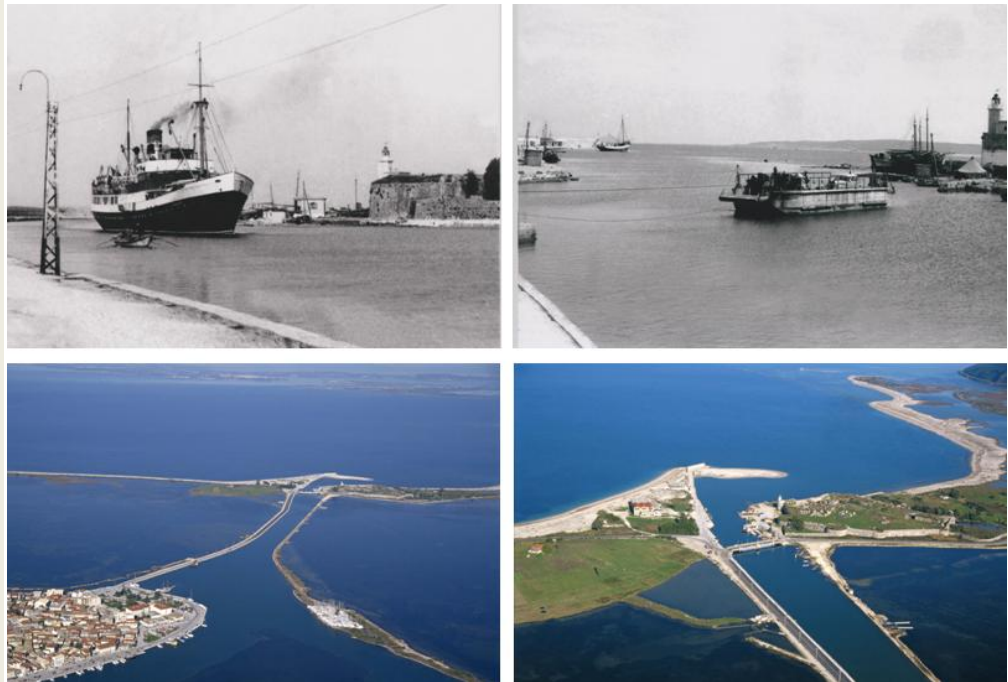




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Ο ΔΙΑΥΛΟΣ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

Δυναμικές συνθήκες στη βόρεια είσοδο



Σοφία Κ. Καραπάνου

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Επιβλέπων Καθηγητής: Κ. Μέμος

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας αποτελεί προϊόν πολύμηνης προσπάθειας, κατά τη διάρκεια της οποίας με βοήθησαν αρκετοί άνθρωποι που θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα μου, καθηγητή, κ. Κωνσταντίνο Μέμο για την εμπιστοσύνη την προσοχή και τη συμπαράσταση κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας αυτής.

Σημαντικό παράγοντα για την εκπόνηση της εργασίας αποτέλεσε η συλλογή στοιχείων. Θα ήθελα να ευχαριστήσω το Αρχείο Λευκάδας και ειδικότερα την προϊσταμένη του Αρχείου, κ. Ελένη Γράψα για την αθρόα παροχή του συνόλου των ιστορικών στοιχείων του αρχείου για τον Δίαυλο της Λευκάδας .

Ακόμα ευχαριστώ το Λιμεναρχείο Λευκάδας για την παροχή στοιχείων σχετικά με τη λειτουργία του Δίαυλου αλλά και την κίνηση των πλοίων καθώς και τη Νομαρχία Λευκάδας για την παροχή φωτογραφικού υλικού από την περιοχή ενδιαφέροντος.

Ευχαριστώ ακόμα, την MARNET, A.T.E. και συγκεκριμένα τον κύριο Νίκο Φλώριο, για την ενημέρωση και τις πληροφορίες αναφορικά με το έργο «Μελέτη Διαπλάτυνσης Δίαυλου Λευκάδας».

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους συνάδελφους και φίλους Μιχάλη Χονδρό, Αναστάσιο Μεταλληνό, Γιώργο Κλωνάρη και Φράνκα Γαδ, για την αμέριστη συμπαράσταση, τις εύστοχες παρατηρήσεις και τις ευχάριστες στιγμές.

Σοφία Καραπάνου

Οκτωβριος, 2011

Πίνακας Περιεχομένων

	Σελίδα
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xii
EXTENDED ABSTRACT	xiv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	1
3. ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2
1. Ο ΔΙΑΥΛΟΣ – ΔΙΩΡΥΓΑ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ	5
1.1 Ο ΔΙΑΥΛΟΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ.....	5
1.1.1 Η κατάσταση του Δίαυλου μέχρι τον 14 ^ο αιώνα.....	5
1.1.2 Οι προσπάθειες για τη διάνοιξη του Δίαυλου	6
1.1.3 Τα πρώτα έργα (Ιόνιο Κράτος (1815-1864))	7
1.2 Η ΜΕΛΕΤΗ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ (ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΡΑΤΟΣ 1864).....	8
1.2.1 Θέση και χαρακτηριστικά του έργου	9
1.2.2 Η χρηματοδότηση των έργων και οι αντιδράσεις	11
1.2.3. Τεχνικά προβλήματα και πορεία των έργων	11
1.2.4 Οι πλευρικές διώρυγες & άλλα έργα	12
1.3 ΤΟ ΝΟΜΟΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ	13
1.3.1 Η αιτιολογική έκθεση	15
1.3.1.1 Χάραξη της Διώρυγας και του «εσωτερικού λιμένα».....	16
1.3.1.2 Διαστασιολόγηση της Διώρυγας και του «εσωτερικού λιμένα»	17
1.3.2 Εκτέλεση των έργων.....	19
1.3.2.1 Διάνοιξη	19
1.3.2.2 Δευτερεύοντα έργα	20
1.3.3 Έσοδα Διώρυγας.....	22
1.3.3.1 Πλοία μεταξύ Λευκάδας και ακτών Ακαρνανίας	22
1.3.3.2 Πλοία με κατεύθυνση προς Πάτρα ή Κέρκυρα	22
1.4 Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ	23
2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ & ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	25
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	25
2.1.1 Αρχαιολογικά ευρήματα στην περιοχή του Δίαυλου	25

2.1.2 Στοιχεία για τη λειτουργία του Δίαυλου	27
2.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	28
2.2.1 Δημιουργία αρχείων βαθυμετρίας περιοχής μελέτης	31
2.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	32
2.3.1 Το ανεμολογικό καθεστώς	33
2.3.2 Στοιχεία παλίρροιας και ρευμάτων	36
2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	37
3. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΑ ΒΑΘΕΙΑ ΝΕΡΑ	41
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	41
3.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΟΣ (fetch)	41
3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑ Coastal Engineering Manual (CEM) ΣΤΑ ΒΑΘΕΙΑ ΝΕΡΑ	44
3.2.2.1 Εντοπισμός δυσμενέστερων σεναρίων ανέμου	45
3.2.2.2 Μέγιστες ενεργειακά τιμές κυματισμών	49
4. ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE 21	51
4.1 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Parabolic Mild–Slope Equation Model (MIKE21 PMS)	51
4.1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο - Βασικές εξισώσεις	52
4.1.2 Οριακές συνθήκες	54
4.1.3 Στοιχεία υπολογισμών	55
4.1.3.1 Απώλειες ενέργειας λόγω επίδρασης πυθμένα	56
4.1.3.2 Απώλειες ενέργειας λόγω θραύσης κυματισμών	56
4.1.4 Διαδικασία προσομοίωσης	58
4.2 ΤΟ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Flow Model (MIKE21 HD)	65
4.2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο - Βασικές εξισώσεις	66
4.2.2 Διαδικασία προσομοίωσης	67
4.2.2.1 Βασικές παράμετροι προσομοίωσης	67
4.2.2.2 Υδροδυναμικές παράμετροι προσομοίωσης	72
4.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Non-Cohesive Sediment Transport (MIKE 21 ST)	79
4.3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο – Βασικές εξισώσεις	80
4.3.2 Διαδικασία προσομοίωσης	81
4.3.2.1 Εισαγωγή βασικών παραμέτρων	81
4.3.2.2 Εισαγωγή παραμέτρων μοντέλου	84
5. ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ	91

5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	91
5.2 ΕΝΑΡΞΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ	93
5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΜΑ	96
5.3.1 Μέθοδος CERC	96
5.3.2 Δυνητική στερεομεταφορά κατά μήκος ακτής	97
5.4 ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ, ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ	98
6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	101
6.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	101
6.2 ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΕΜΟΥ.....	103
6.2.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης	103
6.2.1.1 Αποτελέσματα μοντέλου MIKE 21 PMS.....	103
6.2.1.2 Αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου MIKE 21 HD	110
6.2.2 Έλεγχος επάρκειας διαστάσεων του Δίαυλου, βάσει κανονισμών της PIANC	114
6.3 ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΤΙΜΩΝ	119
6.3.1 Αποτελέσματα μοντέλου MIKE 21 PMS.....	119
6.3.2 Αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου MIKE 21 HD	125
6.3.3 Αποτελέσματα μοντέλου στερεομεταφοράς MIKE 21 ST	128
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	135
7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	135
7.1.1 Συμπεράσματα για το κυματικό κλίμα και τις υδροδυναμικές συνθήκες.....	136
7.1.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων στερεομεταφοράς& εξαγωγή συμπερασμάτων.....	137
7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - ΜΕΤΡΑ	138
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	141
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	- 2 -
9.1 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ, ΜΣ ΠΡΕΒΕΖΑΣ, (Πηγή: ΕΜΥ) .	- 3 -
9.2 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΠΛΑΤΗ ΓΙΑ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟ ΚΑΝΑΛΙ, (Πηγή: PIANC)	- 6 -
9.3 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΑΥΤΟΨΙΑ	- 8 -
9.4 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟΥ ΛΕΥΚΑΔΑΣ	- 10 -

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1:	Ο Δίαυλος της Λευκάδας	5
Σχήμα 1.2:	Χάραξη του Δίαυλου (Πηγή: ΓΑΚ).....	10
Σχήμα 1.3:	Οριζοντιογραφία του Δίαυλου (Πηγή: Νομοσχέδιο, 1889).....	14
Σχήμα 1.4:	Φωτογραφίες του Δίαυλου Λευκάδας τα πρώτα χρόνια μετά την κατασκευή του (Πηγή: ΓΑΚ)	15
Σχήμα 1.4:	Γενική άποψη της πόλης της Λευκάδας και μέρος του Δίαυλου, (Πηγή: Νομαρχία Λευκάδας).....	24
Σχήμα 2.1:	Δορυφορική εικόνα της περιοχής του Δίαυλου και σημεία αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, (Πηγή: http://wikimapia.org).....	27
Σχήμα 2.2:	Χάρτης 022: «Η Διώρυγα της Λευκάδας», (Πηγή: ΥΥΝ).....	29
Σχήμα 2.3:	Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης (Πηγή: http://wikimapia.org).....	30
Σχήμα 2.4:	Ερασιτεχνικές φωτογραφίες περιοχής μελέτης.....	30
Σχήμα 2.5:	Ψηφιοποιημένος χάρτης περιοχής μελέτης	31
Σχήμα 2.6:	Αρχείο βαθυμετρίας της περιοχής μελέτης	32
Σχήμα 2.7:	Ετήσιες συχνότητες εμφάνισης ανέμων, ΜΣ Πρέβεζας 1971-2001, (Πηγή: ΕΜΥ).....	34
Σχήμα 2.8:	Ανεμολογικό ροδόγραμμα, ΜΣ Πρέβεζας 1971-2001.....	35
Σχήμα 2.9:	Στοιχεία παλίρροιας για τον λιμένα Λευκάδας, (Πηγή: «Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων» ΥΥ,1991)	36
Σχήμα 2.10:	Γεωλογικός Χάρτης Λευκάδας (Πηγή: Rondoyanni, 1988)	38
Σχήμα 3.1:	Υπολογισμός ενεργού μήκους αναπτύγματος (fetch) για δυτικό άνεμο (W).....	42
Σχήμα 3.2:	Υπολογισμός ενεργού μήκους αναπτύγματος (fetch) για βόρειο (N) & βορειοανατολικό άνεμο (NE).....	43
Σχήμα 4.1:	Επιλογή τύπου προσομοίωσης.....	57
Σχήμα 4.2:	Εισαγωγή τιμής υψομέτρου ξηράς.....	58
Σχήμα 4.3:	Περίοδος προσομοίωσης.....	60
Σχήμα 4.4:	Εισαγωγή κυματικών χαρακτηριστικών στο ανοιχτό όριο.....	61
Σχήμα 4.5:	Πλευρικά όρια.....	61

Σχήμα 4.6:	Ανύψωση ελεύθερης επιφάνειας.....	62
Σχήμα 4.7:	Επιλογή μοντέλου επίλυσης και εισαγωγή φίλτρου.....	63
Σχήμα 4.8:	Τριβή πυθμένα.....	63
Σχήμα 4.9:	Θραύση κυματισμών.....	64
Σχήμα 4.10:	Αρχεία αποτελεσμάτων.....	65
Σχήμα 4.11:	Επιλογή ενότητας μοντέλου.....	67
Σχήμα 4.12:	Εισαγωγή αρχείου βαθυμετρίας και καθορισμός παραμέτρων.....	68
Σχήμα 4.13:	Εισαγωγή παραμέτρων περιόδου προσομοίωσης.....	70
Σχήμα 4.14:	Εισαγωγή ανοιχτών ορίων.....	71
Σχήμα 4.15:	Εισαγωγή πηγών και καταβοθρών.....	71
Σχήμα 4.16:	Αρχική ανύψωση θαλάσσιας στάθμης.....	72
Σχήμα 4.17:	Εισαγωγή τύπου και τρόπου υπολογισμού ανοιχτών ορίων.....	73
Σχήμα 4.18:	Συντελεστής τυρβώδους διάχυσης.....	74
Σχήμα 4.19:	Αντίσταση πυθμένα.....	74
Σχήμα 4.20:	Εισαγωγή Τάσεων ακτινοβολίας.....	76
Σχήμα 4.21:	Συνθήκες ανέμου.....	77
Σχήμα 4.22:	Καθορισμός αρχείου αποτελεσμάτων.....	79
Σχήμα 4.23:	Επιλογή τύπου προσομοίωσης.....	81
Σχήμα 4.24:	Εισαγωγή αρχείου HD.....	81
Σχήμα 4.25:	Καθορισμός υπο-περιοχής προσομοίωσης.....	82
Σχήμα 4.26:	Καθορισμός περιόδου προσομοίωσης.....	83
Σχήμα 4.27:	Καθορισμός αρχείου αποτελεσμάτων.....	84
Σχήμα 4.28:	Εισαγωγή κυματικών δεδομένων.....	86
Σχήμα 4.29:	Εισαγωγή παραμέτρων θραύσης.....	86
Σχήμα 4.30:	Αντίσταση πυθμένα.....	87
Σχήμα 4.31:	Χαρακτηριστικά ιζήματος.....	88
Σχήμα 4.32:	Μορφολογικές παράμετροι.....	89
Σχήμα 4.33:	Αρχείο αποτελεσμάτων.....	90
Σχήμα 5.1:	Η περιοχή μελέτης όπως αποτυπώνεται στους χάρτες της ΥΥΝ το 1921 και σήμερα (Πηγή: ΥΥΝ).....	99

Σχήμα 6.1:	Η βαθυμετρία της περιοχής μελέτης.....	103
Σχήμα 6.2:	Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (Hrms) για βορειοανατολικό άνεμο.....	104
Σχήμα 6.3:	Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (Hrms) για βόρειο άνεμο.....	105
Σχήμα 6.4:	Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (Hrms) για βορειοδυτικό άνεμο.....	106
Σχήμα 6.5:	Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (Hrms) για δυτικό άνεμο.....	107
Σχήμα 6.6:	Τάσεις ακτινοβολίας για βορειοανατολικό άνεμο.....	108
Σχήμα 6.7:	Τάσεις ακτινοβολίας για βόρειο άνεμο.....	108
Σχήμα 6.8:	Τάσεις ακτινοβολίας για βορειοδυτικό άνεμο.....	109
Σχήμα 6.9:	Τάσεις ακτινοβολίας για δυτικό άνεμο.....	110
Σχήμα 6.10:	Κυματογενές ρεύμα για βορειοανατολικό άνεμο.....	111
Σχήμα 6.11:	Κυματογενές ρεύμα για βόρειο άνεμο.....	112
Σχήμα 6.12:	Κυματογενές ρεύμα για βορειοδυτικό άνεμο.....	113
Σχήμα 6.13:	Κυματογενές ρεύμα για δυτικό άνεμο.....	114
Σχήμα 6.14:	Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (Hrms) για βορειοανατολικό άνεμο.....	120
Σχήμα 6.15:	Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (Hrms) για βόρειο άνεμο.....	120
Σχήμα 6.16:	Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (Hrms) για βορειοδυτικό άνεμο.....	121
Σχήμα 6.17:	Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (Hrms) για δυτικό άνεμο.....	122
Σχήμα 6.18:	Τάσεις ακτινοβολίας για βορειοανατολικό άνεμο.....	122
Σχήμα 6.19:	Τάσεις ακτινοβολίας για βόρειο άνεμο.....	123
Σχήμα 6.20:	Τάσεις ακτινοβολίας για βορειοδυτικό άνεμο.....	123
Σχήμα 6.21:	Τάσεις ακτινοβολίας για δυτικό άνεμο.....	124
Σχήμα 6.22:	Κυματογενές ρεύμα για βορειοανατολικό άνεμο.....	124
Σχήμα 6.23:	Κυματογενές ρεύμα για βόρειο άνεμο.....	125
Σχήμα 6.24:	Κυματογενές ρεύμα για βορειοδυτικό άνεμο.....	126
Σχήμα 6.25:	Κυματογενές ρεύμα για δυτικό άνεμο.....	127
Σχήμα 6.26:	Μέση ετήσια στερεοπαροχή για βορειοδυτικό άνεμο.....	128
Σχήμα 6.27:	Μέση ετήσια στερεοπαροχή για δυτικό άνεμο.....	129
Σχήμα 6.28:	Μέση ετήσια στερεοπαροχή για βόρειο άνεμο.....	130
Σχήμα 6.29:	Μέση ετήσια στερεοπαροχή για βορειοανατολικό άνεμο.....	131
Σχήμα 6.30:	Ρυθμός μεταβολής βάθους για δυτικό άνεμο.....	131

Σχήμα 6.31: Ρυθμός μεταβολής βάθους για βορειοδυτικό άνεμο.....	132
Σχήμα 7.1: Προτεινόμενη διαπλάτυνση Δίαυλου Λευκάδας.....	137

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1:	Εναλλακτικές περιπτώσεις βάθους του Δίαυλου και κόστος (Πηγή: Νομοσχέδιο, 1889).....	20
Πίνακας 1.2:	Συνολικό κόστος κατασκευής των έργων για τη λύση που επιλέχτηκε, Πηγή: Νομοσχέδιο, 1889.....	21
Πίνακας 3.1:	Υπολογισμός ενεργού μήκους ανάπτυξης κυματισμών (fetch) για Δ, ΒΔ, Β & ΒΑ.....	44
Πίνακας 3.2:	Πρόγνωση κυματισμού με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα του σταθμού της Πρέβεζας και διάρκεια πνοής ίση με την ετήσια.....	47
Πίνακας 3.3:	Σύγκριση κυματισμών για διάρκεια πνοής που αντιστοιχεί στις μέγιστες μηνιαίες, στις ετήσιες συχνότητες εμφάνισης, στη συχνότητα εμφάνισης Ιουλίου & στο άθροισμα συχνοτήτων Ιουλίου και Αυγούστου.....	48
Πίνακας 3.4:	Μέσες ενεργειακά τιμές κυματικών χαρακτηριστικών για Δ, ΒΔ, Β & ΒΑ ανέμους.....	50
Πίνακας 4.1:	Ένταση, ταχύτητα και συντελεστής τριβής ανέμου, (Πηγή: Μουτζούρης, 2006, Memos, 1979).....	77
Πίνακας 5.1:	Έλεγχος έναρξης κίνησης ιζημάτων.....	95
Πίνακας 5.2:	Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής.....	97
Πίνακας 6.1:	Επιλογή διαστάσεων καννάβου.....	102
Πίνακας 6.2:	Έλεγχος διαστάσεων Δίαυλου.....	117
Πίνακας 6.3:	Πλάτος Δίαυλου για πλοίο σχεδιασμού πλάτους 8 μέτρων.....	118
Πίνακας 9.1:	Μηνιαίες συχνότητες εμφάνισης ανέμου ΜΣ Πρέβεζας, (Πηγή: ΕΜΥ).....	Π-2
Πίνακας 9.2:	Πρόσθετα πλάτη για ευθύγραμμο κανάλι, (Πηγή: ΡΙΑΝC).....	Π-5

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της εργασίας αυτής αποτελεί ο Δίαυλος της Λευκάδας και συγκεκριμένα οι δυναμικές συνθήκες που επικρατούν στη βόρεια είσοδο. Ο Δίαυλος της Λευκάδας υπήρξε πάντα άρρηκτα συνδεδεμένος με την ιστορία και την ανάπτυξη του νησιού. Στην εργασία αυτή συλλέχθηκε και παρουσιάζεται υλικό από το Αρχείο Λευκάδας αναφορικά με τις προσπάθειες για τη διάνοιξη του Δίαυλου, την κατασκευή αλλά και τα προβλήματα που προέκυψαν.

