



Ναύπακτος 28/03/2024

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Αριθμός πρωτοκόλλου 2025/2024

Π.Ε. ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ

ΔΗΜΟΣ ΝΑΥΠΑΚΤΙΑΣ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΕΛΕΤΩΝ & ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Διεύθυνση: πρώην Δημαρχείο Αντιρρίου,
Αντίρριο, 300 20

Πληροφορίες: ΣΕΡΕΜΕΤΗ ΛΑΜΠΡΙΝΗ
ΜΠΑΡΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Τηλ.: 2634360402

Ηλ.διεύθυνση: dbaros@nafpaktos.gr

Αρ. Πρωτ: 2025

ΑΠΟΦΑΣΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

ΑΡΙΘΜΟΣ 12/2024

ΕΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Αν. Διευθύντρια της Διεύθυνσης Τεχνικών Υπηρεσιών του Δήμου Ναυπακτίας, έχοντας υπόψη:

1. Τις διατάξεις της παρ. 4 του Άρθρου 209 του Ν.3463/2006 (Φ.Ε.Κ. 114/Α'/08-06-2006), όπως τροποποιήθηκε με το Άρθρο 42 του Ν.5027/2023 (Φ.Ε.Κ. 48/Α'/3-3-2023).
2. Την υπ' αριθ. **30/2022** (ΑΔΑ: ΩΧΕ6ΟΞ2Ω-1ΑΝ) απόφαση προέδρου του Δημοτικού Λιμενικού Ταμείου Ναυπακτίας περί απευθείας ανάθεσης της εκπόνησης της μελέτης με τίτλο: «**Ακτομηχανική μελέτη στερεομεταφοράς δυτικών ακτών κόλπου Ναυπάκτου**» στην εταιρεία με επωνυμία «**ΤΡΙΤΩΝ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.**» έναντι αμοιβής **31.124,00 €** συμπεριλαμβανομένου Φ.Π.Α. 24%.
3. Την υπ' αριθ. **666/08-09-2022** (ΑΔΑΜ: 22SYMV011212250 2022-09-08) σύμβαση εκπόνησης της ανωτέρω μελέτης μεταξύ του Δημοτικού Λιμενικού Ταμείου Ναυπακτίας και της αναδόχου εταιρείας μελετών με επωνυμία «**ΤΡΙΤΩΝ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.**», συνολικού ύψους **31.124,00 €** συμπεριλαμβανομένου Φ.Π.Α. 24%, που αφορά όλα τα επιμέρους τμήματα και παραδοτέα της μελέτης.
4. Την υπ' αριθ. **53B/2023** (ΑΔΑ: 6ΠΞΩΚΓ-ΝΣΣ) απόφαση της Διεύθυνσης Τεχνικών Υπηρεσιών του Δήμου Ναυπακτίας περί ορισμού επιβλέποντα για την εκπόνηση της μελέτης με τίτλο: «**Ακτομηχανική μελέτη στερεομεταφοράς δυτικών ακτών κόλπου Ναυπάκτου**».
5. Την από 22/03/2024 βεβαίωση της Διεύθυνσης Τεχνικών Υπηρεσιών του Δήμου Ναυπακτίας περί ποιοτικής και ποσοτικής συμμόρφωσης του αναδόχου μελετητή προς τις συμβατικές του υποχρεώσεις.
6. Τις διατάξεις του Άρθρου 189 του Ν.4412/2016 (Φ.Ε.Κ. 147/Α'/08-08-2016) όπως έχουν τροποποιηθεί με το Άρθρο 94 του Ν.4782/2021 (Φ.Ε.Κ. 36/Α'/09-03-2021) και ισχύουν.

ΕΓΚΡΙΝΟΥΜΕ

Τη μελέτη με τίτλο «**Ακτομηχανική μελέτη στερεομεταφοράς δυτικών ακτών κόλπου Ναυπάκτου**» της αναδόχου εταιρείας μελετών με επωνυμία «**ΤΡΙΤΩΝ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.**», συνολικής αμοιβής **31.124,00 €** σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν.4412/2016

(Φ.Ε.Κ. 147/Α'/08-08-2016) και παρακαλούμε όπως το Διοικητικό Συμβούλιο του Δημοτικού Λιμενικού Ταμείου Ναυπακτίας λάβει σχετική απόφαση παραλαβής σύμφωνα με τις διατάξεις του Άρθρου 189 του Ν.4412/2016 (Φ.Ε.Κ. 147/Α'/08-08-2016) όπως έχουν τροποποιηθεί με το Άρθρο 94 του Ν.4782/2021 (Φ.Ε.Κ. 36/Α'/09-03-2021) και ισχύουν.



ΔΗΜΟΣ ΝΑΥΠΑΚΤΙΑΣ

Ακριβές φωτοαντίγραφο
από το πρωτότυπο

Ναύπακτος

28-03-2024
Δημόπουλος Φίλιππος

Αντίρριο, 26/03/2024

Η Αν. Διευθύντρια
Διεύθυνσης Τεχνικών
Υπηρεσιών

Σερεμέτη Λαμπρινή
Πολιτικός Μηχανικός Π.Ε.

Κοινοποίηση:

- Ανάδοχος μελετητής: ΤΡΙΤΩΝ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε., Λ. Κηφισιάς 326 & Ποταμού Καλαμά 32, Τ.Κ. 15233, Χαλάνδρι.

Εσωτερική Διανομή:

- Αν. Διευθύντρια Διεύθυνσης Τεχνικών Υπηρεσιών
- Αντιδήμαρχος Τμήματος Μελετών και Τεχνικών Έργων
- Δημήτριος Μπάρος (Επιβλέπων)
- Φ.Ε. / Χ.Α.



ΕΡΓΟ: ΑΚΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΔΥΤΙΚΩΝ ΑΚΤΩΝ ΚΟΛΠΟΥ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ



ΑΚΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΥΧΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

-R0-

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ.....	5
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ.....	5
1.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	6
1.4 ΟΜΑΔΑ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	6
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	7
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ & ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	7
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	7
2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	12
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΑΚΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	14
3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	14
3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΣΟΥ ΕΤΗΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΑΝΟΙΧΤΑ.....	15
3.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	16
3.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	18
3.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΡΡΟΗΣ ΡΕΜΑΤΩΝ	18
4. ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	19
5. ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΤΑ.....	20
6. ΚΥΜΑΤΙΚΟ ΚΛΙΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	22
6.1 ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΟΙΧΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	22
6.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ.....	25
7. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ & ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	27
7.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ – MARIS HMS	27
7.2 ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ – MARIS HYD	33
7.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ – MARIS SDT	34
8. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕΣΩ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ των ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	36
8.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	36
8.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	36

8.3	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	37
8.4	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	38
8.5	ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ – ΜΕΣΟΣ ΕΤΗΣΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	39
9.	ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ – ΔΙΑΤΑΞΗ W1	41
10.	ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕΣΩ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΛΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	43
10.1	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ: ΔΙΑΤΑΞΗ W1	43
10.2	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ: ΔΙΑΤΑΞΗ W1	44
10.3	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ: ΔΙΑΤΑΞΗ W1	45
10.4	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ: ΔΙΑΤΑΞΗ W1	45
10.5	ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ – ΜΕΣΟΣ ΕΤΗΣΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ: ΔΙΑΤΑΞΗ W1	46
11.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	49
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	52
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	54
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ	54

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2-1 Γεωγραφική θέση περιοχής του προτεινόμενου λιμένα στη Ναύπακτο (πηγή: Google Earth).....	7
Εικόνα 2-2 Περιοχή Μελέτης (πηγή: Google Earth).....	8
Εικόνα 2-3 Παράκτιο τμήμα της περιοχής μελέτης βορειοανατολικά της εκβολής του χειμάρρου αποτελούμενο από ίζημα αμμοχαλικώδους σύστασης – άποψη προς νοτιοδυτικά	9
Εικόνα 2-4 Παράκτιο τμήμα της περιοχής μελέτης στο οποίο προτείνεται να κατασκευαστεί η νέα λιμενική υποδομή– άποψη προς δυτικά	9
Εικόνα 2-5 Κεντρικό τμήμα παράκτιας περιοχής μελέτης – εναέρια άποψη (πηγή: https://tripinview.com).....	10
Εικόνα 2-6 Βορειοανατολικό τμήμα παράκτιας περιοχής μελέτης – εναέρια άποψη (πηγή: https://tripinview.com).....	11
Εικόνα 2-7 Νοτιοδυτικό τμήμα παράκτιας περιοχής μελέτης – εναέρια άποψη (πηγή: https://tripinview.com).....	12
Εικόνα 2-8 Εξέλιξη ακτογραμμής περιοχής μελέτης μεταξύ των ετών 2002 και 2022.	13
Εικόνα 3-1. Διάγραμμα ροής υπολογισμού κυματικού κλίματος στα ανοιχτά.	15
Εικόνα 3-2. Διάγραμμα ροής εφαρμογής αριθμητικών μοντέλων και προσομοίωσης παράκτιων διεργασιών.	17
Εικόνα 3-3 Αλυσίδες μοντέλων που εφαρμόζονται για την προσομοίωση των παράκτιων διεργασιών.	17
Εικόνα 4-1. Βυθομετρική αποτύπωση παράκτιας περιοχής μελέτης.....	19
Εικόνα 4-2 Ναυτικός Χάρτης της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος από τη βάση Navionics (πηγή: webapp.navionics.com)	19
Εικόνα 5-1. Ροδόγραμμα ανεμολογικών δεδομένων από NOAA.....	21
Εικόνα 6-1 Ακτίνες αναπτύγματος πελάγους (Fetch)	24
Εικόνα 7-1 Τυπικά εύρη συντελεστών ανάκλασης (πηγή: Thompson et al. 1996).	32
Εικόνα 9-1 Διάταξη W1 των προτεινόμενων έργων	41
Εικόνα 9-2 Χαρακτηριστική διατομή κρηπιδώματος παραβολής μετά την ολοκλήρωση των καθιζήσεων από τη φάση κατασκευής	42
Εικόνα 9-3 Χαρακτηριστική διατομή ακρομωλίου μετά την ολοκλήρωση των καθιζήσεων από τη φάση κατασκευής.....	42
Εικόνα 10-1 Μέσος ετήσιος ρυθμός εξέλιξης πυθμένα, (α): DN, (β) W1	48

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 5-1 Πλήθος ανεμολογικών δεδομένων της περιοχής μελέτης (πηγή: ΝΟΑΑ, 1979-2019).....	20
Πίνακας 5-2 Μέσες ετήσιες συχνότητες εμφάνισης ανέμων (πηγή: ΝΟΑΑ, 1979-2019)	20
Πίνακας 6-1 Κυματικά χαρακτηριστικά στα ανοιχτά της περιοχής μελέτης	24
Πίνακας 6-2 Κυματικά δεδομένα εισόδου στο αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης	26

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η παρούσα μελέτη συντάσσεται στο πλαίσιο της από 8^η Σεπτεμβρίου 2022 Συμβάσεως, που συνάφθηκε μεταξύ του «Δημοτικού Λιμενικού Ταμείου Ναυπάκτου» (εφεξής Συμβαλλόμενος) και της Τεχνικής Εταιρείας με την επωνυμία «Τρίτων Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.» (εφεξής Ανάδοχος), και αφορά στην εκπόνηση ακτομηχανικής μελέτης στερεομεταφοράς δυτικών ακτών κόλπου Ναυπάκτου στην θέση Ψανή.

Ειδικότερα, το ανά χείρας τεύχος αφορά την Ακτομηχανική Διερεύνηση μέσω αριθμητικής προσομοίωσης των παράκτιων διεργασιών που συντελούνται στην παραλία Ψανή Ναυπάκτου και πέριξ της εκβολής του ρέματος Βαρείά. Στην εν λόγω παράκτια περιοχή προτείνεται να κατασκευαστεί η νέα λιμενική εγκατάσταση εξυπηρέτησης σκαφών της Ναυπάκτου. Κύριος σκοπός της μελέτης είναι η διερεύνηση τυχόν ακτομηχανικών επιπτώσεων που δύναται να προκύψουν από την κατασκευή των προτεινόμενων έργων. Η θέση του νέου λιμένα εντοπίζεται περί τα 180 m βορειοανατολικά της εκβολής του χειμάρρου Βαρείά και περί τα 1.3 km δυτικά του Ενετικού Λιμένα Ναυπάκτου.

1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Στην παρούσα Ακτομηχανική Διερεύνηση εκπονούνται αριθμητικές προσομοιώσεις του κυματικού κλίματος, της υδροδυναμικής κυκλοφορίας, της στερεομεταφοράς και του ρυθμού μεταβολής του πυθμένα υπολογίζοντας την κυματική διάδοση, το πεδίο των αναπτυσσόμενων παράκτιων ρευμάτων και τις επακόλουθες τάσεις διάβρωσης / απόθεσης ιζημάτων. Η εν λόγω ακτομηχανική διερεύνηση περιλαμβάνει προσομοιώσεις α) για την υφιστάμενη κατάσταση (Διάταξη DN), ούτως ώστε να διερευνηθούν οι φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σήμερα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης και β) με την παρουσία της προτεινόμενης διάταξης του νέου λιμένα ώστε να διερευνηθούν ενδεχόμενες ακτομηχανικές επιπτώσεις από την κατασκευή των έργων.

Η εκπόνηση της Ακτομηχανικής Μελέτης βασίζεται στα ακόλουθα βήματα:

- Συλλογή και αξιολόγηση υφιστάμενων στοιχείων και δεδομένων. Συλλογή των πιο πρόσφατων κυματικών δεδομένων και δεδομένων θαλάσσιας στάθμης. Κατάστρωση σεναρίων αριθμητικής προσομοίωσης.
- Αριθμητική προσομοίωση της κυματικής διάδοσης στο παράκτιο πεδίο για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών και των τάσεων ακτινοβολίας.
- Αριθμητική προσομοίωση του παράκτιου υδροδυναμικού πεδίου για τον υπολογισμό των αναπτυσσόμενων κυματογενών ρευμάτων.
- Αριθμητική προσομοίωση του ρυθμού εξέλιξης του πυθμένα για τη διερεύνηση των περιοχών όπου εμφανίζονται τάσεις διάβρωσης και απόθεσης ιζημάτων.
- Επιπρόσθετα, διερευνάται η επίδραση μιας ακραίας κυματικής συνθήκης που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο σενάριο καταιγίδας.

Τα αποτελέσματα της Ακτομηχανικής Διερεύνησης βασίζονται σε κατάλληλα διδίαστατα αριθμητικά μοντέλα τα οποία έχουν αναπτυχθεί από την εταιρεία Scientia Maris και τα οποία είναι ικανά να προσομοιώσουν με ακρίβεια την κυματική διάδοση, το υδροδυναμικό πεδίο (παράκτια κυματογενή ρεύματα) τη στερεομεταφορά και το ρυθμό μεταβολής πυθμένα (τάσεις διάβρωσης και προσάμμωσης) σε κάθε σημείο της παράκτιας περιοχής μελέτης.

1.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Φωτογραφίες από επιτόπια επίσκεψη.
- Δορυφορικές φωτογραφίες από την εφαρμογή Google Earth.
- Ψηφιακά δεδομένα τοπογραφίας και βαθυμετρίας από την πλέον πρόσφατη τοπογραφική και βυθομετρική αποτύπωση της περιοχής ενδιαφέροντος.
- Οριζοντιογραφία και Τυπικές Διατομές της προτεινόμενης διάταξης των έργων της νέας λιμενικής εγκατάστασης.
- Ανεμολογικά δεδομένα της χρονικής περιόδου 1979-2019, όπως προσφέρονται από την Αμερικανική βάση δεδομένων NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (**ncei.noaa.gov**).
- Βυθομετρικά δεδομένα, για τη συμπλήρωση του βυθομετρικού χάρτη, από στοιχεία της βάσης Navionics (**webapp.navionics.com**).

1.4 ΟΜΑΔΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

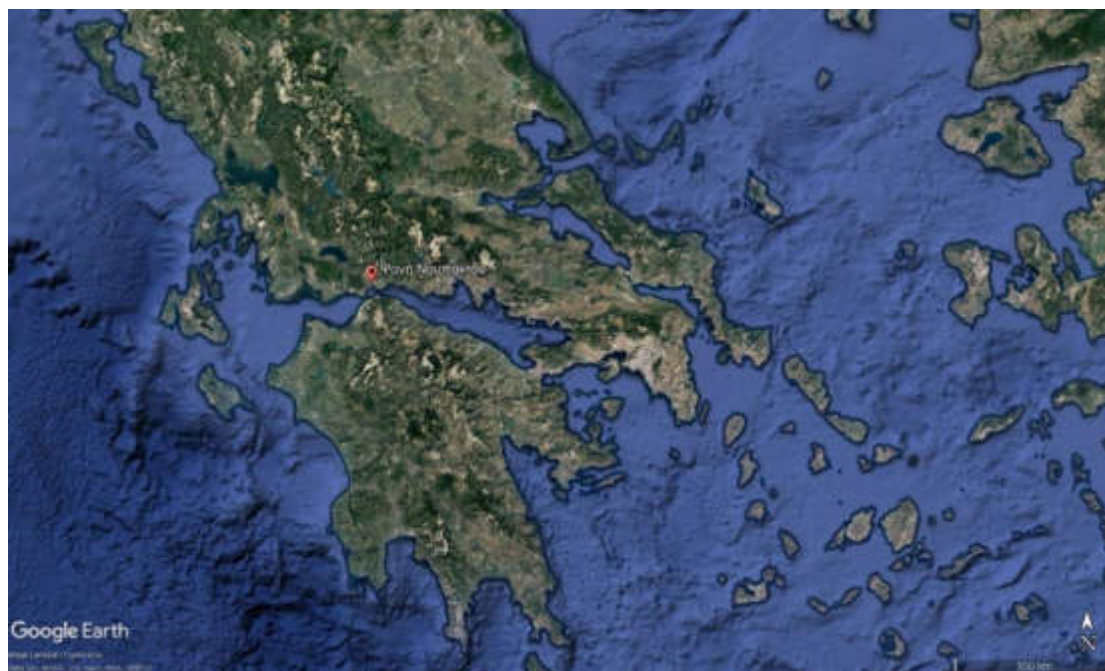
Οι Σύμβουλοι Μηχανικοί που συμμετέχουν στην Ομάδα Μελέτης από την ΤΡΙΤΩΝ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε. είναι:

- Νικόλαος Παναγόπουλος, Λιμενολόγος – Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc., με την ιδιότητα του Συντονιστή,
- Αναστάσιος Σμυρνής, Λιμενολόγος – Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc.
- Νικόλαος Σαμλίδης, Λιμενολόγος – Πολιτικός Μηχανικός

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ & ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η νέα λιμενική εγκατάσταση προβλέπεται να κατασκευαστεί στο νοτιοδυτικό μυχό της παραλίας Ψανή Ναυπάκτου, περί τα 180 m βορειοανατολικά της εκβολής του χειμάρρου της Βαρειάς και περί τα 1.3 km δυτικά του Ενετικού Λιμένα Ναυπάκτου. Υπάγεται διοικητικά στο Δήμο Ναυπακτίας, Περιφερειακή Ενότητα Αιτωλοακαρνανίας, Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας. Η γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης απεικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα 2-1.



Εικόνα 2-1 Γεωγραφική θέση περιοχής του προτεινόμενου λιμένα στη Ναύπακτο (πηγή: Google Earth)

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η εξεταζόμενη περιοχή μελέτης (Εικόνα 2-2) περιλαμβάνει ολόκληρο τον όρμο της Ναυπάκτου συμπεριλαμβανομένης και της εκβολής του χειμάρρου της Βαρειάς με την γενική κατεύθυνση της ακτογραμμής να είναι από Νοτιοδυτικά προς Βορειοανατολικά. Το κέντρο της υπό εξέταση ακτής έχει γεωγραφικές συντεταγμένες: γεωγραφικό πλάτος: $38^{\circ}22'59.02''N$ και γεωγραφικό μήκος: $21^{\circ}49'09.6''E$.

Η παράκτια περιοχή μελέτης, είναι εκτεθειμένη σε κυματισμούς που προσπίπτουν από τις ακόλουθες διευθύνσεις: Ανατολική (90°), Νοτιοανατολική (135°), Νότια (180°) και Νοτιοδυτική (225°). Οι υψηλότεροι κυματισμοί προέρχονται από νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά λόγω των συγκριτικά μεγαλύτερων αναπτυγμάτων πελάγους. Γενικότερα το κυματικό κλίμα της περιοχής μελέτης είναι σχετικά ήπιο και τα μέγιστα ύψη των κυματισμών που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του έτους δεν ξεπερνούν τα 1-1.5 m.

Το σχετικά ήπιο κυματικό κλίμα οφείλεται στην ευρύτερη γεωμορφολογία της περιοχής που οδηγεί σε σχετικά περιορισμένα αναπτύγματα πελάγους δεδομένης και της ανεμολογικής δόξας της περιοχής.



Εικόνα 2-2 Περιοχή Μελέτης (πηγή: Google Earth)

Στο δυτικό μυχό του όρμου της Ναυπάκτου, δυτικά της παραλίας Ψανή, όπως έχει ήδη αναφερθεί, εκβάλλει ο χειμάρρος της Βαρείας τροφοδοτώντας την περιοχή ενδιαφέροντος με ίζημα κατά κύριο λόγο χονδρόκοκκο. Το συνολικό μήκος ροής του είναι περί τα 12.5 km και πηγάζει από τον ορεινό όγκο της περιοχής.

Το ίζημα που συναντάται κατά μήκος της ακτής αποτελείται κατά κύριο λόγο από χονδρόκοκκο υλικό, αμμοχαλικώδους σύστασης, όπως εκτιμάται μακροσκοπικά από την αυτοψία που πραγματοποιήθηκε από τα μέλη της ομάδας μελέτης.

Από την πρόσφατη βυθομετρική αποτύπωση που πραγματοποιήθηκε αλλά και από τους βυθομετρικούς χάρτες της βάσης δεδομένων Navionics, προκύπτει πως οι ισοβαθείς σε όλο το μήκος της εξεταζόμενης περιοχής μελέτης είναι εν γένει παράλληλες με την ακτογραμμή, δίχως αξιόλογες εξάρσεις, με μέση κλίση πυθμένα περί τα 10-12%. Η ισοβαθής -10m εντοπίζεται σε απόσταση περί τα 170m από την ακτογραμμή, ενώ η ισοβαθής -20m βρίσκεται σε απόσταση περί τα 460m από την ακτογραμμή.

Ενδεικτικές φωτογραφίες της περιοχής ενδιαφέροντος από την επιτόπια επίσκεψη δίνονται στην Εικόνα 2-3 και Εικόνα 2-4, ενώ στην Εικόνα 2-5, Εικόνα 2-6 και Εικόνα 2-7 φωτογραφίες της περιοχής ενδιαφέροντος από εναέρια άποψη.



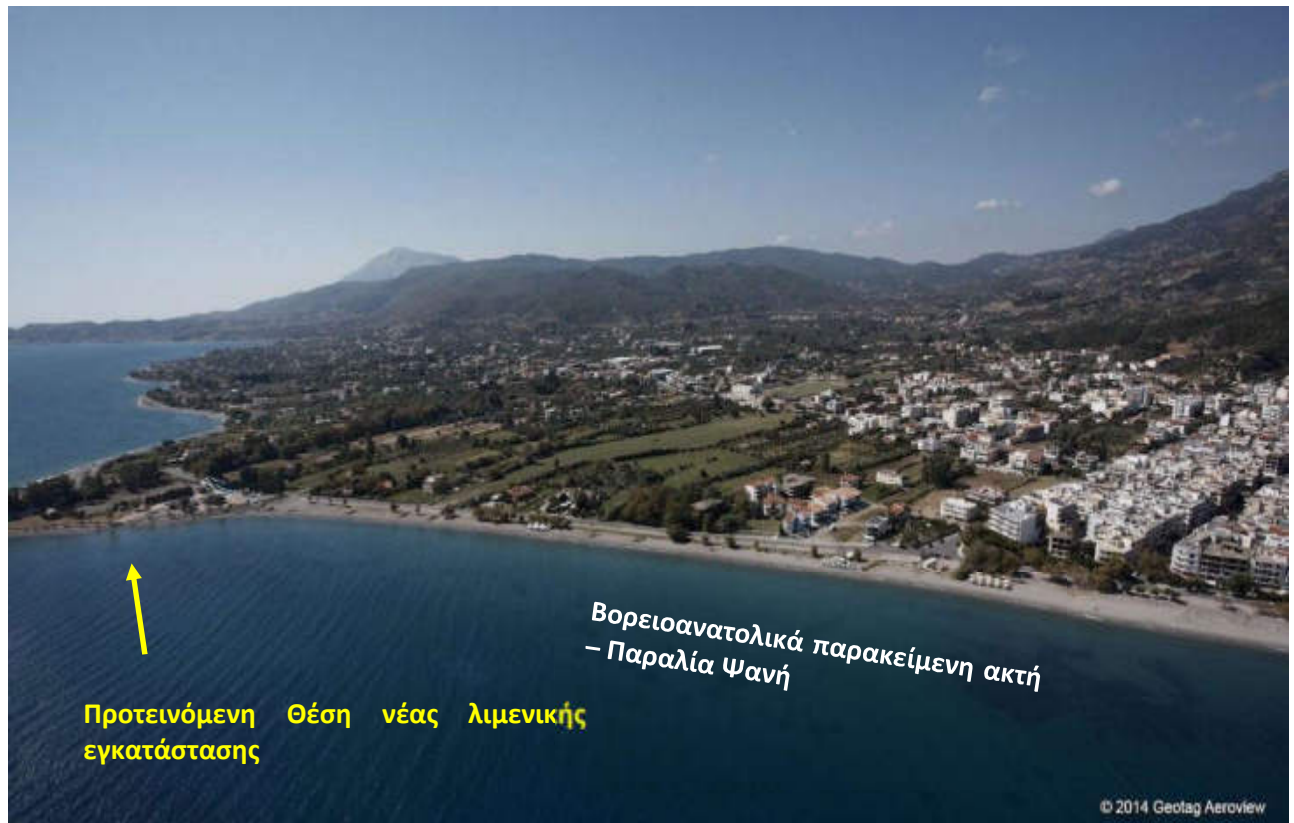
Εικόνα 2-3 Παράκτιο τμήμα της περιοχής μελέτης βορειοανατολικά της εκβολής του χειμάρρου αποτελούμενο από ίζημα αμμοχαλικώδους σύστασης – άποψη προς νοτιοδυτικά



Εικόνα 2-4 Παράκτιο τμήμα της περιοχής μελέτης στο οποίο προτείνεται να κατασκευαστεί η νέα λιμενική υποδομή– άποψη προς δυτικά



Εικόνα 2-5 Κεντρικό τμήμα παράκτιας περιοχής μελέτης – εναέρια άποψη (πηγή: <https://tripinview.com>)



Εικόνα 2-6 Βορειοανατολικό τμήμα παράκτιας περιοχής μελέτης – εναέρια άποψη
(πηγή: <https://tripinview.com>)



Εικόνα 2-7 Νοτιοδυτικό τμήμα παράκτιας περιοχής μελέτης – εναέρια άποψη (πηγή: <https://tripinview.com>)

2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, πραγματοποιείται σύγκριση της ιστορικής εξέλιξης της ακτογραμμής από χρονικά διαδοχικές δορυφορικές εικόνες της εφαρμογής Google Earth καθώς και από την πλέον πρόσφατη τοπογραφική αποτύπωση της ακτογραμμής. Στην παρακάτω Εικόνα 2-8, αποτυπώνεται η εξέλιξη της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης μεταξύ των ετών 2002 – 2021. Πιο συγκεκριμένα, οι χρονολογίες του 2002 (κίτρινο), 2012 (πορτοκαλί) και 2016 (ροζ) προέρχονται από την εφαρμογή Google Earth ενώ η πλέον πρόσφατη χρονολογία του 2021 (κόκκινη) από την τοπογραφική αποτύπωση.

Από τη εν λόγω σύγκριση παρατηρούνται διακυμάνσεις της θέσης της ακτογραμμής στην εκβολή του χειμάρρου της Βαρειάς καθώς και αμέσως βορειοανατολικά του οι οποίες οφείλονται κατά κύριο λόγο στην στερεοπαροχή του υδατορέματος κατά τη διάρκεια γεγονότων καταιγίδας. Ως εκ τούτου, από την διαδοχική σύγκριση των αεροφωτογραφιών φαίνεται να επικρατούν τάσεις για παράκτια διάβρωση στην περιοχή εκβολής και μετέπειτα μετακίνηση των ιζημάτων κατά κύριο λόγο στα βορειοανατολικά και προς την παραλία Ψανή. Νοτιοδυτικά της εκβολής δεν διαφαίνονται αξιόλογες μεταβολές της ακτογραμμής.



Εικόνα 2-8 Εξέλιξη ακτογραμμής περιοχής μελέτης μεταξύ των ετών 2002 και 2022.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΑΚΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία που ακολουθεί η παρούσα ακτομηχανική μελέτη βασίζεται σε τρία διακριτά στάδια:

- *Πρώτο στάδιο* αποτελεί η συλλογή και αξιολόγηση των διαθέσιμων στοιχείων και δεδομένων με σκοπό τον προσδιορισμό των γεωμορφολογικών και θαλάσσιων συνθηκών στην περιοχή μελέτης. Ειδικότερα, προσδιορίζονται, αξιολογούνται και αναλύονται τα ακόλουθα:
 - Βαθυμετρία περιοχής μελέτης
 - Χαρακτηριστικά ιζήματος περιοχής μελέτης
 - Ανεμολογικά δεδομένα
 - Ωκεανογραφικά δεδομένα (στάθμη θάλασσας, παλίρροια)

Ειδικότερα, για την εκτίμηση του κυματικού κλίματος στα «ανοιχτά» της περιοχής ενδιαφέροντος, αξιοποιούνται αρχικά τα ανεμολογικά δεδομένα όπως αυτά προέρχονται από την Αμερικανική βάση δεδομένων NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration ([nci.noaa.gov](https://www.nci.noaa.gov)) και στη συνέχεια εφαρμόζεται η μέθοδος Smith (1991) από όπου και προκύπτει ο πίνακας των μέσων ετήσιων κυματικών χαρακτηριστικών.

Η επιλογή των σεναρίων αριθμητικής προσομοίωσης, για το μέσο ετήσιο κυματικό κλίμα, πραγματοποιείται με βάση τους στερεομεταφορικά ισοδύναμους κυματισμούς (Chondros et al., 2022) από κάθε κύρια προσπίπτουσα κυματική διεύθυνση, οι οποίοι έχουν το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με το σύνολο των κυματισμών που συνεισφέρουν στο ακτομηχανικό ισοζύγιο, με στόχο τη διερεύνηση της διαχρονικής διάβρωσης. Επίσης προσδιορίζονται τα ακραία κυματικά σενάρια / καταιγίδες με στόχο τη διερεύνηση της επεισοδιακής διάβρωσης.

