



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

Δ.Π.Μ.Σ. «ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΙΜΗ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του ΚΑΝΕΛΛΙΑ Π. ΘΕΟΔΩΡΟΥ (Α.Μ. 08115818)

με τίτλο

«ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΟΡΕΙΩΝ ΑΚΤΩΝ v. ΛΕΥΚΑΔΑΣ»



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΔΡ. ΓΡ. ΡΟΥΣΑΚΗΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΔΡ. ΓΡ. ΡΟΥΣΑΚΗΣ

ΔΡ. Β. ΚΑΨΙΜΑΛΗΣ

ΚΑΘ. Κ. ΜΠΕΛΙΜΠΑΣΑΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση των μορφοδυναμικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στις βόρειες ακτές της νήσου Λευκάδας και συγκεκριμένα από τον Άγιο Ιωάννη έως την βόρεια είσοδο του διαύλου Λευκάδας. Η έντονη μετακίνηση των ιζημάτων από την παράκτια ζώνη της περιοχής μελέτης προς τη θάλασσα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ακτομηχανικών φαινομένων, όπως η διάβρωση και η προσάμμωση των ακτών, φαινόμενα που δημιουργούν σοβαρά φυσικά και κοινωνικά/οικονομικά προβλήματα, όπως η μείωση του εύρους της υποαέριας παραλίας, η εμφάνιση βραχωδών σχηματισμών (beach rock), η καταστροφή των παραλιακών οδών, η μείωση του εύρους της εισόδου του διαύλου Λευκάδας και γενικότερα η απομείωση της περιβαλλοντικής και οικονομικής αξίας. Η μελέτη των φαινομένων αυτών και των επιπτώσεων που επιφέρουν στις ακτές είναι απαραίτητη ώστε να προταθούν κατάλληλα μέτρα και δράσεις για την ανάσχεση και αντιμετώπισή τους.

Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα χρησιμοποιηθεί κατάλληλο υδροδυναμικό και ιζηματολογικό υπολογιστικό μοντέλο (MIKE21 Coupled Model FM), μέσω των αποτελεσμάτων του οποίου θα γίνει προσομοίωση και πρόβλεψη της στερεομεταφοράς ιζημάτων σε όλο το ανάπτυγμα των βόρειων ακτών του νησιού. Για τη διενέργεια των παραπάνω υπολογισμών θα χρησιμοποιηθούν, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, ανεμολογικά, κυματικά, τοπογραφικά, βυθομετρικά, κοκκομετρικά κ.α. δεδομένα της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

ABSTRACT

The purpose of this postgraduate thesis is to investigate the morphodynamic processes that take place on the north coasts of Lefkada island and specifically from Agios Ioannis to Lefkada's channel north entrance. The intense movement of sediments from the coastal zone to the sea in the study area results in various sediment processes, such as erosion and deposition, causing serious natural and social/economic problems, such as the reduction of the depth of the submarine beach, the appearance of beach rock, the destruction of coastal roads, the reduction of the width of Lefkada's channel entrance and in general, the impairment of environmental and economic value. The study of these phenomena and their impact on the coasts is necessary in order to propose appropriate measures and actions to halt and tackle them.

In that context, a suitable hydrodynamic and sedimentary computational model (MIKE21 Coupled Model FM) will be used in the present thesis, the results of which will simulate and predict the sediment transfer throughout the north coastline of the island. To carry out the aforementioned study, various data from the greater area, such as wind, wave, topographic, bathymetric, granulometric, etc., will be used after proper processing.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έγινε με τη χρήση λογισμικού του Danish Hydraulic Institute (DHI). Για την μοντελοποίηση και προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το αριθμητικό μοντέλο MIKE 21 Coupled Model FM (Flexible Mesh) και τα υπολογιστικά εργαλεία αυτού. Η άδεια χρήσης του εν λόγω υπολογιστικού προγράμματος δόθηκε από την αντιπροσωπεία Ελλάδας και τον εκπρόσωπό της κ. Ηλία Μουσούλη, στο φοιτητικό πλαίσιο της εν λόγω μεταπτυχιακής εργασίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα Δρ. Γρ. Ρουσάκη για την ανάθεση της εν λόγω μεταπτυχιακής εργασίας και για τη δυνατότητα που μου έδωσε ώστε να ασχοληθώ με το πολύ ενδιαφέρον αντικείμενο της μελέτης των ακτομηχανικών φαινομένων και των παράκτιων διεργασιών. Ακόμη, για την καλή συνεργασία και συνεννόηση που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας και για την σημαντική του βοήθεια.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συνάδελφο Φράνκα Γαδ, για την πολύτιμη βοήθειά της στην διαδικασία της μοντελοποίησης και προσομοίωσης των υδροδυναμικών συνθηκών μέσω του υπολογιστικού προγράμματος, καθώς και τον Δρ. Β. Καψιμάλη για την εν γένει καθοδήγησή του σε όλη τη διαδικασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	7
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	9
2.1. Γεωγραφική θέση	9
2.2. Έκταση – Διοικητική Υπαγωγή.....	9
3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	11
3.1. Γεωλογία – Γεωμορφολογία – Τεκτονικά στοιχεία.....	11
3.2. Μορφολογία ακτών.....	15
3.3. Μορφολογία θαλάσσιου πυθμένα - Βαθυμετρικά στοιχεία.....	18
3.4. Ιζηματολογικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης.....	21
3.5. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά	25
3.6. Υδρολογικά στοιχεία.....	28
3.7. Ωκεανογραφικά στοιχεία.....	29
3.8. Μελέτη αεροφωτογραφιών – Διαχρονική εξέλιξη ακτογραμμής.....	35
4. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ - ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ.....	43
4.1. Γενικά.....	43
4.2. Παράκτιο περιβάλλον.....	44
4.3. Ισοζύγιο φερτών υλών	45
4.4. Μηχανισμοί στερεομεταφοράς.....	47
4.4.1. Στερεομεταφορά εγκάρσια στην ακτή	50
4.4.2. Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής.....	56
4.5. Στερεομεταφορά στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.....	60
5. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΙΚΕ 21 COUPLED MODEL FM	65
5.1 Γενική περιγραφή	65
5.2 Υδροδυναμικό Μοντέλο - Hydrodynamic Module (HD)	65
5.3 Φασματικό Κυματικό Μοντέλο - Spectral Wave Module (SW).....	66
5.4 Μοντέλο Στερεομεταφοράς Μη Συνεκτικών Ιζημάτων - Sand Transport Module (ST)	68
5.5 Ευέλικτο Πλέγμα - Flexible Mesh.....	69
6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΙΚΕ 21 COUPLED MODEL FM	70
6.1. Συλλογή στοιχείων.....	71
6.2. Δημιουργία υπόβαθρου βαθυμετρίας υπολογιστικού μοντέλου.....	73
6.3. Υπολογιστική διαδικασία	75

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ MIKE 21 COUPLED MODEL FM	78
7.1. Κυματικές συνθήκες.....	78
7.2. Υδροδυναμικές συνθήκες.....	83
7.3. Στερεομεταφορά	85
7.4. Σχολιασμός αποτελεσμάτων	88
8. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ/ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΛΟΓΩ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	100
8.1 Μέθοδοι αντιμετώπισης.....	100
8.2 Μέθοδοι και προτάσεις αντιμετώπισης στην περιοχή μελέτης.....	105
8.2.1 Υφιστάμενα έργα	105
8.2.2 Προτεινόμενα έργα.....	107
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	110
Αναφορές	113

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο λήψης Μεταπτυχιακού Διπλώματος από το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία και Επιστήμη» της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, σε συνεργασία με τον Τομέα Θαλάσσιας Γεωλογίας και Γεωφυσικής του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε).

Αντικείμενο της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μορφοδυναμική διερεύνηση των βόρειων ακτών της ν. Λευκάδας, και πιο συγκεκριμένα, η μελέτη των ακτομηχανικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα λόγω της μετακίνησης ιζημάτων από την παράκτια ζώνη προς τη θάλασσα για το σύνολο της περιοχής μελέτης, που περιλαμβάνει την παράκτια ζώνη του Αγ. Ιωάννη, της Γύρας και της εισόδου του διαύλου Λευκάδας, στο βόρειο τμήμα της ν. Λευκάδας.

Οι παράκτιες ζώνες αποτελούν σύνθετα συστήματα με μεγάλη σημασία από περιβαλλοντική και κοινωνικοοικονομική άποψη, καθώς χαρακτηρίζονται από υψηλή βιοποικιλότητα και μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού και ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Η μελέτη και η πρόβλεψη των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε μια παράκτια ζώνη, όπως η διάδοση των κυματισμών και η παράκτια κυκλοφορία, αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για τη λήψη μέτρων ή το σχεδιασμό παράκτιων τεχνικών έργων κατάλληλων για την προστασία της από τις φυσικές ή τις ανθρωπογενείς πιέσεις που δέχεται.

Η παρούσα μελέτη αφορά στην μορφοδυναμική διερεύνηση των βόρειων ακτών της ν. Λευκάδας με χρήση αριθμητικών μοντέλων για την περιγραφή των υδροδυναμικών συνθηκών και της στερεομεταφοράς και για την πρόγνωση των μεταβολών της μορφολογίας του πυθμένα.

Η περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερο μελετητικό ενδιαφέρον, καθώς πέρα από το σημαντικό κυματικό κλίμα που επικρατεί (μέγιστη τιμή σημαντικού ύψους κύματος $H_s=3.63\text{m}$ και περίοδος αιχμής $T_p=6.93\text{s}$ για περίοδο επαναφοράς ενός έτους και $H_s=4.82\text{m}$ και περίοδος αιχμής $T_p=7.99\text{s}$ για περίοδο επαναφοράς 20 έτη), έχει παρατηρηθεί και μεταβολή στη μορφολογία της ακτογραμμής, τόσο με φαινόμενα διάβρωσης όσο και απόθεσης/προσχώσεων. Επιπλέον, η περιοχή παρουσιάζει έντονη τουριστική ανάπτυξη και η μελέτη των παράκτιων διεργασιών αποτελεί σημαντική συνιστώσα για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης της παράκτιας ζώνης.

Η χρήση των αριθμητικών μοντέλων γίνεται για την περιγραφή των υδροδυναμικών συνθηκών, της μετακίνησης των ιζημάτων και της μεταβολής της μορφολογίας του πυθμένα και της ακτογραμμής. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε το υπολογιστικό εργαλείο MIKE 21 Coupled Model FM (Flexible Mesh) του λογισμικού πακέτου MIKE Zero του Danish Hydraulic Institute (DHI), του οποίου η άδεια χρήσης χορηγήθηκε στο εκπαιδευτικό πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας από την επίσημη αντιπροσωπεία της DHI Ελλάδας.

Το MIKE 21 Coupled Model FM αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα μοντελοποίησης το οποίο παρέχει τη δυνατότητα σύζευξης διαφόρων λογισμικών μονάδων (modules). Στην παρούσα μελέτη γίνεται χρήση: (i) του υδροδυναμικού μοντέλου (Hydrodynamic Module, HD), (ii) του φασματικού κυματικού μοντέλου (Spectral Wave Module, SW) και (iii) του μοντέλου στερεομεταφοράς μη συνεκτικών ιζημάτων (Sand Transport Module, ST).

Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης και γίνεται ανάλυση της διαχρονικής εξέλιξης των βόρειων ακτών του νησιού. Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά και ο τρόπος εφαρμογής του υπολογιστικού μοντέλου προσομοίωσης, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, τα δεδομένα που εισήχθησαν και αναλύεται η υπολογιστική διαδικασία. Ακολουθεί η διερεύνηση των υδροδυναμικών και μορφοδυναμικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και γίνεται σχολιασμός αυτών. Τέλος, γίνεται αναφορά σε πιθανούς τρόπους ανάσχεσης και αντιμετώπισης των προβλημάτων που προκύπτουν λόγω στερεομεταφοράς και αναφορά των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την παρούσα εργασία.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. Γεωγραφική θέση

Η νήσος Λευκάδα βρίσκεται στο Ιόνιο Πέλαγος και είναι το δεύτερο βορειότερο μεγάλο νησί του συμπλέγματος των Ιονίων Νήσων. Βρίσκεται νότια της Κέρκυρας, βόρεια της Κεφαλλονιάς και της Ιθάκης και δυτικά της Ακαρνανίας (βλ. Σχήμα 2.1, Απόσπασμα Χάρτη Υ.Υ Νο21, Ιόνιο Πέλαγος - Βόρειο τμήμα νήσων Οθωνοί μέχρι Ζάκυνθο, κλ. 1:250.000 και Σχήμα 2.2 – Απόσπασμα χάρτη Γ.Υ.Σ., κλίμακα 1:50.000). Η απόσταση του βορειότερου σημείου του νησιού από το νοτιότερο σημείο της Κέρκυρας είναι περίπου 40 ναυτικά μίλια, ενώ η ελάχιστη απόσταση από την Κεφαλλονιά και την Ιθάκη είναι περίπου 5 ν.μ. (στενό Κεφαλλονιάς). Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του νησιού περικλείονται μεταξύ των παραλλήλων:

- Βόρειο Πλάτος: 38° 33' - 38° 51'
- Ανατολικό Μήκος: 20° 32' - 20° 44'

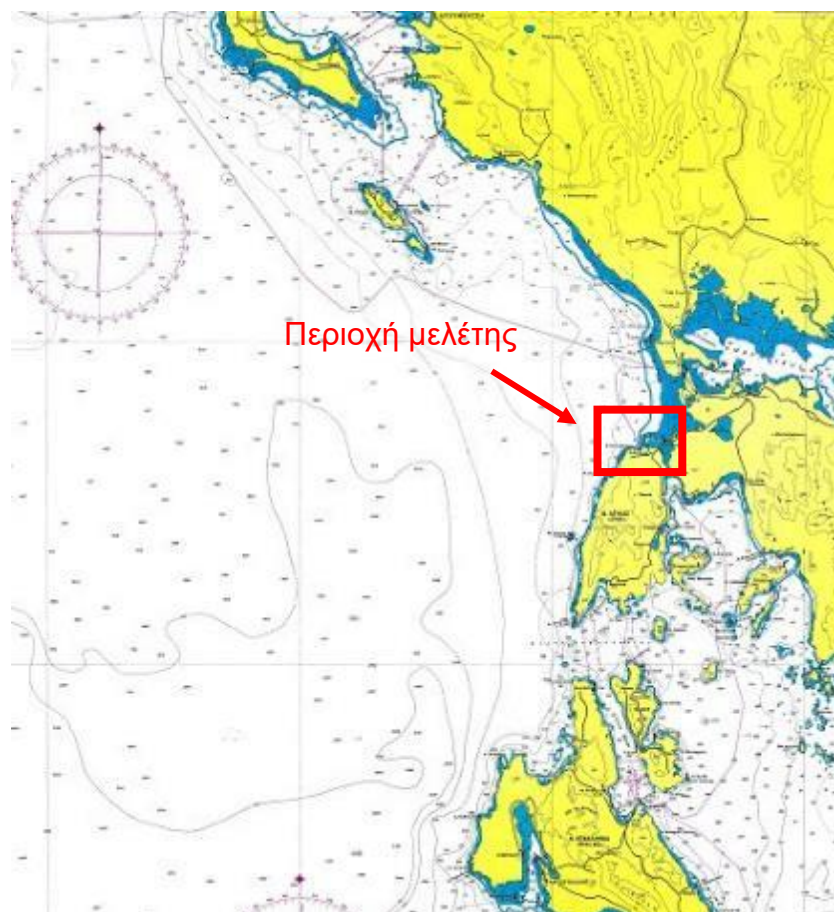
Γενικά μορφολογικά (αλλά και εν μέρει ιστορικά) η Λευκάδα έχει μεγάλη σχέση με το Νομό Αιτωλοακαρνανίας. Το βορειοανατολικό άκρο του νησιού όπου και η πόλη της Λευκάδας, βρίσκεται πολύ κοντά στην ηπειρωτική ακτή (Ακαρνανία), από την οποία χωρίζεται με αβαθείς λιμνοθάλασσες και τενάγη. Στην αβαθή αυτή περιοχή έχει διανοιχθεί ο Δίαυλος Λευκάδας.

Στην παρούσα εργασία, η περιοχή μελέτης εκτείνεται από την άκρα του Αγ. Ιωάννη μέχρι και την περιοχή του Διαύλου Λευκάδας, βορειοανατολικά της πόλης.

2.2. Έκταση – Διοικητική Υπαγωγή

Η συνολική έκταση της ν. Λευκάδας ανέρχεται σε 303 km², με μέγιστο πλάτος περίπου 8 ν.μ. στο νοτιότερο τμήμα της και εκτείνεται από βορρά προς νότο περί τα 18 ν.μ. Το ανάπτυγμα των ακτών του νησιού της Λευκάδας έχει μήκος 117 km και για τον περίπλου της σε μικρή απόσταση από την ακτή και μέσω του στενού του Μεγανησίου απαιτείται πλους 45 ν.μ. περίπου.

Η Λευκάδα ανήκει στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων και πρωτεύουσα του Δήμου Λευκάδας είναι η πόλη της Λευκάδας, που βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο του νησιού. Η Λευκάδα είναι το διοικητικό κέντρο και το κυριότερο λιμάνι του νησιού. Στο νέο Δήμο Λευκάδας ανήκει το σύνολο των υπό μελέτη παράκτιων περιοχών.



Σχήμα 2.1: Χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης (Απόσπασμα Χάρτη Υ.Υ Νο21 – Ιόνιο Πέλαγος – Βόρειο τμήμα νήσων Οθωνοί μέχρι Ζάκυνθο, κλ. 1:250.000)



Σχήμα 2.2: Περιοχή μελέτης (Απόσπασμα Χάρτη Γ.Υ.Σ., Φ.Χ. Λευκάδα, κλ. 1:1.50.000)

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. Γεωλογία – Γεωμορφολογία – Τεκτονικά στοιχεία

Ανάγλυφο – Γεωλογία - Γεωμορφολογία

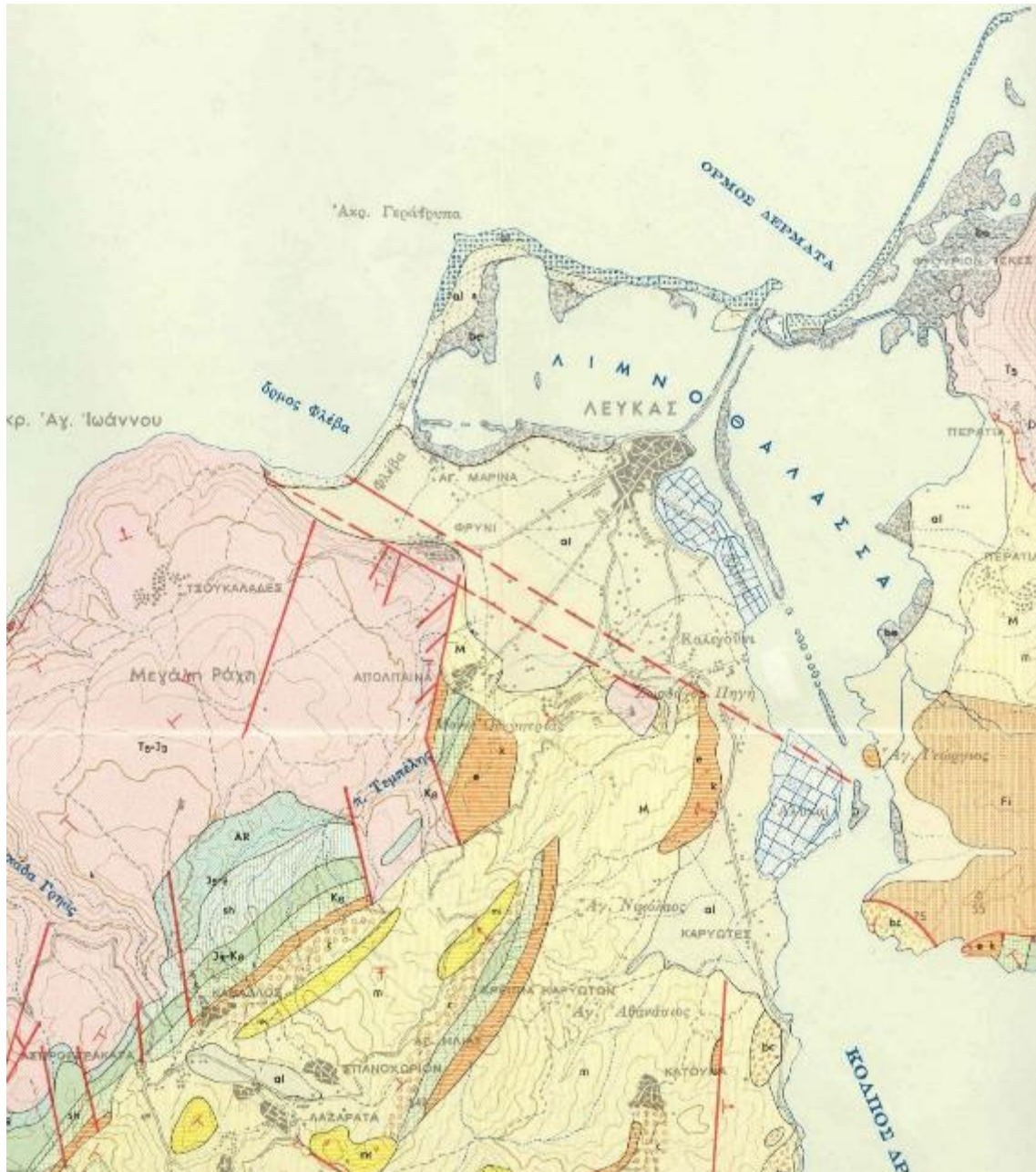
Μορφολογικά το νησί της Λευκάδας είναι ορεινό με έντονο κατακόρυφο και οριζόντιο διαμελισμό και όρη “μεσαίου ύψους” με απότομες πλαγιές και χαράδρες. Χαρακτηρίζεται από ένα εκτεταμένο (καλύπτει το 1/5 περίπου του νησιού) ορεινό τμήμα στο κέντρο του, με μέσο υψόμετρο 900 m και υψηλότερο σημείο του νησιού την κορυφή του όρους Σταυρωτά (υψόμετρο 1.182 m). Από το κεντρικό αυτό τμήμα ξεκινούν χαμηλότεροι κλάδοι, οι οποίοι καταλήγουν στη μεν δυτική πλευρά σε απόκρημνες βραχώδεις ακτές με πολλές αμμώδεις παραλίες, στη δε ανατολική πλευρά σε πιο ομαλές και πολυσχιδείς ακτές.

Το ανάγλυφο στην ευρύτερη περιοχή μελέτης δεν παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, καθώς περιλαμβάνει την πεδινή ζώνη στο βόρειο τμήμα του νησιού, στις περιοχές του Αϊ Γιάννη, της Γύρας και της Λευκάδας, που διαμορφώνεται στην απόληξη προς τα βορειοανατολικά των ορεινών όγκων του Αγ. Νικήτα και των Τσουκαλάδων (βλ. Σχήμα 3.1). Η κύρια πεδινή ζώνη του νησιού γνωστή ως “κάμπος Λευκάδας” καλύπτεται κυρίως από ελαιόδενδρα και προς τα ανατολικά και βόρεια καταλήγει βαθμιαία στις ιλυώδεις περιοχές των λιμνοθαλασσών.

Όσον αφορά στη γεωλογική δομή της νήσου Λευκάδας, αυτή χαρακτηρίζεται στο μεγαλύτερο τμήμα της από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς με έντονη τεκτονική παραμόρφωση και δολομιτικούς σχηματισμούς της Ιονίου Ζώνης, η οποία επεκτείνεται και στη δυτική ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ ένα μικρό τμήμα του νησιού προς τα νότια και δυτικά (προς τη χερσόνησο Λευκάτα) ανήκει στη Ζώνη Παξών. Η τελική πτύχωση του νησιού τοποθετείται μεταξύ ανωτέρου Μειοκαίνου και κατωτέρου Πλειοκαίνου.

Η περιοχή μελέτης, από γεωλογικής άποψης, εντάσσεται στην πεδινή περιοχή της Λευκάδας. Η περιοχή αυτή, με τις λιμνοθάλασσες όπισθεν των παραλιών του Αϊ Γιάννη και της Γυράπετρας μέχρι και τον Δίαυλο Λευκάδας (βλ. Σχήματα 3.1), προέρχεται από σύγχρονες αλλουβιακές και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις του Ολοκαίνου. Η πεδινή αυτή περιοχή είναι αποτέλεσμα του ρήγματος των Τσουκαλάδων. Η διάρρηξη έλαβε χώρα αφού προηγήθηκε μια περίοδος διαβρώσεων, ενώ μετά το σχηματισμό της προσχώνεται συνεχώς. Επειδή το πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων υπερβαίνει τα 10 m και η βάση τους βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, εκτιμάται ότι η περιοχή επηρεάζεται από μια αργή καθοδική κίνηση, η οποία εξισορροπείται από τις συνεχείς προσχώσεις, με αποτέλεσμα να μην έχει αλλάξει ουσιαστικά από τους αρχαίους χρόνους η μορφολογική της όψη.

Λεπτομέρειες για τη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής φαίνονται στο Σχήμα 3.1 (απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη Λευκάδας, έκδοση του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, 1964).



al: Σύγχρονες προσχώσεις

be: Λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις εξ ιλύος, λειψάνων εξ υδροχαρών φυτών και οστράκων διαφόρων αρτιγόνων μαλακίων

Σχήμα 3.1: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Ε.Υ.

Οι αλλουβιακές προσχώσεις (που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του “κάμπου Λευκάδας”) αποτελούνται από αποσαθρώματα διαφόρων πετρωμάτων, η κοκκομετρική σύνθεση των οποίων εξαρτάται κάθε φορά από το είδος των πετρωμάτων, την απόσταση μεταφοράς κλπ. Οι λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις αφορούν κυρίως στη λιμνοθάλασσα της Λευκάδας και τις λιμνοθάλασσες μέχρι τις ακτές της Στερεάς Ελλάδας. Μεγάλο τμήμα των λιμνοθαλασσών αυτών καταλαμβάνεται από τενάγη και υδροχαρή φυτά, ενώ περιοδικά καλύπτεται από νερό. Οι αποθέσεις στο εσωτερικό των λιμνοθαλασσών αποτελούνται από ιλύ, λείψανα από υδροχαρή φυτά και όστρακα διαφόρων αρτιγόνων μαλακίων.

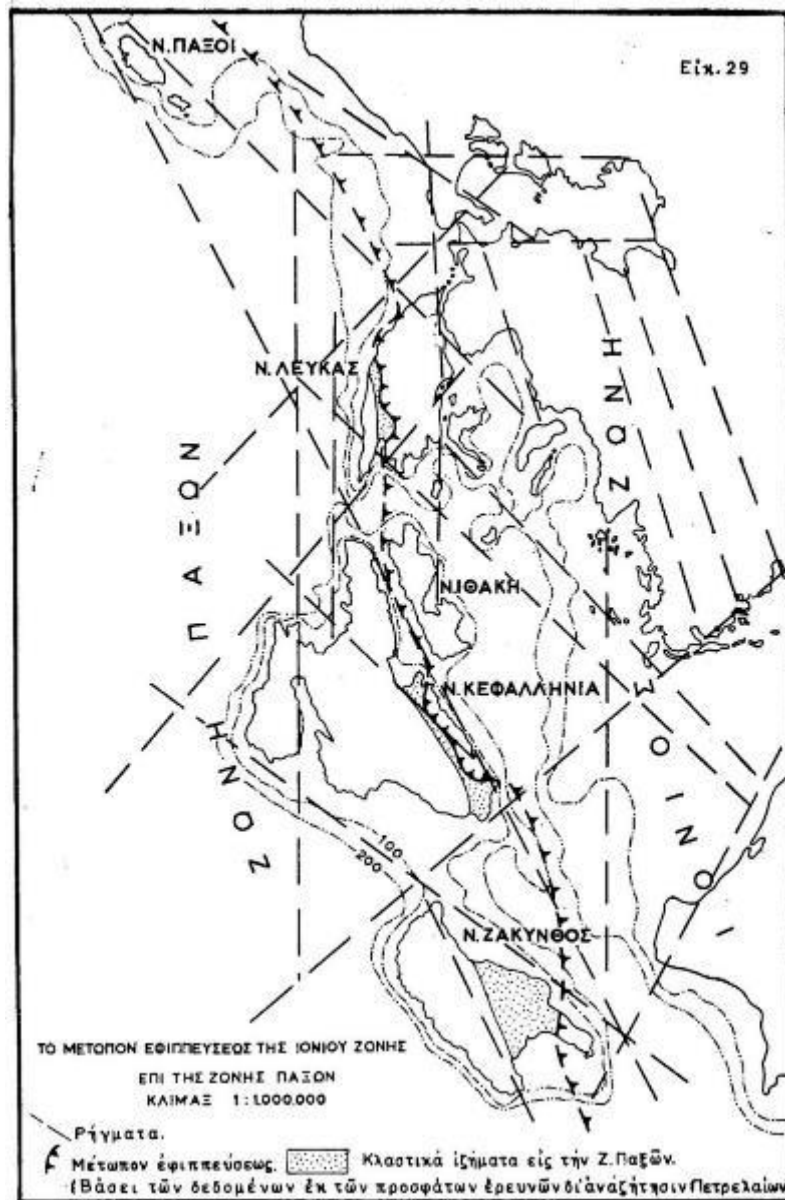
Η λιμνοθαλάσσια περιοχή είναι αποτέλεσμα κατ’ αρχήν των διαρρήξεων και στη συνέχεια των προσχωσιγενών διεργασιών των χειμάρρων. Σύμφωνα με ιστορικά στοιχεία, η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από συνεχή καθίζηση, ενώ παράλληλα προσχώνεται συνεχώς, με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζει ουσιαστικές μορφολογικές διαφορές κατά τη διάρκεια των ιστορικών χρόνων. Η καθίζηση αυτή της περιοχής εκτιμάται συνολικά σε 2,00 έως 2,50 m από τους Ρωμαϊκούς χρόνους¹ (δηλαδή με ρυθμό 1,0 έως 1,2 mm/έτος). Επιπλέον, από τον 1ο αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα έχει παρατηρηθεί ανύψωση της στάθμης της θάλασσας ίση με 2,50 έως 2,80 m (δηλαδή με ρυθμό 1,2 έως 1,3 mm/έτος)². Άλλωστε, η ανύψωση αυτή της στάθμης της θάλασσας δικαιολογεί τη βύθιση της Ρωμαϊκής γέφυρας και καταστροφή τμήματος του ενετικού τοιχείου στην περιοχή του φρουρίου της Αγ. Μαύρας.

Τεκτονικά στοιχεία

Η Λευκάδα, όπως και τα υπόλοιπα νησιά του κεντρικού Ιονίου, εμφανίζει εντονότατη σεισμική δραστηριότητα και δοκιμάζεται πολύ συχνά από ισχυρούς τεκτονικούς σεισμούς. Η περιοχή αυτή του Ιονίου (περιοχή νησιών Λευκάδας και Κεφαλλονιάς) είναι η πλέον σεισμική περιοχή της Ελλάδας και χαρακτηρίζεται από αρκετά βαθιά ρήγματα απροσδιόριστου ηλικίας. Σε αυτή έχουν καταγραφεί πολλοί μεγάλοι τεκτονικοί σεισμοί μεγέθους ακόμη και άνω των 7 βαθμών της κλίμακας Richter και μάλιστα με εστιακά βάθη μικρότερα των 60km (βλ. Σχήμα 3.2).

¹ Μπορνόβα, I.M., 1964. “Η γεωλογία της Νήσου Λευκάδος”. Αθήνα: Ι.Γ.Ε.Υ.

² Hafemann, D., 1960. “Anstieg des Meeresspiegels in geschichtlicher Zeit”. Die Umschau in Wissenschaft und Technik.



Σχήμα 3.2: Τεκτονικός χάρτης βορείου Ιονίου

(Μπορνόβα, Ι.Μ., 1964. "Η γεωλογία της Νήσου Λευκάδος". Αθήνα: Ι.Γ.Ε.Υ.)

Σύμφωνα με πληροφορίες του Αρχείου Λευκάδας οι πιο σοβαροί σεισμοί στην ευρύτερη περιοχή Λευκάδας, που είναι γνωστοί μεταξύ των ετών 1469 και 1948 ανέρχονται τουλάχιστον σε 40, οι μισοί από τους οποίους ήταν καταστρεπτικοί. Από διάφορες περιγραφές προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη κινητικότητα εμφανίζουν δύο εστίες που εκλύουν μέσους σεισμούς. Η μία από αυτές βρίσκεται στη θαλάσσια περιοχή βορειοδυτικά του νησιού, στη διασταύρωση του μεγάλου ρήγματος των Τσουκαλάδων με ένα άλλο ρήγμα του Ιονίου. Η άλλη εστία βρίσκεται λίγο νοτιότερα του όρμου Βασιλικής, στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Λευκάδας και Ιθάκης, πάνω σε ένα ρήγμα που διέρχεται μεταξύ των δύο νήσων. Επιπλέον, επισημαίνεται ότι η πλειονότητα των ρηγμάτων στη Λευκάδας είναι βόρειας-βορειοδυτικής διεύθυνσης (βλ. Σχήμα 3.2).

Πρόσφατα, την 14.08.2003 καταγράφηκε ισχυρή σεισμική δόνηση έντασης 6,4 βαθμών της κλίμακας Richter, το επίκεντρο της οποίας βρισκόταν στα δυτικά του νησιού σε μικρή απόσταση από την ακτή. Χαρακτηριστικό της σεισμικής αυτής δόνησης ήταν η μεγάλη διάρκεια της καθώς και ο ιδιαίτερα υψηλός συντελεστής σεισμικής επιτάχυνσης. Ο σεισμός αυτός, όπως και η έντονη σεισμική ακολουθία του, έγινε αισθητός στην ευρύτερη περιοχή των νησιών του κεντρικού Ιονίου και προκάλεσε σημαντικές ζημιές σε κτίρια και υποδομές του νησιού της Λευκάδας. Επιπλέον, προκάλεσε κατολισθήσεις στις απόκρημνες ακτές και πλαγιές του νησιού πλήττοντας ορισμένους οικισμούς. Γενικά η περιοχή μελέτης δοκιμάζεται συχνά από ισχυρούς σεισμούς, οι οποίοι σε συνδυασμό και με το επισφαλές έδαφος θεμελίωσης έχουν προκαλέσει στο παρελθόν μεγάλες καταστροφές στην πόλη της Λευκάδας (με πιο πρόσφατα παραδείγματα τον καταστρεπτικό σεισμό του 1948, αλλά και τον ισχυρότατο σεισμό της 14.08.2003).

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ, 2000 και την τροποποίηση αυτού με την απόφαση Αριθ. Δ17α/115/9/ΦΝ275, ΦΕΚ1154/Β'/12.08.2003) η περιοχή μελέτης, όπως και το σύνολο του νομού Λευκάδας και των δυτικών παραλίων της Αιτωλοακαρνανίας, εντάσσεται στην κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας III. Σύμφωνα με σχετικές μελέτες (Δρακόπουλος Ι., Μακρόπουλος Κ., 1982), το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος σεισμού, το οποίο αναμένεται στην περιοχή μελέτης για τα επόμενα 100 χρόνια, είναι 7.0-7.2 βαθμοί της κλίμακας Richter και η τιμή της μέγιστης αναμενόμενης επιτάχυνσης (με πιθανότητα 90% να μην γίνει υπέρβασή της) για τα επόμενα 25 χρόνια είναι 0,26.

3.2. Μορφολογία ακτών

Η μορφή των ακτών της Λευκάδας είναι αποτέλεσμα κυρίως τεκτονικών αιτίων. Η δυτική ακτή από το ακρωτήριο Δουκάτο στα νότια μέχρι την άκρα Αγ. Ιωάννης στα βόρεια, είναι απότομη και κρημνώδης, συνέπεια των μεγάλων ρηγμάτων του Ιονίου και σε όλο το μήκος της παρατηρείται τυπική μορφή ακτοταινίας.

Μετά από την άκρα Αγ. Ιωάννης η ακτή γίνεται ομαλή και συνεχίζεται σε μορφή ενός στενού βραχίονα (από συμπαγές ψηφιοπαγές, με το εσωτερικό της ζώνης του χειμερίου κύματος καλύπτεται από άμμο και θίνες), ο οποίος περιβάλλει τη λιμνοθάλασσα της Λευκάδας διαχωρίζοντάς την από το Ιόνιο Πέλαγος και φθάνει μέχρι το νοτιοανατολικό άκρο του όρμου Δερματά (Λευκάδας) στην περιοχή της εισόδου του διαύλου Λευκάδας (βλ. Σχήματα 2.2 και 3.1).

Περνώντας στην άλλη πλευρά του νησιού, οι νότιες και ανατολικές ακτές του σε αντίθεση με τις δυτικές, είναι πιο ομαλές και πολυσχιδεείς και μόνο κατά τόπους απότομες. Υπάρχουν

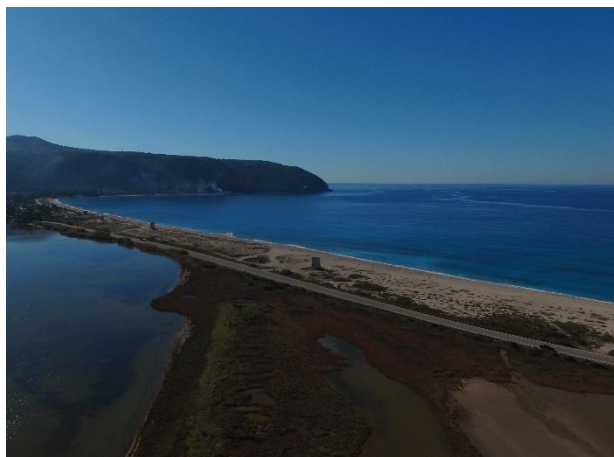
πολλοί μικροί ή μεγάλοι όρμοι (Βασιλική, Σύβοτα, Πόρος, Βλυχό κλπ.) με μικρές αμμώδεις παραλίες.

Παράκτια ζώνη περιοχής μελέτης

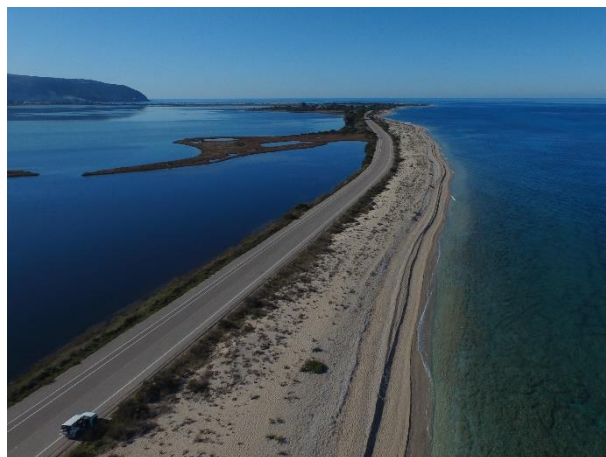
Η παραλία του Αγ. Ιωάννη αποτελεί το δυτικό τμήμα της αμμολωρίδας που οριοθετεί την λιμνοθάλασσα, ενώ η παραλία Γύρας, το βόρειο τμήμα της αμμολωρίδας. Η περιοχή συνιστά την συνέχεια του αλλουβιακού πεδίου της Βόρειας Λευκάδας προς βορρά, στο οποίο βρίσκεται και η πόλη της Λευκάδας (βλ. Σχήμα 3.1).

Η μορφή της αμμολωρίδας, όπως και η διαμόρφωση του ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής της βόρειας Λευκάδας, ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από την δράση ενεργών ρηγμάτων, τα οποία εντοπίζονται στον χερσαίο και στον υποθαλάσσιο χώρο.

Κατά μήκος της ακτογραμμής που περιβάλλει την λιμνοθάλασσα, παρατηρείται πλακώδης σχηματισμός, ο οποίος στη περιοχή αναφέρεται με τον όρο «πλάκα» (βλ. Σχήμα 3.1). Ο σχηματισμός αυτός έχει χαρακτηριστεί από τον Μπορνόβα (1964) σαν παράκτιος σχηματισμός – beach rock με τον όρο ‘ψηφίτοπαγές Ζωστήρος’. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται στο νοτιότερο τμήμα και στο βόρειο μισό της παραλίας Αγ. Ιωάννη και σε όλο το μήκος της ακτογραμμής της Γύρας μέχρι και την περιοχή του διαύλου και συνεχίζει και ανατολικότερα αυτής. Χαρακτηριστικές του σχηματισμού της «πλάκας» που αναφέρθηκε παραπάνω είναι οι Εικόνες 3.1 έως 3.6 που ακολουθούν.



Εικόνα 3.1: Άποψη της παραλίας Αγ. Ιωάννη



Εικόνα 3.2: Άποψη της παραλίας Γύρας



Εικόνα 3.3: Εμφάνιση του σχηματισμού 'πλάκας' στην παραλία της Γύρας.



Εικόνα 3.4: Άποψη παραλίας Γύρας. Η μεγάλη κλίση της υποαέριας παραλίας αποτελεί ένδειξη της υψηλής κυματικής ενέργειας που δέχεται.



Εικόνα 3.5: Παλαιότερη άποψη της παράκτιας ζώνης Αγ. Ιωάννη.



Εικόνα 3.6: Πρόσφατη άποψη της παράκτιας ζώνης Αγ. Ιωάννη.

Στο νότιο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη και ειδικότερα στο σημείο καμπής της ακτογραμμής παρατηρούνται τα σημαντικότερα προβλήματα παράκτιας διάβρωσης και υποχώρησης της ακτογραμμής, με αποτέλεσμα την πρόκληση καταστροφών στο παράκτιο οδικό δίκτυο (Εικόνες 3.7 α & 3.7 β).



Εικόνες 3.7α & 3.7β: Άποψη της παραλίας του Αγ. Ιωάννη στο νότιο τμήμα της, στο σημείο με τα εντονότερα προβλήματα παράκτιας διάβρωσης. Διακρίνεται η κατάρρευση του παραλιακού δρόμου από το καταιγιδικό επεισόδιο τον Οκτώβριο του 2003 (Αριστερή Φωτογραφία Απρίλιος 2006, δεξιά Φωτογραφία Νοέμβριος 2003)

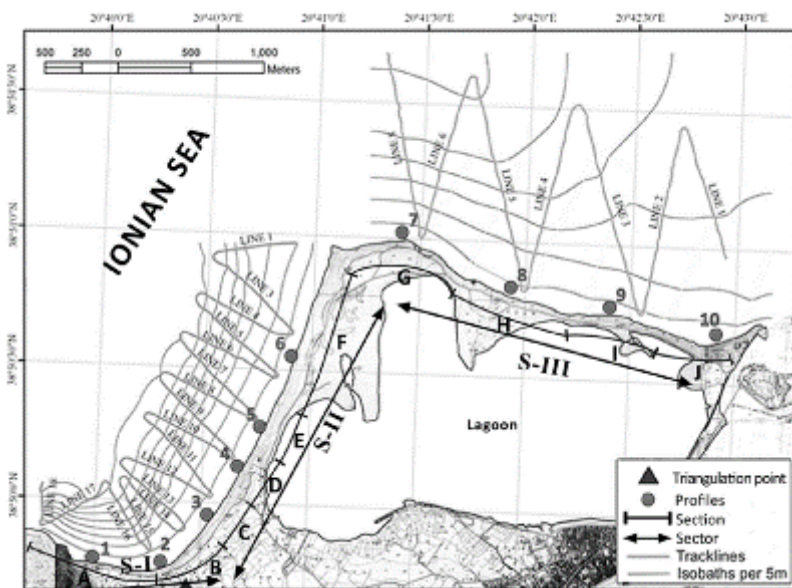
3.3. Μορφολογία θαλάσσιου πυθμένα - Βαθυμετρικά στοιχεία

Η μορφολογία του θαλάσσιου πυθμένα της περιοχής μελέτης παρουσιάζονται στη συνέχεια. Στο Σχήμα 3.3 φαίνονται η βαθυμετρία, οι χαρακτηριστικές διαδρομές των βαθυμετρικών αποτυπώσεων, καθώς και οι θέσεις των εγκάρσιων τομών κατά μήκος της ακτογραμμής του Αγ. Ιωάννη και της Γύρας.