Με τον όρο δυναμικές συνθήκες περιγράφεται το κυματικό κλίμα, τα κυματογενή ρεύματα και η δίαιτα των ιζημάτων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η περιοχή μελέτης αφορά στο βόρειο τμήμα του Δίαυλου και συγκεκριμένα στο τμήμα εκείνο από την πλωτή γέφυρα έως την Αμμόγλωσσα. Η ευρύτερη περιοχή συγκεντρώνει πολιτιστικό, περιβαλλοντικό και οικονομικό ενδιαφέρον, καθώς εκεί συνυπάρχουν το φρούριο της Αγίας Μαύρας, η προστατευόμενη λιμνοθάλασσα, αλλά και η μαρίνα σκαφών αναψυχής. Σύμφωνα με το Λιμεναρχείο Λευκάδας, κάθε χρόνο διαπλέουν τον Δίαυλο πάνω από 5000 μικρά (με βύθισμα από 1,5 έως 3 μέτρα) και μεγαλύτερα πλοία (με βύθισμα έως και 4 μέτρα), με περίοδο αιχμής τους καλοκαιρινούς μήνες.

Τα ανεμολογικά δεδομένα και συγκεκριμένα οι μέσες ποσοστιαίες ετήσιες και μηνιαίες συχνότητες εμφάνισης ανέμου συλλέχτηκαν από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό την ΕΜΥ, εκείνον της Πρέβεζας. Για τον προσδιορισμό του κυματικού κλίματος στα ανοιχτά, χρησιμοποιήθηκαν οι ετήσιες συχνότητες. Η περιοχή επηρεάζεται από δυτικούς, βορειοδυτικούς, βόρειους και βορειοανατολικούς ανέμους. Για την πρόγνωση του κυματικού κλίματος στα βαθειά νερά χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία του CEM, αφού πρώτα υπολογίστηκε το ενεργό ανάπτυσμα πελάγους. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν η περίοδος αιχμής φάσματος (T_p) και το σημαντικό ύψος κύματος (H_{m0}) για κάθε άνεμο από τους παραπάνω. Για τον προσδιορισμό των υδροδυναμικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκε το δυσμενέστερο σενάριο, δηλαδή το μέγιστο κύμα ανά διεύθυνση πνοής ανέμου, ενώ αναφορικά με την εκτίμηση της στερεομεταφοράς χρησιμοποιήθηκε το σενάριο εκείνο που προκαλεί τη μέγιστη στερεομεταφορά, δηλαδή μέγιστο ενεργειακά κύμα $[(H_i^2 T_i f_i)_{max}]$.

Για τον προσδιορισμό των δυναμικών συνθηκών πραγματοποιήθηκε προσομοίωση με το πρόγραμμα MIKE 21 και συγκεκριμένα με τα μοντέλα Parabolic Mild-Slope (PMS), Hydrodynamic (HD) και Non-Cohesive Sediment Transport (ST) και για τα δύο σενάρια που περιγράφηκαν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για τον βορειοανατολικό άνεμο το μέγιστο κύμα που παρατηρείται στην είσοδο του Δίαυλου είναι 0,64 m, για τον βόρειο 0,75 m, για τον βορειοδυτικό 1,50 m και τον δυτικό 1,2 m. Αντίθετα στο εσωτερικό του Δίαυλου το ύψος κύματος είναι σχεδόν πάντα μηδενικό. Αντίστοιχα, παρατηρήθηκε ότι το κυματογενές ρεύμα είναι ισχυρότερο για τον βορειοδυτικό και δυτικό άνεμο (1,2 m/sec και 2 m/sec αντίστοιχα) από εκείνο που αναπτύσσεται για τον βορειοανατολικό και βόρειο άνεμο (0,45 m/sec και 0,48 m/sec αντίστοιχα) στην περιοχή του ακρωτηρίου. Το κυματογενές ρεύμα για τον βορειοδυτικό και δυτικό άνεμο έχει φορά από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Τέλος,

διαπιστώθηκε ότι η στερεομεταφορά είναι σημαντική μόνο για τον βορειοδυτικό και δυτικό άνεμο (5.000 m³/yr και 8.000 m³/yr αντίστοιχα) και η φορά της είναι από δυτικά προς ανατολικά. Η συνολική στερεομεταφορά, σύμφωνα με το MIKE 21 υπολογίστηκε περίπου 13.000 m³/yr ενώ σύμφωνα με προγενέστερες μελέτες αλλά και εμπειρικές σχέσεις εκτιμήθηκε από 10.000 έως 15.000 m³/yr και φαίνεται να προκαλεί απόθεση ιζημάτων στην είσοδο του Δίαυλου και να συμβάλλει στην επέκταση του ακρωτηρίου της Αμμόγλωσσας.

Τα αποτελέσματα της υδροδυναμικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει έλεγχος των διαστάσεων του Δίαυλου, σύμφωνα με τους κανονισμούς της Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής και άνετη ναυσιπλοΐα στη βόρεια είσοδό του. Προέκυψε ότι για την πλειοψηφία των πλοίων που διαπλέουν σήμερα τον Δίαυλο, οι διαστάσεις του επαρκούν, αρκεί να διασφαλιστεί ομοιόμορφο βάθος ίσο με 6 μέτρα. Στο στενότερο σημείο, εκείνο των 42 μέτρων μπορεί να διέλθει με ασφάλεια πλοίο πλάτους έως και 8 μέτρων, ενώ για μεγαλύτερα πλοία απαιτείται διαπλάτυνση.

Τέλος, προτείνεται μια σειρά έργων, όπως η εκσκαφή της περιοχής της Αμμόγλωσσας, η βυθοκόρηση του Δίαυλου για τη διατήρηση βάθους 6 m, η διαπλάτυνση του, ο φωτισμός και η σήμανσή του. Ακόμα, προτείνεται η μελέτη κατασκευής ενός έργου ακτομηχανικής με στόχο την αποφυγή μελλοντικών προσαμμώσεων.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The present study's subject is to examine the dynamic conditions at the north entrance of Lefkada Island's channel. The channel of Lefkada has always been connected with the history and development of the Island. In this study, data from the Archive of Lefkada regarding efforts to build the channel, the construction and the problems encountered, were collected and presented. The channel was built in the beginning of the previous century, after the establishment of the Greek State.

The different weather conditions have an impact on the functionality of the channel and affect the sailing conditions. The dynamic conditions refer to the wave climate, the currents and the sediment transportation in the study area. The area studied is the north entrance of the channel of Lefkada. This area is a point of high interest, due to geographical, environmental and cultural reasons. The area studied, which is the northern part of the channel, includes the part from the floating bridge to Ammoglossa cape. The area brings together cultural, environmental and economic importance, due to the existence of the fortress of Aghia Maura, the lagoon and the marina. According to the Port Authority of Lefkada, over 5000 small (with a draft of 1,5 to 3 meters) and larger vessels (with a draft up to 4 meters), cross the channel every year, with peak in the summer months



Figure 1: Satellite image of northern entrance of the channel of Lefkada, (<http://wikimapia.org>)

Methodology

In order to investigate the dynamic conditions that dominate in the study area, a general methodology is developed. The application of the proposed methodology includes the following steps:

- Collection of historical data
- Determination of the area studied
- Creation of the bathymetry file
- Recording the wind data of the area studied
- Collection of geological and sediment characteristics
- Forecasting of offshore wave climate
- Definition of the time period of the study
- Estimation of the worst case wind scenario
- Estimation of the maximum energy wind scenario
- Simulation of the dynamic conditions with the use of MIKE 21 program
- Estimation of the sediment transport
- Results and discussion
- Conclusions and measures

The wind data (annual and monthly frequencies (%) of wind directions) were collected from the nearest weather station, which is in Preveza. The methodology of CEM was applied in order to forecast the offshore wave characteristics, using the annual per cent frequencies. The study area is influenced by western (W), north-western (NW), northern (N) and north-eastern (NE) winds. After fetch was estimated, the peak period (T_p) and the significant wave height (H_{m0}) were calculated for each wind direction that can cause wave propagation in the study area (W, NW, N, NE). For the determination of the hydrodynamic conditions, was used the maximum wave height (worst case scenario). On the contrary, for sediment transport analysis (maximum energy scenario), the one used was the wave that transfers the maximum energy [$(H_{i2Tifi})_{max}$]. The incoming wave characteristics for the worst case scenario are presented in Table 1.

Table 1: *Incoming wave characteristics for the worst case scenario*

	NE	N	NW	W
H _{m0} (m)	1,10	1,06	2,68	2,80
T _p (sec)	3,26	3,74	6,93	7,13

The dynamic conditions were simulated with the use of the program MIKE 21 and specifically with Parabolic Mild-Slope (PMS), Hydrodynamic (HD) and Non-Cohesive Sediment Transport (ST) modules, for both scenarios.

Results and discussion

According to the results, the maximum wave height that occurs in the entrance of the channel is 0,64 m for the north-eastern wind, 0,75 m for the northern, 1,50 m for the north-western and 1,2 m. for the western. Unlike within the channel, the wave height is almost zero.

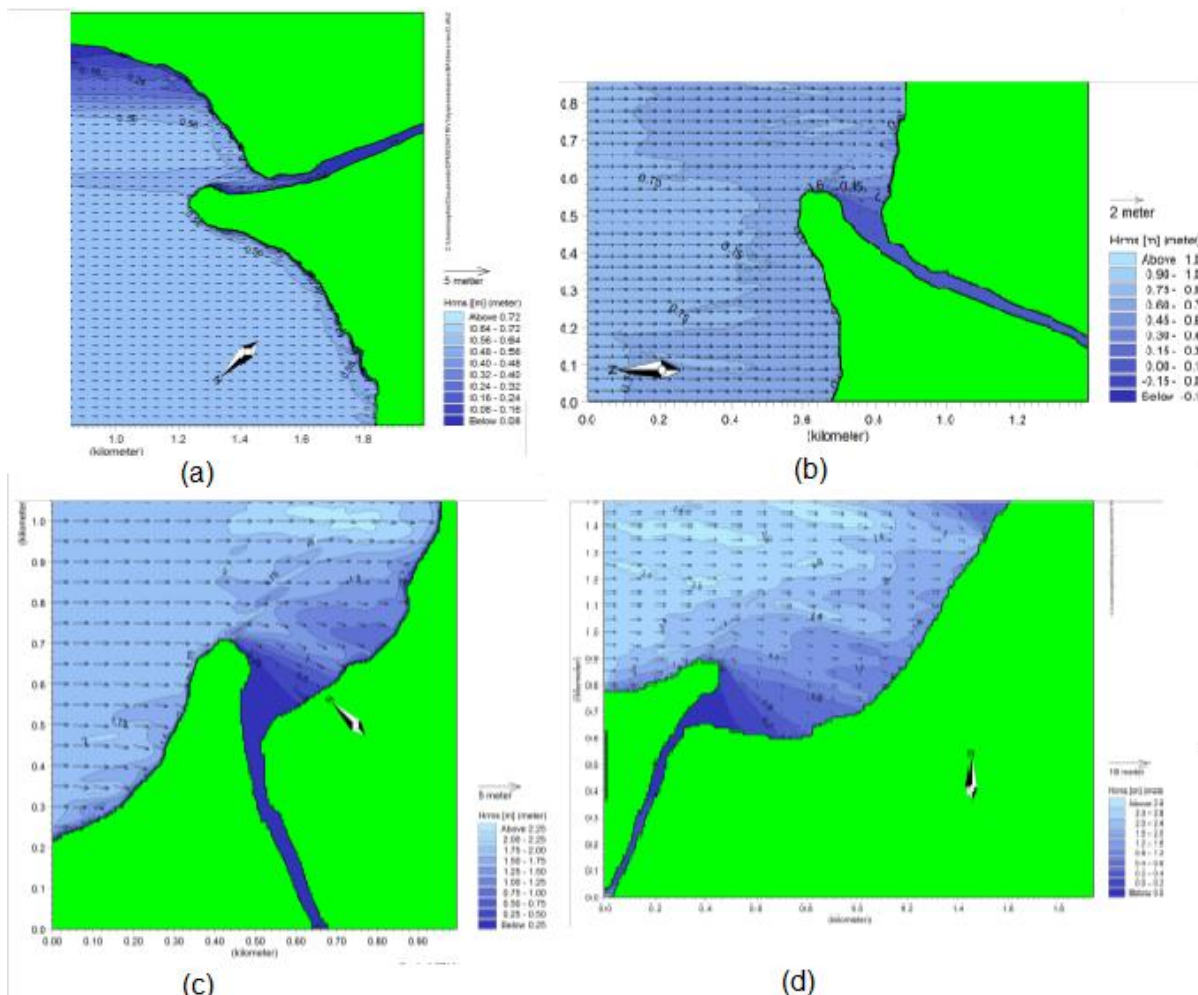


Figure 2: Root-mean-square wave height, H_{rms} , (a) N E wind, (b) N wind, (c) NW wind, (d) W wind, MIKE 21 PMS

Similarly, it was observed that the current has bigger velocity for north-west and west winds (1,2 m / sec and 2 m / sec) than that developed for the north-eastern and north wind (0,45 m / sec and 0,48 m / sec) in front of the cape. The direction of the current for the NW and W wind is from west to east, while for the N and NE wind.

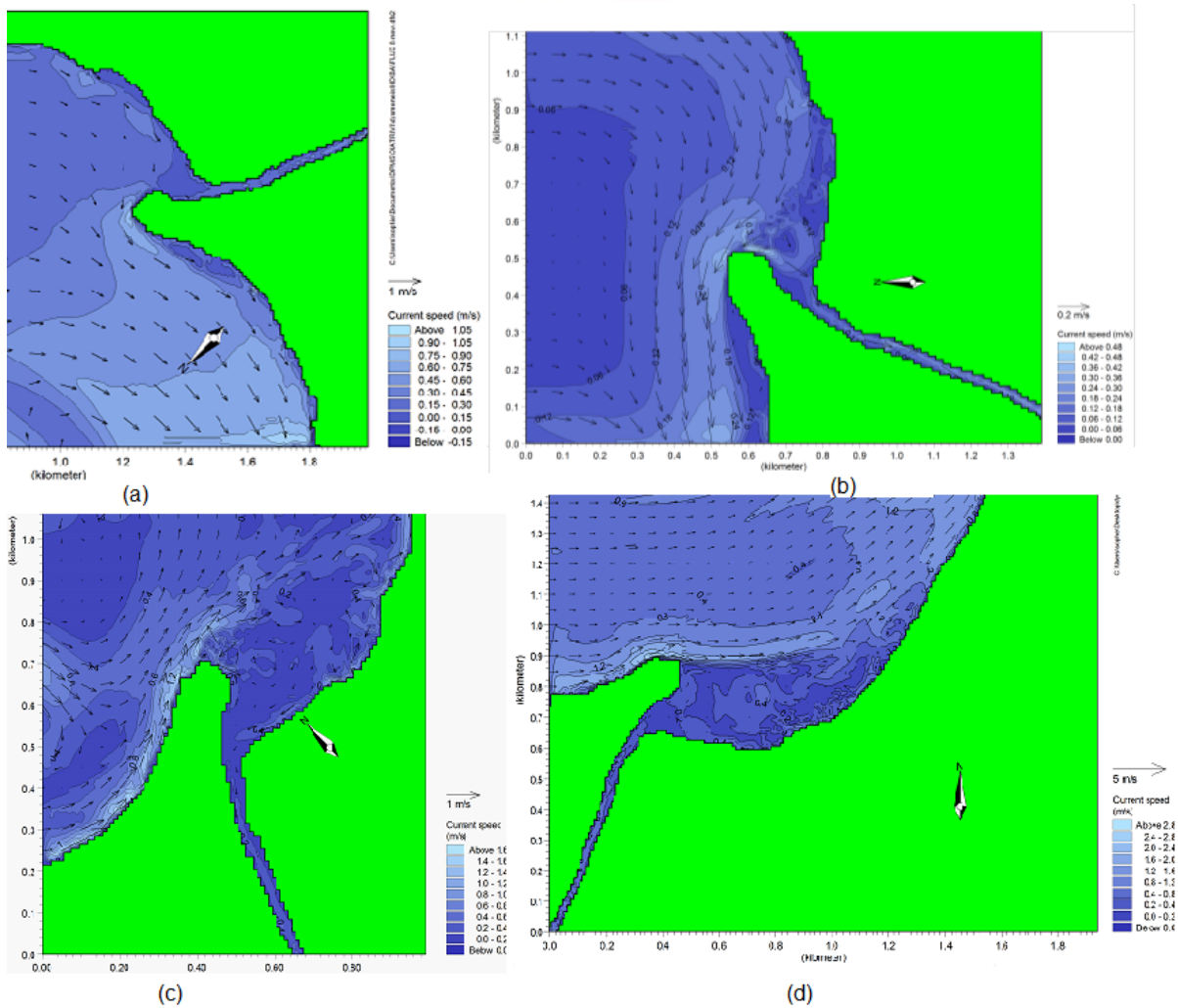


Figure 3: The current in the channel entrance (a) N E wind, (b) N wind, (c) NW wind, (d) W wind, MIKE 21 HD

Finally, it was found that the sediment transport is significant only for the northwest and west wind ($5.000 \text{ m}^3/\text{yr}$ and $8.000 \text{ m}^3/\text{yr}$) and the direction is from west to east. The total sediment transport, according to the simulation with the use of MIKE 21 was estimated to $13.000 \text{ m}^3/\text{yr}$ and according to previous studies and empirical equations is estimated from $10,000$ to $15.000 \text{ m}^3/\text{yr}$. Both cases seem to cause deposition of sediments at the entrance of the channel and contribute to the expansion of the Cape of Ammoglossa.

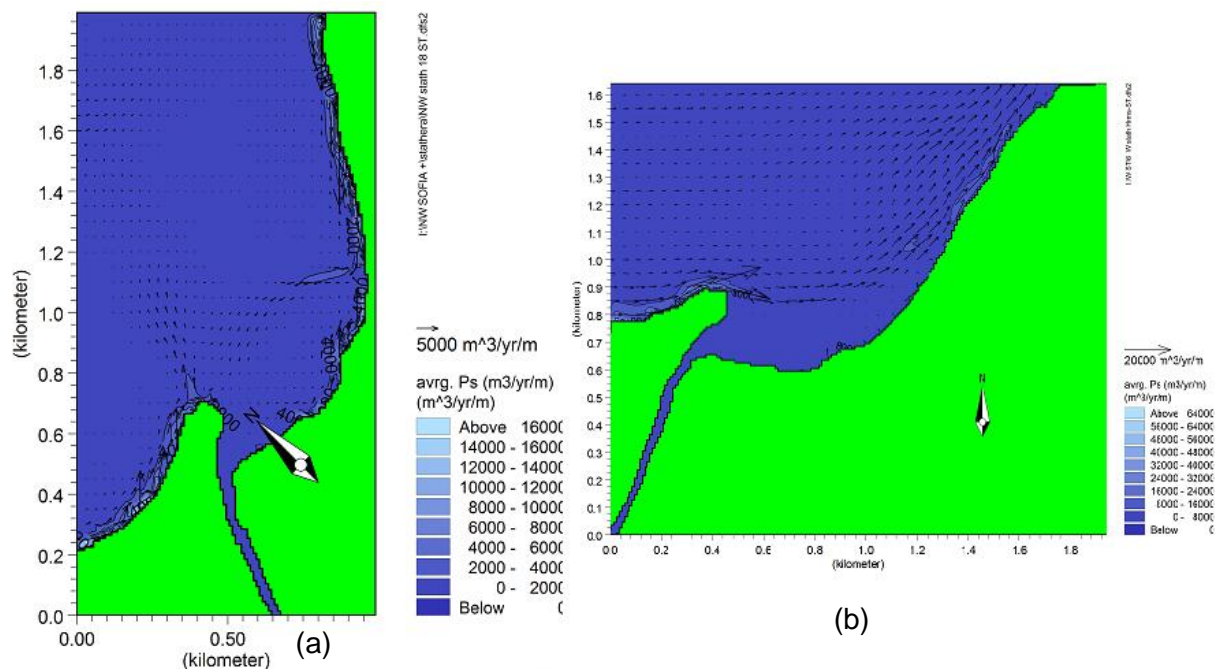


Figure 3: The sediment transport in the area studied, (a) NW wind, (b) W wind), MIKE 21 ST

Conclusions and measures

The results of the hydrodynamic analysis were used to evaluate the channel dimensions according to the regulations of the Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), so as to ensure safe and convenient navigation on the north entrance. It has been revealed that the channel's width is adequate for the majority of vessels that sail through the channel today, while the depth should be at least 5,5 m. The narrowest point of the channel is 42 meters. At this point, the biggest beam that can sail through safely, even under the worst weather conditions is 8 m.

