

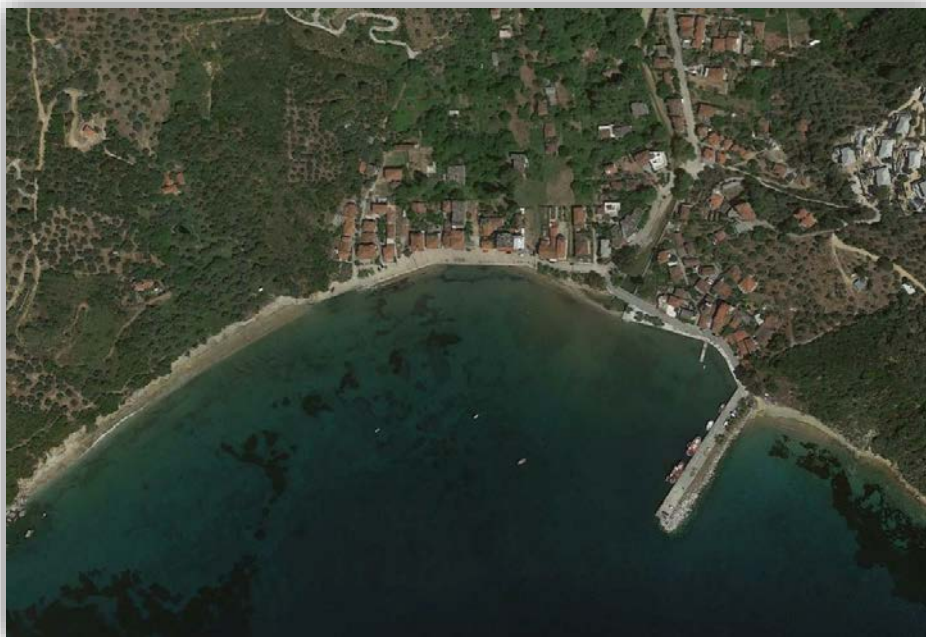


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΟΡΜΟΥ
ΠΛΑΤΑΝΙΑ ΠΗΛΙΟΥ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΝΕΟΥ
ΑΛΙΕΥΤΙΚΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ.**

ANNA TZHMA



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού
ΒΟΛΟΣ 2024

© 2024 Άννα Τζήμα

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

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) [Δρ. Βανέσσα Κατσαρδή](#)
[Επίκουρη Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας](#)

Δεύτερος Εξεταστής [Δρ. Λάμπρος Βασιλειάδης](#)
[Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας](#)

Τρίτος Εξεταστής [Δρ. Χρήστος Δριτσέλης](#)
[Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας](#)

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Βανέσσα Κατσαρδή, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής εργασίας. Οφείλω ευχαριστίες στον κ. Ηλία Μουσούλη και την εταιρία DHI για την παροχή και επεξήγηση του προγράμματος MIKE 21. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την συνάδελφο και φίλη μου, Μαρία Κωστούλα για την υποστήριξη της, την ενθάρρυνση και την πολύτιμη βοήθειά της κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας. Η συνεργασία και η αλληλοϋποστήριξη ήταν πολύτιμες για μένα. Ευχαριστώ τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξή τους και την κατανόησή, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στην οικογένεια μου, για την ολόψυχη αγάπη, την κατανόηση και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Με εκτίμηση,

Άννα Τζήμα

Βόλος, Οκτώβριος 2024

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΟΡΜΟΥ ΠΛΑΤΑΝΙΑ, ΠΗΛΙΟΥ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΑΛΙΕΥΤΙΚΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ.

Άννα Τζήμα

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2024

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: [Βανέσσα Κατσαρδή](#), Επίκουρη Καθηγήτρια

Περίληψη

Οι παράκτιες ζώνες αποτελούν ευαίσθητα και δυναμικά φυσικά συστήματα, που μεταβάλλονται συνεχώς λόγω των κυματισμών, των ανέμων και των ρευμάτων. Η κατασκευή παράκτιων έργων για ανθρώπινες ανάγκες επηρεάζει την αλληλεπίδραση των φυσικών διεργασιών με τις ακτές, οδηγώντας σε μια νέα ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη της επίδρασης του λιμανιού του Πλατανιά στον παράκτιο περιβάλλον και τις κυματικές συνθήκες της περιοχής. Εξετάζεται η κατανόηση των κινήσεων των φερτών υλικών στην περιοχή στην περίπτωση του προϋπάρχοντα μόλου και του νέου λιμένα. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι επιπτώσεις της κατασκευής του νέου λιμανιού στις κυματικές και υδροδυναμικές συνθήκες, προσδιορίστηκαν οι μεταβολές και εκτιμήθηκαν οι συνέπειες στη στερεομεταφορά των ιζημάτων. Μέσω της χρήσης του μοντέλου MIKE 21/3 Coupled Model FM και της σύγκρισης των δύο προσομοιώσεων (προϋπάρχοντα μόλου και νέο λιμάνι), αξιολογήθηκαν οι αλλαγές στην ακτογραμμή. Η εργασία προτείνει περαιτέρω έρευνα για τον υπολογισμό της διάβρωσης, την εκτίμηση των επιπτώσεων των κυματικών συνθηκών και των ρευμάτων, καθώς και τη βιωσιμότητα του νέου λιμανιού, με στόχο την αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων για την προστασία της περιοχής.

CHANGE IN THE MORPHOLOGY OF THE BAY OF PLATANIAS, PELION DUE TO THE CONSTRUCTION OF THE NEW FISHING SHELTER.

Anna Tzima

University of Thessaly, Department of Civil Engineering, 2024

Supervisor: Vanessa Katsardi, Associate Professor

Abstract

Coastal zones are sensitive and dynamic natural systems that constantly change due to waves, winds, and currents. The construction of coastal structures for human needs affects the interaction between natural processes and the coastline, leading to a new equilibrium in the natural environment. This thesis focuses on studying the impact of the port of Platania, Pelion on the coastal environment and wave conditions in the area. It examines the movement of sediment transport in the cases of the existing pier and the new port. Specifically, the effects of constructing the new port on wave and hydrodynamic conditions are analyzed, changes are identified, and the consequences for sediment transport are assessed. By utilizing the MIKE 21/3 Coupled Model FM and comparing the two simulations (existing pier and new port), the changes in the coastline are evaluated. The work suggests further research for calculating erosion, assessing the impacts of wave conditions and currents, and evaluating the sustainability of the new port, aiming to explore alternative solutions for the protection of the area.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή	16
1.1	Γενικά, Κίνητρο και υπόβαθρο	16
1.2	Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	17
1.3	Οργάνωση διπλωματικής εργασίας	18
Κεφάλαιο 2	Θεωρητικό Υπόβαθρο	19
2.1	Γένεση κυματισμών	19
2.1.1	Γενικά - Εισαγωγή	19
2.1.2	Χαρακτηριστικά ανέμου	20
2.2	Πραγματικοί κυματισμοί	24
2.2.1	Γενικά	24
2.2.2	Χαρακτηριστικά μεγέθη πραγματικών κυματισμών	24
2.2.3	Ανάλυση κυματισμών	25
2.2.4	Πρόβλεψη κυματισμών	26
2.2.5	Ενεργειακά φάσματα	27
2.3	Στερεομεταφορά	30
Κεφάλαιο 3	Περιγραφή και εφαρμογή του μοντέλου MIKE 21/3 Coupled Model FM	31
3.1	Εισαγωγή	31
3.2	Περιγραφή των εργαλείων του MIKE Zero	32
3.2.1	Εισαγωγή	32
3.2.2	Περιγραφή του εργαλείου Image Rectifier	32
3.2.3	Περιγραφή των εργαλείων Bathymetry Editor και Mesh Generator	34
3.3	Περιγραφή μοντέλου MIKE21/3 Coupled Model FM	36
3.3.1	Γενικά χαρακτηριστικά εφαρμογής του μοντέλου	37
3.3.2	Περιγραφή Spectral Wave Module	40
3.3.3	Περιγραφή Hydrodynamic Module	50
3.3.4	Περιγραφή Sand Transport Module	56

Κεφάλαιο 4	Μεθοδολογία Προσομοίωσης	63
4.1	Περιοχή Μελέτης	63
4.1.1	Προυπάρχουσα κατάσταση Λιμένα Πλατανιά	65
4.2	Νέο Λιμάνι Πλατανιά	68
4.3	Μεθοδολογία και παραδοχές	69
4.4	Ανεμολογικά δεδομένα	69
4.5	Μήκος Αναπτύγματος	71
Κεφάλαιο 5	Αποτελέσματα και Σύγκριση	73
5.1	Αποτελέσματα Σημαντικού Ύψους Κύματος	75
5.2	Αποτελέσματα Μέγιστου Ύψους Κύματος	79
5.3	Σύγκριση του πιο ισχυρού άνεμο κάθε κατεύθυνσης	84
5.4	Σύγκριση αποτελεσμάτων για 4 Beaufort	100
5.5	Σύγκριση αποτελεσμάτων για 5 Beaufort	106
Κεφάλαιο 6	Συμπεράσματα – Προτάσεις	117
6.1	Συμπεράσματα	117
6.2	Περαιτέρω Έρευνα	118
Βιβλιογραφία		119
Παράρτημα Α		121

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Κλίμακα Beaufort για τον άνεμο κατά την Ε.Μ.Υ.	21
Πίνακας 3.1 Δεδομένα εισόδου για το κυματικό μοντέλο SW.....	43
Πίνακας 3.2 Δεδομένα εισόδου του υδροδυναμικού μοντέλου HD.....	51
Πίνακας 3.3 Δεδομένα εισόδου του μοντέλου στερεομεταφοράς	61
Πίνακας 4.1 Συγκεντρωτικός Πίνακας Ανεμολογικών Δεδομένων από το Σταθμό της Σκιάθου	70
Πίνακας 4.2 Μήκη Αναπτύγματος για τις διευθύνσεις ανέμων που μελετώνται.....	72
Πίνακας 5.1 Συχνότητες ανέμων από 2 έως 7 BF.....	73

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Μήκος αναπτύγματος	23
Σχήμα 2.2 :Καταγραφή θαλάσσιας διαταραχής (πηγή wikiwaves-liner theory ocean surface waves).....	25
Σχήμα 2.3 : Μετασχηματισμός χρονοσειράς από την περιοχή του χρόνου στην περιοχή των συχνοτήτων	26
Σχήμα 2.4 : Φάσμα ενέργειας κυμάτων στην περιοχή των συχνοτήτων.....	26
Σχήμα 2.5 Σύγκριση φασμάτων PM και JONSWAP	29

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3.1 Στιγμιότυπο της περιοχής μελέτης από το Navionics.	33
Εικόνα 3.2 Γεωαναφορά εικόνας στο Image Rectifier για τον αρχικό μόλο.	33
Εικόνα 3.3 Εικόνα περιοχής μελέτης με τον νέο λιμάνι.	34
Εικόνα 3.4 Βαθυμετρία της περιοχής μελέτης με την χρήση του εργαλείου Bathymetry Editor	35
Εικόνα 3.5 Τελική μορφή βαθυμετρίας για τον αρχικό μόλο.	36
Εικόνα 3.6 Τελική μορφή βαθυμετρίας για το νέο λιμάνι.	36
Εικόνα 3.7 Καρτέλες μοντέλου.....	39
Εικόνα 3.8 Επιμέρους μοντέλα.....	39
Εικόνα 3.9 Καρτέλα Domain.....	39
Εικόνα 3.10 Καρτέλα Χρόνου	39
Εικόνα 3.11 Καρτέλα Basic equations του μοντέλου MIKE 21 SW.	44
Εικόνα 3.12 Καρτέλα Solution technique του μοντέλου MIKE 21 SW.....	45
Εικόνα 3.13 Καρτέλα Wind forcing του μοντέλου MIKE 21 SW.....	46
Εικόνα 3.14 Καρτέλα Structures του μοντέλου MIKE 21 SW για το νέο λιμάνι.	47
Εικόνα 3.15 Καρτέλα Initial Conditions του μοντέλου MIKE 21 SW.	48
Εικόνα 3.16 Τύποι συνοριακών συνθηκών για τα θαλάσσια όρια.	49
Εικόνα 3.17 Καρτέλα Boundary Conditions του μοντέλου MIKE 21 SW.....	49
Εικόνα 3.18 Καρτέλα Outputs του μοντέλου MIKE 21 SW.	50
Εικόνα 3.19 Καρτέλα Solution technique του μοντέλου MIKE 21 HD.	52
Εικόνα 3.20 Πρώτο και δεύτερο προφίλ ταχύτητας σε δύο οριζόντιες κατευθύνσεις	58
Εικόνα 3.21 Καρτέλα Parameters Specification στο εργαλείο Generation of Q3D Sediment tables.	61
Εικόνα 4.1 Περιοχή Μελέτης, οικισμός Πλατανιά Πηλίου από δορυφορική λήψη.....	63
Εικόνα 4.2 Αρχική κατάσταση του Πλατανιά, με τον προϋπάρχοντα μόλο.	64
Εικόνα 4.3 Τωρινή κατάσταση του Πλατανιά, με το νέο λιμάνι.....	64
Εικόνα 4.4 Αρχικός μόλος.....	65
Εικόνα 4.5 Παράθεση παραλίας Πλατανιά από Θέαση κτηματολογίου για τις χρονολογίες 1945-1960, 2015-2016.	66

Εικόνα 4.6 Αεροφωτογραφίες κτηματολογίου, όρμου Πλατανιά για τα έτη 1945-1960, 2007-2009, 2015-2016.....	67
Εικόνα 4.7 Νέο λιμάνι Πλατανιά	68
Εικόνα 4.8 Μήκη αναπτύγματος του όρμου Πλατανιά.	72
Εικόνα 4.9 Σημείο εκκίνησης της μέτρησης των μήκων αναπτύγματος.	72
Εικόνα 5.1 Σημαντικό ύψος κύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	75
Εικόνα 5.2 Σημαντικό ύψος κύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	75
Εικόνα 5.3 Σημαντικό ύψος κύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	76
Εικόνα 5.4 Σημαντικό ύψος κύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με το νέο λιμάνι.	76
Εικόνα 5.5 Σημαντικό ύψος κύματος για νότιο άνεμο 7BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	77
Εικόνα 5.6 Σημαντικό ύψος κύματος για νότιο άνεμο 7BF με το νέο λιμάνι.	77
Εικόνα 5.7 Σημαντικό ύψος κύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	78
Εικόνα 5.8 Σημαντικό ύψος κύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	78
Εικόνα 5.9 Μέγιστο ύψος κύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	80
Εικόνα 5.10 Μέγιστο ύψος κύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.....	80
Εικόνα 5.11 Μέγιστο ύψος κύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	81
Εικόνα 5.12 Μέγιστο ύψος κύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με το νέο λιμάνι.	81
Εικόνα 5.13 Μέγιστο ύψος κύματος για νότιο άνεμο 7BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	82
Εικόνα 5.14 Μέγιστο ύψος κύματος για νότιο άνεμο 7BF με το νέο λιμάνι.	82
Εικόνα 5.15 Μέγιστο ύψος κύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	83
Εικόνα 5.16 Μέγιστο ύψος κύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	83
Εικόνα 5.17 Ταχύτητα ρεύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	85
Εικόνα 5.18 Ταχύτητα ρεύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.....	85
Εικόνα 5.19 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	86

Εικόνα 5.20 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με το νέο λιμάνι.	86
Εικόνα 5.21 Ταχύτητα ρεύματος για νότιο άνεμο 7BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	87
Εικόνα 5.22 Ταχύτητα ρεύματος για νότιο άνεμο 7BF με το νέο λιμάνι.	87
Εικόνα 5.23 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο....	88
Εικόνα 5.24 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	88
Εικόνα 5.25 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	90
Εικόνα 5.26 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι. ..	90
Εικόνα 5.27 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	91
Εικόνα 5.28 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με το νέο λιμάνι.	91
Εικόνα 5.29 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νότιο άνεμο 7BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	92
Εικόνα 5.30 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νότιο άνεμο 7BF με το νέο λιμάνι.	92
Εικόνα 5.31 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	93
Εικόνα 5.32 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	93
Εικόνα 5.33 Bed Level Change για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	95
Εικόνα 5.34 Bed Level Change για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	95
Εικόνα 5.35 Bed Level Change για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	96
Εικόνα 5.36 Bed Level Change για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με το νέο λιμάνι.	96
Εικόνα 5.37 Bed Level Change για νότιο άνεμο 7BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	97
Εικόνα 5.38 Bed Level Change για νότιο άνεμο 7BF με το νέο λιμάνι.....	97
Εικόνα 5.39 Bed Level Change για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	98
Εικόνα 5.40 Bed Level Change για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	98
Εικόνα 5.41 Ταχύτητα ρεύματος για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	100
Εικόνα 5.42 Ταχύτητα ρεύματος για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.	100
Εικόνα 5.43 Ταχύτητα ρεύματος για Νότιο άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	101

Εικόνα 5.44 Ταχύτητα ρεύματος για Νότιο άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.	101
Εικόνα 5.45 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	102
Εικόνα 5.46 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.	102
Εικόνα 5.47 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για Νότιο άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	103
Εικόνα 5.48 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για Νότιο άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.	103
Εικόνα 5.49 Bed Level Change για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	104
Εικόνα 5.50 Bed Level Change για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.	104
Εικόνα 5.51 Bed Level Change για Νότιο άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	105
Εικόνα 5.52 Bed Level Change για Νότιο άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.	105
Εικόνα 5.53 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	106
Εικόνα 5.54 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	107
Εικόνα 5.55 Ταχύτητα ρεύματος για νότιο άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	108
Εικόνα 5.56 Ταχύτητα ρεύματος για νότιο άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	109
Εικόνα 5.57 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	110
Εικόνα 5.58 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	111
Εικόνα 5.59 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νότιο άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.....	112
Εικόνα 5.60 Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νότιο άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	113
Εικόνα 5.61 Bed Level Change για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	114
Εικόνα 5.62 Bed Level Change για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	114
Εικόνα 5.63 Bed Level Change για νότιο άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	115
Εικόνα 5.64 Bed Level Change για νότιο άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.....	115

Εικόνα 5.65 Bed Level Change για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.	116
Εικόνα 5.66 Bed Level Change για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.	116

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά, Κίνητρο και υπόβαθρο

Ένα από τα εξαιρετικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας είναι η εκτεταμένη και ποικιλόμορφη ακτογραμμή της. Με το γεωγραφικό πλεονέκτημα που έχει ως χώρα, οδήγησε φυσικά τους Έλληνες να ασχοληθούν ευρέως με διάφορες θαλάσσιες δραστηριότητες όπως η ναυτιλία και το εμπόριο. Κατά συνέπεια, η ζήτηση για την κατασκευή λιμένων και άλλων παράκτιων έργων ήταν τεράστια. Ωστόσο η κατασκευή ενός τέτοιου έργου μεταβάλλει την ισορροπία του παράκτιου περιβάλλοντος ως προς τις συνθήκες στερεομεταφοράς διαμορφώνοντας μια νέα σχέση αλληλεπίδρασης παράκτιου περιβάλλοντος – τεχνικού έργου. Τα τελευταία χρόνια η παράκτια ζώνη αντιμετωπίζει ένα σημαντικό πρόβλημα, αυτό της διάβρωσης και προσάμμωσης των ακτών. Περιοχές με ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τα ακτομηχανικά έργα επιδεινώνουν αυτό το πρόβλημα και χρήζουν πλέον αποτελεσματικής αντιμετώπισης. Συγκεκριμένα, σε περιοχές με αμμώδεις ακτές όπου έχουν κατασκευαστεί μόλοι ή κυματοθραύστες έχουν παρατηρηθεί προβλήματα διάβρωσης.

Η συζήτηση γύρω από το θέμα της διάβρωσης των ακτών λόγω της κατασκευής λιμενικών έργων έχει αναδειχθεί διαχρονικά. Το ερώτημα είναι εάν είναι σκόπιμο να κατασκευάζονται έργα σε αμμώδεις ακτές ή να περιοριστεί η κατασκευή αλιευτικών καταφυγίων σε υπάρχουσες λιμενικές εγκαταστάσεις ή βραχώδεις παράκτιες περιοχές όπου η κίνηση των ιζημάτων είναι ελάχιστη. Σε πολλές περιπτώσεις, η κατασκευή ενός μικρού λιμενικού έργου, όπως ένα αλιευτικό καταφύγιο, απαιτεί πρόσθετα έργα για τη διαφύλαξη των παρακείμενων ακτών, τα οποία μπορεί να κοστίζουν περισσότερο από το αρχικό έργο και τελικά να μην εξασφαλίζουν επαρκή προστασία της ακτής.

Πάνω σε αυτόν τον προβληματισμό βρίσκεται και η κατασκευή ενός αλιευτικού λιμανιού στον μικρό κόλπο του χωριού Πλατανιά, στο Νότιο Πήλιο, το οποίο έχει

πυροδοτήσει συγκρούσεις μεταξύ των υπέρ και εκείνων που είναι κατά του έργου ενώ ταυτόχρονα έχει δημιουργήσει γενικευμένη ανησυχία για το μέλλον από όλες τις πλευρές.

Οι απόψεις στην τοπική κοινωνία είναι διχασμένες, με τις συζητήσεις να επικεντρώνονται στο είδος της ανάπτυξης που χρειάζεται η περιοχή και στη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ τουριστικής και αλιευτικής δραστηριότητας. Η ένταση των αντιδράσεων και η ανησυχία για το μέλλον της περιοχής καθιστούν σαφές ότι απαιτείται διάλογος και συντονισμένη προσπάθεια για την εξεύρεση μιας λύσης που θα ικανοποιεί όλες τις πλευρές.

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Με αφορμή λοιπόν αυτόν τον προβληματισμό, σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση του κυματικού και του υδροδυναμικού πεδίου, υπό την επίδραση ανεμογενών κυματισμών στην παραλία του Πλατανιά τόσο για την περίπτωση του προϋπάρχοντα μόλου όσο και για το νέο υπό κατασκευή αλιευτικό καταφύγιο, καθώς και να κατανοήσει τις κινήσεις των φερτών υλικών στην περιοχή.

Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν και για τις δύο περιπτώσεις θα συγκριθούν στην συνέχεια μεταξύ τους και θα μας δώσουν τελικά την απάντηση στο κατά πόσο το νέο λιμάνι επηρεάζει την μετακίνηση φερτών και προς ποια κατεύθυνση και μακροσκοπικά πως μεταβάλλεται η ακτογραμμή της παραλίας.

Οι παραπάνω διαδικασίες θα γίνουν πρώτα με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων που έχουν αναπτυχθεί στο προγραμματιστικό περιβάλλον MS Office Excel και στη συνέχεια θα υπολογιστούν εκ νέου μέσω του λογισμικού MIKE (21), το οποίο περιλαμβάνει την προσομοίωση ανεμογενών κυματισμών και τον υπολογισμό των υδροδυναμικών συνθηκών μαζί με τη διερεύνηση του ρυθμού στερεομεταφοράς της περιοχής με τη χρήση του μοντέλου MIKE 21/3 Coupled Model FM.

1.3 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε έξι ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαιο 2 - 6, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο, γενικά στοιχεία για τα αριθμητικά μοντέλα, την εξέλιξη τους μέσα στα χρόνια και πως αυτά προσομοιώνουν τα κυματικά φαινόμενα.

Στο Κεφάλαιο 3 **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** παρουσιάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά και η λειτουργία του λογισμικού MIKE 21 και συγκεκριμένα του αριθμητικού μοντέλου MIKE 21 Coupled Model FM το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης περιγράφεται ο καθορισμός των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο MIKE 21 Coupled Model για την επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε. Αναλύεται λεπτομερώς η λειτουργία κάθε μίας από αυτές τις παραμέτρους και εξηγούνται οι επιλογές που έγιναν, βασισμένες στις ανάγκες της μελέτης.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης με μια σύντομη ιστορική αναδρομή και γίνεται αναφορά στο νέο λιμάνι. Επιπλέον παρουσιάζονται σε πίνακα οι ετήσιες συχνότητες εμφάνισης των ανεμολογικών δεδομένων όλων των ανέμων, τα οποία μας δόθηκαν από την EMY.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης αλλά και του νέου λιμένα Πλατανιά και γίνεται η σύγκριση.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, καθώς και προτάσεις για περεταίρω έρευνα.

Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η μεταφορά φερτών υλικών αποτελεί ένα κρίσιμο φαινόμενο για τη διαμόρφωση της ακτογραμμής και την προστασία της παράκτιας ζώνης. Οι φερτές ύλες μπορούν να επηρεάσουν τη μορφολογία της ακτής, να προκαλέσουν διάβρωση ή απόθεση και να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη δραστηριότητα και τις υποδομές της περιοχής.

Η κατανόηση αυτών των φαινομένων είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική διαχείριση και προστασία των ακτών.

2.1 Γένεση κυματισμών

2.1.1 Γενικά - Εισαγωγή

Οι κυματισμοί η γένεση των κυματισμών προκαλούνται κυρίως από τη μεταφορά ενέργειας από τους ανέμους που πνέουν πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Οι κυματισμοί αυτοί, γνωστοί και ως ανεμογενείς κυματισμοί, αποτελούν τον κύριο παράγοντα σχεδιασμού παράκτιων τεχνικών έργων και σωστής διαχείρισης των παράκτιων πόρων.

Διάφορες θεωρίες έχουν προσπαθήσει να εξηγήσουν τη δημιουργία των ανεμογενών κυματισμών. Στις αρχές της δεκαετίας του 20ού αιώνα, ο Jeffreys (1924, 1925), πρότεινε την ιδέα ότι ο άνεμος ασκεί πίεση στην επιφάνεια του νερού, προκαλώντας την εμφάνιση των πρώτων μικρών κυμάτων. Τα σημεία αυτά λειτουργούν σαν καταφύγια, όπου ο αέρας μεταφέρει την ενέργειά του στα κύματα. Όταν ο άνεμος συναντά αυτά τα μικρά κύματα, η πίεση αυξάνεται στις προσήνεμες πλευρές τους, ενώ μειώνεται στις απάνεμες, οδηγώντας σε αύξηση του ύψους και της ταχύτητάς τους. Κατά την δεκαετία του 1950, οι ερευνητές άρχισαν να αντιλαμβάνονται ότι η διαδικασία γένεσης ενός κύματος περιγράφεται καλύτερα ως ένα φασματικό φαινόμενο, όπως υποστήριξαν οι Pierson, Neumann και James (1955). Η επικρατέστερη θεωρία που αποτέλεσε και το θεμέλιο για την κατανόηση των φυσικών

μηχανισμών πίσω από την παραγωγή κυμάτων είναι αυτή των Phillips (1957) και Miles (1960). Αυτή η θεωρία εξηγεί ότι η διαδικασία της κυματογένεσης ξεκινά με τη γραμμική αύξηση των κυμάτων λόγω συντονισμού με τις τυρβώδεις διαταραχές πίεσης και τριβής στην επιφάνεια της θάλασσας και συνεχίζει με εκθετική ανάπτυξη λόγω υδροδυναμικής αστάθειας. Αναλυτικά, όταν ο άνεμος επενεργεί στην ελεύθερη θαλάσσια επιφάνεια, δημιουργούνται δυνάμεις πίεσης και τριβής που θέτουν σε κίνηση τα μόρια του νερού. Αυτές οι κινήσεις προκαλούν ανωμαλίες στην επιφάνεια της θάλασσας, οι οποίες αυξάνονται με τη ροή του ανέμου. Στη συνέχεια, η ενέργεια μεταφέρεται από το πεδίο ροής του ανέμου στο πεδίο ροής των κυμάτων, δημιουργώντας την κυματοειδή κίνηση των υγρών σωματιδίων. Καθώς η ενέργεια μεταφέρεται σταδιακά από τις αέριες μάζες στο νερό, τα μόρια του νερού αρχίζουν να κινούνται ταχύτερα και η διαταραχή διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις, κυρίως κατά την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου.

2.1.2 Χαρακτηριστικά ανέμου

Τα χαρακτηριστικά του ανέμου που τον καθορίζουν είναι η διεύθυνση από την οποία πνέει, η μέση ταχύτητά του (U) κατά την διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης των κυμάτων (ένταση) και η διάρκεια πνοής του (tD) που εκφράζεται σε ώρες (hr).

Η κατεύθυνση του ανέμου αναφέρεται στη γωνία από την οποία πνέει ο άνεμος σε σχέση με τις τέσσερις κύριες κατευθύνσεις: Βορρά, Ανατολή, Νότο και Δύση. Εκφράζεται συνήθως σε μοίρες από το γεωγραφικό βορρά (0° ή 360°), με τις υπόλοιπες κατευθύνσεις να είναι ο Βορειοανατολικός (45°), ο Ανατολικός (90°), ο Νοτιοανατολικός (135°), ο Νότος (180°), ο Νοτιοδυτικός (225°), ο Δυτικός (270°) και ο Βορειοδυτικός (315°).

Η ταχύτητα του ανέμου είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει πολλά φυσικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων των κυματισμών και του κλίματος. Μετράται συνήθως σε μονάδες όπως μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) ή χιλιόμετρα ανά ώρα (km/h). Επιπλέον, η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να αξιολογηθεί και μέσω της κλίμακας Beaufort, η οποία συνδυάζει ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση. Η κλίμακα αυτή κυμαίνεται από 0 έως 12, όπου το 0 αντιπροσωπεύει ήρεμο άνεμο χωρίς κίνηση, και το 12 αναφέρεται σε καταστροφικό τυφώνα. Κάθε κατηγορία της κλίμακας περιγράφει τις επιπτώσεις του ανέμου στην ατμόσφαιρα και το περιβάλλον, όπως η κίνηση των δέντρων ή οι κυματισμοί στη θάλασσα.

Η ταχύτητα αυτή αναφέρεται συνήθως σε ύψος 10m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και είτε μετρίεται αυτούσια είτε μεταφέρεται από άλλο ύψος, με βάση τη σχέση:

$$U_{10} = U_{(z)} \cdot \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7} \quad (0 < z < 20) \quad (2.1)$$

Η ταχύτητα αυτή ως παράγοντας κυματογένεσης επηρεάζεται από τη θερμική ευστάθεια της κατώτερης ατμόσφαιρας, η οποία καθορίζεται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα και του νερού.

Επίσης, η μη γραμμική σχέση μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου και της διατμητικής τάσης που ασκείται στην επιφάνεια, απαιτεί την αντικατάσταση της παραμέτρου U_{10} με την ρυθμισμένη ταχύτητα U_A :

$$U_A = 0.71 \cdot U^{1.23} \quad (m/sec) \quad (2.2)$$

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι αντιστοιχίες της κλίμακας Beaufort και των ταχυτήτων του ανέμου, σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ).

Πίνακας 2.1 Κλίμακα Beaufort για τον άνεμο κατά την Ε.Μ.Υ.

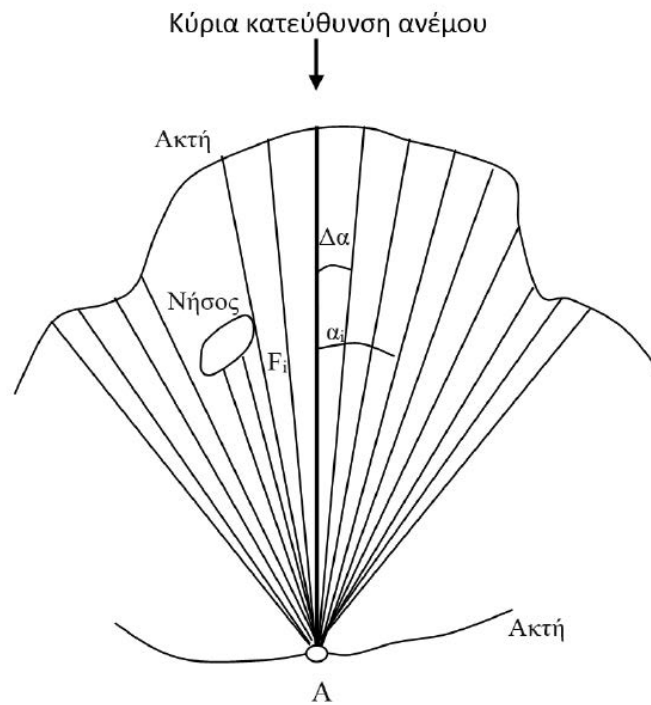
Κλίμακα Beaufort	Ταχύτητα ανέμου σε m/sec	Ταχύτητα ανέμου σε Knots	Ταχύτητα ανέμου σε Km/h	Χαρακτηρισμός ανέμου
0	<1	<1	<2	Άπνοια ή νηνεμία
1	1-2	1-3	1-5	Σχεδόν άπνοια ή Υποπνέων άνεμος
2	2-3	4-6	6-11	Πολύ ασθενής
3	4-5	7-10	12-19	Ασθενής
4	6-8	11-16	20-29	Σχεδόν μέτριος
5	9-11	17-21	30-39	Μέτριος
6	12-14	22-27	40-50	Ισχυρός
7	15-17	28-33	51-61	Πολύ ισχυρός
8	18-21	34-40	62-74	Θυελλώδης
9	22-24	41-47	76-87	Πολύ Θυελλώδης
10	25-28	48-55	88-102	Θύελλα
11	29-32	56-63	103-118	Ισχυρή θύελλα
12	33+	64+	119+	Κυκλώνας

Τα ανεμολογικά στοιχεία αποτελούν τις μέσες ετήσιες συχνότητες εμφάνισης ανέμων για κάθε διεύθυνση και ένταση, σε κλίμακα Beaufort. Αυτά τα δεδομένα προκύπτουν από μετρήσεις και στατιστικές αναλύσεις των ανέμων που επικρατούν σε μια περιοχή, προκειμένου να δοθεί μια αντιπροσωπευτική εικόνα του ανεμολογικού προφίλ της περιοχής. Ο μέσος χρόνος πνοής του ανέμου υπολογίζεται ως το γινόμενο της συχνότητας του ανέμου (σε ποσοστό %) και του συνολικού αριθμού ωρών ενός έτους:

$$t_D = \frac{f}{100} \cdot 365 \cdot 24 \quad (2.3)$$

Μία ακόμη ανεξάρτητη μεταβλητή που είναι σημαντικός παράγοντας στην γένεση και τα χαρακτηριστικά των κυμάτων είναι το μήκος αναπτύγματος. Είναι η χαρακτηριστική γραμμική διάσταση του θαλάσσιου πεδίου από ακτή σε ακτή κατά μήκος της οποίας δρα ο κυματισμός ή πιο απλά είναι το μέγιστο μήκος της επιφάνειας του νερού πάνω από το οποίο μπορεί να φυσήσει ο άνεμος. Η επίδραση του ανέμου μιας συγκεκριμένης κατεύθυνσης προκαλεί κυματογένεση σε τομέα $\pm 45^\circ$ εκατέρωθεν αυτής, επομένως το ισοδύναμο (effective) μήκος ανάπτυξης ορίζεται σύμφωνα με τους συμβολισμούς του Σχήματος 2.1, ως εξής:

$$F_{eff} = \frac{\sum_i F_i (\cos \alpha_i)^2}{\sum_i \cos \alpha_i} \quad (2.4)$$



Σχήμα 2.1 Μήκος αναπτύγματος

Η ανάπτυξη του κυματισμού εξαρτάται και από τις 3 παραμέτρους U_{10} , F , t_D και διακρίνονται στις εξής τρεις κατηγορίες:

1. Ανάπτυξη με περιορισμένο μήκος ανάπτυξης F . Στην περίπτωση αυτή, η διάρκεια πνοής (t_D) του ανέμου είναι πολύ μεγάλη και τα χαρακτηριστικά του κύματος εξαρτώνται από τα F και U_{10} .
2. Ανάπτυξη με περιορισμένη διάρκεια πνοής t_D . Στην περίπτωση αυτή, το μήκος ανάπτυξης (F) είναι πολύ μεγάλο και τα χαρακτηριστικά του κύματος εξαρτώνται από τα t_D και U_{10} .
3. Πλήρως αναπτυγμένη κατάσταση κυματισμών. Στην περίπτωση αυτή, η μεταφορά ενέργειας από την ατμόσφαιρα στη θάλασσα δεν περιορίζεται ούτε από το F ούτε από το t_D , αλλά εξαρτάται αποκλειστικά από το U_{10} . (Καραμπάς κ.α. 2015)

2.2 Πραγματικοί κυματισμοί

2.2.1 Γενικά

Οι κυματισμοί που δημιουργούνται από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας δεν είναι απλοί και ομοιόμορφοι, αλλά αποτελούν σύνθεση πολλών διαφορετικών αρμονικών κινήσεων με ποικιλία περιόδων. Οι κυματικές κινήσεις χαρακτηρίζονται από τυχαία διαδικασία, πράγμα που σημαίνει ότι σπάνια δύο κυματισμοί είναι όμοιοι σε σχέση με τον χρόνο. Τα χαρακτηριστικά των επιμέρους κυμάτων παρουσιάζονται με στοχαστικό τρόπο, και ακολουθούν συγκεκριμένους πιθανολογικούς νόμους κατανομής .

2.2.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη πραγματικών κυματισμών

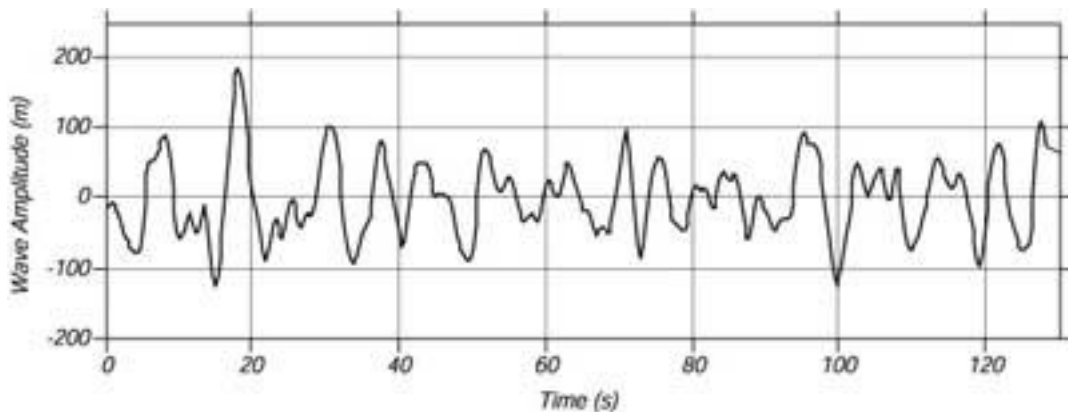
Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του κυματισμού περιλαμβάνουν τα διαφορετικά ύψη και τις περιόδους των επιμέρους κυμάτων. Μια σημαντική παράμετρος είναι η συχνότητα αιχμής, η οποία είναι η συχνότητα όπου το φάσμα των κυμάτων έχει τη μεγαλύτερη ενέργεια. Αυτή η συχνότητα είναι σημαντική για την κατανόηση και την ανάλυση των κυματισμών και συμβολίζεται με f_p .

Τα ύψη των κυματισμών μπορούν να είναι είτε πραγματικά είτε στατιστικά. Πραγματικά ύψη είναι οι ακραίες τιμές που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια μιας καταγραφής, δηλαδή το μεγαλύτερο και το μικρότερο κύμα και συμβολίζονται αντίστοιχα με $H_{\max}$ και $H_{\min}$. Το σημαντικό ύψος κύματος είναι ένα στατιστικό μέτρο που υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των υψηλότερων 33% των κυμάτων που καταγράφηκαν και συμβολίζεται με H_s (ή $H_{1/3}$). Αυτή η έννοια μπορεί να επεκταθεί για να περιλάβει το μέσο ύψος των υψηλότερων $n\%$ των κυμάτων, με το n να κυμαίνεται από 3 έως 20, και το ύψος κύματος να συμβολίζεται με $H_{1/n}$.

Οι πιο κοινές περίοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η περίοδος αιχμής του κυματισμού που συμβολίζεται με T_p και ορίζεται ως το αντίστροφο της συχνότητας αιχμής, η μέση στατιστική περίοδος T_m και η χαρακτηριστική περίοδος T_s , που ορίζεται ως ο μέσος όρος των περιόδων των υψηλότερων 33% των κυμάτων.

2.2.3 Ανάλυση κυματισμών

Η ανάλυση των φυσικών κυμάτων περιλαμβάνει τη μελέτη των καταγραφών των θαλάσσιων διαταραχών σε ένα συγκεκριμένο σημείο σε σχέση με τον χρόνο. Αυτές οι καταγραφές, που ονομάζονται χρονοσειρές, έχουν την μορφή που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2:

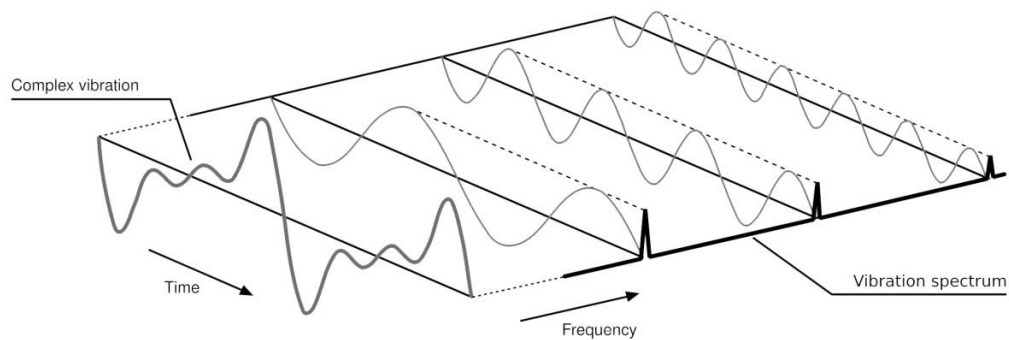


Σχήμα 2.2 :Καταγραφή θαλάσσιας διαταραχής (πηγή wikiwaves-liner theory ocean surface waves)

Η ανάλυση των κυμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε στην περιοχή του χρόνου είτε στην περιοχή των συχνοτήτων. Στην περίπτωση της χρονικής ανάλυσης, εξετάζονται χαρακτηριστικά όπως το ύψος και το μήκος των κυμάτων, με την παραδοχή ότι κάθε κύμα είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα αντιπροσωπευτικό μονοχρωματικό κύμα, καθιστώντας πιο απλή.

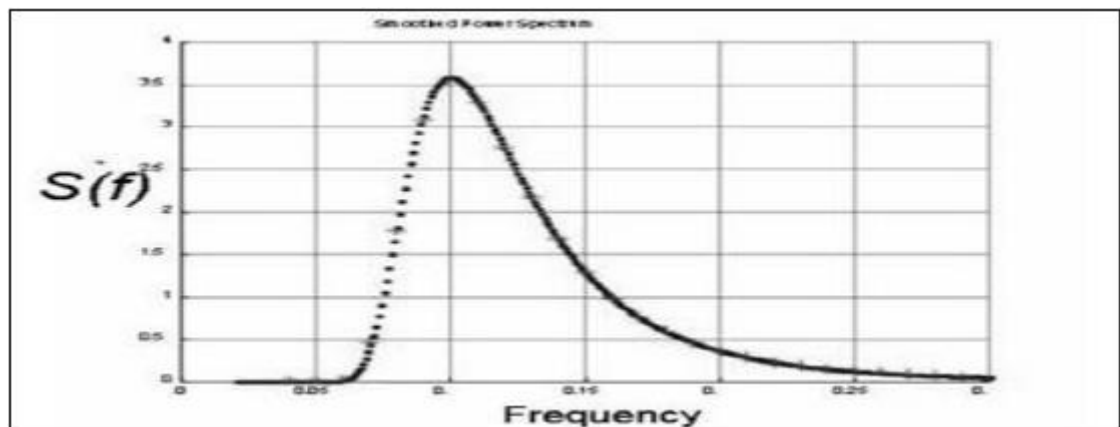
Η δεύτερη μέθοδος, γνωστή και ως φασματική ανάλυση, προσδιορίζει την ανώμαλη κίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας ως συνδυασμό απλών αρμονικών ταλαντώσεων με διάφορες συχνότητες. Αυτή η μέθοδος περιγράφει τη διαταραχή της θαλάσσιας επιφάνειας σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων και των ενεργειών. (Μουτζούρης 2009)

Οι επιμέρους συνιστώσες προσδιορίζονται έμμεσα μέσω της εφαρμογής του μετασχηματισμού Fourier στη χρονοσειρά. Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η διαδικασία μετασχηματισμού μιας χρονοσειράς από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο των συχνοτήτων.



Σχήμα 2.3 : Μετασχηματισμός χρονοσειράς από την περιοχή του χρόνου στην περιοχή των συχνοτήτων

Με την ανάλυση Fourier προσδιορίζεται η κατανομή της ενέργειας ($S(f)$) των επιμέρους κυμάτων στις διάφορες συχνότητες. Ένα τέτοιο φάσμα ενέργειας δίνεται στο Σχήμα 2.4



Σχήμα 2.4 : Φάσμα ενέργειας κυμάτων στην περιοχή των συχνοτήτων

2.2.4 Πρόβλεψη κυματισμών

Για το σχεδιασμό έργων στη θάλασσα ή την παρατήρηση εξέλιξης ακτογραμμών είναι απαραίτητο να γίνει εκτίμηση του κυματικού κλίματος που επικρατεί στην περιοχή μελέτης. Στις περισσότερες ακτομηχανικές μελέτες, η πρόβλεψη και εκτίμηση των κυματικών συνθηκών είναι ζωτικής σημασίας. Ωστόσο, λόγω περιορισμών χρόνου και κόστους,

χρησιμοποιούνται μοντέλα πρόγνωσης, τόσο εμπειρικά όσο και αριθμητικά, που βασίζονται αποκλειστικά σε ανεμολογικά δεδομένα. Για να προσδιοριστούν οι κυματισμοί χρειάζεται η ένταση του ανέμου, η διάρκεια πνοής και η συχνότητα εμφάνισής του για κάθε διεύθυνση. Τις πληροφορίες αυτές τις παρέχει η αρμόδια μετεωρολογική υπηρεσία, δηλαδή η Εθνική Μετεωρολογική υπηρεσία (EMY) και αποτελούν τη κύρια πηγή δεδομένων για την εκτίμηση του κυματικού κλίματος στις περιοχές όπου δεν υπάρχουν άμεσες μετρήσεις κυματισμών. Σε αυτές τις περιπτώσεις εφαρμόζονται κυματικά μοντέλα πρόγνωσης, τόσο εμπειρικά όσο και αριθμητικά που εξάγουν τα χαρακτηριστικά μεγέθη των κυματισμών με βάση τα ανεμολογικά στοιχεία του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού.

Τα κυριότερα εμπειρικά μοντέλα πρόγνωσης είναι:

1. Μέθοδος S.M.B. (Sverdrup-Munk-Bretschneider)
2. Ενεργειακό φάσμα JONSWAP
3. Ενεργειακό φάσμα P-M (Pierson-Moskowitz)

Τα κυριότερα αριθμητικά μοντέλα είναι:

1. WaveWatch III
2. SWAN (Simulating Waves Nearshore)
3. MIKE 21

Στην παρούσα διπλωματική εργασία για την επεξεργασία και ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων καθώς και την πρόγνωση των κυματισμών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MIKE 21 το οποίο θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

2.2.5 Ενεργειακά φάσματα

Οι θαλάσσιοι κυματισμοί, οι οποίοι αρχικά εμφανίζονται με τυχαία χαρακτηριστικά, μπορούν να αναλυθούν ως σύνθεση ενός περιορισμένου αριθμού κυματιδίων που έχουν διαφορετικές συχνότητες και κατευθύνσεις. Η κατανομή της ενέργειας αυτών των κυματιδίων, όταν απεικονίζεται σε σχέση με τη συχνότητα και την κατεύθυνση, ονομάζεται κυματικό φάσμα. Όπως αναφέρθηκε, υπό την παραδοχή της γραμμικότητας, η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας με την παρουσία ανεμογενών κυματισμών, είναι δυνατόν να προσεγγιστεί με επαλληλία ημιτονοειδών κυμάτων διαφόρων περιόδων T_i , διαφόρων πλατών και διαφόρων φάσεων ϕ_i :

$$\eta = \sum a_i \cos(k_i x - \sigma_i t + \varphi_i) \quad (2.5)$$

Η σχέση μεταξύ K_i , ω_i στα βαθιά νερά είναι η γνωστή σχέση διασποράς $\omega_i^2 = g k_i$, όπου ω_i η γωνιακή συχνότητα.

Η πυκνότητα ενέργειας για κάθε αρμονική συνιστώσα υπολογίζεται από την σχέση:

$$\bar{E}_i = \frac{1}{2} g \rho a_i^2 \quad (2.6)$$

Μπορεί να οριστεί η συνάρτηση $E(\omega)$ της πυκνότητας ενέργειας των αρμονικών συχνοτήτων μεταξύ ω και $\omega+d\omega$

$$E(\omega)d\omega = \frac{1}{2} g \rho \sum_{\omega}^{\omega+d\omega} a_i^2 \quad (2.7)$$

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ενεργειακών φασμάτων που χρησιμοποιούνται στην πράξη και βασίζονται σε μία ή περισσότερες παραμέτρους, όπως η ταχύτητα του ανέμου, το σημαντικό ύψος κύματος, η περίοδος, οι συντελεστές σχήματος κ.ά. Τα πιο γνωστά φάσματα περιλαμβάνουν το φάσμα Pierson-Moskowitz (PM) και το φάσμα JONSWAP.

Μοντέλο Φάσμα

Το φάσμα Pierson-Moskowitz (PM) αναλύει μια πλήρως ανεπτυγμένη θάλασσα με βάση μία μόνο παράμετρο, την ταχύτητα του ανέμου, υποθέτοντας παράλληλα ότι το μήκος αναπτύγματος και η διάρκεια πνοής είναι άπειρα. Για τη σωστή εφαρμογή αυτού του μοντέλου, απαιτείται ο άνεμος να έχει σταθερή ταχύτητα και κατεύθυνση.

Ο τύπος του φάσματος PM για πλήρως ανεπτυγμένη θάλασσα ορίζεται:

$$E(f) = \frac{a \cdot g^2}{(2\pi)^4 f^5} e^{-\frac{5}{4} \left(\frac{f_p}{f} \right)^4} \quad (2.8)$$

$$\text{Όπου } a \rightarrow 0,0081 \text{ και } f_p = \frac{0,7916g}{2\pi U_{10}} \quad (2.9)$$

Το φάσμα JONSWAP, το οποίο αναπτύχθηκε κατά το Joint North Sea Wave Project (Hasselmann et al. 1973), ύστερα από εκτεταμένες μετρήσεις και αναλύσεις στη Β. Θάλασσα, τροποποιεί το φάσμα P-M ώστε να περιλαμβάνει περιοχές περιορισμένου μήκους αναπτύγματος και μπορεί να εκφραστεί ως:

$$E(f) = a \cdot g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left(-1,25 \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right) \cdot \gamma \exp\left(-\frac{(f-f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2}\right) \quad (2.10)$$

όπου:

$$a = 0,076 \left[\frac{g^2 F}{U_{10}^2} \right]^{-0,22}$$

$$f_p = 3,5 \left[\frac{g^2 F}{U_{10}^3} \right]^{-0,33}$$

$$1 \leq \gamma \leq 7$$

σ η παράμετρος εύρους φάσματος

$\sigma_j = 0.07$ για $f < f_p$, $\sigma_j = 0.09$ για $f > f_p$,

Στην εξίσωση αυτή, a ο συντελεστής Phillips

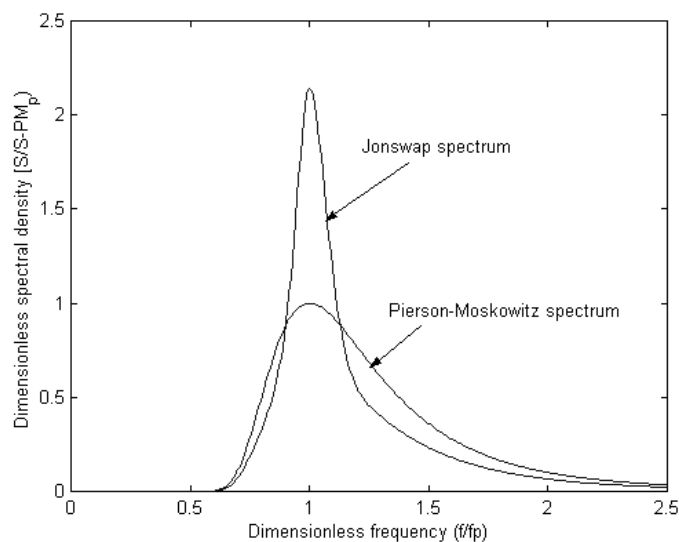
γ ο παράγοντας εξέλιξης της κορυφής με μέση τιμή 3.3

f_p η κυκλική συχνότητα της μέγιστης φασματικής πυκνότητας

U_{10} η ταχύτητα ανέμου 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

F το μήκος αναπτύγματος.

Τα φάσματα JONSWAP και PM εικονίζονται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5 Σύγκριση φασμάτων PM και JONSWAP

2.3 Στερεομεταφορά

Η υδροδυναμική κατάσταση κοντά στον πυθμένα, είτε από κυματισμούς είτε από ρεύματα, παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποσταθεροποίηση των κόκκων των ιζημάτων. Ωστόσο, είναι περίπλοκο και άγνωστο το τι συμβαίνει σε επίπεδο κόκκου. Οι δυνάμεις που επιδρούν στους κόκκους της επιφάνειας του πυθμένα, όπως οι ορθές και διατμητικές τάσεις που προέρχονται από το κινούμενο νερό, οι δυνάμεις πρόσκρουσης από άλλους κόκκους και οι υδροδυναμικές υποπιέσεις, δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για την αποκόλληση των επιφανειακών κόκκων.

Στα λεπτόκοκκα εδάφη, όπως είναι τα αργιλικά, οι μοριακές δυνάμεις συνοχής καθιστούν πιο δύσκολη την έναρξη της διάβρωσης του πυθμένα, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου έχει προχωρήσει η διαδικασία στερεοποίησης. Μετά την αποσταθεροποίηση, οι κόκκοι μπορούν να κινηθούν είτε με κύλιση στον πυθμένα, συμπεριλαμβάνοντας περιοδικά άλματα, οπότε χαρακτηρίζονται ως φορτίο πυθμένα, είτε να αιωρούνται συνεχώς στη στήλη του νερού, όπου αναφέρονται ως φορτίο σε αιώρηση.

Η κυριαρχία του ενός ή του άλλου φορτίου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των κόκκων και των κυμάτων. Η συνολική παροχή του φορτίου φερτών υλικών προκύπτει από το άθροισμα των φορτίων πυθμένα και αιώρησης. Συνήθως, οι κυματισμοί είναι οι κύριοι παράγοντες που προκαλούν την αποσταθεροποίηση των κόκκων, ενώ τα θαλάσσια ρεύματα αναλαμβάνουν τη μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις. Η τυρβώδης ροή του ρεύματος και των κυμάτων συμβάλλει στην κατακόρυφη διάχυση των φερτών υλικών σε αιώρηση, ενισχύοντας τη διαδικασία αυτή.