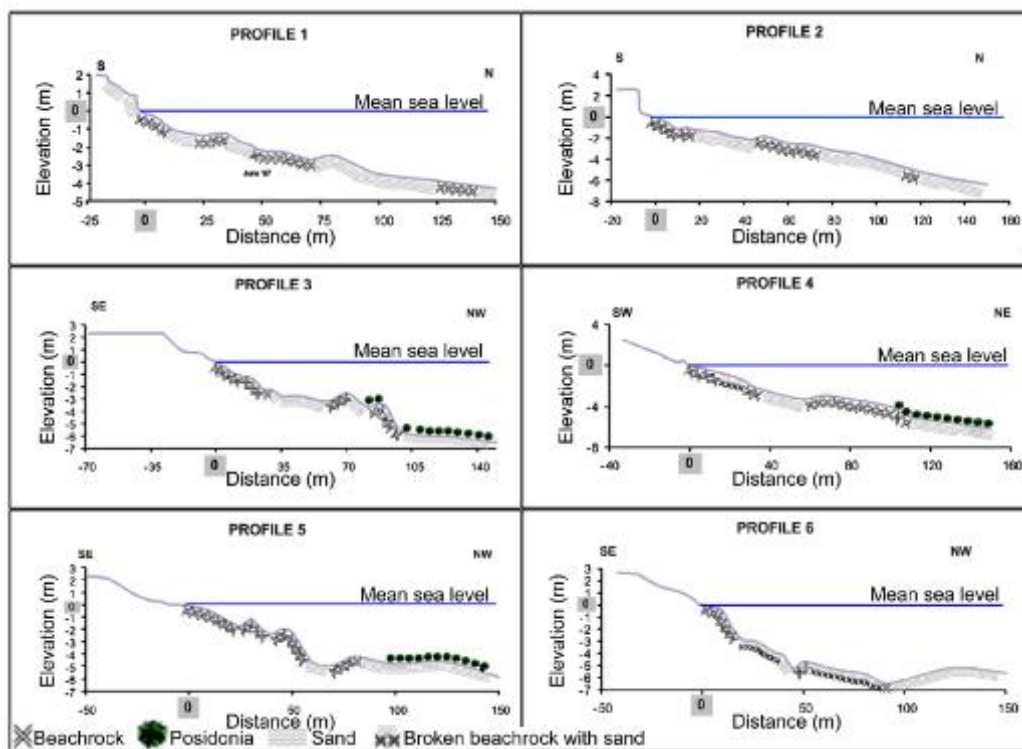
Μορφολογία του πυθμένα της περιοχής Αγ. Ιωάννη

Ο πυθμένας της νότιας περιοχής της παραλίας Αγ. Ιωάννης παρουσιάζεται ομαλός με μεγάλη κλίση από τα ρηχά μέχρι και το βάθος των 13 μέτρων, ενώ στην συνέχεια, η κλίση αυξάνεται περισσότερο μέχρι τα 28 μέτρα και στην συνέχεια η κλίση μειώνεται (βλ. Σχήμα 3.4). Προς το μέσον της θαλάσσιας περιοχής η κλίση του πυθμένα είναι μικρή μέχρι τα 10 μέτρα, ενώ στην συνέχεια αυξάνεται ελαφρά μέχρι και το βάθος των 40 μέτρων. Από το βάθος των 12 μέτρων έως και το βάθος των 20 μέτρων ο πυθμένας εμφανίζει αυξημένη κλίση, ενώ στην συνέχεια είναι πολύ ομαλός με μικρή κλίση.

Από τις αντιπροσωπευτικές βαθυμετρικές τομές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.4 φαίνεται ότι ο πυθμένα της περιοχής μετά το βάθος των 10 μέτρων καλύπτεται από λιβάδια ποσειδώνιας (βλ. τομές 3 έως 5).



Σχήμα 3.3: Βαθυμετρικός χάρτης και χάρτης βαθυμετρικών διαδρομών στην θαλάσσια περιοχή Αγ. Ιωάννη και Γύρας. Οι χαρακτηριστικές θέσεις των τομών σημειώνονται με την αντίστοιχη αριθμηση.



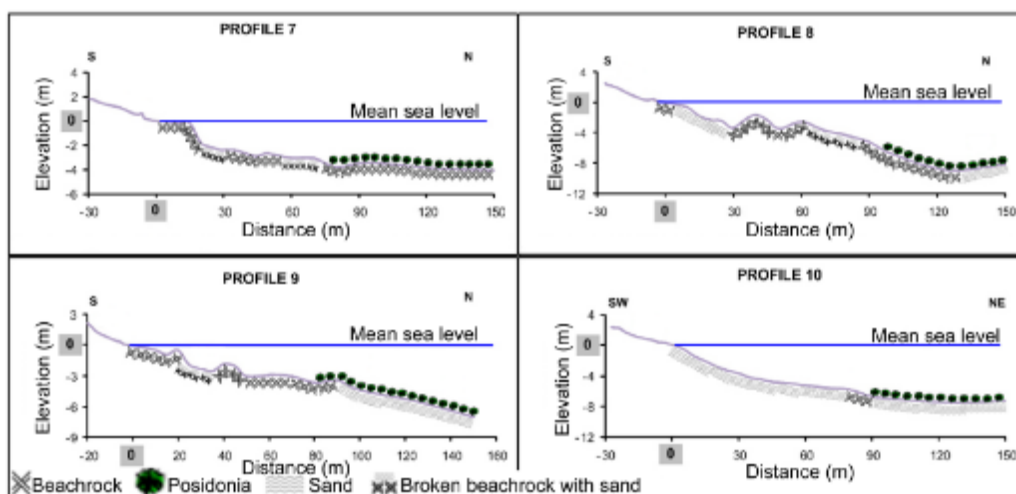
Σχήμα 3.4: Αντιπροσωπευτικές τομές και προφίλ πυθμένα στην θαλάσσια περιοχή του Αγ. Ιωάννη Λευκάδας

Μορφολογία του πυθμένα στην περιοχής Γύρας και της εισόδου του διαύλου Λευκάδας

Ο πυθμένας της ανατολικής περιοχής της παραλίας Γύρας (βλ. Σχήμα 3.5) παρουσιάζεται πολύ απότομος στα ρηχά μέχρι και το βάθος των 10 μέτρων, ενώ στην συνέχεια ομαλοποιείται με ελάχιστη κλίση μέχρι το βάθος των 15 μέτρων. Από το μέσον της περιοχής και δυτικότερα ο πυθμένας της περιοχής είναι σχετικά απότομος μέχρι το βάθος των 20μ, στη συνέχεια ομαλοποιείται έχοντας μικρότερη κλίση μέχρι το βάθος των 25 μέτρων, ενώ μέχρι το βάθος των 30 μέτρων γίνεται πολύ απότομος.

Από την συνολική εικόνα της διαμόρφωσης του πυθμένα στη θαλάσσια περιοχή της Γύρας φαίνεται ότι τα μεγαλύτερα βάθη εντοπίζονται προς τα ανατολικά της περιοχής και ότι ο κυματισμός επιδρά σε όλο το μήκος της παραλίας στα βάθη από 0 έως 10 μέτρα όπου ο πυθμένας είναι ιδιαίτερα απότομος. Στα βαθύτερα η ανάπτυξη λιβαδιών ποσειδωνίας και οι μικρότερες κλίσεις του πυθμένα δείχνουν λιγότερη επίδραση του κυματισμού και πιο σταθερό πυθμένα. Έντονη είναι επίσης η παρουσία βραχωδών σχηματισμών (beach rocks) που έχουν τη μορφή πλάκας κατά μήκος της ακτής. Εμφανίζονται στο μεγαλύτερο τμήμα της παραλίας και ξεκινούν από την ακτογραμμή φτάνοντας μέχρι βάθη 12 μέτρων. Είναι επίσης χαρακτηριστική η απουσία αυτών των σχηματισμών στο ανατολικό τμήμα (βλ. Σχήμα 3.5, προφίλ 10).

Στην περιοχή της αμμόγλωσσας και στην εξωτερική της πλευρά, η οποία είναι εκτεθειμένη στους προσπίπτοντες κυματισμούς της ανοιχτής θάλασσας του Ιονίου Πελάγους, ο πυθμένας κοντά στην ακτή έχει ομοιόμορφη και απότομη κλίση, της τάξης του 19%. Σε μεγαλύτερα βάθη και σε απόσταση από την ακτή, ο πυθμένας έχει ιδιαίτερα μικρή κλίση, ενώ η διεύθυνση της κλίσης είναι παράλληλη με αυτή των ακτών της Αιτωλοακαρνανίας και σχεδόν κάθετη στην εξωτερική πλευρά της αμμόγλωσσας



Σχήμα 3.5: Αντιπροσωπευτικές τομές και προφίλ θαλάσσιου πυθμένα από την θαλάσσια περιοχή Γύρας Λευκάδας

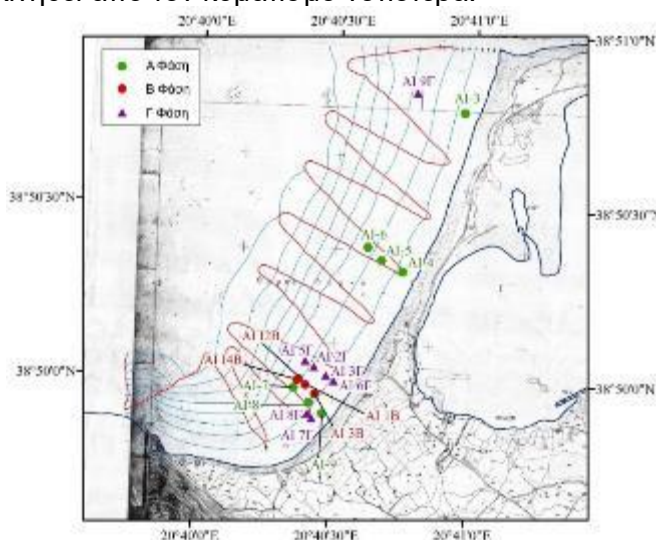
3.4. Ιζηματολογικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης

Όσον αφορά στα ιζηματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, ελήφθησαν υπόψη τα στοιχεία από παλαιότερες μελέτες που είχε εκπονήσει το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. (2003-2006), στα πλαίσια των οποίων είχαν διενεργηθεί επί τόπου δειγματοληψίες στις περιοχές του Αγ. Ιωάννη, της Γύρας και της εισόδου του Διαύλου Λευκάδας. Στη συνέχεια παρατίθενται τα στοιχεία αυτά για τις περιοχές ενδιαφέροντος της παρούσας.

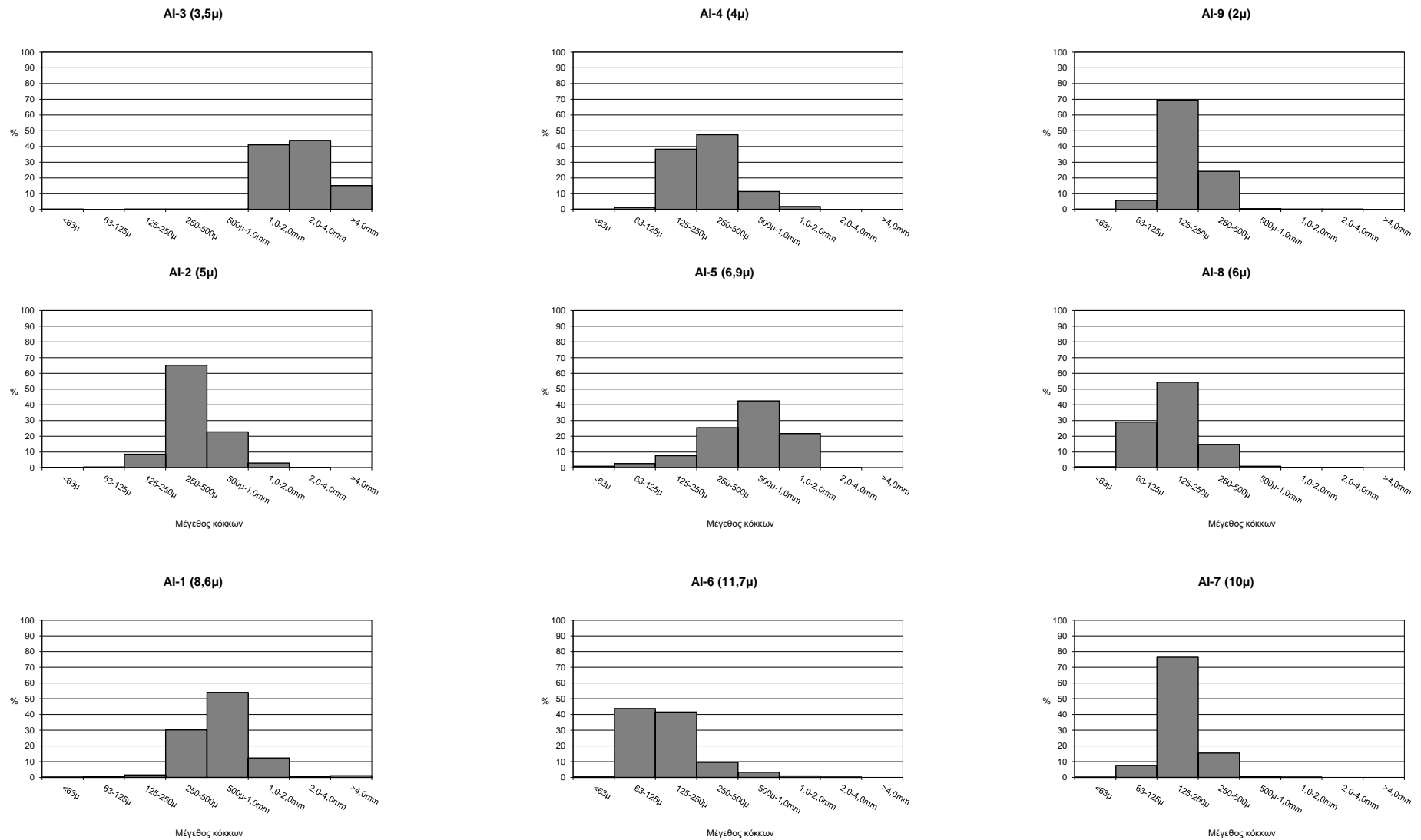
Κοκκομετρική ανάλυση ιζημάτων της ευρύτερης θαλάσσιας περιοχής Αγ. Ιωάννη

Στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή του Αγ. Ιωάννη τα επιφανειακά δείγματα ελήφθησαν κυρίως στα νότια της περιοχής, σε διάφορες περιόδους, σε βάθη νερού από -4m έως -14,4m και σε μικρή απόσταση από την ακτή (περίπου από 10 έως 350 μέτρα) και ήταν κυρίως αμμώδη (βλ. Σχήματα 3.6 & 3.7). Η ανάλυσή τους έγινε με την μέθοδο του ξηρού κοσκινίσματος, με σκοπό τον διαχωρισμό των διαφόρων κοκκομετρικών τάξεων της άμμου σε μεγέθη κόκκων από 63-125 μm (πολύ ψηλή άμμος) έως και >4mm (χάλικες, κροκάλες).

Γενικά, στη θαλάσσια περιοχή της νότια παραλίας του Αγ. Ιωάννη ο πυθμένας στα ρηχά καλύπτεται κυρίως από λεπτόκοκκη και μεσαία άμμο, η οποία μετακινείται προς τα βαθύτερα αφού η παραλία διαβρώνεται, ενώ έχουν αποκαλυφθεί κομμάτια βράχων (beach rock) κοντά στην ακτή. Στα μεσαία βάθη (6-11 μέτρα) μέχρι και την αρχή των λιβαδιών της ποσειδωνίας (10-12 μ), ο πυθμένας της περιοχής καλύπτεται κυρίως από λεπτόκοκκη άμμο η οποία όμως διευθετείται από ισχυρούς κυματισμούς κατά τους θερινούς μήνες και πιθανόν απομακρύνεται ακόμη βαθύτερα. Από το μέσο της παραλίας του Αγ. Ιωάννη και βορειότερα, ο πυθμένας καλύπτεται κυρίως από χοντρόκοκκα ιζήματα (χοντρή άμμο, χάλικες και κροκάλες), καθώς και από ποσειδωνίες (φύκια, σταθερός πυθμένας), ενώ τα λεπτόκοκκα ιζήματα έχουν μετακινηθεί από τον κυματισμό νοτιότερα.



Σχήμα 3.6: Χάρτης σημείων δειγματοληψίας στην θαλάσσια περιοχή του Αγ. Ιωάννη. (ΕΛΚΕΘΕ, 2003-06).

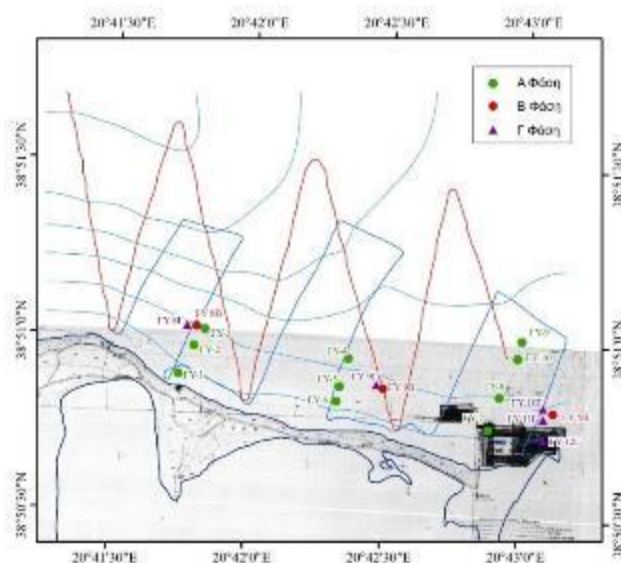


Σχήμα 3.7: Ιστογράμματα κοκκομετρικών τάξεων ιζημάτων της θαλάσσιας περιοχής Αγ. Ιωάννη Λευκάδας (2003)

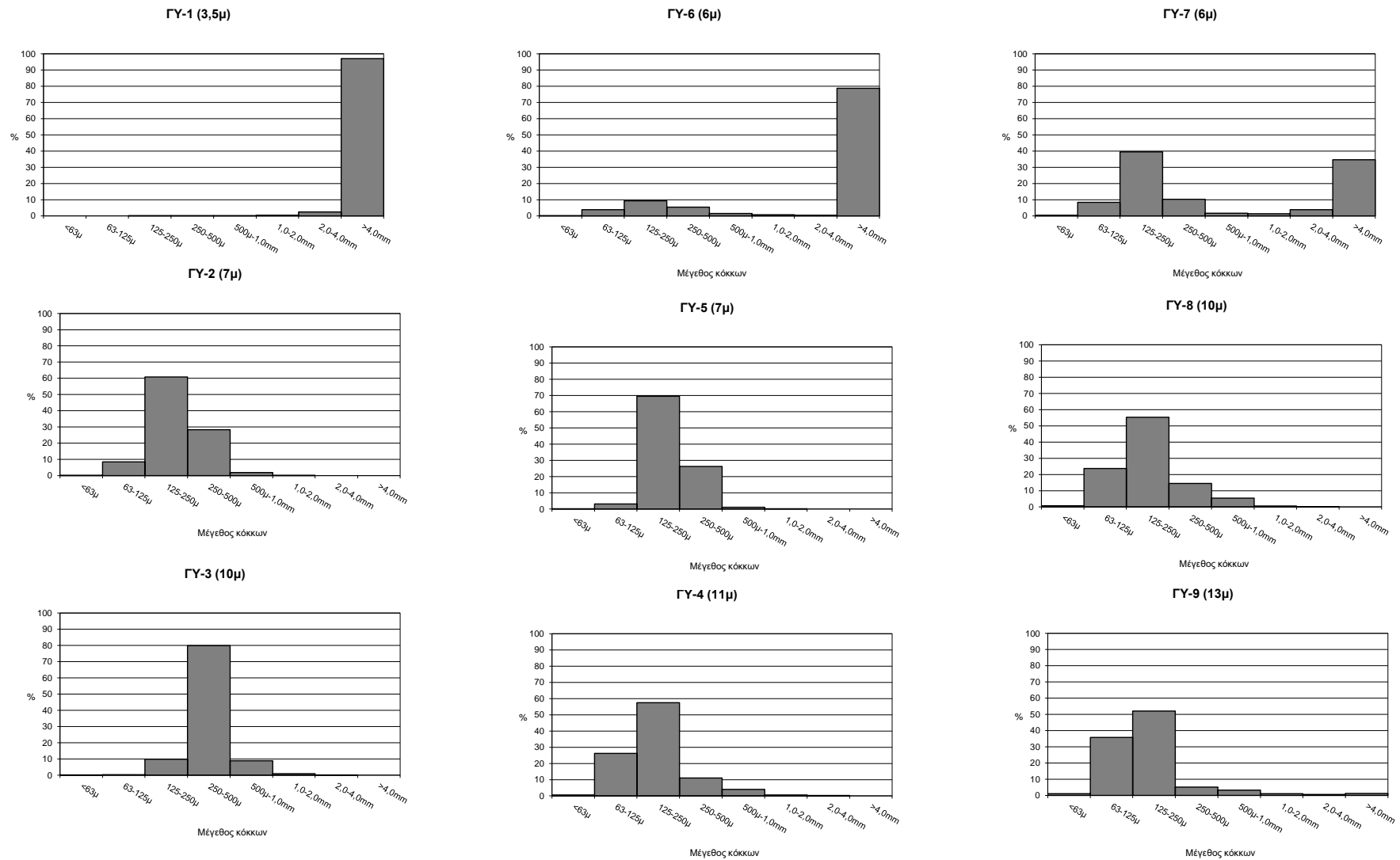
Κοκκομετρική ανάλυση των ιζημάτων της ευρύτερης θαλάσσιας περιοχής Γύρας και εισόδου διαύλου Λευκάδας (αμμόγλωσσα)

Στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή της Γύρας και της εισόδου του διαύλου Λευκάδας, ελήφθησαν επιφανειακά δείγματα σε θέσεις κατά μήκος τομής παράλληλα προς την ακτή και σε βάθος 8-10 μέτρων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.8. Βάση των δειγματοληψιών, στα μικρότερα βάθη τα ιζήματα είναι πολύ περιορισμένα, ενώ κοντά στην ακτή επικρατούν οι μεγάλες κροκάλες και πλάκες (beach rocks). Τα αμμώδη δείγματα αναλύθηκαν με την μέθοδο του ξηρού κοσκινίσματος με σκοπό τον διαχωρισμό τους.

Βάση των παραπάνω, στα δυτικά της περιοχής φαίνεται ότι ο πυθμένα καλύπτεται κυρίως από μεσαία άμμο (67%) και λεπτή άμμο (20%) (βλ. Σχήμα 3.9). Στο μέσον περίπου της περιοχής, ο πυθμένας καλύπτεται από αμμώδη λεπτόκοκκα ιζήματα, αποτελούμενα από λεπτή άμμο (57-69%) και πολύ λεπτή άμμο (14-20%). Μικρή μείωση της λεπτής άμμου παρατηρείται κυρίως κατά τους θερινούς μήνες, πιθανόν λόγω των επικρατούντων κυματισμών. Τα ιζήματα που καλύπτουν τον πυθμένα στην ανατολική πλευρά της παραλίας της Γύρας αποτελούνται κυρίως από πολύ χοντρή άμμο (28-38%), χάλικες και κροκάλες, ενώ απουσιάζουν παντελώς η λεπτή και μεσαία άμμος (Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.8: Χάρτης σημείων δειγματοληψίας στην θαλάσσια περιοχή της Γύρας (ΕΛΚΕΘΕ, 2003-06).



Σχήμα 3.9: Ιστογράμματα κοκκομετρικών τάξεων ιζημάτων της θαλάσσιας περιοχής Γύρας Λευκάδας (2003)

3.5. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά

Γενικά

Το κλίμα της Λευκάδας είναι μεσογειακό, χαρακτηριστικό των νησιών του Ιονίου πελάγους. Το καλοκαίρι δεν είναι πολύ θερμό, ενώ ο χειμώνας είναι ήπιος και πολύ βροχερός. Τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής μελέτης μπορούν να προσδιορισθούν με βάση τα στατιστικά στοιχεία του Μετεωρολογικού Σταθμού Λευκάδας της Ε.Μ.Υ., για την περίοδο 1975-1993, τα οποία παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

Θερμοκρασιακά στοιχεία

Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 9.9°C τον Ιανουάριο έως 25.3°C τον Αύγουστο. Οι μέσες ελάχιστες μηνιαίες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 6.3°C τον Ιανουάριο έως 17.2°C τον Αύγουστο. Οι μέσες μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 13.2°C τον Ιανουάριο έως 28.8°C τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Η απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί είναι -3.0°C (τον Ιανουάριο) και η απόλυτη μέγιστη 38.4°C (τον Ιούλιο). Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι σχετικά υψηλή (περίπου 17.5°C).

Βροχομετρικά στοιχεία

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στο Μ.Σ. Λευκάδας για την περίοδο 1975 - 1993 φθάνει τα 916.8mm. Το μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης κυμαίνεται από 9.5mm τον Ιούνιο έως 198.6mm τον Νοέμβριο. Η μέγιστη βροχόπτωση εικοσιτετραώρου που έχει καταγραφεί είναι 158.0mm.

Όσον αφορά στη συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων κατακρημνισμάτων στην περιοχή, είναι χαρακτηριστικό ότι εκτός από τη βροχή τα υπόλοιπα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα μπορούν να θεωρηθούν πρακτικά αμελητέα.

Ανεμολογικά στοιχεία

Για τα ανεμολογικά στοιχεία ελήφθησαν υπόψη στοιχεία των Μ.Σ. Λευκάδας και Πρέβεζας. Σύμφωνα με τον Μ.Σ. Λευκάδας, οι επικρατέστεροι άνεμοι στην περιοχή είναι με μεγάλη διαφορά οι άνεμοι ΒΔ διεύθυνσης, με μέση συνολική συχνότητα εμφάνισης πάνω από 27% και ένταση που φθάνει μέχρι και τα 11 Beaufort. Όσον αφορά στον Μ.Σ. Πρέβεζας, οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι οι ΒΑ οι οποίοι έχουν μέση συνολική συχνότητα εμφάνισης περίπου 22,1% και ένταση που φθάνει τα 9 Beaufort. Σημαντικό ποσοστό παρουσιάζουν και οι άνεμοι Δ και ΝΔ διεύθυνσης (με συχνότητες εμφάνισης περίπου 19,6% και 13,9% και ένταση που φθάνει τα 10 και 8 Beaufort αντίστοιχα).

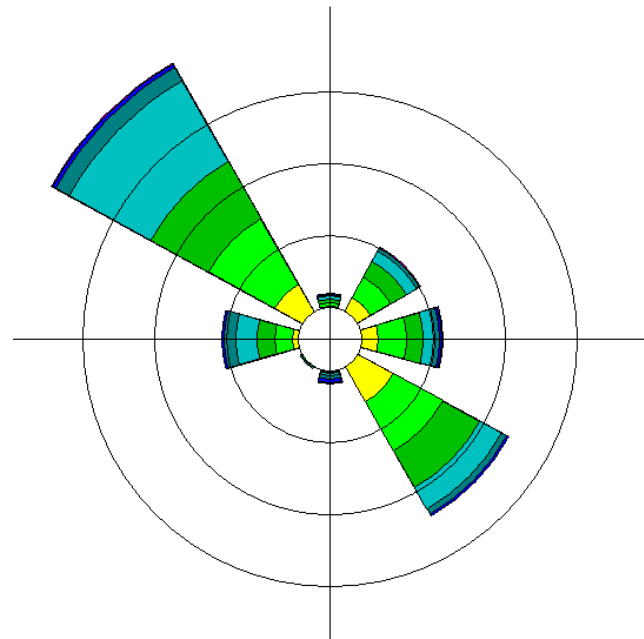
Αναλυτικά στοιχεία για την ετήσια συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων συνδυασμών διεύθυνσης-έντασης ανέμου στους Μ.Σ. Λευκάδας και Πρέβεζας δίνονται στους Πίνακες 3.1α και 3.1β και στα Σχήματα 3.10α και 3.10β με τη μορφή ανεμολογικού διαγράμματος.

Πίνακας 3.1α: Ετήσια συχνότητα εμφάνισης (%) συνδυασμών διεύθυνσης-έντασης ανέμου στο Μ.Σ. Λευκάδας της Ε.Μ.Υ. (περίοδος 1975-1997)

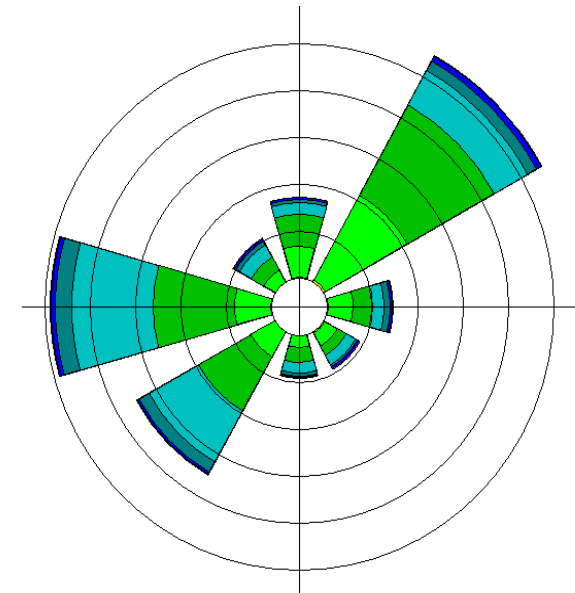
Beauf/Διεύθ	B	BA	A	NA	N	NA	Δ	ΒΔ	Ηρεμία	Άθροισμα
0									30,285	30,285
1	0,110	1,414	1,721	4,504	0,022	0,022	0,625	3,430		11,848
2	0,395	2,214	2,630	5,589	0,055	0,055	1,753	7,025		19,716
3	0,416	1,556	1,490	4,011	0,142	0,044	1,896	6,247		15,802
4	0,340	1,008	1,184	2,115	0,252	0,044	2,126	8,603		15,672
5	0,121	0,329	0,482	0,614	0,395	0,011	1,304	1,381		4,637
6	0,175	0,055	0,296	0,197	0,373	0,011	1,304	1,381		1,765
7	0,022	0,011	0,033	0,000	0,022	0,000	0,011	0,022		0,121
8	0,011	0,011	0,011	0,000	0,000	0,000	0,011	0,011		0,055
9	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011		0,022
10	0,000	0,011	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022		0,044
11	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022		0,033
Άθροισμα	1,590	6,609	7,880	17,030	1,261	0,187	8,011	27,147	30,285	100,000

Πίνακας 3.1β: Ετήσια συχνότητα εμφάνισης (%) συνδυασμών διεύθυνσης-έντασης ανέμου στο Μ.Σ. Πρέβεζας της Ε.Μ.Υ. (περίοδος 1971-2001)

Beauf/Διεύθ.	B	BA	A	NA	N	NA	Δ	ΒΔ	Ηρεμία	Άθροισμα
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	20,285	20,285
1	0,120	0,274	0,164	0,099	0,033	0,044	0,099	0,066		0,899
2	2,453	8,782	2,508	1,270	0,986	2,420	3,285	1,172		22,876
3	2,431	8,509	1,730	0,964	1,259	5,388	7,392	1,347		29,020
4	0,898	3,198	1,117	0,777	0,909	4,895	7,052	1,161		20,007
5	0,241	0,865	0,482	0,219	0,285	0,909	1,336	0,361		4,698
6	0,120	0,372	0,197	0,110	0,099	0,175	0,307	0,153		1,533
7	0,022	0,099	0,066	0,055	0,044	0,055	0,088	0,044		0,473
8	0,011	0,022	0,022	0,022	0,011	0,022	0,011	0,011		0,132
9	0,000	0,011	0,011	0,011	0,011	0,000	0,011	0,011		0,066
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000		0,011
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
Άθροισμα	6,296	22,132	6,297	3,527	3,637	13,908	19,592	4,326	20,285	100,000



Σχήμα 3.10α: Ανεμολογικό διάγραμμα Μ.Σ. Λευκάδας (περίοδος μετρήσεων 1975-1997)



Σχήμα 3.10β: Ανεμολογικό διάγραμμα Μ.Σ. Πρέβεζας (περίοδος μετρήσεων 1971-2001)

3.6. Υδρολογικά στοιχεία

Στην περιοχή μελέτης, όπως και σε ολόκληρη τη Λευκάδα, δεν υπάρχουν αξιόλογα επιφανειακά νερά. Γενικά, ένα μικρό μέρος των απορροών διεισδύει στο έδαφος και ο κύριος όγκος απορρέει επιφανειακά, ενώ το υδρολογικό δίκτυο είναι χειμαρρώδους μορφής. Έτσι στο νησί δεν υπάρχουν ποτάμια παρά μόνο χείμαρροι με απότομη κοίτη, οι οποίοι ρέουν ως επί το πλείστο σε χαράδρες ή φαράγγια και μέσω αυτών γίνεται η απορροή των νερών της βροχής προς την θάλασσα. Οι περισσότεροι χείμαρροι και τα ρέματα δεν ρέουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αλλά μόνο κατά την υγρή περίοδο ή μετά από βροχή. Προτιμώμενη διεύθυνση των χειμάρρων δεν παρατηρείται, καθώς κατά κανόνα αυτοί ξεκινούν από την κεντρική ορεινή περιοχή του νησιού και κινούνται προς διάφορες κατευθύνσεις (βλ. Σχήμα 3.11).

Όσον αφορά στα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, γενικά τα ασβεστολιθικά πετρώματα της Λευκάδας εμφανίζουν έντονη ανάπτυξη. Έτσι, ένα μέρος των ομβρίων υδάτων αποστραγγίζεται δια μέσου καρστικών αγωγών, οι οποίοι απαντώνται κυρίως στα οροπέδια του νησιού. Γενικά, ο αριθμός των δολινών και των καρστικών χασμάτων είναι πολύ μεγάλος, με τις περισσότερες δολίνες να εντοπίζονται στο οροπέδιο Καλοκαιρινό.



Σχήμα 3.11: Βασικοί κλάδοι υδρογραφικού δικτύου βόρειου τμήματος ν. Λευκάδας
(Υπόβαθρο: Χάρτης Γ.Υ.Σ.)

3.7. Ωκεανογραφικά στοιχεία

Κυματολογικά στοιχεία

Τα κυματολογικά στοιχεία αποτελούν τον κύριο λόγο των ιζηματολογικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης. Η περιοχή μελέτης είναι εκτεθειμένη κυρίως σε βόρειους, βορειοδυτικούς και δυτικούς κυματισμούς, οι οποίοι είναι κυρίως ανεμογενείς, ενώ στην περιοχή οι βορειοδυτικοί άνεμοι είναι οι επικρατούντες. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κυματικές συνθήκες στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού ώστε να έχουμε μια σαφή εικόνα των μεγεθών τους.

Σύμφωνα με παλαιότερη μελέτη στην περιοχή³, έχουν προσδιοριστεί οι ανεμογενείς κυματισμοί στα “βαθεία νερά”, δηλαδή στα ανοιχτά, με χρήση του μαθηματικού μοντέλου JONSEY του Βρετανικού Ερευνητικού Κέντρου Θαλασσίων Έργων HR-Wallingford. Η πρόβλεψη των κυματικών συνθηκών κοντά στις ακτές του Αγ. Ιωάννη και της Γύρας έγινε με χρήση του μαθηματικού μοντέλου OUTRAY του Βρετανικού Ερευνητικού Κέντρου Θαλασσίων Έργων HR-Wallingford.

Με βάση τα ανεμολογικά στοιχεία του Μ.Σ. Λευκάδας και τα ενεργά μήκη διαδρομής ανάπτυξης κυματισμού (βλ. Σχήμα 3.12) υπολογίσθηκαν με το μοντέλο JONSEY οι συνθήκες κυματισμού στα “βαθεία νερά”, στα ανοιχτά της περιοχής μελέτης, για περιόδους επιστροφής 1 έτους και 20 ετών. Στον Πίνακα 3.2 δίνονται συνοπτικά οι κυματικές συνθήκες στα “βαθεία νερά”, ανοιχτά της περιοχής μελέτης.

³ «Διαπλάτυνση Διαύλου Λευκάδας», Ακτομηχανική Μελέτη, MARNET ATE, 2002

Πίνακας 3.2: Κυματικές συνθήκες στα “βαθεία νερά” στη θαλάσσια περιοχή ανοικτά της περιοχής μελέτης

Διεύθυνση ανέμου	Ένταση ανέμου (Bf)	Περίοδος επιστροφής (έτη)	Ύψος κύματος $H_{1/3}$ (m)	Περίοδος κύματος T_s (sec)
B	6	1	1,65	4,34
BA	8	1	1,10	3,06
A	9	1	1,09	2,92
NA	7	1	0,74	2,47
N	7	1	3,11	6,65
NΔ	3	1	0,65	2,88
Δ	7	1	4,53	7,16
ΒΔ	9	1	5,96	8,01
B	7	20	2,34	4,97
BA	10	20	1,54	3,47
A	11	20	1,50	3,25
NA	9	20	1,06	2,84
N	9	20	4,26	7,56
NΔ	4	20	1,02	3,50
Δ	8	20	6,45	8,35
ΒΔ	11	20	8,15	9,04

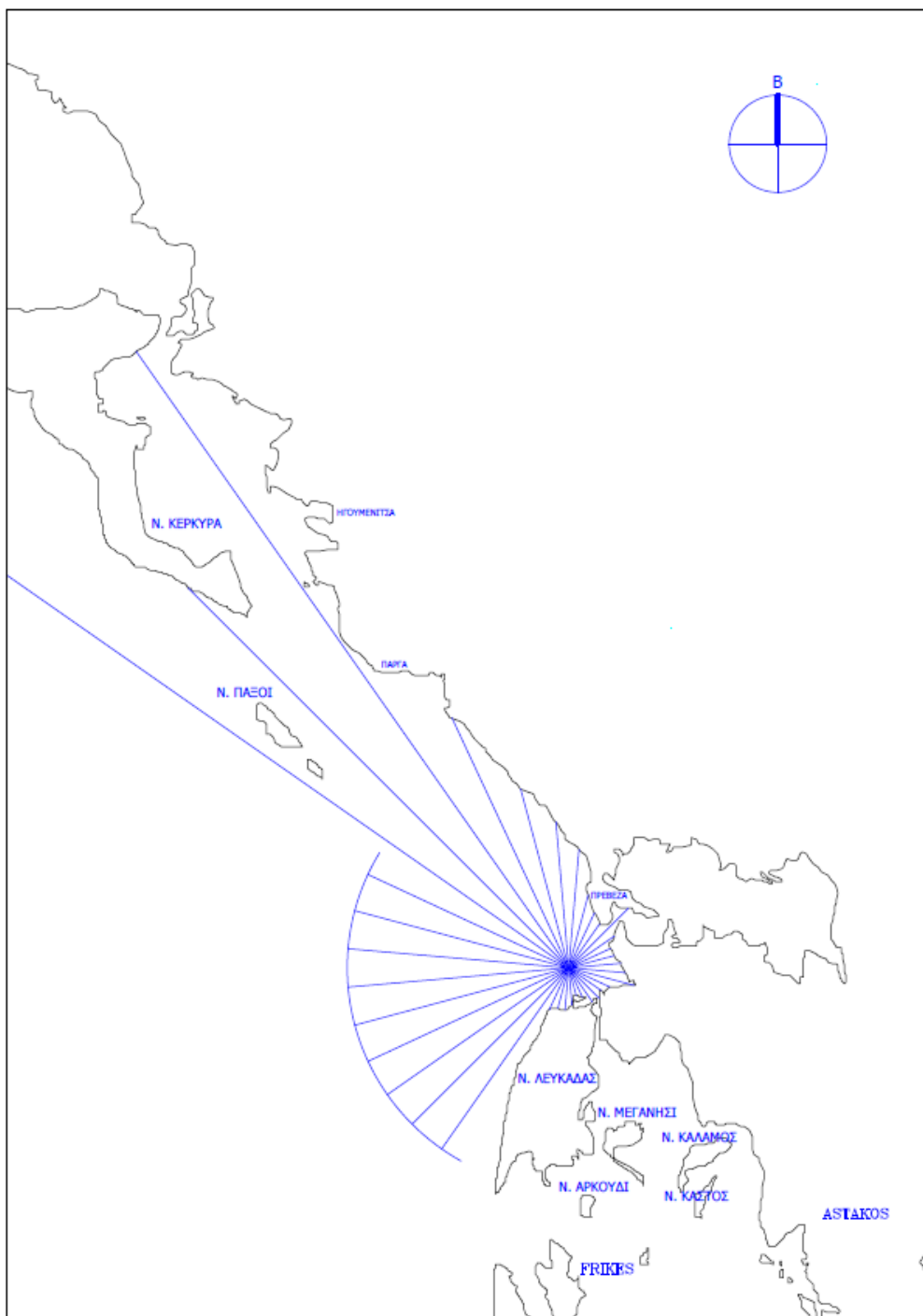
Λαμβάνοντας υπ' όψη τις κυματικές συνθήκες στα “βαθεία νερά”, καθώς και τη βαθυμετρία της περιοχής, προσδιορίστηκαν οι κυματικές συνθήκες στα “ρηχά νερά” και συγκεκριμένα στη θαλάσσια περιοχή προ της παράκτιας περιοχής μελέτης με το μαθηματικό μοντέλου OUTRAY. Στον Πίνακα 3.3 δίνονται συνοπτικά οι κυματικές συνθήκες στα “ρηχά νερά” προ της παράκτιας περιοχής μελέτης.

Πίνακας 3.3: Κυματικές συνθήκες στα “ρηγά νερά” νερά, κοντά στην παράκτια περιοχής μελέτης

Διεύθυνση ανέμου	Ένταση ανέμου (Bf)	Περίοδος επιστροφής (έτη)	Ύψος κύματος $H_{1/3}$ (m)	Περίοδος κύματος T_s (sec)
B	6	1	1,41	4,13
BA	8	1	0,55	3,30
Δ	7	1	2,25	6,06
ΒΔ	9	1	3,63	6,93
B	7	20	1,97	4,74
BA	10	20	0,73	3,72
Δ	8	20	3,28	7,27
ΒΔ	11	20	4,82	7,99

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα υπολογισμού των κυματισμών, τα κύματα με το μεγαλύτερο ύψος κύματος παρατηρούνται όταν πνέουν βορειοδυτικοί άνεμοι, οι οποίοι επιπλέον παρουσιάζουν την υψηλότερη συνολική συχνότητα εμφάνισης (περίπου 27%), καθώς και ισχυρή ένταση πνοής που φθάνει τα 11 Beaufort.

Στο Σχήμα 3.12 δίνονται τα χαρακτηριστικά μήκη των αναπτυσσόμενων κυματισμού στα ανοιχτά της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 3.12: Χαρακτηριστικά μήκη ανάπτυξης κυματισμού στα "ανοικτά" της περιοχής μελέτης

Θαλάσσια ρεύματα

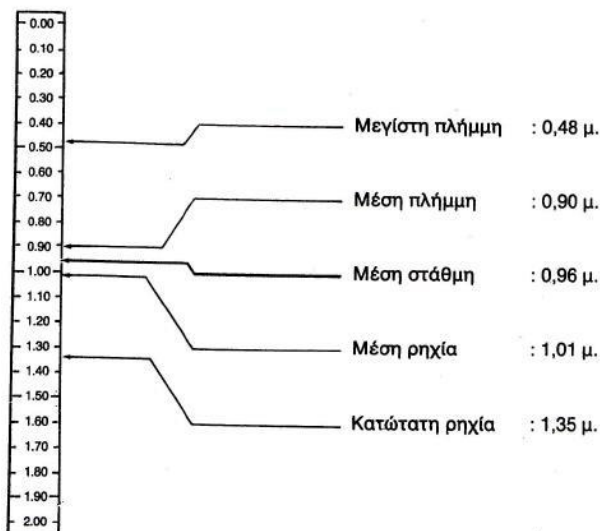
Στην περιοχή μελέτης όπως και γενικότερα σε ολόκληρο το Ιόνιο πέλαγος, η κυριότερη συνιστώσα των θαλάσσιων ρευμάτων είναι η ανεμογενής.

Η γενική κυκλοφορία των επιφανειακών ρευμάτων στην Ελλάδα φαίνεται στα Σχήματα 3.14 και 3.15 ("Πλοηγός" - Τόμος Δ'). Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά η κίνηση των ρευμάτων στην ευρύτερη περιοχή της νήσου Λευκάδας είναι συνήθως από Ν-ΝΑ προς Β-ΒΔ, ενώ η ταχύτητά τους συνήθως δεν υπερβαίνει τον 1 κόμβο.