Finally, some measures are proposed in order to ensure safe and secure sailing conditions. The measures that have been proposed are:

- Dredging of the Ammoglossa area, in order to ensure good manoeuvrability
- Dredging of the channel in order to ensure depth of 6 meters
- Widening of the channel, so as bigger vessels can sail through the channel
- Lighting and marking of the channel, in order to ensure safe sailing conditions, even during the night
- Further research about coastal structures that could prevail future sanding of the channel entrance.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχο της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας αποτέλεσε η μελέτη και διερεύνηση των δυναμικών συνθηκών στον Δίαυλο Λευκάδας και κυρίως στη βόρεια είσοδό του. Ο Δίαυλος Λευκάδας αποτελεί σημαντικό παράγοντα ανάπτυξης για το νησί. Στην εργασία περιέχεται ιστορικό υλικό από το Αρχείο Λευκάδος, σχετικά με την κατασκευή του Δίαυλου και τα προβλήματα κατά τη διάρκεια αυτής, στις αρχές του προηγούμενου αιώνα. Για τον προσδιορισμό των κυματικών χαρακτηριστικών και των ρευμάτων στην περιοχή, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση των υδροδυναμικών συνθηκών με το πρόγραμμα MIKE 21 και μελετήθηκε η κίνηση ιζημάτων στην περιοχή του Δίαυλου. Ακόμα, έγινε προσπάθεια προσδιορισμού των πιθανών περιοχών προσάμμουσης. Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η λειτουργία του Δίαυλου και οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτόν, οι οποίες επηρεάζουν την εύρυθμη λειτουργία του, καθώς και η πρόταση μέτρων για τη βελτίωση τους. Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν γίνεται διερεύνηση της επάρκειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, ανάλογα με τα πλοία που εξυπηρετούνται ή πρόκειται να εξυπηρετηθούν.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την επιτυχή προσομοίωση του υδροδυναμικού καθεστώτος στην περιοχή μελέτης ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

- Συλλογή ιστορικών στοιχείων
- Προσδιορισμός της περιοχής μελέτης
- Δημιουργία ψηφιακών αρχείων βαθυμετρίας
- Συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων
- Συλλογή γεωμορφολογικών και γεωτεχνικών χαρακτηριστικών
- Πρόγνωση κυματικού κλίματος στα ανοιχτά

- Επιλογή χρονικής περιόδου μελέτης
- Εντοπισμός δυσμενέστερου σεναρίου ανέμων
- Εντοπισμός μέγιστου ενεργειακά σεναρίου ανέμων
- Προσομοίωση με το πρόγραμμα MIKE 21
- Εκτίμηση στερεομεταφοράς
- Παρουσίαση και σύγκριση αποτελεσμάτων
- Εξαγωγή συμπερασμάτων
- Προτάσεις - Μέτρα

3. ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο πρώτο κεφάλαιο συμπεριλαμβάνονται ιστορικά στοιχεία για την κατάσταση του Δίαυλου πριν την κατασκευή του έργου αλλά και στοιχεία από το Νομοσχέδιο που προέβλεπε την κατασκευή και λειτουργία του. Ακόμα περιγράφεται η διαδικασία κατασκευής, η πορεία των έργων και τα προβλήματα, στις αρχές του προηγούμενου αιώνα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο καθορίζεται η περιοχή μελέτης και γίνεται ενδελεχής περιγραφή της. Γίνεται αναφορά στο περιβάλλον, το φυσικό τοπίο, τον τουρισμό και τα αρχαιολογικά μνημεία στην περιοχή του έργου. Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνονται μετεωρολογικά στοιχεία (ανεμολογικά, παλίρροια), αλλά και στοιχεία για τα χαρακτηριστικά των ιζημάτων.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται πρόγνωση του κυματικού κλίματος στα ανοιχτά, σύμφωνα με το CEM. Εδώ προσδιορίζεται το ανάπτυγμα πελάγους για το σύνολο των ανέμων που επηρεάζουν την περιοχή και υπολογίζονται τα κυματικά χαρακτηριστικά βάσει των ανεμολογικών δεδομένων της ΕΜΥ. Ακόμα, προσδιορίζονται τα σενάρια ανέμου που θα εξεταστούν.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται περιγραφή της διαδικασίας προσομοίωσης των υδροδυναμικών συνθηκών αλλά και της στερεομεταφοράς με το πρόγραμμα MIKE 21. Συγκεκριμένα, περιγράφεται το θεωρητικό υπόβαθρο των μοντέλων PMS, HD και ST καθώς και η επιλογή των παραμέτρων που έγινε στην παρούσα εφαρμογή.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται διερεύνηση των τρόπων υπολογισμού της στερεομεταφοράς. Συγκεκριμένα, προσδιορίζεται η στερεομεταφοράς μέσω διαφόρων σχέσεων. Ακόμα παρουσιάζεται η εκτίμηση της τιμής της στερεομεταφοράς σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες και γίνεται σύγκριση των τιμών αυτών.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μοντέλων PMS, HD και ST του προγράμματος MIKE 21 για τα δύο σενάρια που περιγράφονται στο κεφάλαιο 3. Ακόμα πραγματοποιείται έλεγχος, βάσει των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης αναφορικά με την επάρκεια των διαστάσεων του Δίαυλου σύμφωνα με τις οδηγίες της PIANC.

Το κεφάλαιο 7 περιέχει τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, για τις υδροδυναμικές συνθήκες, για τη λειτουργία του Δίαυλου, την επάρκεια των διαστάσεων αλλά και τις πιθανές θέσεις απόθεσης ιζημάτων. Τέλος γίνονται προτάσεις που στόχο έχουν τη βελτίωση και περαιτέρω ανάπτυξη του Δίαυλου

Στο κεφάλαιο 8 περιέχεται η βιβλιογραφία στην οποία βασίστηκε η παρούσα εργασία.

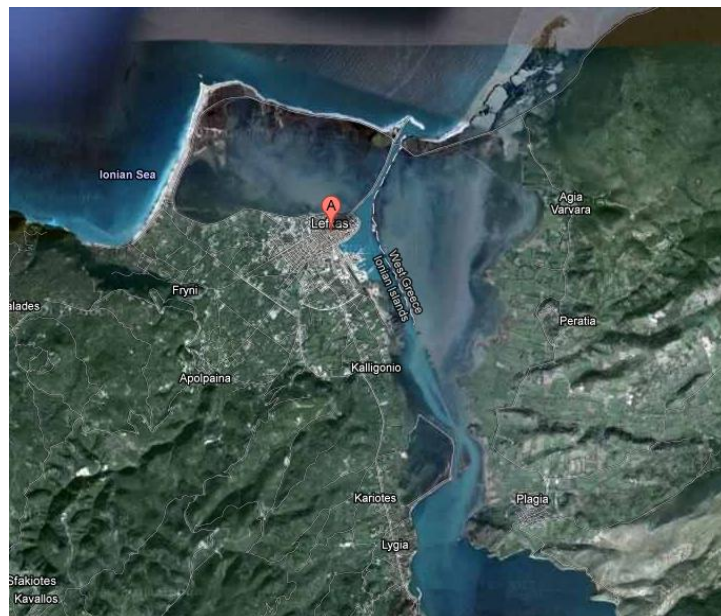
Τέλος, το κεφάλαιο 9 αποτελεί το παράρτημα στο οποίο περιέχονται οι μέσες μηνιαίες συχνότητες εμφάνισης ανέμου για τον ΜΣ Πρέβεζας από την ΕΜΥ, ο πίνακας υπολογισμού πρόσθετου πλάτους για ευθύγραμμο κανάλι της ΡΙΑΝC, αλλά και φωτογραφικό υλικό από το Αρχείο Λευκάδος και έπειτα από αυτοψία στην περιοχή.

1. Ο ΔΙΑΥΛΟΣ – ΔΙΩΡΥΓΑ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

1.1 Ο ΔΙΑΥΛΟΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

1.1.1 Η κατάσταση του Δίαυλου μέχρι τον 14^ο αιώνα

Καθοριστικό στοιχείο για τον ιδιαίτερο χαρακτήρα του νησιού της Λευκάδας αποτελεί ο Δίαυλος, δηλαδή ο πορθμός που σχηματίζεται μεταξύ του νησιού της Λευκάδας και της Ακαρνανίας. Ο Δίαυλος ξεκινά από τον κόλπο Δρέπανο ή Αλέξανδρου στον Νότο και καταλήγει στο βορειότερο άκρο του νησιού, στον κόλπο του Αγίου Νικολάου. Καταλήγοντας στον Βορρά, ο Δίαυλος σχηματίζει μια αβαθή λιμνοθάλασσα και έναν λαιμό ανάμεσα στον βραχίονα της Αγίας Μαύρας και την ακαρνανική ακτή.



Σχήμα 1.1: Ο Δίαυλος της Λευκάδας, (maps.google.com/)

Στις αρχές του αιώνα, διατυπώθηκαν διάφορες θεωρίες σχετικά με τη νησιωτική φύση της Λευκάδας, δηλαδή αν υπήρξε ισθμός ή οι αρχαίοι Κορίνθιοι απλώς εκβάθυναν τον Δίαυλο. Στα αρχαία κείμενα αναφέρεται ως «Εύριπος Διόρυκτος εν τω Ισθμῷ» ή απλώς «Διόρυκτος». Σύμφωνα με αναφορές, η απόθεση υλικών στην περιοχή από τα θαλάσσια ρεύματα, είχε αποτέλεσμα ο Δίαυλος να μην ήταν πλωτός. Στα κλασσικά χρόνια, είναι γνωστό ότι τα πλοία στο σημείο αυτό, διέρχονταν με διόλκυση πάνω από τις ξέρες που σχηματίζονταν. Η περιοχή αυτή σήμερα είναι δύσκολα ορατή, εξαιτίας των επιχωματώσεων που έχουν πραγματοποιηθεί για την δημιουργία της οδικής σύνδεσης της Λευκάδας με την ηπειρωτική Ελλάδα.

Παλαιότερα, ο Δίαυλος ήταν εξαιρετικής σημασίας καθώς τα πλοία διερχόμενα από εκεί, παρέκαμπταν την ανοιχτή θάλασσα του Ιονίου. Συγκεκριμένα στα τέλη του 14^{ου} αιώνα, αναφέρεται ότι μεγάλα πλοία κατέβαλαν ακόμα και διόδια στους κύριους του νησιού. Στα ρωμαϊκά χρόνια υπήρχε επικοινωνία δια ξηράς η οποία εξυπηρετούταν με πέτρινη γέφυρα στο νότιο άκρο του Δίαυλου. Αντίθετα, στα Νεότερα χρόνια υπήρχαν ξυλογέφυρες που ένωναν τις ξέρες που βρισκόταν στα ανατολικά του φρουρίου, μέσα και γύρω από το οποίο ήταν χτισμένη η πόλη της Αγίας Μαύρας από τον 14^ο αιώνα. Ακόμα, μπροστά από το φρούριο υπήρχε και λιμένας. Τέλος, το υδραγωγείο που είχε κατασκευαστεί μέσα στη λιμνοθάλασσα, χρησίμευε και ως πεζογέφυρα. (Γράψα, 2009)

1.1.2 Οι προσπάθειες για τη διάνοιξη του Δίαυλου

Μετά την κατάληψη της Λευκάδας από τους Βενετούς το 1684, η πρωτεύουσα του νησιού μεταφέρθηκε από την Αγία Μαύρα, στη σημερινή της θέση, στην πεδιάδα της Αμαξικής. Στην πόλη της Αγίας Μαύρας παρέμειναν οι Βενετοί άρχοντες, ο στρατός και οι υπηρεσίες, ενώ οι κάτοικοι μεταφέρθηκαν στη νέα πόλη, η οποία δεν διέθετε λιμένα. Η νέα πρωτεύουσα ήταν αποκομμένη από τις θαλάσσιες μεταφορές και τη ναυτιλία, αφού ο κοντινότερος λιμένας βρισκόταν στα βορειοδυτικά του φρουρίου της Αγίας Μαύρας. Ακόμα ο Δίαυλος που βρισκόταν στη λιμνοθάλασσα στην ανατολική πλευρά του Κάστρου, από την αχρηστία και κυρίως από τις αποθέσεις ιζημάτων με την πάροδο των χρόνων είχε κλείσει, καθιστώντας έτσι αδύνατη την επικοινωνία με την ανοιχτή θάλασσα. Αυτή είναι και η χρονική στιγμή από την οποία αρχίζει να καταγράφεται με έγγραφα, η αναγκαιότητα της διάνοιξης του Δίαυλου και της κατασκευής λιμένα στη νέα πόλη.

Οι κάτοικοι της νέας πρωτεύουσας κατέβαλαν προσπάθειες για να πείσουν τους Βενετούς να διανοίξουν τον αρχαίο Δίαυλο. Αν και οι Βενετοί αναγνώριζαν τη μεγάλη χρησιμότητα της διάνοιξης του Δίαυλου και παρά τις προσπάθειες των κατοίκων δεν προχώρησαν σε καμία ενέργεια. Το 1760 υποδεικνύεται η ανάγκη διάνοιξης της δυτικής τάφρου, η οποία είχε επιχωθεί εξαιτίας της κατεδάφισης μέρους του φρουρίου, και η επέκτασή της μέχρι τον λιμένα του Δρεπάνου, εξασφαλίζοντας έτσι την ασφαλή ναυσιπλοΐα από την πειρατεία και τις καιρικές συνθήκες. Το 1761, μέσω επίσημων εγγράφων επισημαίνεται ότι με τη διάνοιξη του Δίαυλου, δεν θα χρειάζεται ο περίπλους του Μεγανησίου και του ακρωτηρίου Δουκάτου καθώς και ότι τα πλοία θα μπορούσαν να πλέουν προς τα ανοιχτά με άνεμο νοτιοανατολικό και βορειοανατολικό. Ακόμα, επισημαινόταν πως θα αυξάνονταν τα έσοδα από τους τελωνειακούς δασμούς, καθώς και η έλευση αγαθών και εύπορων εμπορών.

Η διάνοιξη του Δίαυλου θα συνέβαλε στην προστασία του νησιού από την εισβολή πεζών, καθώς εκείνη την εποχή το βόρειο τμήμα του Δίαυλου είχε στενέψει τόσο ώστε μόνο μικρές βάρκες μπορούσαν να διέρχονται από τον Δίαυλο. Τα έγγραφα με το αίτημα για διάνοιξη του Δίαυλου (12 Ιουνίου 1765), συνοδευόταν από έκθεση στην οποία υπογραμμίζονταν η μεγάλη οικονομική ωφέλεια που θα είχε το έργο για το νησί και τη Βενετία. Συγκεκριμένα, αναφερόταν στη διάνοιξη ενός δίαυλου πλάτους περίπου 24 μέτρων και βάθους περίπου 4 μέτρων που θα εκτεινόταν από τον λιμένα του Δρέπανου έως τον λιμένα Δέματα διερχόμενος τις νέες αλυκές. Το έργο δεν πραγματοποιήθηκε, αν και γίνονταν συνέχεια προσπάθειες για την εκσκαφή και εκβάθυνση του καναλιού. Την εποχή εκείνη, τα πλοία κατέφθαναν στον όρμο Δέματα και ο ελλιμενισμός τους γινόταν στον Άγιο Νικόλαο. Τα εμπορεύματα μεταφερόταν στην πόλη από τη στεριά που περικλείει από τα δυτικά τη λιμνοθάλασσα και ονομάζεται Γύρα. Η απαίτηση για τη διάνοιξη του Δίαυλου στο βόρειο τμήμα ήταν γενική, καθώς έτσι τα εμπορεύματα δεν θα μεταφέρονταν από τον ακατάλληλο δρόμο του υδραγωγείου.

Το 1806 έγινε εισήγηση για την εκβάθυνση του Δίαυλου, με σκοπό την εξυπηρέτηση του εμπορίου και της ναυτιλίας αλλά και την αποφυγή ενδεχόμενης εισβολής του Αλή Πασά από τη Στερεά Ελλάδα. Το έργο προβλεπόταν να χρηματοδοτηθεί με φορολογία 2% επί των προσόδων του Δημοσίου. Από το 1808 έως το 1810 οι Αυτοκρατορικοί Γάλλοι επισήμαιναν με τη σειρά τους τη στρατηγική σημασία της διάνοιξης του Δίαυλου και της ένωσης των δύο λιμένων (Αγίου Νικολάου και Αλέξανδρου (Δρεπάνου)) για τη διευκόλυνση της επικοινωνίας με τους υπόλοιπους λιμένες του νησιού (*Προκυμαία, 2008*).

1.1.3 Τα πρώτα έργα (Ιόνιο Κράτος (1815-1864))

Μετά την ίδρυση του Ενωμένου Κράτους των Ιονίων Νήσων υπό αγγλική προστασία, αποφασίστηκε η διάνοιξη του Δίαυλου από τον λιμένα Αλέξανδρου μέχρι την τάφρο του φρουρίου της Αγίας Μαύρας. Για τη χρηματοδότηση του έργου αποφασίστηκε η επιβολή ειδικής φορολογίας στα γεωργικά και κτηνοτροφικά προϊόντα. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε αφορμή για την εξέγερση των χωρικών το 1819. Μετά την καταστολή της εξέγερσης, ο φόρος εισπράχθηκε και το έργο συνεχίστηκε. Έτσι, παρά τις αντιδράσεις το έργο υλοποιήθηκε και το αρχαίο πέρασμα στα ανατολικά του κάστρου εγκαταλείφθηκε. Το έργο ολοκληρώθηκε το 1843 και το τμήμα αυτό του Δίαυλου ονομάστηκε «Αβλέμονας». Στη συνέχεια, το 1844 πραγματοποιήθηκε και η διάνοιξη της διώρυγας μπροστά από το κάστρο της Αγίας Μαύρας, στο ίδιο σημείο που βρίσκεται και η σημερινή με αποτέλεσμα τη σύνδεση του λιμένα του κάστρου με τον λιμένα του Αλεξάνδρου και την αποκοπή του φρουρίου από το υπόλοιπο νησί. Για τη διάνοιξη απαιτήθηκε ο εκβραχισμός της περιοχής μπροστά από το φρούριο, εκεί που σήμερα βρίσκεται η πλωτή γέφυρα. Το εύρος της Διώρυγας ήταν τέτοιο ώστε επιτρεπόταν με δυσκολία η κωπηλασία κατά τη διέλευση.

Παράλληλα, ξεκίνησε, στη βορειοδυτική πλευρά του κάστρου, και η κατασκευή του «Νέου Λιμένος», όπως ονομαζόταν ως το 1898. Ο νέος λιμένας κατασκευάστηκε μπροστά από το φρούριο, με εκσκαφή της άμμου που υπήρχε στην περιοχή σε βάθος 8 μέτρων. Στα δυτικά κατασκευάστηκε κρηπίδωμα και λιμενοβραχίονας μήκους 50 μέτρων, με την τοποθέτηση με βορειοδυτική κατεύθυνση ογκολίθων, για την αποφυγή της προσάμμωσης στην άκρη του

οποίου τοποθετήθηκε φάρος στο σημείο που ονομαζόταν Σέτε (φάρος Αμμόγλωσσας) (Γράψα, 2009). Τέλος, λίγο πριν το 1858 ξεκίνησε η κατασκευή του δρόμου του Κάστρου, ο οποίος ήταν πολύ στενότερος από τον σημερινό, και η αποβάθρα στην πόλη. Τα έργα αυτά δεν έλυσαν το πρόβλημα της απουσίας λιμένα στην πρωτεύουσα του νησιού αλλά διευκόλυναν τη θαλάσσια επικοινωνία (Προκυμαία, 2008).

Η συνεχής ανάγκη για επικοινωνία με τον Αμβρακικό κόλπο, το βορειοανατολικό τμήμα του οποίου ήταν υπό τουρκική κατοχή, η ανάγκη για εμπορική σύνδεση με την Ήπειρο, αλλά και η δυσχερής και δαπανηρή μεταφορά των τοπικών προϊόντων (κρασί και ελαιόλαδο) από και προς τα ατμόπλοια που προσέγγιζαν τον «Νέο Λιμένα», διατηρούσαν πάντα ανοιχτό το θέμα της διάνοιξης της Διώρυγας στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Προς την κατεύθυνση της κατασκευής των έργων, πίεζαν και οι ναυτιλιακές εταιρίες «Πανελλήνιος Ατμόπλοια» και «Τζων Μακ Δούαλ» που εξυπηρετούσαν την εποχή εκείνη την περιοχή. Το αίτημα της διάνοιξης ήταν τόσο έντονο γιατί ο διάπλους του Δίαυλου ήταν εξαιρετικά δύσκολος έως και ακατόρθωτος ακόμα και από μέτρια σκάφη. Για παράδειγμα, όταν το 1894 ένα ατμόπλοιο διέπλευσε τον Δίαυλο, έχοντας προσαράξει τρεις φορές και θεωρήθηκε ναυτικό κατάρθωμα. Το 1856 συντάχθηκε μια μελέτη για την εκ νέου διάνοιξη της Διώρυγας από τον Ιταλό μηχανικό Luizzi Erizzo, αξιοποιώντας κατά το δυνατόν περισσότερο τα έργα του παρελθόντος. Το έργο όμως κρίθηκε οικονομικά ασύμφορο και δεν πραγματοποιήθηκε.

1.2 Η ΜΕΛΕΤΗ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ (ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΡΑΤΟΣ 1864)

Το 1889, με εντολή του τμήματος Δημοσίων Έργων του υπουργείου Εσωτερικών της Ελλάδας, ανατέθηκε στην Γαλλική Αποστολή Δημοσίων Έργων (Mission Francaise de Ponts et Chaussees Region Sus et Travaux Maritime) η μελέτη για τη διαπλάτυνση, την εκβάθυνση και την επαναχάραξη της Διώρυγας, καθώς την εποχή εκείνη ήταν προσπελάσιμη μόνο από πλοιάρια μέχρι 10 τόνους. Η μελέτη υπογράφεται από τον αρχιμηχανικό E. Quellenee, ο οποίος έλαβε υπόψη του τη προγενέστερη μελέτη του Erizzo. Σύμφωνα με τον τύπο της εποχής, τα έργα ξεκίνησαν το 1898 και ολοκληρώθηκαν το 1903.

