιότητα της ενδυνάμωσης και του συντονισμού της δια-τομεακής διαχείρισης

Οι στόχοι της Ο.Δ.Π.Ζ. περιλαμβάνουν (Καρύμπαλης, 2010)

- Την ολοκληρωμένη και βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη.
- Την στήριξη και ενίσχυση εναλλακτικών ήπιων μορφών ανάπτυξης
- Την προστασία της φυσικής και πολιτισμικής κληρονομιάς των παρακτίων περιοχών με τη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων, το σεβασμό στο τοπίο και την ανάδειξη των πολιτιστικών μνημείων. Βιώσιμη διαχείριση της παράκτιας ζώνης σημαίνει, όχι μόνο ανάπτυξη με σεβασμό στις φυσικές και πολιτισμικές ιδιαιτερότητες, αλλά και την εξασφάλιση των προϋποθέσεων για την κοινωνική ευημερία του παράκτιου πληθυσμού.

Τα βασικά βήματα για την υλοποίηση ενός σχεδίου Ο.Δ.Π.Ζ. είναι τα εξής:

- Αναγνώριση των τοπικών, περιβαλλοντικών, κοινωνικών και αναπτυξιακών προβλημάτων
- Καθορισμός των στόχων οι οποίοι πρέπει να επιτευχθούν προκειμένου να επιλυθούν τα προβλήματα αυτά
- Καθορισμός συγκεκριμένων δράσεων σε τοπικό επίπεδο
- Εξασφάλιση των μέσων τα οποία απαιτούνται προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι δράσεις (οικονομικοί πόροι, ανθρώπινο δυναμικό, υποδομές)
- Ανάπτυξη συστήματος ελέγχου αξιολόγησης

- Ανάπτυξη ενός πλαισίου συμμετοχικού σχεδιασμού με την ενεργή συμμετοχή τοπικών φορέων και πολιτών

2.7.2 Δείκτες

Οι δείκτες είναι ποσοτικές ή ποιοτικές εκφράσεις των μετρημένων ή παρατηρημένων παραμέτρων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγραφούν οι υπάρχουσες καταστάσεις και να μετρηθούν οι αλλαγές σε βάθος χρόνου. Οι τρεις βασικές λειτουργίες τους είναι η απλοποίηση, η ποσοτικοποίηση και η επικοινωνία.

Οι δείκτες γενικά απλοποιούν ώστε να είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση πολύπλοκων φαινομένων έτσι ώστε η ροή της πληροφορίας στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη, όπως το γενικό κοινό της περιοχής, να γίνει πιο εύκολη. Οι δείκτες είναι πολύ ισχυρά εργαλεία στην αξιολόγηση ενός σχεδίου δράσης, ως ένα πρώτο σημάδι κάποιου επείγοντος θέματος, ή στην παροχή μηνυμάτων για την επιμόρφωση και την ενημέρωση.

Χαρακτηριστικά των σωστών δεικτών

Από μία επιστημονική σκοπιά, οι αποτελεσματικοί δείκτες οφείλουν να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (UNESCO, 2006):

- Να είναι άμεσα μετρήσιμοι, στην κλίμακα του χρόνου η οποία απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η διαχείριση, με τη χρήση διαθέσιμων εργαλείων, προγραμμάτων παρακολούθησης και αναλυτικών εργαλείων.
- Πρέπει να είναι οικονομικά αποδοτικοί επειδή συνήθως οι πόροι οι οποίοι διατίθενται για την παρακολούθηση είναι περιορισμένοι.
- Συμπαγείς. Οι δείκτες οι οποίοι είναι άμεσα παρατηρήσιμοι και μετρήσιμοι προτιμούνται διότι είναι πιο εύκολοι στην ερμηνεία και γίνονται ευρέως αποδεκτοί
- Κατανοητοί. Οι δείκτες πρέπει να είναι έτσι δομημένοι ώστε να αντανακλούν τις ιδιότητες στους ενδιαφερόμενους.
- Να είναι βασισμένοι σε επιστημονική θεώρηση.
- Ευμετάβλητοι. Οι δείκτες πρέπει έχουν την δυνατότητα να μεταβληθούν εύκολα λόγω αλλαγών στις ιδιότητες οι οποίες παρατηρούνται.
- Πρέπει να έχουν κατάλληλη απόκριση. Οι δείκτες πρέπει να έχουν την δυνατότητα να μετρήσουν τις επιπτώσεις των δράσεων έτσι ώστε να παρέχονται πληροφορίες για την επίδραση αυτών στην περιοχή.
- Συγκεκριμένοι. Οι δείκτες οφείλουν να ανταποκρίνονται στις ιδιότητες τις οποίες είναι δομημένοι να μετρούν και να μην επηρεάζονται από άλλους παράγοντες.

Είδη δεικτών στην Ο.Δ.Π.Ζ.

Τα είδη δεικτών στην Ο.Δ.Π.Ζ. είναι τριών ειδών, αντικατοπτρίζοντας έτσι τα τρία στοιχεία της Ο.Δ.Π.Ζ (PIANC, 2014):

- Δείκτες διακυβέρνησης, οι οποίο μετρούν την απόδοση των επί μέρους στοιχείων του προγράμματος (π.χ. στάδιο εφαρμογής του σχεδιασμού της Ο.Δ.Π.Ζ.) όπως και την διαδικασία και την ποιότητα των επεμβάσεων.
- Περιβαλλοντικοί δείκτες, οι οποίοι αντικατοπτρίζουν τις αλλαγές στην κατάσταση του περιβάλλοντος. Είναι από τη φύση τους περιγραφικοί εάν περιγράφουν την κατάσταση του περιβάλλοντος ως προς ένα συγκεκριμένο ζήτημα (ευτροφισμός, διάβρωση ακτών). Μετατρέπονται σε δείκτες απόδοσης εάν συγκρίνουν πραγματικές συνθήκες με ιδεατές

συνθήκες. Στην παρούσα διπλωματική είναι κυρίαρχοι οι περιβαλλοντικοί δείκτες αφού γίνεται προσπάθεια αντιμετώπισης της διάβρωσης στις ακτές του νότιου Κορινθιακού κόλπου.

- Κοινωνικοοικονομικοί δείκτες, οι οποίοι μετρούν την κατάσταση της ανθρώπινης συνιστώσας της παράκτιας ζώνης και είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο στην εξέλιξη των σχεδίων Ο.Δ.Π.Ζ.

Η (UNESCO, 2006) στο εγχειρίδιό της για την αξιολόγηση της διαδικασίας και των αποτελεσμάτων της Ο.Δ.Π.Ζ. προτείνει 15 δείκτες διακυβέρνησης, 9 περιβαλλοντικούς δείκτες και 13 κοινωνικοοικονομικούς δείκτες. Οι προτεινόμενοι δείκτες διακυβέρνησης είναι οι εξής:

Μηχανισμός συντονισμού	Ενεργή διαχείρισης	Επιμόρφωση και εκπαίδευση
Νομοθεσία	Παρακολούθηση και αξιολόγηση	Τεχνολογία
Περιβαλλοντική αξιολόγηση	Ανθρώπινοι, τεχνικοί και οικονομικοί πόροι	Οικονομικά όργανα
Μηχανισμός επίλυσης συγκρούσεων	Δεδομένα από επιστημονικές έρευνες	Στρατηγική βιώσιμης ανάπτυξης
Ολοκληρωμένα προγράμματα διαχείρισης	Συμμετοχή των ενδιαφερόμενων	

Πίνακας 2.1. Προτεινόμενοι κατά (UNESCO, 2006) δείκτες διακυβέρνησης.

Οι προτεινόμενοι περιβαλλοντικοί δείκτες είναι οι εξής:

Βιοποικιλότητα	Παραγωγή και αναπαραγωγή	Υγεία ειδών
Κατανομή ειδών	Τροφικές αλληλεπιδράσεις	Ποιότητα υδάτων
Αφθονία	Θνησιμότητα	Ποιότητα οικοσυστήματος

Πίνακας 2.2. Προτεινόμενοι κατά (UNESCO, 2006) περιβαλλοντικοί δείκτες.

Οι προτεινόμενοι κοινωνικοοικονομικοί δείκτες είναι οι εξής:

Συνολική οικονομική αξία	Ανθρώπινες πιέσεις στα οικοσυστήματα	Δημόσια πρόσβαση	Δυναμική του πληθυσμού
Άμεσες επενδύσεις	Ρυπαντές	Πολιτισμική ακεραιότητα	
Συνολική απασχόληση	Αρρώστιες	Προστασία παράκτιων πόρων	
Διαχωρισμός τομέων	Καιρικές συνθήκες	Εξάρτηση από τη θάλασσα	

Πίνακας 2.3. Προτεινόμενοι κατά (UNESCO, 2006) κοινωνικοοικονομικοί δείκτες.

2.8 Ενσωμάτωση της παράκτιας διάβρωσης στην Ο.Δ.Π.Ζ.

Είναι εμφανές μετά τα προαναφερθέντα ότι η παράκτια διάβρωση είναι ένα μόνο μικρό τμήμα της ολοκληρωμένης διαχείρισης παράκτιας ζώνης. Η Ο.Δ.Π.Ζ. είναι ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο εκτελούνται δράσεις για την μείωση της παράκτιας διάβρωσης, ή με άλλα λόγια η διαχείριση της ακτογραμμής.

Η διαχείριση της ακτογραμμής μπορεί να θεωρηθεί ως το τμήμα της Ο.Δ.Π.Ζ. το οποίο αντιμετωπίζει την υπάρχουσα και μελετημένη ανάπτυξη στην παράκτια περιοχή και τη σχέση της με την πραγματική διάβρωση και τα αναμενόμενα φαινόμενα διάβρωσης και πλημύρας στην ακτή όπως και με το σχεδιασμό προστασίας της ακτής και κατασκευών θωράκισής της.

Η διαχείριση της ακτογραμμής οφείλει να διαφυλάσσει ότι οι δραστηριότητες οι οποίες πραγματοποιούνται στην παράκτια ζώνη (PIANC, 2014):

- Ακολουθούν τον υπάρχοντα χωροταξικό σχεδιασμό και τις απαιτήσεις του.
- Δεν συνεισφέρουν στα ή επιδεινώνουν τα φαινόμενα διάβρωσης.
- Δεν πραγματοποιούνται σε περιοχές οι οποίες υπόκεινται σε διάβρωση ή πλημμυρικά φαινόμενα
- Δεν απαιτούν τεχνικές αντιμετώπισης της διάβρωσης οι οποίες είναι οικονομικά μη αποδοτικές ενώ είναι κοινωνικά και περιβαλλοντικά αποδεκτές

Για να υπάρξει μία σωστή αντιμετώπιση του φαινομένου της διάβρωσης απαιτούνται απαραίτητες γνώσεις οι οποίες είναι οι ακόλουθες κατά (PIANC, 2014):

- Μετεωρολογικές συνθήκες
- Παράκτια ανάπτυξη, παρεμβάσεις στην ακτή, παράκτιες διαδικασίες και πηγές ιζήματος
- Ανθρωπογενής παρέμβαση στις παράκτιες περιοχές όπως τα έργα διευθέτησης χερσαίων
- Κανονισμοί παράκτιων και περιβαλλοντικών επεμβάσεων

Επίσης, είναι χρήσιμο να οριστούν ξεκάθαρα οι στόχοι της μείωσης της παράκτιας διάβρωσης οι οποίοι είναι συνδυασμός των (PIANC, 2014):

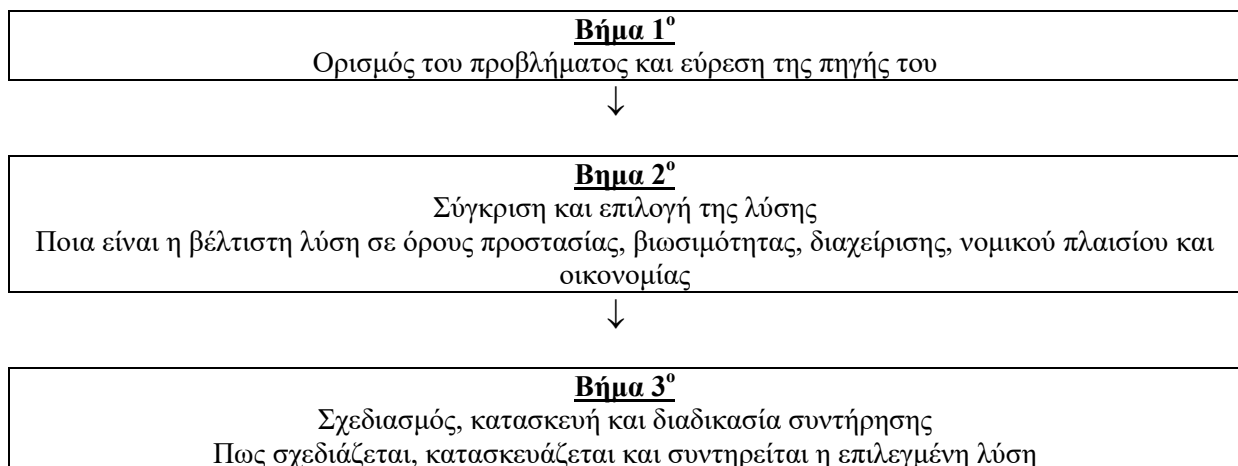
- Παράκτια προστασία, δηλαδή προστασία της ακτής και των κατασκευών στη χερσαία ζώνη έναντι της διάβρωσης
- Προστασία της παραλίας, δηλαδή προστασία της ακτής και των κατασκευών της χερσαίας ζώνης έναντι διάβρωσης και διατήρηση των παραλιών
- Θωράκιση της ακτής, δηλαδή προστασία της χερσαίας ζώνης από φαινόμενα πλημμύρας

Η έννοια της ολοκληρωμένης προσέγγισης πρέπει επίσης να εφαρμόζεται στην ανάπτυξη των μέτρων μείωσης της παράκτιας διάβρωσης. Πρέπει να ληφθούν υπόψη τρεις κύριες παράμετροι (PIANC, 2014):

- 1) Διερεύνηση ενός μεγάλου εύρους λύσεων οι οποίες σχετίζονται με το πρόβλημα, για παράδειγμα:
 - a) Καταπολέμηση της διάβρωσης η οποία απειλεί άμεσα μία παράκτια κοινότητα. Η χρόνια διάβρωση συχνά ανάγεται σε κατάσταση ανάγκης επειδή δεν έχουν ληφθεί έγκαιρα μέτρα προστασίας. Η ανάγκη για άμεση προστασία μπορεί επίσης να προκληθεί από ένα ακραίο φαινόμενο, την καλούμενη και οξεία διάβρωση. Μία τυπική προσέγγιση είναι να ληφθούν προσωρινά βραχυπρόθεσμα μέτρα και να αποδεχθούμε τα κόστη συντήρησης αυτών των μέτρων όπως και την ύπαρξη του προβλήματος. Αυτή συχνά είναι η μόνη επιλογή για τοπικές παράκτιες κοινότητες καθώς οι πόροι διατίθενται μόνο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.
 - b) Υπαναχώρηση από την διαβρωνόμενη περιοχή στην περίπτωση βραδέως εξελισσόμενης διάβρωσης. Η υπαναχώρηση επιλέγεται όταν το κόστος της προστασίας είναι υψηλό σε σχέση με την αξία της διαβρούμενης περιοχής, συνήθως όταν η απειλούμενη περιοχή δεν είναι κατοικημένη (αγροτική περιοχή) ή έχει μικρή αξία ή σπουδαιότητα. Ο συμβιβασμός με τη διάβρωση μπορεί να είναι η μόνη οικονομική λύση. Απαιτείται προσεκτική παρακολούθηση της διάβρωσης, ορισμός γραμμής υπαναχώρησης και διασφάλιση της ενημέρωσης του κοινού για το πρόβλημα.
 - c) Καταπολέμηση της χρόνιας διάβρωσης. Πραγματοποίηση τεχνικής λύσης για την καταπολέμηση της διάβρωσης. Αυτή η λύση μπορεί να διαιρεθεί σε μέτρα ενάντια στο αίτιο της διάβρωσης και/ή ενάντια στην επέκτασή της.

- 2) Μελέτη των επιπτώσεων. Οι τεχνικές λύσεις συχνά μεταφέρουν το πρόβλημα σε παρακείμενες περιοχές. Οι σκληρές λύσεις (π.χ. θαλάσσια τοιχία) οδηγούν σε απώλεια της παραλίας και έτσι έχουμε αρνητικές επιπτώσεις στη χρήση της όπως η απώλεια της χρήσης αναψυχής, οδηγώντας έτσι σε μείωση της οικονομικής ανάπτυξης της χερσαίας ζώνης.
- 3) Να έχουν ληφθεί υπόψη οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις. Πολλές κλιματικές και γεωφυσικές διαδικασίες και ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η κλιματική αλλαγή, η παρεμπόδιση της παροχής ιζήματος από τις παράκτιες κατασκευές και οι παρεμβάσεις σε ποταμούς επηρεάζουν την ακτογραμμή.

Το οργανόγραμμα δράσης για την μείωση της διάβρωσης επισυνάπτεται παρακάτω:



Σχήμα 2.2. Οργανόγραμμα δράσης για τη μείωση της διάβρωσης, (PIANC, 2014).

2.9 Ανάλυση κινδύνου

Όταν το πρόβλημα διάβρωσης έχει εντοπιστεί, μπορεί να πραγματοποιηθεί μία ανάλυση κινδύνου και τρωτότητας με απώτερο σκοπό την επιλογή του κατάλληλου είδους μέτρου μείωσης της διάβρωσης. Η ανάλυση κινδύνου για τις περιοχές οι οποίες υπόκεινται σε διάβρωση λειτουργεί με τις ακόλουθες τέσσερις κατηγοριοποιήσεις διάβρωσης (PIANC, 2014):

- Οξεία διάβρωση, η οποία συνήθως προκαλείται από τις διαδικασίες κατά μήκος της ακτής ως αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης κυμάτων καταιγίδας και ακραίων φαινομένων. Η οξεία διάβρωση συνήθως αναφέρεται και ως «μη αναμενόμενη» διάβρωση. Η οξεία διάβρωση μπορεί να χωριστεί σε δύο είδη:
 - Αναστρέψιμη (προσωρινή) οξεία διάβρωση – Αναστρέψιμη διάβρωση της ακτής χωρίς μόνιμη απώλεια ιζήματος από αυτήν και χωρίς ζημιές σε μη ανακτήσιμους σχηματισμούς της ακτής (όπως τα πρανή) ή σε παράκτιες ιδιοκτησίες. Η παραλία θα επανέλθει ξανά και αυτός ο τύπος διάβρωσης δεν απαιτεί τη λήψη κάποιου μέτρου.
 - Μη αναστρέψιμη μόνιμη οξεία διάβρωση – Η οξεία διάβρωση η οποία έχει προκαλέσει μόνιμη απώλεια άμμου, ζημιές σε μη ανακτήσιμους σχηματισμούς της ακτής (όπως τα πρανή) ή σε παράκτιες ιδιοκτησίες. Αυτός ο τύπος διάβρωσης συνήθως απαιτεί κάποια μορφή άμεσης επέμβασης όπως και παράκτια προστασία για να αποφευχθούν παρόμοιες ζημιές στο μέλλον

- Άμεση χρόνια διάβρωση - Χρόνια διάβρωση, η οποία έχει προχωρήσει σε τέτοιο σημείο όπου οι παράκτιες εγκαταστάσεις απειλούνται σε χρονικό ορίζοντα μερικών ετών και επομένως χρήζει άμεσης προστασίας για να αποφευχθεί η ζημιά. Αυτός ο τύπος διάβρωσης συνήθως απαιτεί άμεση (έκτακτη) προστασία
- Μακροχρόνια διάβρωση – Χρόνια διάβρωση η οποία δεν έχει προχωρήσει σε τέτοιο σημείο όπου οι παράκτιες εγκαταστάσεις απειλούνται σε χρονικό ορίζοντα περίπου 20 ετών. Αυτός ο τύπος διάβρωσης επιτρέπει τον σχεδιασμό και τη μελέτη των βέλτιστων σχεδίων προστασίας ή άλλων παρεμβάσεων.

Οι διαφορετικές κατηγορίες και τα αντίστοιχα μέτρα προστασίας περιγράφονται αμέσως μετά:

- Οξεία διάβρωση – Οι περιοχές υπό οξεία διάβρωση μπορεί να απαιτούν μέτρα προστασίας ανάλογα με το μέγεθος της ζημιάς την οποία έχει προκαλέσει η διάβρωση. Η απόσταση από την ακτογραμμή έως το πρανές ή αμμόλοφο ή τις κατασκευές στην ακτή, δηλαδή η ενδιάμεση ζώνη είναι πολύ σημαντική. Η υποχώρηση από την ακτογραμμή μπορεί να προταθεί ανάλογα με το πλάτος αυτής της ζώνης. Μέτρα προστασίας μπορούν να ληφθούν εάν η αναμενόμενη διάβρωση είναι μεγαλύτερη από αυτή την ενδιάμεση ζώνη και εάν υφίστανται ιδιοκτησίες κοντά στην ακτή οι οποίες βρίσκονται σε κίνδυνο.
- Άμεση χρόνια Διάβρωση – Οι περιοχές υπό άμεση χρόνια διάβρωση απαιτούν και περιέχουν παράκτιες ιδιοκτησίες οι οποίες βρίσκονται σε κίνδυνο απαιτούν την υιοθέτηση άμεσων δράσεων ούτως ώστε να αποφευχθούν οι άμεσες ζημιές.
 - ο Οι άμεσες δράσεις οι οποίες μπορούν να υιοθετηθούν χωρίζονται σε προσωρινές και μόνιμες δράσεις. Προσωρινή δράση είναι η άμεση αναπλήρωση ακτής με ίζημα. Προτείνεται σε περιπτώσεις αναπλήρωσης μικρής κλίμακος και μόνο ως προσωρινή λύση μέχρι την συνολική αντιμετώπιση του προβλήματος. Μόνιμη δράση είναι ένα σωστά καταρτισμένο σχέδιο προστασίας.
- Μακροχρόνια Διάβρωση – Οι περιοχές υπό μακροχρόνια διάβρωση η οποία οδηγεί σε απώλεια της παραλίας ή σε ζημιές σε παράκτιες εγκαταστάσεις και ιδιοκτησίες (σπίτια, υποδομές) σε ένα χρονικό πλαίσιο 20 χρόνων, απαιτούν μέτρα σταθεροποίησης της ακτογραμμής. Η συνήθης προτεινόμενη λύση είναι ο συνδυασμός κατασκευών και πλήρωση ακτής. Η αναπλήρωση ακτής μεγάλης κλίμακας δεν ενδείκνυται καθώς απαιτεί συχνή συντήρηση και ενημέρωση του κοινού.

2.9.1 Κατηγοριοποίηση τρωτότητας και κινδύνου και προτεινόμενες επεμβάσεις

Η κατηγοριοποίηση τρωτότητα και κινδύνου χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση ακτών υπό διάβρωση και είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό των περιοχών οι οποίες χρειάζονται την υιοθέτηση μέτρων έναντι οξείας διάβρωσης, άμεσης χρόνιας διάβρωσης (έκτακτη προστασία), μακροχρόνιας διάβρωσης ή δεν απαιτείται η λήψη κάποιου μέτρου. Το είδος προστασίας το οποίο θα ληφθεί σε μία συγκεκριμένη περιοχή εξαρτάται επίσης και από τις ακόλουθες παραμέτρους (PIANC, 2014):

- Είδος ακτής
- Χρήση γης
- Χρήση παραλίας
- Πόροι (ικανότητες διαχείρισης και σχεδιασμού, εξοπλισμός και υλικά)
- Διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι
- Περιβαλλοντική επίπτωση
- Ασφάλεια της παραλίας για χρήσεις αναψυχής.

Οι προτεινόμενες κατηγορίες κινδύνου είναι οι εξής δύο:

- 1) Ο κίνδυνος βλαβών σε παράκτιες εγκαταστάσεις στην περίπτωση κρίσιμης διάβρωσης εάν η περιοχή δεν είναι προστατευμένη.
- 2) Ο κίνδυνος απώλειας της παραλίας στην περίπτωση κρίσιμης διάβρωσης σε περιοχές όπου υπάρχει κάποιου είδους σκληρής προστασίας.

Όταν πραγματοποιηθεί η κατηγοριοποίηση τρωτότητας και κινδύνου βασιζόμενοι σε πραγματικά δεδομένα και οριστούν οι περιοχές όπου χρειάζεται κάποιο σχέδιο δράσης, μπορούν στη συνέχεια να προταθούν τα έργα τα οποία θα επιλύσουν όλα αυτά τα προβλήματα.

Είδος Διάβρωσης	Συνθήκες	Κατάσταση διάβρωσης	Χρήση Γης	Παρόν καθεστώς προστασίας	Κατηγορία κινδύνου	Είδος παρέμβασης
Οξεία	Αναστρέψιμη (προσωρινή)	Οξεία υποχώρηση μικρότερη από την ενδιάμεση ζώνη	Αγροτική περιοχή	Μη προστατευμένη περιοχή	Ευάλωτη σε διάβρωση αλλά όχι κρίσιμη για παράκτιες εγκαταστάσεις	Πλήρωση με άμμο. Επιβολή στατικής γραμμής υπαναχώρησης.
			Αστική περιοχή	Προστατευμένη περιοχή		
	Μη αναστρέψιμη (μόνιμη)	Οξεία υποχώρηση μεγαλύτερη από την ενδιάμεση ζώνη	Αγροτική περιοχή	Μη προστατευμένη περιοχή	Όχι κρίσιμη	Επιβολή στατικής γραμμής υποχώρησης
			Αστική περιοχή	Μη προστατευμένη περιοχή	Κρίσιμη για βλάβες σε κατασκευές	Πλήρωση με άμμο, τοιχίο (υπόγειο)
		Προστατευμένη και εκτεθειμένη περιοχή		Κρίσιμης καθώς υπάρχει απώλεια παραλίας		Πλήρωση με άμμο
			Υπόγεια προστασία	Κρίσιμη στην απώλεια παραλίας		Πλήρωση με άμμο
Χρόνια	Άμεση διάβρωση	Όχι κρίσιμη σε βάθος 2 ετών	Αγροτική περιοχή	Μη προστατευμένη περιοχή	Ευάλωτη σε διάβρωση αλλά όχι κρίσιμη για παράκτιες εγκαταστάσεις	Καμία
			Αστική περιοχή	Προστατευμένη ή μη προστατευμένη περιοχή		
		Κρίσιμη σε βάθος 2 ετών	Αγροτική περιοχή	Μη προστατευμένη περιοχή	Όχι κρίσιμη	Επιβολή δυναμικής γραμμής υποχώρησης
			Αστική περιοχή	Μη προστατευμένη περιοχή	Κρίσιμη για βλάβες σε κατασκευές	Αναπλήρωση, έκτακτη (προσωρινή) προστασία, τοιχίο
	Προστατευμένη και εκτεθειμένη περιοχή	Κρίσιμης καθώς υπάρχει απώλεια παραλίας		Αναπλήρωση ακτής		
	Υπόγεια προστασία	Κρίσιμη στην απώλεια παραλίας	Αναπλήρωση ακτής			
	Μακροχρόνια διάβρωση	Όχι κρίσιμη σε βάθος 20 ετών	Αγροτική περιοχή	Μη προστατευμένη περιοχή	Όχι κρίσιμη	Επιβολή δυναμικής γραμμής υποχώρησης
			Αστική περιοχή	Προστατευμένη ή μη προστατευμένη περιοχή		
		Κρίσιμη σε βάθος 20 ετών	Αγροτική περιοχή	Μη προστατευμένη περιοχή	Όχι κρίσιμη	Επιβολή δυναμικής γραμμής υποχώρησης
			Αστική περιοχή	Μη προστατευμένη περιοχή	Κρίσιμη για βλάβες σε κατασκευές	Σταθεροποίηση της ακτής
Προστατευμένη και εκτεθειμένη περιοχή	Κρίσιμης καθώς υπάρχει απώλεια παραλίας	Ανάκτηση παραλίας				
Υπόγεια προστασία	Κρίσιμη στην απώλεια παραλίας	Ανάκτηση παραλίας				

Πίνακας 2.4. Τύποι προτεινόμενων μέτρων προστασίας συναρτήσει της κατάταξης κινδύνου, χρήση γης και καθεστώσ προστασίας των διαβρωνόμενων ακτών (PIANC, 2014).

2.9.2 Επιλογή των μέτρων προστασίας

Οι τεχνικές επιλογές για την καταπολέμηση της παράκτιας διάβρωσης και των προβλημάτων παράκτιων πλημμύρων είναι περιορισμένες και μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες

- Παθητικά (σκληρά) μέτρα προστασίας της ακτής
- Ενεργά (ήπια) μέτρα προστασίας της παραλίας
- Συνδυασμός αυτών
- Διαχειριστικές λύσεις
- Τοιχία/αμμόλοφοι

Ακολουθεί η περιγραφή των κατηγοριών αυτών (PIANC, 2014):

Παθητική προστασία της ακτής

Η παθητική προστασία της ακτής πραγματοποιείται με έργα παράκτιας μηχανικής στην ακτή ή στην περιοχή κοντά στην ακτή, τα οποία προστατεύουν άμεσα την ακτή όπως στην περίπτωση της επένδυσης της ακτής, ή έμμεσα, μεταβάλλοντας την στερεομεταφορά ώστε να αποφευχθεί η περαιτέρω διάβρωση, όπως στην περίπτωση των κυματοθραυστών και των προβόλων. Αυτά τα μέτρα χαρακτηρίζονται από υψηλά αρχικά κόστη αλλά έχουν μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης, προκαλώντας όμως διαβρώσεις στην υπήνεμη πλευρά και σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει κίνδυνος απώλειας της παραλίας.

Ενεργή προστασία της παραλίας

Τα ενεργά (ήπια) μέτρα προστασίας της ακτής είναι τεχνικές λύσεις όπου ο ρυθμός διάβρωσης (π.χ. εκφρασμένος στον ετήσιο όγκο διαβρωνόμενου ιζήματος), αντικαθίσταται με παροχή ιζήματος στη μορφή αναπλήρωσης ακτής με παρόμοιο ρυθμό με αυτό της διάβρωσης. Αυτά τα μέτρα οδηγούν στην διακοπή της υποχώρησης της ακτογραμμής διατηρώντας ταυτόχρονα την αμμώδη παραλία. Ωστόσο, επειδή η αιτία της διάβρωσης δεν απομακρύνεται, η νέα άμμος παρασύρεται ξανά εκτός περιοχής και έτσι η αναπλήρωση πρέπει να επαναλαμβάνεται ξανά. Αυτός ο τρόπος προστασίας διαμοιράζει το κόστος σε μία μεγάλη χρονική περίοδο και απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό.

Συνδυασμένες λύσεις

Ο συνδυασμός των σκληρών και ήπιων λύσεων συνήθως αποτελείται από την πλήρωση ακτής με ίζημα και σταθεροποίηση της με έργα προστασίας. Το πλεονέκτημα των συνδυασμένων λύσεων είναι ότι μπορούν να επωφεληθούν από τα πλεονεκτήματα και των δύο λύσεων, δηλαδή μέτρια ή μεγάλα κόστη κατασκευής και μέτρια ή μικρά κόστη συντήρησης.

Διαχειριστικές λύσεις

Συχνά παρατηρείται η σύγκρουση ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις ως προς την ακτή, την προσέγγιση της δραστηριότητας σε αυτήν και την προσέγγιση υποχώρησης από αυτήν. Αυτή η σύγκρουση μπορεί να διαχειριστεί με την επιβολή απαγορεύσεων σχετικά με την παράκτια ανάπτυξη, αποδεχόμενοι την υποχώρηση της ακτής, με τη λεγόμενη γραμμή υποχώρησης από την ακτή. Αυτή η διαχειριστική λύση συχνά δεν μπορεί να εφαρμοστεί εφόσον η διαβρωνόμενη ακτή απειλεί ήδη παράκτιες κατασκευές. Αυτό σημαίνει ότι οι διαχειριστικές λύσεις είναι εφαρμόσιμες κυρίως σε αγροτικές

περιοχές για να αποφευχθούν προβλήματα στο μέλλον. Ωστόσο, απαιτείται αυστηρή παρακολούθηση της περιοχής για να διαφυλαχθεί η συμμόρφωση με τις οδηγίες υποχώρησης.

Τοιχία/αμμόλοφοι

Τα τοιχία και οι αμμόλοφοι προσφέρουν προστασία της ακτής από παράκτιες πλημμύρες. Ο κίνδυνος πλημμύρας συχνά συνδέεται με την διάβρωση των φυσικών αμμόλοφων αλλά σε άλλες περιπτώσεις ο κίνδυνος πλημμύρας δεν συνδέεται με την παράκτια διάβρωση. Ο συνδυασμένος κίνδυνος της διάβρωσης και της παράκτιας πλημμύρας συνήθως μετριάζεται με την κατασκευή ενός τοιχίου, ενός τεχνητού αμμόλοφου ή ενός οπλισμένου αναχώματος ενώ ο κίνδυνος πλημμύρας μετριάζεται με την κατασκευή των ενισχύσεων.

Μία σύνοψη των μέτρων προστασίας της ακτής σε μορφή πίνακα δίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

	Είδος προστασίας					
		Προστασία ακτής	Προστασία παραλίας	Συνδυασμένες λύσεις	Διαχειριστικές λύσεις	Τοιχία/αμμόλοφοι
Φύση της προστασίας (είδος παρέμβασης)		Παθητική, σκληρή (παράκτια κατασκευή)	Ενεργή, ήπια (αναπλήρωση)	Συνδυασμών σκληρών και ήπιων μέτρων (κατασκευή και πλήρωση ακτής)	Διαχειριστική ή (γραμμική υποχώρησης)	Ενίσχυση ή θαλάσσιο τοιχίο ή τεχνητός αμμόλοφος
Στόχος προστασίας και Πρόβλημα	Προστασία παράκτιων κατασκευών έναντι διάβρωσης	X	X	X	X	-
	Προστασία παράκτιων κατασκευών έναντι διάβρωσης και πλημμύρας	X	X	X	X	X
	Προστασία παράκτιων εγκαταστάσεων έναντι πλημμύρας και απώλειας παραλίας	-	X	X	X	-
	Προστασία παράκτιων κατασκευών έναντι πλημμύρας	-	-	-	X	X
Χαρακτηριστικά	Διάβρωση στην υπήνεμη πλευρά του έργου	Ναι	Όχι	Μερική	Όχι	Όχι
	Τακτική συντήρηση	Μικρή	Ναι	Μερική	Ναι	ναι
	Απαιτήσεις σχεδιασμού	Μικρές	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι

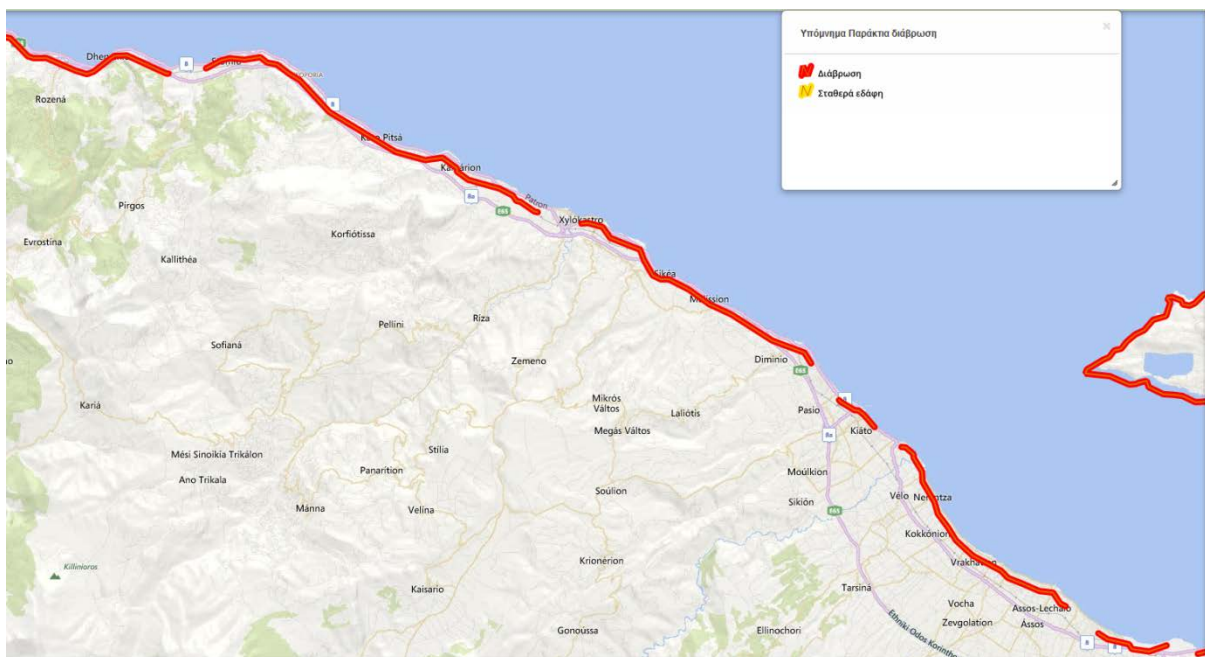
Πίνακας 2.5. Σύνοψη των τύπων προστασίας της ακτής και τοιχίων/αμμόλοφων και τα χαρακτηριστικά τους, (PIANC, 2014).

3. Διάβρωση παράκτιας ζώνης Νότιου Κορινθιακού κόλπου

3.1 Περιγραφή ευρύτερης περιοχής μελέτης

Ο Κορινθιακός Κόλπος είναι ο μεγαλύτερος κόλπος της νότιας Ελλάδος, ο οποίος χωρίζει την Πελοπόννησο από τη Στερεά Ελλάδα. Είναι μια τάφρος μεγάλου βάθους με μέγιστο μήκος περίπου 130 μέτρα, μέγιστο πλάτος 30 μέτρα και μέγιστο βάθος περίπου 870 μέτρα. Κύριο χαρακτηριστικό της Νεοτεκτονικής μακροδομής του είναι η ύπαρξη μεγάλων ρηξιγενών ζωνών οι οποίες χωρίζουν τον κόλπο σε μεγάλα τεμάχια. Συγχρόνως παρατηρείται το φαινόμενο ανύψωσης της Βόρειας Πελοποννήσου ενώ ταυτόχρονα μεγάλα τμήματα της Στερεάς Ελλάδος βυθίζονται. Αποτέλεσμα αυτών των κινήσεων είναι η έντονη διαφοροποίηση των ακτών του βόρειου και του νότιου Κορινθιακού κόλπου.

Η παρούσα διπλωματική έχει ως πεδίο μελέτης τις ακτές του Νότιου Κορινθιακού κόλπου και πιο συγκεκριμένα την περιοχή από την πόλη της Κορίνθου έως τα όρια της Περιφερειακής Ενότητας Κορινθίας στα δυτικά, κοντά στα Μαύρα Λιθάρια Ευρωστίνης. Η ακτογραμμή στην περιοχή μελέτης είναι σχετικώς ευθύγραμμη με διάφορα δελταϊκά ριπίδια τα οποία εντοπίζονται στις απολήξεις των ρεμάτων και των ποταμών που απορρέουν στον κόλπο. Η κλίση του θαλάσσιου πυθμένα στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από μεγάλες διακυμάνσεις. Το εύρος των τιμών της κλίσης του θαλάσσιου πυθμένα στο ανατολικό άκρο, κοντά στο Λέχαιο είναι 1.7% ενώ στο δυτικό άκρο, κοντά στο Δερβένι είναι 27.8%. Το μήκος της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης είναι περίπου 55 χλμ. Σε μεγάλο μήκος των ακτών της περιοχής μελέτης εμφανίζεται χρόνια διάβρωση όπως αυτή καταγράφεται και από τον ακόλουθο χάρτη ο οποίος προέρχεται από τη βάση δεδομένων Οικοσκόπιο της WWF Ελλάς.



Σχήμα 3.1. Εδάφη υπό διάβρωση στην περιοχή μελέτης. Πηγή (Οικοσκόπιο)

Η διάβρωση είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο όμως εντείνεται λόγω της ανθρωπογενούς δράσης στην παράκτια ζώνη αλλά και στους χειμάρρους. Λόγω των διευθετήσεων των χειμάρρων οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί καθώς και λόγω των αμμοληψιών για την κατασκευή τεχνικών έχει ανατραπεί το ιζηματολογικό ισοζύγιο στον Κορινθιακό κόλπο οδηγώντας στην εντονότερη διάβρωση

στις ακτές του Κόλπου. Τέλος, η δόμηση σε τμήματα ακτών της περιοχής μελέτης έχει μεγάλη συμμετοχή στην διάβρωση.



Σχήμα 3.2. Διευθέτηση μέρους κοίτης χειμάρρου και κατασκευή δημοτικού χώρου στάθμευσης επί αυτού στο Δερβένι Κορινθίας. Πηγή (Geotag Aeroview)

Είναι επομένως κατανοητό ότι εφόσον η ακτή αποτελεί μέρος ενός ενιαίου παράκτιου συστήματος η αντιμετώπιση έπρεπε να είναι συνολική και ολοκληρωμένη. Η παρέμβαση μόνο σε συγκεκριμένα τμήματα ενέχει μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας και μεταθέτει το πρόβλημα στα κατάντη. Τέτοιες περιπτώσεις στην περιοχή μελέτης είναι η κατασκευή του αλιευτικού καταφυγίου Άσσου Κορινθίας όπου επέτεινε το πρόβλημα διάβρωσης στην ακτή προς το Λέχαιο. Επίσης η κατασκευή του λιμένος Βραχατίου δημιούργησε και αυτή προβλήματα διάβρωσης στην περιοχή ανάμεσα στο Βραχάτι και τον Άσσο. Τέλος η κατασκευή του λιμενίσκου Κιάτου δημιούργησε προβλήματα στα κατάντη μέχρι τις εκβολές του Ασωπού ποταμού.

3.2 Στόχοι παρούσας εργασίας

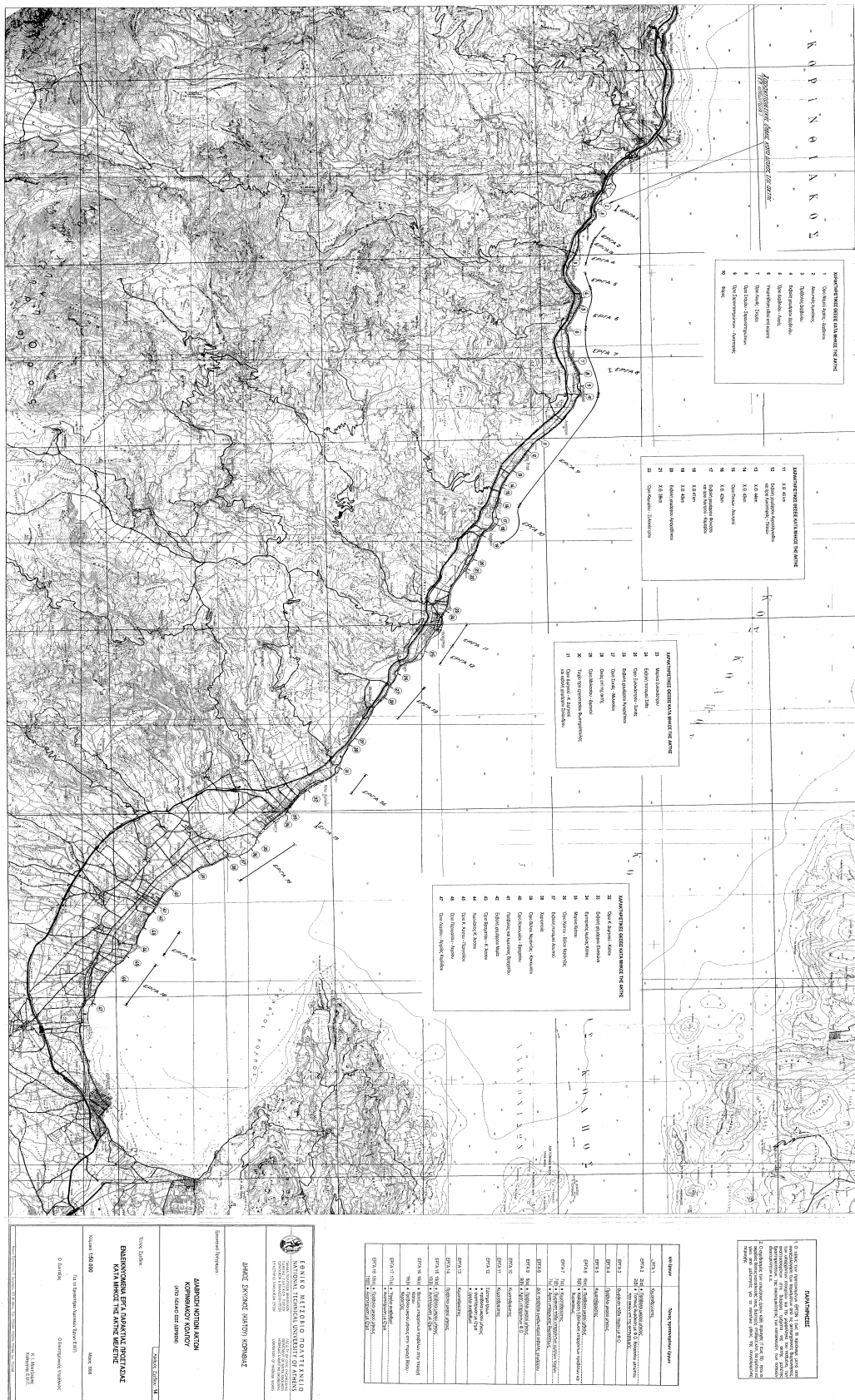
Στην διπλωματική αυτή έγινε μία λεπτομερής έρευνα σε όλη την περιοχή μελέτης. Οι άξονες της έρευνας αυτής ήταν οι εξής:

- Εντοπισμός επιμέρους τμημάτων της ακτής τα οποία διαβρώνονται άμεσα.
- Εντοπισμός επιμέρους τμημάτων της ακτής τα οποία μπορεί να εμφανίσουν διάβρωση στο μέλλον.
- Εντοπισμός επιμέρους τμημάτων της ακτής τα οποία είναι ευσταθή και δεν απαιτούν κάποια δράση – παρέμβαση.
- Πρόταση έργων αντιμετώπισης της παράκτιας διάβρωσης στα τμήματα τα οποία διαβρώνονται.

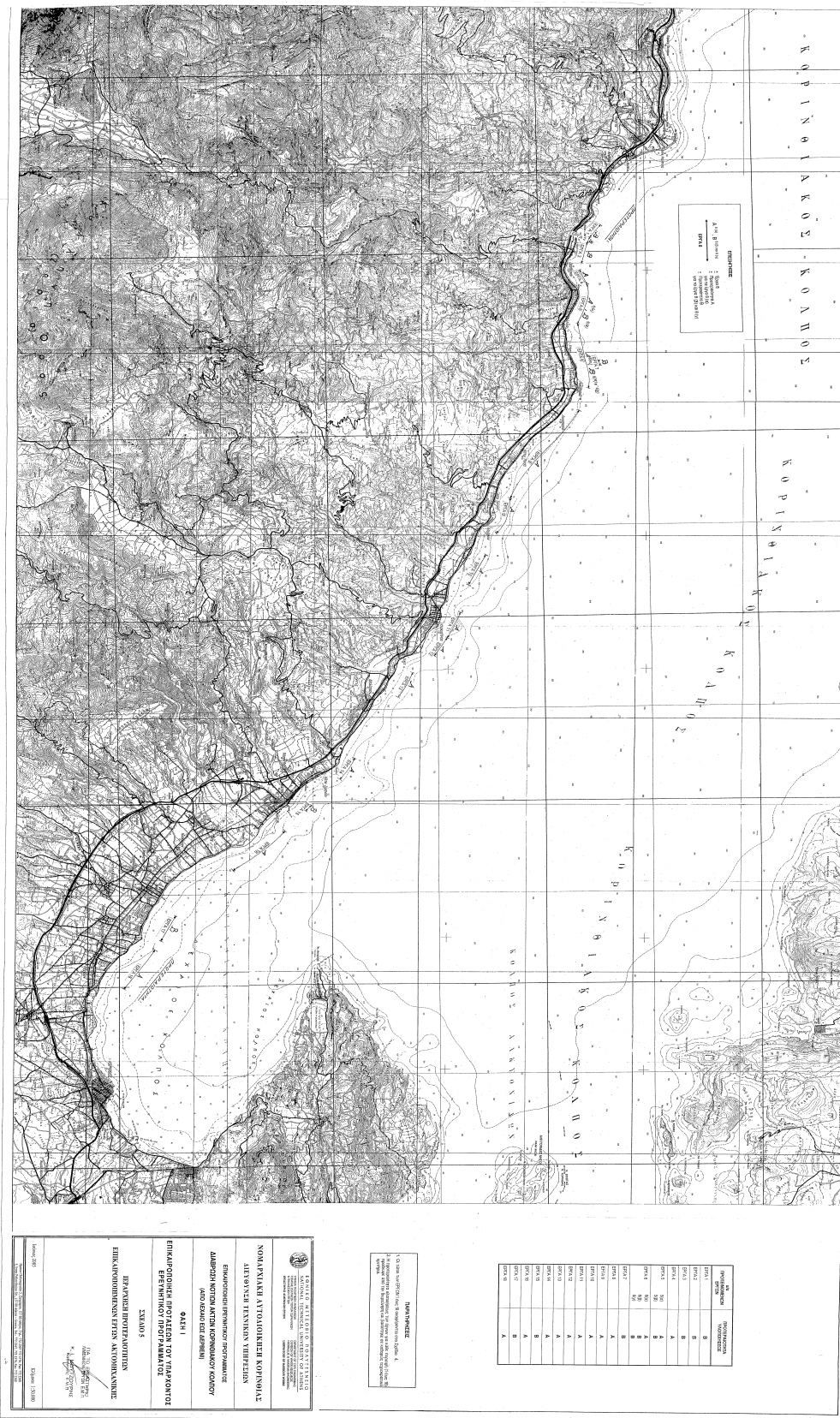
3.3 Παλαιότερες έρευνες στην περιοχή μελέτης

Στο παρελθόν έχει γίνει η καταγραφή των περιοχών οι οποίες χρήζουν παρεμβάσεων από το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Ε.Μ.Π. Πιο συγκεκριμένα το 1998 πραγματοποιήθηκε ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο «Διάβρωση ακτών Νότιου Κορινθιακού Κόλπου (από Λέχαιο έως Δερβένη)». Το 2005 έγινε ένταξη στο Γ Κοινοτικό πλαίσιο στήριξης για αυτό το πρόγραμμα, το οποίο διαιρέθηκε σε δύο τμήματα. Τα δύο τμήματα αυτά αφορούσαν αγροτικές περιοχές και αστικές/ημιαστικές περιοχές. Πέρα από την καταγραφή των περιοχών διάβρωσης έγιναν προτάσεις για έργα προστασία της ακτής στα πλαίσια αυτού του προγράμματος. Επίσης ετέθησαν προτεραιότητες εφαρμογής των προτάσεων αυτών. Από αυτές τις προτάσεις κάποιες κατασκευάστηκαν με πολύ καλά αποτελέσματα όπως θα δούμε στην συνέχεια της διπλωματικής και οι περισσότερες από αυτές δεν εφαρμόστηκαν ακόμα.