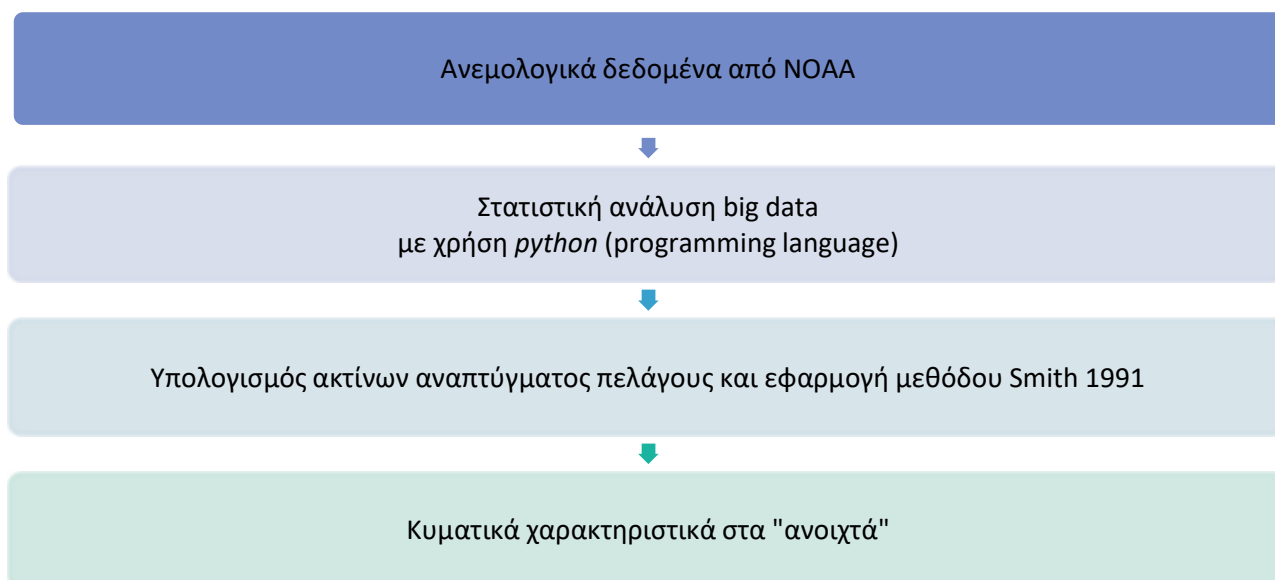
- Σε *δεύτερο στάδιο*, έχοντας ως βάση όλα τα παραπάνω δεδομένα, γίνεται προσομοίωση των παράκτιων διεργασιών για την υφιστάμενη κατάσταση (στο εξής Διάταξη DN) χωρίς την παρουσία των προτεινόμενων έργων της νέας λιμενικής εγκατάστασης. Συγκεκριμένα προσδιορίζονται τα κυματικά χαρακτηριστικά (ύψος και περίοδος) σε όλη την περιοχή μελέτης, το υδροδυναμικό πεδίο που αναπτύσσεται (ταχύτητα και διεύθυνση ρευμάτων) και η μέση ετήσια στερεομεταφορά και ο ρυθμός μεταβολής πυθμένα, αποδίδοντας τις περιοχές με τάσεις απόθεσης / διάβρωσης.
- Σε *τρίτο στάδιο* εκπονείται νέος κύκλος προσομοιώσεων με την παρουσία των νέων έργων (στο εξής Διάταξη W1) με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης αυτών στην υφιστάμενη ακτομηχανική δίατα. Συγκεκριμένα προσδιορίζεται εκ νέου το κυματικό πεδίο στην παράκτια ζώνη της περιοχής μελέτης, το υδροδυναμικό πεδίο (ταχύτητα και διεύθυνση ρευμάτων) και ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του πυθμένα,

αποδίδοντας τις περιοχές με τάσεις απόθεσης ή διάβρωσης. Τέλος, γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των ευρημάτων των προσομοιώσεων της Διάταξης DN και της Διάταξης W1 και ελέγχεται εάν και κατά πόσο επηρεάζονται οι παράκτιες διεργασίες της περιοχής μελέτης.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΣΟΥ ΕΤΗΣΙΟΥ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΑΝΟΙΧΤΑ

Αρχικά προσδιορίζονται οι επικρατέστερες κυματικές συνθήκες στα «ανοιχτά» της περιοχής μελέτης καθώς και οι μέσες ετήσιες συχνότητες εμφάνισης αυτών. Για να προσδιοριστεί το κυματικό κλίμα στα ανοιχτά αξιοποιούνται αρχικά τα ανεμολογικά δεδομένα της περιόδου 1979-2019, όπως προσφέρονται από την Αμερικανική **βάση δεδομένων NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (ncdc.noaa.gov)**. Τα συγκεκριμένα δεδομένα είναι πολυπληθή (big data) καθώς δίνουν κυματικά χαρακτηριστικά ανά μια ώρα για όλη τη διαθέσιμη χρονική περίοδο και απαιτούν στατιστική ανάλυση και κατηγοριοποίηση της έντασης των ανέμων ομάδες και σε διευθύνσεις (η οποία υλοποιείται με γλώσσα προγραμματισμού *python*).

Με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα που εξάγονται από τη βάση δεδομένων NOAA, γίνεται ο προσδιορισμός του μέσου ετήσιου κυματικού κλίματος στα «ανοιχτά» της περιοχής μελέτης, εφαρμόζοντας τη μέθοδο Smith (1991), προσφέροντας ως αποτέλεσμα το χαρακτηριστικό ύψος κύματος και την περίοδο κορυφής στο επιθυμητό σημείο, με την παραδοχή περιορισμού αναπτύγματος πελάγους (fetch-limited), ανεξαρτήτως διάρκειας πνοής.



Εικόνα 3-1. Διάγραμμα ροής υπολογισμού κυματικού κλίματος στα ανοιχτά.

3.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Ειδικότερα, για την προσομοίωση των παράκτιων διεργασιών υλοποιούνται τα ακόλουθα βήματα:

Βήμα 1. Δημιουργία καννάβου που αντιπροσωπεύει πιστά τη βαθυμετρία της περιοχής μελέτης. Κατασκευάζεται ορθογωνικός κάνναβος με μικρό χωρικό βήμα κελιών ($dx=dy=2.5m$) στους δυο οριζόντιους άξονες, με χρήση του αριθμητικού εργαλείου **Maris BTG**. Το αριθμητικό πεδίο προσομοίωσης, όπως ήδη αναφέρθηκε, περιλαμβάνει ολόκληρο τον όρμο Ναυπάκτου, με ένα συνολικό μήκος ακτογραμμής περί τα 6km, με στόχο να διερευνηθεί κατά πόσο τα προτεινόμενα έργα μεταβάλλουν την υφιστάμενη ακτομηχανική διάταξη της περιοχής μελέτης. Τα βυθομετρικά δεδομένα λαμβάνονται από την πρόσφατη βαθυμετρική αποτύπωση και εμπλουτίζονται από τη βάση Navionics.

Βήμα 2. Τα κυματικά σενάρια στα «ανοιχτά» (παρ. 3.2) και η βαθυμετρία (βήμα 1) αποτελούν δεδομένα εισόδου στο μη γραμμικό κυματικό αριθμητικό μοντέλο **Maris HMS** (nonlinear Hyperbolic Mild-Slope model) για την προσομοίωση της διάδοσης σύνθετων μη γραμμικών κυματισμών, προσομοιώνοντας το σύνολο των φυσικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα, δηλαδή τη ρήχωση, τη διάθλαση, την περίθλαση, την ανάκλαση και την απώλεια ενέργειας λόγω θραύσης και τριβής στον πυθμένα.

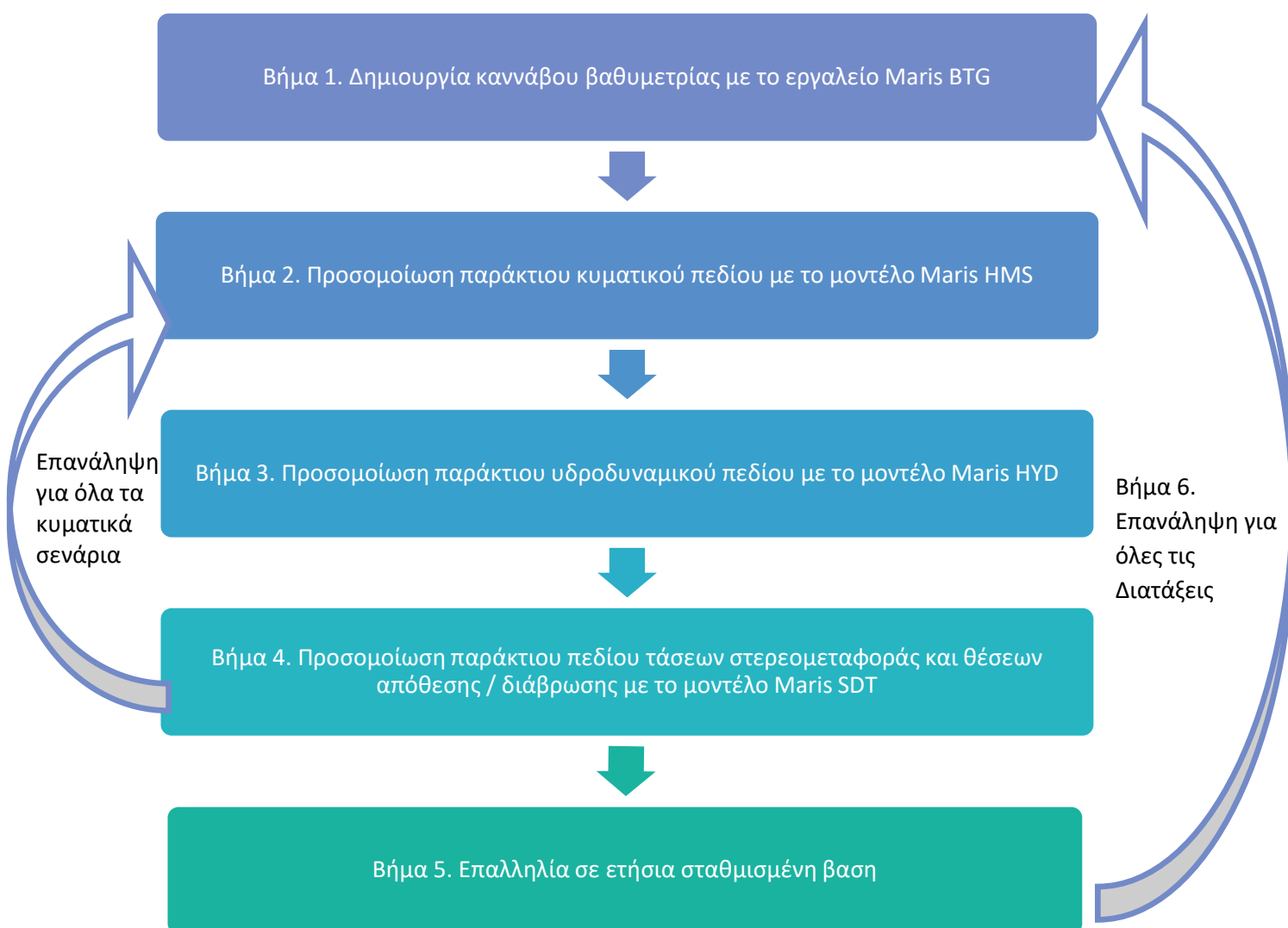
Βήμα 3. Για κάθε κυματικό πεδίο του βήματος 2, προσομοιώνεται με την χρήση του υδροδυναμικού μοντέλου **Maris HYD**, το διανυσματικό πεδίο ταχυτήτων των κυματογενών ρευμάτων.

Βήμα 4. Στη συνέχεια, στη βάση τόσο του κυματικού πεδίου όσο και της κυματογενούς κυκλοφορίας που υπολογίστηκε στα προηγούμενα βήματα, προσομοιώνεται η στερεομεταφορά και ο ρυθμός μεταβολής πυθμένα, σε κάθε σημείο της περιοχής ενδιαφέροντος, με το μοντέλο στερεομεταφοράς **Maris SDT**.

Βήμα 5. Όλα τα προηγούμενα βήματα επαναλαμβάνονται για κάθε μέσο ετήσιο ισοδύναμο κυματισμό της κάθε εξεταζόμενης διεύθυνσης καθώς και για τα ακραία σενάρια καταιγίδας που λαμβάνονται υπόψη. Ακολουθώς γίνεται σταθμισμένη επαλληλία των αποτελεσμάτων για τον προσδιορισμό του μέσου ετήσιου ρυθμού μεταβολής πυθμένα σε κάθε σημείο της περιοχής ενδιαφέροντος. Με τον τρόπο αυτό εξάγονται συμπεράσματα για τις κυρίαρχες τάσεις απόθεσης ιζημάτων ή διάβρωσης σε κάθε τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής.

Βήμα 6. Τα παραπάνω βήματα υλοποιούνται για κάθε διάταξη (Διάταξη DN και W1).

Η αλληλουχία των παραπάνω βημάτων συνοψίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα ροής.



Εικόνα 3-2. Διάγραμμα ροής εφαρμογής αριθμητικών μοντέλων και προσομοίωσης παράκτιων διεργασιών.

Οι αλυσίδες των αριθμητικών μοντέλων που εφαρμόζονται στην παρούσα Ακτομηχανική Διερεύνηση δίνονται ακολούθως.



Εικόνα 3-3 Αλυσίδες μοντέλων που εφαρμόζονται για την προσομοίωση των παράκτιων διεργασιών.

3.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Επιπρόσθετα των προσομοιώσεων για την εύρεση του μέσου ετήσιου ρυθμού στερεομεταφοράς, διερευνάται και η επεισοδιακή αλλοίωση της παράκτιας περιοχής σε περίπτωση εμφάνισης ακραίων κυματισμών. Συγκεκριμένα, τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση (Διάταξη DN) όσο και για τη Διάταξη παρουσία των νέων έργων (Διάταξη W1) προσομοιώνονται δύο σενάρια ακραίων γεγονότων καταιγίδας από νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά αντίστοιχα.

3.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΡΡΟΗΣ ΡΕΜΑΤΩΝ

Στην παράκτια περιοχή μελέτης, εκβάλλει ο χείμαρρος της Βαρειάς, ο οποίος και τροφοδοτεί μερικώς το θαλάσσιο πυθμένα με κατά βάση χονδρόκοκκο ιζημα αμμοχαλικώδους σύστασης. Ως εκ τούτου, στις αριθμητικές προσομοιώσεις στερεομεταφοράς, θεωρείται ότι ο πυθμένας, εξαιτίας της εν λόγω στερεοαπορροής του ρέματος, έχει ικανή ποσότητα ιζήματος προς μεταφορά. Να σημειωθεί ωστόσο πως η στερεοαπορροή του χείμαρρου είναι επεισοδιακή με συνολική διάρκεια μερικών ημερών στο έτος και δεν υπάρχει μια συνεχής μέση ροή εξόδου που να επηρεάζει μόνιμα το παράκτιο υδροδυναμικό πεδίο.

4. ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στο πλαίσιο του παρόντος έργου εκπονήθηκε βυθομετρική αποτύπωση της περιοχής ενδιαφέροντος (Εικόνα 4-1). Η αποτύπωση έγινε παράλληλα με την ακτογραμμή έως την ισοβαθή των -22m καλύπτοντας μια συνολική επιφάνεια περίπου 0.3 km².

Ο τετραγωνισμός του βυθομετρικού διαγράμματος αναφέρεται στο ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (Ε.Γ.Σ.Α.'87). Τα βυθομετρικά στοιχεία του διαγράμματος (θαλάσσια βάθη, ισοΰψεις και ισοβαθείς καμπύλες) έχουν ως επιφάνεια αναφοράς την Μέση Στάθμη Θάλασσας (στο εξής ΜΣΘ).

Η συμπλήρωση των υπόλοιπων βυθομετρικών δεδομένων τόσο εκατέρωθεν της υπάρχουσας βυθομετρικής αποτύπωσης όσο και στα πιο βαθιά νερά έως περίπου την ισοβαθή των -50 m πραγματοποιείται αξιοποιώντας βυθομετρικά στοιχεία της βάσης Navionics (Εικόνα 4-2) (**webapp.navionics.com**).



Εικόνα 4-1. Βυθομετρική αποτύπωση παράκτιας περιοχής μελέτης



*Εικόνα 4-2 Ναυτικός Χάρτης της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος από τη βάση Navionics (πηγή: **webapp.navionics.com**)*

5. ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΤΑ

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, αναζητήθηκαν και αποκτήθηκαν τα πιο πρόσφατα ανεμολογικά δεδομένα από την Αμερικάνικη βάση δεδομένων NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (ncei.noaa.gov) για την περίοδο 1979-2019. Στη συνέχεια, τα πολυπληθή δεδομένα (ανά μία ώρα) ταξινομούνται σε ομάδες ταχύτητας ανέμου ανά την κλίμακα Beaufort για όλες τις διευθύνσεις και παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5-1).

Πίνακας 5-1 Πλήθος ανεμολογικών δεδομένων της περιοχής μελέτης (πηγή: NOAA, 1979-2019)

BEAU F	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	SUM*
>1	391	334	414	371	374	372	359	374	2989
1	6450	7502	8148	5341	4932	8656	12348	8855	62232
2	4488	2172	39211	6838	8102	2413	49211	1160	16531
		4				2		8	4
3	353	2139	39737	2894	3716	1571	38650	1340	12380
		9				4			3
4	14	4388	12073	397	612	3954	8703	111	30252
5	-	495	1525	9	42	468	498	24	3061
6	-	36	93	-	1	32	45	2	209
7	-	-	-	-	-	-	4	-	4
SUM	1169	5587	10120	1585	1777	5332	10981	2231	38786
	6	8	1	0	9	8	8	4	4

*αφορά την εμφάνιση της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου σε μετρήσεις ανά μια ώρα.

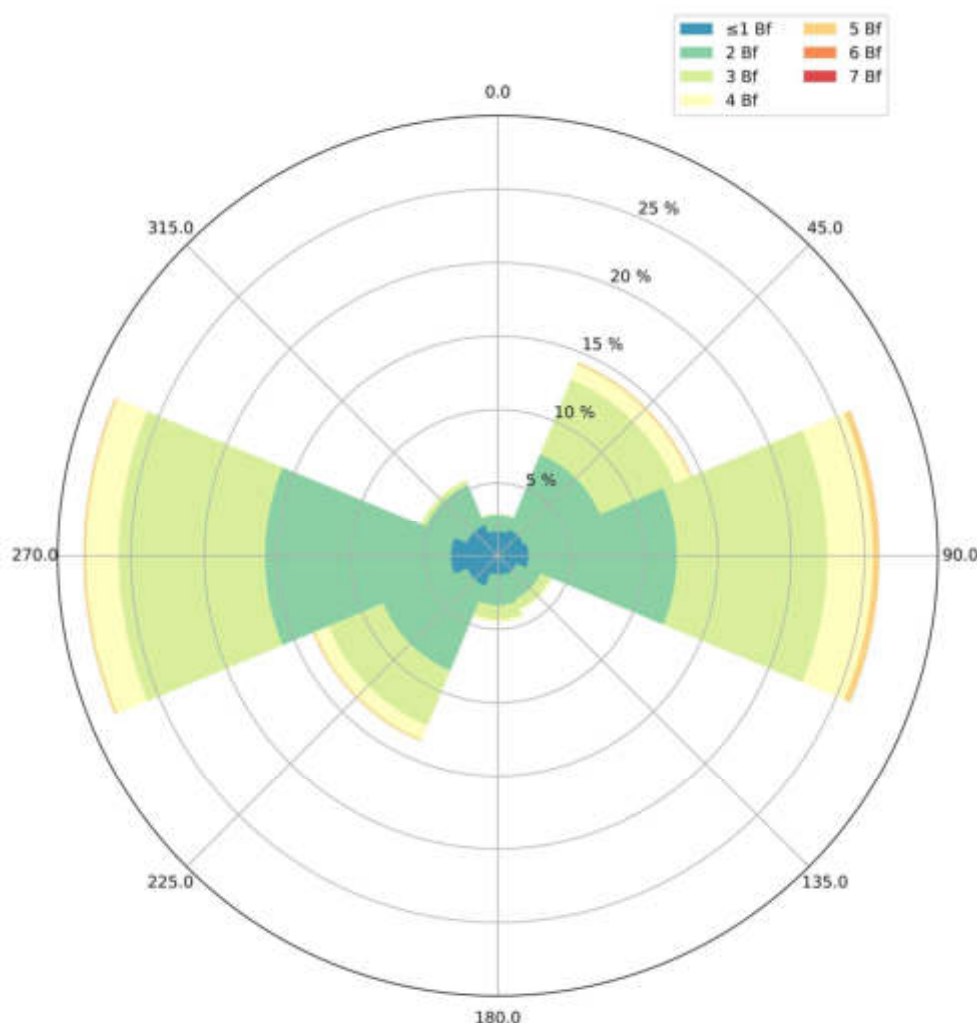
Οι επικρατέστεροι άνεμοι της περιοχής είναι οι Δυτικοί και οι Ανατολικοί με ετήσια ποσοστά εμφάνισης 28.31% και 26.09% αντίστοιχα και ακολουθούν οι Βορειοανατολικοί με ποσοστό εμφάνισης 14.41% και οι Νοτιοδυτικοί με ποσοστό εμφάνισης 13.75%. Το σύνολο των ετήσιων συχνοτήτων των ανεμολογικών διευθύνσεων σε κλίμακα Beaufort και το αντίστοιχο ανεμολογικό ροδόγραμμα δίνονται ακολούθως.

Πίνακας 5-2 Μέσες ετήσιες συχνότητες εμφάνισης ανέμων (πηγή: NOAA, 1979-2019)

BEAUF	N f (%)	NE f (%)	E f (%)	SE f (%)	S f (%)	SW f (%)	W f (%)	NW f (%)	SUM (%)
>1	0.101	0.086	0.107	0.096	0.096	0.096	0.093	0.096	0.771
1	1.663	1.934	2.101	1.377	1.272	2.232	3.184	2.283	16.045
2	1.157	5.601	10.109	1.763	2.089	6.222	12.688	2.993	46.622
3	0.091	5.517	10.245	0.746	0.958	4.051	9.965	0.345	31.919
4	0.004	1.131	3.113	0.102	0.158	1.019	2.244	0.029	7.800
5	-	0.128	0.393	0.002	0.011	0.121	0.128	0.006	0.789

6	-	0.009	0.024	-	0.000	0.008	0.012	0.001	0.054
7	-	-	-	-	-	-	0.001	-	0.001
SUM (%)	3.015	14.407	26.092	4.086	4.584	13.749	28.314	5.753	100

Η συχνότερη ένταση των επικρατούντων ανέμων είναι στα 2 Bf (με μέση ετήσιο ποσοστό 46.622%) και η μέγιστη ένταση αυτών φθάνει τα 7 Bf (με μέσο ετήσιο ποσοστό 0.001%).



Εικόνα 5-1. Ροδόγραμμα ανεμολογικών δεδομένων από ΝΟΑΑ

Έχοντας υπόψη τη γεωγραφική θέση της περιοχής και τον προσανατολισμό της ακτής έχουν ενδιαφέρον από άποψης γένεσης κυματισμών στα ανοιχτά οι άνεμοι του τομέα από τα Ανατολικά μέχρι Νοτιοδυτικά. Πιο συγκεκριμένα οι άνεμοι που είναι ικανοί να δημιουργήσουν αξιόλογους κυματισμούς και να προσβάλουν την περιοχή μελέτης είναι:

- ✓ Ανατολικοί με μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης 26.092% (για όλες τις εντάσεις)
- ✓ Νοτιοανατολικοί με μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης 4.086% (για όλες τις εντάσεις)

6. ΚΥΜΑΤΙΚΟ ΚΛΙΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

6.1 ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΟΙΧΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο της Μεθοδολογίας το κυματικό κλίμα στα βαθιά εκτιμάται με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα του ΝΟΑΑ. Ακολούθως δίνεται η πορεία υπολογισμού και τα αποτελέσματα.

Όπως προαναφέρθηκε, από απόψεως γένεσης κυματισμών έχουν ενδιαφέρον οι άνεμοι που πνέουν από:

- ✓ Ανατολικά
- ✓ Νοτιοανατολικά,
- ✓ Νότια,
- ✓ Νοτιοδυτικά

Για τις παραπάνω διευθύνσεις ακολουθεί ο προσδιορισμός του μέσου ετήσιου κυματικού κλίματος στα «ανοιχτά» της περιοχής μελέτης, υπολογίζοντας το ενεργό ανάπτυγμα πελάγους με βάση τη μεθοδολογία του Smith (1991) καθορίζοντας την τρισδιάστατη κατανομή των χαρακτηριστικών υψών κύματος, περιόδου και κατεύθυνσης στα ανοιχτά της περιοχής μελέτης.

Συγκεκριμένα, η διαδικασία για τον προσδιορισμό των κυματικών συνθηκών περιγράφεται παρακάτω:

α) Προσδιορίζεται το ανάπτυγμα πελάγους F για κάθε διεύθυνση και η μέση διεύθυνση διάδοσης των κυματισμών, θ_{wn} . Οι ακτίνες αναπτύγματος πελάγους χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των στερεών ορίων που περιορίζουν την περιοχή ανάπτυξης των κυματισμών. Γίνεται παρεμβολή ανά 5° των μετρούμενων ακτίνων. Στη συνέχεια για κάθε προκύπτουσα ακτίνα υπολογίζεται ο μέσος όρος των μηκών των εκατέρωθεν της ακτίνων σε ένα τόξο $\pm 45^\circ$. Η μέση διεύθυνση διάδοσης των κυματισμών, θ_{wn} , προκύπτει μεγιστοποιώντας την ακόλουθη ποσότητα:

$$F_{\varphi}^{0.28} \cdot (\cos \varphi)^{0.44}$$

Η γωνία φ ορίζεται ως η γωνία διεύθυνσης πνοής ανέμου, η οποία σχετίζεται με την παρεμβλλόμενη μέση τιμή μήκους αναπτύγματος F_{φ} . Τα αποτελέσματα αξιολογούνται σε ένα εύρος $\pm 45^\circ$ σε διαστήματα 5° . Όταν το αποτέλεσμα της παραπάνω εξίσωσης μεγιστοποιείται, η γωνία φ αντιπροσωπεύει τη γωνία μεταξύ του ανέμου και των κυματισμών, και η γωνία θ_{wn} αντιπροσωπεύει την κατεύθυνση από την οποία αναπτύσσεται ο κυματισμός κατά μήκος του F_{φ} .

β) Προσδιορίζεται η ελάχιστη διάρκεια πνοής ανέμου t_{fetch} που απαιτείται για να αναπτυχθεί κυματικό πεδίο ως πεδίο περιορισμένων μηκών ανάπτυξης.

γ) Υπολογίζονται τα κυματικά χαρακτηριστικά περιορισμένου μήκους ανάπτυξης: ύψος κύματος H και περίοδος T από τους ακόλουθους τύπους:

$$H = 0.0015 \left(\frac{\bar{U}_a^2}{g} \right) \left(\frac{gF}{\bar{U}_a^2} \right)^{0.5}$$

$$T = 0.3704 \left(\frac{\hat{U}_a}{g} \right) \left(\frac{gF}{\hat{U}_a^2} \right)^{0.28}$$

δ) και τέλος γίνεται έλεγχος εάν τα χαρακτηριστικά υπερβαίνουν τις συνθήκες πλήρους ανάπτυξης

$$H_{fd} = 0.2433 \left(\frac{\hat{U}_e^2}{g} \right)$$

$$T_{fd} = 8.134 \left(\frac{\hat{U}_e}{g} \right)$$

Στις ανωτέρω εξισώσεις τα σύμβολα είναι τα εξής:

g = επιτάχυνση βαρύτητας

F = μήκος αναπτύξεως κυματισμού

$\hat{U}_a = U_a \cos \varphi$ συνιστώσα της U_a παράλληλη με την διεύθυνση του μήκους αναπτύξεως

$\hat{U}_e = U_e \cos \varphi$ συνιστώσα της U_e παράλληλη με την διεύθυνση του μήκους αναπτύξεως

H = Ύψος κύματος

T = Περίοδος κύματος

H_{fd} = Ύψος κυματισμού σε πλήρη ανάπτυξη

T_{fd} = Περίοδος κύματος σε πλήρη ανάπτυξη

Όπου η ταχύτητα U_e (equivalent neutral wind speed) δίνεται από τον τύπο $U_e = \frac{U_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \right]$, με U_* την ταχύτητα τριβής, k η σταθερά von Karman (~ 0.4), z το υψόμετρο της μέτρησης του ανέμου και z_0 το μήκος τραχύτητας της επιφάνειας. Η προσαρμοσμένη ταχύτητα U_a δίνεται από τον τύπο $U_a = U_e \sqrt{C_D / 0.001}$ (C_D , drag coefficient).

Οι παραπάνω εξισώσεις εφαρμόζονται για τον προσδιορισμό των κυματικών συνθηκών που προκαλούνται από τους ανέμους που δύναται να επηρεάσουν την περιοχή μελέτης. Στην ακόλουθη Εικόνα 6-1 απεικονίζονται οι ακτίνες αναπτύγματος πελάγους για τις εξεταζόμενες διευθύνσεις.



Εικόνα 6-1 Ακτίνες αναπτύγματος πελάγους (Fetch)

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών των κυματικών συνθηκών από το με τις μαθηματικές ρουτίνες που προαναφέρθηκαν για τις εξεταζόμενες εντάσεις ανέμου. Συγκεκριμένα, για κάθε περίπτωση που εξετάστηκε, υπολογίζεται το σημαντικό ύψος κύματος H_s (m) και η περίοδος κορυφής T_p (s) και η κύρια διεύθυνση διάδοσης των κυματισμών Θ_{wd} (°).

Σημειώνονται τα ακόλουθα:

- Τα αποτελέσματα αφορούν **Fetch Limited συνθήκες** καθώς οι διάρκειες πνοής που μπορούν να υπολογιστούν από το μέσο ετήσιο ανεμολογικό κλίμα δεν αντιστοιχούν σε διάρκειες καταγραφής πραγματικών συμβάντων. Για αυτό το λόγο η διάρκεια πνοής συντηρητικά λαμβάνεται ίση με την οριακή διάρκεια που εξασφαλίζει συνθήκες Fetch Limited.
- Οι ταχύτητες πνοής του ανέμου έχουν διορθωθεί για
 - Διαφορά θερμοκρασίας θάλασσα – αέρα
 - Διαφορετική τραχύτητα ξηράς και θάλασσας
- Οι μεγαλύτεροι κυματισμοί από κάθε κατεύθυνση επισημαίνονται με έντονα (**bold**) γράμματα.