Στοιχεία παλίρροιας

Το μέσο εύρος διακύμανσης της στάθμης της θάλασσας στην περιοχή μελέτης είναι μικρό και γενικά η επίδραση της παλίρροιας στην κίνηση των θαλασσιών μαζών είναι ασήμαντη. Ο πλησιέστερος στην περιοχή μελέτης παλιρροιογράφος για την μέτρηση του ύψους της στάθμης της θάλασσας, λειτουργεί στο λιμάνι της Λευκάδας με ευθύνη της Λιμενικής Αρχής. Σύμφωνα με τα στοιχεία του σταθμού της Λευκάδας (Πηγή: «Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων», Υ.Υ., 1991, βλ. Σχήμα 3.13) για τη χρονική περίοδο παρατηρήσεων από το 1964 έως το 1978, τα παλιρροιακά μεγέθη στην ευρύτερη περιοχή μελέτης έχουν ως ακολούθως:

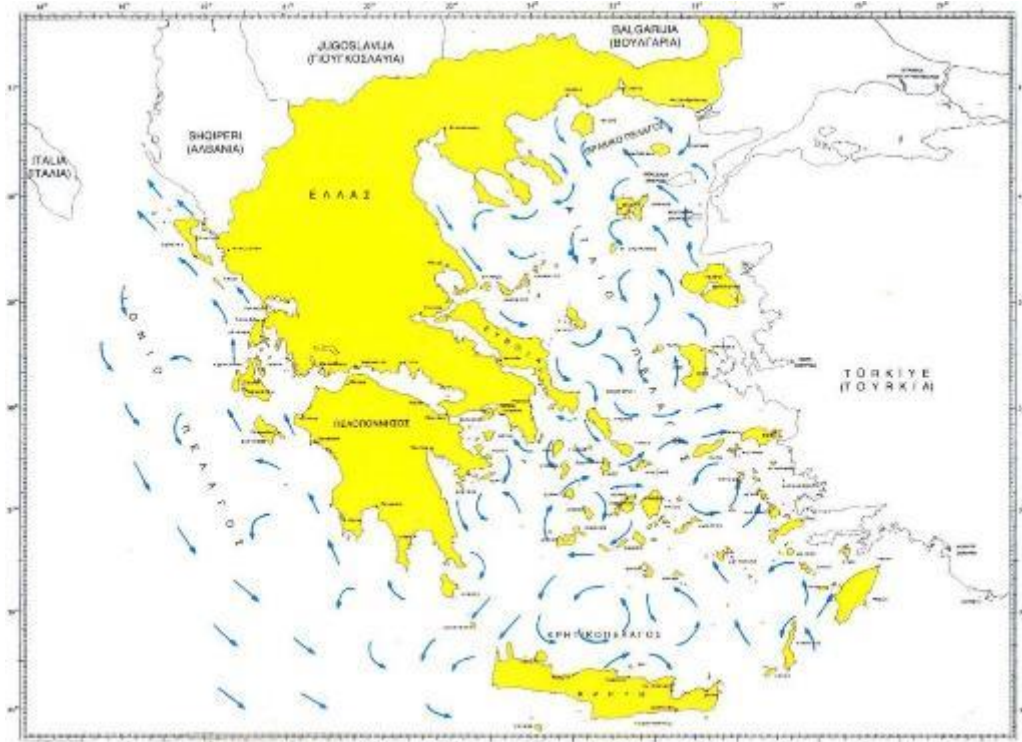
(1) Ως προς το μηδέν του παλιρροιομέτρου



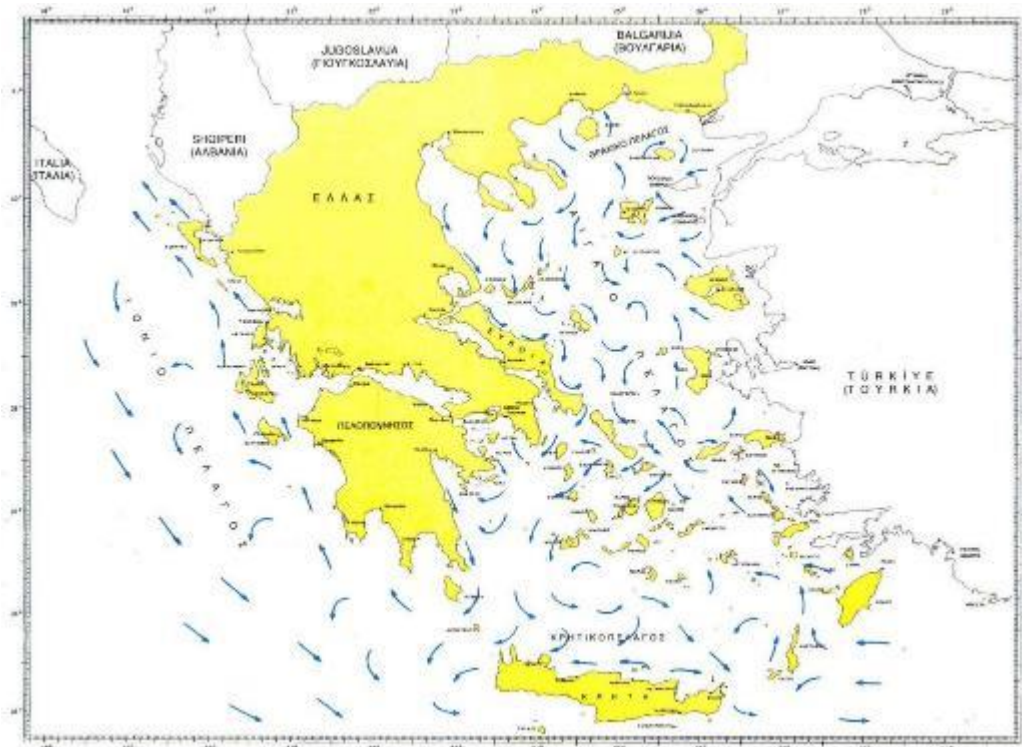
(2) Μη εξαρτώμενα από σημείο αναφοράς

Μέγιστο εύρος : 0,30 μ.	Μέσο εύρος : 0,11 μ.
Ελάχιστο εύρος : 0,01 μ.	Επάλλαξη : 0,87 μ.

Σχήμα 3.13: Στοιχεία παλίρροιας Λιμένα Λευκάδας (Πηγή: «Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων», Υ.Υ., 1991)



Σχήμα 3.14: Επιφανειακά ρεύματα ελληνικών θαλασσών – Θερινή περίοδος (“Πλοηγός”, Τόμος Δ)

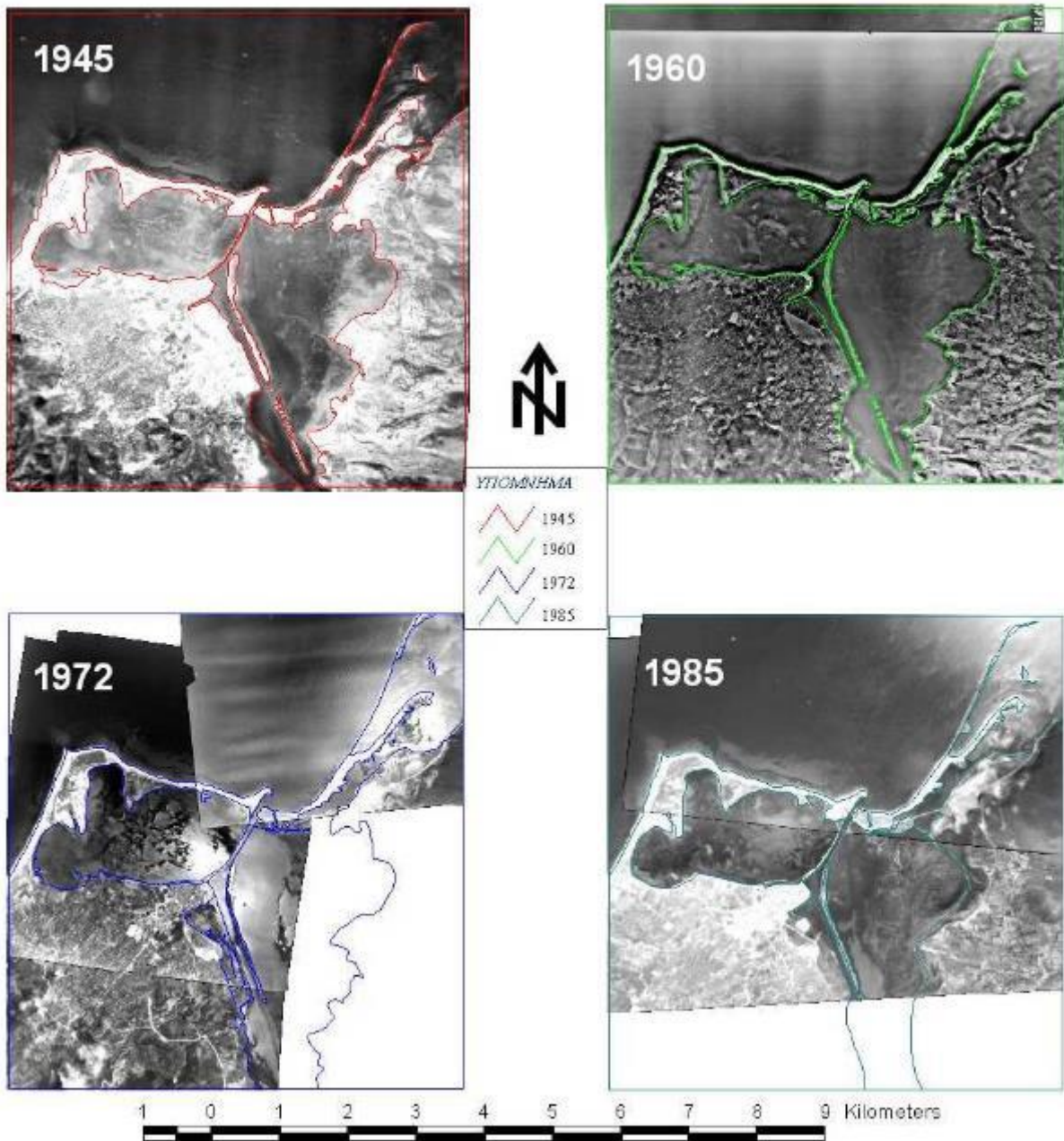


Σχήμα 3.15: Επιφανειακά ρεύματα ελληνικών θαλασσών – Χειμερινή περίοδος (“Πλοηγός”, Τόμος Δ)

3.8. Μελέτη αεροφωτογραφιών – Διαχρονική εξέλιξη ακτογραμμής

Για τη μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της ακτογραμμής στην ευρύτερη περιοχή μελέτης των βόρειων ακτών της ν. Λευκάδας, εξετάσθηκαν αεροφωτογραφίες της περιοχής με διάφορες χρονολογίες λήψης, δορυφορικές λήψεις πρόσφατων ετών (GoogleEarth), καθώς και το τοπογραφικό διάγραμμα της Γ.Υ.Σ. (κλίμακα 1:5.000) του 1968. Στη συνέχεια παρατίθενται οι αεροφωτογραφίες αυτές και γίνεται λεπτομερής ανάλυση αυτών και καταγράφεται η εξέλιξη που παρουσιάζει η ακτογραμμή στις κύριες περιοχές μελέτης του Αγ. Ιωάννη και της Γύρας.

Για την μελέτη των μεταβολών της λωρίδας της χέρσου της λιμνοθάλασσας αξιοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες διαφορετικών χρονολογιών. Για τον σκοπό αυτό έγινε ψηφιοποίηση των αεροφωτογραφιών και δημιουργήθηκαν τέσσερις απεικονίσεις της ίδιας κλίμακας που παρουσιάζουν την περιοχή σε κάθε μια από τις χρονικές περιόδους που αντιστοιχούν οι αεροφωτογραφίες. Συγκρίνοντας τις εικόνες παρατηρούμε ότι οι μεταβολές που συντελέστηκαν στην γενικότερη μορφολογία των παράκτιων περιοχών από το 1945 μέχρι το 1985 είναι μικρές. Σε γενικές γραμμές δηλαδή, η περιοχή παραμένει σταθερή στο πέρασμα του χρόνου. Οι απεικονίσεις που δημιουργήθηκαν βάση των αεροφωτογραφιών, παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.16.



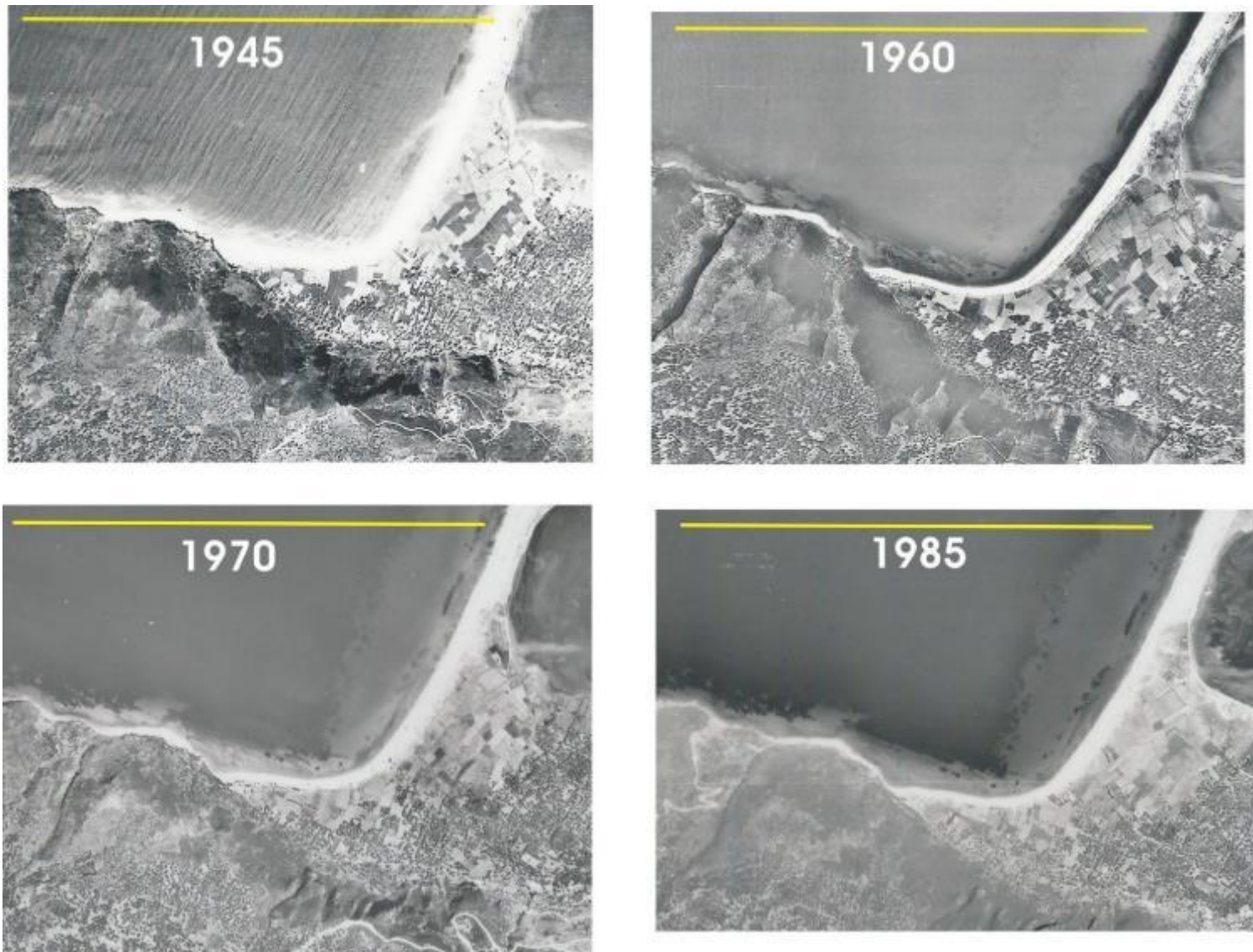
Σχήμα 3.16: Οι απεικονίσεις της ακτογραμμής στη περιοχή της Λιμνοθάλασσας Λευκάδας, από τις αεροφωτογραφίες των ετών 1945, 1960, 1972 και 1985

Ωστόσο, στο νότιο τμήμα της παράκτιας ζώνης του Αγ. Ιωάννη, όπου εντοπίζονται σημαντικά προβλήματα παράκτιας διάβρωσης και υποχώρησης της ακτογραμμής και στην δυτική περιοχή της παραλίας της Γύρας, όπου εντοπίζονται προβλήματα παράκτιας διάβρωσης της παραλίας και έντονης απόθεσης ιζημάτων/πρόσχωσης στο ανατολικό τμήμα αυτής, δυτικά του λιμενοβραχίονα στην περιοχή της αμμόγλωσσας, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής μελέτη των αεροφωτογραφιών.

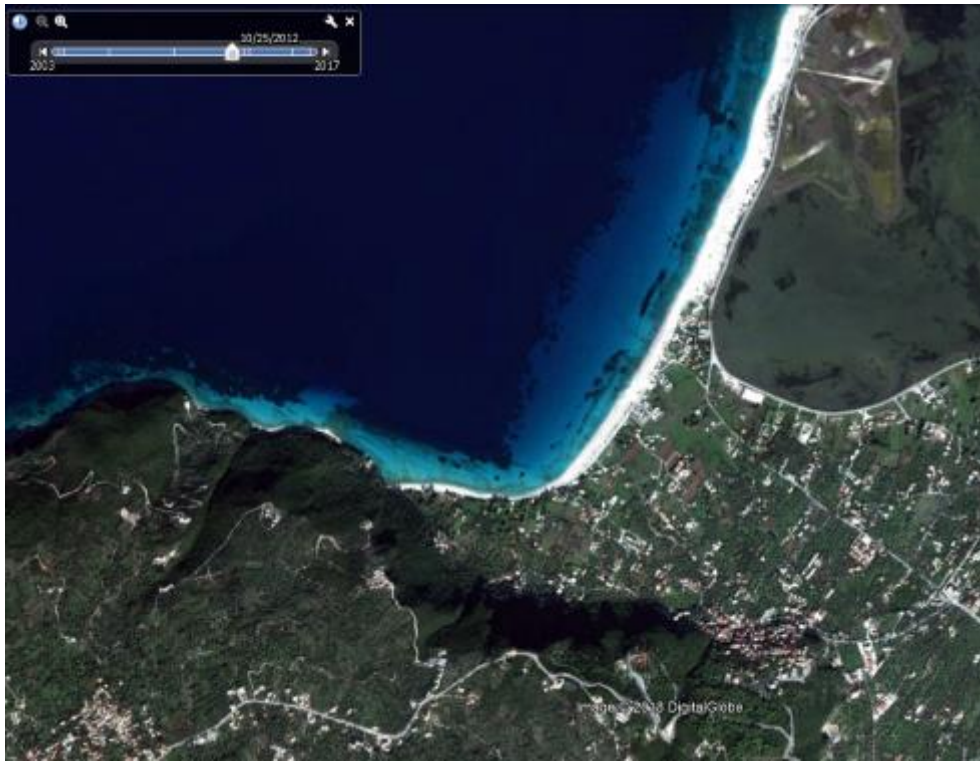
Όσον αφορά στην περιοχή του Αγ. Ιωάννη, παρουσιάζονται τέσσερις αεροφωτογραφίες διαφορετικών ετών (1945, 1960, 1970 και 1985). Η λευκή λωρίδα κατά μήκος της ακτογραμμής αντιπροσωπεύει την υποαέρια παραλία του Αγ. Ιωάννη. Παρατηρώντας τις τέσσερις αεροφωτογραφίες, βλέπουμε ότι η υποαέρια παραλία παρουσιάζει το μεγαλύτερο πλάτος το έτος 1945, όντας σχεδόν συνεχής μέχρι τη θέση Καμίνια, δυτικά του Αγ. Ιωάννη. Η συνολική εικόνα της ακτής φαίνεται να παραμένει σταθερή με το πέρασμα των ετών και να έχουμε μια μικρή και κατά θέσεις μείωση του πλάτους της παραλίας, που ενδεχομένως να οφείλεται σε συγκυριακά φαινόμενα είτε στο χρόνο λήψης των φωτογραφιών στην περίοδο του έτους.

Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, ειδικά στο νότιο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη στο μυχό του Όρμου Φλέβα, παρατηρούνται έντονα φαινόμενα διάβρωσης και μείωσης του διαθέσιμου πλάτους της παραλίας (βλ. Εικόνα 3.8).

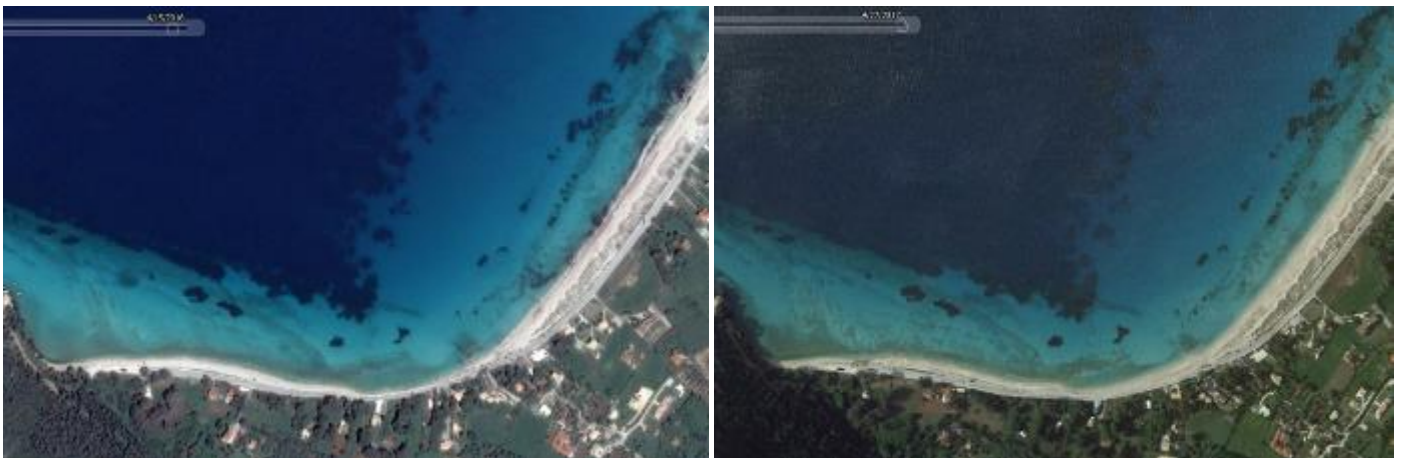
Μάλιστα, στην περιοχή έχουν γίνει πρόσφατα έργα εμπλουτισμού της ακτής (νότιο τμήμα παραλίας Αγ. Ιωάννη και παραλία Καμίνια, δυτικά του Αγ. Ιωάννη). Για τον εμπλουτισμό των ακτών χρησιμοποιήθηκε άμμος που ελήφθη από τις πρόσφατες βυθοκορήσεις της αμμόγλωσσας στην περιοχή της εισόδου του διαύλου (βλ. Εικόνες 3.9 α&β)



Σχήμα 3.17: Αεροφωτογραφίες της περιοχής του Αγ. Ιωάννη από διαφορετικές χρονολογίες. Σε όλες τις χρονικές στιγμές (1945, 1960, 1972 και 1985) η παραλία του Αγ. Ιωάννη παρουσιάζει σημαντικό πλάτος, μεγαλύτερο από το σημερινό.



Εικόνα 3.8: Περιοχή Αγ. Ιωάννη – χαρακτηριστική η μείωση του εύρους της παραλίας, ειδικά στο μυχό του όρμου Φλέβα στο νότιο τμήμα της παραλίας (Google Earth, 2012)

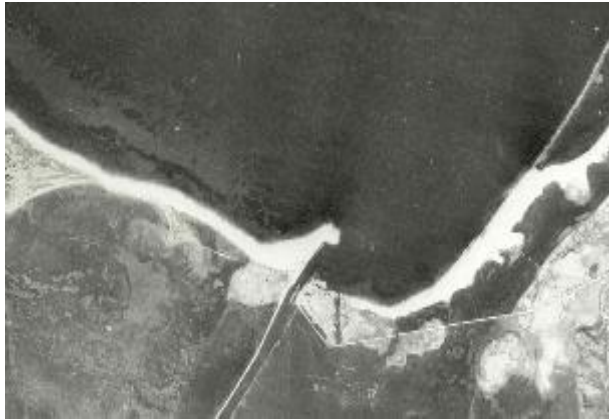


Εικόνες 3.9 α&β: Περιοχή Αγ. Ιωάννη – σύγκριση του πλάτους της παραλίας στο μυχό του όρου πριν (αριστερά, 04/2016) και μετά (δεξιά, 04/2017) τις εργασίες εμπλουτισμού της ακτής. (Πηγή: Google Earth)

Όσον αφορά στην παραλία της Γύρας και του δυτικού της άκρου στην είσοδο του Διαύλου (περιοχή αμμόγλωσσας), όπου επίσης παρατηρούνται έντονα ακτομηχανικά φαινόμενα (διάβρωση της ακτογραμμής στην παραλία της Γύρας και δημιουργία αμμόγλωσσας μέσω απόθεσης και προσχώσεων στην είσοδο του Διαύλου), εξετάστηκαν αεροφωτογραφίες της περιοχής με χρονολογία λήψης 1945, 1970 και 1992 (βλ. Εικόνες 3.10 α, β και γ), φωτογραφία δορυφορικής λήψης (2013, βλ. Εικόνα 3.10 δ), καθώς και το τοπογραφικό διάγραμμα της Γ.Υ.Σ. (κλίμακα 1:5.000) του 1968, για να έχουμε μια τάξη μεγέθους για την εξέλιξη της ακτογραμμής με το χρόνο και τον ρυθμό αύξησης της αμμόγλωσσας στην είσοδο του διαύλου.

Παρατηρώντας την εξέλιξη της ακτογραμμής με το χρόνο και λαμβάνοντας υπ' όψη τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες χρονικές περιόδους στην περιοχή της βόρειας εισόδου του Διαύλου (κυρίως εργασίες βυθοκόρησης κατά τα έτη 1940, 1958, 1969 καθώς και μία πολύ μικρότερης κλίμακας βυθοκόρηση το 2001) συμπεραίνονται τα ακόλουθα:

- Η ακτή στα δυτικά του υφιστάμενου λιμενοβραχίονα (παραλία Γύρας) παρουσιάζει συνεχή διάβρωση από το 1945 έως σήμερα, με σημαντική μείωση του πλάτους της υποαέριας παραλίας, ενώ η ακτή στην βόρεια απόληξη του υφιστάμενου λιμενοβραχίονα και στη θέση του Ενετικού προβλήτα προελαύνει (προσχώνεται). Η παρατήρηση αυτή συνάδει με τη διεύθυνση της παράκτιας στερεομεταφοράς (από τα δυτικά προς τα ανατολικά).
- Η έκταση που καταλαμβάνει η αμμόγλωσσα τα έτη 1945 και 1968 είναι ουσιαστικά η ίδια, καθώς πραγματοποιήθηκε βυθοκόρηση το 1958. Αντίθετα, η έκταση που καταλαμβάνει η αμμόγλωσσα το 1970 είναι μικρότερη από ότι το 1968, αφού πραγματοποιήθηκε βυθοκόρηση κατά τη διάρκεια του 1969. Εντούτοις, η γενική τάση αύξησης της αμμόγλωσσας είναι φανερή από την εξέλιξη της θέσης της ακτογραμμής μεταξύ των ετών 1992 και 2013, οπότε και δεν έγιναν έντονες εργασίες βυθοκορήσεων. Ενδεικτικά, από την σύγκριση των θέσεων της ακτογραμμής το 1992 και το 2013, προκύπτει ότι ο ρυθμός αύξησης του μήκους της αμμόγλωσσας είναι μεγαλύτερος των 10m το χρόνο.
- Η ακτή στα ανατολικά του φρουρίου της Αγ. Μαύρας παρουσιάζει μικρής κλίμακας προέλαση από το 1945 και μετά. Ομοίως, προελαύνει και η ακτή στο εσωτερικό του Διαύλου, μεταξύ της γέφυρας και του φρουρίου της Αγ. Μαύρας. Η εξέλιξη αυτή της ακτογραμμής συνάδει με την παύση ουσιαστικά των εργασιών συντήρησης και βυθοκόρησης κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών.



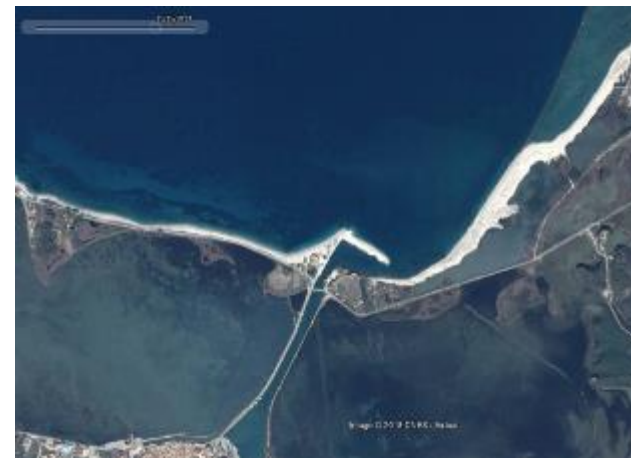
Εικόνα 3.10 α: Αεροφωτογραφία Γ.Υ.Σ. - Γύρα (1945)



Εικόνα 3.10 β: Αεροφωτογραφία Γ.Υ.Σ. - Γύρα (1970)



Εικόνα 3.10 γ: Αεροφωτογραφία Ο.Κ.Χ.Ε. - Γύρα (1992)



Εικόνα 3.10 δ: Δορυφορική λήψη (Google Earth, 2013)

Ειδικά στην περιοχή του διαύλου και στην αμμόγλωσσα (βλ. Εικόνα 3.11), ολοκληρώθηκε πρόσφατα το έργο «Διαπλάτυνση Διαύλου Λευκάδας», στο πλαίσιο του οποίου έγιναν εκτεταμένες εργασίες βυθοκόρησης, με αποτέλεσμα να απομακρυνθεί το μεγαλύτερο μέρος της άμμου που σωρεύεται στο συγκεκριμένο σημείο λόγω της στερεομεταφοράς που λαμβάνει χώρα στην εν λόγω περιοχή. Ακόμη, κατασκευάστηκαν τρεις ύφαλοι αντιπροσαμμωτικοί πρόβολοι στη ρίζα του βόρειου άκρου του λιμενοβραχίονα, με σκοπό τον περιορισμό του φαινομένου στο μέλλον, αποτρέποντας έτσι προβλήματα που προέκυπταν για την ναυσιπλοΐα λόγω του περιορισμού του εύρους της εισόδου του διαύλου (βλ. Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.11: Ο χαρακτηριστικός σχηματισμός αμμόγλωσσας στην είσοδο του διαύλου Λευκάδας



Εικόνα 3.12: Είσοδος διαύλου Λευκάδας μετά τα έργα της «Διαπλάτυσης Διαύλου Λευκάδας» (Google Earth, 2016)

4. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ - ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ

4.1. Γενικά

Η θραύση των κυματισμών στην παράκτια ζώνη σε συνδυασμό με τα κυματογενή παράκτια ρεύματα που δημιουργούνται συντελούν στην μετακίνηση του ιζήματος κατά μήκος και εγκάρσια της ακτής. Οι θραυόμενοι υπό γωνία στην ακτή κυματισμοί επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής και ουσιαστικά υπαγορεύουν την κατεύθυνσή της. Συνεπώς, οι κυματισμοί με την μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης υπαγορεύουν την επικρατέστερη διεύθυνση της στερεομεταφοράς.

Η παράκτια στερεομεταφορά διακρίνεται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες, με το ειδικό βάρος του μεταφερόμενου ιζήματος – και κατ' επέκταση του κοκκομετρικού του μεγέθους – να μειώνεται από την πρώτη προς την τελευταία κατηγορία:

- i. φορτίο πυθμένα
- ii. φορτίο αιώρησης
- iii. φορτίο απόπλυσης.

Το φορτίο πυθμένα ορίζεται ως το υλικό του πυθμένα που βρίσκεται σε σχεδόν συνεχή επαφή με τον πυθμένα κατά την μεταφορά του. Περιλαμβάνει κυρίως σωματίδια μεγάλου σχετικά μεγέθους, που μεταφέρονται με κύλιση, ολίσθηση ή αναπήδηση.

Το φορτίο αιώρησης ορίζεται ως το υλικό του πυθμένα που δεν βρίσκεται σε συνεχή επαφή με τον πυθμένα κατά την μεταφορά του, αλλά κατά διαστήματα βρίσκεται σε αιώρηση λόγω της τύρβης από την θραύση των κυματισμών. Το φορτίο αιώρησης περιλαμβάνει κυρίως σωματίδια μεσαίου μεγέθους.

Το φορτίο απόπλυσης περιλαμβάνει πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια τα οποία βρίσκονται ήδη σε αιώρηση στο θαλασσινό νερό και μετακινούνται μαζί με τη μάζα του. Συνεπώς, η γνώση της σύστασης του υλικού του πυθμένα (ιζηματολογική ανάλυση) δεν είναι αρκετή για τον προσδιορισμό του φορτίου απόπλυσης. Εντούτοις, στην προκειμένη περίπτωση, λόγω της καθαρότητας και διαύγειας του νερού, αλλά και του μεγάλου κοκκομετρικού μεγέθους του παράκτιου ιζήματος, το φορτίο απόπλυσης θεωρείται αμελητέο.

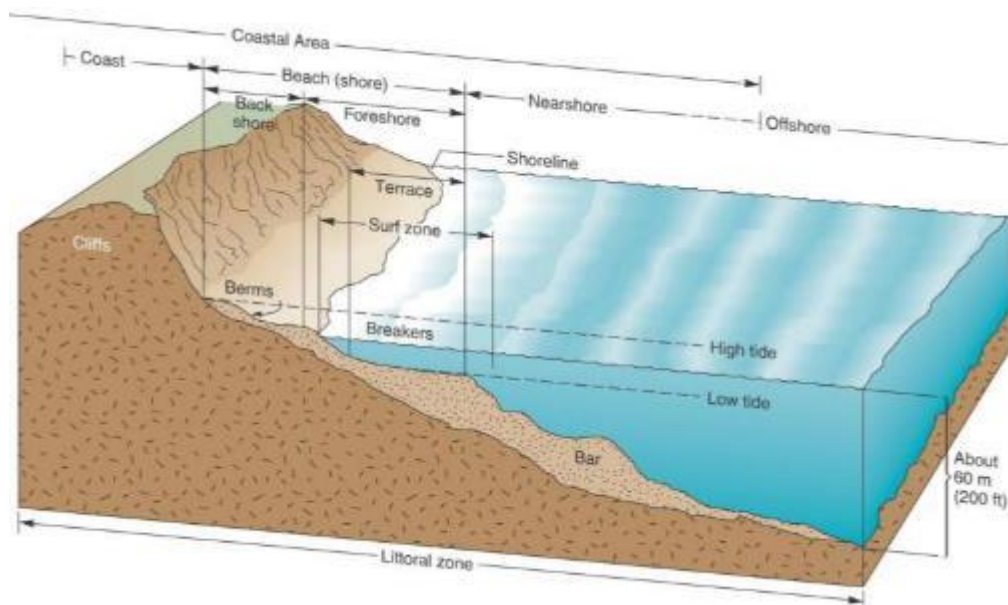
Τα φορτία πυθμένα και αιώρησης περιλαμβάνουν σωματίδια κοκκομετρικού μεγέθους άμμου (από 0,06 mm έως 2 mm) και κοκκομετρικού μεγέθους χαλικιού (από 2 mm έως 20 mm). Εκτός από το μέγεθος των κόκκων του ιζήματος, σημαντικό ρόλο κατά τη στερεομεταφορά έχει και το σχήμα, καθώς και το ειδικό βάρος των κόκκων.

4.2. Παράκτιο περιβάλλον

Η μορφολογία του παράκτιου περιβάλλοντος και των ακτών αποτελείται από διάφορες ζώνες στις οποίες συντελούνται διαφορετικές διεργασίες κατά την εξέλιξη του φαινομένου της στερεομεταφοράς. Οι ζώνες αυτές καθορίζουν ανάλογα με τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους την εξέλιξη, την ένταση και τα αποτελέσματα της στερεομεταφοράς στην εκάστοτε περιοχή, σε συνδυασμό με την κυματική ενέργεια που δέχονται.

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι ζώνες που διαμορφώνουν την μορφολογία του παράκτιου περιβάλλοντος, ενώ στην Σχήμα 4.1 δίνεται μια σχηματική τους αναπαράσταση. Ορίζοντας ως «παράκτια περιοχή» το σύνολο της περιοχής που περιλαμβάνει την θαλάσσια ζώνη κοντά στην ακτή, την ακτή και την παραλία, έχουμε τις τρεις βασικές ζώνες του εν λόγω συστήματος, με τη ζώνη στερεομεταφοράς (*littoral zone*) να περιλαμβάνει την περιοχή αυτή καθώς και ένα τμήμα σε πιο βαθιά νερά, όπου παρασύρονται επίσης ιζήματα, ιδίως σε περιπτώσεις εγκάρσιας στερεομεταφοράς, κυρίως λόγω της εναλλαγής θερινού και χειμéricου προφίλ της παραλίας.

Το χερσαίο τμήμα περιλαμβάνει τη ζώνη παραλίας, όπου έχουμε την ζώνη της ακτογραμμής (*shoreline*) και το υπόλοιπο τμήμα της παραλίας. Η παράκτια ζώνη (*nearshore zone*) εκτείνεται από την ακτογραμμή και προς τη θάλασσα και περιλαμβάνει αντίστοιχα τη ζώνη διαβροχής και παφλασμού (*swash zone*), τη ζώνη απόσβεσης (*surf zone*), καθώς και την ζώνη θραύσης των κυματισμών. Η ζώνη θραύσης (*breaker zone*) είναι το τμήμα όπου λαμβάνει χώρα η θραύση των κυματισμών και ξεκινά από βάθη που κατά κανόνα είναι ανάλογα του λόγου: χαρακτηριστικό ύψος κύματος $H_s(m)$ / βάθος ζώνης θραύσης κύματος $d(m) = 0.78$



Σχήμα 4.1: Μορφολογία παράκτιου περιβάλλοντος – ζώνη στερεομεταφοράς

4.3. Ισοζύγιο φερτών υλών

Για την δημιουργία του φαινομένου της στερεομεταφοράς απαραίτητη προϋπόθεση είναι η παρουσία ιζημάτων/φερτών υλών. Η όλη διαδικασία περιλαμβάνει τις πηγές, οι οποίες τροφοδοτούν ένα σύστημα με φερτές ύλες και αποτελούν την κύρια αιτία για τον εμπλουτισμό και την δημιουργία προσχώσεων και τις απώλειες, που αποτελούν την κύρια αιτία για την διάβρωση.

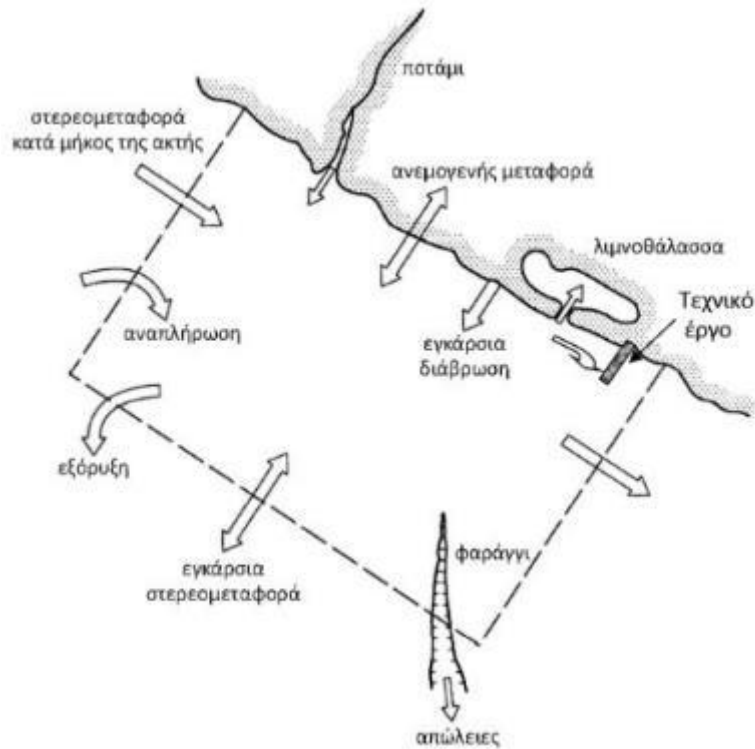
Στην πρώτη κατηγορία, αυτή των πηγών, κύριοι παράγοντες είναι οι εξής:

- Υδατορεύματα
- Διάβρωση γαιωδών πρηνών
- Ανεμογενής ή κυματογενής μεταφορά προς το χέρσο τμήμα
- Βιογενής απόθεση από κελύφη
- Τεχνητή τροφοδότηση και εμπλουτισμός

Στην δεύτερη κατηγορία, αυτή των απωλειών του συστήματος, οι κύριοι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι οι εξής:

- Παλιρροϊκά στόμια
- Υφαλοπρανή και υποβρύχια φαράγγια
- Στερεομεταφορά εγκάρσια/κατά μήκος της ακτής
- Προσχώσεις σε σημεία καμπής ακτών
- Παράκτια τεχνικά έργα
- Διακοπή ή ελάττωση τροφοδοσίας φερτών λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και κατασκευών (οικιστική δόμηση, φράγματα, καλλιέργειες κ.α.)
- Θαλάσσιοι τοίχοι προστασίας ακτών
- Εξόρυξη άμμου/ αμμοληψίες

Στο Σχήμα 4.2 δίνεται μια σχηματική αναπαράσταση των επιμέρους κατηγοριών που συνιστούν το ισοζύγιο φερτών υλών και καθορίζουν με βάση τα επιμέρους φυσικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής και τις δυναμικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτή το ιζηματολογικό της καθεστώ.



Σχήμα 4.2: Παράγοντες διαμόρφωσης ισοζυγίου φερτών υλών

Όσον αφορά στην περιοχή μελέτης, στην κατηγορία των πηγών δεν συναντάμε κάποια σημαντική πηγή εμπλουτισμού και απόθεσης, όπως κάποιο ποτάμι ή χείμαρρο. Ως κύριες πηγές μπορούμε να χαρακτηρίσουμε την ανεμογενή ή κυματογενή μεταφορά κόκκων προς το χέρσο τμήμα, τη βιογενή απόθεση από κελύφη, καθώς και τις περιπτώσεις όπου έχουμε τεχνητή τροφοδότηση και εμπλουτισμό της ακτογραμμής. Ωστόσο, πέραν του τεχνητού εμπλουτισμού οι εισφορά των δύο άλλων κατηγοριών θεωρείται πολύ μικρή έως αμελητέα.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τεχνητού εμπλουτισμού είναι αυτό στο νότιο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, που πραγματοποιήθηκε με άμμο που προήλθε από τις βυθοκορήσεις που έγιναν στην περιοχή της αμμόγλωσσας στην είσοδο του διαύλου Λευκάδας κατά την εκτέλεση του έργου «Διαπλάτυνση Διαύλου Λευκάδας».

Στην περίπτωση των απωλειών, η βασική κατηγορία του παραπάνω ισοζυγίου που επηρεάζει την περιοχή μελέτης είναι αυτή της στερεομεταφοράς κατά μήκος ή εγκάρσια στην ακτογραμμή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η διάβρωση του νότιου τμήματος της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, καθώς και τμήματος της παραλίας της Γύρας.

4.4. Μηχανισμοί στερεομεταφοράς

Η υδροδυναμική κατάσταση κοντά στον πυθμένα, όταν υπάρχουν κυματισμοί, ρεύματα ή και τα δύο, αποτελεί τον βασικό παράγοντα αποσταθεροποίησης των κόκκων των ιζημάτων. Οι διάφορες συνιστώσες που δρουν πάνω σε έναν κόκκο της επιφάνειας του πυθμένα, δηλαδή οι ορθές και διατμητικές τάσεις από το κινούμενο νερό, η αντίδραση στήριξης σε άλλους κόκκους, οι υδροδυναμικές υποπίεσεις λόγω διήθησης και οι δυνάμεις πρόσκρουσης άλλων κόκκων, είναι δυνατόν να δημιουργήσουν τις κατάλληλες δυναμικές συνθήκες για την αποκόλληση των επιφανειακών κόκκων.

Στην περίπτωση λεπτοκόκκων εδαφών, όπως αργιλικών, οι μοριακές δυνάμεις συνοχής (συνεκτικά εδάφη) καθιστούν πιο δύσκολη την έναρξη της διάβρωσης του πυθμένα, ιδίως σε πυθμένες όπου έχει προχωρήσει η διαδικασία της στερεοποίησης. Αντίθετα, σε περιπτώσεις αμμωδών εδαφών (όπως στην περιοχή μελέτης), η διαδικασία αυτή εκδηλώνεται ευκολότερα.

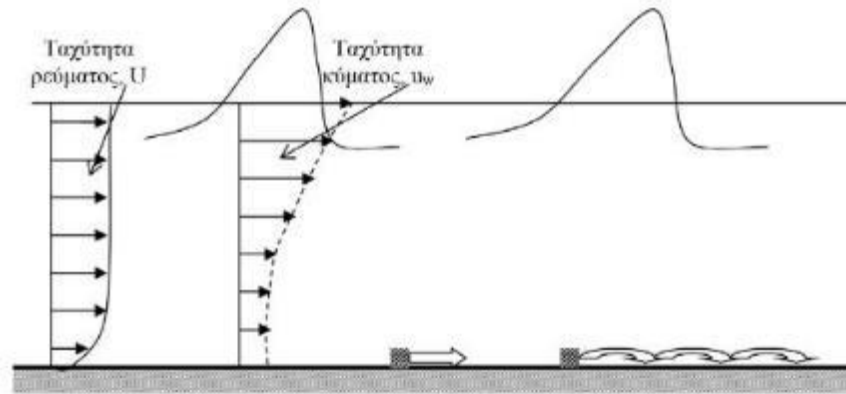
Μετά την αποσταθεροποίηση των κόκκων η κίνησή τους γίνεται με δύο τρόπους:

- (α) με κύλιση στον πυθμένα ή διαδοχικά άλματα που συνεπάγονται περιοδική επαφή με τον πυθμένα, με τη μεταφορά φερτών να χαρακτηρίζεται σαν φορτίο πυθμένα (Σχήμα 4.3.α) και
- β) σε αιώρηση στη στήλη του νερού, λόγω της τύρβης, του οριακού στρώματος και των θραυόμενων κυματισμών, με τη μεταφορά των φερτών να χαρακτηρίζεται σαν φορτίο σε αιώρηση (Σχήμα 4.3.β).

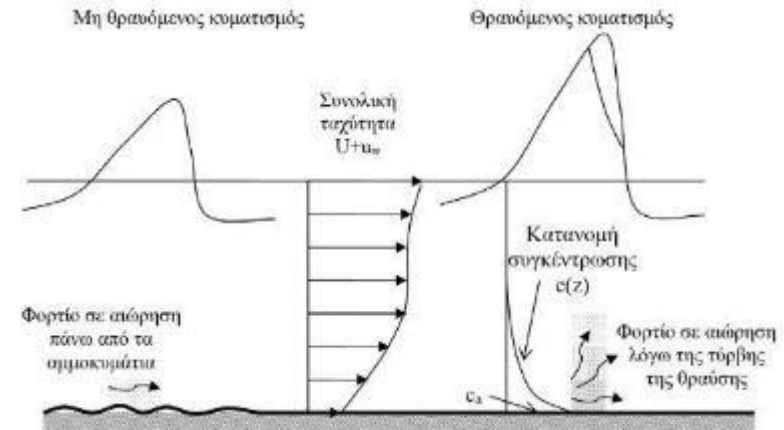
Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των κόκκων, των κυματισμών και των κυματογενών ρευμάτων, κυριαρχεί το ένα ή το άλλο φορτίο. Όσο πιο μεγάλη είναι η διάμετρος των κόκκων τόσο πιο σημαντικό είναι το φορτίο πυθμένα. Η συνολική παροχή q_t του φορτίου φερτών υλών είναι το άθροισμα της παροχής δύο επιμέρους φορτίων, του φορτίου πυθμένα q_b και του φορτίου σε αιώρηση q_s : $q_t = q_b + q_s$.