Στον ακόλουθο χάρτη φαίνονται, σύμφωνα με εκείνο το ερευνητικό πρόγραμμα, οι περιοχές οι οποίες χαρακτηρίστηκαν ως περιοχές οι οποίες χρειάζονται επεμβάσεις αντιμετώπισης της διάβρωσης σε όλο το μήκος της περιοχής μελέτης. Επίσης φαίνονται και τα έργα τα οποία είχαν προταθεί για την αντιμετώπιση της διάβρωσης σε κάθε περιοχή. Στον αμέσως επόμενο χάρτη απεικονίζεται η επικαιροποίηση του προγράμματος το 2005, με απεικόνιση των προτεραιοτήτων των έργων. Τα προτεινόμενα έργα και στις δύο περιπτώσεις είναι τα ίδια και περιέχουν τεχνικά έργα όπως την κατασκευή κυματοθραυστών και προβόλων, την αναπλήρωση ακτής σε συνδυασμό με έργα όπου αυτό είναι δυνατό και σε διάφορα σημεία προτείνεται θωράκιση της ακτής για την προστασία της.



Σχήμα 3.3. «Ενδεικνυόμενα έργα παράκτιας προστασίας κατά μήκος της ακτής μελέτης», 1998 Ε.Λ.Ε. Ε.Μ.Π.



Σχήμα 3.4. «Ενδεικνύομενα έργα παράκτιας προστασίας κατά μήκος της ακτής μελέτης», Ιεράρχηση προτεραιοτήτων επικαιροποιημένων έργων ακτομηχανικής. 2005 Ε.Λ.Ε. Ε.Μ.Π.

3.4 Υφιστάμενη κατάσταση

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκε αυτοψία σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης με σκοπό την καταγραφή των περιοχών οι οποίες χρήζουν επεμβάσεων. Οι επικαιροποιημένες στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής περιοχές παρουσιάζουν κάποιες διαφοροποιήσεις σε σχέση με αυτές του ερευνητικού προγράμματος όχι όμως σε μεγάλο βαθμό. Στο μεσοδιάστημα από το 2005 μέχρι και σήμερα έχουν κατασκευαστεί αρκετά έργα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης προστατεύοντας τις παρακείμενες σε αυτά περιοχές (πρόβολοι Δερβενίου, κυματοθραύστες Κιάτου, κυματοθραύστης και αναπλήρωση ακτής Ξυλοκάστρου, συρματοκιβώτια στην παραλία Πεταλούς Δερβενίου). Επίσης έχουν συμβεί βλάβες στην παράκτια ζώνη οι οποίες έχριζαν έκτακτης αντιμετώπισης (πτώση τμήματος δρόμου στη Λυκοποριά, υποθαλάσσια κατολίσθηση Δερβενίου, πτώση τμήματος δρόμου στο Δημινιό). Στις περιπτώσεις έκτακτης αντιμετώπισης οι δράσεις που λήφθηκαν ήταν άμεσες και με πολύ καλά αποτελέσματα. Ειδικά στην περίπτωση της υποθαλάσσιας κατολίσθησης στο Δερβένι, πέρα από την κατασκευή των προβόλων, έγινε κατασκευή ενός υπόγειου διαφραγματικού πασσαλότοιχου για την σταθεροποίηση της ακτής, πλήρωση ιζήματος για την ανάκτηση της ακτής και σήμερα η περιοχή θεωρείται προστατευμένη.

3.4.1 Περιοχές μελέτης – Χρήσεις γης – Ανάλυση κινδύνου

Σε όλη την έκταση του Κορινθιακού Κόλπου μετά από αυτοψία και καταγραφή των περιοχών εμφάνισης προβλημάτων διάβρωσης διαχρονικά καταλήξαμε σε επτά συνολικά περιοχές οι οποίες χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής καθώς και άμεσης επέμβασης. Η επικρατούσα τάση στις νότιες ακτές του Κορινθιακού κόλπου διαχρονικά είναι να διαβρώνονται οι ακτές. Οι περιοχές αυτές γεωαναφέρθηκαν σε γεωδαιτικό σύστημα ΕΓΣΑ'87 και είναι οι κάτωθι:

1. Περιοχή Κάτω Άσσου Κορινθίας (από 398293.0425, 4200336.3199 μέχρι 397638.7515, 4200904.6407).
2. Περιοχή Βραχατίου Κορινθίας (από 396798.7133, 4201304.7299 μέχρι 396047.0617, 4201682.6393).
3. Περιοχή Νεράντζας Κορινθίας (από 393227.7824, 4204131.6556 μέχρι 392539.199, 4205485.833).
4. Περιοχή δυτικά κυματοθραυστών Κιάτου Κορινθίας (από 392616.7508, 4205863.3354 μέχρι 392017.899, 4206300.803)
5. Περιοχή Μελισσίου Κορινθίας (από 385139.0581, 4211976.4908 μέχρι 382638.2005, 4213206.6971).
6. Περιοχή Λυκοποριάς – Στομίου – Λυγιάς (από 370837.9364, 4219477.8746 μέχρι 363856.88, 4221190.844).
7. Περιοχή Δερβενίου – Μαύρων Λιθαριών Κορινθίας (από 360775.3402, 4221450.0546 μέχρι 358190.7202, 4222679.8539)

Στη συνέχεια έγινε μία κατηγοριοποίηση των περιοχών αυτών σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) περί μετρίασης της διάβρωσης στις παράκτιες περιοχές. Επίσης έγινε ανάλυση κινδύνου για κάθε περιοχή σύμφωνα με το ίδιο εγχειρίδιο και καταλήξαμε στο σχέδιο αντιμετώπισης, σύμφωνα με το εγχειρίδιο, της παράκτιας διάβρωσης για κάθε περιοχή. Αυτό το σχέδιο όμως δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σε αρκετά σημεία αυτών των περιοχών, για λόγους οι οποίοι αναλύονται στην επόμενη ενότητα.

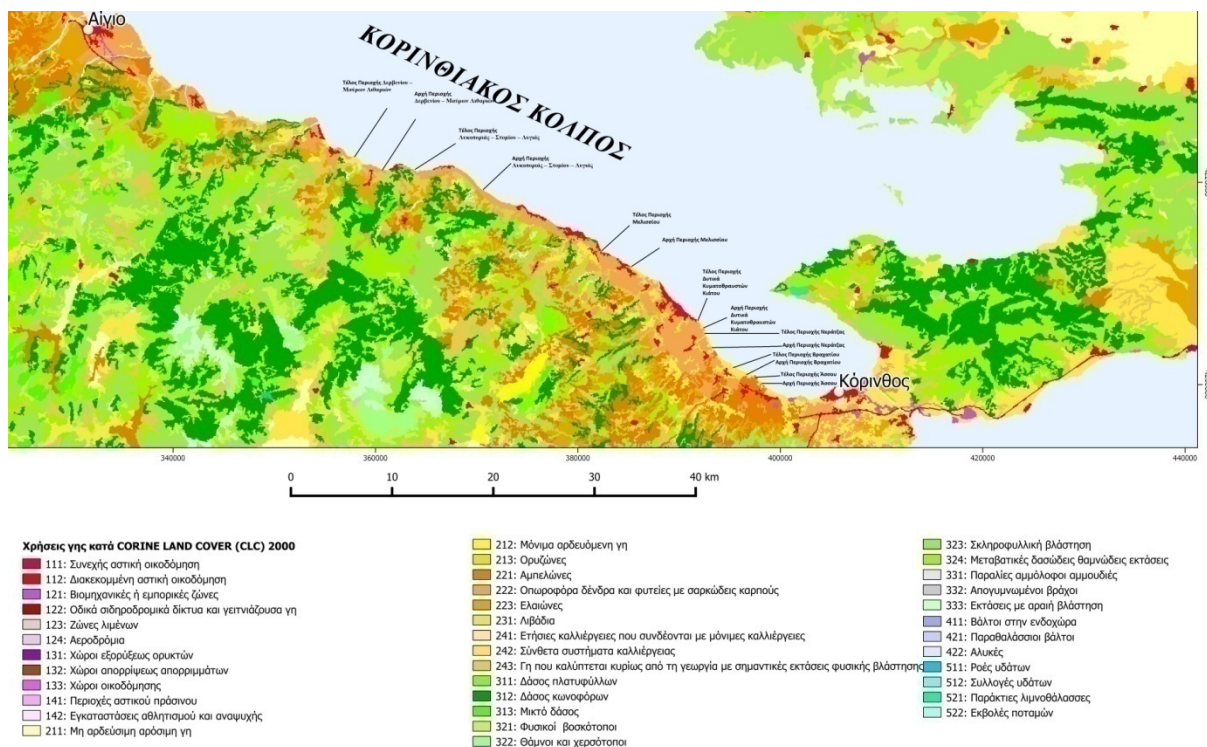
Στο εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) προτείνεται η κατηγοριοποίηση του είδους παρέμβασης η οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί ανάλογα με τον χαρακτηρισμό της χρήσης γης της περιοχής καθώς και με το εάν η διάβρωση η οποία παρατηρείται είναι χρόνια ή οξεία. Στον Κορινθιακό έτσι όπως φαίνεται

και από τη συγκριτική απεικόνιση της κατάστασης το 1998 καθώς και το 2005 τα προβλήματα διάβρωσης παραμένουν τα ίδια επομένως μπορεί να χαρακτηριστεί ως χρόνια διάβρωση.

Η ακτογραμμή της Π.Ε. Κορινθίας ως προς τις χρήσεις γης της χαρακτηρίζεται από εναλλαγή οικιστικών τμημάτων με γεωργικά τμήματα. Βέβαια ο χαρακτηρισμός γεωργική έκταση δεν σημαίνει απαραίτητα ότι δεν περιέχει κατοικίες. Είναι σύνηθες φαινόμενο λόγω της γειννίας της Κορινθίας με την Αττική οι εξοχικές κατοικίες σε όλο το μήκος της ακτογραμμής καθώς και αυθαίρετες κατασκευές εντός αιγιαλού.

I. Χαρακτηρισμός καλύψεων γης σύμφωνα με CORINE 2000

1. Περιοχή Κάτω Άσσου Κορινθίας. Στην περιοχή Κάτω Άσσου Κορινθίας σύμφωνα με το CORINE 2000 παρατηρούμε ότι ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι σύνθετες καλλιέργειες καθώς και αμπελώνες. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως η προτεινόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.
2. Περιοχή Βραχατίου Κορινθίας. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με το CORINE 2000 ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι σύνθετες καλλιέργειες. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως η προτεινόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.
3. Περιοχή Νεράντζας Κορινθίας. Κορινθίας. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με το CORINE 2000 ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι σύνθετες καλλιέργειες καθώς και γεωργο-δασική περιοχή. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως η προτεινόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.
4. Περιοχή δυτικά κυματοθραυστών Κιάτου Κορινθίας. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με το CORINE 2000 ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι λιβάδια καθώς και γεωργο-δασική περιοχή. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως η προτεινόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.
5. Περιοχή Μελισσίου Κορινθίας. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με το CORINE 2000 ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι διακεκομμένη αστική δόμηση. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) βρισκόμαστε σε αστική περιοχή. Επίσης υφίστανται έργα προστασίας σε όλο το μήκος της περιοχής τα οποία όμως έχουν υποστεί βλάβες. Στην περιοχή παρατηρείται επίσης σταδιακή απώλεια της παραλίας. Επομένως η ενδεικνύμενη δράση κατά PIANC είναι η σταθεροποίηση της ακτογραμμής.
6. Περιοχή Λυκοποριάς – Στομίου – Λυγιάς. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με το CORINE 2000 ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι περιοχή οπωροφόρων δένδρων και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς καθώς και διακεκομμένη αστική δόμηση εντός των οικισμών Λυκοποριάς – Στομίου – Λυγιάς. Στις αστικές περιοχές η ενδεικνύμενη δράση είναι η σταθεροποίηση της ακτογραμμής με μέθοδο της επιλογής μας. Στις γεωργικές περιοχές η ενδεικνύμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.
7. Περιοχή Δερβενίου – Μαύρων Λιθαριών Κορινθίας. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με το CORINE 2000 ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι περιοχή οπωροφόρων δένδρων και φυτειών με σαρκώδεις καρπούς καθώς και σύνθετα συστήματα καλλιέργειας. Επομένως βρισκόμαστε σε αγροτικές περιοχές σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014). Η ενδεικνύμενη δράση κατά PIANC είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.

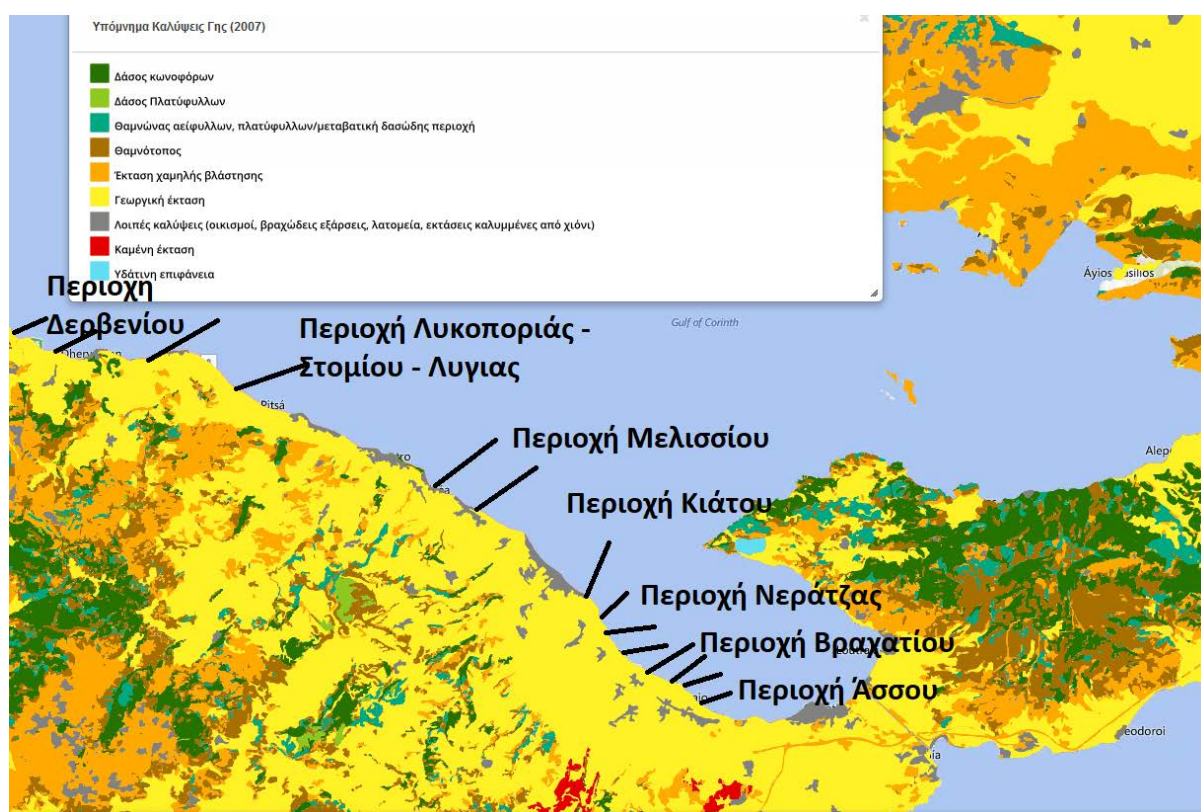


Σχήμα 3.5. Καλύψεις γης κατά CORINE 2000. Πηγή: Οικοσκοπίο

II. Χαρακτηρισμός χρήσεων γης σύμφωνα με χρήσεις γης (1987-2007)

1. Περιοχή Κάτω Άσσου Κορινθίας. Στην περιοχή Κάτω Άσσου Κορινθίας σύμφωνα με χρήσεις γης (1987-2007) παρατηρούμε ότι ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι γεωργική έκταση. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως η προτεινόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.
2. Περιοχή Βραχατίου Κορινθίας. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με χρήσεις γης (1987-2007) ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι γεωργική έκταση. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως η προτεινόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.
3. Περιοχή Νεράντζας Κορινθίας. Κορινθίας. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με χρήσεις γης (1987-2007) ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι γεωργική έκταση. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως η προτεινόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.
4. Περιοχή δυτικά κυματοθραυστών Κιάτου Κορινθίας. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με χρήσεις γης (1987-2007) χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι γεωργική έκταση. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως η προτεινόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.
5. Περιοχή Μελισσίου Κορινθίας. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με χρήσεις γης (1987-2007) ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι λοιπές καλύψεις (οικισμοί). Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της (PIANC, 2014) βρισκόμαστε σε αστική περιοχή. Επίσης υφίστανται έργα προστασίας σε όλο το μήκος της περιοχής τα οποία όμως έχουν υποστεί βλάβες. Στην περιοχή παρατηρείται επίσης σταδιακή απώλεια της παραλίας. Επομένως η ενδεικνυόμενη δράση κατά PIANC είναι η σταθεροποίηση της ακτογραμμής.

6. Περιοχή Λυκοποριάς – Στομίου – Λυγιάς. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με χρήσεις γης (1987-2007) ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι γεωργική έκταση καθώς και λοιπές καλύψεις εντός των οικισμών Λυκοποριάς – Στομίου – Λυγιάς. Στις αστικές περιοχές η ενδεικνυόμενη δράση είναι η σταθεροποίηση της ακτογραμμής με μέθοδο της επιλογής μας. Στις γεωργικές περιοχές η ενδεικνυόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.
7. Περιοχή Δερβενίου – Μαύρων Λιθαρίων Κορινθίας. Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με χρήσεις γης (1987-2007) ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι γεωργική έκταση. Επομένως βρισκόμαστε σε αγροτικές περιοχές σύμφωνα με το εγχειρίδιο της PIANC. Η ενδεικνυόμενη δράση κατά PIANC είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή.



Σχήμα 3.6. Καλύψεις Γης 2007 Πηγή: Οικοσκόπιο

3.5 Προτάσεις έργων ανά περιοχή

3.5.1. Περιοχή Άσσου

Στην υπό μελέτη περιοχή του Άσσου το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως λόγω της πλημμελούς θωράκισης του παράλιου μετώπου με ογκόλιθους καθώς και στην βύθιση των τμημάτων των προβόλων οι οποίοι βρίσκονται στην περιοχή. Το σύστημα προβόλων δεν έχει σταθερά χαρακτηριστικά και έχει μεταβαλλόμενα μήκη και ύψη οδηγώντας έτσι σε διαβρώσεις σε κάποια σημεία καθώς και προσαμμώσεις σε κάποια άλλα. Όπως είναι ορατό από τις φωτογραφίες η θωράκιση με ογκολίθους δεν έχει γίνει συντονισμένα οδηγώντας στην εν μέρει απομάκρυνση τους καθώς και στην υποσκαφή του πόδα. Η υποσκαφή φτάνει μέχρι τον παράλιο δρόμο. Οι ζημιές από τις βλάβες που μπορεί να προκαλέσει μία κατάρρευση του δρόμου μπορεί να είναι αρκετά μεγάλες καθώς μιλάμε για μία περιοχή η οποία έχει έντονη τουριστική δράση αρκετούς μήνες το χρόνο. Ήδη η απώλεια των παραλιών η οποία έχει παρατηρηθεί στην περιοχή λόγω της κατασκευής των

προβόλων πλημμελώς και χωρίς κάποια ακτομηχανική μελέτη έχει αρκετές επιπτώσεις στην περιοχή, επομένως η επέμβαση για την σταθεροποίηση της παράκτιας ζώνης εδώ κρίνεται επιβεβλημένη.

Ενώ σύμφωνα με χρήσεις γης και το πρόγραμμα CORINE 2000 βρισκόμαστε σε γεωργική περιοχή είναι κατανοητό ότι η απώλεια ενός έργου ζωτικής σημασίας όπως είναι ο παραλιακός δρόμος εδώ είναι κάτι μη ανεκτό. Επομένως ενώ σύμφωνα με το εγχειρίδιο της PIANC προτείνεται η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης από την ακτή εδώ δε μπορεί να εφαρμοστεί λόγω της απώλειας υποδομών η οποία θα προκαλείτο. Η προτεινόμενη δράση στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής είναι η συντήρηση, επέκταση ή και καθαίρεση τμημάτων των προβόλων όπου αυτό απαιτείται. Από την αεροφωτογραφία είναι εμφανές ότι κάποιοι πρόβολοι έχουν πολύ μικρό μήκος, προστατεύοντας έτσι πλημμελώς, ενώ κάποιοι άλλοι έχουν πολύ μεγάλο μήκος και έτσι εμποδίζουν την μεταφορά ιζήματος αυξάνοντας την διάβρωση στα κατάντη. Με μία σωστή ακτομηχανική μελέτη καθώς και με μία εκτίμηση εξέλιξης της ακτογραμμής μπορούμε να καταλήξουμε σε συμπεράσματα σχετικά με τις απαιτούμενες επεμβάσεις στους προβόλους. Στο μεταξύ όμως κρίνεται αναγκαία και η σωστή θωράκιση της ακτής με νέους ογκόλιθους ή αναδιάταξη των παλιών ογκόλιθων με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση στα τμήματα όπου σήμερα βρίσκονται αυτοί. Μία τελευταία πρόταση για την ανάκτηση της παραλίας πηγάζει από την εγγύτητα της εκβολής του ρέματος του Άσσου. Πιθανόν να μπορεί να γίνει μεταφορά ιζήματος μικρού όγκου για την αναπλήρωση της ακτής στις θέσεις θωράκισης ώστε να είναι δυνατή στο μέλλον η καθαίρεση των ογκόλιθων και η ανάκτηση της παραλίας.



Σχήμα 3.7. Πλημμελλής θωράκιση και κατάρρευση τμήματος οδοστρώματος στην περιοχή Κάτω Άσσου



Σχήμα 3.8. Πλημελής θωράκιση και κατάρρευση τμήματος οδοστρώματος στην περιοχή Κάτω Άσσου

3.5.2. Περιοχή Βραχατίου Κορινθίας

Στην περιοχή του Βραχατίου Κορινθίας παρατηρείται έντονη υποσκαφή του παράλιου δρόμου με κίνδυνο κατάρρευσης του. Τμηματικά ο δρόμος έχει ήδη υποχωρήσει όπως φαίνεται στις φωτογραφίες ενώ διάφορες επεμβάσεις οι οποίες γίνανε από τοπικούς φορείς έχουν και αυτές αστοχήσει προκαλώντας πτώση τμήματος του δρόμου. Το πρόβλημα διάβρωσης κυρίως εντοπίζεται λόγω των κενών τα οποία υπάρχουν ανάμεσα στους ογκόλιθους θωράκισης οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί χωρίς σωστή διάταξη προκαλώντας έτσι την είσοδο νερού και την υποσκαφή του δρόμου σε σημεία.

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση σύμφωνα με τις χρήσεις γης και το πρόγραμμα CORINE 2000 και τις χρήσεις γης βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της PIANC η ενδεικνυόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υποχώρησης από την ακτή. Η ύπαρξη του παραθαλάσσιου δρόμου όμως αποτρέπει από την εφαρμογή αυτής της προσέγγισης καθώς η απώλεια του δρόμου θα ήταν καταστροφική για τους κατοίκους της περιοχής καθώς και για τις επιχειρήσεις εστίασης και τουρισμού οι οποίες δραστηριοποιούνται στην περιοχή. Επίσης στο παρελθόν υπήρχε αριθμός παραλιών οι οποίες σήμερα έχουν διαβρωθεί μειώνοντας τον πληθυσμό ο οποίος επισκέπτεται αυτήν την ζώνη. Η προτεινόμενη δράση κι εδώ είναι η ίδια με την προηγούμενη περιοχή με περισσότερη έμφαση στον συνδυασμό αναπλήρωσης ακτής με την συντήρηση των προβόλων όπου αυτό απαιτείται με μείωση ή αύξηση του μήκους τους ή του ύψους στέγης ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επίσης στην περιοχή υφίσταται και ένα παραθαλάσσιο τοίχιο το οποίο έχει υποστεί υποσκαφή. Η συντήρηση του κρίνεται απαραίτητη καθώς υποστηρίζει άμεσα τον παραλιακό δρόμο. Η καθαίρεση των ογκολίθων θωράκισης μπορεί να συμβεί μόνο στην περίπτωση έντονης αναπλήρωσης ακτής στις περιοχές όπου αυτό απαιτείται και συνήθως στα άμεσα κατάντη των προβόλων όπου έχει εμφανιστεί διάβρωση. Με ένα συνδυασμό αναπλήρωσης ακτής καθαίρεσης ογκολίθων όπως και συντήρηση των προβόλων μπορούμε να έχουμε ανάκτηση της παραλιακής ζώνης η οποία έχει χαθεί σήμερα. Το δάνειο ίζημα για την αναπλήρωση ακτής την οποία εισηγούμεθα μπορεί να ληφθεί από τις εκβολές του ποταμού Ζαπάντη ο οποίος εκρέει στο δυτικό άκρο της

περιοχής μελέτης. Στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης η επέμβαση κρίνεται επείγουσα καθώς τα έργα επιμήκυνσης του υπήνεμου μώλου του αλιευτικού καταφυγίου Βραχατίου τα οποία ολοκληρώνονται τη στιγμή που γράφονται αυτές οι γραμμές μπορεί να οδηγήσουν σε πιο έντονα φαινόμενα διάβρωσης αφού υπάρχει περίπτωση να γίνει κατακράτηση ιζήματος στην είσοδο της λιμενολεκάνης. Στο τοιχίο προτείνεται η θωράκιση του πόδα για την αποφυγή υποχώρησής του.



Σχήμα 3.9. Βυθισμένος πρόβολος στην περιοχή του Βραχατίου



Σχήμα 3.10. Υποχώρηση τμήματος δρόμου και στηθαίου στην περιοχή Βραχατίου.

3.5.3. Περιοχή Νεράτζας Κορινθίας

Στην περιοχή Νεράτζας Κορινθίας τα προβλήματα διάβρωσης είναι έντονα οδηγώντας σε αστοχία των κάθετων έργων προστασίας τα οποία έχουν κατασκευαστεί στο παρελθόν. Πιο συγκεκριμένα οι πρόβολοι στην περιοχή αυτή έχουν οδηγηθεί σε κατάρρευση σε μεγάλο τμήμα τους οδηγώντας σε διάβρωση στην ακτή η οποία έχει ως αποτέλεσμα την πτώση τοιχίων από κατασκευές, την διάβρωση της ακτής καθώς και την υποσκαφή άλλων εξωτερικών τοιχίων κατασκευών χωρίς να έχουν καταρρεύσει, ευτυχώς, ακόμα. Επίσης στην περιοχή όπου έχει γίνει κατάρρευση των προβόλων έχουν τοποθετηθεί ογκόλιθοι θωράκισης για να λειτουργήσουν ως πρόβολοι. Τέλος υπάρχει θωράκιση και σε τοιχία στην περιοχή για την προστασία τους από τη διάβρωση η οποία θωράκιση όμως εμφανίζει υποσκαφή στον πόδα. Οι περισσότεροι από αυτούς του προβόλους κατασκευάστηκαν το 2009 και είναι αυτοί οι οποίοι δεν εμφανίζουν κατάρρευση. Επίσης κάποιοι παλαιότεροι πρόβολοι έχουν πολύ μεγάλο μήκος εμποδίζοντας έτσι τη ροή ιζήματος. Εντός της περιοχής ελέγχου περιέχεται και η παραλιακή ζώνη του Κοκκωνίου Κορινθίας. Και σε αυτό το τμήμα η εικόνα είναι παρόμοια καθώς τα τοιχία του παραλιακού δρόμου υποσκάπτονται με κίνδυνο κατάρρευσης ενώ όσοι πρόβολοι έχουν κατασκευαστεί έχουν εμφανίσει κατάρρευση σε κάποιο τμήμα τους.

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση σύμφωνα με τις χρήσεις γης και το πρόγραμμα CORINE 2000 και τις χρήσεις γης βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της PIANC η ενδεικνυόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υποχώρησης από την ακτή. Η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υποχώρησης εδώ είναι δυνατή αλλά μέχρι την γραμμή η οποία ορίζεται από τις πρώτες παραθαλάσσιες κατοικίες. Επίσης έχει γίνει ήδη τμηματική προστασία της περιοχής με την κατασκευή προβόλων κάθετων στην ακτή οι οποίοι έχουν ήδη λειτουργήσει με αρκετά καλά αποτελέσματα. Στην συγκεκριμένη περιοχή το πρόβλημα στο μέλλον θα είναι αρκετά μεγάλο εάν δεν πάρουμε κάποια μέτρα. Η κατάρρευση τμημάτων των προβόλων θα οδηγήσει σε διαφορετική στερεομεταφορά στην ακτή και έτσι θα χαθεί η παραλία που έχει κερδηθεί με την κατασκευή τους. Επομένως κρίνεται αναγκαία η επισκευή των τμημάτων αυτών των προβόλων τα οποία έχουν καταρρεύσει καθώς και η καθαίρεση των ογκολίθων θωράκισης όπου αυτοί έχουν τοποθετηθεί για αντικατάσταση των προβόλων. Προτείνεται το μήκος των προβόλων να διατηρηθεί μικρό για να αποφευχθεί η παρεμπόδιση μεταφοράς ιζήματος στην περιοχή και επειδή η απόσταση ανάμεσα στους ήδη υπάρχοντες πρόβλους είναι αρκετά μικρή για να έχουν αυτοί μεγάλο μήκος. Τέλος σε περίπτωση που εμφανιστεί ισχυρή διάβρωση τα αμέσως επόμενα έτη σε κάποιο σημείο της ακτής μπορεί να γίνει και αναπλήρωση ακτής με ίζημα. Στη συγκεκριμένη περιοχή αυτό καθίσταται δυνατόν λόγω της εγγύτητας του ποταμού Ασωπού ο οποίος έχει μεγάλο φορτίο ιζήματος και μπορεί να εξυπηρετήσει προβληματικές ζώνες στην περιοχή αυτή.



Σχήμα 3.11. Τμήμα προβόλου υπό κατάρρευση στην περιοχή Νεράτζας



Σχήμα 3.12. Τμήμα προβόλου με βλάβες καθώς και προσθήκη θωράκισης με λειτουργία προβόλου στην παραλία της Νεράτζας



Σχήμα 3.13. Τμήμα πεζοδρόμου υπό κατάρρευση και θωράκιση παραθαλάσσιου τοιχίου με ογκόλιθους στο βάθος



Σχήμα 3.14. Τμήμα εξωτερικού τοίχου κατασκευής υπό κατάρρευση στην περιοχή της Νεράτζας.



Σχήμα 3.15. Πτώση τμήματος ιδιοκτησίας στο Κοκκόνι Κορινθίας

3.5.4. Περιοχή δυτικά κυματοθραυστών Κιάτου Κορινθίας

Στην περιοχή δυτικά των κυματοθραυστών του Κιάτου μέχρι και την αρχή των προβόλων που έχουν κατασκευαστεί παρατηρούνται προβλήματα στις ιδιοκτησίες οι οποίες υπάρχουν εκεί καθώς η εξωτερική περίφραξη με τοίχο έχει υποσκαφεί και στο μέλλον θα υπάρξει ζήτημα κατάρρευσης. Επίσης στα ανάντι ακριβώς των κυματοθραυστών υφίσταται ένας μικρός παραλιακός δρόμος ο οποίος και αυτός αν και έχει θωρακιστεί τμηματικά, το μη θωρακισμένο τμήμα υποσκάπτεται οδηγώντας στην κατάρρευση του οδοστρώματος. Και εδώ η επέμβαση κρίνεται άμεσα αναγκαία.

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση σύμφωνα με τις χρήσεις γης και το πρόγραμμα CORINE 2000 και τις χρήσεις γης βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Επομένως σύμφωνα με το εγχειρίδιο της PIANC η ενδεικνυόμενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υποχώρησης από την ακτή. Όμως εν αντιθέσει με τη Νεράτζα εδώ έχουμε παράκτιες υποδομές και ιδιοκτησίες οι οποίες εμφανίζουν άμεσα προβλήματα από τη διάβρωση. Επομένως η εφαρμογή της δυναμικής γραμμής υποχώρησης σε αυτήν την περιοχή δεν είναι δυνατή. Οι προτεινόμενες από εμάς δράσεις είναι δύο. Η πρώτη σίγουρα θα είναι η θωράκιση του τμήματος του δρόμου άμεσα ώστε να αποφευχθεί πρόσθετη ζημιά στο οδόστρωμα. Επίσης για να αποφευχθεί και η ζημιά στους εξωτερικούς τοίχους των παρακείμενων ιδιοκτησιών προτείνεται και εκεί η τμηματική θωράκιση τους. Σε δεύτερη φάση και βλέποντας πιο μακροπρόθεσμα μπορεί να επιχειρηθεί να γίνει ανάκτηση της ακτής είτε μέσω έργων είτε μέσω αναπλήρωσης από τον παρακείμενο ποταμό Ασωπό.

Παρατηρώντας την περιοχή βλέπουμε ότι στο δυτικό της άκρο βρίσκεται μία συστοιχία προβόλων οι οποίοι οριοθετούν την περιοχή υπό μελέτη. Προτείνεται η κατασκευή παρομοίου μήκους προβόλων μέχρι τον θωρακισμένο δρόμο στα ανατολικά για την ανάκτηση της παραλίας η οποία έχει διαβρωθεί. Εναλλακτικά, παρατηρούμε ότι ανατολικά βρίσκεται το ζεύγος κυματοθραυστών το οποίο έχει προστατέψει την ακτή με αρκετά καλά αποτελέσματα. Θα μπορούσαμε λοιπόν να κατασκευάσουμε μία ομάδα κυματοθραυστών οι οποίοι να εκτείνονται δυτικά μέχρι το όριο της περιοχής. Η βαθυμετρία σε όλη την περιοχή είναι περίπου ομοιόμορφη επομένως κάτι τέτοιο θα ήταν δυνατό να

γίνει. Επίσης η απόσταση ανάμεσα στο ανατολικό και στο δυτικό όριο της περιοχής είναι περίπου 650 μέτρα επομένως κάτι τέτοιο θα μπορούσε να συμβεί.



Σχήμα 3.16. Εξωτερικά τοιχία περίφραξης κατοικιών



Σχήμα 3.17. Πτώση οδοστρώματος λόγω έλλειψης θωράκισης

3.5.5. Περιοχή Μελισσίου Κορινθίας

Στην περιοχή του Μελισσίου Κορινθίας τα προβλήματα λόγω της διάβρωσης είναι μεγάλα και τα αποτελέσματα της διάβρωσης είναι πολύ έντονα. Στην περιοχή αυτή κατασκευάστηκε το 2014 τοιχίο επί του δρόμου διότι το ίδιο έτος η υποσκαφή του πρηνούς οδήγησε στην πτώση τμήματος της παλιάς Εθνικής οδού Κορίνθου-Πατρών. Το συγκεκριμένο τοιχίο κατασκευάστηκε με όλες τις σύγχρονες προδιαγραφές με βαθιές θεμελιώσεις από φρεατοπασσάλους καθώς η αποκατάσταση του δρόμου κρίθηκε άμεση προτεραιότητα. Το ίδιο πρόβλημα υποσκαφής παρουσιάζεται επίσης στο τοιχίο το οποίο βρίσκεται εντός του οικισμού Μελισσίου οδηγώντας σε κατάρρευση τμήματα των κλιμάκων οι οποίες οδηγούσαν στην παραλία η οποία σήμερα δεν υφίσταται πια. Η θωράκιση σε αυτό το τοιχίο έχει απομακρυνθεί σε σημεία καθιστώντας το φαινόμενο εντονότερο. Επίσης εντός του οικισμού υφίστανται παραθαλάσσιες κατοικίες οι οποίες αντιμετωπίζουν και αυτές υποσκαφή στην περιφραγή τους λόγω της δράσης των κυματισμών. Από τις παρατηρήσεις μέσω των αεροφωτογραφιών είναι εμφανές ότι η κατάσταση επιδεινώνεται ραγδαία αφού η απώλεια της παράκτιας ζώνης σε αυτήν την περιοχή είναι πολύ έντονη.

Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με το CORINE 2000 και τις χρήσεις γης ο χαρακτηρισμός ο οποίος έχουμε είναι διακεκομμένη αστική δόμηση. Επομένως η ενδεικνυόμενη δράση κατά PIANC είναι η σταθεροποίηση της ακτογραμμής. Λόγω της ήπιας κλίσης του πυθμένα θα μπορούσαν να κατασκευαστούν κυματοθραύστες για την αντιμετώπιση των διαβρώσεων. Οι σωστά κατασκευασμένοι κυματοθραύστες θα ήταν σωτήριοι στην περίπτωση του Μελισσίου αφού αφενός θα αποτελούσαν τροχοπέδη για οποιαδήποτε πρόσθετη ζημιά στον παράλιο δρόμο και αφετέρου θα βοηθούσαν στην ανάκτηση της παραλίας δίνοντας έτσι μεγάλη ώθηση στον οικισμό τουριστικά και κατ' επέκταση οικονομικά. Το μεγάλο κόστος όμως της κατασκευής των κυματοθραυστών καθώς και το μεγάλο μήκος της περιοχής ίσως καθιστά δύσκολη αυτή τη λύση. Η δεύτερη πρόταση είναι η θωράκιση με ογκόλιθους στις παράκτιες κατοικίες για την αποφυγή της πιθανότητας πτώσεων τοιχίων καθώς και η συντήρηση της υπάρχουσας θωράκισης. Μία αρκετά καλή λύση για τα τμήματα του δρόμου τα οποία έχουν πρόβλημα στο κατακόρυφο μέτωπό τους είναι η θωράκιση τους με συρματοκιβώτια. Έτσι αποφεύγεται η πιθανότητα επανεμφάνισης της υποσκαφής στο τοιχίο για αρκετά χρόνια εν αντιθέσει με την απλή θωράκιση με ογκόλιθους η οποία χρειάζεται συντήρηση και παρακολούθηση.



Σχήμα 3.18. Πτώση κλίμακας εντός οικισμού Μελισσίου



Σχήμα 3.19. Υποσκαφή σε οικίες στο Μελίσι.



Σχήμα 3.20. Υποσκαφή σε οικίες στο Μελίσσι.

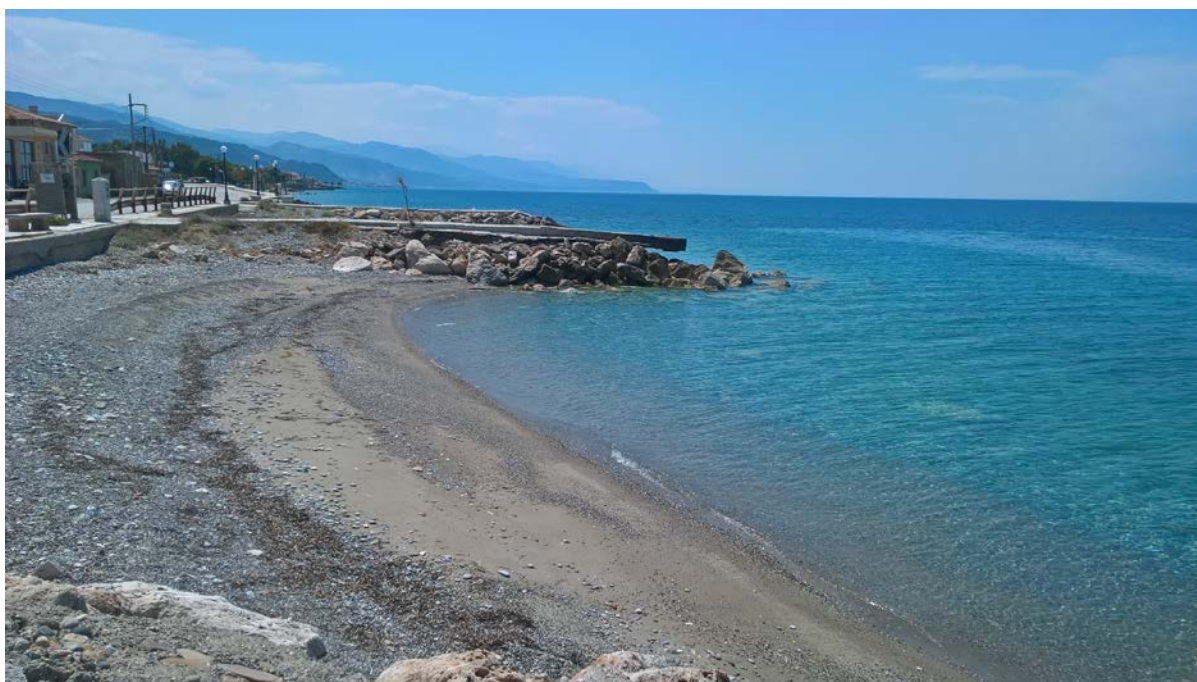


Σχήμα 3.21. Υποσκαφή στο τοίχιο της Π.Ε.Ο. Κορίνθου-Πατρών.

3.5.6. Περιοχή Λυκοποριάς – Στομίου – Λυγιάς

Σε αυτήν την περιοχή η κατάσταση είναι παρόμοια με αυτή στο Μελίσσι. Η Π.Ε.Ο. Κορίνθου-Πατρών διέρχεται μέσα από τους οικισμούς Λυκοποριάς, Λυγιάς και Στομίου. Ο δρόμος προστατεύεται με τοίχιο στο μεγαλύτερο του τμήμα σε αυτήν την περιοχή και θωράκιση σε κάποια τμήματα. Επίσης ανάμεσα στη Λυκοποριά και στο Στόμιο έχει κατασκευαστεί συστάδα προβόλων μικρού μήκους η οποία έχει λειτουργήσει με πολύ καλά αποτελέσματα. Η θωράκιση του τοιχίου κατά τόπους έχει καθαιρεθεί λόγω της κυματικής δράσης οδηγώντας σε υποσκαφή του και προκαλώντας πτώση τμημάτων του δρόμου το 2011. Στους προβόλους της Λυκοποριάς έχει παρατηρηθεί πτώση τμήματος αυτών. Επίσης εντός του οικισμού Στομίου το κατακόρυφο τοίχιο της εθνικής προσβάλλεται έντονα από κυματισμούς στον πόδα του λόγω της καθαίρεσης της θωράκισής του. Εντός του οικισμού Λυγιάς έχει κατασκευαστεί συστάδα προβόλων μικρού μήκους με τη χρήση ογκολίθων θωράκισης. Στην συγκεκριμένη περιοχή οι πρόβολοι κατασκευάστηκαν για να προστατευτούν οι ιδιοκτησίες στις οποίες είχε δημιουργηθεί πρόβλημα στα θεμέλια από την δράση των κυματισμών.

Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με χρήσεις γης και το πρόγραμμα CORINE 2000 έχουμε γεωργικές εκτάσεις εκτός των οικισμών ενώ εντός των οικισμών βρισκόμαστε σε περιοχές διακεκομμένης αστικής δόμησης. Επομένως εντός των οικισμών κατά PIANC η ενδεικνύομενη δράση είναι η σταθεροποίηση της ακτογραμμής. Εκτός των οικισμών η ενδεικνύομενη δράση είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υποχώρησης από την ακτή. Και σε αυτήν την περιοχή η εφαρμογή της δυναμικής γραμμής δεν είναι κάτι το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί λόγω της ύπαρξης της Π.Ε.Ο. Κορίνθου-Πατρών ακριβώς δίπλα στην ακτογραμμή. Επομένως πρέπει να σταθεροποιήσουμε την ακτογραμμή έτσι ώστε να μην έχουμε ζημιές στο δρόμο. Η προτεινόμενη δράση εδώ είναι η άρση των ογκολίθων που έχουν τοποθετηθεί με λειτουργία προβόλου στην περιοχή της Λυγιάς και η αντικατάστασή τους με πρόβλους μικρού μήκους ώστε να μην επηρεάζεται έντονα η στερεομεταφορά παράλληλα στην ακτή. Έτσι μπορεί να σταθεροποιηθεί όλη η ακτογραμμή του οικισμού Λυγιάς μέχρι και τις εκβολές του ρέματος Ζαχολίτικου δηλαδή την είσοδο του Δερβενίου. Στην περιοχή της Λυκοποριάς για την αποφυγή της πρόσθετης υποσκαφής του πόδα του τοιχίου προτείνεται η καθαίρεση των υπαρχόντων ογκολίθων θωράκισης και η αντικατάστασή τους με νέα θωράκιση η οποία θα προκύψει από μελέτη είτε με φυσικούς ογκολίθους είτε όπως στην περίπτωση του Μελισσίου με συρματοκιβώτια. Εναλλακτικά προτείνεται η κατασκευή προβόλων μικρού μήκους οι οποίοι θα καταλήγουν στο υπάρχον σύστημα προβόλων που υπάρχουν στη δυτική έξοδο του οικισμού. Στον οικισμό του Στομίου προτείνεται ακριβώς η ίδια λύση με την κατασκευή προβόλων μικρού μήκους έως την είσοδο του οικισμού Λυγιάς για την προστασία του κατακόρυφου μετώπου της Παλαιάς Εθνικής Οδού.



Σχήμα 3.22. Πτώση τμήματος προβόλου εντός οικισμού Λυκοποριάς



Σχήμα 3.23. Υπόσκαφη κατακόρυφου τοιχίου δρόμου εντός του οικισμού Λυκοποριάς.

3.5.7. Περιοχή Δερβενίου – Μαύρων Λιθαριών

Η περιοχή δεν περιλαμβάνει την αστική ζώνη του Δερβενίου επειδή μετά την υποθαλάσσια κατολίσθηση του 2012 έγιναν έκτακτες επεμβάσεις με την κατασκευή προβόλων και μεταφορά ιζήματος λόγω της υποσκαφής που είχε συμβεί στα θεμέλια παραθαλάσσιων σπιτιών. Η περιοχή δυτικά οριοθετείται από το λιμένα των Μαύρων Λιθαριών διοικητικό όριο της Περιφερειακής ενότητας Κορινθίας. Εντός της Πεταλούς διέρχεται η Παλαιά Εθνική οδός Κορίνθου-Πατρών η οποία στηρίζεται σε κατακόρυφο τοίχιο. Το κατακόρυφο τοίχιο σε τμήματα του δέχεται απευθείας την κυματική δράση οδηγώντας σε υποσκαφή του πόδα του. Κάτι τέτοιο οδήγησε στην πτώση τμήματος δρόμου πριν κάποια έτη ενώ έγινε επέμβαση στο σημείο πτώσης με την τοποθέτηση συρματοκιβωτίων για την προστασία του δρόμου. Η προστασία όμως που τοποθετήθηκε είναι σε ένα τμήμα του δρόμου μόνο ενώ υφίστανται και άλλα σημεία τα οποία μπορεί στο μέλλον να αστοχήσουν. Εντός του οικισμού Πεταλούς πάλι υπάρχουν παραθαλάσσιες κατοικίες όπως και εστιατόρια τα οποία δέχονται την κυματική δράση οδηγώντας σε υποσκαφή. Υπάρχουν κάποιοι ογκόλιθοι θωράκισης σε αυτά τα κτίρια αλλά είναι τοποθετημένοι λανθασμένα και χρειάζονται αναδιάρθρωση.