Από υδροδυναμική σκοπιά, οι βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς φερτών περιλαμβάνουν τη μεταφορά λόγω παράκτιων κυματογενών ρευμάτων, όπου η ροή κοντά στον πυθμένα αποσταθεροποιεί τους κόκκους, τη μεταφορά λόγω κυματικής ασυμμετρίας, που καθιστά την κίνηση των φερτών ασύμμετρη, και τη μεταφορά λόγω δευτερογενών κυματογενών ρευμάτων, όπως το τρισδιάστατο ρεύμα επαναφοράς (undertow), που κατευθύνονται προς τα ανοιχτά. Αυτοί οι μηχανισμοί αλληλοσυμπληρώνονται και επηρεάζουν τη διαδικασία μεταφοράς των ιζημάτων. (Κρεστενίτης κ.α., 2015)

Κεφάλαιο 3 Περιγραφή και εφαρμογή του μοντέλου MIKE 21/3 Coupled Model FM

Το MIKE είναι μια σειρά λογισμικών που αναπτύχθηκε από την DHI (Danish Hydraulic Institute) για την προσομοίωση και την ανάλυση υδάτινων και περιβαλλοντικών συστημάτων. Αυτή η σειρά περιλαμβάνει διάφορα εξειδικευμένα εργαλεία που χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορους τομείς, όπως η διαχείριση υδάτινων πόρων και η παράκτια μηχανική.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, προκειμένου να αναλυθεί η στερεομεταφορά υπό την επίδραση ανεμογενών κυματισμών για την παραλία του Πλατανιά τόσο για τον προϋπάρχοντα μόλο όσο και για το νέο υπό κατασκευή λιμάνι, χρησιμοποιήθηκαν διάφορα εργαλεία από την η πλατφόρμα MIKE Zero και το μοντέλο MIKE 21/3 Coupled Model.

3.1 Εισαγωγή

Το MIKE 21/3 Coupled Model αποτελεί μέρος του MIKE της DHI και προσφέρει μια ολοκληρωμένη προσομοίωση και ανάλυση υδατικών συστημάτων, επιτρέποντας την ολοκληρωμένη προσέγγιση και αλληλεπίδραση μεταξύ κυμάτων και ρευμάτων. Αντίστοιχα το MIKE Zero αποτελεί την βάση για την εκτέλεση μοντέλων MIKE, όπως το MIKE 21/3 Coupled Model FM που θα χρησιμοποιήσουμε για την προσομοίωση, και περιλαμβάνει εργαλεία για την εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων καθώς και την ανάλυση αποτελεσμάτων. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά το θεωρητικό υπόβαθρο των εργαλείων και των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν και οι λειτουργίες που επιλέχθηκαν για την μοντελοποίηση της περιοχής μελέτης και για τις δυο περιπτώσεις που εξετάζουμε.

3.2 Περιγραφή των εργαλείων του MIKE Zero

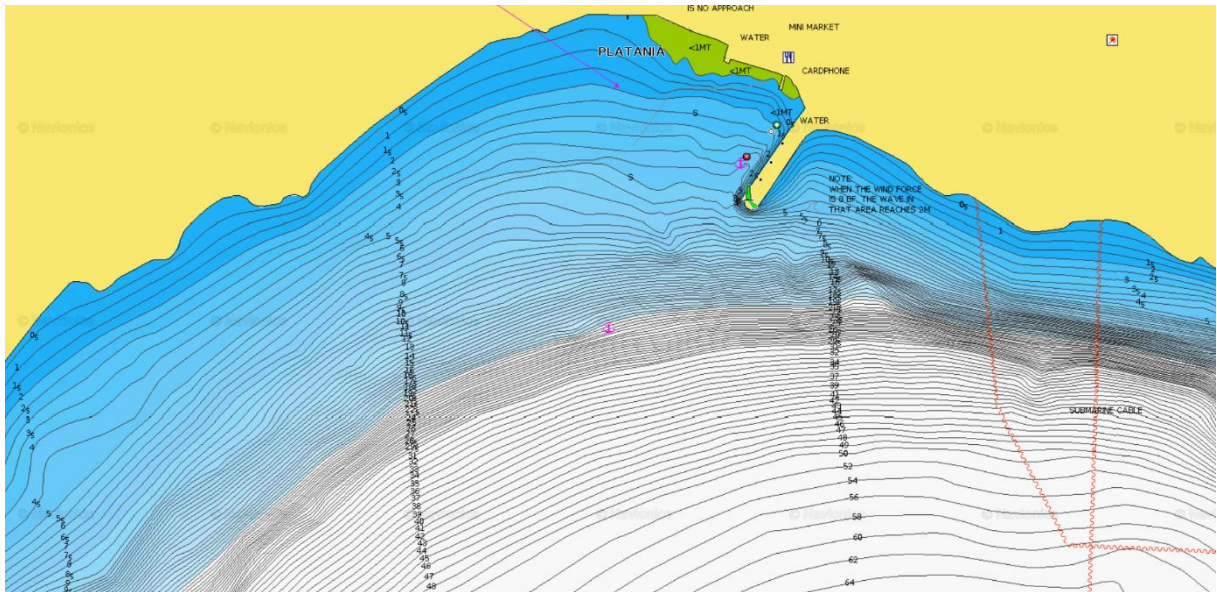
3.2.1 Εισαγωγή

Για την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης MIKE21/3 Coupled Module απαιτούνται τοπογραφικά και βυθομετρικά δεδομένα, τα οποία, συχνά, είναι δυσεύρετα. Για αυτό το λόγο, είναι απαραίτητη η δημιουργία δεδομένων που θα περιγράψουν λεπτομερώς την περιοχή μελέτης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

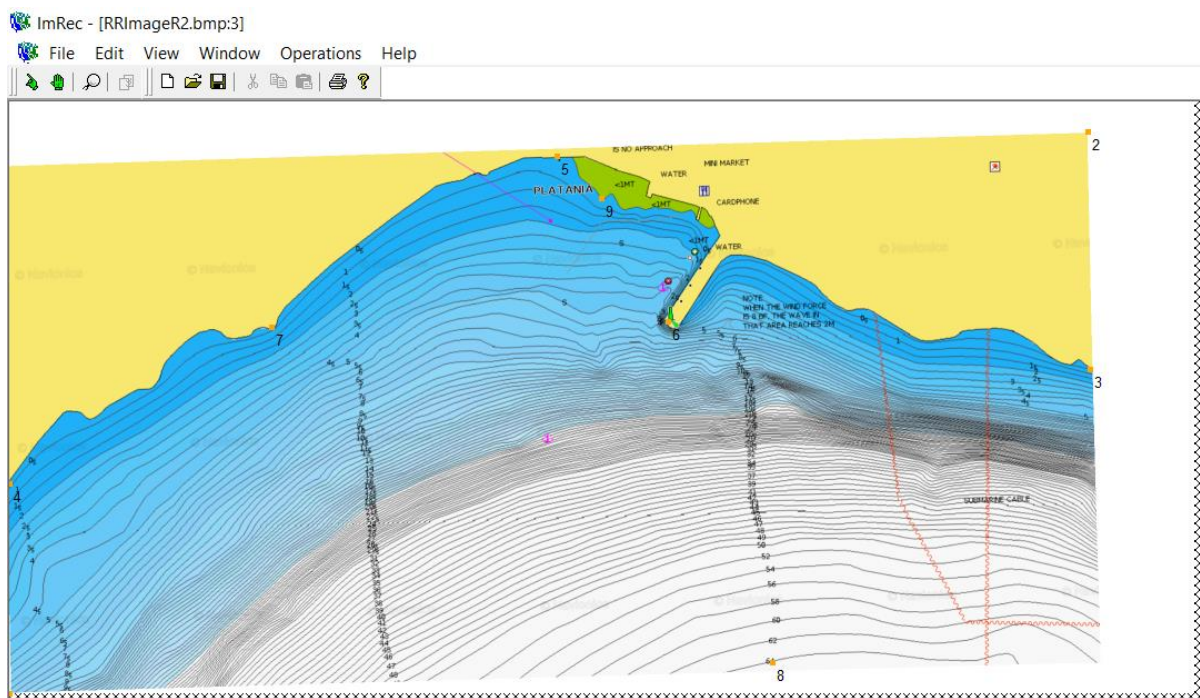
1. Εύρεση της βυθομετρικής αποτύπωσης της περιοχής μελέτης με χρήση κατάλληλου μέσου (Navionics).
2. Επιλογή κατάλληλης μεγέθυνσης, ώστε να αποδίδεται η επιθυμητή λεπτομέρεια της βαθυμετρίας στην εικόνα.
3. Γεωαναφορά εικόνας με την βοήθεια του εργαλείου Image Rectifier
4. Χάραξη της ακτογραμμής και των ισοβαθών σύμφωνα με τον χάρτη της βαθυμετρίας με το εργαλείο Bathymetry Editor.
5. Ψηφιοποίηση βαθυμετρίας με το εργαλείο Mesh Generator
6. Αποθήκευση χάρτη βαθυμετρίας σε μορφή .mesh ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο προσομοίωσης MIKE21/3 Coupled Model.

3.2.2 Περιγραφή του εργαλείου Image Rectifier

Το Image Rectifier είναι ένα εργαλείο του προγράμματος MIKE που χρησιμοποιείται για την γεωαναφορά και διόρθωση εικόνων, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόβαθρα σε μοντέλα προσομοίωσης. Η γεωαναφορά είναι η διαδικασία προσαρμογής μιας εικόνας, όπως αεροφωτογραφία ή δορυφορική εικόνα, (στην περίπτωση μας στιγμιότυπο από το Navionics εικ.3.1) ώστε να αντιστοιχεί σε πραγματικές συντεταγμένες της γης. Μετατρέπει δηλαδή τις εικόνες σε διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση τους σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS). Επομένως η χρήση του είναι απαραίτητη καθώς βελτιώνει την ακρίβεια και την αξιοπιστία του μοντέλου προσομοίωσης και έχουμε ορθή χρήση μηκών για την ανάπτυξη κυματισμών σε επόμενα βήματα.

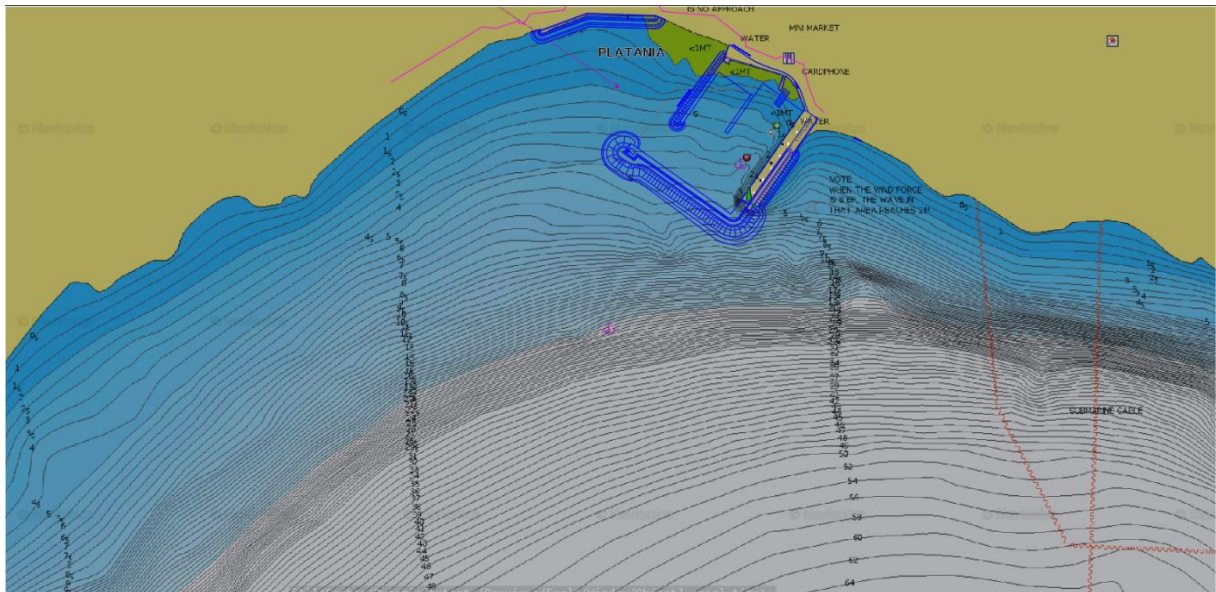


Εικόνα 3.1 Στιγμιότυπο της περιοχής μελέτης από το Navionics.



Εικόνα 3.2 Γεωαναφορά εικόνας στο Image Rectifier για τον αρχικό μόλο.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την δεύτερη περίπτωση με το νέο λιμάνι. Να σημειωθεί πως για να γεωαναφέρουμε την περιοχή μελέτης η εικόνα που εισάγουμε πρέπει να είναι σε μορφή bmp.



Εικόνα 3.3 Εικόνα περιοχής μελέτης με τον νέο λιμάνι.

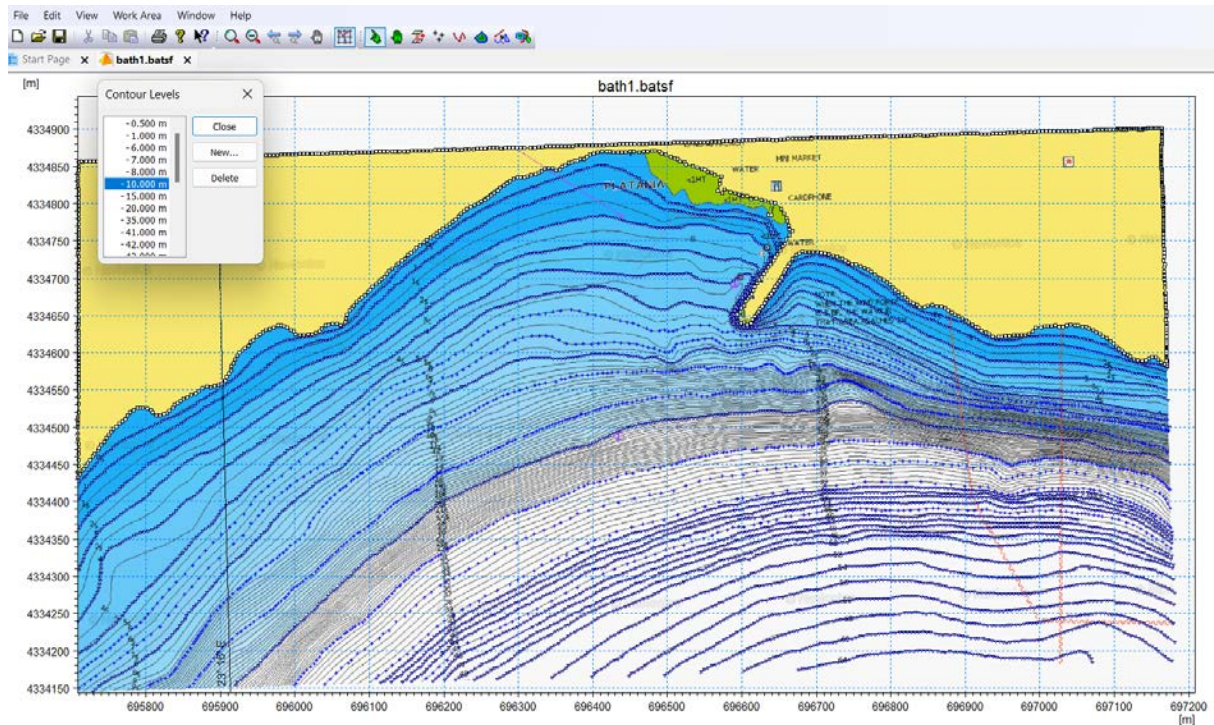
Ο ορισμός των συντεταγμένων στην παρούσα εργασία έγινε με εύρεση των συντεταγμένων (σε μοίρες) με χρήση του προγράμματος Google Earth και έπειτα την μετατροπή αυτών στο σύστημα UTM (Universal Transverse Mercator).

3.2.3 Περιγραφή των εργαλείων Bathymetry Editor και Mesh Generator

Το Bathymetry Editor και το Mesh Generator του προγράμματος MIKE είναι δύο βασικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία, επεξεργασία και διαχείριση δεδομένων βαθυμετρίας, δηλαδή δεδομένων που αφορούν το βάθος και το ανάγλυφο του πυθμένα της περιοχής μελέτης.

Bathymetry Editor

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η χειροκίνητη μέθοδος σχεδιασμού των ισοβαθών μέσω της εικόνας που δημιουργήθηκε από το εργαλείο Image Rectifier. Πέρα από το υδάτινο περιβάλλον ορίστηκαν και τα όρια της στεριάς, ώστε το πρόγραμμα να αναγνωρίσει την διαφορά μεταξύ των δυο. Τελικά το πρόγραμμα εξάγει δύο αρχεία, ένα για το νερό (Wbathy) και ένα για την στεριά (Lbathy), μορφής .xyz.

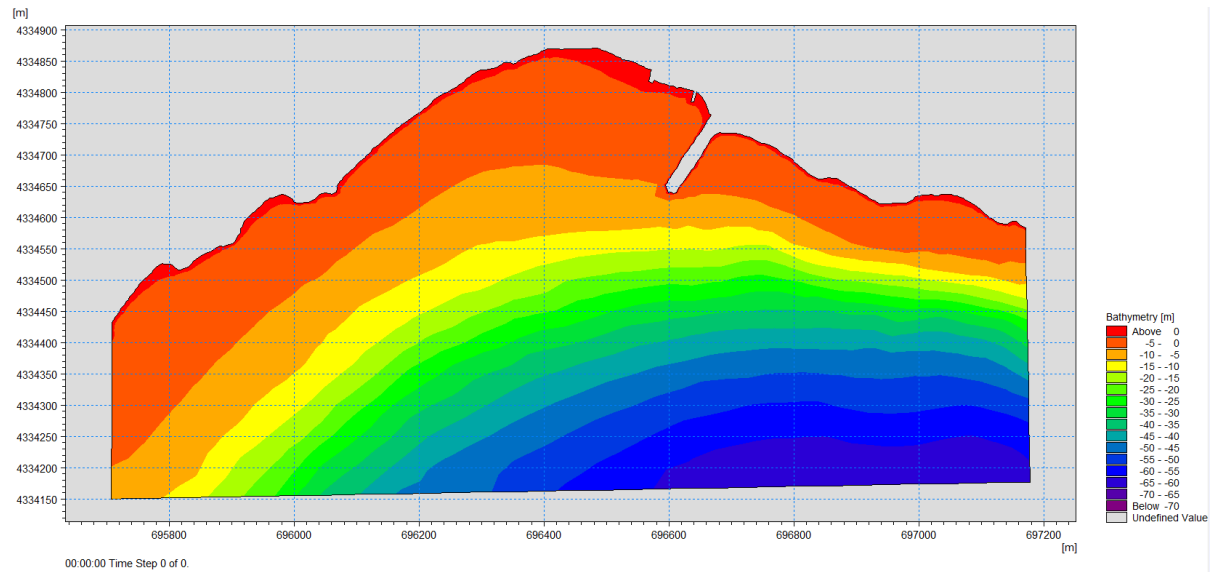


Εικόνα 3.4 Βαθυμετρία της περιοχής μελέτης με την χρήση του εργαλείου Bathymetry Editor

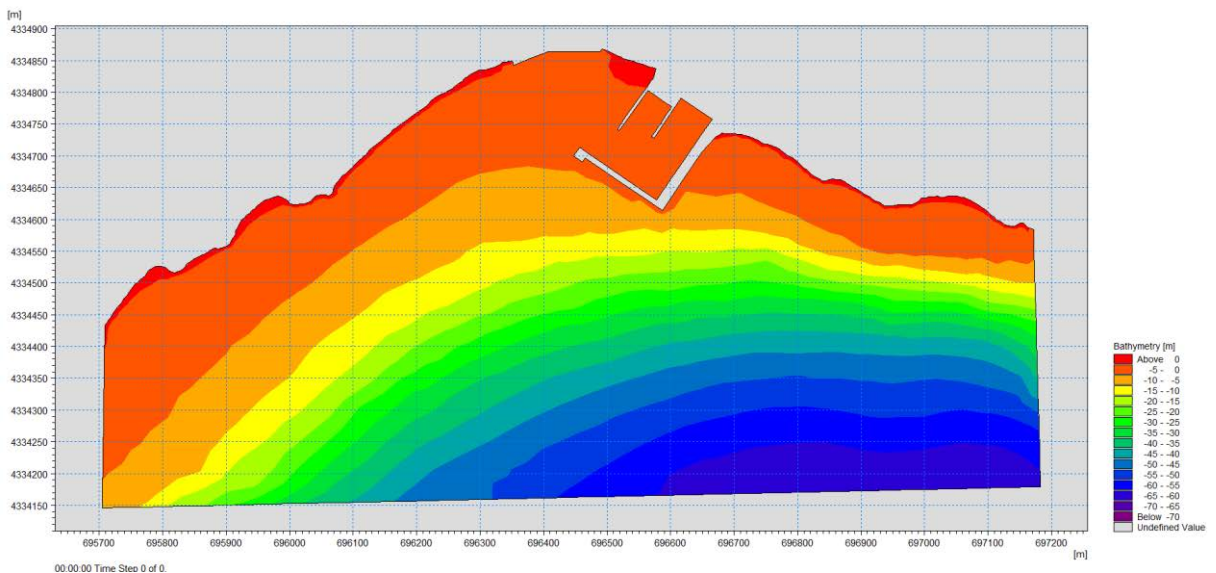
Mesh Generator

Το εργαλείο Mesh Generator δημιουργεί πλέγματα (mesh) που μπορούν να αποτελούνται τόσο από τριγωνικά, όσο και από τετραγωνικά στοιχεία. Με πιο απλά λόγια η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε μικρότερες ζώνες οι οποίες απεικονίζονται με πολύγωνα.

Με την εντολή Insert Polygons στην περιοχή της στεριάς δημιουργούμε κλειστά πολύγωνα που καθορίζουν τα όρια της ξηράς στο πρόγραμμα (για αριθμούς μεγαλύτερους του 0). Αυτό επιτρέπει στο πρόγραμμα να κατανοήσει ότι το νερό δεν μπορεί να υπερβεί αυτά τα όρια. Στη συνέχεια, με την εντολή interpolation και την επιλογή natural neighbor, δημιουργούμε μια ενιαία βαθυμετρία μέσω των πολυγώνων. Συγκεκριμένα, το Mesh Generator συμπληρώνει τις βαθυμετρικές πληροφορίες που προκύπτουν από τις ισοβαθείς που έχουν δημιουργηθεί με το Bathymetry Editor, γεμίζοντας τα σημεία που βρίσκονται εντός κάθε περιοχής πολυγώνου.



Εικόνα 3.5 Τελική μορφή βαθυμετρίας για τον αρχικό μόλο.



Εικόνα 3.6 Τελική μορφή βαθυμετρίας για το νέο λιμάνι.

3.3 Περιγραφή μοντέλου MIKE21/3 Coupled Model FM

Για την προσομοίωση των κυματικών, υδροδυναμικών στοιχείων και της στερεομεταφοράς χρησιμοποιήθηκε το υδροδυναμικό μοντέλο MIKE 21/3 Coupled Model FM. Το εν λόγω μοντέλο είναι ένα δυναμικό σύστημα μοντελοποίησης για εφαρμογές κυρίως σε παράκτιες ζώνες.

Οι περιοχές εφαρμογής του MIKE 21/3 Coupled Model FM αφορούν γενικά προβλήματα όπου τα φαινόμενα ροής και μεταφοράς ιζημάτων είναι σημαντικά, με έμφαση

στις εκβολές ποταμών, παράκτιες και θαλάσσιες εφαρμογές, όπου η ευελιξία των μη δομημένων πλεγμάτων μπορεί να αξιοποιηθεί. Το MIKE 21/3 Coupled Model FM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της μορφολογικής εξέλιξης της βαθυμετρίας πλησίον της ακτής λόγω των επιπτώσεων των τεχνικών έργων (παράκτιες κατασκευές, εργασίες βυθοκόρησης κ.λπ.). Αυτά τα έργα μπορεί να περιλαμβάνουν κυματοθραύστες (επιφανειακούς και υποβρύχιους), προκυμαίες, λιμάνια κ.ά. Η δυνατότητα σύζευξης με άλλα μοντέλα και τεχνολογίες κάνει το MIKE 21/3 Coupled Model FM ένα ισχυρό εργαλείο για την κατανόηση και την πρόβλεψη πολύπλοκων υδροδυναμικών διεργασιών στην παράκτια ζώνη.

Το μοντέλο αποτελείται από τα εξής επιμέρους μοντέλα:

- Hydrodynamic Module
- Transport Module
- ECO Lab / Oil Spill Module
- Mud Transport Module
- Particle Tracking Module
- Sand Transport Module
- Shoreline Morphology Module
- Spectral Wave Module

Το Hydrodynamic Module και το Spectral Wave Module είναι τα βασικά υπολογιστικά στοιχεία του MIKE 21/3 Coupled Model FM. Χρησιμοποιώντας αυτόν τον συνδυασμό των δυο μοντέλων είναι δυνατή η προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ κυμάτων και ρευμάτων. Επιπλέον ο συνδυασμός του υδροδυναμικού (Hydrodynamic Module) και του φασματικού μοντέλου (Spectral Wave) μαζί με το μοντέλο μεταφοράς άμμου (Sand Transport Module), μας δίνει την δυνατότητα πλήρους ανάλυσης της παράκτιας διάβρωσης, της μεταφοράς ιζημάτων και της αλληλεπίδρασης των κυμάτων σε παράκτιες περιοχές.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιηθούν αυτά τα τρία μοντέλα με ταυτόχρονη προσομοίωση και αλληλεπίδραση των αποτελεσμάτων.

3.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά εφαρμογής του μοντέλου

Η εισαγωγή των διαφόρων παραμέτρων στο μοντέλο γίνεται σε τρεις βασικές καρτέλες:

1. Τομέας μελέτης (Domain)

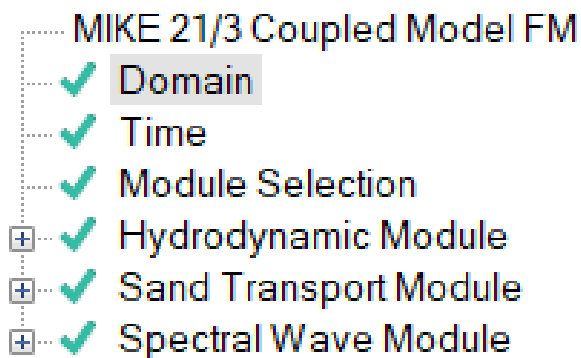
Στη καρτέλα αυτή εισάγεται η βαθυμετρία της περιοχής μελέτης σε αρχείο mesh που έχει δημιουργηθεί από το εργαλείο MIKE Zero Mesh Generator για κάθε περίπτωση ξεχωριστά όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Στη καρτέλα αυτή μπορούν να οριστούν κάποια στοιχεία του mesh και να μετανομαστούν τα ονόματα των ορίων. Στην προσομοίωση μας δόθηκαν οι κατάλληλες ονομασίες στα όρια και χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του προγράμματος για τα υπόλοιπα καθώς εισήχθησαν τα απαραίτητα στοιχεία για την περιοχή μελέτης κατά την δημιουργία του mesh. (Εικόνα 3.9)

2. Χρόνος (Time)

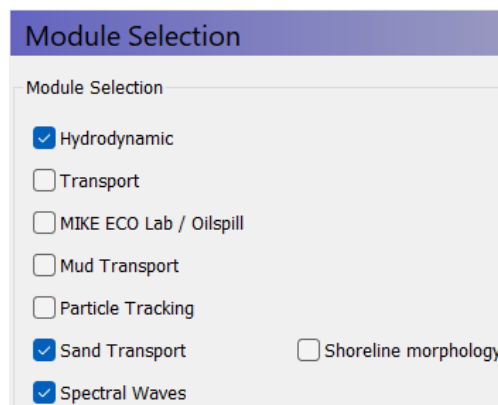
Η δεύτερη καρτέλα αναφέρεται στον χρόνο προσομοίωσης, όπου εισάγονται ο αριθμός των χρονικών βημάτων για τους αντιπροσωπευτικούς κυματισμούς του ισοδύναμου κυματικού κλίματος καθώς και για κάθε καταιγίδα, το βήμα τους και η έναρξη τους. Σε αυτό το σημείο, καταγράφεται επίσης η λήξη της προσομοίωσης, επιτρέποντας τον έλεγχο της ορθότητας των δεδομένων στην καρτέλα αυτή. Στην παρούσα εργασία ορίσαμε χρονική διάρκεια τρεις ώρες, 90 time step και διάρκεια αυτών 120 δευτερόλεπτα και για στις δυο προσομοιώσεις. (Εικόνα 3.10)

3. Επιλογή μοντέλου (Module Selection)

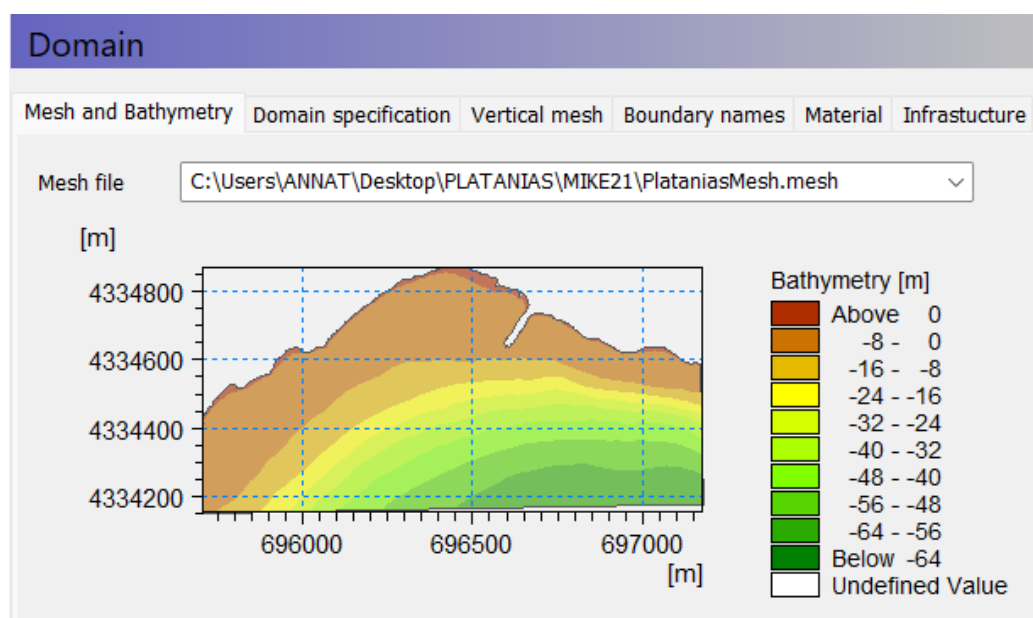
Η καρτέλα αυτή δίνει την δυνατότητα επιλογής ενός ή περισσότερων από τα επιμέρους μοντέλα του MIKE 21/3 Coupled Model FM ώστε να συμπεριληφθούν στην προσομοίωση. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στην εργασία αυτή επιλέχτηκαν τα Hydrodynamic Module, Spectral Wave Module και Sand Transport Module. (Εικόνα 3.8)



Εικόνα 3.7 Καρτέλες μοντέλου



Εικόνα 3.8 Επιμέρους μοντέλα



Εικόνα 3.9 Καρτέλα Domain

Εικόνα 3.10 Καρτέλα Χρόνου

3.3.2 Περιγραφή Spectral Wave Module

Εισαγωγή

Το MIKE 21 Spectral Wave Module (SW) είναι ένα τρίτης γενιάς φασματικό μοντέλο που προσομοιώνει την ανάπτυξη, την απόσβεση και τον μετασχηματισμό των κυμάτων που δημιουργούνται από τον άνεμο σε περιοχές βαθιάς θάλασσας και παράκτιων ζωνών. Το μοντέλο περιλαμβάνει δυο διαφορετικά είδη σύνθεσης:

- Κατευθυντική ανάλυση μεμονωμένων παραμέτρων
- Πλήρως φασματική ανάπτυξη

Η κατευθυντική ανάλυση μεμονωμένων παραμέτρων βασίζεται στην παραμετροποίηση της εξίσωσης διατήρησης της κυματικής δράσης. Αυτή η διαδικασία εκτελείται στον χώρο των συχνοτήτων εισάγοντας τη μηδενική και την αρχική στιγμή του φάσματος της κυματικής ενέργειας. Η πλήρης φασματική ανάπτυξη στηρίζεται στην εξίσωση διατήρησης της κυματικής δράσης όπως έχουν αναλύσει οι Komen (1994) και Young (1999). (MIKE 21 SW FM Short Description, 2017)

Τα φυσικά φαινόμενα που υπάρχουν στους υπολογισμούς του MIKE 21 SW είναι:

- Ανάπτυξη κυματισμών λόγω της δράσης ανέμου
- Μη γραμμική αλληλεπίδραση κυματισμών
- Διασπορά λόγω θραύσης σε ανοιχτή θάλασσα
- Διασπορά λόγω τριβής του πυθμένα
- Διασπορά λόγω θραύσης κυματισμών
- Διάθλαση και ρήχωση
- Αλληλεπίδραση ρεύματος και κυματισμού
- Επίδραση του χρονικά μεταβαλλόμενου βάθους της θάλασσας
- Πλημμύρα και ξηρασία

Τα βασικά στοιχεία που προκύπτουν από το μοντέλο είναι ολοκληρωμένες κυματικές παράμετροι, όπως το σημαντικό ύψος κύματος (H_s), η περίοδος κορυφής (T_p), η μέση

περίοδος (T_{01}), η μέγιστη και μέση κατεύθυνση των κυματισμών (θ_p και θ_m αντίστοιχα), η κατευθυντική τυπική απόκλιση (σ) καθώς επίσης και οι τάσεις ακτινοβολίας (S_{xx} , S_{xy} , S_{yy}) οι οποίες συμβάλλουν στη δημιουργία των κυματογενών ρευμάτων. (MIKE 21 SW FM Short Description, 2017)

Βασικές εξισώσεις

Στο μοντέλο MIKE 21 SW, τα ανεμογενή κύματα εκφράζονται από τη φασματική πυκνότητα της κυματικής δράσης $N(\sigma, \theta)$. Ως ανεξάρτητες παράμετροι έχουν επιλεγεί η σχετική γωνιακή συχνότητα ($\sigma=2\pi f$) και η διεύθυνση του προσπίπτοντος κυματισμού θ . Η σχέση μεταξύ της σχετικής γωνιακής συχνότητας (σ) και της απόλυτης γωνιακής συχνότητας (ω) δίνεται από τη γραμμική σχέση διασποράς (MIKE 21 SW FM Short Description, 2017):

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} = \omega - \bar{k} \cdot \bar{U} \quad (3.1)$$

όπου, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, d το βάθος του νερού, $\bar{U}$ το διάνυσμα της ταχύτητας του ρεύματος και $\bar{k}$ το διάνυσμα του κύματος με μέτρο k και διεύθυνση θ .

Η πυκνότητα δράσης $N(\sigma, \theta)$ σχετίζεται με την πυκνότητα της ενέργειας $E(\sigma, \theta)$ μέσω της σχέσης:

$$N = \frac{E}{\sigma} \quad (3.2)$$

Πλήρως Φασματική ανάπτυξη

Η εξίσωση που διέπει το MIKE 21 SW είναι η εξίσωση ισορροπίας της κυματικής δράσης σε καρτεσιανές ή σφαιρικές συντεταγμένες. Στις οριζόντιες καρτεσιανές συντεταγμένες, η εξίσωση διατήρησης της κυματικής δράσης είναι (MIKE 21 SW FM Short Description, 2017):

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{s}{\sigma} \quad (3.3)$$

Όπου, $N(\bar{x}, \sigma, \theta, t)$ η πυκνότητα δράσης

t ο χρόνος

$\bar{x}=(x,y)$ οι καρτεσιανές συντεταγμένες

$\bar{v}=(cx, cy, c\sigma, c\theta)$ η ταχύτητα διάδοσης ομάδας κυμάτων στις τέσσερις

διαστάσεις του χώρου του

S η πηγή για την εξίσωση ισορροπίας της κυματικής ενέργειας

∇ ο διαφορικός τελεστής τεσσάρων διαστάσεων στο χώρο $\bar{x}, \sigma, \theta$.

Οι συνιστώσες των ταχυτήτων διάδοσης δίνονται από τις σχέσεις:

$$(c_x, c_y) = \frac{d\bar{x}}{dt} = \bar{c}_g + \bar{U} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k} + \bar{U} \quad (3.4)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \cdot \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \bar{U} \cdot \nabla_{\bar{x}} d \right] - c_g \bar{K} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial s} \quad (3.5)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial m} \right] \quad (3.6)$$

Όπου, s είναι η χωρική συντεταγμένη της κατεύθυνσης του κυματισμού θ

m είναι η συντεταγμένη κάθετη στο s

$\nabla_{\bar{x}}$ είναι ο δισδιάστατος διαφορικός τελεστής στο χώρο $\bar{x}$

Εξίσωση πηγής

Ο όρος της πηγής στο β' μέλος της εξίσωσης διατήρησης της κυματικής δράσης δίνεται από τη σχέση (MIKE 21 SW FM Short Description, 2017):

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (3.7)$$

Όπου, S_{in} η στιγμιαία μετάδοση της ενέργειας του ανέμου για τη γένεση των κυμάτων

S_{nl} η διάδοση της κυματικής ενέργειας λόγω μη γραμμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των κυματισμών

S_{ds} η διασπορά της κυματικής ενέργειας λόγω θραύσης των κυματισμών

S_{bot} η διασπορά λόγω τριβής του πυθμένα και S_{surf} είναι η διασπορά της κυματικής ενέργειας λόγω θραύσης από το βάθος

Εφαρμογή παραμέτρων για το Spectral Wave Module

Για την προσομοίωση των ανεμογενών κυματισμών, το μοντέλο SW παρουσιάζει διαδοχικά τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου που πρέπει να ρυθμιστούν ώστε να πραγματοποιηθεί η μοντελοποίηση. Οι πληροφορίες αυτές θα αναλυθούν στη συνέχεια, όπου θα επεξηγηθεί και η ρύθμιση τους.

Πίνακας 3.1 Δεδομένα εισόδου για το κυματικό μοντέλο SW.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ					
Διεύθυνση ανέμου		4BF	5BF	6BF	7BF
Ανατολικός	U10 (m/s)	6.65	9.29	-	-
	Wind direction (degrees)	90	90	-	-
	Hmo (m)	1.2	1.81	-	-
	Tp (s)	5.51	6.33	-	-
	MWD (degrees)	90	90	-	-
Νοτιοανατολικός	U10 (m/s)	6.65	9.29	12.21	-
	Wind direction (degrees)	135	135	135	-
	Hmo (m)	0.99	1.51	2.10	-
	Tp (s)	4.87	5.60	6.28	-
	MWD (degrees)	135	135	135	-
Νότιος	U10 (m/s)	6.65	9.29	12.21	15.39
	Wind direction (degrees)	180	180	180	180
	Hmo (m)	0.48	0.73	1.03	1.36
	Tp (s)	3.03	3.49	3.91	4.31
	MWD (degrees)	180	180	180	180
Νοτιοδυτικός	U10 (m/s)	6.65	9.29	-	-
	Wind direction (degrees)	225	225	-	-
	Hmo (m)	0.40	0.60	-	-
	Tp (s)	2.66	3.06	-	-
	MWD (degrees)	225	225	-	-

– Βασικές Εξισώσεις

– Φασματική διαμόρφωση (Spectral formulation)

Αυτή η παράμετρος διαθέτει δύο διαφορετικούς τύπους formulation:

- Directionally decoupled parametric formulation
- Fully spectral formulation

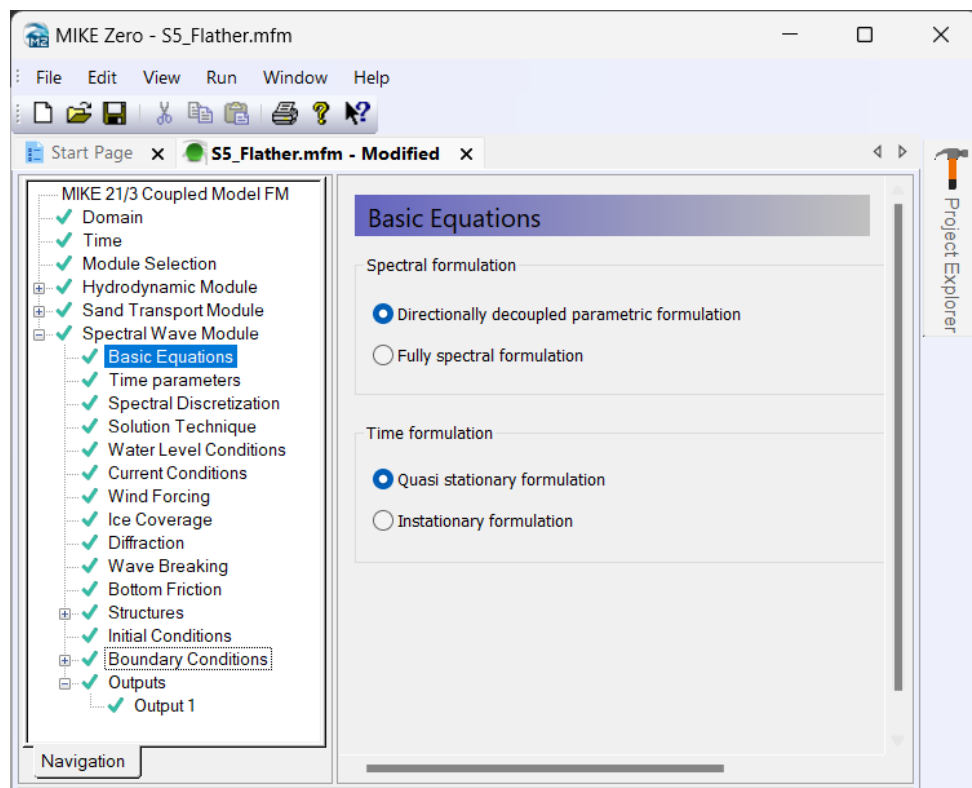
Για την παρούσα μελέτη, επιλέχθηκε η Directionally decoupled formulation, η οποία στηρίζεται στην παραμετροποίηση της εξίσωσης της διατήρησης κυματικής δράσης, όπως αναφέρουν οι Holthuijjesen et al. (1989). Η προσαρμογή αυτή εφαρμόζεται στο φάσμα των συχνοτήτων, όπου εισάγονται οι μηδενικές και πρώτες στιγμές του φάσματος της κυματικής δράσης ως εξαρτώμενες μεταβλητές.

– Χρονική διαμόρφωση (Time formulation)

Από το module παρέχονται δύο τύποι διαμόρφωσης:

- Quasi-stationary formulation
- Instationary formulation

Η διαμόρφωση χρόνου επιλέχθηκε να είναι η Quasi-stationary formulation (τύπος σχεδόν στατικών κυμάτων), η οποία αναφέρεται σε σχεδόν στατικά κύματα, καθώς δεν θεωρεί τον χρόνο ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Αντίθετα, υπολογίζεται μια λύση σταθερής κατάστασης σε κάθε χρονικό βήμα (time step), γεγονός που εξοικονομεί πολύτιμο υπολογιστικό χρόνο.



Εικόνα 3.11 Καρτέλα Basic equations του μοντέλου MIKE 21 SW.

– Φασματική διακριτοποίηση (Spectral Discretization)

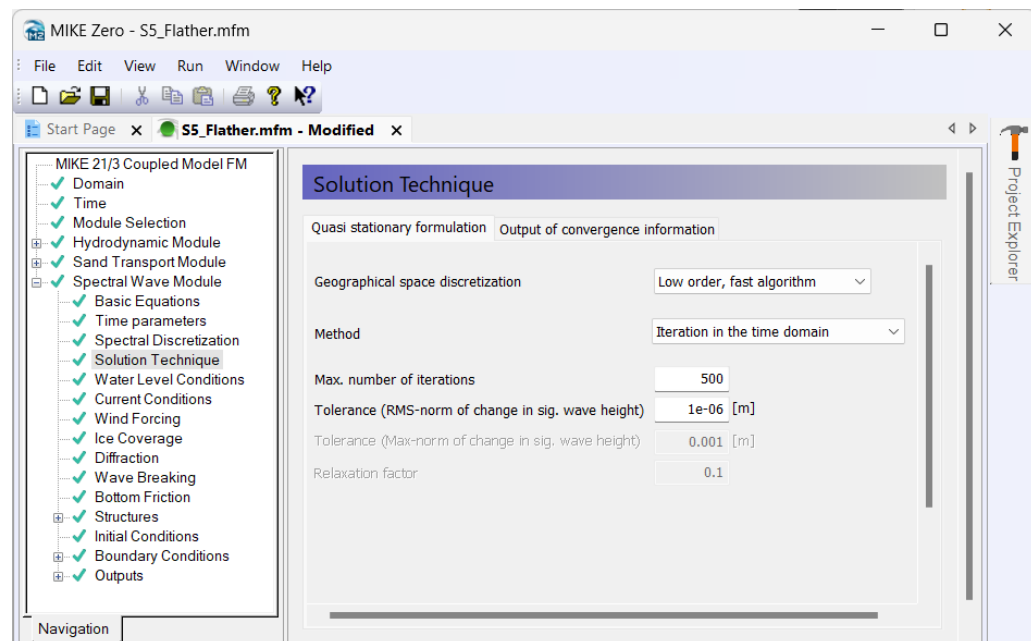
Στη φασματική διαμόρφωση, η εξαρτημένη μεταβλητή είναι το φάσμα της κατευθυντικής συχνότητας της κυματικής δράσης σε κάθε κόμβο του πλέγματος. Σε αυτή την καρτέλα καθορίζονται οι διακριτές συχνότητες και κατευθύνσεις που χρησιμοποιούνται για την επίλυση του φάσματος της κυματικής δράσης.

– Κατευθυντική διακριτοποίηση

Η επιλογή για το παρόν πρόβλημα ήταν η ρύθμιση 360 degree rose, η οποία λαμβάνει υπόψιν τους κυματισμούς και ανέμους για όλες τις κατευθύνσεις.

– Τεχνική επίλυσης (Solution Technique)

Η διακριτοποίηση σε γεωγραφικό και φασματικό χώρο γίνεται μέσω μιας μεθόδου πεπερασμένου όγκου. Στο γεωγραφικό χώρο εφαρμόζεται ένα μη δομημένο πλέγμα. Το χωρικό πεδίο διακριτοποιείται μέσω μιας υποδιαίρεσης της συνέχειας σε μη επικαλυπτόμενα (non-overlapping) στοιχεία. Για λόγους υπολογιστικής αποδοτικότητας, επιλέχθηκε η μέθοδος low order, faster algorithm, με τη διαδικασία επίλυσης να πραγματοποιείται επαναληπτικά στον χρονικό τομέα (Iteration in the time domain) χρησιμοποιώντας τις προεπιλεγμένες τιμές του προγράμματος.



Εικόνα 3.12 Καρτέλα Solution technique του μοντέλου MIKE 21 SW.

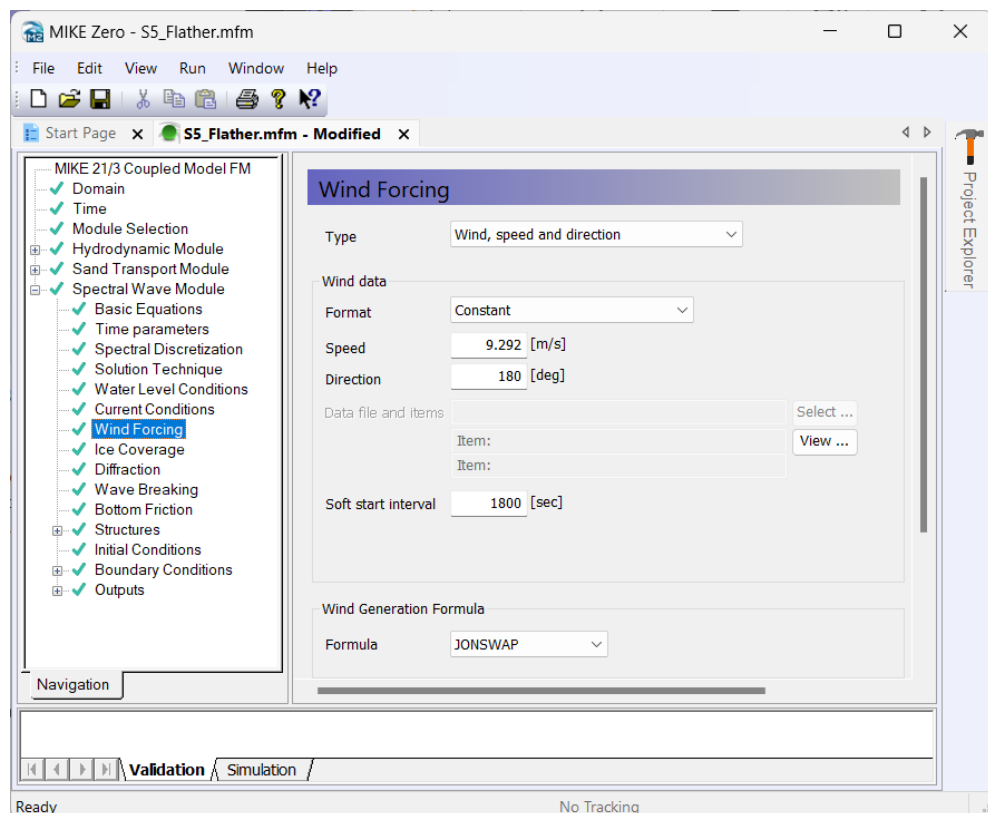
Όσον αφορά τις καρτέλες για τη στάθμη της θαλάσσιας επιφάνειας, τα ρεύματα και τη κάλυψη πάγου δεν προστέθηκαν αρχεία με αυτές τις πληροφορίες.

– Επίδραση ανέμου (Wind Forcing)

Η επιτυχής μετάδοση και πρόβλεψη των κυματισμών εξαρτάται από τα ακριβή πεδία ανέμου που προέρχονται από μετεωρολογικά μοντέλα και αναλύσεις. Δεδομένου ότι ο

άνεμος είναι η κινητήρια δύναμη δημιουργίας κυματισμών, το μεγαλύτερο όφελος στο Spectral Wave module είναι ο καθορισμός αντιπροσωπευτικών ανέμων.

Με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα, που μας έχει παραχωρήσει η ΕΜΥ για την παραλία του Πλατανιά, καθορίστηκαν η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου. Η ταχύτητα εισάγεται ως η χαρακτηριστική ταχύτητα ανέμου μετρημένη δέκα μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (U_{10}) ενώ η κατεύθυνση μετράτε σε μοίρες από τον βορρά. Επίσης επιλέχτηκε το φάσμα εμπειρικών τύπων και η μέθοδος JONSWAP.



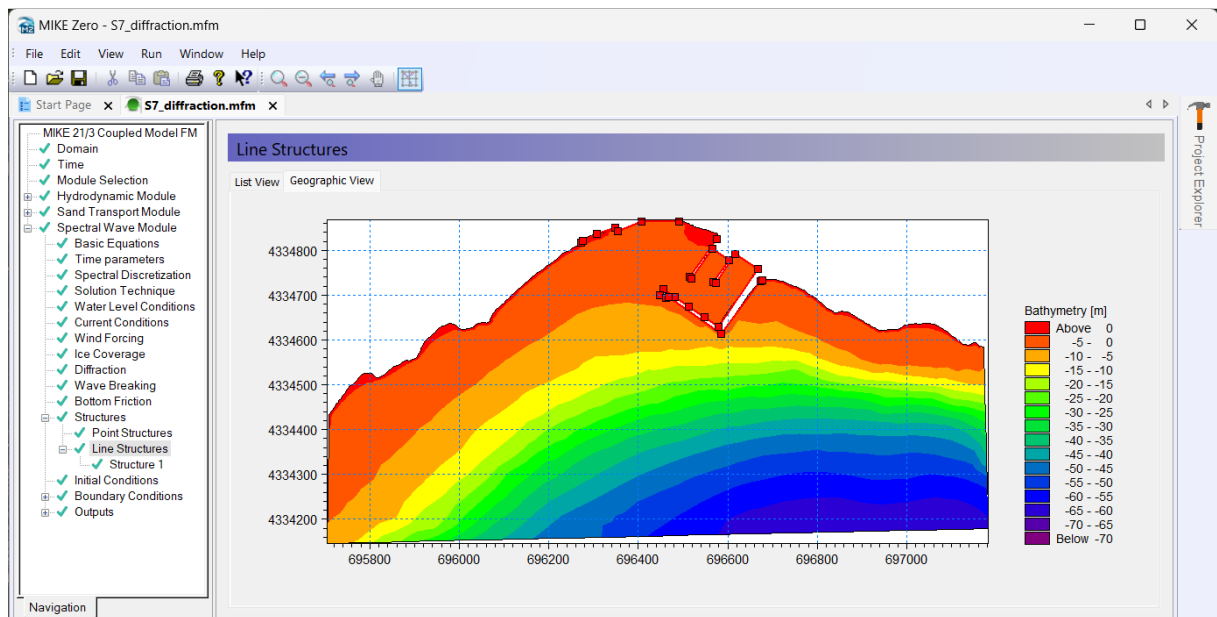
Εικόνα 3.13 Καρτέλα Wind forcing του μοντέλου MIKE 21 SW.

– Θραύση κυματισμών (Wave breaking)

Η θραύση των κυματισμών που προκαλείται από το βάθος αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία οι κυματισμοί φθάνουν σε ύψος που δεν μπορεί να υποστηριχθεί από το βάθος του νερού, δηλαδή ξεπερνούν το όριο της αναλογίας ύψους προς βάθος. Η διατύπωση του χρησιμοποιείται από το μοντέλο βασίζεται σε αυτή των Battjes and Janssen (1978). Στην καρτέλα αυτή η παράμετρος Gamma καθορίστηκε ως “Functional form (Nelson (1987, 1994))” με τις προεπιλεγμένες τιμές των Alpha και Gamma.

– Δομές (Structures)

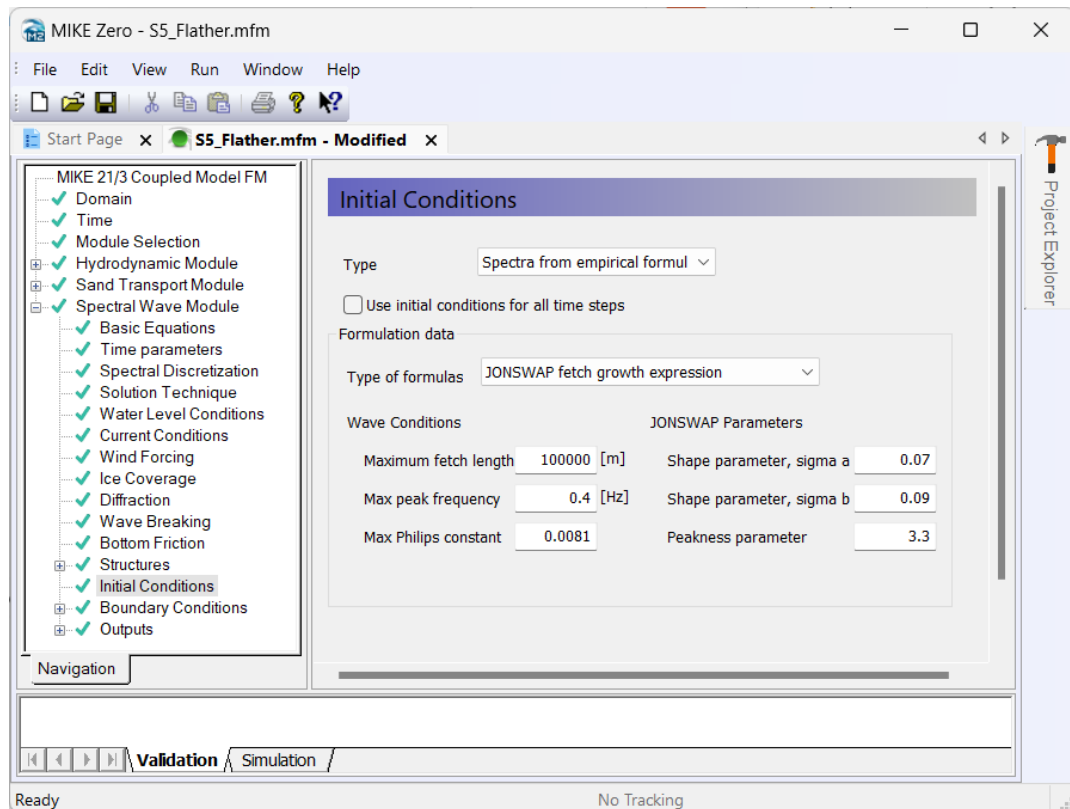
Στην περίπτωση του νέου λιμανιού ενεργοποιήθηκε αυτή η καρτέλα των κατασκευών για να αποδοθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η δομή του νέου λιμανιού. Υπάρχουν δυο διαφορετικοί τύποι κατασκευών, οι σημειακές δομές και οι γραμμικές δομές. Ο σχεδιασμός στην δική μας περίπτωση έγινε με την επιλογή της γραμμικής δομής.