Οι κυματισμοί συνήθως αποτελούν τον κύριο παράγοντα αποσταθεροποίησης των κόκκων, ενώ στη συνέχεια, τα θαλάσσια ρεύματα αναλαμβάνουν τη μεταφορά τους. Η τυρβώδης ροή των ρευμάτων και των κυματισμών οδηγεί στην κατακόρυφη διάχυση των φερτών σε αιώρηση και σε συνεργασία με τις περιοδικές τροχιές των κυματισμών, επαυξάνει την κατακόρυφη διάχυση. Ένα ποσοστό της κυματικής ενέργειας καταναλίσκεται στην αποκόλληση και την κατακόρυφη διάχυση των κόκκων, ενώ τα ρεύματα συμπληρώνουν τη διάχυση και αναλαμβάνουν το κύριο μέρος της μεταφοράς αυτών.

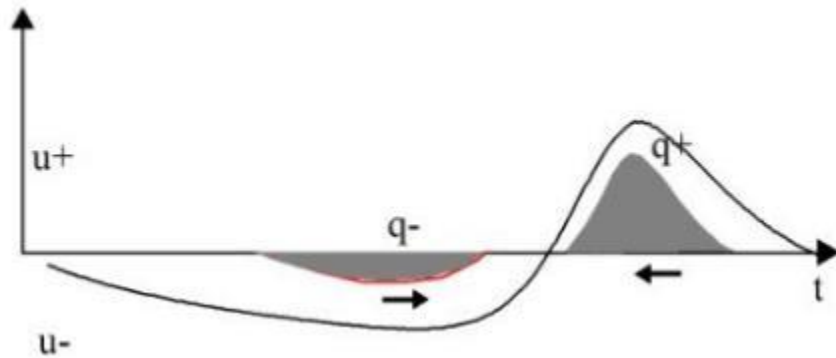
Μηχανισμοί μεταφοράς ιζημάτων



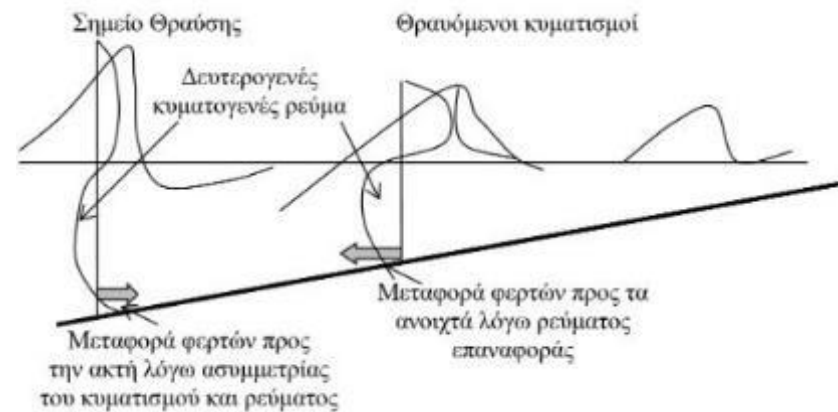
Σχήμα 4.3α: Φορτίο πυθμένα (1)



Σχήμα 4.3β: Φορτίο σε αιώρηση (1)



Σχήμα 4.3γ: Επίδραση ασυμμετρίας κυματισμού (2)



Σχήμα 4.3δ: Εγκάρσιο δευτερογενές ρεύμα (3)

Όλη αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα στην παράκτια ζώνη, ενώ μεγιστοποιείται και παρουσιάζει το πλέον δυναμικό της κομμάτι στη ζώνη αναρρίχησης της ακτής. Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από μεγάλες ταχύτητες, έντονη τύρβη και σημαντική στερεομεταφορά. Η υδροδυναμική της ζώνης αυτής είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και συνήθως υιοθετούνται απλοποιημένες προσεγγίσεις για την εκτίμηση της στερεομεταφοράς. Η μέγιστη εγκάρσια στερεοπαροχή q_R στο σημείο της ακτογραμμής μπορεί να υπολογιστεί από την απλοποιημένη σχέση (Leont'yev, 1996, Larson et al. 2004):

$$q_R = \frac{0.03(2gR)^{3/2}(\tan\beta_{eq} - \tan\beta)}{(\rho_s / \rho - 1)g} \quad (4.1)$$

όπου R το ύψος αναρρίχησης του κύματος, $\tan\beta$ η κλίση του πυθμένα, $\tan\beta_{eq}$ η κλίση ισορροπίας, και ρ και ρ_s η πυκνότητα του νερού και των κόκκων αντίστοιχα. Το πρόσημο του q_R καθορίζεται από τη διαφορά $(\tan\beta_{eq} - \tan\beta)$. Οι αρνητικές τιμές δηλώνουν διάβρωση, ενώ οι θετικές πρόσχωση. Όσο εξελίσσεται η βαθυμετρία, μεταβάλλεται η κλίση του πυθμένα $\tan\beta$ και τείνει στην κλίση ισορροπίας $\tan\beta_{eq}$.

Από υδροδυναμική σκοπιά, οι βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς φερτών είναι:

1. Μεταφορά λόγω των παράκτιων κυματογενών ρευμάτων. Στην παράκτια ζώνη, όπου οι κυματισμοί συνυπάρχουν με το παράκτιο κυματογενές ρεύμα, η ροή κοντά στον πυθμένα αποσταθεροποιεί και θέτει σε κίνηση τους κόκκους των ιζημάτων. Αφού πραγματοποιηθεί η αποκόλληση των κόκκων, αυτοί μεταφέρονται προς την κατεύθυνση του ρεύματος (Σχήμα 4.3.α και Σχήμα 4.3.β).
2. Μεταφορά λόγω κυματικής ασυμμετρίας. Λόγω της μη γραμμικής φύσης των κυματισμών, η κίνηση των φερτών είναι και αυτή ασύμμετρη. Έτσι, κάτω από την κορυφή του κύματος, όπου η ταχύτητα είναι μεγάλη και έχει κατεύθυνση προς την ακτή, πραγματοποιείται μεγαλύτερη μεταφορά φερτών, με κατεύθυνση προς την ακτή, ενώ κάτω από την κοιλιά, όπου η ταχύτητα είναι μικρότερη και έχει φορά προς τα ανοιχτά, πραγματοποιείται μικρότερη στερεομεταφορά με κατεύθυνση προς τα ανοιχτά. Σαν συνολικό αποτέλεσμα έχουμε τη μεταφορά φερτών στη διεύθυνση μετάδοσης των κυματισμών (Σχήμα 4.3.γ).
3. Μεταφορά λόγω δευτερογενών κυματογενών ρευμάτων (Σχήμα 4.3.δ) μέσω:
 - του τρισδιάστατου ρεύματος επαναφοράς (undertow) με κατεύθυνση προς τα ανοιχτά και
 - του ρεύματος κοντά στον πυθμένα, στο οριακό στρώμα του κυματισμού, με κατεύθυνση την κατεύθυνση μετάδοσης του κυματισμού. Ο μηχανισμός αυτός είναι ίδιος με αυτόν της περίπτωσης 1 εφόσον τα ρεύματα αυτά συνυπάρχουν με το πρωτογενές κυματογενές ρεύμα.

4.4.1. Στερεομεταφορά εγκάρσια στην ακτή

Προφίλ ισορροπίας

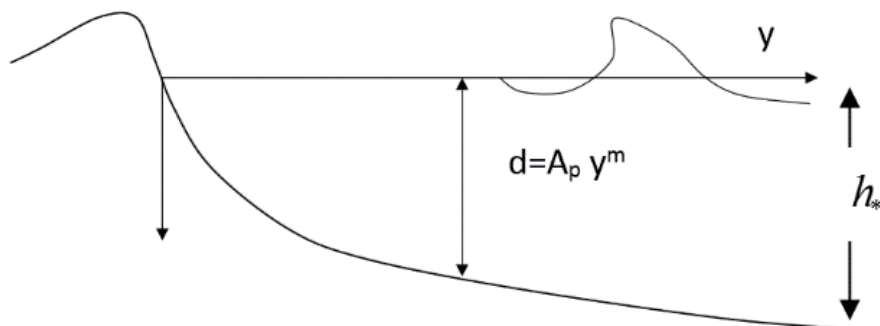
Οι κυματισμοί που προσπίπτουν εγκάρσια στην ακτή κατά τη διάρκεια ενός κυματικού επεισοδίου, μετακινούν τα ιζήματα και προκαλούν μορφολογικές μεταβολές του εγκάρσιου προφίλ. Οι μεταβολές αυτές τείνουν να διαμορφώσουν ένα συγκεκριμένο προφίλ ισορροπίας. Τα χαρακτηριστικά του προφίλ αυτού εξαρτώνται από την κοκκομετρία του ιζήματος του πυθμένα και τα χαρακτηριστικά των κυματισμών, ενώ σε γενικές γραμμές είναι τα ακόλουθα: (α) τείνουν να διαμορφωθούν καμπύλες με τα κοίλα προς τα πάνω, (β) οι κλίσεις είναι ήπιες όσο πιο λεπτόκοκκο είναι ιζήμα και (γ) οι κλίσεις τείνουν να είναι πιο επίπεδες για μεγάλου ύψους κυματισμούς.

Το υποθαλάσσιο τμήμα του προφίλ μπορεί σε γενικές γραμμές να εκφραστεί με την κλασική σχέση του Dean (Dean, 1991, Σχήμα 4.4), ενώ για το τμήμα της στάθμης που βρίσκεται πάνω από την ίσαλο γραμμή υιοθετείται ένα προφίλ με σταθερή κλίση (U.S. Army Corps of Engineers, 2002).

$$d(y)=A_p y^m \quad (4.2)$$

όπου d = βάθος νερού, A_p = παράμετρος που σχετίζεται με το μέγεθος του κόκκου, y =απόσταση από την ακτογραμμή. Ο εκθέτης m λαμβάνεται συνήθως ίσως με $2/3$ ενώ ο συντελεστής A_p ισούται με (Dean, 1983):

$$A_p=0.5 W_f^{0.44} \quad (4.3)$$



Σχήμα 4.4: Προφίλ ισορροπίας

Σύμφωνα με την εξίσωση (4.1) για μεγάλες τιμές του y το βάθος αυξάνεται σημαντικά, λαμβάνοντας μη ρεαλιστικές τιμές. Στην πραγματικότητα το προφίλ της εξίσωσης (4.1) ισχύει μέχρι ένα βάθος. Το βάθος αυτό ονομάζεται κρίσιμο βάθος ή βάθος «κλεισίματος» (*closure depth*). Για βάθη μεγαλύτερα από αυτό, οι κυματικές συνθήκες δεν είναι ικανές να μεταβάλουν

τη μορφολογία. Το βάθος «κλεισίματος» υπολογίζεται από τη σχέση 4.4 (Hallermeier, 1981, 1983):

$$h_* = 2.28H_e - 68.5 \left(\frac{H_e^2}{gT_e^2} \right) \quad (4.4)$$

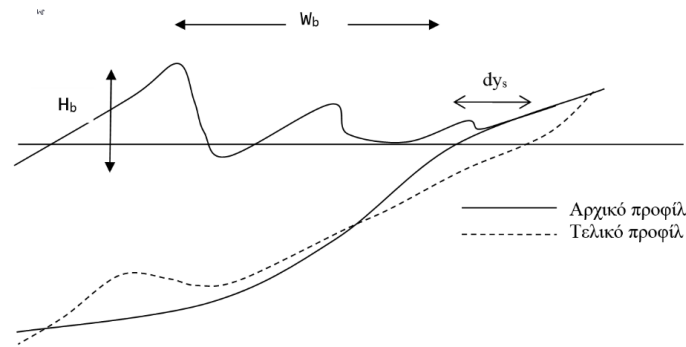
όπου H_e είναι το σημαντικό ύψος κύματος για ετήσια πιθανότητα υπέρβασης 0.137 % (δηλ. 12 ώρες το έτος) και T_e η αντίστοιχη περίοδος.

Εγκάρσια διάβρωση και πρόσχωση

Όπως περιγράφηκε στην Παράγραφο 4.4, και ενδεικτικά φαίνεται στην Σχήμα 4.3.δ, λόγω της μη γραμμικής φύσης των κυματισμών η κίνηση των φερτών είναι και αυτή ασύμμετρη. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται πολύ μεγαλύτερη στερεομεταφορά φερτών με κατεύθυνση προς την ακτή, καθώς η ταχύτητα στην κορυφή του κύματος είναι μεγαλύτερη. Συνεπώς, η κυματική κίνηση συνεπάγεται μέσο, ως προς την περίοδο, φορτίο πυθμένα με κατεύθυνση την κατεύθυνση μετάδοσης των κυματισμών, δηλαδή προς την ακτή. Ωστόσο, σχετικά λεπτόκοκκα υλικά μεταφέρονται σε ένα πολύ λεπτό στρώμα κοντά στον πυθμένα, το οποίο ρευστοποιείται κάτω από την επίδραση της κυματικής κίνησης (sheet flow). Σε συνθήκες μεγάλου ύψους κυματισμών, αιωρούνται σε σχετικά μεγάλη απόσταση από τον πυθμένα και δεν προλαβαίνουν να επιστρέψουν στον πυθμένα όσο επικρατεί η κίνηση προς την ακτή. Έτσι, βρίσκονται κάτω από τη δράση της φάσης του κύματος προς τα ανοιχτά, όπου και τελικά μεταφέρονται. Επιπλέον, η ύπαρξη του δευτερογενούς κυματογενούς ρεύματος (undertow), σε συνδυασμό με τις έντονα τυρβώδεις κινήσεις λόγω της θραύσης των κυματισμών, συνεπάγεται σημαντική στερεομεταφορά σε αιώρηση των λεπτόκοκκων ιζημάτων με κατεύθυνση επίσης προς τα ανοιχτά.

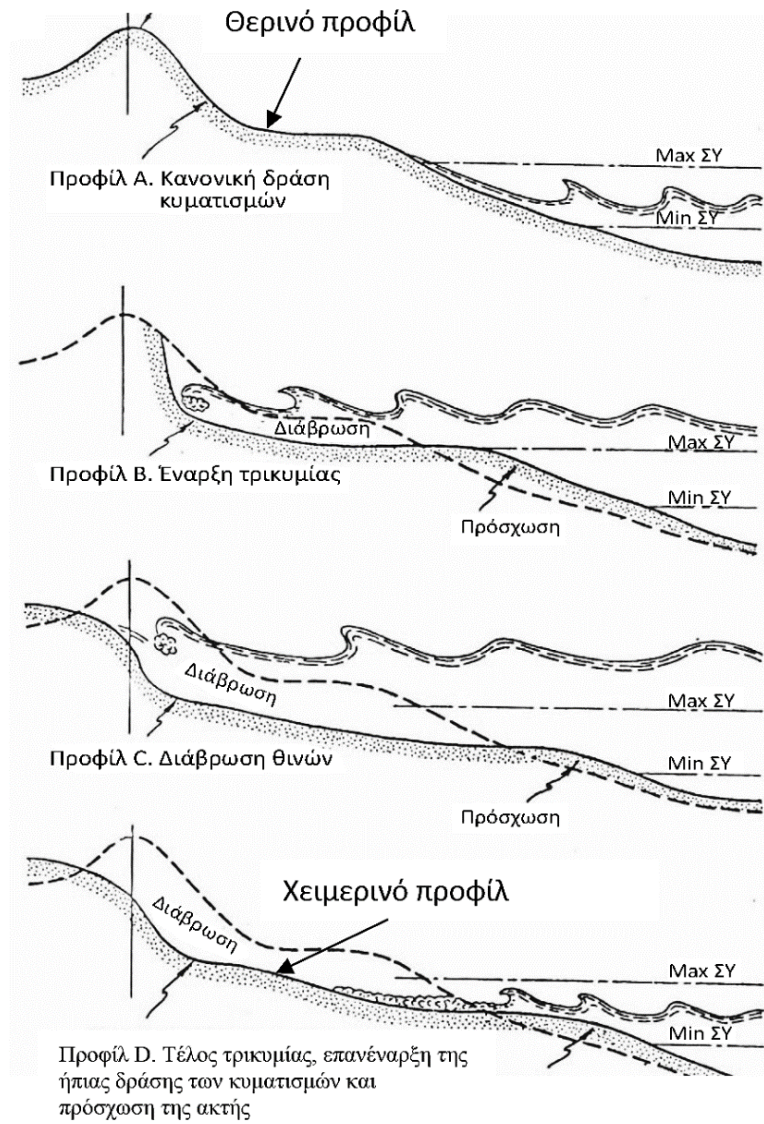
Συμπερασματικά, η ασυμμετρία των κυματισμών, η υδροδυναμική (ταχύτητα πυθμένα, ένταση της τύρβης, undertow) και η διάμετρος των κόκκων καθορίζουν και την κατεύθυνση της μεταφοράς των φερτών. Οι ασύμμετροι κυματισμοί, με σχετικά μικρά ύψη που θραύονται κοντά ή και πάνω στην ακτή (και άρα συνοδεύονται από ασθενώς τυρβώδη ροή και ασθενές undertow) οδηγούν τα σχετικά χονδρόκοκκα υλικά προς την ακτή, προκαλώντας πρόσχωση. Οι μεγάλοι ύψους κυματισμοί που θραύονται σε σημαντική απόσταση από την ακτή (και συνοδεύονται από έντονα τυρβώδη ροή και ισχυρό undertow) οδηγούν τα σχετικά λεπτόκοκκα υλικά προς τα ανοιχτά, προκαλώντας διάβρωση. Στην περίπτωση αυτή το ίζημα μεταφέρεται έως περίπου το σημείο θραύσης, όπου η τύρβη και το υποβρύχιο ρεύμα επαναφοράς ελαττώνονται και δεν μπορούν πλέον να το μεταφέρουν (Σχήμα 4.3.β). Εκεί εναποτίθενται σχηματίζοντας έναν επιμήκη ύφαλο, παράλληλα στην ακτή (Σχήμα 4.5). Ο ύφαλος αυτός αποτελεί ένα είδος αναχώματος για τη διακοπή της περαιτέρω διάβρωσης της ακτής, καθώς

οι κυματισμοί θραύονται πάνω σε αυτόν και χάνουν σημαντική ποσότητα της ενέργειάς τους, με συνέπεια τη μείωση της διαβρωτικής τους ικανότητας.

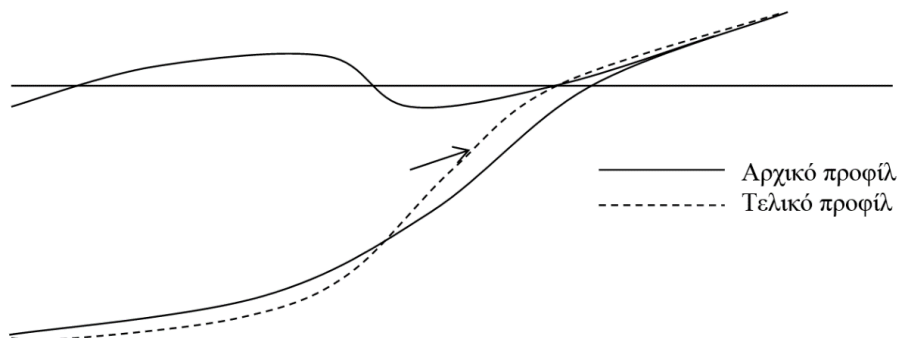


Σχήμα 4.5: Χειμερινό προφίλ – διάβρωση (κυματισμοί μεγάλης κυρτότητας)

Η παραπάνω διεργασία πραγματοποιείται συνήθως τον χειμώνα, όπου επικρατούν έντονα κυματικά φαινόμενα. Τα φαινόμενα αυτά συνοδεύονται συνήθως από την ανύψωση της μέσης στάθμης της θάλασσας, λόγω του φαινομένου της μετεωρολογικής παλίρροιας (storm surge), όπου, λόγω των διατμητικών τάσεων του ανέμου ή/και των μεγάλων διαφορών στις ατμοσφαιρικές πιέσεις, η στάθμη της θάλασσας ανυψώνεται σε κάποιες περιοχές και ταπεινώνεται σε άλλες. Λόγω της ανύψωσης αυτής η διάβρωση επεκτείνεται και στο άνω μέρος της ζώνης αναρρίχησης, στις θίνες (Σχήμα 4.6). Το προφίλ που δημιουργείται ονομάζεται «χειμέριο». Το καλοκαίρι επικρατούν πιο ήπιες κυματικές συνθήκες που ευνοούν τη στερεομεταφορά προς την ακτή, η οποία οδηγεί στην πρόσχωσή της και πιθανώς στην πλήρη ανάκτησή της, δημιουργώντας το λεγόμενο και «θερινό» προφίλ (βλ. Σχήμα 4.7).

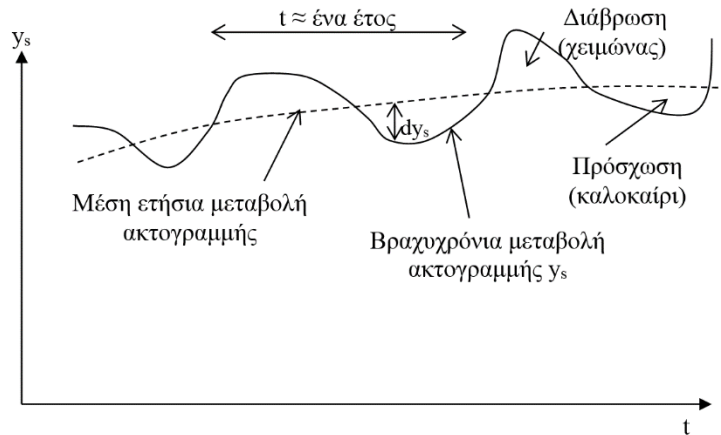


Σχήμα 4.6: Εγκάρσια δράση κυματισμών και δημιουργία χειμερινού προφίλ



Σχήμα 4.7: Καλοκαιρινό προφίλ – (κυματισμοί μικρής κυρτότητας)

Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζεται ενδεικτικά η βραχυχρόνια μεταβολή μιας ακτογραμμής μέσα στη διάρκεια των ετών. Στη διάρκεια του χειμώνα επικρατούν έντονοι κυματισμοί με μεγάλα ύψη κύματος και μικρές περιόδους που διαβρώνουν την ακτή, ενώ αντίθετα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι ήπιες κυματικές συνθήκες οδηγούν σε πρόσχωση της ακτής. Το μέσο αποτέλεσμα στη διάρκεια ενός έτους είναι η επαλληλία των δύο αυτών καταστάσεων.



Σχήμα 4.8: Βραχυχρόνια και μέση ετήσια μεταβολή ακτογραμμής

Όσον αφορά την κλίση της ακτής, τα χονδρόκοκκα ιζήματα σχηματίζουν απότομες ακτές (ανακλαστικές) που διαβρώνονται με βραδύτερους ρυθμούς από τις παραλίες που δημιουργούνται από άμμο λεπτότερης διαμέτρου και η οποία προκαλεί ήπια κλίση ακτής. Για την αποτίμηση των συνθηκών διάβρωσης/εναπόθεσης συναρτήσει των κυματικών συνθηκών και της κοκκομετρίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί το παρακάτω μονώνυμο του Dean (Dean, 1973):

$$F_o = \frac{H_o}{w_f T} \quad (4.5)$$

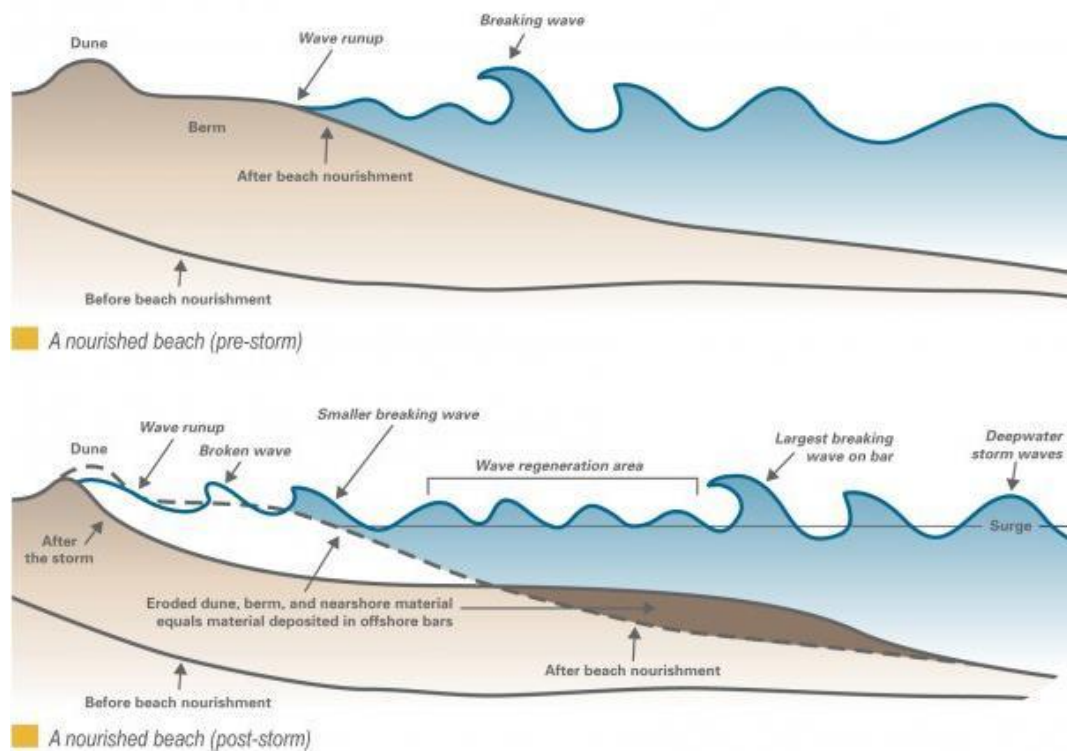
Διακρίνονται δύο περιπτώσεις: για τιμές $F_o > 1$ λαμβάνει χώρα διάβρωση και διαμόρφωση επιμήκους υφάλου, ενώ για $F_o < 1$ εναπόθεση υλικού (προσάμμωση). Στην πρόσφατη βιβλιογραφία αναφέρονται διαφορετικές τιμές του παραπάνω κριτηρίου οι οποίες βασίστηκαν σε μετρήσεις πεδίου. Οι Hanson and Kraus (2011) π.χ. προτείνουν: διάβρωση για $F_o > 4.0$ και πρόσχωση για $F_o < 2.4$.

Στη διάρκεια ενός κυματικού επεισοδίου η εγκάρσια διάβρωση/πρόσχωση δεν έχει συνεχώς τον ίδιο ρυθμό. Με την πάροδο των ωρών και όσο το νέο προφίλ τείνει στο προφίλ ισορροπίας, η βαθυμετρία εξελίσσεται ολοένα και με βραδύτερους ρυθμούς, έως ότου σταθεροποιηθεί. Όσο εξελίσσεται η βαθυμετρία, μεταβάλλεται η κλίση του πυθμένα $\tan\beta$ και τείνει στην κλίση ισορροπίας $\tan\beta_{eq}$, έως ότου $\tan\beta_{eq} = \tan\beta$ και μηδενιστεί η στερεοπαροχή και η περαιτέρω εξέλιξη.

Βασισμένος στο προφίλ ισορροπίας (εξίσωση 4.2) ο Dean (1991), θεωρώντας ότι και μετά την ανύψωση της στάθμης το προφίλ θα πρέπει να είναι το ίδιο, παρουσίασε μια θεωρητική εκτίμηση της τελικής διάβρωσης της ακτής dy_s (βλ. Σχήμα 4.5):

Συμπερασματικά, για την εγκάρσια στερεομεταφορά μπορούμε να πούμε τα εξής:

- Η εγκάρσια στερεομεταφορά βασίζεται στην αποσταθεροποιητική δράση των κυματισμών και στα δευτερεύοντα ρεύματα που δρουν εγκάρσια στην ακτή
- Το σπουδαιότερο τμήμα του παράκτιου χώρου είναι η ζώνης θραύσης ή ζώνη αναρρίχησης των κυματισμών (βλ. Σχήμα 4.9). Στην περιοχή αυτή η μορφολογία του πυθμένα μεταβάλλεται τόσο σε μικρή χρονική κλίμακα (επεισοδιακή διάβρωση), όσο και σε μεγάλη (μακροχρόνια διάβρωση) σαν αποτέλεσμα διαφόρων εποχιακών κυματικών καταστάσεων.



Σχήμα 4.9: Σχηματική αποτύπωση μηχανισμού στερεομεταφοράς εγκάρσια στην ακτή

4.4.2. Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής

Παράκτια στερεομεταφορά

Η παράκτια κυματογενής δράση που δρα παράλληλα στην ακτογραμμή και μεγιστοποιείται στη ζώνη θραύσης, σε συνδυασμό με τη δράση των κυματισμών, αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα στην μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων φερτών κατά μήκος των ακτών. Οι μεγάλες τιμές των κυματικών ταχυτήτων κοντά στον πυθμένα, σε συνδυασμό με τις ταχύτητες του ισχυρού παράκτιου ρεύματος, αποσταθεροποιούν τους κόκκους των ιζημάτων και τους μεταφέρουν σαν φορτίο πυθμένα και αιωρούμενο φορτίο. Επιπλέον, η τύρβη του νερού αποκτά τους μέγιστους ρυθμούς γένεσης και απόσβεσης, συνεπαγόμενη επίσης μεγάλο φορτίο σε αιώρηση. Η συνολική στερεοπαροχή των φερτών υλών κατά μήκος των ακτών συνήθως συσχετίζεται με την ισχύ των κυματισμών στο σύνολο της ζώνης θραύσης. Για τον υπολογισμό του όγκου της στερεομεταφοράς χρησιμοποιείται η παρακάτω ημιεμπειρική μέθοδος και οι εξισώσεις 4.6 έως 4.9 (Coastal Engineering Manual (U.S. Army Corps of Engineers, 2002).

$$P_1 = (\bar{E}c_g)_b \sin(\alpha_b) \cos(\alpha_b) \quad (m^3 / s) \quad (4.6)$$

η οποία με τις κατάλληλες αντικαταστάσεις και θεωρώντας ότι στα ρηχά νερά $c_{gb}=c_b=(gd_b)^{1/2}$ μας δίνει τη σχέση:

$$P_1 = \left(\frac{\rho g^{3/2}}{16\gamma^{1/2}} \right) H_b^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (4.7)$$

Το συνολικό βυθισμένο βάρος των φερτών I_b θεωρείται με την ισχύ της ζώνης θραύσης:

$$I_b = K P_1 \quad (4.8)$$

όπου K ένας συντελεστής που προκύπτει από τη βαθμονόμηση της σχέσης με μετρήσεις πεδίου.

Διαιρώντας την (4.8) με την ποσότητα $(\rho_s - \rho)g(1-n)$ μετατρέπουμε το βυθισμένο βάρος σε όγκο και η συνολική στερεομεταφορά στη ζώνη θραύσης παράλληλα στην ακτή γίνεται:

$$Q_t = K \left(\frac{\rho g^{1/2}}{16\gamma^{1/2}(\rho_s - \rho)(1-n)} \right) H_{sb}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (m^3 / s) \quad (4.9)$$

όπου Q_t η συνολική στερεοπαροχή στη ζώνη θραύσης, δηλαδή ο όγκος των φερτών στη μονάδα του χρόνου (συμπεριλαμβανομένων των κενών των πόρων), H_b το ύψος κύματος στο σημείο θραύσης, α_b η γωνία πρόσπτωσης στο σημείο θραύσης.

Ο συντελεστής K λαμβάνεται ίσος με 0.39, εάν χρησιμοποιηθεί στη σχέση (4.7) το σημαντικό ύψος κύματος στο σημείο θραύσης ($H_b = H_{sb}$). Η εφαρμογή της (4.9) απαιτεί τον υπολογισμό του ύψους κύματος H_{sb} στο σημείο θραύσης, καθώς και της γωνίας πρόσπτωσης α_b στο σημείο θραύσης, θέτοντας $H_b = H_{sb}$. Όταν η κλίση της ακτογραμμής πλησιάζει την τιμή της γωνίας θραύσης α_b τότε η στερεοπαροχή Q_t είναι μηδενική.

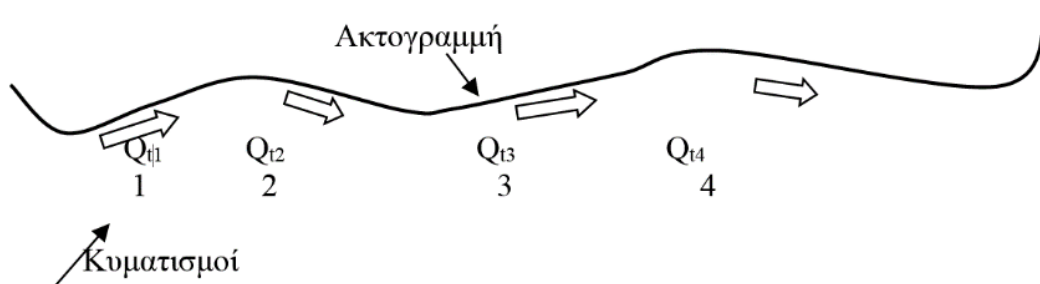
Ο Kamphuis (2000) πρότεινε έναν εναλλακτικό τρόπο υπολογισμού συμπεριλαμβάνοντας και την επίδραση της περιόδου του κύματος, της κλίσης του πυθμένα και της χαρακτηριστικής διαμέτρου των κόκκων της άμμου:

$$Q_t = 0.0203 H_{sb}^4 T_p^{1.5} (\tan\beta)^{0.75} d_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.10)$$

Η παραπάνω σχέση είναι επίσης εμπειρική, καθώς προέκυψε από εργαστηριακές μετρήσεις και επιβεβαιώθηκε από μετρήσεις πεδίου.

Εξέλιξη ακτογραμμής

Για ένα τμήμα μιας ακτής (Σχήμα 4.10) με διαφορετικούς προσανατολισμούς, και άρα διαφορετικά ύψη κύματος, βάθη και γωνίες πρόσπτωσης στο σημείο θραύσης των κυματισμών, οι στερεοπαροχές Q_t θα έχουν διαφορετικές τιμές κατά μήκος της ακτής. Εάν π.χ. $Q_{t1} > Q_{t2}$ και $Q_{t2} < Q_{t3}$, ανάμεσα στα τμήματα 1 και 2 αναμένεται εναπόθεση φερτών (με ρυθμό $\Delta Q = Q_{t1} - Q_{t2}$) και συνεπώς πρόσχωση της ακτής, ενώ ανάμεσα στα τμήματα 3 και 4 αναμένεται διάβρωση.



Σχήμα 4.10: Στερεομεταφορά σε τμήμα της ακτής με διαφορετικούς προσανατολισμούς

Με την παραπάνω απλοποιημένη μεθοδολογία μπορούμε να εκτιμήσουμε τις τάσεις πρόσχωσης και διάβρωσης τοπικά σε ένα τμήμα μιας ακτής.

Τα παραπάνω μπορούν να εκφραστούν μαθηματικά με μια απλοποιημένη εξίσωση, γνωστή ως ομοίωμα «μίας γραμμής» (one-line model).

Μετατρέποντας τη δισδιάστατη εξίσωση (Hanson and Kraus, 2011), κάτω από παραδοχές, σε μονοδιάστατη μορφή έχουμε:

$$Q_R = K w_f \left(\frac{H_o^3}{d_{50}} \right)^{1/2} \quad (4.11)$$

όπου K μια παράμετρος βαθμονόμησης της τάξης του $10^{-5} - 10^{-4}$

και θεωρώντας ως y_s την απόσταση της ακτογραμμής από τον άξονα x (Σχήμα 4.10), το βάθος στο οποίο θεωρείται ότι εκτείνεται η παράκτια ζώνη, βαθύτερα του οποίου δεν πραγματοποιείται μεταφορά φερτών τόσο εγκάρσια όσο και παράλληλα στην ακτή, είναι το κρίσιμο βάθος h^* (Σχέση 4.4). Εξετάζοντας ένα συγκεκριμένο τμήμα της ακτής (Σχήμα 4.11), η διαφορά της στερεοπαροχής Q_t που εισέρχεται από αυτήν που εξέρχεται, σε ένα χρονικό διάστημα Δt , θα συνεπάγεται τη μεταβολή της ακτογραμμής. Αν δηλαδή εισέρχεται μεγαλύτερη ποσότητα φερτών υλών από ό,τι εξέρχεται ($Q_{ti} > Q_{ti+1}$), τότε η διαφορά των δύο συνολικών όγκων άμμου ($\Omega_{ti} - \Omega_{ti+1}$) θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του πλάτους της ακτής (πρόσχωση). Εάν η ποσότητα ΔQ_t είναι αρνητική ($\Delta Q_t < 0$), δηλαδή εξέρχεται του όγκου ελέγχου μεγαλύτερη ποσότητα ιζημάτων από αυτήν που εισέρχεται, τότε η ακτή θα υποχωρήσει (διάβρωση).

Στην περίπτωση που υποθέσουμε ότι η ποσότητα θα εναποτεθεί με τρόπο τέτοιο ώστε το προφίλ της ακτής να παραμένει σταθερό (Σχήμα 4.11β), τότε το πλάτος της ακτής, θα υποχωρήσει ή θα αυξηθεί κατά Δy_s τέτοιο ώστε, $\Delta y_s (h^* + B) \Delta x = \Delta Q_t$ και συνεπώς η εξίσωση εξέλιξης της ακτογραμμής μπορεί να γραφεί ως εξής

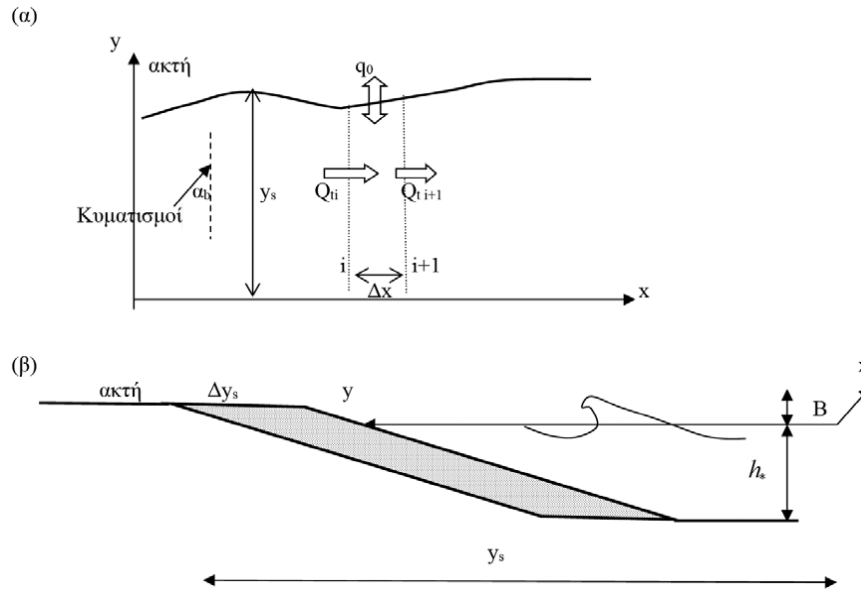
$$\frac{\partial y_s}{\partial t} = \frac{1}{(h^* + B)} \frac{\partial Q_t}{\partial x} \quad (4.12)$$

Όπου h^* είναι το κρίσιμο βάθος και B το ύψος του παραλιακού αναχώματος (berm)

Η παραπάνω εξίσωση (4.12) ισχύει και για προφίλ ισορροπίας ή κάποιο άλλο, αντί του απλοποιημένου προφίλ του Σχήματος 4.11. Ωστόσο, η παραδοχή ότι το προφίλ παραμένει σταθερό και μετακινείται οριζόντια, ισχύει και πάλι.

Στην ποσότητα $\Delta Q_t / \Delta x$, θα πρέπει να προστεθεί ή αφαιρεθεί και μια ποσότητα q_0 που δηλώνει την εγκάρσια είσοδο/έξοδο στερεοπαροχής στη διατομή, ανά μέτρο μήκους ακτής. Η στερεοπαροχή αυτή μπορεί να εισέρχεται στην ακτή από ποτάμια και χείμαρρους, αλλά και να προστίθεται με τεχνητά μέσα, με σκοπό τον εμπλουτισμό της. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης και της εγκάρσιας στερεομεταφοράς, όπως αυτή περιγράφηκε προηγουμένως, θέτοντας $q_0 = q_R$ (Hanson and Kraus, 2011), με την εξίσωση (4.12) να παίρνει τη μορφή:

$$\frac{\partial y_s}{\partial t} = \frac{1}{(h_* + B)} \left(\frac{\partial Q_t}{\partial x} \pm q_0 \right) \quad (4.13)$$



Σχήμα 4.11: Διατήρηση του όγκου των φερτών: (α) οριζοντιογραφία, (β) απλοποιημένη διατομή

Με δεδομένο ότι dy_s/dx είναι ο τοπικός προσανατολισμός της ακτής σε σχέση με τον άξονα x , η τοπική γωνία πρόσπτωσης θα είναι $\alpha_b - dy_s/dx$, και συνεπώς η συνολική στερεοπαροχή στη ζώνη θραύσης Q_t δίνεται από την τροποποιημένη σχέση (4.9):

$$Q_t = Q_{tmax} \sin 2(\alpha_b - \frac{dy_s}{dx}) \quad (4.14)$$

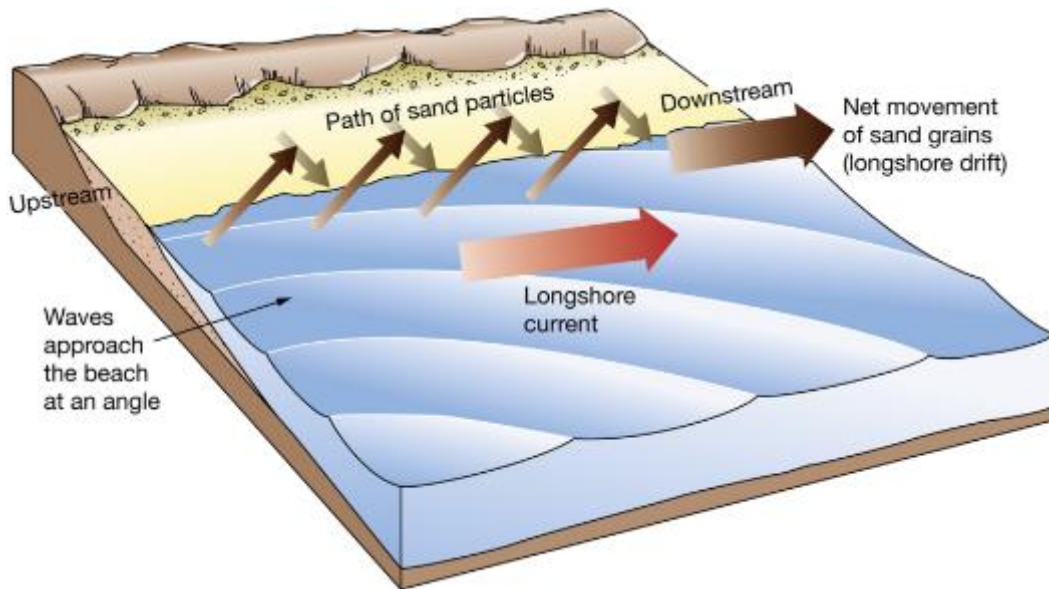
όπου α_b είναι η γωνία στο σημείο θραύσης και Q_{tmax} είναι η μέγιστη τιμή της συνολικής στερεοπαροχής που υπολογίζεται από τη σχέση (4.9).

Όσο η ακτογραμμή εξελίσσεται και εφόσον η γωνία της, ως προς την οριζόντιο, τείνει να γίνει κάθετη προς τη γωνία θραύσης α_b , τότε η στερεοπαροχή Q_t τείνει στο μηδέν και η ακτή βρίσκεται σε μια κατάσταση ισορροπίας, έχοντας προσανατολιστεί κάθετα στην κατεύθυνση μετάδοσης των κυματισμών.

Η εφαρμογή του απλοποιημένου αυτού ομοιώματος χρησιμοποιείται σε πολλά προβλήματα της πράξης για την εκτίμηση της εξέλιξης της ακτογραμμής, σε τμήματα ακτών αλλά και μετά την κατασκευή παράκτιων τεχνικών έργων.

Συμπερασματικά, για τη στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής μπορούμε να πούμε τα εξής:

- Η πρόσπτωση των κυματισμών υπό γωνία δημιουργεί ρεύματα παράλληλα στην ακτογραμμή (βλ. Σχήμα 4.12).
- Η στερεομεταφορά λόγω των παράλληλων αυτών ρευμάτων (longshore currents) είναι ιδιαίτερα σημαντική, αποτελώντας τον κύριο παράγοντα κατά τον υπολογισμό του ισοζυγίου φερτών υλών.



Σχήμα 4.12: Σχηματική αποτύπωση μηχανισμού στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής

4.5. Στερεομεταφορά στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης δρουν και οι δύο μηχανισμοί στερεομεταφοράς που περιγράφηκαν προηγουμένως, με διαφορετικά αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση. Η επικράτηση των ΒΔ ανέμων και κυματισμών στην περιοχή, σε συνδυασμό με την μορφολογία της, καθιστούν πιο «ευάλωτη» σε εγκάρσια στερεομεταφορά την παραλία του Αγ. Ιωάννη και παράγουν πιο δυναμικά φαινόμενα με την διαδικασία της στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής στην παραλία της Γύρας. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται από την εξέλιξη που παρουσιάζει η μορφολογία της περιοχής τα τελευταία χρόνια, όπως αυτή περιγράφηκε στην παράγραφο 3.8 της παρούσας.