Στην περιοχή αυτή σύμφωνα με το πρόγραμμα CORINE 2000 καθώς και τις χρήσεις γης βρισκόμαστε σε αγροτική έκταση. Επομένως η ενδεικνυόμενη δράση κατά PIANC είναι η εφαρμογή δυναμικής γραμμής υπαναχώρησης. Η εφαρμογή της όμως δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί σε αυτήν την περιοχή. Αφενός ο κλάδος της Π.Ε.Ο Κορίνθου-Πατρών βρίσκεται σε επαφή με τη θάλασσα και αφ' ετέρου τμήμα της περιοχής περιέχει οικίες και καταστήματα, ειδικότερα στην παραλία της Πεταλούς όπου και εμφανίζεται ιδιαίτερο πρόβλημα διάβρωσης. Επομένως η προσέγγιση μας θα είναι η σταθεροποίηση της ακτογραμμής. Στο κομμάτι του δρόμου θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε την θωράκιση με συρματοκιβώτια σε όλο το κάθετο μέτωπο το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη θάλασσα επεκτείνοντας το τμήμα το οποίο έχει θωρακιστεί ήδη. Οι οικίες καθώς και τα καταστήματα τα οποία βρίσκονται εκτεθειμένα στην κυματική δράση θα μπορούσαν να θωρακιστούν με ογκόλιθους προστασίας, σταθεροποιώντας έτσι την κατάσταση. Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η λύση των προβόλων μικρού μήκους σε κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους για την ανάκτηση της παραλίας στην περιοχή.



Σχήμα 3.24. Θωράκιση με συρματοκιβώτια η οποία έχει πραγματοποιηθεί στην παραλία της Πεταλούς. Στο βάθος εικονίζονται καταστήματα και οικίες εκτεθειμένα στην κυματική δράση

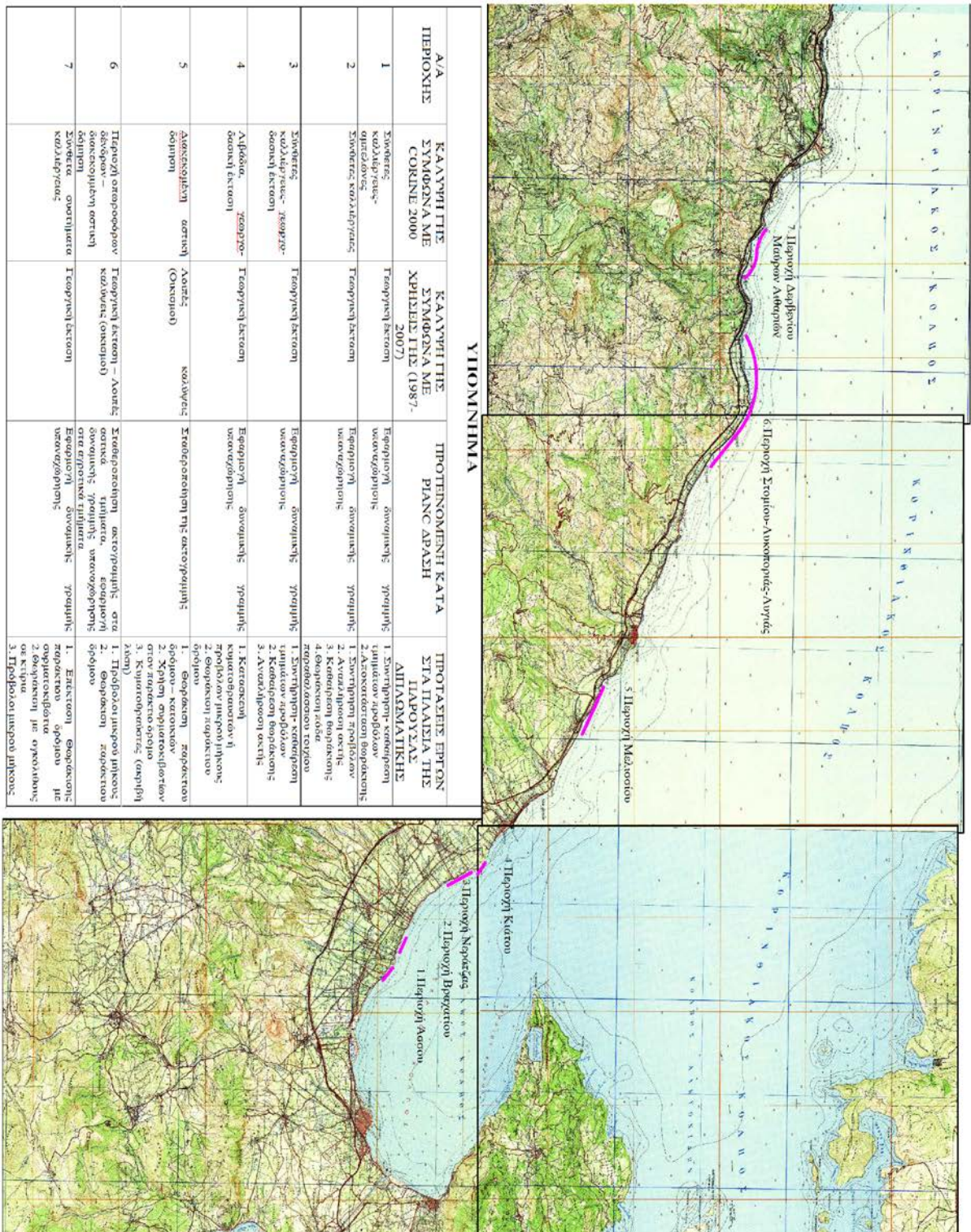


Σχήμα 3.25. Οικίες χωρίς θωράκιση εκτεθειμένες στην κυματική δράση



Σχήμα 3.26.Οικίες χωρίς θωράκιση εκτεθειμένες στην κυματική δράση

Οι επιλεγμένες περιοχές καθώς και τα προτεινόμενα έργα προστασίας φαίνονται στον ακόλουθο χάρτη:



Σχήμα 3.5. Απεικόνιση των επιλεγμένων περιοχών και των προτεινόμενων έργων προστασίας. Πηγή υποβάθρου χάρτη: ΓΥΣ

4. Περιοχή αριθμητικής προσομοίωσης

Το δεύτερο τμήμα της διπλωματικής αποτελείται από την αριθμητική προσομοίωση της περιοχής κυματοθραυστών Κιάτου Κορινθίας. Η περιοχή μελέτης περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο.

4.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης

Η περιοχή πλησίον του Κιάτου Κορινθίας και σε θέση κοντά στις εκβολές του ποταμού Ασωπού εμφάνιζε μεγάλα προβλήματα διάβρωσης τα οποία ήταν τόσο έντονα όπου οι παρακείμενες κατοικίες είχαν πληγεί από την κυματική δράση και κινδύνευαν με κατάρρευση. Η διάβρωση είχε προχωρήσει αρκετά καταστρέφοντας τμήμα της εκβολής του ποταμού στα νοτιοανατολικά όπως και τον παράλιο δρόμο ο οποίος περνούσε από το σημείο βορειοδυτικά της εκβολής. Πριν την κατασκευή των κυματοθραυστών η αντιμετώπιση των εντόνων φαινομένων της διάβρωσης γινόταν με την τοποθέτηση ογκολίθων θωράκισης και στις κατοικίες αλλά και σε τμήμα του δρόμου. Το ίζημα στην περιοχή είναι κυρίως άμμος και αμμοχάλικο.

Η κατασκευή των δύο κυματοθραυστών έγινε μετά από πιλοτική επιλογή της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κορινθίας τριών περιοχών στον Κορινθιακό κόλπο οι οποίες έχρηζαν προστασίας. Οι δύο αυτοί κυματοθραύστες αποτελούν τμήμα ενός συστήματος κυματοθραυστών το οποίο είχε προταθεί για να προστατέψει όλη την περιοχή μέχρι και το αλιευτικό καταφύγιο Κιάτου. Οι κυματοθραύστες αυτοί κατασκευάστηκαν το 2009 όταν πια η θάλασσα είχε εισχωρήσει μέσα στις αυλές των σπιτιών τα οποία βρίσκονται στη «σκιά» των κυματοθραυστών. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, πριν την κατασκευή των κυματοθραυστών η αντιμετώπιση της διάβρωσης για αυτές τις ιδιοκτησίες γινόταν με την τοποθέτηση ογκολίθων θωράκισης, όπως φαίνεται και στη φωτογραφία.



Σχήμα 4.1. Παλαιά θωράκιση της περιοχής στη «σκιά» των κυματοθραυστών.

Οι κυματοθραύστες αυτοί έχουν μήκος, μετρημένο στη στέψη τους, 75 μέτρων. Η απόσταση μεταξύ τους είναι 30 μέτρα. Η διατομή των κυματοθραυστών θα διαμορφωθεί από φυσικούς ογκολίθους

λατομείου. Το ύψος στέγης πάνω από τη στάθμη της θάλασσας είναι 1.5 μέτρα. Επίσης στα εξωτερικά ακραία ακρομώλια των κυματοθραυστών έχουν τοποθετηθεί μικροί φανοί για την έγκαιρη προειδοποίηση των πλοιαρίων τα οποία μπορεί να διέρχονται από την περιοχή.



Σχήμα 4.2. Φωτογραφία από τη φάση κατασκευής του έργου. Βυθοκόρος φέρνει τους ογκόλιθους για την θωράκιση των κυματοθραυστών. Πηγή: (Dr. Απόστολος Παπαφωτίου)

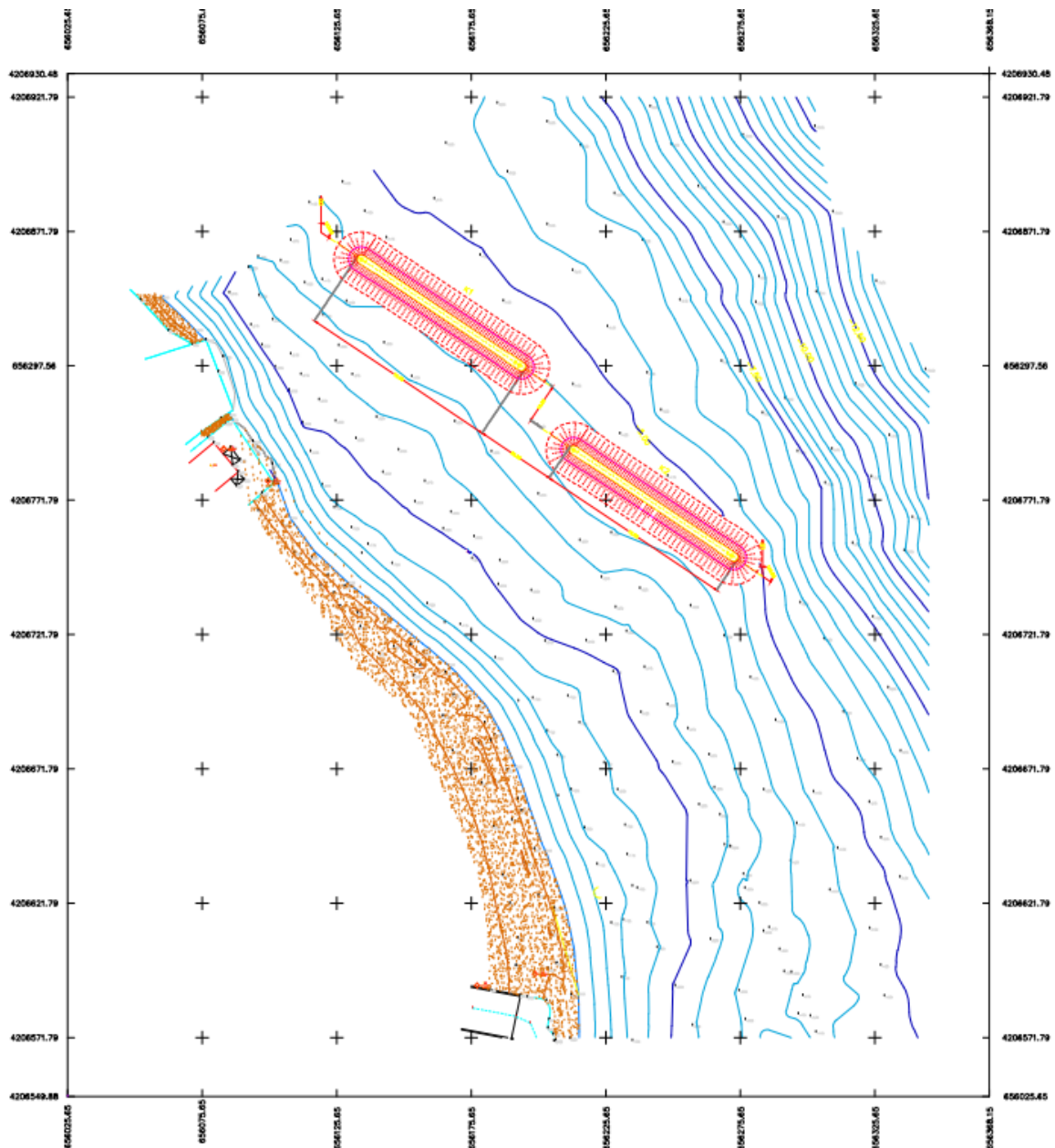


Σχήμα 4.3. Οι κυματοθραύστες από αέρος το 2014. Πηγή (Geotag Aeroview)

4.2 Βυθομετρία της περιοχής

Για την περιοχή μελέτης υπήρχε διαθέσιμη από το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Ε.Μ.Π. τοπογραφική και βυθομετρική αποτύπωση στα πλαίσια της μελέτης των έργων η οποία δίνεται στο Σχήμα 4.4.

Στην περιοχή των έργων η κλίση του πυθμένα της περιοχής είναι σχετικά ήπια χωρίς απότομη αλλαγή βάθους και οι ισοβαθείς έχουν σχετική παραλληλία προς την ακτογραμμή. Επομένως η πρόταση των κυματοθραυστών ήταν κάτι το οποίο ήταν δυνατόν να κατασκευαστεί. Επίσης από την βυθομετρία της περιοχής γίνεται κατανοητό ότι δεν υπήρχε μεγάλη απαίτηση σε έργα προετοιμασίας και διαμόρφωσης του πυθμένα αφού το βάθος στην περιοχή κατασκευής δεν υπερβαίνει τα 5 μέτρα.



Σχήμα 4.4. Τοπογραφικό σκαρίφημα περιοχής προσομοίωσης.

Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται το τοπογραφικό σκαρίφημα με γεωαναφορά της μελέτης των κυματοθραυστών. Διακρίνεται η βυθομετρία της περιοχής κατασκευής όπως και η σχετική θέση των κυματοθραυστών.

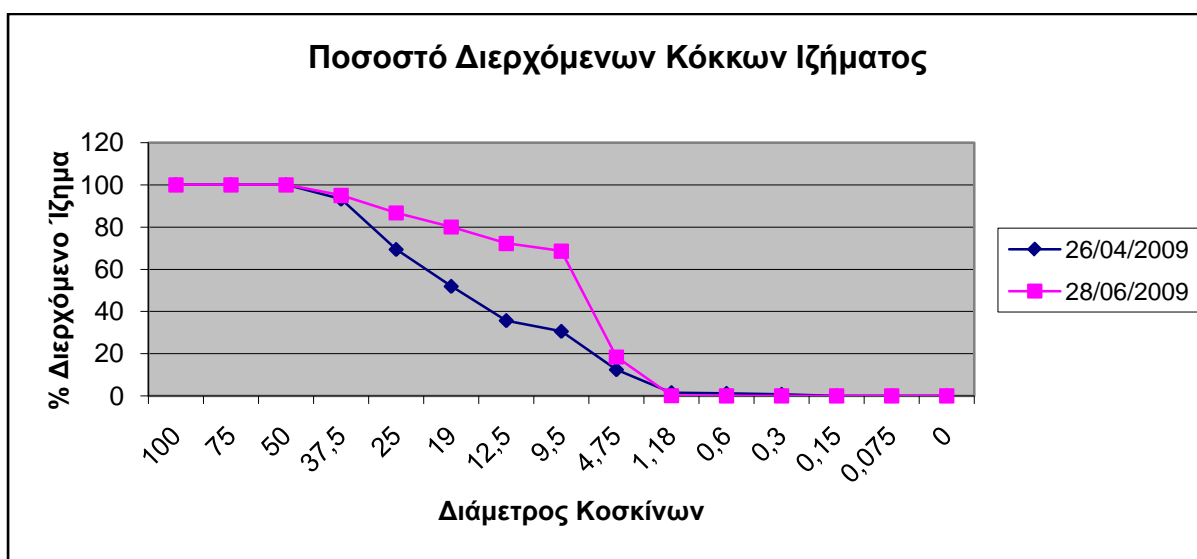
4.3 Ιζήματα στην περιοχή

Στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος του Ε.Λ.Ε. πραγματοποιήθηκε λήψη ιζήματος στην περιοχή κατασκευής των κυματοθραυστών πάνω στην ακτογραμμή σε σταθερές θέσεις και σε διάφορες ημερομηνίες για την μεγαλύτερη δυνατή αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος. Στη συνέχεια έγινε κοκκομετρική ανάλυση στο εργαστήριο και προέκυψαν οι κοκκομετρικές καμπύλες της περιοχής μελέτης. Ενδεικτικά παρατίθενται μερικές παρακάτω.

Στις ακόλουθες κοκκομετρικές καμπύλες εμφανίζεται αρκετή διαφοροποίηση σε διάστημα δύο μηνών για το ίδιο σημείο δειγματοληψίας.

Ημερομηνία Δειγματοληψίας	26/04/2009			28/06/2009			
	Μάζα Ιζήματος (g)	Αθροιστική Μάζα (g)	Διερχόμενο%	Διάμετρος Κοσκίνου	Μάζα Ιζήματος (g)	Αθροιστική Μάζα (g)	Διερχόμενο%
100	0	0	100	100	0	0	100
75	0	0	100	75	0	0	100
50	0	0	100	50	0	0	100
37.5	120	120	93.19342031	37.5	158	158	94.92776886
25	420	540	69.37039138	25	256	414	86.7094703
19	308	848	51.90017016	19	208	622	80.03210273
12.5	286	1134	35.67782189	12.5	242	864	72.26324238
9.5	90	1224	30.57288712	9.5	114	978	68.6035313
4.75	320	1544	12.42200794	4.75	1562	2540	18.45906902
1.18	192	1736	1.531480431	1.18	572	3112	0.096308186
0.6	6	1742	1.191151446	0.6	2	3114	0.032102729
0.3	8	1750	0.737379467	0.3	1	3115	0
0.15	12	1762	0.056721497	0.15	0	3115	0
0.075	1	1763	0	0.075	0	3115	0
0	0	1763	0	0	0	3115	0
Μάζα Ιζήματος (g)	1763			Μάζα Ιζήματος (g)	3115		
Μάζα Συνολική (g)	1781			Μάζα Συνολική (g)	3137		

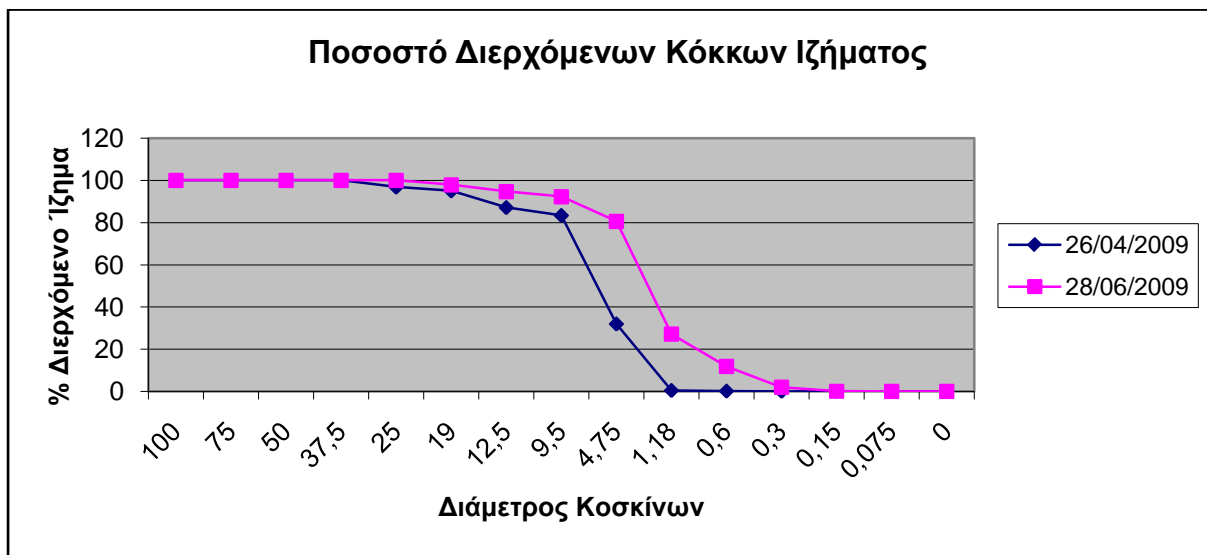
Πίνακας 4.1. Στοιχεία δειγματοληψίας στην περιοχή ενδιαφέροντος



Σχήμα 4.5. Κοκκομετρική καμπύλη στην περιοχή ενδιαφέροντος

Ημερομηνία Δειγματοληψίας	26/04/2009			28/06/2009			
	Μάζα Ιζήματος (g)	Αθροιστική Μάζα (g)	Διερχομενο%	Διάμετρος Κοσκίνου	Μάζα Ιζήματος (g)	Αθροιστική Μάζα (g)	Διερχομενο%
100	0	0	100	100	0		100
75	0	0	100	75	0	0	100
50	0	0	100	50	0	0	100
37.5	0	0	100	37.5	0	0	100
25	66	66	96.75036928	25	0	0	100
19	36	102	94.97784343	19	48	48	97.81818182
12.5	160	262	87.09995076	12.5	70	118	94.63636364
9.5	76	338	83.35795175	9.5	52	170	92.27272727
4.75	1044	1382	31.95470212	4.75	258	428	80.54545455
1.18	640	2022	0.443131462	1.18	1174	1602	27.18181818
0.6	6	2028	0.147710487	0.6	338	1940	11.81818182
0.3	2	2030	0.049236829	0.3	216	2156	2
0.15	1	2031	0	0.15	42	2198	0.090909091
0.075	0	2031	0	0.075	2	2200	0
0	0	2031	0	0	0	2200	0
Μάζα Ιζήματος (g)	2031			Μάζα Ιζήματος (g)	2200		
Μάζα Συνολική (g)	2049			Μάζα Συνολική (g)	2218		

Πίνακας 4.2. Στοιχεία δειγματοληψίας στην περιοχή ενδιαφέροντος



Σχήμα 4.6. Κοκκομετρική καμπύλη στην περιοχή ενδιαφέροντος

4.4 Ανεμολογικά στοιχεία περιοχής μελέτης

Στην περιοχή δεν πνέουν πολύ ισχυροί άνεμοι αφού σπανίως παρατηρούνται άνεμοι άνω των 5 Beaufort.

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας λάβαμε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών τη χρονοσειρά των ανέμων οι οποίοι έπνευσαν στην περιοχή από το έτος κατασκευής των κυματοθραυστών μέχρι και το τέλος του 2016. Το χρονικό βήμα των παρατηρήσεων είναι 10 λεπτά. Λάβαμε δύο χρονοσειρές δεδομένων, η μία αφορούσε τους ανέμους που παρατηρήθηκαν στον μετεωρολογικό σταθμό του Ισθμού από το 2009 μέχρι το 2016 και η άλλη χρονοσειρά αφορούσε το μετεωρολογικό σταθμό Κιάτου για τα έτη 2015 και 2016. Αυτό συνέβη επειδή ο σταθμός του Κιάτου ξεκίνησε τη λειτουργία του το 2015 επομένως δεν είχαμε στοιχεία για παλαιότερες παρατηρήσεις από πιο κοντινό σταθμό. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των παρατηρήσεων και καταρτίστηκαν τα ανεμολογικά πινακίδια για τον Ισθμό και το Κιάτο τα οποία παρατίθενται παρακάτω.

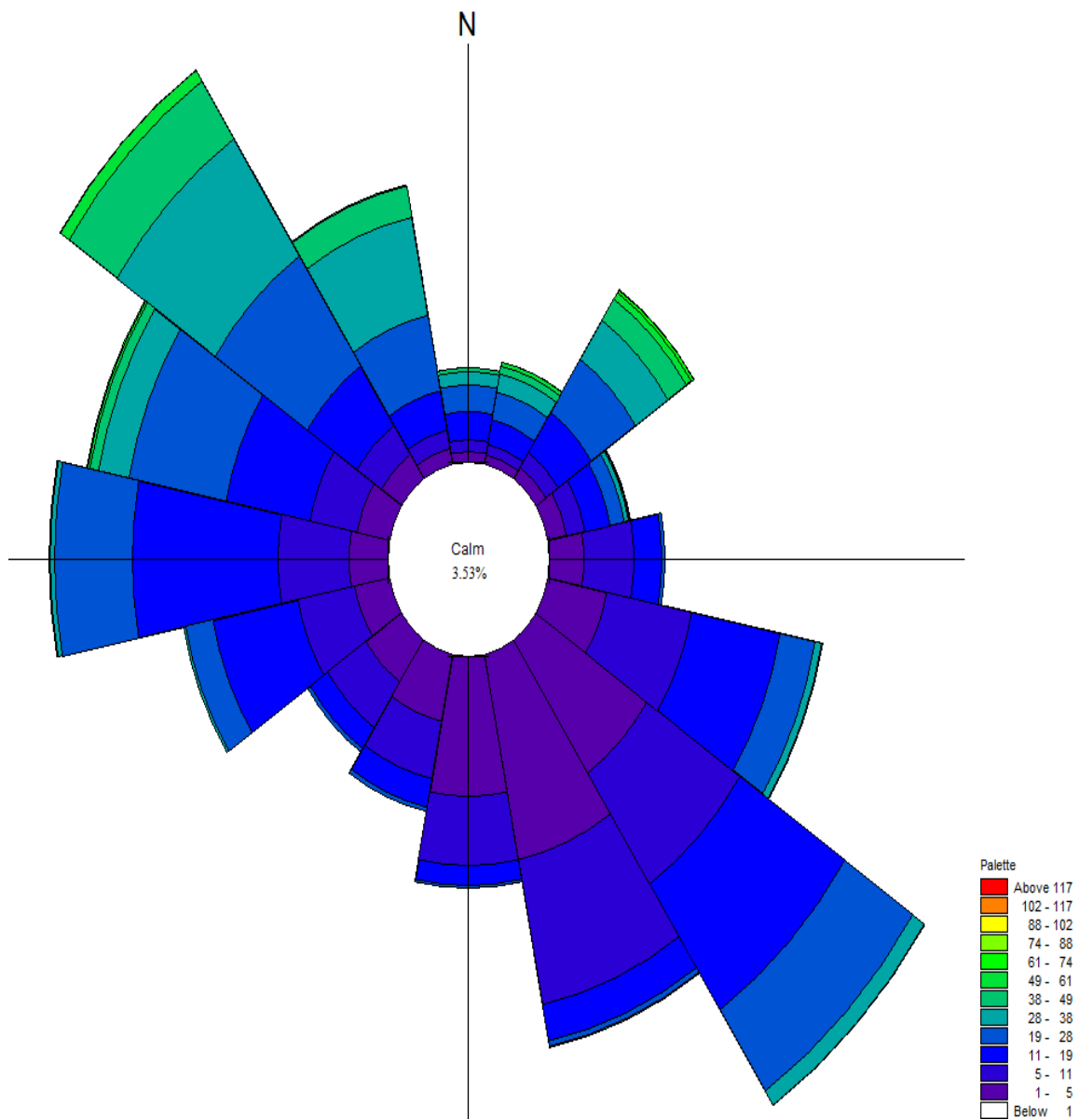
ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΙΣΘΜΟΥ 2009-2016										
BEAUFORT N	NE	E	SE	W	NW	SW	S	calm	SUM	
0	30.71668							3.530086	3.530086	
1	0.265045	1.171183	0.945555	9.872824	1.188853	2.185831	4.116357	2.956954	22.7026	
2	0.268443	1.238917	1.332929	7.916925	1.94797	2.624854	3.884839	1.389336	20.60421	
3	0.657856	2.320845	0.792644	6.65762	3.828885	4.80253	3.365849	0.402778	22.82901	
4	0.689118	2.35256	0.094465	3.697722	2.104278	7.305962	0.986331	0.059579	17.29001	
5	0.312164	1.399303	0.004078	0.639733	0.112361	6.10397	0.080193	0.005437	8.65724	
6	0.089708	0.67983	0.000906	0.021974	0.013139	2.675145	0.021068	0.000906	3.502675	
7	0.020388	0.173299	0	0.000453	0.002039	0.537793	0.002718	0	0.73669	
8	0.00068	0.078154	0	0	0.001133	0.051197	0.000227	0	0.13139	
9	0	0.012912	0	0	0	0.003171	0	0	0.016084	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SUM	2.303402	9.427004	3.170576	28.80725	9.198657	26.29045	12.45758	4.814989	3.530086	100

Πίνακας 4.3. Ανεμολογικά στοιχεία σταθμού Ισθμού 2009-2016

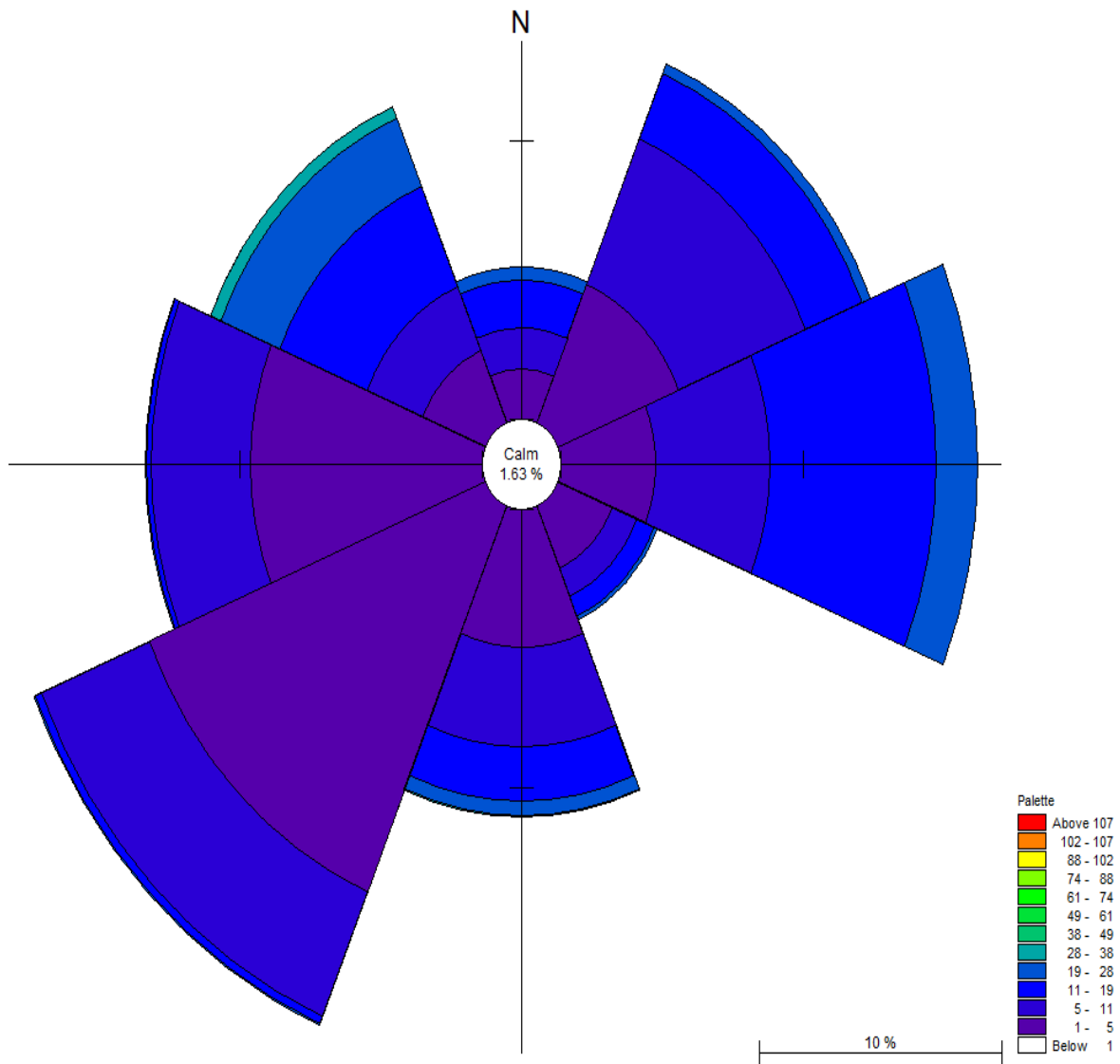
ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΙΣΘΜΟΥ 2008-2016										
BEAUFORT N	NE	E	SE	W	NW	SW	S	calm	SUM	
0								3.530086	3.530086	
1	0.265045	1.171183	0.945555	9.872824	1.188853	2.185831	4.116357	2.956954	22.7026	
2	0.268443	1.238917	1.332929	7.916925	1.94797	2.624854	3.884839	1.389336	20.60421	
3	0.657856	2.320845	0.792644	6.65762	3.828885	4.80253	3.365849	0.402778	22.82901	
4	0.689118	2.35256	0.094465	3.697722	2.104278	7.305962	0.986331	0.059579	17.29001	
5	0.312164	1.399303	0.004078	0.639733	0.112361	6.10397	0.080193	0.005437	8.65724	
6	0.089708	0.67983	0.000906	0.021974	0.013139	2.675145	0.021068	0.000906	3.502675	
7	0.020388	0.173299	0	0.000453	0.002039	0.537793	0.002718	0	0.73669	
8	0.00068	0.078154	0	0	0.001133	0.051197	0.000227	0	0.13139	
9	0	0.012912	0	0	0	0.003171	0	0	0.016084	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SUM	2.303402	9.427004	3.170576	28.80725	9.198657	26.29045	12.45758	4.814989	3.530086	100

Πίνακας 4.4. Ανεμολογικά στοιχεία σταθμού Κιάτου 2015-2016

Με τη χρήση του προγράμματος Plot Composer της πλατφόρμας MIKE Zero της DHI σχεδιάστηκαν και οι ροζέτες ανέμων των δύο αυτών περιοχών οι οποίες παρατίθενται παρακάτω



Σχήμα 4.7. Ροζέτα ανέμων Ισθμού Κορινθίας (Mike plot composer)



Σχήμα 4.8. Ροζέτα ανέμων Κιάτου Κορινθίας (Mike plot composer)

Όπως παρατηρούμε και από τις ροζέτες και από τα πινακίδια υπάρχει αρκετή διαφοροποίηση ως προς την επικρατούσα διεύθυνση πνοής των ανέμων οι οποίοι πνέουν στον Ισθμό και το Κιάτο. Η ένταση τους είναι μικρή και στις δύο περιπτώσεις. Στο Κιάτο η επικρατούσα διεύθυνση είναι η ΝΔ ενώ ως επί το πλείστον οι άνεμοι δεν ξεπερνούν τα 3-4 μποφόρ. Στον Ισθμό που έχουμε και μεγαλύτερο δείγμα παρατηρήσεων οι επικρατούσες διευθύνσεις είναι η ΒΔ και η ΝΑ με την ένταση των ανέμων σπάνια να ξεπερνάει τα 4-5 μποφόρ.

4.5 Αποτύπωση της ακτογραμμής στην περιοχή του Κιάτου

Για να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έπρεπε να έχουμε συγκριτικά στοιχεία από την απόδοση των έργων μετά την κατασκευή τους. Επομένως κρίθηκε σκόπιμη η αποτύπωση της θέσης της ακτογραμμής την περίοδο εκπόνησης της διπλωματικής έτσι ώστε να έχουμε ένα μέτρο σύγκρισης για τις προσομοιώσεις μας και να υπάρχει δυνατότητα βαθμονόμησης του μοντέλου μας. Η τοπογραφική αποτύπωση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση τοπογραφικού GPS με εξάρτηση στο σύστημα ΕΓΣΑ'87 κάνοντας χρήση του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού Ηερσ της Κτηματολόγιο Α.Ε. Η ημερομηνία αποτύπωσης είναι η 21^η Ιουλίου 2017.



Σχήμα 4.9. Αποτύπωση της ακτογραμμής με τη χρήση τοπογραφικού GPS.

5. Αριθμητική προσομοίωση με το πρόγραμμα MIKE 21

Στην παρούσα διπλωματική έγινε χρήση του προγράμματος MIKE 21 της DHI (Danish Hydraulic Institute). Το MIKE 21 είναι μία πλατφόρμα η οποία περιέχει διάφορα υποπρογράμματα, τα οποία καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα αναγκών αριθμητικής προσομοίωσης, τα οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να πάρουμε τα ζητούμενα αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση την οποία διαχειριζόμαστε. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία γίνεται χρήση του MIKE 21 Coupled Model FM το οποίο περιέχει τέσσερα υποπρογράμματα τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε για την αριθμητική προσομοίωση της περιοχής μας. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά χρησιμοποιείται το υποπρόγραμμα SW (Spectral Waves) το οποίο υπολογίζει τα χαρακτηριστικά του κύματος (χαρακτηριστικό ύψος, ταχύτητες κατά x και y , περίοδος, διεύθυνση) στην περιοχή καθώς και τις τάσεις ακτινοβολίας. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης για δεδομένα, γίνεται χρήση του υποπρογράμματος FLOW MODEL FM HD (Hydrodynamic) για την εύρεση των υδροδυναμικών χαρακτηριστικών του κυματογενούς ρεύματος όπως και την ανύψωση της στάθμης και τις πυκνότητες ενέργειας P και Q . Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του HD ως δεδομένα γίνεται χρήση του υποπρογράμματος ST (Sand Transport) το οποίο δίνει ως αποτέλεσμα τα φορτία στερεομεταφοράς, ήτοι φορτίο σε αιώρηση, φορτίο πυθμένα, αλλαγή στάθμης πυθμένα, ρυθμός αλλαγής στάθμης πυθμένα όπως και τη νέα βαθυμετρία μετά την προσομοίωση. Το τελευταίο υποπρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιείται είναι το Shoreline model το οποίο με δεδομένη την αρχική θέση της ακτογραμμής μας υπολογίζει την εξέλιξη της ακτογραμμής για το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει και ένα άλλο πρόγραμμα της DHI για τον υπολογισμό της εξέλιξης της ακτογραμμής, το LITPACK, το οποίο όμως δεν κατέστη δυνατόν να χρησιμοποιηθεί. Αυτό συνέβη γιατί το LITPACK έχει κάποιες πολύ αυστηρές προδιαγραφές για να μπορεί να προσομοιώσει την εξέλιξη της ακτογραμμής οι οποίες προδιαγραφές σε εμάς δεν τηρούνταν. (σχεδόν ομοιόμορφες ακτές, μη συνεκτικό ιζήμα, πλήρως ανεπτυγμένα προφίλ και απεριόριστη πηγή ιζήματος). Αξίζει να σημειωθεί ότι όλα τα υποπρογράμματα του Coupled Mode τα οποία χρησιμοποιήσαμε λειτουργούν με μεταβλητό υπολογιστικό πλέγμα (Flexible Mesh) δίνοντας μας την ευκαιρία να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς. Η εναλλακτική δράση είναι η προσομοίωση σε ορθογωνικό κάναβο με την τριπλέτα προγραμμάτων MIKE PMS (Parabolic Mild Slope) το οποίο χρησιμοποιεί παραβολική προσέγγιση της εξίσωσης ήπιας κλίσης λαμβάνοντας υπόψη τα φαινόμενα διάθλασης και ρήχωσης, το MIKE HD το οποίο λειτουργεί με την προσέγγιση των πεπερασμένων διαφορών και τέλος το MIKE NCST το οποίο υπολογίζει ρυθμούς στερεομεταφοράς με την παραδοχή μη συνεκτικού ιζήματος. Ο λόγος επιλογής του Coupled Model είναι ο μικρότερος απαιτούμενος υπολογιστικός χρόνος καθώς και η προσθήκη του Shoreline Model για την εξέλιξη της ακτογραμμής στην τελευταία έκδοση του MIKE 2017.

5.1 MIKE 21 SW

Το MIKE 21 SW είναι ένα φασματικό μοντέλο υπολογισμού κυματισμών το οποίο βασίζεται σε μη δομημένα υπολογιστικά πλέγματα. Το μοντέλο προσομοιώνει την ανάπτυξη, την απόσβεση, και τον μετασχηματισμό ανεμογενών κυματισμών και Swell σε υπεράκτιες και παράκτιες περιοχές. Το μοντέλο περιέχει δύο ειδών προσομοιώσεις:

- Προσομοίωση κατευθυντικών ανεξάρτητων παραμέτρων
- Προσομοίωση πλήρους φασματικής ανάπτυξης

Η προσομοίωση κατευθυντικών ανεξάρτητων παραμέτρων βασίζεται στην παραμετροποίηση της εξίσωσης διατήρησης της κυματικής δράσης. Η προσομοίωση πλήρους φασματικής ανάλυσης βασίζεται στην εξίσωση διατήρησης της κυματικής δράσης έτσι όπως αυτή περιγράφηκε από τους

Komen et al. (1994) και Young (1999), όπου το φάσμα κατευθυντικής συχνότητας δράσης κυματισμών είναι η εξαρτημένη μεταβλητή.

Οι βασικές εξισώσεις διατήρησης διατυπώνονται είτε σε Καρτεσιανές συντεταγμένες στην περίπτωση εφαρμογών μικρής κλίμακας είτε σε σφαιρικές συντεταγμένες για την περίπτωση εφαρμογών μεγάλης κλίμακας.

Στο μοντέλο λαμβάνονται υπόψη τα εξής φυσικά φαινόμενα:

- Ανάπτυξη κυματισμών λόγω της δράσης του ανέμου
- Μη γραμμική αλληλεπίδραση κυματισμών
- Διασπορά λόγω θραύσης στα ανοιχτά
- Διασπορά λόγω τριβής πυθμένα
- Διασπορά λόγω θραύσης ρήχωσης
- Διάθλαση και ρήχωση λόγω μεταβολής του βάθους
- Αλληλεπίδραση κύματος-ρεύματος
- Επίδραση του μεταβαλλόμενου βάθους νερού

Η διακριτοποίηση της διέπουσας εξίσωσης στο γεωγραφικό και φασματικό χώρο πραγματοποιείται με μέθοδο πεπερασμένων όγκων. Στο γεωγραφικό πεδίο χρησιμοποιείται τεχνική μη δομημένου υπολογιστικού πλέγματος. Η ολοκλήρωση στο πεδίο του χρόνου πραγματοποιείται με προσέγγιση φασματικού βήματος όπου εφαρμόζεται μία ρητή μέθοδος πολλών βημάτων για την διάδοση της κυματικής δράσης.

Το υποπρόγραμμα MIKE 21 SW χρησιμοποιείται και για την εκτίμηση του κυματικού κλίματος σε υπεράκτιες και παράκτιες περιοχές σε προσομοιώσεις πρόγνωσης καθώς και σε προσομοιώσεις παρελθόντων ετών. Μία πολύ σημαντική εφαρμογή του είναι ο σχεδιασμός υπεράκτιων, παράκτιων και λιμενικών έργων όπου η ακριβής αξιολόγηση των φορτίων των κυματισμών έχει μεγάλη σημασία στον σχεδιασμό αυτών των κατασκευών. Το υποπρόγραμμα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε σύνδεση με τον υπολογισμό της στερεομεταφοράς, όπου το φαινόμενο της στερεομεταφοράς ρυθμίζεται κυρίως από τις κυματικές συνθήκες και τα σχετικά κυματογενή ρεύματα. Τα κυματογενή ρεύματα δημιουργούνται από τις κλίσεις των τάσεων ακτινοβολίας οι οποίες εμφανίζονται στην παράκτια ζώνη.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του MIKE 21 SW είναι τα εξής:

- Πλήρως φασματική προσομοίωση και προσομοίωση κατευθυντικών ανεξάρτητων παραμέτρων
- Η εξίσωση πηγής είναι βασισμένη στις τελευταίες διατυπώσεις τρίτης γενιάς
- Στατικές και οιονεί στατικές λύσεις
- Δυνατότητα βέλτιστου βαθμού ευελιξίας στην περιγραφή της βαθυμετρίας και τις συνθήκες ροής του περιβάλλοντος με τη χρήση προσαρμοζόμενου ως προς την αλλαγή του βάθους μη δομημένου πλέγματος.
- Επίδραση κάλυψης με πάγο
- Συνδυασμός με το μοντέλο υδροδυναμικής ροής για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης κύματος-ρεύματος και μεταβλητού στο χρόνο βάθους
- Ολοκλήρωση ως προς το χρόνο με τη χρήση προσέγγισης φασματικού βήματος
- Μεγάλο εύρος αποτελεσμάτων του μοντέλου (κύμα, swell, παράμετροι αλληλεπίδρασης διεπιφάνειας αέρα-νερού, τανυστές τάσεων ακτινοβολίας, φάσματα, κλπ)

Τα κυριότερα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνουμε από το μοντέλο αυτό είναι τα εξής:

- Χαρακτηριστικό ύψος κύματος, H_{m0}
- Περίοδος αιχμής, T_p
- Μέση περίοδος, T_{01}
- Μέση κατεύθυνση κύματος, MWD
- Τάσεις ακτινοβολίας (S_{xx} , S_{xy} , S_{yy})

5.1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Το υποπρόγραμμα MIKE 21 SW είναι βασισμένο στην εξίσωση ισορροπίας κυματικής δράσης όπου το κυματικό πεδίο αναπαρίσταται από το φάσμα πυκνότητας κυματικής δράσης $N(s, q)$. Ως ανεξάρτητες παράμετροι (μόνο στην πλήρως φασματική διατύπωση) έχουν επιλεγεί η σχετική γωνιακή συχνότητα, $s = 2\pi f$ και η διεύθυνση διάδοσης του κυματισμού, q .

Η σχέση ανάμεσα στο φάσμα πυκνότητας κυματικής ενέργειας $E(s, q)$ και το φάσμα πυκνότητας κυματικής δράσης δίνεται από τη σχέση $N = E/\sigma$.

Για διάδοση κυματισμών σε αργά μεταβαλλόμενα βάθη και ρεύματα η σχέση ανάμεσα στη σχετική γωνιακή συχνότητα (όπως παρατηρήθηκε σε ένα πλαίσιο αναφοράς το οποίο κινείται με την ταχύτητα του κύματος) και την απόλυτη γωνιακή συχνότητα, ω , (όπως παρατηρείται σε σταθερό πλαίσιο) δίνεται από τη σχέση γραμμικής διασποράς:

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} = \omega - \vec{k} \cdot \vec{U} \quad 5.1$$

Όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, d είναι το βάθος, και \vec{U} είναι το διάνυσμα ταχύτητας ρεύματος. Το μέτρο της ταχύτητας ομάδας κυμάτων, c_g , της ενέργειας κύματος ως προς το ρεύμα δίνεται από τη σχέση

$$c_g = \frac{\partial \sigma}{\partial k} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k} \quad 5.2$$

- **Εξισώσεις διατήρησης κυματικής δράσης**

Η διέπουσα εξίσωση είναι η εξίσωση κυματικής ισορροπίας εκπεφρασμένη είτε σε Καρτεσιανές είτε σε σφαιρικές συντεταγμένες. Σε οριζόντιες Καρτεσιανές συντεταγμένες η εξίσωση διατήρησης της κυματικής δράσης μπορεί να γραφεί ως:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad 5.3$$

Όπου $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ είναι η πυκνότητα δράσης, t είναι ο χρόνος, $\vec{x} = (x, y)$ είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες $\vec{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ είναι η ταχύτητα διάδοσης της ομαδικής ταχύτητας κύματος σε χώρο τεσσάρων διαστάσεων \vec{x} , και S είναι ο όρος πηγής για την εξίσωση ισορροπίας ενέργειας. Οι τέσσερις χαρακτηριστικές εξισώσεις διάδοσης δίνονται από τις εξής σχέσεις:

$$\begin{aligned}
(c_x, c_y) &= \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U} \\
c_\sigma &= \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial\sigma}{\partial t} \left[\frac{\partial\sigma}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla_{\vec{x}} d \right] - c_g \vec{k} \cdot \frac{\partial\vec{U}}{\partial s} \\
c_\theta &= \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial\sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial\vec{U}}{\partial m} \right]
\end{aligned}
\tag{5.4}$$

Όπου s είναι η χωρική συντεταγμένη στην κατεύθυνση του κύματος θ και m είναι μία συντεταγμένη κάθετη στην s .

- **Εξισώσεις πηγής**

Ο όρος πηγής ενέργειας, S , αντιπροσωπεύει την υπέρθεση των συναρτήσεων πηγής οι οποίες περιγράφουν διάφορα φυσικά φαινόμενα

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \tag{5.5}$$

Όπου S_{in} είναι η δημιουργία κύματος λόγω του αέρα, S_{nl} είναι η μεταφοράς ενέργειας κύματος εξαιτίας μη γραμμικής αλληλεπίδρασης κυματισμών, S_{ds} είναι η διάχυση κυματικής ενέργειας εξαιτίας θραύσης στα βαθιά και S_{bot} είναι η διάχυση κυματικής ενέργειας λόγω της τριβής πυθμένας και S_{surf} είναι η διάχυση κυματικής ενέργειας λόγω της θραύσης.

- Τρόπος επιλογής προσομοίωσης

Καθώς η πλήρως φασματική διατύπωση προσομοιώνει την εξέλιξη κατευθυντικής συχνότητας κυματικής δράσης αυτή η διατύπωση απαιτεί πολύ μεγαλύτερο υπολογιστικό χρόνο από την κατευθυντική προσομοίωση μη εξαρτημένων παραμέτρων.