Πίνακας 6-1 Κυματικά χαρακτηριστικά στα ανοιχτά της περιοχής μελέτης

	Ε - Ανατολικοί			SE – Νοτιοανατολικοί			S – Νότιοι			Νοτιοδυτικοί		
	$\Theta_{wd}=90^\circ$ - $\Theta_{wn}=117^\circ$			$\Theta_{wd}=135^\circ$ - $\Theta_{wn}=118^\circ$			$\Theta_{wd}=180^\circ$ - $\Theta_{wn}=217^\circ$			$\Theta_{wd}=225^\circ$ - $\Theta_{wn}=217^\circ$		
	Fetch=38.33km			Fetch=38.86km			Fetch=23.76km			Fetch=24.22 km		
BEAUF	f%	H_s (m)	T_p (s)	f%	H_s (m)	T_p (s)	f%	H_s (m)	T_p (s)	f%	H_s (m)	T_p (s)
1	2.10	0.13	1.56	1.37	0.14	1.62	1.27	0.09	1.32	2.23	0.11	1.44
2	10.10	0.26	2.15	1.76	0.28	2.23	2.09	0.19	1.81	6.22	0.23	1.98
3	10.24	0.43	2.68	0.74	0.46	2.77	0.96	0.31	2.26	4.05	0.38	2.46

4	3.11	0.69	3.30	0.10	0.74	3.41	0.16	0.50	2.78	1.02	0.61	3.04
5	0.39	0.90	3.72	0.002	0.98	3.85	0.01	0.65	3.14	0.12	0.80	3.43
6	0.02	1.16	4.16	-	-	-	-	-	-	0.008	1.03	3.83

Λόγω της γεωμορφολογίας της περιοχής και των μικρών αναπτυσσόμενων ακτινών αναπτύγματος πελάγους, το κυματικό κλίμα που αναπτύσσεται στα βαθιά θεωρείται σχετικά ήπιο. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι μεγαλύτεροι κυματισμοί προέρχονται από ανέμους πνέοντες από Ανατολικά-νοτιοανατολικά και Νότιο-νοτιοδυτικά και φτάνουν τα 1.16m και 1.03m αντίστοιχα. Η μέση διεύθυνση διάδοσης των κυματισμών προερχόμενοι από Ανατολικά και Νοτιοανατολικά ουσιαστικά ταυτίζεται και είναι 117° και 118° αντίστοιχα ωρολογιακά ως προς το βορρά, ενώ η μέση διεύθυνση διάδοσης των κυματισμών προερχόμενοι από Νότια και Νοτιοδυτικά ταυτίζεται και είναι 217°.

6.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Το αντικείμενο της παρούσας ακτομηχανικής μελέτης είναι η διερεύνηση του μέσου ετήσιου ισοζυγίου στερεομεταφοράς στην περιοχή μελέτης. Συνεπώς, τα κυματικά δεδομένα που είναι και η γενεσιουργός αιτία των ρευμάτων και της παράκτιας στερεομεταφοράς, πρέπει αντίστοιχα να αντιπροσωπεύουν ένα μέσο ετήσιο κυματικό κλίμα. Ως εκ τούτου, λαμβάνοντας υπόψη τα κυματικά δεδομένα του Πίνακα 6-1 υπολογίζονται οι στερεομεταφορικά ισοδύναμοι κυματισμοί ανά διεύθυνση οι οποίοι είναι αντιπροσωπευτικοί της κυματικής κατάστασης σε ετήσια βάση σύμφωνα με την μεθοδολογία που έχει προταθεί από τους Chondros et al. (2022).

Με βάση την εν λόγω μεθοδολογία, οι κυματισμοί που δεν προκαλούν έναρξη κίνησης ιζήματος δεν συμμετέχουν στον υπολογισμό του ισοδύναμου κυματισμού λαμβάνοντας υπόψη την κλίση της ακτής ($\tan \beta$), τη μέση διάμετρο ιζήματος (d_{50}) και τα κυματικά χαρακτηριστικά στα ανοιχτά. Το ύψος, η περίοδος και η συχνότητα εμφάνισης του ισοδύναμου κυματισμού υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις των Chondros et al., (2022):

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^{N_{Dir}} (w_i H_{soi})}{\sum_{i=1}^{N_{Dir}} (w_i)}, \quad T_{pe} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{Dir}} (w_i T_{pi})}{\sum_{i=1}^{N_{Dir}} (w_i)}, \quad f_e = \sum_{i=1}^{N_{Dir}} (f_i Q_i) / Q_e$$

$$w_i = f_i Q_i = f_i \frac{0.149}{(\rho_s - \rho)(1-p)} H_{sbi}^{2.75} T_{pi}^{0.89} m_{bi}^{0.86} d_{50i}^{0.69} \sin^{0.5} (2a_{bi})$$

όπου:

$$Q = \frac{0.149}{(\rho_s - \rho)(1-p)} H_{sb}^{2.75} T_p^{0.89} m_b^{0.86} d_{50}^{0.69} \sin^{0.5} (2a_b)$$

H_e, T_{pe}, f_e : Ανά διεύθυνση ισοδύναμο ύψος κύματος, ισοδύναμη περίοδος και ισοδύναμη συχνότητα εμφάνισης αντίστοιχα.

$H_{b,i}, \alpha_{b,i}, m_{b,i}$: Ύψος κυματισμού, γωνία διάδοσης κυματισμού σε σχέση με την κάθετη στην ακτή και κλίση ακτής, αντίστοιχα, στο σημείο εκκίνησης της θραύσης, τα οποία υπολογίζονται σύμφωνα με τον

Leont'gen (2014), για όλες τις καταγραφές της κάθε διεύθυνσης N_{Dir} .

H_{soir}, T_{pi} : Ύψος κύματος στα ανοιχτά και περίοδος κυματισμού αντίστοιχα.

ρ_s, ρ, p, d_{50} : Πυκνότητα κόκκων, πυκνότητα νερού, πορώδες και μέση διάμετρος κόκκων αντίστοιχα.

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζονται ακολούθως τα κυματικά χαρακτηριστικά και η αντίστοιχη συχνότητα εμφάνισης των ισοδύναμων κυματισμών ανά διεύθυνση (α/α 1 & 2) και των ακραίων κυματισμών (α/α 3 & 4).

Σημειώνεται πως επιπλέον του μέσου ετήσιου κυματικού κλίματος, προσομοιώνονται οι ακραίοι κυματισμοί που δύναται να προκαλέσουν μια επεισοδιακή διάβρωση. Με αυτό τον τρόπο θα διερευνηθεί η απόκριση των προτεινόμενων έργων σε μια τέτοια καταίγιδα και θα απεικονιστούν οι τρωτές περιοχές της παράκτιας ζώνης που θα πληγούν από διάβρωση. Σε αυτό το πλαίσιο επιλέγονται οι δύο δυσμενέστερες περιπτώσεις πρόσπτωσης ακραίων κυματισμών από τη Ανατολική-νοτιοανατολική και Νότιο-νοτιοδυτική διεύθυνση αντιστοίχως.

Πίνακας 6-2 Κυματικά δεδομένα εισόδου στο αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης

Σενάριο α/α	Διεύθυνση (°)	Συχνότητα εμφάνισης f (%)	Ύψος κύματος Hs(m)	Περίοδος Tp(s)
1	ΑΝΑ Θ _{wv} =118°	17.487%	0.76	3.42
2	ΝΝΔ Θ _{wv} =217°	9.443%	0.61	3.00
3	ΑΝΑ Θ _{wv} =118°	0.02%	1.16	4.16
4	ΝΝΔ Θ _{wv} =217°	0.008%	1.03	3.83

7. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ & ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

7.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ – MARIS HMS

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται το μαθηματικό μοντέλο κυματικής διάδοσης **Maris HMS** Nonlinear Hyperbolic Mild-Slope, που αναπτύχθηκε από τη Scientia Maris. Αποτελεί ένα εξελιγμένο μη γραμμικό μοντέλο εξίσωσης ήπιας κλίσης υπερβολικής μορφής που προσομοιώνει τη χωροχρονική διάδοση των κυματισμών σε παράκτια πεδία και λιμενολεκάνες. Είναι ικανό να προσομοιώσει με ακρίβεια όλα τα πολύπλοκα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα σε ένα παράκτιο πεδίο, όπως:

- Διάδοση μη γραμμικών κυματισμών
- Διάδοση μονοχρωματικών ή σύνθετων κυματισμών, μονό-κατευθυντικοί ή πολυ-κατευθυντικοί
- Ρήχωση
- Διάθλαση
- Περίθλαση
- Μερική ή Ολική Ανάκλαση
- Απώλεια ενέργειας λόγω θραύσης και τριβής πυθμένα

Το εν λόγω μοντέλο αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την εκπόνηση μελετών κυματικής διαταραχής σε κλειστές θαλάσσιες περιοχές (κόλπους, λιμενολεκάνες) και την προσομοίωση φαινομένων συντονισμού (resonance και seiching) μέσα σε ένα λιμένα. Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παράκτιες περιοχές όπου το φαινόμενο της ανάκλασης των κυματισμών είναι το κυρίαρχο φαινόμενο για την εκπόνηση ακτομηχανικών μελετών. Τα μεγέθη που υπολογίζει είναι το ύψος, η περίοδος και η διεύθυνση των κυματισμών καθώς επίσης η ανύψωση της ελεύθερης θαλάσσιας επιφάνειας και οι τάσεις ακτινοβολίας.

Το συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο βασίζεται στις εξισώσεις ήπιας κλίσης που καταστρώθηκαν αρχικά από τον Berkhoff (1972) και εν συνεχεία επεκτάθηκαν από τον Booij (1981) προσθέτοντας όρους ενεργειακής διάχυσης. Περαιτέρω εξέλιξη επετεύχθη από τους Massel (1993) και Suh et al. (1997) για την ενσωμάτωση της επίδρασης απότομων αλλαγών του πυθμένα. Οι αρχικές εξισώσεις ήπιας κλίσης είναι ελλειπτικές μερικές διαφορικές εξισώσεις με μιγαδικές μεταβλητές. Για την επίλυση τους χρειάζεται σημαντικός υπολογιστικός χρόνος, ειδικά εάν πρόκειται για μελέτη μιας μεγάλης παράκτιας περιοχής. Για αυτό το λόγο έχουν προταθεί διαφορές προσεγγιστικές μεθοδολογίες για την επίλυσή τους. Το συγκεκριμένο μοντέλο βασίζεται στις εξισώσεις ήπιας κλίσης, υπερβολικής μορφής (Copeland, 1985; Karambas et al., 2013). Οι εξισώσεις γράφονται ως εξής:

$$\zeta_t + \frac{c}{c_g} \nabla \frac{c_g}{c} Q_w = 0$$

$$U_{w,t} + \frac{c^2}{d} \nabla \zeta = v_h \nabla^2 U_w$$

όπου ζ είναι η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας λόγω του κυματισμού, $Q_w = U_w h_w = (Q_w, P_w)$, $h_w = d + \zeta$, d το βάθος της θάλασσας, $U_w \equiv (U_w, V_w)$, U_w και V_w είναι οι μέσες ως προς το βάθος οριζόντιες ταχύτητες, c η ταχύτητα διάδοσης του κυματισμού, c_g η ταχύτητα ομάδας διάδοσης του κυματισμού, και v_h ο τυρβώδης συντελεστής ιξώδους που ενσωματώνει τη διάχυση ενέργειας λόγω θραύσης και μερικής ή ολικής ανάκλασης.

Η απώλεια της ενέργειας λόγω θραύσης των κυματισμών στην ακτή, ή πάνω στους κυματοθραύστες, εισάγεται στο μοντέλο μέσω της προσομοίωσης των τάσεων Reynolds, με τη θεώρηση τυρβώδους συντελεστή ιξώδους στο δεξιό μέρος των εξισώσεων της ορμής. Ο τυρβώδης συντελεστής ιξώδους v_h υπολογίζεται από (Battjes, 1978):

$$v_h = 2h \left(\frac{D}{\rho} \right)^{1/3}$$

όπου D η απώλεια της ενέργειας λόγω της θραύσης τυχαίων κυματισμών

$$D = \frac{1}{4} Q_b f_s \rho g H_m^2$$

με f_s τη μέση συχνότητα φάσματος, H_m το μέγιστο δυνατό ύψος κύματος ($=\gamma \cdot h$, με γ μία σταθερά, $\gamma \approx 0.6$), και Q_b συντελεστή που σχετίζεται με τη πιθανότητα θραύσης του κυματισμού.

Μετά την παραδοχή κατανομής Rayleigh, ο συντελεστής Q_b δίνεται από τη λύση της παρακάτω εξίσωσης:

$$\frac{1 - Q_b}{\ln Q_b} = \left(\frac{H_{rms}}{H_m} \right)^2$$

όπου H_{rms} είναι το μέσο τετραγωνικό ύψος (στο πρόγραμμα υπολογίζεται από τη σχέση $H_{rms} = 2(<Z^2>)^{1/2}$ όπου οι αγκύλες $<>$ δηλώνουν μέση χρονική τιμή).

Είναι φανερό ότι η μέγιστη τιμή του Q_b είναι η μονάδα (όλοι οι κυματισμοί είναι θραυόμενοι), και όταν $H_{rms} < H_m$, τότε $Q_b < 1$ (μη θραυόμενοι κυματισμοί). Η παραπάνω εξίσωση της απώλειας D μπορεί να περιγράψει την απώλεια τυχαίων κυματισμών σε οποιαδήποτε πολύπλοκη βαθυμετρία, συμπεριλαμβανομένων των επιμηκών υφάλων της ζώνης θραύσης (longshore bars).

Η απώλεια της ενέργειας λόγω τριβής πυθμένα προσομοιώνεται με τους γραμμικοποιημένους όρους στο δεξιό μέρος των εξισώσεων της ορμής. Ο γραμμικοποιημένος συντελεστής τριβής f_b συνδέεται με τον συντελεστή τριβής (κύματος) f_w με τη σχέση:

$$f_b \sigma = \frac{\frac{1}{2} f_w \sqrt{U_w^2 + V_w^2}}{d}$$

Στις παραπάνω εξισώσεις η ταχύτητα φάσης, η ταχύτητα ομάδος και ο κυματαριθμός είναι μεταβλητές οι οποίες εξαρτώνται άμεσα από τη επιλεχθείσα σχέση διασποράς. Τα πιο διαδεδομένα διεθνώς μαθηματικά μοντέλα της κατηγορίας των εξισώσεων ήπιας κλίσης υιοθετούν την γραμμική σχέση διασποράς για τον υπολογισμό των ταχυτήτων ακόμα και στα ενδιάμεσα και βαθιά νερά υστερώντας σημαντικά στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων καθώς η μη γραμμικότητα παίζει σημαντικό ρόλο στα κυματικά χαρακτηριστικά και ιδίως στο ύψος κύματος που ενδιαφέρει τις εφαρμογές.

Αντίθετα, το εξελιγμένο μοντέλο Maris HMS (Chondros et al., 2019a; Chondros et al., 2019b; Metallinos et al., 2019) υπερέχει των αντίστοιχης κατηγορίας μοντέλων που κυκλοφορούν διεθνώς, προσφέροντας πιο ακριβή αποτελέσματα αφού υιοθετεί τη φιλοσοφία μιας καινοτόμου μεθοδολογίας, όπως προτάθηκε από τους Chondros and Memos (2014), υπολογισμού των παραμέτρων k και C , που εμφανίζονται στις βασικές εξισώσεις με την κυματογεννήτρια που αναφέρεται στους Metallinos et al. (2021). Η μεθοδολογία αυτή επιλύει χωροχρονικά ανώτερης τάξης μη γραμμικές θεωρίες Stokes 2^{ης} και 5^{ης} τάξης, Cnoidal και Solitary.

Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η διάδοση μη γραμμικών σύνθετων κυματισμών το μοντέλο Maris HMS ακολουθεί μια αναλυτική προσέγγιση υπολογισμού της σχέσης διασποράς ενσωματώνοντας έτσι τη μη γραμμικότητα σε οποιοδήποτε βάθος νερού. Αρχικά υπολογίζεται η παράμετρος Ursell: $Ur = HL^2/h^3$ (H είναι το ύψος κύματος και L είναι το μήκος κύματος) και η παράμετρος που εκφράζει τη διασπορά συχνοτήτων, $s = H/L$, σε κάθε κελί του υπολογιστικού πεδίου. Στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παραμέτρους καθώς και τις περιοχές εφαρμογής των διαφόρων θεωριών διάδοσης των κυματισμών όπως προτάθηκαν αυτές από τον Hedges (1995), υπολογίζεται η μη γραμμική διασπορά σε συνάρτηση με τις θεωρίες κυματισμών Stokes δευτέρας ή πέμπτης τάξης, Cnoidal ή θεωρία μοναχικού κύματος ως ακολούθως:

Περιοχές εφαρμογής θεωριών διάδοσης κυματισμών			Σχέση διασποράς
$s < 0.04$	$Ur < 40$	Stokes 1st	$\omega^2 = gk \tanh(kh)$
$s > 0.04$	$Ur < 40$	Stokes higher	$\omega^2 = gk(1 + \varepsilon^2 D) \tanh(kh)$
$s > 0.00$	$40 < Ur < 4000$	Cnoidal	$\omega^2 = gk^2 h (1 + H/mh(2 - m - 3E/K))$, όπου K, E are the complete elliptic functions of the first and second kind, respectively. The parameter m is the modulus of the elliptic functions.

			Alternatively, the modified Cnoidal equation is used herein: $\omega^2 = gk^2h(1 + f(m)H/h)$, Bell et al. (2004) assumed a value of 0.4 for $f(m)$
$s > 0.00$	$Ur > 4000$	Solitary	$\omega^2 = gk^2h(1 + H/h)$

Οι τάσεις ακτινοβολίας υπολογίζονται από τις κάτωθι σχέσεις (Copeland 1985):

$$\begin{aligned} \frac{S_{xx}}{\rho} &= h^2 < U_w^2 > A_r - h^2 < \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right)^2 > B_r + \frac{\partial}{\partial x} < \left[U_w \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right) \right] \\ &> D_r + h^2 \frac{\partial}{\partial y} < \left[V_w \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right) \right] > D_r + \frac{1}{2}g < \zeta^2 > \\ \frac{S_{yy}}{\rho} &= h^2 < V_w^2 > A_r - h^2 < \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right)^2 > B_r + \frac{\partial}{\partial y} < \left[V_w \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right) \right] \\ &> D_r + h^2 \frac{\partial}{\partial x} < \left[U_w \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right) \right] > D_r + \frac{1}{2}g < \zeta^2 > \\ \frac{S_{yy}}{\rho} &= h^2 < U_w V_w > A_r \end{aligned}$$

όπου τα σύμβολα $<>$ δηλώνουν ολοκλήρωση ως προς την περίοδο των κυματισμών και

$$\begin{aligned} A_r &= \frac{k}{4\sinh^2 kd} (\sinh 2kd + 2kd) \\ B_r &= \frac{1}{4k\sinh^2 kd} (\sinh 2kd - 2kd) \\ D_r &= \frac{d}{4\sinh^2 kd} \left(\frac{1}{2kd} \sinh 2kd - \cosh 2kd \right) \end{aligned}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός και η ενσωμάτωση μη γραμμικών ταχυτήτων, με τον πιο πάνω τρόπο, καθιστούν το μοντέλο πολύ ακριβές χωρίς να ανεβάζουν δραματικά τον απαιτούμενο υπολογιστικό φόρτο και χρόνο.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επίλυση των βασικών εξισώσεων του μοντέλου είναι αυτή των πεπερασμένων διαφορών που εφαρμόζεται σε κάνναβο ορθογωνικού πλέγματος με σταθερά χωρικά και χρονικά βήματα που ικανοποιούν το κριτήριο Courant. Ο αλγόριθμος επιλύει τις εξισώσεις, αρχικά με την παραδοχή γραμμικών ταχυτήτων, μέχρι να επέλθει μονιμοποίηση όλου του αριθμητικού πεδίου, δηλαδή το ύψος κύματος στη νέα χρονική στιγμή, σε κάθε κελί του καννάβου, να μην διαφέρει περισσότερο από 0.5% από την αμέσως προηγούμενη χρονική στιγμή. Εφόσον ολοκληρωθεί το πρώτο στάδιο μονιμοποίησης επαναυπολογίζονται οι ταχύτητες με ενσωμάτωση της μη γραμμικότητας και επανεπιλύεται το πεδίο μέχρι να μονιμοποιηθεί.

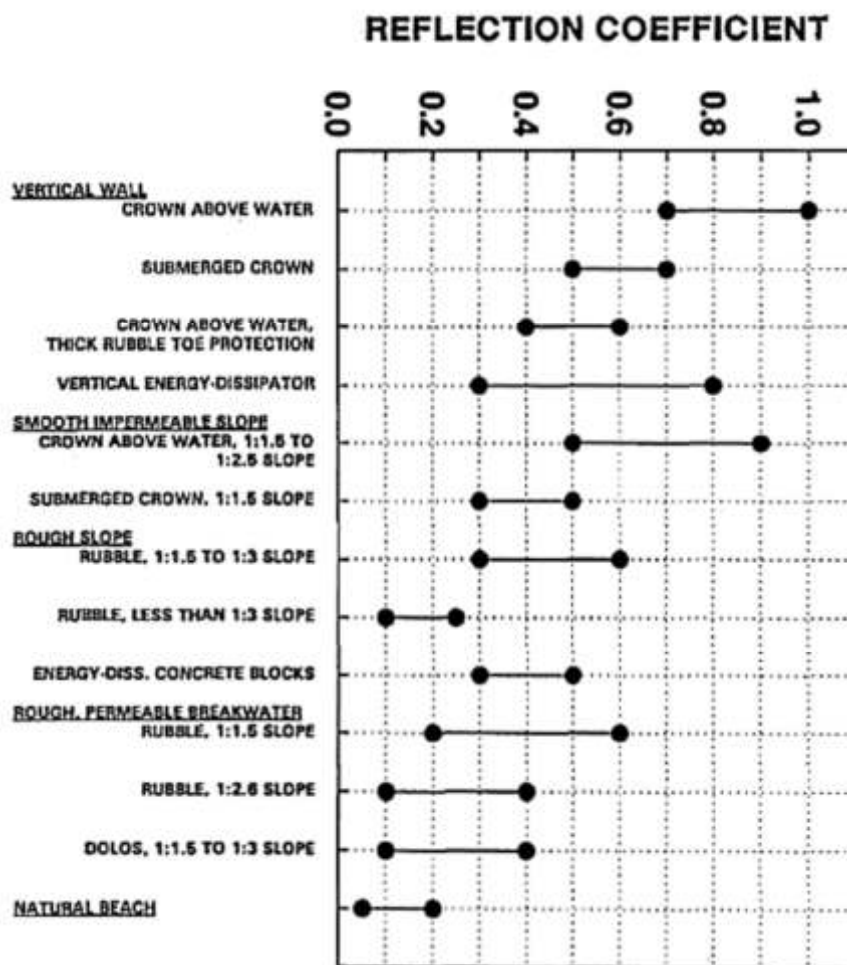
Για την παραγωγή της κυματικής διαταραχής μέσα στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιείται η μέθοδος της εσωτερικής γένεσης (internal generation):

$$\zeta = 2 \frac{H_o}{2} \cos(ky \sin \theta - \omega t) c \frac{\Delta t}{\Delta x} \cos \theta$$

Στα όρια όπου αναμένεται ολική ανάκλαση (όπως π.χ. κατακόρυφα μέτωπα - κρηπιδότοιχοι) εφαρμόζεται η συνθήκη:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial n} = 0$$

Τέλος, το μοντέλο Maris HMS, λαμβάνει ως δεδομένο εισόδου ένα δισδιάστατο αρχείο, όπου προσδιορίζεται κοντά στα στερεά όρια (3-4 κελιά) της περιοχής μελέτης, ο τυρβώδης συντελεστής ιξώδους v_h όπου προσομοιώνουν τεχνητά τη διάχυση ενέργειας λόγω μερικής ή ολικής ανάκλασης των κυματισμών. Οι συντελεστές υπολογίζονται από ένα αρχικό σετ προσομοιώσεων με την εφαρμογή του μοντέλου με βάση την περίοδο του κύματος T , το ύψος κύματος H και ένα σταθερό βάθος d στον πόδα του έργου. Η σωστή εκτίμηση των συντελεστών ανακλάσεως r (ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του εισερχόμενου κυματισμού προς τον ανακλώμενο $= H_i/H_r$) και των αντίστοιχων συντελεστών ιξώδους v_h σε κάθε τμήμα του στερεού ορίου είναι πρωτεύουσας σημασία για την αποτελεσματικότητα του μοντέλου. Στην ακόλουθη εικόνα δίνονται τυπικά εύρη (Thompson et al. 1996) συντελεστών ανάκλασης για περιόδους κυματισμού μικρότερες των 20s.



Εικόνα 7-1 Τυπικά εύρη συντελεστών ανάκλασης (πηγή: Thompson et al. 1996).

Τα απαιτούμενα δεδομένα εισόδου για να εφαρμοστεί το μοντέλο είναι τα εξής:

- Η βαθυμετρία της περιοχής μελέτης δίνεται ως διδιάστατος αριθμητικός καννάβος όπου κάθε κελί αντιπροσωπεύει και μια τιμή βάθους ή ένα κελί ξηράς.
- Επιλογή συννοριακών συνθηκών στα όρια του αριθμητικού πεδίου (αποσβέσεις)
- Καθορισμός κυματικών χαρακτηριστικών στην κυματογενήτρια του αριθμητικού πεδίου, ύψος, περίοδο και διεύθυνση.
- Καθορισμός συντεταγμένων σημείου αρχής και τέλους της κυματογενήτριας
- Προσομοίωση ή μη της θραύσης και της τριβής πυθμένα
- Χάρτης χωρικής κατανομής συντελεστή τριβής

Τα αποτελέσματα του μαθηματικού μοντέλου δίνονται υπό μορφή δισδιάστατων αρχείων που περιέχουν το ύψος κύματος, τη διεύθυνση διάδοσης των κυματισμών, τις τάσεις ακτινοβολίας και την ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας, σε όλα τα σημεία του καννάβου.

7.2 ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ – MARIS HYD

Η απώλεια ενέργειας των κυματισμών, κυρίως λόγω της θραύσης τους λόγω ρήξης, σε συνδυασμό με την επίδραση των φαινομένων της διάθλασης και της περίθλασης, οδηγεί στη δημιουργία παράκτιων κυματογενών ρευμάτων. Το μοντέλο **Maris HYD** παρέχει την υδροδυναμική βάση για τους υπολογισμούς που εκτελούνται στη συνέχεια στο μοντέλο μεταφοράς ιζημάτων Maris SDT.

Το εν λόγω μοντέλο υπολογίζει την διακύμανση της στάθμης της θάλασσας και τις ροές που προκύπτουν από μια πλειάδα μηχανισμών γένεσης σε λίμνες, εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές. Οι διακυμάνσεις και οι ροές επιλύονται σε ένα πλέγμα ορθογωνικών στοιχείων που καλύπτει την περιοχή ενδιαφέροντος.

Δίνονται σαν δεδομένα εισόδου η βαθυμετρία, οι συντελεστές τριβής πυθμένα, το πεδίο ανέμου και το πεδίο των τάσεων ακτινοβολίας από την θραύση των κυματισμών στην παράκτια ζώνη, οι οποίες έχουν παραχθεί από τα αποτελέσματα του κυματικού μοντέλου Maris HMS, καθώς και οι κατάλληλες οριακές συνθήκες.

- Στην επίλυση περιλαμβάνονται τα εξής φαινόμενα:
- Τάσεις τριβής πυθμένα
- Διατμητικές τάσεις ανέμου στην επιφάνεια
- Μεταβολές του βαρομετρικού πεδίου
- Δυνάμεις Coriolis
- Διασπορά της ορμής
- Πηγές και απώλειες (sources and sinks)

Οι εξισώσεις συνέχειας και ορμής που βασίζεται το υδροδυναμικό μοντέλο είναι:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Uh)}{\partial x} + \frac{\partial(Vh)}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ &= -\frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h h \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{t_{sx}}{\rho h} - \frac{t_{bx}}{\rho h} \right) \\ \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ &= -\frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h h \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{t_{sy}}{\rho h} - \frac{t_{by}}{\rho h} \right) \end{aligned}$$

όπου ζ είναι η ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας και U και V οι μέσες ως προς το βάθος νερού οριζόντιες ταχύτητες ρεύματος κατά τη διεύθυνση x και y αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι το πεδίο ταχυτήτων της ροής σε όλο το υπολογιστικό πεδίο το οποίο και αποτελεί δεδομένο εισόδου στο μετέπειτα μοντέλο στερεομεταφοράς Maris SDT.

7.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ – MARIS SDT

Το μοντέλο **Maris SDT** υπολογίζει τις μορφοδυναμικές μεταβολές και την εξέλιξη πυθμένα σε παράκτιες περιοχές με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών σε ορθογωνικό πλέγμα μεταβλητού χωρικού βήματος.

Η βασική εξίσωση υπολογισμού του μοντέλου είναι η εξίσωση διατήρησης μάζας των ιζημάτων ή εξίσωση Exner, με την οποία υπολογίζεται η μεταβολή του πυθμένα σε κάθε χρονικό βήμα:

$$(1 - n) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{Q}_t = 0$$

όπου:

n : το πορώδες του ιζήματος του πυθμένα

$\vec{Q}_t = (\vec{Q}_{tx}, \vec{Q}_{ty})$: ο ολικός ρυθμός στερεομεταφοράς (m^2/s) λόγω ρεύματος και κύματος

Η άνω εξίσωση επιλύεται με το αριθμητικό σχήμα WENO (Long et al., 2008) το οποίο περιορίζει την αριθμητική διάχυση (πτυχώσεις στον πυθμένα) που προκαλείται από την επίλυση της εξίσωσης Exner για μακροχρόνιες μεταβολές.

Για τον υπολογισμό του ολικού ρυθμού στερεομεταφοράς προσφέρονται από το μοντέλο Maris SDT οι ακόλουθες σχέσεις υπολογισμού:

- Soulsby – Van Rijn (1997) total load formula
- Van Thiel – Van Rijn (2008) total load formula
- Van Rijn (2007) total load formula
- Soulsby (1997) bed load formula

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε να εφαρμοστεί η σχέση υπολογισμού **Van Rijn (2007)** που υπολογίζει τη στερεομεταφορά λόγω φορτίου πυθμένα και σε αιώρηση. Ο ρυθμός στερεομεταφοράς λόγω φορτίου πυθμένα υπολογίζεται από την προαναφερθείσα σχέση υπό τη συνδυασμένη δράση κυμάτων και ρευμάτων.