Σύμφωνα με την Ελληνική Κυβέρνηση η κατασκευή της Διώρυγας δεν αποτελούσε έργο γενικού ενδιαφέροντος, εφόσον εξυπηρετούσε εμπορικά μόνο τη Λευκάδα και τη γύρω περιοχή. Τα μεγάλα ατμόπλοια που έπλεαν προς την Αδριατική είχαν μόνο όφελος τη μείωση του ταξιδιού κατά μόνο 3 μίλια. Για την κατασκευή της Διώρυγας αλλά και του «εσωτερικού λιμένα» καταρτίστηκε και υπογράφηκε νομοσχέδιο («Νομοσχέδιο για την κατασκευή και χρήση της θαλάσσιας Διώρυγας και Νέου Λιμένος εν Λευκάδι») από τους υπουργούς Οικονομικών Χ. Τρικούπη, Εσωτερικών (αρμόδιος για τα Δημόσια Έργα) Σ. Δραγούμη και Ναυτικών Γ. Θεοτόκη. Ωστόσο, στην αιτιολογική έκθεση του νομοσχεδίου αναφέρονται ως κύριος λόγος της κατασκευής της Διώρυγας, τα αμυντικά συμφέροντα της χώρας, αφού με τη διάνοιξη θα επιτρεπόταν η άμεση πρόσβαση πολεμικών πλοίων στον κόλπο της Άρτας (Αμβρακικός κόλπος). Την εποχή εκείνη η Ήπειρος άνηκε στην Τουρκία. Η κατασκευή της Διώρυγας και του «Νέου Λιμένα», θα επέτρεπε τη συλλογή πολεμικών

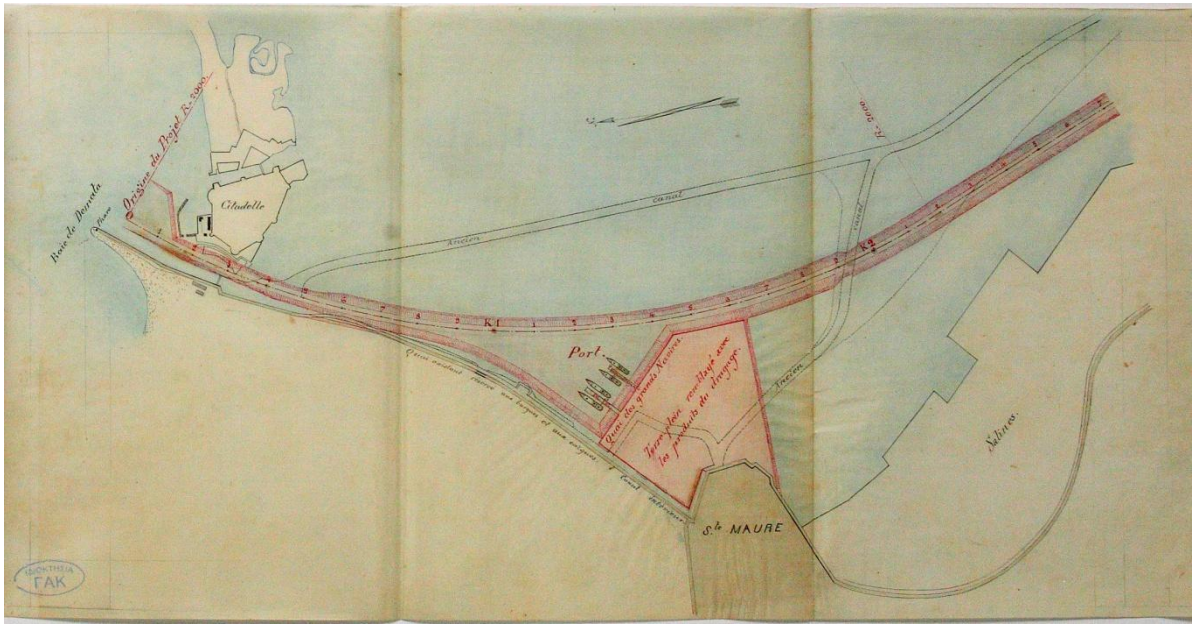
πλοιαρίων στον λιμένα και τη δυνατότητα απροσδόκητης μεταφοράς τους για τον αποκλεισμό της Πρέβεζας.

Στην περιοχή της διώρυγας ξεκίνησαν το 1886 από τον μηχανικό Trucco, , γεωτρήσεις και συνεχίστηκαν από τον μηχανικό της Γαλλική Αποστολής Bounven. Τα τοπογραφικά σχέδια συντάχθηκαν από τον μηχανικό Ramou. Το 1889 κατατέθηκε η νέα μελέτη για τη διάνοιξη της Διώρυγας και το νομοσχέδιο στην ελληνική βουλή για ψήφιση. (Γράψα, 2009)

1.2.1 Θέση και χαρακτηριστικά του έργου

Η νέα Διώρυγα, χαραχτηκε εκ νέου, εγκαταλείποντας την προϋπάρχουσα. Κατευθυνόταν ευθεία μέχρι τον νέο εσωτερικό λιμένα της πόλης και στη συνέχεια αφήνοντας στα δυτικά την Άνω Αλυκή και στα ανατολικά τοιχίο ύψους μισού μέτρου σε όλο το μήκος της, ένωνε τον κόλπο του Δρεπάνου με τον όρμο Δέματα. Αναλυτικά, η μία είσοδος της Διώρυγας βρισκόταν δυτικά του φρουρίου, ανάμεσα στο φρούριο και την υπάρχουσα προεξοχή (το σημείο που βρίσκεται σήμερα ο φάρος), προστατευμένη από τους ανέμους. Στη συνέχεια κατευθυνόταν προς Νότο πλησιάζοντας όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πόλη της Λευκάδας, όπου διευρυνόμενη σχημάτιζε τον λιμένα τριγωνικού σχήματος. Στη συνέχεια, παράκαμπτε τις παλαιές αλυκές και έτεμνε μικρό τμήμα των νέων αλυκών, αφήνοντας το μικρό φρούριο Αλέξανδρος στα ανατολικά. Τέλος, κατέληγε ευθύγραμμα στον προϋπάρχοντα λιμένα Αλεξάνδρου – Δρεπάνου.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του, ο Δίαυλος είχε πλάτος πυθμένα 20 μέτρων. Το βόρειο τμήμα, δηλαδή μέχρι τον «εσωτερικό λιμένα» είχε μήκος 1500 μέτρα, και βάθος ίσο με 7 μέτρα όσο και το βάθος του Λιμένα. Το βάθος αυτό είχε κριθεί ικανό για να εξυπηρετήσει όλα τα πλοία που διερχόταν την εποχή εκείνη το Ιόνιο. Στο δεύτερο τμήμα της Διώρυγας, από τον Λιμένα μέχρι και το τέλος, στον κόλπο του Αλεξάνδρου το βάθος ήταν ίσο με 4 μέτρα, λύση που είχε κριθεί πιο οικονομική. Το βάθος των 4 μέτρων ικανοποιούσε τόσο τα εμπορικά πλοία που αποτελούσαν τη συνήθη κίνηση της περιοχής, όσο και τα πολεμικά πλοία που θα χρησιμοποιούταν.



Σχήμα 1.2: Χάραξη του Δίαυλου (Πηγή: ΓΑΚ)

Ο νέος εσωτερικός Λιμένας της πόλης, που αναφέρεται ως «νηοδόκη της πόλης», σχεδιάστηκε σε σχήμα ισοσκελούς τριγώνου, από τις οξείες γωνίες του οποίου διέρχεται η Διώρυγα. Όπως αναφέρεται πρόκειται για «μια μικρή προκυμαία, μήκους 300 περίπου μέτρων δια την φορτοεκφόρτωση των εν τη νηοδόκη προσορμιζομένων πλοίων». Ακόμα κατασκευάστηκε κρηπίδιωμα, μήκους 4.000 μέτρων, το οποίο διαχωρίζει τη Διώρυγα από τη λιμνοθάλασσα προς την πλευρά της Ακαρνανίας. Δυτικά του βόρειου τμήματος της Διώρυγας διαπλατύνθηκε ο «Δρόμος του Κάστρου». Τέλος, κατασκευάστηκε και η Πλατεία Λιμένος. Τα προαναφερθέντα εκτελούμενα έργα ήταν υπό την εποπτεία του επιθεωρητή του Τμήματος Δημοσίων Έργων του Υπουργείου Εσωτερικών και της Λιμενικής Επιτροπής, τη σύσταση της οποίας καθόριζε το δημοτικό Συμβούλιο της πόλης και στελεχωνόταν από δημότες, κυρίως δικηγόρους, τον Νομομηχανικό και τον Νομάρχη ως πρόεδρο. (Προκυμαία, 2008)

Ακόμα στη μελέτη αυτή προβλέπονταν και η κατασκευή δευτερευόντων έργων, όπως θωράκιση, πορθμείο για τη διέλευση προς την Ακαρνανία, κατεδάφιση και ανακατασκευή 150 μέτρων της οδού του φρουρίου από το πορθμείο μέχρι την προεσοχή του φάρου, επιχωματώσεις, κρηπίδιωματα, σήμανση και φωτισμός της Διώρυγας και βελτίωση της πλευρικής προϋπάρχουσας διώρυγας από τον λιμένα μέχρι τις φυλακές. Ο συνολικός προϋπολογισμός, ανέρχονταν σε 1.815.000 δραχμές και ο χρόνος που απαιτούνταν για την ολοκλήρωση των έργων είχε υπολογιστεί σε 4 χρόνια. Το Λιμενικό Ταμείο Λευκάδας οριζόταν να προσφέρει τα κεφάλαια και τα έσοδα του για την κατασκευή των έργων, ενώ οριζόταν να εισπράττει και τα διόδια διέλευσης και τέλη ελλιμενισμού, τα οποία στη συνέχεια θα διέθετε για τη συντήρηση των έργων.

1.2.2 Η χρηματοδότηση των έργων και οι αντιδράσεις

Όσον αφορά στη χρηματοδότηση των έργων, το ποσό θα προερχόταν από δάνειο του ελληνικού δημοσίου, που απαιτούσε 100.000 δραχμές το χρόνο. Το κόστος του τμήματος βάθους 4 μέτρων, ύψους 850.000 δραχμών, οριζόταν να χρηματοδοτηθεί από το ελληνικό δημόσιο σε συνδυασμό με τον Νομό Λευκάδας, ενώ το υπόλοιπο 1.000.000 δραχμές που αντιστοιχεί στην κατασκευή του τμήματος, βάθους 7 μέτρων θα επιβάρυνε εξ ολοκλήρου το Νομό με χρήματα που προερχόταν από τα τέλη ελλιμενισμού, τα διόδια και τη φορολόγηση εξαγόμενων προϊόντων, δηλαδή ελαιόλαδο και κρασί.

Το Λιμενικό ταμείο Λευκάδας πέραν του προϋπάρχοντος κεφαλαίου του, αντλούσε τα έσοδα του από τον λιμενικό φόρο και το φόρο «διέλευσης αύλακος». Ο λιμενικός φόρος δημοπρατούνταν και ο πλειοδότης-ενοικιαστής του φόρου κατέθετε το ποσόν που κατακυρωνόταν στο λιμενικό ταμείο έχοντας το δικαίωμα να εισπράξει ο ίδιος πλέον από τους κατοίκους κυρίως αγρότες. Τα έσοδα του λιμενικού ταμείου ανέρχονταν σε 16000 δραχμές. το 1886 και 13000 δραχμές. το 1887 σύμφωνα με τον τοπικό τύπο.

Στον τοπικό τύπο της εποχής αναφέρεται η δυσχερής οικονομική κατάσταση των Λευκαδίων τόσο εξαιτίας της κάμψης του τοπικού οίνου, των συχνών καταστροφών αλλά και της κακής οδικής σύνδεσης των υπόλοιπων χωρών με την πρωτεύουσα.

Το 1898 ξεκίνησε η κατασκευή των έργων με την κατασκευή του «εσωτερικού λιμένα» και την Πλατεία Λιμένα τα οποία παραδόθηκαν το 1900. Ωστόσο, σύμφωνα με τον τοπικό τύπο υπήρξαν πολλές αντιδράσεις και καταγγελίες για κακοδιαχείριση και κατασπατάληση χρημάτων αλλά και τεχνικά θέματα, όπως για παράδειγμα η διατάραξη του εδάφους του πυθμένα χωρίς την ανάδευση των υδάτων. Τις καταγγελίες ακολούθησαν παραιτήσεις και δικαστήρια. Η κατασκευή της Διώρυγας, από την «Εταιρεία Γενικών Εργοληψιών», ξεκίνησε τον Φεβρουάριο του 1901 και ολοκληρώθηκε το 1903. Εργασίες συντήρησης πραγματοποιούνταν κατά διαστήματα και συγκεκριμένα στη βόρεια είσοδο, η οποία προσαμμωνόταν. Τέλος, κατά την ιταλική κατοχή (1941 – 1943) η Διώρυγα εκβαθύνθηκε από του κατακτητές, οι οποίοι τοποθετούσαν τα υλικά εκσκαφής ανατολικά, δίπλα στο κρηπίδωμα.

1.2.3. Τεχνικά προβλήματα και πορεία των έργων

Στις 10 Φεβρουαρίου 1901 η ανάδοχος του έργου ξεκίνησε την κατασκευή της Διώρυγας της Λευκάδας, το κόστος της οποίας αναμενόταν να υπερβεί το 1.000.000 δραχμές. Κατά την εκκίνηση των εργασιών, υπήρξε προβληματισμός για τον θα πρέπει τελικά να είναι αυτή η τελική χάραξη, δηλαδή να ξεκινά από το στόμιο μεταξύ «Βολιού» και του ύφαλου αρχαίου μόλου στον κόλπο του δρεπάνου, να κατευθύνεται προς Βορρά διερχόμενη από την αλυκή Αλέξανδρου και προκαλώντας την απώλεια μιας δεξαμενής 10 περίπου στρεμμάτων ή να περάσει πιο κοντά στην Ακαρνανία, όπου το βάθος των υδάτων είναι μεγαλύτερο.

Ενώ το πρώτο διάστημα η πορεία των εργασιών κρινόταν ικανοποιητική, στη συνέχεια υπήρχαν σοβαρές αντιδράσεις μεταξύ του τύπου και της κατασκευάστριας εταιρίας για τη ρίψη των προϊόντων εκσκαφής στο στόμιο της Διώρυγας. Στη συνέχεια, προέκυψε το

ζήτημα της διαπλάτυνσης του πορθμείου, εξαιτίας της προσάμμωσης του προλιμένα λόγω της μη έγκυρης εκκίνησης των έργων. Μετά από αυτοψία, αποφασίστηκε η πραγματοποίηση έργων διαπλάτυνσης και η πρόταση επέκτασης βορειοδυτικά του προβόλου του λιμενοβραχίονα για αποφυγή της προσάμμωσης.

Ένα άλλο τεχνικό πρόβλημα που κλήθηκε η εταιρία να αντιμετωπίσει είναι η εκσφενδόνιση ογκολίθων σε οικίες που βρίσκονταν κοντά στο κάστρο, από τα εκρηκτικά που χρησιμοποιούσαν για την αποκοπή μέρους της νησίδας μπροστά από το φρούριο, με σκοπό τη διαπλάτυνση του πορθμείου. Ακόμα, η χρήση εκρηκτικών ήταν πολύ επισφαλής καθώς μέσα στο Κάστρο υπήρχαν αποθήκες με εκρηκτικά. Το πρόβλημα δεν αντιμετωπίστηκε επιτυχώς με αποτέλεσμα εργατικά ατυχήματα.

1.2.4 Οι πλευρικές διώρυγες & άλλα έργα

Στις 11 Οκτωβρίου 1901 ολοκληρώθηκε το πρώτο μέρος της εκσκαφής της Διώρυγας στο φρούριο Αλέξανδρος σε βάθος 3 μέτρων. Παράλληλα, στις 9 Ιουνίου 1902 δημοπρατήθηκε το έργο της εκβάθυνσης των πλευρικών διωρύγων της πόλης. Πρόκειται για δύο κανάλια, το πρώτο εκ των οποίων ξεκινάγε από τον εσωτερικό λιμένα (ταχυδρομείο) και κατέληγε δυτικά στις φυλακές («αρκτική αύλακος») και το δεύτερο από το λιμένα με κατεύθυνση προς τα ανατολικά προς την Αγία Κάρα («αύλακος των αλυκών»). Η ανάληψη του έργου έγινε από την γενική Εταιρία των Εργοληψιών αντί 32.340 δραχμών. Η εταιρία δεσμεύτηκε από το συμβόλαιο να προχωρήσει στην κατασκευή της πρώτης πλευρικής διώρυγας με βυθοκόρο (βορβοροφάγος) σε βάθος 2,5 μέτρων και πλάτος 18 μέτρων, ενώ τα υλικά της εκσκαφής θα μεταφέρονταν εκτός του λιμένα. Αναφορικά, με τη δεύτερη διώρυγα, τα προϊόντα εκσκαφής τοποθετούνταν σε συγκεκριμένη θέση, έτσι ώστε να συμβάλλουν στην κατασκευή φράγματος και στη συνέχεια διαβρέχονταν με άσβεστο. Τέλος, η εταιρία δεσμεύτηκε να ολοκληρώσει το έργο εντός 2 μηνών. Η εκβάθυνση των πλευρικών διωρύγων ήταν ένα απαιτητικό έργο για την εποχή. Το 1836 είχε ξαναγίνει προσπαθεί διάνοιξης τους. Οι διώρυγες είχαν γίνει εστίες μόλυνσης και είχαν έντονη δυσσομία με αποτέλεσμα να ήταν αδύνατη η εκσκαφή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Συγκεκριμένα, η διάνοιξη της δεύτερης διώρυγας, εκείνης των αλυκών, πραγματοποιήθηκε κατά τους χειμερινούς μήνες ενώ η διάνοιξη της άλλης διώρυγας εξελισσόταν ομαλά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και ολοκληρώθηκε στο τέλος Αυγούστου.

Η Λιμενική επιτροπή αποφάσισε στις 31 Ιουλίου 1902 την κατασκευή σιδερένιας γέφυρας στην οδό Λευκάδας – Φρουρίου (Πόντε), προς αντικατάσταση της κινητής γέφυρας που υπάρχει κινητή αυτή γέφυρα λειτουργούσε με το σύστημα των ανορθούμενων γεφυρών (pont-levis) των μεσαιωνικών φρουρίων. Η εκ νέου κατασκευή της γέφυρας στην πρότερη μορφή της, ήταν υποχρέωση της κατασκευάστριας εταιρίας, καθώς η κινητή γέφυρα δεν επέτρεπε τη διέλευση των φορτηγίδων που μετέφεραν τα προϊόντα εκσκαφής της πλευρικής διώρυγας των φυλακών. Σύμφωνα με το εγκεκριμένο σχέδιο η γέφυρα θα είχε τρία τόξα, το μεσαίο εκ των οποίων θα είχε ύψος 6 μέτρων έτσι ώστε να εξυπηρετούνται τα διερχόμενα φορτωμένα πλοία και το κόστος της αναμενόταν να είναι 2.000 δραχμές, που

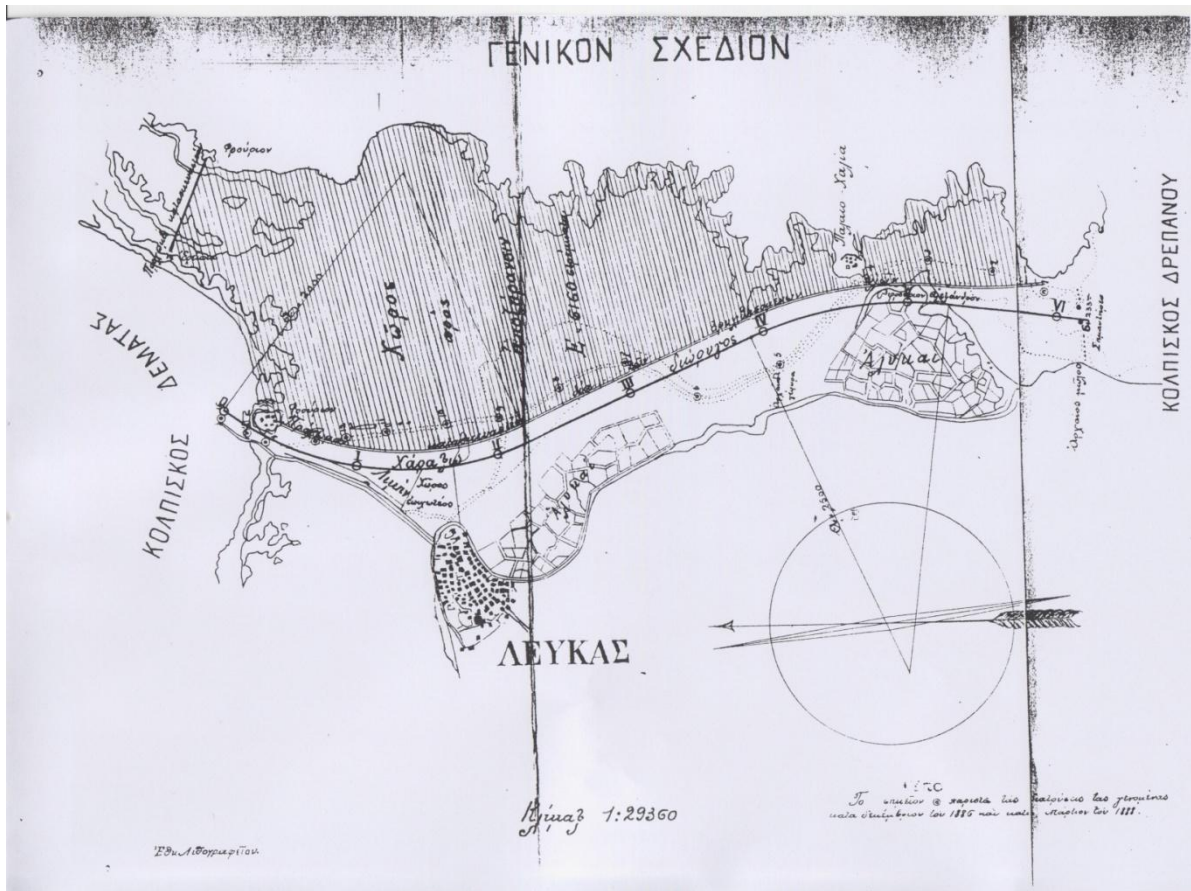
θα προέρχονταν από το Λιμενικό Ταμείο. Τέλος κατασκευάστηκε φράγμα στην ανατολική πλευρά με στόχο την προστασία της αλυκής από την οποία αποκόπηκαν 16 μέτρα και να καταστεί δυνατή η εκσκαφή της άλλης πλευρικής διώρυγας.