Η επικρατούσα αυτή κατεύθυνση της παράκτιας στερεομεταφοράς (από τα δυτικά προς τα ανατολικά), συνάδει και με τα παράκτια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, η διάβρωση των ακτών του Αγ. Ιωάννη και της Γύρας και η δημιουργία της αμμόγλωσσας στη δυτική πλευρά του διαύλου, καθώς και η αύξησή της με το χρόνο προς τα ανατολικά υποδηλώνει μετακίνηση του παράκτιου ιζήματος προς τα ανατολικά. Στην ίδια διαπίστωση οδηγεί και η απόθεση σημαντικής ποσότητας υλικού στα δυτικά του υφιστάμενου

λιμενοβραχίονα, στο ανατολικό άκρο της παραλίας της Γύρας. Τέλος, η παρουσία, η μορφή και ο προσανατολισμός του βραχίονα από το Κάστρο της Αγ. Μαύρας μέχρι την νήσο Αγ. Νικολάου, σε συνδυασμό με τη ύπαρξη της λιμνοθάλασσας στο νότιο τμήμα αυτού, μαρτυρούν την παρουσία στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής με κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά.

Πιο συγκεκριμένα, στην παραλία του Αγ. Ιωάννη και ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα της, όπου έχουμε ιζήματα με κόκκους μικρότερης διαμέτρου και ο πυθμένας παρουσιάζει μεγάλες κλίσεις, η εγκάρσια στερεομεταφορά από την εναλλαγή χειμέριου και θερινού κύματος λόγω των ΒΔ κυματισμών δεν χαρακτηρίζεται από ισορροπία, λόγω της παράσυρσης των φερτών σε μεγαλύτερα βάθη και την αδυναμία ανάκτησής τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διάβρωση τμήματος της ακτής και την δημιουργία προβλημάτων τόσο στο φυσικό όσο και το ανθρωπογενές περιβάλλον.

Όσον αφορά την παραλία της Γύρας και την περιοχή της αμμόγλωσσας, ο προσανατολισμός τους ευνοεί την ανάπτυξη στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής σε συνδυασμό με τους ΒΔ κυματισμούς της περιοχής. Η στερεομεταφορά εκδηλώνεται κατά μήκος της ακτής και πραγματοποιείται από τα δυτικά προς τα ανατολικά, λόγω της παρουσίας κυματογενών ρευμάτων ανατολικής κατεύθυνσης κατά μήκος της ακτής. Τα ρεύματα αυτής της κατεύθυνσης οφείλονται κυρίως στην πνοή βορειοδυτικών ανέμων, οι οποίοι είναι και οι επικρατέστεροι στην περιοχή μελέτης.

Αυτό παρατηρείται πιο έντονα από το μέσο της παραλίας της Γύρας και προς τα ανατολικά, όπου στο πιο δυτικό κομμάτι αυτού του τμήματος της ακτής παρατηρούμε μια διάιτα αυτής, η οποία μετατρέπεται σε πρόσχωση όταν φτάνουμε στο ανατολικό της άκρο, στην εξωτερική πλευρά του λιμενοβραχίονα που προστατεύει την είσοδο του διαύλου Λευκάδας.

Όσον αφορά στον σχηματισμό της αμμόγλωσσας, αυτός οφείλεται στην εναπόθεση κόκκων του ιζήματος που μεταφέρονται με τα παράκτια ρεύματα λόγω μείωσης της ταχύτητάς τους, η οποία προκαλείται από την απότομη αύξηση του βάθους του νερού στην περιοχή εισόδου του διαύλου και σε συνδυασμό με την ηρεμία των νερών στο εσωτερικό του.

Σύμφωνα με παλαιότερη μελέτη⁴, η μέση ετήσια στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής στα δυτικά της αμμόγλωσσας εκτιμάται σε 15.000 m³/έτος. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται στα στοιχεία εργασιών εκσκαφής της αμμόγλωσσας κατά τα έτη 1940 και 1958. Επιπλέον, ο ίδιος

⁴ Παπαπάνου, Ι., 1973. “Οριστική Μελέτη Αντιπροσαμμοτικών Έργων Λιμένος Λευκάδος. Τεύχος 1: Τεχνική Έκθεση”. Τεχνικό Γραφείο Ι. Παπαπάνου, 27pp.

μελετητής⁵, βασιζόμενος στα ίδια στοιχεία εκσκαφών, εκτιμά τον μέσο ετήσιο ρυθμός αύξησης της αμμόγλωσσας ίσο με 10.000 m³/έτος.

Σύμφωνα με νεότερη μελέτη⁶, η μέση ετήσια στερεομεταφορά υπολογίστηκε με δύο μεθόδους, αυτή του CERC (U.S. Army Corps of Engineers Coastal Engineering Research Center)⁷ και αυτή των Kamphuis *et al.*⁸ (βλ. παράγραφο 4.4.1 και 4.4.2). Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο, η μέση ετήσια στερεομεταφορά εκτιμήθηκε σε 10.904 m³/έτος, ενώ με την δεύτερη υπολογίστηκε σε 11.957 m³/έτος. Οπότε, μια μέση ετήσια εκτίμηση για την στερεομεταφορά είναι της τάξης των 10.000 – 12.000 m³/έτος.

Στις Εικόνες 4.1 έως 4.12 που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα προβλήματα λόγω στερεομεταφοράς που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, στο νότιο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, όπου εντοπίζονται τα σοβαρότερα φαινόμενα διάβρωσης και στην περιοχή του διαύλου, όπου έχουμε έντονα φαινόμενα προσάμμωσης, με τη δημιουργία της χαρακτηριστικής αμμόγλωσσας.

⁵ Παπαπάνου, Ι., 1969. “Εκθεσις και Γενική Προμελέτη Διαίτης Προσαμμώσεως Βορείου Στομίου Διώρυγος Λευκάδος”. Τεχνικό Γραφείο Ι. Παπαπάνου, 62pp.

⁶ MARNET ATE., 2002. “ Διαπλάτυνση Διαύλου Λευκάδας ”- Ακτομηχανική Μελέτη, Τεχνική Εταιρία Μελετών.

⁷ Coastal Engineering Manual, CERC, Part III, Chapter 2.

⁸ Kamphuis, J.E., Davies, M.H., Nairn, R.B., and Sayao, O.J. 1986. “Calculation of Littoral Sand Transport Rate”. *Journal Coastal Engineering Conference, Vol. 10, No. 1*, 1-21. Also in: Fredsoe, J., and Deigaard, R. 1992. “*Mechanics of Coastal Sediment Transport*”. Singapore: World Scientific, 369pp.

Παραλία Αγ. Ιωάννη (νότιο τμήμα)



Εικόνα 4.1: Προστασία παραλιακού δρόμου με ογκολίθους



Εικόνα 4.2: Διάβρωση παραλιακής οδού



Εικόνα 4.3: Διάβρωση λόγω έντονης δράσης κυματισμών



Εικόνα 4.4: Πλήρης διάβρωση της ακτής και υποχώρηση του τμήματος όπισθεν αυτής

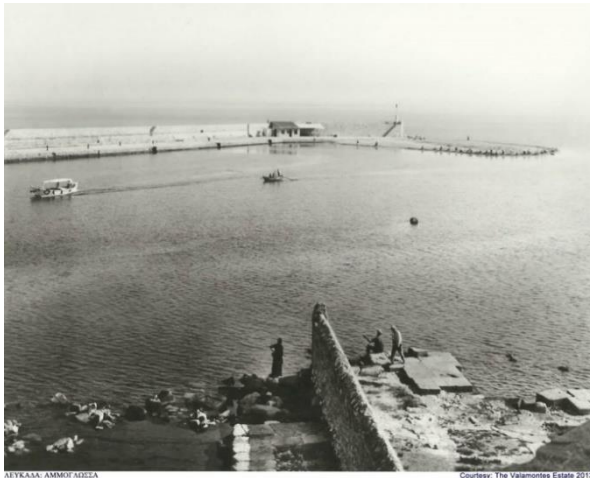


Εικόνα 4.5: Χαρακτηριστική κλίση της ακτής λόγω έντονης κυματικής ενέργειας



Εικόνα 4.6: Προστασία με Φ.Ο. διαβρωμένου τμήματος της ακτής

Περιοχή διαύλου - αμμόγλωσσα



Εικόνα 4.7: Παλαιότερη άποψη της περιοχής στην είσοδο του διαύλου (1952)



Εικόνα 4.8: Περιοχή διαύλου και χαρακτηριστική αμμόγλωσσα



Εικόνα 4.9: Αμμόγλωσσα (GoogleEarth, 2013)



Εικόνα 4.10: Αμμόγλωσσα στην είσοδο του διαύλου και παραλία Γύρας



Εικόνα 4.11: Λουόμενοι στην αμμόγλωσσα



Εικόνα 4.12: Προσάμμωση δυτικά του λιμενοβραχίονα

5. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ MIKE 21 COUPLED MODEL FM

5.1 Γενική περιγραφή

Για τη μορφοδυναμική διερεύνηση στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε το αριθμητικό μοντέλο MIKE 21 Coupled Model FM (Flexible Mesh) του Danish Hydraulic Institute (DHI) το οποίο αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα μοντελοποίησης και παρέχει τη δυνατότητα σύζευξης πολλαπλών λογισμικών μονάδων (modules). Στο πλαίσιο της παρούσας έγινε χρήση των παρακάτω: (i) του υδροδυναμικού μοντέλου Hydrodynamic Module (HD), (ii) του κυματικού μοντέλου Spectral Wave Module (SW) και (iii) του μοντέλου στερεομεταφοράς μη συνεκτικών ιζημάτων Sand Transport Module (ST). Το κυματικό και το υδροδυναμικό μοντέλο αποτελούν τις δύο βασικές υπολογιστικές μονάδες του MIKE 21 Coupled Model FM με τις οποίες γίνεται η προσομοίωση της διάδοσης των κυματισμών και των παράκτιων ρευμάτων. Με τη χρήση του μοντέλου της στερεομεταφοράς γίνεται εκτίμηση της στερεομεταφοράς στην παράκτια ζώνη καθώς και της μεταβολής της στάθμης του πυθμένα λόγω διάβρωσης ή απόθεσης. Επιπλέον, το μοντέλο της στερεομεταφοράς δίνει τη δυνατότητα να συμπεριληφθούν οι μεταβολές της μορφολογίας του πυθμένα στους υπολογισμούς των υδροδυναμικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

5.2 Υδροδυναμικό Μοντέλο - Hydrodynamic Module (HD)

Το υδροδυναμικό μοντέλο, HD Module, προσομοιώνει τις δισδιάστατες ροές στην ελεύθερη επιφάνεια και περιγράφει τις υδροδυναμικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε ανοιχτές ή κλειστές θάλασσες, στην ακτή ή μακριά από αυτή, ανεξαρτήτως μεγέθους, βαθυμετρίας ή γεωγραφικής κατάτμησης. Παρέχει τη δυνατότητα προσομοίωσης πολλών φαινομένων, όπως τα ανεμογενή και κυματογενή ρεύματα ν την παλίρροια κ.α.

Το υδροδυναμικό μοντέλο MIKE 21 HD χρησιμοποιεί πεπερασμένες διαφορές και περιγράφει τη δισδιάστατη μη μόνιμη ροή προσομοιώνοντας την ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας για κάθε σημείο του κανάβου.

Οι παράμετροι οι οποίες λαμβάνονται υπόψη κατά τους υπολογισμούς είναι οι εξής:

- Η διατμητική τάση στον πυθμένα
- Η διατμητική τάση στην ελεύθερη επιφάνεια
- Η μεταβολή της βαρομετρικής πίεσης
- Η δύναμη Coriolis
- Η διασπορά της ορμής
- Η εξάτμιση
- Η παλίρροια και η άμπωτη

- Οι πηγές και οι καταβόθρες
- Οι τάσεις ακτινοβολίας.

Τα αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δεδομένα σε άλλα υπολογιστικά εργαλεία του μοντέλου MIKE 21 COUPLED MODEL FM, όπως το φασματικό κυματικό μοντέλο SW και του μοντέλου στερεομεταφοράς ST.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου περιλαμβάνουν τα παρακάτω μεγέθη, τα οποία υπολογίζονται σε κάθε κόμβο του υπολογιστικού κανάβου και σε κάθε χρονικό βήμα:

- Ανύψωση επιφάνειας
- Απόλυτο βάθος νερού
- Ταχύτητα ρευμάτων
- Διεύθυνση ρευμάτων
- Διατμητική τάση πυθμένα
- Συντελεστής αντίστασης

5.3 Φασματικό Κυματικό Μοντέλο - Spectral Wave Module (SW)

Ο υπολογισμός των κυματικών συνθηκών στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου MIKE 21-SW (Spectral Waves), ενός σύγχρονου μέσου ανάλυσης ανεμογενών κυματισμών του Danish Hydraulic Institute (DHI).

Το μαθηματικό μοντέλο MIKE 21-SW χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της γένεσης, μετασχηματισμού και απόσβεσης των ανεμογενών κυματισμών σε ανοιχτές ή κλειστές θάλασσες, στην ακτή ή μακριά από αυτή, ανεξαρτήτως μεγέθους, βυθομετρίας ή γεωγραφικής κατάτμησης. Η πρόβλεψη των κυματικών συνθηκών μπορεί να γίνει τόσο σε μακροχρόνια όσο και σε βραχυχρόνια κλίμακα σε ακτές ή περιοχές τοπικής (κόλποι, παραλίες), περιφερειακής (π.χ. Ιόνιο, Κυκλάδες) ή ευρύτερης (π.χ. Ανατολική Μεσόγειος, Αδριατική) κλίμακας.

Το μαθηματικό μοντέλο MIKE 21-SW χρησιμοποιείται επίσης σαν ενδιάμεσο υπολογιστικό μέσο για την πρόβλεψη της στερεομεταφοράς ιζημάτων που βασίζεται στην πρόβλεψη κυματισμών, ρευμάτων και πυθμενικών επιφανειακών τάσεων κοντά σε ακτογραμμές.

Το μαθηματικό μοντέλο περιλαμβάνει δύο εναλλακτικές μαθηματικές διατυπώσεις:

- Ανάλυση πλήρους φάσματος
- Μη συζευγμένη κατευθυντική παραμετρική ανάλυση

Η ανάλυση πλήρους φάσματος βασίζεται στην εξίσωση διατήρησης της κυματικής ενέργειας, όπως περιγράφεται από τους Komen et al. (1994) [1] και Young (1999).

Η μέθοδος της μη συζευγμένης κατευθυντικής παραμετρικής ανάλυσης βασίζεται στην παραμετροποίηση της εξίσωσης διατήρησης της κυματικής ενέργειας, η οποία πραγματοποιείται στο πεδίο της συχνότητας, εισάγοντας τα αρχικά βήματα του κυματικού φάσματος σαν ανεξάρτητες μεταβλητές, κατά Holthuijsen (1989).

Οι βασικές εξισώσεις διατυπώνονται σε καρτεσιανές συντεταγμένες για μικρής κλίμακας εφαρμογές ή σε σφαιρικές συντεταγμένες για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές.

Το μοντέλο MIKE 21-SW προσομοιώνει τα ακόλουθα φυσικά φαινόμενα:

- Ανάπτυξη ανεμογενών κυματισμών και ρεστίας
- Μη γραμμική αλληλεπίδραση κυματισμών
- Μείωση της κυματικής ενέργειας λόγω της επιφανειακής θραύσης κυματισμών
- Μείωση της κυματικής ενέργειας λόγω τριβής στον πυθμένα
- Μείωση της κυματικής ενέργειας λόγω της θραύσης κυματισμών στα ρηχά νερά
- Διάθλαση και ρήχωση λόγω μεταβολής της βυθομετρίας
- Αλληλεπίδραση κυματισμών και ρευμάτων
- Επίδραση του χρονικά μεταβαλλόμενου βάθους.

Η διακριτοποίηση της εξίσωσης διατήρησης της ενέργειας στο χωρικό και φασματικό πεδίο γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων όγκων. Στο χώρο, η επίλυση των εξισώσεων πραγματοποιείται με χρήση μιας τεχνικής μη δομημένου πλέγματος. Η χρονική ολοκλήρωση πραγματοποιείται με μία μέθοδο πολλαπλού βήματος (Booij et al 1999).

Το μοντέλο MIKE 21-SW χρησιμοποιείται για την ταυτόχρονη πρόβλεψη των κυματικών συνθηκών στα «ανοικτά» και κοντά στην ακτή, με χρήση αραιού και πυκνωμένου κανάβου, προσαρμοσμένου στην ακτογραμμή και τη βυθομετρία. Το μοντέλο βαθμονομείται με διαθέσιμες μετρήσεις ανέμων, κυμάτων και παλιρροιών.

Τα δεδομένα υπολογισμών του μαθηματικού μοντέλου MIKE 21-SW έχουν ως ακολούθως:

α) Βυθομετρικά στοιχεία

Εισάγονται τα διαθέσιμα στοιχεία βυθομετρίας της εγγύς και της ευρύτερης περιοχής ώστε να περιλαμβάνονται όλες οι διαδρομές και διευθύνσεις ανάπτυξης κυματισμών που προσπίπτουν στην περιοχή του έργου. Με βάση αυτά τα στοιχεία συντίθενται το σύστημα συντεταγμένων και ο υπολογιστικός κανάβος του υπό μελέτη έργου.

β) Ανεμολογικά δεδομένα

Τα διαθέσιμα ανεμολογικά στοιχεία αναλύονται στατιστικά για να προσδιοριστεί με αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου. Επίσης προσεγγίζεται στατιστικά η διάρκεια πνοής ανέμου (προσομοίωσης).

γ) Στοιχεία παλιρροιών

Αναλύονται τα στοιχεία από τον εγγύτερο παλιρροιογράφο.

δ) Στοιχεία ρευμάτων

Αναλύονται τα διαθέσιμα στοιχεία ρευμάτων.

Στην συνέχεια καθορίζεται ο τύπος της μαθηματικής διατύπωσης όπως και η τεχνική διακριτοποίησης και επίλυσης στο πεδίο συχνοτήτων και κατεύθυνσης κυματισμού. Καθορίζονται επίσης οι εσωτερικές αριθμητικές παράμετροι και συντελεστές για την προσέγγιση της μη γραμμικής μεταφοράς ενέργειας, της απώλειας κυματικής ενέργειας λόγω της θραύσης των κυματισμών στα βαθιά και ρηχά νερά και της τριβής στον πυθμένα. Τέλος καθορίζονται οι αρχικές κυματικές συνθήκες, όπως και οι συνθήκες στα κλειστά και ανοιχτά όρια του υπολογιστικού κανάβου.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου περιλαμβάνουν τα παρακάτω μεγέθη, τα οποία υπολογίζονται σε κάθε κόμβο του υπολογιστικού κανάβου και σε κάθε χρονικό βήμα:

- Το χαρακτηριστικό ύψος κυματισμού
- Η περίοδος αιχμής του κυματισμού
- Η μέση περίοδος του κυματισμού
- Η μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης
- Η περίοδος κυματικής ενέργειας
- Η κατεύθυνση κορυφής του κυματισμού
- Η μέση κατεύθυνση κυματισμού
- Η τυπική απόκλιση ανά κατεύθυνση
- Το ύψος κυματισμού ανά κατεύθυνση
- Ο τανυστής μεταφοράς ενέργειας κυματισμού.

5.4 Μοντέλο Στερεομεταφοράς Μη Συνεκτικών Ιζημάτων - Sand Transport Module (ST)

Το μοντέλο της στερεομεταφοράς μη συνεκτικών ιζημάτων, ST Module, λαμβάνει υπόψη τη μεταφορά του υλικού του πυθμένα είτε επαφή με αυτόν (bed load) είτε ως αιωρούμενο φορτίο (suspended load) και υπολογίζει τον ρυθμό μεταφοράς των εν λόγω μη συνεκτικών ιζημάτων λόγω της δράσης των ρευμάτων, των θαλάσσιων κυματισμών ή συνδυασμού των δύο. Επίσης, υπολογίζει τον ρυθμό μεταβολής του βάθους, εξαιτίας της μεταβολής του βάθους του πυθμένα.

Για την χρησιμοποίηση του μοντέλου είναι απαραίτητη η συνδυαστική του δράση με τα άλλα υπολογιστικά εργαλεία του μοντέλου, και συγκεκριμένα με το υδροδυναμικό μοντέλο και το κυματικό μοντέλο, τα οποία και παρέχουν τις απαιτούμενες πληροφορίες για την τελική προσομοίωση της στερεομεταφοράς.

Επισημαίνεται ότι το μοντέλο της στερεομεταφοράς μη συνεκτικών ιζημάτων, ST Module, χρησιμοποιείται για να υποδεικνύει τις πιθανές θέσεις απόθεσης και διάβρωσης και να δίνει μια αρχική προσέγγιση για τον ρυθμό με τον οποίο λαμβάνουν χώρα οι ως άνω διεργασίες.

5.5 Ευέλικτο Πλέγμα - Flexible Mesh

Στο MIKE 21 Coupled Model FM η βαθυμετρία εισάγεται στο μοντέλο υπό μορφή ευέλικτου πλέγματος τριγωνικών ή ορθογωνικών στοιχείων (Flexible Mesh). Το πλέγμα αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιτύχει υψηλή ανάλυση σε περιοχές που απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στα αποτελέσματα δημιουργώντας στοιχεία μικρού εμβαδού. Σε περιοχές όπου δεν απαιτείται λεπτομερής ανάλυση διαμορφώνονται στοιχεία μεγαλύτερης επιφάνειας και παράλληλα περιορίζεται σε σημαντικό βαθμό ο χρόνος των υπολογισμών. Αυτό είναι και το βασικό πλεονέκτημα του ευέλικτου πλέγματος έναντι του ορθογωνικού κανάβου που χρησιμοποιείται σε άλλα μοντέλα.

6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ MIKE 21 COUPLED MODEL FM

Για την προσομοίωση των υδροδυναμικών συνθηκών και των συνθηκών στερεομεταφοράς στην περιοχή μελέτης ακολουθήθηκε μια σειρά βημάτων που περιελάμβανε τρεις διακριτές ενότητες, οι οποίες και καθορίζουν την αλληλουχία των ενεργειών.

Πιο συγκεκριμένα, έχουμε τα εξής:

1. Συλλογή όλων των απαιτούμενων στοιχείων του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης τα οποία καθορίζουν τις συνθήκες της ακτομηχανικής δράσης που λαμβάνει χώρα στην περιοχή, ήτοι:
 - ο Την τοπογραφική αποτύπωση της παράκτιας περιοχής,
 - ο Τη βαθυμετρική αποτύπωση της θαλάσσιας περιοχής,
 - ο Το ανεμολογικό καθεστώς της περιοχής μελέτης,
 - ο Τα ωκεανογραφικά στοιχεία της περιοχής μελέτης,
 - ο Το ιζηματολογικό καθεστώς του παράκτιου και θαλάσσιου περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης καικαι την κατάλληλη επεξεργασία των ανωτέρω στοιχείων ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα για την εισαγωγή τους στο μοντέλο προσομοίωσης των μορφοδυναμικών φαινομένων.
2. Τη δημιουργία του κατάλληλου υπόβαθρου βαθυμετρίας της περιοχής στο μοντέλο και την οριοθέτησή της, χρησιμοποιώντας το σύνολο των πληροφοριών της τοπογραφικής και βυθομετρικής αποτύπωσης. Ακόμη, τη δημιουργία του κάναβου πάνω στον οποίο θα γίνει η ανάλυση και προσομοίωση βάση των λοιπών στοιχείων που αναφέρθηκαν (ιζηματολογικά, ανεμολογικά, ωκεανογραφικά, κλπ.) και
3. Την υπολογιστική διαδικασία, η οποία θα περιλαμβάνει διακριτά μεταξύ τους σενάρια, τόσο όσον αφορά την ένταση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα και διαμορφώνουν το μορφοδυναμικό προφίλ της περιοχής μελέτης (επικρατούντες άνεμοι και κυματισμοί, ένταση φαινομένων, περίοδος επαναφοράς, κλπ.), όσο και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ανάγλυφου της περιοχής και των παρεμβάσεων που αυτό έχει δεχτεί.

6.1. Συλλογή στοιχείων

Τοπογραφικά στοιχεία

Το βασικό στοιχείο όσον αφορά την τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής μελέτης αφορά στην ακτογραμμή της περιοχής, δηλαδή στο παράκτιο μέτωπο από την περιοχή του Αγίου Ιωάννη μέχρι και ανατολικά της εισόδου του Διαύλου Λευκάδας.

Η περιοχή αυτή αφορά συνολικά σε ένα ανάπτυγμα ακτογραμμής άνω των 10km, κάτι που εκ των πραγμάτων καθιστά δύσκολη την ύπαρξη ψηφιοποιημένων τοπογραφικών στοιχείων για το σύνολο της περιοχής. Για το λόγο αυτό, τα στοιχεία ελήφθησαν κυρίως από την ψηφιοποίηση ορθοφωτοχαρτών του κτηματολογίου και εμπλουτίστηκαν στη συνέχεια με στοιχεία από επί μέρους τοπογραφικές αποτυπώσεις διαφόρων μελετών που έχουν γίνει στην περιοχή (Εμπλουτισμός παραλίας Αγίου Ιωάννη, Διαπλάτυνση Διαύλου Λευκάδας, κ.α.).

Βαθυμετρικά στοιχεία

Τα βαθυμετρικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης ελήφθησαν από διάφορες πηγές και αφορούν το σύνολο της θαλάσσιας έκτασης που επηρεάζει την περιοχή μελέτης κυματικά. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία ελήφθησαν από:

- Βαθυμετρικές αποτυπώσεις από μελέτες του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. (2003-06), στα πλαίσια των οποίων είχαν διενεργηθεί επί τόπου μετρήσεις στις περιοχές του Αγ. Ιωάννη, της Γύρας και της εισόδου του Διαύλου Λευκάδας,
- Την ψηφιοποίηση χαρτών της Υ.Υ. και
- Μελέτες τεχνικών έργων που έχουν γίνει πρόσφατα στην περιοχή μελέτης (Εμπλουτισμός παραλίας Αγίου Ιωάννη, Διαπλάτυνση Διαύλου Λευκάδας, κ.α.) και

Ανεμολογικά και κυματικά στοιχεία

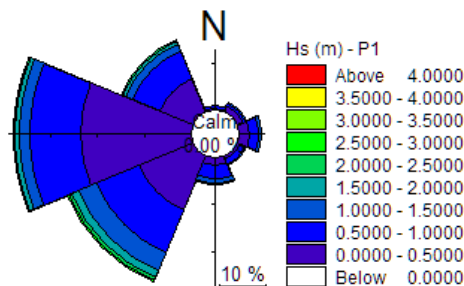
Τα ανεμολογικά και κυματικά στοιχεία αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για τον προσδιορισμό των κυματικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή. Για την συγκεκριμένη κατηγορία χρησιμοποιήθηκαν τα διαθέσιμα στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών της Ε.Μ.Υ. σε Άκτιο και Λευκάδα και κυρίως, τα στοιχεία του «Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών» (Soukissian et al. 2007), που καλύπτουν χρονική περίοδο 10 ετών (1995-2004). Στο Σχήμα 6.1α σημειώνονται οι θέσεις των σημείων με τα δεδομένα του «Άτλαντα» που βρίσκονται στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή της βόρειας Λευκάδας. Από αυτά επιλέχθηκαν τρία σημεία (P1, P2 και P5, Πίνακας 6.1), τα δεδομένα των οποίων θα χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των οριακών συνθηκών του μοντέλου (Σχήμα 6.1β). Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανεμολογική και κυματική ανάλυση είναι η ταχύτητα και η μέση διεύθυνση πνοής του ανέμου, το σημαντικό ύψος κύματος, η περίοδος αιχμής και η μέση διεύθυνση διάδοσης του κυματισμού.

Πίνακας 6.1: Γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων των κυματικών και ανεμολογικών δεδομένων που επιλέχθηκαν από τον «Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών».

Σημεία κυματικών και ανεμολογικών δεδομένων	Συντεταγμένες	
P1	38°57'0.00"N	20°30'0.00"E
P2	38°51'0.00"N	20°30'0.00"E
P5	38°57'0.00"N	20°36'0.00"E



Σχήμα 6.1α: Θέσεις σημείων ανεμολογικών και κυματικών δεδομένων (Πηγή: «Άτλαντας Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών», Soukissian et al. 2007).



Σχήμα 6.1β: Χαρακτηριστικό ροδόγραμμα κυματικών δεδομένων σημείου P1

Ιζηματολογικά στοιχεία

Τα ιζηματολογικά στοιχεία αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στις μελέτες στερεομεταφοράς, καθώς είναι από τους βασικούς παράγοντες που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά που λαμβάνει το φαινόμενο ανάλογα με το είδος, το μέγεθος και τη «διαθεσιμότητα» (στήλη) του ιζήματος στην περιοχή μελέτης.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από επιτόπιες δειγματοληψίες που έγιναν στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων και μελετών του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. στην περιοχή μελέτης κατά το παρελθόν. Τα διαθέσιμα στοιχεία αφορούν μια μεγάλη θαλάσσια περιοχή, από τον Άγιο Ιωάννη μέχρι και την περιοχή του Διαύλου και περιλαμβάνουν δείγματα ιζημάτων τόσο στην παράκτια ζώνη όσο και σε περιοχές με μεγαλύτερα βάθη (έως -12m) (βλ. Κεφάλαιο 3).

6.2. Δημιουργία υπόβαθρου βαθυμετρίας υπολογιστικού μοντέλου

Η δημιουργία του υπόβαθρου βαθυμετρίας στο περιβάλλον του υπολογιστικού προγράμματος αποτελεί την βασική προϋπόθεση για την δημιουργία του κάναβου του μοντέλου και την προσομοίωση των ακτομηχανικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης. Μετά την συλλογή, αξιολόγηση και κατάλληλη επεξεργασία όλων των δεδομένων που αναφέρθηκαν προηγουμένως, γίνεται η εισαγωγή τους στο υπολογιστικό πρόγραμμα με σκοπό την δημιουργία του υπόβαθρου της περιοχής μελέτης.

Αρχικά εισάγονται τα τοπογραφικά στοιχεία (ακτογραμμή), γεωαναφερμένα στο κατάλληλο σύστημα αναφοράς, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό την προς μελέτη περιοχή και ορίζονται τα όρια (boundaries) που περικλείουν την περιοχή μελέτης στο θαλάσσιο χώρο.

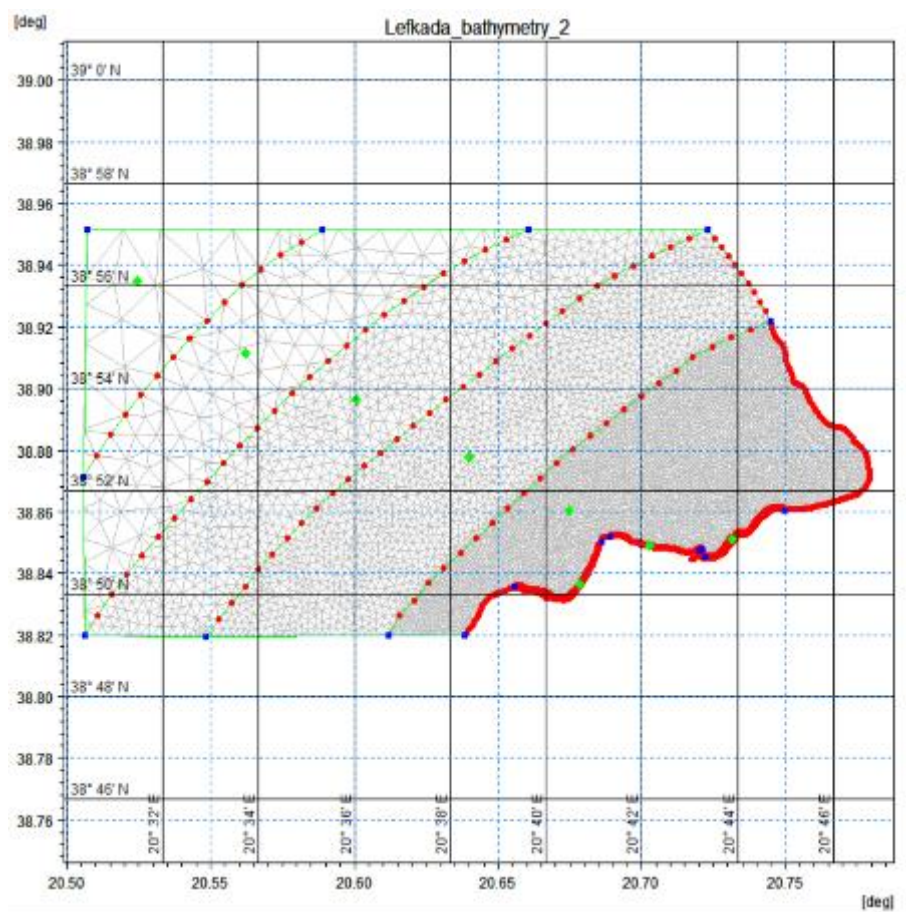
Στη συνέχεια, εισάγονται στο μοντέλο τα βυθομετρικά στοιχεία της περιοχής υπό μορφή ευέλικτου πλέγματος τριγωνικών στοιχείων (Flexible Mesh). Το πλέγμα αυτό δίνει τη δυνατότητα να επιτευχθεί υψηλή ανάλυση σε περιοχές που απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στα αποτελέσματα δημιουργώντας στοιχεία μικρού εμβαδού. Σε περιοχές όπου δεν απαιτείται λεπτομερής ανάλυση διαμορφώνονται στοιχεία μεγαλύτερης επιφάνειας και παράλληλα περιορίζεται σε σημαντικό βαθμό ο χρόνος των υπολογισμών. Αυτό επιτυγχάνεται ορίζοντας τις χαρακτηριστικές περιοχές πολυγώνων όπου δημιουργούνται τα αντίστοιχα πλέγματα του κάναβου και ορίζεται ο βαθμός της πύκνωσης αυτών αναλόγως της εγγύτητας στην παράκτια περιοχή, όπου λαμβάνει χώρα η στερεομεταφορά και απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια.

Μετά το πέρας των παραπάνω, γίνεται η παραγωγή του υπολογιστικού κάναβου του μοντέλου (βλ. Σχήμα 6.2) και του χάρτη βυθομετρίας μέσω γραμμικής παρεμβολής των βυθομετρικών

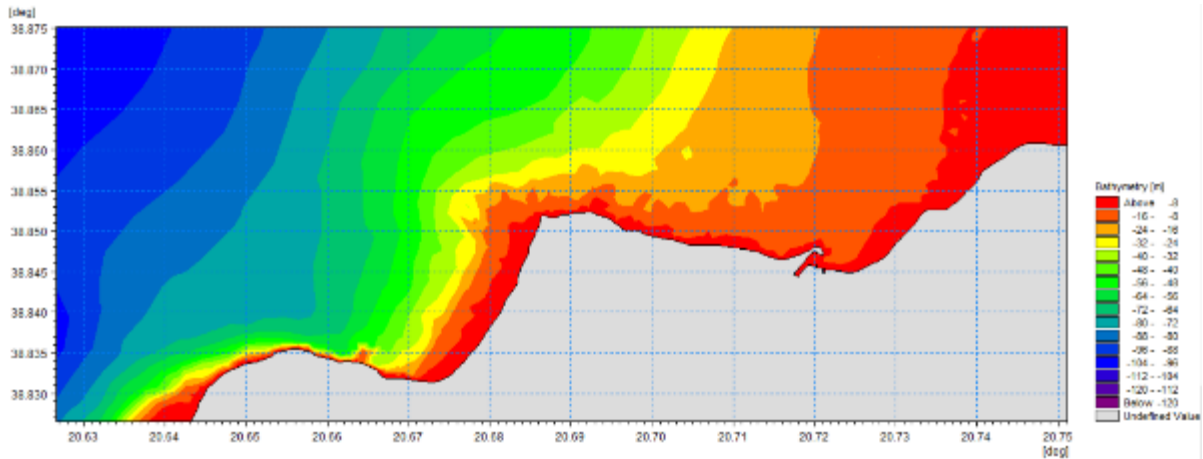
στοιχείων (βλ. Σχήμα 6.3), ολοκληρώνοντας έτσι την πρώτη και βασική φάση δημιουργίας του υπολογιστικού υπόβαθρου της περιοχής μελέτης

Επόμενο στάδιο της διαδικασίας είναι ο καθορισμός των ιζηματολογικών χαρακτηριστικών σε ζώνες ή ανά περιοχή και η παραγωγή κατάλληλης βάσης δεδομένων για την επεξεργασία των στοιχείων στερεομεταφοράς.

Με τα παραπάνω, ολοκληρώνεται η διαδικασία δημιουργίας του υπόβαθρου και του κανάβου του μοντέλου που αποτελεί πολύ σημαντικό κομμάτι για την επιτυχή προσομοίωση των μορφοδυναμικών φαινομένων στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 6.2: Υπολογιστικός κανάβος μαθηματικού μοντέλου MIKE21 HD/SW –πλέγμα τριγωνικών στοιχείων (Flexible Mesh) και όρια περιοχής μελέτης (boundaries)



Σχήμα 6.3: Βαθυμετρία περιοχής μελέτης

6.3. Υπολογιστική διαδικασία

Η υπολογιστική διαδικασία περιλαμβάνει την πρόβλεψη της γένεσης, μετασχηματισμού και απόσβεσης των ανεμογενών κυματισμών στην ανοιχτή θάλασσα, αλλά και κοντά στην ακτή, βάση του μεγέθους της περιοχής, της βαθυμετρίας και των ανεμολογικών/κυματικών χαρακτηριστικών της, καθώς και την πρόβλεψη της στερεομεταφοράς ιζημάτων που βασίζεται στην πρόβλεψη κυματισμών, ρευμάτων και πυθμενικών επιφανειακών τάσεων κοντά στην ακτογραμμή. Η διαδικασία περιλαμβάνει διαφορετικά κυματικά σενάρια τα επιμέρους χαρακτηριστικά των οποίων αναλύονται στη συνέχεια.

Για την προσομοίωση της στερεομεταφοράς προσδιορίζονται αντιπροσωπευτικά κυματικά σενάρια τα οποία είναι ενεργειακά ισοδύναμα με το ετήσιο κλίμα της περιοχής. Συγκεκριμένα, για την επιλογή των αντιπροσωπευτικών κυματισμών χρησιμοποιείται η έννοια της ροής κυματικής ενέργειας, η οποία είναι ανάλογη της στερεομεταφοράς που προκαλείται από τους αντίστοιχους κυματισμούς. Η ροή ενέργειας είναι ανάλογη του γινομένου $H_i^2 \cdot T_i$, όπου H_i και T_i είναι το ύψος και η περίοδος του κύματος, ενώ η πραγματική ροή ενέργειας κάθε κυματικού γεγονότος υπολογίζεται από το γινόμενο της ροής ενέργειας επί την ετήσια συχνότητα εμφάνισης, f_i , του συγκεκριμένου γεγονότος, όπως αυτή προκύπτει από τη στατιστική ανάλυση της χρονοσειράς των δεδομένων.

Ως αντιπροσωπευτικός κυματισμός λαμβάνεται εκείνος που αντιστοιχεί στη μέγιστη πραγματική ροή ενέργειας κατά τη διεύθυνση που αυτός επενεργεί. Η συχνότητα ανά έτος που πρέπει να επενεργεί ο αντιπροσωπευτικός κυματισμός για να προκαλέσει στερεομεταφορά ισοδύναμη με αυτήν που αντιστοιχεί σε όλους τους κυματισμούς που ανήκουν στην ίδια ομάδα διευθύνσεων, προκύπτει από τον λόγο της συνολικής ροής ενέργειας επί την κάθε συχνότητα πνοής προς τη μέγιστη ροή ενέργειας:

Στην συγκεκριμένη περίπτωση και για την εκτέλεση των υπολογισμών δημιουργήθηκαν διαφορετικά σενάρια με βάση την ένταση των φαινομένων και τη διάρκεια τους. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν τρία διαφορετικά σενάρια βάσει των κυματικών συνθηκών, τα οποία αφορούν σε κυματισμούς που επηρεάζουν άμεσα την περιοχή μελέτης βάσει του προσανατολισμού της και του χαρακτηριστικού μήκους ανάπτυξης κυματισμού (βλ. Σχήμα 3.12). Η διεύθυνση των κυματισμών που επιλέγει ανά σενάριο ήταν νοτιοδυτική, βορειοδυτική και βορειοανατολική.

Οι επικρατούντες άνεμοι στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με τα δεδομένα του Μ.Σ. Λευκάδας είναι οι ΒΔ, ενώ σύμφωνα με στοιχεία του Μ.Σ. Πρέβεζας, παρατηρούνται άνεμοι Δ και ΝΔ διεύθυνσης με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης. Όσον αφορά στους κυματισμούς, μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης παρουσιάζουν οι Δ, ακολουθούμενοι από τους ΝΔ και τους ΒΔ. Τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν από την στατιστική ανάλυση των κυματικών δεδομένων του «Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών» (Soukissian et al. 2007). Η επικράτηση Δ και ΒΔ κυματισμών σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό της περιοχής, εξηγεί σε μεγάλο βαθμό και την κατεύθυνση που έχει η στερεομεταφορά που λαμβάνει χώρα στην περιοχή μελέτης, η οποία εκδηλώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Ωστόσο, για λόγους πληρότητας εξετάστηκαν και άλλα σενάρια, που αφορούν και σε άλλες συνθήκες στην περιοχή, με μικρότερη συχνότητα εμφάνισης και υποδεέστερη δυναμική.

Τα σενάρια που εξετάστηκαν και για τα οποία έγινε προσομοίωση με το υδροδυναμικό μοντέλο Hydrodynamic Module και τα άλλα εργαλεία (φασματικό κυματικό μοντέλο SW, μοντέλο στερεομεταφοράς ST) του υπολογιστικού προγράμματος MIKE Zero είναι τα εξής:

- Σενάριο 1 – Κυματισμοί Νοτιοδυτικής διεύθυνσης
- Σενάριο 2 – Κυματισμοί Βορειοδυτικής διεύθυνσης
- Σενάριο 3 – Κυματισμοί Βορειοανατολικής διεύθυνσης

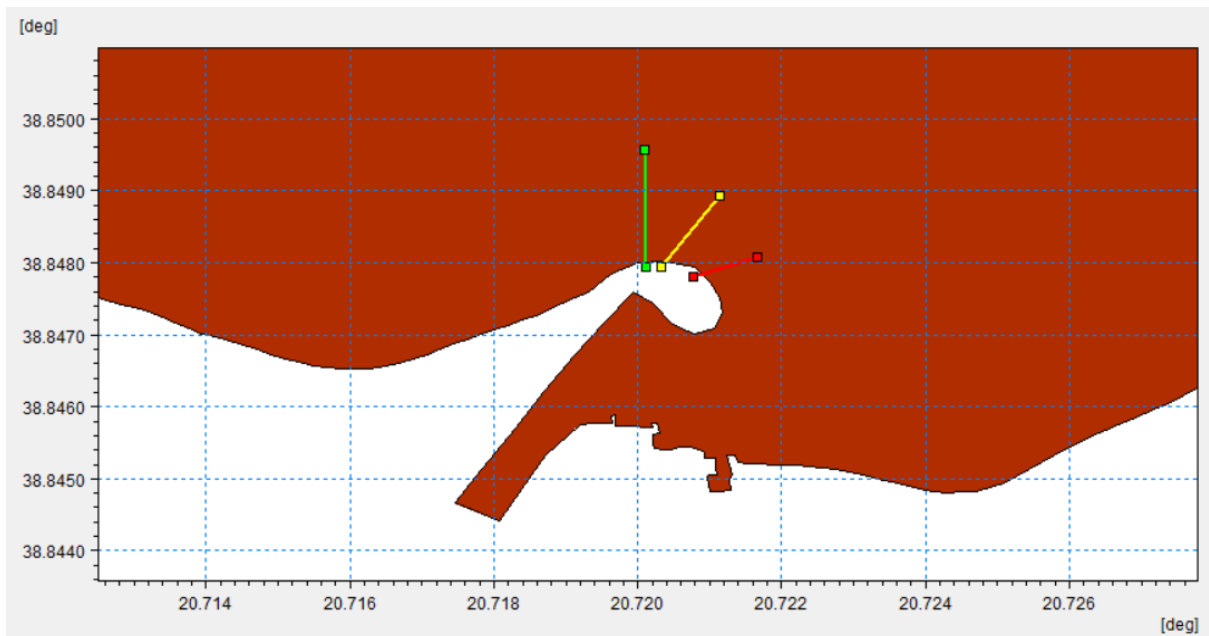
Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των σεναρίων αυτών, όπως το αντιπροσωπευτικό ύψος κύματος, η περίοδος επαναφοράς, η γωνία πρόσπτωσης, κ.α. αναφέρονται αναλυτικά στον Πίνακα 6.1.

Για το Σενάριο 2, που προσομοιώνει τους βορειοδυτικούς κυματισμούς στην περιοχή μελέτης, και που δημιουργεί τα εντονότερα φαινόμενα στερεομεταφοράς, ελέγχθηκε και η περίπτωση με την προσθήκη των ύφαλων αντιπροσαμμωτικών προβόλων που κατασκευάστηκαν πρόσφατα στο άκρο του λιμενοβραχίονα στην περιοχή του διαύλου. Έτσι, θα μπορέσουμε να παρατηρήσουμε τη δράση των υδροδυναμικών φαινομένων και των μορφοδυναμικών διεργασιών που είναι ιδιαίτερα έντονες στο συγκεκριμένο σημείο και με τα νέα έργα. Οι τρεις

ύφαλοι πρόβολοι έχουν στάθμη στέψης στα -1.0m από τη μέση στάθμη θάλασσας και οι θέσεις τους φαίνονται στο Σχήμα 6.4.