Ο ρυθμός στερεομεταφοράς λόγω φορτίου πυθμένα υπολογίζεται ως εξής:

$$q_b = 0.015 \bar{U}_{tot} h \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{1.2} M_e^{1.5}$$

όπου:

d_{50} , η χαρακτηριστική διάμετρος ιζήματος

$\bar{U}_{tot} = \bar{U}^2 + \bar{V}^2$, η ολοκληρωμένη ως προς το βάθος ταχύτητα ρεύματος

$M_e = \frac{U_e - U_{cr}}{\sqrt{g d_{50} (s-1)}}$, παράμετρος κίνησης ιζήματος

$U_e = \bar{U}_{tot} + \gamma \cdot U_w$, ενεργός ταχύτητα της ροής με $\gamma = 0.8$ για μονοχρωματικούς και $\gamma = 0.4$ για σύνθετους κυματισμούς

U_w , η τροχιακή ταχύτητα του κύματος στον πυθμένα

$s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$, η σχετική πυκνότητα των στερεών κόκκων

Έναρξη κίνησης ιζήματος πραγματοποιείται όταν ο όρος U_e υπερβεί την τιμή της κρίσιμης ταχύτητας ρεύματος U_{cr} , η οποία υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$U_{cr} = \beta U_{cr,c} + (1 - \beta) U_{cr,w},$$

$$\text{με } \beta = \frac{\bar{U}_{tot}}{\bar{U}_{tot} + U_w}$$

Οι κρίσιμες ταχύτητες λόγω ρεύματος ($U_{cr,c}$) και κύματος ($U_{cr,w}$) υπολογίζονται κατ' αντιστοιχία από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$U_{cr,c} = 0.19(d_{50})^{0.1} \log_{10} \left(\frac{4h}{d_{90}} \right) \quad \text{για } 0.05 \leq d_{50} < 0.5 \text{ mm}$$

$$U_{cr,c} = 8.5(d_{50})^{0.6} \log_{10} \left(\frac{4h}{d_{90}} \right) \quad \text{για } 0.5 \leq d_{50} \leq 2.0 \text{ mm}$$

$$U_{cr,w} = 0.24[(s-1)g]^{0.66} (d_{50})^{0.33} T_p^{0.33} \quad \text{για } 0.05 \leq d_{50} < 0.5 \text{ mm}$$

$$U_{cr,w} = 0.95[(s-1)g]^{0.57} (d_{50})^{0.43} T_p^{0.14} \quad \text{για } 0.5 \leq d_{50} \leq 2.0 \text{ mm}$$

όπου:

d_{90} , η διάμετρος ιζήματος από την οποία το 90% των χαρακτηριστικών κόκκων είναι πιο αδρομερή

T_p , η περίοδος κορυφής του φάσματος των κυματισμών

Ο ρυθμός στερεομεταφοράς λόγω φορτίου σε αιώρηση (q_s) υπολογίζεται από τη σχέση του Van Rijn, 2007 ως εξής:

$$q_s = 0.012 \bar{U}_{tot} d_{50} (D_*)^{-0.6} M_e^{2.4}$$

όπου:

$$D_* = d_{50} \left[\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3}, \text{ η αδιάστατη διάμετρος ιζήματος}$$

Τελικά ο συνολικός ρυθμός στερεομεταφοράς (q_t) υπολογίζεται ως το διανυσματικό άθροισμα του φορτίου πυθμένα και σε αιώρηση.

Η τροχιακή ταχύτητα του κύματος στον πυθμένα υπολογίζεται για γραμμικούς ή σύνθετους κυματισμούς σύμφωνα με τις προσεγγιστικές σχέσεις των Soulsby & Smallman (1986).

Τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι οι ρυθμοί στερεομεταφοράς, ο ρυθμός μεταβολής του πυθμένα και οι περιοχές που εμφανίζονται τάσεις απόθεσης ή διάβρωσης σε όλο το υπολογιστικό πεδίο.

8. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕΣΩ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στις ακόλουθες παραγράφους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και ο αντίστοιχος σχολιασμός τους, των αριθμητικών προσομοιώσεων που αφορούν το κυματικό και το υδροδυναμικό πεδίο καθώς και τις τάσεις για απόθεση ιζημάτων ή διάβρωση της παράκτιας περιοχής μελέτης για την υφιστάμενη κατάσταση (ή αλλιώς Do Nothing, Διάταξη DN).

8.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Δημιουργία Βυθομετρικού Υπόβαθρου

Για το σενάριο της υφιστάμενης κατάστασης χρησιμοποιούνται τα βυθομετρικά δεδομένα της πρόσφατης βυθομετρικής αποτύπωσης, αλλά και βάσεις ανοιχτών δεδομένων (Navionics) για τα βυθομετρικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής μελέτης (βλ. Κεφάλαιο 4). Με συνδυασμό των ως άνω στοιχείων δημιουργήθηκε ο βυθομετρικός κάνναβος BATH_DN (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ). Η απεικόνιση στο συγκεκριμένο σχέδιο αφορά έκταση περίπου 2.0 km x 1.5 km, ενώ ο συνολικός δημιουργούμενος βυθομετρικός κάνναβος που εισάγεται στο αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης καλύπτει μία μεγαλύτερη περιοχή εκτάσεως περίπου 3.75 km x 2.6 km. Το χωρικό βήμα επιλέχθηκε μικρό ($dx = dy = 2.5$ m) για να υπολογιστούν τα αποτελέσματα με μεγάλη ακρίβεια χωρίς να αυξάνεται σημαντικά ο υπολογιστικός χρόνος.

Κυματικά Δεδομένα Εισόδου

Προσομοιώνονται οι ισοδύναμοι κυματισμοί από κάθε εξεταζόμενη διεύθυνση καθώς και οι δύο ακραίοι κυματισμοί, όπως παρουσιάζονται στην παράγραφο 6.2 (Πίνακας 6-2).

8.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Για την προσομοίωση του κυματικού κλίματος της υφιστάμενης κατάστασης χρησιμοποιείται το μοντέλο Maris HMS που λαμβάνει ως δεδομένα εισόδου τα όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 8.1.

Στα Σχέδια WV_1_DN έως WV_4_DN (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ) δίνονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης του κυματικού κλίματος για όλα τα εξεταζόμενα κυματικά σενάρια. Συγκεκριμένα, στα Σχέδια WV_1_DN και WV_2_DN δίνονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης για κυματική πρόσπτωση των ενεργειακά ισοδύναμων κυματισμών από ΑΝΑ (118°) και ΝΝΔ (217°) διευθύνσεις αντίστοιχα. Στα Σχέδια WV_3_DN και

WV_4_DN δίνονται τα αποτελέσματα για τους ακραίους κυματισμούς ομοίως από ΑΝΑ και ΝΝΔ διευθύνσεις αντίστοιχα..

Τα γενικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την επισκόπηση των παραπάνω Σχεδίων είναι τα ακόλουθα:

- Η περιοχή μελέτης είναι εκτεθειμένη σε κυματισμούς προερχόμενους κατά κύριο λόγο από την Ανατολική-Νοτιοανατολική (ΑΝΑ – 117°) και Νότια-Νοτιοδυτική (217°) διεύθυνση. Οι εισερχόμενοι κυματισμοί διαμορφώνουν ένα σχετικά ήπιο κυματικό κλίμα λόγω των περιορισμένων αναπτυγμάτων πελάγους. Οι μεγαλύτεροι κυματισμοί που δύναται να δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια ενός έτους σε περίπτωση εμφάνισης καταιγίδας φθάνουν τα 1-1.5m στα ανοιχτά, από τις εν λόγω διευθύνσεις.
- Τα ύψη κυματισμών μειώνονται προς τα ρηχά έως και μηδενίζονται μόλις φτάνουν την ακτογραμμή λόγω του φαινομένου της θραύσης. Η μέση διεύθυνση διάδοσης των κυματισμών τείνει να γίνει κάθετη προς την ακτογραμμή όσο κατευθυνόμαστε προς τα ρηχά, λόγω του φαινομένου της διάθλασης.
- Οι κυματισμοί που προσβάλουν και δύναται να δημιουργήσουν εντονότερες ακτομηχανικές διεργασίες στην προτεινόμενη θέση κατασκευής της νέας λιμενικής εγκατάστασης προέρχονται από την Ανατολική-Νοτιοανατολική διεύθυνση (118°). Οι κυματισμοί προερχόμενοι από την Νότια-Νοτιοδυτική διεύθυνση, λόγω του προσανατολισμού της ακτογραμμής και της θέσης εκβολής του χειμάρρου Βαρεία, επηρεάζουν συγκριτικά λιγότερο τη προτεινόμενη θέση κατασκευής των νέων έργων.

8.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Για τον υπολογισμό της παράκτιας κυματογενούς υδροδυναμικής κυκλοφορίας της υφιστάμενης κατάστασης χρησιμοποιείται το υδροδυναμικό μοντέλο Maris HYD που λαμβάνει ως δεδομένο εισόδο το πεδίο των τάσεων ακτινοβολίας όπως υπολογίστηκε από το προηγούμενο βήμα.

Στα Σχέδια HD_1_DN έως HD_4_DN (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ) δίνονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης του κυματογενούς υδροδυναμικού πεδίου για όλα τα εξεταζόμενα κυματικά σενάρια. Συγκεκριμένα, στα Σχέδια HD_1_DN και HD_2_DN απεικονίζονται τα παράκτια κυματογενή ρεύματα των ενεργειακά ισοδύναμων κυματισμών από ΑΝΑ (118°) και ΝΝΔ (217°) διευθύνσεις αντίστοιχα ενώ στα Σχέδια HD_3_DN και HD_4_DN δίνονται τα αποτελέσματα για τους ακραίους κυματισμούς ομοίως από ΑΝΑ και ΝΝΔ διευθύνσεις αντίστοιχα.

Τα γενικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την επισκόπηση των παραπάνω Σχεδίων είναι τα ακόλουθα:

- Το υδροδυναμικό πεδίο της περιοχής που αναπτύσσεται από την πρόσπτωση των ισοδύναμων κυματισμών είναι ήπιο (με ταχύτητες έως 0.2-0.3 m/s περίπου για τους ισοδύναμους κυματισμούς), ενώ κατά την πρόσπτωση των μεγαλύτερων (ακραίων) κυματισμών οι ταχύτητες αυξάνονται ελαφρώς έως και τα 0.4-0.5 m/s.
- Για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια, τα διανύσματα των ρευμάτων είναι παράλληλα με την ακρογραμμή στο μεγαλύτερο μέρος της, με εξαίρεση μια περιοχή δυτικά της εκβολής του χειμάρρου όπου παρατηρούνται στροβιλισμοί και βελοειδή ρεύματα (rip currents) μικρής έντασης που οφείλονται στην τοπική γεωμορφολογία.
- Για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια, βορειοανατολικά της εκβολής του χειμάρρου (προτεινόμενη θέση νέας λιμενικής εγκατάστασης) τα κυματογενή ρεύματα έχουν γενική κατεύθυνση από ΝΔ προς ΝΑ. Στην εν λόγω περιοχή, τα ρεύματα που δημιουργούνται από τους ΝΝΔ κυματισμούς έχουν μικρότερη ένταση συγκριτικά με τα ρεύματα που δημιουργούνται από τους ΑΝΑ κυματισμούς.

8.4 ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Για τον υπολογισμό της παράκτιας στερεομεταφοράς και του ρυθμού μεταβολής του πυθμένα της υφιστάμενης κατάστασης χρησιμοποιείται το αριθμητικό μοντέλο Maris SDT που λαμβάνει ως δεδομένο εισόδου το υδροδυναμικό πεδίο και τα ύψη των κυματισμών όπως υπολογίστηκαν προηγουμένως.

Η σύσταση του ιζήματος της περιοχής μελέτης εκτιμάται μακροσκοπικά από την επιτόπια επίσκεψη που πραγματοποιήθηκε από μέλη της ομάδας μελέτης του έργου. Συγκεκριμένα, στις αριθμητικές προσομοιώσεις, σχετικά με την μέση σύσταση του ιζήματος συνολικά τόσο στην ακτογραμμή όσο και στον πυθμένα, γίνονται οι εξής παραδοχές:

Πυκνότητα κόκκων	:	$\rho_s = 2.65 \text{ t/m}^3$
Μέση διάμετρος	:	$d_{50} = 1.00 \text{ mm}$
Πορώδες	:	$n = 0.40$
Διασπορά ιζήματος	:	$G_g = 1.8$

Στα Σχέδια DZ_1_DN έως DZ_4_DN (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ) δίνονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης του ρυθμού μεταβολής του πυθμένα για όλα τα εξεταζόμενα κυματικά σενάρια αποδίδοντας τις περιοχές που εμφανίζουν τάσεις για διάβρωση ή απόθεση ιζημάτων σε κάθε σημείο της εξεταζόμενης περιοχής.

Συγκεκριμένα, στα Σχέδια DZ_1_DN και DZ_2_DN δίνονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης για τους ισοδύναμους κυματισμούς από ΑΝΑ (118°) και ΝΝΔ (217°) διευθύνσεις αντίστοιχα ενώ στα Σχέδια DZ_3_DN και DZ_4_DN δίνονται τα αποτελέσματα για τους ακραίους κυματισμούς ομοίως από ΑΝΑ και ΝΝΔ διευθύνσεις αντίστοιχα.

Τα γενικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την επισκόπηση των παραπάνω Σχεδίων είναι τα ακόλουθα:

- Οι ΑΝΑ (117°) κυματισμοί δημιουργούν εντονότερες ακτομηχανικές διεργασίες στη θέση των προτεινόμενων έργων συγκριτικά με τους ΝΝΔ (217°) κυματισμούς.
- Στο μεγαλύτερο μήκος της εξεταζόμενης ακτογραμμής εναλλάσσονται τάσεις για διάβρωση και προσάμμωση. Τάσεις διάβρωσης εμφανίζονται στην εκβολή του χειμάρρου καθώς και στην θέση των προτεινόμενων έργων και μετέπειτα τάσεις για προσάμμωση στο ΝΔ μυχό της παραλίας Ψανή.
- Γενικότερα, οι ακτομηχανικές διεργασίες είναι εντονότερες πέριξ της εκβολής του χειμάρρου συγκριτικά με την υπόλοιπη εξεταζόμενη περιοχή εμφανίζοντας τάσεις διάβρωσης, εύρημα που συμφωνεί με την διαχρονική εξέλιξη της ακτογραμμής.
- Η εμφάνιση του σεναρίου καταιγίδας, ως αναμενόταν, προκαλεί εντονότερες τάσεις διάβρωσης ή απόθεσης ιζημάτων συγκριτικά με τα αντίστοιχα σενάρια των ισοδύναμων κυματισμών που εξετάζονται.
- Λόγω του ήπιου κυματικού κλίματος, της γενικότερης γεωμορφολογίας της παράκτιας περιοχής οι ακτομηχανικές διεργασίες στη περιοχή κατασκευής των νέων έργων συντελούνται σε μία σχετικά μικρή ζώνη, σε απόσταση από την ακτογραμμή περί τα 30m έως την ισοβαθή των -2m περίπου.
- Γενικότερα, στο μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης ακτογραμμής, δεν εμφανίζονται αξιόλογες τάσεις του ρυθμού μεταβολής του πυθμένα σε μέση ετήσια βάση. Οι όποιες τάσεις δύναται να εμφανιστούν κατά κύριο λόγο σε περιπτώσεις καταιγίδων.

8.5 ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ – ΜΕΣΟΣ ΕΤΗΣΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Στο υποκεφάλαιο αυτό γίνεται η σταθμισμένη επαλληλία των αποτελεσμάτων όλων των κυματικών σεναρίων που αναμένεται να επηρεάσουν την περιοχή μελέτης στην διάρκεια ενός έτους, προκειμένου να προσδιοριστεί ο συνολικός ρυθμός μεταβολής της βαθυμετρίας δείχνοντας τις τάσεις για διάβρωση ή προσάμμωση σε κάθε σημείο της περιοχής. Σαν συντελεστές βαρύτητας για την επαλληλία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται οι μέσες ετήσιες συχνότητες εμφάνισης των ισοδύναμων κυματισμών που δίνονται στη παράγραφο 6.2. Στο Σχέδιο **DZ_INT_DN** (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ) παρουσιάζεται ο σταθμισμένος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του πυθμένα, μετά από επαλληλία των αποτελεσμάτων των κυματικών σεναρίων που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την επισκόπηση του Σχεδίου της επαλληλίας είναι:

- Στο μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης ακτογραμμής εναλλάσσονται τάσεις για διάβρωση και προσάμμωση σε μέση ετήσια βάση.

- Στην περιοχή πέριξ της εκβολής του χειμάρρου εμφανίζονται τάσεις διάβρωσης.
- Γενικότερα σε μέση ετήσια βάση οι ακτομηχανικές διεργασίες στη περιοχή κατασκευής των νέων έργων συντελούνται σε μία σχετικά μικρή ζώνη, σε απόσταση περί τα 30m έως την ισοβαθή των -2m.

9. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ – ΔΙΑΤΑΞΗ W1

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται συνοπτικά τα έργα της νέας λιμενικής εγκατάστασης τα οποία και λαμβάνονται υπόψη στις προσομοιώσεις, δηλαδή η Διάταξη W1. Η εν λόγω διάταξη εξετάζεται αριθμητικά προκειμένου να διερευνηθούν ενδεχόμενες ακτομηχανικές επιπτώσεις στην μορφολογία της εξεταζόμενης περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, τα έργα τα οποία λαμβάνονται υπόψη στις αριθμητικές προσομοιώσεις και αφορούν την Διάταξη W1, σκαρίφημα των οποίων δίνεται στην ακόλουθη Εικόνα 9-1, είναι:

Γεφύρωμα Πρόσβασης (Εικόνα 9-1), πλάτους 5 m, συνολικού μήκους περί τα 30m, εδραζόμενο επί τριών βάθρων, αποτελούμενα από στήλες Τ.Ο., κάτοψης 5x5m έκαστο.

Νέος προβλήτας παραβολής σκαφών (Εικόνα 9-1): πλάτους 5m και συνολικού μήκους προσήνεμου μετώπου περί τα 110m, κατασκευασμένο από επάλληλες στήλες Τ.Ο.. Τυπικό σκαρίφημα διατομής του εν λόγω τμήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 9-2.

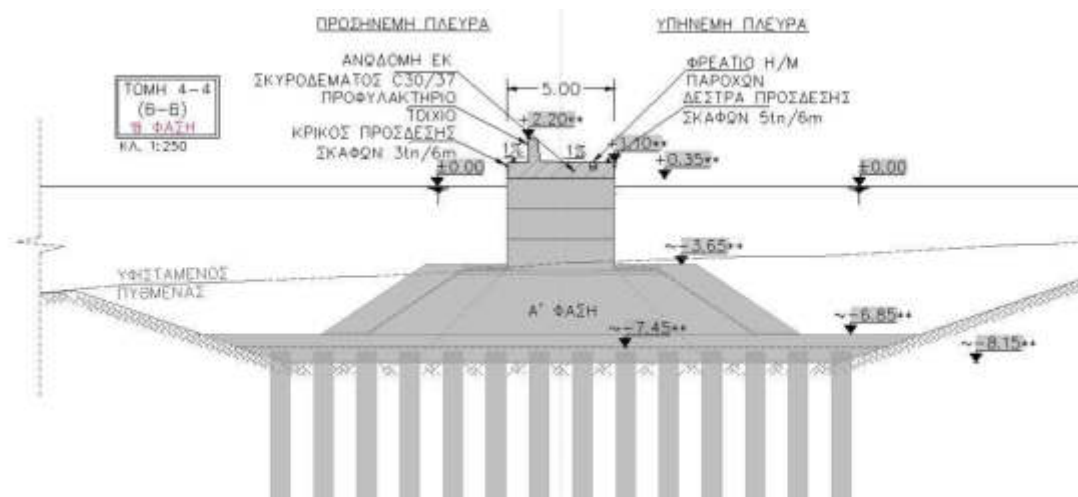
Εκβάθυνση στα -3.5 m στη νέα διαμορφούμενη λιμενολεκάνη

Πεπλατυσμένο ακρομώλιο (Εικόνα 9-1), κατασκευασμένο από στήλες Τ.Ο. και ύφαλο χυτό σκυρόδεμα πλάτους 10m και μήκους προσήνεμου μετώπου περί τα 20m. Τυπικό σκαρίφημα διατομής του εν λόγω τμήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 9-2.

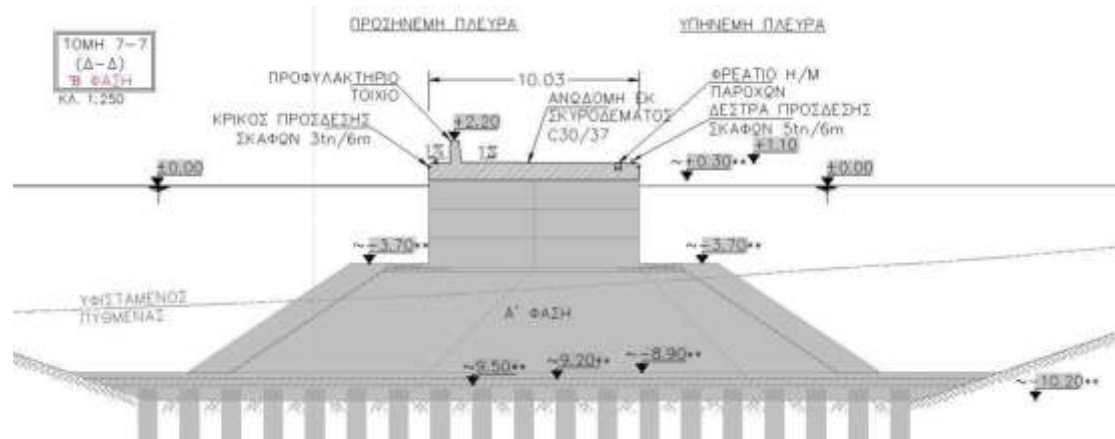
Σημειώνεται πως όλα τα έργα της νέας λιμενικής εγκατάστασης, τα οποία βρίσκονται πάνω από την μέση στάθμη θάλασσας (σε ύψος που δεν επιδρούν οι κυματισμοί, π.χ. Γεφύρωμα πρόσβασης), δεν επιδρούν στην ακτομηχανική δίατα της περιοχής μελέτης και δεν εισέρχονται στις μετέπειτα αριθμητικές προσομοιώσεις.



Εικόνα 9-1 Διάταξη W1 των προτεινόμενων έργων



Εικόνα 9-2 Χαρακτηριστική διατομή κρηπιδώματος παραβολής μετά την ολοκλήρωση των καθιζήσεων από τη φάση κατασκευής



Εικόνα 9-3 Χαρακτηριστική διατομή ακρομωλίου μετά την ολοκλήρωση των καθιζήσεων από τη φάση κατασκευής

10. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕΣΩ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΛΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στο Κεφάλαιο 8 διερευνήθηκαν με αριθμητική προσομοίωση οι παράκτιες διεργασίες της υφιστάμενης κατάστασης, χωρίς την παρουσία της νέας λιμενικής εγκατάστασης εξυπηρέτησης σκαφών, δηλαδή η Διάταξη DN (Do Nothing Scenario). Στη συνέχεια διερευνάται η ακτομηχανική συμπεριφορά της περιοχής μελέτης με την παρουσία των προτεινόμενων έργων που αποτελούν την Διάταξη W1.

10.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ: ΔΙΑΤΑΞΗ W1

Δημιουργία Βυθομετρικού Υπόβαθρου

Για την περίπτωση της Διάταξης W1 ο βυθομετρικός κάνναβος δημιουργείται έχοντας ως βάση τον βυθομετρικό κάνναβο της Διάταξης DN, στον οποίο ενσωματώνονται τα νέα λιμενικά έργα όπως περιγράφονται στο Κεφάλαιο 9. Σε αντιστοιχία με τη Διάταξη DN, ο βυθομετρικός κάνναβος που απεικονίζεται στην εικόνα BATH_W1 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ) έχει έκταση περίπου 2.0 km x 1.5 km, ενώ ο συνολικός δημιουργούμενος βυθομετρικός κάνναβος που εισάγεται στο αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης καλύπτει μία μεγαλύτερη περιοχή εκτάσεως περίπου 3.75 km x 2.6 km. Το χωρικό βήμα επιλέχθηκε ίδιο με τη Διάταξη DN ($dx = dy = 2.5$ m).

Προσδιορισμός Συντελεστών Μετάδοσης Προσήνεμου Μώλου

Δίνεται ένας διδιάστατος χάρτης όπου προσδιορίζεται κοντά στα στερεά όρια (4 κελιά) της περιοχής μελέτης, ο τυρβώδης συντελεστής ιξώδους ν_h προσομοιώνοντας τεχνητά τη διάχυση ενέργειας λόγω μερικής ή ολικής ανάκλασης των κυματισμών εξαιτίας της παρουσίας λιμενικών έργων. Τα λιμενικά έργα που δύναται να επηρεάσουν το κυματικό πεδίο της περιοχής μελέτης είναι κυρίως ο προσήνεμος μώλος κατασκευασμένος με κατακόρυφο προσήνεμο μέτωπο. Το γεφύρωμα πρόσβασης δεν λαμβάνεται υπόψη στις αριθμητικές προσομοιώσεις καθότι η κατωτάτη παρειά του καταστρώματος πάνω από τη Μ.Σ.Θ.

Για κάθε εξεταζόμενο κυματικό σενάριο (βλ. Πίνακας 6-2 Κυματικά δεδομένα εισόδου στο αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης) προσδιορίζεται ο συντελεστής μετάδοσης και ανάκλασης του προσήνεμου μώλου σύμφωνα με την παρακάτω μεθοδολογία:

- Από τις προσομοιώσεις της υφιστάμενης κατάστασης υπολογίζεται το ύψος και η περίοδος των κυματισμών στη θέση όπου κατασκευαστεί ο προσήνεμος μώλος.
- Με βάση τις διαστάσεις του καταστρώματος του προσήνεμου μώλου (πλάτος $B \sim 5$ m), το βάθος στη θέση εγκατάστασης ($d \sim 5.5$ -6 m) και την περίοδο του εισερχόμενου κυματισμού για κάθε σενάριο, υπολογίζεται ο αναμενόμενος συντελεστής μετάδοσης από την εξίσωση που παρατίθενται παρακάτω.

- Τα κελιά του βυθομετρικού καννάβου του αριθμητικού πεδίου που αντιστοιχούν στον προσήνεμο μώλο αντικαθίστανται με ένα ιδεατό βάθος και στο διδιάστατο χάρτη με τους συντελεστές τυρβώδους ιξώδους, εισάγονται συντελεστές στις αντίστοιχες θέσεις. Μέσω αυτού του σετ προσομοιώσεων προσδιορίζεται η τιμή του ιδεατού βάθους και η τιμή του συντελεστή για να επιτευχθεί κάθε φορά ο αναμενόμενος συντελεστής μετάδοσης καθώς και ο συντελεστής ανάκλασης.

Για τις άκαμπτες ανακλαστικές κατασκευές που είναι σταθερές σε σχέση με τον πυθμένα, ο Macagno (1954) ανέπτυξε την ακόλουθη εξίσωση για το συντελεστή μετάδοσης:

$$C_{t;Macagno} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{kB \sinh(kd)}{2 \cosh(kd - kD)} \right]^2}}$$

όπου D το βύθισμα της κατασκευής [m], B το πλάτος της [m], d το βάθος [m] και $k = 2\pi/L$ ο κυματαριθμός [rad/m], με L το μήκος κύματος, κάνοντας τις παραδοχές της άκαμπτης και σταθερής κατασκευής πεπερασμένου πλάτους και λαμβάνοντας υπόψη τη γραμμική θεωρία των κυματισμών.

Κυματικά Δεδομένα Εισόδου

Προσομοιώνονται οι ισοδύναμοι κυματισμοί από κάθε εξεταζόμενη διεύθυνση καθώς και οι δύο ακραίοι κυματισμοί, όπως παρουσιάζονται στην παράγραφο 6.2 (Πίνακας 6-2).

10.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ: ΔΙΑΤΑΞΗ W1

Για την προσομοίωση του κυματικού κλίματος της υφιστάμενης κατάστασης χρησιμοποιείται το μοντέλο Maris HMS που λαμβάνει ως δεδομένα εισόδου τα όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 10.1.

Στα Σχέδια WV_1_W1 έως WV_4_W1 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ) δίνονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης του κυματικού κλίματος για όλα τα εξεταζόμενα κυματικά σενάρια. Συγκεκριμένα, στα Σχέδια WV_1_W1 και WV_2_W1 δίνονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης για κυματική πρόσπτωση των ενεργειακά ισοδύναμων κυματισμών από ΑΝΑ (118°) και ΝΝΔ (217°) διευθύνσεις αντίστοιχα ενώ στα Σχέδια WV_3_W1 και WV_4_W1 δίνονται τα αποτελέσματα για τους ακραίους κυματισμούς ομοίως από ΑΝΑ και ΝΝΔ διευθύνσεις αντίστοιχα..

Τα γενικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την επισκόπηση των παραπάνω Σχεδίων είναι τα ακόλουθα:

- Το ευρύτερο κυματικό πεδίο της περιοχής μελέτης, συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση, παραμένει σχεδόν ανεπηρέαστο για τα εξεταζόμενα σενάρια προερχόμενα από ΝΝΔ (217°) διευθύνσεις ενώ μεταβάλεται ελαφρώς

στα εξεταζόμενα σενάρια προερχόμενα από ΑΝΑ (118°) διευθύνσεις λόγω της ανάκλασης των κυματισμών στον προσήνεμο μώλο του λιμένα.

- Δημιουργείται, ως αναμενόταν κατά κύριο λόγο για τους ΑΝΑ κυματισμούς, μια σκιάδης περιοχή (shadow area) μεταξύ της νέας λιμενικής υποδομής και της ακτής, με μικρότερα ύψη κύματος.
- Τα ύψη κυματισμών μειώνονται προς τα ρηχά έως και μηδενίζονται μόλις φτάνουν την ακτογραμμή λόγω του φαινομένου της θραύσης με το πλάτος της ζώνης θραύσης να είναι παρόμοιο με την ΔΝ για τα τμήματα της ακτογραμμής που είναι εκτός της σκιάς της μαρίνας. Η μέση διεύθυνση διάδοσης των κυματισμών τείνει να γίνει κάθετη προς την ακτογραμμή όσο κατευθυνόμαστε προς τα ρηχά, λόγω του φαινομένου της διάθλασης.

10.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ: ΔΙΑΤΑΞΗ W1

Για τον υπολογισμό της παράκτιας κυματογενούς υδροδυναμικής κυκλοφορίας της Διάταξης W1 και σε αντιστοιχία με την Διάταξη ΔΝ, χρησιμοποιείται το υδροδυναμικό μοντέλο Maris HYD που λαμβάνει ως δεδομένο εισόδου το πεδίο των τάσεων ακτινοβολίας όπως υπολογίστηκε από το προηγούμενο βήμα.

Στα Σχέδια HD_1_W1 έως HD_4_W1 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ) δίνονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης του κυματογενούς υδροδυναμικού πεδίου για όλα τα εξεταζόμενα κυματικά σενάρια. Συγκεκριμένα, στα Σχέδια HD_1_W1 και HD_2_W1 απεικονίζονται τα παράκτια κυματογενή ρεύματα των ενεργειακά ισοδύναμων κυματισμών από ΑΝΑ (118°) και ΝΝΔ (217°) διευθύνσεις αντίστοιχα ενώ στα Σχέδια HD_3_W1 και HD_4_W1 δίνονται τα αποτελέσματα για τους ακραίους κυματισμούς ομοίως από ΑΝΑ και ΝΝΔ διευθύνσεις αντίστοιχα.

- Τα γενικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την επισκόπηση των παραπάνω Σχεδίων υποδεικνύουν ότι δεν υπάρχουν αξιόλογες αλλαγές στο παράκτιο υδροδυναμικό πεδίο της ευρύτερης περιοχής μελέτης, κάνοντας τη σύγκριση με τα αντίστοιχα Σχέδια της υφιστάμενης κατάστασης.
- Τοπικά στην περιοχή κατασκευής των νέων έργων, η διάταξη της νέας λιμενικής εγκατάστασης, επηρεάζει στο μικρότερο δυνατό βαθμό τα αναπτυσσόμενα κατά μήκος της ακτογραμμής ρεύματα σε σύγκριση με αυτά που αναπτύσσονται στην υφιστάμενη κατάσταση.

10.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ: ΔΙΑΤΑΞΗ W1

Για τον υπολογισμό της παράκτιας στερεομεταφοράς και του ρυθμού μεταβολής του πυθμένα χρησιμοποιείται το αριθμητικό μοντέλο Maris SDT που λαμβάνει ως δεδομένο εισόδου το υδροδυναμικό πεδίο και τα ύψη των κυμάτων όπως υπολογίστηκαν από τα προηγούμενα βήματα. Η σύσταση του ιζήματος λαμβάνεται υπόψη με τις ίδιες παραδοχές που ελήφθησαν κατά τη προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης.