Εικόνα 3.14 Καρτέλα Structures του μοντέλου MIKE 21 SW για το νέο λιμάνι.

– Αρχικές συνθήκες (Initial Conditions)

Ο καθορισμός των αρχικών συνθηκών της προσομοίωσης του μοντέλου είναι κρίσιμος για τη διαδικασία προσομοίωσης. Για τις αρχικές συνθήκες, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν εμπειρικοί τύποι φάσματος, με προτίμηση στη μέθοδο JONSWAP, χρησιμοποιώντας τις προεπιλεγμένες τιμές του μοντέλου.



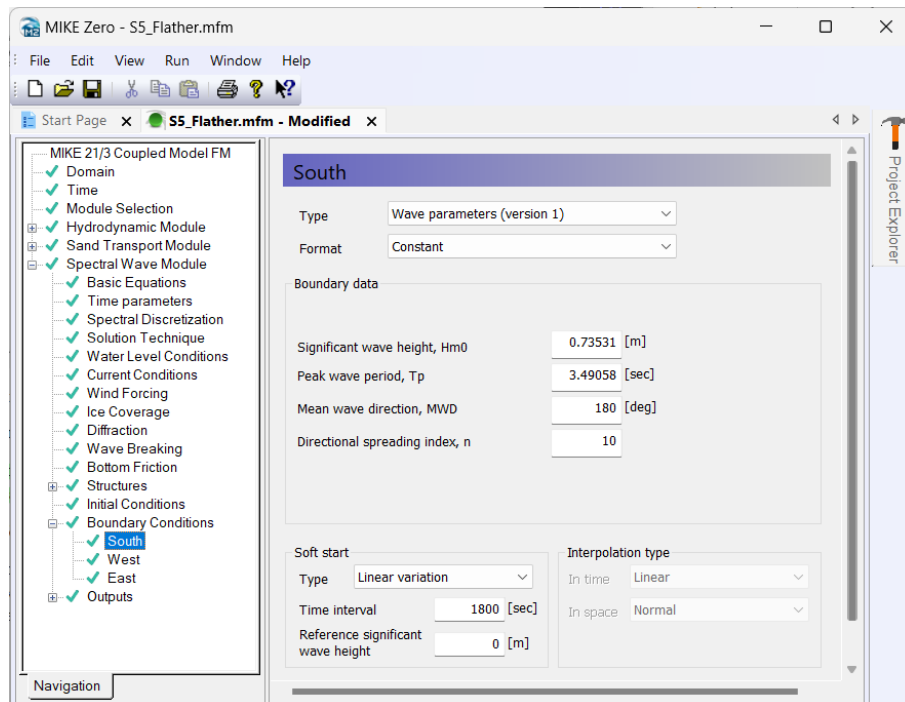
Εικόνα 3.15 Καρτέλα Initial Conditions του μοντέλου MIKE 21 SW.

– Οριακές συνθήκες (Boundary Conditions)

Στο πεδίο των οριακών συνθηκών χαρακτηρίζονται τα όρια της περιοχής. Στην παρούσα εργασία, ο κύριος στόχος είναι η παραγωγή κυματισμών που προκύπτουν αποκλειστικά από τα ανεμολογικά δεδομένα. Για τα θαλάσσια όρια, επιλέχθηκαν τα wave parameters 1 και lateral boundary, τα οποία εναλλάσσόντουσαν ανάλογα τη κατεύθυνση του ανέμου, προκειμένου να οριστούν τα χαρακτηριστικά των κυματισμών. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής της μεθόδου SBM, η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό παραμέτρων όπως το σημαντικό ύψος κύματος, η περίοδος αιχμής, η κύρια κατεύθυνση του κυματισμού και ο δείκτης κατευθυντικής διάδοσης σε βαθιά νερά.

Boundary Conditions		
Geographic View List view		
Boundary Name	Format	Edit
South	Wave parameters (version 1)	Go to...
West	Lateral boundary	Go to...
East	Lateral boundary	Go to...

Εικόνα 3.16 Τύποι συνοριακών συνθηκών για τα θαλάσσια όρια.

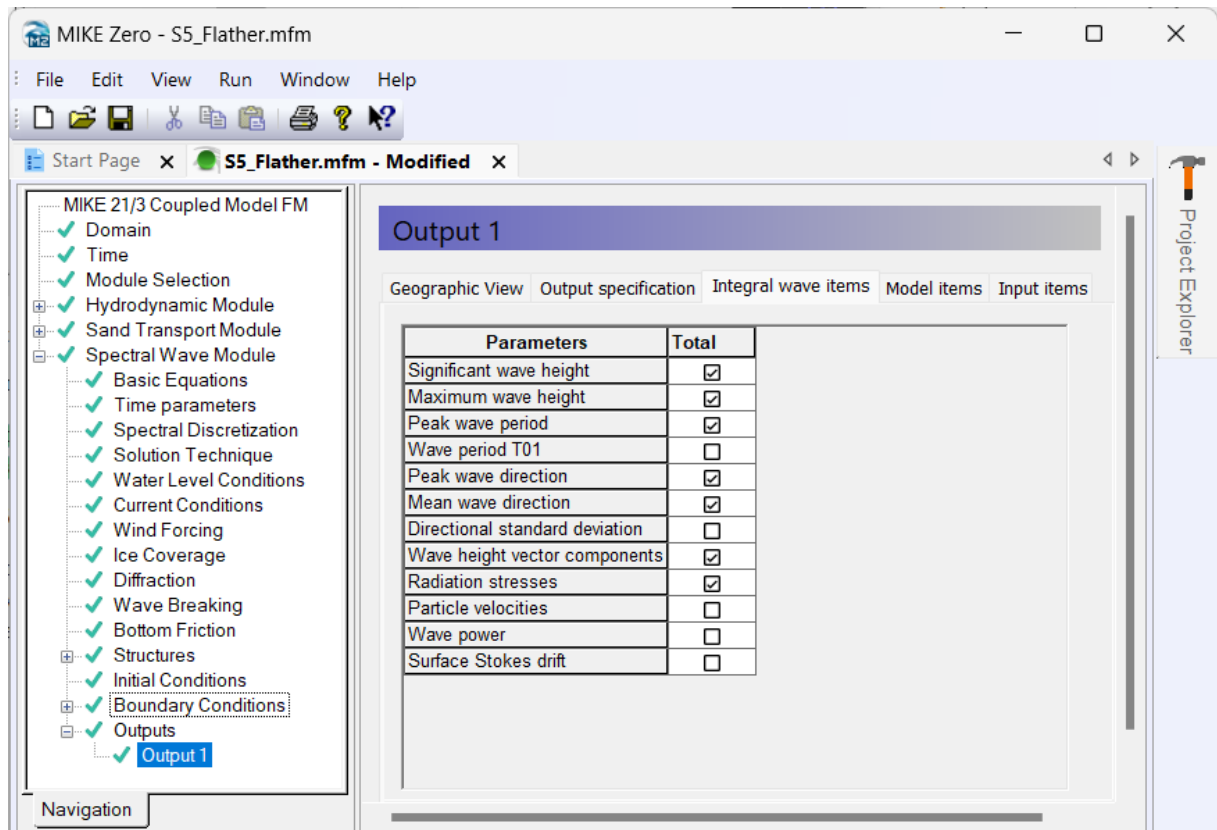


Εικόνα 3.17 Καρτέλα Boundary Conditions του μοντέλου MIKE 21 SW.

– Στοιχεία εξόδου (Outputs)

Σημαντικό κομμάτι της προσομοίωσης είναι και η επιλογή των αποτελεσμάτων που επιθυμούμε ως δεδομένα εξόδου. Σε αυτό το σημείο καθορίζεται το output specification μόνο για το θαλάσσιο τμήμα του σχεδίου επιλέγοντας only real wet area.

Ως αποτελέσματα εξόδου επιλέχθηκαν τα ακόλουθα στην Εικόνα 3.18



Εικόνα 3.18 Καρτέλα Outputs του μοντέλου MIKE 21 SW.

3.3.3 Περιγραφή Hydrodynamic Module

Εισαγωγή

Το Hydrodynamic Module (HD) είναι το βασικό υπολογιστικό στοιχείο, μαζί με το SW, ολόκληρου του συστήματος μοντελοποίησης MIKE 21/3 Coupled Model, το οποίο παρέχει την υδροδυναμική βάση για την προσομοίωση της στερεομεταφοράς με το μοντέλο Sand Transport που θα αναλύσουμε την επόμενη ενότητα.

Το Hydrodynamic Module στηρίζεται στην αριθμητική επίλυση των δισδιάστατων εξισώσεων ρηχών υδάτων, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις Navier-Stokes. Αυτό το μοντέλο προσομοιώνει τις μεταβολές της στάθμης του νερού, τη ροή, την αλατότητα και την θερμοκρασία του. Επιπλέον, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που παράγει το SW Module, υπολογίζονται τα ανεμογενείς και κυματογενείς ρεύματα.

Τα βασικά αποτελέσματα που εξάγει το μοντέλο περιλαμβάνουν τη στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας, το βάθος νερού, τις ταχύτητες και τις πυκνότητες ροής στις διευθύνσεις x και y . Αυτές οι πληροφορίες εξάγονται για κάθε στοιχείο του πλέγματος και για κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης στους δυναμικούς χάρτες εξαγωγής.

Εφαρμογή παραμέτρων

Για να προσομοιωθεί η μεταβολή του νερού και η ροή, το Hydrodynamic Module, εμφανίζει διαδοχικά τις παραμέτρους που πρέπει να εισαχθούν ή να ρυθμιστούν. Παρακάτω θα αναλυθούν αυτές οι παράμετροι και θα εξηγηθεί ο τρόπος ρύθμισης τους.

Πίνακας 3.2 Δεδομένα εισόδου του υδροδυναμικού μοντέλου HD.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ					
Διεύθυνση ανέμου		4BF	5BF	6BF	7BF
Ανατολικός	U10 (m/s)	6.65	9.29	-	-
	Wind direction (degrees)	90	90	-	-
	Wind friction constant	0.001255	0.001255	-	-
Νοτιοανατολικός	U10 (m/s)	6.65	9.29	12.21	-
	Wind direction (degrees)	135	135	135	-
	Wind friction constant	0.001255	0.001255	0.001255	-
Νότιος	U10 (m/s)	6.65	9.29	12.21	15.39
	Wind direction (degrees)	180	180	180	180
	Wind friction constant	0.001255	0.001255	0.001255	0.001255
Νοτιοδυτικός	U10 (m/s)	6.65	9.29	-	-
	Wind direction (degrees)	225	225	-	-
	Wind friction constant	0.001255	0.001255	-	-

- Βασικές Εξισώσεις
 - Χρονική διαμόρφωση (Time formulation)

Το module προσφέρει δύο τύπους διαμόρφωσης:

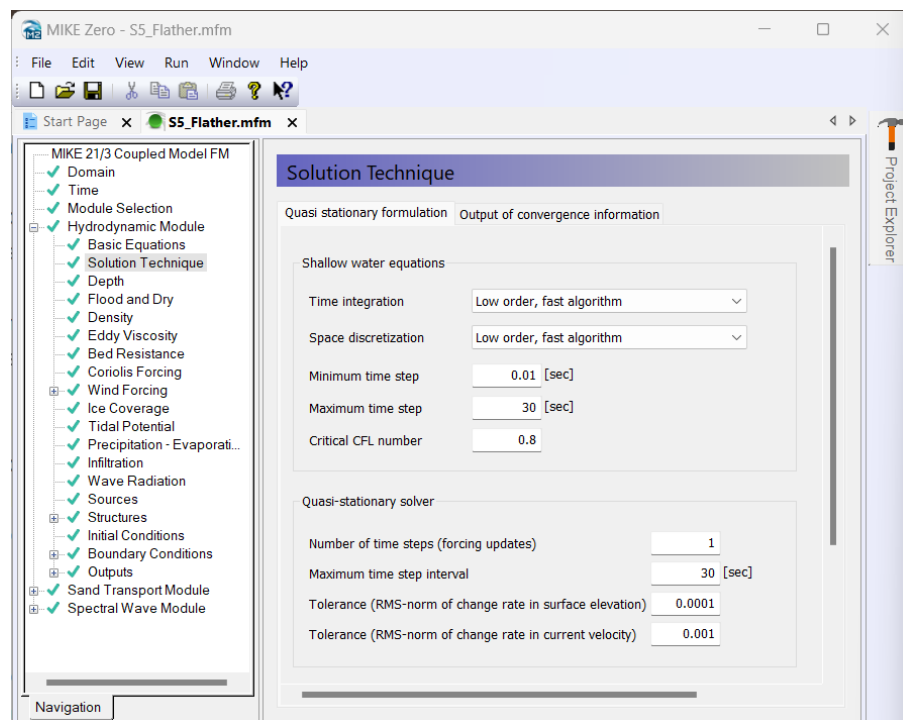
- Quasi-stationary formulation
- Instationary formulation

Η επιλεγμένη διαμόρφωση χρόνου στην περίπτωση μας είναι η Quasi-stationary formulation, η οποία αναφέρεται σε έναν τύπο σχεδόν στατικών κυμάτων. Σε αυτή την διαμόρφωση, ο χρόνος δεν αντιμετωπίζεται ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Αντίθετα, υπολογίζεται μια λύση

σταθερής κατάστασης σε κάθε χρονικό βήμα (time step), γεγονός που συμβάλλει στην εξοικονόμηση υπολογιστικού χρόνου.

– Τεχνική επίλυσης (Solution Technique)

Ο χρόνος και η ακρίβεια της προσομοίωσης μπορούν να ρυθμιστούν μέσω της επιλογής της τάξης επίλυσης του αριθμητικού μοντέλου. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ επίλυσης χαμηλής τάξης (πρώτης τάξης) ή υψηλότερης τάξης. Η χαμηλή τάξη προσφέρει ταχύτερη εκτέλεση, αλλά με μειωμένη ακρίβεια.



Εικόνα 3.19 Καρτέλα Solution technique του μοντέλου MIKE 21 HD.

– Πλημμύρα (Flood and Dry)

Σε αυτή την καρτέλα, που υπολογίζει την πλημμύρα, διατηρήθηκαν οι προκαθορισμένες ρυθμίσεις όσον αφορά το drying depth και το wetting depth.

– Πυκνότητα (Density)

Η πυκνότητα θεωρείται ότι είναι συνάρτηση της αλατότητας και της θερμοκρασίας. Στην προσομοίωση αυτή θεωρήθηκε βαροτροπική η πυκνότητα, δηλαδή τόσο η αλατότητα όσο και η θερμοκρασία θα παραμένουν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης.

– Τυρβώδες Ιξώδες (Eddy viscosity)

Η διαίρεση των προγνωστικών μεταβλητών σε μια μέση ποσότητα και μια τυρβώδη διακύμανση εισάγει πρόσθετους όρους τάσης στις εξισώσεις που επιλύει το μοντέλο στο χρονικό και χωρικό πεδίο. Στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε η μέθοδος “Smagorinsky formulation” με τις προκαθορισμένες τιμές του προγράμματος.

– Αντίσταση πυθμένα (Bed Resistance)

Η αντίσταση του πυθμένα μπορεί να καθοριστεί με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους:

- Καθόλου αντίσταση
- Αριθμός Chezy
- Αριθμός Manning
- Αντίσταση που προκαλείται από κυματισμό

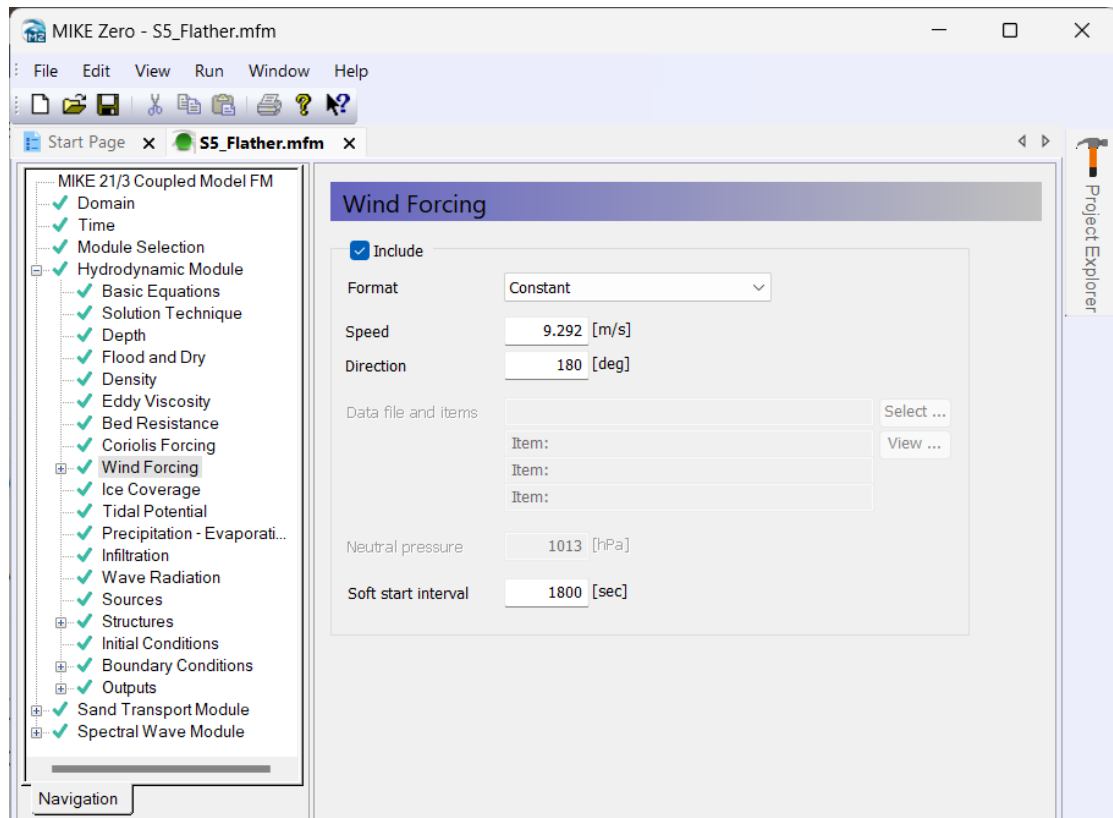
Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήσαμε τον συντελεστή Manning με την τιμή $m=32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, που είχε δοθεί από το πρόγραμμα.

– Επίδραση ανέμου (Wind Forcing)

Με την παράμετρο αυτή είναι δυνατόν να ληφθεί υπόψη η επίδραση του ανέμου στο πεδίο ροής. Η μορφή των δεδομένων ανέμου μπορεί να καθοριστεί ως εξής:

- Σταθερά. Ο άνεμος πνέει από την ίδια κατεύθυνση και με το ίδιο μέγεθος για ολόκληρη την περίοδο προσομοίωσης και σε ολόκληρη την περιοχή του μοντέλου.
- Μεταβαλλόμενος στο χρόνο και σταθερός στην περιοχή. Το μέγεθος και η κατεύθυνση μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης, αλλά είναι τα ίδια σε ολόκληρη την περιοχή του μοντέλου.
- Μεταβαλλόμενη στο χρόνο και στην περιοχή. Το μέγεθος και η κατεύθυνση μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης και σε όλη την περιοχή του μοντέλου.

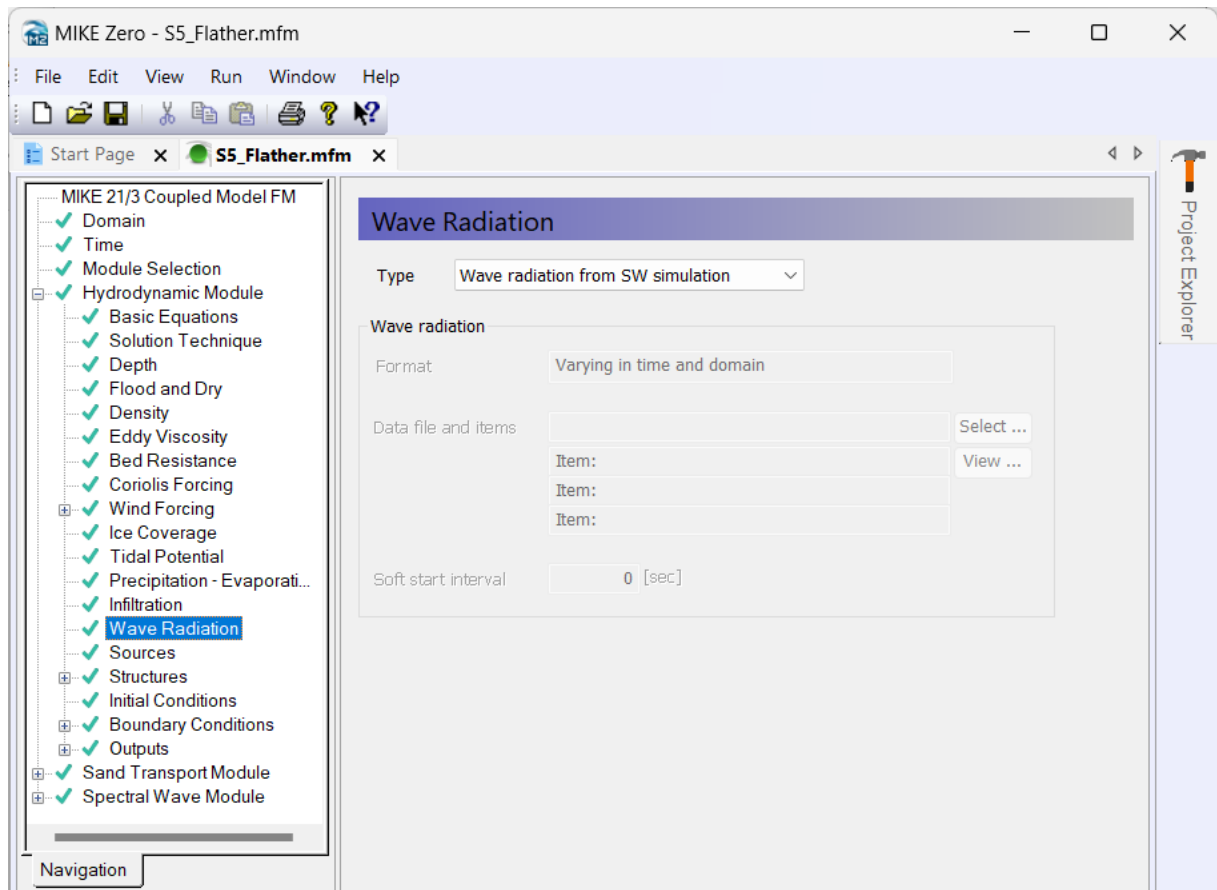
Στην προκειμένη περίπτωση ο άνεμος καθορίστηκε ως σταθερός με τις τιμές της ταχύτητας και της κατεύθυνσης να είναι ίδιες με αυτές που ορίστηκαν στο Spectral Wave Module στην ίδια καρτέλα wind forcing.



Εικόνα 3.20 Καρτέλα Wind Forcing του μοντέλου MIKE 21 HD.

– Ακτινοβολία κυματισμών (Wave radiation)

Οι τάσεις δεύτερης τάξης που προκύπτουν από τη θραύση των κυμάτων μικρής περιόδου μπορούν να ενσωματωθούν στην προσομοίωση. Οι τάσεις ακτινοβολίας αυτές λειτουργούν ως κινητήριες δυνάμεις για τη μέση ροή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ροής που προκαλείται από τους κυματισμούς. Το αρχείο δεδομένων που περιλαμβάνει τις τάσεις ακτινοβολίας των κυμάτων δημιουργείται στο SW Module και επιλέγεται απευθείας από αυτό.



Εικόνα 3.21 Καρτέλα Wave Radiation του μοντέλου MIKE 21 HD.

– Αρχικές συνθήκες (Initial conditions)

Στην παρούσα εργασία, οι αρχικές συνθήκες ορίστηκαν ως μηδενικές, δηλαδή δεν τέθηκαν αρχικές τιμές για τις ταχύτητες ή την ανύψωση της στάθμης.

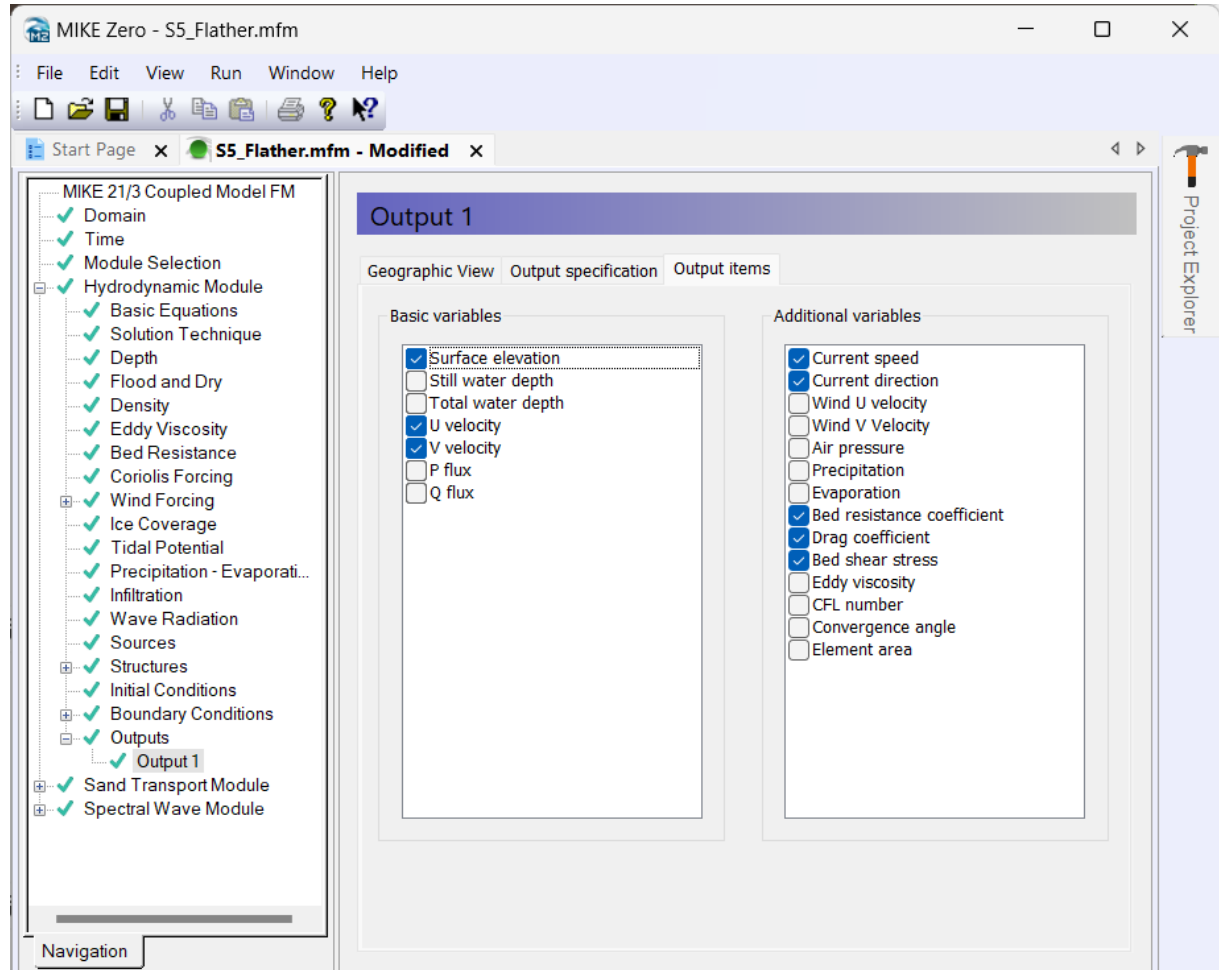
– Συνοριακές συνθήκες (Boundary conditions)

Σε αυτό το σημείο υποθέσαμε ότι όλα τα όρια του πλέγματος (mesh) , δηλαδή το δυτικό, το νότιο και το ανατολικό, αποτελούνται από βαθιά νερά. Η υπόθεση αυτή έγινε ώστε να αποδώσει αξιόπιστα αποτελέσματα στην περιοχή μελέτης, καθώς με αυτό τον τρόπο οι κυματισμοί έχουν αναπτυχθεί επαρκώς έως εκεί. Η συνθήκη Flather (1976) είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές ανοικτές οριακές συνθήκες. Είναι πολύ αποτελεσματική όσον αφορά την προσέγγιση προσομοιώσεων χονδροειδών μοντέλων σε μικρές περιοχές. Οι αστάθειες, οι οποίες συχνά παρατηρούνται κατά την επιβολή στρωματοποιημένης πυκνότητας σε ένα όριο στάθμης νερού, μπορούν να αποφευχθούν με τη χρήση της συνθήκης Flather. Γι' αυτό

τον λόγο επιλέχθηκε η συγκεκριμένη συνθήκη με μηδενικές τιμές, καθώς υποθέσαμε βαθία νερα, δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα.

– Στοιχεία εξόδου (Outputs)

Τα αποτελέσματα εξόδου που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.



Αναφορικά με τις καρτέλες για το βάθος, τη κάλυψης πάγου, τη παλίρροια, την εξατμισοδιαπνοή και την υποδομή δεν προστέθηκαν αρχεία με αυτές τις πληροφορίες.

3.3.4 Περιγραφή Sand Transport Module

Εισαγωγή

Το Sand Transport Module (ST) είναι ένα μοντέλο για τον υπολογισμό της στερεομεταφοράς και των σχετικών ρυθμών μεταβολής της στάθμης του πυθμένα για μη συνεκτικά ιζήματα (π.χ. άμμος) λόγω ρευμάτων ή συνδυασμού κύματος - ρεύματος.

Το ST υπολογίζει τους ρυθμούς μεταφοράς φερτών σε ένα εύκαμπτο πλέγμα (μη δομημένο πλέγμα) που καλύπτει την περιοχή μελέτης με βάση τα υδροδυναμικά δεδομένα που προκύπτουν από την προσομοίωση του HD module και τα κυματικά δεδομένα που παρέχονται από το SW module. Ο συνδυασμός αυτών των τριών μοντέλων οδηγεί σε μια ολοκληρωμένη προσομοίωση αλληλεπίδρασης κυμάτων και ρευμάτων.

Το Sand Transport Module καλύπτει πολλούς διαφορετικούς τομείς εφαρμογής. Οι πιο χαρακτηριστικοί είναι οι εξής:

- Διαχείριση παράκτιας ζώνης
- Βελτιστοποίηση λιμενικών εγκαταστάσεων
- Έργα προστασίας ακτών
- Καθίζηση ιζημάτων σε εισόδους λιμένων
- Διάβρωση πάνω από θαμμένους αγωγούς
- Μορφολογία ποταμών

Τα βασικά αποτελέσματα που εξάγει το μοντέλο αφορούν τον ρυθμό στερεομεταφοράς και τις αλλαγές στην μορφολογία του πυθμένα, όπως ο ρυθμός μεταβολής της στάθμης του πυθμένα, το εύρος της στερεομεταφοράς, το συνολικό φορτίο πυθμένα κατά x και κατά y και την στιγμιαία στάθμη πυθμένα. Αυτά τα δεδομένα εξάγονται για κάθε στοιχείο του πλέγματος (mesh) και για κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης.

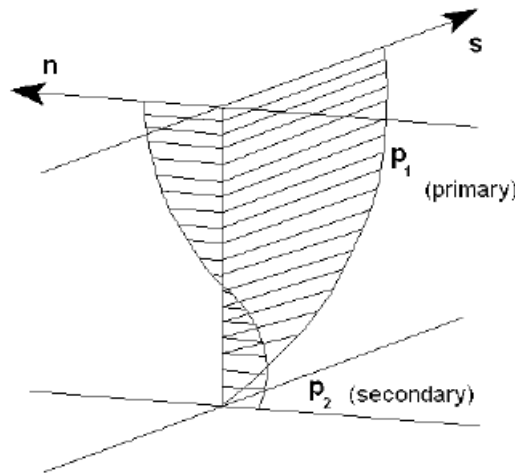
Βασικές εξισώσεις

Το Sand Transport Module, υπολογίζει την στερεομεταφορά χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικούς τύπους μοντέλων:

- Αποκλειστική ύπαρξη ρεύματος (pure current)
- Συνδυασμός δράσης κυματισμού και ρεύματος (wave and current)

Στην περίπτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας έχει επιλεγεί ο συνδυασμός ρεύματος και κύματος. Σε αυτό το μοντέλο ο ρυθμός στερεομεταφοράς προκύπτει με γραμμική παρεμβολή σε έναν πίνακα στερεομεταφοράς. Ο πίνακας αυτός δημιουργείται εκ των προτέρων από το MIKE 21 Toolbox program “Generation of Q3D Sediment Tables”. Ο πυρήνας αυτού του εργαλείου είναι ένα ημι-τριδιάστατο μοντέλο στερεομεταφοράς (STPQ3D). Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη τις τοπικές συνθήκες κύματος, το προφίλ ρεύματος και τις ιδιότητες των

κόκκων και υπολογίζει την στιγμιαία και μέση χρονική ροή καθώς και την στερεομεταφορά σε δύο οριζόντιες κατευθύνσεις.



Εικόνα 3.22 Πρώτο και δεύτερο προφίλ ταχύτητας σε δύο οριζόντιες κατευθύνσεις

Η χρονική εξέλιξη του οριακού στρώματος λόγω της συνδυασμένης κίνησης κύματος/ρεύματος επιλύεται μέσω της ολοκληρωμένης προσέγγισης του μοντέλου του Fredsøe (1984).

- Μοντέλο κατά Engelund and Fredsøe

Το μοντέλο που προτείνουν οι Engelund και Fredsøe βασίζεται στη θεωρία του συνολικού φορτίου μεταφοράς. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, ο ρυθμός μεταφοράς του συνολικού φορτίου (q_t) ισούται με το άθροισμα του φορτίου στον πυθμένα (q_b) και του αιωρούμενου φορτίου (q_s), δηλαδή $q_t = q_b + q_s$. Επιπλέον, υποτίθεται ότι η στερεομεταφορά στον πυθμένα συμβαίνει σε στρώμα πάχους ίσου με τη διάμετρο των κόκκων του ιζήματος, και η στερεοπαροχή υπολογίζεται με βάση την εξής σχέση:

$$q_b = 5p(\sqrt{\theta'} - 0,07\sqrt{\theta_c})\sqrt{(s-1)gD}$$

Όπου p είναι η πιθανότητα να βρίσκονται όλοι οι κόκκοι ενός στρώματος σε κίνηση, θ' είναι η αδιάστατη διατμητική τάση στον πυθμένα (παράμετρος Shields) που σχετίζεται με την τριβή της διεπιφάνειας μεταξύ ρευστού και στερεού (skin friction) και θ_c η κρίσιμη διατμητική τάση στον πυθμένα κατά την έναρξη της κίνησης.

Η αδιάστατη διατμητική τάση στον πυθμένα σε σχέση με την τριβή της διεπιφάνειας ρευστού στερεού θ' δίνεται από τη σχέση:

$$\theta' = \frac{U_f'^2}{(s-1)gD}$$

Όπου U_f' είναι η διατμητική ταχύτητα που σχετίζεται με την τριβή της διεπιφάνειας ρευστού-στερεού.

Ενώ η πιθανότητα p περιγράφεται από τη σχέση:

$$p = \left[1 + \left(\frac{\frac{\pi\beta_f}{6}}{\theta' - \theta_c} \right)^4 \right]^{-0.25}$$

Όπου β_f είναι ο δυναμικός συντελεστής τριβής.

Το φορτίο αιώρησης q_s υπολογίζεται από τον τύπο:

$$q_s = 11,6U_f'^2 c_b \alpha \left[I_1 \ln \left(\frac{30d}{k_N} + I_2 \right) \right]$$

Όπου c_b είναι η συγκέντρωση αιωρούμενου ιζήματος στον πυθμένα, $\alpha=2d$ το επίπεδο αναφοράς για το c_b , I_1 και I_2 είναι τα ολοκληρώματα του Einstein, d είναι το βάθος του νερού και $k_N=2,5D$ η ισοδύναμη τραχύτητα Nikuradse. Τα I_1 και I_2 εξαρτώνται από το αδιάστατο επίπεδο αναφοράς $A=r/d$ και τον αριθμο Rouse $z^*=W_f/\kappa U_{f,wc}$, όπου το W_f η ταχύτητα καθίζησης του αιωρούμενου ιζήματος, $\kappa=0.4$ η σταθερά του Von Karman και $U_{f,wc}$ η διατμητική ταχύτητα που προκαλείται από το ρεύμα και τα κύματα με όρια στο διάστημα (α,d) όπου το y μετράται πάνω από το επίπεδο του πυθμένα.

Στο επίπεδο $\alpha=2d$ (επίπεδο αναφοράς) η συγκέντρωση c_b υπολογίζεται με τον εξής τύπο:

$$c_b = \frac{0.65}{\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)^3}$$

Η παράμετρος λ δίνεται από τη σχέση:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_c \frac{\pi r \beta}{6}}{0.027 s \theta'}}, \text{ για } \theta' > \theta_c + \frac{\pi r \beta}{6}$$

Η θεωρία των Engelund and Fredsøe προήλθε από πειραματικά αποτελέσματα που πραγματοποιήθηκαν σε αμμώδη υλικά πυθμένα, επομένως ισχύει κυρίως για υλικά με διάμετρο παρόμοια με αυτή της άμμου.

Εφαρμογή παραμέτρων

Με βάση τα αποτελέσματα του υδροδυναμικού και κυματικού μοντέλου, το Sand Transport Module θα υπολογίσει το ρυθμός στερεομεταφοράς στην περιοχή μελέτης.

– Καθορισμός Μοντέλου (Model definition)

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο το μοντέλο που θα υπολογίσει την στερεομεταφορά είναι μέσω της συνδυασμένης δράσης κυμάτων και ρευμάτων. Να σημειωθεί πως επειδή έχει επιλεγεί η quasi-stationary formulation στην καρτέλα Basic Equations (Βασικές Εξισώσεις) του HD Module, ο τύπος μοντέλου στερεομεταφοράς μπορεί να οριστεί αποκλειστικά ως συνδυασμός κυμάτων και ρευμάτων (Wave and current). Επομένως είναι απαραίτητη η δημιουργία του πίνακα στερεομεταφοράς, που έχει προαναφερθεί νωρίτερα, μέσω του εργαλείου MIKE 21 Toolbox “Generation of Q3D Sediment Tables”, ώστε να προσδιοριστούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με περισσότερη ακρίβεια. Ο πίνακας αυτός εισάγεται στην καρτέλα Model Definition.

Αρχικά, καθορίζουμε στο εργαλείο τις βασικές παραμέτρους. Αυτές περιλαμβάνουν την ακρίβεια των υπολογισμών για τις συγκεντρώσεις ιζημάτων (0.0001), το μέγιστο αριθμό περιόδων κύματος (1000) και τον μέγιστο αριθμό βημάτων ανά περίοδο κύματος (140). Επίσης, καθορίζουμε και τη σχετική πυκνότητα, η οποία είναι 2.65 για την άμμο, την κρίσιμη τιμή της παραμέτρου Shields $\theta_c=0.05$, η οποία αντιπροσωπεύει την αδιάστατη τιμή της διατμητικής τάσης στον πυθμένα που καθορίζει την έναρξη κίνησης ενός κόκκου ιζήματος και τη θερμοκρασία του νερού (19.9°). (Εικόνα 3.21)

Στην συνέχεια, επιλέγουμε η συγκέντρωση φερτών υλών στον πυθμένα να υπολογίζεται σύμφωνα με το ντετερμινιστικό μοντέλο (Engelund & Fredsøe, 1976) και να συμπεριληφθούν οι πτυχώσεις που δημιουργούνται από τα κύματα (wave-generated

ripples). Η κλίση του πυθμένα έχει συνήθως πολύ μικρή επιρροή στην μεταβολή του φορτίου του πυθμένα και έχει σημασία μόνο σε σχέση με τις μορφολογικές προσομοιώσεις, επομένως δεν το λάβαμε υπόψη. (Εικόνα 3.21)

Στο επόμενο βήμα, επιλέγεται η κυματική θεωρία του Stokes 5ης τάξης, ενώ οι παράμετροι για τη θραύση των κυμάτων ορίζονται ως $\gamma_1 = 1$ και $\gamma_2 = 0,8$, σύμφωνα με τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις του εργαλείου. Τέλος, δημιουργούμε τον πίνακα στερεομεταφοράς βάζοντας τις κατάλληλες τιμές των παραμέτρων. Το εύρος διακύμανσης κάθε παραμέτρου πρέπει να καθορίζεται μέσω της αρχικής τιμής, του βήματος και το πλήθος των σημείων κατά μήκος αυτής. Για τον υπολογισμό κάθε νέας τιμής, προστίθεται η προηγούμενη τιμή πολλαπλασιασμένη με το βήμα.

The image shows two side-by-side dialog boxes from the MIKE 21/3 Coupled software. The left box is titled 'Parameters Specification' and contains 'General Parameters' such as 'Model type' (selected: Transport over entire water column), 'Tolerance in calc. of concentration' (0.0001), 'Maximum number of wave periods' (1000), 'Steps per wave period' (140), 'Relative density of sediment' (2.65), 'Critical value of Shields parameter' (0.05), and 'Water temperature' (19.9). The right box is titled 'Additional Parameters' and contains options for 'Ripples' (Include effects), 'Bed Slope' (Exclude effects), 'Bed Concentration' (Deterministic), 'Streaming' (Include effects), 'Cross Current Transport' (Exclude), and 'Centrifugal Acceleration' (Exclude). Both boxes have navigation buttons at the bottom: '< Προηγούμενο', 'Επόμενο >', 'Άκυρο', and 'Βοήθεια'.

Εικόνα 3.23 Καρτέλα Parameters Specification στο εργαλείο Generation of Q3D Sediment tables.

Πίνακας 3.3 Δεδομένα εισόδου του μοντέλου στερεομεταφοράς

	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ		
	First value	Spacing	No. of points
Current speed	0.05	0.1	10
Wave height	0.0001	0.22	11
Wave period	0.0001	1	11
Wave height/depth	0.01	1	65
Angle current/waves	0	30	12
Grain size	0.4	2.0	2
Sediment grazing	1.1	0.15	3

- Χρονικές παράμετροι (Time parameters)

Ο υπολογισμός της στερεομεταφοράς ενεργοποιείται στο χρονικό βήμα έναρξης (start time step) και υπολογίζεται με χρονικό βήμα (time step). Ορίστηκε ως χρόνος έναρξης το 30^ο χρονικό βήμα δίνοντας έτσι περιθώριο στους κυματισμούς να αναπτυχθούν και χρονικό βήμα το ένα.

- Ιδιότητες Ιζήματος (Sediment properties)

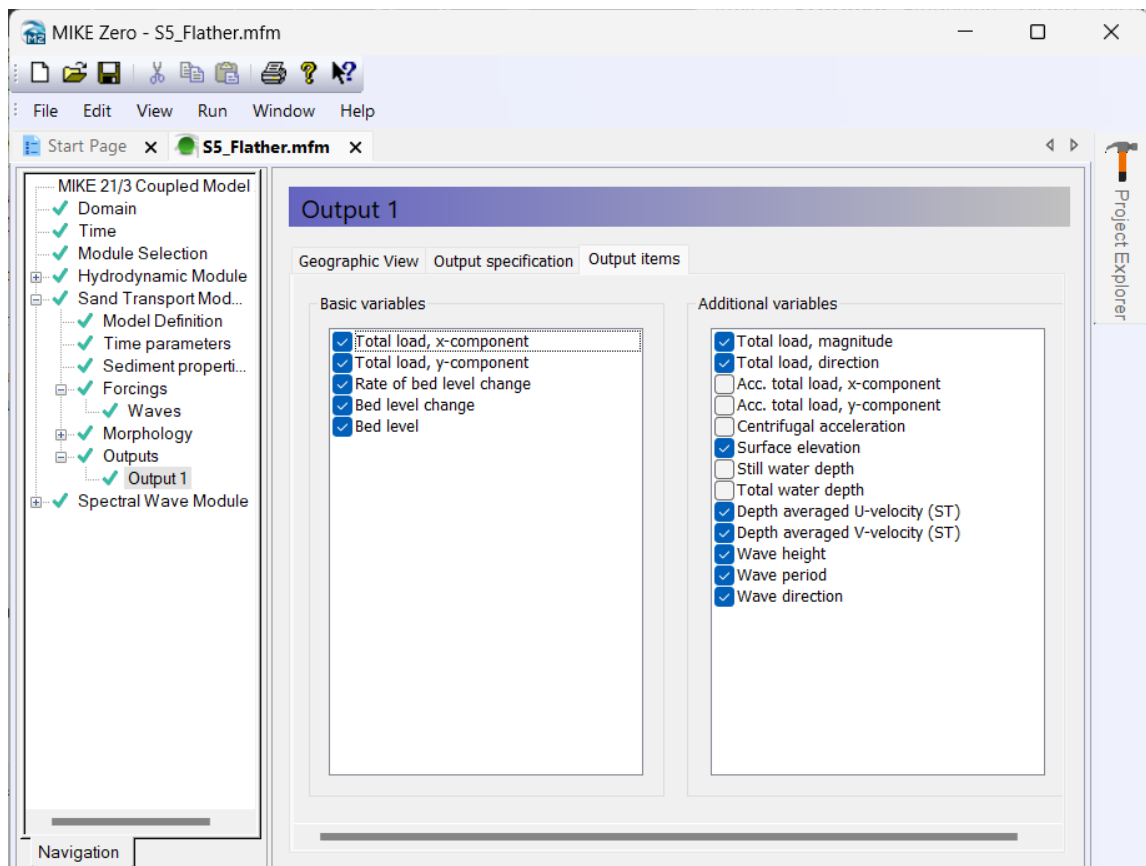
Για τον υπολογισμό απαιτούνται τα χαρακτηριστικά του ιζήματος της περιοχής μελέτης. Τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν το πορώδες, το οποίο έχει τιμή 0,4, τη διάμετρο του ιζήματος, που ανέρχεται σε 0,4 mm, και τον συντελεστή διαβάθμισης, ο οποίος είναι 1,1. Η διάμετρος του ιζήματος λήφθηκε από την ΜΠΕ Λιμένας Πλατανιά Δ.Ε. Σηπιάδος 2016.

- Επιδράσεις (Forcing)

Στην καρτέλα αυτή το κυματικό πεδίο παίρνει δεδομένα απευθείας από την προσομοίωση του SW.

- Στοιχεία εξόδου (Outputs)

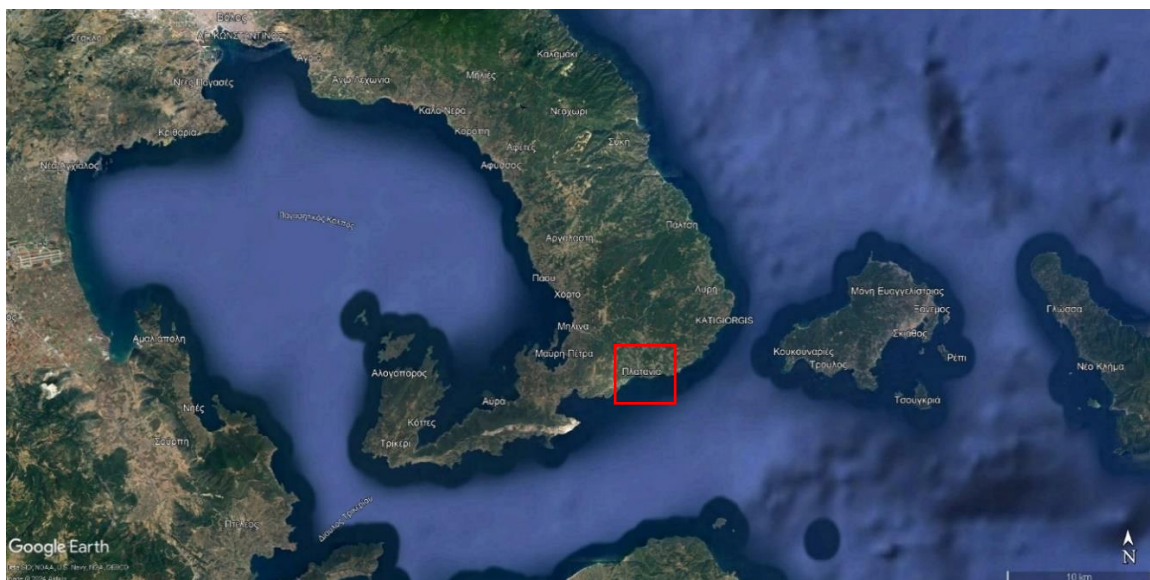
Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν και υπολογίστηκαν παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



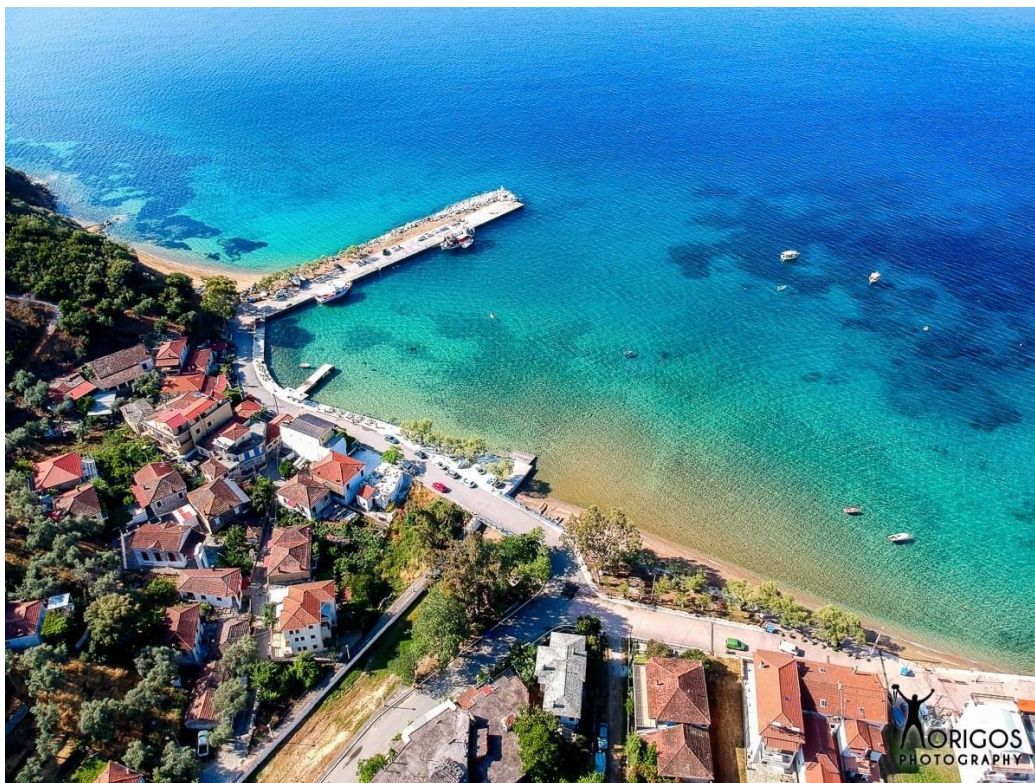
Κεφάλαιο 4 Μεθοδολογία Προσομοίωσης

4.1 Περιοχή Μελέτης

Ο Πλατανιά βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της χερσονήσου του Πηλίου, στα παράλια του Αιγαίου πελάγους σε υψόμετρο 13 μέτρα. Απέχει περίπου 60 χλμ. ΝΑ. από τον Βόλο και περίπου 20 χλμ. Ν.-ΝΑ. από την Αργαλαστή (έδρα του δήμου). Ο οικισμός έχει αναπτυχθεί κατά μήκος της ακτής στον μυχό του ομώνυμου όρμου, ο οποίος είναι σχετικά ανοικτός προς νότο και απέχει περίπου 6,5 ναυτικά μίλια (περίπου 12 χλμ.) από την απέναντι ακτή της Βόρειας Εύβοιας. Το παραλιακό μέτωπο του οικισμού είναι διαμορφωμένο με διαδοχικές επεμβάσεις και κατασκευές παράκτιων έργων. Στο ανατολικό άκρο της παραλιακής ζώνης του οικισμού υφίσταται ο Λιμένας Πλατανιά, η λιμενική υποδομή του οποίου αρχικά αποτελούνταν από έναν μόλο και σήμερα αποτελείται από το νέο υπό κατασκευή λιμάνι και παραλιακό κρηπίδωμα.



Εικόνα 4.1 Περιοχή Μελέτης, οικισμός Πλατανιά Πηλίου από δορυφορική λήψη.



Εικόνα 4.2 Αρχική κατάσταση του Πλατανιά, με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 4.3 Τωρινή κατάσταση του Πλατανιά, με το νέο λιμάνι

Σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης ανήκει στην κοινότητα Προμυρίου που υπάγεται στη Δημοτική Ενότητα Σηπιάδος του Δήμου Νοτίου Πηλίου των Περιφερειακών Ενοτήτων Μαγνησίας κα Σποράδων, της Περιφέρειας Θεσσαλίας.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ήπιο κλίμα με αρκετές βροχοπτώσεις. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Μετεωρολογικού Σταθμού της ΕΜΥ στη Σκόπελο, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής φθάνει τα 851,6 mm, ενώ η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 16,8°C. Οι ανεμολογικές συνθήκες στην περιοχή επηρεάζουν σημαντικά τις θαλάσσιες και παράκτιες δραστηριότητες.

Η τοπική οικονομία του Πλατανιά βασίζεται κυρίως στην αλιεία και τον τουρισμό. Στο παραλιακό μέτωπο του οικισμού αναπτύσσονται δραστηριότητες που περιλαμβάνουν ενοικιαζόμενα δωμάτια, ξενοδοχειακές μονάδες, εστιατόρια, καφενεία και χώρους αναψυχής. Η παραλία προσελκύει τόσο παραθεριστές όσο και μόνιμους κατοίκους, συμβάλλοντας έτσι στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

4.1.1 Προϋπάρχουσα κατάσταση Λιμένα Πλατανιά

Ο προϋπάρχοντας μόλος στον Πλατανιά Πηλίου είχε κατασκευαστεί εδώ και χρόνια (1985) και είχε ως βασική λειτουργία την προστασία του λιμανιού από τους κυματισμούς, καθώς και την εξυπηρέτηση κυρίως των αλιευτικών σκαφών των κατοίκων της περιοχής.

Ωστόσο ο μόλος έχει συμβάλει σημαντικά στη μείωση της δράσης των παράκτιων ρευμάτων από τα ανατολικά προς τα δυτικά, γεγονός που έχει οδηγήσει στη συσσώρευση υλικών (ιζημάτων) σχεδόν σε όλη την ανατολική πλευρά του μόλου δημιουργώντας μια νέα παραλία.