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά κυματικών σεναρίων προσομοίωσης

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Διεύθυνση κυματισμού	ΝΔ	ΒΔ	ΒΑ
Σημαντικό ύψος κύματος H_s (m)	1.75	1.25	1.75
Περίοδος αιχμής T_s (s)	8.25	8.25	5.25
Μέση κατεύθυνση κύματος MWD (deg)	240	300	75
Χρόνος προσομοίωσης (μέρες)	32	6.8	0.5
Βήμα προσομοίωσης (s)	1800	1800	1800
Αριθμός βημάτων	1536	413	24



Σχήμα 6.4: Διάταξη ύφαλων αντιπροσαμμητικών προβόλων στην είσοδο του διαύλου Λευκάδας

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ MIKE 21 COUPLED MODEL FM

Στο παρών κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης των υδροδυναμικών συνθηκών στην περιοχή μελέτης, στις βόρειες ακτές της ν. Λευκάδας. Για κάθε ένα από τα κυματικά σενάρια τα οποία προσομοιώθηκαν παρουσιάζονται:

1. οι κυματικές συνθήκες,
2. οι υδροδυναμικές συνθήκες και
3. η στερεομεταφορά.

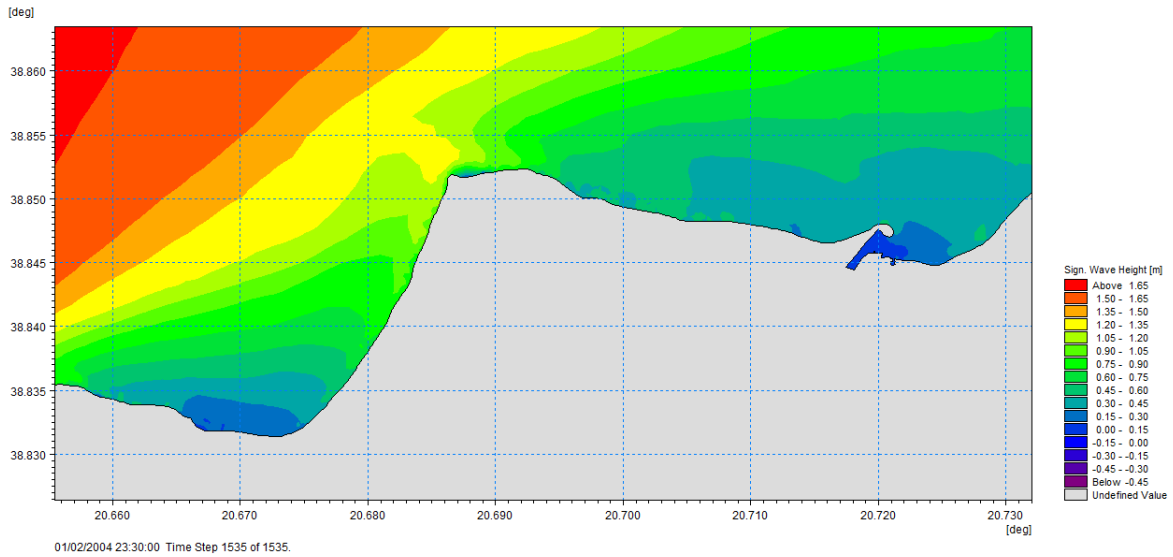
Στην κατηγορία των κυματικών συνθηκών περιλαμβάνονται τα κυματικά αποτελέσματα της προσομοίωσης, δηλαδή το σημαντικό ύψος κύματος, το μέγιστο ύψος κύματος, η μέση περίοδος και η μέση κατεύθυνση κύματος. Στις υδροδυναμικές συνθήκες περιγράφεται η διεύθυνση και η ταχύτητα των κυματογενών ρευμάτων που αναπτύσσονται στην θαλάσσια περιοχή, ενώ τέλος, στην μορφοδυναμική συμπεριφορά της περιοχής μελέτης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αλλαγής του πυθμένα λόγω στερεομεταφοράς και ο συνολικός όγκος αυτής.

7.1. Κυματικές συνθήκες

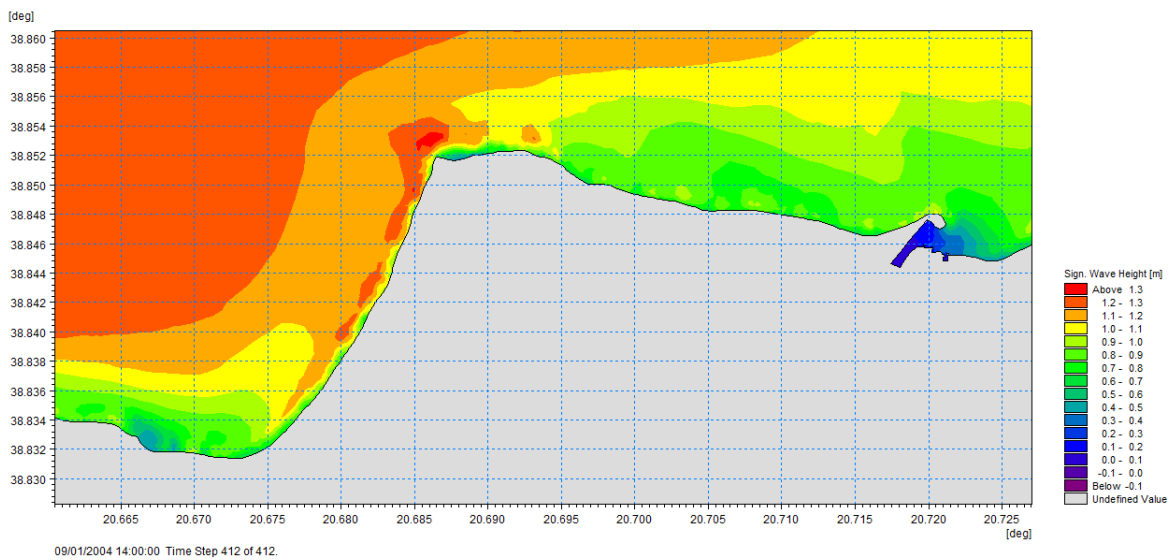
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης των κυματικών συνθηκών των τριών κυματικών σεναρίων και η συνολική τους επίδραση σε ετήσια αναφορά, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα προσομοίωσης κυματικών συνθηκών

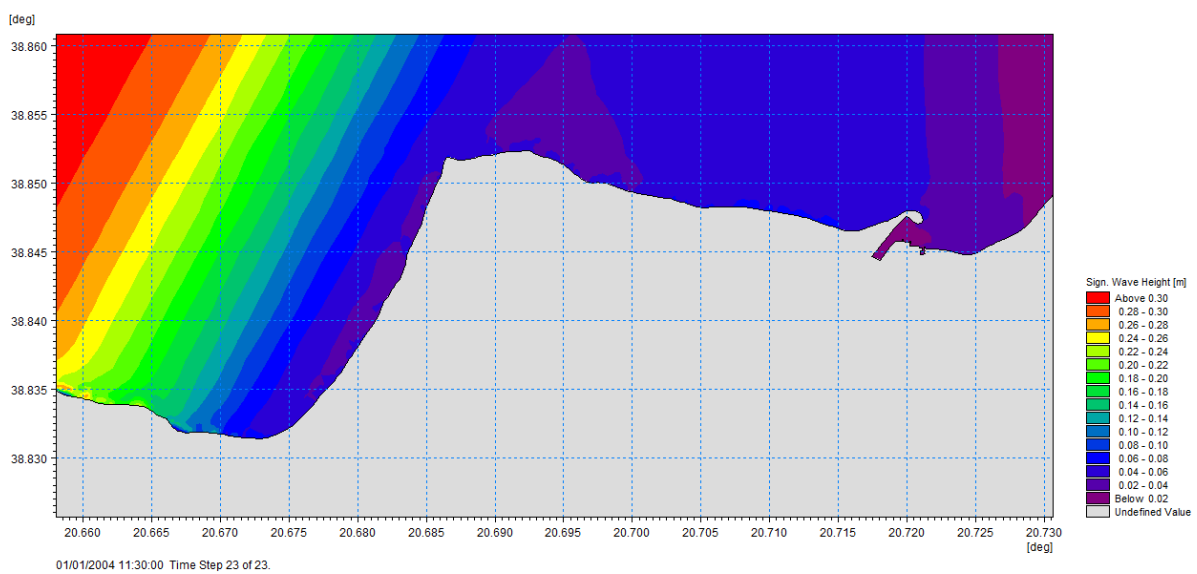
Σχήμα 7.1	Σημαντικό ύψος κύματος, Σενάριο 1
Σχήμα 7.2	Σημαντικό ύψος κύματος, Σενάριο 2
Σχήμα 7.3	Σημαντικό ύψος κύματος, Σενάριο 3
Σχήμα 7.4	Μέγιστο ύψος κύματος, Σενάριο 1
Σχήμα 7.5	Μέγιστο ύψος κύματος, Σενάριο 2
Σχήμα 7.6	Μέγιστο ύψος κύματος, Σενάριο 3
Σχήμα 7.7	Μέση περίοδος T01, Σενάριο 1
Σχήμα 7.8	Μέση περίοδος T01, Σενάριο 2
Σχήμα 7.9	Μέση περίοδος T01, Σενάριο 3
Σχήμα 7.11	Μέση κατεύθυνση κύματος (MWD), Σενάριο 1
Σχήμα 7.11	Μέση κατεύθυνση κύματος (MWD), Σενάριο 2
Σχήμα 7.12	Μέση κατεύθυνση κύματος (MWD), Σενάριο 3



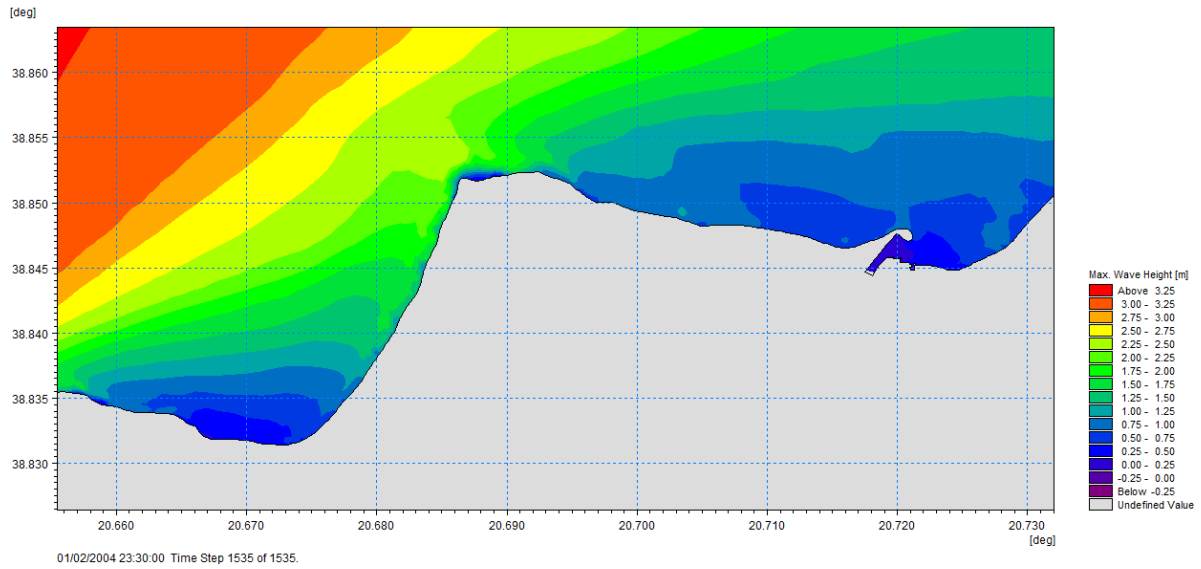
Σχήμα 7.1: Σημαντικό ύψος κύματος, Σενάριο 1



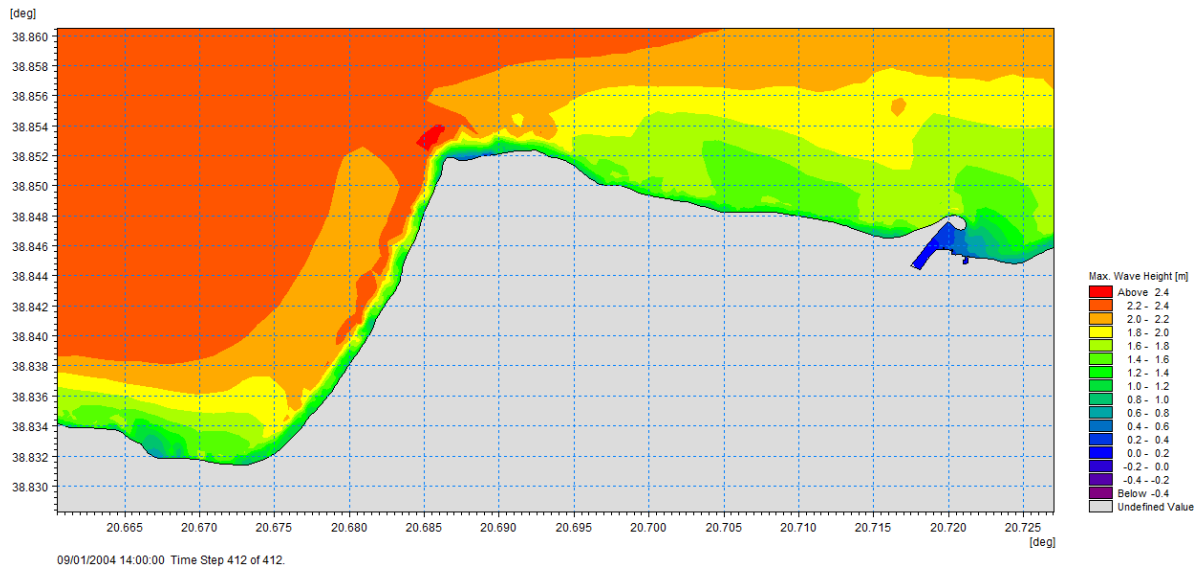
Σχήμα 7.2: Σημαντικό ύψος κύματος, Σενάριο 2



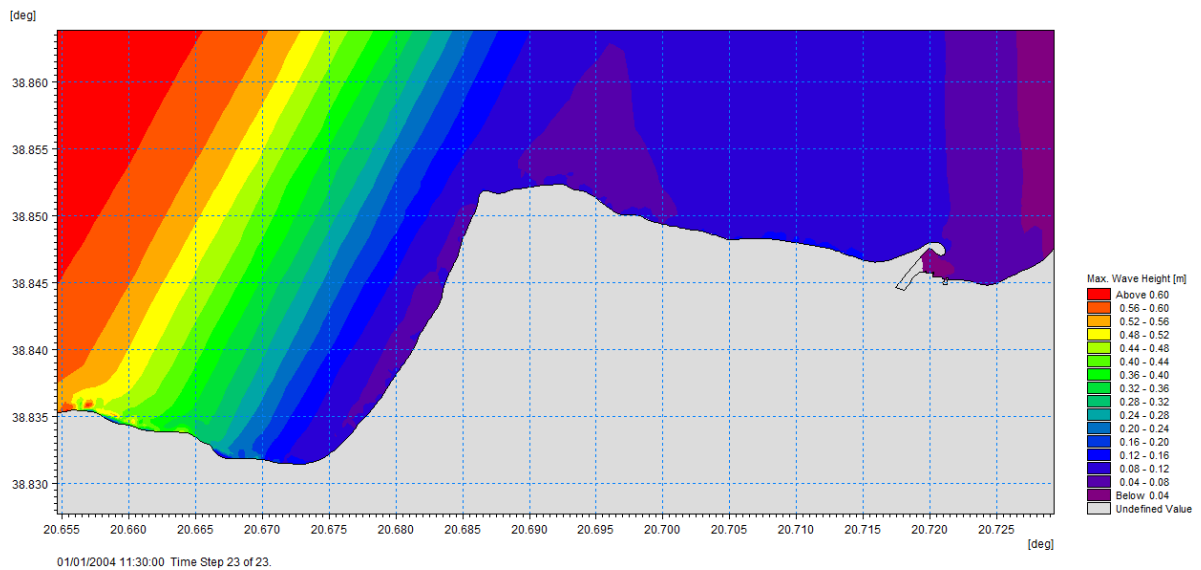
Σχήμα 7.3: Σημαντικό ύψος κύματος, Σενάριο 3



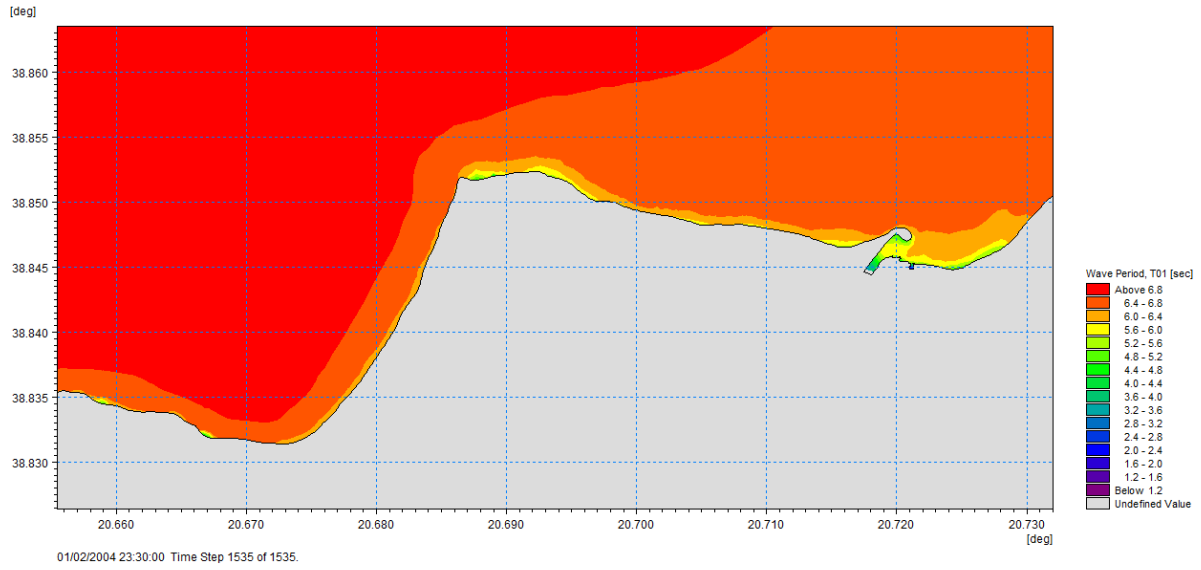
Σχήμα 7.4: Μέγιστο ύψος κύματος, Σενάριο 1



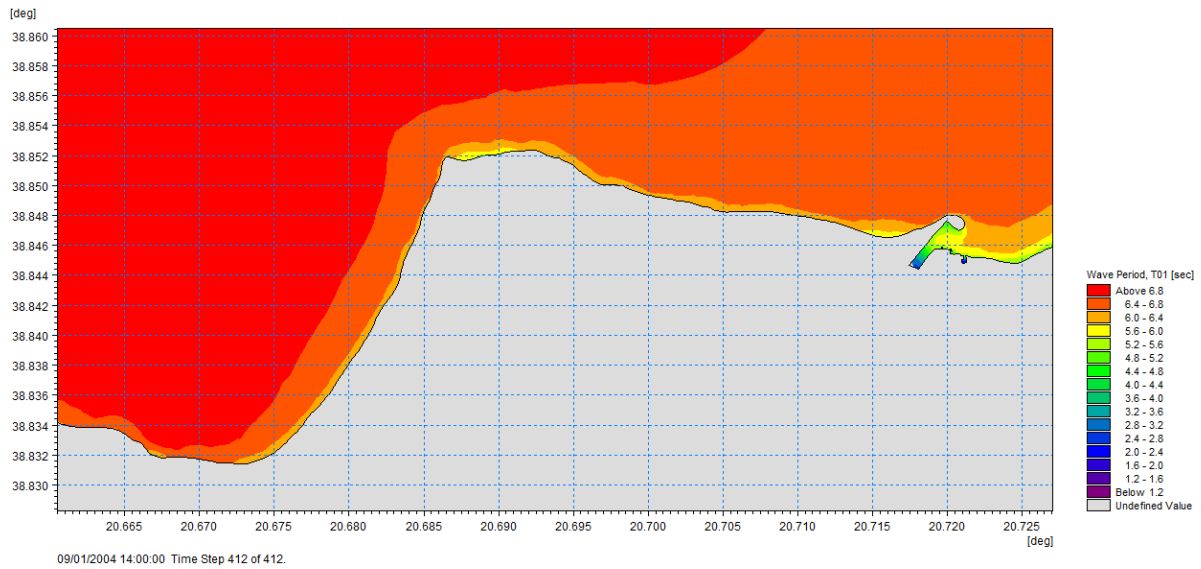
Σχήμα 7.5: Μέγιστο ύψος κύματος, Σενάριο 2



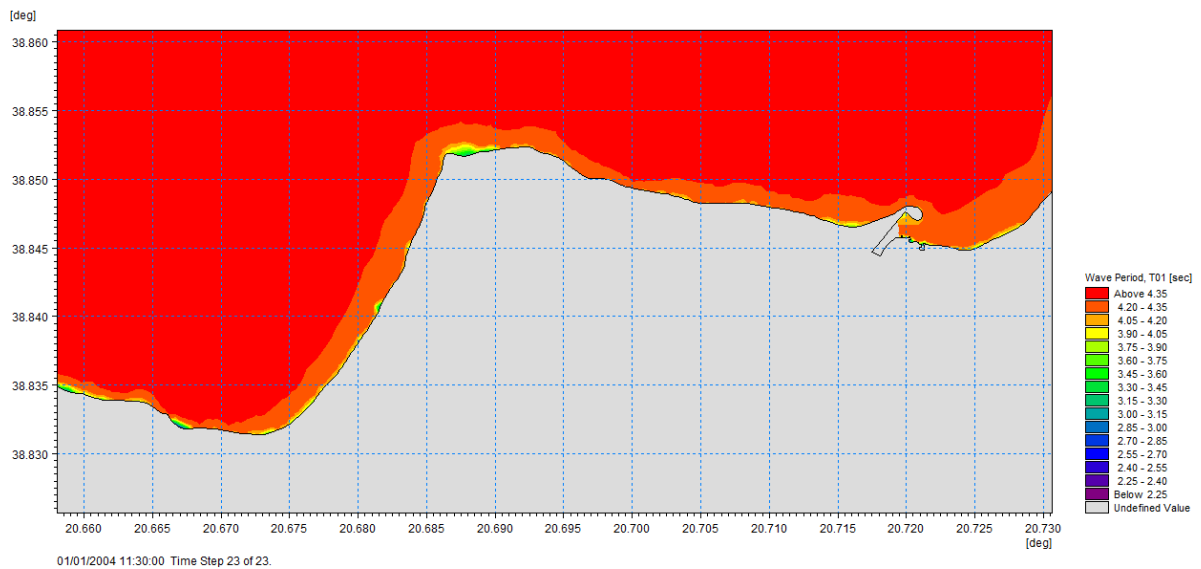
Σχήμα 7.6: Μέγιστο ύψος κύματος, Σενάριο 3



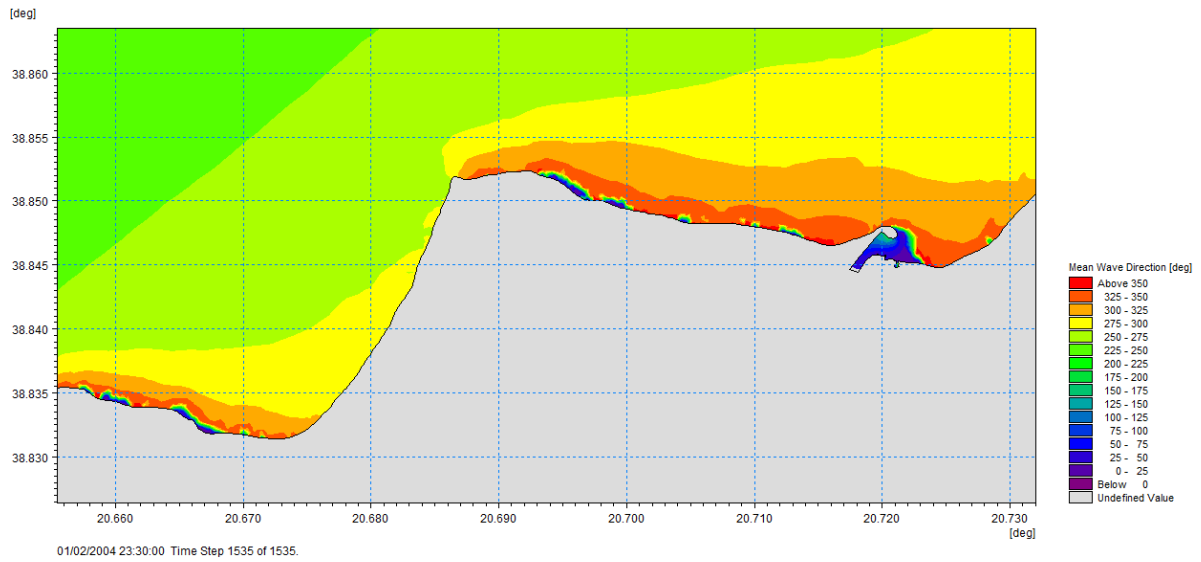
Σχήμα 7.7: Μέση περίοδος T01, Σενάριο 1



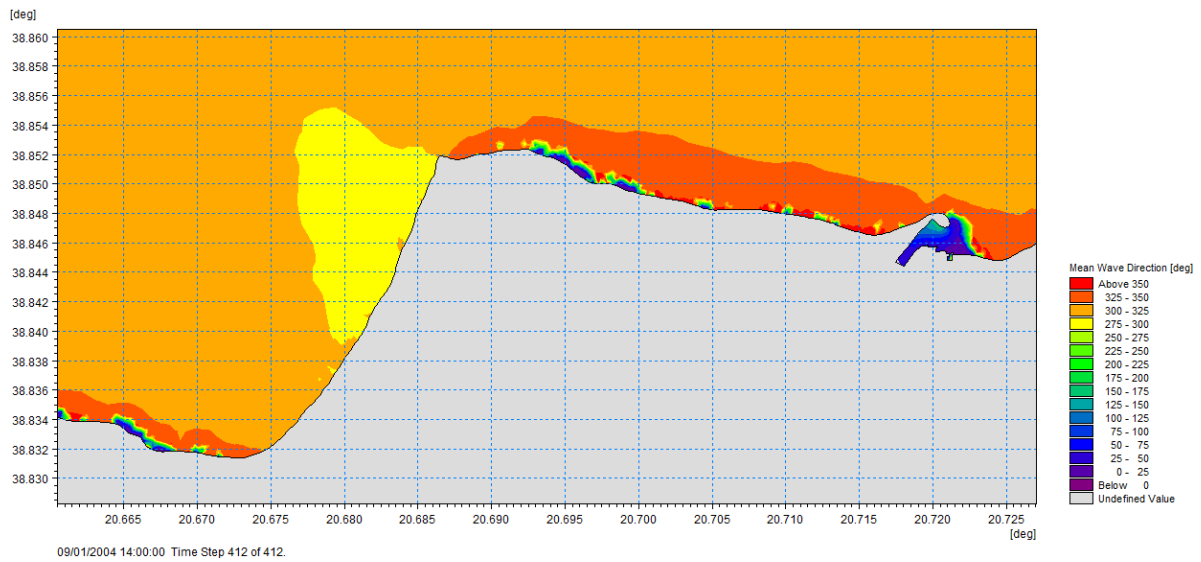
Σχήμα 7.8: Μέση περίοδος T01, Σενάριο 2



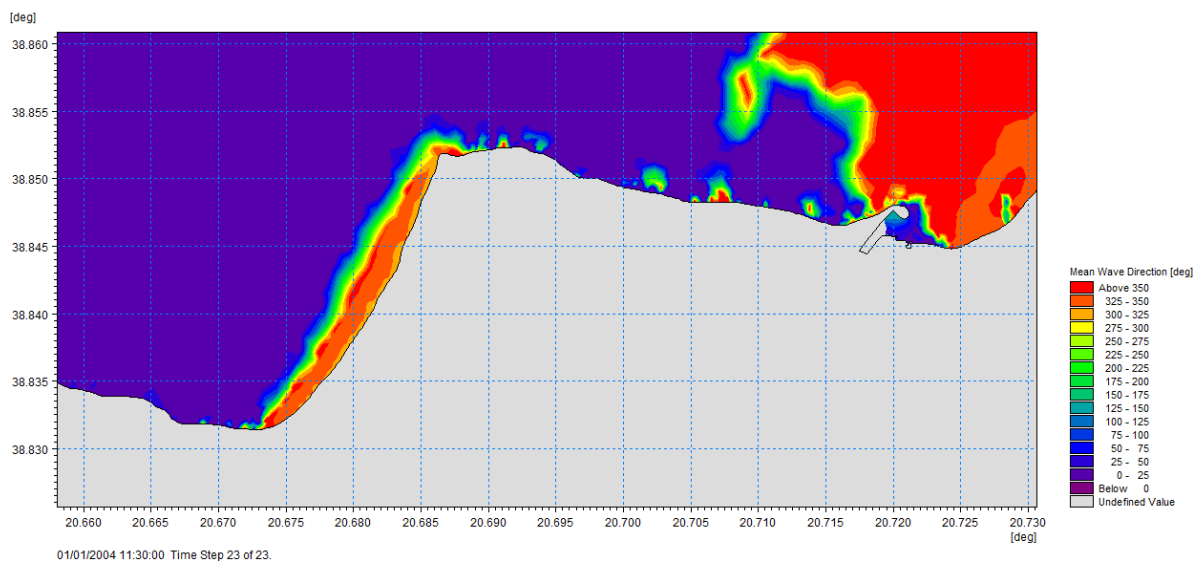
Σχήμα 7.9: Μέση περίοδος T01, Σενάριο 3



Σχήμα 7.10: Μέση κατεύθυνση κύματος (MWD), Σενάριο 1



Σχήμα 7.11: Μέση κατεύθυνση κύματος (MWD), Σενάριο 2



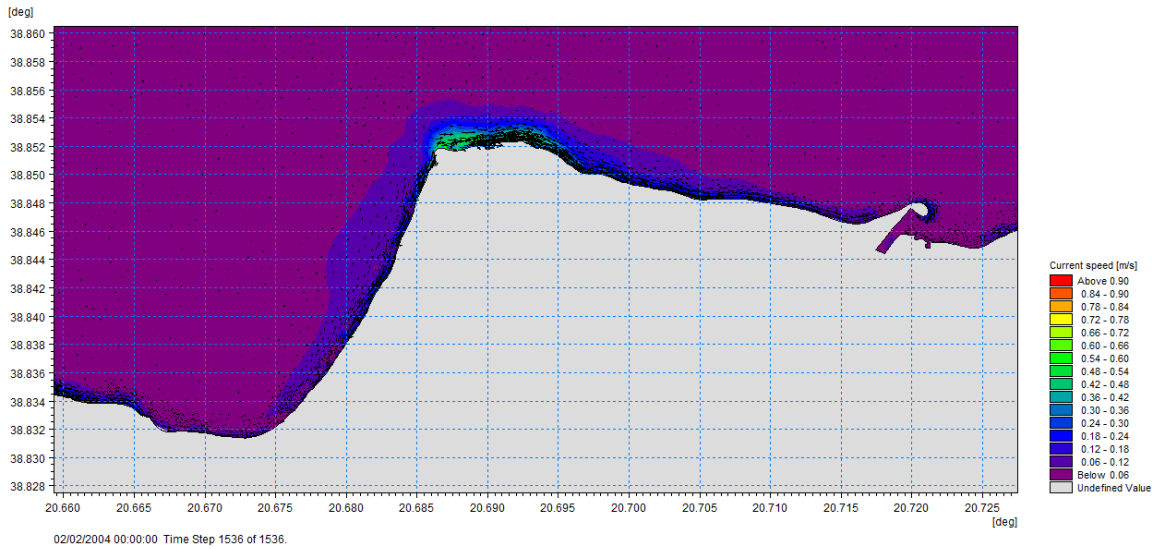
Σχήμα 7.12: Μέση κατεύθυνση κύματος (MWD), Σενάριο 3

7.2. Υδροδυναμικές συνθήκες

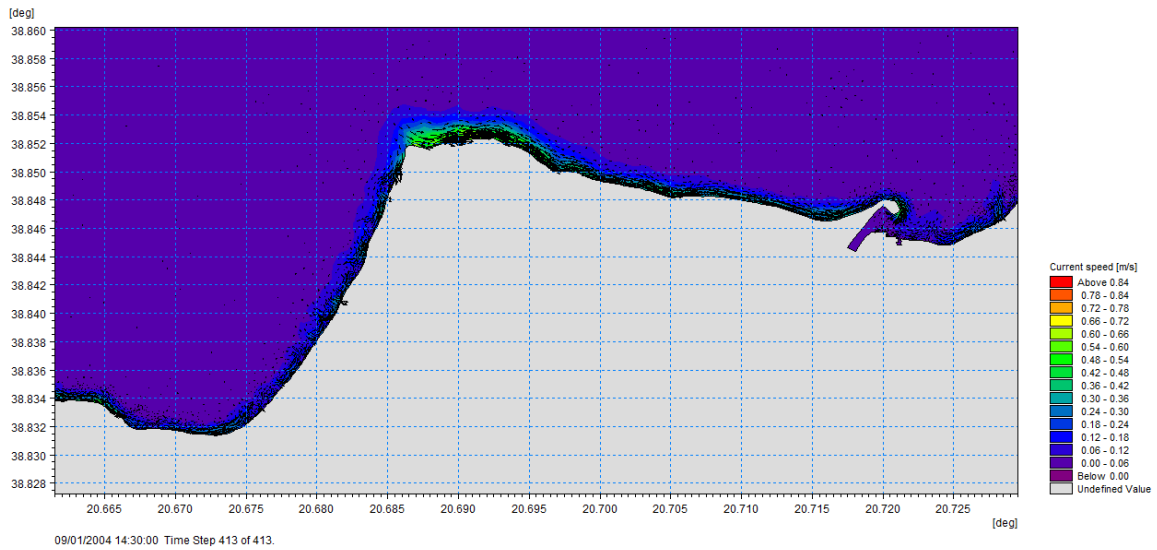
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης των υδροδυναμικών συνθηκών των τριών κυματικών σεναρίων και η συνολική τους επίδραση σε ετήσια αναφορά, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 7.2.

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα προσομοίωσης υδροδυναμικών συνθηκών

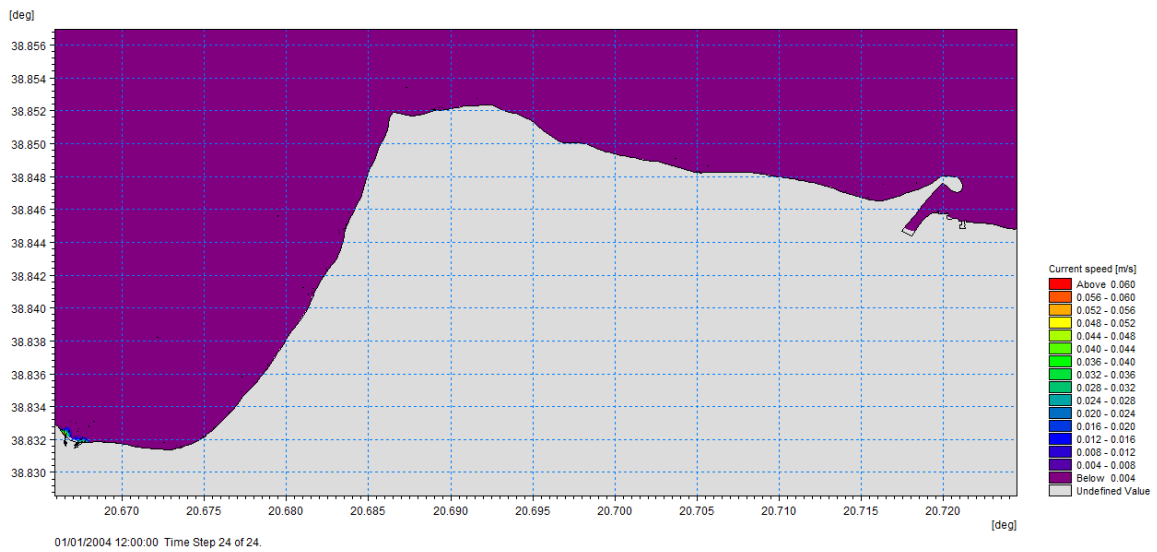
Σχήμα 7.13	Ταχύτητα θαλασσίων ρευμάτων, Σενάριο 1
Σχήμα 7.14	Ταχύτητα θαλασσίων ρευμάτων, Σενάριο 2
Σχήμα 7.15	Ταχύτητα θαλασσίων ρευμάτων, Σενάριο 3



Σχήμα 7.13: Ταχύτητα θαλασσίων ρευμάτων, Σενάριο 1



Σχήμα 7.14: Ταχύτητα θαλασσίων ρευμάτων, Σενάριο 2



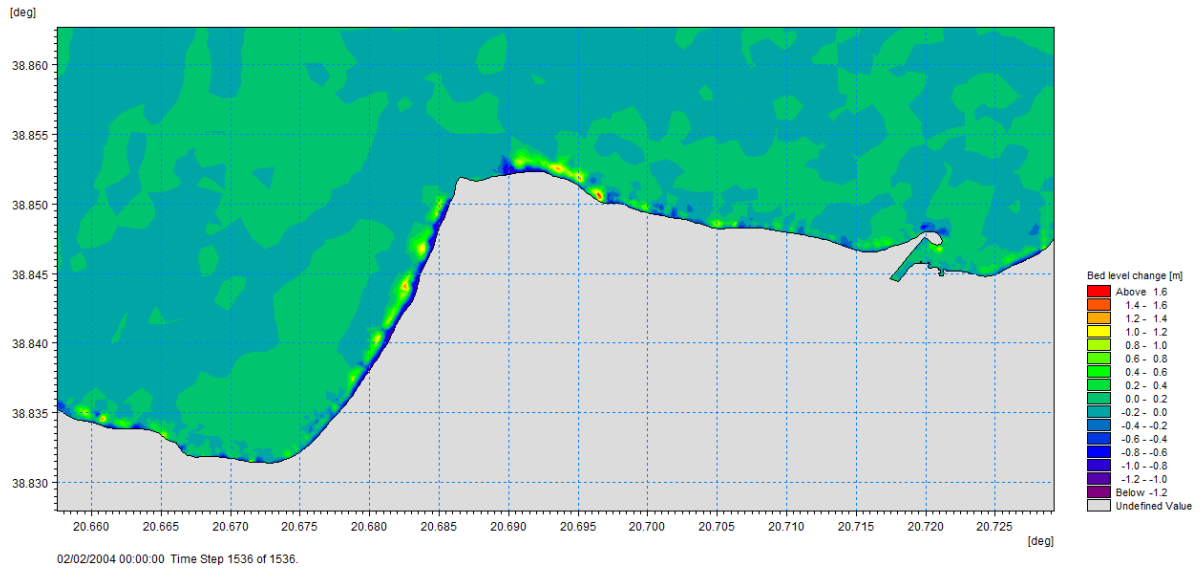
Σχήμα 7.15: Ταχύτητα θαλασσίων ρευμάτων, Σενάριο 3

7.3. Στερεομεταφορά

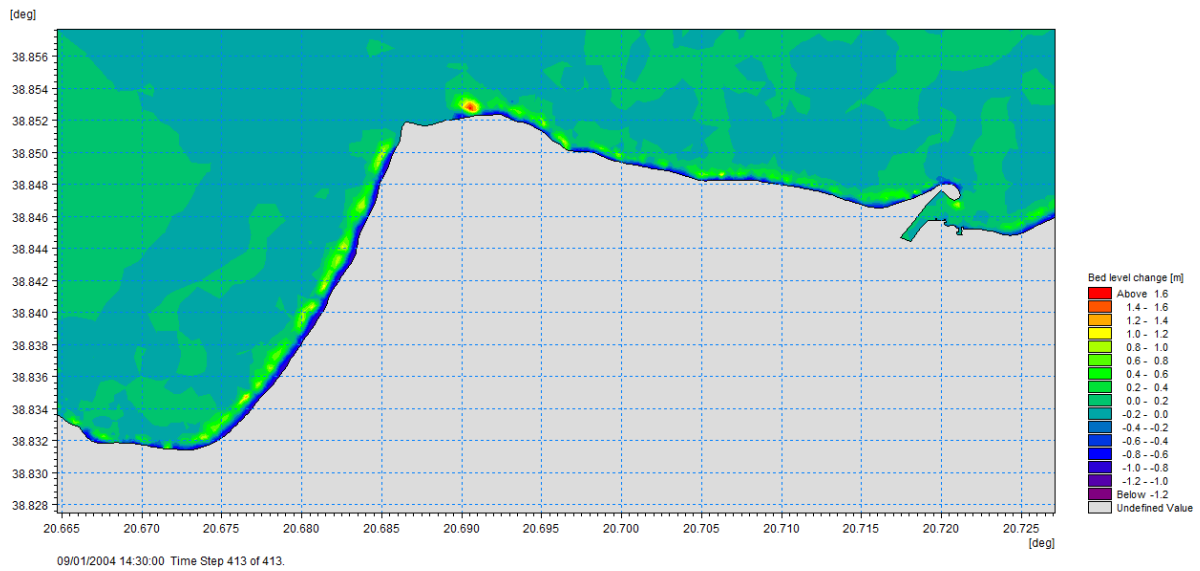
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης της στερεομεταφοράς των τριών κυματικών σεναρίων και η συνολική τους επίδραση σε ετήσια αναφορά, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 7.3.