Στα Σχέδια DZ_1_W1 έως DZ_4_W1 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ) δίνονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης του ρυθμού μεταβολής του πυθμένα για όλα τα εξεταζόμενα κυματικά σενάρια αποδίδοντας τις περιοχές που εμφανίζουν τάσεις για διάβρωση ή απόθεση ιζημάτων σε κάθε σημείο της εξεταζόμενης περιοχής. Συγκεκριμένα, στα Σχέδια DZ_1_W1 και DZ_2_W1 δίνονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης για τους ισοδύναμους κυματισμούς από ANA (118°) και NND (217°) διευθύνσεις αντίστοιχα ενώ στα Σχέδια DZ_3_W1 και DZ_4_W1 δίνονται τα αποτελέσματα για τους ακραίους κυματισμούς ομοίως από ANA και NND διευθύνσεις αντίστοιχα.

Τα γενικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την επισκόπηση των παραπάνω Σχεδίων είναι τα ακόλουθα:

- Παρατηρούνται τάσεις για απόθεση ιζημάτων, σε μέση ετήσια βάση από κυματισμούς προερχόμενοι από ANA (118°), στο κεντρικό τμήμα της λιμενικής εγκατάστασης, βόρεια του γεφυρώματος πρόσβασης, λόγω της σκιάς που προκαλεί ο προσήνεμος μώλος. Οι τάσεις αυτές ενισχύονται με την εμφάνιση καταγιγίδας.
- Στο δυτικό μυχό της παραλίας Ψανή, αμέσως βορειότερα της δημιουργούμενης σκιάς του προσήνεμου μώλου, παρατηρείται μείωση της έντασης και της απόστασης από την ακτογραμμή των ρυθμών μεταβολής πυθμένα και εμφάνιση τάσεων διάβρωσης. Δυνητικά αυτό μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση και μικρή οπισθοχώρηση της ακτογραμμής σε αυτό το τμήμα.
- Σε όλο το υπόλοιπο τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής, από τα αποτελέσματα των αριθμητικών προσομοιώσεων, η παρουσία της νέας λιμενικής εγκατάστασης δεν διαφαίνεται να επηρεάζει το υφιστάμενο ακτομηχανικό ισοζύγιο.
- Γενικότερα, οι όποιες τάσεις προσάμμωσης ή διάβρωσης είναι μικρής έντασης, όπου αυτές εμφανίζονται.

10.5 ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ – ΜΕΣΟΣ ΕΤΗΣΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ: ΔΙΑΤΑΞΗ W1

Στο υποκεφάλαιο αυτό γίνεται η σταθμισμένη επαλληλία των αποτελεσμάτων όλων των κυματικών σεναρίων που αναμένεται να επηρεάσουν την περιοχή μελέτης στην διάρκεια ενός έτους, προκειμένου να προσδιοριστεί ο ετήσιος ρυθμός μεταβολής της βαθυμετρίας, δείχνοντας τις τάσεις για διάβρωση ή προσάμμωση σε κάθε σημείο της περιοχής. Σαν συντελεστές βαρύτητας για την επαλληλία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται οι μέσες ετήσιες συχνότητες εμφάνισης των ισοδύναμων κυματισμών που δίνονται στην παράγραφο 6.2 σε πλήρη αντιστοιχία με όσα εφαρμόζονται και για τη Διάταξη DN. Στο Σχέδιο **DZ_INT_W1** (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ) παρουσιάζεται ο σταθμισμένος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του πυθμένα, μετά από επαλληλία των αποτελεσμάτων.

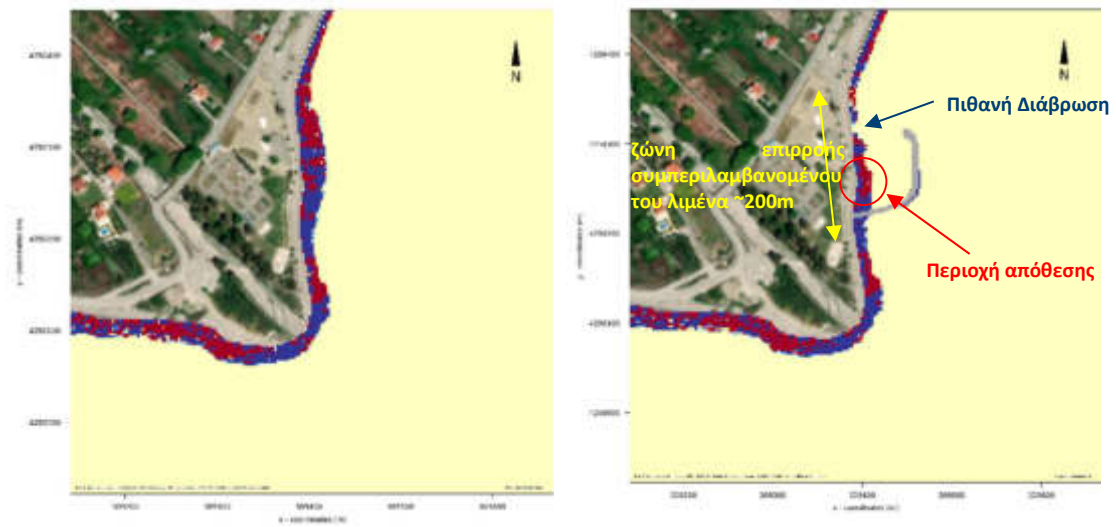
Τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την επισκόπηση του Σχεδίου της επαλληλίας για την Διάταξη W1, κάνοντας ταυτόχρονα σύγκριση με το Σχέδιο της επαλληλίας της Διάταξης DN (Εικόνα 10-1) είναι:

- Ομοίως με την υφιστάμενη κατάσταση όλες οι παράκτιες διεργασίες συντελούνται προς τα βαθιά σε μία ζώνη που εκτείνεται σε απόσταση περί τα 30m από την ακτογραμμή έως και την ισοβαθή των -2m περίπου στη θέση κατασκευής της νέας λιμενικής εγκατάστασης.
- Η παρουσία των νέων έργων προκαλεί μεταβολή στις υφιστάμενες παράκτιες διεργασίες σε μία ζώνη επιρροής που εκτείνεται συνολικά περί τα 200 m, κατά κύριο λόγο βόρεια του γεφυρώματος πρόσβασης έως το μυχό της παραλίας Ψανή, περιλαμβάνοντας το μήκος ακτογραμμής που καταλαμβάνει η προτεινόμενη λιμενική εγκατάσταση.
- Παρατηρούνται τάσεις για απόθεση ιζημάτων, σε μέση ετήσια βάση, στο κεντρικό τμήμα της νέας δημιουργούμενης λιμενολεκάνης, στη σκιά που προκαλεί ο προσήνεμος μώλος, ενώ αμέσως βορειότερα εμφανίζονται τάσεις διάβρωσης. Σημειώνεται ωστόσο ότι οι όποιες διαφορές εμφανίζονται στο ακτομηχανικό ισοζύγιο της διάταξης W1 συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση, είναι μικρής έντασης και έκτασης.
- Στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης, εκτός της ζώνης επιρροής, δεν μεταβάλλονται σε αξιόλογο βαθμό οι υφιστάμενες ακτομηχανικές διεργασίες σε μέση ετήσια βάση συγκριτικά με την Διάταξη DN, εμφανίζοντας εναλλασσόμενες τάσεις διάβρωσης / απόθεσης ιζημάτων.

Στην Εικόνα 10-1 παρατίθεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της επαλληλίας μεταξύ των Διατάξεων DN και W1. Να σημειωθεί ότι για τα σενάρια καταιγίδας που εξετάστηκαν οι όποιες τάσεις για απόθεση ή διάβρωση είναι συγκριτικά εντονότερες σε σύγκριση με τις μέσες συνθήκες, χωρίς ωστόσο να μεταβάλλουν τα ευρήματα των σχεδίων της επαλληλίας.

(α)

(β)



Εικόνα 10-1 Μέσος ετήσιος ρυθμός εξέλιξης πυθμένα, (α): DN, (β) W1

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν Κεφάλαιο δίνονται τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας ακτομηχανικής διερεύνησης των διεργασιών που συντελούνται στο παράκτιο μέτωπο που προτείνεται να κατασκευαστεί η νέα λιμενική εγκατάσταση εξυπηρέτησης σκαφών στη θέση Ψανή Ναυπάκτου. Στόχος ήταν να προσομοιωθούν οι υφιστάμενες παράκτιες διεργασίες της περιοχής μελέτης και να διερευνηθούν ενδεχόμενες επιπτώσεις από τα νέα λιμενικά έργα στις παρακείμενες ακτές.

Τα **βασικά συμπεράσματα** από τη διερεύνηση της υφιστάμενης κατάστασης (DN) είναι τα ακόλουθα:

- Η περιοχή μελέτης είναι εκτεθειμένη σε κυματισμούς, οι οποίοι δύναται να επηρεάσουν το ακτομηχανικό ισοζύγιο της παράκτιας περιοχής μελέτης, προερχόμενοι κατά κύριο λόγο από την Ανατολική-Νοτιοανατολική (ΑΝΑ – 117°) και Νότια-Νοτιοδυτική (ΝΝΔ – 217°) διεύθυνση. Γενικότερα το παράκτιο κυματικό πεδίο που αναπτύσσεται είναι σχετικά ήπιο σε μέση ετήσια βάση.
- Το κυματογενές υδροδυναμικό πεδίο που αναπτύσσεται είναι ομοίως ήπιο σε μέση ετήσια βάση και ελαφρά εντονότερο κατά τη διάρκεια καταιγίδας. Τα διανύσματα των ρευμάτων είναι παράλληλα στην ακτογραμμή στο μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης περιοχής.
- Οι κυματισμοί προερχόμενοι από ΑΝΑ (117°) δημιουργούν τους μεγαλύτερους ρυθμούς μεταβολής του πυθμένα στην περιοχή που προτείνεται να κατασκευαστεί η νέα λιμενική εγκατάσταση συγκριτικά με τους κυματισμούς προερχόμενοι από ΝΝΔ (217°).
- Στο μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης ακτογραμμής εναλλάσσονται τάσεις για διάβρωση και προσάμμωση σε μέση ετήσια βάση. Οι ακτομηχανικές διεργασίες είναι εντονότερες πέριξ της εκβολής του χειμάρρου συγκριτικά με την υπόλοιπη εξεταζόμενη περιοχή.
- Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την προσομοίωση καταιγίδων είναι αντίστοιχα με τη μέση ετήσια επαλληλία (μέσες ετήσιες συνθήκες) αλλά με μεγαλύτερη συγκριτικά ένταση.
- Οι ακτομηχανικές διεργασίες στη προτεινόμενη θέση κατασκευής του νέου λιμένα συντελούνται σε μία ζώνη που εκτείνεται σε απόσταση περί τα 30m από την ακτογραμμή έως και την ισοβαθή των -2.0m περίπου.

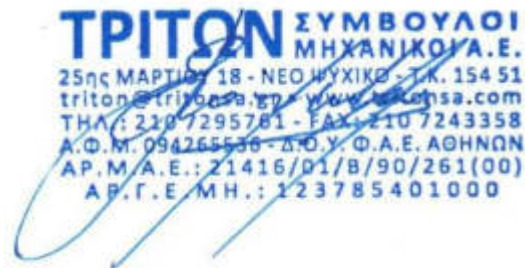
Τα **βασικά συμπεράσματα** από την διερεύνηση της διάταξης με παρουσία των νέων λιμενικών έργων (W1) είναι τα ακόλουθα:

- Το κυματικό πεδίο της περιοχής μελέτης επηρεάζεται εν μέρει από τους ανακλώμενους, στο μέτωπο του προσήνεμου μώλου, για τους κυματισμούς προερχόμενοι κατά κύριο λόγο από ΑΝΑ (117°) διευθύνσεις. Για τους κυματισμούς προερχόμενοι από ΝΝΔ (217°) το αναπτυσσόμενο κυματικό πεδίο παραμένει χωρίς αξιόλογες αλλαγές συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- Λόγω της παρουσίας του νέου λιμένα δημιουργείται μια σκιώδης περιοχή (shadow area) μεταξύ των νέων έργων και της ακτής, με μικρότερα ύψη κύματος, επιτρέποντας ωστόσο τη μερική διάδοση των κυματισμών πίσω από τον προσήνεμο μώλο. Η παρουσία του γεφυρώματος πρόσβασης, δεν επηρεάζει ουσιαστικά το παράκτιο κυματικό πεδίο.
- Το ευρύτερο υδροδυναμικό πεδίο δεν επηρεάζεται από τη παρουσία των νέων έργων παρά μόνο τοπικά στην περιοχή κατασκευής του λιμένα. Ωστόσο, λόγω της παρουσίας των βάθρων και της αποφυγής κατασκευής ενιαίου κατακόρυφου μετώπου σε όλο το μήκος του νέου μώλου τα κατά μήκος της ακτογραμμής ρεύματα επηρεάζονται στο μικρότερο δυνατό βαθμό συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- Ομοίως με την υφιστάμενη κατάσταση όλες οι παράκτιες διεργασίες συντελούνται σε μία ζώνη που εκτείνεται σε απόσταση περί τα 30m από την ακτογραμμή έως και την ισοβαθή των -2.0m περίπου στη προτεινόμενη θέση κατασκευής της νέας λιμενικής εγκατάστασης.
- Η παρουσία του νέου λιμένα προκαλεί μεταβολή στις υφιστάμενες παράκτιες διεργασίες σε μία συνολική ζώνη που εκτείνεται ~200 m βόρεια της ρίζας του γεφυρώματος πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένου του μήκους της ακτογραμμής που καταλαμβάνει η προτεινόμενη λιμενική εγκατάσταση.
- Παρατηρούνται τάσεις για απόθεση ιζημάτων στο κεντρικό τμήμα της νέας δημιουργούμενης λιμενολεκάνης, στη σκιά του νέου προσήνεμου μώλου ενώ αμέσως βόρεια στο δυτικό μυχό της παραλίας Ψανή εμφανίζονται μικρές τάσεις διάβρωσης. Οι εν λόγω τάσεις απόθεσης και διάβρωσης είναι ισχυρότερες σε περίπτωση εμφάνισης καταιγίδας.
- Σημειώνεται ωστόσο ότι οι όποιες διαφορές εμφανίζονται στο ακτομηχανικό ισοζύγιο της διάταξης W1 συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση, είναι μικρής έντασης και έκτασης.
- Στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης, εκτός της ζώνης επιρροής, η παρουσία του νέου λιμένα δεν μεταβάλλει τις υφιστάμενες ακτομηχανικές διεργασίες.

Τέλος, σημειώνεται ότι κρίνεται απαραίτητη η θέσπιση ενός προγράμματος παρακολούθησης της εξέλιξης της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης, μέσω τοπογραφικών και βυθομετρικών αποτυπώσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα, προκειμένου να παρακολουθείται η συμπεριφορά της ακτής στην υπήνεμη πλευρά των

έργων και εάν χρειαστεί να πραγματοποιηθούν μικρής έκτασης βυθοκορήσεις για την απομάκρυνση του συσσωρευμένου ιζήματος και την αποκατάσταση των λειτουργικών βαθών της νέας λιμενολεκάνης.

Για την ΤΡΙΤΩΝ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.



Ελευθέριος Βασ. Ρουχωτάς

Λιμενολόγος Πολιτικός Μηχανικός M.Sc.- D.I.C.

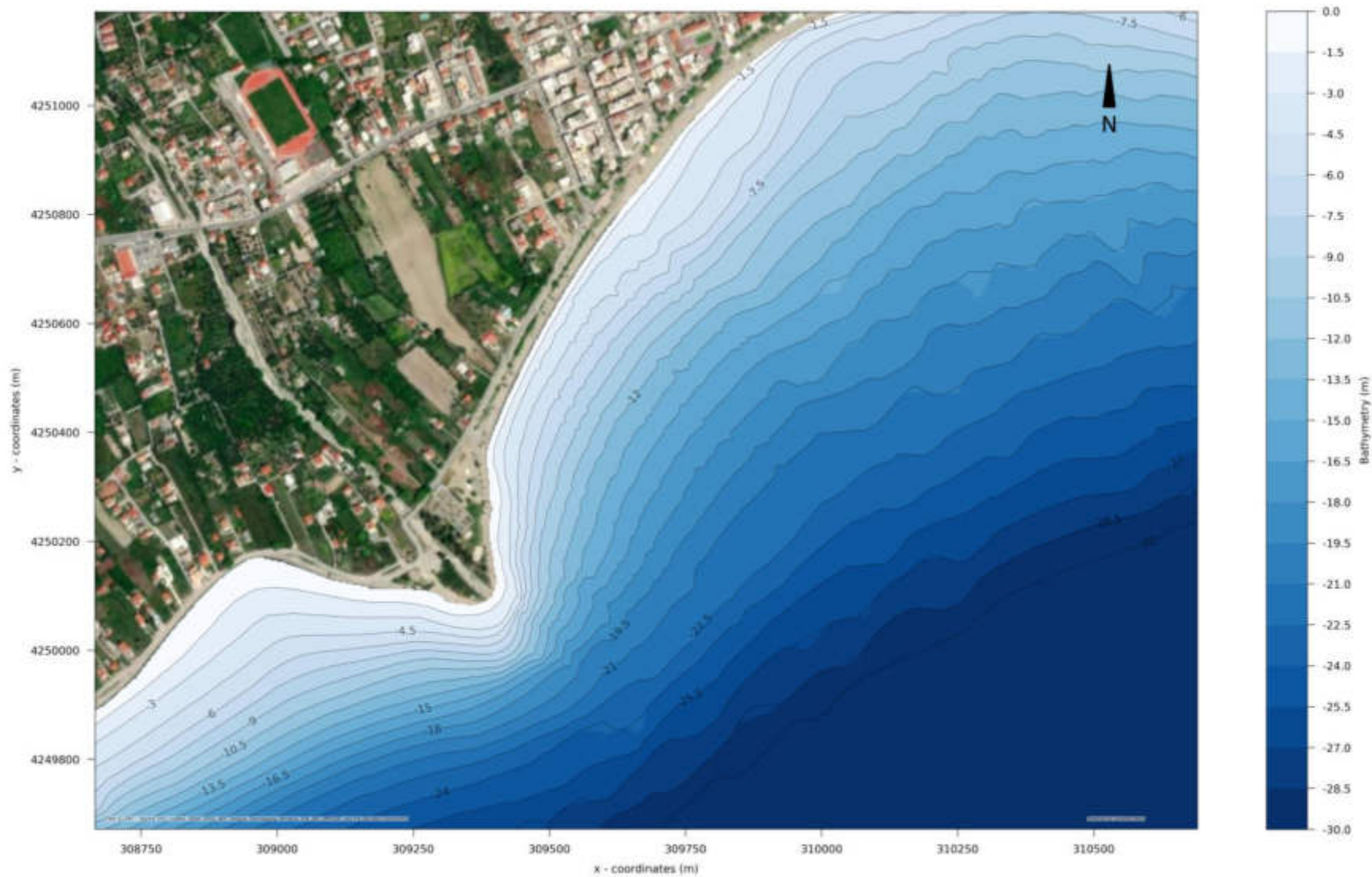
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ


- Battjes, J.A. and Janssen, J.P.F.M. (1978): Energy loss and set-up due to breaking of random waves. Proc. 16th Int. Conf. on Coastal Eng., Hamburg, pp. 569-587.
- Berkhoff J C W. (1972). Computation of combined refraction-diffraction. Proc 13th Conf on Coastal Eng, Vancouver, Canada, 471-490
- Booij N. (1981). Gravity waves on water with non-uniform depth and current. Report n 81-1, Delft University of Tech, Dept Civil Eng Chamberlain P G, Porter D. 1995. The modified of mild-slope equation. J Fluid Mech., 291: 393-407.
- Borah D.K. and Balloffet A. (1985) Beach evolution caused by littoral drift barrier. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering 111(4): 645-660.
- Chondros, M.K. & Memos, C.D. (2014). A 2DH Nonlinear Boussinesq Wave Model of Improved Dispersion, Shoaling, and Wave Generation Characteristics, Coastal Engineering, Vol.91, pp. 99-122.
- Chondros, M.K., Metallinos, A., Papadimitriou, A., and Memos, C.D. (2019). Advanced numerical models for the simulation of wave fields, 1st International Scientific Conference on Design and Management of Harbor, Coastal and Offshore Works. Athens, Greece, 8 to 11 May, 2019
- Chondros, M.K., Metallinos, A.S., Memos, C.D., Karambas, Th,V., Papadimitriou, A.G. (2019). Concerted nonlinear mild-slope wave models for enhanced simulation of coastal processes. Applied mathematical modeling
- Chondros, M.K., Metallinos, A., Papadimitriou, A., and Tsoukala, V. (2022). Sediment Transport Equivalent Waves for Estimating Annually Averaged Sedimentation and Erosion Trends in Sandy Coastal Areas. J. Mar. Sci. Eng., 10, 1726. <https://doi.org/10.3390/jmse10111726>
- Copeland, G.J.M. (1985a): A practical alternative to the mild-slope wave equation. Coastal Engineering, Vol. 9, pp. 125-149.
- Copeland, G.J.M. (1985b): Practical radiation stress calculations connected with equations of wave propagation. Coastal Engineering, Vol. 9, pp. 195-219.
- Dean R., Dalrymple A., (1991) Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Word Scientific, Singapore, Singapore
- Hedges T., (1995). Regions of validity of analytical wave theories, in: proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water, Maritime and Energy 112, pp. 111-114
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

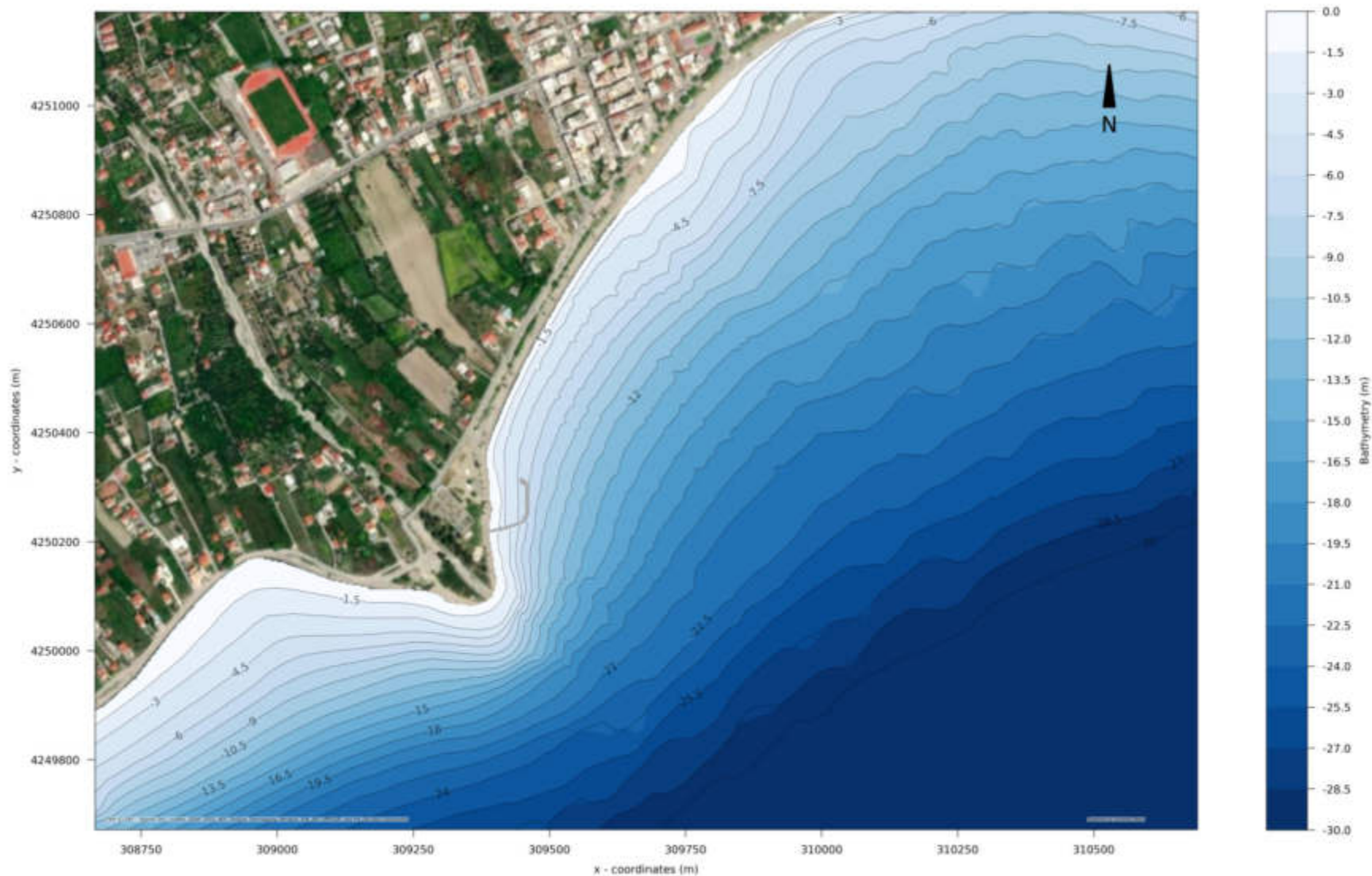
- Karambas T., Koutandos E., Kampanis N. (2013). Numerical simulation of wave induced morphology evolution. In Proceedings of the ICE - Maritime Engineering, Volume 166, Issue 3, 01 September 2013, pages 113 –124
- Karambas Th., E. Koutandos, N. Kampanis, (2013). Numerical simulation of wave induced morphology evolution. Maritime Engineering Journal, 166 (3), 113 –124. doi.org/10.1680/maen.07.00008
- Long W., Kirby J., Shao Z. (2008). A numerical scheme for morphological bed level calculations. Coast. Eng. 55, pp. 167-180.
- Macagno E. Wave action in a flume containing a submerged culvert. *La Houille Blanche*, 1954.
- Massel S R. (1993). Extended refraction diffraction equation for surfer wave. Coastal Eng, 19: 97–26
- Metallinos, A., Chondros, M., and Papadimitriou, A., (2021). Simulating Nearshore Wave Processes Utilizing an Enhanced Boussinesq-Type Model. *Modelling 2(4)*, 686-705.
- Metallinos, A.S, Chondros, M.K, Karambas, Th., Memos, C.D Papadimitriou, A. (2019). "Advanced Numerical Models for Wave Disturbance Simulation in Port Basins", 1st International Scientific Conference on Design and Management of Harbor, Coastal and Offshore Works. Athens, Greece, 8 to 11 May.
- Soulsby R., 1997. Dynamics of Marine Sands – A manual for practical applications. Thomas Telford, London
- Soulsby, R. & Smallman J. (1986). A direct method of calculating bottom orbital velocities under waves. Hydraulics Research limited, Report SR 76, HR Wallingford.
- Soulsby, R. (1997). Dynamics of Marine Sands – A manual for practical applications. Thomas Telford, London.
- Suh, K., Lee, C., Park, W. (1997). Time-dependent equations for wave propagation on rapidly varying topography, Coast. Eng. 32, 91–117
- Thompson, E., Chen, H., Hadley, L. (1996). Validation of Numerical Model for Wind Waves and Swell in Harbors. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering 122(5)
- Van Dorm W.C. (1953) Wind stress on an artificial pond. J. Mar. Res. (12).
- Van Rijn L. C., 2007. Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I: Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport. Journal of Hydraulic Engineering 133 (6): 649– 667
- Van Thiel de Vries J., van Gent M., Walstra D.J., Reniers A. (2008). Analysis of dune erosion processes in large-scale flume experiments, Coast. Eng. 55, pp. 1028-1040.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

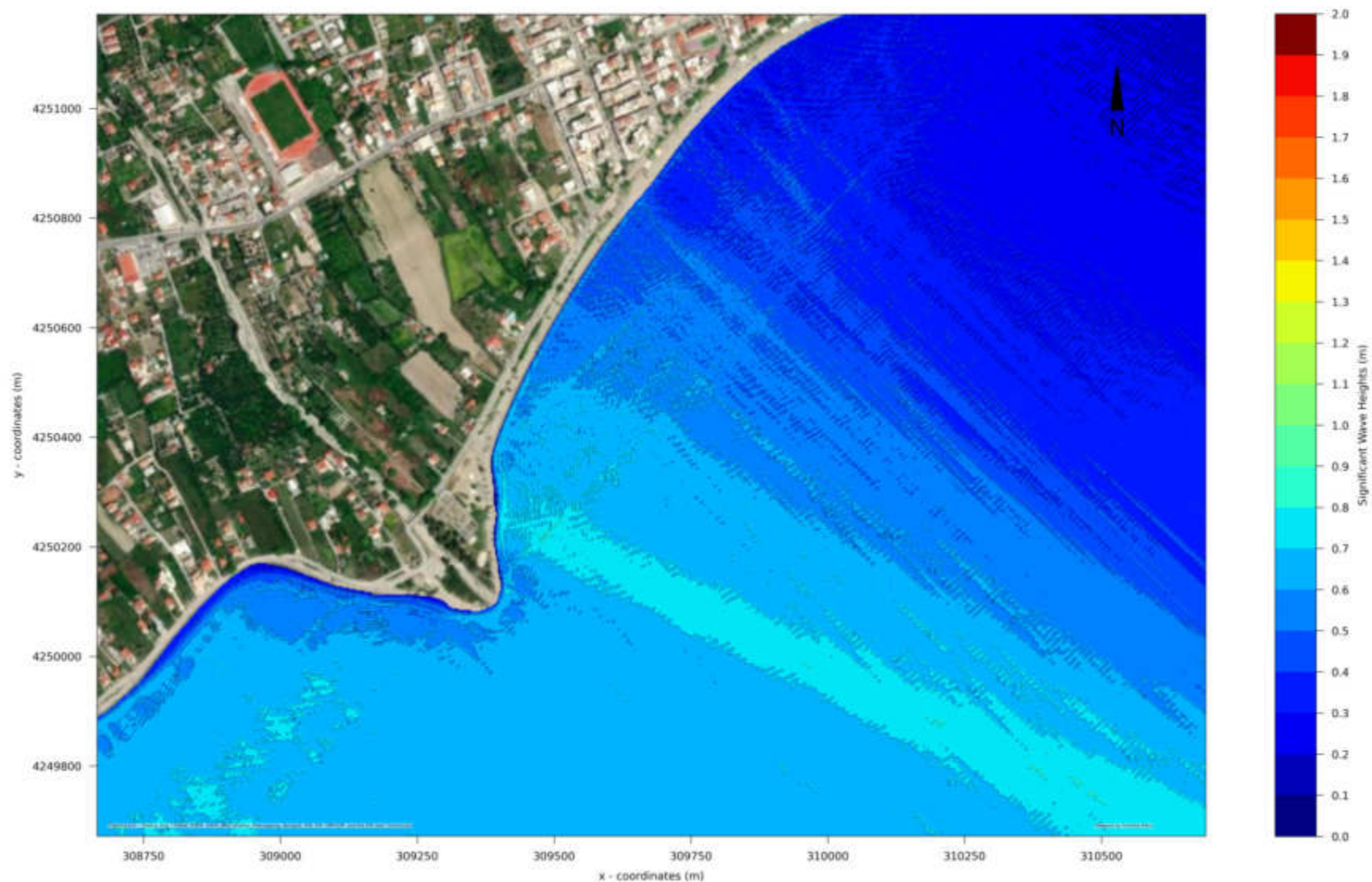
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ





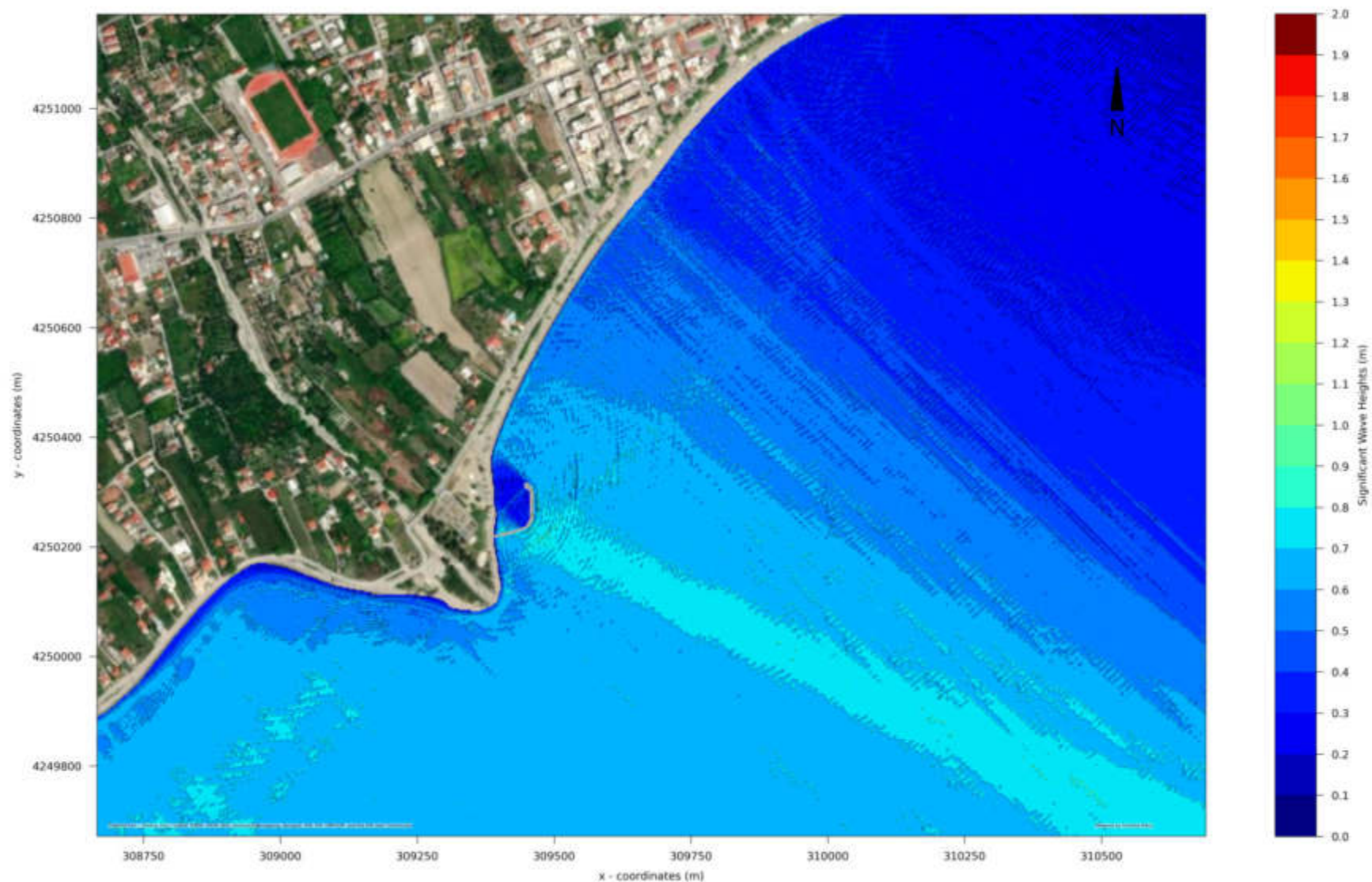
CONSULTANT: TRITON CONSULTING ENGINEERS	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: BATH_DN
MODEL APPLIED: BTG developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Grid of Equal Spatial Steps $dx=dy=2.5m$ representing the Bathymetry of DN	FIGURE TITLE: Bathymetry
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023




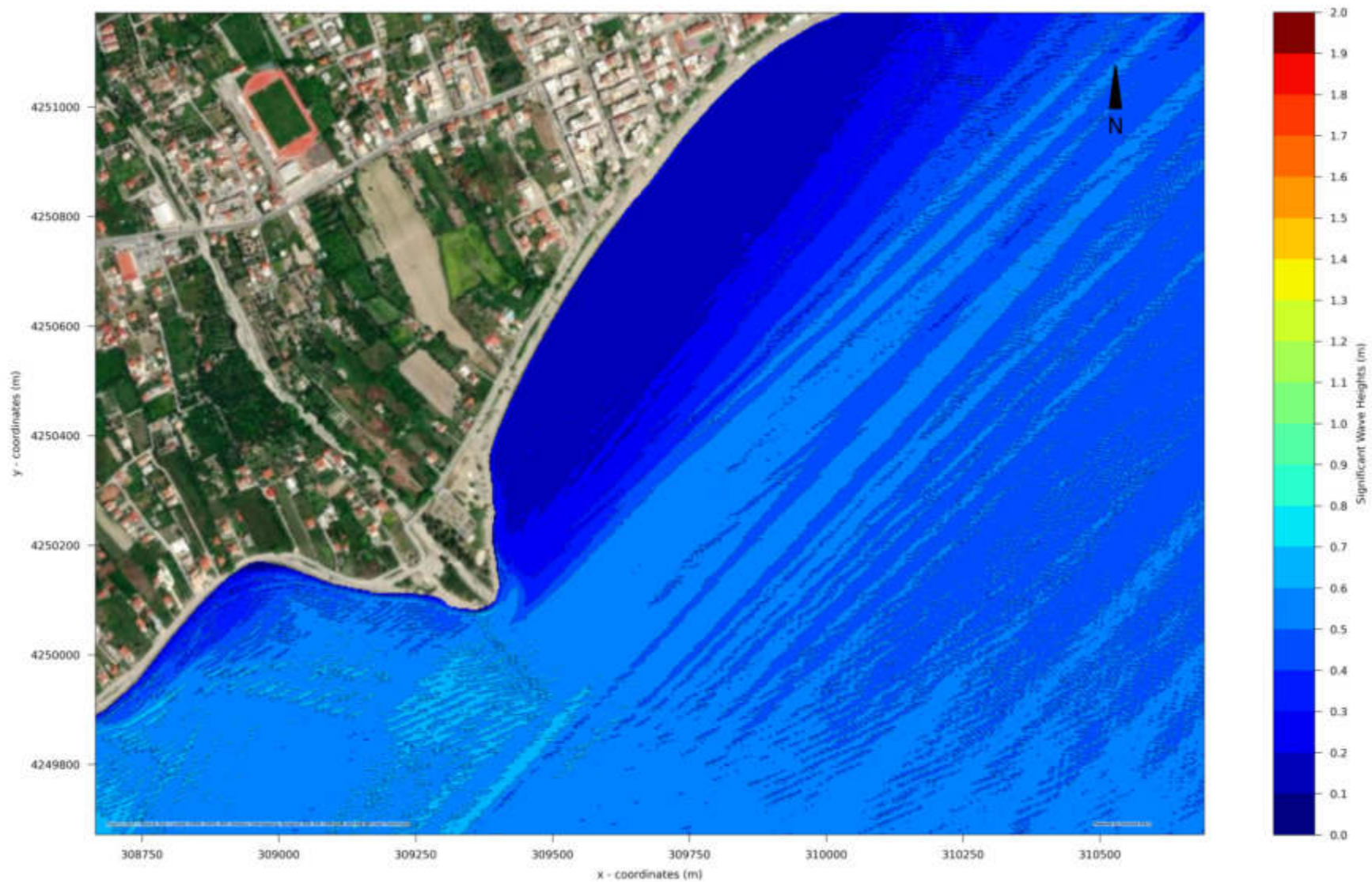
<p>CONSULTANT: </p>	<p>PROJECT TITLE: Coastal Impact Study – Nafpaktos</p>	<p>FIGURE NUMBER: BATH_W1</p>
<p>MODEL APPLIED: BTG developed by  CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ</p>	<p>FIGURE DESCRIPTION: Grid of Equal Spatial Steps dx=dy=2.5m representing the Bathymetry of W1</p>	<p>FIGURE TITLE: Bathymetry</p> <p>DATE: 15 May 2023</p>





CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: WV_1_DN
MODEL APPLIED: HMS developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Spatial Distribution of Equivalent Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=0.76\text{m}$, $T_p=3.42\text{s}$, $MWaveDir= (118^\circ\text{N})$ for DN case (Current situation)	FIGURE TITLE: Wave Field
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





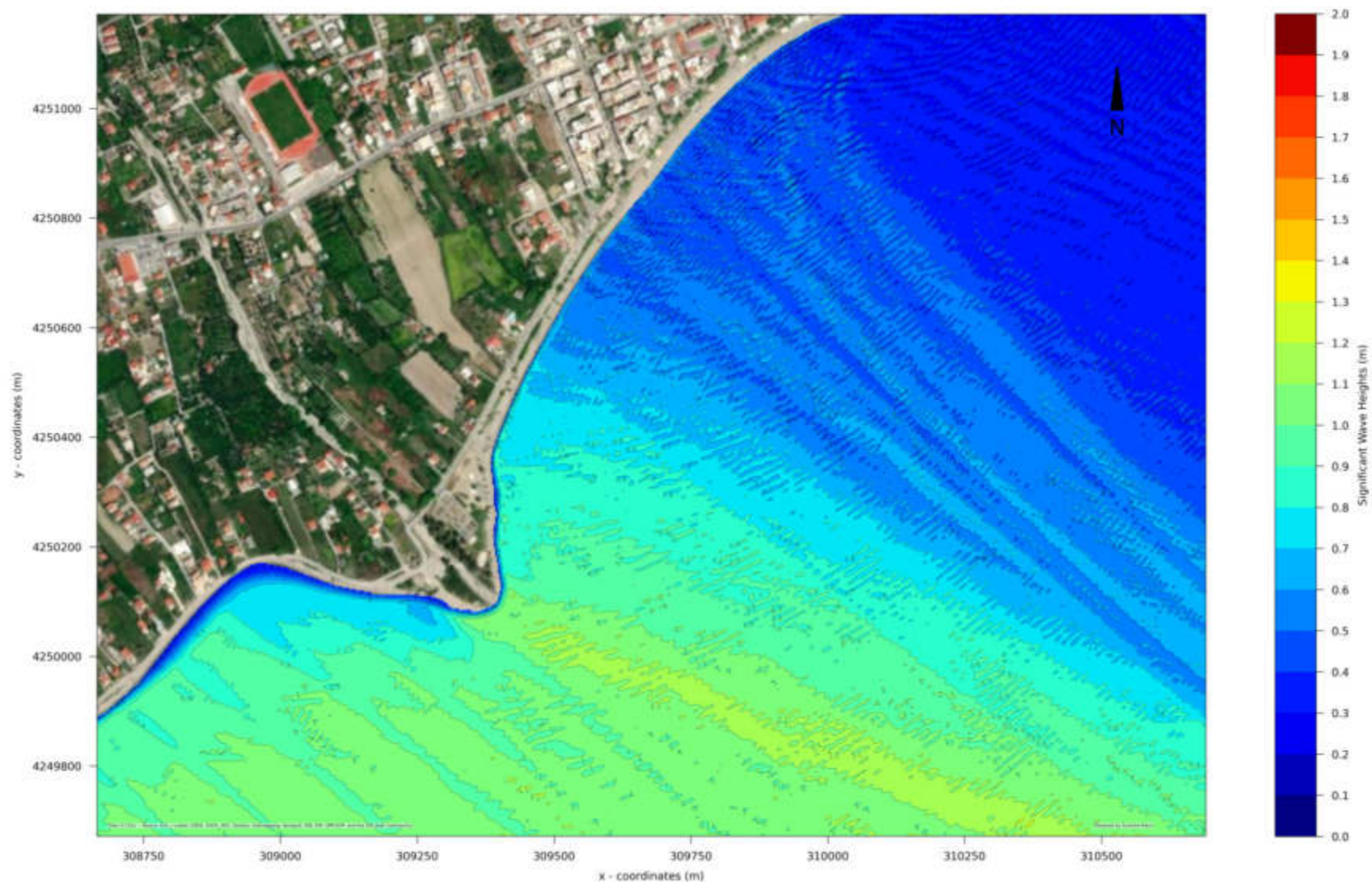
CONSULTANT: TRITON CONSULTING ENGINEERS	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: WV_1_W1
MODEL APPLIED: HMS developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Spatial Distribution of Equivalent Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=0.76\text{m}$, $T_p=3.42\text{s}$, $MWaveDir= (118\text{oN})$ for W1 case	FIGURE TITLE: Wave Field
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





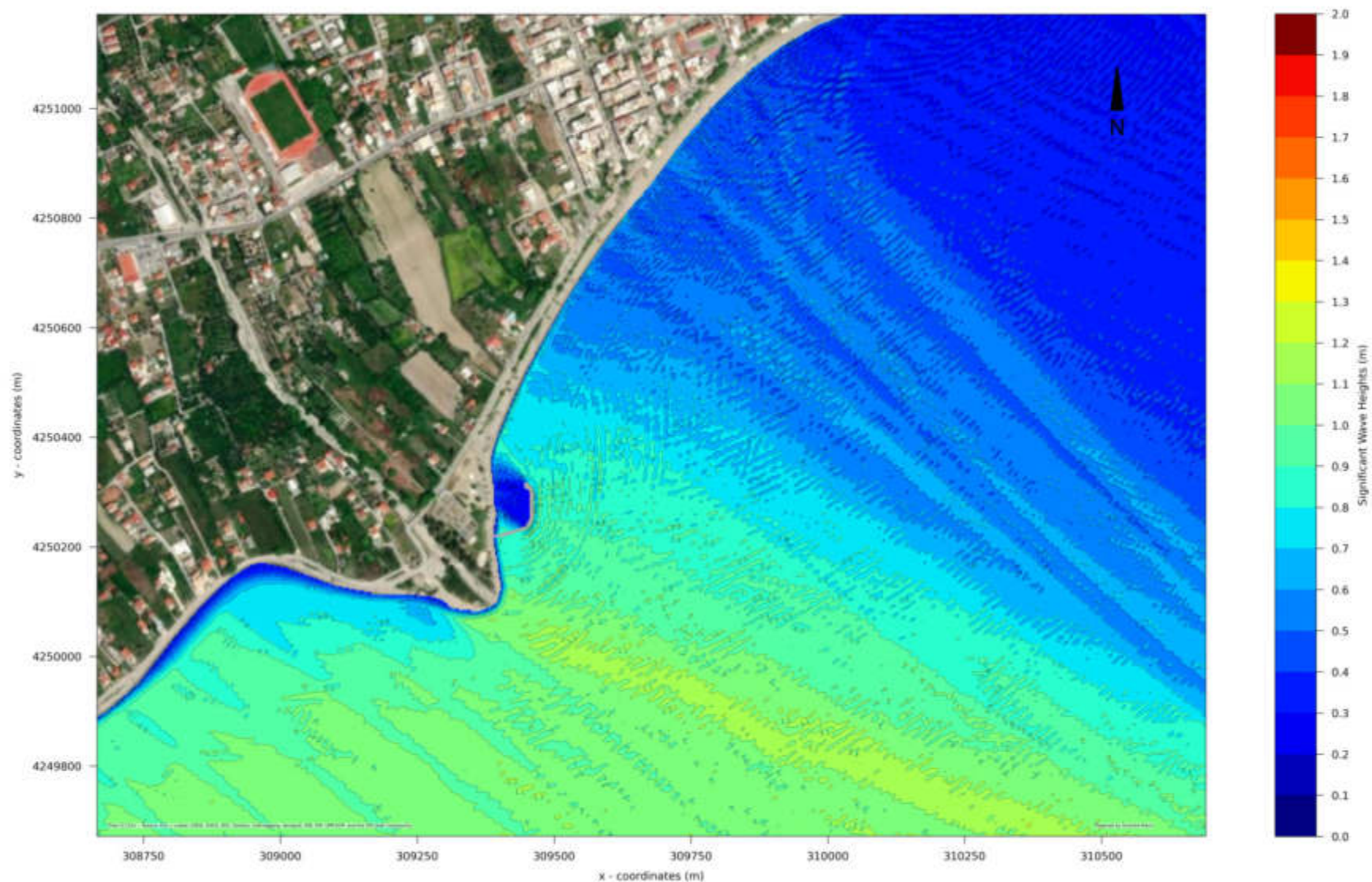
CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: WV_2_DN
MODEL APPLIED: HMS developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Spatial Distribution of Equivalent Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=0.61m$, $T_p=3.0s$, $MWaveDir= (217oN)$ for DN case (Current situation)	FIGURE TITLE: Wave Field
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





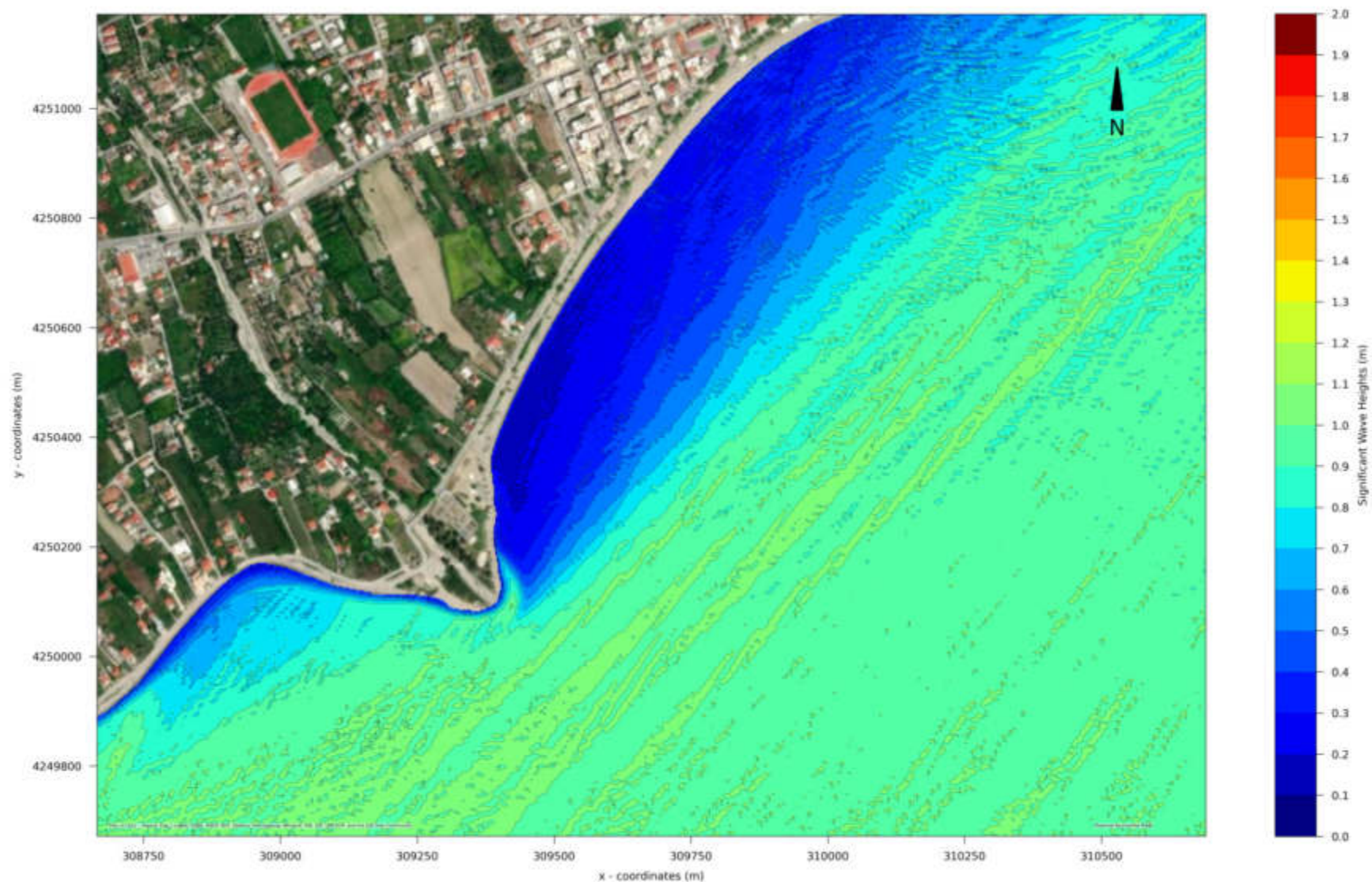
CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: WV_2_W1
MODEL APPLIED: HMS developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Spatial Distribution of Equivalent Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=0.61m$, $T_p=3.0s$, $MWaveDir= (217oN)$ for W1 case	FIGURE TITLE: Wave Field
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023




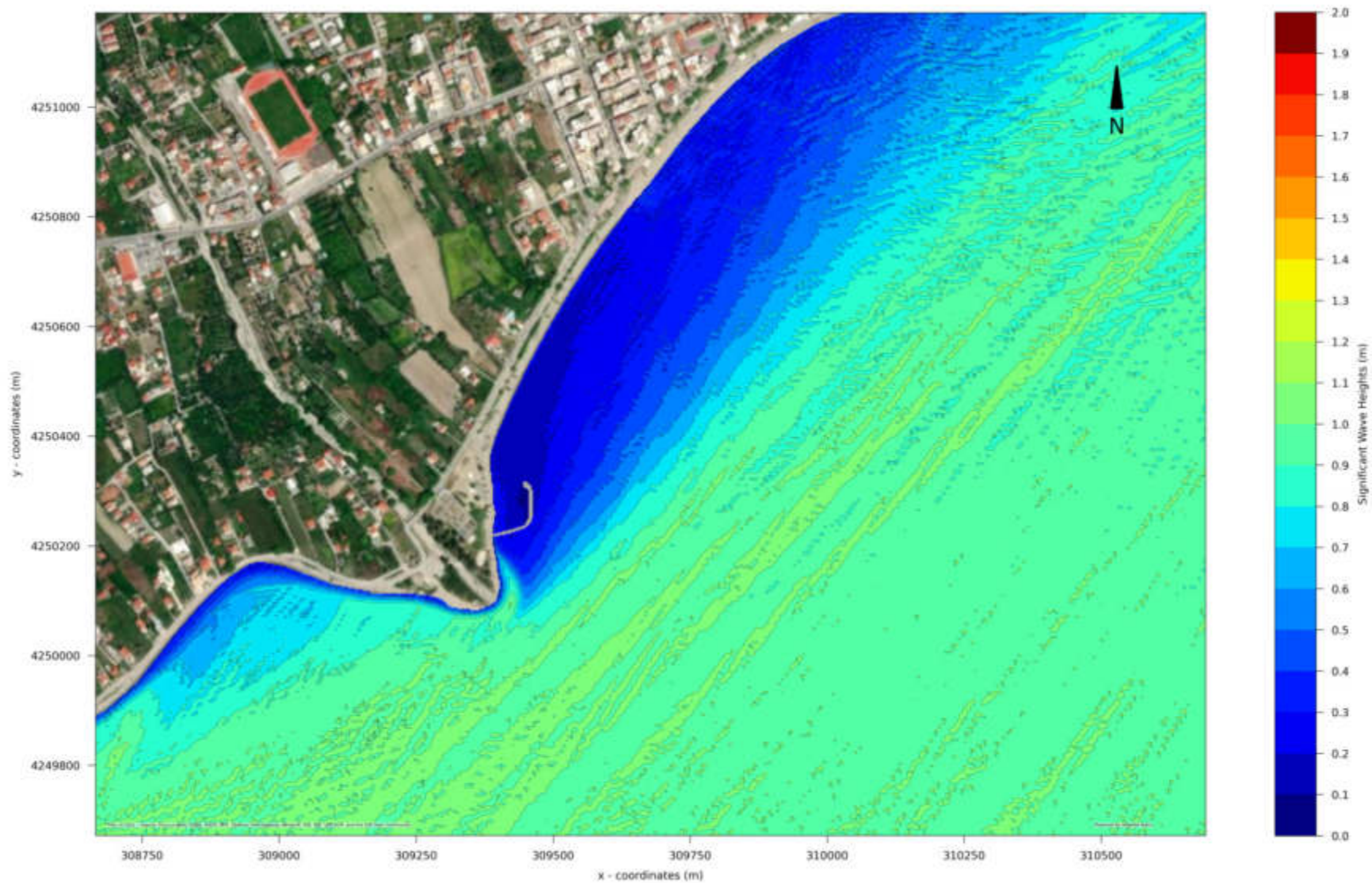
CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: WV_3_DN
MODEL APPLIED: HMS developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Spatial Distribution of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.16\text{m}$, $T_p=4.16\text{s}$, $MWaveDir= (117^\circ\text{N})$ for DN case (Current situation)	FIGURE TITLE: Wave Field
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023




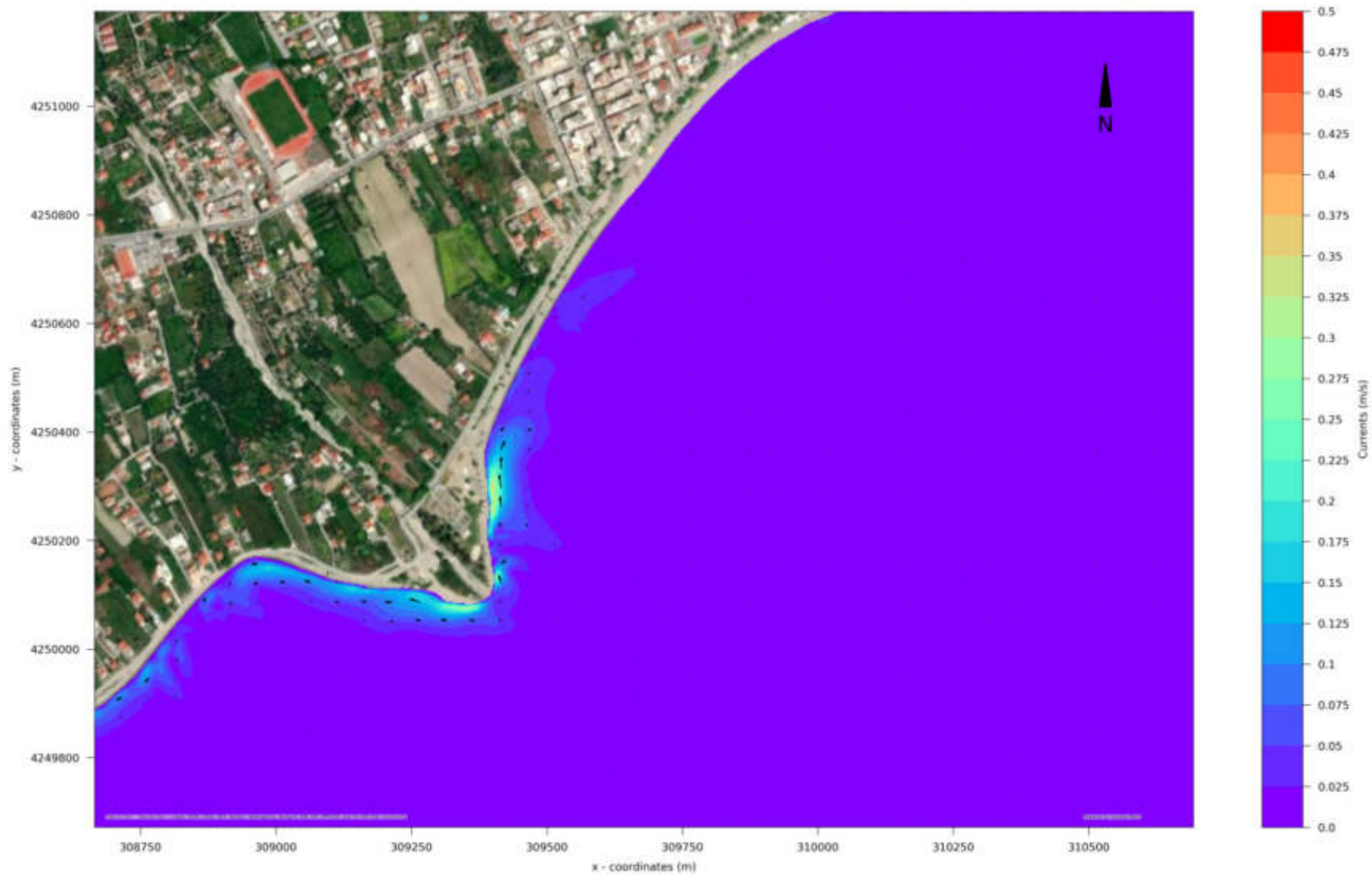
CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: WV_3_W1
MODEL APPLIED: HMS developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Spatial Distribution of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.16\text{m}$, $T_p=4.16\text{s}$, $MWaveDir= (117^\circ\text{N})$ for W1 case	FIGURE TITLE: Wave Field
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