Η πλήρως φασματική διατύπωση μπορεί γενικά να χρησιμοποιηθεί σε κυματικές μελέτες οι οποίες περιλαμβάνουν την ανάπτυξη, την απόσβεση και τη μετατροπή ανεμογενών κυματισμών και swell σε παράκτιες και υπεράκτιες περιοχές. Ωστόσο, η κατευθυντική προσομοίωση μη εξαρτημένων παραμέτρων η οποία και απαιτεί λιγότερο υπολογιστικό χρόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρκετές περιπτώσεις. Τέτοιες περιπτώσεις είναι οι εξής:

- Εφαρμογές μετασχηματισμού κυμάτων μικρής κλίμακας, δηλ. μικρότερο πεδίο από 10-50 km
- Εφαρμογές όπου έχουμε συνθήκες πλήρους ανεπτυγμένης θάλασσας
- Εφαρμογές όπου τα swell και ο συνδυασμός θάλασσας/swell δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικός.

Σε κάποιες περιπτώσεις η οιονεί στατική διατύπωση είναι κατάλληλη για χρήση σε σχέση με την πιο πολύπλοκη και χρονοβόρα μη στατική διατύπωση. Τέτοιες περιπτώσεις είναι οι εξής:

- Όταν η γενεσιουργός αιτία μεταβάλλεται αργά στο χρόνο και στο χώρο
- Συνθήκες ανάπτυξης ανεμογενών κυματισμών Fetch-limited
- Όταν κάθε κυματικό συμβάν μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητο

5.1.2 Παράμετροι του MIKE 21 SW

Το MIKE 21 SW διαθέτει αρκετές παραμέτρους τις οποίες πρέπει εμείς να ορίσουμε πριν την προσομοίωση. Εδώ απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή από εμάς αφού όλες αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν σε μεγαλύτερο ή και σε μικρότερο βαθμό το μοντέλο και τα αποτελέσματα τα οποία θα ληφθούν.

Οι παράμετροι αυτοί περιέχονται στον επόμενο πίνακα:

Πεδίο
Χρόνος
Μοντέλο φασματικών κυμάτων
Βασικές εξισώσεις
Φασματική διακριτοποίηση
Τεχνική λύσης
Συνθήκες επιφάνειας υδάτων
Συνθήκες ρεύματος
Άνεμος
Κάλυψη από πάγο
Περίθλαση
Μεταφορά ενέργειας
Θραύση κυματισμών
Τριβή πυθμένα
Θραύση στα βαθειά
Κατασκευές
Αρχικές συνθήκες

Μία συνοπτική παρουσίαση για κάθε παράμετρο ακολουθεί.

- Πεδίο

Εδώ επιλέγουμε το πεδίο στο οποίο θα γίνει η προσομοίωση. Αφού έχουμε δημιουργήσει το αρχείο του μη δομημένου πλέγματος μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε εδώ. Επίσης μπορούμε να ονομάσουμε και τα ανοιχτά όρια τα οποία έχουμε θέσει στο αρχείο.

- Χρόνος

Εδώ επιλέγουμε τον συνολικό αριθμό των χρονικών βημάτων για τα οποία θα γίνει η προσομοίωση. Επίσης ορίζουμε και το χρονικό βήμα για το οποίο θα τρέξει η προσομοίωση.

- Βασικές εξισώσεις

Εδώ ορίζουμε την φασματική διατύπωση την οποία χρησιμοποιούμε όπως και την χρονική διατύπωση την οποία θα χρησιμοποιήσουμε. Για την παρούσα διπλωματική μιας και τηρούνται κάποια συγκεκριμένα κριτήρια τα οποία αναφέρθηκαν πιο πάνω χρησιμοποιούμε πλήρως φασματική διατύπωση για το φάσμα και οιονεί στατική διατύπωση για το χρόνο.

- Φασματική διακριτοποίηση

Εδώ επιλέγουμε τις παραμέτρους της φασματικής διακριτοποίησης την οποία θα χρησιμοποιήσουμε στο μοντέλο. Για τη συγκεκριμένη διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν οι επιλογές λογαριθμικής διακριτοποίησης με ροζέτα 360 μοιρών χωρίς διαχωρισμό ανέμου, θάλασσας και swell .

- Τεχνική λύσης

Εδώ επιλέξαμε την τεχνική λύσης της εξίσωσης σύγκλισης της οιονεί στατικής μεθόδου. Επελέγη διακριτοποίηση γεωγραφικού χώρου χαμηλής τάξης για γρηγορότερο αλγόριθμο ενώ επελέγησαν και κατάλληλα μεγέθη για τον αριθμό των επαναλήψεων το κριτήριο σύγκλισης και το συντελεστή χαλάρωσης. Συγκεκριμένα επελέγησαν 500 επαναλήψεις με ανοχές 10^{-6} και 0.05 m και συντελεστής χαλάρωσης 0.1. Η μέθοδος ολοκλήρωσης η οποία επιλέχθηκε είναι η Newton-Raphson.

- Συνθήκες στάθμης νερού

Δεν έγινε κάποια επιλογή σε αυτήν την παράμετρο.

- Συνθήκες ρεύματος

Λόγω του συζευγμένου προγράμματος Coupled Model με το FM έγινε αλληλεπίδραση των αποτελεσμάτων με την προσομοίωση HD σε πραγματικό χρόνο για κάθε χρονικό βήμα.

- Άνεμος

Στην παρούσα καρτέλα επιλέξαμε τη χρονοσειρά μετρημένων ανέμων οι οποίοί έπνευσαν στην περιοχή. Οι μετρήσεις αφορούσαν ταχύτητα και διεύθυνση ανέμων.

- Κάλυψη από πάγο

Δεν έγινε κάποια επιλογή σε αυτήν την παράμετρο

- Περίθλαση

Επιλέξαμε να συμπεριληφθεί η περίθλαση με τα προεπιλεγμένα από το πρόγραμμα χαρακτηριστικά μεγέθη.

- Μεταφορά ενέργειας

Επιλέξαμε να συμπεριληφθεί η μεταφορά ενέργειας με τα προεπιλεγμένα από το πρόγραμμα χαρακτηριστικά μεγέθη.

- Θραύση κυματισμών

Επιλέξαμε να συμπεριληφθεί η θραύση κυματισμών με τα προεπιλεγμένα από το πρόγραμμα χαρακτηριστικά μεγέθη.

- Τριβή πυθμένα

Επιλέξαμε να συμπεριληφθεί η τριβή πυθμένα με τα προεπιλεγμένα από το πρόγραμμα χαρακτηριστικά μεγέθη. (Τραχύτητα κατά Nikuradse, 0.04 m)

- Θραύση στα βαθειά νερά

Χρησιμοποιήσαμε τις προεπιλεγμένες από το πρόγραμμα τιμές.

- Κατασκευές

Συμπεριλάβαμε τους δύο κυματοθραύστες.

- Αρχικές συνθήκες

Επιλέξαμε φάσματα από εμπειρικές διατυπώσεις. Το φάσμα το οποίο επιλέξαμε είναι το JONSWAP με μέγιστο μήκος αναπτύγματος 35 km το οποίο προέκυψε από την μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής την διπλωματικής και οι υπόλοιπες τιμές είναι οι προεπιλεγμένες του προγράμματος.

- Οριακές συνθήκες

Στις προσομοιώσεις τις οποίες χρησιμοποιήσαμε μεταβαλλόμενο άνεμο ως γενεσιουργό αιτία βάλαμε ανοιχτά όρια ενώ όπου χρησιμοποιήθηκαν οι ισοδύναμοι κυματισμοί τέθηκαν οι τιμές οι οποίες βρέθηκαν από τη μελέτη μας.

5.2 MIKE 21 Flow Model FM HD

Το υποπρόγραμμα MIKE 21 Flow Model FM είναι ένα νέο σύστημα προσομοίωσης το οποίο βασίζεται στην προσέγγιση μη δομημένου πλέγματος. Αυτό το σύστημα προσομοίωσης έχει αναπτυχθεί για εφαρμογές οι οποίες περιλαμβάνουν υπεράκτια, παράκτια περιβάλλοντα και εκβολές ποταμών.

Το υδροδυναμικό υποπρόγραμμα είναι το βασικό υπολογιστικό πρόγραμμα όλου του συστήματος MIKE 21 Flow Model FM και παρέχει την υδροδυναμική βάση για τα υποπρογράμματα τα οποία αυτό περιλαμβάνει και είναι τα εξής:

- Υποπρόγραμμα μεταφοράς
- Υποπρόγραμμα ECO lab/ πετρελαιοκηλίδας
- Υποπρόγραμμα παρακολούθησης σωματιδίων
- Υποπρόγραμμα μεταφοράς λάσπης
- Υποπρόγραμμα στερεομεταφοράς
- Υποπρόγραμμα εξέλιξης ακτογραμμής (διαθέσιμο στη συζευγμένη προσομοίωση Coupled Model FM)

Στην παρούσα διπλωματική εκτός από τη βάση του FM το οποίο είναι το υδροδυναμικό υποπρόγραμμα χρησιμοποιείται και το υποπρόγραμμα της στερεομεταφοράς όπως και το υποπρόγραμμα εξέλιξης ακτογραμμής.

Το υποπρόγραμμα HD είναι βασισμένο στην αριθμητική λύση των δισδιάστατων ή των τρισδιάστατων κατά περίπτωση εξισώσεων ρηκών νερών ήτοι τις ολοκληρωμένες κατά βάθος ασυμπίεστες εξισώσεις Navier-Stokes κατά Reynolds. Επομένως το μοντέλο χαρακτηρίζεται από τις εξισώσεις συνέχειας, ορμής, θερμοκρασίας, αλατότητας και πυκνότητας. Στο οριζόντιο πεδίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμφότερες οι Καρτεσιανές και οι σφαιρικές συντεταγμένες.

Η διακριτοποίηση στο χώρο των βασικών εξισώσεων γίνεται με μέθοδο πεπερασμένων όγκων. Για τη διακριτοποίηση στο χώρο χρησιμοποιείται ρητό σχήμα.

Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη του τις ακόλουθες συνθήκες:

- Την διατμητική τάση του πυθμένα
- Τις μεταβολές της βαρομετρικής πίεσης
- Την Κοριόλιο δύναμη
- Την διατμητική τάση ανέμου
- Την εξάτμιση και τις κατακρημνίσεις
- Τις τάσεις ακτινοβολίας
- Τις μεταβολές της στάθμης του νερού
- Τις παροχές εισόδου και εξόδου
- Την διασπορά της ορμής

Το πεδίο εφαρμογής γενικά περιλαμβάνει προβλήματα όπου τα φαινόμενα ροής και μεταφοράς είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε παράκτιες εφαρμογές όπως και σε εφαρμογές λιμένων.

Η τοπική εξίσωση συνέχειας γράφεται ως

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad 5.6$$

Και οι δύο οριζόντιες εξισώσεις ορμής για τις συνιστώσες x και y , αντίστοιχα είναι οι

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned} \quad 5.7$$

Και

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} = fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \\ \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \end{aligned} \quad 5.8$$

Όπου t είναι ο χρόνος, x , y , z είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες, η είναι η ανύψωση της στάθμης, d είναι το βάθος του νερού στη στάθμη ηρεμίας, $h = \eta + d$ είναι το συνολικό βάθος του νερού, u , v και w είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας στις διευθύνσεις x , y , z αντίστοιχα, $f = 2\Omega \sin \varphi$ είναι η Κοριόλιος παράμετρος (Ω είναι η ρυθμός γωνιακής περιστροφής και φ είναι το γεωγραφικό πλάτος), g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, ρ είναι η πυκνότητα του νερού, s_{xx} , s_{yy} και s_{yx} είναι οι συνιστώσες του τανυστή τάσεων ακτινοβολίας, v_t είναι το τυρβώδες ιξώδες, p_a είναι η ατμοσφαιρική πίεση, p_o είναι η πυκνότητα αναφοράς του νερού, S είναι το μέτρο απορροής λόγω σημειακών πηγών και (u_s, v_s) είναι η ταχύτητα με την οποία το νερό εκρέει στο περιβάλλον νερό. Οι όροι οριζόντιας τάσης είναι εκπεφρασμένοι με τη χρήση μίας σχέσης κλίσης-τάσης, η οποία ανάγεται σε

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad 5.9$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad 5.10$$

Όπου A είναι το οριζόντιο τυρβώδες ιξώδες.

Στην οριακές συνθήκες της επιφάνειας και του πυθμένα για τις ταχύτητες u , v και w έχουμε

Για $z = \eta$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} - w = 0, \quad \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 \nu_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy}) \quad 5.11$$

Για $z = -d$

$$u \frac{\partial d}{\partial x} + v \frac{\partial d}{\partial y} + w = 0, \quad \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 \nu_t} (\tau_{bx}, \tau_{by}) \quad 5.12$$

Όπου (τ_{sx}, τ_{sy}) και (τ_{bx}, τ_{by}) είναι οι συνιστώσες κατά x και y του επιφανειακού ανέμου και οι τάσεις πυθμένα.

Το συνολικό βάθος νερού, h , μπορεί να ληφθεί από την κινηματική οριακή συνθήκη στην επιφάνεια, εφόσον το πεδίο ταχυτήτων είναι γνωστό από τις εξισώσεις ορμής και συνέχειας. Ωστόσο, μία πιο σαφής εξίσωση λαμβάνεται από την ολοκλήρωση της τοπικής εξίσωσης συνέχειας.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}}{\partial y} = hS + \widehat{P} - \widehat{E} \quad 5.13$$

Όπου \widehat{P} και \widehat{E} είναι οι ρυθμοί κατακρημνίσεων και εξάτμισης αντίστοιχα και \bar{u} και \bar{v} είναι οι ολοκληρωμένες κατά βάθος ταχύτητες

$$h \bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h \bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad 5.14$$

Το ρευστό θεωρείται ασυμπίεστο. Επομένως η πυκνότητα ρ δεν εξαρτάται από την πίεση αλλά μόνο από την θερμοκρασία T και η αλατότητα, s , μέσω της καταστατικής εξίσωσης της UNESCO(1981)

$$\rho = \rho(T, s) \quad 5.15$$

5.2.1 Παράμετροι του υποπρογράμματος MIKE 21 Flow Model FM (HD)

Όπως και το προηγούμενο υποπρόγραμμα και το MIKE 21 HD έχει αρκετές παραμέτρους τις οποίες εμείς πρέπει να ορίσουμε με μεγάλη προσοχή διότι επηρεάζουν άμεσα τα αποτελέσματα τα οποία θα προκύψουν από την προσομοίωση.

Στον ακόλουθο πίνακα επισημαίνονται οι βασικές παράμετροι του υποπρογράμματος

Πεδίο
Χρόνος
Επιλογή Υποπρογράμματος
Τεχνική επίλυσης
Βάθος
Πλημμύρες
Πυκνότητα ατμοσφαιρικού αέρα
Τυρβώδες ιζώδες
Αντίσταση πυθμένα
Δύναμη Coriolis
Άνεμοι
Παγοκάλυψη
Παλίρροιες
Κατακρημνίσεις-εξάτμιση
Τάσεις ακτινοβολίας
Πηγές
Κατασκευές
Αρχικές συνθήκες
Αποσύζευξη των στοιχείων ροής
Αποτελέσματα

Ακολουθεί μία συνοπτική παρουσίαση για κάθε παράμετρο την οποία χρησιμοποιήσαμε.

- Πεδίο

Εισάγεται το αρχείο μη δομημένου πλέγματος (Flexible mesh) το οποίο περιέχει την περιοχή προσομοίωσης καθώς και τη βυθομετρία της

- Χρόνος

Εισάγεται το χρονικό βήμα, όπως και ο συνολικός αριθμός χρονικών βημάτων για την αριθμητική προσομοίωση.

- Επιλογή υποπρογράμματος

Εδώ επιλέγουμε τα υποπρογράμματα τα οποία θέλουμε εμείς να τρέξουμε σε λειτουργία σύζευξης. Επιλέγουμε το μοντέλο στερεομεταφοράς όπως και το μοντέλο εξέλιξης ακτογραμμής.

- Τεχνική επίλυσης

Εδώ επιλέγουμε την τεχνική επίλυσης την οποία θα ακολουθήσουμε. Στη λειτουργία σύζευξης (Coupled Model) δεν μπορεί να είναι διαφορετική από αυτήν του Spectral Waves. Επομένως στη δικιά μας περίπτωση ακολουθείται η τεχνική επίλυσης οιονεί στατικής προσομοίωσης. Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει να γίνει σε αυτό το σημείο στον αριθμό CFL. Σύμφωνα με τον εγχειρίδιο χρήσης του MIKE 21 για τις εξισώσεις ρηχών νερών σε Καρτεσιανές συντεταγμένες ο αριθμός Courant-Friedrich-Levy ορίζεται ως εξής:

$$CFL_{HD} = \left(\sqrt{gh} + |u|\right) \frac{\Delta t}{\Delta x} + \left(\sqrt{gh} + |v|\right) \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad 5.16$$

Όπου h είναι το συνολικό βάθος νερού, u και v είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας στις διευθύνσεις x και y αντίστοιχα, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, Δx και Δy είναι τα χαρακτηριστικά μήκη υπό κλίματα στις διευθύνσεις x και y αντίστοιχα για ένα στοιχείο και Δt είναι το χρονικό βήμα. Για τις εξισώσεις μεταφοράς σε καρτεσιανές Συντεταγμένες ο αριθμός CFL ορίζεται ως

$$CFL_{AD} = |u| \frac{\Delta t}{\Delta x} + |v| \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad 5.17$$

Στις περιπτώσεις όπου στις διεργασίες στην παράκτια ζώνη επικρατεί η ροή όπως η δικιά μας περίπτωση ενδείκνυται από το πρόγραμμα να χρησιμοποιείται το σχήμα επίλυσης ανώτερης τάξης. Στις περιπτώσεις όπου στις διεργασίες επικρατεί η διάχυση μπορεί να επιλεγεί σχήμα επίλυσης μικρότερης τάξης. Στη δικιά μας περίπτωση ενώ θα έπρεπε να επιλέξουμε σχήμα ανώτερης τάξης κάτι τέτοιο δεν ήταν δυνατόν ειδικά στην προσομοίωση εναλλασσόμενων ανέμων λόγω του αυξημένου χρόνου προσομοίωσης. Ως κρίσιμος αριθμός CFL στην προσομοίωση μας ετέθη η προεπιλεγμένη τιμή του προγράμματος, 0.8.

- Βάθος

Δεν χρησιμοποιήθηκε κάποια διόρθωση βάθους

- Πλημύρα

Χρησιμοποιήθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές του προγράμματος για τα βάθη.

- Πυκνότητα ατμοσφαιρικού αέρα

Θεωρήθηκε βαροτροπική πυκνότητα ατμοσφαιρικού αέρα.

- Τυρβώδες ιξώδες

Ορίστηκε διατύπωση κατά Smagorinsky με σταθερή τιμή 0.28 η οποία και ήταν προεπιλεγμένη τιμή του προγράμματος.

- Αντίσταση πυθμένα

Ορίστηκε τύπος αντίστασης κατά Manning με σταθερή τιμή $32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

- Δύναμη Coriolis

Επιλέχθηκε να μην συμπεριληφθεί η δύναμη Coriolis στους υπολογισμούς

- Άνεμος

Ο άνεμος είχε συμπεριληφθεί από την προσομοίωση SW.

- Παγοκάλυψη

Δεν υπήρχε παγοκάλυψη στο πεδίο μας

- Παλίρροιες

Δεν συμπεριλήφθηκε παλίρροια στην προσομοίωση

- Κατακρημνίσεις-εξάτμιση

Δεν λήφθηκαν υπόψη οι κατακρημνίσεις και η εξάτμιση

- Τάσεις ακτινοβολίας

Οι τάσεις ακτινοβολίας λήφθηκαν από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης SW για κάθε χρονικό βήμα.

- Πηγές

Δεν είχαμε πηγές στο πεδίο.

- Κατασκευές

Δεν συμπεριλήφθηκαν κατασκευές στο πεδίο. (Οι κυματοθραύστες είχαν εισαχθεί στο πρόγραμμα στο σημείο της δημιουργίας του πλέγματος)

- Αρχικές συνθήκες

Επιλέχθηκαν σταθερές αρχικές συνθήκες με μηδενική ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας και μηδενικές ταχύτητες u και v .

- Οριακές συνθήκες

Στην ακτογραμμή (στερεό όριο) επιλέχθηκαν οριακές συνθήκες μηδενικής ταχύτητας. Στα ανοιχτά όρια επιλέχθηκε οριακή συνθήκη Flather (1976). Με τη χρήση αυτής της οριακής συνθήκης στα ανοιχτά όρια αποφεύγονται οι αστάθειες στο μοντέλο όταν επιβάλλεται στρωματοποιημένη πυκνότητα στη διεπιφάνεια νερού αέρα.

- Αποτελέσματα

Στα αποτελέσματα επιλέγουμε προσομοίωση της πραγματικής επιφάνειας ύδατος. Ως προς τις παραμέτρους τις οποίες θέλουμε να καταγραφούν στο αρχείο των αποτελεσμάτων επιλέγουμε την ανύψωση της στάθμης του νερού (surface elevation), τις ταχύτητες U και V , τις πυκνότητες ενέργειας P και Q όπως και την ταχύτητα και την διεύθυνση του παράκτιου ρεύματος.

5.3 MIKE 21 Flow Model FM ST

Το MIKE 21 ST είναι ένα υποπρόγραμμα του προγράμματος MIKE 21 το οποίο υπολογίζει τους ρυθμούς στερεομεταφοράς μη συνεκτικού ιζήματος (άμμου). Στο υποπρόγραμμα αυτό υπολογίζονται και λαμβάνονται υπόψη δύο τύποι στερεομεταφοράς. Η στερεομεταφορά φορτίου πυθμένα όπως και η στερεομεταφορά φορτίου σε αιώρηση. Όπως είναι γνωστό από τους Jansen et al (1979), υφίσταται και ένας τρίτος τύπος στερεομεταφοράς, το φορτίο εκπλύσεως. Το MIKE 21 ST δεν υπολογίζει αυτόν τον τύπο φορτίου. Στον υπολογισμό της στερεομεταφοράς το MIKE 21 ST επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει ανάμεσα σε δύο επιλογές προσομοίωσης. Η πρώτη αναφέρεται σε περιοχές που δρουν μόνο ρεύματα χωρίς κυματικά φαινόμενα ενώ η δεύτερη αναφέρεται σε περιοχές στις οποίες δρουν συνδυασμένα κύματα και ρεύματα. Στην παρούσα διπλωματική υφίσταται κυματικό πεδίο το οποίο υπολογίζεται σε κάθε χρονικό βήμα από το MIKE 21 SW ενώ το πεδίο ρευμάτων υπολογίζεται από το

MIKE 21 HD. Το MIKE 21 ST υπολογίζει τα φορτία στερεομεταφοράς ενώ κάνει και μία εκτίμηση για τους αρχικούς ρυθμούς μεταβολής της βυθομετρίας του πυθμένα. Αυτό επαρκεί για τον προσδιορισμό των πιθανών περιοχών διάβρωσης και προσάμμιωσης όμως δεν επαρκεί για την εκτίμηση της πλήρους μορφολογικής εξέλιξης της ακτογραμμής. Η εκτίμηση αυτή θα γίνει στη συνέχεια από το Shoreline Morphology Module.

Το MIKE 21 ST μπορεί να προσομοιώσει σταθερό ή μεταβαλλόμενο ίζημα πυθμένα ανάλογα με την περιοχή. Το μεταβαλλόμενο ίζημα ορίζεται με τη μέση διάμετρο κόκκου καθώς και την διαβάθμιση. Για την συνδυασμένη προσομοίωση κύματος-ρεύματος έχει διαθέσιμες μεθόδους υπολογισμού. Η πρώτη είναι η εφαρμογή ενός ντετερμινιστικού μοντέλου μεταφοράς ιζήματος το οποίο αναπτύχθηκε από την DHI, το STP. Η δεύτερη είναι η μέθοδος μεταφοράς ολικού φορτίου του Bijker. Στη συγκεκριμένη διπλωματική χρησιμοποιήθηκε το ντετερμινιστικό μοντέλο της DHI. Το μοντέλο αυτό δίνει τις εξής δυνατότητες στους υπολογισμούς μας:

- Ανεξάρτητη διεύθυνση της διάδοσης του κυματισμού ως προς το ρεύμα.
- Διαχωρισμός ανάμεσα σε θραυόμενους και μη θραυόμενους κυματισμούς.
- Οι γεωμετρικές ιδιότητες του υλικού του πυθμένα περιγράφονται από μία διάμετρο κόκκου ή μία καμπύλη κατανομής μεγέθους κόκκου.
- Πυθμένας με στρωμάτωση ή με αμμοκυμάτια
- Δυνατότητα χρήσης μεθόδων δισδιάστατης (2DH) ή οιονεί τρισδιάστατης (Q3D) στερεομεταφοράς στην περίπτωση της συνδυασμένης προσομοίωσης κύματος-ρεύματος.
- Κριτήριο ευστάθειας Courant-Friedrichs-Lewy

5.3.1 Πίνακας μεταφοράς ιζήματος

Στην περίπτωση της διπλωματικής μας όπου έχουμε συνδυασμένη δράση κύματος ρεύματος είναι απαραίτητο από το πρόγραμμα να υπολογιστούν οι ρυθμοί στερεομεταφοράς χρησιμοποιώντας γραμμική παρεμβολή σε έναν πίνακα μεταφοράς ιζήματος. Αυτό γίνεται με ένα εργαλείο του MIKE 21 Toolbox, το “Generation of Q3D Sediment Tables”. Η βάση αυτού του εργαλείου είναι ένα οιονεί τρισδιάστατο μοντέλο μεταφοράς ιζήματος και υπολογίζει τη στιγμιαία όπως και την ολοκληρωμένη προς το χρόνο στερεομεταφορά όπως και αντίστοιχα υδροδυναμικά στοιχεία. Αφού το πρόγραμμα υπολογίζει το φορτίο πυθμένα και το φορτίο σε αιώρηση χωριστά, οι τιμές του πίνακα στερεομεταφοράς ο οποίος προκύπτει από το εργαλείο αυτό είναι συνολικό φορτίο.

Η ουσία του οιονεί τρισδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου είναι η λύση της ισορροπίας δυνάμεων κατά μήκος της στήλης νερού:

$$\tau = \rho v_t \left| \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} \right| \quad 5.18$$

Και έτσι προκύπτει η μέση ταχύτητα ροής \bar{U} με ολοκλήρωση.

5.3.2 Παράμετροι του υποπρογράμματος MIKE 21 Flow Model FM ST

Οι παράμετροι του MIKE MIKE 21 Flow Model FM ST παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα:

Ορισμός μοντέλου
Χρονικές παράμετροι
Ιδιότητες ιζήματος
Γενεσιουργά αίτια

Μορφολογία ακτής
Αποτελέσματα

Ακολουθεί μία συνοπτική παρουσίαση για κάθε παράμετρο την οποία χρησιμοποιήσαμε.

- Ορισμός μοντέλου

Στην παρούσα καρτέλα ρυθμίζεται το είδος μοντέλου που θα χρησιμοποιήσουμε για την προσομοίωση. Στην περίπτωση μας πρόκειται για το συνδυασμένο μοντέλο κύματος και ρεύματος. Μπορούμε επίσης να επιλέξουμε μεταβαλλόμενο πάχος στρώματος. Αυτή η επιλογή χρησιμοποιείται σε περιοχές όπου υφίσταται πυθμένας από βράχους δηλαδή σε περιπτώσεις όπου ο πυθμένας δεν διαβρώνεται και έχουμε περιορισμένη μεταφορά ιζήματος. Κάτι τέτοιο δεν είναι αναγκαίο στη δικιά μας περίπτωση. Τέλος σε αυτήν την καρτέλα εισάγεται και ο πίνακας στερεομεταφοράς ο οποίος έχει υπολογιστεί από το MIKE 21 Toolbox.

- Χρονικές παράμετροι

Σε αυτήν την καρτέλα ορίζεται το χρονικό βήμα για το οποίο θα ξεκινήσει να προσομοιώνεται η στερεομεταφορά. Στην δικιά μας περίπτωση ξεκινάει από το πρώτο χρονικό βήμα.

- Ιδιότητες ιζήματος

Σε αυτήν την καρτέλα ορίζονται οι ιδιότητες του ιζήματος της περιοχής μελέτης. Ορίζεται το πορώδες του πυθμένα, το αν είναι σταθερό ή μεταβαλλόμενο, η μέση διάμετρος των κόκκων όπως και ο συντελεστής διαβάθμισης του ιζήματος. Για τη δικιά μας περιοχή και βασισμένοι στα στοιχεία από τις κοκκομετρικές καμπύλες οι οποίες δημιουργήθηκαν για την περιοχή μας ετέθη μέση διάμετρος κόκκων 0.25 mm και συντελεστής διαβάθμισης 1.1.

- Γενεσιουργά αίτια

Σε αυτήν την καρτέλα ορίζονται τα απαραίτητα γενεσιουργά αίτια για να υπολογιστεί η μεταφορά ιζήματος. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιείται το κυματικό πεδίο το οποίο λαμβάνεται από την προσομοίωση του προγράμματος SW.

- Μορφολογία ακτής

Η παράμετρος αυτή είναι ένα ξεχωριστό υποπρόγραμμα το υπολογίζει την μορφολογική εξέλιξη της ακτογραμμής. Είναι το καινούριο χαρακτηριστικό το οποίο συμπεριλαμβάνεται στο MIKE 2017 και μπορεί να υπολογίσει την εξέλιξη της ακτογραμμής σε μη δομημένο τριγωνικό υπολογιστικό πλέγμα. Παρουσιάζεται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

- Αποτελέσματα

Σε αυτήν την καρτέλα επιλέγουμε τα στοιχεία τα οποία θέλουμε να συμπεριληφθούν στο αρχείο αποτελεσμάτων. Τα στοιχεία τα οποία μας ενδιαφέρουν περισσότερο είναι οι συνιστώσες κατά x και y του ολικού φορτίου, ο ρυθμός μεταβολής του πυθμένα, η μεταβολή του πυθμένα σε κάθε χρονικό βήμα, η βαθυμετρία για κάθε χρονικό βήμα, το μέτρο του συνολικού φορτίου καθώς και η διεύθυνση του συνολικού φορτίου.

5.4 MIKE 21 Flow Model FM Shoreline Morphology

Το υποπρόγραμμα Shoreline Morphology συμπεριλήφθηκε στην τελευταία έκδοση του MIKE 2017. Το συγκεκριμένο υποπρόγραμμα μπορεί και προσομοιώνει τη θέση της ακτογραμμής σε κάθε χρονικό βήμα της συζευγμένης προσομοίωσης. Το υποπρόγραμμα συνδυάζει ένα μονοδιάστατο μοντέλο για την ακτογραμμή με δισδιάστατη περιγραφή του κύματος του ρεύματος και του πεδίου στερεομεταφοράς για κάθε χρονικό βήμα. Με αυτό το μοντέλο εξέλιξης ακτογραμμής η επίδραση της στερεομεταφοράς κάθετα στην ακτή εξαλείφεται από τους υπολογισμούς της μορφολογίας της ακτής ολοκληρώνοντας τον όγκο ιζήματος οποίος εναποτίθεται σε κάθε χρονικό βήμα κατά μήκος του μετώπου της ακτής και μεταβάλλοντας τη μορφολογία σύμφωνα με την εξίσωση συνέχειας για την ακτογραμμή με τη χρήση μίας προκαθορισμένης διατομής της ακτής. Επομένως η επίδραση της στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής εξαλείφεται και είναι δυνατόν να γίνει μακροπρόθεσμη πρόβλεψη της εξέλιξης της ακτογραμμής.

Η μορφολογική εξέλιξη συμπεριλαμβάνεται μεταβάλλοντας την βαθυμετρία σε κάθε χρονικό βήμα με την καθαρή εναπόθεση ιζήματος. Έτσι διασφαλίζεται μία σταθερή εξέλιξη του πυθμένα η οποία δεν θα αποσταθεροποιήσει την υδροδυναμική προσομοίωση. Άρα:

$$Z^{n+1} = Z^n + \Delta z^n \quad 5.19$$

Όπου:

Z^n = στάθμη βαθυμετρίας στο τρέχον χρονικό βήμα

Z^{n+1} = στάθμη βαθυμετρίας στο ακόλουθο χρονικό βήμα

Δz^n = καθαρή εναπόθεση ιζήματος στο παρόν χρονικό βήμα

z = χρονικό βήμα

μπορεί επίσης να οριστεί συντελεστής επιτάχυνσης της εξέλιξης της βαθυμετρίας του πυθμένα, ήτοι

$$Z^{n+1} = Z^n + \Delta z^n \cdot Speedup \quad 5.20$$

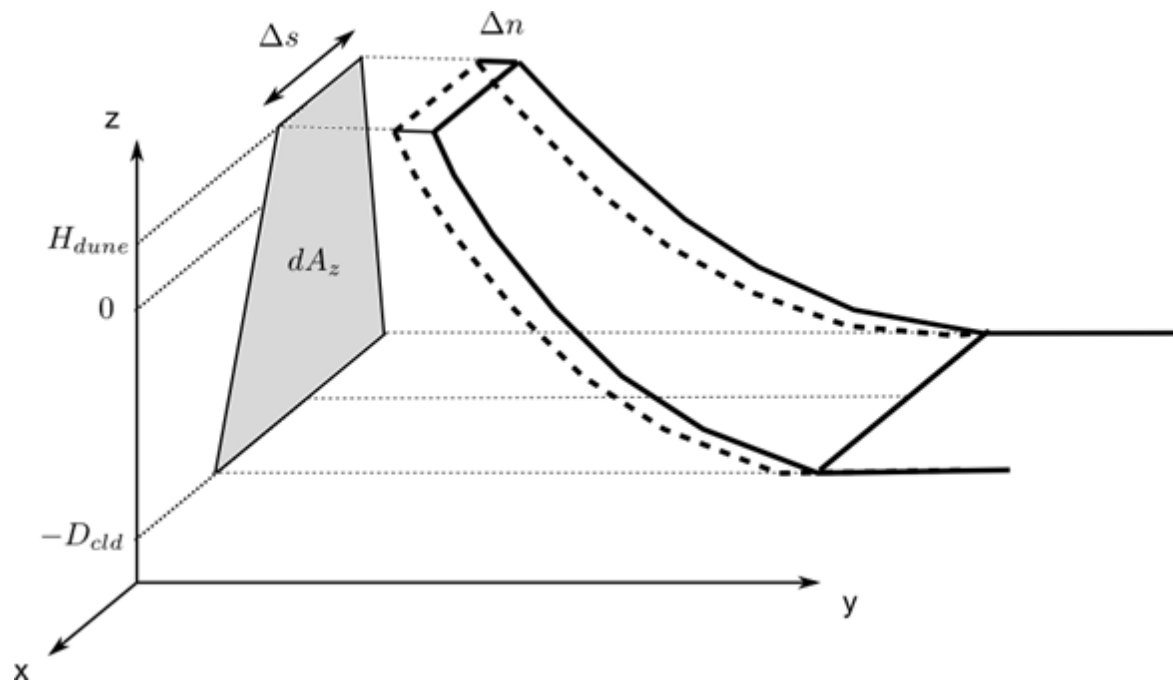
Όπου ο Speedup είναι συντελεστής επιτάχυνσης. Σε αυτήν την περίπτωση δεν επηρεάζεται η ποσότητα του ιζήματος σε αιώρηση. Επηρεάζεται μόνο ο πυθμένας.

Στο μοντέλο λύνεται μία τροποποιημένη μορφή της μονοδιάστατης εξίσωσης για την ακτογραμμή (Kaergaard and Fredsoe, 2013)

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -\frac{vol}{dA_z} \quad 5.21$$

Όπου Δn είναι η απόσταση μετακίνησης της ακτογραμμής κάθετα στον προσανατολισμό της, Δt είναι το χρονικό βήμα, vol είναι ο όγκος του ιζήματος το οποίο εναποτίθεται στο μέτωπο της ακτής και dA_z είναι η προβολή της περιοχής της διατομής του μετώπου της ακτής σε ένα επίπεδο το οποίο ορίζεται από την άκρη της ακτογραμμής και τον κατακόρυφο άξονα, βλέπε ακόλουθο σχήμα. Το εμβαδόν του dA_z είναι η επιφάνεια πάνω στην οποία κατανέμεται ο όγκος του ιζήματος, μεταβάλλοντας έτσι την ακτογραμμή. Εάν η ακτογραμμή έχει καμπύλες, η χρήση της παραπάνω εξίσωσης θα προκαλέσει

προβλήματα διατήρησης του ιζήματος. Αυτά τα προβλήματα εξαλείφονται με τη χρήση επαναληπτικής διαδικασίας. Η διεύθυνση μετακίνησης της ακτογραμμής είναι πάντα κάθετη στον προσανατολισμό μίας τοπικής γραμμής βάσης η οποία ορίζεται από το χρήστη.



Σχήμα 5.1. Σκαρίφημα διατομής μετώπου ακτής με ορισμό των παραμέτρων οι οποίες χρησιμοποιούνται στο μοντέλο.

Το μοντέλο μορφολογίας ακτής μπορεί να εφαρμοστεί σε προσομοιώσεις μεγάλης χρονικής κλίμακας. Αυτό καθίσταται δυνατόν λόγω των απλοποιήσεων οι οποίες επιβάλλονται στην εξέλιξη της διατομής της ακτής. Η εξέλιξη της ακτογραμμής είναι βασισμένη αποκλειστικά στο υπολογισμένο πεδίο στερεομεταφοράς από το προηγούμενο υποπρόγραμμα. Οι επιδράσεις των παράκτιων κατασκευών στην εξέλιξη της ακτογραμμής περιλαμβάνονται εγγενώς στο μοντέλο αυτό διότι η επίδραση των κατασκευών στα κύματα και στα ρεύματα συμπεριλαμβάνεται στις προηγούμενες προσομοιώσεις.

5.4.1 Παράμετροι του υποπρογράμματος MIKE 21 Flow Model FM Shoreline Morphology

Για την επιτυχή προσομοίωση του μοντέλου πρέπει να οριστούν κάποιες παράμετροι. Αυτές παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα

Τεχνική επίλυσης
Γραμμή βάσης
Ακτογραμμή
Χάρτης άκρου
Διατομή
Αρχικές συνθήκες
Αποτελέσματα

Ακολουθεί μία συνοπτική παρουσίαση για κάθε παράμετρο την οποία χρησιμοποιήσαμε.

- Τεχνική επίλυσης

Εδώ ορίζεται η ανοχή και ο αριθμός των επαναλήψεων οι οποίες θα γίνουν για να εξαλειφθεί η στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής. Επίσης μπορούμε να επιλέξουμε να ληφθεί υπόψη ο όγκος του ιζήματος ο οποίος κινείται εκτός του άκρου που έχουμε ορίσει εμείς. Επιλέγουμε όριο ανοχής 0.001 m^3 και μέγιστο αριθμό επαναλήψεων τις 100, δηλαδή τις προεπιλεγμένες τιμές του προγράμματος.

- Γραμμή βάσης

Η γραμμή βάσης προσδιορίζει την κατεύθυνση κατά την οποία μπορεί να κινηθεί η ακτογραμμή κατά την εξέλιξη της. Η γραμμή βάσης παραμένει σταθερή σε όλα τα χρονικά βήματα. Ο τρόπος που ορίζουμε τη γραμμή βάσης περιγράφεται στη συνέχεια.

- Ακτογραμμή

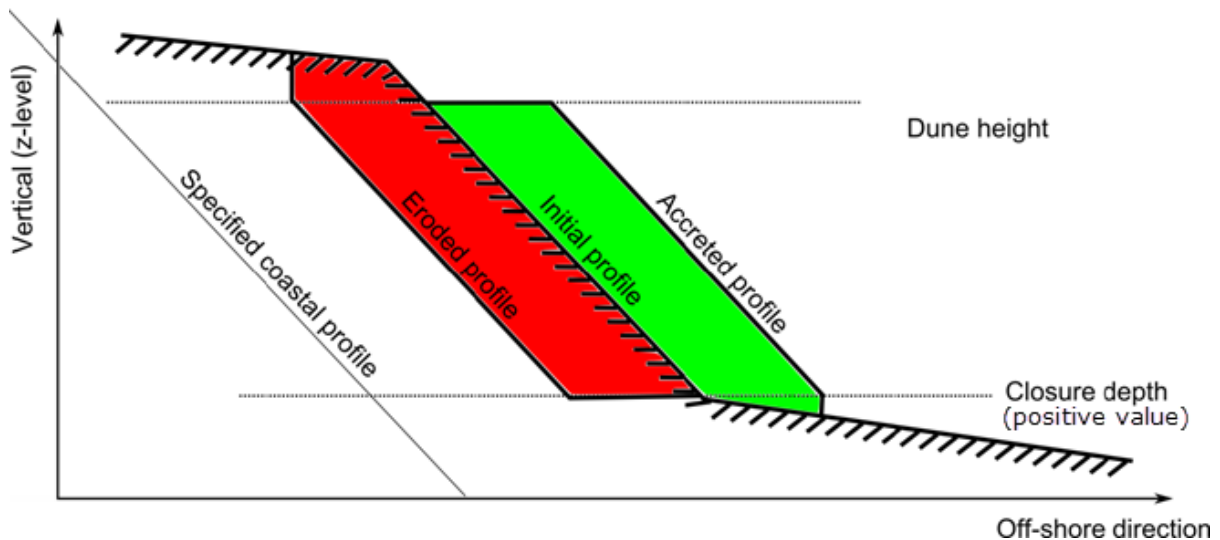
Η ακτογραμμή ορίζει την αρχική θέση από την οποία το πρόγραμμα θα ξεκινήσει να υπολογίζει που έχουμε διάβρωση και που απόθεση. Η ακτογραμμή θα πρέπει να βρίσκεται παράλληλα από την γραμμή βάση και προς τη μεριά του νερού. Ο τρόπος που ορίζουμε τη γραμμή βάσης περιγράφεται στη συνέχεια.

- Χάρτης άκρου

Ο χάρτης άκρου ορίζει σε ποια περιοχή ελέγχου της ακτογραμμή ανήκει η κάθε διατομή. Στην ουσία κάθε διατομή ορίζει μία περιοχή στην οποία ο όγκος του ιζήματος ο οποίος εναποτίθεται σε αυτήν θα συμβάλει στη μεταβολή της ακτογραμμής. Ο τρόπος που ορίζεται ο χάρτης άκρου περιγράφεται στη συνέχεια.

- Διατομή

Η διατομή ορίζει την αντιπροσωπευτική κάθετη στην ακτή διατομή η οποία κινείται ανάλογα με τη μορφολογική εξέλιξη της ακτογραμμής. Η διατομή ορίζει και τη βαθυμετρία στην περιοχή ελέγχου της. Μία διατομή στο πρόγραμμα ορίζεται από το μήκος της και τη βαθυμετρία. Το πρώτο σημείο της διατομής πρέπει πάντα να βρίσκεται στην ξηρά και το τελευταίο σημείο της εντός του χάρτη άκρου και μέσα στο νερό. Όταν η ακτή διαβρώνεται, το βάθος της διατομής θα αυξηθεί αντίστοιχα αλλά δεν θα αυξηθεί περισσότερο από το βάθος τερματισμού το οποίο έχουμε θέσει εμείς. Όταν μία ακτή εμφανίζει προσάμμωση το βάθος της διατομής θα μειωθεί αντίστοιχα αλλά δεν θα μειωθεί περισσότερο από το ύψος της αμμοθίνας το οποίο έχουμε θέσει εμείς. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται η αναπαράσταση αυτή. Ο τρόπος ορισμού της διατομής περιγράφεται στη συνέχεια.



Σχήμα 5.2. Σκαρίφημα διατομής με επίδραση στις παραμέτρους διατομής κατά τη διάρκεια μορφολογικής εξέλιξης Πηγή (MIKE 21 Flow Model FM Sand Transport Module, incl. Shoreline Morphology, DHI, 2017)

- Αρχικές συνθήκες

Μπορούμε εάν έχουμε στοιχεία να συνεχίσουμε τη μορφολογική εξέλιξη χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα μίας προηγούμενης προσομοίωσης. Επίσης μπορούμε να εφαρμόσουμε αρχικές συνθήκες για τη συνολική εκροή ιζήματος. Έτσι μπορεί η εκροή ιζήματος από το τελευταίο χρονικό βήμα της προηγούμενης προσομοίωσης να χρησιμοποιηθεί ως εισροή στην καινούρια προσομοίωση. Εμείς στην παρούσα διπλωματική επιλέγουμε μηδενικές αρχικές συνθήκες.

5.5 Παράμετροι χρήσης του μοντέλου

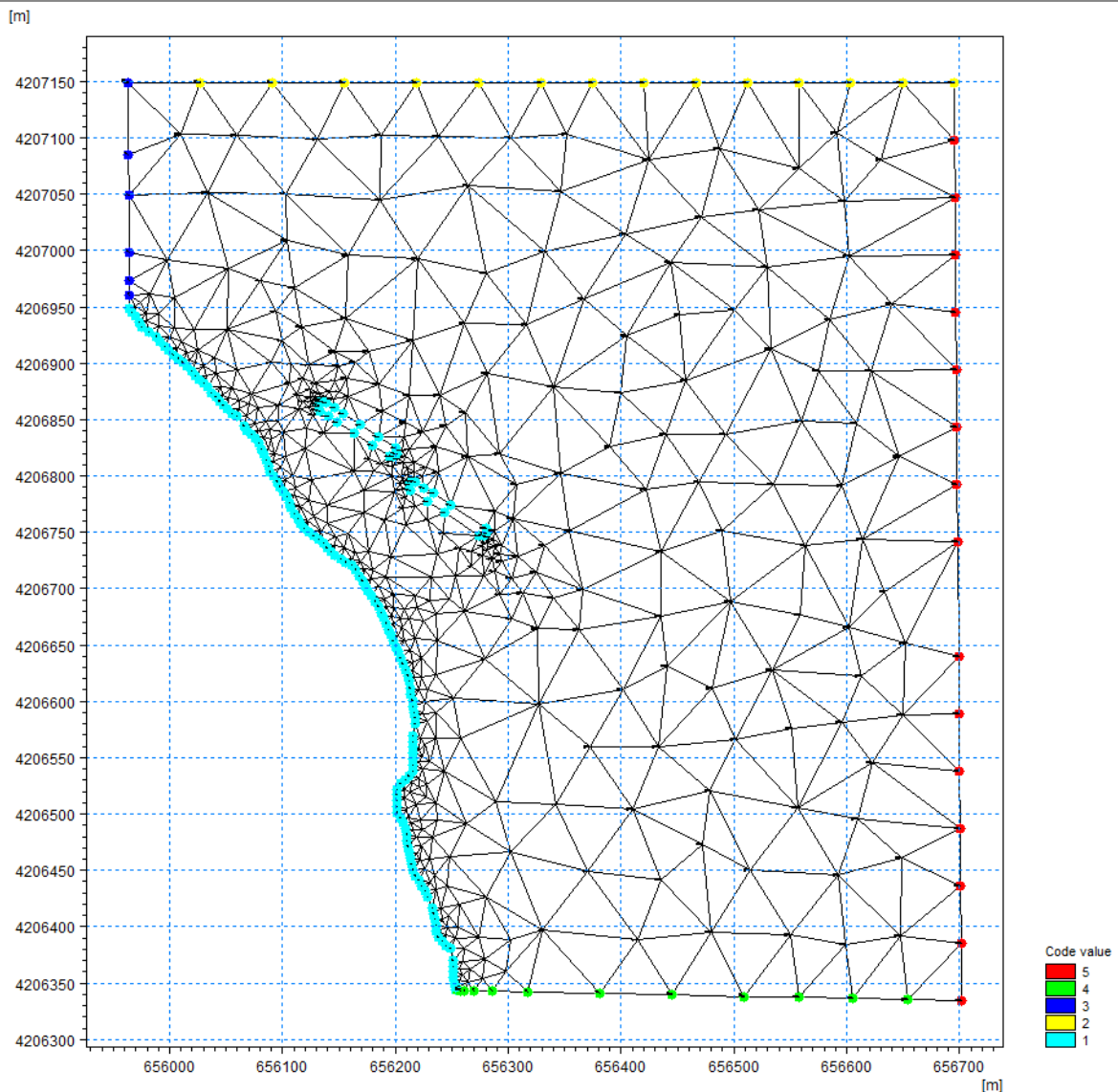
Στις προηγούμενες ενότητες παρουσιάστηκαν τα προγράμματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της περιοχής μελέτης. Πριν την διαδικασία προσομοίωσης όμως απαιτείται ο ορισμός κάποιων πρόσθετων αλλά πολύ βασικών παραμέτρων για την προσομοίωση. Αυτά είναι:

- Ορισμός βαθυμετρίας και μη δομημένου υπολογιστικού πλέγματος
- Πίνακες στερεομεταφοράς (Mike ST)
- Ορισμός γραμμής βάσης, ακτογραμμής, διατομών, χάρτη άκρου (Shoreline Module)

Το πρώτο και πιο σημαντικό βήμα για τη σωστή προσομοίωση της περιοχής είναι η σωστή αποτύπωση στο πρόγραμμα της βαθυμετρίας της περιοχής μελέτης. Όσο καλύτερη είναι η αποτύπωση της τόσο καλύτερα θα είναι τα αποτελέσματα τα οποία θα λάβουμε από το πρόγραμμα. Στην ακόλουθη ενότητα παρουσιάζεται αναλυτικά με σχήματα η εισαγωγή της βαθυμετρίας της περιοχής στο πρόγραμμα.