Πίνακας 7.3: Αποτελέσματα προσομοίωσης στερεομεταφοράς

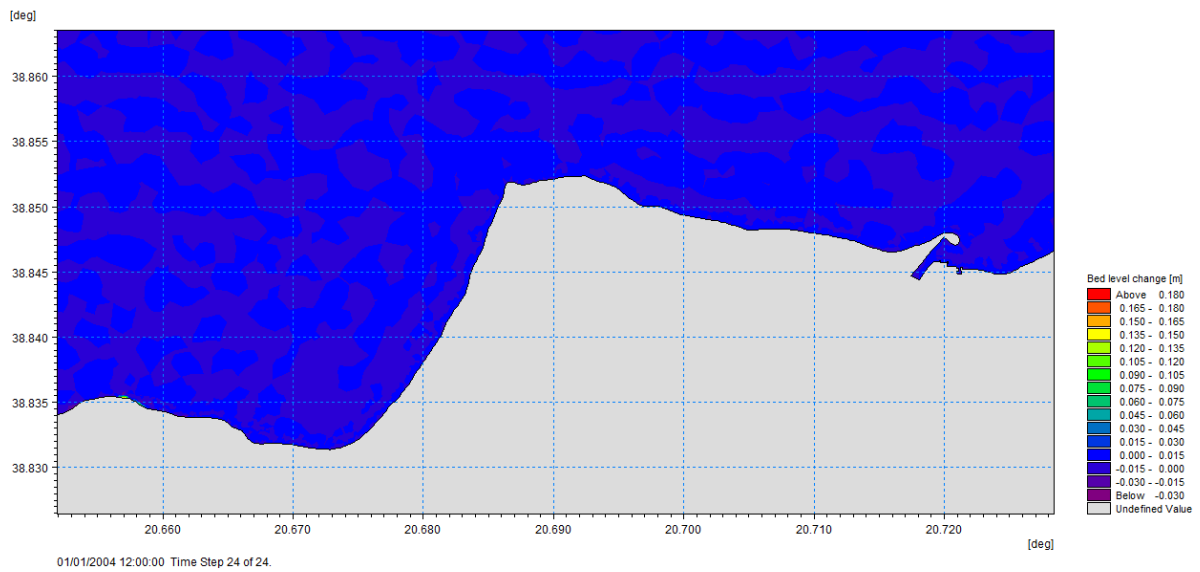
Σχήμα 7.16	Αλλαγή στάθμης πυθμένα, Σενάριο 1
Σχήμα 7.17	Αλλαγή στάθμης πυθμένα, Σενάριο 2
Σχήμα 7.18	Αλλαγή στάθμης πυθμένα, Σενάριο 3
Σχήμα 7.19	Συνολικό φορτίο στερεομεταφοράς, Σενάριο 1
Σχήμα 7.20	Συνολικό φορτίο στερεομεταφοράς, Σενάριο 2
Σχήμα 7.21	Συνολικό φορτίο στερεομεταφοράς, Σενάριο 3



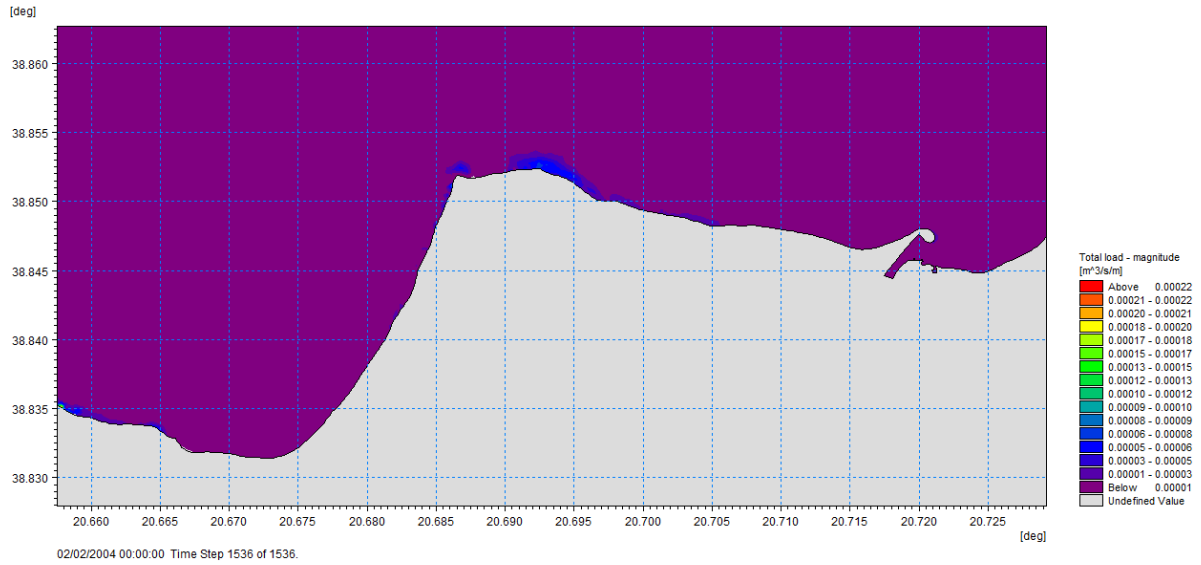
Σχήμα 7.16: Αλλαγή στάθμης πυθμένα, Σενάριο 1



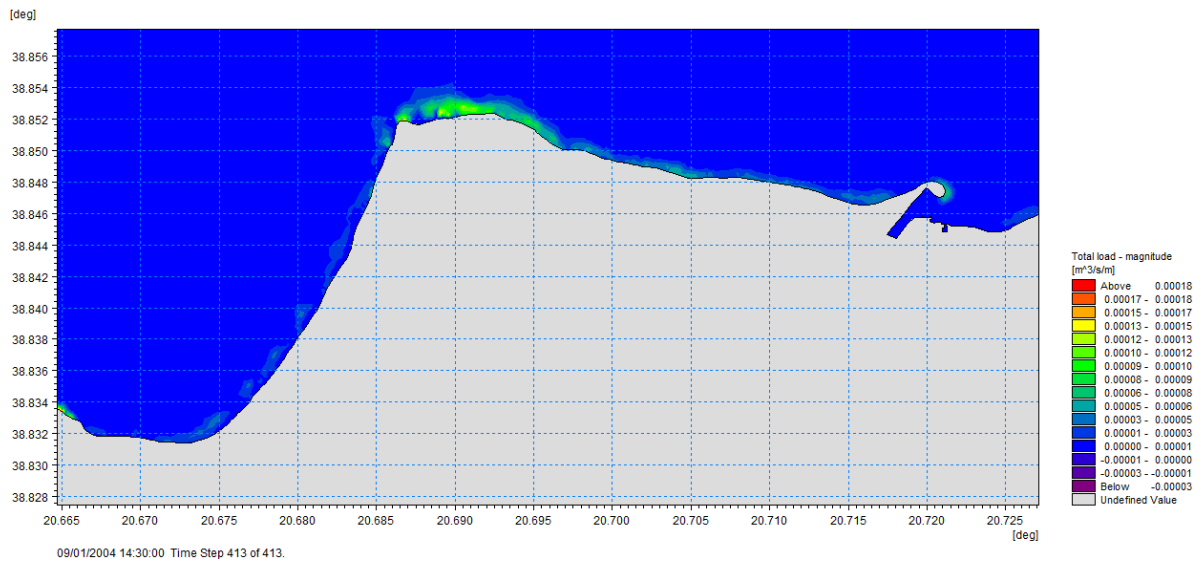
Σχήμα 7.17: Αλλαγή στάθμης πυθμένα, Σενάριο 2



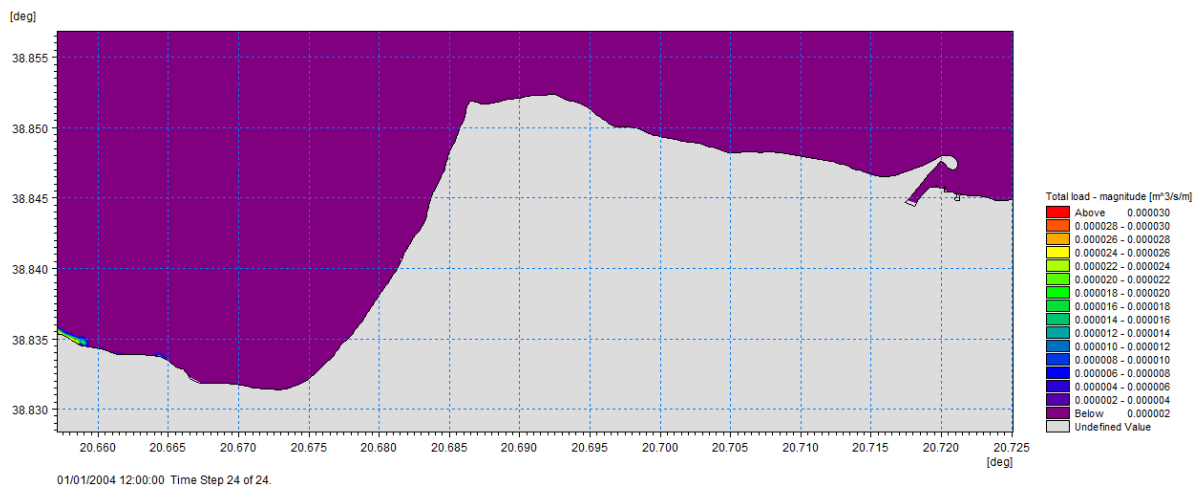
Σχήμα 7.18: Αλλαγή στάθμης πυθμένα, Σενάριο 3



Σχήμα 7.19: Συνολικό φορτίο στερεομεταφοράς, Σενάριο 1



Σχήμα 7.20: Συνολικό φορτίο στερεομεταφοράς, Σενάριο 2



Σχήμα 7.21: Συνολικό φορτίο στερεομεταφοράς, Σενάριο 3

7.4. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των υδροδυναμικών συνθηκών για τις βόρειες ακτές της νήσου Λευκάδας που παρουσιάστηκαν παραπάνω είναι σε συμφωνία με το εν γένει υδροδυναμικό και μορφολογικό καθεστώς που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Η επικρατούντες κυματισμοί στην περιοχή μελέτης, οι οποίοι προσομοιώθηκαν μέσω των κυματικών σεναρίων, και κατά συνέπεια η ενέργεια των κυματισμών και των θαλασσίων ρευμάτων, δημιουργούν το μορφολογικό προφίλ που περιγράφει την περιοχή και το οποίο περιλαμβάνει την στερεομεταφορά ιζημάτων παράλληλα στην ακτογραμμή στην παραλία της Γύρας και κυρίως εγκάρσια στην ακτή στην παραλία του Αγ. Ιωάννη.

Τα ήδη εγνωσμένα αυτά φαινόμενα της παράκτιας στερεομεταφοράς και τα αποτελέσματα που έχουν επιφέρει στο παράκτιο περιβάλλον της περιοχής μελέτης, αφορούν στη γενικότερη διάβρωση της ακτογραμμής από την περιοχή του Αγ. Ιωάννη μέχρι και το ανατολικό άκρο της παραλίας της Γύρας και την πρόσχωση του τμήματος του λιμενοβραχίονα στην είσοδο του διαύλου Λευκάδας σε συνδυασμό με τη δημιουργία αμμόγλωσσας στο εσωτερικό αυτού. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά και η μορφοδυναμική εξέλιξη των επί μέρους περιοχών του Αγ. Ιωάννη και της Γύρας-Διαύλου βάσει των Σεναρίων 1 & 2 που έχουν και την μεγαλύτερη δυναμική ως προς την διαμόρφωση των παραπάνω.

Περιοχή Αγ. Ιωάννη

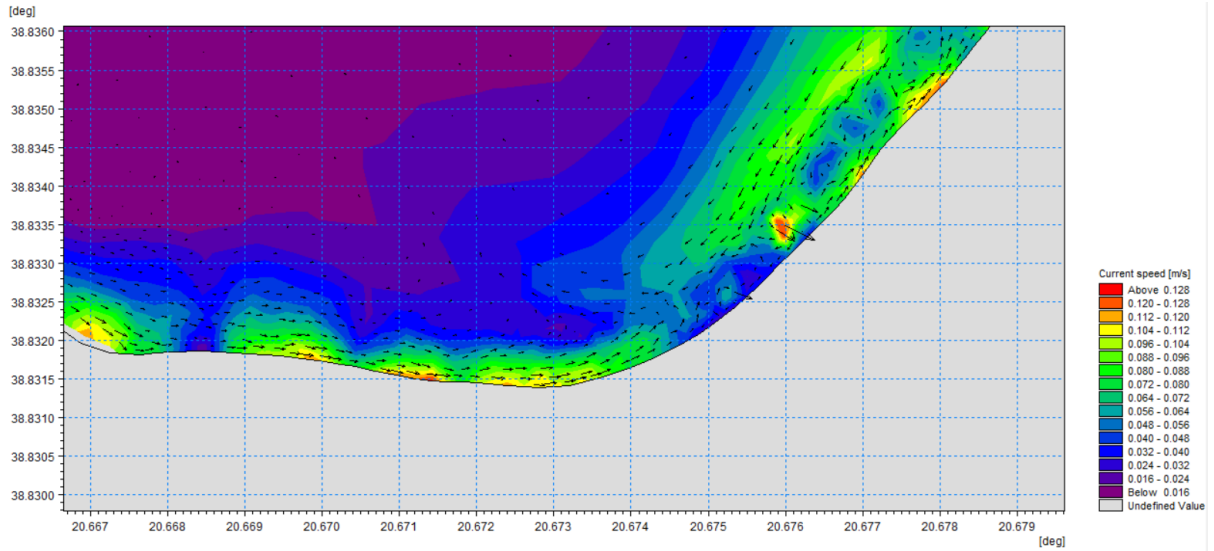
Όσον αφορά στην περιοχή του Αγ. Ιωάννη, τα εντονότερα φαινόμενα παρουσιάζονται στο νότιο τμήμα της, στο μυχό του όρμου Φλέβα, όπου παρατηρούμε και την μεγαλύτερη ένταση των φαινομένων διάβρωσης. Οι παράγοντες που διαμορφώνουν την μορφοδυναμική συμπεριφορά στο συγκεκριμένο σημείο της περιοχής μελέτης είναι οι εξής:

- ο προσανατολισμός της ακτογραμμής,
- η παρουσία ισχυρών παράκτιων ρευμάτων και η σύγκλιση ρευμάτων διαφορετικών κατευθύνσεων,
- το προφίλ του πυθμένα στο συγκεκριμένο σημείο, όπου απουσιάζει ο έντονος φυσικός αναβαθμός του πλακώδους σχηματισμού που απαντάται στα άλλα τμήματα της ακτογραμμής (βλ. Σχήμα 3.4, προφίλ No.2) και
- η απότομη και συνεχής κλίση του πυθμένα και τα μεγάλα βάθη στα ανοιχτά του συγκεκριμένου σημείου.

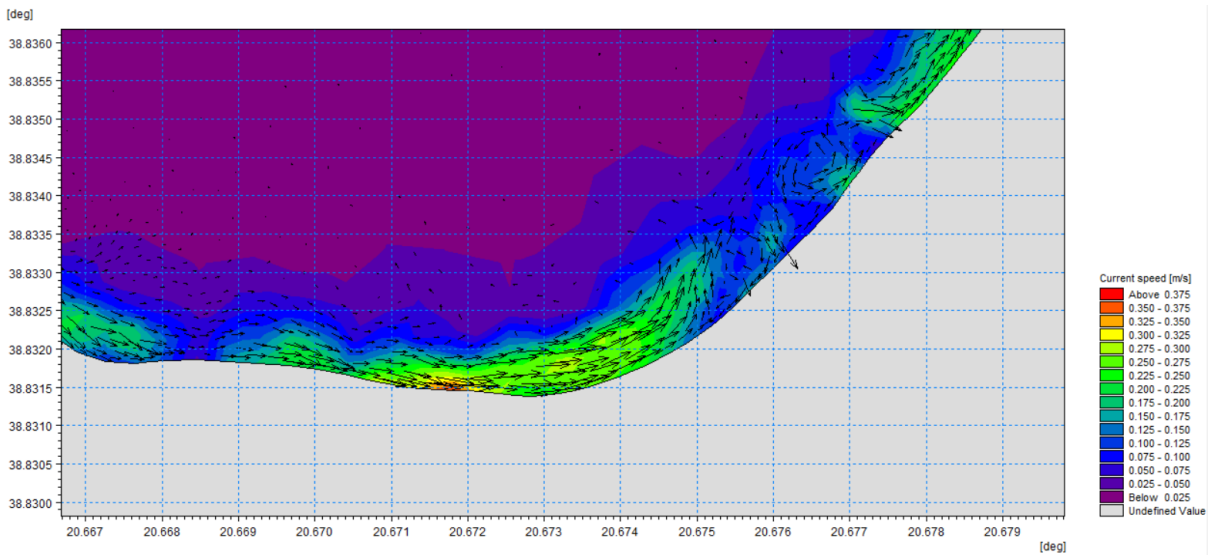
Τα παραπάνω καθιστούν δυσκολότερη την ανάκτηση των ιζημάτων που απομακρύνονται προς μεγαλύτερα βάθη μεταξύ χειμέριου και θερινού κυματικού κύκλου. Επίσης, έντονα καταϊγδικά φαινόμενα με μεγάλα ύψη κυματισμού δημιουργούν έντονα διαβρωτικά φαινόμενα, που επίσης δεν είναι εύκολα ανατάξιμα.

Στο Σχήμα 7.22 παρουσιάζονται οι ταχύτητες και τα διανύσματα των ρευμάτων προ της παράκτιας περιοχής του νότιου τμήματος της παραλίας του Αγ. Ιωάννη για το Σενάριο 1. Οι μέγιστες τιμές που καταγράφονται είναι της τάξης των 0.2m/s. Οι κυματικές συνθήκες του Σεναρίου 1 δημιουργούν μια αντίθετη κίνηση των ρευμάτων στο συγκεκριμένο σημείο. Ενώ κοντά στην ακτογραμμή η κατεύθυνση των ρευμάτων είναι ανατολική και προς βορρά, παρατηρούμε σε μεγαλύτερα βάθη τη δημιουργία ενός αντίθετου ρεύματος, με κατεύθυνση νότια. Η σύγκλιση των δύο αυτών αντίθετων ρευμάτων φαίνεται να δημιουργεί ρεύματα επαναφοράς προς την ανοιχτή θάλασσα.

Στην περίπτωση του Σεναρίου 2, δηλαδή των βορειοδυτικών κυματισμών, φαίνεται να έχουμε μια πιο ομοιογενή εικόνα, με την ανάπτυξη των ρευμάτων κατά μήκος της ακτογραμμής με ταχύτητες έως και 0.6m/s και την απουσία του νότιου ρεύματος που παρατηρήθηκε στο Σενάριο 1 να δρα στα ανοικτά της ζώνης θραύσης. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στο μυχό του όρμου, όπου και παρουσιάζονται και τα μεγαλύτερα προβλήματα παράκτιας διάβρωσης (βλ. Σχήμα 7.23). Ωστόσο, και εδώ παρατηρούμε την σύγκλιση ρευμάτων με αντίθετες κατευθύνσεις στο μυχό του όρμου, σημείο όπου έχουμε αλλαγή της διεύθυνσης της ακτογραμμής προς βορρά, και δημιουργία ρευμάτων επαναφοράς προς τα ανοιχτά.

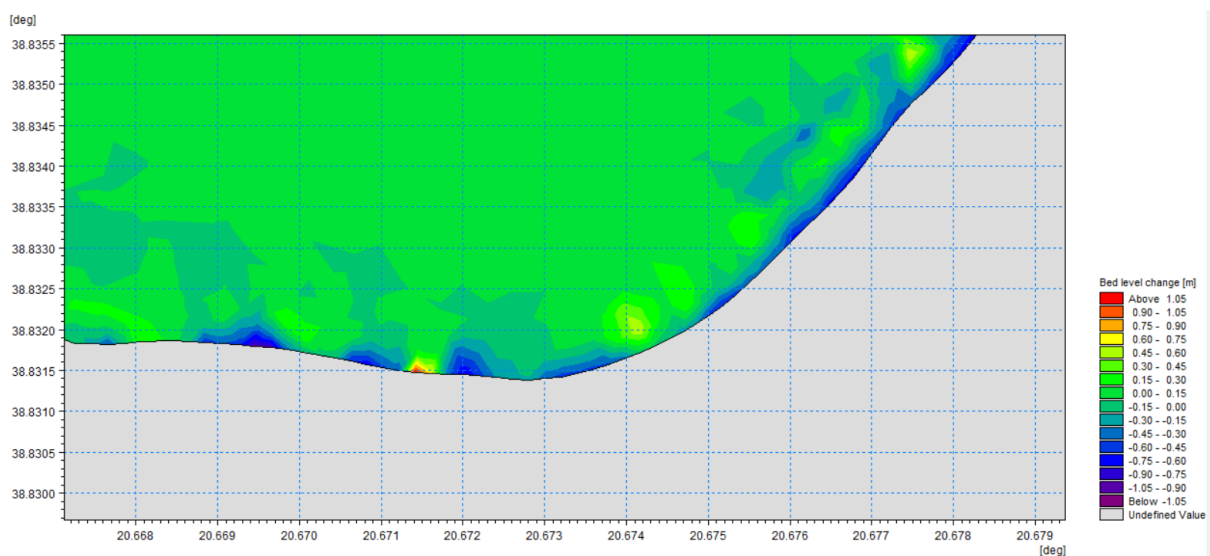


Σχήμα 7.22: Ταχύτητες θαλασσίων ρευμάτων στο νότιο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, Σενάριο 1

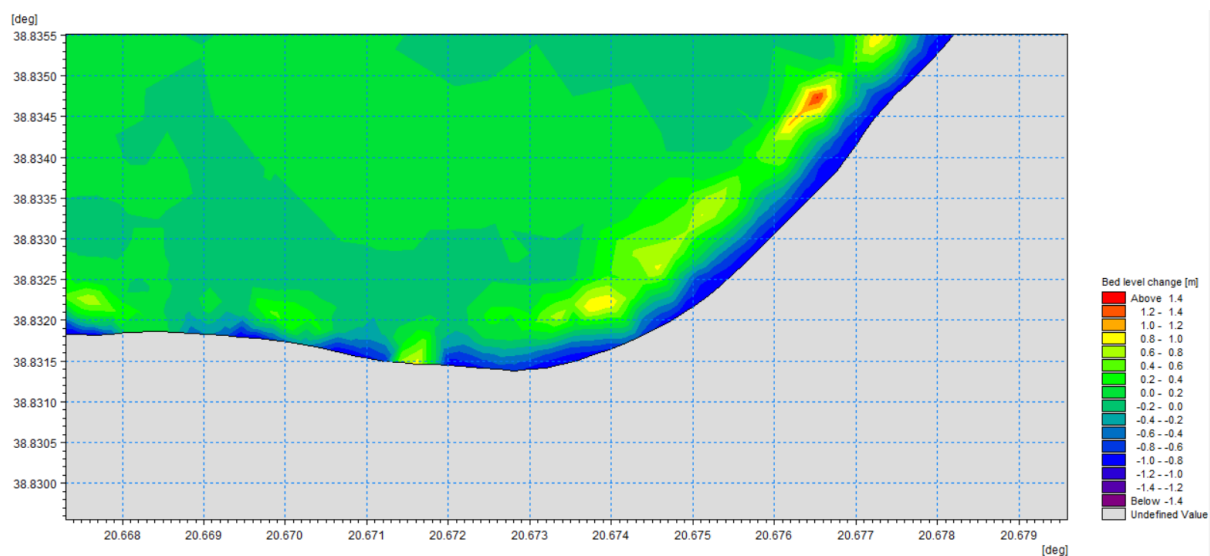


Σχήμα 7.23: Ταχύτητες θαλασσίων ρευμάτων στο νότιο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, Σενάριο 2

Η εικόνα αυτή επιβεβαιώνεται και από την μεταβολή της στάθμης του θαλάσσιου πυθμένα που παρουσιάζεται στα Σχήματα 7.24 και 7.25 για τα Σενάρια 1 & 2 αντίστοιχα. Παρατηρούμε την διάβρωση κοντά στην ακτογραμμή και ταυτόχρονα την απόθεση ιζημάτων σε μεγαλύτερα βάθη. Με βάση τα αποτελέσματα παρατηρούμε την εκδήλωση εγκάρσιας στερεομεταφοράς, λόγω του μεγάλου φορτίου που αποτίθεται κατά μήκος της ακτογραμμής και σε κοντινή απόσταση. Σε αυτό συνεργεί και το φυσικό ανάγλυφο του πυθμένα, καθώς η ύπαρξη των αναβαθμών του πλακώδους σχηματισμού δημιουργεί ένα είδος φυσικού αναχώματος, πέραν αυτού που σχηματίζεται λόγω της στερεομεταφοράς και το οποίο έχει χαρακτήρα περιοδικό, επηρεαζόμενο σε μεγάλο βαθμό από την εναλλαγή μεταξύ θερινού και χειμέρειου προφίλ της παραλίας.

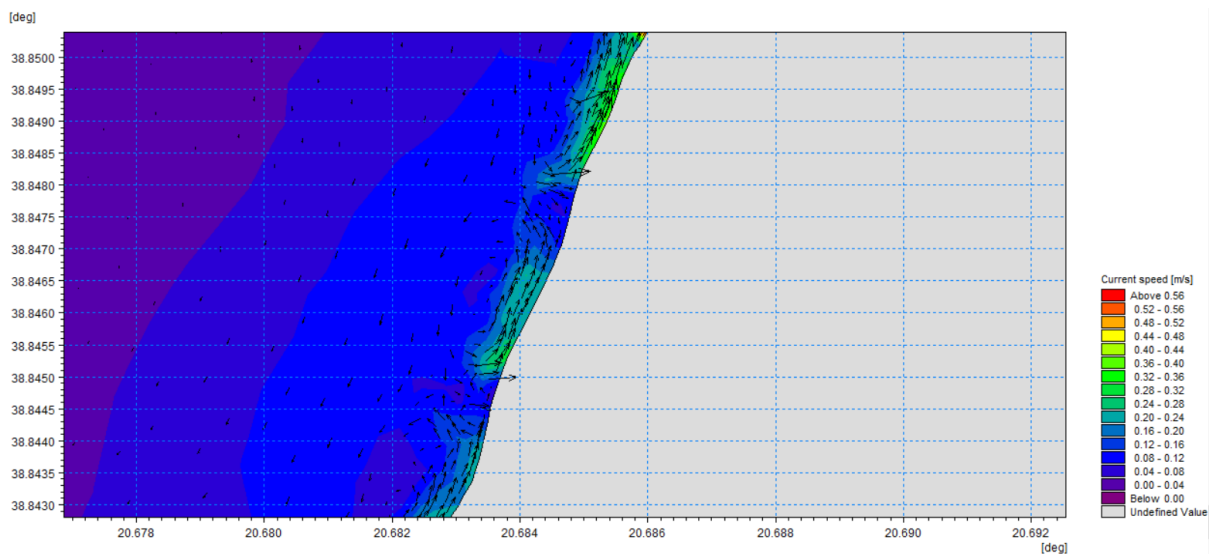


Σχήμα 7.24: Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο νότιο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, Σενάριο 1

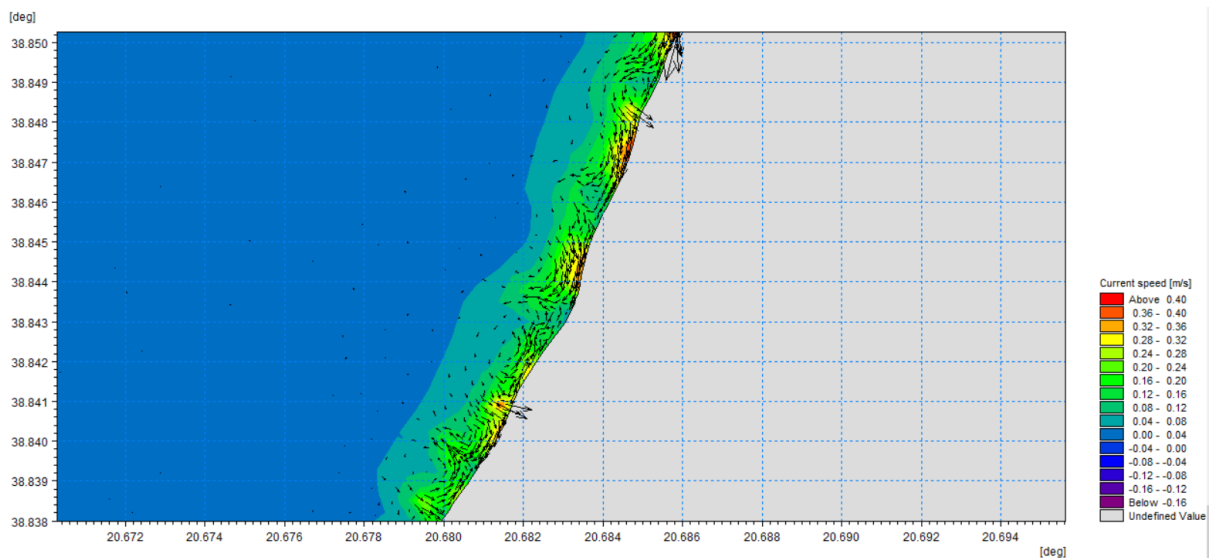


Σχήμα 7.25: Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο νότιο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, Σενάριο 2

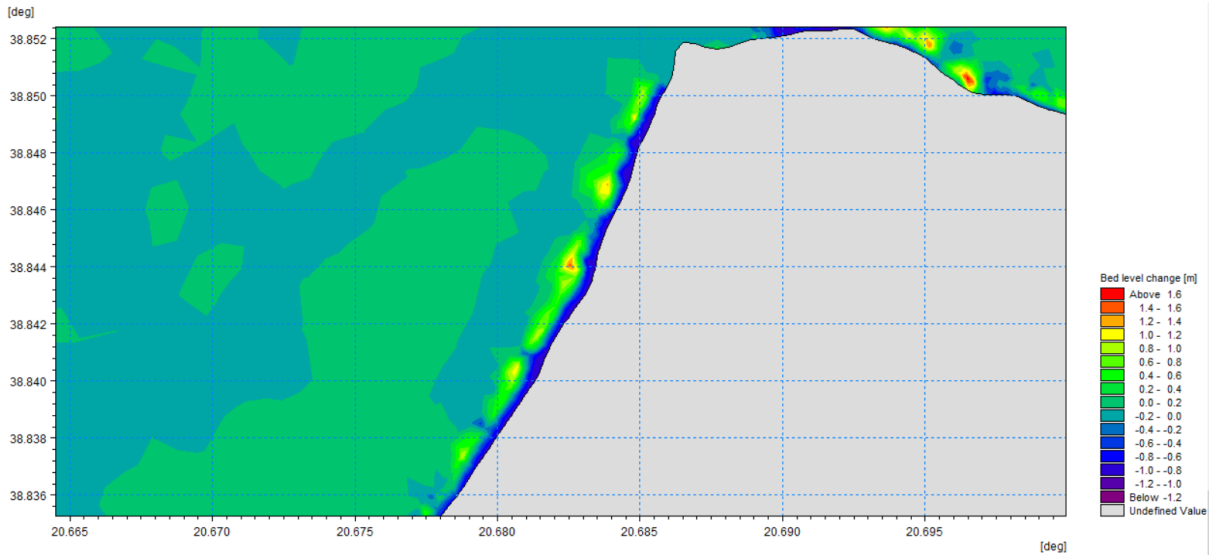
Στο βόρειο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη παρατηρούμε μια πιο ανομοιόμορφη κατεύθυνση των κυματογενών ρευμάτων. Η ροή τους ανά τμήματα αλλάζει κατεύθυνση, έχοντας φορά προς βορρά αλλά και προς νότο, ενώ έχουμε και έντονη δράση ρευμάτων επαναφοράς με κατεύθυνση προς την ανοιχτή θάλασσα (εγκάρσια στερεομεταφορά) (βλ. Σχήματα 7.26 και 7.27). Η δράση αυτή προκαλεί τη μεταφορά ιζημάτων προς μεγαλύτερα βάθη, ωστόσο λόγω της μικρότερης ταχύτητας του παράκτιου ρεύματος που δρα συνολικά κατά μήκος της ακτής (μέγιστη τιμή 0.45 m/s) και του προφίλ του πυθμένα (έντονο φυσικό ανάγλυφο), έχουμε φαινόμενα εγκάρσιας κυρίως στερεομεταφοράς, τα οποία εκδηλώνονται με τρόπο παρόμοιο με το νότιο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη (βλ. Σχήματα 7.28 και 7.29).



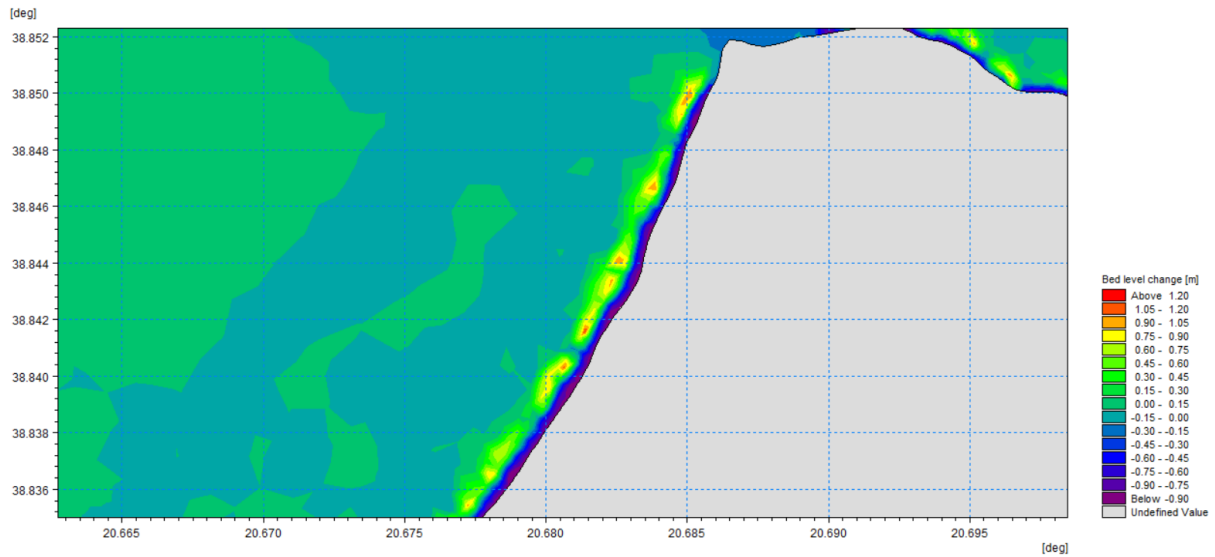
Σχήμα 7.26: Ταχύτητες θαλασσίων ρευμάτων στο βόρειο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, Σενάριο 1



Σχήμα 7.27: Ταχύτητες θαλασσίων ρευμάτων στο βόρειο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, Σενάριο 2



Σχήμα 7.28: Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο βόρειο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, Σενάριο 1



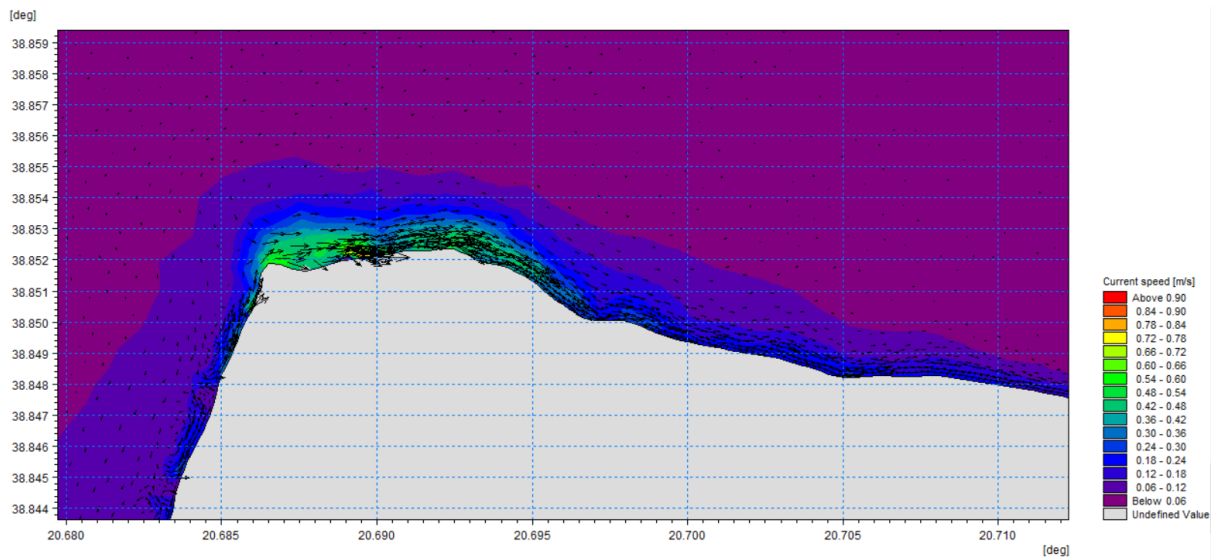
Σχήμα 7.29: Αλλαγή επιπέδου πυθμένα στο βόρειο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη, Σενάριο 2

Περιοχή Γύρας - Διαύλου

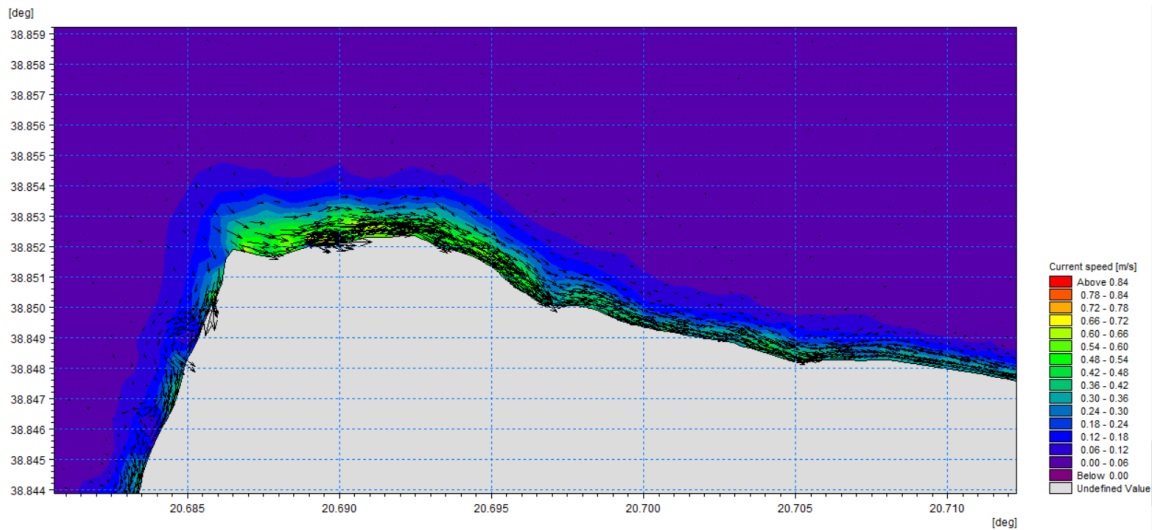
Όσον αφορά στην περιοχή της Γύρας και του διαύλου, τα εντονότερα φαινόμενα παρουσιάζονται στο ανατολικό τμήμα του λιμενοβραχίονα που προστατεύει την είσοδο του διαύλου, αλλά και κατά μήκος της ακτογραμμής της παραλίας της Γύρας. Η παρουσία ισχυρών παράκτιων ρευμάτων, σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό της ακτογραμμής που επηρεάζεται εντονότερα από τους επικρατούντες ανέμους και κυματισμούς, διαμορφώνουν το υδροδυναμικό και μορφοδυναμικό προφίλ του συγκεκριμένου τμήματος της περιοχής μελέτης.

Στα Σχήματα 7.30 και 7.31 παρουσιάζονται οι ταχύτητες και τα διανύσματα των ρευμάτων προ της παράκτιας περιοχής του δυτικού τμήματος της παραλίας της Γύρας

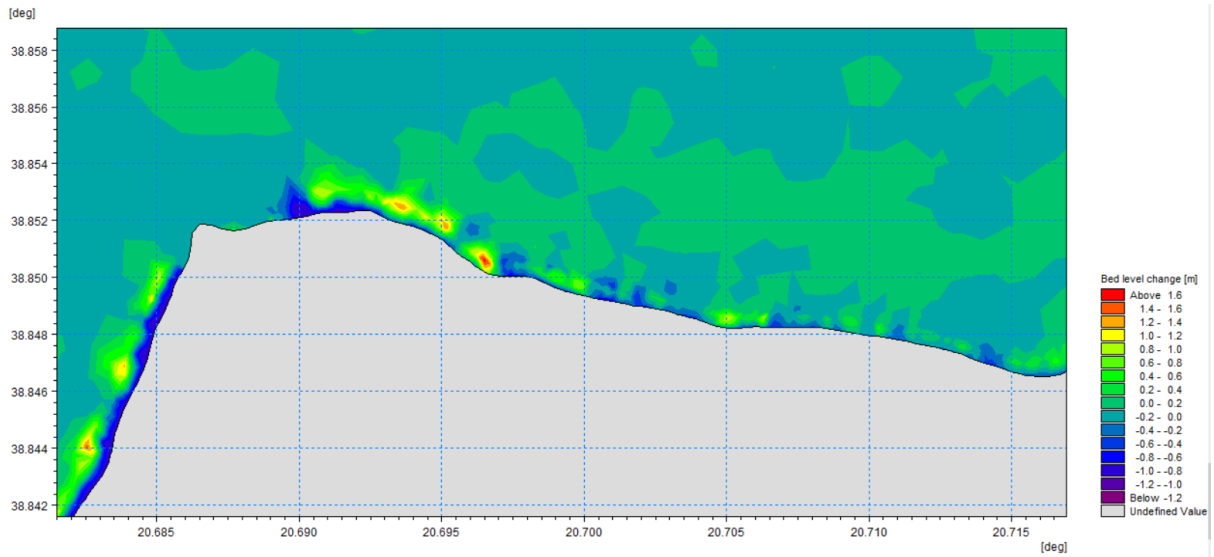
Οι μέγιστες τιμές που καταγράφονται είναι της τάξης των 0.9m/s και δυσμενέστερη περίπτωση αυτή του Σεναρίου 2. Σε αντίθεση με την παραλία του Αγ. Ιωάννη όπου έχουμε κυρίως φαινόμενα εγκάρσιας στερεομεταφοράς, με την ανάπτυξη κυματογενών ρευμάτων διαφορετικών κατευθύνσεων και κυματογενών ρευμάτων επαναφοράς με κατεύθυνση προς την ανοιχτή θάλασσα, στην περίπτωση της Γύρας, λόγω και του προσανατολισμού της παραλίας, το παράκτιο ρεύμα δρα παράλληλα στην ακτογραμμή και με κατεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εντονότερη δίαιτα της ακτής και την παράσυρση μεγαλύτερου όγκου ιζημάτων λόγω της στερεομεταφοράς παράλληλα στην ακτογραμμή. Στα Σχήματα 7.32 και 7.33 δίνονται οι μεταβολές του θαλάσσιου πυθμένα λόγω στερεομεταφοράς. Και σε αυτή την περίπτωση, παρατηρούμε την έντονη διάβρωση της ακτής κοντά στην ακτογραμμή, ενώ το μέγεθος της απόθεσης που λαμβάνει χώρα εντός της ζώνης θραύσης από την δράση των ρευμάτων επαναφοράς εμφανίζεται μικρότερο σε σχέση με την περιοχή του Αγ. Ιωάννη.



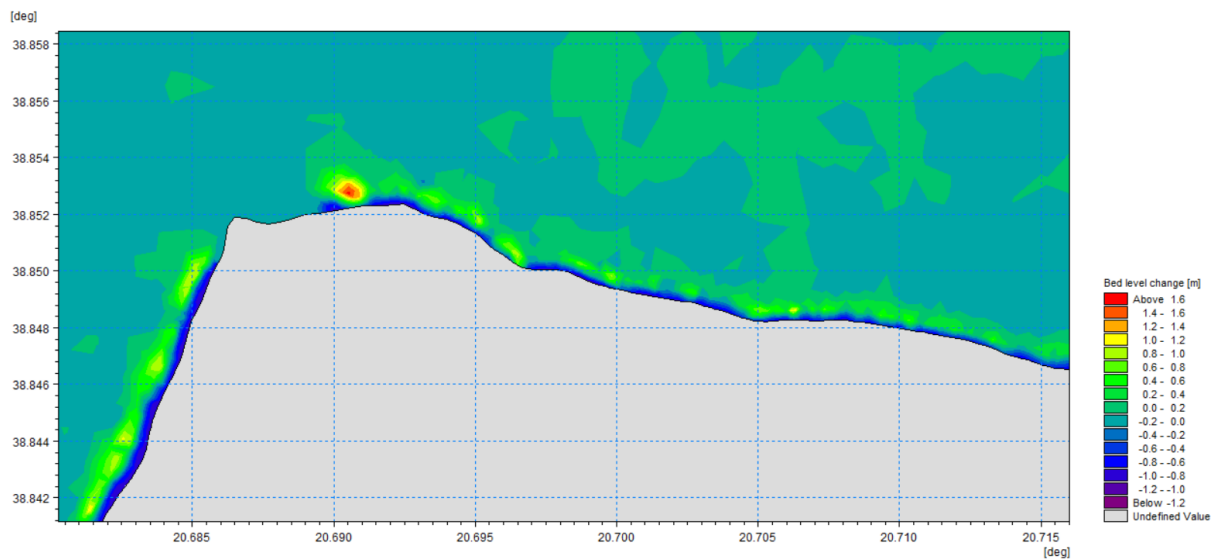
Σχήμα 7.30: Ταχύτητες θαλασσίων ρευμάτων στο δυτικό τμήμα της παραλίας της Γύρας, Σενάριο 1



Σχήμα 7.31: Ταχύτητες θαλασσίων ρευμάτων στο δυτικό τμήμα της παραλίας της Γύρας, Σενάριο 2



Σχήμα 7.32: Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο δυτικό τμήμα της παραλίας της Γύρας, Σενάριο 1

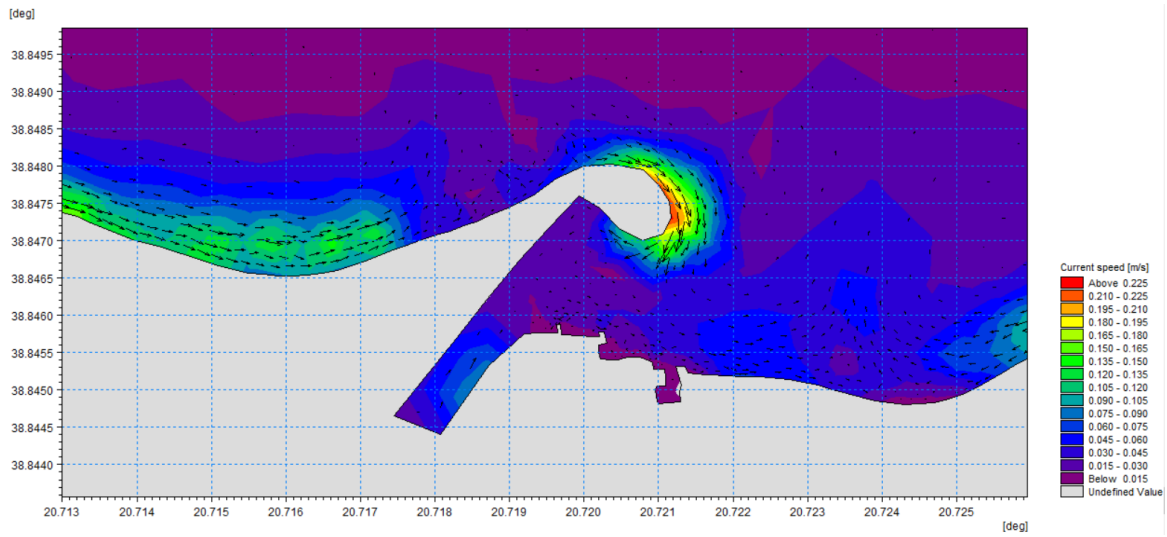


Σχήμα 7.33: Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο δυτικό τμήμα της παραλίας της Γύρας, Σενάριο 2

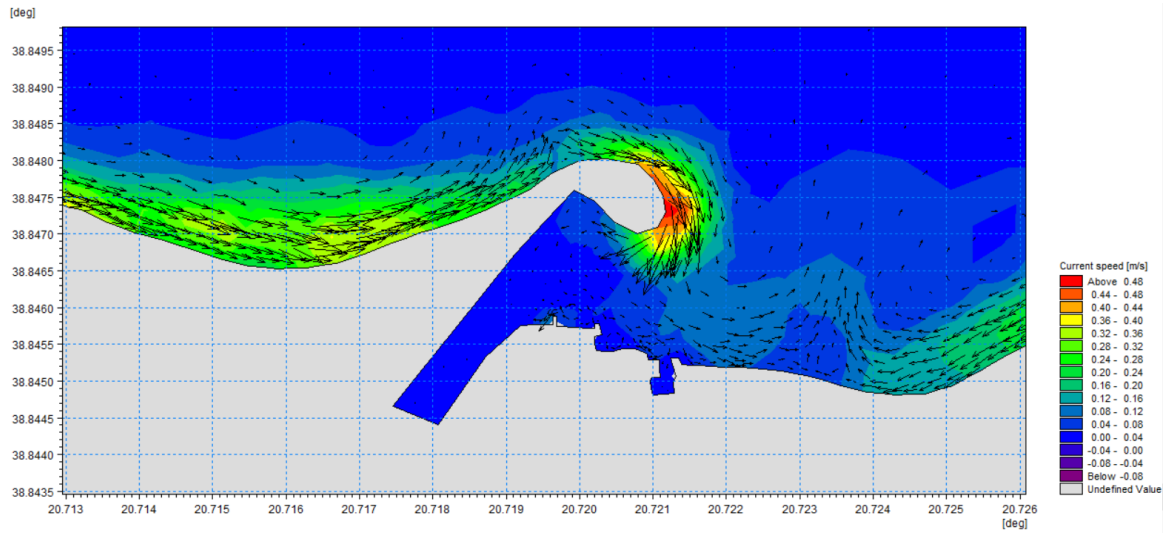
Στο ανατολικό τμήμα της παραλίας της Γύρας και στο εσωτερικό του λιμενοβραχίονα του διαύλου έχουμε ανάπτυξη έντονων κυματογενών ρευμάτων και στερεομεταφοράς. Η έντονη δράση των ρευμάτων παράλληλα στην ακτογραμμή στο δυτικό τμήμα της παραλίας και η αντίστοιχη στερεομεταφορά που λαμβάνει χώρα, μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες φερτών που αποτίθενται στο συγκεκριμένο σημείο. Στα Σχήματα 7.34 έως 7.36 παρουσιάζονται οι ταχύτητες και τα διανύσματα των ρευμάτων για τα Σενάρια 1 και 2, καθώς και για την προσομοίωση του Σεναρίου 2 με τους ύφαλους αντιπροσαμμωτικούς προβόλους στην περιοχή του διαύλου.