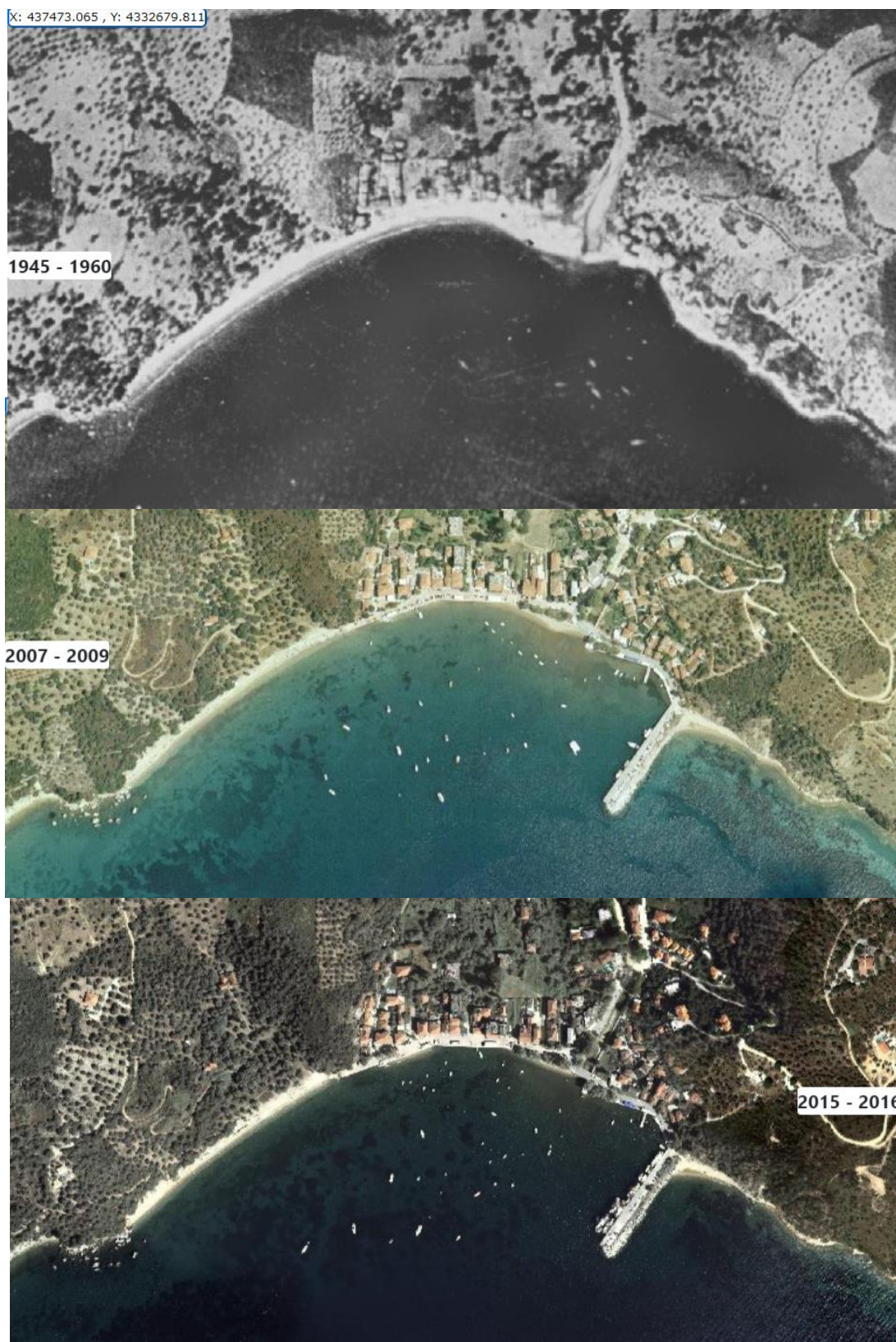
Εικόνα 4.4 Αρχικός μόλος

Έπειτα από διερευνήσεις και συγκρίσεις παλαιότερων φωτογραφιών από το κτηματολόγιο, διαπιστώθηκε ότι ο μόλος αυτός προκάλεσε αλλαγές στην παράκτια δυναμική της περιοχής επηρεάζοντας σημαντικά την παράκτια ζώνη.



Εικόνα 4.5 Παράθεση παραλίας Πλατανιά από Θέαση κτηματολογίου για τις χρονολογίες 1945-1960, 2015-2016.

Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.5 η παραλία που υπήρχε μπροστά στον οικισμό πλέον δεν υπάρχει καθόλου και η δυτική παραλία του Πλατανιά υπέστη σημαντική διάβρωση. Αυτό συμβαίνει γιατί ο μόλος έχει ανακάμψει τη δράση των παράκτιων ρευμάτων από τα ανατολικά προς τα δυτικά, με αποτελέσματα τόσο τα φερτά που απολήγουν στην εκβολή του ρέματος να μην απομακρύνονται στο σύνολο του όσο και τα φερτά λόγω στερεομεταφοράς να εναποθέτονται στην εξωτερική πλευρά του μόλου δημιουργώντας μια νέα μικρή παράλια.

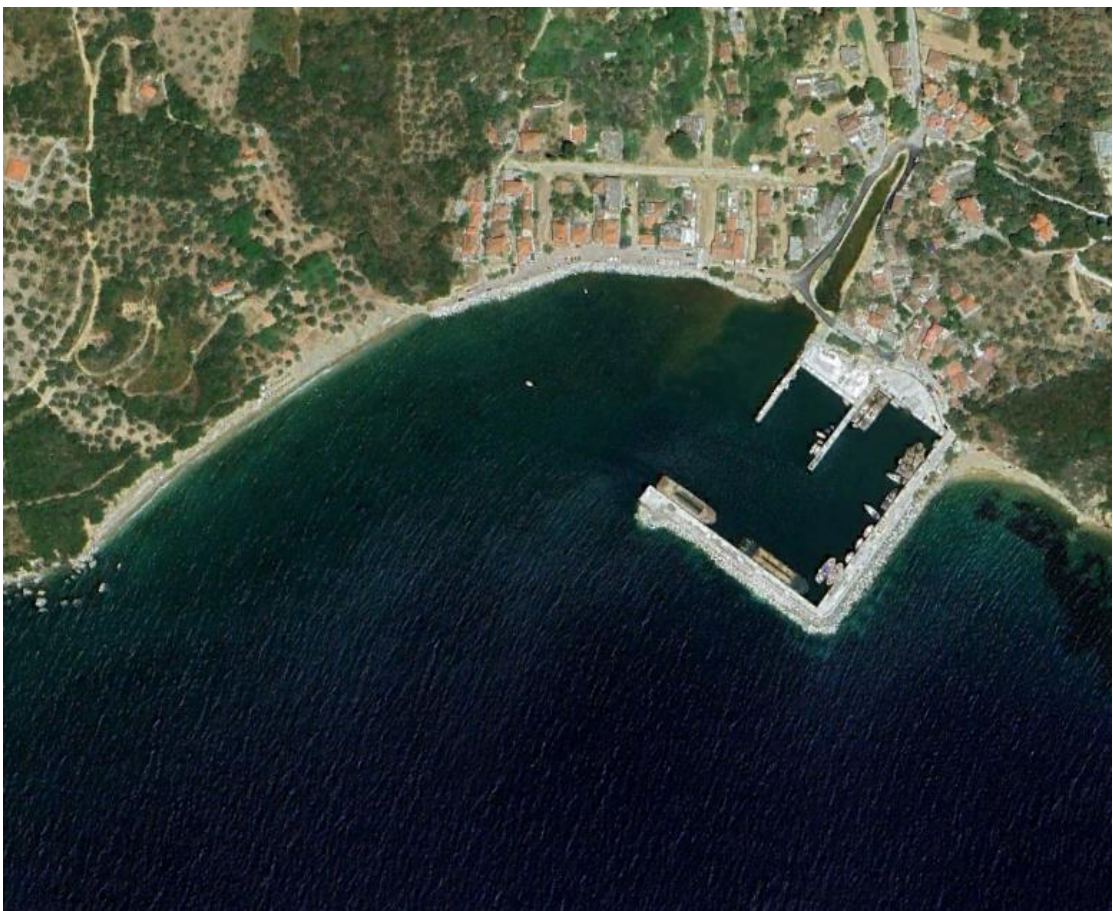


Εικόνα 4.6 Αεροφωτογραφίες κτηματολογίου, όρμου Πλατανιά για τα έτη 1945-1960, 2007-2009, 2015-2016

4.2 Νέο Λιμάνι Πλατανιά

Το νέο λιμάνι περιλαμβάνει την κατασκευή και την αναβάθμιση των υφιστάμενων υποδομών. Ο προσήνεμος μόλος έχει συνολικό μήκος 330 μέτρα, με τα πρώτα 130 μέτρα να είναι το υπάρχον τμήμα και τα υπόλοιπα 200 μέτρα να αποτελούν το νέο τμήμα. Επιπλέον, έχει δημιουργηθεί επιπλέον χερσαίος χώρος για την εκφόρτωση αλιευμάτων και την τροφοδοσία των σκαφών.

Ο σχεδιασμός του νέου Λιμένα Πλατανιά (σύμφωνα με την ΜΠΕ) στοχεύει στην παροχή ασφαλών συνθηκών ελλιμενισμού για τα σκάφη παράκτιας και μέσης αλιείας, βελτιώνοντας τις λιμενικές υποδομές για την εκφόρτωση αλιευμάτων και την τροφοδοσία των σκαφών.



Εικόνα 4.7 Νέο λιμάνι Πλατανιά

4.3 Μεθοδολογία και παραδοχές

Βασικό βήμα για την προσομοίωση του μοντέλου είναι η εισαγωγή των κατευθύνσεων και των εντάσεων των ανέμων που μπορεί να προκαλέσει κυματισμό και στερεομεταφορά στη περιοχή. Οι φορές των ανέμων που επηρεάζουν την παραλία, όπως επίσης και τα αναπτύγματα του χρειάζεται να υπολογιστούν.

Για το σκοπό της εκτίμησης της μετακίνησης των φερτών στην περιοχή για τις δυο περιπτώσεις ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα. Αρχικά υπολογίστηκαν τα μήκη αναπτύγματος και οι κυματισμοί στα βαθιά υπολογίστηκαν με τη μέθοδο SBM με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα, από τα οποία έχουν ληφθεί υπόψη άνεμοι μεγαλύτεροι από 4BF. Στη συνέχεια, εκτιμήθηκαν τα ύψη κυματισμών και το βάθος θραύσης στα ρηχά με βάση τα νομογραφήματα του Goda (1970).

Δεδομένα αποστάσεων της ακτής ή βαθών του πυθμένα που χρειάστηκαν για τον υπολογισμό της ανάπτυξης των κυματισμών, προήλθαν από τις πλατφόρμες Navionics και Google Earth. Η επιλογή του σημείου εκκίνησης της μέτρησης των μηκών του αναπτύγματος πελάγους είναι τέτοια ώστε να βρισκόμαστε σε βαθιά νερά, και συγκεκριμένα στα 52 μ., σε απόσταση 600 μ. από την περιοχή.

Να σημειωθεί πως για την προσομοίωση του μοντέλου δεν λήφθηκε υπόψιν το Χαλόρεμα, το οποίο είναι το ρέμα της περιοχής που εκβάλει στον όρμο. Επιπρόσθετα, θεωρήθηκε μια ενιαία διάμετρος d_m κόκκων σε όλο το μήκος της παραλίας.

4.4 Ανεμολογικά δεδομένα

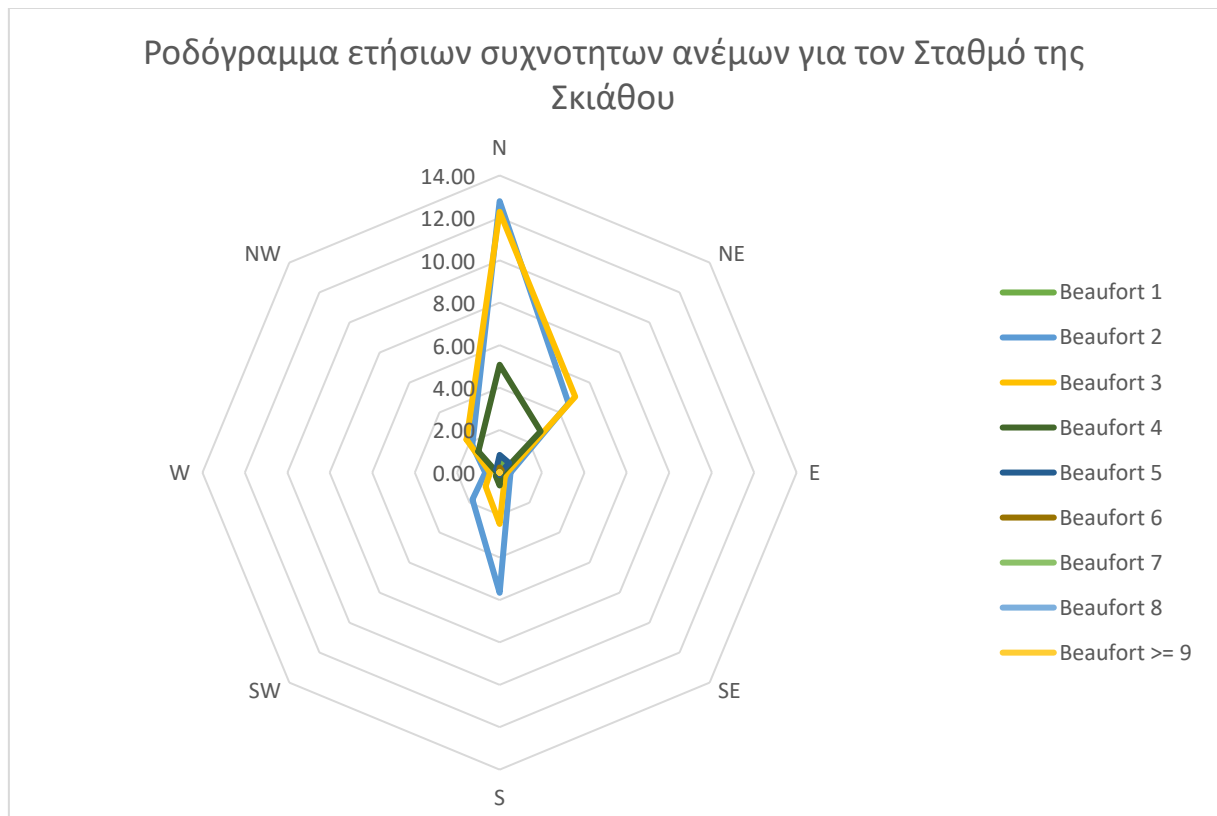
Τα ανεμολογικά δεδομένα για την παρούσα διπλωματική εργασία λήφθηκαν από την ΕΜΥ (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία Ελλάδος), για τον σταθμό της Σκιάθου, με κωδικό 16660, καθώς ήταν ο πιο κοντινός στην περιοχή ενδιαφέροντος και με παρόμοια γεωγραφικά χαρακτηριστικά. Οι συχνότητες εμφάνισης των ανεμολογικών δεδομένων και αναγωγή σε ετήσια βάση παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 .

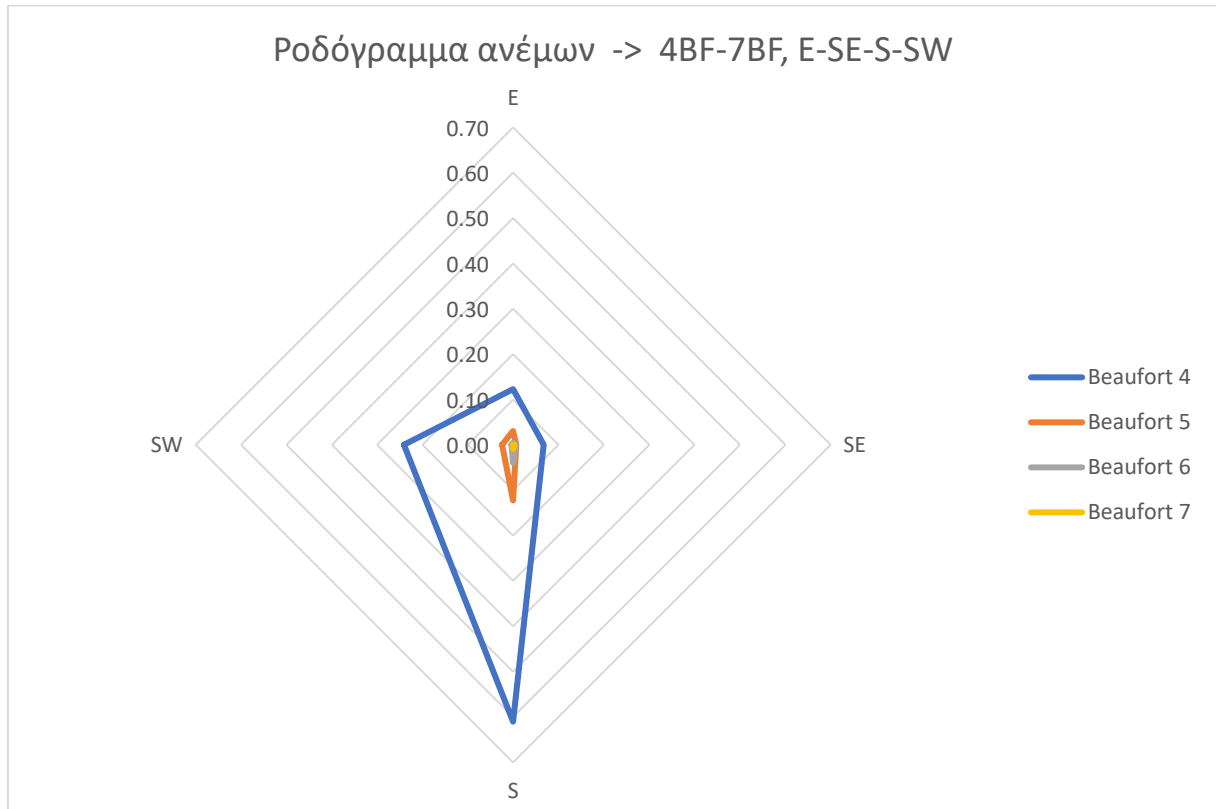
Η κλίμακα που θα ληφθεί υπόψη είναι για ανέμους έντασης των 4BF και άνω, καθώς μικρότερης έντασης άνεμοι δεν μπορούν να παράγουν κυματισμούς που θα προκαλέσουν

μεταφορά των φερτών. Όπως φαίνεται με πορτοκαλί χρώμα, ως κύριες κατευθύνσεις κυματισμών επιλέχθηκαν η ανατολική, η νοτιοανατολική, η νότια και η νοτιοδυτική . Οι υπόλοιπες κατευθύνσεις δεν θα ληφθούν υπόψιν επειδή έχουν αντίθετη φορά από τους κυματισμούς και δεν δημιουργούν κυματισμούς.

Πίνακας 4.1 Συγκεντρωτικός Πίνακας Ανεμολογικών Δεδομένων από το Σταθμό της Σκιάθου

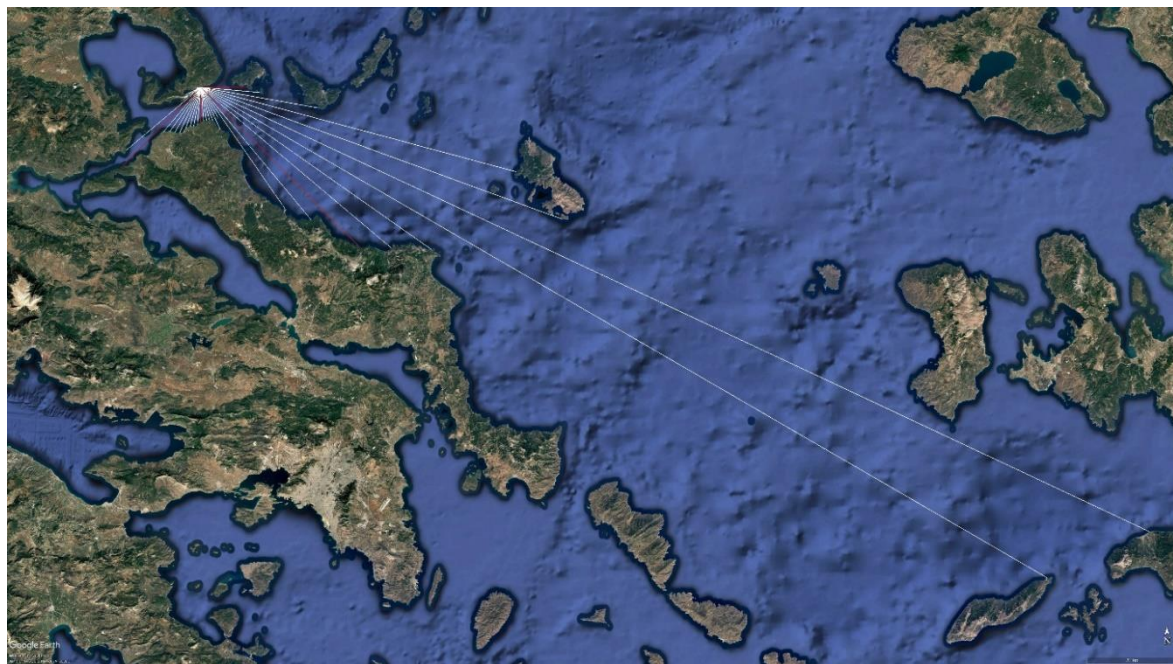
Διεύθυνση Ανέμου	Συχνότητα 1986-2021									SUM
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CLM/VR	
Beaufort 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	31.96557	31.98
Beaufort 1	0.70	0.30	0.10	0.06	0.49	0.21	0.11	0.13	0.482994	2.58
Beaufort 2	12.79	4.60	0.52	0.68	5.67	1.80	0.67	1.82	0.01265	28.55
Beaufort 3	12.29	5.04	0.35	0.36	2.42	0.93	0.44	2.20	0.00187	24.03
Beaufort 4	5.08	2.74	0.12	0.07	0.61	0.24	0.12	1.41	0.002246	10.39
Beaufort 5	0.83	0.64	0.03	0.01	0.12	0.02	0.01	0.22	0	1.88
Beaufort 6	0.24	0.15	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.04	0	0.48
Beaufort 7	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0	0.08
Beaufort 8	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.01
Beaufort >= 9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
SUM	31.97%	13.50%	1.13%	1.17%	9.37%	3.20%	1.37%	5.83%	32.47%	100.00





4.5 Μήκος Αναπτύγματος

Τα αποτελεσματικά ή ισοδύναμα μήκη αναπτύγματος F_{eff} των ανέμων υπολογίζονται με βάση τις αποστάσεις από την απέναντι στεριά. Οι άνεμοι που επηρεάζουν την παραλία φαίνονται στην Εικόνα 4.8 με κόκκινο χρώμα και οι ακτίνες επιρροής τους με άσπρο. Όλες οι ακτίνες F_i έχουν σχεδιαστεί με $\Delta\alpha = 5^\circ$ αμφότερα του κυρίως ανέμου. Το μήκος αναπτύγματος υπολογίζεται από τη Εξ. (2.4) που έχει αναφέρει στο Κεφάλαιο 2.

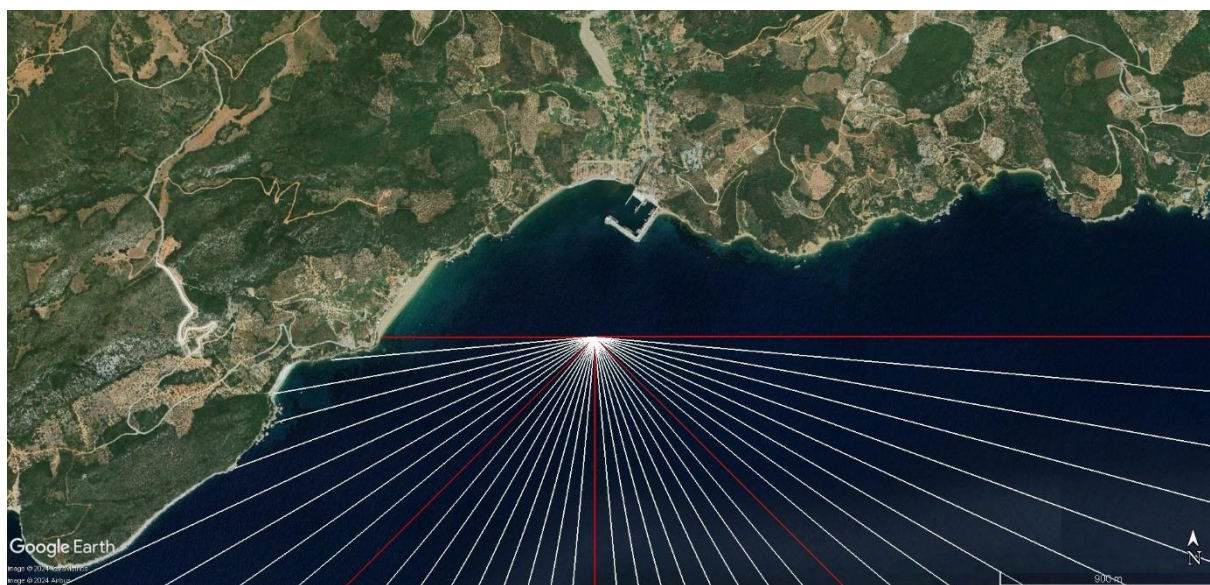


Εικόνα 4.8 Μήκη αναπτύγματος του όρμου Πλατανια.

Τα μήκη αναπτύγματος που υπολογίστηκαν παρουσιάζονται στο Πίνακα 4.2

Πίνακας 4.2 Μήκη Αναπτύγματος για τις διευθύνσεις ανέμων που μελετώνται.

	E	SE	S	SW
Feff	103.99	71.70	17.07	11.55



Εικόνα 4.9 Σημείο εκκίνησης της μέτρησης των μήκων αναπτύγματος.

Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα και Σύγκριση

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση του μοντέλου MIKE 21/3 Coupled Model τόσο για τον προϋπάρχοντα μόλο του Πλατανιά όσο και για το νέο υπό κατασκευή λιμάνι του, από την επιρροή των ανεμογενών κυματισμών. Οι προσομοιώσεις εκτελέστηκαν για κάθε κατεύθυνση και ένταση ανέμου με δεδομένα ανέμου διάρκειας τριών ωρών, ώστε να εξασφαλιστεί η πλήρης ανάπτυξη των κυματισμών.

Οι προσομοιώσεις διενεργήθηκαν για όλες τις κατευθύνσεις των ανέμων (ανατολικός, νοτιοανατολικός, νότιος, νοτιοδυτικός) με ένταση από 2BF έως 7BF που παρατηρούνται στην περιοχή. Πρέπει να σημειωθεί πως άνεμοι ικανοί να προκαλέσουν μεταβολή στην μορφολογία της ακτής και της γενικότερης περιοχής είναι αυτοί των 4 Beaufort και πάνω ($\geq 4\text{BF}$) και που έχουν μεγάλη συχνότητα εμφάνισης. Ωστόσο επιλέξαμε να τρέξουμε και τους ανέμους 2 και 3 Beaufort λόγω της μεγάλης συχνότητας εμφάνισης σε σχέση με τους άλλους μεγαλύτερους ανέμους. Αυτό το κάναμε για να δούμε τελικά αν επηρεάζουν την περιοχή μελέτης και κατά πόσο προκαλεί μεταβολή σε αυτή. Πράγματι δεν παρατηρείται καμία αξιόλογη μεταβολή, επομένως δεν παρουσιαστεί τα αποτελέσματα των 2 και 3 BF ανέμων.

Πίνακας 5.1 Συχνότητες ανέμων από 2 έως 7 BF.

Διεύθυνση Ανέμου	Συχνότητες ανέμων (%)			
	E	SE	S	SW
Beaufort 2	0.52	0.68	5.67	1.80
Beaufort 3	0.35	0.36	2.42	0.93
Beaufort 4	0.12	0.07	0.61	0.24
Beaufort 5	0.03	0.01	0.12	0.02
Beaufort 6	0.00	0.01	0.04	0.00
Beaufort 7	0.00	0.00	0.01	0.00

Οι άνεμοι που θα παρουσιαστούν και θα συγκριθούν είναι αυτοί των 4BF και πάνω. Ο άνεμος με την μεγαλύτερη συχνότητα από τα 4BF και πάνω είναι ο νότιος ενώ με την μικρότερη είναι ο νοτιοανατολικός. Επίσης παρατηρώντας τον Πίνακα 5.1 συνειδητοποιούμε ότι η τιμή των 7BF εμφανίζονται μόνο στον νότιο άνεμο με ελάχιστη συχνότητα κατά την διάρκεια του έτους και δεν καταγράφεται για διάστημα τριών ωρών συνεχόμενα. Παρ' όλα αυτά, για τους σκοπούς της μελέτης πραγματοποιήθηκε και αυτή η δυσμενής προσομοίωση.

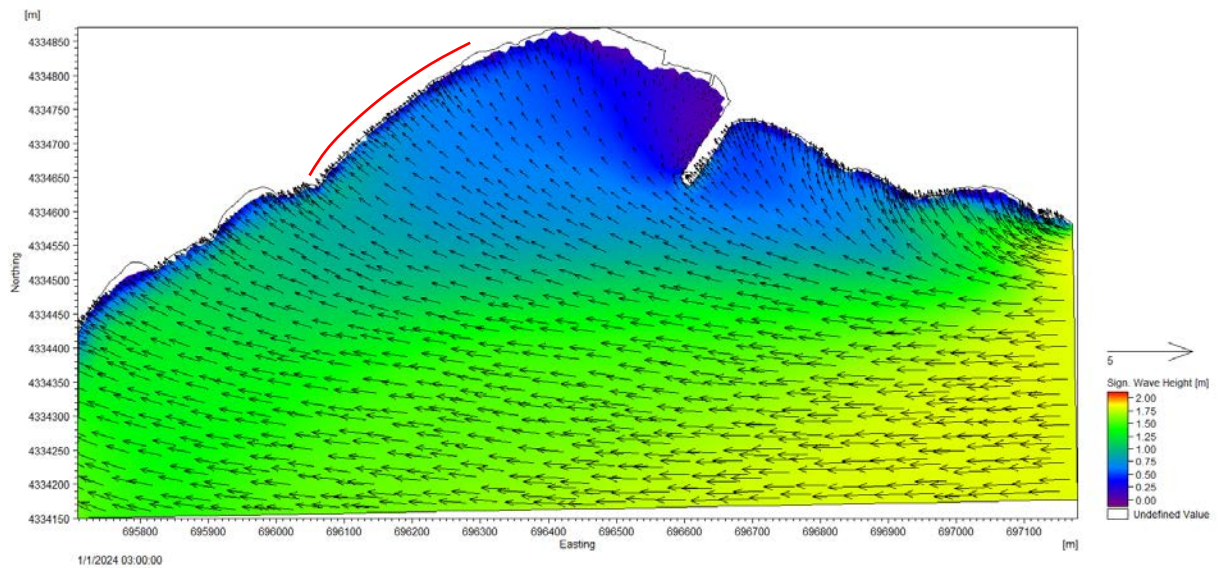
Να σημειωθεί πως τα αποτελέσματα εντός του νέου λιμανιού δεν τα λαμβάνουμε υπόψιν διότι η μελέτη γίνεται σε μακροσκοπική κλίμακα και το μοντέλο που χρησιμοποιούμε δεν είναι κατάλληλο για να προσομοιώσει με ακρίβεια το εσωτερικό του. Αξιόπιστα στοιχεία μας δίνει μέχρι και την είσοδο του λιμένα.

Σε όλες τις εικόνες του παρόντος, με κόκκινη γραμμή σημειώνεται η παραλία του Πλατανιά για καλύτερο προσανατολισμό και εικόνα της περιοχής μελέτης.

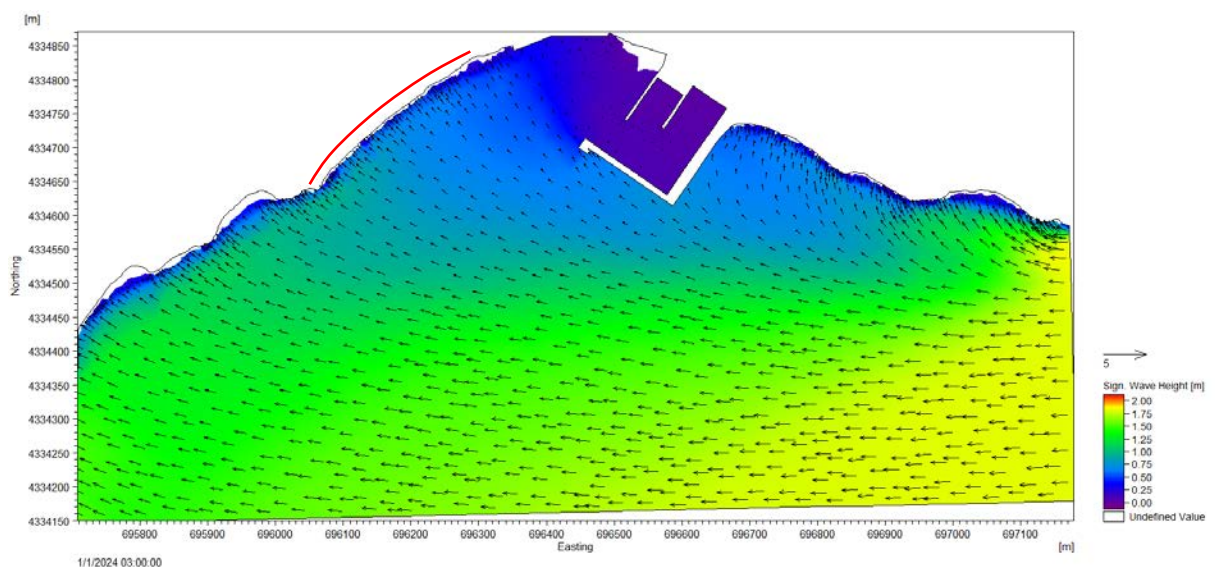
5.1 Αποτελέσματα Σημαντικού Ύψους Κύματος

Το σημαντικό ύψος κύματος είναι μια στατιστική μέτρηση που παρέχει μια αντιπροσωπευτική τιμή για την ενέργεια των κυμάτων σε μια περιοχή.

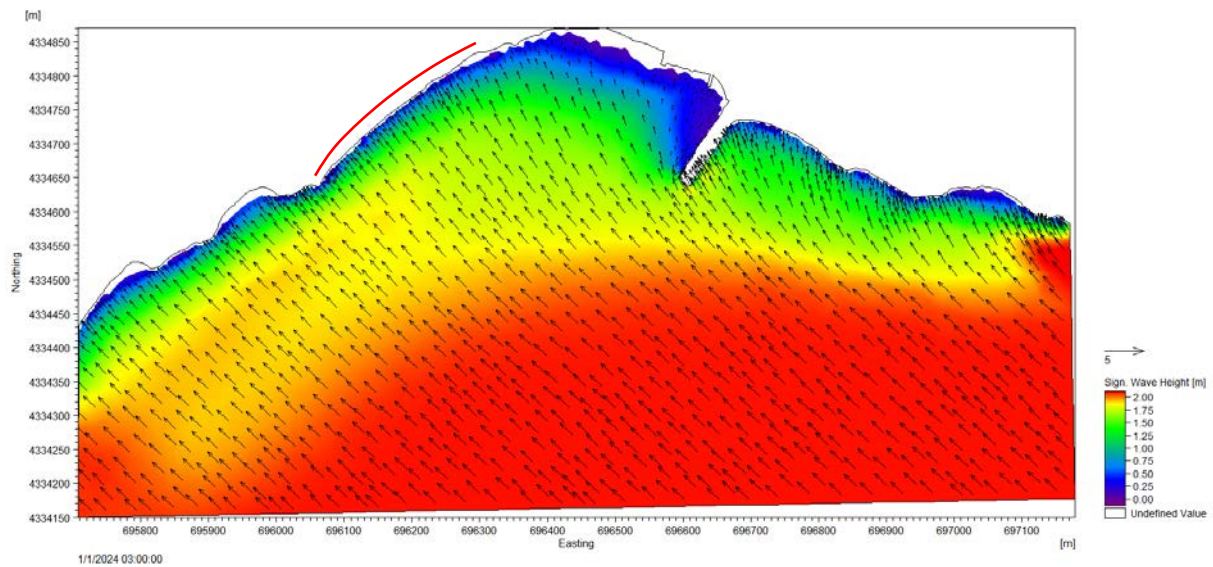
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται το σημαντικό ύψος κυματισμού για τον πιο ισχυρό άνεμο κάθε κατεύθυνσης:



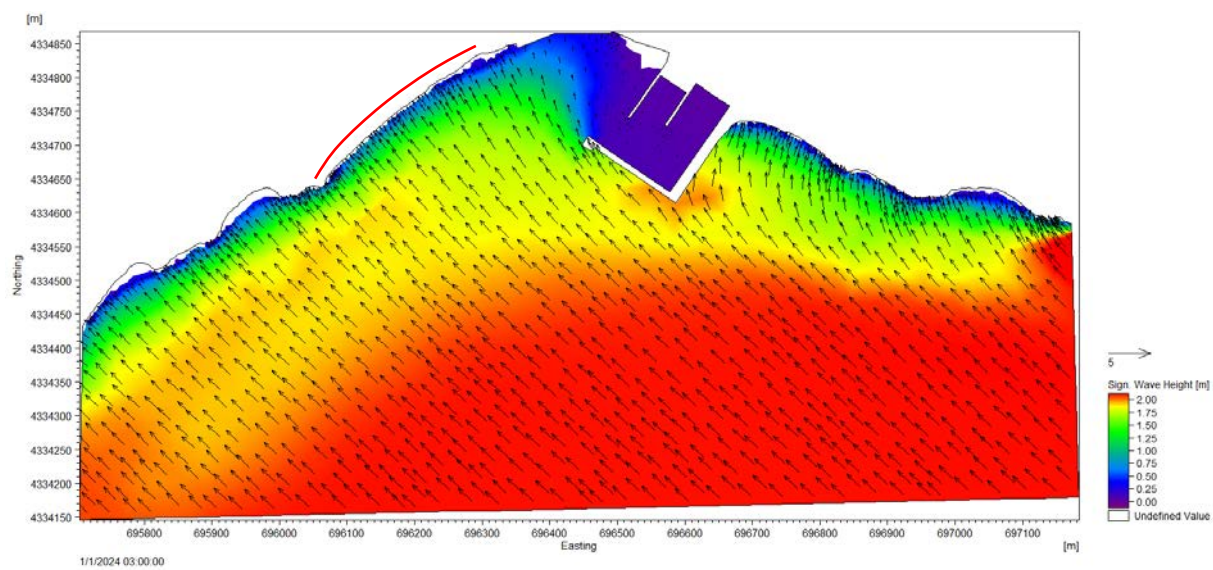
Εικόνα 5.1 Σημαντικό ύψος κύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



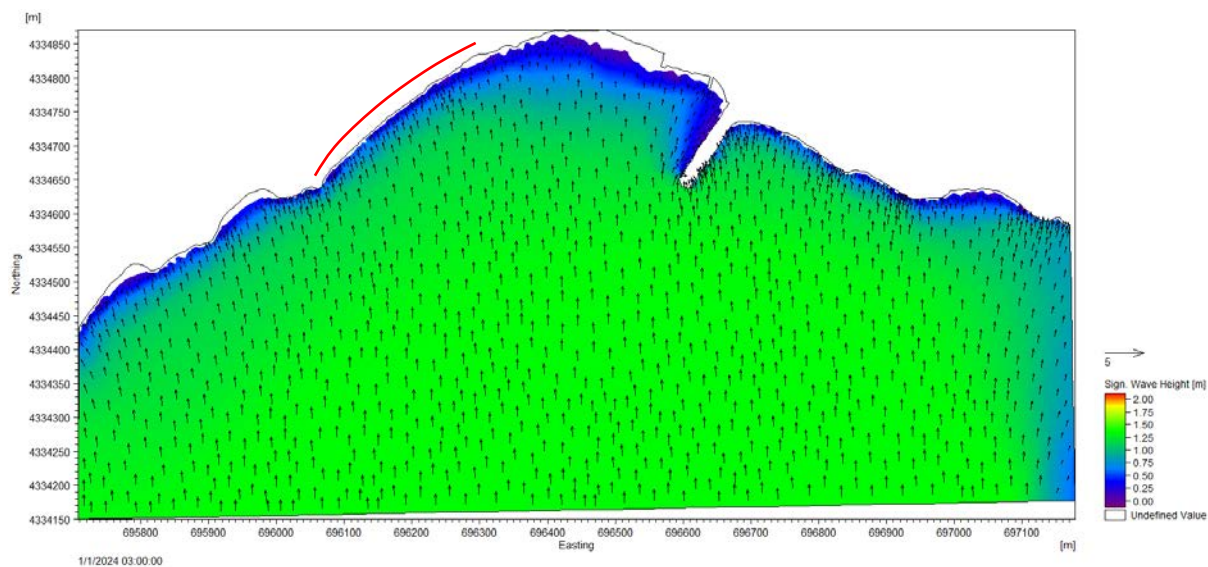
Εικόνα 5.2 Σημαντικό ύψος κύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



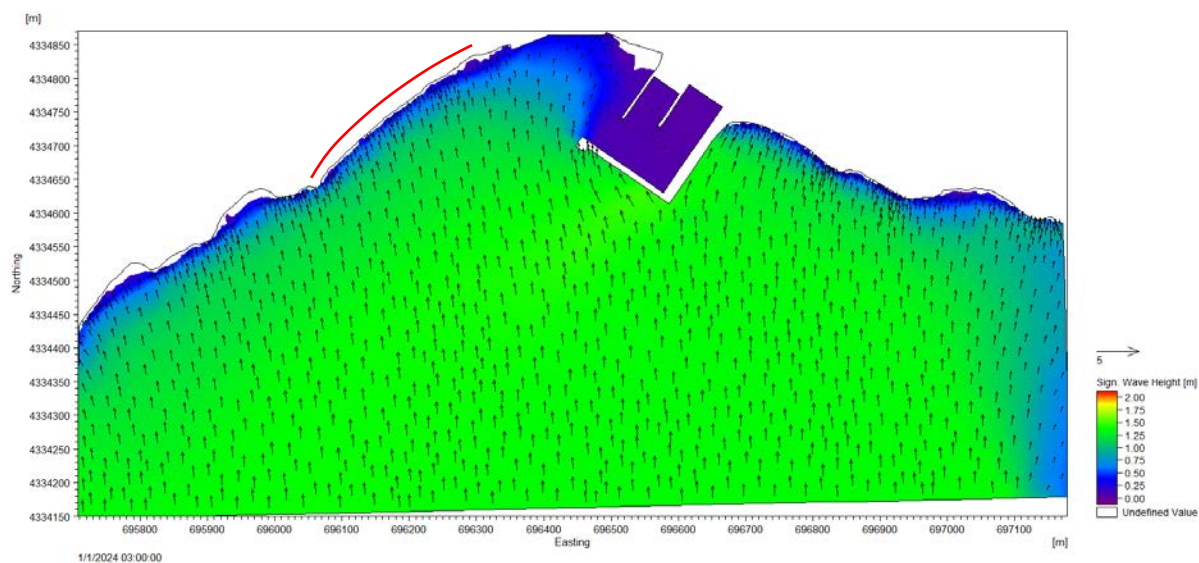
Εικόνα 5.3 Σημαντικό ύψος κύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με τον προϋπάρχοντα μόλο



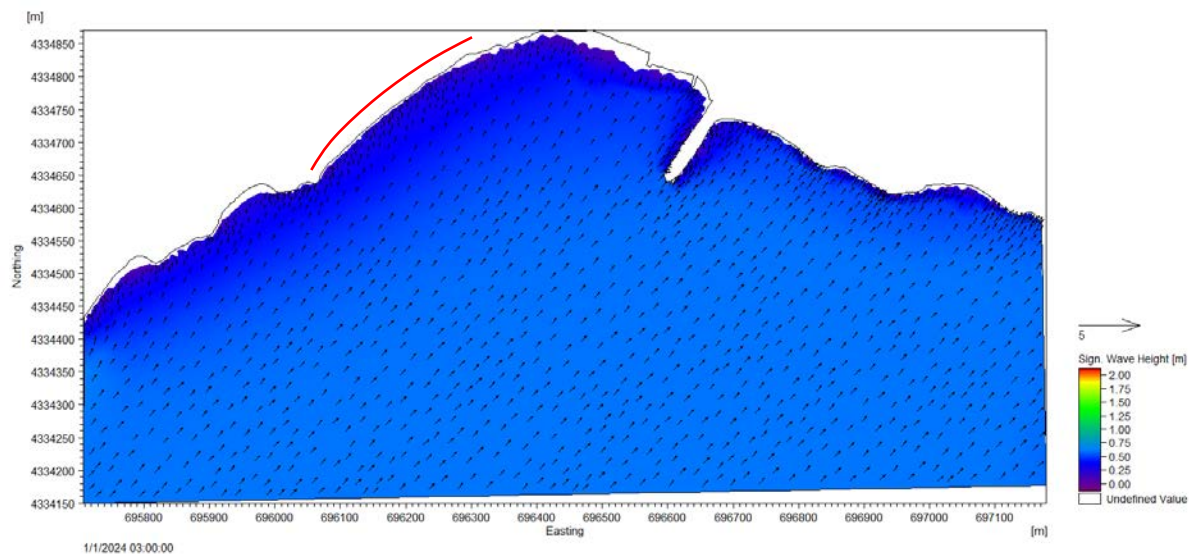
Εικόνα 5.4 Σημαντικό ύψος κύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με το νέο λιμάνι.



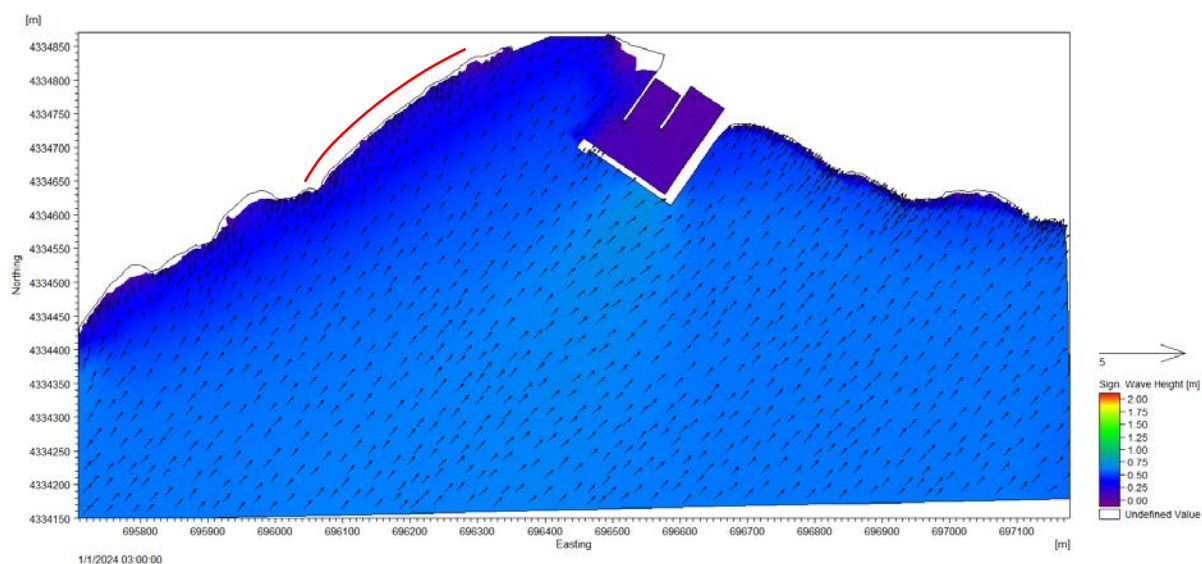
Εικόνα 5.5 Σημαντικό ύψος κύματος για νότιο άνεμο 7BF με τον προϋπάρχοντα μόλο



Εικόνα 5.6 Σημαντικό ύψος κύματος για νότιο άνεμο 7BF με το νέο λιμάνι.



Εικόνα 5.7 Σημαντικό ύψος κύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προυπαρχοντα μόλο

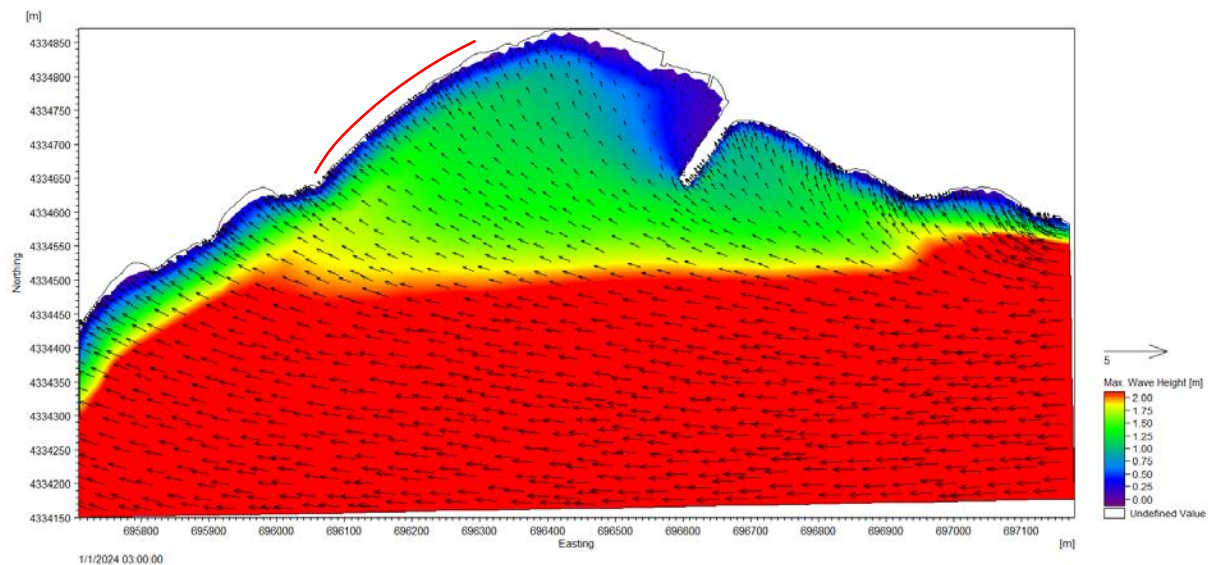


Εικόνα 5.8 Σημαντικό ύψος κύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

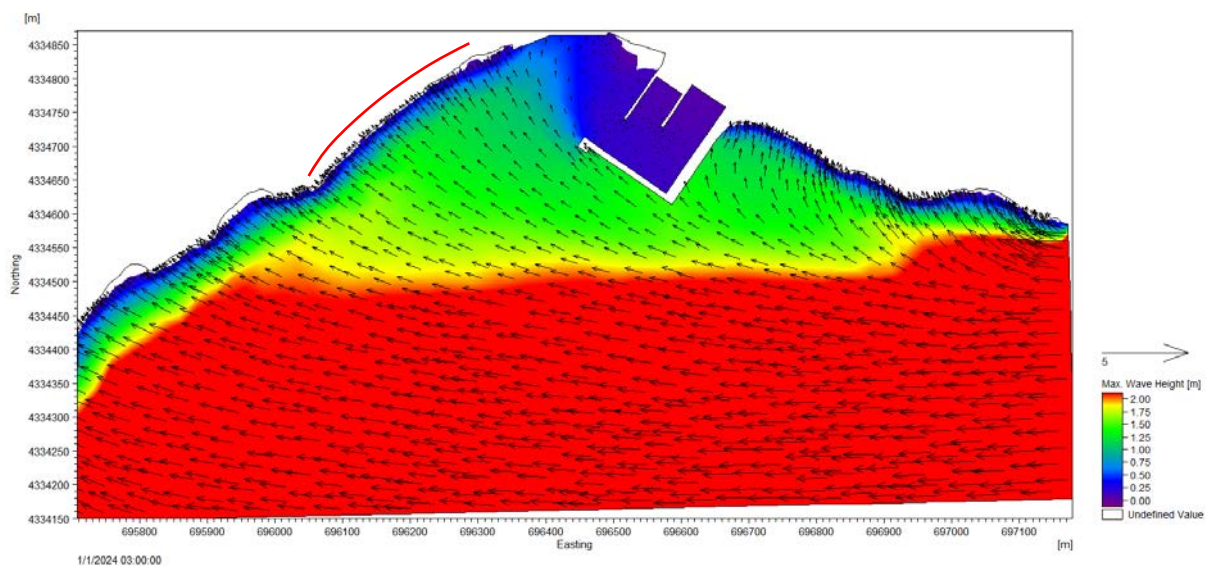
5.2 Αποτελέσματα Μέγιστου Ύψους Κύματος

Το μέγιστο ύψος κύματος αναφέρεται στο ύψος του ψηλότερου κύματος που καταγράφηκε κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Το μέγιστο ύψος κύματος μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερο από το σημαντικό ύψος κύματος, ειδικά κατά τη διάρκεια καταιγίδων ή ακραίων καιρικών φαινομένων. Στις περιπτώσεις που παρατηρείται μεγάλο ύψος κύματος, εμφανίζεται μεγάλη ταχύτητα ρεύματος στην ακτή και επομένως αναμένεται και μεγάλη στερεομεταφορά.