5.5.1 Μη δομημένο υπολογιστικό πλέγμα-βαθυμετρία

Η βαθυμετρία της περιοχής μελέτης ήταν διαθέσιμη σε τοπογραφικό διάγραμμα με γεωαναφορά σε ΕΓΣΑ 87. Το τοπογραφικό διάγραμμα αυτό εξήχθη με τη χρήση του Autocad σε μορφή εικόνας και στη συνέχεια του εργαλείου Image Rectifier έγινε γεωαναφορά της εικόνας αυτής για να χρησιμοποιηθεί εντός του MIKE ZERO. Στη συνέχεια μέσω του υποπρογράμματος Bathymetries επιλέχθηκε το σύστημα συντεταγμένων της αναφοράς όπως και η έκταση του πεδίου μελέτης. Με τη χρήση της επιλογής Background management του προγράμματος εισήχθη η εικόνα με την βαθυμετρία. Με τις επιλογές Add Land/Water polygons εισήχθη η ακτογραμμή και στη συνέχεια με τη χρήση της επιλογής Add Contours εισήχθησαν οι ισοβαθείς με βάση την εικόνα. Εδώ έγινε πολύ προσεκτική εισαγωγή των ισοβαθών καθώς αποτελεί κύριο στοιχείων όλων των προσομοιώσεων οι οποίες θα πραγματοποιηθούν. Στη συνέχεια και μέσω του προγράμματος Mesh Editor δημιουργήσαμε τα ανοιχτά όρια της περιοχής μελέτης όπως και την ακτογραμμή. Δημιουργήθηκαν τέσσερα διαφορετικά ανοιχτά όρια για την ταυτόχρονη δράση όλων των ισοδύναμων κυματισμών στην προσομοίωση αργότερα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα για τις περιοχές ανάμεσα σε δύο ισοβαθείς χρησιμοποιεί μέθοδο χωρικής παρεμβολής. Εδώ έχουμε να επιλέξουμε ανάμεσα σε απλή γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις δύο ισοβαθείς και την παρεμβολή φυσικής γειννίαςσης. Επιλέγουμε την παρεμβολή φυσικής γειννίαςσης ώστε η αλλαγή κελιού στο πλέγμα να μην δεσμεύει τη βαθυμετρία. Επίσης το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα της σύγκλισης του πλέγματος στην παράκτια περιοχή που άλλωστε είναι και αυτή που εμφανίζει το κύριο ενδιαφέρον, όπως και γύρω από τους κυματοθραύστες. Στα ακόλουθα σχήματα φαίνεται το μη δομημένο υπολογιστικό πλέγμα το οποίο δημιουργήθηκε για την περιοχή μας όπως και η τελική βαθυμετρία έτσι όπως εισήχθη στο πρόγραμμα.



Σχήμα 5.3. Αποτύπωση του μη δομημένου υπολογιστικού πλέγματος το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση. Παρατηρούμε την πύκνωση του πλέγματος στα σημεία ενδιαφέροντος, όπως και τα διαφορετικά ανοιχτά όρια τα οποία ετέθησαν για την αναλυτικότερη προσομοίωση.

5.5.2 Πίνακας στερεομεταφοράς

Στην παρούσα διπλωματική στο μοντέλο στερεομεταφοράς χρησιμοποιήθηκε η επιλογή της συνδυασμένης δράσης ρεύματος και κύματος. Όπως προαναφέρθηκε έπρεπε να δημιουργηθεί ο πίνακας στερεομεταφοράς. Αυτό γίνεται με την χρήση του MIKE 21 Toolbox και πιο συγκεκριμένα της επιλογής Generation of Q3d Sediment Tables. Έτσι υπολογίζονται οι ρυθμοί στερεομεταφοράς υπό τη δράση κυμάτων και ρευμάτων. Το πρόγραμμα υπολογίζει τους ρυθμούς στερεομεταφοράς ολικού φορτίου σε δύο διευθύνσεις, κάθετα και παράλληλα στην ακτή, αφού εμείς ορίσουμε κάποιες γενικές παραμέτρους βασιζόμενοι στο πεδίο μας. Αυτές είναι:

- Ανοχή στον υπολογισμό της συγκέντρωσης (ετέθη 10^{-3})
- Μέγιστος αριθμός κυματικών περιόδων (ετέθη 200)
- Βήματα ανά περίοδο κύματος (ετέθη 140)

- Σχετική πυκνότητα του ιζήματος (ετέθη 2.65)
- Κρίσιμη τιμή της παραμέτρου Shields (ετέθη 0.05)
- Θερμοκρασία ύδατος (ετέθη 15⁰C)

Ενώ οι πρόσθετες παράμετροι οι οποίες πρέπει να οριστούν είναι οι εξής:

- Φαινόμενο αμμοκυματίων (επιλέξαμε να συμπεριληφθεί)
- Κλίση πυθμένα (επιλέξαμε να αγνοηθεί)
- Συγκέντρωση πυθμένα (επιλέξαμε ντετερμινιστική προσέγγιση)
- Δράση ρευμάτων (επιλέξαμε να συμπεριληφθεί)
- Μεταφορά κατά μήκος του ρεύματος (επιλέξαμε να συμπεριληφθεί)
- Φυγόκεντρος επιτάχυνση (επιλέξαμε να αγνοηθεί)

Τέλος πρέπει να ορίσουμε εμείς τη θεωρία κυματισμών η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή της μεταβαλλόμενης στο χρόνο ταχύτητας κοντά στον πυθμένα όπως και τις τιμές των παραμέτρων των θραυόμενων κυματισμών. Οι διαθέσιμες θεωρίες είναι οι εξής:

Κλασσικές μη γραμμικές θεωρίες

- Θεωρία Stokes 1^{ης}, 3^{ης}, 5^{ης} τάξεως (1985)
- Θεωρία Cnoidal 1^{ης}, 3^{ης}, 5^{ης} τάξεως (1990)
- Θεωρία Voicoidal (1982)

Αυτές οι θεωρίες εφαρμόζονται για μη θραυόμενους κυματισμούς και είναι κατάλληλες για όλα τα βάθη νερών (βαθεία, ενδιάμεσα, ρηχά)

Ημι-εμπειρικές θεωρίες

- Isobe and Horikawa (1982), κατάλληλη για όλα τα βάθη νερού για αμφοτέρους θραυόμενους και μη θραυόμενους κυματισμούς.
- Doering and Bowen (1995), κατάλληλη για όλα τα βάθη νερού για αμφοτέρους θραυόμενους και μη θραυόμενους κυματισμούς.

Εμείς επιλέξαμε τη θεωρία Doering και Bowen (1995) η οποία είναι η πιο σύγχρονη από όλες κρίθηκε κατάλληλη για το πεδίο μελέτης εφόσον έχουμε θραυόμενους και μη θραυόμενους κυματισμούς.

Το τελευταίο βήμα είναι να ορίσουμε εμείς τους άξονες του πίνακα στερεομεταφοράς, δηλαδή την πρώτη τιμή, την απόσταση και τον αριθμό σημείων για κάθε άξονα του πίνακα. Στον πίνακα συμπεριλαμβάνονται οι ακόλουθες παράμετροι:

- Ταχύτητα ρεύματος (τέθηκαν τα εξής: πρώτη τιμή 0.05, απόσταση 0.4 και αριθμός σημείων 15)
- Ύψος κύματος/βάθος (τέθηκαν τα εξής: πρώτη τιμή 0.01, απόσταση 0.1 και αριθμός σημείων 15)
- Ύψος κύματος (τέθηκαν τα εξής: πρώτη τιμή 0.1, απόσταση 0.5 και αριθμός σημείων 20)
- Περίοδος κύματος (τέθηκαν τα εξής: πρώτη τιμή 5, απόσταση 7 και αριθμός σημείων 5)
- Γωνία ανάμεσα στα κύματα και τα ρεύματα (τέθηκαν τα εξής: πρώτη τιμή 0, απόσταση 30 και αριθμός σημείων 12)
- Μέγεθος κόκκου (τέθηκαν τα εξής: πρώτη τιμή 0.15, απόσταση 4 και αριθμός σημείων 5)

- Διαβάθμιση ιζήματος (τέθηκαν τα εξής: πρώτη τιμή 1.1, απόσταση 0.150 και αριθμός σημείων 5)
- Κλίση πυθμένα (ορίζεται από το πρόγραμμα ανάλογα με το τι έχουμε επιλέξει στις παραμέτρους)

Αυτή είναι η διαδικασία υπολογισμού του πίνακα στερεομεταφοράς. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που σε κάποιο χρονικό βήμα κάποια παράμετρος από αυτές τεθεί εκτός ορίων το πρόγραμμα εμφανίζεται προειδοποίηση στο πρόγραμμα και λαμβάνεται η μέγιστη ή η ελάχιστη τιμή ανάλογα με το εάν υπερβαίνεται το άνω όριο ή το κάτω όριο τιμών τα οποία έχουν τεθεί. Εξαιρέση αποτελούν οι παράμετροι των κόκκων ιζήματος όπως και της διαβάθμισης, όπου σε περίπτωση υπέρβασης των τιμών το πρόγραμμα σταματάει και δεν συνεχίζεται η προσομοίωση.

5.5.2 Παράμετροι του μοντέλου εξέλιξης ακτογραμμής

Όπως προαναφέρθηκε στην παρούσα διπλωματική έγινε προσομοίωση της εξέλιξης της ακτογραμμής με τη χρήση του Shoreline Morphology. Για τη σωστή λειτουργία του έπρεπε να οριστούν κάποιες παράμετροι στο πρόγραμμα για να λειτουργήσει σωστά το μοντέλο εξέλιξης ακτογραμμής. Αυτές οι παράμετροι είναι η γραμμή βάσης, η ακτογραμμή, ο χάρτης άκρου και η τυπική διατομή. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο ορίζονται μέσω του προγράμματος Mesh Editor.

- Γραμμή Βάσης (Baseline)

Η γραμμή βάσης σχεδιάζεται μέσω της εντολής draw arc του προγράμματος. Η γραμμή βάσης πρέπει να είναι παράλληλη στην ισοβαθή των 0 m και να τοποθετηθεί προς την ξηρά. Η γραμμή βάσης αποτελείται από πολλούς κόμβους. Κάθε τμήμα της γραμμής βάσης ανάμεσα σε δύο κόμβους περιέχει μία τυπική διατομή η οποία χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξέλιξης της ακτογραμμής. Μπορούμε να επιλέξουμε εμείς τον αριθμό των κόμβων οι οποίοι θα χωρίζουν την γραμμή βάσης σε ίσα τμήματα. Μεγάλος αριθμός κόμβων οδηγεί σε αύξηση του χρόνου προσομοίωσης όπως και πιο λεπτομερή αποτελέσματα ενώ μικρός αριθμός κόμβων οδηγεί σε μείωση του χρόνου προσομοίωσης. Για να γίνει κατανοητό από το πρόγραμμα ότι η γραμμή η οποία σχεδιάστηκε είναι η γραμμή βάσης τίθεται μέσω των ιδιοτήτων της γραμμής ο αριθμός 100 για χαρακτηριστικό της γραμμής.

- Ακτογραμμή (Coastline)

Η ακτογραμμή σχεδιάζεται και αυτή μέσω της εντολής draw arc. Η ακτογραμμή πρέπει να συμπίπτει με την ισοβαθή των 0 m έτσι όπως έχει οριστεί από τη βαθυμετρία. Επίσης η αρχή και το τέλος της ακτογραμμής πρέπει να είναι εκτός των ορίων αρχής και τέλους της γραμμής βάσης. Για να γίνει κατανοητό από το πρόγραμμα ότι η γραμμή η οποία σχεδιάστηκε είναι η ακτογραμμή τίθεται μέσω των ιδιοτήτων της γραμμής ο αριθμός 110 για χαρακτηριστικό της γραμμής. Στη συνέχεια με την εντολή manage shoreline data και την υποεντολή modify coastline arc δημιουργούνται οι κόμβοι στην ακτογραμμή. Ο κάθε κόμβος στην ακτογραμμή βρίσκεται στο μέσο της απόστασης ανάμεσα σε δύο κόμβους της γραμμής βάσης. Επομένως η ακτογραμμή και η γραμμή βάσης έχουν τον ίδιο αριθμό κόμβων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αριθμός των κόμβων ο οποίος επιλέγεται για τη γραμμή βάσης και κατ'επέκταση για την ακτογραμμή πρέπει να είναι τέτοιος ώστε οι κάθετες στην γραμμή βάσης διατομές

να μην τέμνονται μεταξύ τους διότι έτσι θα εμφανιστεί σφάλμα στην προσομοίωση της εξέλιξης της ακτογραμμής.

- Χάρτης άκρου (Edge map)

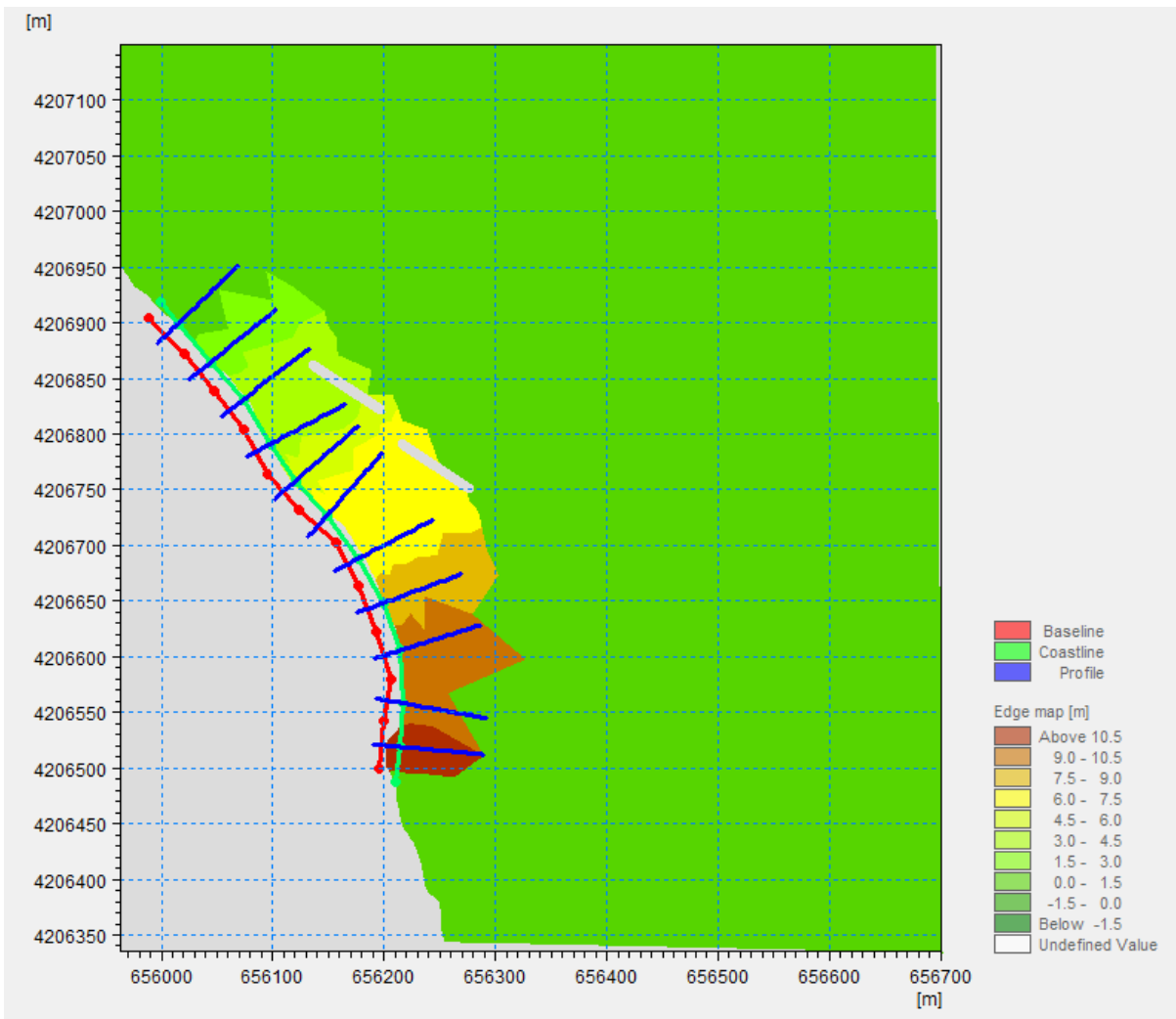
Ο χάρτης άκρου ορίζεται πάνω σε μία ισοβαθή της επιλογής μας. Στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε η ισοβαθής των 9 μέτρων η οποία περικλείει και τους κυματοθραύστες μέσα στο πεδίο μας. Σχεδιάζεται μία γραμμή όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις με τη χρήση της εντολής draw arc. Για να γίνει κατανοητό από το πρόγραμμα ότι η γραμμή η οποία σχεδιάστηκε είναι η ακτογραμμή τίθεται μέσω των ιδιοτήτων της γραμμής ο αριθμός 120 για χαρακτηριστικό της γραμμής. Στη συνέχεια και με την εντολή Create Edge Map δημιουργείται ο χάρτης άκρου.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η προσέγγιση του προγράμματος είναι ότι ανάμεσα σε δύο κόμβους της ακτογραμμής θεωρείται μία περιοχή ελέγχου η οποία επηρεάζει τη θέση της ακτογραμμής μέσω της μετακίνησης του κόμβου της ακτογραμμής.

- Διατομή

Ο ορισμός των διατομών γίνεται από την εντολή Manage Profiles. Η διατομή πρέπει να ξεκινάει πάντα μέσα στην χερσαία ζώνη και να τελειώνει μέσα στο νερό. Εμείς ορίζουμε το μήκος της διατομής όπως και τον αριθμό των σημείων στη διατομή. Μεγαλύτερος αριθμός σημείων έχει ως αποτέλεσμα αναλυτικότερη περιγραφή της βαθυμετρίας και αυξημένο χρόνο προσομοίωσης ενώ μικρότερος αριθμός σημείων έχει ως αποτέλεσμα λιγότερο αναλυτική περιγραφή της βαθυμετρίας αλλά μικρότερο χρόνο προσομοίωσης. Σημειώνεται ότι μπορούν να οριστούν παραπάνω από μία διατομή για την καλύτερη περιγραφή της βαθυμετρίας στην περιοχή ελέγχου. Στην δικιά μας περίπτωση ετέθη μία μόνο τυπική διατομή για όλη την περιοχή μελέτης.

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται η περιοχή μελέτης με τη γραμμή βάσης, την ακτογραμμή, τον χάρτη άκρου όπως και τις διατομές.



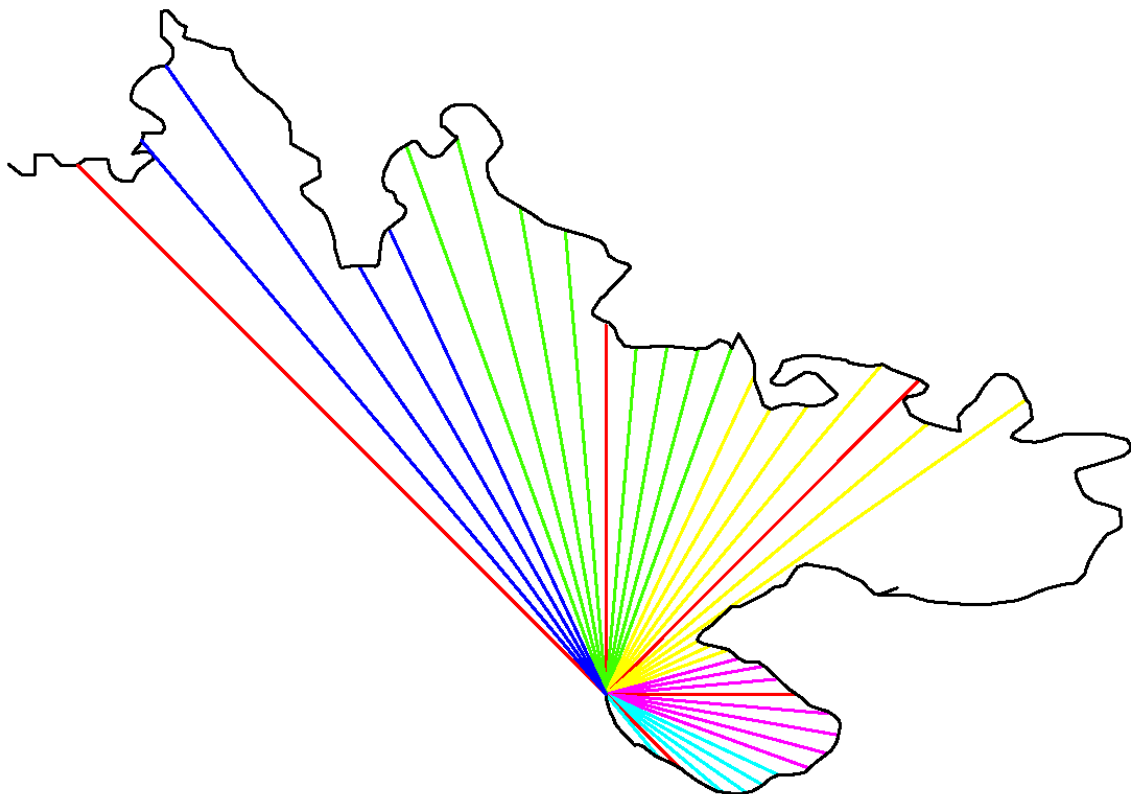
Σχήμα 5.4. Περιοχή μελέτης με ορατές όλες τις παραμέτρους του μοντέλου Shoreline Morphology.

6. Σενάρια Προσομοίωσης

Στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε προσομοίωση του πεδίου κυμάτων, ρευμάτων, στερεομεταφοράς και εξέλιξης ακτογραμμής με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη προσέγγιση ήταν ο διαρκώς μεταβαλλόμενος άνεμος ο οποίος προέκυψε από τις παρατηρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού του Ισθμού για τις περιόδους 2009-2014 και από τις παρατηρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού του Κιάτου για τις περιόδους 2015-2016. Οι παρατηρήσεις αυτές, ανά δέκα λεπτά, ελήφθησαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Λόγω του μεγάλου αριθμού των παρατηρήσεων οι οποίες διατέθηκαν έγινε εκλογή ανά δώδεκα ώρες των ανέμων επιλέγοντας τα εξάωρα στα οποία εμφανιζόντουσαν οι ακραίες τιμές ανέμων. Η δεύτερη προσέγγιση ήταν η συνήθης προσέγγιση ισοδύναμου κυματικού κλίματος. Δηλαδή για κάθε μία από τις διευθύνσεις πνοής (B, A, N, Δ) έγινε υπολογισμός του ισοδύναμου κυματισμού και στη συνέχεια εισήχθησαν αυτά τα ισοδύναμα κύματα στο μοντέλο ως οριακές συνθήκες.

6.1 Δεδομένα ανέμων και ισοδύναμοι κυματισμοί

Για μεγαλύτερη ακρίβεια έγινε υπολογισμός των ανεμολογικών στοιχείων μετά από στατιστική ανάλυση των παρατηρήσεων των οποίων είχαμε στη διάθεσή μας και στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα ενεργά αναπτύγματα ανέμων σε κάθε κύρια διεύθυνση με περιοχή ευθύνης 45 μοιρών εκατέρωθεν της κύριας διεύθυνσης ανά 5°.



Σχήμα 6.1. Υπολογισμός των ενεργών αναπτυγμάτων ανέμων ανά 5⁰ στο Autocad.

Μετά χρησιμοποιώντας τις σχέσεις από SMB, υπολογίστηκαν οι κυματικές παράμετροι για κάθε διεύθυνση ανέμου, καθώς και οι συχνότητες εμφάνισης. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους ακόλουθους πίνακες για τις κύριες διευθύνσεις.

direction: N eff.FETCH = 30.7168 km

Ua (Beauf)	Dua (%)	minD (hr)	Ho (m)	T (sec)	Lo (m)
1	1.212	11.921	0.065	1.063	1.764
2	0.995	7.252	0.206	1.833	5.245
3	0.809	5.295	0.427	2.615	10.678
4	0.123	4.049	0.785	3.525	19.401
5	0.002	0.175	0.22	1.688	4.449

Πίνακας 6.1. Χαρακτηριστικά κυματισμών για τον Βόρειο Άνεμο

direction : E eff.FETCH = 13.7446 km

Ua (Beauf)	Dua (%)	minD (hr)	Ho (m)	T (sec)	Lo (m)
1	2.086	5.906	0.058	0.984	1.513
2	3.123	3.778	0.165	1.627	4.131
3	4.556	2.813	0.323	2.262	7.986
4	0.83	2.172	0.576	2.994	13.996
5	0.004	0.35	0.322	2.104	6.911

Πίνακας 6.2. Χαρακτηριστικά κυματισμών για τον Ανατολικό Άνεμο

direction : S eff.FETCH = 0.64600003km

Ua (Beauf)	Dua (%)	minD (hr)	Ho (m)	T (sec)	Lo (m)
1	3.026	0.51	0.023	0.596	0.555
2	2.051	0.351	0.052	0.883	1.218
3	0.95	0.269	0.095	1.162	2.109
4	0.32	0.21	0.164	1.487	3.45
5	0.01	0.183	0.225	1.711	4.569

Πίνακας 6.3. Χαρακτηριστικά κυματισμών για τον Νότιο Άνεμο

direction : W eff.FETCH = 1.8443 km

Ua (Beauf)	Dua (%)	minD (hr)	Ho (m)	T (sec)	Lo (m)
1	2.39	1.154	0.034	0.731	0.834
2	0.652	0.786	0.079	1.112	1.93
3	0.074	0.598	0.146	1.481	3.424

Πίνακας 6.4. Χαρακτηριστικά κυματισμών για τον Δυτικό Άνεμο

Παρατηρούμε ότι στις διευθύνσεις Νότου και Δύσης το ενεργό ανάπτγμα είναι πολύ μικρό και αυτό λόγω της μορφολογίας της περιοχής μας. Επομένως αναμένουμε πολύ μικρούς ισοδύναμους κυματισμούς σε αυτές τις δύο διευθύνσεις.

Ο υπολογισμός των ισοδύναμων κυματισμών ακολούθησε στη συνέχεια για κάθε διεύθυνση ανέμου. Πιο συγκεκριμένα υπολογίστηκε η αντιπροσωπευτική περίοδος T_e για κάθε κύρια διεύθυνση πνοής και στη συνέχεια υπολογίστηκε το ύψος του ισοδύναμου κυματισμού: (Borah and Ballofet, 1985)

$$T_e = \frac{\sum T_i f_i}{\sum f_i}$$

$$H_e^2 T_e = \frac{\sum H_i^2 T_i f_i}{\sum f_i}$$

Όπου H_i είναι τα ύψη κύματος, T_i οι περίοδοι κύματος και f_i η συχνότητα εμφάνισης κυματισμών. Τα χαρακτηριστικά των ισοδύναμων κυματισμών ανά διεύθυνση πνοής παρατίθενται παρακάτω:

ΒΟΡΕΙΟΣ	$T_e =$	1.8034s	$H_e =$	0.3604m
ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ	$T_e =$	1.8806s	$H_e =$	0.3203m
ΝΟΤΙΟΣ	$T_e =$	0.8197s	$H_e =$	0.0752m
ΔΥΤΙΚΟΣ	$T_e =$	0.8285s	$H_e =$	0.0586m

Πίνακας 6.5. Χαρακτηριστικά ισοδύναμων κυματισμών ανά διεύθυνση πνοής ανέμων

6.2 Διαρκώς μεταβαλλόμενος άνεμος

Το δεύτερο σενάριο προσομοίωσης πραγματοποιήθηκε με την χρήση χρονοσειράς πραγματικών καταγραφών δεκάλεπτων παρατηρήσεων ανέμων στην περιοχή μελέτης. Οι παρατηρήσεις αυτές αφορούσαν τον μετεωρολογικό σταθμό Ισθμού για την περίοδο 2009-2015 ενώ για την περίοδο 2015-2016 χρησιμοποιήθηκαν οι παρατηρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού Κιάτου. Το σύνολο των παρατηρήσεων ήταν υπερβολικά μεγάλο για να μπορέσει να προσομοιωθεί σε πραγματικό χρόνο. Επομένως επιλέχθηκε η διαλογή των παρατηρήσεων. Επιλέξαμε να γίνει διαλογή ανά δώδεκα ώρες των μεταβαλλόμενων ανέμων. Έτσι καταλήξαμε σε μία χρονοσειρά 6575 χρονικών βημάτων με καταγραφές ανέμων ανά δώδεκα ώρες. Το χρονικό βήμα στο πρόγραμμα ετέθη ίσο με 43200 sec. Οι παρατηρήσεις οι οποίες μας δόθηκαν ήταν η ταχύτητα του ανέμου και η διεύθυνση του ανέμου.

6.3 Σενάρια αριθμητικής προσομοίωσης με το πρόγραμμα MIKE 21

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα σενάρια τα οποία προσομοιώθηκαν με τις παραμέτρους οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για το εκάστοτε σενάριο. Στο σενάριο 1

Σενάριο	Υποσενάριο	Γενεσιουργός δύναμη	Ίζημα
Σ.1	Σ.1.1	Ισοδύναμοι κυματισμοί	0,20mm
	Σ.1.2	Ισοδύναμοι κυματισμοί	0,25mm
	Σ.1.3	Ισοδύναμοι κυματισμοί	0,50mm
Σ.2	Σ.2.1	Μεταβαλλόμενος άνεμος	0,20mm
	Σ.2.3	Μεταβαλλόμενος άνεμος	0,25mm
	Σ.2.3	Μεταβαλλόμενος άνεμος	0,50mm

Πίνακας 6.6. Σενάρια προσομοίωσης

7. Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα δύο σενάρια προσομοίωσης τα οποία αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο. Επιλέχθηκαν επίσης 3 διαφορετικά υποσενάρια τα οποία σχετίζονται με τη διαφορετική διάμετρο κόκκων ιζήματος για κάθε κύριο σενάριο προσομοίωσης. Επιλέχθηκαν οι εξής διάμετροι κόκκων για την αναλυτικότερη προσομοίωση: 0.20 mm, 0.25 mm, 0.50 mm. Τα χαρακτηριστικά των ισοδύναμων κυματισμών τα οποία χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται στον Πίνακα 6.5, ενώ η διαλογή της χρονοσειράς για το σενάριο μεταβαλλόμενου ανέμου αναφέρεται στην Ενότητα 6.2.

7.1 Αποτελέσματα Σεναρίου Σ1 (Ισοδύναμοι κυματισμοί)

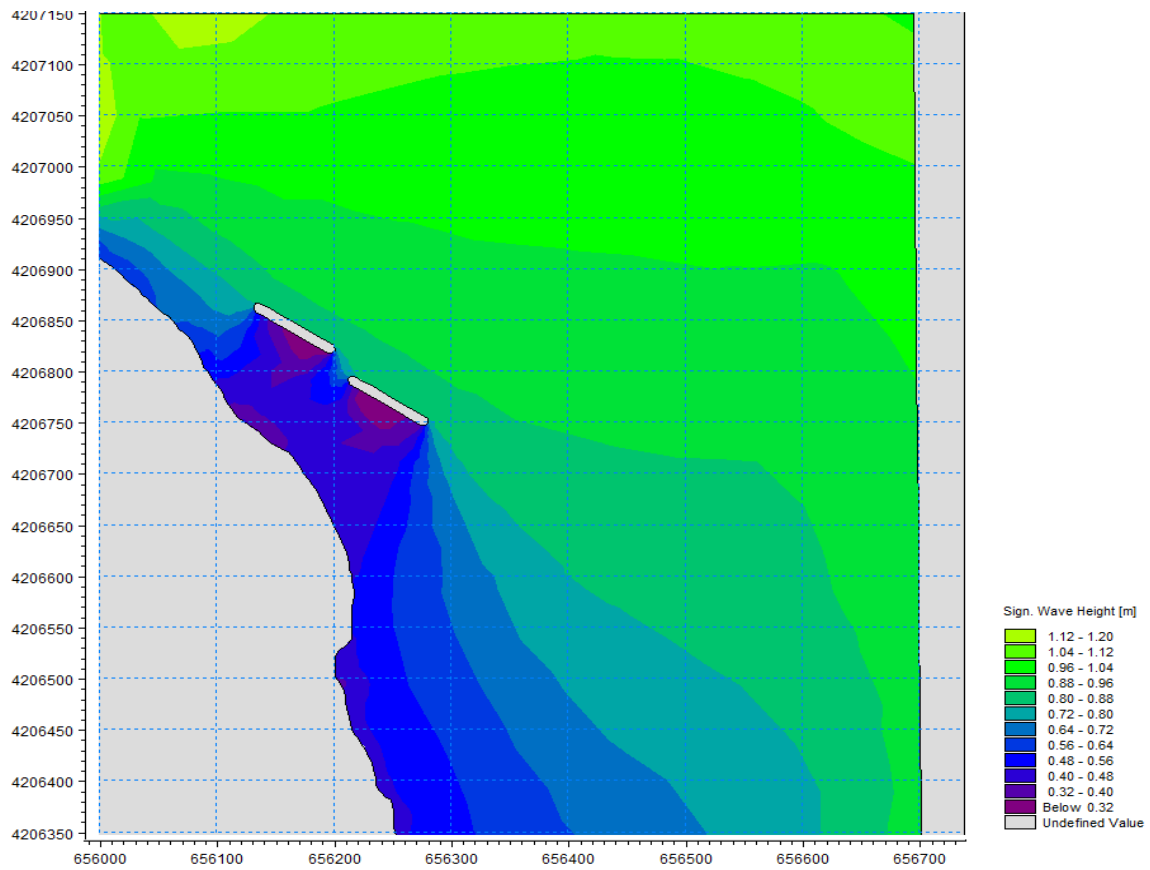
7.1.1 Σενάριο Σ1.1. (Ιζημα διαμέτρου 0,20 mm)

Στα ακόλουθα σχήματα παρατίθενται οι χωρικές κατανομές των υψών κύματος, των ταχυτήτων κατά x και y, οι χωρικές κατανομές πυκνοτήτων ροής Q και P, οι χωρικές κατανομές στερεομεταφοράς κατά x και y, η αλλαγή της στάθμης πυθμένα όπως και η τελική στάθμη του πυθμένα στο τέλος της προσομοίωσης.

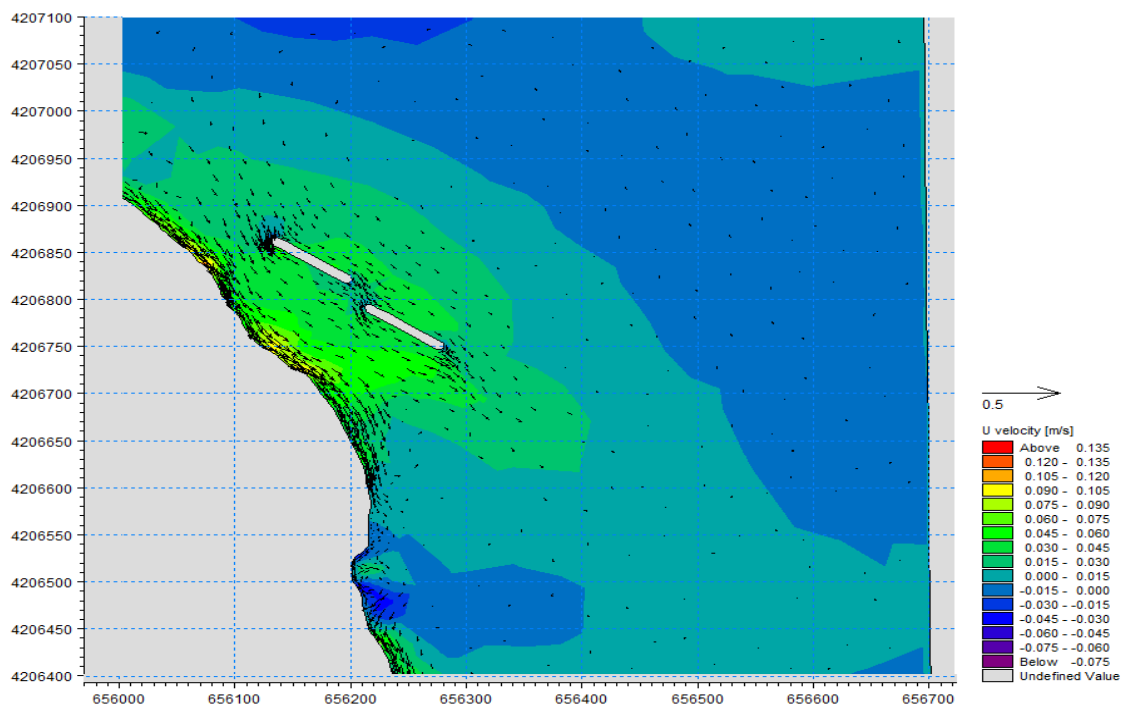
Από το Σχήμα 7.1 βλέπουμε ότι το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στο πεδίο μας δεν υπερβαίνει τα 1.20 m ενώ αυτό η τιμή αυτή μειώνεται δραματικά στη σκιά των κυματοθραυστών με τιμές κάτω από 0.32 m. Οι κυματισμοί καταλήγουν στην ακτογραμμή με ύψος το οποίο δεν υπερβαίνει τα 0.40 m. Στο Σχήμα 7.2 φαίνεται ότι η υδροδυναμική κυκλοφορία γίνεται σε μικρή απόσταση από την ακτογραμμή και μέχρι τη ζώνη των κυματοθραυστών. Το παράκτιο ρεύμα κινείται από τα ΒΔ προς τα ΝΑ και αυτό οφείλεται στις τιμές των ισοδύναμων κυματισμών οι οποίες έχουν προκύψει. Λόγω του αναπτύγματος το οποίο έχει ο Βόρειος και ο Ανατολικός άνεμος είναι λογικό οι ισοδύναμοι κυματισμοί από αυτές τις διευθύνσεις να έχουν μεγαλύτερο ύψος επομένως να γεννούν τις συνθήκες για την δημιουργία αυτού του παρακτίου ρεύματος. Οι ταχύτητες κατά x δεν ξεπερνούν τα 0,105 m/s στη ζώνη των κυματοθραυστών ενώ οι ταχύτητες κατά y στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνονται από -0,16 m/s μέχρι -0,08 m/s.

Η στερεομεταφορά κατά x (Σχήμα 7.4) στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνεται από 0 m³/s/m έως 12*10⁻⁶ m³/s/m ενώ η μέγιστη τιμή συναντάται στα ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη όπου ξεπερνάει την τιμή των 24*10⁻⁶ m³/s/m. Η στερεομεταφορά κατά y (Σχήμα 7.5) στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνεται από -20*10⁻⁶ m³/s/m. μέχρι -16*10⁻⁶ m³/s/m.

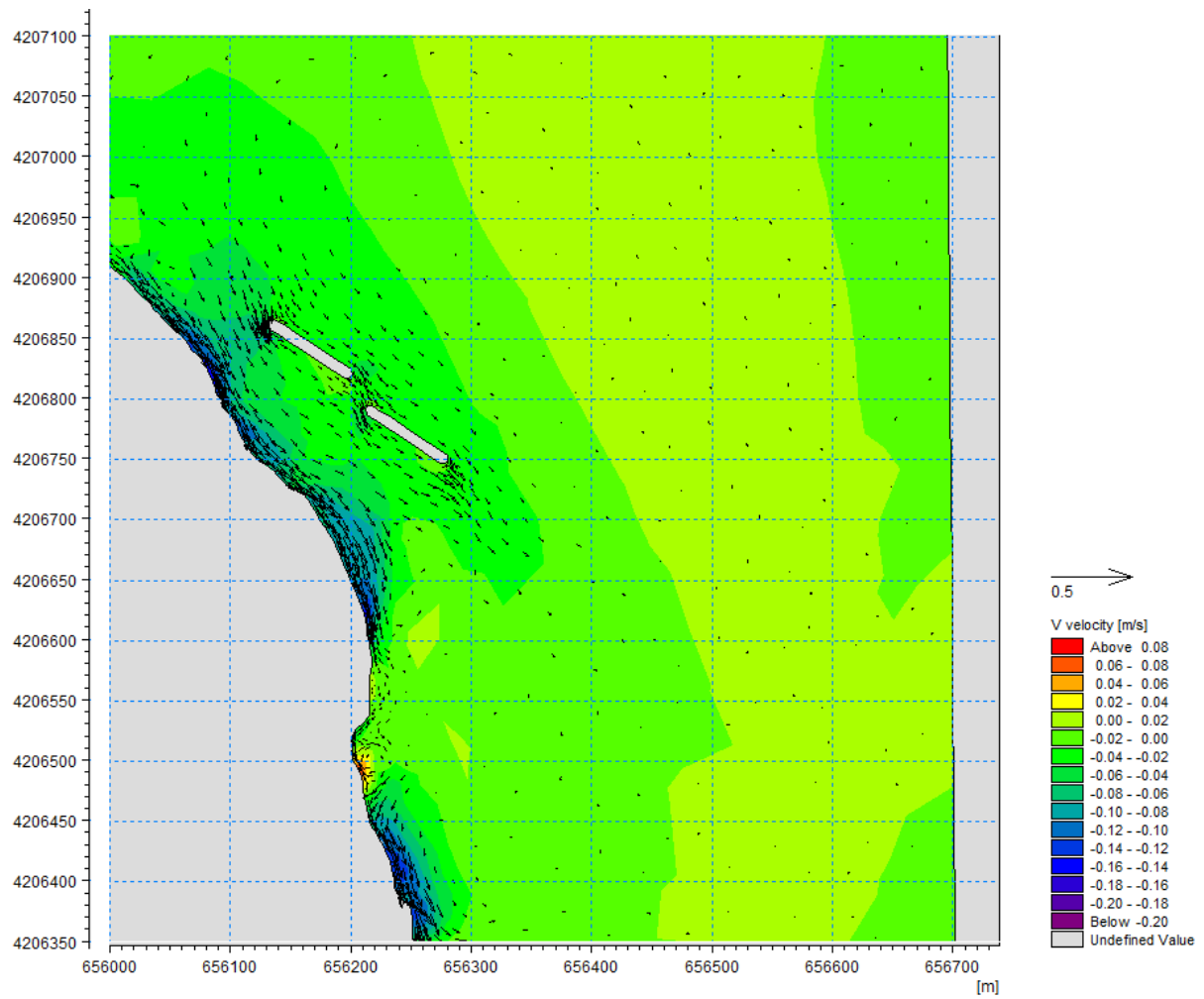
Από Σχήμα 7.6 καταλήγουμε ότι η μέγιστη αλλαγή της στάθμης του πυθμένα είναι στη θέση δίπλα από τον 2^ο κυματοθραύστη με άνοδο της στάθμης του πυθμένα στο χρόνο μελέτης της τάξεως των 3.5m. Αντίστοιχα στα κατόντη του 2^{ου} κυματοθραύστη αναμένεται η μέγιστη μείωση της στάθμης του πυθμένα κατά 3m.



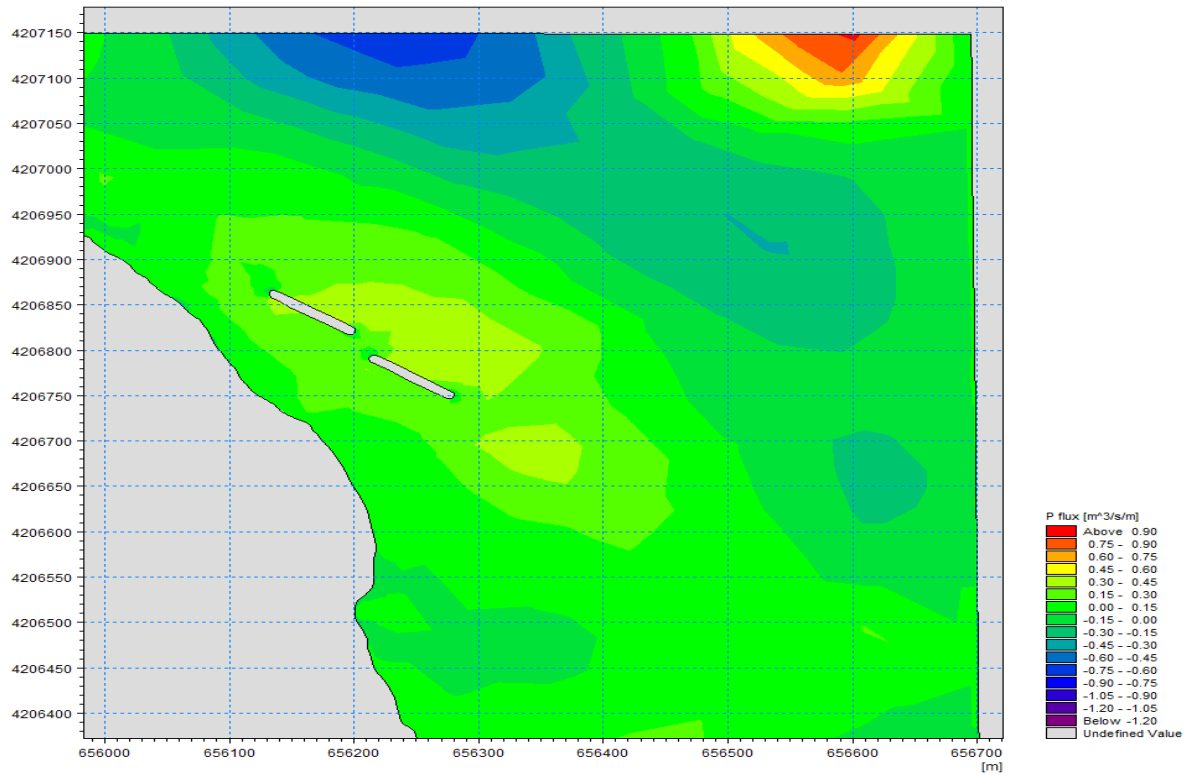
Σχήμα 7.1. Χωρική κατανομή ύψους κύματος στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.1, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



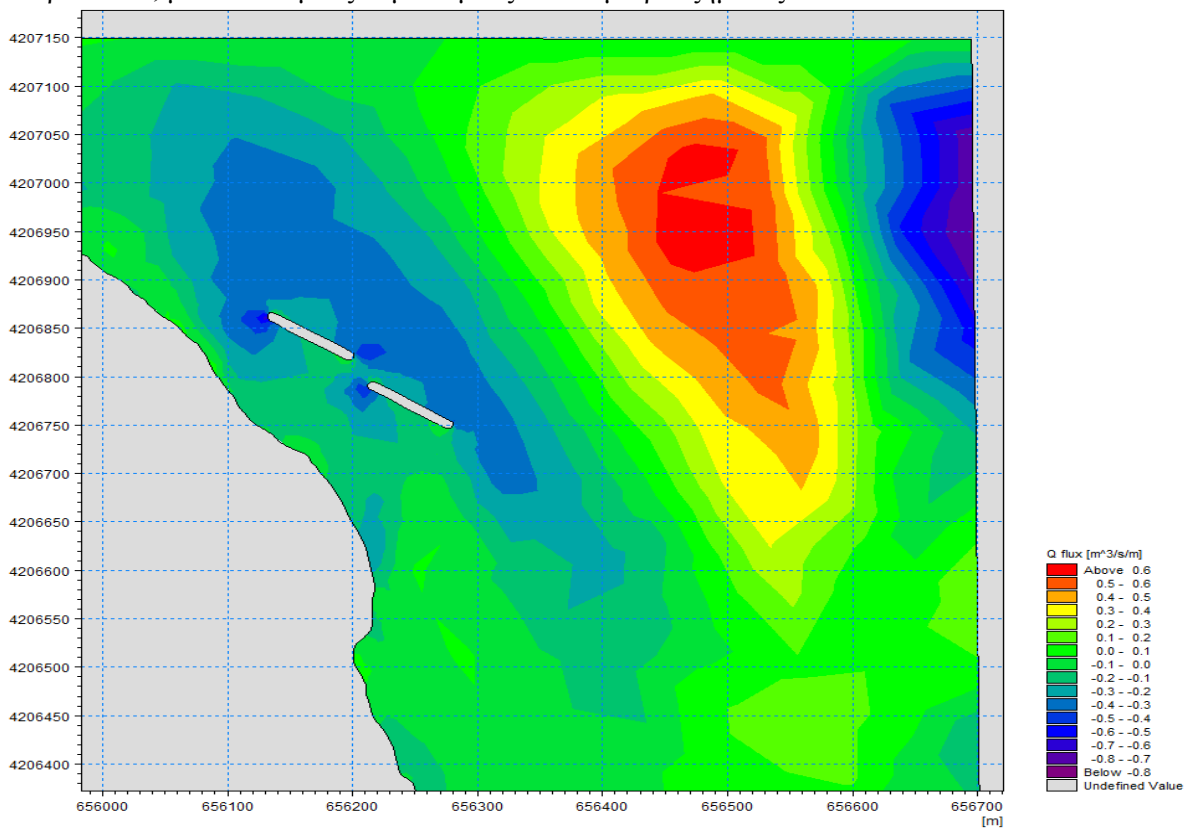
Σχήμα 7.2. Χωρική κατανομή ταχύτητας U (x) στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.1, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm..