1.3 ΤΟ ΝΟΜΟΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ

Το νομοσχέδιο υπογράφηκε την 1^η Απριλίου 1889 από του Υπουργούς Οικονομικών, Χ. Τρικούπη, των Εσωτερικών Σ. Δραγούμη και των Ναυτικών Γ.Ν. Θεοτόκη και προέβλεπε τη διάνοιξη Δίαυλου μεταξύ της Λευκάδας και της Ακαρνανίας και την κατασκευή λιμένα για την πόλη της Λευκάδας. Το νομοσχέδιο συνοδευόταν από μια μηκοτομή του έργου καθώς και την αιτιολογική έκθεση που συνοψίζει την μελέτη της γαλλικής αποστολής δημοσίων έργων. (Νομοσχέδιο, 1889)

Όπως αναφέρθηκε, προβλέποταν το ένα άκρο της Διώρυγας να βρίσκεται στον εξωτερικό βόρειο λιμένα, όπου θα είναι προφυλαγμένο από την προεξοχή που βρίσκεται στο σημείο εκείνο. Στη συνέχεια προβλέποταν να διέρχεται μεταξύ της προεξοχής και του Φρουρίου της Αγίας Μαύρας και να κατευθύνεται προς την πόλη και πριν φτάσει εκεί διευρύνεται βαθμηδόν προς τη Δύση, σχηματίζοντας τον εσωτερικό Λιμένα της Λευκάδας, έκτασης 140 στρεμμάτων τριγωνικού σχήματος. Συνεχίζοντας, θα διέσχιζε την αβαθή λιμνοθάλασσα, διέρχεται μεταξύ των αλυκών και του Φρουρίου Αλέξανδρου και θα κατάληγε στον Λιμένα Αλεξάνδρου, ο οποίος αποτελούσε τον μεσημβρινό (με φορά στον νότο) εξωτερικό λιμένα.

Η χάραξη της Διώρυγας αποτελείται από δύο ευθύγραμμα και 2 καμπύλα τμήματα, τα οποία έχουν ακτίνες μήκους 2.000 και 2.500 μέτρων. Η χάραξη αυτή απεικονίζεται και στο Σχήμα 1.3. Το πλάτος του πυθμένα της Διώρυγας ήταν ομοιόμορφο και ίσο με 20 μέτρα, ενώ το βάθος διέφερε μεταξύ των δύο τμημάτων της Διώρυγας. Στο ένα τμήμα που περιλαμβάνεται μεταξύ του βόρειου λιμένος και του εσωτερικού το βάθος ήταν 7 μέτρα ενώ στο τμήμα από το νότιο άκρο του «εσωτερικού λιμένα» έως το άλλο άκρο της Διώρυγας ίσο με 4 μέτρα. (Νομοσχέδιο, 1889) Το νομοσχέδιο όριζε ότι η ανάθεση των έργων θα γινόταν με μειοδοτική δημοπρασία ή έκτακτη περίπτωση με ειδική συμφωνία και επιστασία.



Σχήμα 1.3: Οριζοντιογραφία του Δίαυλου (Πηγή: Νομοσχέδιο, 1889)

Η χρηματοδότηση βασίστηκε στην έκδοση δανείου που θα απέδιδε πραγματικό κεφάλαιο 1.700.000 δραχμών, του οποίου τα τοκομερίδια και τα ομόλογα θα απαλλάσσονται από κάθε φόρο και δικαίωμα. Για τη εξασφάλιση χρηματικών πόρων για το δάνειο αλλά και τη συντήρηση των έργων ορίστηκε η θέσπιση των παρακάτω φόρων:

- 10 λεπτά για κάθε τόνο χωρητικότητας σε κάθε πλοίο διερχόμενο τη διώρυγα και επιπλέον 6 δραχμές σε κάθε πλοίο με φορτίο και 3 δραχμές σε κάθε πλοίο χωρίς
- Οι ίδιες τιμές ισχύουν και για κάθε πλοίο που ελλιμενίζεται είτε στους εξωτερικούς λιμένες είτε στον εσωτερικό.
- Στην αξία των μεταφερομένων προϊόντων εκτός των λευκαδίτικων (10 0/0)
- Στα εισαγωγικά τέλη από τα αλλοδαπά εισαγόμενα προϊόντα (10 0/0)
- 1 λεπτό στην οκά εξαγόμενου οίνου και 2 λεπτά στην οκά εξαγόμενου ελαιόλαδου.

Τέλος, με ειδικό νόμο ορίζονταν τα δικαιώματα ρυμούλκησης. Οι φόροι που αναφέρθηκαν παραπάνω ισχύουν και για τα πολεμικά πλοία που διέρχονταν από τη Διώρυγα.

Τα έσοδα που θα περοέκυπταν από την ειδική φορολογία, θα χρησιμοποιούνταν για την αποπλήρωση του δανείου αλλά και για τις δαπάνες χρήσης και συντήρησης της Διώρυγας. Τέλος, χρήματα ορίζεται να διατεθούν και για τη βελτίωση των προϋπαρχόντων έργων και συγκεκριμένα της προεξοχής, της οδού αλλά και των λέμβων της Διώρυγας.



Σχήμα 1.4: Φωτογραφίες του Δίαυλου Λευκάδας τα πρώτα χρόνια μετά την κατασκευή του
(Πηγή: ΓΑΚ)

1.3.1 Η αιτιολογική έκθεση

Πολλές εισηγήσεις αλλά και μελέτες είχαν πραγματοποιηθεί για την αναγκαιότητα αλλά και χρησιμότητα μιας διώρυγας, πριν την προσάρτηση των Ιονίων νήσων στο ελληνικό κράτος. Τέλος, είχαν προχωρήσει και στην εκβάθυνση του προϋπάρχοντος Δίαυλου έτσι ώστε να εξυπηρετούνται πλοία μέχρι 10 τόνους.

Σύμφωνα με την αιτιολογική έκθεση του νομοσχεδίου κρίνεται ότι το όφελος από την κατασκευή του έργου αυτού θα είναι μόνο για την Λευκάδα και τους κόλπους της Άρτας και της Ακαρνανίας, καθώς το κέρδος από τον διάπλου του Δίαυλου θα ήταν 3 μίλια. Ωστόσο, σύμφωνα με την έκθεση, η πραγματοποίηση αυτού του έργου θα δημιουργούσε ένα σημαντικό εθνικό όφελος, καθώς θα ήταν εύκολη η συγκέντρωση πολεμικού στολίσκου στη Λευκάδα, ο οποίος θα μπορούσε εύκολα να σταλεί μέσω της Διώρυγας στον κόλπο της Άρτας.

Η αιτιολογική έκθεση προτείνει βάθος 4 μέτρων όσο είναι και το μέγιστο στα στενά της Πρέβεζας αλλά και επαρκές για τα πλοία που κινούνται στην περιοχή. Ωστόσο, είναι απαραίτητο για την πόλη της Λευκάδας να αποκτήσει έναν ασφαλή λιμένα κοντά στην πόλη, για τον οποίο κρίνεται αναγκαίο, το βάθος ίσο με 7 μέτρα. Η διώρυγα ορίζεται λοιπόν να έχει βάθος 7 μέτρα στο πρώτο τμήμα μέχρι και τον λιμένα σε μήκος 1500 μέτρων και βάθος 4 μέτρα, το υπόλοιπο τμήμα.

Η ευθύγραμμη απόσταση μεταξύ του νότιου λιμένα Αλέξανδρου και του βόρειου λιμένα του φρουρίου είναι περίπου 5.000, μέτρα ενώ το βάθος στην περιοχή μεταξύ των δύο λιμένων από ένα έως δυο πόδια (0,30 έως 0,60 μέτρα). Σύμφωνα με την έκθεση η διάνοιξη της Διώρυγας κρίνεται σχετικά εύκολη εξαιτίας του εδάφους στην περιοχή. Η μελέτη περιλάμβανε τα έξης θέματα:

- Χάραξη της Διώρυγας και του «εσωτερικού λιμένα»
- Διαστασιολόγηση της Διώρυγας και του «εσωτερικού λιμένα»
- Κατασκευή των έργων και δαπάνη

- Έσοδα Διώρυγας και δημιουργία κεφαλαίου.

1.3.1.1 Χάραξη της Διώρυγας και του «εσωτερικού λιμένα»

Η χάραξη της Διώρυγας και του “εσωτερικού λιμένα» πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας κάποια κριτήρια. Τα κριτήρια ήταν:

- Αναφορικά με τα άκρα της Διώρυγας, θα πρέπει να βρίσκονται σε σημεία ευπρόσιτα και προφυλαγμένα από ισχυρούς ανέμους
- Η Διώρυγα θα πρέπει να διέρχεται όσον το δυνατόν πιο κοντά στην πόλη της Λευκάδας
- Να μην διέρχεται από την περιοχή των αλυκών
- Να αποτελείται από όσο το δυνατόν περισσότερες ευθυγραμμίες και αν περιέχει καμπύλα τμήματα να έχουν μεγάλη ακτίνα έτσι ώστε να διευκολύνεται η ναυσιπλοΐα.

Ως νότιο άκρο της διώρυγας είχε επιλεγθεί η θέση εντός του κόλπου του Δρεπάνου, ανάμεσα στους σημαντήρες, που ορίζουν προς Ανατολή και Δύση τα βαθιά νερά στον κόλπο. Κρίσιμη ήταν η επιλογή της θέσης του βόρειου άκρου της Διώρυγας και συγκεκριμένα ανατολικά ή δυτικά του φρουρίου, καθώς δεν υπήρχε κάποια φυσική θέση. Δυτικά του φρουρίου η μόνη θέση που υπήρχε για την κατασκευή της Διώρυγας ήταν ανάμεσα στην προεξοχή και το φρούριο. Η λύση αυτή προτεινόταν και στην προγενέστερη μελέτη του Erizzo. Αν το στόμιο της Διώρυγας τοποθετούνταν ανατολικά του φρουρίου, θα έπρεπε να απομακρυνθεί αρκετά η χάραξη αλλά θα ήταν ευθύγραμμη. Τελικά επιλέχθηκε η θέση δυτικά του φρουρίου για την κατασκευή του στομίου της Διώρυγας. Η θέση αυτή παρουσίαζε σημαντικά πλεονεκτήματα. Συγκεκριμένα:

- η θέση αυτή ήταν προστατευμένη από την προεξοχή που βρισκόταν εκεί,
- με τη χάραξη αυτή η διώρυγα διερχόταν επαρκώς κοντά στην πόλη και
- διέρχεται μεν από την περιοχή των αλυκών αλλά αποκόπτει ένα πολύ μικρό τμήμα.

Όσον αφορά σε αυτήν την επιλογή, διατυπώθηκε ένας προβληματισμός για την ευστάθεια των κτιρίων στο φρούριο αλλά διαπιστώθηκε ότι η απόσταση μεταξύ των κτηρίων και της διώρυγας ήταν επαρκής για την ασφάλειά τους. Ακόμα, οι γεωτρήσεις που είχαν πραγματοποιηθεί έδειξαν ότι πρόκειται για αμμώδες έδαφος και άρα ασυμπύεστο. Σύμφωνα με τη μελέτη, προτείνεται η θωράκιση των πρανών της διώρυγας κάτω αλλά και λίγο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Υπήρχε μια ανησυχία για την ευστάθεια του δυτικού τείχους του φρουρίου, αλλά για ένα περιορισμένο τμήμα του μέγιστου μήκους 100 μέτρων. Το τείχος εδράζεται σε αμμώδη υπόβαση και από πάνω ογκόλιθοι ύψους 3 μέτρων.

Η τελική χάραξη της Διώρυγας που προτείνεται αποτελείται από τέσσερα τμήματα. Το πρώτο τμήμα ξεκινά ανάμεσα από την άκρη της προεξοχής και το φρούριο και με καμπύλη ακτίνας 2000 μέτρων κατευθύνεται προς την πόλη της Λευκάδας. Η καμπύλη αυτή

εξυπηρετεί τόσο την προσέγγιση στην πόλη όσο και την απομάκρυνση έπειτα της διώρυγας από την περιοχή των αλυκών.

Πριν τη προσέγγιση της διώρυγας στην πόλη, αρχίζει η βαθμηδόν διεύρυνσή της έτσι ώστε να σχηματιστεί ο λιμένας τριγωνικού σχήματος. Τα όρια του λιμένα είναι από δυτικά η οδός προς την προεξοχή, ανατολικά η διώρυγα και νότια οι προσχώσεις. Αναφορικά με τις διαστάσεις του λιμένα, το μέγιστο μήκος είναι 550 μέτρα και μέγιστο πλάτος 250 μέτρα καλύπτοντας επιφάνεια 140 στρεμμάτων. Τέλος, η νοτιότερη πλευρά του λιμένα απέχει 250 μέτρα απόσταση από τις κατοικίες, απόσταση που είναι η βέλτιστη καθώς εξυπηρετεί την εμπορική κίνηση.

Το δεύτερο τμήμα αποτελείται από ένα ευθύγραμμο τμήμα που κατευθύνεται προς το βραχώδες ακρωτήρι Παλαιοχαλιά. Το τρίτο τμήμα αποτελείται από ένα καμπυλόγραμμο τμήμα ακτίνας 2500 μέτρων, αντίρροπο από το πρώτο τμήμα. Με τον τρόπο αυτόν αποφευχθήκαν τα πέτρινα ορύγματα. Η διώρυγα κατευθύνεται προς τον νότο στις αλυκές και το φρούριο Αλέξανδρου το οποίο αφήνει στα ανατολικά, αποκόπτοντας μόνο μια με δύο αποθήκες από τις αλυκές. Το τέταρτο και τελευταίο τμήμα της διώρυγας αποτελείται από ένα ευθύγραμμο τμήμα που διέρχεται μεταξύ των σημαντήρων που δείχνουν την είσοδο του λιμένα Αλέξανδρου (chenal). Το συνολικό μήκος της διώρυγας που ξεκινούσε από την προεξοχή και κατέληγε στους δυο σημαντήρες του λιμένα Αλέξανδρου είναι 6.300 μέτρα.

Στην μελέτη επισημαίνεται ότι η προτεινόμενη χάραξη πληρεί όλα τα κριτήρια σχεδιασμού που αρχικά είχαν τεθεί. Αναλυτικά:

- Η αφετηρία της Διώρυγας είναι υπήνεμη τοποθετημένη στον προλιμένα που σχηματίζεται από την προεξοχή
- Η χάραξη εξασφαλίζει ότι η διώρυγα προσεγγίσει όσο το δυνατόν περισσότερο την πόλη και επιτρέπει το σχηματισμό ενός ευπροσπέλαστου λιμένα στην κατάλληλη θέση για την πόλη.
- Η ζημιά στις αλυκές θεωρείται αμελητέα
- Η διώρυγα είναι γενικά ευπροσπέλαστη καθώς αποτελείται από 2 ευθυγραμμίες και 2 καμπύλα τμήματα με μεγάλες ακτίνες.

1.3.1.2 Διαστασιολόγηση της Διώρυγας και του «εσωτερικού λιμένα»

Στη μελέτη χρησιμοποιείται ως παράδειγμα για τη διαστασιολόγηση η διώρυγα του Σουέζ, η οποία έχει πλάτος πυθμένα 22 μέτρα και πρηνή με κλίση, 2 προς 1. Οι γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι ο πυθμένας της περιοχής αποτελείται από ιλύ αναμεμιγμένη με άμμο, γεγονός που απαιτεί την κατασκευή των πρηνών με κλίση 4 προς 1 για την ευστάθειά τους. Ακόμα, για να επιτευχθεί περιορισμός του όγκου των εκσκαφών αποφασίστηκε το πλάτος πυθμένα να γίνει ίσο με 20 μέτρα. Στο αρχικό τμήμα της διώρυγας που βρίσκεται μεταξύ της προεξοχής και του φρουρίου, όπου το έδαφος είναι αμμώδες, τα πρηνή κατασκευάστηκαν με κλίση 2 προς 1.

Όσον αφορά στο βάθος της Διώρυγας, κρίθηκε σκόπιμη η διαίρεση της σε δύο τμήματα, ένα από το φρούριο μέχρι και την πόλη και ένα άλλο από την πόλη μέχρι τον λιμένα

Αλέξανδρου. Το πρώτο τμήμα έπρεπε να είχε κοινό βάθος με τον «εσωτερικό λιμένα», και έτσι επιλέγηκε βάθος 7 μέτρων. Αναφορικά με το βάθος του δεύτερου τμήματος αυτό ήταν συνάρτηση της μελλοντικής χρήσης της Διώρυγας. Για παράδειγμα, στη διώρυγα του Σουέζ, η οποία προοριζόταν για τη μεγάλη ναυσιπλοΐα κατασκευάστηκε με βάθος 8 μέτρων. Αναφέρεται ότι αν η Διώρυγα κατασκευαζόταν και αυτή με βάθος 8 μέτρων, ο όγκος εξόρυξης θα ήταν 2.187.000 m³ ενώ ο όγκος εξόρυξης από τον εσωτερικό λιμένα θα ήταν 390.000 m³. Ο όγκος αυτός περιορίζεται σε 1.717.000, αν το βάθος περιοριστεί από 8 σε 7 μέτρα. Τα 7 μέτρα κρινόταν ένα βάθος ικανό για να εξυπηρετήσει όλα τα ατμόπλοια της εποχής. Αν λαμβανόταν υπόψη μόνο τα πλοία της ελληνικής ναυσιπλοΐας, τα οποία πλήρως φορτωμένα είχαν βύθισμα 16 αγγλικών ποδών, δηλαδή περίπου 5 μέτρων. Στην περίπτωση αυτή ο όγκος εξόρυξης θα ανερχόταν σε 1.271.000 m³ Σύμφωνα με τη μελέτη, η ιδανικότερη επιλογή για το βάθος του δεύτερου τμήματος της Διώρυγας θα ήταν 4 μέτρα, όσο είναι και το βάθος του στενού της Πρέβεζας. Η επιλογή αυτή κρίθηκε η καλύτερη, καθώς τα πλοία που είχαν κύριο συμφέρον να διέρχονται από την Διώρυγα, είναι εκείνα που πλέουν προς τον κόλπο της Άρτας, που πριν την διώρυγα έκαναν τον περίπλου του νησιού. Τα υπόλοιπα πλοία που κατευθύνονται προς την Κέρκυρα ή το εξωτερικό δεν είχαν ιδιαίτερο συμφέρον από τη χρήση της Διώρυγας, καθώς μειώνουν το ταξίδι κατά 3 μίλια αλλά δεν μειώνουν τον χρόνο του ταξιδιού, καθώς διερχόμενα από τη Διώρυγα θα έπρεπε να μειώνουν την ταχύτητα.

Από στρατηγικής άποψης η σπουδαιότητα της Διώρυγας εντοπιζόταν στο πόσο εύκολα θα συγκεντρωνόταν μικρά πολεμικά πλοία, όπως βαριίδες και τορπιλοφόρα και τορπιλοβόλα στις ακτές της Ηπείρου και όχι θωρηκτά καθώς δεν υπήρχε εκεί κάποια σημαντική πόλη για βομβαρδισμό. Μια ναυτική επιχείρηση προς τον κόλπο της Άρτας θα έπρεπε να γίνει με μικρά πλοία και εξαιτίας του μικρού βάθους του στενού της Πρέβεζας. Η παράκαμψη του ακρωτηρίου Λευκάτα (Ducato) από τα μικρά πλοία ήταν κύριας σημασίας ενώ για τα θωρηκτά απαιτούνταν 5 ή 6 ώρες για να μετακινηθούν από τον λιμένα Αλέξανδρου στην Πρέβεζα. Με τη διάνοιξη της Διώρυγας θα ήταν δυνατή η συγκέντρωση στολίσκου στα ήρεμα και περικλεισμένα ύδατα του λιμένα Αλέξανδρου και στη συνέχεια η μεταφορά τους προς αποκλεισμό της Πρέβεζας. Στην περίπτωση λοιπόν που το δεύτερο τμήμα της διώρυγας κατασκευαζόταν με βάθος 4 μέτρα, ο όγκος εξόρυξης θα ήταν 913.000 m³

Συνοψίζοντας, στην έκθεση αναφέρεται ότι δεδομένου ότι στο Ιόνιο πέλαγος σπάνια διερχόταν πλοία βυθίσματος μεγαλύτερου των 6,50 μέτρων και τα θωρηκτά δεν είχαν συμφέρον να πλεύσουν στη Διώρυγα, το βάθος των 7 μέτρων καλύπτει όλες τις ανάγκες της εποχής. Θα μπορούσε για λόγους οικονομίας το βάθος αυτό να περιοριστεί στα 5,50 μέτρα, βάθος που απαιτούνταν από τα ελληνικά πλοία. Στην έκθεση λαμβάνεται ακόμα σοβαρά υπόψη η συγκοινωνία μεταξύ της Λευκάδας και του κόλπου της Άρτας για την οποία επαρκεί βάθος 4 μέτρων. Ο «εσωτερικός λιμένας» προτεινόταν να κατασκευαστεί με βάθος 7 μέτρων. Η τελική απόφαση για τα βάθη της Διώρυγας λήφθηκαν σύμφωνα με το κόστος που απαιτούνταν και περιγράφεται παρακάτω.

1.3.2 Εκτέλεση των έργων

Το συνολικό κόστος για την εκτέλεση των έργων, σύμφωνα με τη τεχνικοοικονομική μελέτη, συνίσταται από το σταθερό και το μεταβλητό κόστος. Το μεταβλητό κόστος αποτελείται από τις δαπάνες που αφορούν στον συνολικό όγκο εξόρυξης, ο οποίος κυμαίνεται από 2.576.000 έως 1.302.000 κυβικά μέτρα, συμπεριλαμβανομένης της εκβάθυνσης για τον «εσωτερικού λιμένα». Το σταθερό κόστος αφορά στα δευτερεύοντα έργα είτε για τη Διώρυγα είτε για τον λιμένα. Συγκεκριμένα, τα δευτερεύοντα έργα που αφορούν στη Διώρυγα είναι (Νομοσχέδιο, 1889):

- Θωράκιση των οχθών της Διώρυγας,
- Τοποθέτηση σήμανσης (διωρυγοδείκτες – balises) και φωτισμός της Διώρυγας
- Κατασκευή πορθμείου για τη διάβαση των αμαξών στην οδό προς Βόνιτσα
- Κατεδάφιση και ανακατασκευή μήκους 150 μέτρων της επιθαλάσσιας οδού προς την προεξοχή

Ενώ τα δευτερεύοντα έργα που αφορούν στον «εσωτερικό λιμένα» είναι:

- Θωράκιση των οχθών και κατασκευή του κρηπιδώματος,
- Διαμόρφωση του εδάφους και σκύρωση
- Κατασκευή σιδηράς αποβάθρας (Estacade en fer).