Παρατηρώντας τις εικόνες, βλέπουμε μείωση της ταχύτητας των ρευμάτων στο τμήμα της παραλίας στην εξωτερική παρειά του λιμενοβραχίονα (ειδικά στο Σενάριο 1), καθώς και σημαντική μείωση της ταχύτητας των ρευμάτων μετά την αμμόγλωσσα, κάτι που οφείλεται στην ύπαρξη μεγαλύτερων βαθών στην περιοχή λόγω του διαύλου ναυσιπλοΐας. Αυτό οδηγεί σε αντίστοιχη μείωση της ταχύτητας μεταφοράς των ιζημάτων και σε αύξηση του ρυθμού εναπόθεσής τους στο συγκεκριμένο σημείο, με αποτέλεσμα την αύξηση της στάθμης του πυθμένα (βλ. Σχήματα 7.37 έως 7.39).

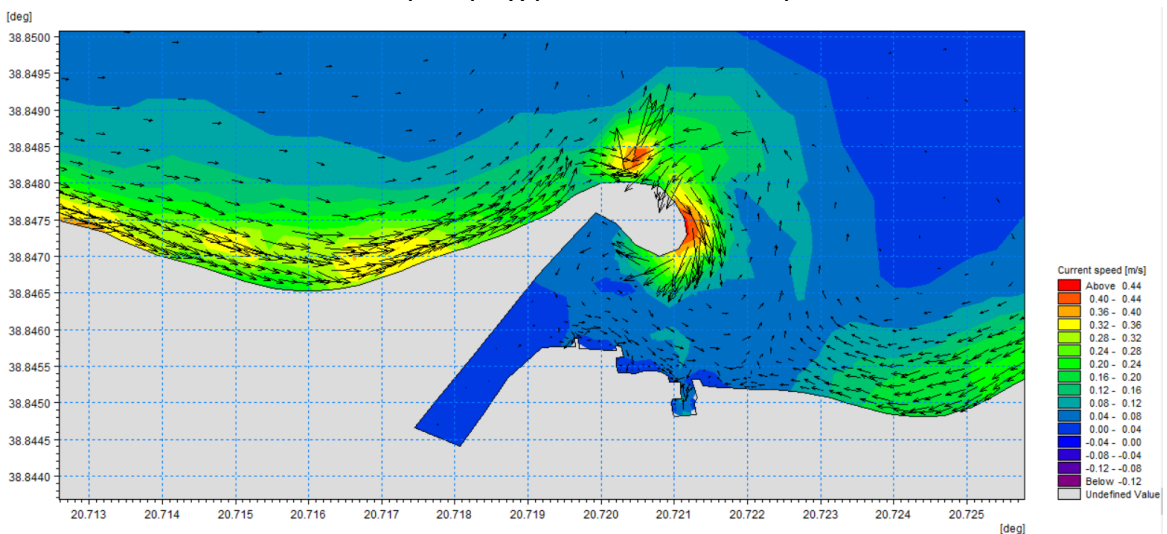
Όσον αφορά στην επίδραση στα μορφοδυναμικά φαινόμενα από την προσομοίωση με τους ύφαλους αντιπροσαμμωτικούς προβόλους στην είσοδο του διαύλου, παρατηρούμε μια ουσιαστική μεταβολή αυτών, τόσο όσον αφορά στα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά, όσο και στη στερεομεταφορά. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε μια μεταβολή στη διεύθυνση των ρευμάτων με ταυτόχρονη μείωση της τάξης του 10% στην μέγιστη τιμή τους, ενώ για τη στερεομεταφορά, μείωση που φτάνει το 30% όσον αφορά στην μεταβολή της στάθμης του πυθμένα. Αντίθετα, στο τμήμα της παραλίας στην εξωτερική παρειά του λιμενοβραχίονα βλέπουμε μια μικρή αύξηση της στερεομεταφοράς και την απόθεση μεγαλύτερης ποσότητας ιζημάτων. Αυτό συμβαίνει καθώς ένα σημαντικό μέρος της στερεομεταφοράς ανακόπτεται από τους αντιπροσαμμωτικούς προβόλους και είτε αποτίθεται στο συγκεκριμένο σημείο είτε μετακινείται προς τα ανοιχτά, λόγω της δράσης και ρευμάτων επαναφοράς.



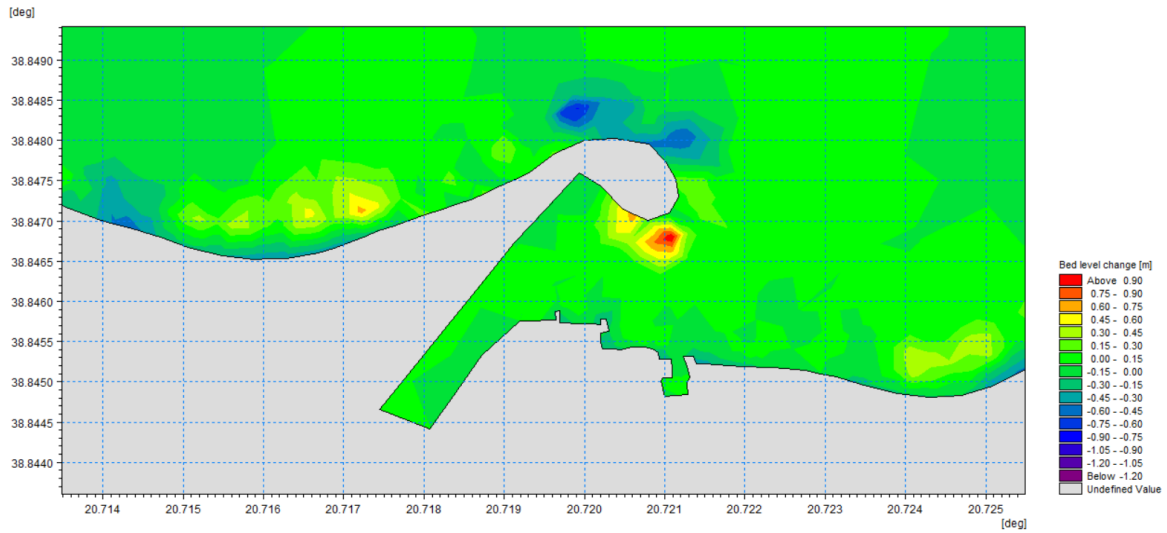
Σχήμα 7.34: Ταχύτητες θαλασσίων ρευμάτων στο ανατολικό τμήμα της παραλίας της Γύρας και στην περιοχή του διαύλου, Σενάριο 1



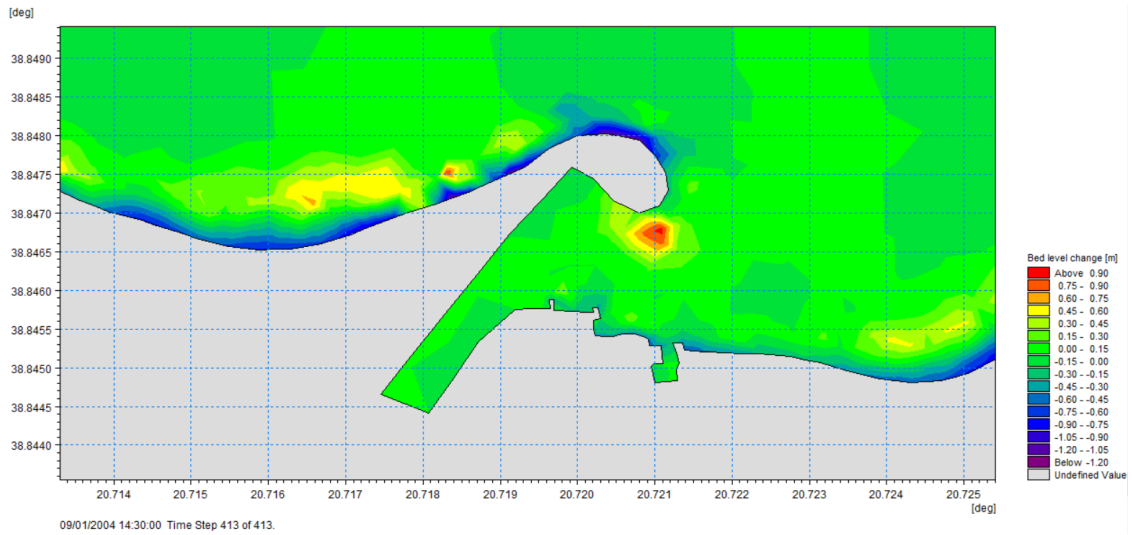
Σχήμα 7.35 Ταχύτητες θαλασσίων ρευμάτων στο ανατολικό τμήμα της παραλίας της Γύρας και στην περιοχή του διαύλου, Σενάριο 2



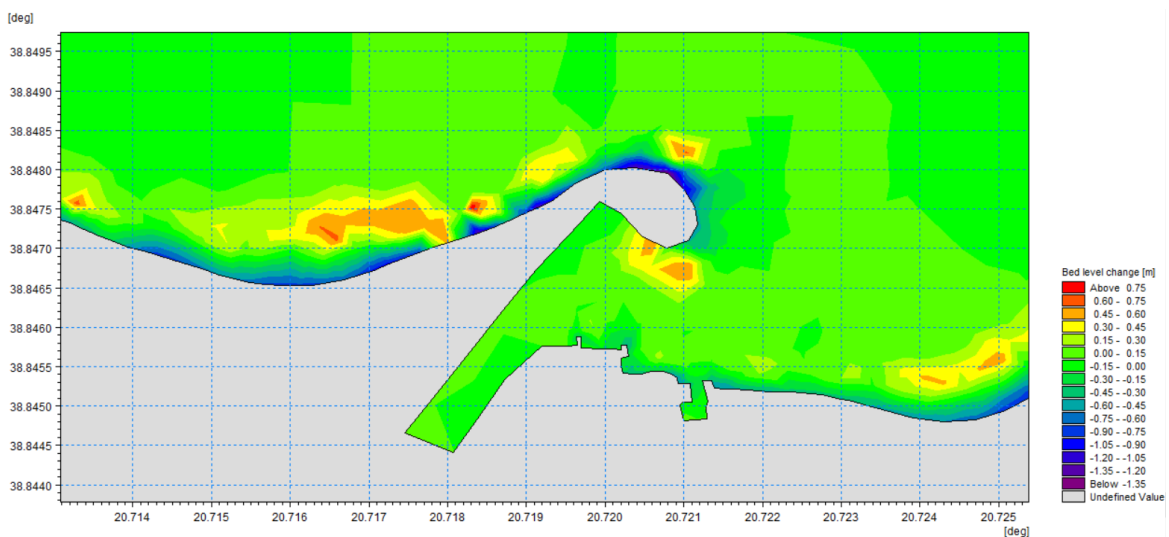
Σχήμα 7.36: Ταχύτητες θαλασσίων ρευμάτων στο ανατολικό τμήμα της παραλίας της Γύρας και στην περιοχή του διαύλου με αντιπροσαμμωτικούς προβόλους, Σενάριο 2



Σχήμα 7.37: Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο ανατολικό τμήμα της παραλίας της Γύρας και στην περιοχή του διαύλου, Σενάριο 1



Σχήμα 7.38: Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο ανατολικό τμήμα της παραλίας της Γύρας και στην περιοχή του διαύλου, Σενάριο 2



Σχήμα 7.39: Αλλαγή στάθμης πυθμένα στο ανατολικό τμήμα της παραλίας της Γύρας και στην περιοχή του διαύλου με αντιπρασσωμωτικούς προβόλους, Σενάριο 2

8. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ/ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΛΟΓΩ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Με βάση τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των υδροδυναμικών και μορφοδυναμικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης και την ανάλυση των επιμέρους χαρακτηριστικών τους, στο παρών κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μεθόδους αντιμετώπισης των εν λόγω προβλημάτων, τόσο σε υφιστάμενες όσο και σε μελλοντικές/προτεινόμενες παρεμβάσεις.

8.1 Μέθοδοι αντιμετώπισης

Οι μέθοδοι αντιμετώπισης των φαινομένων παράκτιας διάβρωσης και απόθεσης ποικίλουν και εξαρτώνται κάθε φορά από το είδος του προβλήματος προς αντιμετώπιση, τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και τους περιορισμούς που κάθε φορά τίθενται.

Οι μέθοδοι αντιμετώπισης των φαινομένων παράκτιας διάβρωσης και απόθεσης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, στις «σκληρές» και στις «ήπιες» μεθόδους.

«Σκληρές» μέθοδοι

Οι «σκληρές» μέθοδοι αποτελούν την πιο συνήθη και άμεση λύση σε προβλήματα διάβρωσης ακτών. Η λειτουργικότητά τους έχει αποδειχθεί στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ικανοποιητική, ενώ στα μειονεκτήματά τους συγκαταλέγονται περιβαλλοντικά προβλήματα (οπτική όχληση, δυσσομία από συσσώρευση φερτών, κ.α.) αλλά και μη ικανοποιητικά ακτομηχανικά αποτελέσματα λόγω μελετητικών ή/και κατασκευαστικών αστοχιών.

Ως βασικότερα παραδείγματα αυτής της κατηγορίας παρεμβάσεων μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

- Κυματοθραύστες
- Πρόβολοι
- Κρητιδότοιχοι

Χαρακτηριστικά παραδείγματα των παραπάνω δίνονται στις Εικόνες 8.1 έως 8.3 που ακολουθούν.



Εικόνα 8.1: Έξαλλοι αποσπασμένοι κυματοθραύστες, Σκύρος



Εικόνα 8.2: Μόνιμοι πρόβολοι συγκράτησης ακτογραμμής, Πρέβεζα



Εικόνα 8.3: Κρηπιδότοιχος με πασσαλοσανίδες, Γαλλία

«Ήπιες» μέθοδοι

Οι «ήπιες» μέθοδοι παρέμβασης παρουσιάζουν μικρότερες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, ενώ σε πολλές περιπτώσεις έχουν και καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα. Η αποτελεσματικότητά τους δοκιμάζεται περισσότερο σε περιπτώσεις κυματισμών με μεγάλα μήκη κύματος και ρεύματα παράλληλα στην ακτή (longshore current).

Ως βασικότερα παραδείγματα αυτής της κατηγορίας παρεμβάσεων μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

- Ύφαλοι και πλωτοί κυματοθραύστες
- Πυθμενικοί πρόβολοι
- Τεχνητή ανάπλαση/ εμπλουτισμός ακτών

Χαρακτηριστικά παραδείγματα των παραπάνω δίνονται στις Εικόνες 8.4 έως 8.7 που ακολουθούν.



Εικόνα 8.4: Ύφαλοι αποσπασμένοι κυματοθραύστες, Κατερίνη



Εικόνα 8.5: Ύφαλοι πρόβολοι, Ρίο



Εικόνα 8.6: Πλωτός κυματοθραύστης, Fezzano, Ιταλία



Εικόνα 8.7: Τεχνητή ανάπλαση/ εμπλουτισμός ακτής, Brevard beach, Florida

Όσον αφορά τον τύπο της προτεινόμενης παρέμβασης / κατασκευής αναλόγως με τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και τον τύπο του προβλήματος, στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένες προτάσεις κατηγοριοποιημένες με βάση τα παραπάνω.

Πίνακας 8.1: Κατηγοριοποίηση τύπου κατασκευών ανά τύπο προβλήματος

Τύπος προβλήματος	Τύποι κατασκευών (Σκληρές και Ήπιες Μέθοδοι)
Θέματα ασφάλειας	Κρηπιδοτόιχοι (εκτεθειμένες περιοχές) Πρανή Ενίσχυση αμμόλοφων Αποσπασμένοι κυματοθραύστες και τεχνητοί ύφαλοι (εκτεθειμένες περιοχές)
Ανάκτηση γης	Κρηπιδοτόιχοι (εκτεθειμένες περιοχές) Τεχνητοί αμμόλοφοι (προστατευμένες περιοχές) Αποσπασμένοι κυματοθραύστες και τεχνητοί ύφαλοι (εκτεθειμένες περιοχές)
Παραλίες αναψυχής – πλαζ κολύμβησης	Τεχνητή ανάπλαση/ εμπλουτισμός παραλίας Επιμήκης πρόβολοι που περικλείουν τεχνητές ή «κλειστές» (τύπου rocket) παραλίες (εκτεθειμένες περιοχές) Τεχνητοί μύλοι/ πρόβολοι (προστατευμένες περιοχές) Αποσπασμένοι κυματοθραύστες (προστατευμένες περιοχές) Αποσπασμένοι ύφαλοι κυματοθραύστες /παραλίες τύπου «σκαλοπάτι» (προστατευμένες περιοχές)
Αντιμετώπιση διάβρωσης και ανάπλαση αμμωδών περιοχών	Εμπλουτισμός παραλίας Τεχνητοί παράκτιοι αυχένες «ταΐστρες» Αποσπασμένοι ύφαλοι κυματοθραύστες (προστατευμένες περιοχές) Σύστημα προβόλων (σε περιοχές με παράλληλα κυματογενή ρεύματα)
Σταθεροποίηση χερσαίας περιοχής	Επιμήκης πρόβολοι (εκτεθειμένες περιοχές) Αποσπασμένοι κυματοθραύστες Τεχνητή ανάπλαση/ εμπλουτισμός παραλιών με άμμο

8.2 Μέθοδοι και προτάσεις αντιμετώπισης στην περιοχή μελέτης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα μορφοδυναμικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των ακτομηχανικών διεργασιών, περιλαμβάνοντας στερεομεταφορά τόσο εγκάρσια όσο και παράλληλα στην ακτογραμμή. Αυτό καθιστά ιδιαίτερα πολύπλοκη την μελέτη των εν λόγω έργων και απαιτεί συστηματική έρευνα και στοχευμένη δράση για την αντιμετώπισή τους.

8.2.1 Υφιστάμενα έργα

Στην περιοχή μελέτης έχουν ήδη γίνει παρεμβάσεις με σκοπό την αντιμετώπιση των εν λόγω προβλημάτων, τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια.

Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή της εισόδου του Διαύλου, έχουν κατασκευαστεί τρεις ύφαλοι αντιπροσαμμωτικοί πρόβολοι, με σκοπό τον περιορισμό της στερεομεταφοράς και την αποφυγή δημιουργίας της χαρακτηριστικής αμμόγλωσσας (βλ. Εικόνα 8.8). Η εν λόγω παρέμβαση ανήκει στην κατηγορία των «ήπιων» μεθόδων και μελετήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας σε σχέση με την προτεραία κατάσταση, με τα αποτελέσματα να δείχνουν ότι υπάρχει μια τάση περιορισμού του φαινομένου και μείωσης του ρυθμού μεταβολής του επιπέδου του πυθμένα (βλ. Παράγραφο 7.4). Η στάθμη της στέψης των εν λόγω προβόλων βρίσκεται στα -1m από τη ΜΣΘ, επιτρέποντας τη δράση ρευμάτων και την παράσυρση ιζημάτων, ενώ αντίθετα, μια έξαλλη κατασκευή της κατηγορίας των «σκληρών» μεθόδων, θα περιόριζε το φαινόμενο σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό. Πρέπει ωστόσο, να λάβουμε υπόψη και εξωτερικούς παράγοντες που συχνά υπεισέρχονται στον σχεδιασμό των τεχνικών έργων, όπως περιβαλλοντικούς, κοινωνικο-οικονομικούς και αρχαιολογικούς, οι οποίοι και τελικά επιβάλλουν πιο «μετριοπαθείς» λύσεις.

Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τα έντονα μορφοδυναμικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης περιοχής, θα πρέπει να παρακολουθήσουμε σε βάθος χρόνου την εξέλιξη τους, καθώς η προσομοίωση των φυσικών διεργασιών σε υπολογιστικό περιβάλλον έχει πάντα μέσα στα αποτελέσματα που παράγει το στοιχείο της αβεβαιότητας.



Εικόνα 8.8: Η είσοδος του Διαύλου Λευκάδας μετά την ολοκλήρωση των έργων «Διαπλάτυνση Διαύλου Λευκάδας». Διακρίνονται οι τρεις ύφαλοι αντιπροσαμμωτικοί πρόβολοι και το εναπομείναν τμήμα της αμμόγλωσσας μετά τις εργασίες βυθοκορήσεων

Όσον αφορά στην περιοχή του Αγ. Ιωάννη, ολοκληρώθηκε πρόσφατα ο εμπλουτισμός της παραλίας με άμμο, σύμφωνα και με την ακτομηχανική μελέτη που είχε συνταχθεί για το Δήμο Λευκάδας. Η άμμος που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από τις εκτεταμένες βυθοκορήσεις στην περιοχή της αμμόγλωσσας. Η εν λόγω τεχνική «ήπιας» παρέμβασης επιλέγει για να αντιμετωπίσει τα έντονα διαβρωτικά φαινόμενα στο νότιο κυρίως τμήμα της παραλίας, τα οποία είχαν οξυνθεί τα τελευταία χρόνια (βλ. Εικόνα 8.9).



Εικόνα 8.9: Νότιο τμήμα παραλίας Αγ. Ιωάννη μετά τις εργασίες εμπλουτισμού της παραλίας.

8.2.2 Προτεινόμενα έργα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην περιοχή μελέτης έχουν γίνει ήδη παρεμβάσεις στην κατεύθυνση ανάσχεσης και ανάταξης των αντίστοιχων προβλημάτων προσάμμωσης και διάβρωσης που παρατηρούνται στην είσοδο του διαύλου και στο νότιο τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη.

Για το λόγο αυτό, θα επικεντρωθούμε στο υπόλοιπο τμήμα της περιοχής μελέτης που αφορά στο κυρίως ανάπλυγμα της αμμολωρίδας των δύο παραλιών του Αγ. Ιωάννη και της Γύρας.

Οι δύο αυτές παραλίες δεν παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά ως προς τα φαινόμενα που επενεργούν σε αυτές, με αυτή του Αγ. Ιωάννη να παρουσιάζει μικρότερης έντασης προβλήματα και να είναι πιο επιρρεπής σε φαινόμενα εγκάρσιας στερεομεταφοράς, και αυτή της Γύρας, όπου παρατηρούνται εντονότερα φαινόμενα δίαιτας της ακτής λόγω στερεομεταφοράς παράλληλα στην ακτογραμμή.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να λάβουμε επίσης υπόψη τις περιβαλλοντικές, κοινωνικές, οικονομικές κ.α. δεσμεύσεις που υπάρχουν στην εν λόγω περιοχή, καθώς και το γεγονός ότι αποτελεί μια περιοχή με έντονο τουριστικό και κοινωνικο-οικονομικό αποτύπωμα. Ιδιαίτερα κατά την τουριστική σεζόν υπάρχει μεγάλη προσέλευση αθλητών του θαλάσσιου σερφ και του κάιτ σερφ, λόγω των ιδιαίτερα ευνοϊκών ανεμολογικών συνθηκών που επικρατούν. Ως εκ τούτου, οι όποιες ενέργειες θα πρέπει να αφορούν σε «ήπιες» μεθόδους και σε ύφαλες κατασκευές, που δεν θα δημιουργούν προβλήματα στις παραπάνω δραστηριότητες και δεν θα θέτουν σε κίνδυνο τους αθλητές.

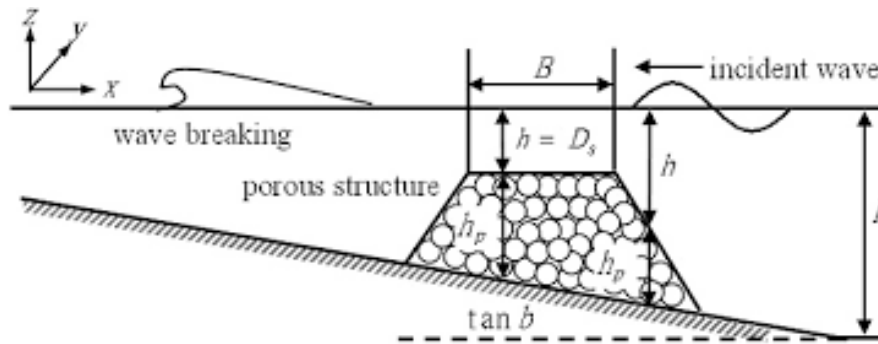
Παραλία Αγ. Ιωάννη

Όσον αφορά στην παραλία του Αγ. Ιωάννη, και βάση των μορφοδυναμικών ιδιαιτεροτήτων και δεσμεύσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως, μια ενδεχόμενη λύση προς μελέτη θα ήταν οι ύφαλοι κυματοθραύστες (με χαμηλό ύψος στέψης), καθώς και ο εμπλουτισμός τμημάτων της παραλίας με άμμο.

Η λύση των αποσπασμένων κυματοθραυστών θα δημιουργούσε ένα είδος ύφαλου αναβαθμού που θα δρούσε σε δύο βασικές κατευθύνσεις:

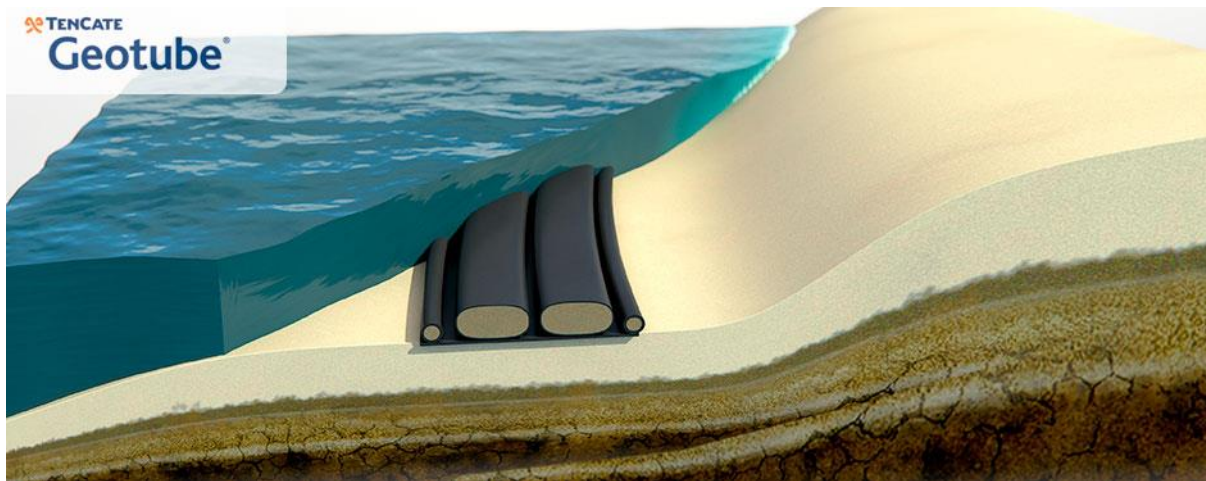
1. Στην ανάσχεση της κυματικής ενέργειας που επενεργεί στην ακτή και είναι η γενεσιουργός αιτία της παράκτιας στερεομεταφοράς και
2. Στην συγκράτηση μέρους των ιζημάτων από την παράσυρση σε μεγαλύτερα βάθη.

Η μέθοδος κατασκευής τέτοιων ύφαλων κυματοθραυστών ποικίλει. Οι πιο συμβατικές κατασκευές αποτελούνται από φυσικούς ογκολίθους (βλ. Εικόνα 8.10).



Εικόνα 8.10: Τυπική διατομή ύφαλου κυματοθραύστη από Φ.Ο.

Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των υλικών, υπάρχουν στην αγορά και άλλα προϊόντα με μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, όπως οι γεωσωλήνες (βλ. Εικόνα 8.11), οι οποίοι αποτελούνται από μεμβράνες γεωσυνθετικών υλικών και η πλήρωση τους γίνεται με υδαρή άμμο .



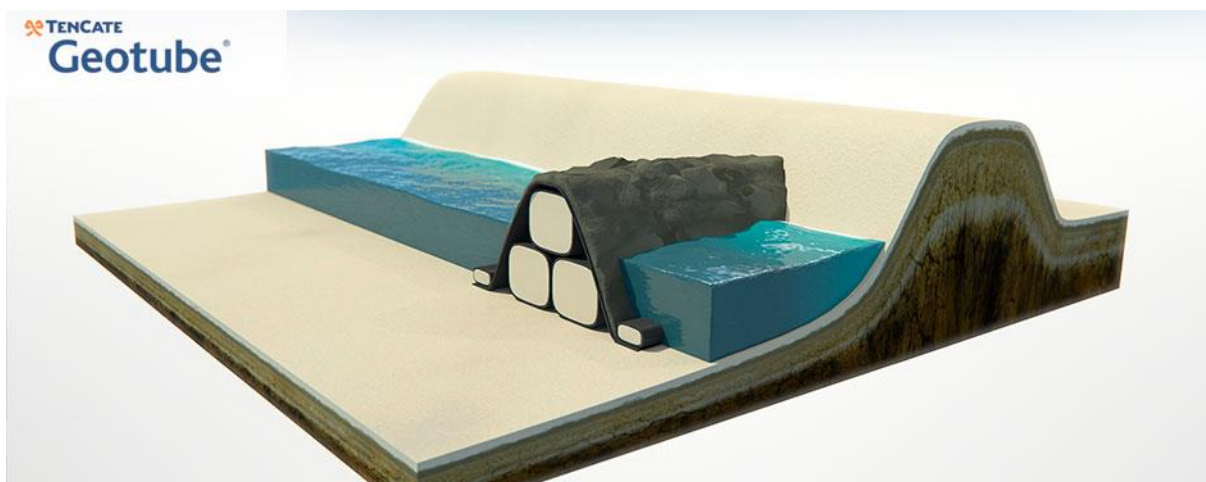
Εικόνα 8.11: Χαρακτηριστική εφαρμογή γεωσωλήνα της εταιρίας TENCATE για την προστασία της ακτογραμμής από τη δράση των κυματισμών

Όσον αφορά στον εμπλουτισμό της ακτογραμμής, αποτελεί μια ήπια και φυσική μέθοδο αναπλήρωσης, ωστόσο λόγω των έντονων ακτομηχανικών φαινομένων θα πρέπει να μελετηθεί σε συνδυασμό με άλλες παρεμβάσεις για πιο καλά αποτελέσματα.

Παραλία Γύρας

Στην περίπτωση της παραλίας της Γύρας, βασικό μορφοδυναμικό χαρακτηριστικό αποτελεί η στερεομεταφορά παράλληλα στην ακτογραμμή. Ο προσανατολισμός της παραλίας σε συνδυασμό με τα μορφοδυναμικά φαινόμενα ορίζουν και το πλαίσιο στο οποίο θα πρέπει να βρίσκονται οι όποιες παρεμβάσεις. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να έχουν εγκάρσιο προσανατολισμό ως προς την ακτογραμμή.

Μια λύση που θα μπορούσε να εξεταστεί θα ήταν η κατασκευή επιμήκων προβόλων με χρήση γεωσωλήνων εγκάρσια στην ακτογραμμή, σε κοντινές αποστάσεις και με τη ρίζα των έργων να ξεκινά από το πίσω κομμάτι της παραλίας, εκεί που βρίσκονται οι θίνες (βλ. Εικόνα 8.12), με το ύψος στέψης τους να βαίνει μειούμενο και να γίνεται ύφαλο από το σημείο της ακτογραμμής και προς τη θάλασσα. Οι επιμήκεις πρόβολοι των γεωσωλήνων θα δημιουργούσαν με αυτόν τον τρόπο τεχνητές ή «κλειστές» (τύπου rocket) παραλίες και με τον τρόπο αυτό θα εξασφαλιζόνταν μια συνέχεια της παραλίας προς τη θάλασσα που θα οδηγούσε στη δημιουργία αμμολωρίδων ικανού μήκους που θα βοηθούσαν στην φυσική ανάκτηση της ακτής. Η συγκεκριμένη μέθοδος θα μπορούσε να συμπεριλάβει και τον εμπλουτισμό τμημάτων με άμμο στα σημεία με τα μεγαλύτερα προβλήματα.



Εικόνα 8.12: Χαρακτηριστική εφαρμογή γεωσωλήνων της εταιρίας TENCATE εγκάρσια στην παραλία για την προστασία της ακτογραμμής

Συμπερασματικά, οι παραπάνω προτάσεις αποτελούν μια ενδεικτική προσέγγιση για την αντιμετώπιση των ακτομηχανικών φαινομένων στην περιοχή μελέτης, βάση των χαρακτηριστικών της προσομοίωσης που προηγήθηκε και των δεσμεύσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Σε κάθε περίπτωση, η όποια επιλογή θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης και σχεδιασμού που θα αναλύει σε βάθος το σύνολο των τεχνικών παραμέτρων.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, στην περιοχή μελέτης των βόρειων ακτών της νήσου Λευκάδας λαμβάνουν χώρα έντονα ακτομηχανικά φαινόμενα, τα οποία επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την μορφολογία της ακτογραμμής και του πυθμένα.

Με βάση τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των υδροδυναμικών φαινομένων και των φαινομένων στερεομεταφοράς, βλέπουμε ότι τα εν λόγω φαινόμενα επηρεάζουν το σύνολο της περιοχής μελέτης με τρόπο τέτοιο ώστε οι μεταβολές να είναι έντονες και εμφανείς στη χρονική διάρκεια ενός έτους που αφορά η προσομοίωση των κυματικών σεναρίων που επελέγησαν. Αυτό δείχνει την ένταση των μορφοδυναμικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή, καθώς τέτοιου είδους διεργασίες και μεταβολές απαιτούν συνήθως μεγαλύτερες χρονικές περιόδους για την αποτύπωσή τους στην μορφολογία και το ανάγλυφο των παράκτιων περιοχών.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επιβεβαίωσαν την διαβρωτική τάση που παρουσιάζει η αμμολωρίδα σχήματος Γ που σχηματίζουν οι παραλίες του Αγ. Ιωάννη και της Γύρας, καθώς και τα έντονα φαινόμενα προσχώσεων που παρατηρούνται στην είσοδο του διαύλου Λευκάδας, ανατολικά του λιμενοβραχίονα.

Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή του Αγ. Ιωάννη, η στερεομεταφορά γίνεται κυρίως εγκάρσια στην ακτογραμμή. Τα εντονότερα φαινόμενα διάβρωσης παρατηρούνται στο νότιο τμήμα της παραλίας, στο μυχό του Όρμου Φλέβα. Στο συγκεκριμένο σημείο ο προσανατολισμός της παραλίας ευνοεί την στερεομεταφορά και σε παράλληλη διεύθυνση προς την ακτογραμμή, ενώ η δράση έντονων ρευμάτων διαφορετικών κατευθύνσεων, καθώς και ρευμάτων επαναφοράς, σε συνδυασμό με το ηπιότερο προφίλ του πυθμένα, ευνοούν την μεταφορά ιζημάτων σε μεγαλύτερα βάθη, μεγεθύνοντας έτσι τα διαβρωτικά φαινόμενα.

Αντίθετα, στο υπόλοιπο τμήμα της ακτογραμμής, η δράση των ρευμάτων είναι μικρότερης έντασης και δεν έχει το ίδιο έντονα αποτελέσματα. Σε αυτό συντελεί κυρίως ο προσανατολισμός της παραλίας που παρουσιάζει μεγαλύτερη κλίση ως προς τη γωνία δράσης των κυματισμών, ενώ η δράση ρευμάτων αντίθετης κατεύθυνσης (προς βορρά και νότο) και η ανάπτυξη ρευμάτων επαναφοράς προς την ανοιχτή θάλασσα, προκαλεί μεταφορά ιζημάτων προς τα ανοιχτά (εγκάρσια στερεομεταφορά), σχηματίζοντας έναν χαρακτηριστικό αναβαθμό. Επίσης, η μορφολογία του πυθμένα με τους πλακώδεις σχηματισμούς παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο με ακμές και αναβαθμούς, οι οποίοι λειτουργούν αποτρεπτικά ως προς την παράσυρση των ιζημάτων σε μεγαλύτερα βάθη, καθώς κρατούν σταθερό το υπόβαθρο του πυθμενικού προφίλ.

Όσον αφορά την παραλία της Γύρας, εκεί παρατηρούνται εξίσου έντονα φαινόμενα στερεομεταφοράς, τα οποία εκδηλώνονται κυρίως παράλληλα στην ακτογραμμή. Η βασική αιτία των έντονων αυτών διαβρωτικών φαινομένων είναι ο προσανατολισμός της παραλίας ως προς τους επικρατούντες κυματισμούς και τα παράκτια ρεύματα, τα οποία παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές κατά μήκος της παραλίας της Γύρας. Η διάταξη αυτή ως προς τις κυματικές και υδροδυναμικές συνθήκες που επικρατούν αυξάνει την τρωτότητά της και την καθιστά πιο ευάλωτη σε φαινόμενα στερεομεταφοράς παράλληλα στην ακτογραμμή, διαταράζοντας έτσι τον κύκλο χειμέριου-θερινού κυματισμού, ο οποίος θα μπορούσε να συγκρατήσει μέρος τους ιζημάτων εντός της ζώνης θραύσης, όπως συμβαίνει σε πιο έντονο βαθμό στο μεγαλύτερο και προς βορρά τμήμα της παραλίας του Αγ. Ιωάννη.

Στο ανατολικό άκρο της παραλίας της Γύρας, στην περιοχή της εισόδου του διαύλου Λευκάδας, παρατηρούνται έντονα φαινόμενα προσάμμωσης και αύξησης της στάθμης του πυθμένα. Η παρουσία έντονων ρευμάτων στο δυτικό τμήμα της παραλίας της Γύρας και η μεγάλη ποσότητα φερτών που παρασύρονται, καταλήγουν στη περιοχή αυτή και συγκεκριμένα στο τμήμα της παραλίας στην εξωτερική παρειά του λιμενοβραχίονα, καθώς και στην αμμόγλωσσα.

Επίσης, στα σημεία αυτά παρατηρείται μείωση της ταχύτητας των ρευμάτων. Στην δυτική πλευρά του λιμενοβραχίονα η μείωση αυτή είναι μικρότερη, ενώ πιο έντονη είναι στην περιοχή της αμμόγλωσσας, λόγω της απότομης αύξησης των βαθών από τη διώρυγα ναυσιπλοΐας του διαύλου. Η μείωση αυτή της ταχύτητας των ρευμάτων συνεπάγεται αντίστοιχη μείωση στην ταχύτητα μεταφοράς των ιζημάτων, κάτι που οδηγεί την απόθεσή τους στα συγκεκριμένα σημεία και στην αύξηση της στάθμης του πυθμένα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μιας αμμόγλωσσας, ο ρυθμός αύξησης της οποίας είναι ιδιαίτερα έντονος, κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε και από τα αποτελέσματα τη προσομοίωσης των υδροδυναμικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών στην συγκεκριμένη περιοχή.

Η προσομοίωση στην περιοχή της εισόδου του διαύλου με την προσθήκη στο μοντέλο μας των ύφαλων αντιπροσαμμωτικών προβόλων, έδειξε μια μετρήσιμη μεταβολή τόσο στην υδροδυναμική όσο και στην μορφοδυναμική συμπεριφορά στο συγκεκριμένο σημείο της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν αλλαγές στις ταχύτητες και διευθύνσεις των θαλασσίων ρευμάτων και μείωση του ρυθμού μεταβολής της στάθμης του πυθμένα, άρα και του συνολικού όγκου ιζημάτων που λόγω στερεομεταφοράς δημιουργούν έντονα φαινόμενα προσάμμωσης στο σημείο αυτό.

Τέλος, όσον αφορά στα μέτρα για την ανάσχεση και την αντιμετώπιση των εν λόγω φαινομένων και διεργασιών στην περιοχή μελέτης, αναφέρθηκαν διάφορες λύσεις που έχουν εφαρμογή σε τέτοιες περιπτώσεις, όπως η τοποθέτηση ύφαλων κυματοθραυστών και γεωσωλήνων, που μειώνουν την δράση των κυματισμών και ταυτόχρονα δεν προκαλούν μεγάλη περιβαλλοντική και οπτική όχληση στο ιδιαίτερο καθεστώς (περιβαλλοντικό, τουριστικό και αθλητικό) της περιοχής μελέτης. Ωστόσο, το σύνολο αυτών των παρεμβάσεων θα πρέπει να μελετηθεί καταλλήλως στο πλαίσιο μιας μελέτης που θα εξετάσει λεπτομερώς και σημειακά τις όποιες παρεμβάσεις και την εν δυνάμει αποτελεσματικότητά τους.

Αναφορές

Βιβλιογραφία

Komen, G.J., Cavaleri, L., Doneland, M., Hasselmann, K., Hasselmann S. and Janssen, P.A.E.M., (1994). Dynamics and Modelling of ocean waves. Cambridge University Press, UK, 560 pp.

Young, I.R., (1999). Wind generated ocean waves, in Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 2, Eds. R. Bhattacharyya and M.E. McCormick, Elsevier.

Holthuijsen, L.H, Booij, N. and Herbers, T.H.C. (1989). A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents, Coastal Engr., 13, 23-54.

Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen, 1999. A third-generation wave model for coastal regions. 1. Model description and validation. J.Geophys. Res., 104, 7649-7666

Coastal Engineering Manual, CERC, Part II-8-14, Απρίλιος 2002

AIPCN, Supplem. au Bulletin No 82(93)

Department of Energy: "Offshore installations, Guidance on design and construction", HMSO, April 1984, 1988.

Fredsoe, J. 1984, 'The turbulent boundary layer in combined wave – current motion' Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No HY8.

Deigaard, R., Fredsoe, J. and Hedegaard, I.B. 1986, 'Suspended sediment in the surf zone'. Journal of Waterway, Port and Coastal Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 1.

Deigaard, R., Fredsoe, J. and Hedegaard, I.B., Zyserman, J.A., Anderson, O.H., 1988, 'Litoral Drift Model for Natural environments', 21st International Conference On Coastal Engineering, Malaga.

Hedegaard, I.B., Deigaard, R., 1988, 'A model for cross-shore sediment transport and coastal profile development', Proc. IAHR, 2nd International Symposium on Wave Research and Coastal Engineering, Hannover.

Roelvink, J.A. and Stive, M.J.F., 1988, 'Large scale test of cross shore sediment transport on the upper shoreface', Proc. IAHR, Symposium on Mathematical Modeling of Sediment Transport in the Coastal Zone, Copenhagen.

Battjes, J.A., and J.P.F.M. Jansen, 1978, 'Energy Loss and Set-Up due to Breaking of Random Waves. Proc. Of the 16th Int. Conf. on Coastal Eng. Pp569-587, Hamburg.

Doering, J.C. and Bowen, A.J., 1995, Parametrization of orbital velocities asymmetries of shoaling and breaking waves using bispectral analysis, Coastal Engineering (26) 1-2, pp. 15-33.

Δ. Κουτσογιάννης, Κ. Ταρλά, ' Εκτίμηση Στερεοαπορροής στην Ελλάδα' , Τεχνικά Χρονικά, Α, 1987, Τόμος 7, Τεύχος 3.

Karsten Mangor, 2004, Shoreline Management Guidelines, Danish Hydraulic Institute (DHI)

Coastal Engineering Manual, CERC, Part IV-3-64, Απρίλιος 2002

DHI, 2017. *MIKE 21/3 Coupled Model FM, User Guide*. Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Demark.

DHI, 2017. *MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation*. Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Demark.

DHI, 2017. *MIKE 21 SW, Spectral Waves FM Module, Scientific Documentation*. Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Demark.

DHI, 2017. *MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM, Sand Transport Module, Scientific Documentation*. Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Demark.

Soukissian, T., Hatzinaki, M., Korres, G., Papadopoulos, A., Kallos, G. and Anadranistakis, E., 2007. *Wind and Wave Atlas of the Hellenic Seas*. Hellenic Centre for Marine Research Publ., 300pp.

USACE (US Army Corps of Engineers), 2006. *Coastal Engineering Manual*.

Καραμπάς, Θ., Κρεστενίτης, Γ., και Κουτίτας, Χρ., 2015. *Ακτομηχανική - Έργα Προστασίας Ακτών*. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (ΣΕΑΒ) (www.kallipos.gr), Αθήνα.

Υδρογραφική Υπηρεσία, 2013. Στατιστικά Στοιχεία της Στάθμης της Θάλασσας Ελληνικών Λιμένων.

Coastal Engineering Manual, CERC, Part III, Chapter 2.

Μελέτες

Μελέτη της Παράκτιας Διάβρωσης και Απόθεσης στις Βόρειες και Δυτικές Ακτές του Δήμου Λευκάδας, ΕΛΚΕΘΕ, Σεπτέμβριος 2006

Διαπλάτυνση Διαύλου Λευκάδας, MARNET ΑΤΕ, 2002

Ακτομηχανική Μελέτη για την περιοχή του Αγίου Ιωάννη Δ.Ε. Λευκάδας, Αλ. Τσιάρας Πολ. Μηχ., Επ. Συμβ. Καθηγητής Θ. Καραμπάς, Ιούλιος 2015