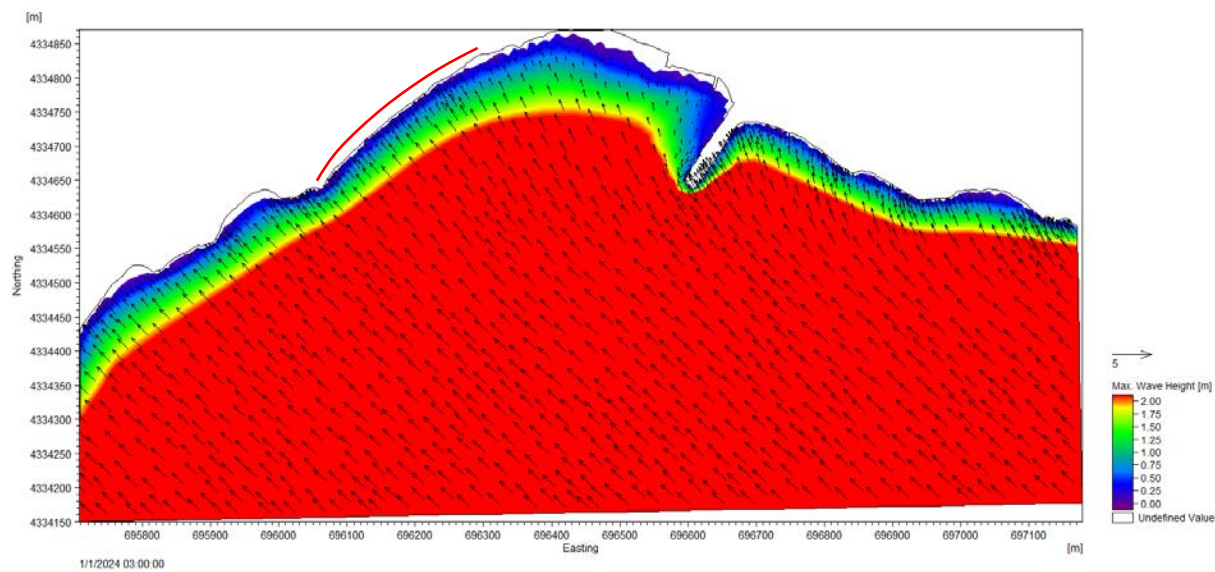
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται το μέγιστο ύψος κυματισμού για τον πιο ισχυρό άνεμο κάθε κατεύθυνσης:



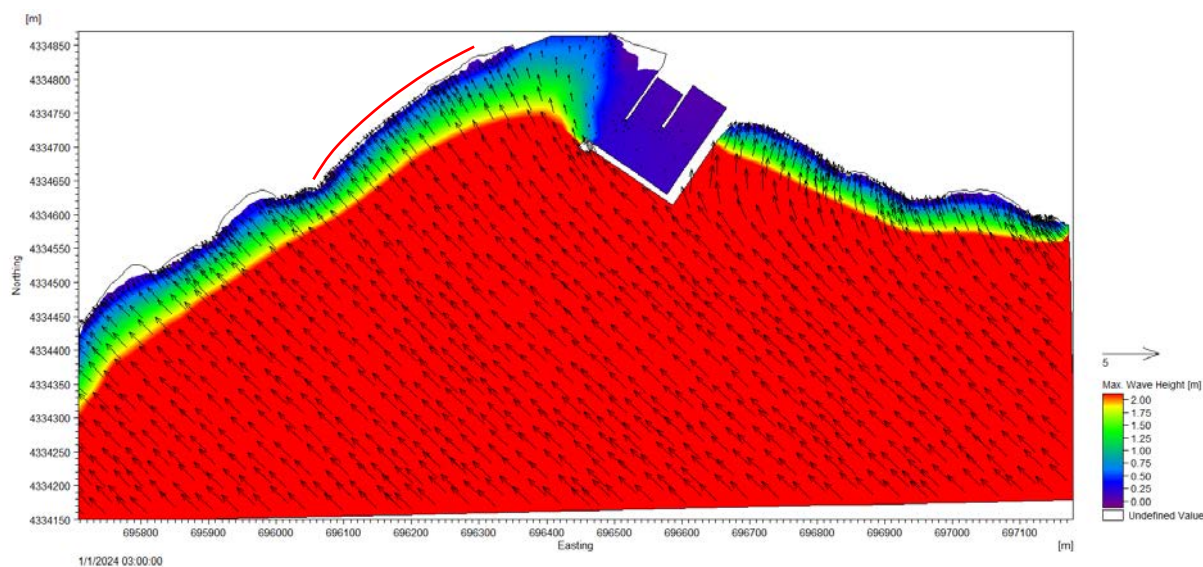
Εικόνα 5.9 Μέγιστο ύψος κύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



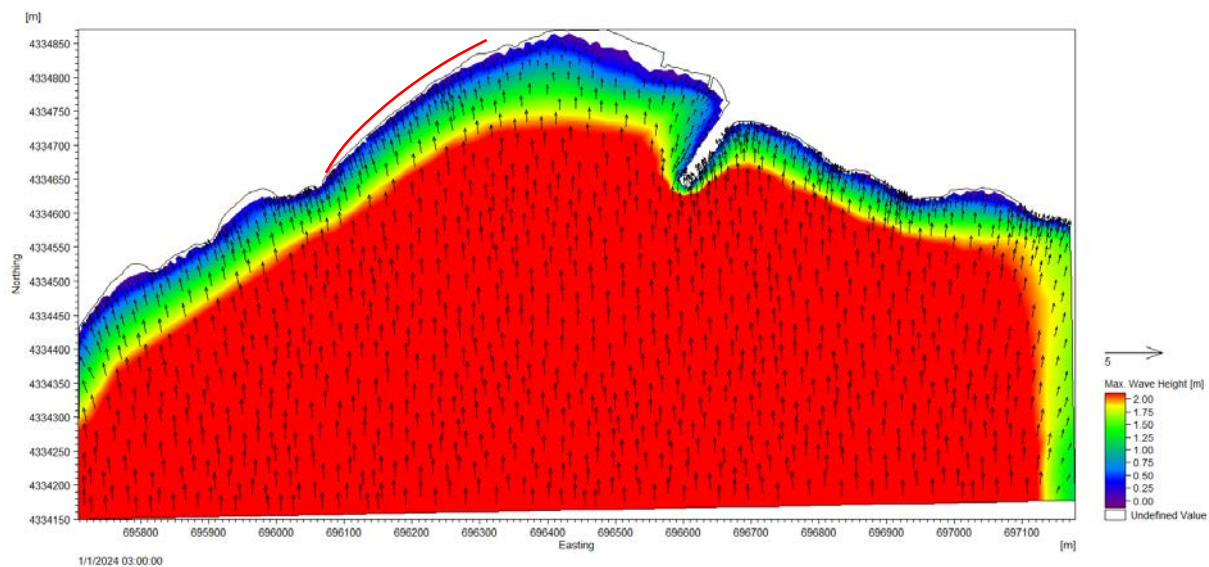
Εικόνα 5.10 Μέγιστο ύψος κύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



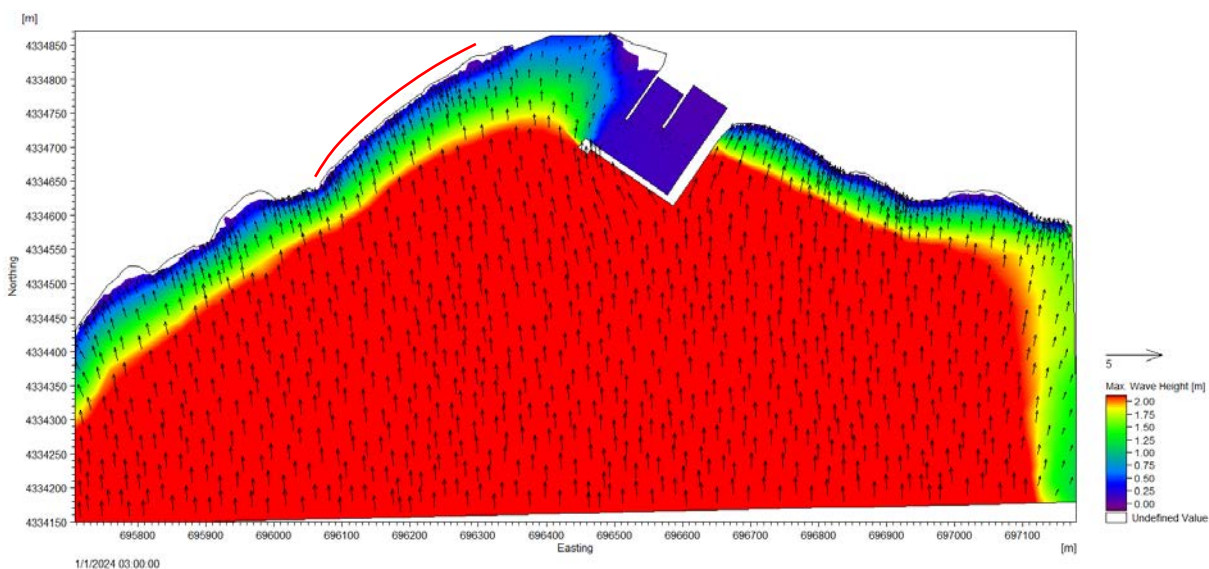
Εικόνα 5.11 Μέγιστο ύψος κύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



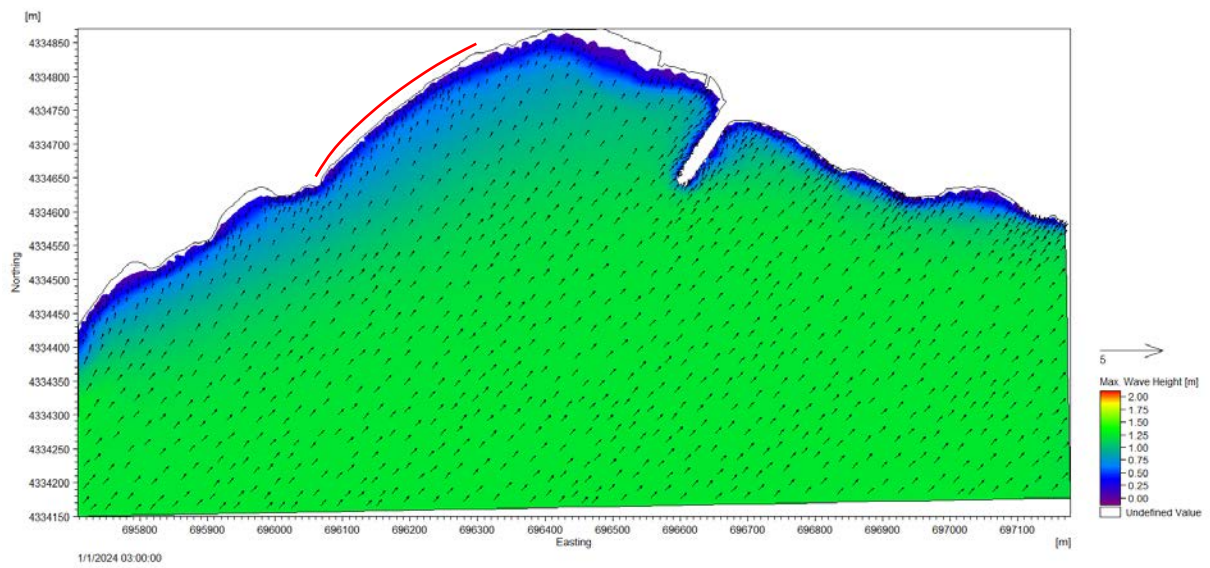
Εικόνα 5.12 Μέγιστο ύψος κύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με το νέο λιμάνι.



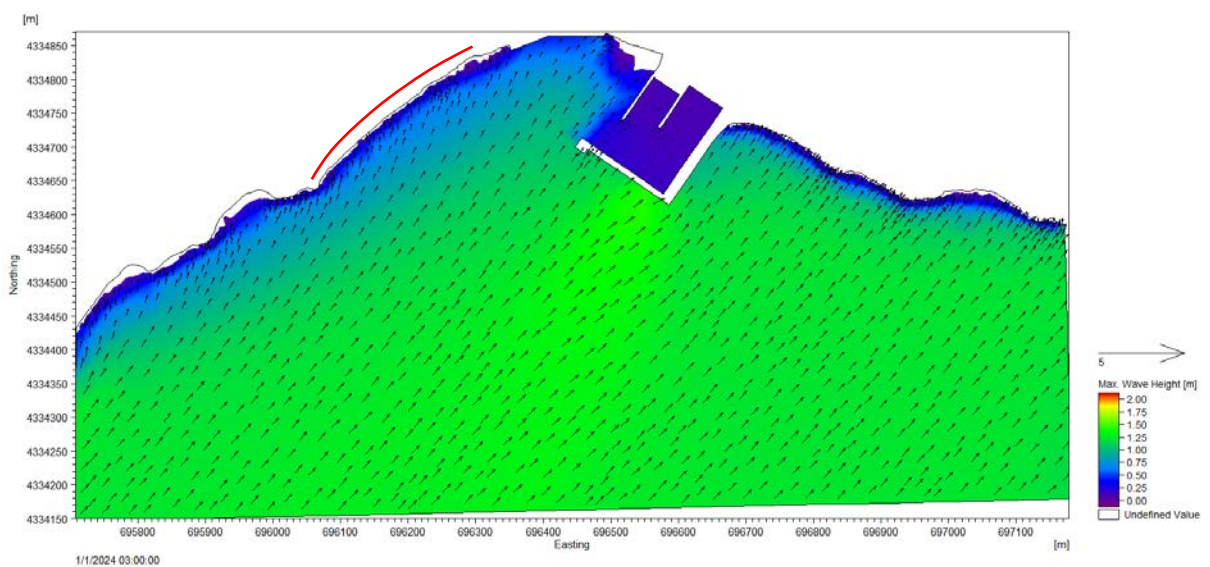
Εικόνα 5.13 Μέγιστο ύψος κύματος για νότιο άνεμο 7BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.14 Μέγιστο ύψος κύματος για νότιο άνεμο 7BF με το νέο λιμάνι.



Εικόνα 5.15 Μέγιστο ύψος κύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.16 Μέγιστο ύψος κύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

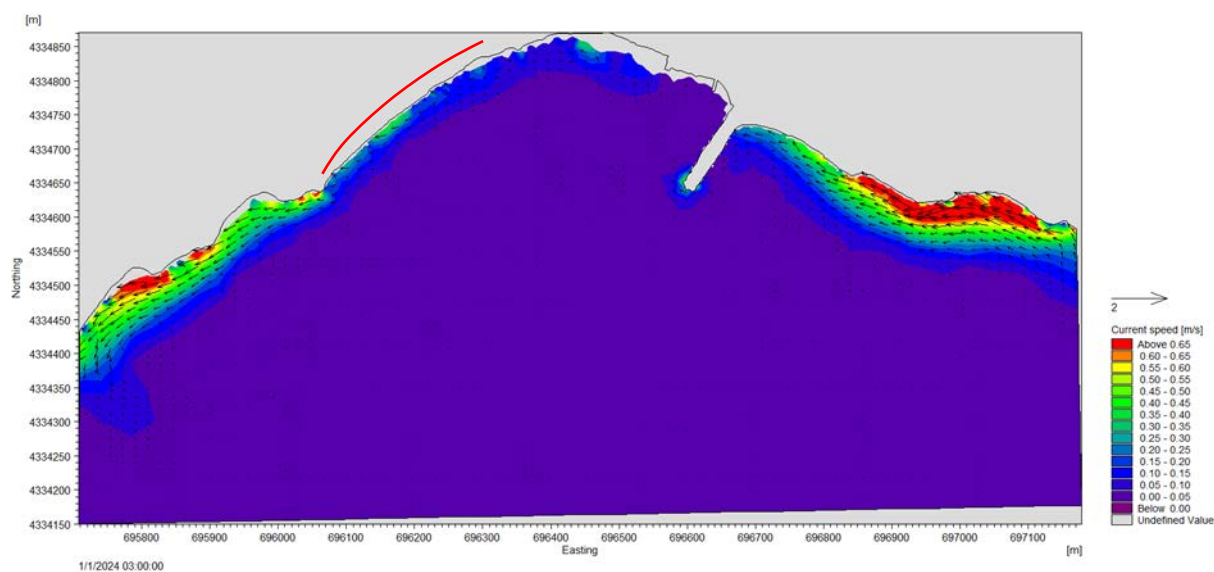
5.3 Σύγκριση του πιο ισχυρού ανέμου κάθε κατεύθυνσης

Ταχύτητα ρευμάτων (current speed)

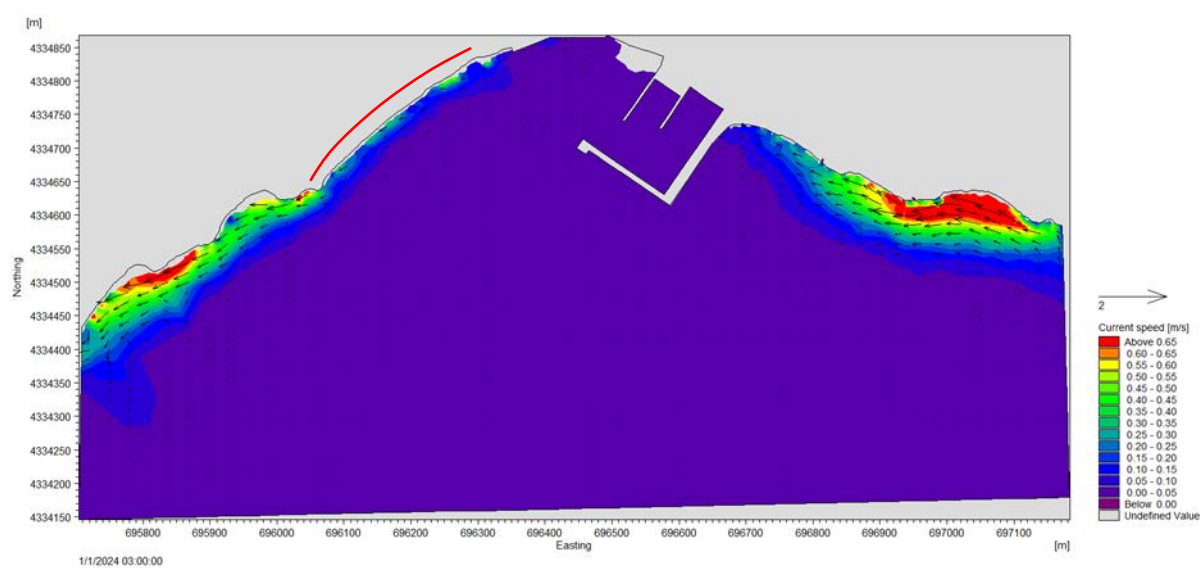
Η ταχύτητα κυματογενούς ρεύματος (wave-induced current velocity) σε μια ακτή ορίζεται ως η ταχύτητα με την οποία τα ρεύματα που προκαλούνται από τα κύματα κινούν το νερό παράλληλα στην ακτή. Αυτά τα ρεύματα δημιουργούνται κυρίως λόγω της θραύσης των κυματισμών που προελαύνουν προς την ακτή και σχηματίζουν γωνία με τις ισοβαθείς λόγω των τάσεων ακτινοβολίας.

Μεγάλες ταχύτητες κυματογενών ρευμάτων συνεπάγονται υψηλή ενέργεια και μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων ιζημάτων. Η ταχύτητα των ρευμάτων κοντά στην ακτή είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ένταση των αλλαγών που προκαλείται στην τοπογραφία της αλλά και τις αλλαγές στο σχήμα, την υφή και την οικολογία.

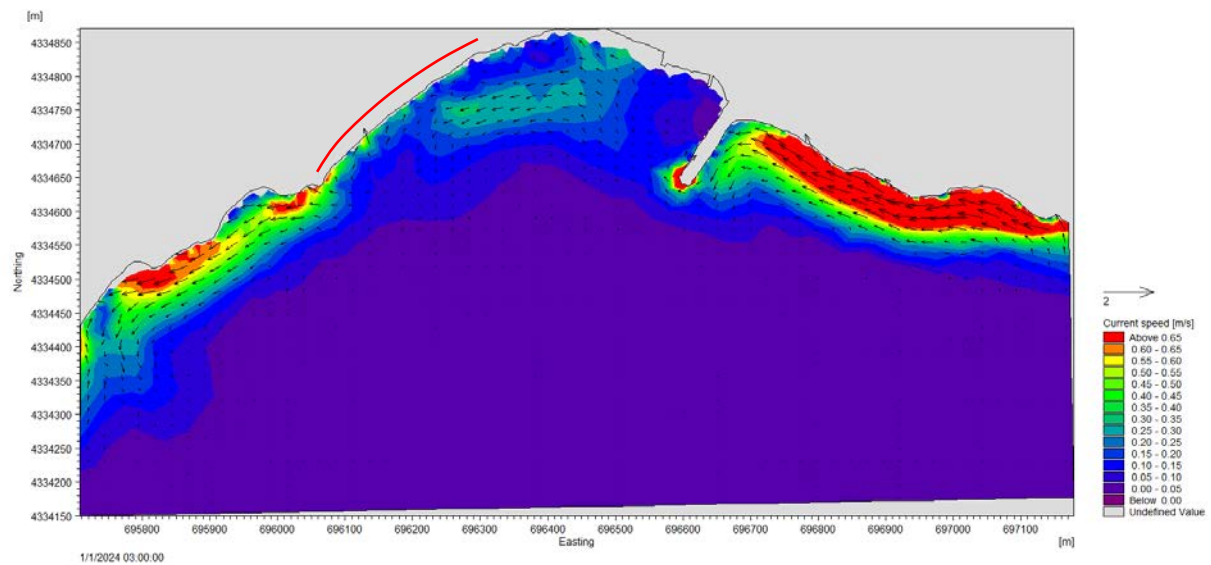
Στις Εικόνες 5.17 και Εικόνες 5.24 παρουσιάζονται οι ταχύτητες ρευμάτων για τον πιο ισχυρό άνεμο κάθε κατεύθυνσης. Τα βέλη δείχνουν τη κατεύθυνση των ρευμάτων και το μέγεθός τους είναι ανάλογο της τιμής του ρεύματος.



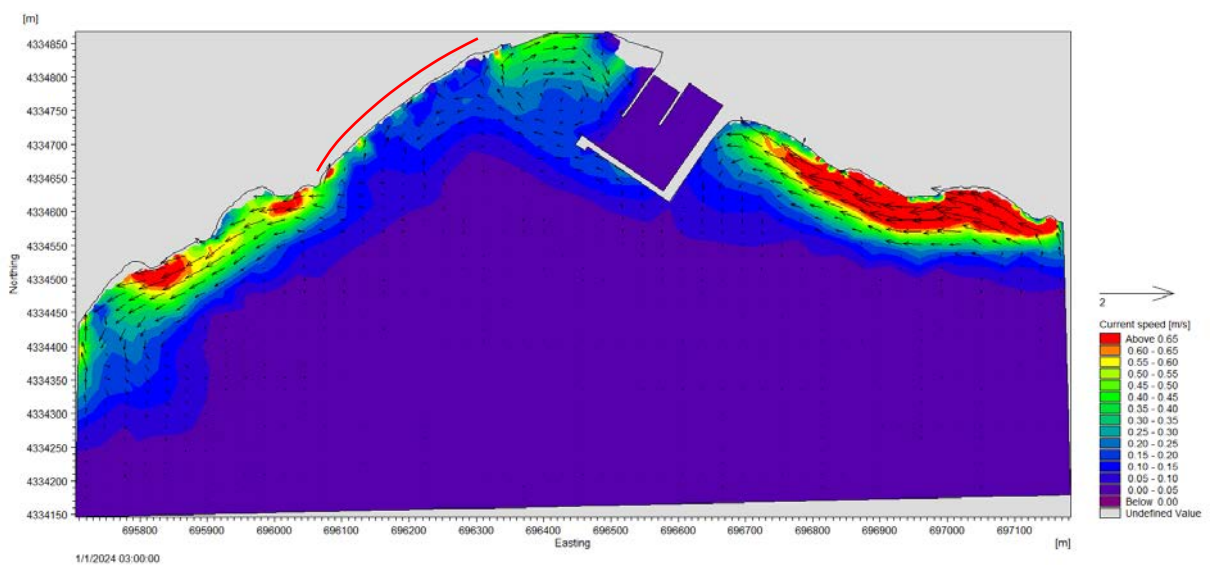
Εικόνα 5.17 Ταχύτητα ρεύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



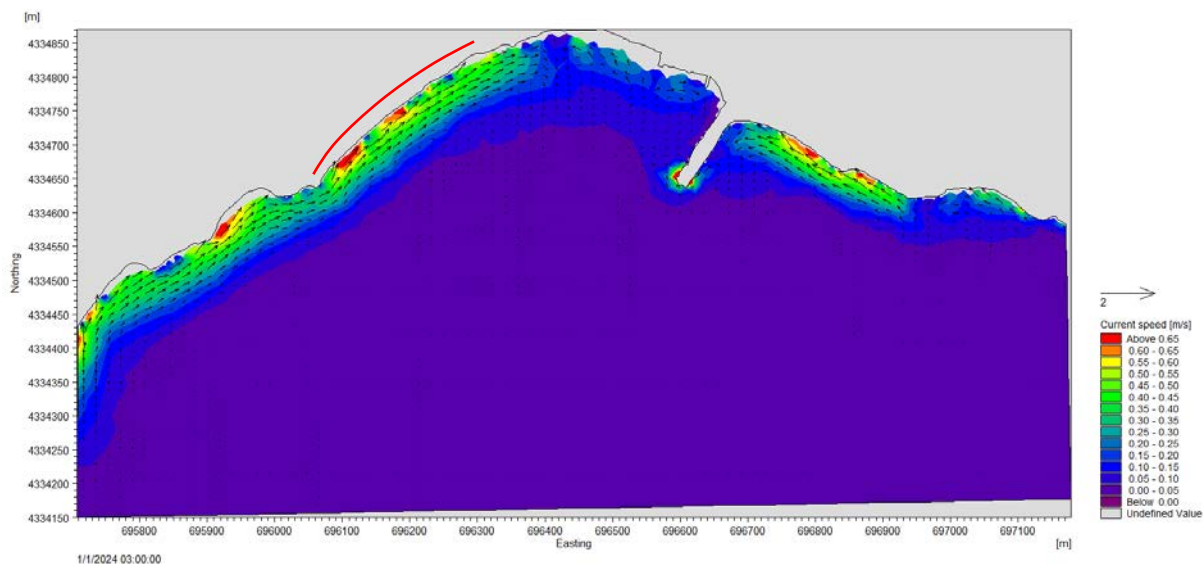
Εικόνα 5.18 Ταχύτητα ρεύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



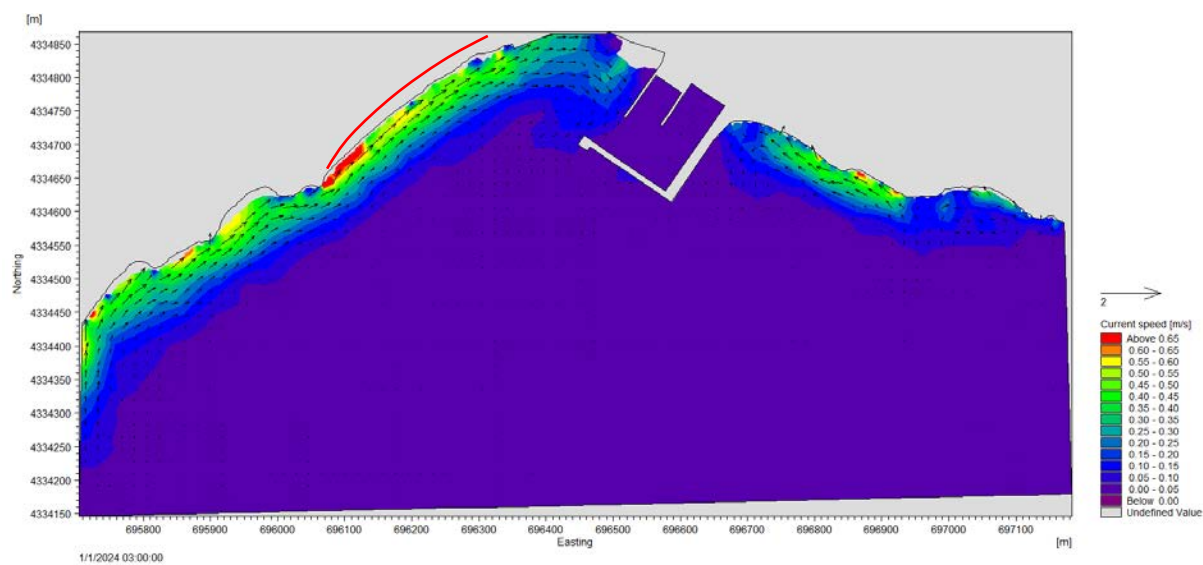
Εικόνα 5.19 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



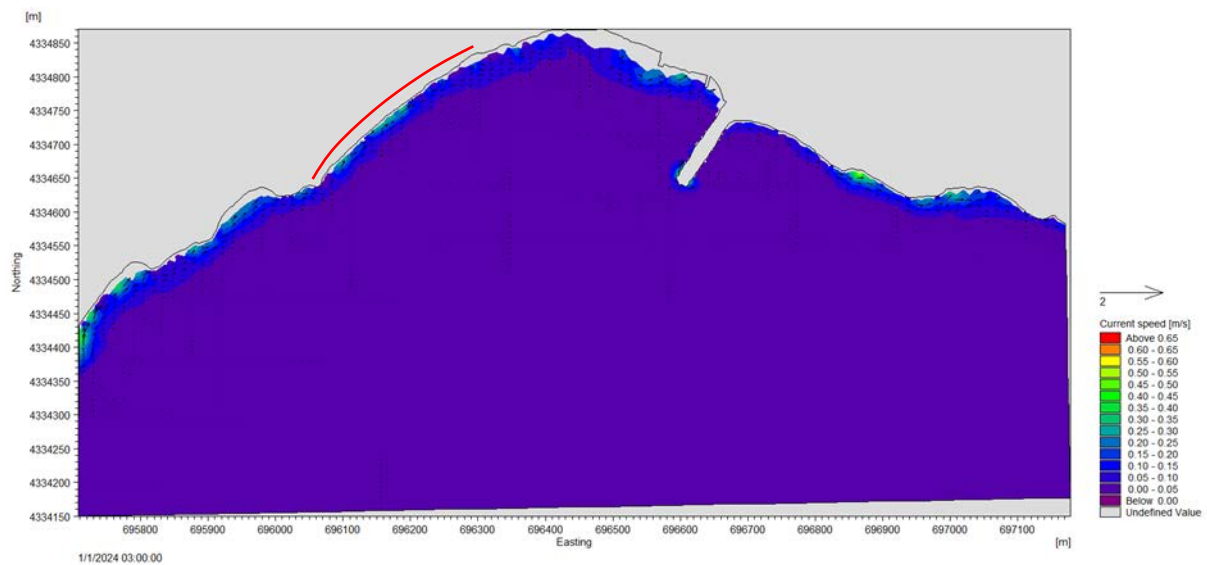
Εικόνα 5.20 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με το νέο λιμάνι.



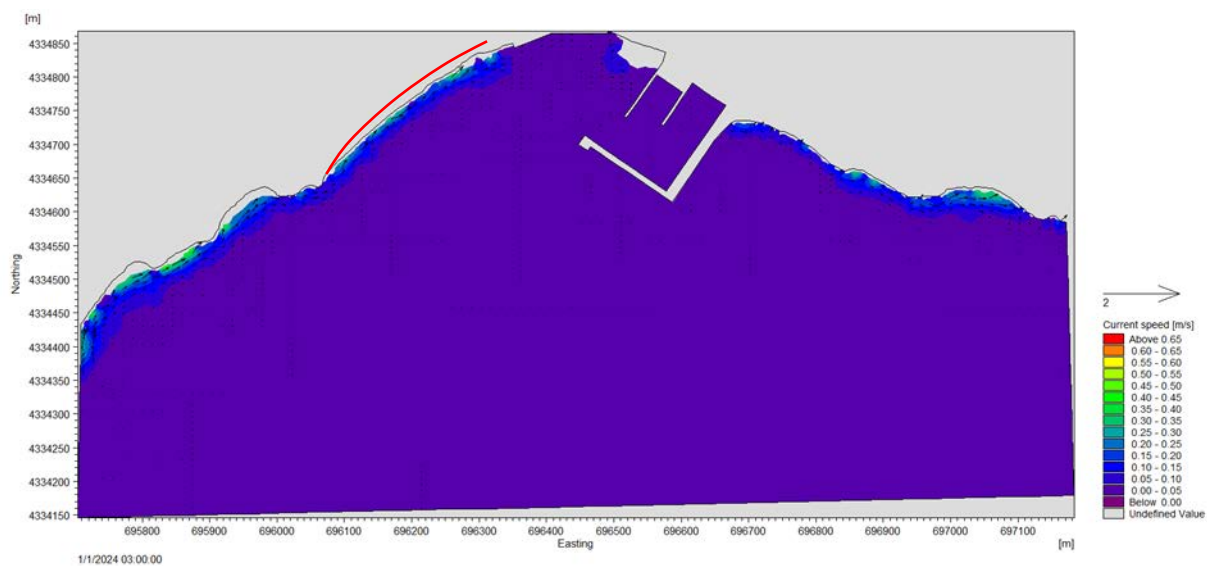
Εικόνα 5.21 Ταχύτητα ρεύματος για νότιο άνεμο 7BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.22 Ταχύτητα ρεύματος για νότιο άνεμο 7BF με το νέο λιμάνι.



Εικόνα 5.23 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.24 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

Συμπεράσματα για την ταχύτητα ρευμάτων

Είναι εμφανές από τα διαγράμματα ότι οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας ρεύματος αναπτύσσονται κυρίως για τον νότιο και τον νοτιοανατολικό άνεμο, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην ένταση των ανέμων.

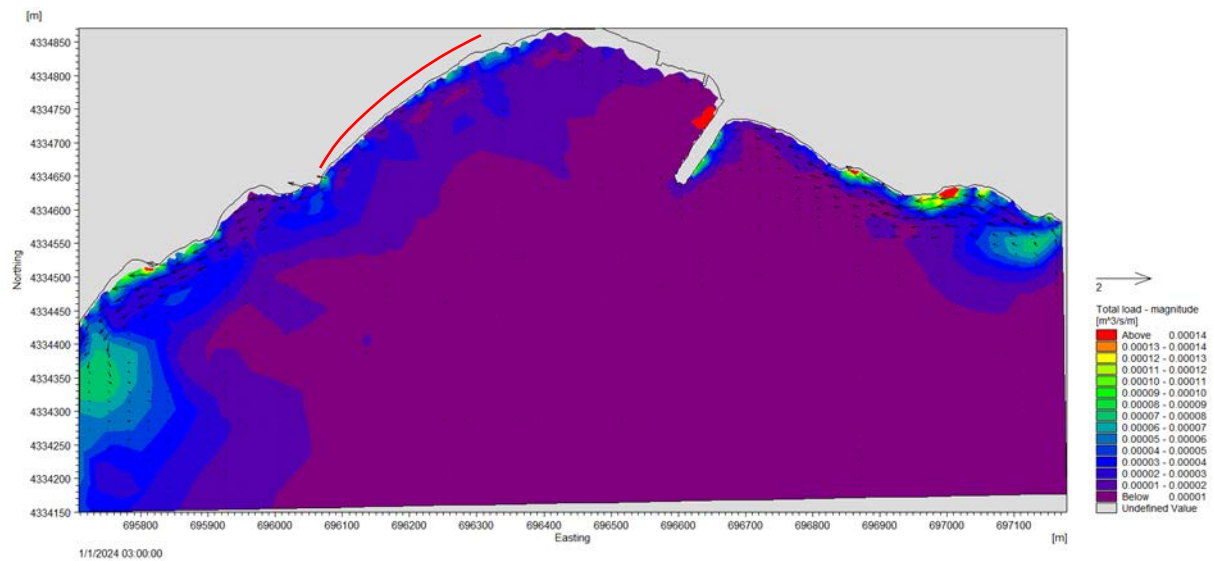
Στα διαγράμματα απεικονίζονται και οι κατευθύνσεις των ρευμάτων. Στην περίπτωση με το νέο λιμάνι, τα ρεύματα του νότιου και νοτιοανατολικού άνεμου φαίνεται να έχουν κατεύθυνση προς την είσοδο του λιμανιού δημιουργούν στροβιλισμούς, ένδειξη που δηλώνει την τάση των φερτών να συσσωρεύονται ακριβώς στην είσοδο του.

Μία τέτοια εκδοχή επηρεάζει την λειτουργικότητα του καθιστώντας το προβληματικό και δυσχερές προς την χρήση του.

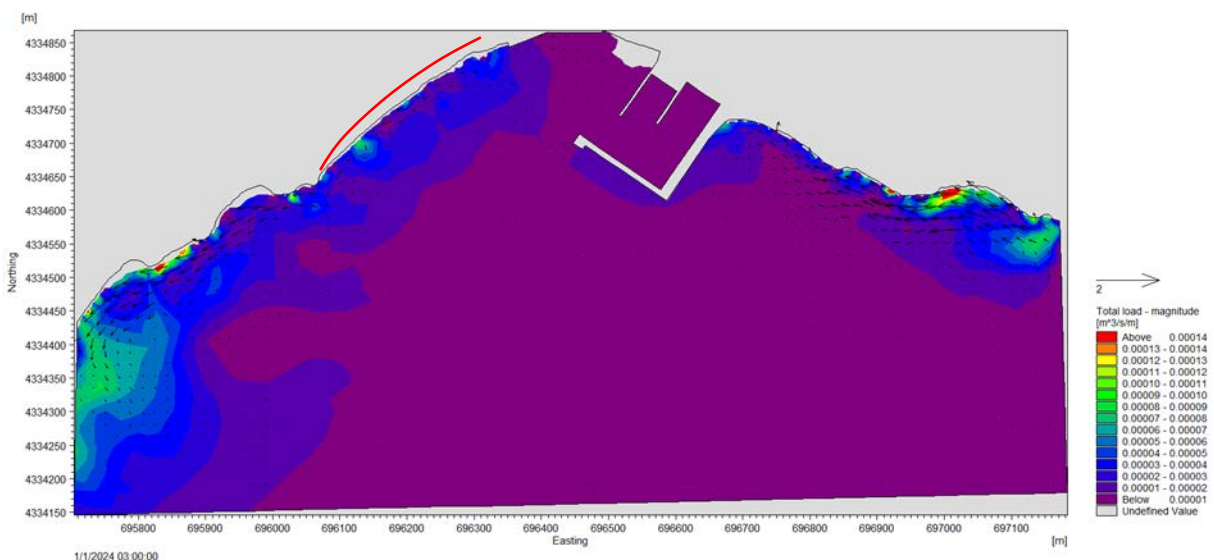
Εύρος στερεοπαροχής (Total load – magnitude)

Το εύρος στερεοπαροχής παρέχει μια ποσοτική εκτίμηση της δυναμικής μετακίνησης ιζημάτων στην περιοχή μελέτης. Υψηλές τιμές στερεοπαροχής υποδηλώνουν έντονη μεταφορά ιζημάτων, η οποία είναι αποτέλεσμα ισχυρών κυματικών και υδροδυναμικών διεργασιών.

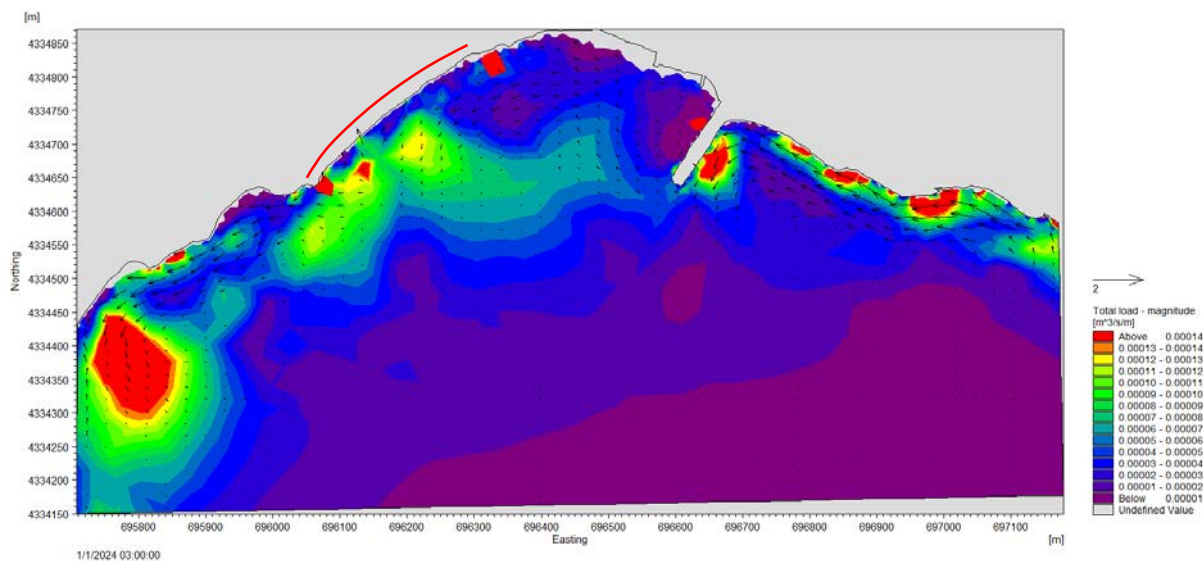
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται το εύρος στερεοπαροχής και για τον πιο ισχυρό άνεμο κάθε κατεύθυνσης και για τις δυο περιπτώσεις:



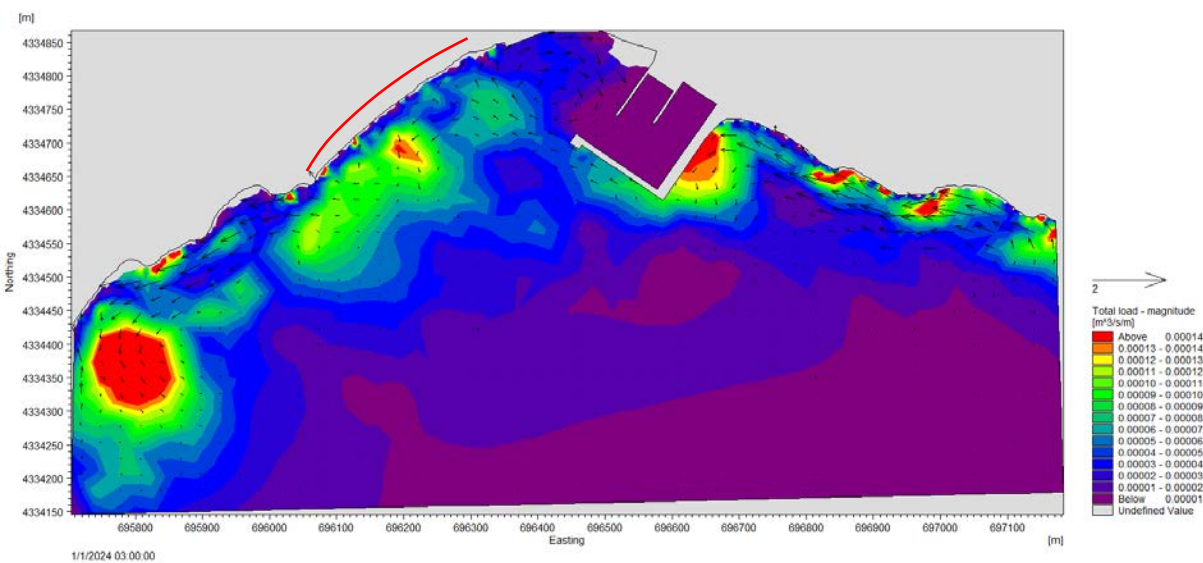
Εικόνα 5.25 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



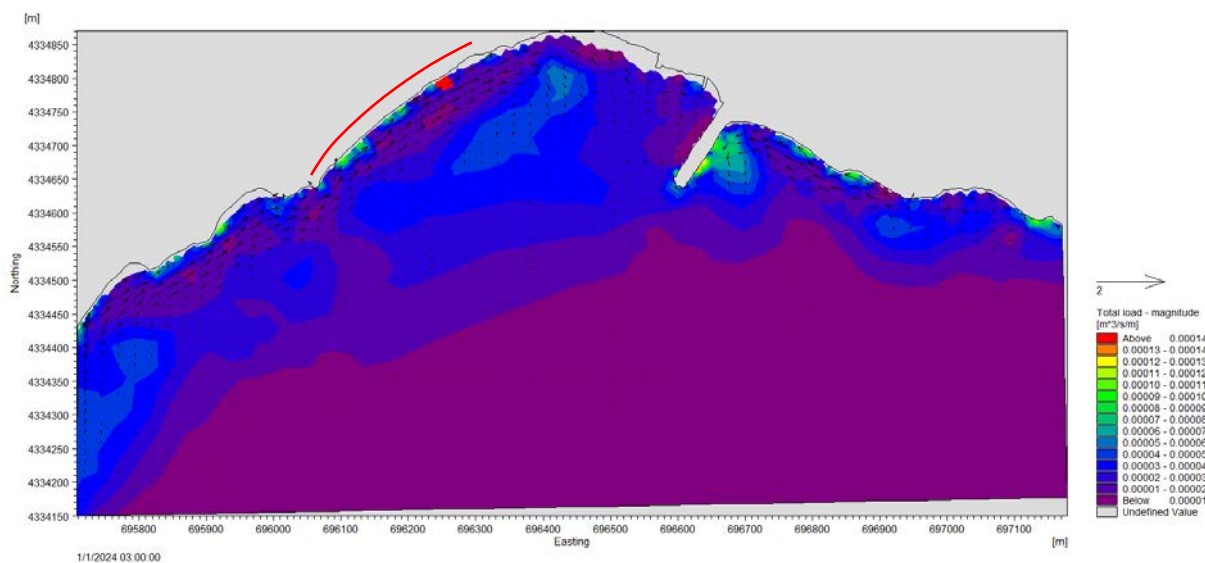
Εικόνα 5.26 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



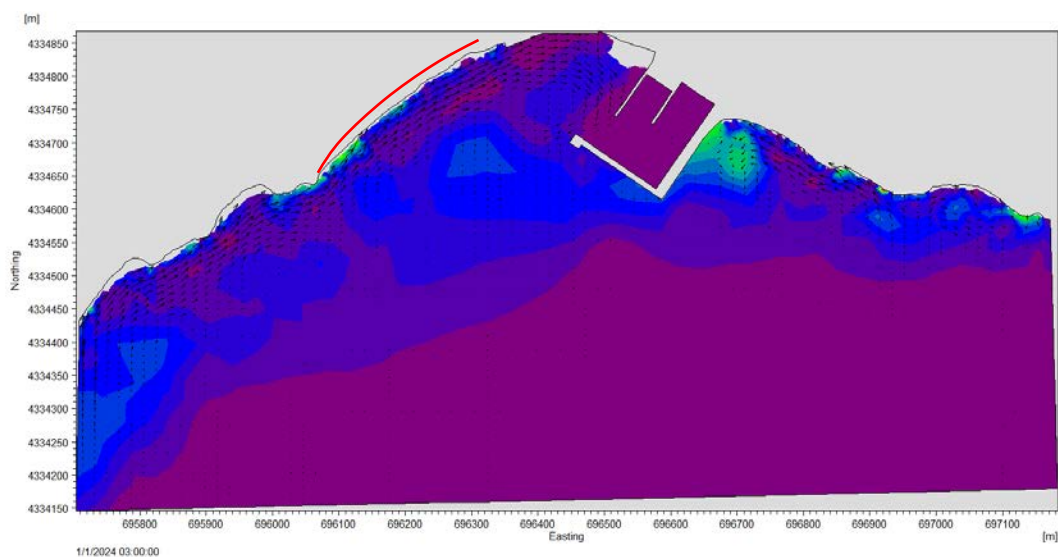
Εικόνα 5.27 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



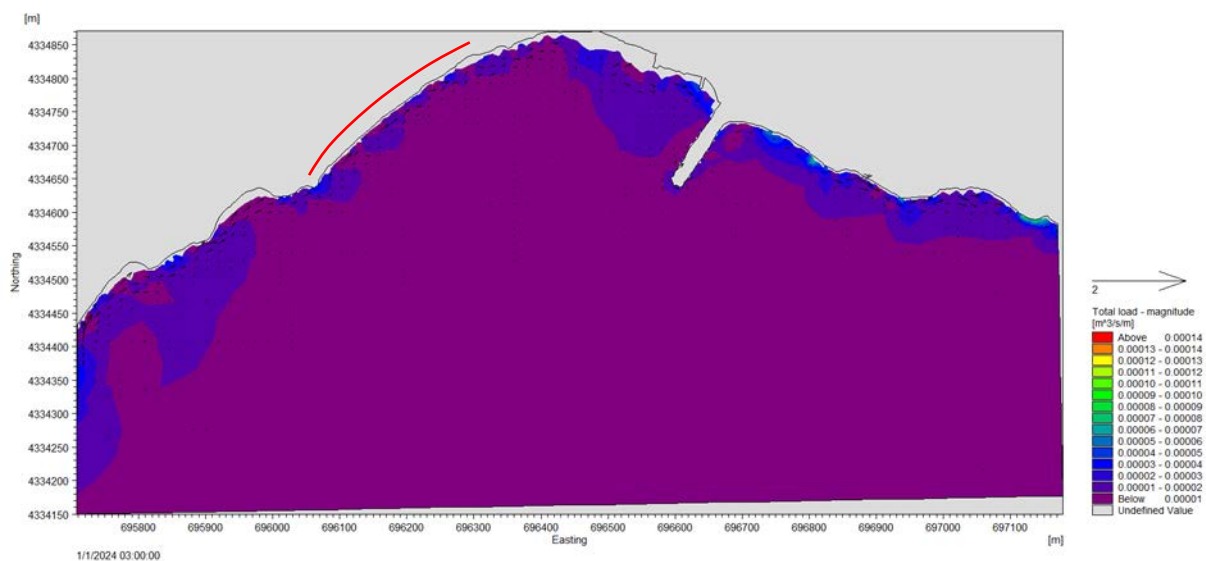
Εικόνα 5.28 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με το νέο λιμάνι.



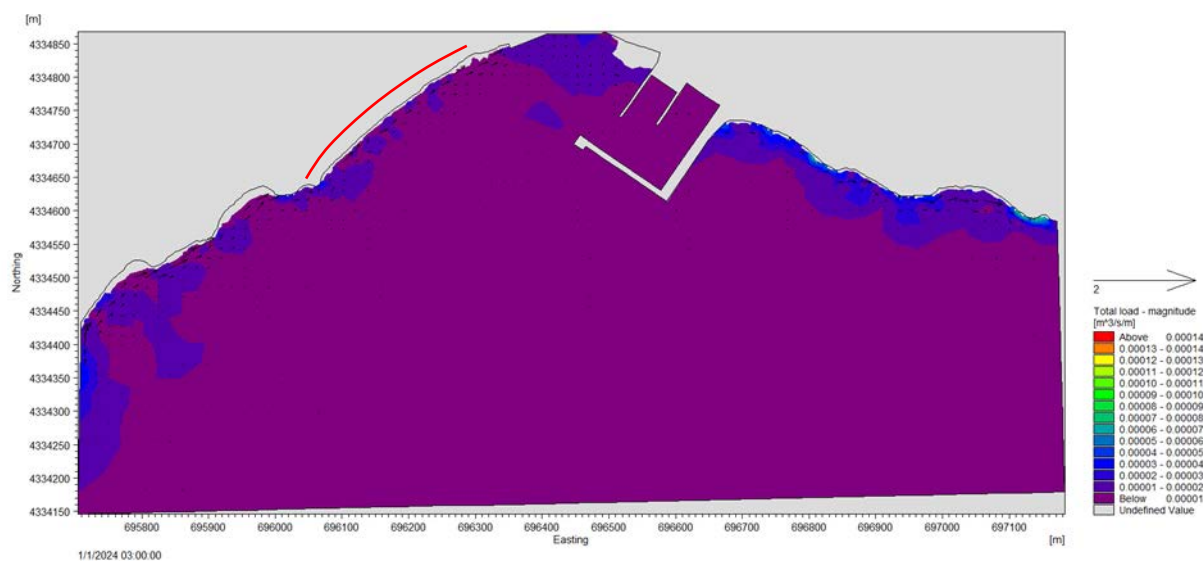
Εικόνα 5.29 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νότιο άνεμο 7BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.30 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νότιο άνεμο 7BF με το νέο λιμάνι.



Εικόνα 5.31 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.32 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

Συμπεράσματα για την στερεομεταφορά

Από τα διαγράμματα πάλι είναι προφανές ότι οι τιμές της στερεοπαροχής παρουσιάζονται αυξημένες για τον νότιο και τον νοτιοανατολικό άνεμο. Αυτό είναι αναμενόμενο, αφού όπως είδαμε προηγουμένως, οι μεγαλύτερες τιμές των ρευμάτων (current speed) εμφανίζονται σε αυτές τις δύο περιπτώσεις ανέμων.

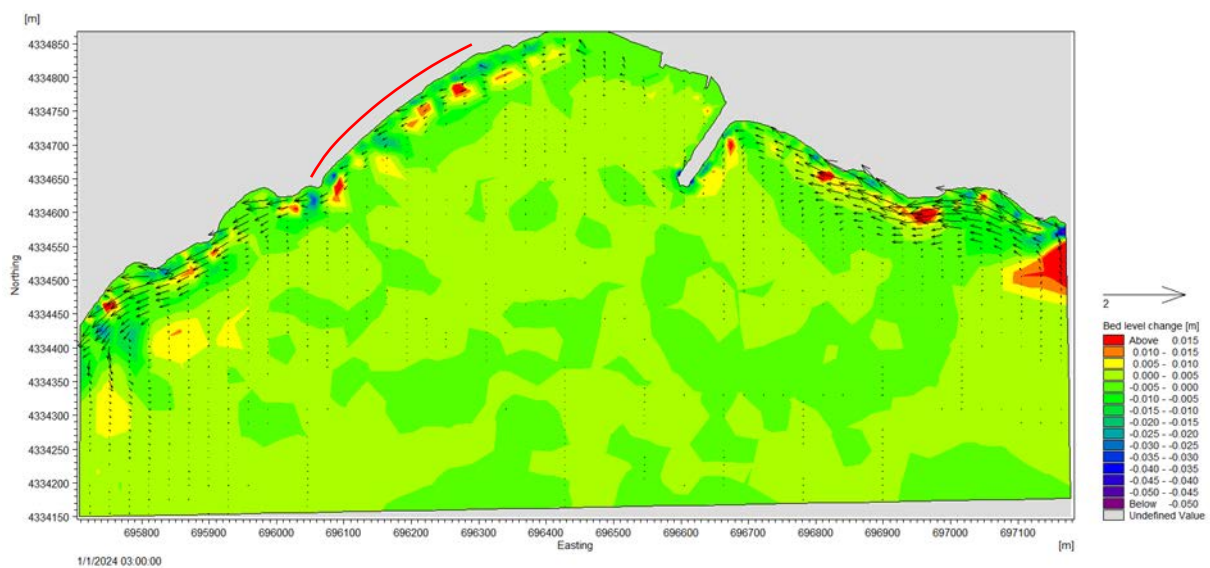
Από την ανάλυση των διαγραμμάτων στερεοπαροχής, προκύπτουν επίσης τα διανύσματα αυτής, τα οποία εμφανίζονται σαν βέλη των οποίων το μέγεθος είναι ανάλογο της τιμής της στερεοπαροχής και η φορά τους απεικονίζει την κατεύθυνση μετακίνησης των φερτών. Αυτά τα διανύσματα φανερώνουν ξανά μια σαφή τάση συγκέντρωσης των φερτών στην περιοχή της εισόδου του νέου λιμένα και φαίνεται να ενισχύουν αυτά που παρατηρήθηκαν και στα διαγράμματα της ταχύτητας ρευμάτων.

Γενικώς παρατηρούμε ότι το νέο λιμάνι κόβει την κίνηση φερτών και σχηματίζει μια ζώνη κυματικού καταφυγίου, σε σχέση με τον προϋπάρχοντα μόλο με αποτέλεσμα την συσσώρευση φερτών στην είσοδο του και στον ευρύτερο κόλπο. Σύμφωνα με τα διαγράμματα (current speed, total load – magnitude) και την κατεύθυνση των ρευμάτων που παρατηρούνται από αυτά και κυρίως για τους ανέμους της νότιας και νοτιοανατολικής διεύθυνσης, καταλήγουμε να θεωρούμε ότι η απόθεση των φερτών στην είσοδο του λιμένα πιθανόν να προέρχονται από την δυτική παραλία. Να σημειωθεί ξανά πως δεν έχουμε λάβει υπόψιν το ρέμα που βρίσκεται ακριβώς δίπλα στο λιμάνι και είναι από μόνο του μια πηγή φερτών.