1.3.2.1 Διάνοιξη

Σύμφωνα με τις γεωτρήσεις που είχαν προηγηθεί, το έδαφος τα πρώτα 400 μέτρα από την προεξοχή αποτελούταν από άμμο αναμεμιγμένη με χαλίκια. Ο πυθμένας της λιμνοθάλασσας αποτελείται εξ ολοκλήρου από αμμώδη ιλύ αναμεμιγμένη με υπολείμματα φυτών και οστράκων. Τέλος, είχε διαπιστωθεί ότι παραπλεύρως της προεξοχής υπήρχε βραχώδης σκόπελος εδραιωμένος επί άμμου πάχους 1 μέτρου και συνολικού όγκου 3.500 m³. Η δαπάνη εξόρυξης του σκοπέλου ανερχόταν σε 8 δραχμές. το κυβικό μέτρο, ενώ το κόστος εξόρυξης και μεταφοράς των υπολοίπων υλικών ανερχόταν σε 1,10 δραχμές. το κυβικό μέτρο. Η μεταφορά των υλικών εξόρυξης πραγματοποιήθηκε με αναρροφητικές αντλίες και εναποθέτονταν σχηματίζοντας ένα πρόχωμα στην ανατολική όχθη της Διώρυγας. Ακόμα, στο συνημμένο σχέδιο προβλεπόταν και η αποξήρανση μέρους της λιμνοθάλασσας και μετατροπής της σε καλλιεργήσιμη έκταση, το οποίο θα διαχωριζόταν από το πρόχωμα.

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζεται ο όγκος εξόρυξης και το κόστος για κάθε εναλλακτική περίπτωση του βάθους του Δίαυλου.

Πίνακας 1.1: Εναλλακτικές περιπτώσεις βάθους του Δίαυλου και κόστος

Βάθος Διώρυγας			
1η περίπτωση	8 m		
	Όγκος (m ³)	Τιμή μονάδας	Κόστος (δρχ.)
Βραχώδη ορύγματα	3.500	8,00	28.000,00
Λοιπά ορύγματα	2.541.205	1,10	2.795.325,50
Συνολικό Κόστος			2.823.325,50
2η περίπτωση	7 m		
	Όγκος (m ³)	Τιμή μονάδας	Κόστος (δρχ.)
Βραχώδη ορύγματα	3.500	8,00	28.000,00
Λοιπά ορύγματα	2.107.512	1,10	2.318.263,20
Συνολικό Κόστος			2.346.263,20
3η περίπτωση	Τμήμα 1ο: 7 m, Τμήμα 2ο: 5,5 m		
	Όγκος (m ³)	Τιμή μονάδας	Κόστος (δρχ.)
Βραχώδη ορύγματα	3.500	8,00	28.000,00
Λοιπά ορύγματα	1.661.146	1,10	1.827.260,60
Συνολικό Κόστος			1.855.260,60
4η περίπτωση	Τμήμα 1ο: 7 m, Τμήμα 2ο: 4 m		
	Όγκος (m ³)	Τιμή μονάδας	Κόστος (δρχ.)
Βραχώδη ορύγματα	3.500	8,00	28.000,00
Λοιπά ορύγματα	1.302.612	1,10	1.432.873,20
Συνολικό Κόστος			1.460.873,20

Πηγή: Νομοσχέδιο, 1889

1.3.2.2 Δευτερεύοντα έργα

Τα δευτερεύοντα έργα αφορούν τόσο στη διώρυγα όσο και στον εσωτερικό λιμένα και περιγράφονται παρακάτω.

- **Θωράκιση Πρανών:** Το κύριο τμήμα της Διώρυγας αποτελείται από αμμώδη ιλύ, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Το κύριο αίτιο για πιθανή διάβρωση της Διώρυγας αποτελούσε ο κυματισμός που παράγεται από τη διέλευση των πλοίων. Σύμφωνα με τη μελέτη, η ευστάθεια των πρανών κρινόταν εξασφαλισμένη λόγω της σύστασης του εδάφους, των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της Διώρυγας, της μεγάλης κλίσης των πρανών (4:1) αλλά και της μέτριας ταχύτητας των διερχόμενων πλοίων. Ακόμα, εξαιτίας της σύστασης του εδάφους προβλεπόταν ότι τα πρανά θα καλύπτονταν από άγλη, τα οποία θα συνέβαλαν στην προστασία από τη διάβρωση. Στο αρχικό τμήμα της Διώρυγας, μήκους 200 μέτρων όπου το έδαφος ήταν αμμώδες κρίθηκε ότι απαιτείται θωράκιση των πρανών για προστασία από τη διάβρωση, καθώς εκεί δεν ευνοείται η ανάπτυξη αλγών. Αποφασίστηκε λοιπόν, η θωράκιση των πρανών σε μήκος 200 μέτρων με λιθοδομή η οποία θα εκτείνεται 1 μέτρο άνω της επιφάνειας της θάλασσας και 2 μέτρα κάτω από αυτήν. Το κόστος για τη θωράκιση αναμενόταν να είναι ίσο με 20 δραχμές./ m³, δηλαδή 24.000 δραχμές.

- Σήμανση και Φωτισμός: Το κόστος για την κατασκευή διωρυγοδεικτών (balisage) και τον φωτισμό της Διώρυγας θα ανερχόταν σύμφωνα με τη μελέτη σε 40.000 δραχμές
- Κατεδάφιση και Ανακατασκευή μήκους οδού 150 μέτρων: Το κόστος για την κατεδάφιση και ανακατασκευή της οδού που οδηγούσε στην προεξοχή (χηλή) και ήταν κατασκευασμένη πάνω στη θάλασσα σε μήκος 150 μέτρων θα ανερχόταν σε 15.000 δραχμές.
- Εγκατάσταση πορθμείου: Η εγκατάσταση πορθμείου που θα εξυπηρετεί την μεταφορά στην οδό προς τη Βόνιτσα, θα κόστιζε 35.000 δραχμές.

Έτσι το συνολικό κόστος για την κατασκευή των δευτερευόντων έργων σύμφωνα με τη μελέτη θα ανερχόταν σε 114.000 δραχμές.

- Θωράκιση πρανών λιμένος και κατασκευή κρηπιδώματος: Η εξυπηρέτηση των λέμβων απαιτεί τη θωράκιση των πρανών του λιμένα και τη κατασκευή μικρών κρηπιδωμάτων σε μήκος περίπου 600 μέτρων με κόστος 100δραχμές ανά μέτρο, δηλαδή 60.000 δραχμές συνολικό κόστος.
- Διαμόρφωση πυθμένα και σκύρωση: Το κόστος ανερχόταν σε 30.000 δραχμές
- Κατασκευή αποβάθρας: Η προσέγγιση των ατμόπλοιων στη στεριά απαιτούσε τη κατασκευή αποβάθρας (estacade), το κόστος της οποίας ήταν 150.000 δραχμές.

Έτσι, το συνολικό κόστος για τη κατασκευή των δευτερευόντων έργων του «εσωτερικού λιμένα» υπολογιζόταν ίσο με 240.000 δραχμές. Στον Πίνακα 1.2 περιλαμβάνει αναλυτικά το συνολικό κόστος κατασκευής των έργων για τη λύση που επιλέχτηκε.

Πίνακας 1.2: Συνολικό κόστος κατασκευής των έργων για τη λύση που επιλέχτηκε

1ο τμήμα της Διώρυγας (βάθος: 7 m)		Κόστος (δραχμές)
	Βραχώδη ορύγματα	28.000
	Λοιπά ορύγματα	421.423,20
	Δευτερεύοντα έργα	74.000
	Σύνολο	523.423
Εσωτερικός Λιμένας		
	Λοιπά ορύγματα	428.890
	Δευτερεύοντα έργα	240.000
	Σύνολο	668.890
2ο τμήμα Διώρυγας (βάθος: 4 m)		
	Λοιπά ορύγματα	582.560
	Δευτερεύοντα έργα	40.000
	Σύνολο	622.560
Τελικό κόστος		1.814.873,20

Πηγή: Νομοσχέδιο, 1889

1.3.3 Έσοδα Διώρυγας

Στη τεχνικοοικονομική μελέτη, τα έσοδα της Διώρυγας χωρίζονταν σε δύο κατηγορίες, σε εκείνα που προέρχονται από πλοία που κινούνταν μεταξύ της Λευκάδας και των ακτών της Ακαρνανίας και του κόλπου της Άρτας και εκείνα που κατευθύνονταν στην Πάτρα, την Κέρκυρα ή πιο μακριά. Κύριο οικονομικό ενδιαφέρον παρουσίαζαν τα πλοία της πρώτης κατηγορίας.

1.3.3.1 Πλοία μεταξύ Λευκάδας και ακτών Ακαρνανίας

➤ Ιστιοφόρα

Στην περιοχή της λιμνοθάλασσας κινούνταν κάθε χρόνο περίπου 1200 με 1300 ιστιοφόρα πλοία, χωρητικότητας μικρότερης των 10 τόνων, και απόφεραν έσοδα παραπάνω από 8.000 δραχμών. Μέχρι την εποχή εκείνη γινόταν διάκριση για τα πλοία που είχαν ίονια ή αλλοδαπή σημαία. Η διάκριση αυτή δε συνεχίστηκε και προτεινόταν σύμφωνα με τη μελέτη η επιβολή 3 δραχμών στα κενά πλοία και 6 δραχμών στα γεμάτα. Ακόμα, τα γεμάτα πλοία θα πλήρωναν και 0,10 δραχμές ανά τόνο φορτίου. Τα έσοδα που αναμένονταν μετά την ολοκλήρωση της Διώρυγας από τα πλοία αυτής της κατηγορίας υπολογίζονταν σε 16.000 δραχμές, ποσό διπλάσιο από εκείνο πριν την κατασκευή της.

➤ Ατμόπλοια

Πριν την κατασκευή της Διώρυγας εκτελούσαν το δρομολόγιο μεταξύ της πόλης της Λευκάδας και των ακτών της Ακαρνανίας και του κόλπου της Άρτας δύο ατμόπλοια την εβδομάδα. Ο περίπλους της Λευκάδας από τον λιμένα Αλέξανδρου έως τον βόρειο λιμένα είναι 41 μίλια, ενώ το μήκος της διώρυγας 3 μίλια. Από την κατασκευή της Διώρυγας εξοικονομούνταν λοιπόν 38 μίλια ή 4 ώρες και ειδικά τον χειμώνα με κακοκαιρία ακόμα και 5 ώρες. Δεδομένου ότι τα πλοία χωρητικότητας 300 τόνων που έκαναν το δρομολόγιο αυτό κατανάλωναν 300 kg άνθρακα την ώρα με κόστος 7 – 8 δραχμές την ώρα, η εξοικονόμηση ισοδυναμεί με τουλάχιστον 30 δραχμές. Το γεγονός αυτό υπέδειξε ότι τα ατμόπλοια μπορούσαν να καταβάλουν τα ίδια διόδια με τα ιστιοφόρα. Έτσι τα έσοδα για 4 διαβάσεις την εβδομάδα ή 208 το έτος, υπολογίζονταν σε 7.500 δραχμές.

1.3.3.2 Πλοία με κατεύθυνση προς Πάτρα ή Κέρκυρα

Το μόνο κέρδος που μπορούσαν να αποκομίσουν τα πλοία αυτής της κατηγορίας ήταν η προφύλαξη σε περίπτωση μεγάλης κακοκαιρίας. Η ελάτπωση της διαδρομής κατά τρία μίλια δεν είχε ουσιαστικό κέρδος αφού απαιτούταν η ίδια ώρα για την πραγματοποίηση της διαδρομής εξαιτίας της μειωμένης ταχύτητας που θα έπρεπε να έχουν τα πλοία.

- Μεγάλα ιστιοφόρα: τα πλοία αυτά μπορούσαν να διαπλεύσουν τη Διώρυγα μόνο ριμουλκούμενα και γι' αυτό δεν αναμένονταν έσοδα.
- Ατμόπλοια: Τα πλοία αυτά μπορούσαν με μεγάλη να δυσκολία να διαπλέουν τη Διώρυγα. Ωστόσο, αν το έπρατταν θα μπορούσαν να εξυπηρετούν με ευκολία τη Λευκάδα, αν τα διόδια ήταν μικρά. Σύμφωνα με τη μελέτη, κρίθηκε ότι τα διόδια θα ήταν 3 δραχμές σε κενά πλοία και 6 δραχμές συν 0,02 δραχμές ανά τόνο φορτίου

στα γεμάτα πλοία. Δεδομένου ότι κάθε εβδομάδα αναχωρούσαν 5 πλοία από την Πάτρα στην Κέρκυρα και ανάποδα, μέσης χωρητικότητας 500 τόνων, τα έσοδα αναμενόταν να είναι περίπου 8.000 δραχμές.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αναμενόμενα έσοδα της Διώρυγας, αποφασίστηκε σύμφωνα με τη μελέτη η οικονομικότερη εναλλακτική περίπτωση που είχε συνολικό κόστος 1.815.000 δραχμές. Το λιμενικό ταμείο την εποχή εκείνη κατείχε 150.000 δραχμές τις οποίες να κατέβαλε για την κατασκευή των δευτερευόντων έργων του λιμένα. Το υπόλοιπο ποσό των 1.665.000 δραχμών θα έπρεπε να βρεθεί από ειδική φορολογία στα τοπικά προϊόντα. Τα ετήσια έσοδα της προκουμαίας ανέρχονταν σε 9.000 με 10.000 δραχμές. Με την εφαρμογή της μέγιστης ειδικής φορολογίας τα έσοδα αναμενόταν ανά αυξηθούν κατά 15.000 δραχμές και έτσι τα συνολικά έσοδα θα ήταν περίπου 25.000 δραχμές.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της εποχής, κάθε χρόνο εξαγόταν 4.500.000 οκάδες κρασιού και 300.000 οκάδες ελαιόλαδου. Επιβάλλοντας φορολογία 0,01 δραχμές./ οκά κρασιού και 0,02 δραχμές. / οκά ελαιόλαδου, τα έσοδα αναμενόταν να είναι 51.000 δραχμές. Τελικά, το συνολικό ποσό που αναμενόταν να συγκεντρωθεί από την επιβολή της ειδικής φορολογία και των διοδίων της Διώρυγας ήταν 76.000 δραχμές. Ακόμα, το κράτος θα κατέβαλε τις υπόλοιπες 24.000 δραχμές τον χρόνο. Ωστόσο, αναμενόταν ότι κάθε χρόνο τα έσοδα θα αυξάνονταν και έτσι θα μειωνόταν το ποσό με το οποίο θα επιβαρυνόταν ο κρατικός προϋπολογισμός.

Σύμφωνα με τη γνωμοδότηση αποφασίστηκε τελικά:

- Η προτεινόμενη χάραξη θα πρέπει να γίνει δεκτή γιατί εκβάλλει σε υπήνεμη θέση, απομακρύνεται όσο το δυνατόν περισσότερο από τις αλυκές, παρουσιάζει καμπύλες μεγάλης ακτίνας και επιτρέπει την εγκατάσταση του «εσωτερικού λιμένα» σε θέση πολύ κοντά στην πόλη
- Η Διώρυγα θα διαθέτει δύο βάθη. Το πρώτο τμήμα θα είχε βάθος 7 μέτρα όσο και ο λιμένας και το δεύτερο τμήμα βάθος 4 μέτρα όσο και το μέγιστο του στενού της Πρέβεζας. Η λύση αυτή κρίθηκε η πιο οικονομική και μάλιστα παρέχει τη δυνατότητα της σταδιακή εκβάθυνσης του Δίαυλου με μικρό κόστος.
- Το κόστος των έργων υπολογίστηκε να είναι 1.815.000 δραχμές και η διάρκεια κατασκευής τους 4 χρόνια.
- Τα ετήσια έσοδα αναμενόταν να είναι από 25.000 έως 30.000 δραχμές και να διαθέτονται για εργασίες διαχείρισης και συντήρησης των έργων.
- Στον τελικό προϋπολογισμό του έργου περιλαμβάνεται και ένα ποσό της τάξης των 35.127 δραχμών για δαπάνες που δεν είχαν προβλεφθεί, υπολογίζοντας έτσι τον τελικό προϋπολογισμό ίσο με 1.850.000 δραχμές.

1.4 Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ

Η Διώρυγα αποτέλεσε τον κύριο τρόπο επικοινωνίας με τα λιμάνια της γύρω περιοχής, τον Πειραιά αλλά και τα υπόλοιπα λιμάνια του νησιού, μέχρι το 1960 οπότε και ολοκληρώθηκαν οι οδικοί άξονες. Μέχρι τότε η χερσαία επικοινωνία γινόταν με την οδό που είχε

κατασκευαστεί από επιχωματώσεις ενώνοντας το φρούριο με την ακαρνανική ακτή αλλά δεν είχε επαρκή διατομή. Το 1987 το πορθμείο αντικαταστάθηκε από την πλωτή γέφυρα, που κατέργησε το αργοκίνητο Πέραμα.

Σήμερα, η Διώρυγα διαπλέεται από σκάφη αναψυχής και αποτελεί μαζί με τις μαρίνες σκαφών αναψυχής, τη βάση του τουρισμού του Νομού Λευκάδας.



Σχήμα 1.4: Γενική άποψη της πόλης της Λευκάδας και μέρος του Δίαυλου (Πηγή: Νομαρχία Λευκάδας, προσωπική επικοινωνία)

2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ & ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το νησί της Λευκάδας βρίσκεται στο Ιόνιο πέλαγος, νότια της Κέρκυρας και βόρεια της Κεφαλονιάς. Έχει έκταση 302,5 km² και πληθυσμό 23.000 κατοίκους. Η Λευκάδα χωρίζεται από την ακτή της Ακαρνανίας με μια στενή λωρίδα θάλασσας πλάτους 50 μέτρων. Το νησί συνδέεται με την ακτή με μια πλωτή γέφυρα 50 μέτρων. Το κλίμα είναι μεσογειακό, με κύρια χαρακτηριστικά την μεγάλη ηλιοφάνεια, τον ήπιο αλλά βροχερό χειμώνα και το ζεστό καλοκαίρι με δροσερούς ανέμους.

Το έδαφος της Λευκάδας είναι κατά 70% ορεινό, με πλούσια βλάστηση. Πλούσιος είναι και ο θαλάσσιος διαμελισμός του νησιού. Αποτελείται από πλήθος ακτών, όρμων και ακρωτηρίων. Στη δυτική ακτή βρίσκονται εκτεταμένες απόκρημνες ακτές με άμμο. Αναπτυγμένο είναι και το υδρογραφικό δίκτυο του νησιού, το οποίο συνθέτουν πηγές, χείμαρροι και μικροί καταρράκτες. Ακόμα, στο νησί υπάρχουν λιμνοθάλασσες που αποτελούν σημαντικούς υδροβιότοπους. Η λιμνοθάλασσα στην πόλη έχει χαρακτηριστεί υδροβιότοπος και προστατεύεται από τη συνθήκη Ramsar, ενώ περιοχή ιδιαίτερου φυσικού κάλλους αποτελούν και οι λιμνοθάλασσες των Στενών που έχουν ενταχθεί στο δίκτυο NATURA 2000 κι έχουν τεράστια οικολογική σημασία.

2.1.1 Αρχαιολογικά ευρήματα στην περιοχή του Δίαυλου

Στην ευρύτερη περιοχή του Δίαυλου υπάρχει πλήθος αρχαιοτήτων. Η Αρχαία πόλη Νήρικος αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα ιστορικά αξιοθέατα στο νησί και βρίσκεται δύο χιλιόμετρα έξω και ανατολικά από την πόλη, στην περιοχή Καλλιγόνι. Τα ερείπια του περιτειχισμένου οικισμού της Αρχαίας Λευκάδας χρονολογούνται από τα αρχαϊκά ως τα ρωμαϊκά χρόνια. Στην περιοχή εντοπίστηκαν δύο νεκροταφεία, μνημεία, αγροικίες και

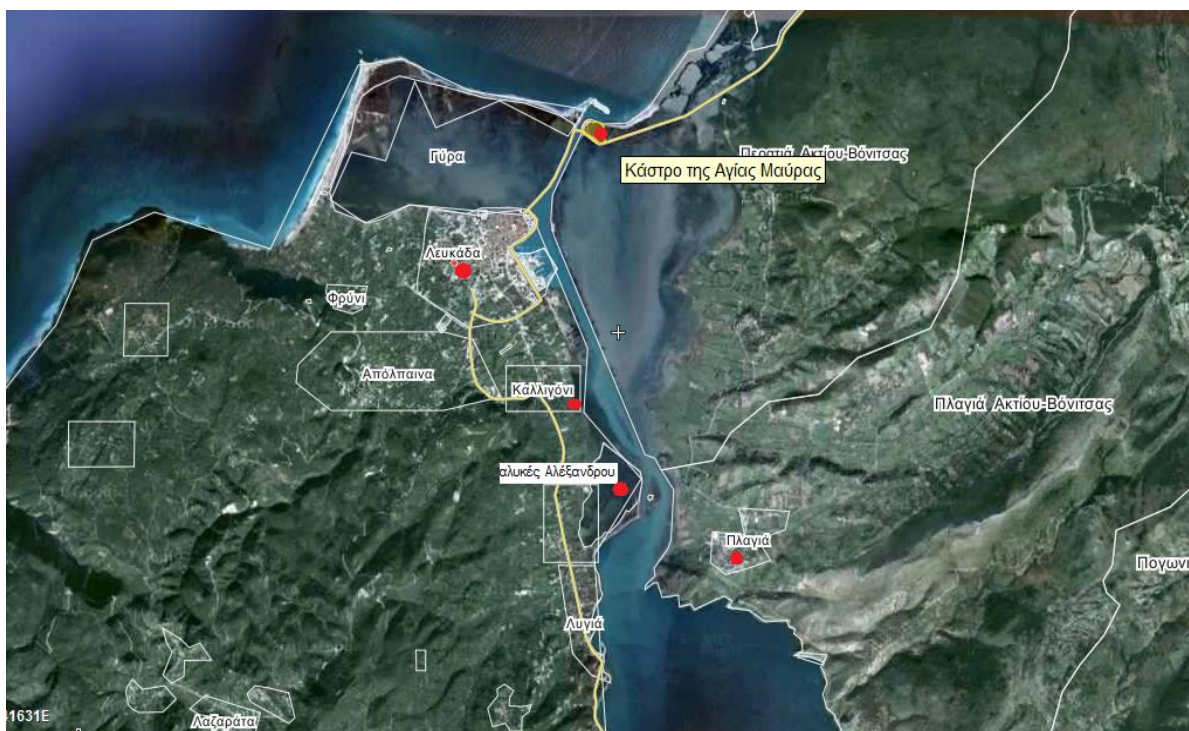
λιμενικές εγκαταστάσεις. Η αρχαία πόλη εγκαταλείφθηκε γύρω στο 1300, ενώ αργότερα οι συνεχείς σεισμοί σχεδόν την αφάνισαν. (*Εταιρεία Λευκαδικών Μελετών, 2001*)

Ακόμα, στο βορειοδυτικό άκρο του Νομού Αιτωλοακαρνανίας βρίσκεται χτισμένο στις παρυφές του βουνού Στέρνα σε υψόμετρο 200m, το χωριό Πλαγιά, όπου βρίσκεται ο αρχαιολογικός χώρος της Στέρνας, το κάστρο και τα καστέλια. Τα καστέλια αποτελούσαν τμήμα του οχυρωματικού συγκροτήματος ενώ το κάστρο (Σόλλιο), που κατασκευάστηκε τον 5ο π.Χ. αι. ήταν ναυτικός σταθμός της Κορίνθου. Τέλος, στο λόφο του Αγίου Γεωργίου βρίσκεται το παλιό βυζαντινό κάστρο, που χτίστηκε από του Βενετούς το 17ο αι. και έχει κηρυχθεί ως διατηρητέο μνημείο (<http://nikiana.wordpress.com>)

Στην είσοδο του Δίαυλου βρίσκεται το κάστρο της Αγίας Μαύρας, όπως περιγράφηκε και στο κεφάλαιο 1. Ακόμα, στην εσωτερική πλευρά του Ιονίου πελάγους βρίσκονται οι αλυκές Λευκάδας που λειτουργούσαν ως το 1985 και είναι βραβευμένες από την UNESCO ως αρχαιολογικό και βιομηχανικό μνημείο.