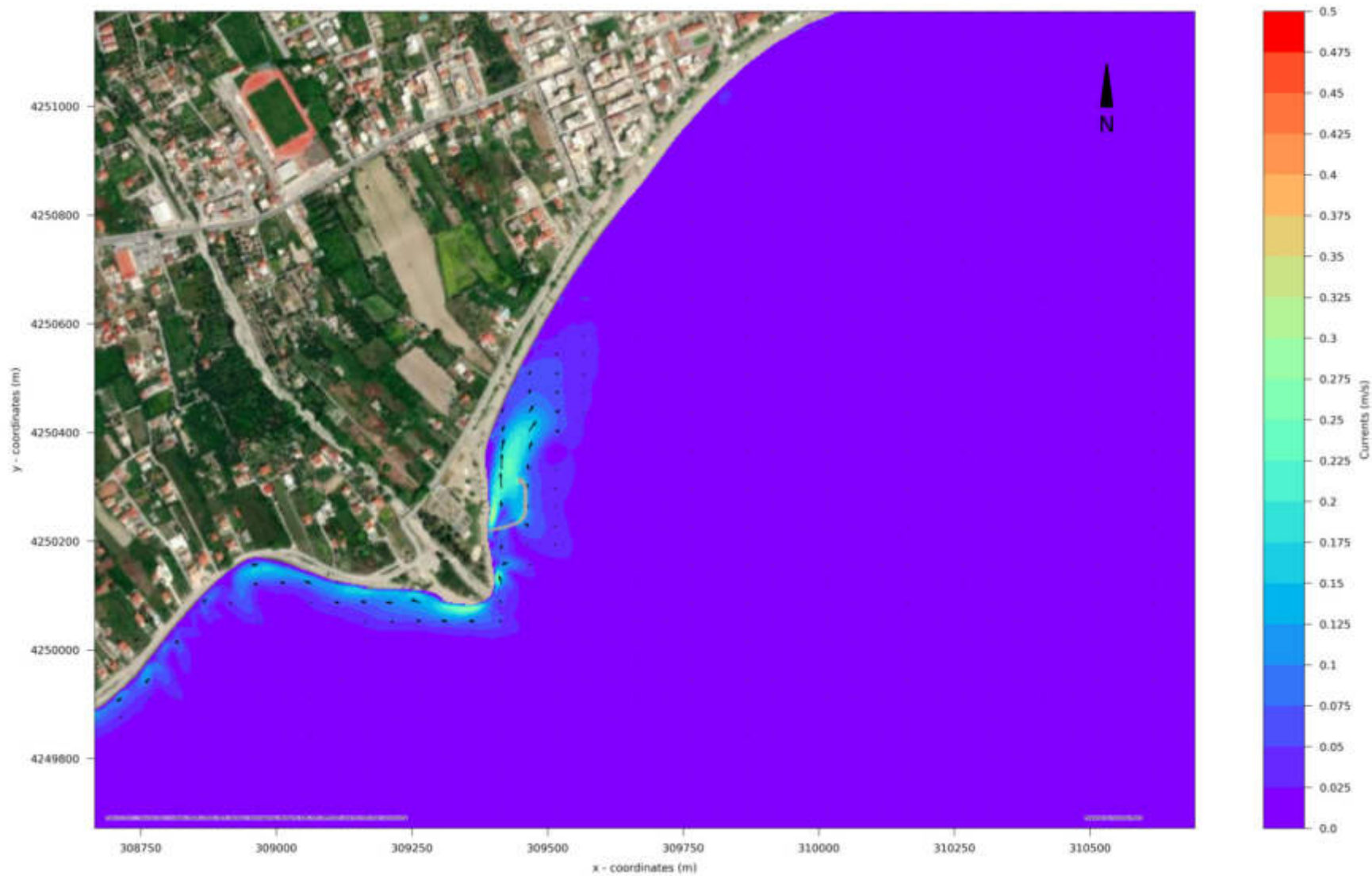
CONSULTANT: TRITON CONSULTING ENGINEERS	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: WV_4_DN
MODEL APPLIED: HMS developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Spatial Distribution of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.03\text{m}$, $T_p=3.83\text{s}$, $MWaveDir= (217^\circ\text{N})$ for DN case (Current situation)	FIGURE TITLE: Wave Field
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





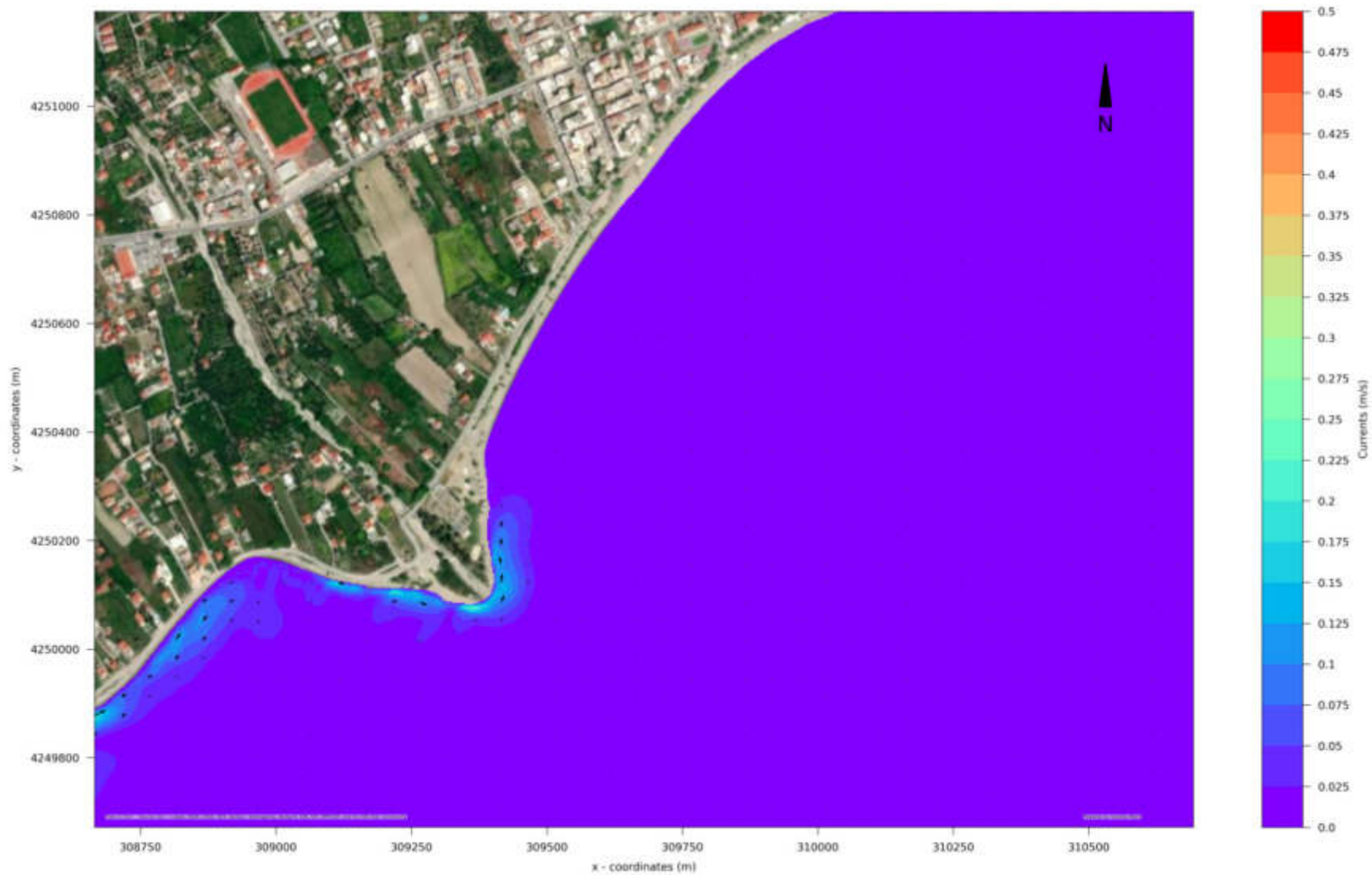
CONSULTANT: TRITON CONSULTING ENGINEERS	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: WV_4_W1
MODEL APPLIED: HMS developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Spatial Distribution of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.03\text{m}$, $T_p=3.83\text{s}$, $MWaveDir= (217^\circ\text{N})$ for W1 case	FIGURE TITLE: Wave Field
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





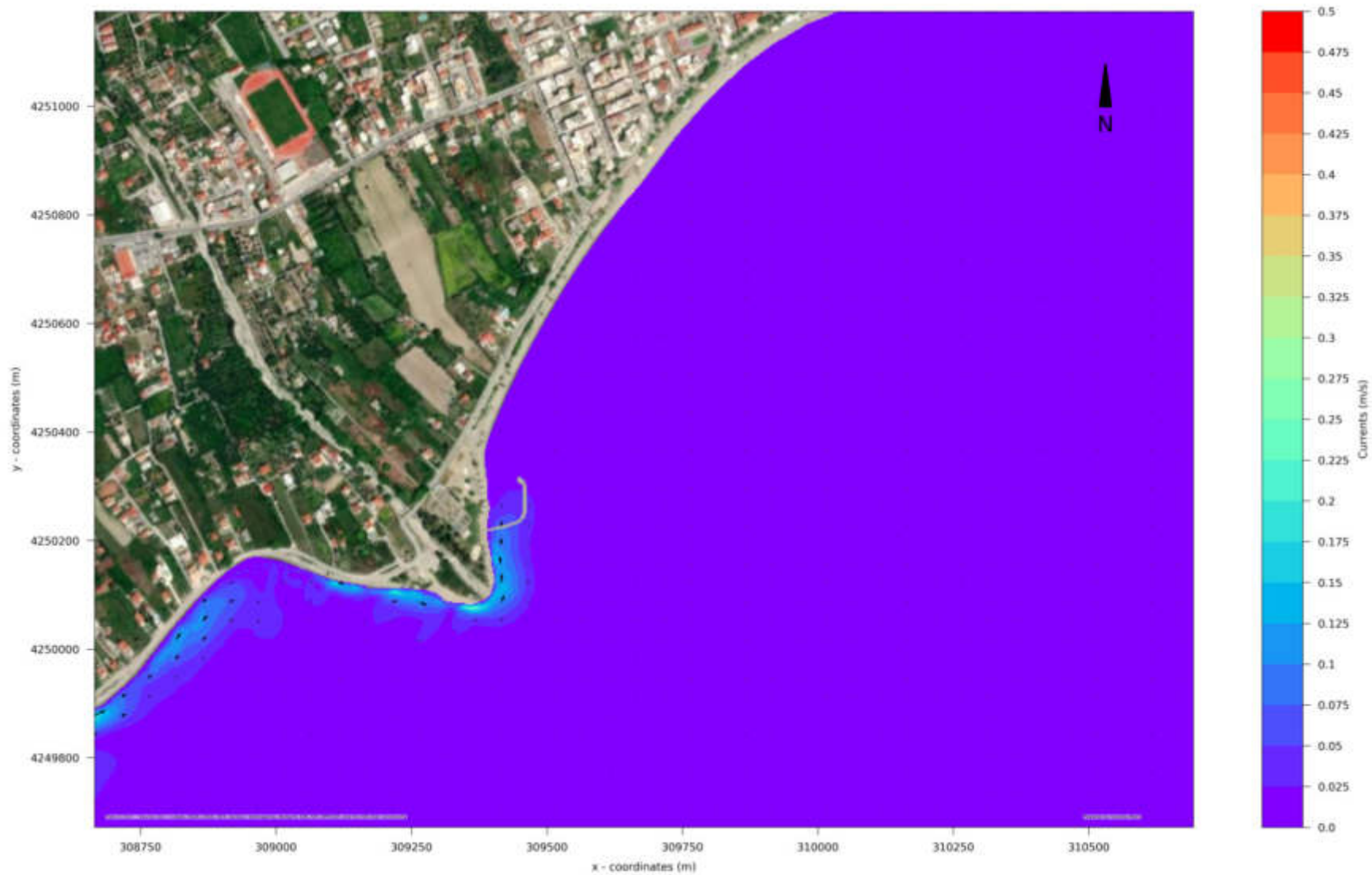
<p>CONSULTANT: </p>	<p>PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos</p>	<p>FIGURE NUMBER: HD_1_DN</p>
<p>MODEL APPLIED: HYD developed by  CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ</p>	<p>FIGURE DESCRIPTION: Hydrodynamic field of Equivalent Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=0.76\text{m}$, $T_p=3.42\text{s}$, $M_{WaveDir}= (118^{\circ}\text{N})$ for DN case (Current Situation)</p>	<p>FIGURE TITLE: Nearshore Currents DATE: 15 May 2023</p>





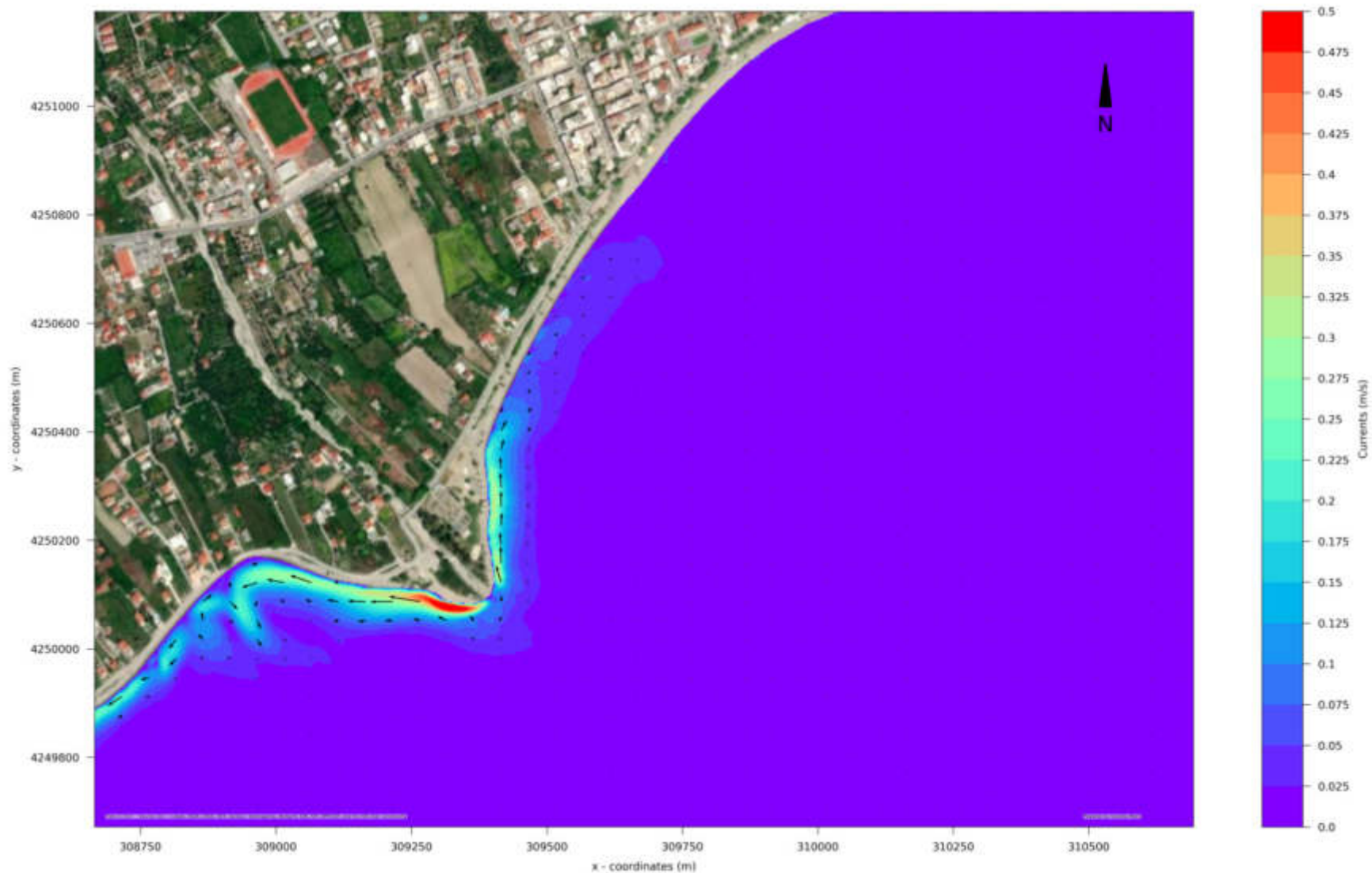
<p>CONSULTANT: </p>	<p>PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos</p>	<p>FIGURE NUMBER: HD_1_W1</p>
<p>MODEL APPLIED: HYD developed by </p>	<p>FIGURE DESCRIPTION: Hydrodynamic field of Equivalent Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=0.76\text{m}$, $T_p=3.42\text{s}$, $MWaveDir= (118^\circ\text{N})$ for W1 case</p>	<p>FIGURE TITLE: Nearshore Currents</p>
<p>CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ</p>		<p>DATE: 15 May 2023</p>





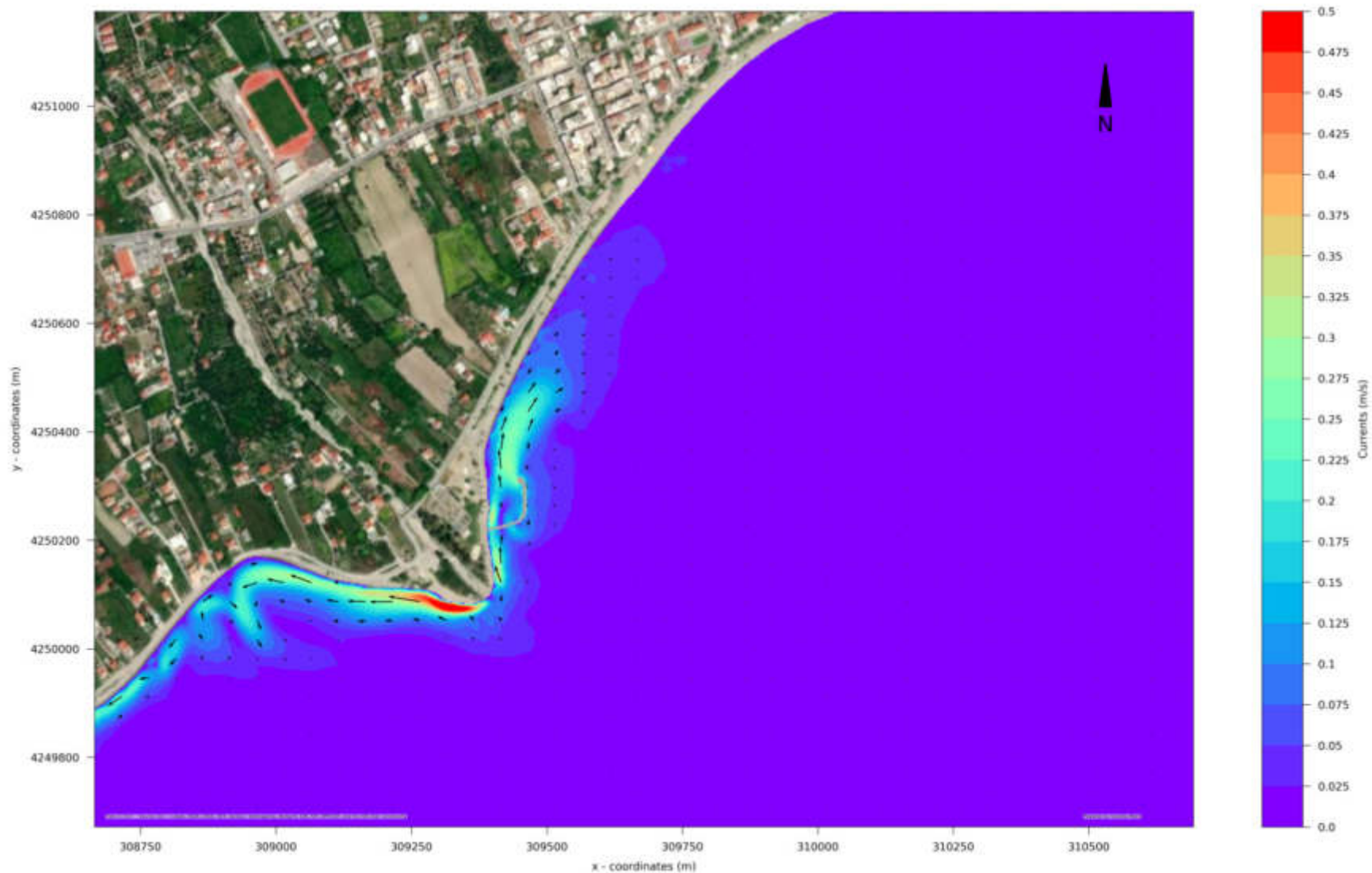
<p>CONSULTANT: </p>	<p>PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos</p>	<p>FIGURE NUMBER: HD_2_DN</p>
<p>MODEL APPLIED: HYD developed by </p>	<p>FIGURE DESCRIPTION: Hydrodynamic field of Equivalent Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=0.61\text{m}$, $T_p=3.0\text{s}$, $M_{WaveDir}= (217^{\circ}\text{N})$ for DN case (Current Situation)</p>	<p>FIGURE TITLE: Nearshore Currents</p>
<p>CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ</p>		<p>DATE: 15 May 2023</p>





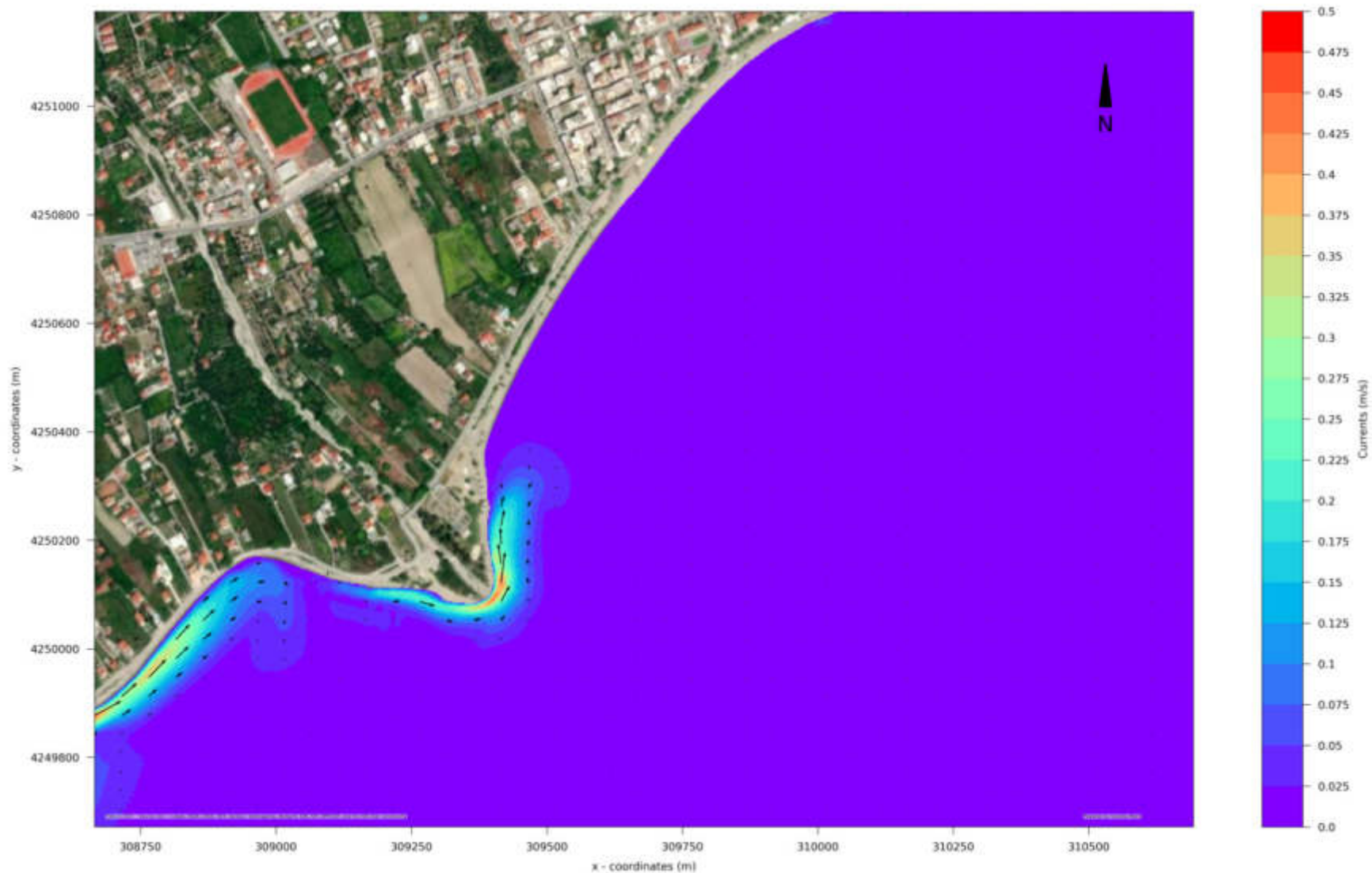
<p>CONSULTANT: </p>	<p>PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos</p>	<p>FIGURE NUMBER: HD_2_W1</p>
<p>MODEL APPLIED: HYD developed by  CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ</p>	<p>FIGURE DESCRIPTION: Hydrodynamic field of Equivalent Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=0.61\text{m}$, $T_p=3.0\text{s}$, $MWaveDir= (217^\circ\text{N})$ for W1 case</p>	<p>FIGURE TITLE: Nearshore Currents</p> <p>DATE: 15 May 2023</p>





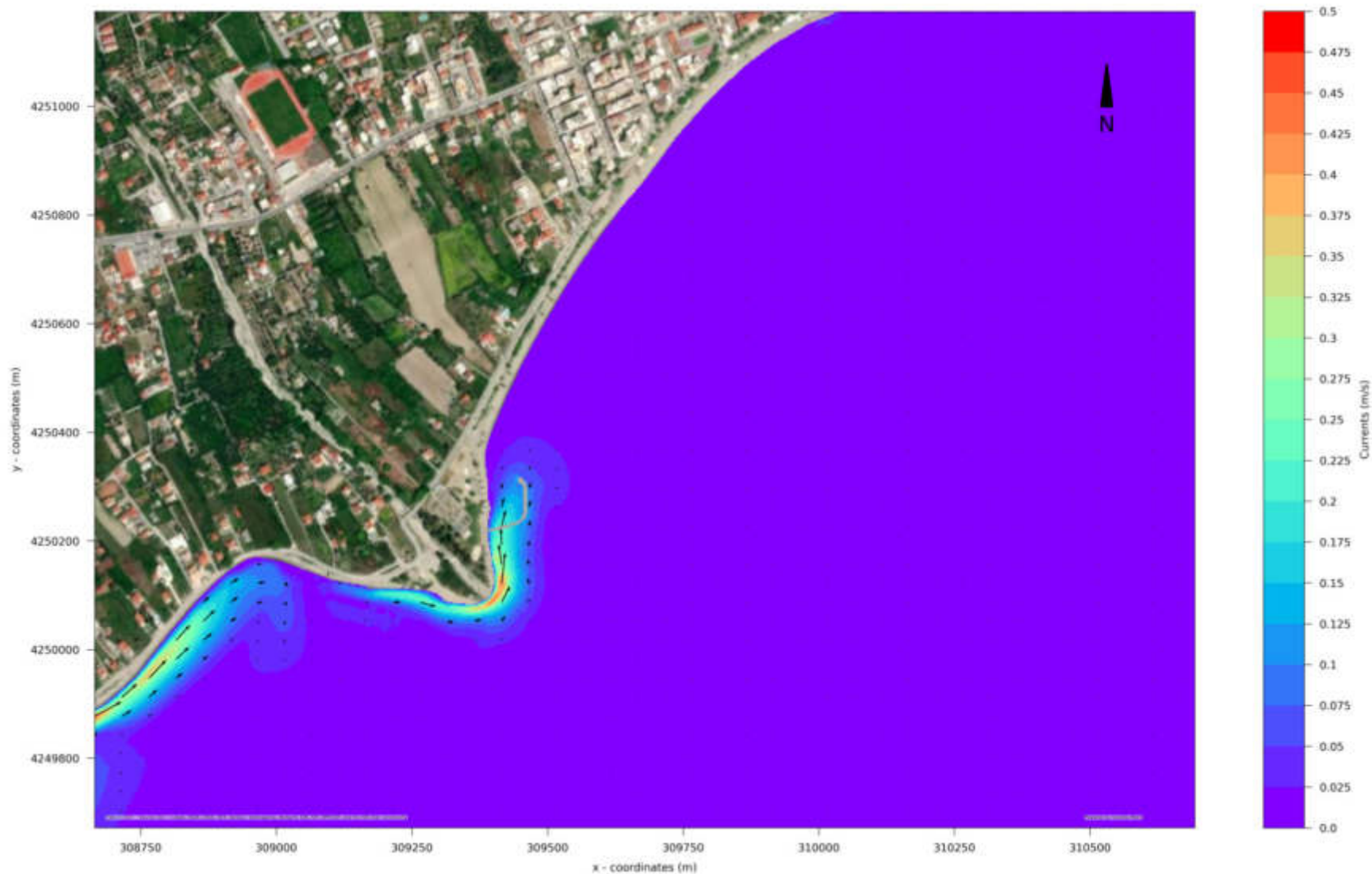
CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: HD_3_DN
MODEL APPLIED: HYD developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Hydrodynamic field of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.16\text{m}$, $T_p=4.16\text{s}$, $MWaveDir= (117^{\circ}\text{N})$ for DN case (Current Situation)	FIGURE TITLE: Nearshore Currents
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





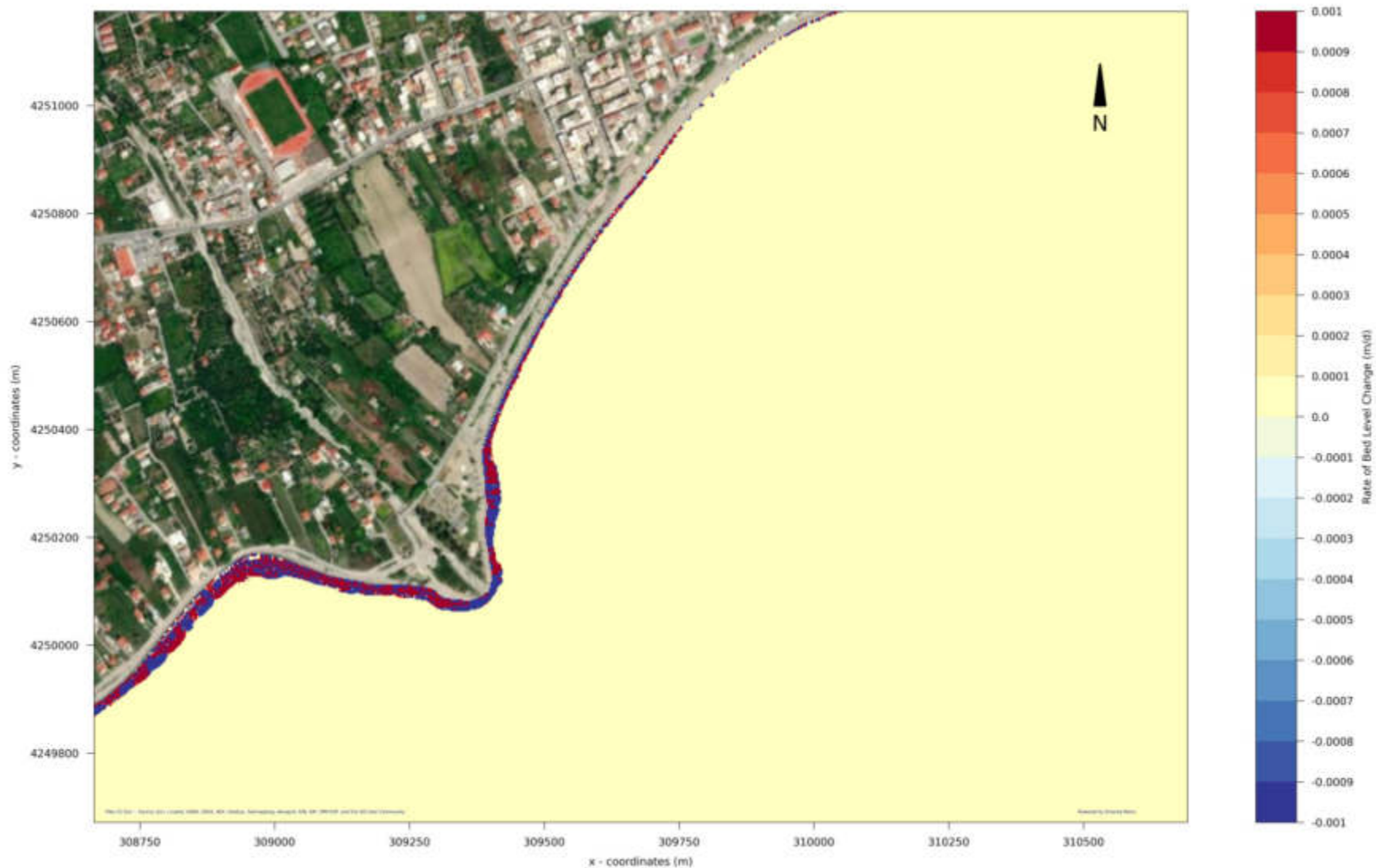
<p>CONSULTANT: </p>	<p>PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos</p>	<p>FIGURE NUMBER: HD_3_W1</p>
<p>MODEL APPLIED: HYD developed by </p>	<p>FIGURE DESCRIPTION: Hydrodynamic field of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.16\text{m}$, $T_p=4.16\text{s}$, $MWaveDir= (117^\circ\text{N})$ for W1 case</p>	<p>FIGURE TITLE: Nearshore Currents</p>
<p>CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ</p>		<p>DATE: 15 May 2023</p>