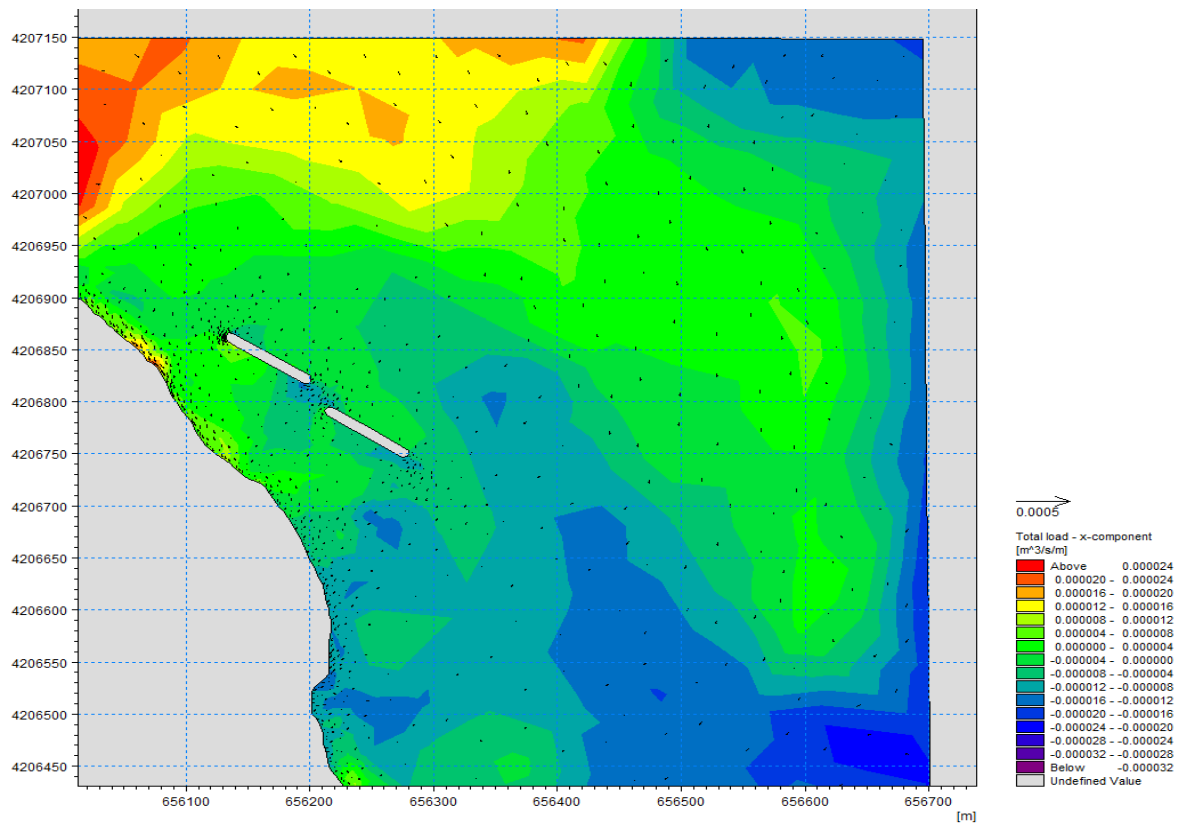
Σχήμα 7.3. Χωρική κατανομή ταχύτητας V (y) στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.1, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



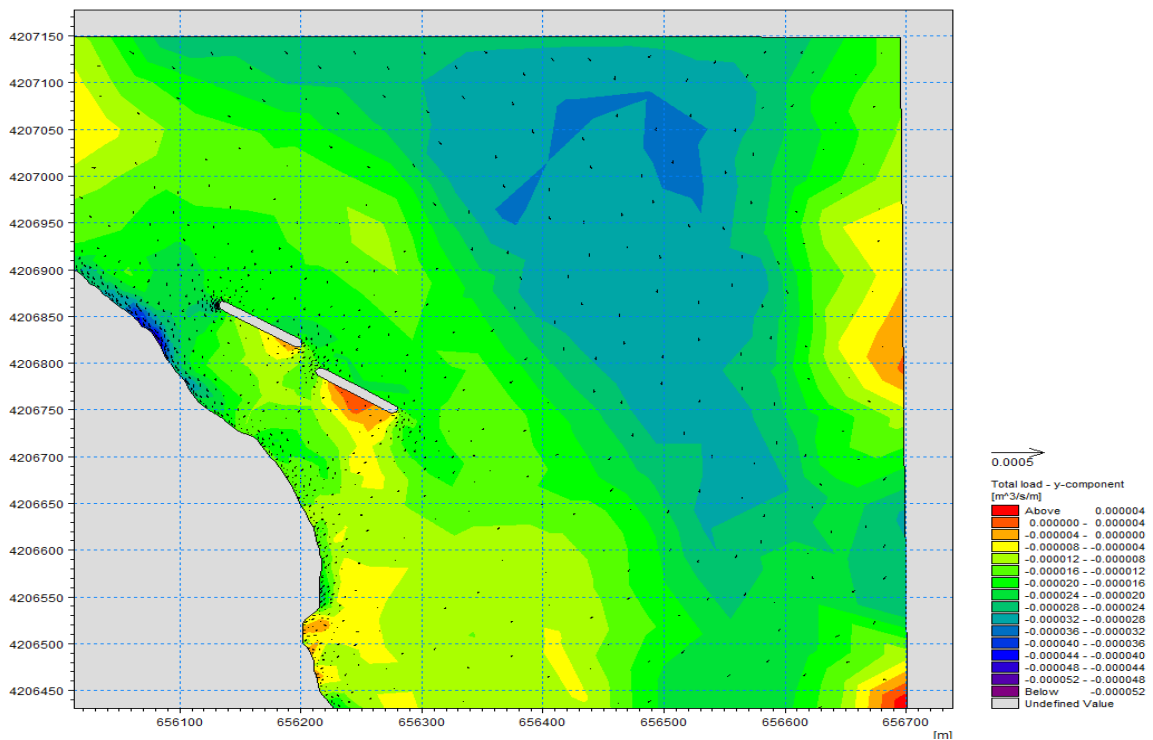
Σχήμα 7.4. Χωρική κατανομή της πυκνότητας ροής κατά X (P flux) στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.1, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



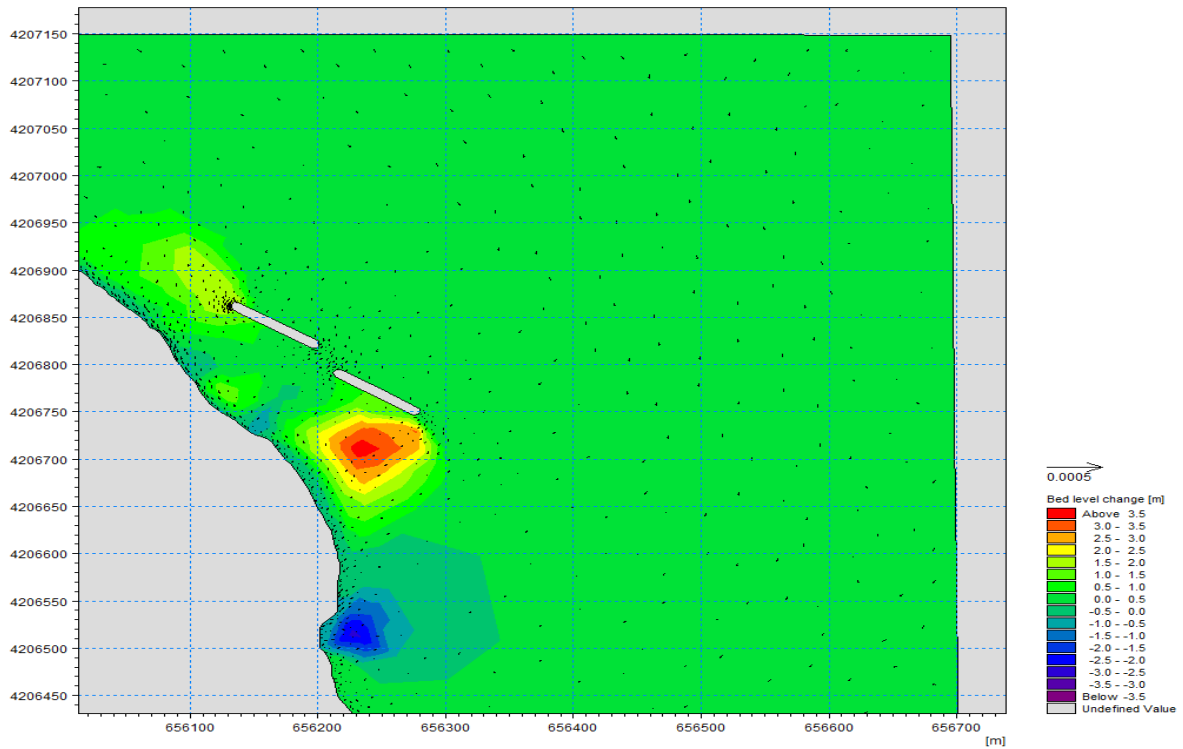
Σχήμα 7.5. Χωρική κατανομή της πυκνότητας ροής κατά Y (Q flux) στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.1, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



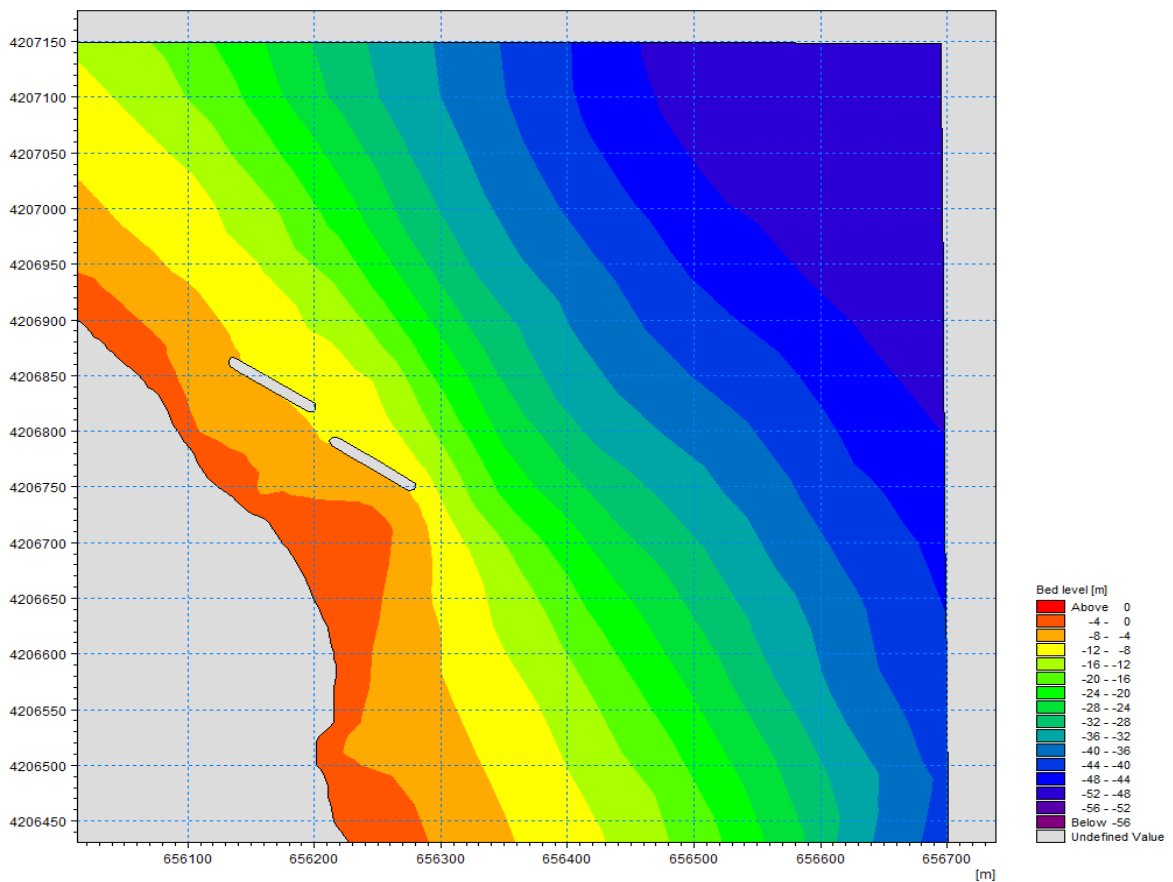
Σχήμα 7.6. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς x στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.1, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



Σχήμα 7.7. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς y στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.1, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



Σχήμα 7.8. Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.1, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



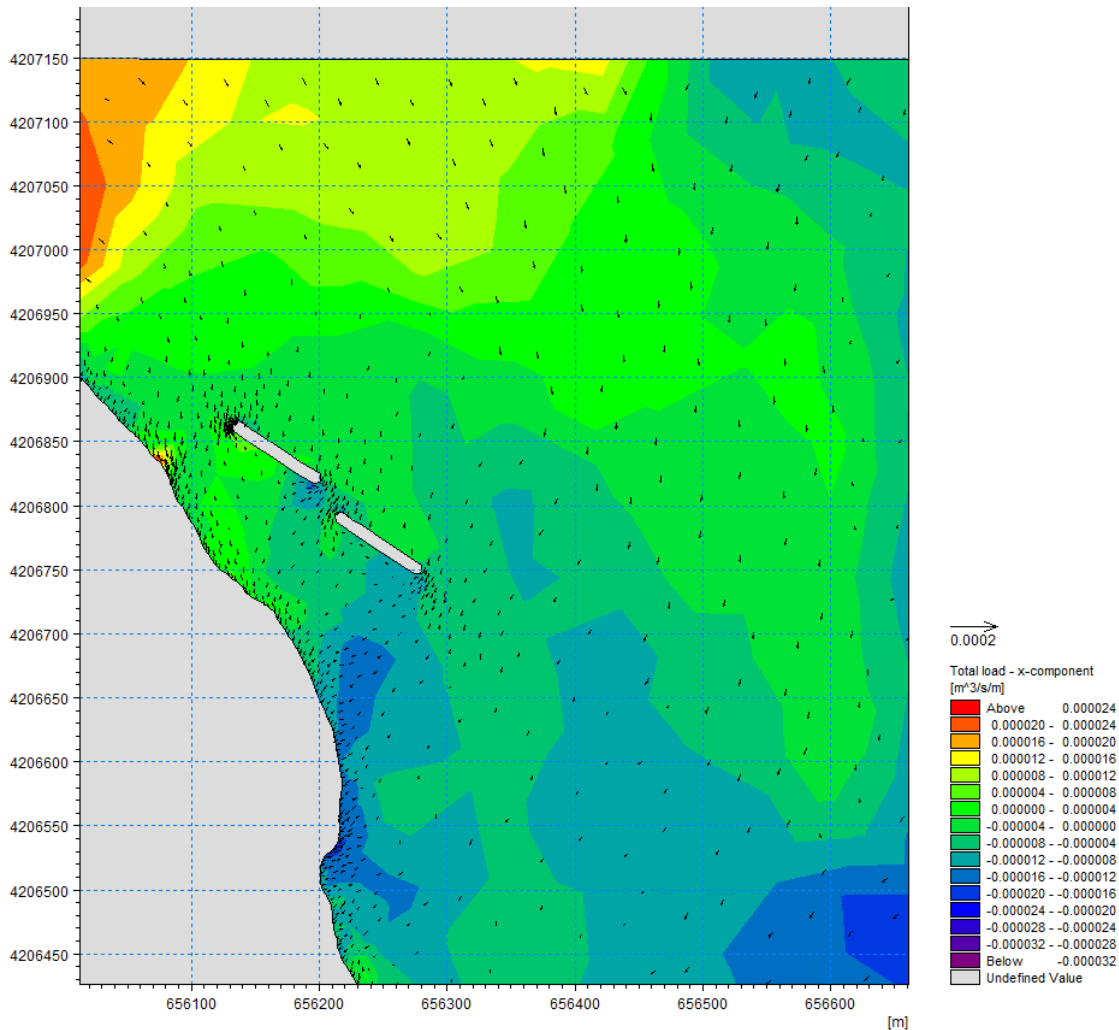
Σχήμα 7.9 Τελική βαθυμετρία στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.1, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.

7.1.2 Σενάριο Σ1.2. (Ιζήμα διαμέτρου 0,25 mm)

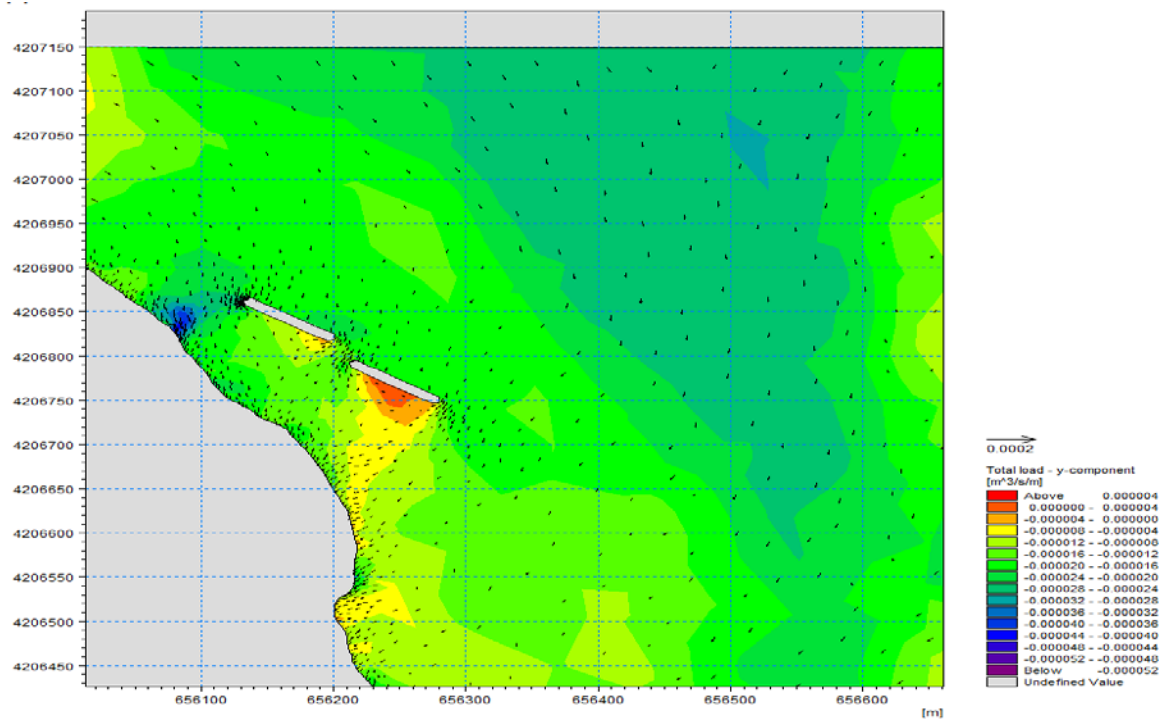
Η αλλαγή του ιζήματος επιφέρει αλλαγές μόνο στο υποπρόγραμμα ST καθώς αυτό υπολογίζει τα χαρακτηριστικά της στερεομεταφοράς. Επομένως εδώ παρατίθενται μόνο τα σχήματα της στερεομεταφοράς όπως και της αλλαγής της στάθμης του πυθμένα και τελικού πυθμένα στο πέρας της προσομοίωσης

Η στερεομεταφορά κατά x (Σχήμα 7.8) στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνεται από $0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ έως $12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ενώ η μέγιστη τιμή συναντάται στα ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη όπου ξεπερνάει την τιμή των $24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Η στερεομεταφορά κατά y (Σχήμα 7.9) στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνεται από $-24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ μέχρι $-20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Η ελάχιστη τιμή παρατηρείται στα ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη και είναι ίση με $-44 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

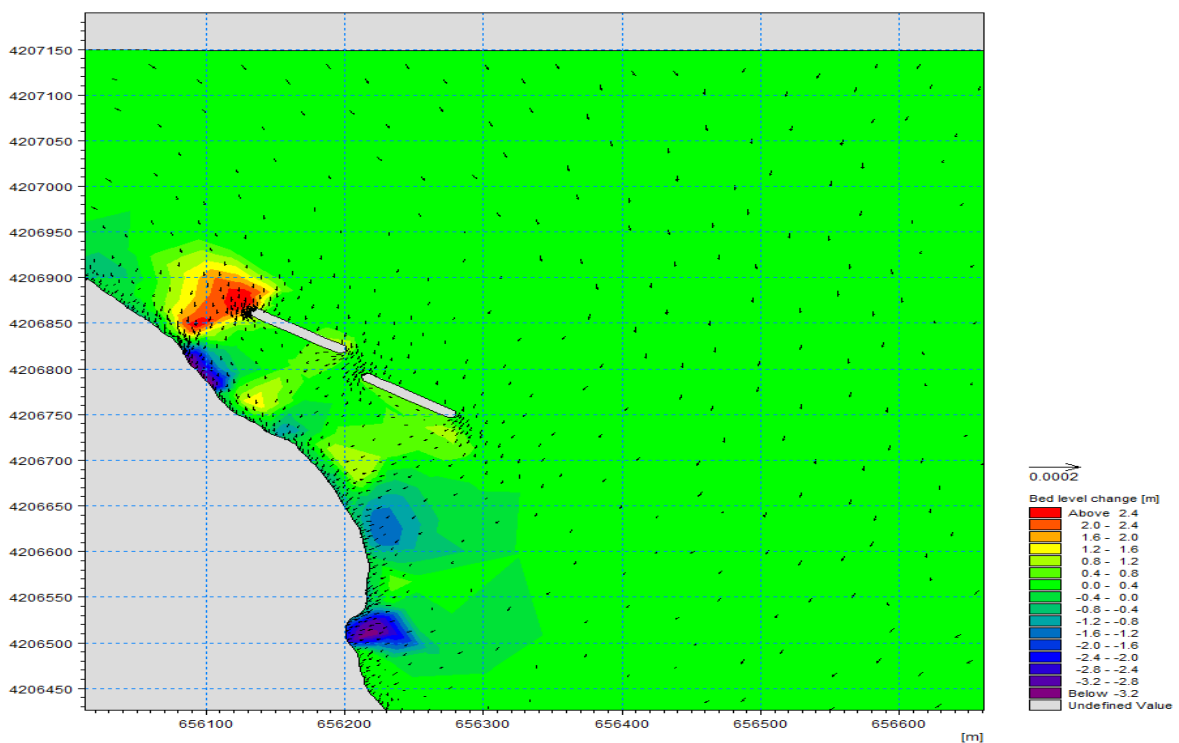
Από Σχήμα 7.10 καταλήγουμε ότι η μέγιστη αλλαγή της στάθμης του πυθμένα είναι στη θέση πριν από τον 1^ο κυματοθραύστη με άνοδο της στάθμης του πυθμένα στο χρόνο μελέτης της τάξεως των 2.4m. Αντίστοιχα στα κατάντη του 2^{ου} κυματοθραύστη αναμένεται η μέγιστη μείωση της στάθμης του πυθμένα κατά 2.4m.



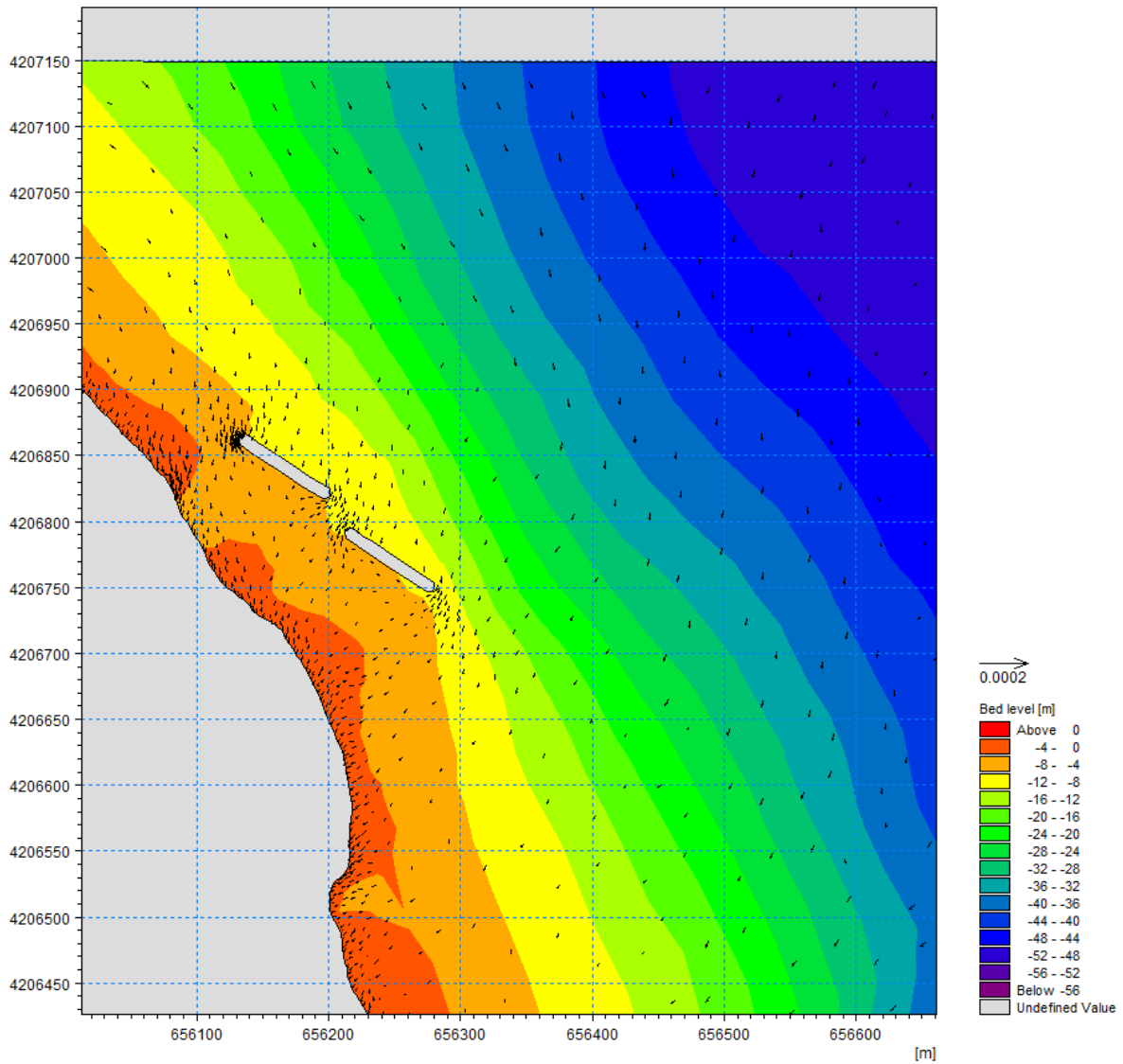
Σχήμα 7.10. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς x στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.2, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.25 mm.



Σχήμα 7.11. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς y στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.2, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.25 mm.



Σχήμα 7.12. Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.2, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.25 mm.



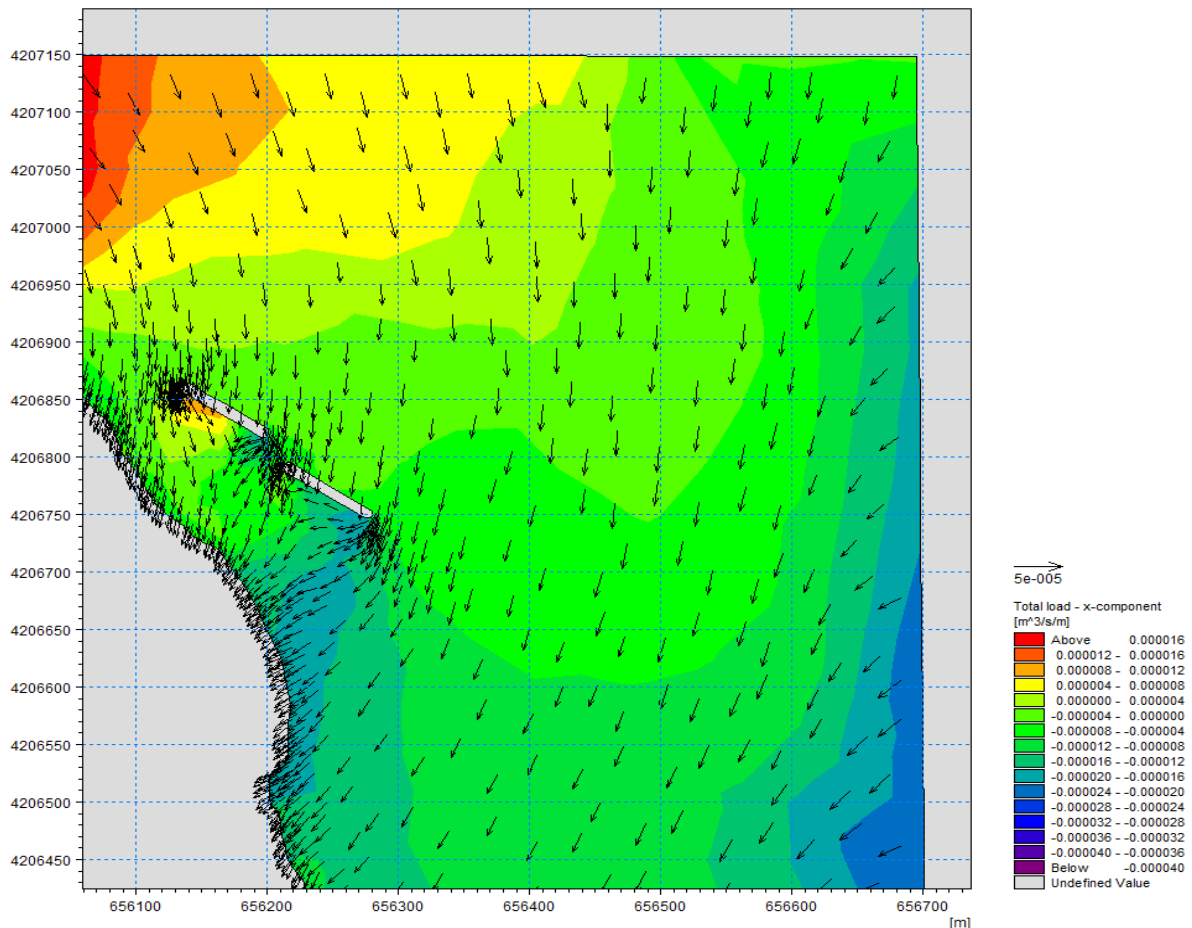
Σχήμα 7.13. Τελική βαθυμετρία στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.2, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.25 mm.

7.1.3 Σενάριο Σ1.3. (Ιζήμα διαμέτρου 0,50 mm)

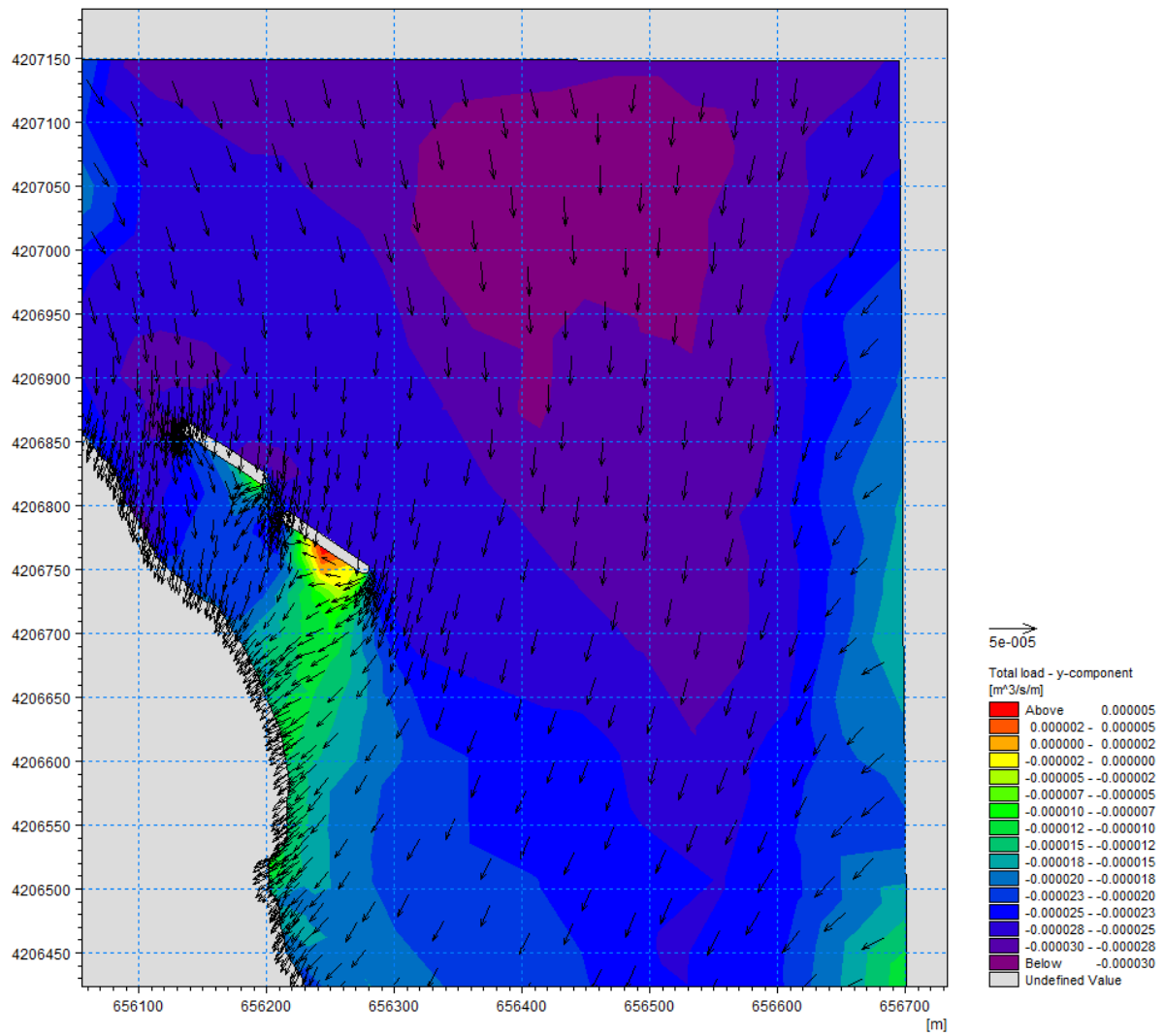
Η αλλαγή του ιζήματος επιφέρει αλλαγές μόνο στο υποπρόγραμμα ST καθώς αυτό υπολογίζει τα χαρακτηριστικά της στερεομεταφοράς. Επομένως εδώ παρατίθενται μόνο τα σχήματα της στερεομεταφοράς όπως και της αλλαγής της στάθμης του πυθμένα και τελικού πυθμένα στο πέρας της προσομοίωσης.

Η στερεομεταφορά κατά x (Σχήμα 7.12) στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνεται από 0 m³/s/m έως 16*10⁻⁶ m³/s/m ενώ η ελάχιστη τιμή συναντάται στα ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη όπου ξεπερνάει την τιμή των -8*10⁻⁶ m³/s/m. Η στερεομεταφορά κατά y (Σχήμα 7.13) στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνεται από -25*10⁻⁶ m³/s/m. μέχρι -10*10⁻⁶ m³/s/m. Η ελάχιστη τιμή παρατηρείται στα ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη και ξεπερνάει τα -30*10⁻⁶ m³/s/m.

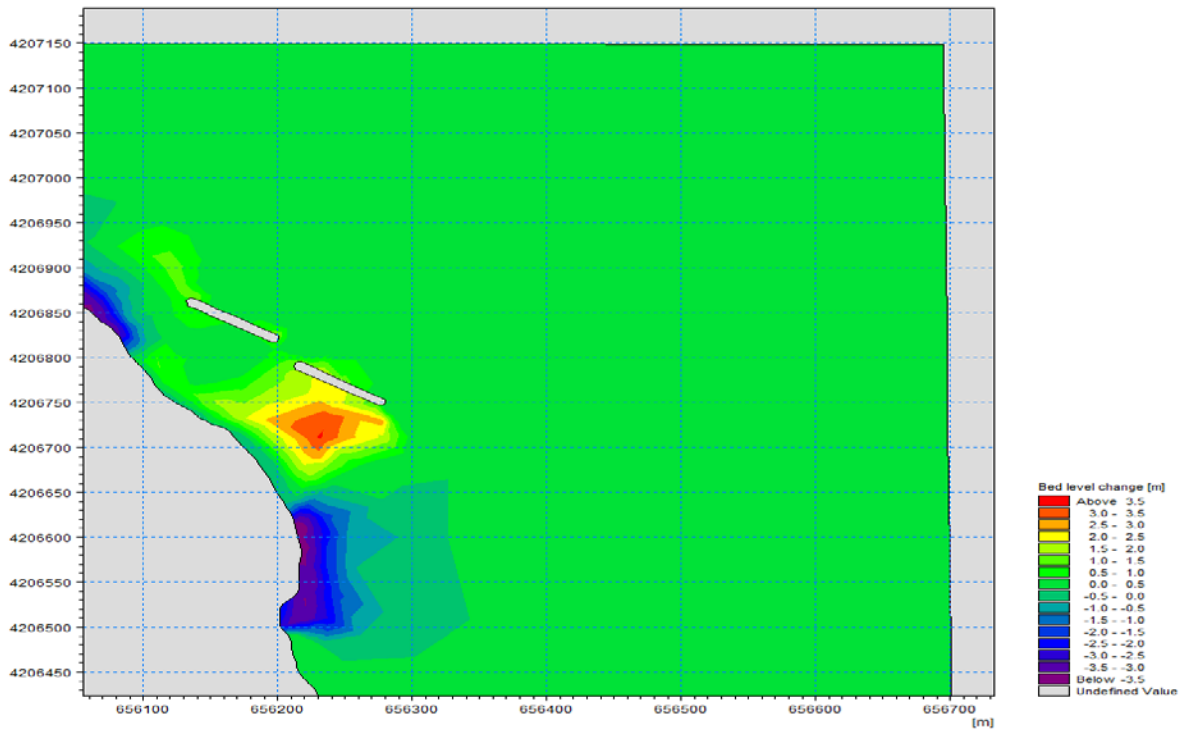
Από Σχήμα 7.14 καταλήγουμε ότι η μέγιστη αλλαγή της στάθμης του πυθμένα είναι στη θέση μετά στη σκιά του 2^{ου} κυματοθραύστη με άνοδο της στάθμης του πυθμένα στο χρόνο μελέτης της τάξεως των 3m. Αντίστοιχα στα κατάντη του 2^{ου} κυματοθραύστη αναμένεται η μέγιστη μείωση της στάθμης του πυθμένα κατά 3.5m.



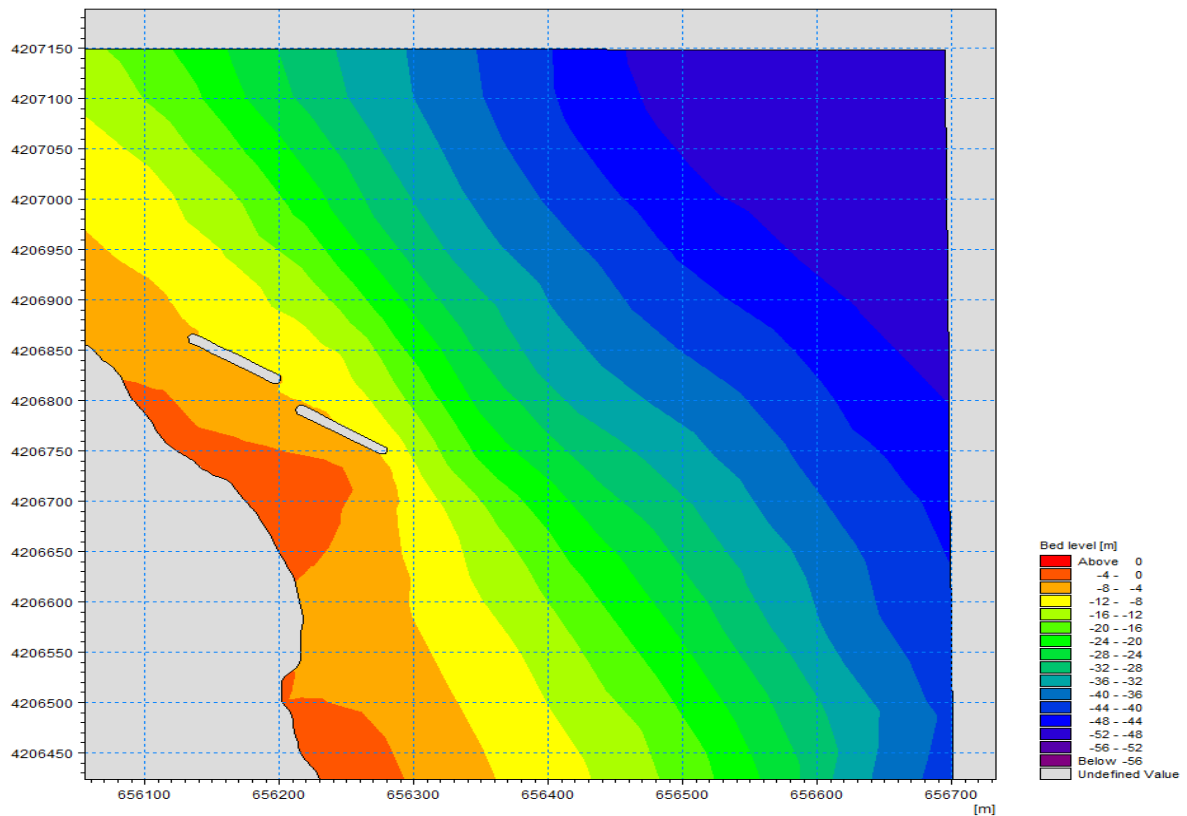
Σχήμα 7.14. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς x στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.3, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.50 mm.



Σχήμα 7.15. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς y στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.3, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.50 mm.



Σχήμα 7.16. Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.3, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.50 mm.



Σχήμα 7.17. Τελική βαθμμετρία στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.1.3, με ισοδύναμους κυματισμούς και διάμετρο ιζήματος 0.50 mm.

7.2 Αποτελέσματα Σεναρίου Σ2 (Διαρκώς μεταβαλλόμενος άνεμος)

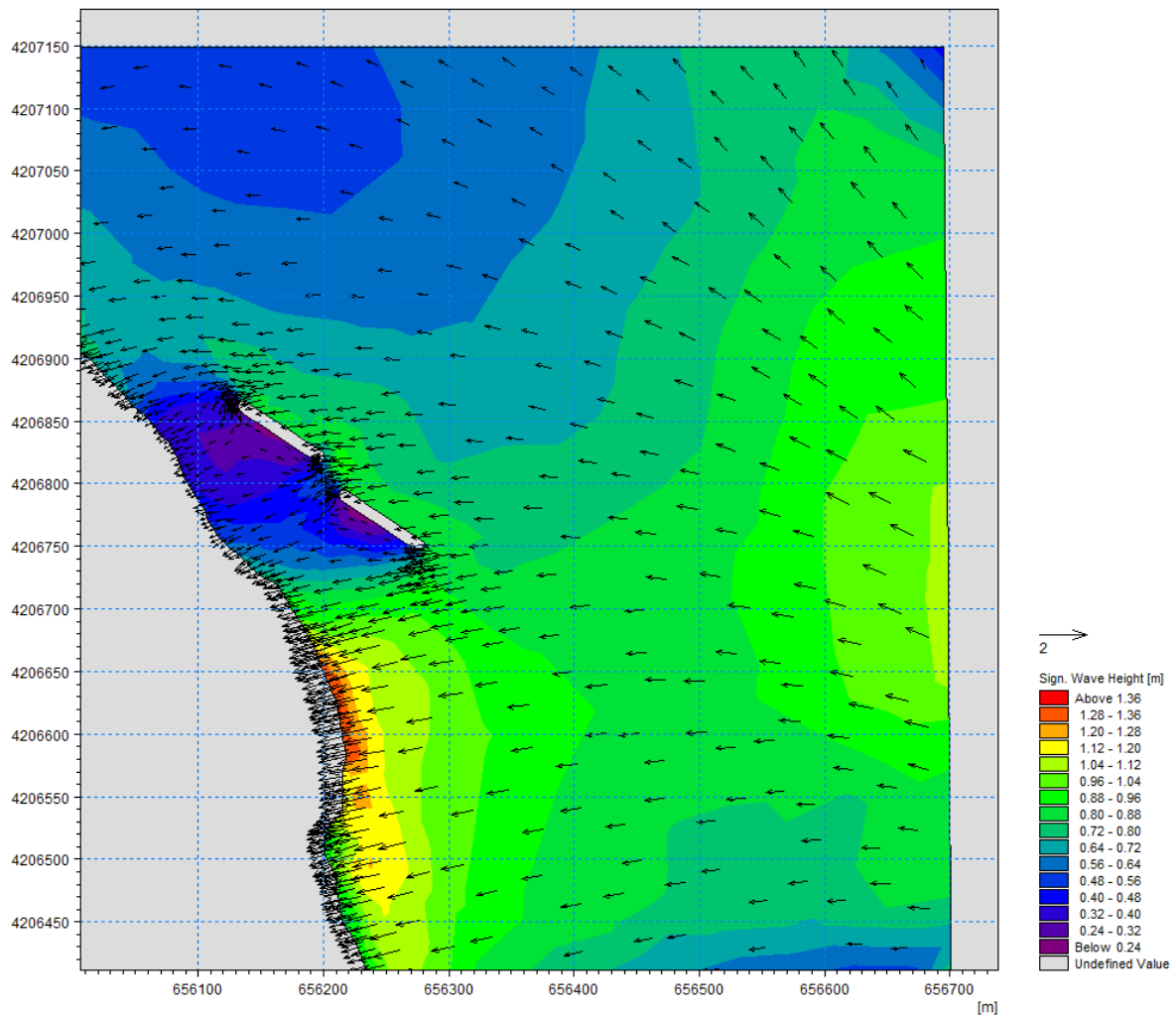
7.2.1 Σενάριο Σ.2.1. (Ιζημα διαμέτρου 0.20 mm)

Στα ακόλουθα σχήματα παρατίθενται οι χωρικές κατανομές των υψών κύματος, των ταχυτήτων κατά x και y, οι χωρικές κατανομές πυκνοτήτων ροής Q και P, οι χωρικές κατανομές στερεομεταφοράς κατά x και y, η αλλαγή της στάθμης πυθμένα όπως και η τελική στάθμη του πυθμένα στο τέλος της προσομοίωσης για το σενάριο Σ.2.1.

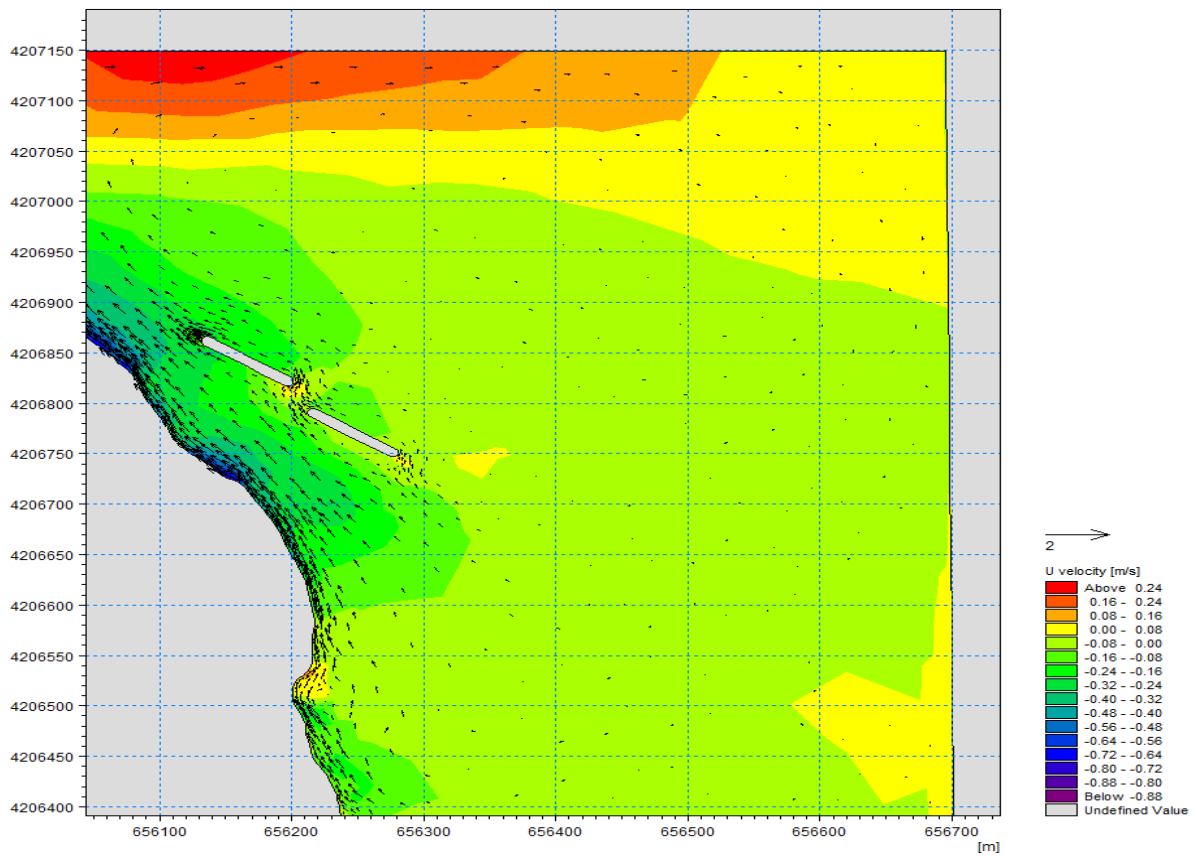
Από το Σχήμα 7.16 βλέπουμε ότι το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στο πεδίο μας δεν υπερβαίνει τα 1.36 m ενώ αυτό η τιμή αυτή μειώνεται δραματικά στη σκιά των κυματοθραυστών με τιμές κάτω από 0.32 m. Οι κυματισμοί καταλήγουν στην ακτογραμμή με ύψος το οποίο δεν υπερβαίνει τα 1.36 m. Στο Σχήμα 7.16 φαίνεται ότι η υδροδυναμική κυκλοφορία γίνεται σε μικρή απόσταση από την ακτογραμμή και μέχρι τη ζώνη των κυματοθραυστών. Το παράκτιο ρεύμα κινείται από τα ΝΑ προς τα ΒΔ και αυτό οφείλεται στον άνεμο τον οποίο χρησιμοποιήσαμε στο εν λόγω τελευταίο χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Οι ταχύτητες κατά x δεν ξεπερνούν τα -0.64 m/s στη ζώνη των κυματοθραυστών ενώ οι ταχύτητες κατά y στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνονται από -0.40 m/s μέχρι -0.56 m/s.