Τέλος, στο τμήμα εκείνο του Δίαυλου από την πλωτή γέφυρα έως την πόλη της Λευκάδας, υπάρχει πλήθος αρχαιολογικών ευρημάτων στον πυθμένα. Για τον λόγο αυτό η εφορεία εναλίων αρχαιοτήτων έχει απαγορεύσει κάθε έργο στο τμήμα αυτό. Ακόμα εντοπίζονται ευρήματα αρχαίου μόλου στη θαλάσσια περιοχή του νότιου άκρο του Δίαυλου. (www.lefkada.gr, Νομαρχία Λευκάδας, προσωπική επικοινωνία)

Στο Σχήμα 2.1 απεικονίζεται η περιοχή του Δίαυλου και τα σημεία αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σε αυτήν.



Σχήμα 2.1: Δορυφορική εικόνα της περιοχής του Δίαυλου και σημεία αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, (Πηγή: <http://wikimapia.org>)

Είναι λοιπόν εμφανές ότι η ύπαρξη του Δίαυλου συνδέεται με την ιστορία του νησιού και βρίσκεται σε περιοχή υψηλού αρχαιολογικού, πολιτιστικού και οικονομικού ενδιαφέροντος.

2.1.2 Στοιχεία για τη λειτουργία του Δίαυλου

Στην πόλη της Λευκάδας λειτουργεί μαρίνα σκαφών αναψυχής, δυναμικότητας 620 σκαφών. Για την εξυπηρέτηση των σκαφών έχουν κατασκευαστεί κρηπιδώματα συνολικού μήκους 857 m, ένας μόλος μήκους 205 m, πλωτοί προβλήτες συνολικού μήκους 640 m, ένας πλωτός κυματοθραύστης μήκους 300 m, δύο νηοδόχοι καθώς και μία ράμπα ανέλκυσης / καθέλκυσης σκαφών αναψυχής. Στη χερσαία ζώνη 72 στρεμμάτων υπάρχουν κτιριακές εγκαταστάσεις συνολικής επιφανείας 7.000 m², υπαίθριος χώρος επισκευής / συντήρησης σκαφών, πλήρες οδικό δίκτυο με οδογέφυρα και δύο πεζογέφυρες, σύστημα απορροής όμβριων, αλλά και χώροι πρασίνου. Η μαρίνα λειτουργεί από το 2002, είναι ανοιχτή όλη τη διάρκεια του χρόνου, παρέχοντας όλες τις σύγχρονες υπηρεσίες. Διαθέτει ικανότητα εξυπηρέτησης έως 620 σκάφη, μέγιστου μήκους 45 μέτρων και μέγιστου βυθίσματος 4 μέτρων.

Όσον αφορά στη λειτουργία του Δίαυλου, στοιχεία συλλέχθηκαν από το Λιμεναρχείο Λευκάδας. Σύμφωνα, με το Λιμεναρχείο το μέγιστο βάθος του Δίαυλου είναι 6 μέτρα και το ελάχιστο 4,5 μέτρα, με αποτέλεσμα οποιοδήποτε σκάφος αντίστοιχου βυθίσματος, να μπορεί να διέλθει. Ως επί το πλείστον τα σκάφη που χρησιμοποιούν τον δίαυλο είναι ιστιοπλοϊκά αναψυχής, ιδιωτικά και επαγγελματικά, με βύθισμα το οποίο κυμαίνεται από 1,5 έως 3 μέτρα και μήκος από 10 έως 47 μετρά, καθώς και ταχύπλοα σκάφη μικρότερα αλλά

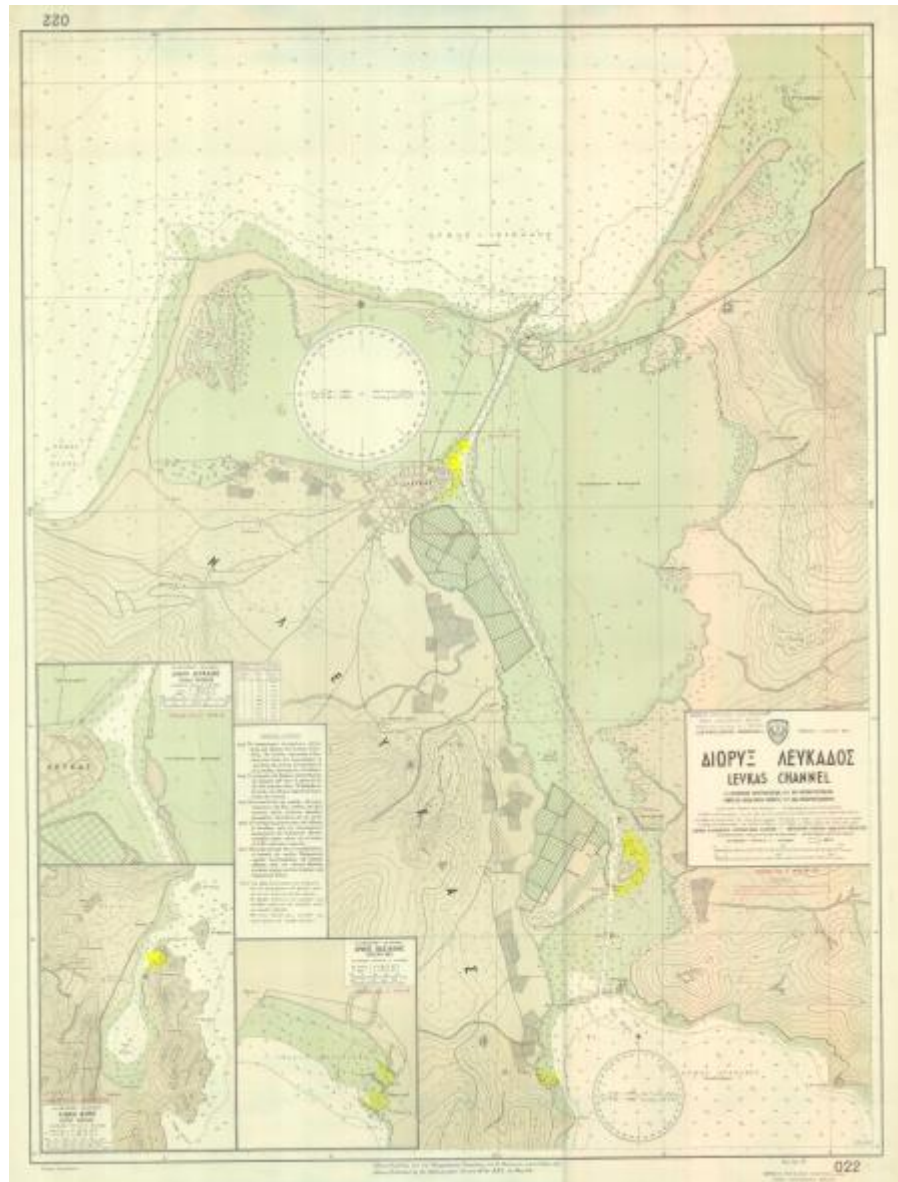
και μεγαλύτερα (cruisers) , με βύθισμα που μπορεί να φτάσει τα 4 μέτρα και μήκος τα 30 μέτρα. Το μήκος των 30 μέτρων δεν είναι περιοριστικό αλλά μπορούν να διέλθουν και μεγαλύτερα σκάφη ανάλογα με την εμπειρία του κυβερνήτη τους, ο οποίος είναι και αποκλειστικά υπεύθυνος για την ασφαλή διέλευση του σκάφους. Η Υπηρεσία δεν τηρεί αρχείο με την ημερομηνία διέλευσης κάθε σκάφους ούτε στοιχεία για τον αριθμό των σκαφών που διέρχονται κάθε χρόνο. Υπολογίζονται ωστόσο υπολογίζονται πάνω από 5000 μικρά και μεγαλύτερα πλοία με περίοδο αιχμής τους καλοκαιρινούς μήνες (Μάιος έως Οκτώβριο).

Τέλος, επισημαίνεται ότι επίσημα ο Δίαυλος Λευκάδας θεωρείται κλειστός διότι δεν είναι πλήρως σημαινόμενος κατά τη διάρκεια της νύχτας και η διέλευση γίνεται αποκλειστικά με ευθύνη των Κυβερνητών των σκαφών.

2.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Αντικείμενο μελέτης αποτελεί η βόρεια είσοδος του Δίαυλου της Λευκάδας, δηλαδή το τμήμα εκείνο που εκτείνεται από την πλωτή γέφυρα και ανάντη. Η περιοχή μελέτης εσωκλείει το ακρωτήριο της Αμμόγλωσσας, όσο και το κάστρο της Αγίας Μαύρας.

Η περιοχή αποτυπώνεται στον χάρτη ΧΕΕ 022 της υδρογραφικής Υπηρεσίας του πολεμικού Ναυτικού σε κλίμακα 1: 10.000 και με τίτλο η διώρυγα της Λευκάδας, ο οποίος έχει προκύψει από την ελληνική υδρογράφηση του 1971 και αεροφωτογραφίες. Σημειώνεται εδώ ότι τα δεδομένα των χαρτών της ΥΥΝ ανανεώνονται σε μηνιαία βάση. Στον χάρτη αυτό (Σχήμα 2.2), τα σημειακά βάθη σημειώνονται σε μέτρα ως προς την κατώτατη ρηχία και τα ύψη σε μέτρα ως προς τη μέση στάθμη. Η περιοχή που απεικονίζεται περιλαμβάνει την περιοχή γεωγραφικού μήκους μεταξύ 20° 41' και 20° 45' και γεωγραφικού πλάτους από 37° 47' έως 38° 52' και περιέχει την περιοχή του όρμου της Λευκάδας, το Δίαυλο και τις λιμνοθάλασσες που σχηματίζονται.



Σχήμα 2.2: Χάρτης 022: «Η Διώρυγα της Λευκάδας», (Πηγή: ΥΥΝ, 1971)

Η περιοχή μελέτης ορίζεται, τόσο από τα στερεά όρια (ακτογραμμή) όσο και από τα ανοιχτά όρια που επιλέχθηκαν. Τα ανοιχτά όρια επιλέχθηκαν έτσι ώστε το βάθος να είναι ικανό για την ανάπτυξη κυματισμών. Ως όριο, επιλέχθηκε αρχικά η περιοχή της πλωτής γέφυρας, μπροστά από την πόλη της Λευκάδας, που οριοθετεί το πρώτο κομμάτι του βόρειου τμήματος του Δίαυλου. Το όριο τοποθετήθηκε λίγο νοτιότερα, ώστε να μην δημιουργούνται αστάθειες στην περιοχή ενδιαφέροντος, κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης με το πρόγραμμα MIKE 21 (Κεφάλαιο 6). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σταθερότητα στις συνθήκες ροής στην περιοχή ενδιαφέροντος. Το βόρειο ανοιχτό όριο επιλέχθηκε με την ίδια λογική. Τελικά προέκυψε μια περιοχή διαστάσεων: 1900 x 1600 μέτρα περίπου. Θα πρέπει εδώ να επισημανθεί ότι, η περιοχή αυτή διαφοροποιείται ελαφρά για κάθε σενάριο ανέμου.

Αυτό συμβαίνει γιατί η περιοχή περιστρέφεται έτσι ώστε ο υπό εξέταση άνεμος να είναι κάθετος στο δυτικό ανοιχτό όριο (κεφάλαιο 6).

Στο Σχήμα 2.3, παρουσιάζεται μια δορυφορική φωτογραφία της περιοχής μελέτης, ενώ στο σχήμα 2.4 παρουσιάζονται κάποιες ερασιτεχνικές φωτογραφίες που προέκυψαν έπειτα από αυτοψία στην περιοχή.



Σχήμα 2.3: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης (Πηγή: <http://wikimapia.org>)

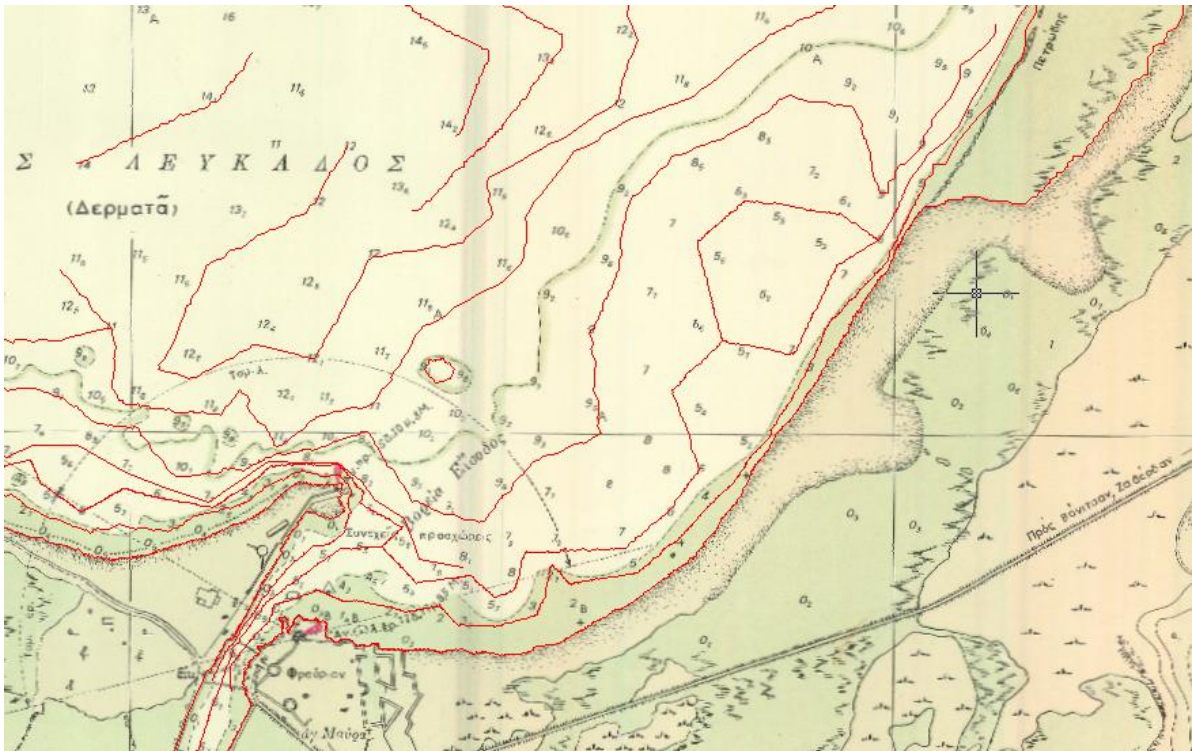


Σχήμα 2.4: Ερασιτεχνικές φωτογραφίες περιοχής μελέτης

2.2.1 Δημιουργία αρχείων βαθυμετρίας περιοχής μελέτης

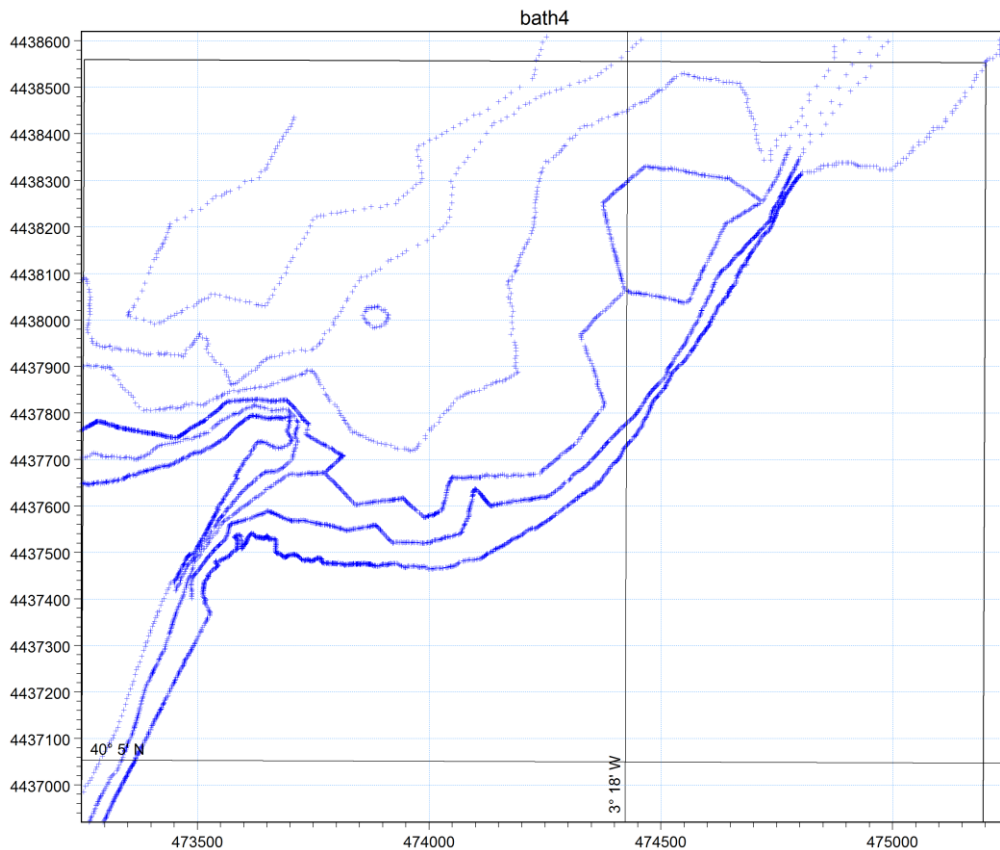
Η προσομοίωση του υδροδυναμικού πεδίου της περιοχής μελέτης, προϋποθέτει τη δημιουργία αρχείων βαθυμετρίας της εν λόγω περιοχής. Η περιοχή αυτή ψηφιοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος AutoCad. Συγκεκριμένα, ο χάρτης σε ηλεκτρονική μορφή, εισήχθη στο πρόγραμμα AutoCAD στις πραγματικές γεωγραφικές συντεταγμένες και σε κλίμακα 1:1. Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν οι ισοβαθείς, με τη βοήθεια της εντολής polyline.

Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζεται ο ψηφιοποιημένος χάρτης της περιοχής μελέτης, που περιέχει σημειακά βάθη καθώς και τις ισοβαθείς που σχεδιάστηκαν.



Σχήμα 2.5: Ψηφιοποιημένος χάρτης περιοχής μελέτης

Στη συνέχεια με την εφαρμογή «plst.lsp» δημιουργήθηκε ένα αρχείο «txt» που περιείχε τις συντεταγμένες κάθε ισοβαθούς. Το αρχείο αυτό μετατράπηκε σε αρχείο του «Excel», στο οποίο σε κάθε ζεύγος συντεταγμένων, προστέθηκε ένας αύξοντας αριθμός και το αντίστοιχο σημειακό βάθος. Τέλος, το αρχείο αυτό μετατράπηκε σε αρχείο σημειακών βαθών «*xyz» και εισήχθη στο εργαλείο «bathymetries του προγράμματος MIKE 21 Zero». Στο Σχήμα 2.6 απεικονίζεται το αρχείο της βαθυμετρίας που προκύπτει από την εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας.



Σχήμα 2.6: Αρχείο βαθυμετρίας της περιοχής μελέτης

2.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Απαραίτητη προϋπόθεση για τον σωστό παράκτιο σχεδιασμό και προγραμματισμό αποτελεί η σε βάθος κατανόηση της μετεωρολογίας της υπό μελέτη περιοχής. Τη σημαντικότερη μετεωρολογική παράμετρο ωστόσο αποτελούν τα ανεμολογικά στοιχεία, καθώς οι άνεμοι είναι υπεύθυνοι για τη γένεση των κυματισμών. Κυριότερος παράγοντας στην περίπτωση του ελλαδικού χώρου για τη μελέτη του υδροδυναμικού περιβάλλοντος είναι τα ανεμολογικά δεδομένα, αφού η διακύμανση της παλίρροιας είναι μικρή.