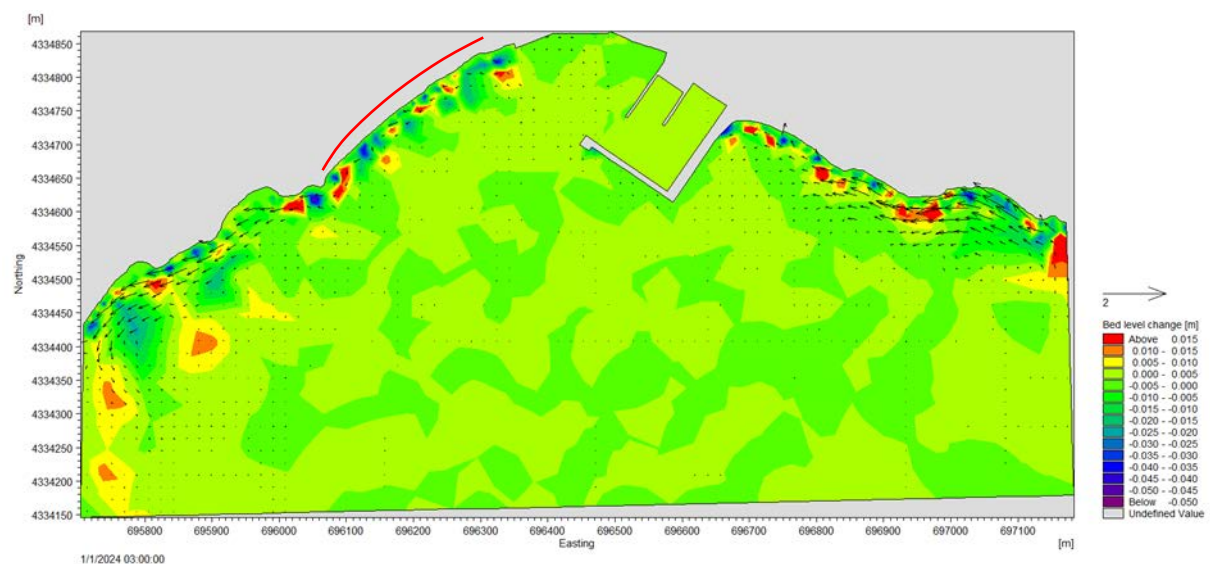
Μεταβολή στάθμη πυθμένα (Bed level change)

Η μεταβολή στάθμη πυθμένα αναφέρεται στις αλλαγές που συμβαίνουν στο βάθος πυθμένα της θάλασσας λόγω φυσικών ή ανθρωπογενών διεργασιών. Αυτές περιλαμβάνουν την διάβρωση και την εναπόθεση.

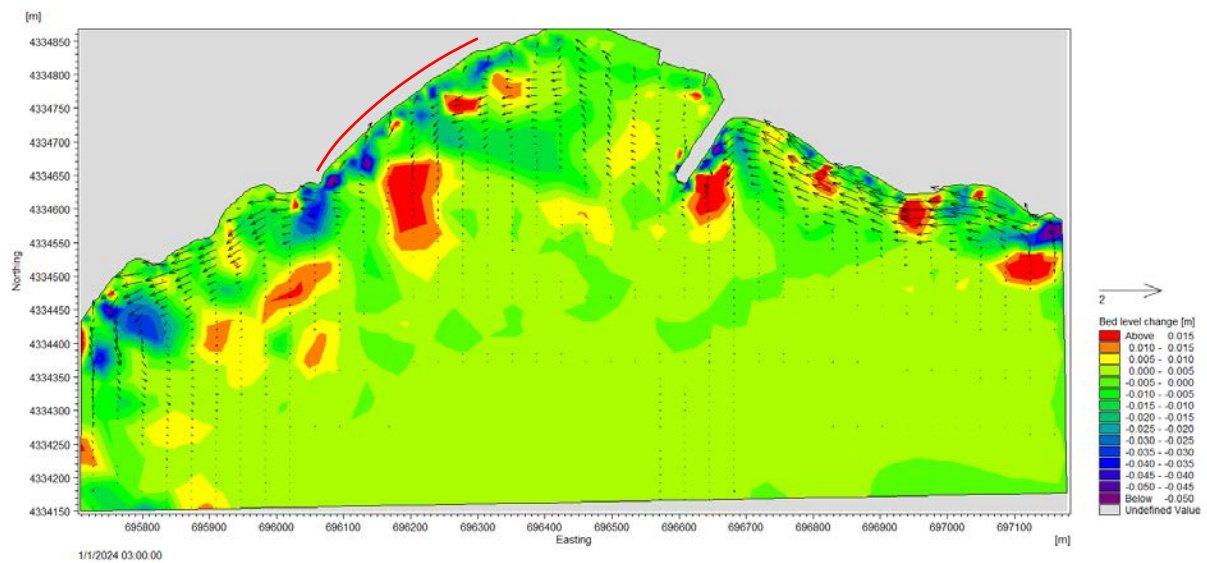
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η μεταβολή του πυθμένα για τον πιο ισχυρό άνεμο κάθε κατεύθυνσης και για τις δυο περιπτώσεις:



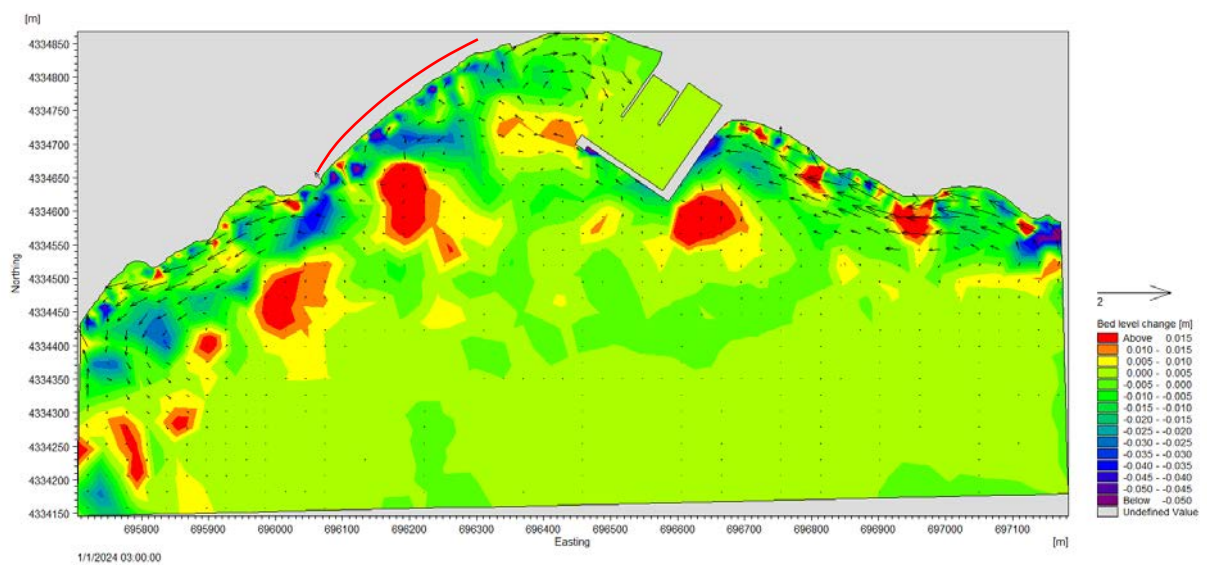
Εικόνα 5.33 Bed Level Change για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



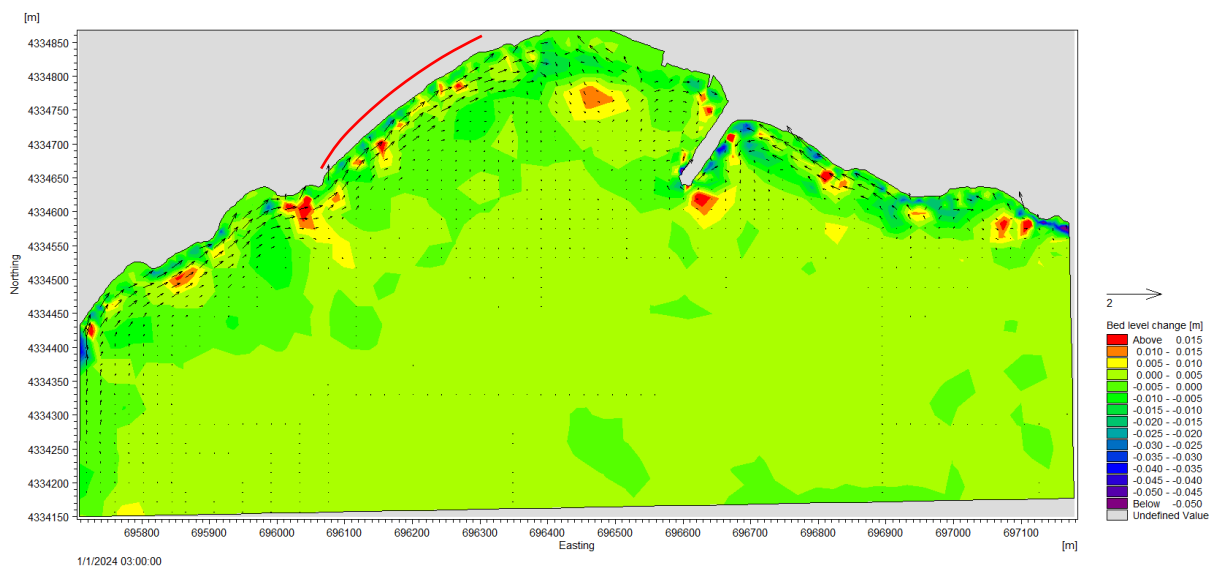
Εικόνα 5.34 Bed Level Change για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



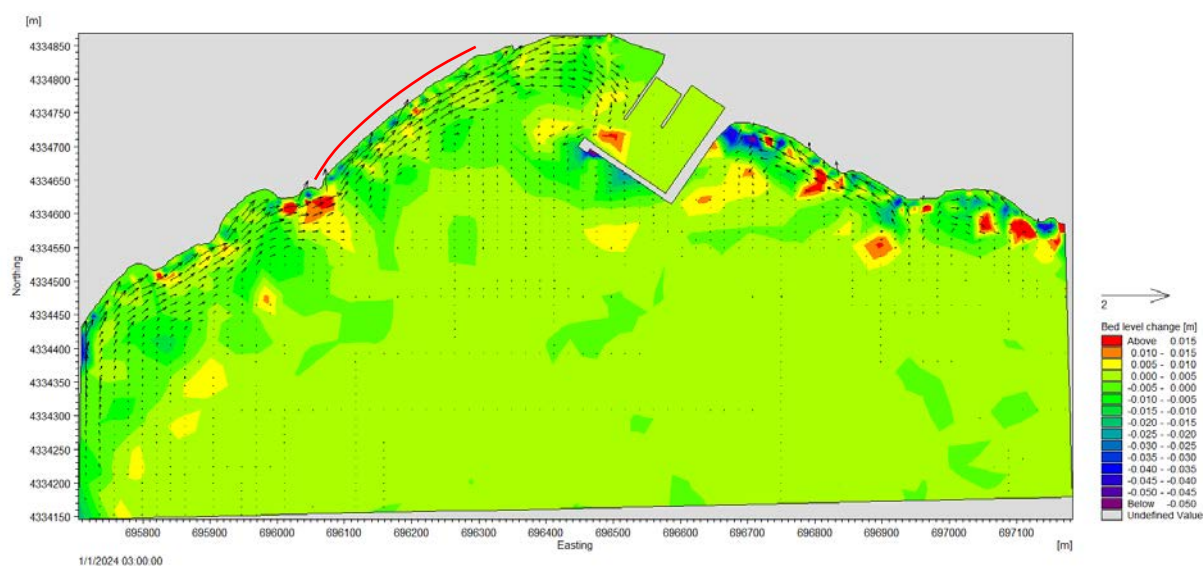
Εικόνα 5.35 Bed Level Change για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



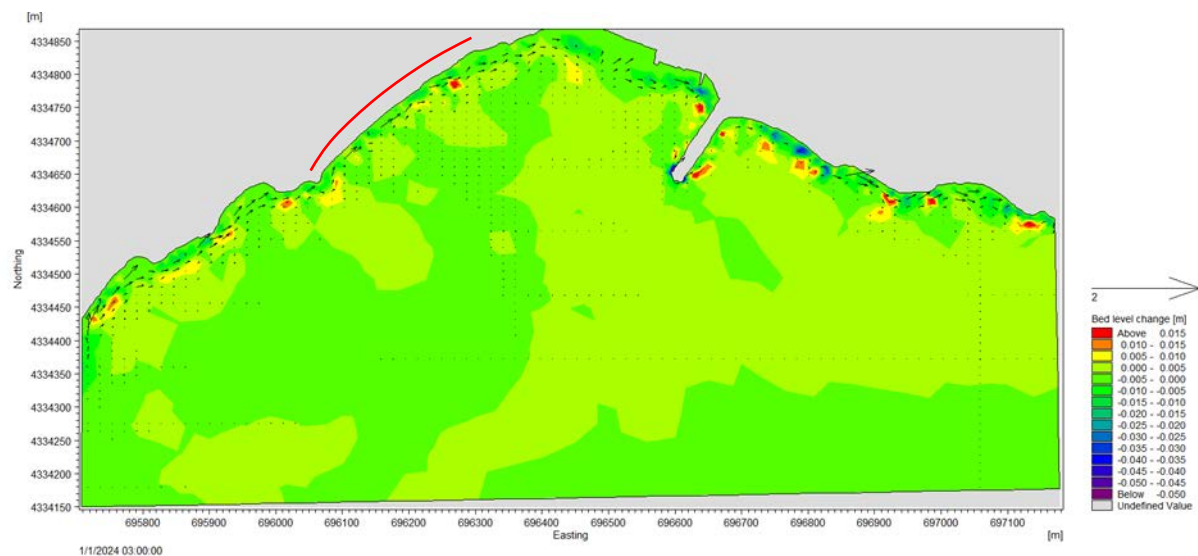
Εικόνα 5.36 Bed Level Change για νοτιοανατολικό άνεμο 6BF με το νέο λιμάνι.



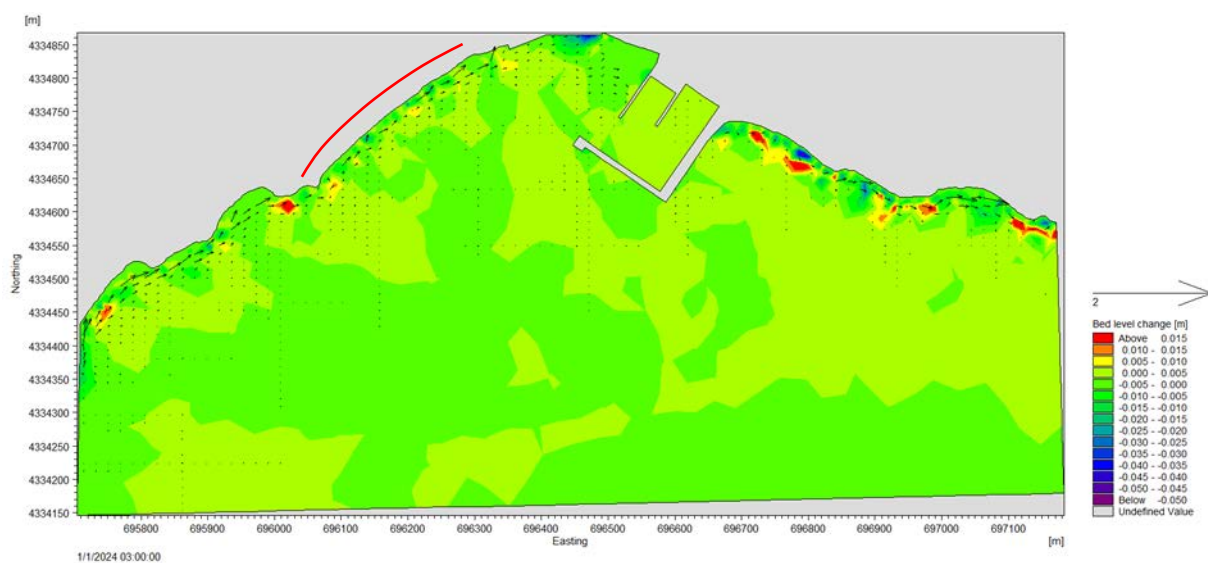
Εικόνα 5.37 Bed Level Change για νότιο άνεμο 7BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.38 Bed Level Change για νότιο άνεμο 7BF με το νέο λιμάνι.



Εικόνα 5.39 Bed Level Change για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.40 Bed Level Change για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

Συμπεράσματα για μεταβολή στάθμης πυθμένα

Παρατηρώντας τα διαγράμματα μεταξύ του προϋπάρχοντα μόλου και του νέου λιμένα διαπιστώνουμε εκ πρώτης όψεως πως υπάρχει μια μεταβολή στην στάθμη του πυθμένα σε αρκετά σημεία της περιοχής μελέτης.

Συγκεκριμένα για τον ανατολικό άνεμο στην περίπτωση του νέου λιμανιού εντοπίζουμε σημεία διάβρωσης (μπλε χρώμα) στην ευθεία της δυτικής παραλίας. Επίσης στο ίδιο σημείο παρατηρούμε μια μικρή τάση διάβρωσης, στην περίπτωση του νέου λιμένα, για τον νότιο και νοτιοδυτικό άνεμο. Στην περίπτωση του νοτιοανατολικού ανέμου εντοπίζουμε διάβρωση μπροστά στην παραλία εξίσου και στις δυο περιπτώσεις.

Να σημειωθεί ότι σε όλες τις περιπτώσεις του νέου λιμένα βλέπουμε την κατεύθυνση των ρευμάτων να δημιουργούν στροβιλισμό στην είσοδο του κάτι που μας επιβεβαιώνει για άλλη μια φορά πως τα φερτά έχουν την τάση να κατευθύνονται εκεί.

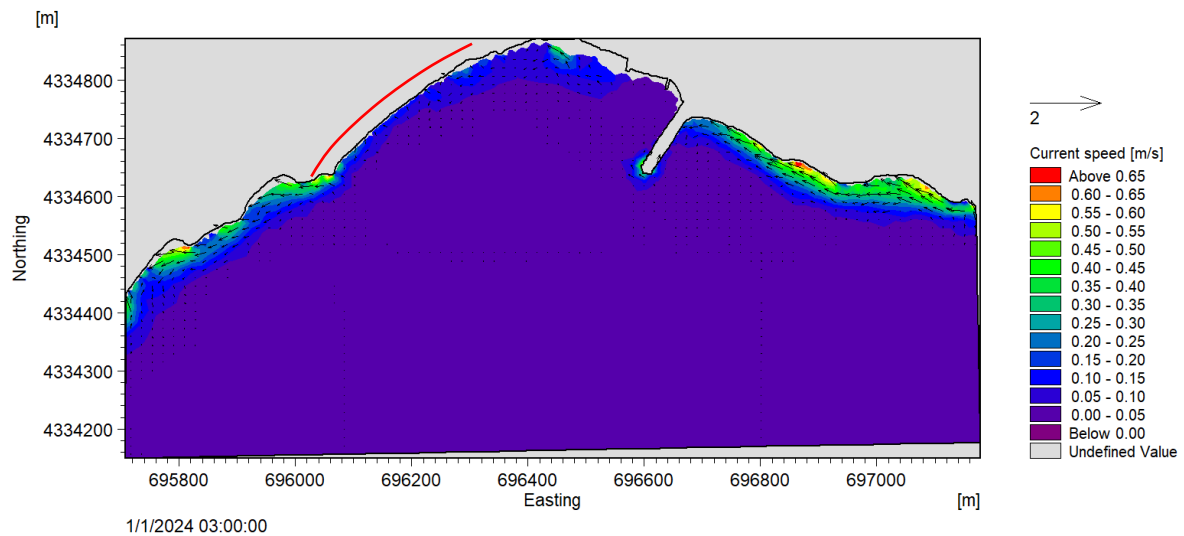
Από την σύγκριση του μεγίστου ανέμου για κάθε διεύθυνση καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ο νότιος και νοτιοανατολικός άνεμος είναι αυτοί που παρουσιάζουν σημαντικές τιμές στις παραμέτρους και είναι πιο εμφανής η σύγκριση. Αυτό συμβαίνει επειδή αυτοί οι άνεμοι εμφανίζονται πιο συχνά και φτάνουν μεγαλύτερα Beaufort σε σχέση με τους άλλους. Η συχνότητα σε συνδυασμό και με το μήκος αναπτύγματος μας δίνουν την μέγιστη δυνατή επιρροή.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν και θα συγκριθούν ο νότιος και νοτιοανατολικός άνεμος για 4 και 5 beaufort αντίστοιχα, για τον λόγο που αναφέραμε προηγουμένως. Οι υπόλοιπες διευθύνσεις ανέμων για τα αντίστοιχα beaufort παραθέτοντας στο Παράρτημα.

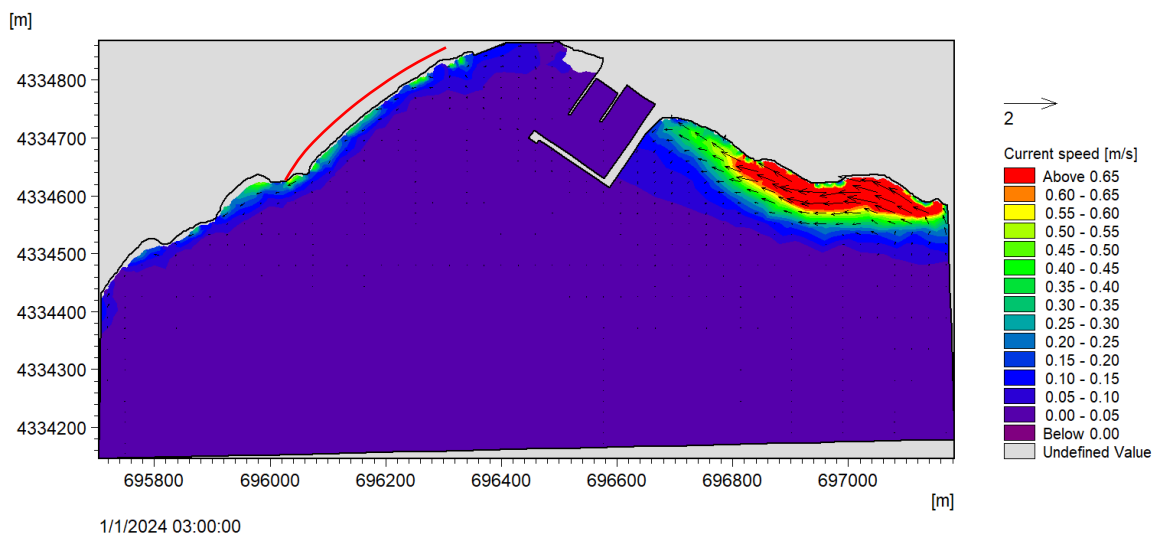
5.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων για 4 Beaufort

Ταχύτητα ρευμάτων (current speed)

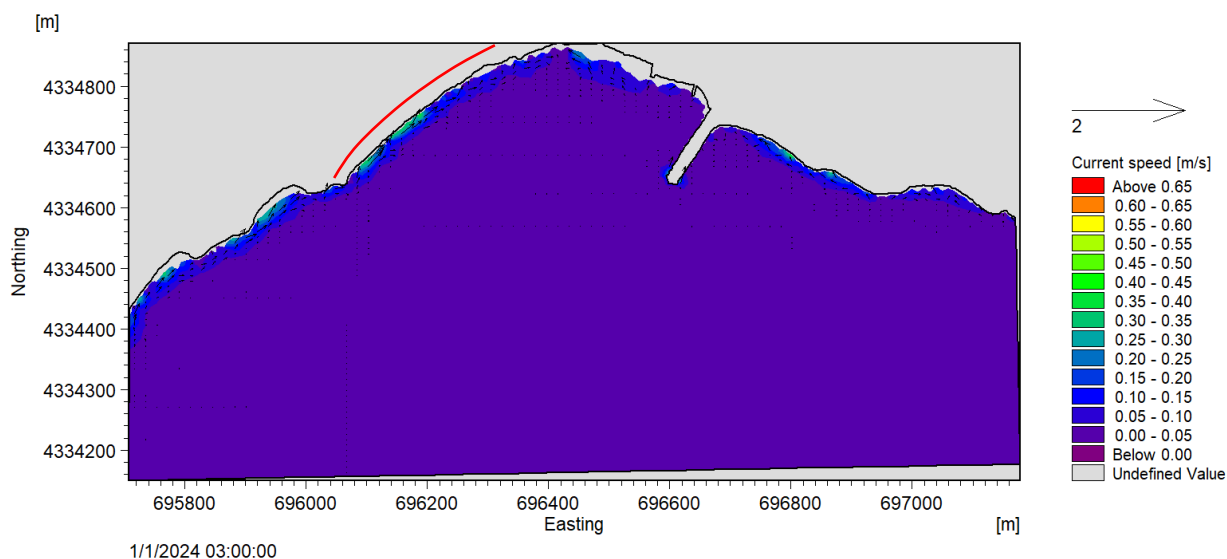
Στις 5.41 και 5.48 παρουσιάζονται οι ταχύτητες ρευμάτων και για τις δυο πιο σημαντικές κατευθύνσεις ανέμων για 4 Beaufort στην περίπτωση του μόλου και του νέο λιμένα. Τα βέλη δείχνουν τη κατεύθυνση των ρευμάτων και το μέγεθός τους είναι ανάλογο της τιμής του ρεύματος.



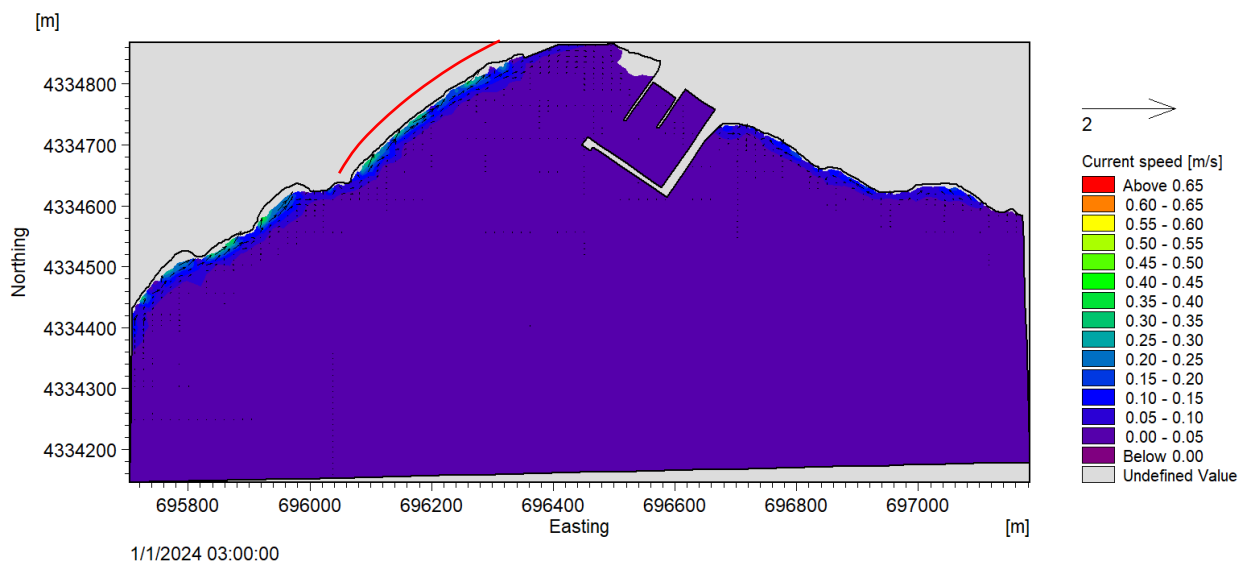
Εικόνα 5.41 Ταχύτητα ρεύματος για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.42 Ταχύτητα ρεύματος για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.



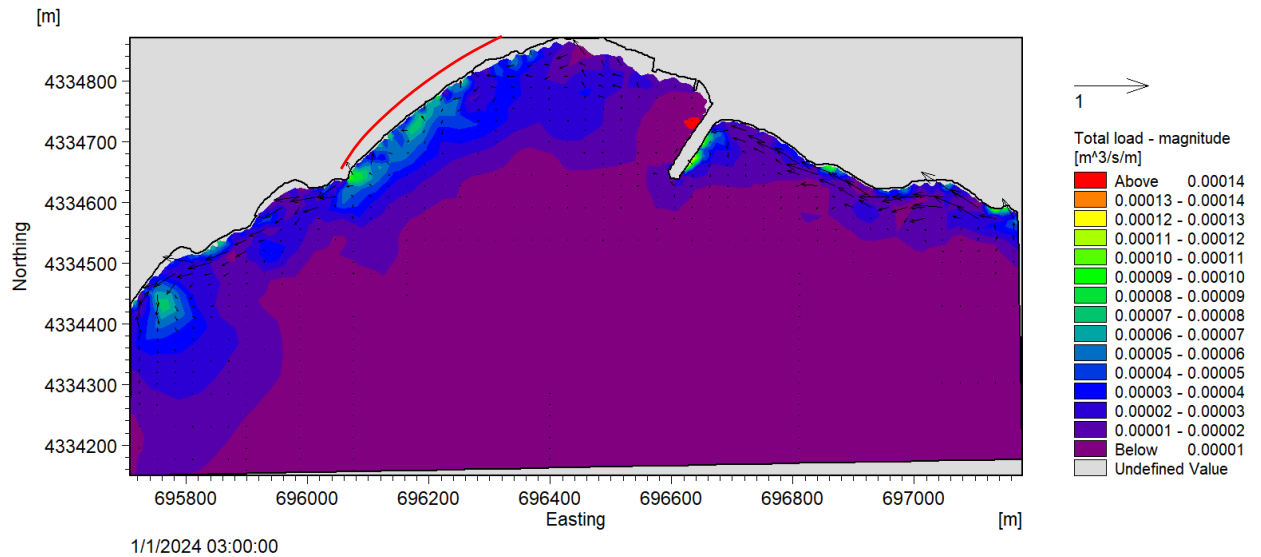
Εικόνα 5.43 Ταχύτητα ρεύματος για Νότιο άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο



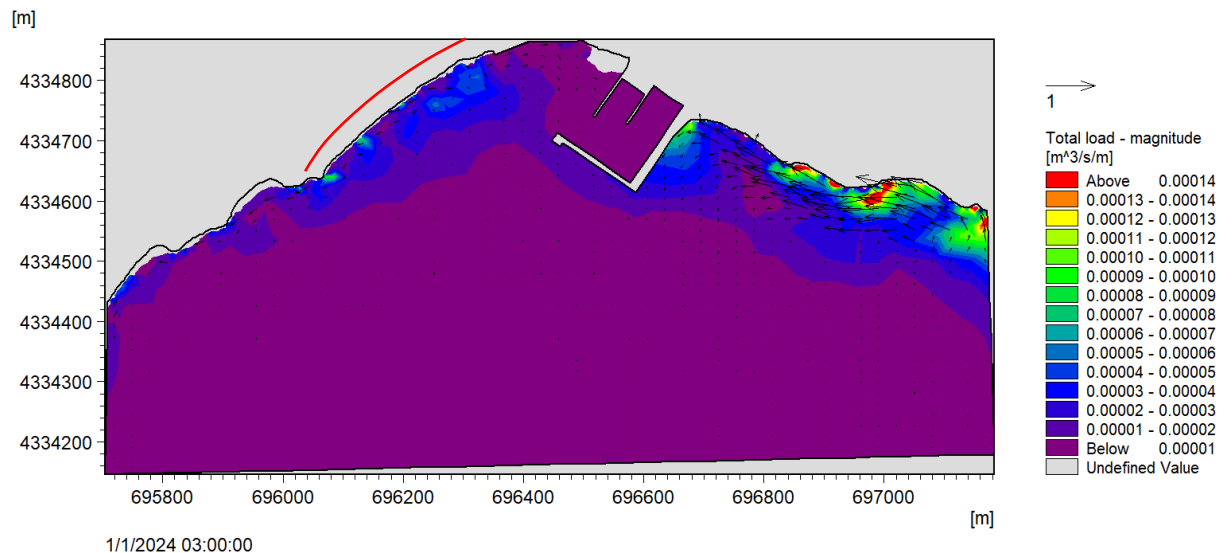
Εικόνα 5.44 Ταχύτητα ρεύματος για Νότιο άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.

Εύρος στερεοπαροχής (Total load – magnitude)

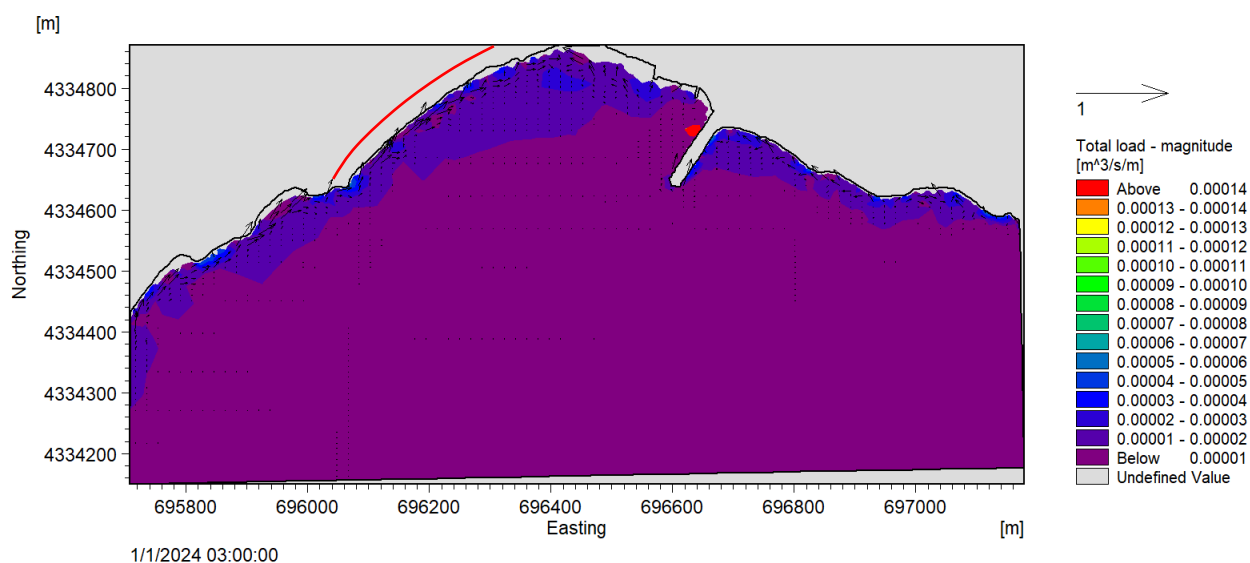
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται το εύρος στερεοπαροχής και για τις δυο κατευθύνσεις ανέμων για 4 Beaufort και για τις δυο περιπτώσεις:



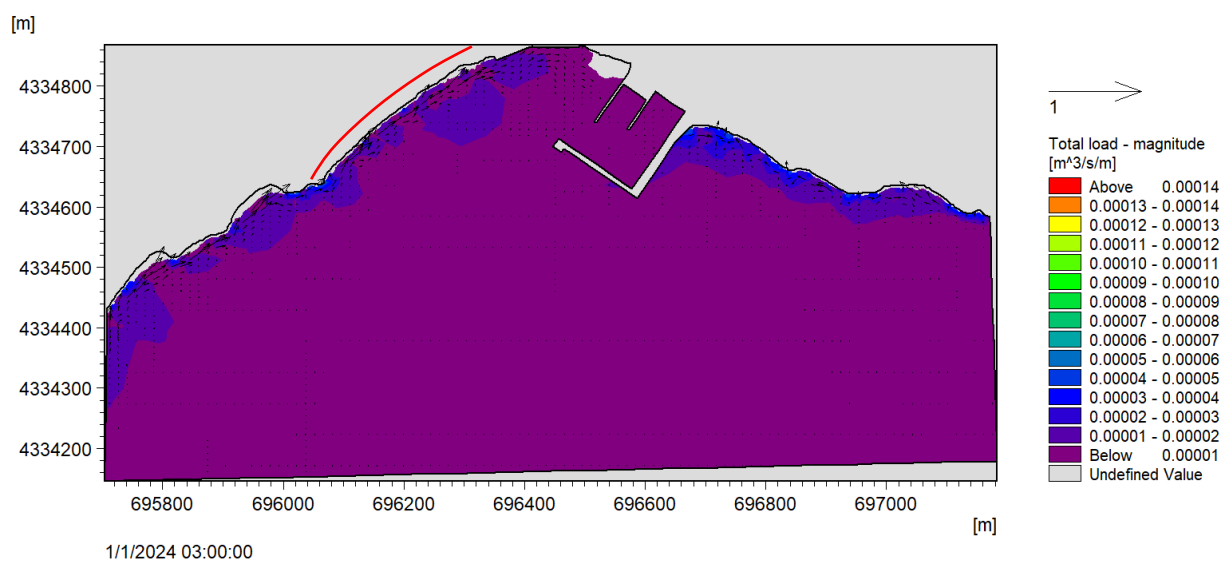
Εικόνα 5.45 Εύρος στερεοπαροχής ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.46 Εύρος στερεοπαροχής ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.

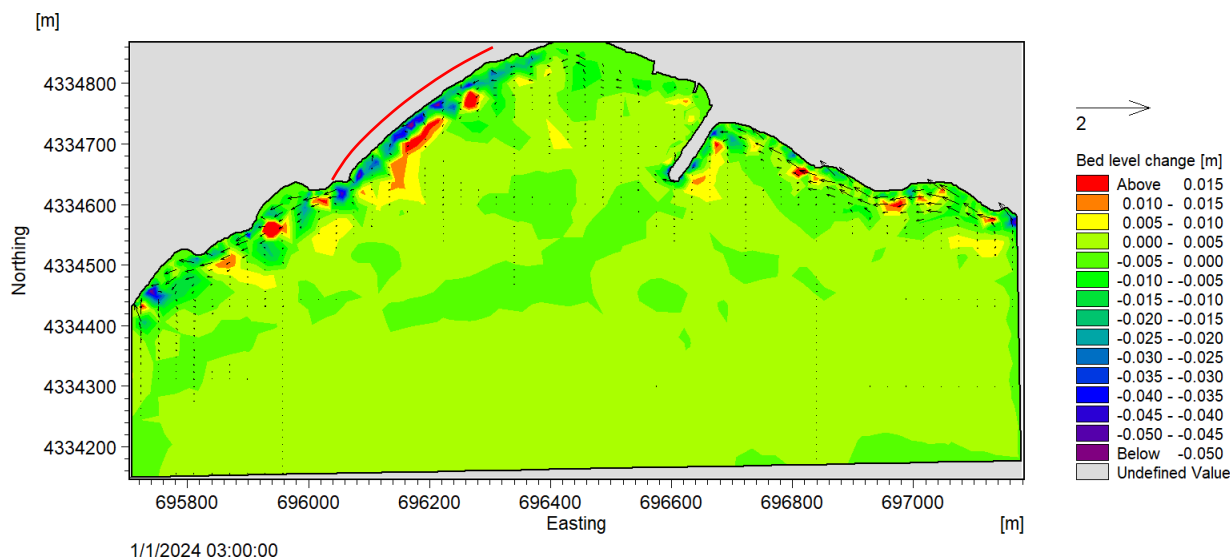


Εικόνα 5.47 Εύρος στερεοπαροχής ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) για Νότιο άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.

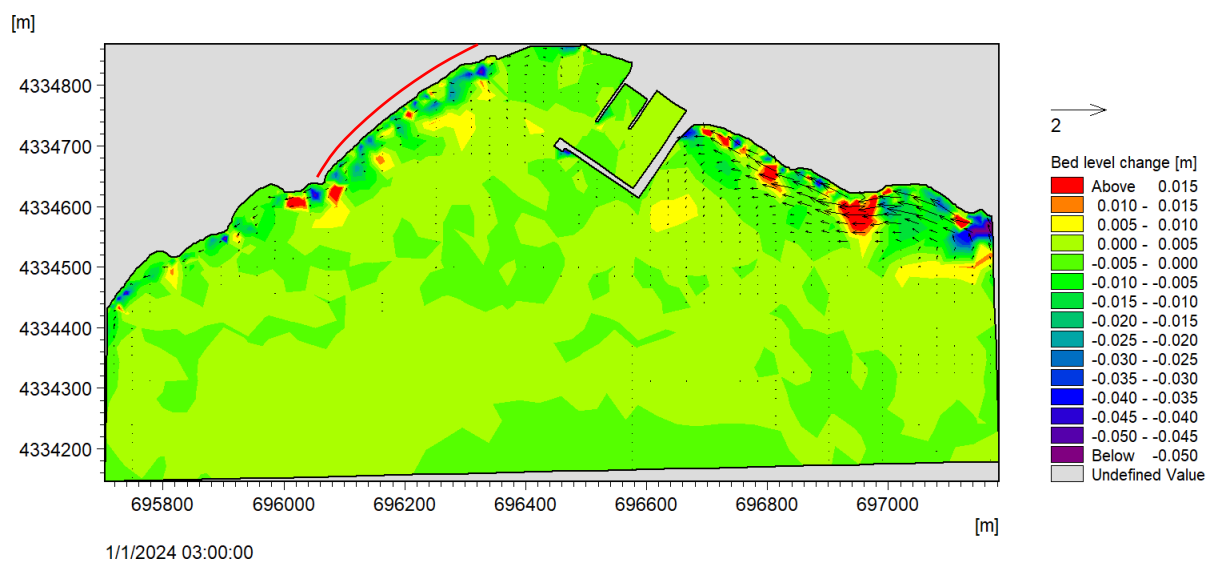


Εικόνα 5.48 Εύρος στερεοπαροχής ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) για Νότιο άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.

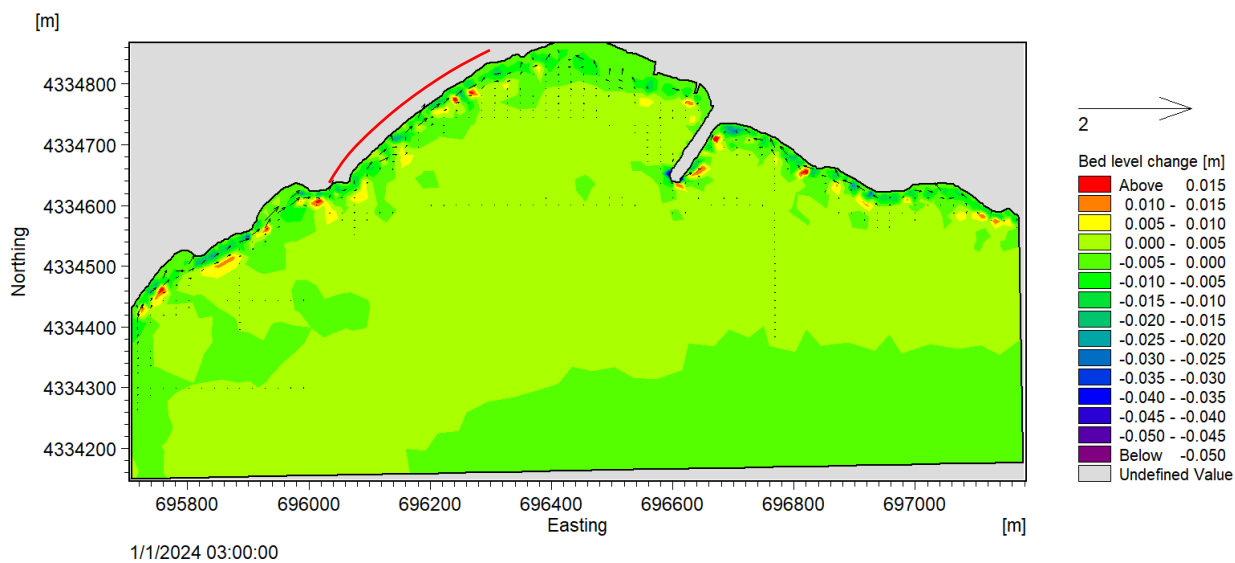
Μεταβολή στάθμη πυθμένα (Bed level change)



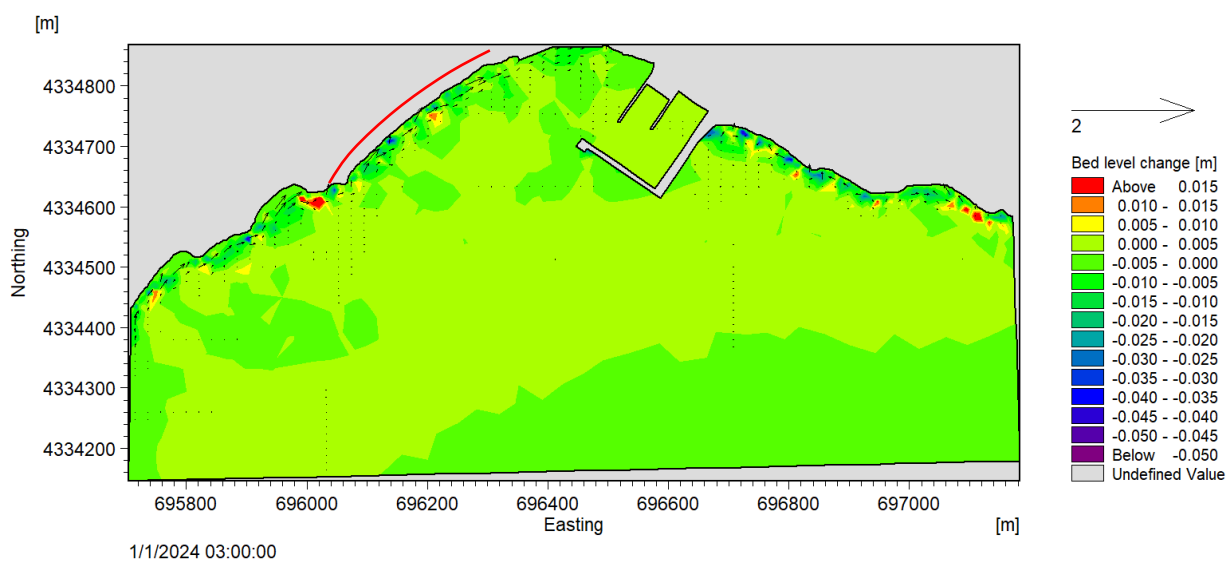
Εικόνα 5.49 Bed Level Change για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.50 Bed Level Change για Νοτιοανατολικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.



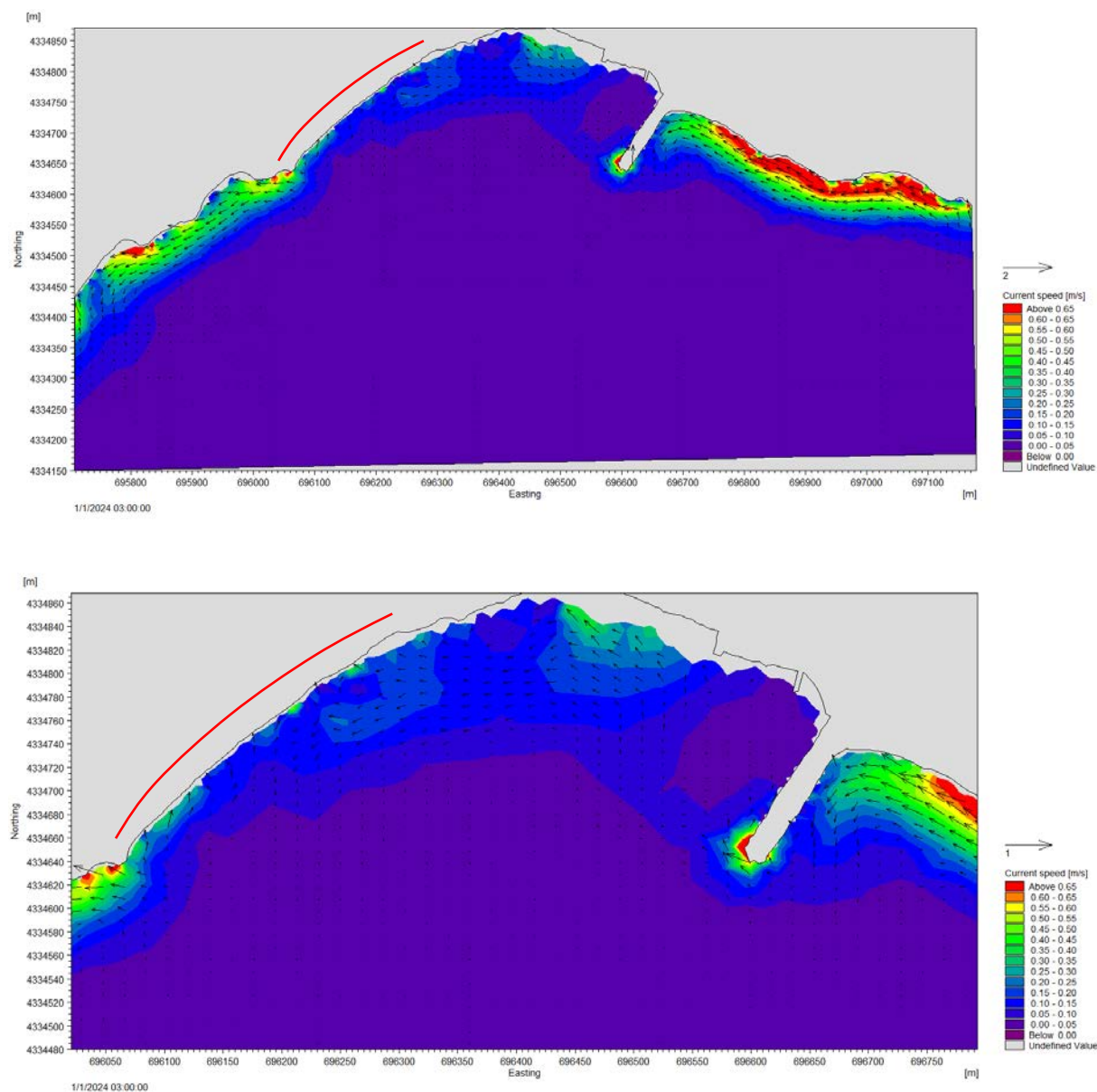
Εικόνα 5.51 Bed Level Change για Νότιο άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



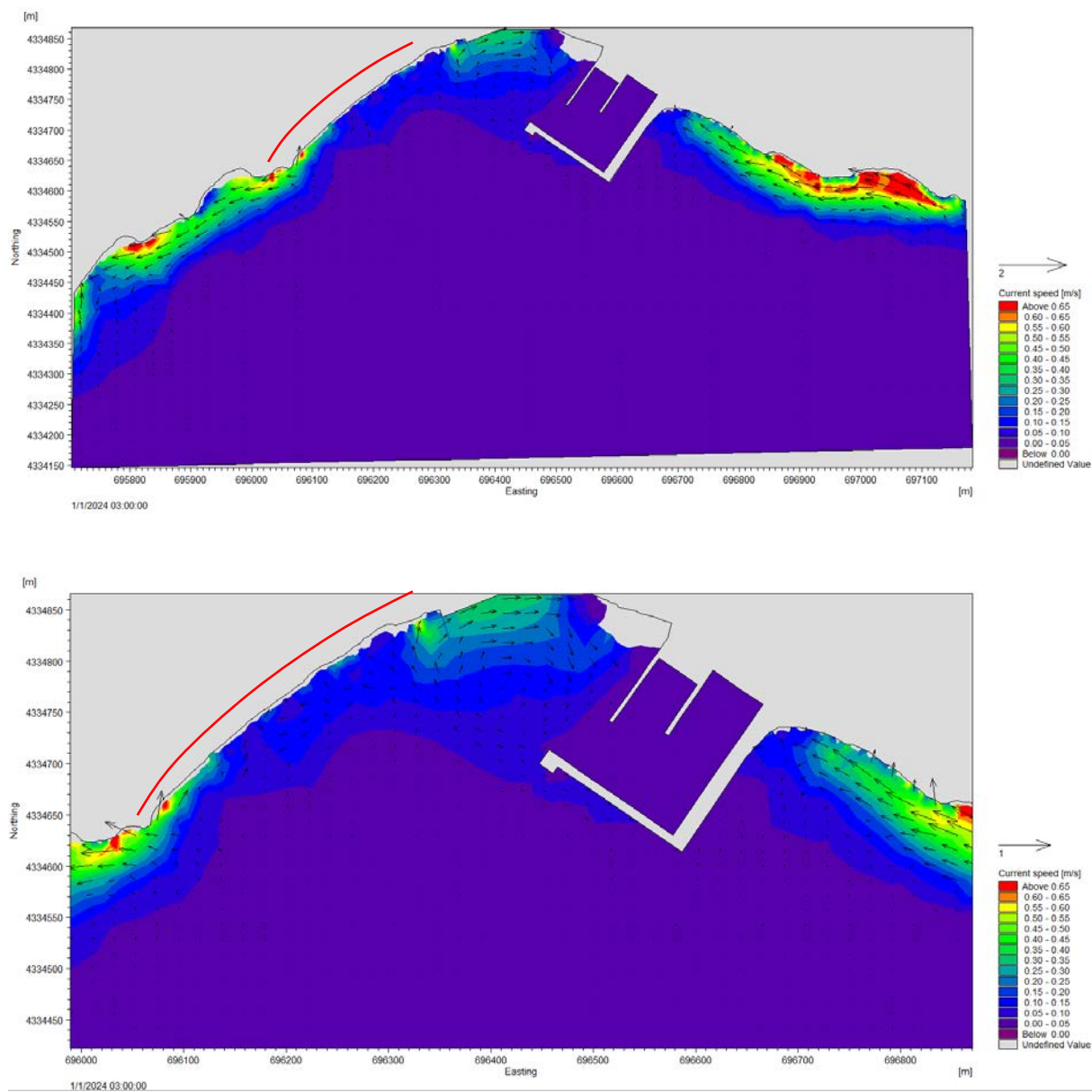
Εικόνα 5.52 Bed Level Change για Νότιο άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.