Η στερεομεταφορά κατά x (Σχήμα 7.21) στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνεται από $-16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ έως $0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ενώ η μέγιστη τιμή συναντάται στα κατάντη του δεύτερου κυματοθραύστη όπου ξεπερνάει την τιμή των $16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Η στερεομεταφορά κατά y (Σχήμα 7.22) στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνεται από $12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ μέχρι $48 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

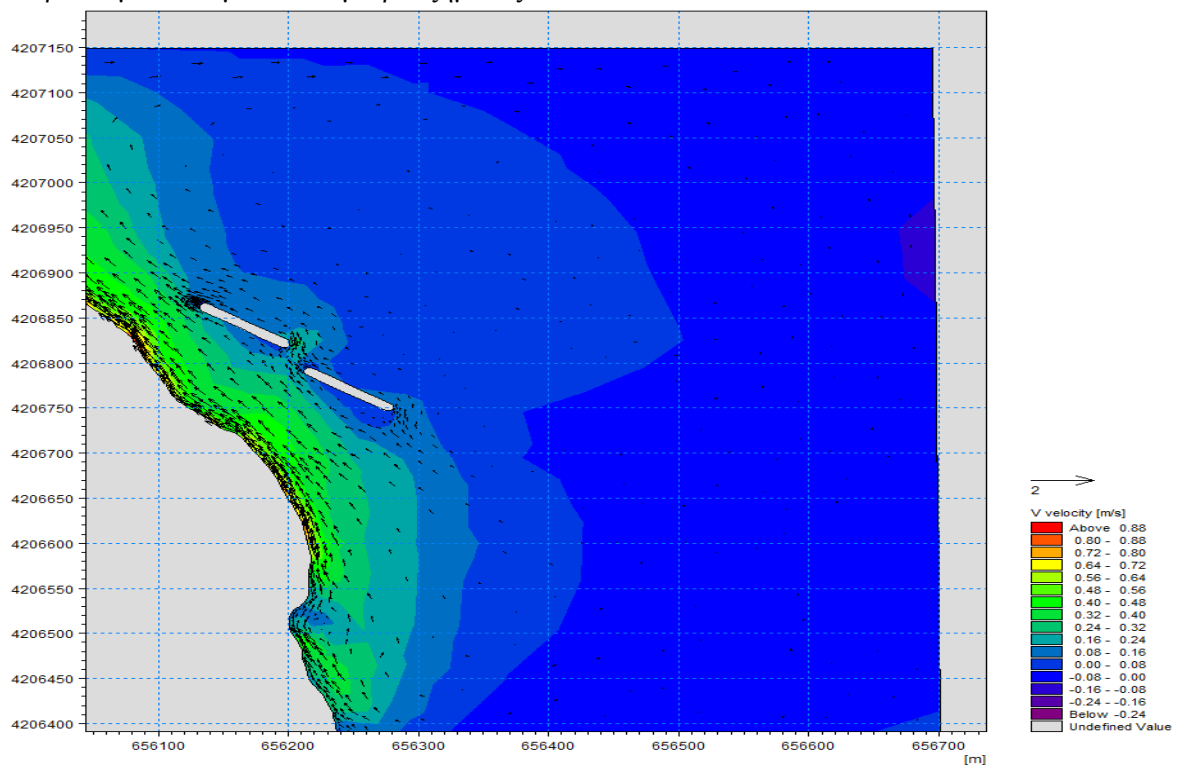
Από Σχήμα 7.23 καταλήγουμε ότι η μέγιστη αλλαγή της στάθμης του πυθμένα είναι στη θέση ανάντη του 1^{ου} κυματοθραύστη με άνοδο της στάθμης του πυθμένα της τάξεως των 1.2m. Αντίστοιχα στα κατάντη του 2^{ου} κυματοθραύστη αναμένεται η μέγιστη μείωση της στάθμης του πυθμένα κατά 2m.



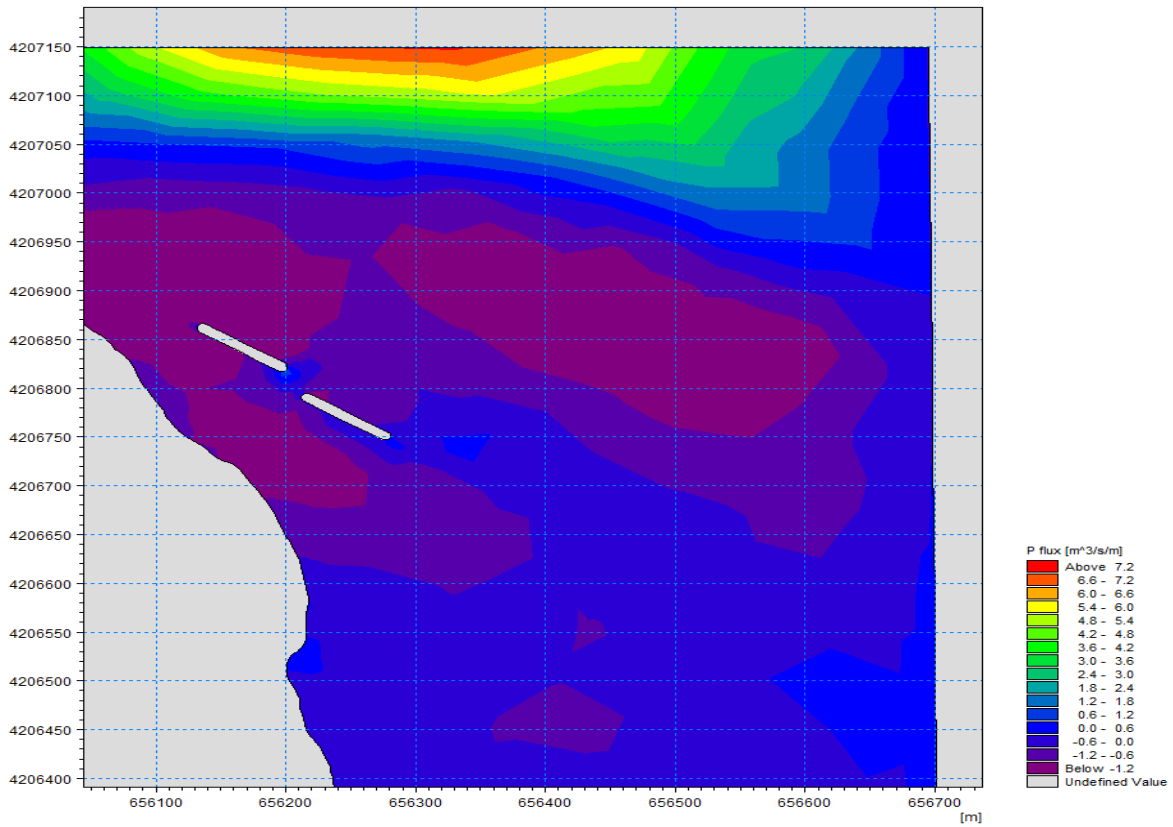
Σχήμα 7.18. Χωρική κατανομή ύψους κύματος στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.1, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



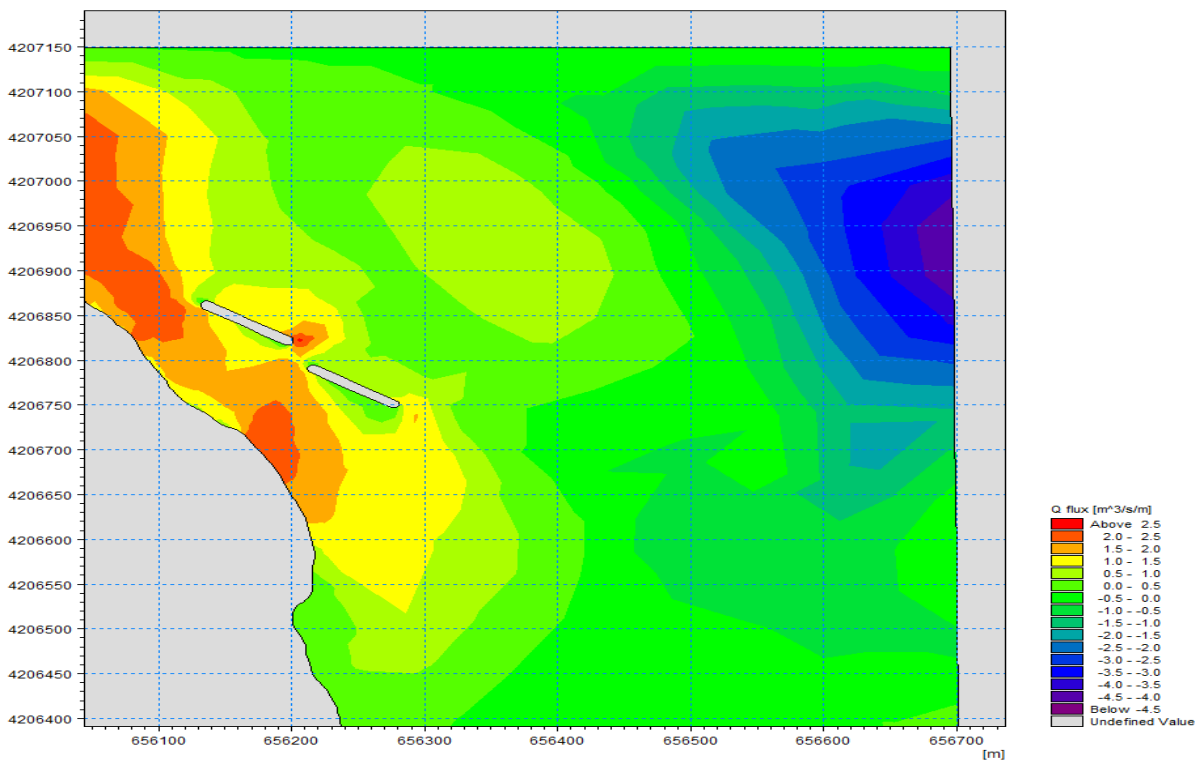
Σχήμα 7.19. Χωρική κατανομή ταχύτητας $U(x)$ στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.1, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



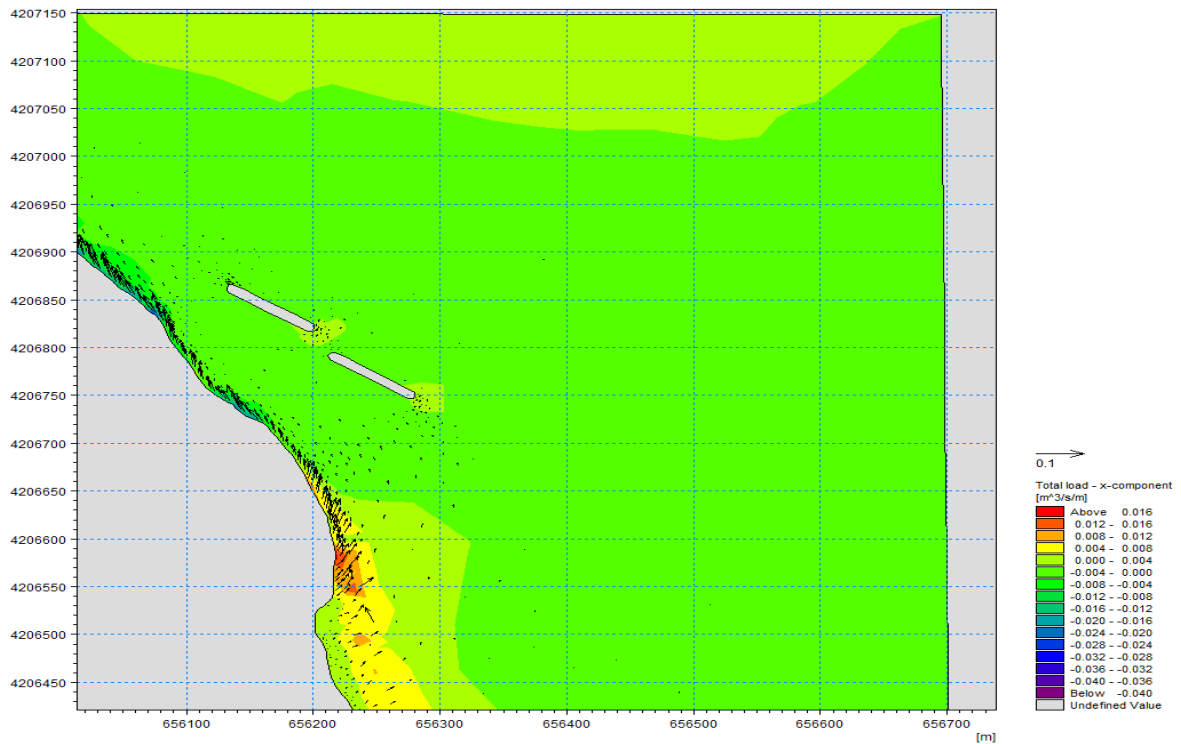
Σχήμα 7.20. Χωρική κατανομή ταχύτητας $V(y)$ στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.1, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



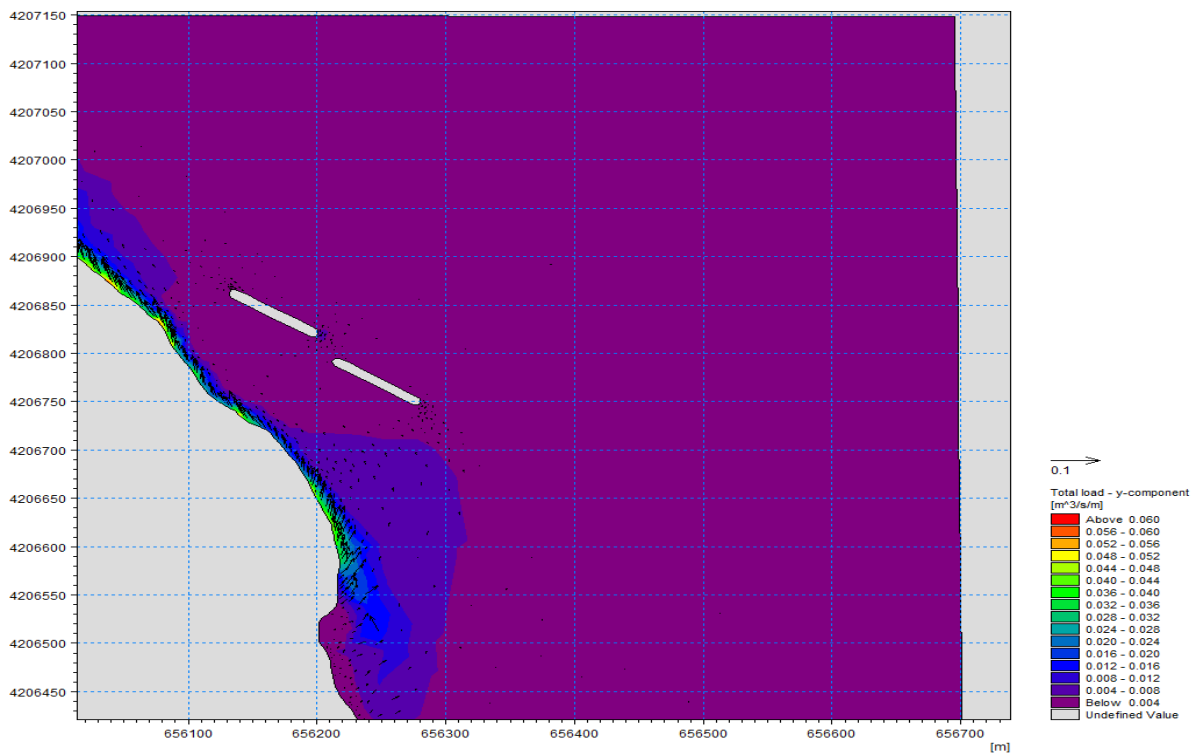
Σχήμα 7.21. Χωρική κατανομή της πυκνότητας ροής κατά X (P flux) στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.1, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



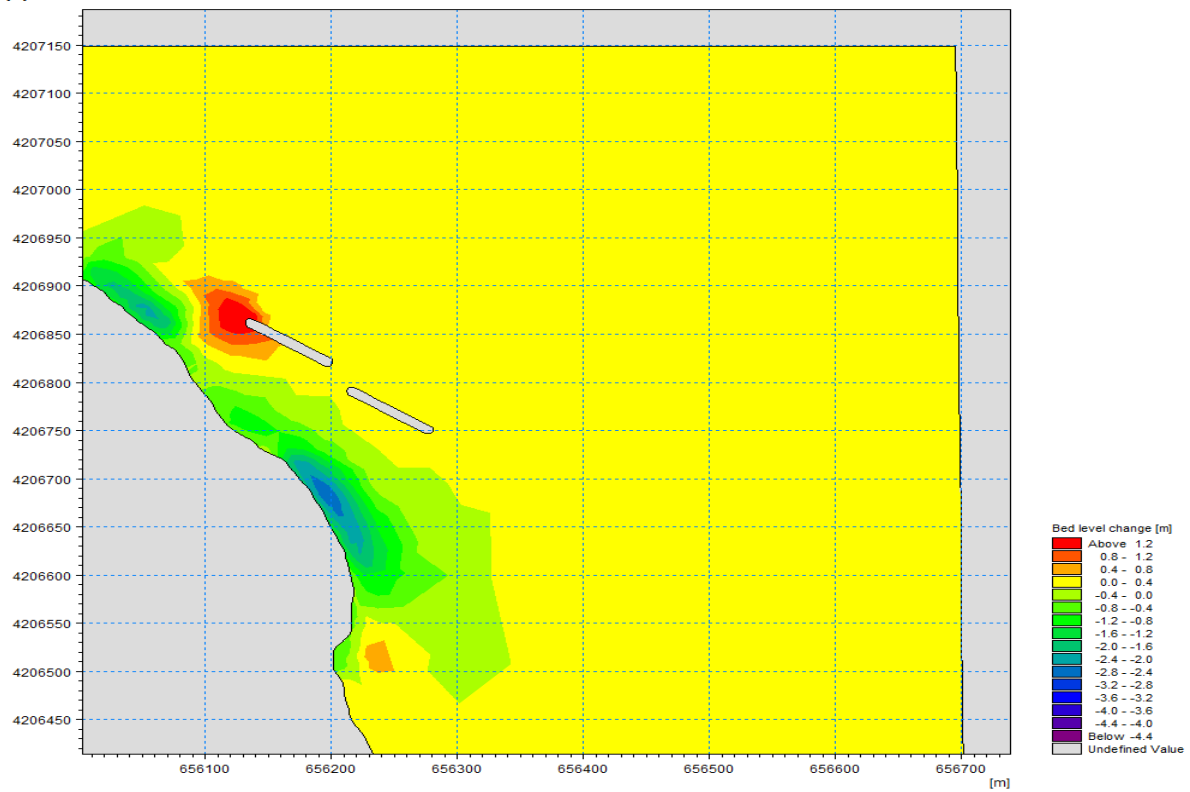
Σχήμα 7.22. Χωρική κατανομή της πυκνότητας ροής κατά Y (Q flux) στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.1, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



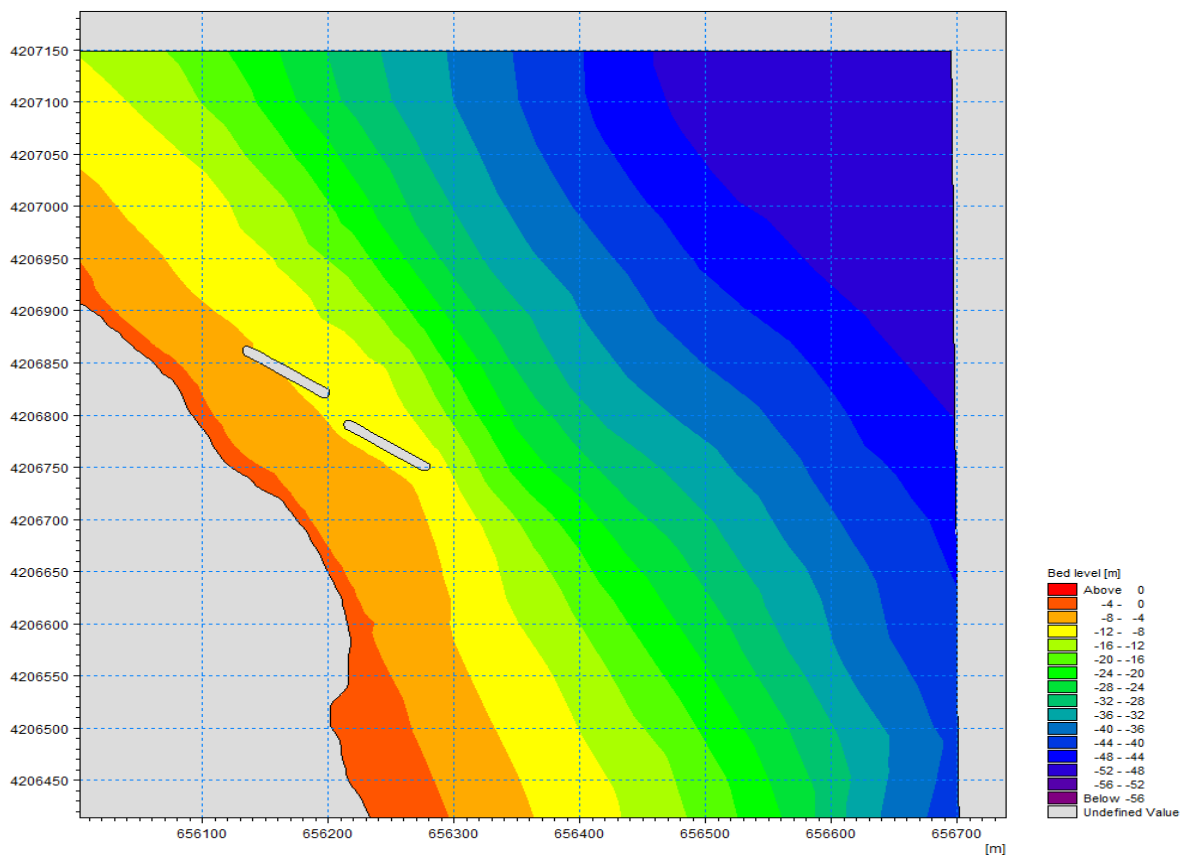
Σχήμα 7.23. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς x στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.1, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



Σχήμα 7.24. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς y στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.1, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



Σχήμα 7.25. Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.1, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.



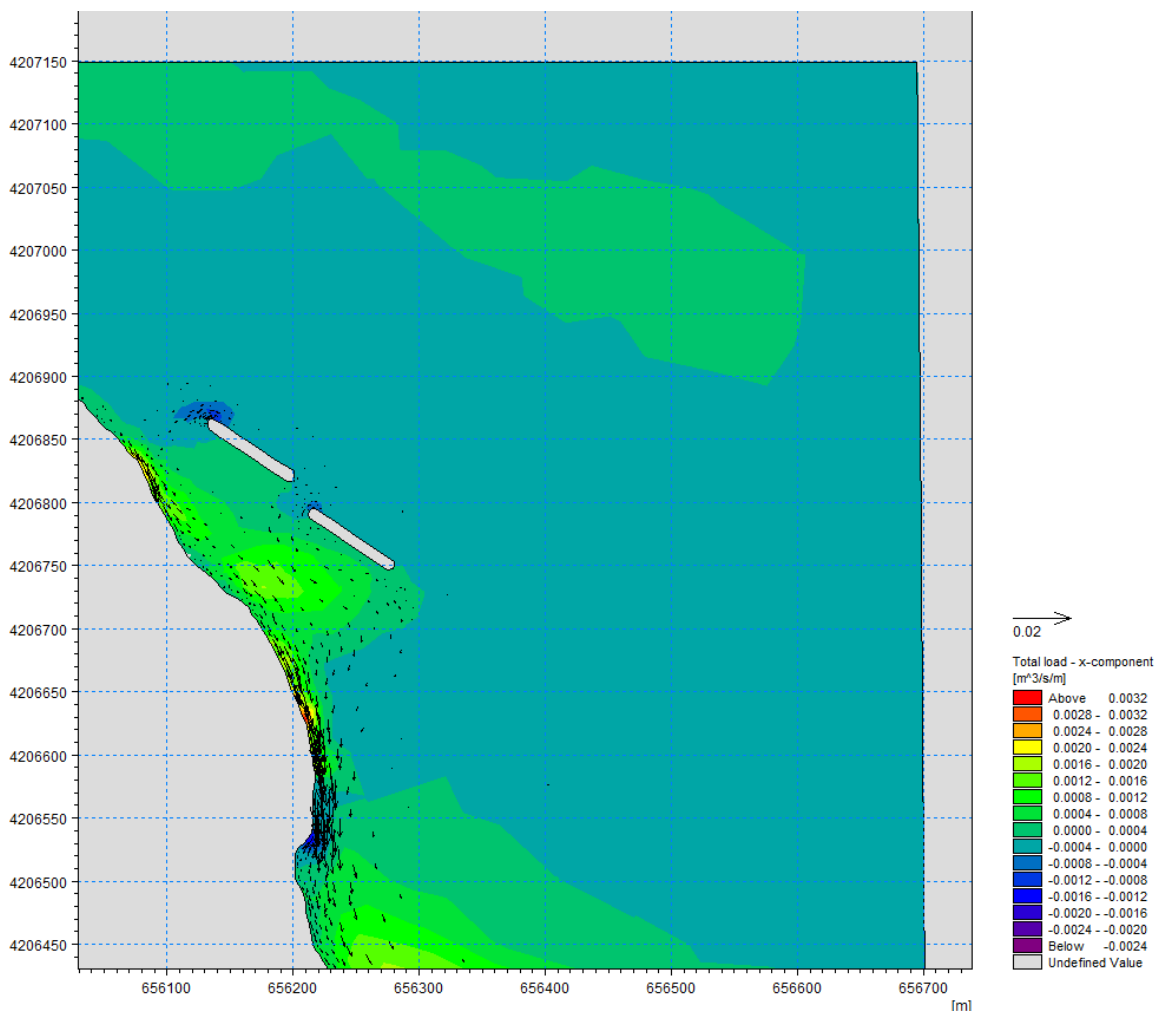
Σχήμα 7.26. Τελική βαθυμετρία στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.1, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.20 mm.

7.2.2 Σενάριο Σ.2.2. (Ιζήμα διαμέτρου 0,25 mm)

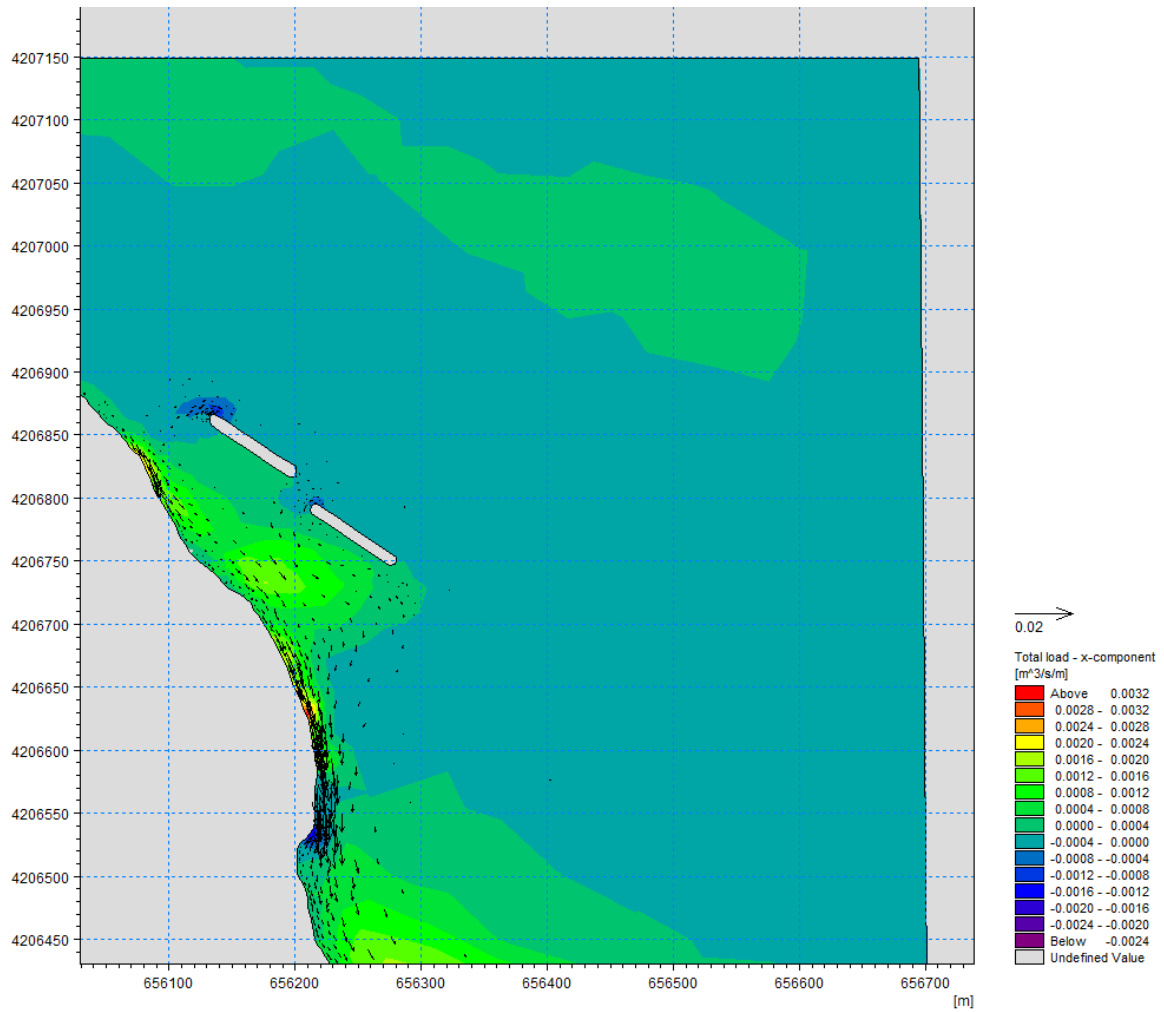
Η αλλαγή του ιζήματος επιφέρει αλλαγές μόνο στο υποπρόγραμμα ST καθώς αυτό υπολογίζει τα χαρακτηριστικά της στερεομεταφοράς. Επομένως εδώ παρατίθενται μόνο τα σχήματα της στερεομεταφοράς όπως και της αλλαγής της στάθμης του πυθμένα και τελικού πυθμένα στο πέρας της προσομοίωσης.

Η στερεομεταφορά κατά x (Σχήμα 7.25) στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνεται από $-20 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ έως $0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ενώ η μέγιστη τιμή συναντάται στα κατάντη του δεύτερου κυματοθραύστη όπου ξεπερνάει την τιμή των $16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Η στερεομεταφορά κατά y (Σχήμα 7.22) στη ζώνη των κυματοθραυστών παίρνει θετικές τιμές.

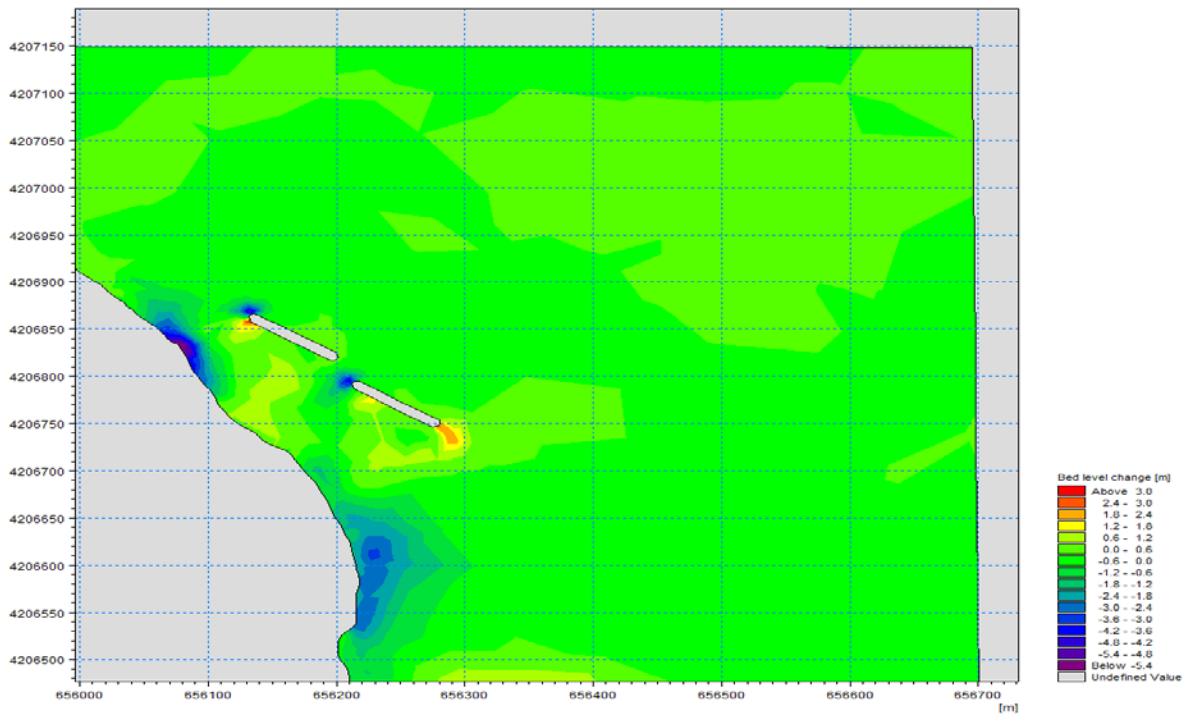
Από Σχήμα 7.27 καταλήγουμε ότι η μέγιστη αλλαγή της στάθμης του πυθμένα είναι στη θέση ανάντη του 1^{ου} κυματοθραύστη με άνοδο της στάθμης του πυθμένα της τάξεως των 2.4m. Αντίστοιχα στα κατάντη του 2^{ου} κυματοθραύστη αναμένεται η μέγιστη μείωση της στάθμης του πυθμένα κατά 2.4m.



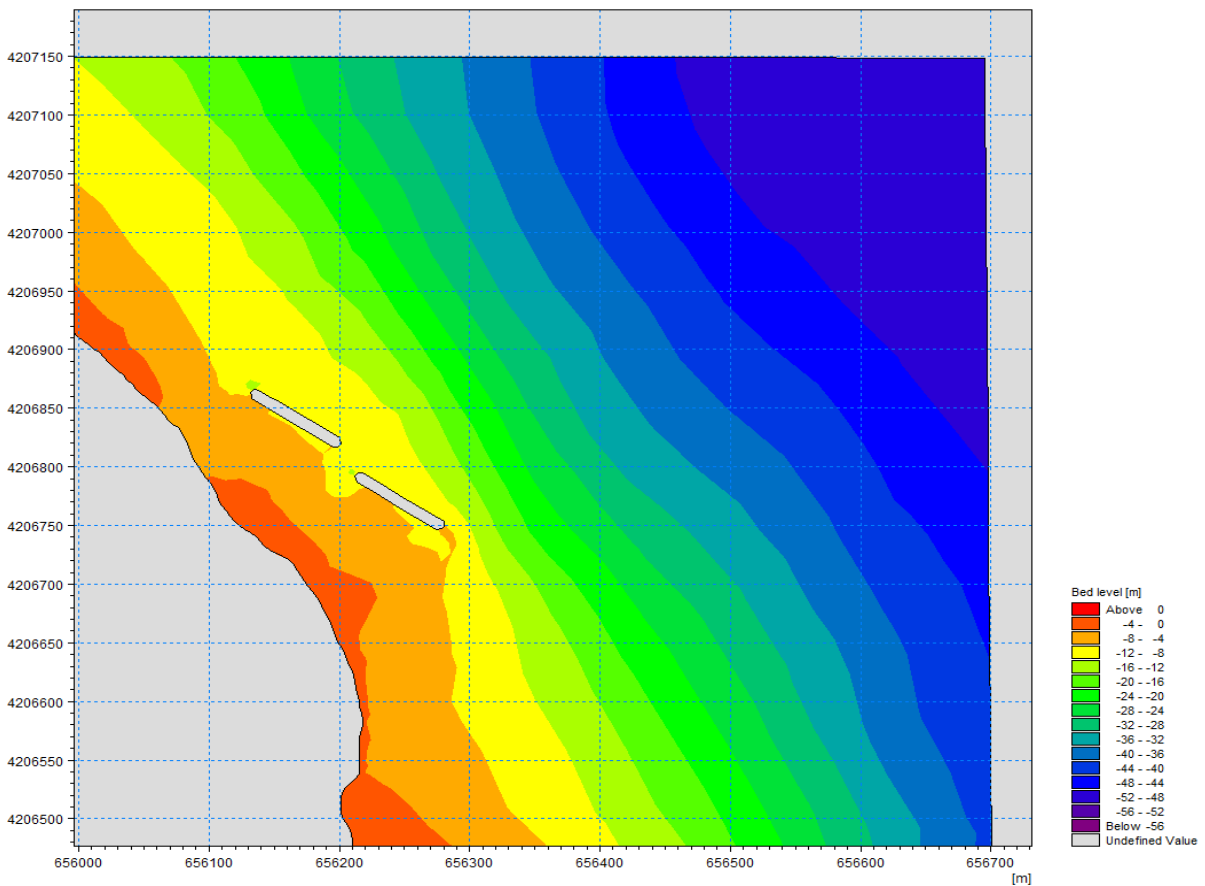
Σχήμα 7.27 Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς x στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.2, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.25 mm.



Σχήμα 7.28. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς γ στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.2, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.25 mm.



Σχήμα 7.29. Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.2, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.25 mm.



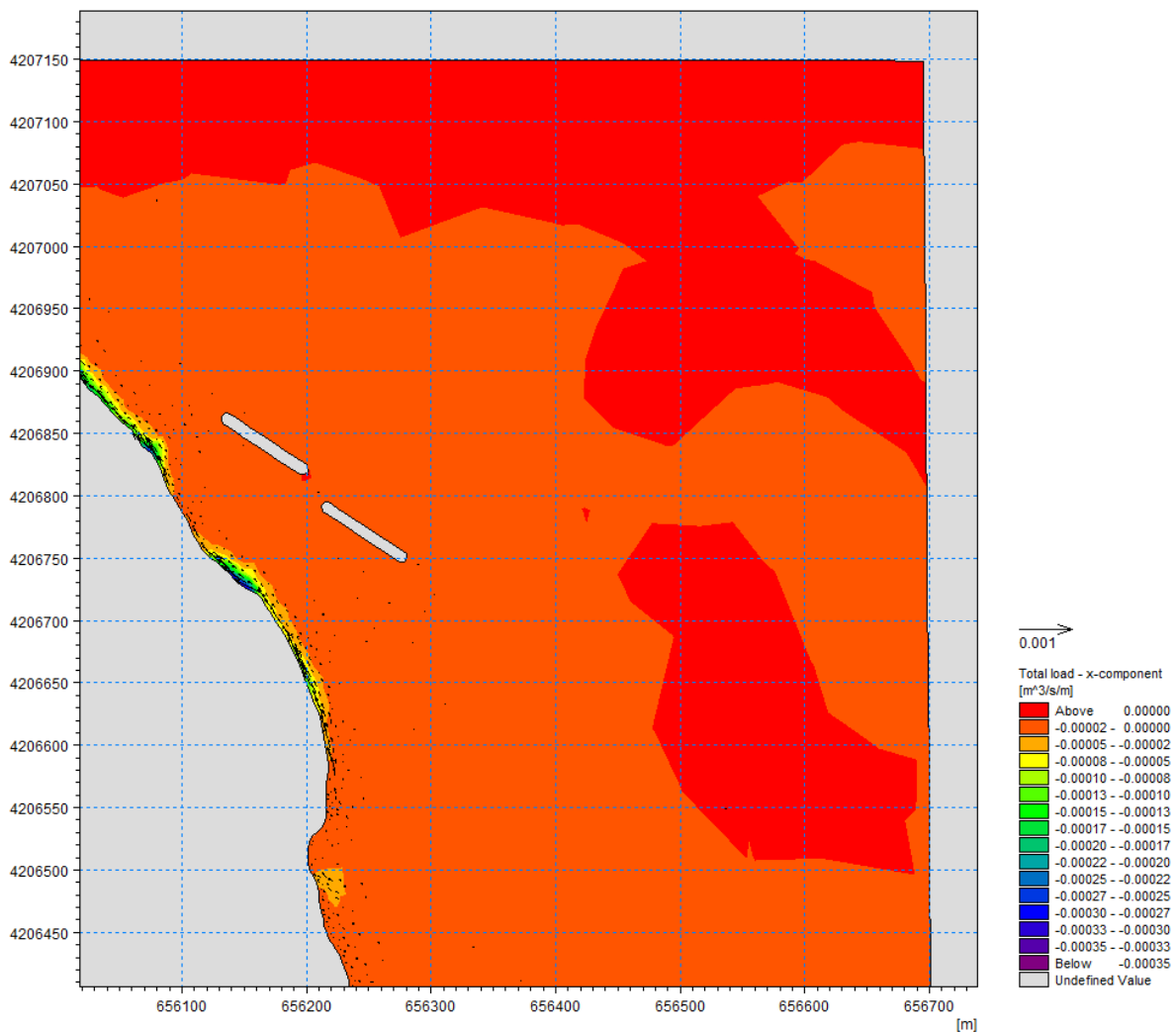
Σχήμα 7.30. Τελική βαθυμετρία στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.2, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.25 mm.

7.2.2 Σενάριο Σ.2.3. (Ιζήμα διαμέτρου 0,50 mm)

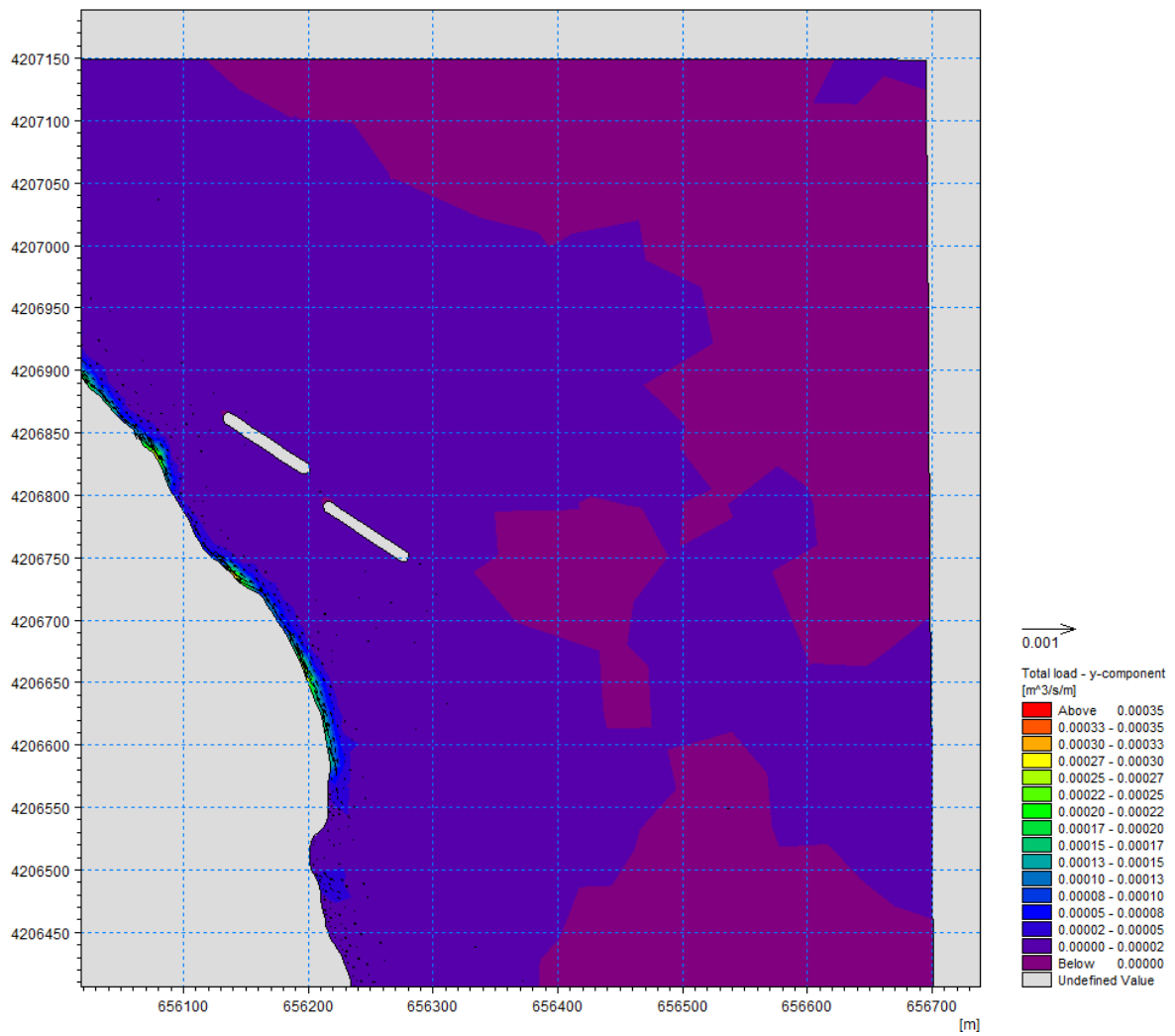
Η αλλαγή του ιζήματος επιφέρει αλλαγές μόνο στο υποπρόγραμμα ST καθώς αυτό υπολογίζει τα χαρακτηριστικά της στερεομεταφοράς. Επομένως εδώ παρατίθενται μόνο τα σχήματα της στερεομεταφοράς όπως και της αλλαγής της στάθμης του πυθμένα και τελικού πυθμένα στο πέρας της προσομοίωσης.

Η στερεομεταφορά κατά x (Σχήμα 7.29) στη ζώνη των κυματοθραυστών κυμαίνεται από $-30 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ έως $0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ενώ η μέγιστη τιμή συναντάται στα κατάντη του δεύτερου κυματοθραύστη όπου ξεπερνάει την τιμή των $16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Η στερεομεταφορά κατά y (Σχήμα 7.30) στη ζώνη των κυματοθραυστών παίρνει θετικές τιμές.

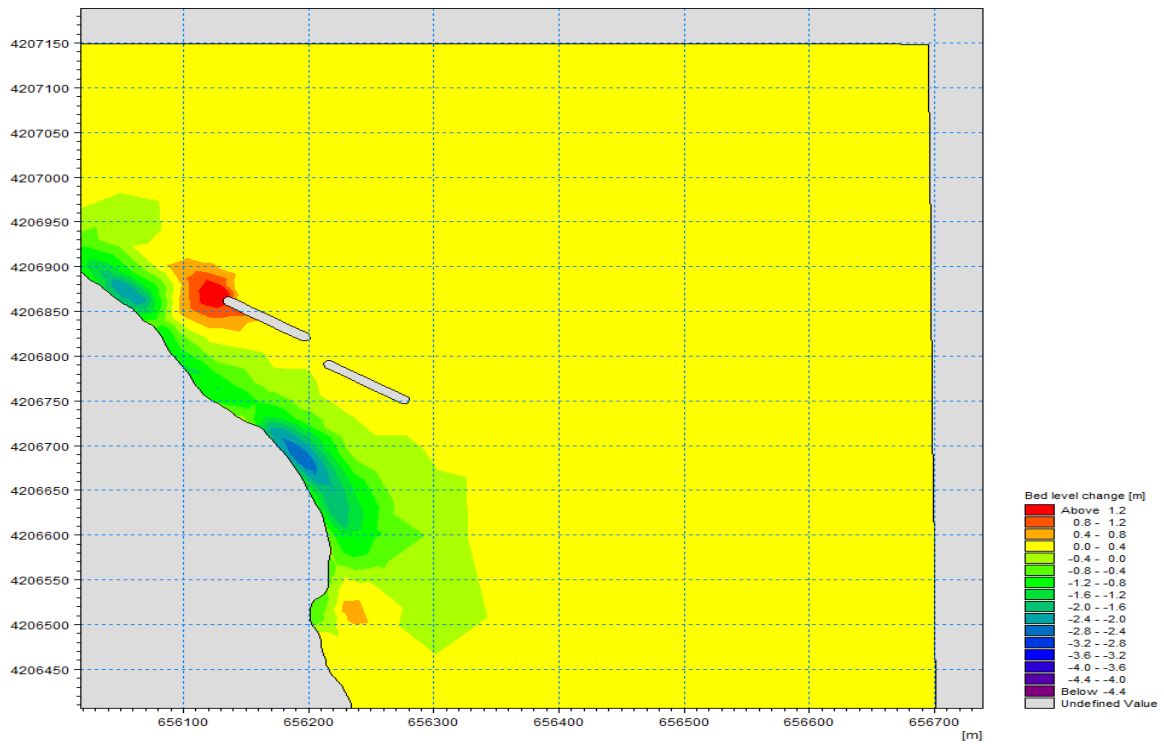
Από Σχήμα 7.31 καταλήγουμε ότι η μέγιστη αλλαγή της στάθμης του πυθμένα είναι στη θέση ανάντη του 1^{ου} κυματοθραύστη με άνοδο της στάθμης του πυθμένα της τάξεως των 1.2m. Αντίστοιχα στα κατάντη του 2^{ου} κυματοθραύστη αναμένεται η μέγιστη μείωση της στάθμης του πυθμένα κατά 2.5m.