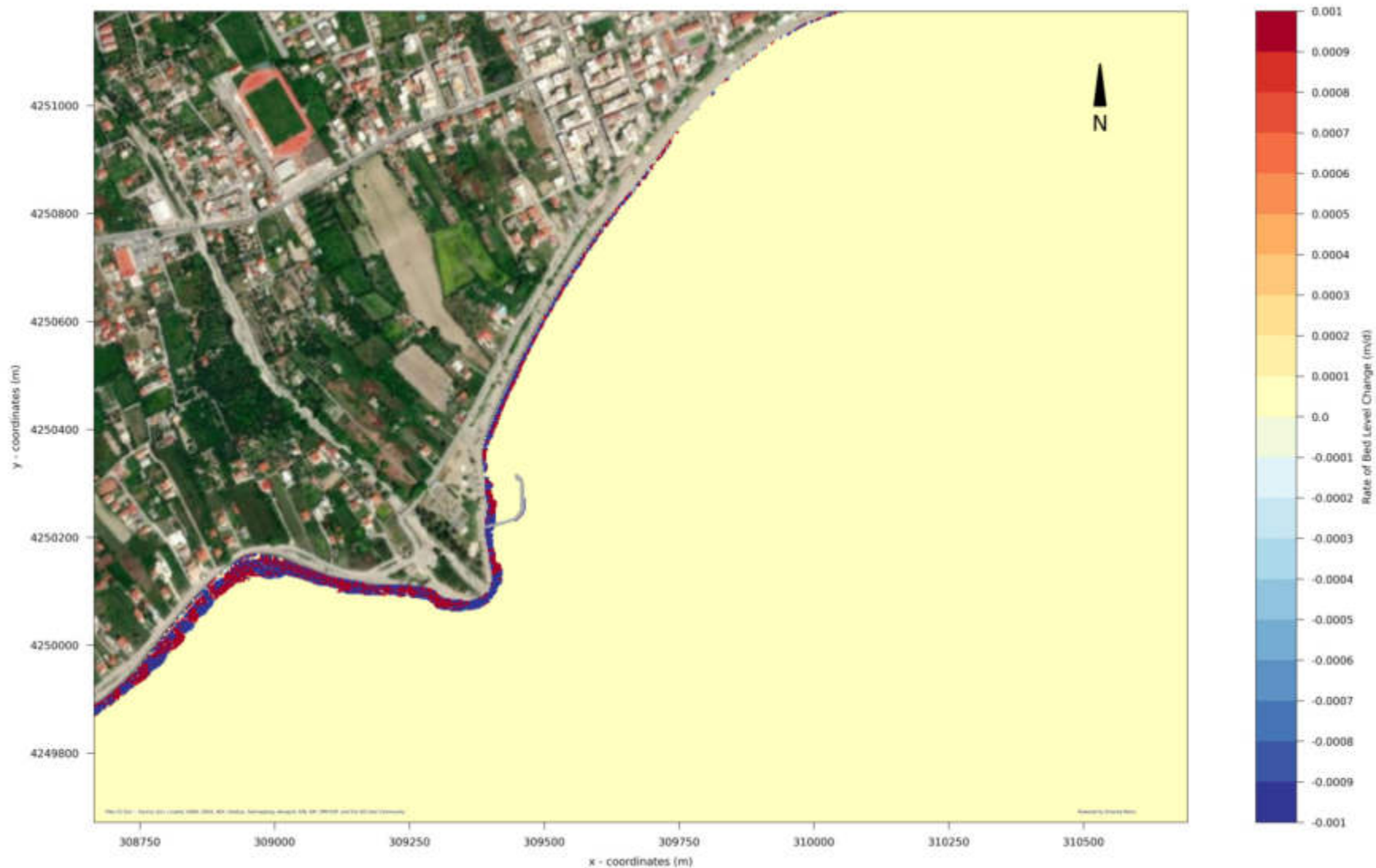
CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: HD_4_DN
MODEL APPLIED: HYD developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Hydrodynamic field of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.03\text{m}$, $T_p=3.83\text{s}$, $MWaveDir= (217^{\circ}\text{N})$ for DN case (Current Situation)	FIGURE TITLE: Nearshore Currents
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΪΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023




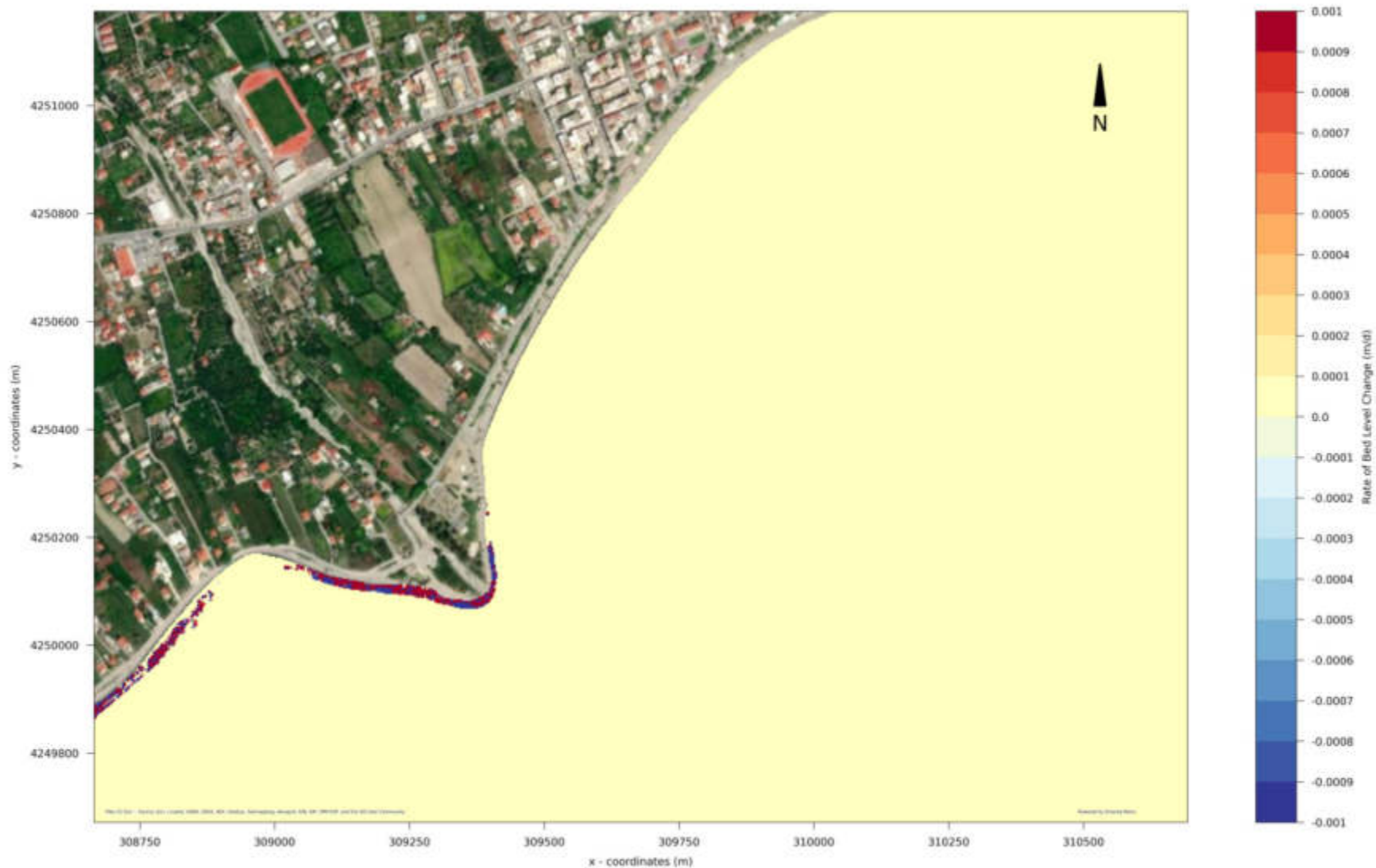
CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: HD_4_W1
MODEL APPLIED: HYD developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Hydrodynamic field of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.03\text{m}$, $T_p=3.83\text{s}$, $MWaveDir= (217\text{oN})$ for W1 case	FIGURE TITLE: Nearshore Currents
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023




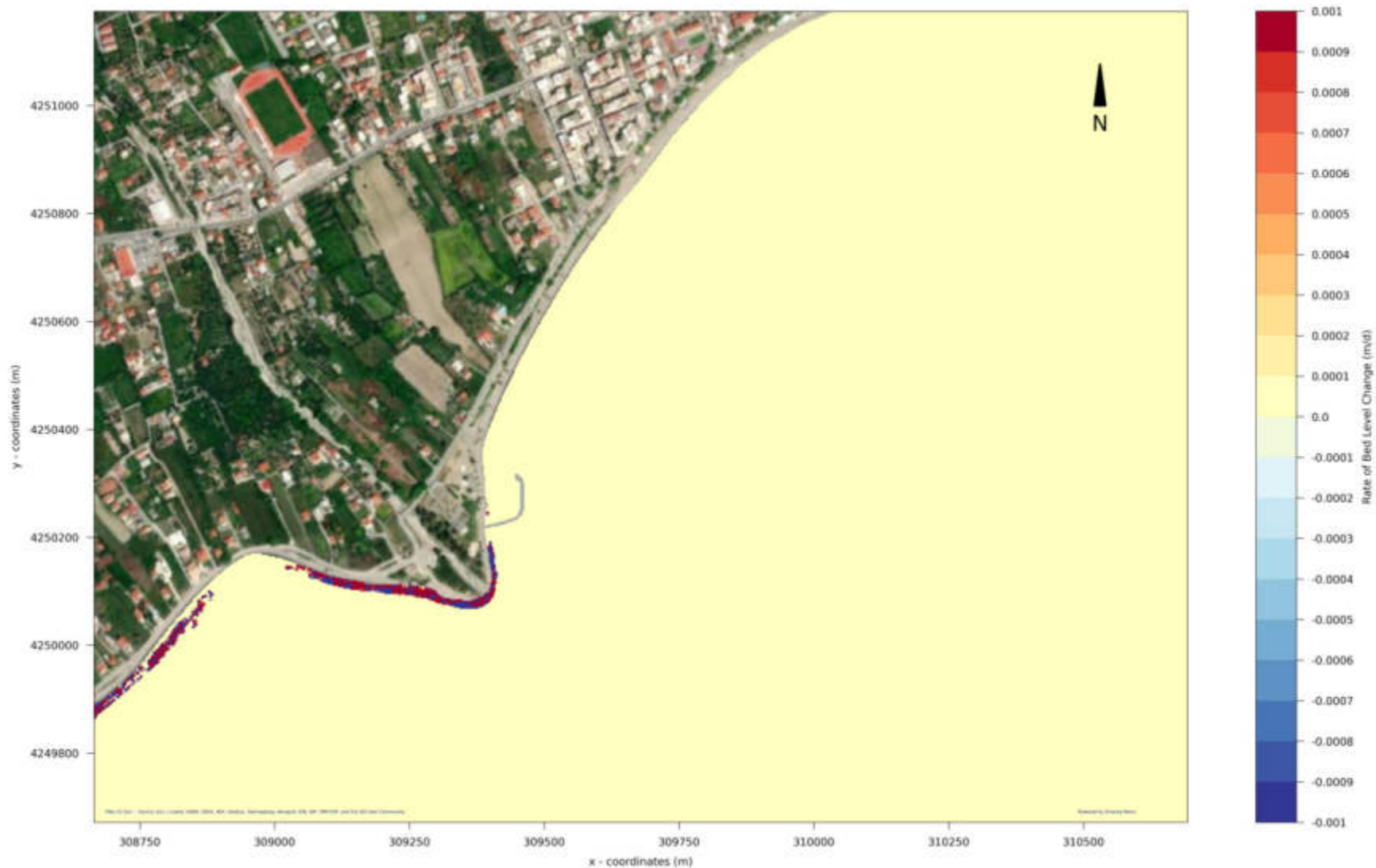
CONSULTANT: TRITON CONSULTING ENGINEERS	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: DZ_1_DN
MODEL APPLIED: SDT developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Rate of Bed Level Change of Equivalent Wave Heights for In-coming Wave characteristics: $H_s=0.76\text{m}$, $T_p=3.42\text{s}$, $MWaveDir=118\text{oN}$ for DN case (Current situation)	FIGURE TITLE: Rate of Bed Level Change
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023




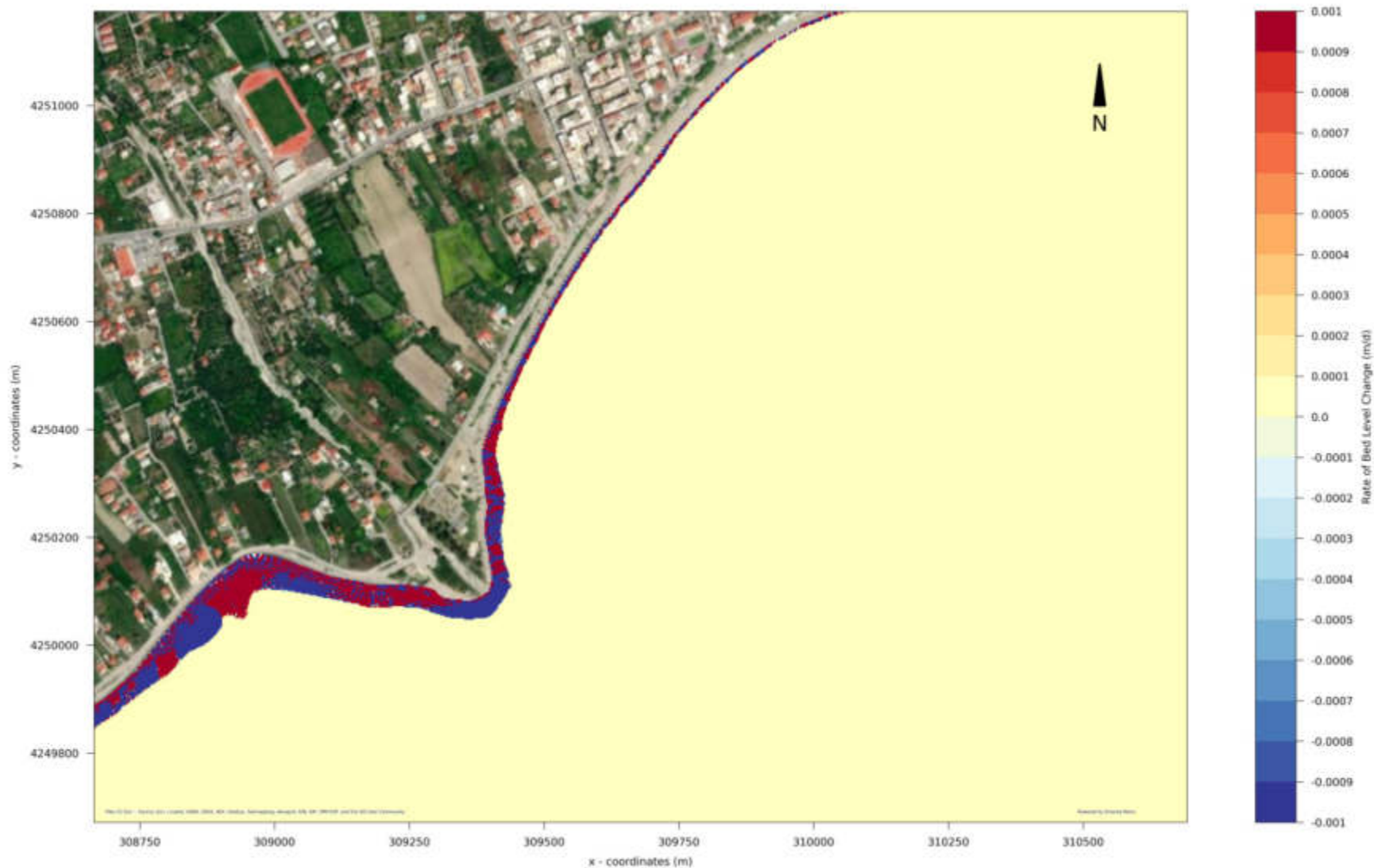
CONSULTANT: TRITON CONSULTING ENGINEERS	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: DZ_1_W1
MODEL APPLIED: SDT developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Rate of Bed Level Change of Equivalent Wave Heights for In-coming Wave characteristics: $H_s=0.76\text{m}$, $T_p=3.42\text{s}$, $MWaveDir=118^\circ\text{N}$ for W1 case	FIGURE TITLE: Rate of Bed Level Change
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





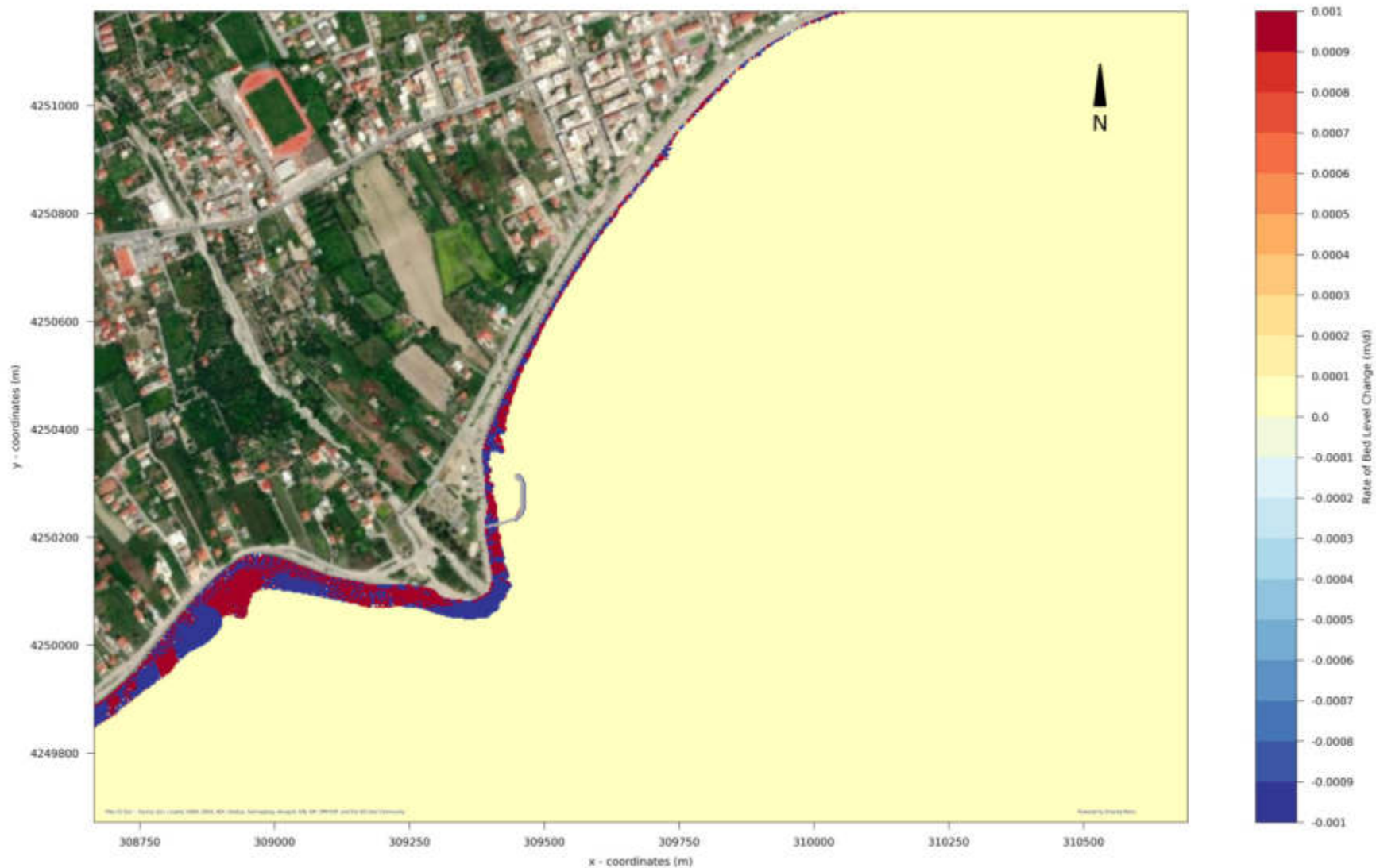
CONSULTANT: TRITON CONSULTING ENGINEERS	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: DZ_2_DN
MODEL APPLIED: SDT developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Rate of Bed Level Change of Equivalent Wave Heights for In-coming Wave characteristics: $H_s=0.61\text{m}$, $T_p=3.0\text{s}$, $MWaveDir=217^\circ\text{N}$ for DN case (Current situation)	FIGURE TITLE: Rate of Bed Level Change
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





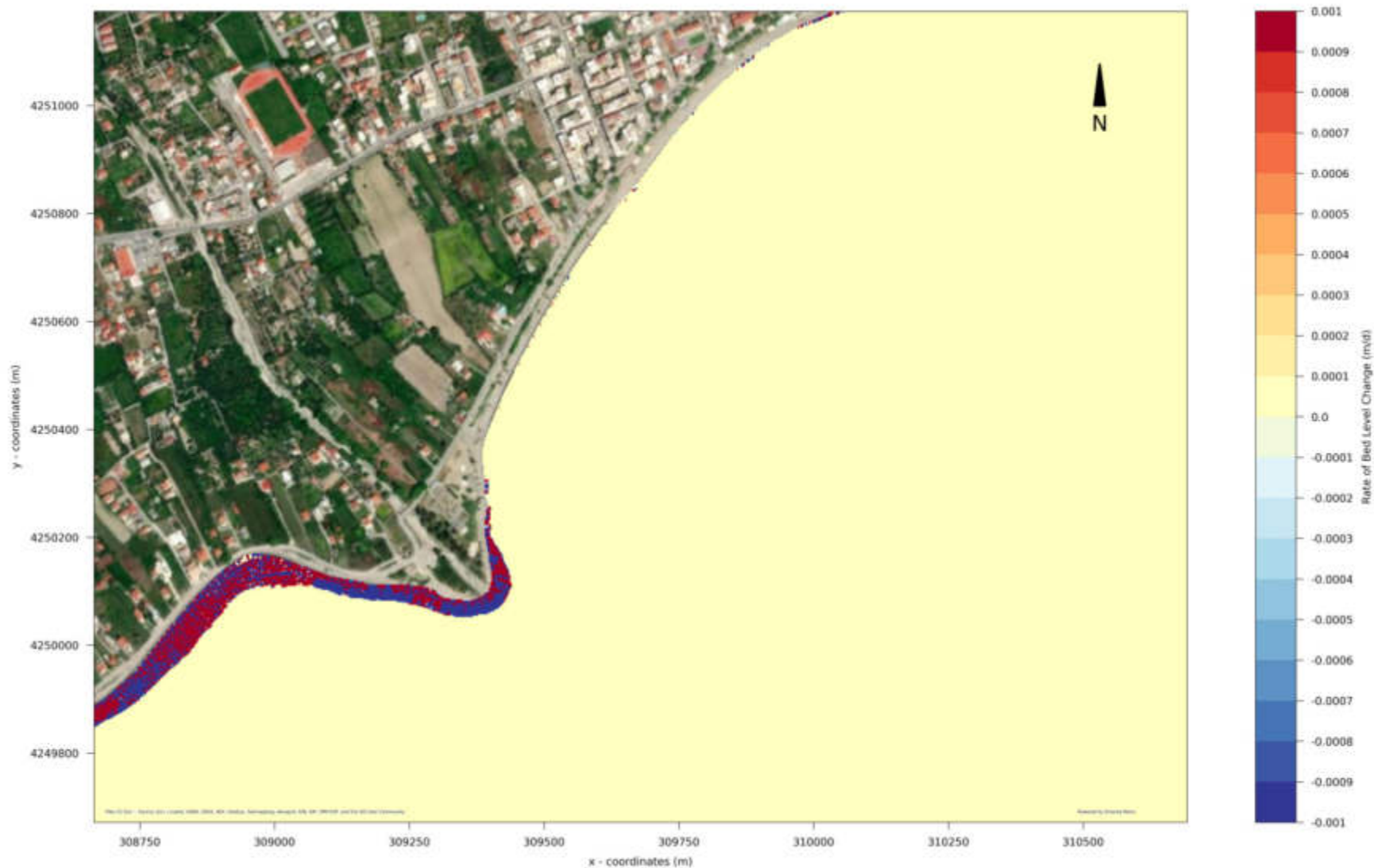
CONSULTANT: TRITON CONSULTING ENGINEERS	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: DZ_2_W1
MODEL APPLIED: SDT developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Rate of Bed Level Change of Equivalent Wave Heights for In-coming Wave characteristics: $H_s=0.61\text{m}$, $T_p=3.0\text{s}$, $MWaveDir=217^\circ\text{N}$ for W1 case	FIGURE TITLE: Rate of Bed Level Change
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





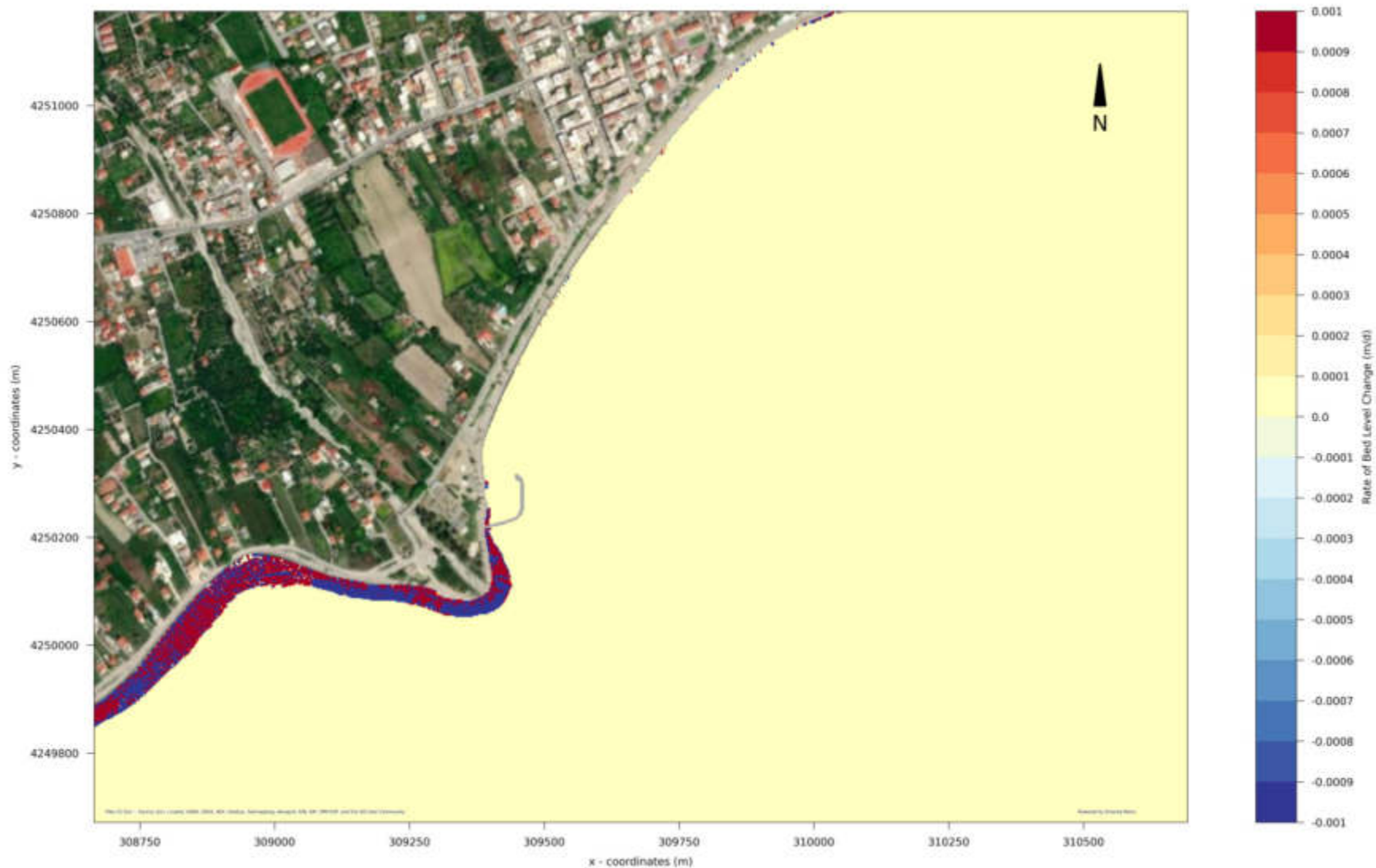
CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: DZ_3_DN
MODEL APPLIED: SDT developed by  CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ	FIGURE DESCRIPTION: Rate of Bed Level Change of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.16\text{m}$, $T_p=4.16\text{s}$, $MWaveDir= (117^\circ\text{N})$ for DN case (Current situation)	FIGURE TITLE: Rate of Bed Level Change DATE: 15 May 2023





CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: DZ_3_W1
MODEL APPLIED: SDT developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Rate of Bed Level Change of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.16\text{m}$, $T_p=4.16\text{s}$, $MWaveDir= (117^\circ\text{N})$ for W1 case	FIGURE TITLE: Rate of Bed Level Change
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023





CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: DZ_4_DN
MODEL APPLIED: SDT developed by  CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ	FIGURE DESCRIPTION: Rate of Bed Level Change of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.03\text{m}$, $T_p=3.83\text{s}$, $MWaveDir= (217\text{oN})$ for DN case (Current situation)	FIGURE TITLE: Rate of Bed Level Change DATE: 15 May 2023





CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study - Nafpaktos	FIGURE NUMBER: DZ_4_W1
MODEL APPLIED: SDT developed by  CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ	FIGURE DESCRIPTION: Rate of Bed Level Change of Extreme Wave Heights for Incoming Wave characteristics: $H_s=1.03\text{m}$, $T_p=3.83\text{s}$, $MWaveDir= (217^\circ\text{N})$ for W1 case	FIGURE TITLE: Rate of Bed Level Change DATE: 15 May 2023



CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study – Nafpaktos	FIGURE NUMBER: DZ_INT_DN
MODEL APPLIED: SDT developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Annual Integration of Bed Level Change Rates for DN case	FIGURE TITLE: Rate of Bed Level Change
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023



CONSULTANT: 	PROJECT TITLE: Coastal Impact Study – Nafpaktos	FIGURE NUMBER: DZ_INT_W1
MODEL APPLIED: SDT developed by 	FIGURE DESCRIPTION: Annual Integration of Bed Level Change Rates for W1 case	FIGURE TITLE: Rate of Bed Level Change
CLIENT: ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ		DATE: 15 May 2023