5.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων για 5 Beaufort

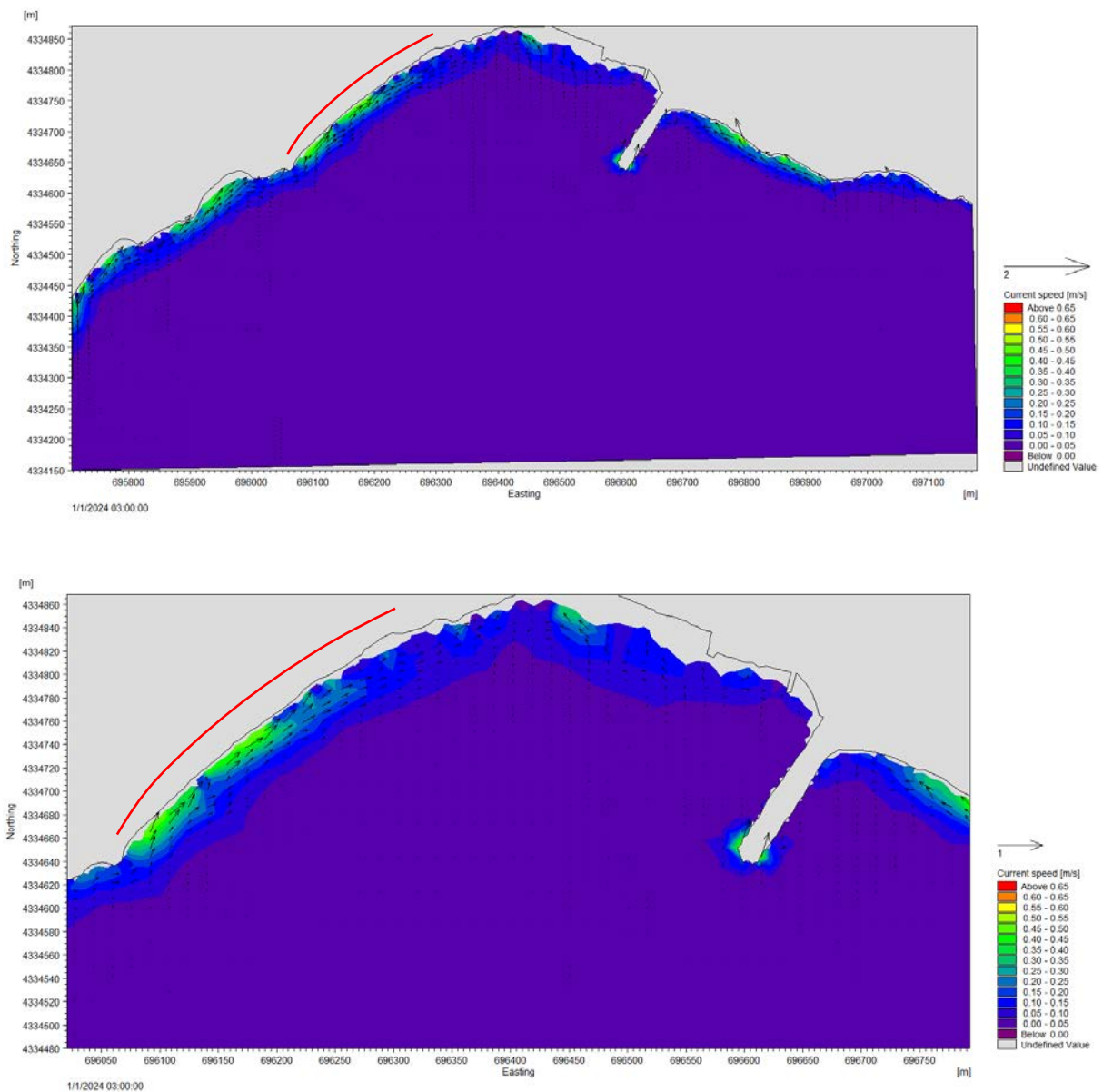
Ταχύτητα ρευμάτων (current speed)



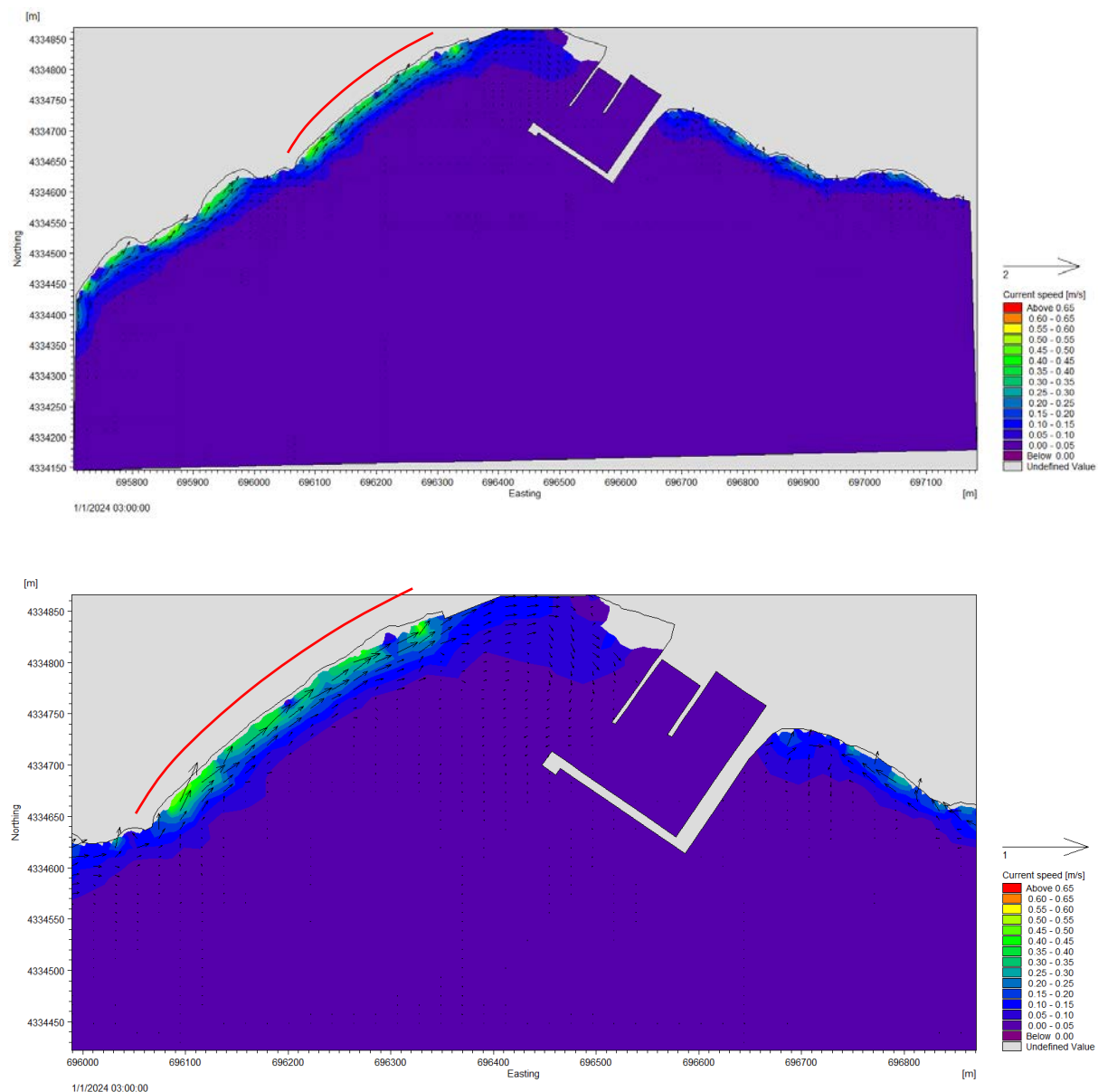
Εικόνα 5.53 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.54 Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

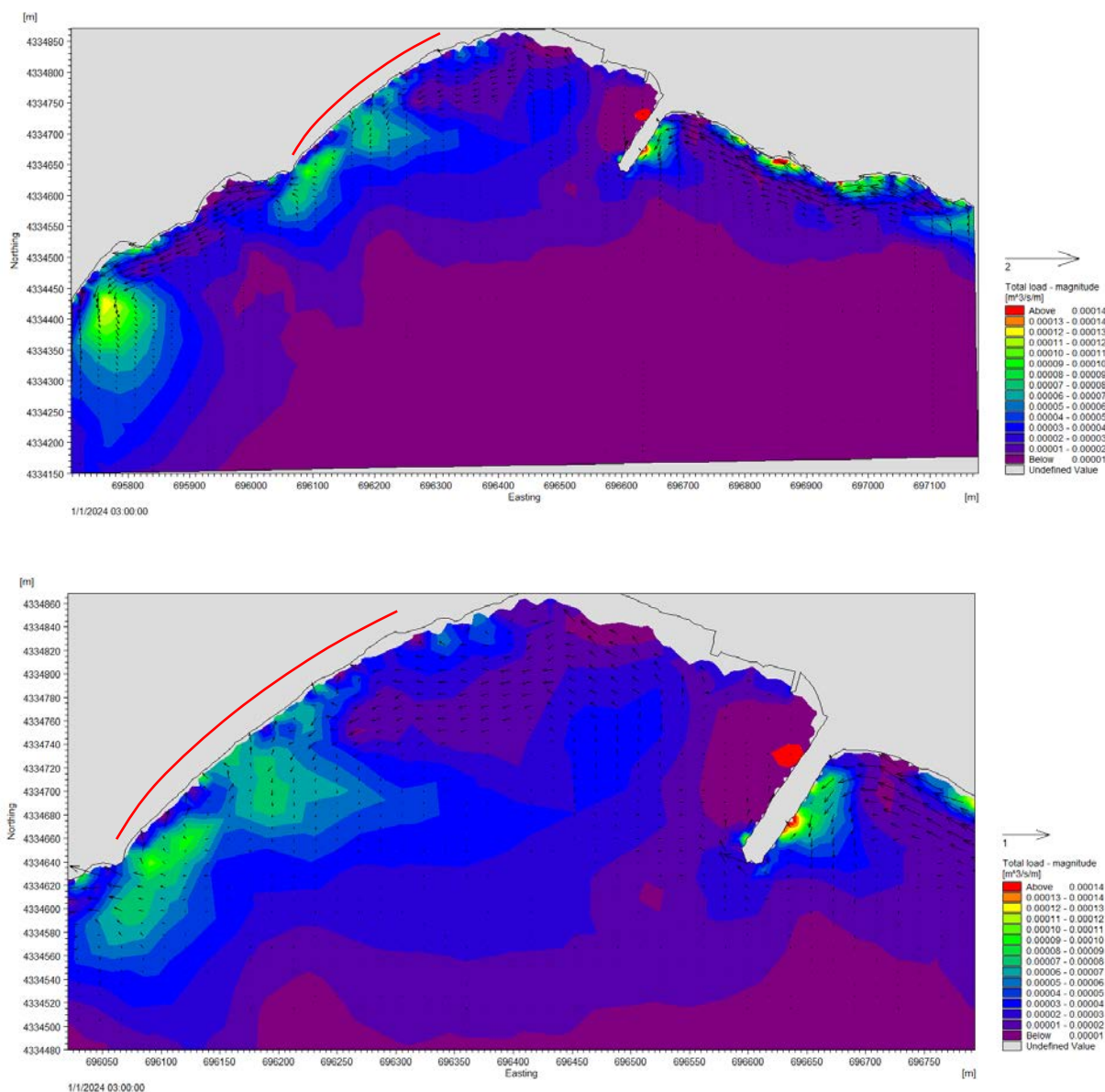


Εικόνα 5.55 Ταχύτητα ρεύματος για νότιο άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.

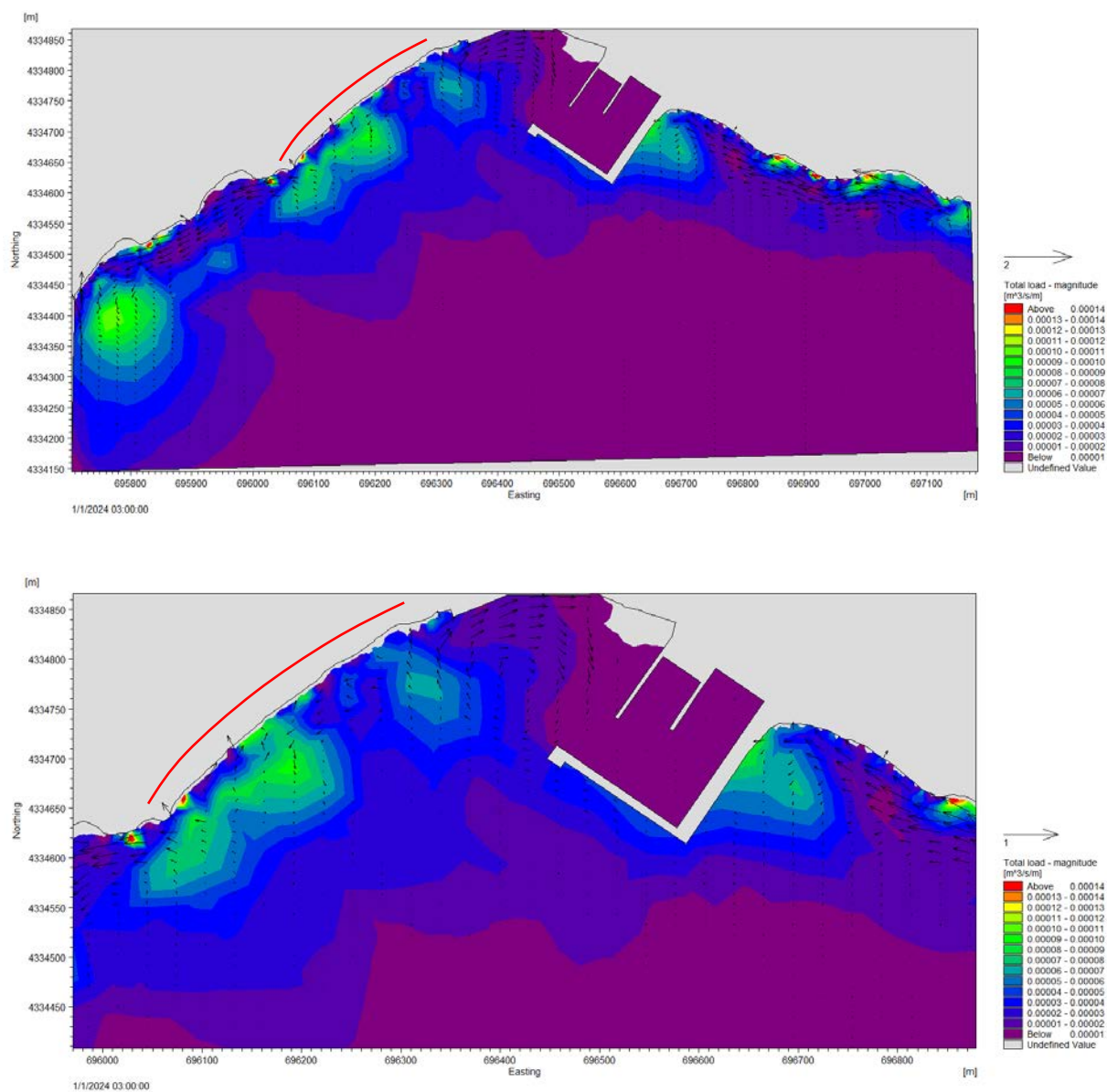


Εικόνα 5.56 Ταχύτητα ρεύματος για νότιο άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

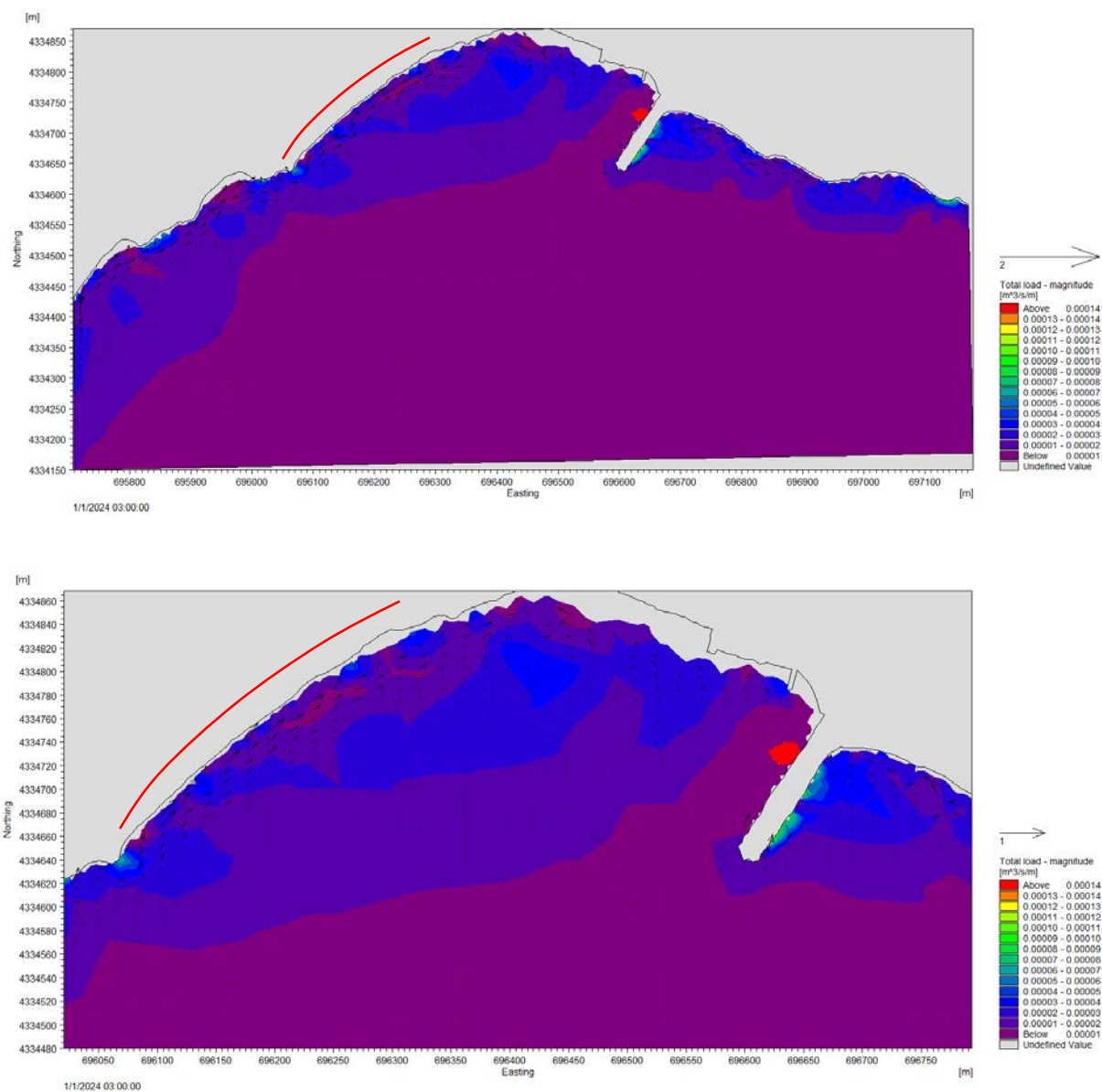
Εύρος στερεοπαροχής (Total load – magnitude)



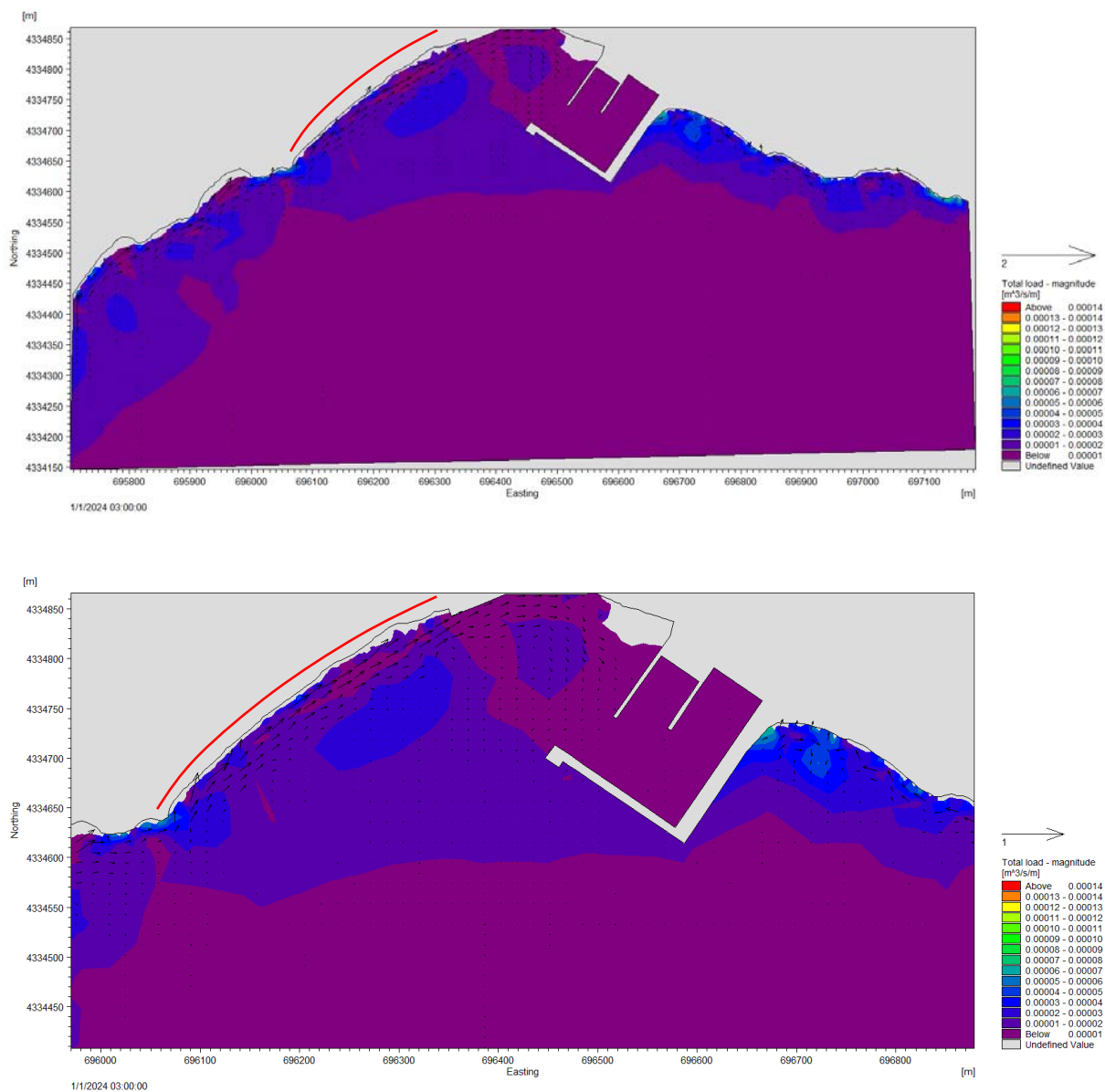
Εικόνα 5.57 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.58 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

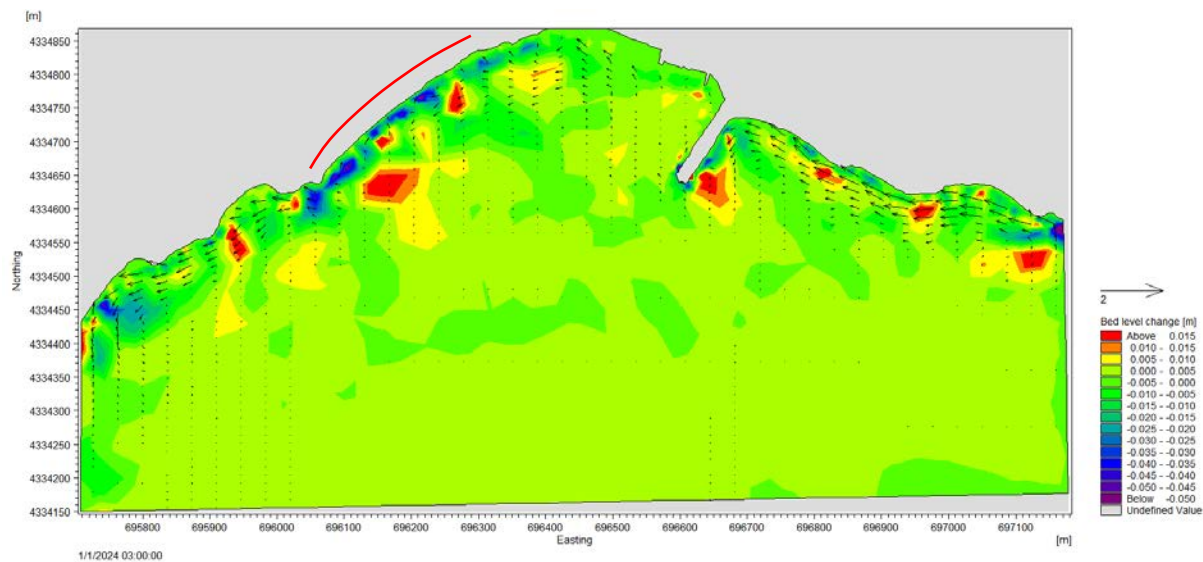


Εικόνα 5.59 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νότιο άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.

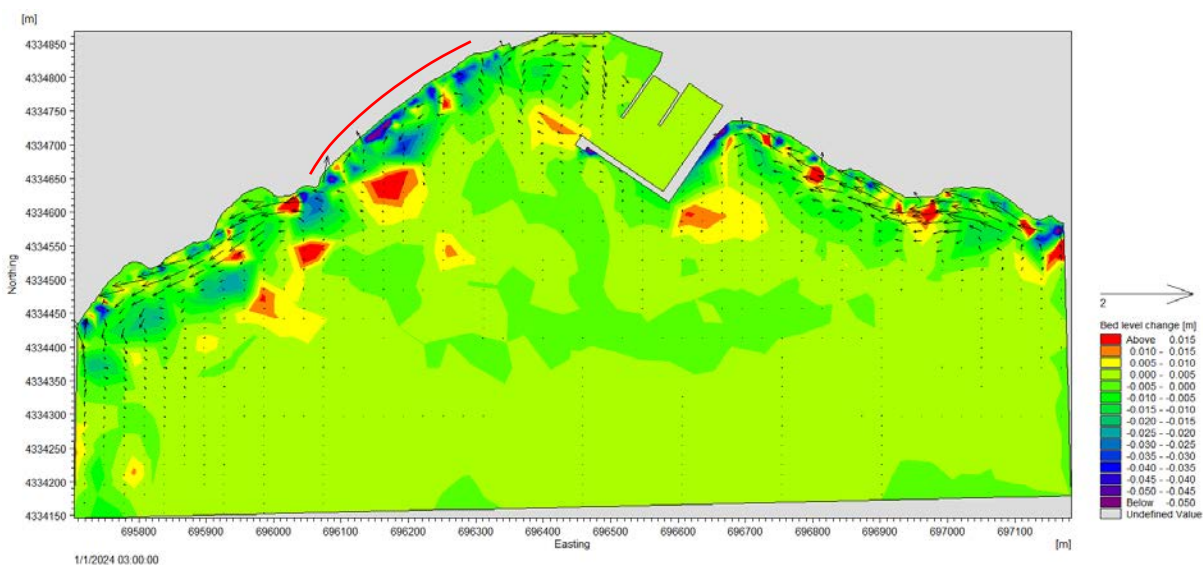


Εικόνα 5.60 Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νότιο άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

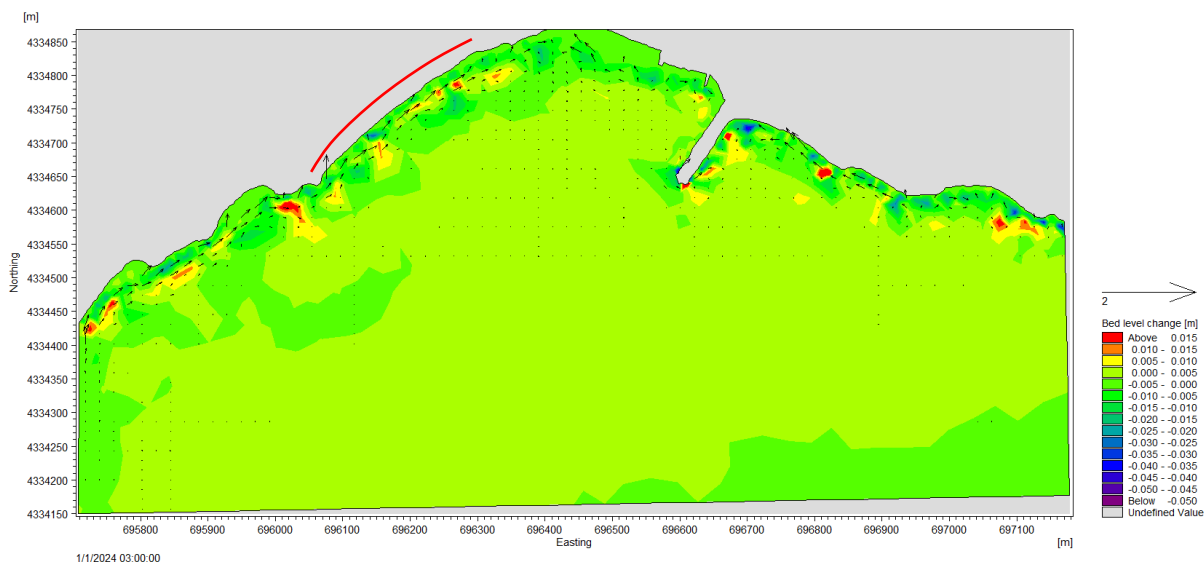
Μεταβολή στάθμη πυθμένα (Bed level change)



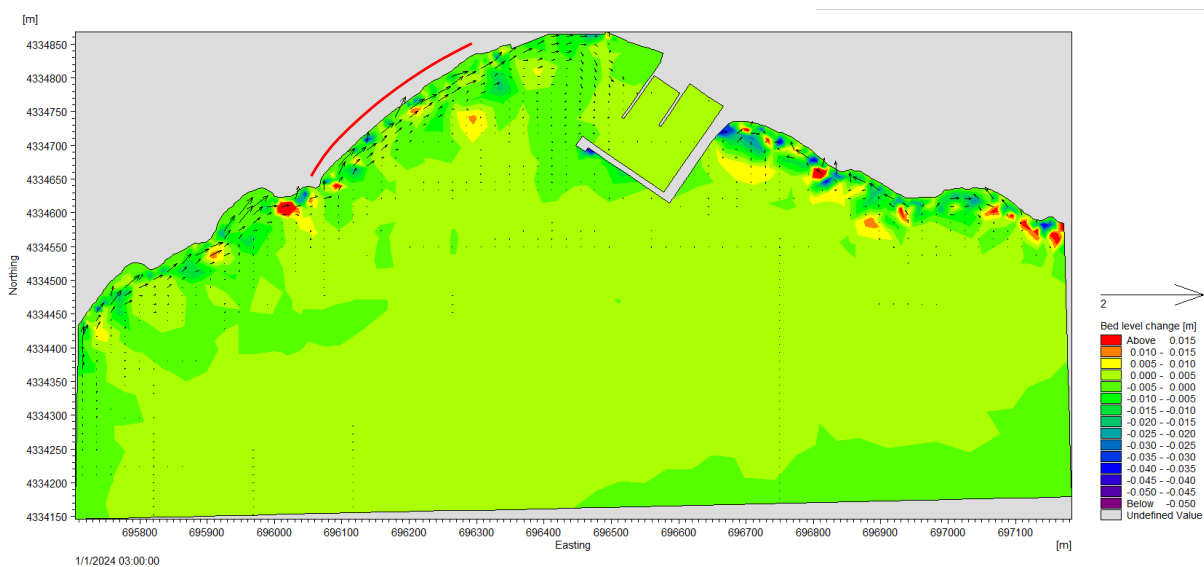
Εικόνα 5.61 Bed Level Change για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



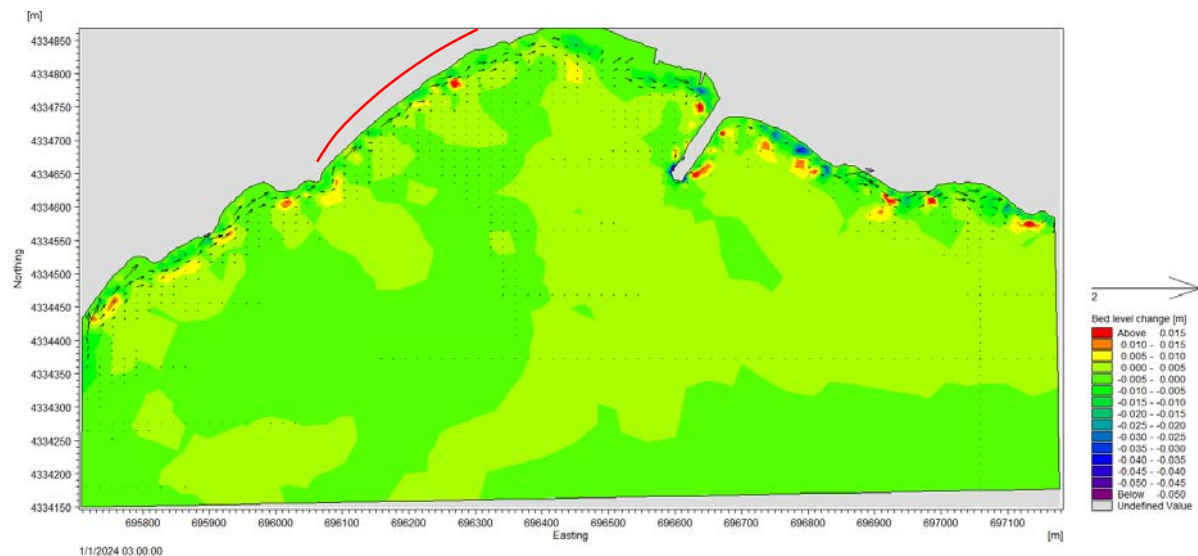
Εικόνα 5.62 Bed Level Change για νοτιοανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



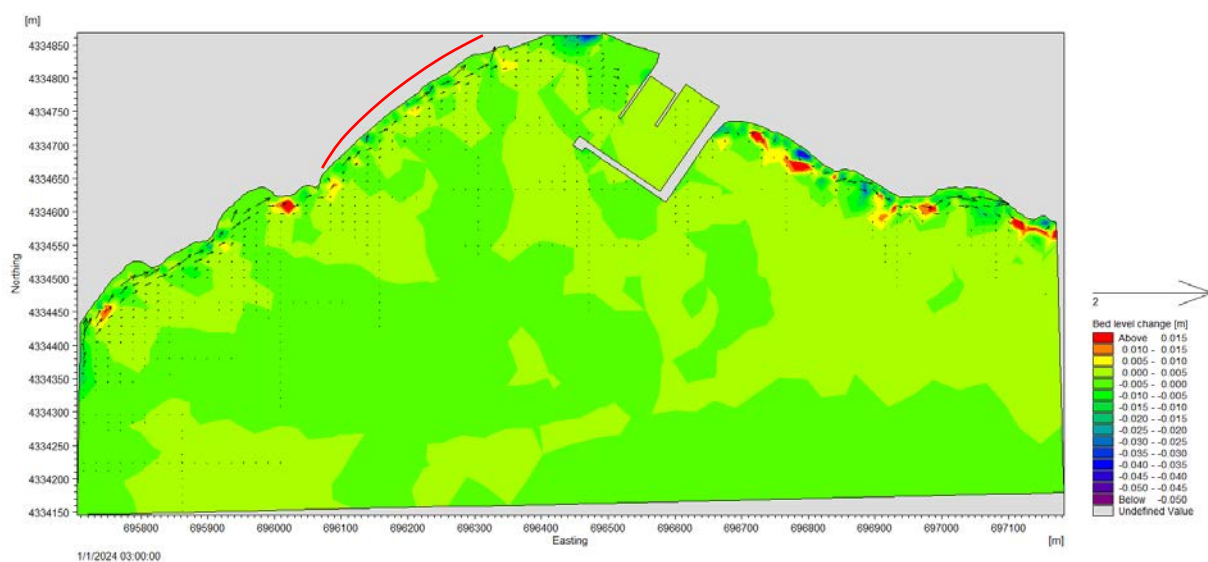
Εικόνα 5.63 Bed Level Change για νότιο άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.64 Bed Level Change για νότιο άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



Εικόνα 5.65 Bed Level Change για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Εικόνα 5.66 Bed Level Change για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα – Προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

Βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνήσει πώς θα αλλάξουν το κυματικό και το υδροδυναμικό πεδίο στο λιμάνι του Πλατανιά Πηλίου, καθώς και να κατανοήσει τις κινήσεις των φερτών υλικών στην περιοχή.

Η κατασκευή του αρχικού μόλου το 1985 στον Πλατανιά είχε σημαντικές και αρνητικές επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη της περιοχής. Ο μόλος φαίνεται να προκάλεσε διάβρωση στην δυτική παραλία, ενώ στην ανατολική πλευρά του μόλου σημειώθηκε συσσώρευση φερτών υλικών, δημιουργώντας μια νέα παραλία. Αυτές οι αλλαγές προκάλεσαν μεταβολές της ακτογραμμής, επηρεάζοντας αρνητικά τη φυσική ροή των παράκτιων ρευμάτων και δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα τόσο στη δυτική παραλία, η οποία αντιμετωπίζει κίνδυνο διάβρωσης, όσο και στην εκβολή του χειμάρρου λόγω της συσσώρευσης φερτών υλικών.

Η κατασκευή του νέου λιμανιού, το οποίο αποτελεί κάθετη επέκταση του αρχικού μόλου, αναμένεται να επιδεινώσει περαιτέρω την κατάσταση. Παρόλο που οι αρνητικές επιπτώσεις δεν είναι τόσο έντονες όσο αναμένονταν, η διάβρωση και η μείωση του πλάτους της παραλίας θα συνεχιστούν. Επιπλέον, οι στροβιλισμοί ρευμάτων μπροστά στην είσοδο του νέου λιμένα, στον υπήνεμο μόλο, θα οδηγήσουν σε εναποθέσεις υλικών (ιζημάτων), δημιουργώντας προβλήματα στην πλεύση και καθιστώντας αναγκαίες τις βυθοκορήσεις. Η συχνότητα και το κόστος αυτών των εργασιών παραμένουν αβέβαια, καθώς δεν έχει γίνει ολοκληρωμένη έρευνα για να προσδιοριστούν επακριβώς.

Επιπλέον, δεν έχει ληφθεί υπόψη η ροή του χειμάρρου του Πλατανιά, ο οποίος αποτελεί σημαντική πηγή φερτών υλικών στην είσοδο του νέου λιμένα. Αυτή η παράβλεψη εγείρει αμφιβολίες σχετικά με τη μακροπρόθεσμη λειτουργικότητα και βιωσιμότητα του νέου λιμανιού. Συνολικά, τα δεδομένα δείχνουν ότι το νέο λιμάνι πιθανότατα θα

αντιμετωπίσει προκλήσεις που θα επηρεάσουν την αποτελεσματική λειτουργία του και την ανάγκη για συνεχείς παρεμβάσεις συντήρησης και διαχείρισης των φερτών υλικών.

Η κατασκευή και η επέκταση των λιμενικών έργων στο Πλατανιά Πηλίου έχουν προκαλέσει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη βιώσιμη ανάπτυξη της περιοχής. Οι μεταβολές στην ακτογραμμή και η διάβρωση των παραλιών απαιτούν συστηματική παρακολούθηση και ενδεχομένως την εφαρμογή μέτρων για την προστασία της ακτής και την διαχείριση των φερτών υλικών.

6.2 Περαιτέρω Έρευνα

Για την περαιτέρω έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις της κατασκευής του νέου λιμανιού στον Πλατανιά, προτείνεται η εκπόνηση ορισμένων κρίσιμων μελετών.

Αρχικά, θα ήταν χρήσιμος ο υπολογισμός της ετήσιας διάβρωσης, καθώς και η ανάλυση της επαλληλίας φερτών υλικών που επηρεάζουν την παράκτια ζώνη. Επίσης, θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμο να εξεταστούν οι κοινές επιπτώσεις του χείμαρρου και της κατασκευής του νέου λιμανιού τόσο στο κυματικό πεδίο όσο και στο υδροδυναμικό πεδίο της περιοχής. Αυτή η μελέτη θα μας δώσει μια ολοκληρωμένη κατανόηση των ρευμάτων και των κυματικών δράσεων. Τέλος, λόγω των προβλημάτων που προκύπτουν από το νέο λιμάνι, θα ήταν σκόπιμο να προταθεί μια εναλλακτική χωροθέτηση και σχεδίαση, προκειμένου να προταθεί μια λύση που θα ήταν πιο αποδοτική και λιγότερο επιβαρυντική για το περιβάλλον και την παράκτια ζώνη, ακόμη και αν το νέο λιμάνι έχει ήδη κατασκευαστεί.

Βιβλιογραφία

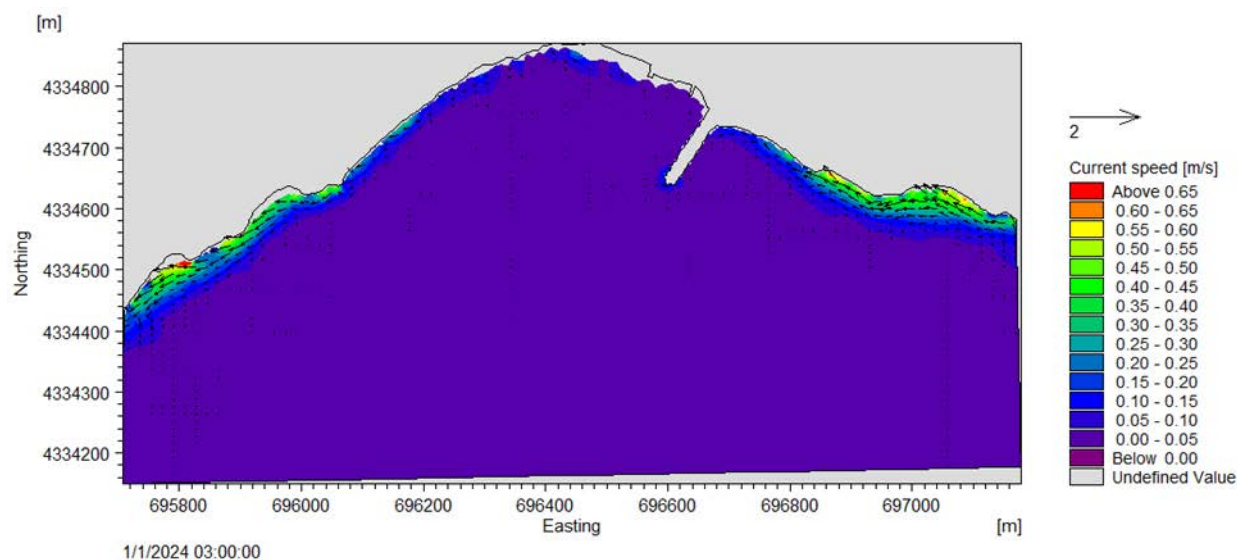
- Αλεξίου Ε., (2014), Σχεδίαση θωρακικής εξωτερικών λιμενικών έργων με πρηνή με τον τύπο του Van Der Meer, διπλωματική εργασία.
- Βαβάκας Κ., (2019), ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟ ΛΙΜΕΝΑ ΤΗΣ ΜΕΘΩΝΗΣ, διπλωματική εργασία.
- D.H.I (2007), MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM Sand Transport Module Short Description. Danish Hydraulic Institute.
- D.H.I. (2013), MIKE 21 SW FM User Guide and Scientific Documentation. Danish Hydraulic Institute.
- D.H.I. (2014), MIKE Littoral Processes FM User Guide and Scientific Documentation. Danish Hydraulic Institute.
- D.H.I. (2015), MIKE 21 HD FM User Guide and Scientific Documentation. Danish Hydraulic Institute.
- D.H.I. (2017), MIKE21 SW FM Short Description. Danish Hydraulic Institute.
- D.H.I. (2020), MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Sand Transport Module Scientific Documentation. Danish Hydraulic Institute.
- D.H.I. (2024), MIKE 21/3 Coupled Model FM User Guide. Danish Hydraulic Institute.
- Καραμπάς Θ., Κρεστενίτης Ι. και Κουτίτας Χ. (2015), Ακτομηχανική-Έργα Προστασίας Ακτών, κεφ. Παράκτια Στερεομεταφορά, Μορφοδυναμική των ακτών, Διάβρωση ακτών, Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- Κατσαρδή Β., Σπηλιωτόπουλος Γ., Γεωργιάδου Β., Μπαλάφας Θ., Κωστούλα Μ., Τζήμα Α., Τσίαρα Χ. (2024), «Αριθμητική προσομοίωση εξέλιξης της ακτογραμμής της παραλίας Χορευτού Ζαγοράς Πηλίου, Τεχνική Μελέτη
- Μέμος Κ., (2008), Εισαγωγή στα λιμενικά έργα.
- Μουτζούρης, Κ.Ι., (2009) Θαλάσσια Υδραυλική.

Παπάζογλου Κ.,(2015) Η Επίδραση της ρήχωσης στα χαρακτηριστικά ανεμογενών κυματισμών, διπλωματική εργασία.

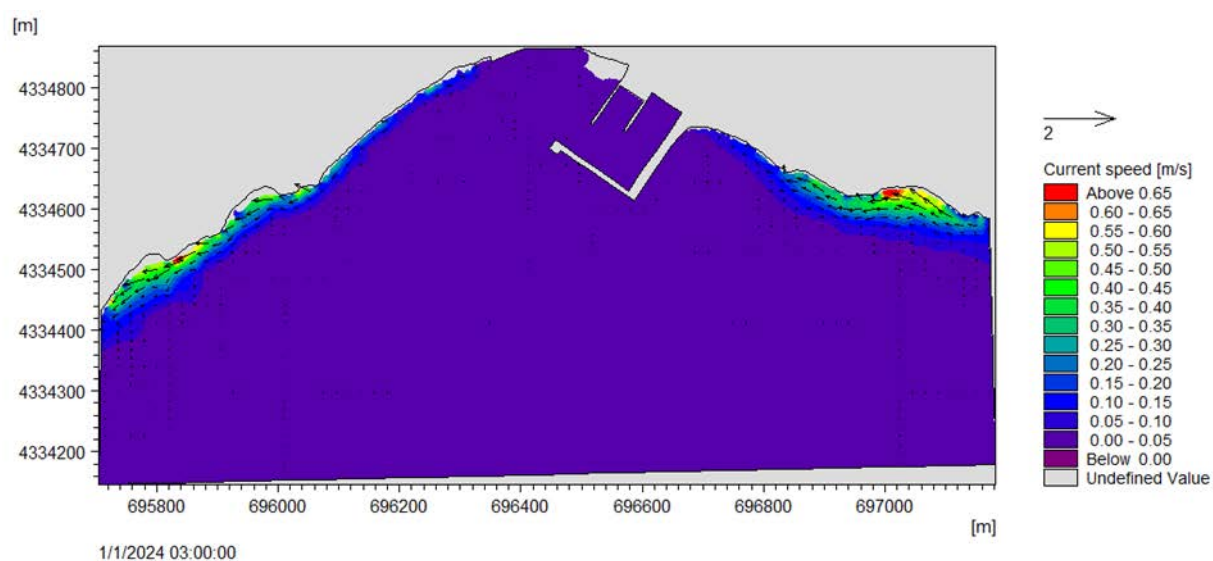
Σταματιάδης Α., (2019) Αριθμητική προσομοίωση ανεμογενών κυματισμών και σύγκριση με μαθηματικές εξισώσεις, διπλωματική εργασία.

Παράρτημα Α

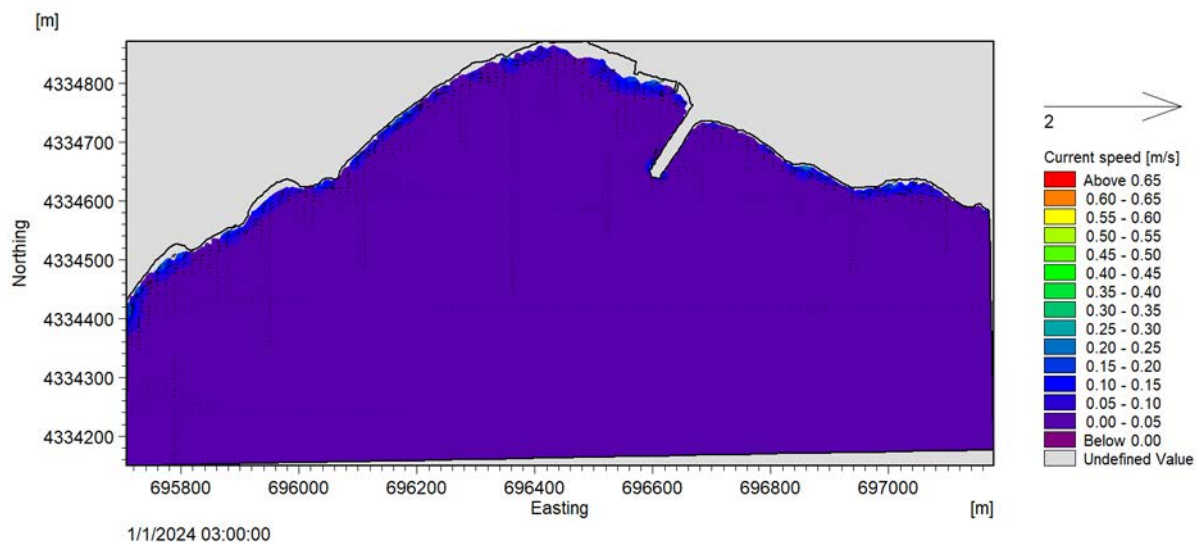
Αποτελέσματα Προσομοίωσης



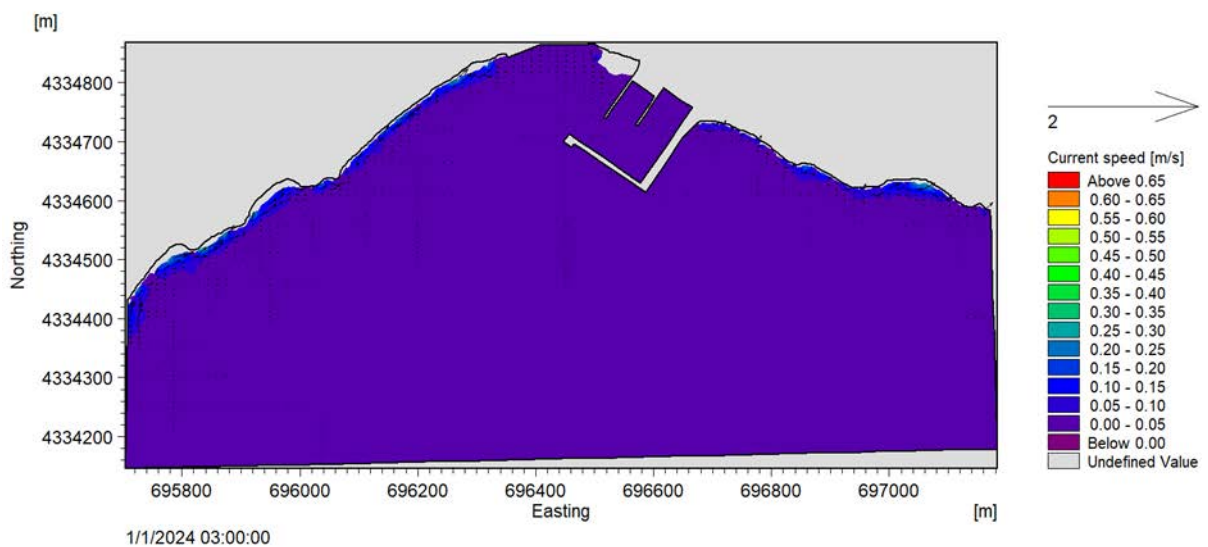
Ταχύτητα ρεύματος για Ανατολικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



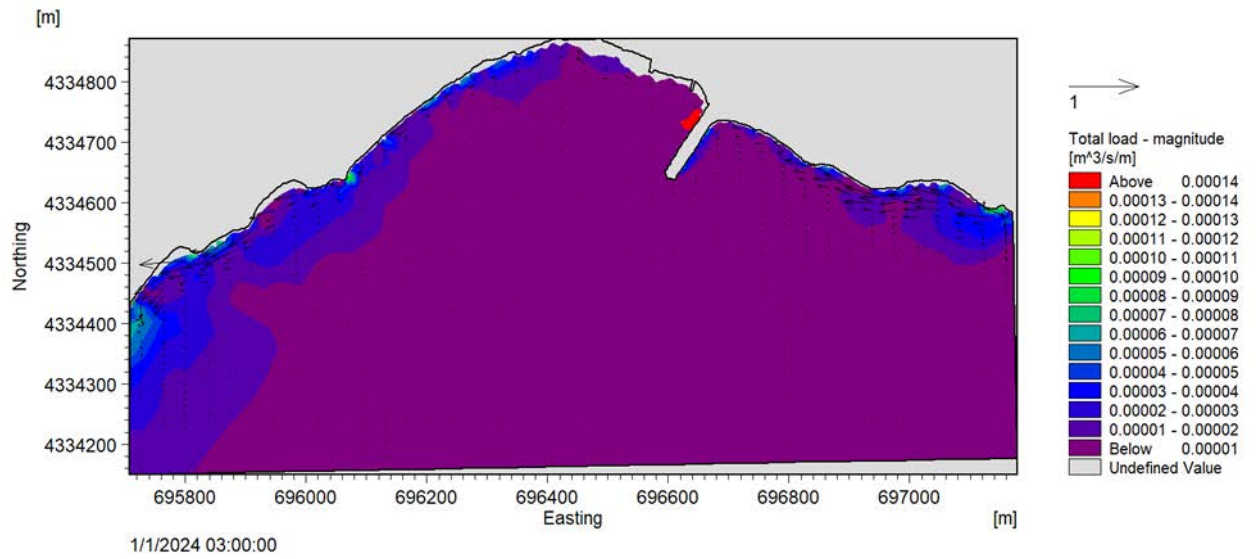
Ταχύτητα ρεύματος για Ανατολικό άνεμο 4 BF με το νέο λιμάνι



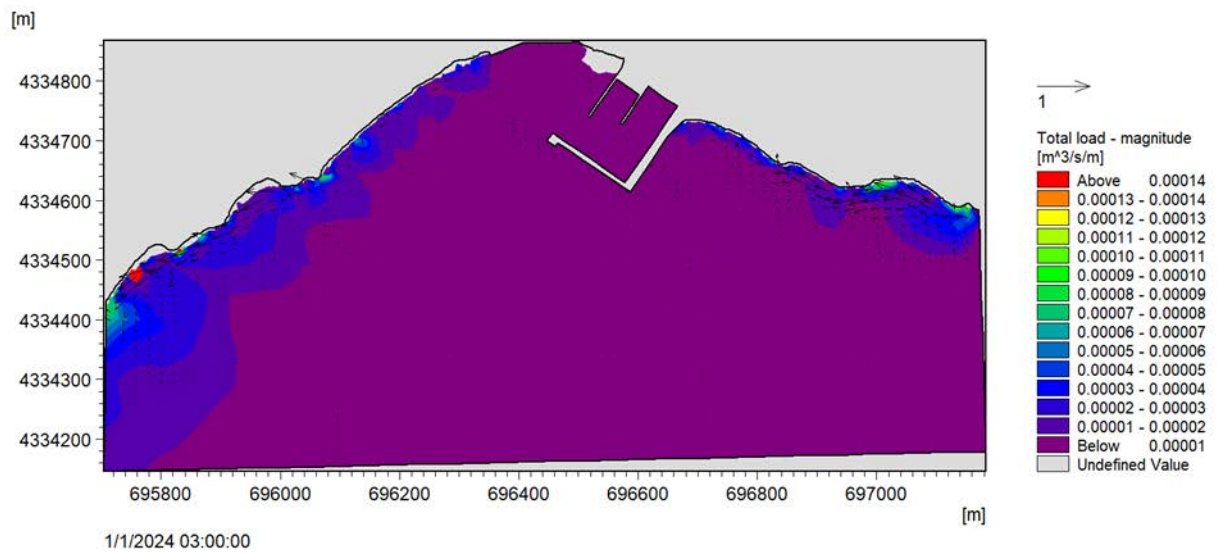
Ταχύτητα ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο



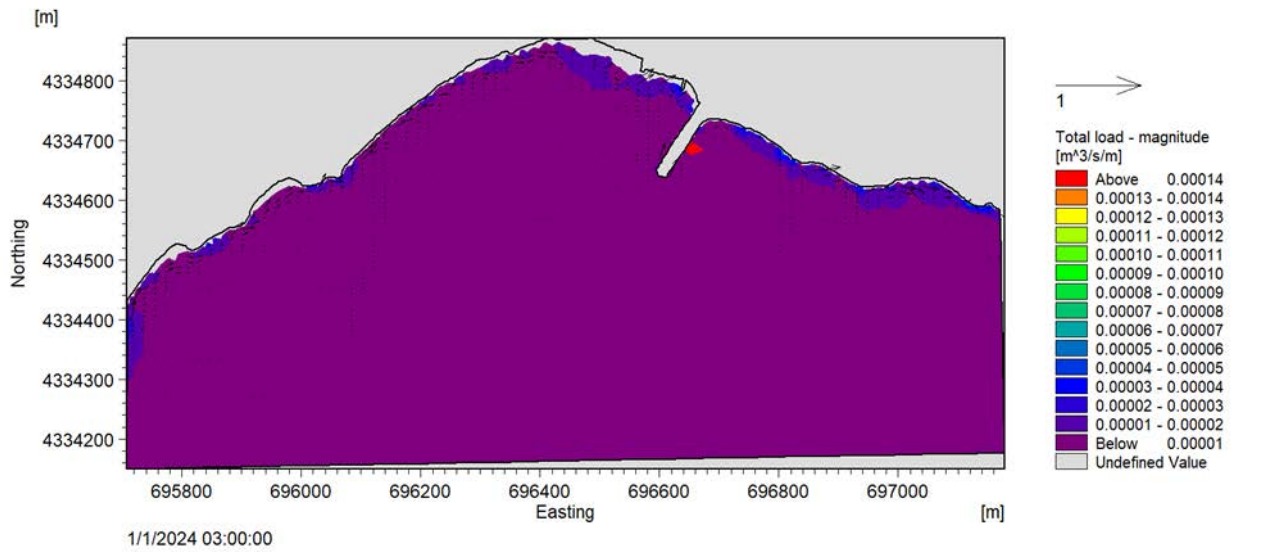
Ταχύτητα ρεύματος για Νοτιοδυτικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι



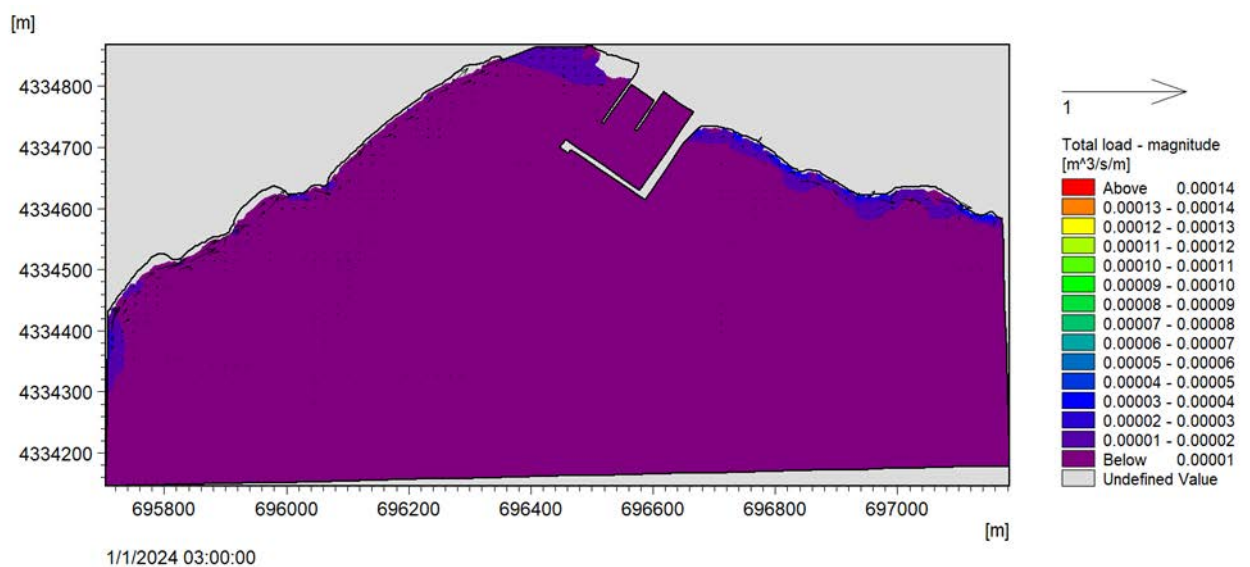
Εύρος στερεοπαροχής ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) για Ανατολικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



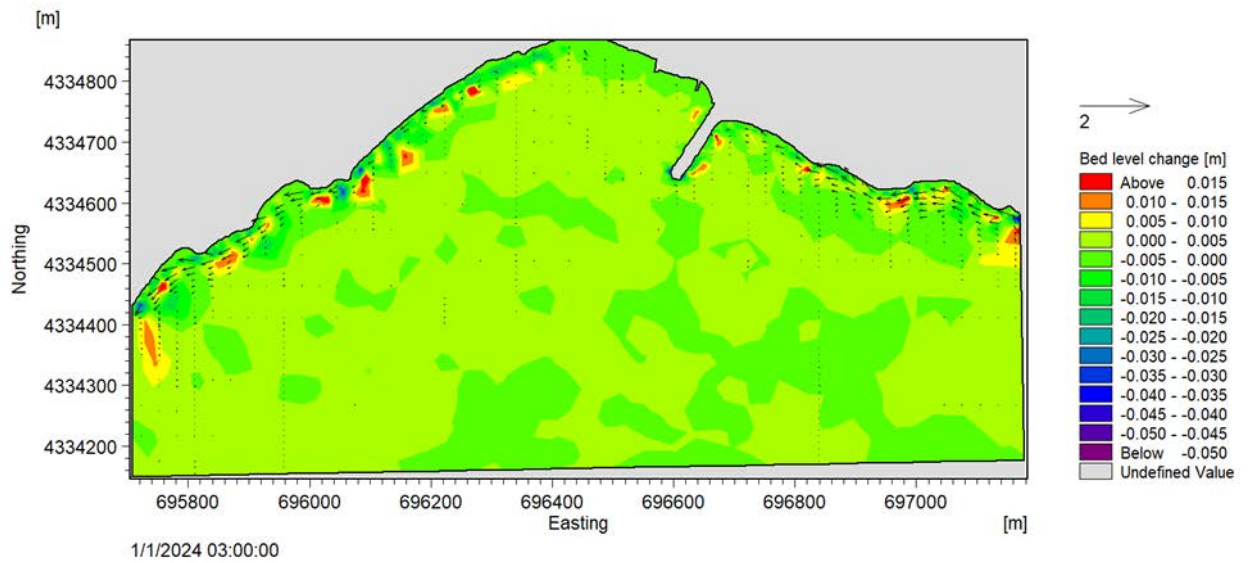
Εύρος στερεοπαροχής ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) για Ανατολικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.