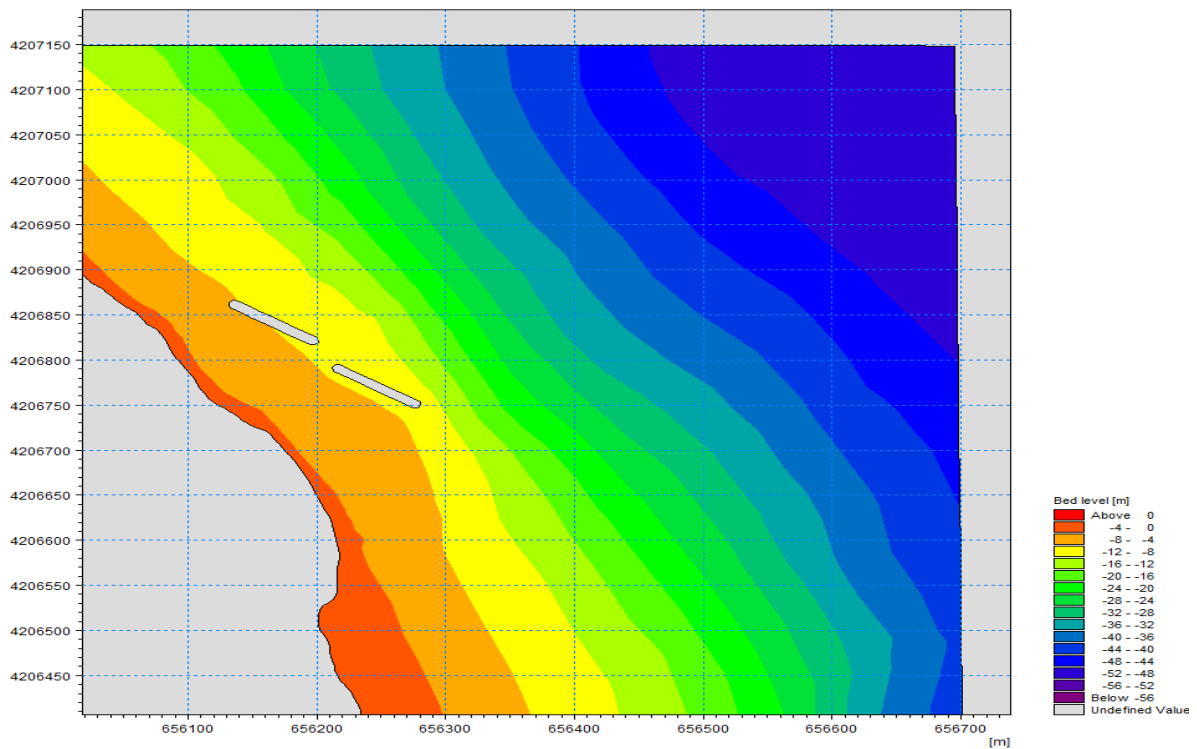
Σχήμα 7.31. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.3, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.50 mm.



Σχήμα 7.32. Χωρική κατανομή στερεομεταφοράς y στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.3, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.50 mm.



Σχήμα 7.33. Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.3, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.50 mm.



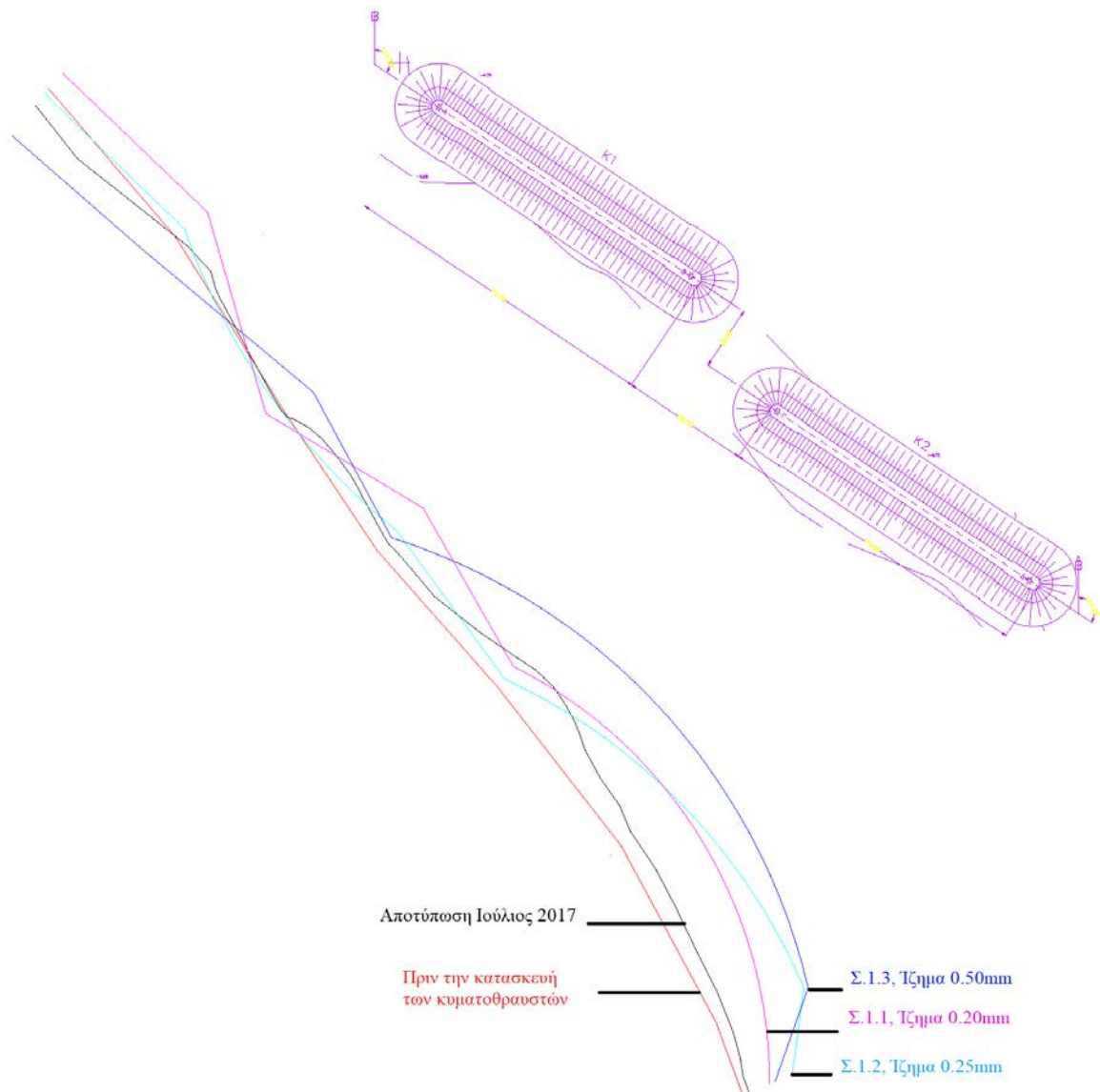
Σχήμα 7.34. Τελική βαθυμετρία στο πέρας της προσομοίωσης για σενάριο Σ.2.3, με μεταβαλλόμενο άνεμο και διάμετρο ιζήματος 0.50 mm.

7.3 Εξέλιξη ακτογραμμής

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υποπρογράμματος Shoreline Morphology για τα δύο βασικά σενάρια καθώς και για τα διαφορετικά υποσενάρια. Κρίθηκε σκόπιμος ο σχεδιασμός στο Autocad των ακτογραμμών που λαμβάνουμε από την προσομοίωση κάθε προσέγγισης για κάθε ιζήμα καθώς και της αρχικής ακτογραμμής έτσι όπως είχε χαραχτεί πριν την κατασκευή των κυματοθραυστών όπως και της τελικής ακτογραμμής έτσι όπως μετρήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Τέλος παρουσιάζονται και συγκριτικά σχήματα για κάθε διάμετρο κόκκων ιζήματος και με τα δύο βασικά σενάρια για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την απόδοση της προσομοίωσης.

7.3.1 Πρόβλεψη εξέλιξης ακτογραμμής με προσέγγιση ισοδύναμων κυματισμών, Σ.1

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η εκτίμηση της εξέλιξης της ακτογραμμής έτσι όπως προέκυψε από το σενάριο ισοδύναμων κυματισμών Σ.1.



Σχήμα 7.35. Εκτίμηση εξέλιξης ακτογραμμής με την προσέγγιση των ισοδύναμων κυματισμών, Σ.1.

Στο Σχήμα 7.35 παρουσιάζονται συνολικά 5 ακτογραμμές. Η βασική ακτογραμμή η οποία απεικονίζει την αρχική ακτογραμμή πριν την κατασκευή των κυματοθραυστών απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα. Η μετρημένη στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής πραγματική ακτογραμμή και η οποία αποτελεί τη βάση σύγκρισης για τα αποτελέσματά μας έχει μαύρο χρώμα. Με ροζ χρώμα (ματζέντα) απεικονίζεται η ακτογραμμή η οποία προκύπτει μετά από την προσομοίωση για το Σ.1.1, με χρήση ίζηματος με διάμετρο κόκκων 0,20 mm. Με κυανό χρώμα (ανοιχτό μπλε) απεικονίζεται η ακτογραμμή η οποία προκύπτει μετά την προσομοίωση για το Σ.1.2, για ίζημα με διάμετρο κόκκων 0,25 mm. Με σκούρο μπλε χρώμα απεικονίζεται η ακτογραμμή η οποία προκύπτει μετά από την προσομοίωση Σ.1.3, για ίζημα με διάμετρο κόκκων 0,50 mm.

Για τη σύγκριση των ακτογραμμών θα χρησιμοποιήσουμε τρεις ζώνες:

- Ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη, όπου αναμένεται διάβρωση.
- Στη «σκιά» του πρώτου κυματοθραύστη, όπου αναμένεται προσάμμωση.
- Στη «σκιά» του δεύτερου κυματοθραύστη, όπου αναμένεται προσάμμωση.

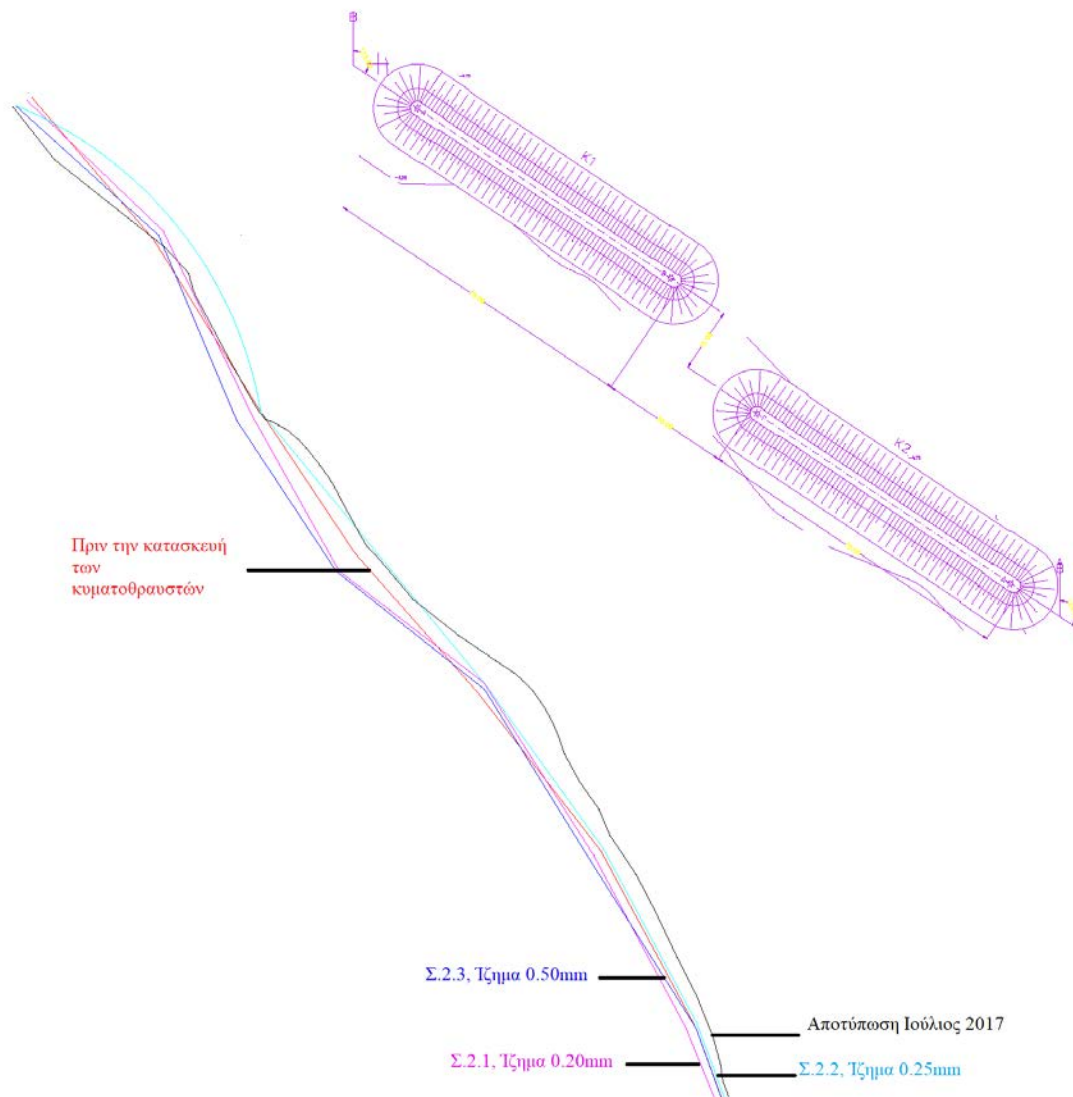
Παρατηρώντας τις απεικονίσεις των ακτογραμμών του σχεδίου εξάγονται τα εξής συμπεράσματα (οι χαρακτηρισμοί διάβρωση και προσάμμωση έχουν ως σημείο αναφοράς την αρχική ακτογραμμή πριν την κατασκευή των κυματοθραυστών):

- Η αναμενόμενη διάβρωση στα ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη εμφανίζεται μόνο στα υποσενάρια των Σ.1.2, 0,25mm και των Σ.1.3, 0,50mm. Η περίπτωση του Σ.1.3, 0,50 mm υπερεκτιμά την αναμενόμενη διάβρωση ενώ η περίπτωση του Σ.1.2, 0,25 mm υποεκτιμά την αναμενόμενη διάβρωση. Το σενάριο Σ.1.1 0,20 mm προβλέπει προσάμμωση σε αυτή τη ζώνη, κάτι το οποίο είναι μη αναμενόμενο. Ίσως να οφείλεται στο ότι το ίζημα με διάμετρο 0,20 είναι αρκετά πιο λεπτόκοκκο από το πραγματικό ίζημα της περιοχής επομένως να λειτουργεί διαφορετικά, η και ακόμα στη δράση των ρευμάτων της παράκτιας ζώνης. Πιο καλή προσομοίωση σε αυτή τη ζώνη πραγματοποιείται στο υποσενάριο Σ.1.2, 0,25mm διάμετρος η οποία είναι και η πιο κοντινή στο ίζημα το οποίο συναντούμε στην περιοχή μελέτης.
- Στη «σκιά» του πρώτου κυματοθραύστη βρίσκονται ογκόλιθοι θωράκισης οι οποίοι δεν έχουν μετακινηθεί επομένως η σημερινή ακτογραμμή δεν έχει αλλάξει σε αρκετό μήκος της. Εμφανίζεται προσάμμωση ακριβώς στο πέρας των ογκολίθων όπως αναμενόταν. Το υποσενάριο Σ.1.3, 0,50mm προσεγγίζει καλά την προσάμμωση η οποία θα εμφανιζόταν εάν δεν υπήρχε η θωράκιση σε αυτή τη ζώνη. Το υποσενάριο Σ.1.1, 0,20mm εμφανίζει διάβρωση στη ζώνη της θωράκισης κάτι το οποίο δεν αναμένεται. Η αναμενόμενη προσάμμωση σε αυτό το σενάριο εμφανίζεται λίγο πιο μετά, αλλά με υπερεκτιμημένη. Το υποσενάριο Σ.1.2, 0,25mm προσεγγίζει αρκετά καλά την πραγματικότητα διατηρώντας αμετάβλητη την ακτογραμμή στην περιοχή της θωράκισης και εμφανίζοντας την προσάμμωση στο πέρας της θωράκισης.
- Στη «σκιά» του δεύτερου κυματοθραύστη αναμενόμενα σε κάθε περίπτωση προσάμμωση. Και στα τρία υποσενάρια εμφανίζεται η αναμενόμενη προσάμμωση αλλά και στις τρεις περιπτώσεις είναι υπερεκτιμημένη. Ειδικότερα το υποσενάριο Σ.1.3, 0,50mm υπερεκτιμάει σε πολύ μεγάλο βαθμό την αναμενόμενη προσάμμωση. Το υποσενάριο Σ.1.2, 0,25mm υπερεκτιμάει επίσης την προσάμμωση αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με το υποσενάριο Σ.1.3, 0,50mm. Τέλος, το πιο κοντινό στην πραγματικότητα υποσενάριο σε αυτή τη ζώνη είναι το υποσενάριο Σ.1.1, 0,20mm.

Συνολικά η προσέγγιση των ισοδύναμων κυματισμών, Σ.1, προσεγγίζει αρκετά καλά την περιοχή μας εμφανίζοντας όμως αρκετά προβλήματα στην εκτίμηση της εξέλιξης της ακτογραμμής στη «σκιά» του δεύτερου κυματοθραύστη. Η τάση υπερεκτίμησης της προσάμμιωσης παραπέμπει σε δημιουργία «tombolo» κάτι το οποίο δεν υφίσταται στην πραγματικότητα. Σε άλλα σημεία οι προσομοιώσεις είναι πιο συντηρητικές από την πραγματικότητα όπως στην «σκιά» της αρχής του δεύτερου κυματοθραύστη. Πιο κοντινό στην πραγματικότητα υποσενάριο, το οποίο ταυτόχρονα δεν υποπίπτει σε λάθη είναι το σενάριο Σ.1.2 , κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο εφόσον η τιμή διαμέτρου κόκκων ιζήματος 0,25mm είναι αυτή η οποία βρίσκεται πιο κοντά στην πραγματικότητα. Παρατηρούμε ότι η προσομοίωση πιο λεπτόκοκκου από την πραγματικότητα ιζήματος εμφανίζει λανθασμένη μετατόπιση στις αναμενόμενες περιοχές διάβρωσης-προσάμμιωσης. Τέλος το υποσενάριο Σ.1.3 εμφανίζει σωστά αποτελέσματα, αλλά τείνει να υπερεκτιμά τις προσαμμώσεις και τις διαβρώσεις οι οποίες αναμένονται.

7.3.2 Πρόβλεψη εξέλιξης ακτογραμμής με προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2.

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η εκτίμηση της εξέλιξης της ακτογραμμής έτσι όπως προέκυψε από το σενάριο μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2.



Σχήμα 7.36. Εκτίμηση εξέλιξης ακτογραμμής με την προσέγγιση του μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2.

Στο Σχήμα 7.38 παρουσιάζονται συνολικά 5 ακτογραμμές. Η βασική ακτογραμμή η οποία απεικονίζει την αρχική ακτογραμμή πριν την κατασκευή των κυματοθραυστών απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα. Η μετρημένη στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής πραγματική ακτογραμμή και η οποία αποτελεί τη βάση σύγκρισης για τα αποτελέσματά μας έχει μαύρο χρώμα. Με ροζ χρώμα (ματζέντα) απεικονίζεται η ακτογραμμή η οποία προκύπτει μετά από την προσομοίωση για το Σ.2.1, με χρήση ιζήματος με διάμετρο κόκκων 0,20 mm. Με κυανό χρώμα (ανοιχτό μπλε) απεικονίζεται η ακτογραμμή η οποία προκύπτει μετά την προσομοίωση για το Σ.2.2, για ίζημα με διάμετρο κόκκων 0,25 mm. Με σκούρο μπλε χρώμα απεικονίζεται η ακτογραμμή η οποία προκύπτει μετά από την προσομοίωση Σ.2.3, για ίζημα με διάμετρο κόκκων 0,50 mm.

Για τη σύγκριση των ακτογραμμών θα χρησιμοποιήσουμε τρεις ζώνες:

- Ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη, όπου αναμένεται διάβρωση.
- Στη «σκιά» του πρώτου κυματοθραύστη, όπου αναμένεται προσάμμωση.
- Στη «σκιά» του δεύτερου κυματοθραύστη, όπου αναμένεται προσάμμωση.

Παρατηρώντας τις απεικονίσεις των ακτογραμμών του σχεδίου εξάγονται τα εξής συμπεράσματα (οι χαρακτηρισμοί διάβρωση και προσάμμωση έχουν ως σημείο αναφοράς την αρχική ακτογραμμή πριν την κατασκευή των κυματοθραυστών):

- Η αναμενόμενη διάβρωση ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη εμφανίζεται και στα τρία υποσενάρια.
- Στην αρχή της «σκιάς» του πρώτου κυματοθραύστη και στα τρία υποσενάρια εμφανίζεται προσάμμωση. Στο υποσενάριο Σ.2.2 των 0,25mm εμφανίζεται υπερεκτιμημένη η προσάμμωση η οποία έχουμε ενώ στις άλλες δύο περιπτώσεις βρισκόμαστε αρκετά κοντά στην πραγματικότητα. Το πρόβλημα για τα δύο υποσενάρια εμφανίζεται στη ζώνη όπου έχουμε τη θωράκιση και που η ακτογραμμή πρέπει να μείνει αμετάβλητη. Στα υποσενάρια Σ.2.1 των 0,20mm όπως και στο Σ.2.3 των 0,50mm εμφανίζεται μη αναμενόμενη διάβρωση σε αυτή τη ζώνη. Το υποσενάριο Σ.2.2 των 0,25mm εμφανίζει προσάμμωση μεν, υπερεκτιμημένη δε. Αμέσως μετά το τέλος της θωράκισης όπου και έχουμε ξανά προσάμμωση μόνο το υποσενάριο των 0,25mm ακολουθεί την πραγματικότητα. Τα υπόλοιπα δύο συνεχίζουν να εμφανίζουν διάβρωση σε αυτή την περιοχή.
- Στη σκιά του δεύτερου κυματοθραύστη και στα τρία σενάρια εμφανίζεται προσάμμωση. Το πιο κοντινό στην πραγματικότητα σενάριο σε αυτή τη ζώνη είναι το σενάριο Σ.2.2 των 0,25mm.

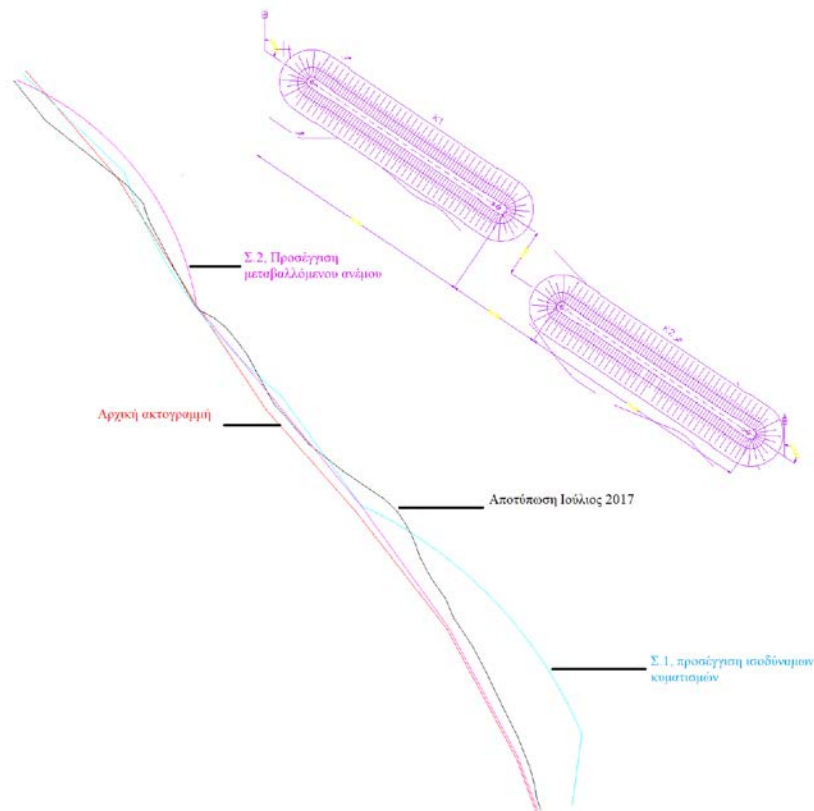
Συνολικά η προσέγγιση του μεταβαλλόμενου ανέμου προσεγγίζει αρκετά καλά την περιοχή μας εμφανίζοντας όμως αρκετά προβλήματα στην εκτίμηση της εξέλιξης της ακτογραμμής στη «σκιά» του πρώτου κυματοθραύστη. Μόνο στο υποσενάριο των Σ.2.2 0,25mm εμφανίζεται η αναμενόμενη προσάμμωση. Στα άλλα δύο υποσενάρια (Σ.2.1 και Σ.2.3) εμφανίζεται διάβρωση, κάτι το οποίο δεν αναμένεται σε αυτή τη θέση. Ίσως να οφείλεται στην διαφορετική από την πραγματικότητα διάμετρο ιζήματος όπως και στη δράση του παράκτιου ρεύματος. Επίσης δεν μπορούμε να ενημερώσουμε το πρόγραμμα για την θωράκιση επομένως θεωρεί πως η ακτογραμμή στη ζώνη θωράκισης μπορεί να μεταβληθεί, κάτι το οποίο δεν ισχύει.

Και στην περίπτωση του μεταβαλλόμενου ανέμου το υποσενάριο το οποίο προσεγγίζει καλύτερα την πραγματικότητα είναι το Σ.2.2 της διαμέτρου κόκκων ιζήματος 0,25mm, κάτι το οποίο αναμενόταν.

7.3.2 Σύγκριση προσεγγίσεων εξέλιξης ακτογραμμής για διάμετρο κόκκων ιζήματος 0,25mm

Στην παρούσα υποενότητα γίνεται σύγκριση της απόδοσης της προσομοίωσης των δύο κύριων σεναρίων βασισμένοι στην θέση της τελικής ακτογραμμής έτσι όπως αυτή προέκυψε μετά από προσομοίωση. Επιλέχθηκαν τα υποσενάρια Σ.1.2 και Σ.2.2, διαμέτρου κόκκων ιζήματος 0,25mm γιατί είναι το πιο κοντινά στην πραγματικότητα και επίσης γιατί δεν εμφάνιζαν λάθη στην πρόβλεψη των θέσεων προσάμμωσης-διάβρωσης.

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η εκτίμηση της εξέλιξης της ακτογραμμής έτσι όπως προέκυψε από τις δύο προσεγγίσεις.



Σχήμα 7.37. Εκτίμηση εξέλιξης ακτογραμμής για ίζημα με διάμετρο κόκκων 0,25mm με αμφότερες τις προσεγγίσεις, Σ.1.2 και Σ.2.2.

Στο Σχήμα 7.37 παρουσιάζονται συνολικά 4 ακτογραμμές. Η βασική ακτογραμμή η οποία απεικονίζει την αρχική ακτογραμμή πριν την κατασκευή των κυματοθραυστών απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα. Η μετρημένη στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής πραγματική ακτογραμμή και η οποία αποτελεί τη βάση σύγκρισης για τα αποτελέσματά μας έχει μαύρο χρώμα. Με ροζ χρώμα (ματζέντα) απεικονίζεται η ακτογραμμή η οποία προκύπτει μετά από την προσομοίωση για ίζημα με διάμετρο κόκκων 0,25 mm στο υποσενάριο Σ.2.2. Με κυανό χρώμα (ανοιχτό μπλε) απεικονίζεται η ακτογραμμή η οποία προκύπτει από το σενάριο προσομοίωσης Σ.1.2.

Για τη σύγκριση των ακτογραμμών θα χρησιμοποιήσουμε τρεις ζώνες:

- Ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη, όπου αναμένεται διάβρωση.
- Στη «σκιά» του πρώτου κυματοθραύστη, όπου αναμένεται προσάμμωση.
- Στη «σκιά» του δεύτερου κυματοθραύστη, όπου αναμένεται προσάμμωση.

Παρατηρώντας τις απεικονίσεις των ακτογραμμών του σχεδίου εξάγονται τα εξής συμπεράσματα (οι χαρακτηρισμοί διάβρωση και προσάμμωση έχουν ως σημείο αναφοράς την αρχική ακτογραμμή πριν την κατασκευή των κυματοθραυστών):

- Ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη αμφότερες οι προσεγγίσεις εμφανίζουν, όπως αναμένεται διάβρωση. Πιο κοντά στην πραγματικότητα πλησιάζει η προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2.2.
- Στη «σκιά» του πρώτου κυματοθραύστη η προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2.2 τείνει να υπερεκτιμήσει την προσάμμωση η οποία αναμένεται. Η προσέγγιση ισοδύναμων

κυματισμών, Σ.1.2, εδώ είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα. Στη ζώνη αμέσως μετά τη θωράκιση πιο κοντά στην πραγματικότητα βρίσκεται η προσέγγιση του μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2.2.

- Στη «σκιά» του δεύτερου κυματοθραύστη η προσέγγιση ισοδύναμων κυματισμών, Σ.1.2 αρχικά είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα αλλά στη συνέχεια υπερεκτιμά την αναμενόμενη προσάμμιση. Αντιθέτως, η προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2.2 υποεκτιμά την προσάμμιση αλλά βρίσκεται αρκετά πιο κοντά στην πραγματικότητα σε σύγκριση με την προσέγγιση ισοδύναμων κυματισμών.

Μετά από αυτή τη σύγκριση είναι πλέον κατανοητό ότι η προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου εκτιμά συνολικά καλύτερα την εξέλιξη της ακτογραμμής για το πεδίο μελέτης το οποίο εμείς έχουμε. Βασιζόμενοι μόνο σε κριτήρια ακρίβειας αποτελεσμάτων θα επιλέγαμε αυτή την προσέγγιση. Όμως, η προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου αν και ακριβέστερη εμφανίζει το μεγάλο μειονέκτημα του αυξημένου χρόνου προσομοίωσης. Η προσέγγιση ισοδύναμων κυματισμών είναι αρκετά πιο σύντομη στους υπολογισμούς και δεν απαιτεί την υπολογιστική ισχύ την οποία απαιτεί η προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου.

8. Συμπεράσματα

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα για τα δύο κομμάτια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

8.1 Συμπεράσματα ως προς την διάβρωση

Η Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης όπως αναφέρθηκε είναι μία αρκετά πολύπλοκη διαδικασία η οποία προϋποθέτει τη συμβολή διάφορων επιστημονικών κλάδων όπως και φορέων της περιοχής στην οποία αναφέρεται. Στην παρούσα διπλωματική επιχειρήθηκε να διεξαχθεί ένα μικρό κομμάτι μόνο της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Παράκτιας Ζώνης το οποίο σχετίζεται με την μείωση της διάβρωσης στις παράκτιες περιοχές.

Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε η οποία και μπορεί να θεωρηθεί ως η ενδεικνύομενη αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

- Οριοθέτηση της ευρύτερης περιοχής μελέτης.
- Αυτοψία της ευρύτερης περιοχής μελέτης.
- Καταγραφή και αποτύπωση των περιοχών οι οποίες χρήζουν επέμβασης και προστασίας.
- Συλλογή δεδομένων σχετικά με τα έργα προστασίας τα οποία υπάρχουν ήδη στις επιλεγμένες περιοχές.
- Συλλογή δεδομένων σχετικά με τις χρήσεις γης στις επιλεγμένες περιοχές.
- Κατηγοριοποίηση του είδους διάβρωσης το οποίο αυτές οι περιοχές έχουν (χρόνια, οξεία, κρίσιμη, μη κρίσιμη)
- Κατηγοριοποίηση των επιλεγμένων περιοχών ανάλογα με τις χρήσεις γης.
- Κατηγοριοποίηση κινδύνου.
- Επιλογή τρόπου επέμβασης (έργα προστασίας, γραμμή υποχώρησης, αναπλήρωση ακτής).
- Στην περίπτωση έργων προστασίας επιλογή του καταλληλότερου έργου ή και συνδυασμών διαφορετικών έργων.

Βέβαια αυτά είναι μόνο τα βασικά βήματα για μία ολοκληρωμένη δράση μείωσης της παράκτιας διάβρωσης στις περιοχές μας. Όπως άλλωστε ισχύει τις περισσότερες φορές, και ειδικότερα στην Ελλάδα, η εφαρμογή γραμμής υποχώρησης από την ακτή είναι κάτι το οποίο δεν μπορεί να συμβεί λόγω της ύπαρξης πολλών παράκτιων εγκαταστάσεων όπως και παράκτιων υποδομών και δρόμων. Επομένως υπάρχουν και πρόσθετοι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη σε μία ολοκληρωμένη μελέτη μείωσης της παράκτιας διάβρωσης.

8.2 Συμπεράσματα αριθμητικής προσομοίωσης

Στο δεύτερο τμήμα της παρούσας διπλωματικής μελετήθηκε η απόκριση της ακτής κυματοθραυστών Κιάτου για την περίοδο 2009-2016. Όλες οι επί μέρους προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος MIKE 21 της DHI. Η εισαγωγή της περιοχής μελέτης στο πρόγραμμα πραγματοποιήθηκε με την μορφή μη δομημένου τριγωνικού υπολογιστικού πλέγματος για μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς μας. Από κάθε υποπρόγραμμα του μοντέλου ελήφθησαν αποτελέσματα σχετικά με το κυματικό πεδίο της περιοχής μελέτης, το υδροδυναμικό πεδίο της περιοχής μελέτης όπως και τη στερεομεταφορά η οποία παρατηρείται στην περιοχή μελέτης. Ταυτόχρονα, έγινε πρόβλεψη της εξέλιξης της ακτογραμμής με τη χρήση του ίδιου προγράμματος.

Πιο αναλυτικά μέσω της συζευγμένης προσομοίωσης Mike 21 Coupled mode FM πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί χαρακτηριστικών υψών κυματισμών, ταχυτήτων κατά x και y, πυκνοτήτων ροής Q και P, στερεομεταφοράς παράλληλα και κάθετα στην ακτή καθώς και αλλαγής

της στάθμης του πυθμένα και απεικόνιση της τελικής βαθυμετρίας της περιοχής μετά την προσομοίωση.

Χρησιμοποιήθηκαν 2 βασικά σενάρια ως προς τη γενεσιουργό δύναμη, την προσέγγιση των ισοδύναμων κυματισμών και την προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 3 πρόσθετα υποσενάρια σε κάθε περίπτωση μεταβάλλοντας τη διάμετρο των κόκκων ιζήματος. Τέλος παρουσιάστηκε η εξέλιξη της ακτογραμμής για κάθε σενάριο και υποσενάριο όπως αυτή υπολογίστηκε από το πρόγραμμα σε κοινό σχέδιο με την αποτύπωση η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για την προσέγγιση ισοδύναμων κυματισμών, Σενάριο 1, η γενική εκτίμηση είναι ότι εκτιμά αρκετά καλά την εξέλιξη της ακτογραμμής ως προς τις θέσεις διάβρωσης και προσάμμωσης αλλά και στα τρία υποσενάρια τείνει να δημιουργήσει αρκετή προσάμμωση στη σκιά του δεύτερου κυματοθραύστη. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι ισοδύναμοι κυματισμοί οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονταν σε παρατηρήσεις της διετίας 2015-2016, οι οποίες έχουν επικρατέστερους ανέμους τους Β-ΒΑ, επειδή τότε ξεκίνησε τη λειτουργία του ο μετεωρολογικός σταθμός Κιάτου. Επίσης μπορεί να οφείλεται και στο γεγονός ότι οι ισοδύναμοι κυματισμοί του Δυτικού καθώς και του Νότιου ανέμου έχουν πολύ μικρή τιμή ύψους ισοδύναμου κύματος λόγω της μορφολογίας της ακτής και της μικρής έως μηδενικής τιμής ενεργού αναπτύγματος. Επομένως είναι λογικό η κύρια μεταφορά ιζήματος με αυτήν την προσέγγιση να γίνεται από ΒΔ προς τα ΝΑ δημιουργώντας έτσι φαινόμενο «tombolo» στα αποτελέσματα του προγράμματος. Ως προς τα υποσενάρια, το υποσενάριο Σ.1.1 (ιζήμα διαμέτρου 0.20mm) εμφανίζει μη αναμενόμενη διάβρωση στη σκιά του πρώτου κυματοθραύστη, υπερεκτίμηση της προσάμμωσης στον δεύτερο κυματοθραύστη καθώς και μη αναμενόμενη προσάμμωση στα ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη. Το υποσενάριο Σ.1.2 (ιζήμα διαμέτρου 0.25mm) εκτιμάει σωστά την εξέλιξη της ακτογραμμής ως προς τις θέσεις διάβρωσης και προσάμμωσης ενώ η μόνη αστοχία του είναι η υπερεκτίμηση της προσάμμωσης στη «σκιά» του δεύτερου κυματοθραύστη. Τέλος, το υποσενάριο Σ.1.3 υπερεκτιμά τη διάβρωση στα ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη όπως και την προσάμμωση στη σκιά του πρώτου και του δεύτερου κυματοθραύστη, σε γενικές γραμμές όμως εκτιμά ικανοποιητικά τις θέσεις διάβρωσης και προσάμμωσης.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της προσέγγισης του μεταβαλλόμενου ανέμου, Σενάριο 2, η γενική εκτίμηση είναι ότι και εδώ εκτιμάται αρκετά καλά η εξέλιξη της ακτογραμμής, χωρίς όμως να υπερεκτιμά την διάβρωση ή την προσάμμωση σε μεγάλο βαθμό, όπως αυτό συμβαίνει στο Σενάριο 1. Αυτό μπορεί να οφείλεται εν μέρει στην απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης πνοής ανέμων για τα έτη 2015-2016, η οποία επικράτησε στην περιοχή λόγω της χρήσης των παρατηρήσεων των ανέμων που είχαν καταγραφεί εκεί. Παρατηρώντας την απεικόνιση της εκτίμησης της εξέλιξης της ακτογραμμής βλέπουμε ότι στα περισσότερα υποσενάρια η τάση είναι η υποεκτίμηση της προσάμμωσης όπου αυτή παρατηρείται. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην χρήση αρκετών παρατηρήσεων που αφορούν τα έτη 2009-2014 από το μετεωρολογικό σταθμό Ισθμού. Στον Ισθμό οι επικρατούντες άνεμοι είχαν διεύθυνση ΒΔ και ΝΑ, παρασύροντας έτσι το ίζημα από τις θέσεις προσάμμωσης. Επίσης οι άνεμοι στον Ισθμό εμφάνιζαν μεγαλύτερη ένταση σε σχέση με αυτούς του Κιάτου επομένως κάτι τέτοιο είναι λογικό να παρατηρείται. Ως προς τα υποσενάρια τώρα, όλα τα υποσενάρια εμφανίζουν την αναμενόμενη διάβρωση στα ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη καθώς και την αναμενόμενη προσάμμωση στη «σκιά» του δεύτερου κυματοθραύστη. Η διαφορά στα τρία υποσενάρια εντοπίζεται στη «σκιά» του πρώτου κυματοθραύστη. Τα υποσενάρια Σ.2.1 (ιζήμα διαμέτρου 0.20mm) και Σ.2.3 (ιζήμα διαμέτρου 0.50mm) εμφανίζουν διάβρωση σε αυτή τη ζώνη κάτι το οποίο δεν είναι αναμενόμενο ενώ μόνο το σενάριο Σ.2.2 (ιζήμα διαμέτρου 0.25mm) εμφανίζει προσάμμωση. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι η διάμετρος κόκκων ιζήματος η οποία προσεγγίζει

περισσότερο την πραγματικότητα είναι 0.25mm (Σ.2.2) και γι αυτό τα άλλα δύο υποσενάρια να αποτυγχάνουν να εκτιμήσουν την αναμενόμενη προσάμμιση. Στη σκιά του δεύτερου κυματοθραύστη όλα τα υποσενάρια εμφανίζουν προσάμμιση μεν, υποεκτιμημένη δε για τους λόγους που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Τέλος επιλέχθηκε η σύγκριση των δύο προσεγγίσεων ισοδύναμων κυματισμών, Σ.1, και μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2, για τη διάμετρο κόκκων 0.25mm που είναι άλλωστε και η πιο κοντινή διάμετρος στην πραγματική κατάσταση, αλλά και επειδή σε αυτά τα υποσενάρια (Σ.1.2 και Σ.2.2) δεν εμφανίστηκαν σφάλματα ως προς τις θέσεις διάβρωσης και προσάμμισης. Στη ζώνη στα ανάντη του πρώτου κυματοθραύστη αμφότερες οι προσεγγίσεις εμφάνισαν διάβρωση με την προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου να βρίσκεται πιο κοντά στην πραγματικότητα. Στη «σκιά» του πρώτου κυματοθραύστη η προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2.2 τείνει να υπερεκτιμήσει την προσάμμιση η οποία αναμένεται. Η προσέγγιση ισοδύναμων κυματισμών, Σ.1.2, εδώ είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα. Στη ζώνη στη σκιά του δεύτερου κυματοθραύστη η προσέγγιση ισοδύναμων κυματισμών, Σ.1.2 αρχικά είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα αλλά στη συνέχεια υπερεκτιμά την αναμενόμενη προσάμμιση. Αντιθέτως, η προσέγγιση μεταβαλλόμενου ανέμου, Σ.2.2 υποεκτιμά την προσάμμιση αλλά βρίσκεται αρκετά πιο κοντά στην πραγματικότητα σε σύγκριση με την προσέγγιση ισοδύναμων κυματισμών.

Είναι επομένως κατανοητό ότι η προσέγγιση του μεταβαλλόμενου ανέμου είναι αυτή η οποία εκτιμά συνολικά καλύτερα την εξέλιξη της ακτογραμμής. Αυτό αναμένεται άλλωστε διότι ο εναλλασσόμενος άνεμος προσεγγίζει καλύτερα την πραγματικότητα από την προσέγγιση ισοδύναμων κυματισμών, ειδικότερα στην περίπτωση μας όπου οι ισοδύναμοι κυματισμοί προέκυψαν από στατιστική ανάλυση παρατηρήσεων μόνο δύο ετών.

8.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στο κομμάτι της διαχείρισης της παράκτιας ζώνης θα μπορούσαν να ενταχθούν περισσότερες περιοχές «προτεραιότητας β» οι οποίες δεν εμφανίζουν άμεσα προβλήματα διάβρωσης. Επομένως θα μπορούσε να γίνει μία πρόβλεψη των περιοχών οι οποίες θα εμφανίσουν προβλήματα διάβρωσης σε βάθος πενταετίας ή και δεκαετίας και να γίνει μία πρόβλεψη μέτρων τα οποία θα μπορούσαν να ληφθούν όχι με έκτακτο χαρακτήρα, αλλά με σκοπό την αποφυγή της διάβρωσης. Τέλος θα μπορούσε να γίνει μία λεπτομερέστερη περιγραφή όλης της ακτογραμμής της ευρύτερης περιοχής μελέτης με την διαδικασία η οποία περιγράφηκε στην παρούσα διπλωματική.

Στο κομμάτι της προσομοίωσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η εκ νέου προσομοίωση της περιοχής κυματοθραυστών Κιάτου σε κάποια χρόνια. Λόγω της λειτουργίας του μετεωρολογικού σταθμού στο Κιάτο θα μπορούσαν να ληφθούν οι πραγματικές τιμές ανέμων οι οποίες παρατηρήθηκαν στην περιοχή και να μη χρειάζεται όπως στη δικιά μας περίπτωση να χρησιμοποιηθούν παρατηρήσεις από κοντινό σταθμό. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα αμφότερες οι προσεγγίσεις ισοδύναμων κυματισμών όπως και μεταβαλλόμενου ανέμου να έχουν πιο ακριβή αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βεζυριανού Ο., Μουτζούρης Κ.Ι., «Ένα Ολοκληρωμένο Πρόγραμμα Προστασίας από την Διάβρωση των Νοτιοανατολικών Ακτών του Κορινθιακού Κόλπου», Πανελλήνιο Συνέδριο Διαχείριση και Βελτίωση Παρακτίων Ζωνών, Τόμος Εισηγήσεων, Αθήνα 1999

Γιαντσή Θ., Αζοράκος Σ., Μουτζούρης Κ.Ι., «Απόδοση Έργων Προστασίας Ακτών στον Κορινθιακό Κόλπο», Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο Διαχείριση και Βελτίωση Παρακτίων Ζωνών, Τόμος Εισηγήσεων, Αθήνα 2014

Ζόλκος Π. (2010), Μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο «Περιβαλλοντική Αποτίμηση και Οικονομοτεχνική Εκτίμηση Έργων Προστασίας Παράκτιας Ζώνης του Νότιου Κορινθιακού Κόλπου», Ε.Μ.Π., Αθήνα

Καρύμπαλης Ε., *Παράκτια Γεωμορφολογία*, Αθήνα 2010

Κουτίτας Χ., *Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα*, Θεσσαλονίκη 1998

Μαρουκιάν Χ., Γάκη-Παπαναστασίου Κ., Αδαμόπουλος Σ., Δημόπουλος Γ., «Γεωμορφολογία και Ανθρωπογενείς Επεμβάσεις στην Περιοχή Ξυλοκάστρου – Μαύρα Λιθάρια, Βόρεια Πελοπόννησος», Δεύτερο Πανελλήνιο Συνέδριο Διαχείριση και Βελτίωση Παρακτίων Ζωνών, Τόμος Εισηγήσεων, Αθήνα 2002

Μέμος Κ., *Μαθήματα Λιμενικών Έργων*, Αθήνα 2005

Μουτζούρης Κ.Ι., *Εισαγωγή στην Ακτομηχανική*, Αθήνα 2005

Μουτζούρης Κ.Ι., *Θαλάσσια υδραυλική*, Αθήνα 2009

Παπαφωτίου Α.Ε., Παπαφωτίου Ε.Α., «Αποκατάσταση και Σταθεροποίηση Παράκτιας Ζώνης Δυτικής Κορινθίας», Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο Διαχείριση και Βελτίωση Παρακτίων Ζωνών, Τόμος Εισηγήσεων, Αθήνα 2014

Ξένη Βιβλιογραφία

Borah K, Balloffet A., 1985, «Beach evolution caused by littoral drift barrier, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, vol 111, no4

D.H.I., Mangor K., Dronen N., Kaergaard K, Kristensen S., «Shoreline Management Guidelines», Horsholm, 2017

D.H.I., 2016, MIKE 21 SW, «Spectral Waves FM Module User Guide»

D.H.I., 2016, MIKE 21 SW, «Spectral Waves FM Module Scientific Documentation»

D.H.I., 2016, MIKE 21 FLOW MODEL FM, «Hydrodynamic Module User Guide »

D.H.I., 2016, MIKE 21 FLOW MODEL FM, «Hydrodynamic Module Scientific Documentation »

D.H.I., 2016, MIKE 21 FLOW MODEL FM, «Sand Transport Module Scientific Documentation »

D.H.I., 2016, MIKE 21 FLOW MODEL FM, « Sand Transport Module User Guide »

D.H.I., 2016, MIKE 21/3 COUPLED MODEL FM, « User Guide »

D.H.I., 2016, MIKE 21/3 COUPLED MODEL FM, « Shoreline Morphology User Guide »

Lagouvardos K., Kotroni V., Bezes A., Koletsis I., Kopania T., Lykoudis S. Mazarakis N. Papagiannaki K., Vougioukas S. «The automatic weather stations NOANN network of the National Observatory of Athens: operation and database», Geoscience Data Journal, Volume 4, Issue 1, Pages 4-16, 2017

LeBlond P., Mysak I. «Waves in the Ocean», Elsevier 1978

Piarc, Report no 123-2014, «Countries in transition (CIT): Coastal Erosion Mitigation Guidelines», Bruxelles, 2014

Post J.C., Lundin C.G. «Guidelines for Integrated Coastal Zone Management», The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington, 1996

UNESCO, «A Handbook for Measuring the Progress and Outcomes of Integrated Coastal Zone Management», IOC Manuals and Guides, 46; ICAM Dossier, 2. Paris, 2006

Βιβλιογραφία από το διαδίκτυο

Χρήσεις γης 1997-2007: www.oikoskopio.gr

Πρόγραμμα Corine 2000:<http://geodata.gov.gr/dataset/corine-2000>

Φωτογραφίες Geotag aeroview :

<https://www.tripinview.com/en/results?search=filters&countries=gr&page=0>

Οι φωτογραφίες για τις οποίες δεν αναφέρεται πηγή προέρχονται από το προσωπικό αρχείο του Ευαγγέλου Α. Παπαφωτίου.