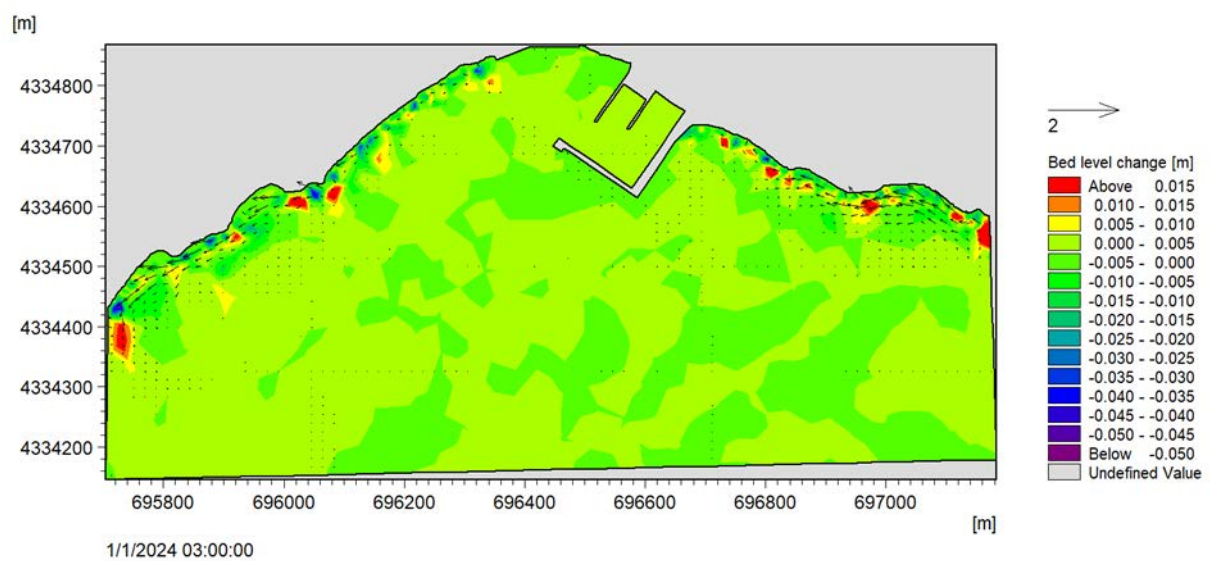
Εύρος στερεοπαροχής ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) για Νοτιοδυτικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο



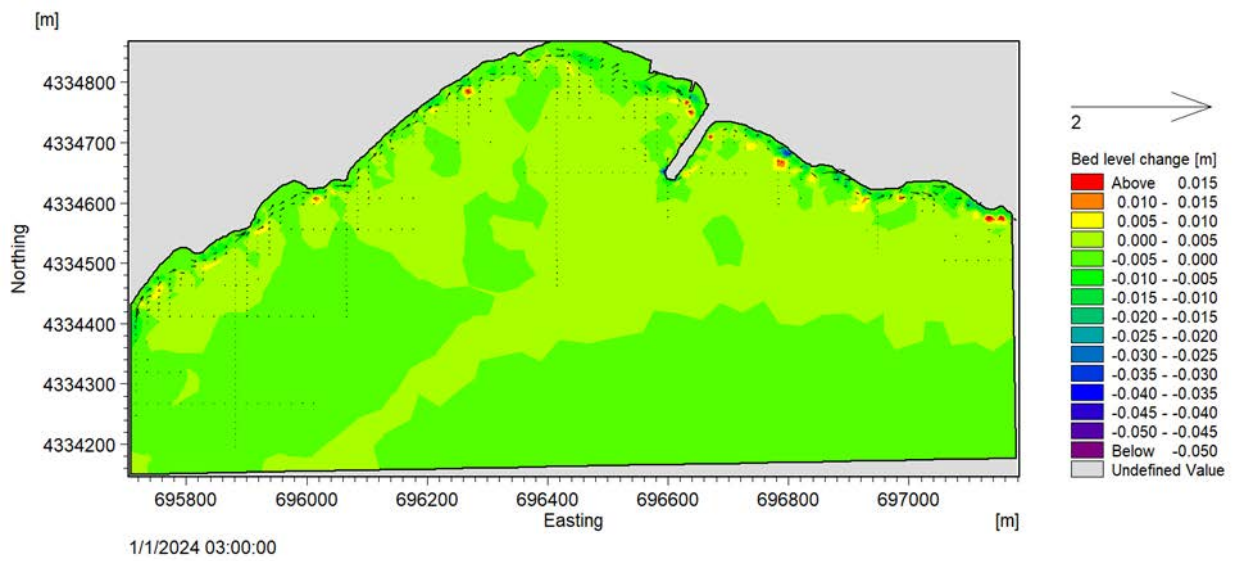
Εύρος στερεοπαροχής ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) για Νοτιοδυτικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.



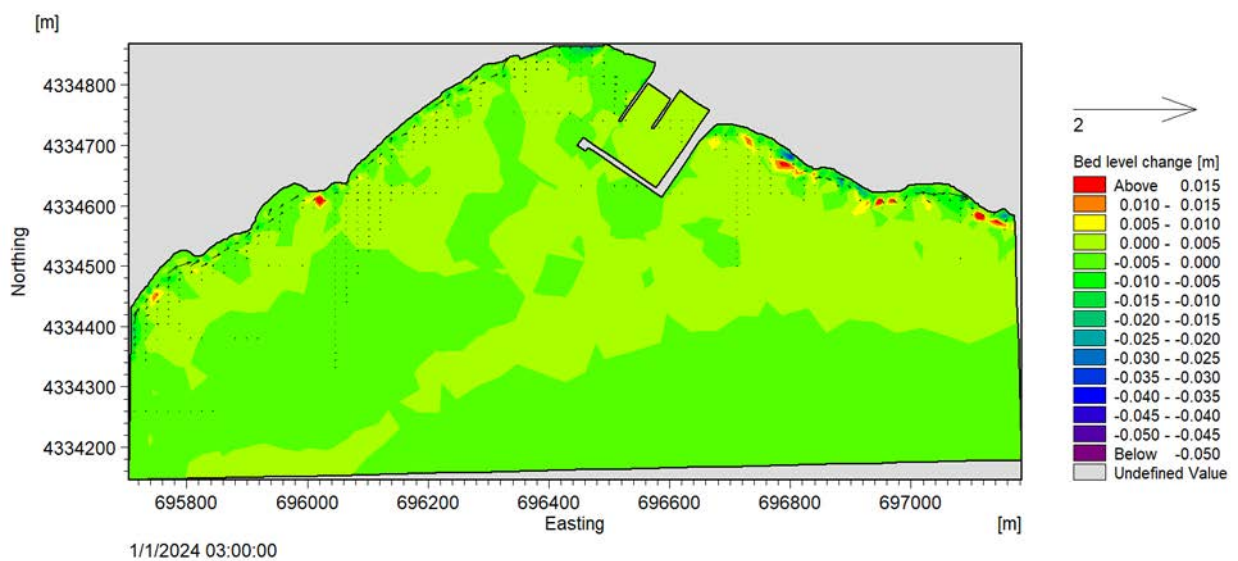
Bed Level Change για Ανατολικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



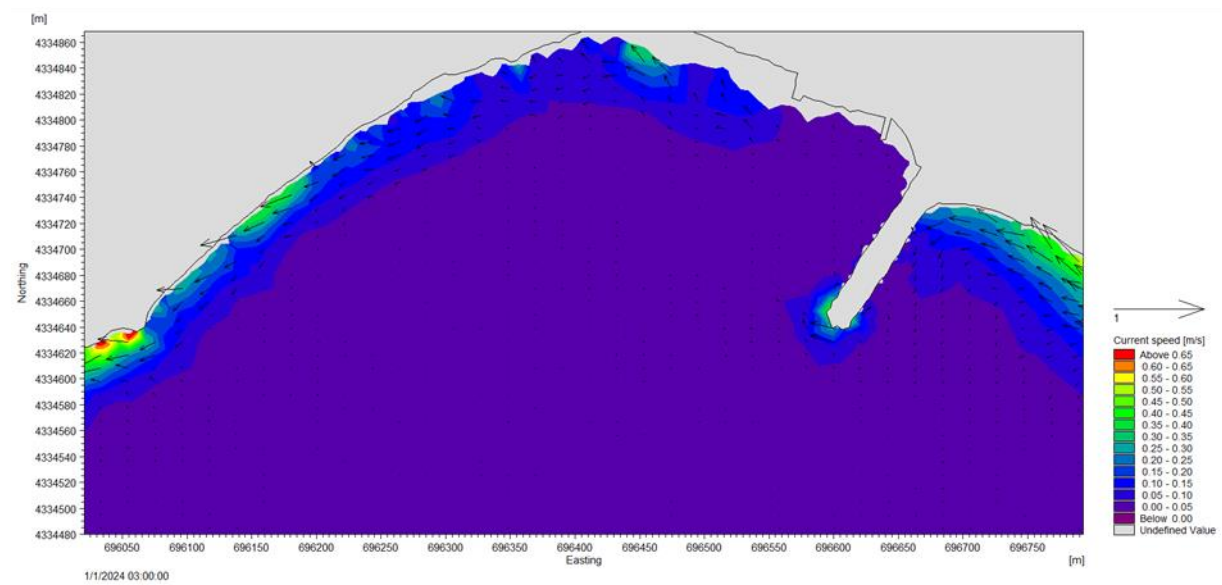
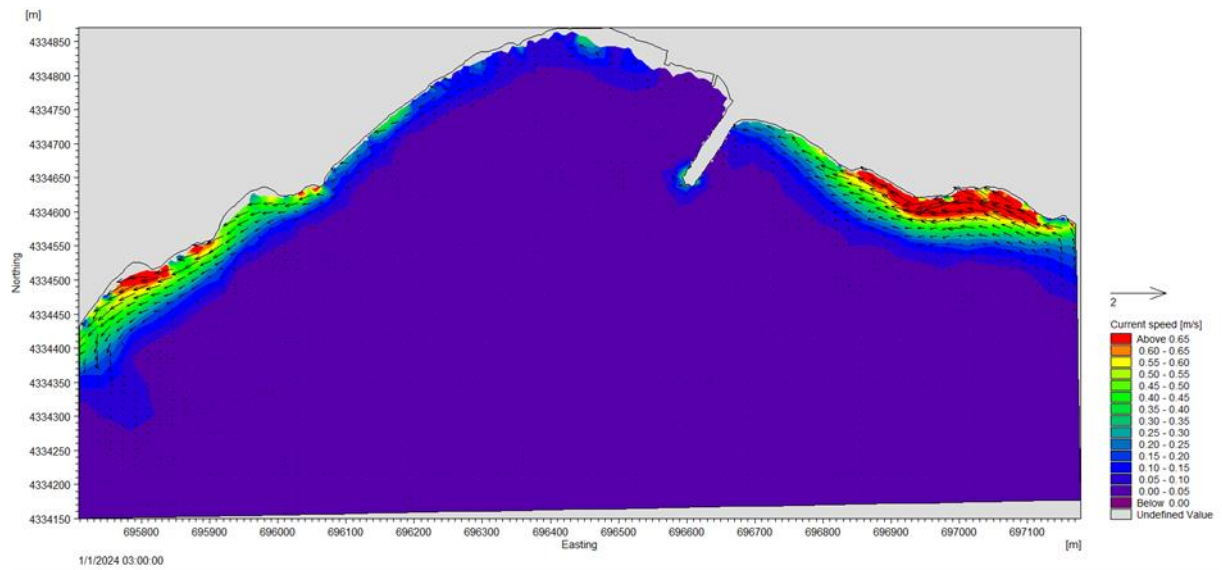
Bed Level Change για Ανατολικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.



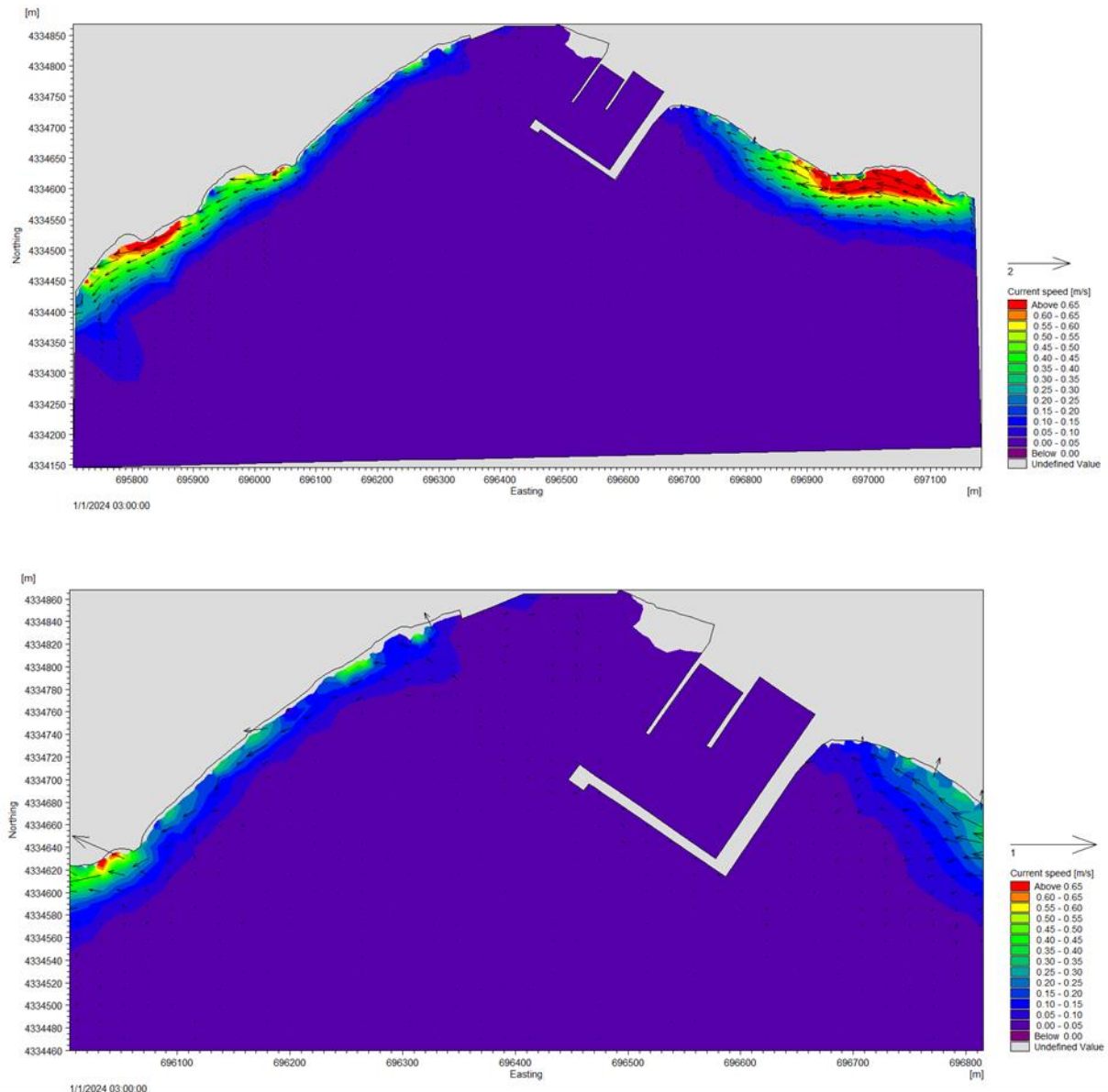
Bed Level Change για Νοτιοδυτικό άνεμο 4BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



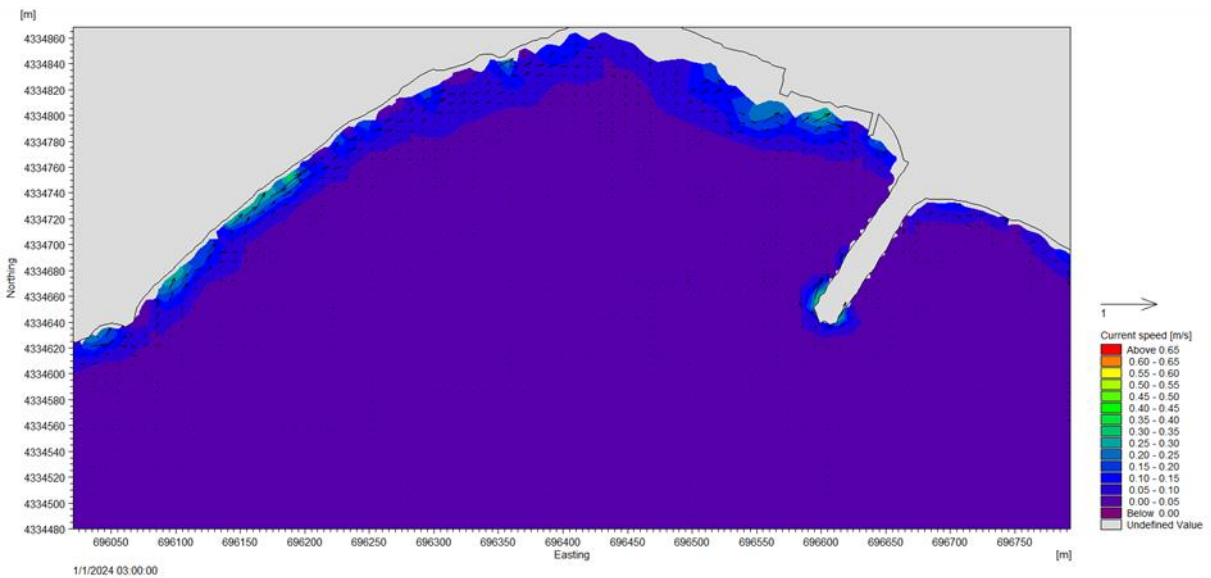
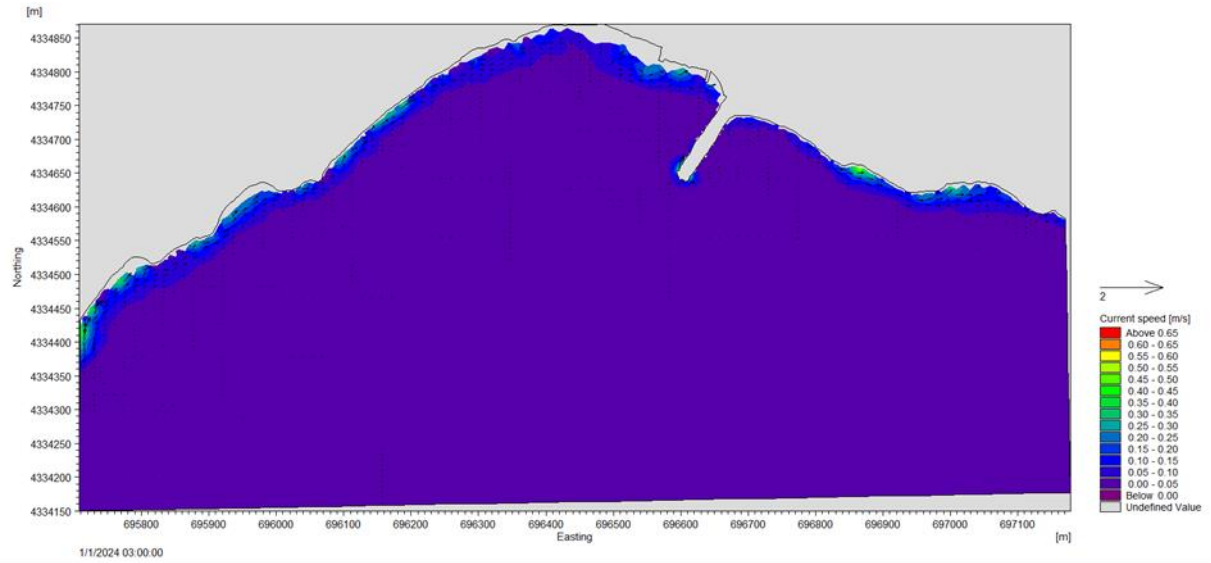
Bed Level Change για Νοτιοδυτικό άνεμο 4BF με το νέο λιμάνι.



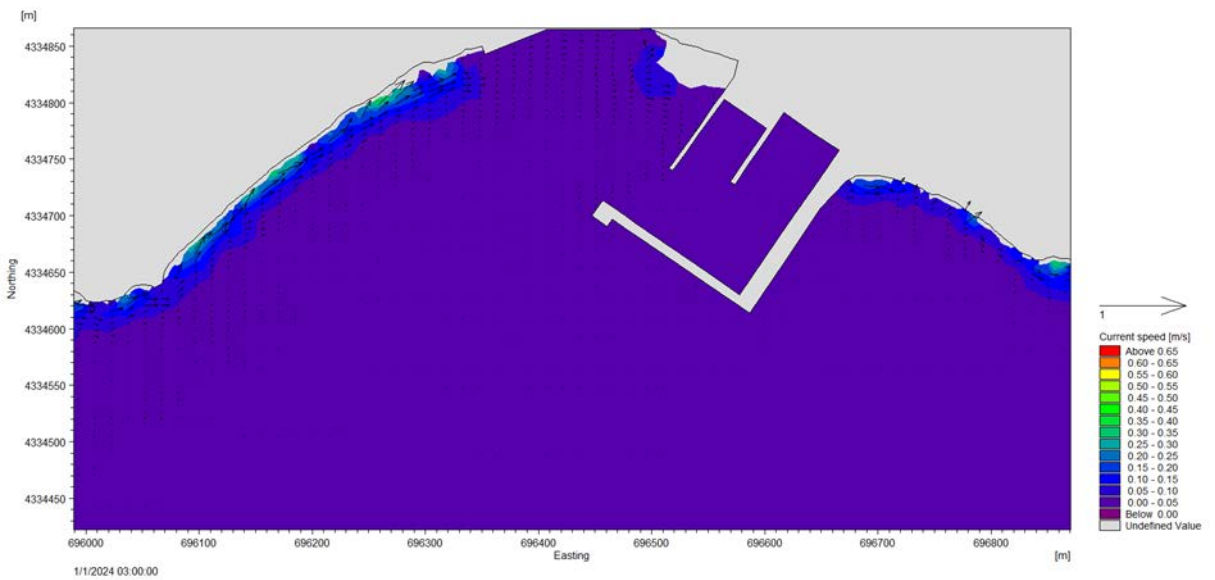
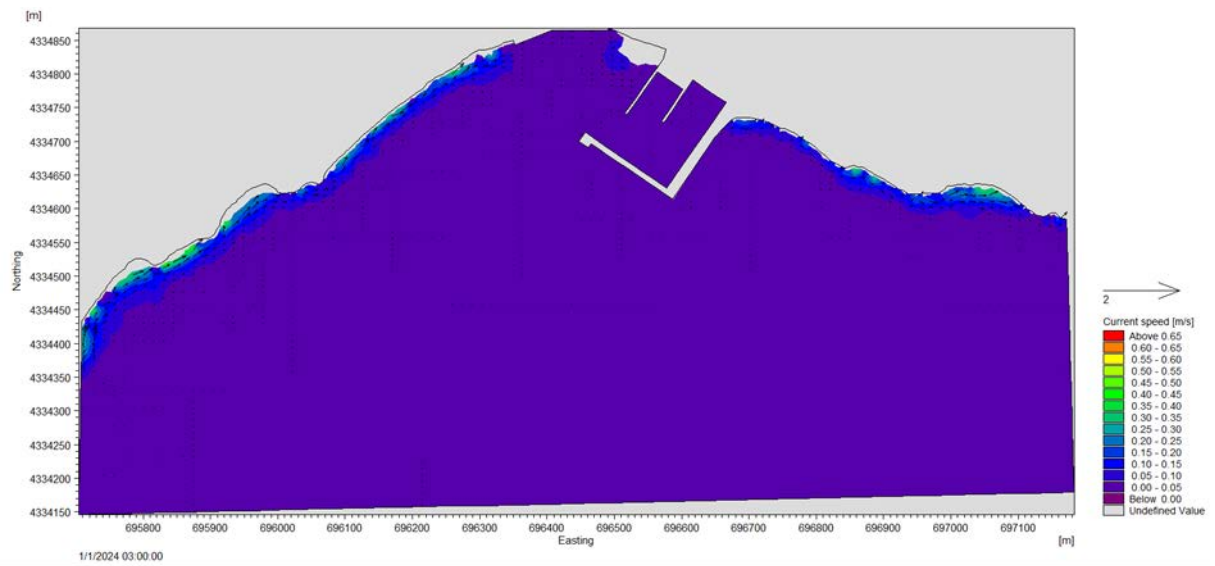
Ταχύτητα ρεύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



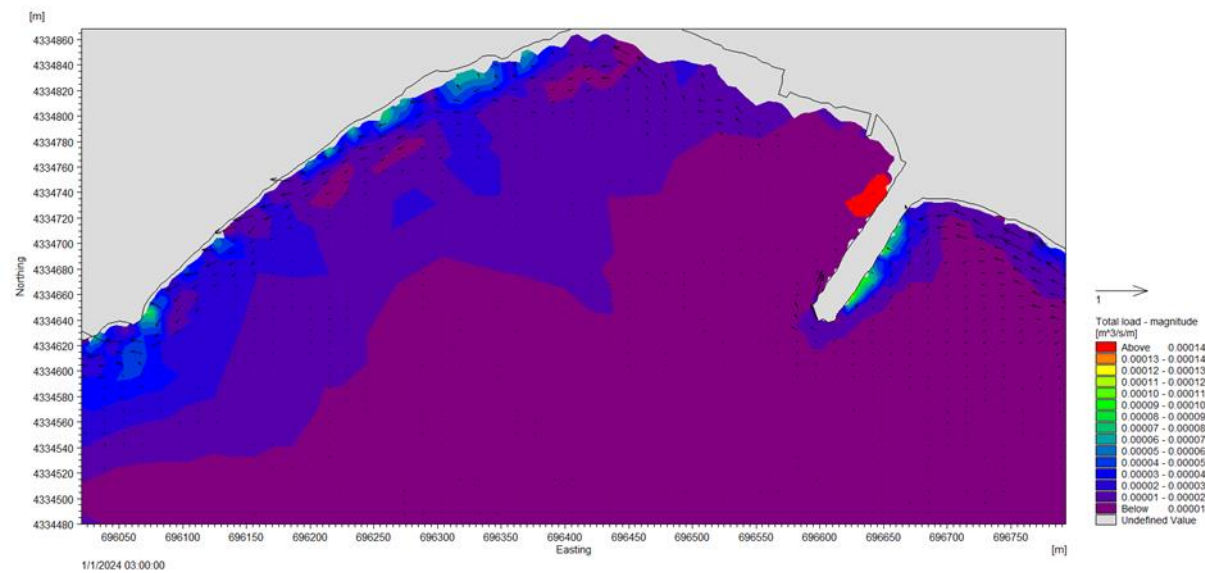
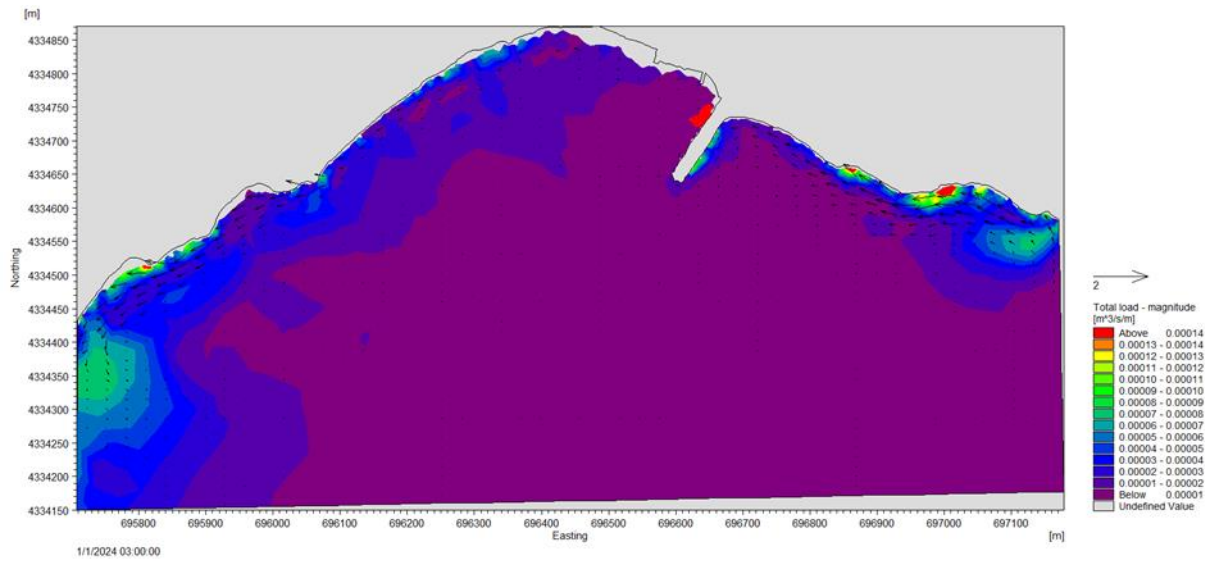
Ταχύτητα ρεύματος για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



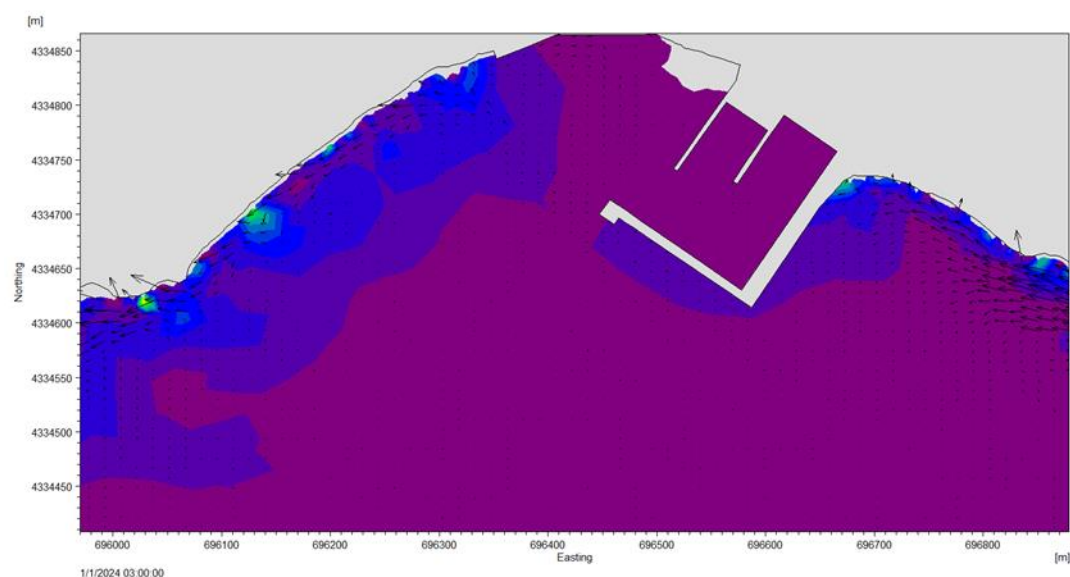
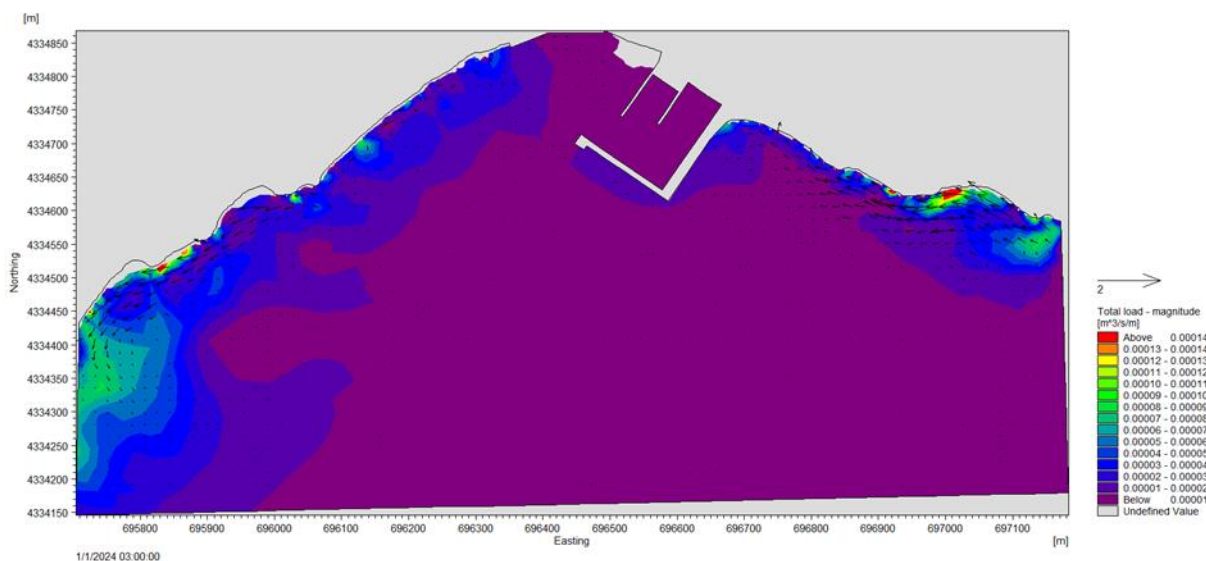
Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο



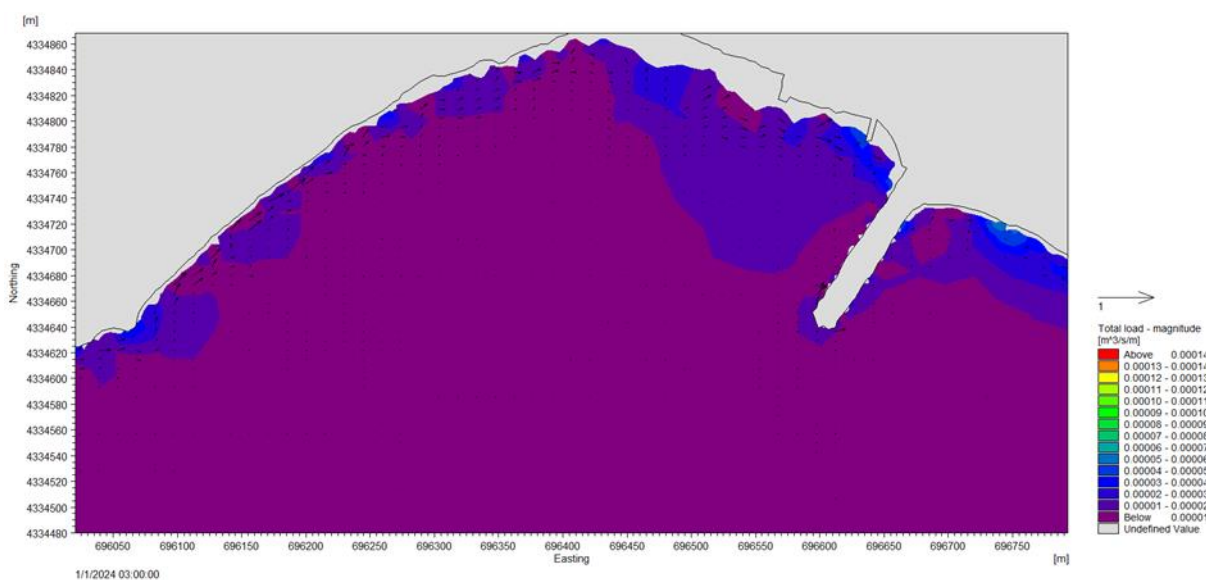
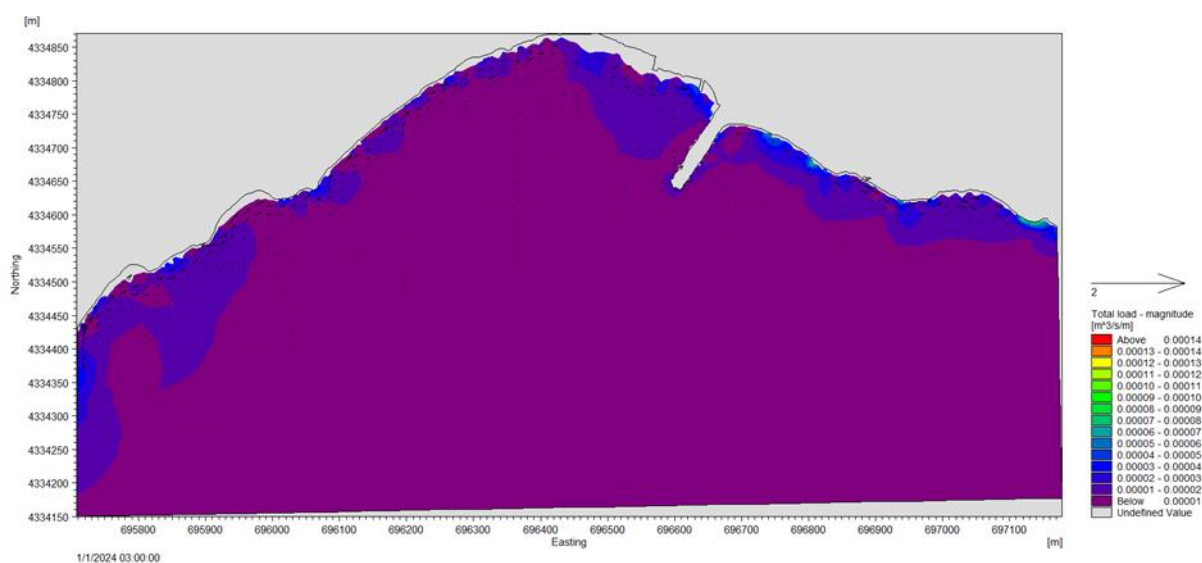
Ταχύτητα ρεύματος για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



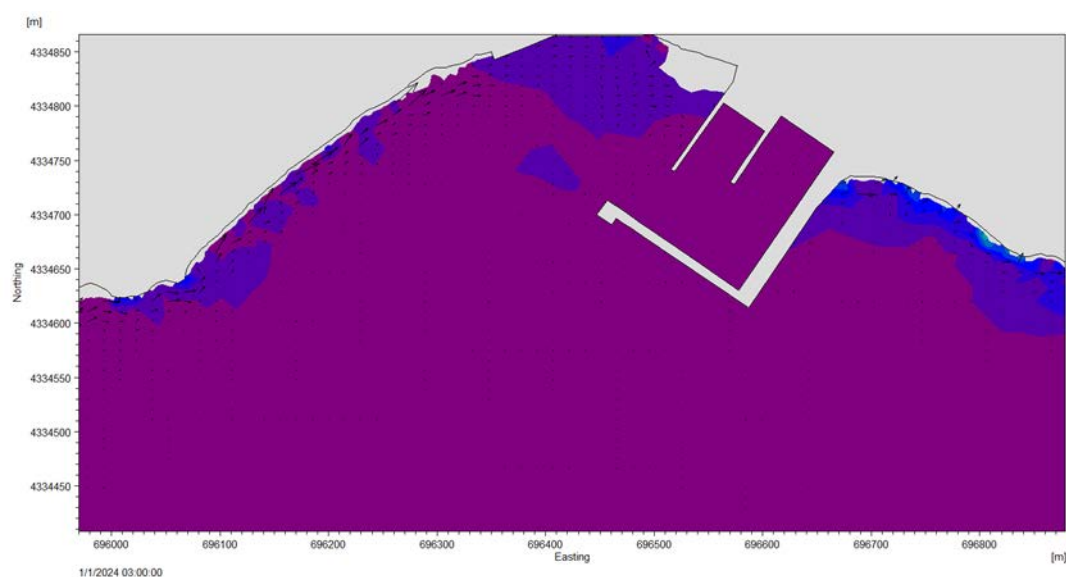
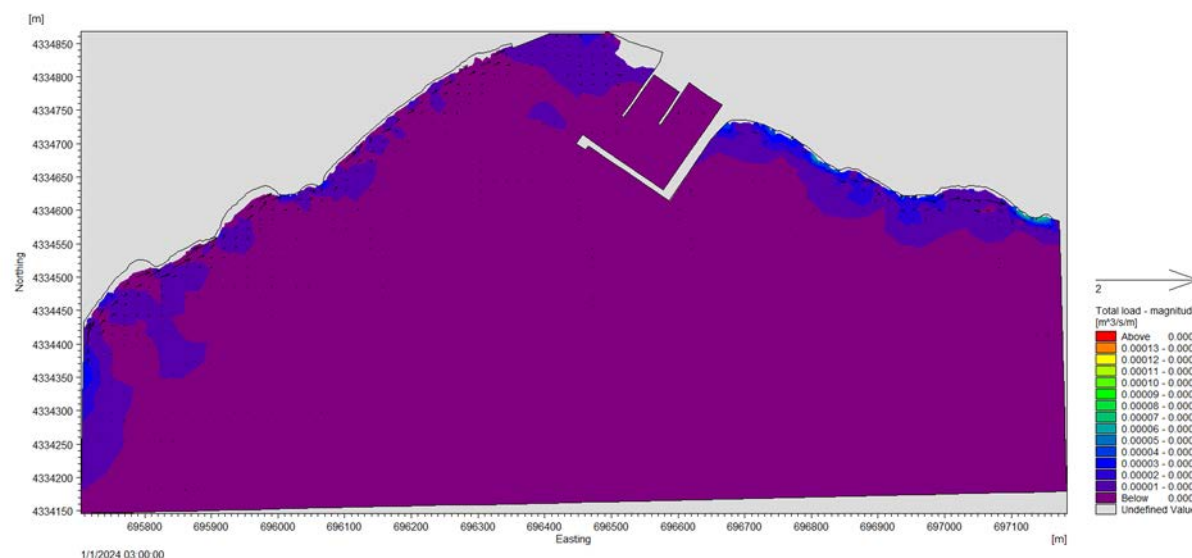
Εύρος στερεοπαροχής ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο



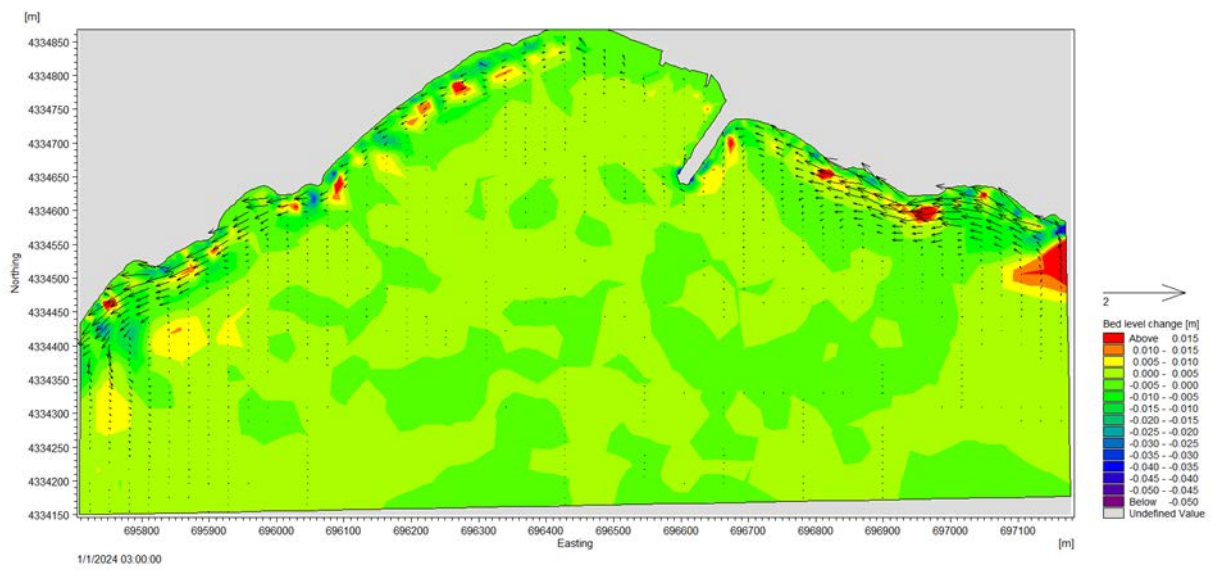
Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



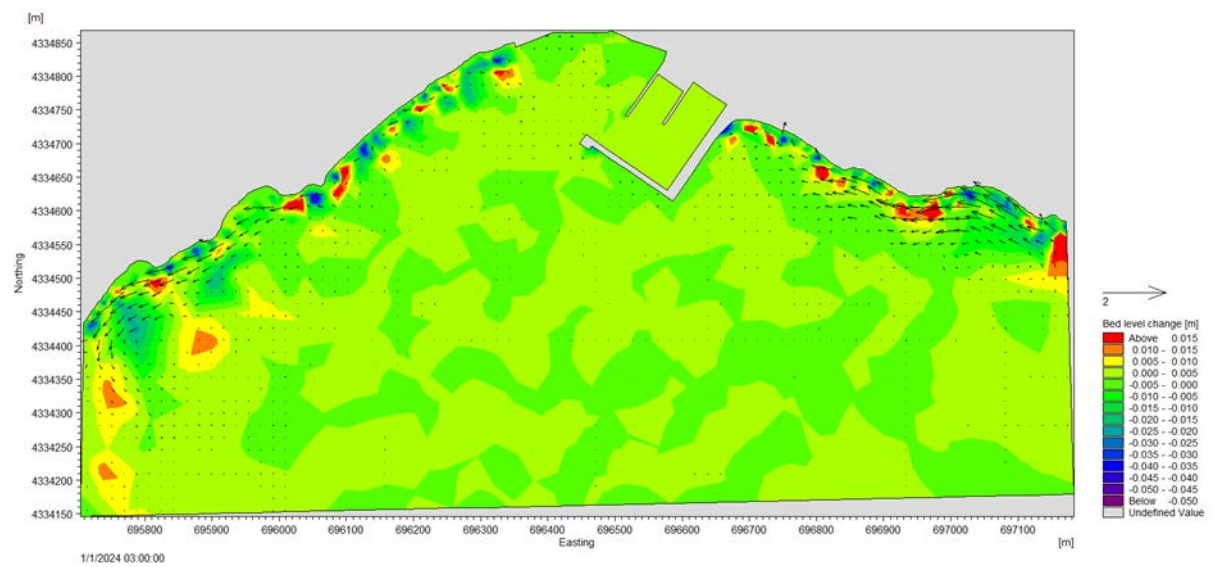
Εύρος στερεοπαροχής (m³/s/m) για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



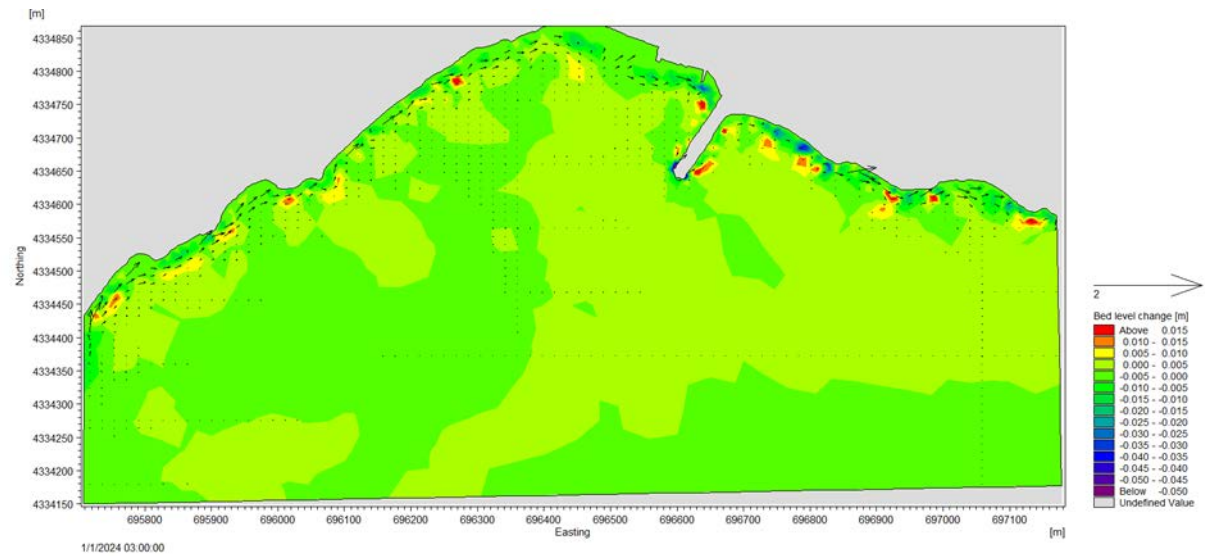
Εύρος στερεοπαροχής ($m^3/s/m$) για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



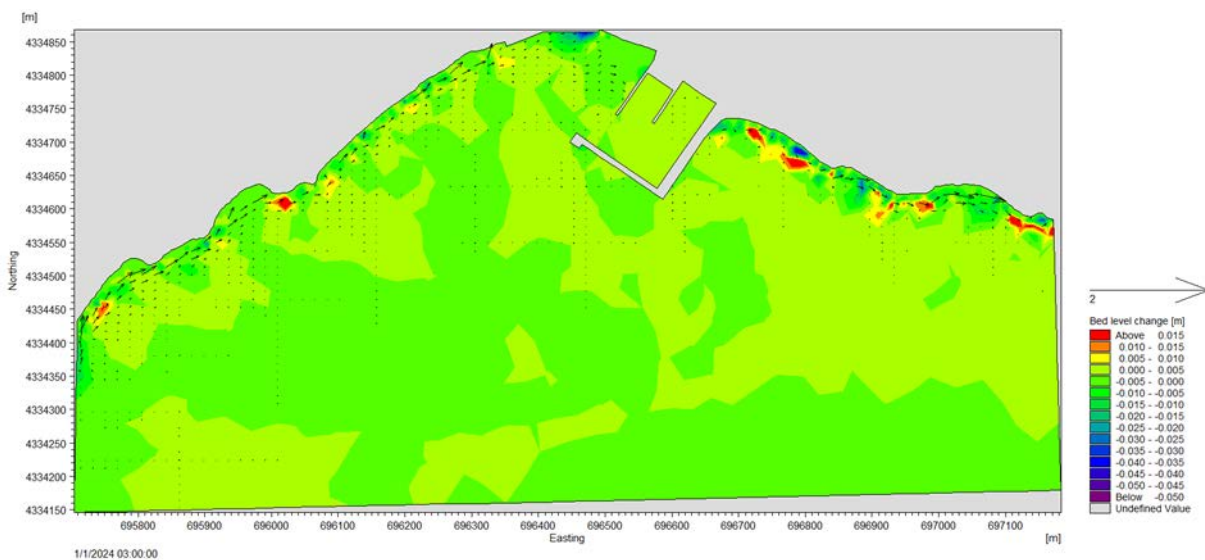
Bed Level Change για ανατολικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Bed Level Change για ανατολικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.



Bed Level Change για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με τον προϋπάρχοντα μόλο.



Bed Level Change για νοτιοδυτικό άνεμο 5BF με το νέο λιμάνι.