Τόσο η ηλιακή θερμότητα όσο και η περιστροφή της γης προκαλούν την κίνηση των ατμοσφαιρικών μαζών. Οι κινήσεις αυτές είναι είτε κατακόρυφες (λόγω ασταθειών από άμεση θέρμανση της επιφάνειας της γης, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας στις αέριες μάζες, λόγω τοπογραφικών επιδράσεων και συνακόλουθες κινήσεις λόγω διατήρησης της μάζας) είτε οριζόντιες (λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς των αέριων μαζών κοντά στη γήινη επιφάνεια και συνακόλουθες κινήσεις λόγω διατήρησης της μάζας). (Μέμος, 2006)

Οι άνεμοι είναι το αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών κινήσεων, διαφορετικής κλίμακας, οι οποίες αλληλεπιδρώντας προκαλούν τα τοπικά καιρικά φαινόμενα. Αποτέλεσμα είναι ότι το πεδίο πνοής του ανέμου είναι μεταβλητό στο χρόνο. Τα ανεμολογικά δεδομένα προκύπτουν μετά από μετρήσεις σε σταθμούς, από επεξεργασία χαρτών σε γεωστροφικό επίπεδο και με τη

μέθοδο της κινηματικής ανάλυσης. Συνήθως εξαιτίας της απουσίας αναλυτικών στοιχείων για τους ανέμους, όπως για παράδειγμα οι χρονοσειρές, χρησιμοποιούνται οι ετήσιες και μηνιαίες συχνότητες ανά διεύθυνση και ένταση ανέμου για συγκεκριμένο μετεωρολογικό σταθμό.

2.3.1 Το ανεμολογικό καθεστώς

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας βρίσκεται, όπως αναφέρθηκε στο βόρειο άκρο της Λευκάδας. Ο εγγύτερος μετεωρολογικός σταθμός από τον οποίο μπορούμε να αντλήσουμε στοιχεία για τους ανέμους που επικρατούν στην περιοχή είναι εκείνος της Πρέβεζας. Το γεωγραφικό πλάτος του σταθμού είναι $38^{\circ} 58'$ ενώ το γεωγραφικό μήκος $20^{\circ} 46'$. Όπως προκύπτει από τις συντεταγμένες, ο σταθμός είναι εγκαταστημένος στη θάλασσα. Τα ανεμολογικά στοιχεία από την Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) αφορούν στην χρονική περίοδο 1971 – 2001. Συγκεκριμένα πρόκειται για τις μέσες ετήσιες και μηνιαίες ποσοστιαίες συχνότητες εμφάνισης ανέμου συγκεκριμένης έντασης και διεύθυνσης. Στον Σχήμα 2.7, παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες ετήσιες συχνότητες εμφάνισης ανέμου για μετεωρολογικό σταθμό (ΜΣ) Πρέβεζας την περίοδο 1971 – 2001. Οι πίνακες που περιέχουν τις μηνιαίες ποσοστιαίες συχνότητες εμφάνισης βρίσκονται στο Παράρτημα 9.1.

2. Καθορισμός & Περιγραφή της περιοχής μελέτης

HELLENIC NATIONAL METEOROLOGICAL SERVICE
DIRECTION OF CLIMATOLOGY
SECTION OF STATISTICAL CLIMATOLOGY

CLIMATOLOGICAL DATA BASE

D A T C L I M

STATION ΠΡΕΒΕΖΑ 643
LATITUDE 38° 58' N LONGITUDE 20° 46' E ALTITUDE OF BAROMETER 4.0 METERS

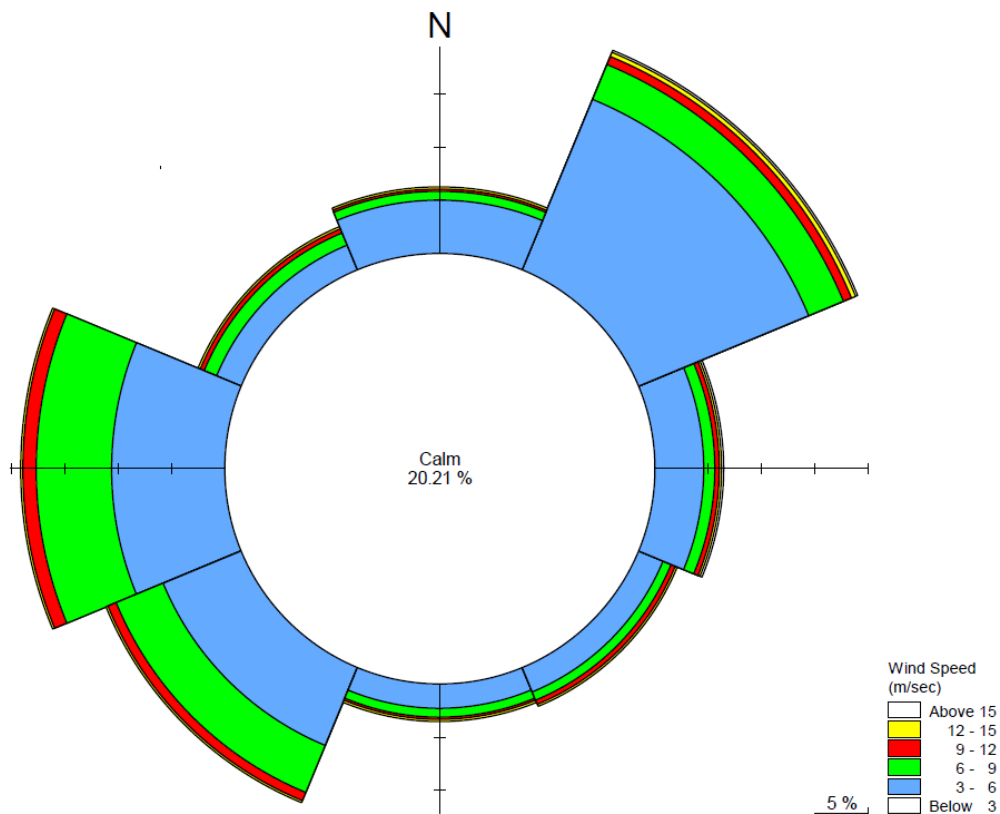
PERIOD 1971-2001

ANNUAL FREQUENCY (PER CENT) OF WIND DIRECTION AND FORCES IN BEAUFORT SCALE
FROM OBSERVATIONS 06H, 12H, 18H GMT
MONTH =yy YEAR =yy

BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	SUM
0									20.285	20.285
1	.120	.274	.164	.099	.033	.044	.099	.066		.899
2	2.453	8.782	2.508	1.270	.986	2.420	3.285	1.172		22.876
3	2.431	8.509	1.730	.964	1.259	5.388	7.392	1.347		29.020
4	.898	3.198	1.117	.777	.909	4.895	7.052	1.161		20.007
5	.241	.865	.482	.219	.285	.909	1.336	.361		4.698
6	.120	.372	.197	.110	.099	.175	.307	.153		1.533
7	.022	.099	.066	.055	.044	.055	.088	.044		.473
8	.011	.022	.022	.022	.011	.022	.011	.011		.132
9	.000	.011	.011	.011	.011	.000	.011	.011		.066
10	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.011	.000		.011
>11	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000
=										
SUM	6.296	22.132	6.297	3.527	3.637	13.908	19.592	4.326	20.285	100.000

Σχήμα 2.7: Ετήσιες συχνότητες εμφάνισης ανέμων, ΜΣ Πρέβεζας 1971-2001, (Πηγή: ΕΜΥ)

Η γραφική αναπαράσταση των ετήσιων συχνοτήτων αποτελεί το ανεμολογικό ροδόγραμμα του μετεωρολογικού σταθμού Πρέβεζας, το οποίο απεικονίζεται στο Σχήμα 2.8. Παρατηρείται ότι οι άνεμοι με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι ο βορειοανατολικός, ο δυτικός και ο νοτιοδυτικός, ενώ το 20,21% του έτους επικρατεί άπνοια.



Σχήμα 2.8: Ανεμολογικό ροδόγραμμα, ΜΣ Πρέβεζας 1971-2001

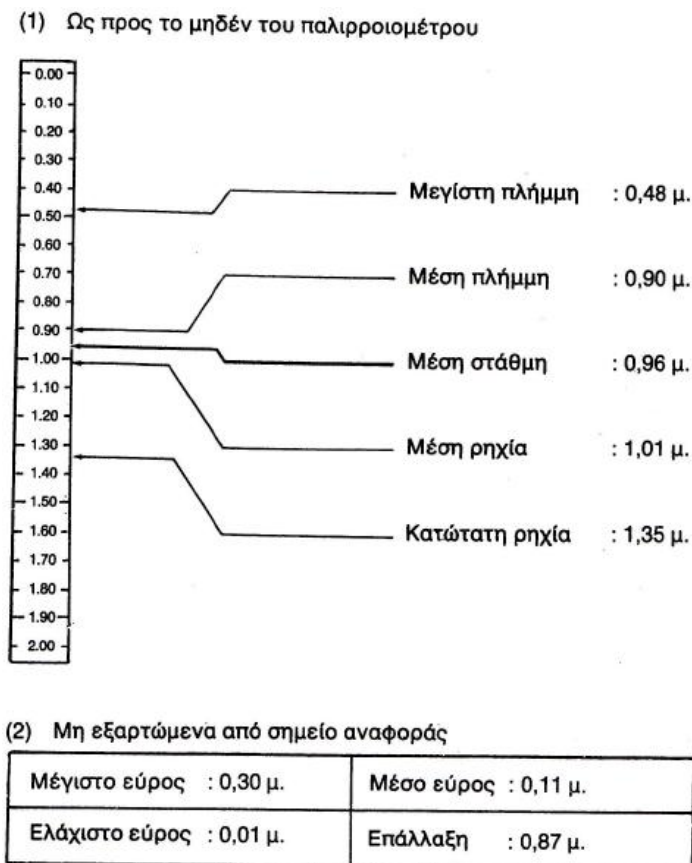
Κατά σύμβαση, τα ανεμόμετρα των μετεωρολογικών σταθμών μετρούν την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 μέτρων πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Λόγω της διαφορετικής τραχύτητας, που συναντά η πνοή του ανέμου πάνω από την επιφάνεια του εδάφους σε σχέση με εκείνη πάνω από τη θάλασσα, απαιτείται να γίνει διόρθωση των μετρήσεων πάνω από το έδαφος, προκειμένου να εκτιμηθούν οι αντίστοιχες τιμές έντασης πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος μετεωρολογικός σταθμός βρίσκεται στη θάλασσα και άρα δεν απαιτείται αυτή τη διόρθωση και τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια για την πρόγνωση κυματισμών. Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν από παρατηρήσεις 6, 12 και 18 ωρών.

Από τη μελέτη των μηνιαίων ανεμολογικών δεδομένων παρατηρείται ότι, κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο οι επικρατούντες άνεμοι είναι βορειοανατολικοί, ενώ από τον Μάρτιο έως τον Σεπτέμβριο οι βορειοανατολικοί άνεμοι αρχίζουν να εξασθενούν και κυριαρχούν οι δυτικοί. Τέλος, από τον Οκτώβριο, έως και τον Δεκέμβριο οι δυτικοί άνεμοι εξασθενούν και οι βορειοανατολικοί αρχίζουν και πάλι να εντείνονται. Παρατηρείται, λοιπόν, μια περιοδικότητα στη διεύθυνση των ανέμων, και ειδικότερα μια εναλλαγή βορειοανατολικών και δυτικών ανέμων. Τέλος, παρατηρείται ότι σε όλη τη διάρκεια του έτους πνέουν άνεμοι με ένταση της τάξης των 2- 4 Beaufort.

Από τη μορφολογία και τον προσανατολισμό της περιοχής προκύπτει ότι οι άνεμοι που επηρεάζουν την περιοχή είναι οι δυτικοί, οι βορειοδυτικοί, οι βόρειοι και οι βορειοανατολικοί.

2.3.2 Στοιχεία παλίρροιας και ρευμάτων

Είναι γνωστό ότι η παλίρροια στη Μεσόγειο δεν λαμβάνει μεγάλες τιμές. Στην Ελλάδα υπάρχει ένα εγκατεστημένο σύστημα παλιρροιογράφων σε όλους τους λιμένες. Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που αφορούν στον λιμένα της Λευκάδας που είναι ο πλησιέστερος στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται το απόσπασμα από το τεύχος «Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων» της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του.1991, που περιέχει τα σχετικά στοιχεία. Φαίνεται ότι το μέγιστο εύρος παλίρροιας είναι ίσο με 0,30 m , το ελάχιστο ίσο με 0,01 m και το μέσο εύρος 0,11 μέτρα. Οι τιμές αυτές είναι πολύ μικρές και υποδηλώνουν ότι μπορεί να αγνοηθεί η επίδραση της παλίρροιας στο υδροδυναμικό καθεστώς.



Σχήμα 2.9: Στοιχεία παλίρροιας για τον λιμένα Λευκάδας, (Πηγή: «Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων» ΥΥ, 1991)

Αναφορικά, με τα παλιρροιακά ρεύματα στο εσωτερικό του Δίαυλου, είναι γνωστό ότι δεν παρουσιάζουν κανονικότητα και είναι ιδιαίτερα ασθενή. Ακόμα, σύμφωνα με μετρήσεις στην περιοχή, δεν προκαλούνται σημαντικές διαφορές στη στάθμη της θάλασσας μεταξύ των άκρων του Δίαυλου. (MAPNET ATE, προσωπική επικοινωνία)

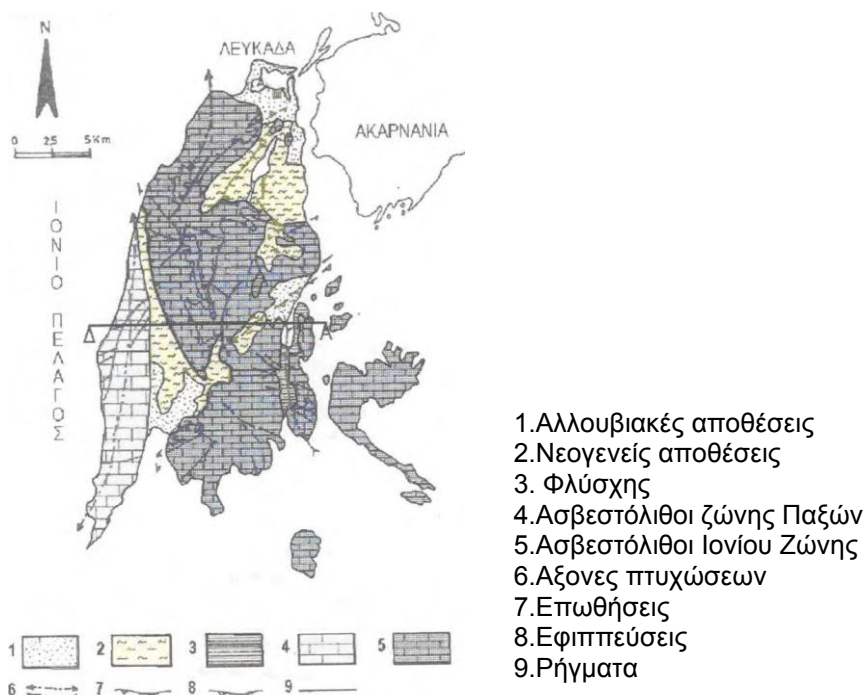
Στην παρούσα εφαρμογή, συνυπολογίζοντας τα παραπάνω δεδομένα, επιλέχθηκε να μην ληφθεί υπόψη η παλίρροια ή τα παλιρροιακά ρεύματα κατά την προσομοίωση.

2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το νησί της Λευκάδας χαρακτηρίζεται από υψηλό γεωδυναμικό περιβάλλον, αφού βρίσκεται πάνω στο βορειοδυτικό άκρο του Ελληνικού Τόξου. Η θέση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή σεισμικότητα και την τεκτονική παραμόρφωση του νησιού μέχρι και σήμερα.

Η μορφή της Αμμόγλωσσας όπως και η διαμόρφωση του ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής της βόρειας Λευκάδας, ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από τη δράση των ενεργών ρηγμάτων, τα οποία εντοπίζονται τόσο στον χερσαίο όσο και στον υποθαλάσσιο χώρο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σεισμός στις 14 Αυγούστου 2003, μεγέθους 6,2 ρίχτερ, που προκάλεσε δυναμικές καθιζήσεις, έντονες πλευρικές μετατοπίσεις και φαινόμενα ρευστοποίησης στην Αμμόγλωσσα, και άλλες κυρίως παραθαλάσσιες περιοχές, όπως παραλιακές θέσεις στην πόλη της Λευκάδας, η ευρύτερη περιοχή του κάστρου, το Νυδρί και άλλες. (ΙΤΣΑΚ, 2004)

Η γεωλογική δομή και η στρωματογραφική εξέλιξη του νησιού της Λευκάδας μελετήθηκαν αναλυτικά από τον Μπορνόβα (1964) και το Γαλλικό Ινστιτούτο Πετρελαίου IFP (1966). Στο Σχήμα 2.10 απεικονίζεται ένας απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης του νησιού. Παρατηρείται ότι στην περιοχή μελέτης υπάρχουν αλλουβιακές αποθέσεις.



Σχήμα 2.10: Γεωλογικός Χάρτης Λευκάδας (Πηγή: Rondoyanni, 1988)

Η στενή λωρίδα γης που περιβάλλει τη λιμνοθάλασσα και καταλήγει στην Αμμόγλωσσα ονομάζεται «Ζωστήρας». Στην περιοχή αυτή, κατά μήκος της ακτής παρατηρείται πλακώδης σχηματισμός ο οποίος ονομάστηκε «ψηφιτοπαγές Ζωστήρος». Ο σχηματισμός αυτός εκτείνεται στην περιοχή από το ακρωτήριο της Γυράπετρας ως το Δίαυλο της Λευκάδας. Κύρια πηγή τροφοδοσίας του υλικού είναι οι ασβεστόλιθοι που βρίσκονται νοτιότερα, και υλικά από διάφορους πετρολογικούς σχηματισμούς. Οι ασβεστόλιθοι στα νότια της περιοχής μελέτης διαβρώνονται με πολύ έντονο ρυθμό ενώ η παρουσία του ισχυρού παράκτιου ρεύματος, με διεύθυνση προς τα βορειοανατολικά, τροφοδοτεί την περιοχή του Ζωστήρος με μεγάλες ποσότητες χονδρόκοκκης άμμου. (Μπορνόβας, 1964)

Στην περιοχή της παράκτιας ζώνης εντοπίζεται άμμος, η οποία κυμαίνεται από αδρόκοκκη έως μεσαίου μεγέθους. (Μπορνόβας, 1964). Το μέγεθος του υλικού έχει μια διακύμανση από 0,5 έως 8 mm και ελαττώνεται από τον Νότο προς τον Βορρά, δηλαδή από το ακρωτήριο της Γυράπετρας, προς το φρούριο της Αγίας Μαύρας.

Στοιχεία για τα ιζήματα της περιοχής του Δίαυλου συλλέχτηκαν από παλιότερες μελέτες στην περιοχή (MAPNET ATE, Προσωπική επικοινωνία). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η δειγματοληψία ιζημάτων, η μέθοδος του ξηρού κοσκινίσματος και τέλος η κοκκομετρική ανάλυση (Κατωπόδη, 2009). Ύστερα από εφαρμογή της μεθοδολογίας διαπιστώθηκε ότι η μέση διάμετρος των κόκκων που αντιστοιχεί στο κοκκομετρικό μέγεθος του 50% του μεγέθους των κόκκων του υλικού, δηλαδή του d_{50} κυμαίνεται στην περιοχή μελέτης από 1,6 έως 4 mm. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε μια μέση τιμή του d_{50} και συγκεκριμένα 2,2 mm. Η τιμή αυτή χρησιμοποιήθηκε κατά την προσομοίωση με το μοντέλο στερεομεταφοράς ST (Κεφάλαιο 4).

Ακόμα, από την κοκκομετρική ανάλυση του ιζήματος της περιοχής, προέκυψε ότι το υλικό στη ζώνη διαβροχής είναι αδρομερέστερο από ότι στην ακτή στη ζώνη του χειμέριου κύματος. Η παρατήρηση αυτή είναι σε συμφωνία με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, σύμφωνα με τα οποία στη ζώνη διαβροχής του βραχίονα η παράκτια ζώνη αποτελείται από συμπαγές ψηφιτοπαγές ενώ η ακτή στο εσωτερικό της ζώνης του χειμέριου κύματος καλύπτεται από άμμο. Η νότια ακτή της Αμμόγλωσσας χαρακτηρίζεται από σαφώς λεπτομερέστερο υλικό από ότι η βόρεια ακτή της που είναι εκτεθειμένη στην ανοιχτή θάλασσα. Γενικά, το κοκκομετρικό μέγεθος μειώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά κατά μήκος του βραχίονα. (Παπαπάνου, 1973)

3. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΑ ΒΑΘΕΙΑ ΝΕΡΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για την πρόγνωση του κυματικού κλίματος στα βαθιά χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που προτείνεται από το Coastal Engineering Manual (C.E.M. 2008, Part II, Chapter 2). Σκοπός της εργασίας είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για τις συνθήκες εισόδου στον Δίαυλο. Είναι λοιπόν σημαντικός

Η γέννηση των κυματισμών είναι το αποτέλεσμα της μεταφοράς ενέργειας από τα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα στην επιφάνεια της θάλασσας. Η πρόγνωση κυματισμών βασίζεται σε στατιστικούς νόμους και στηρίζεται στα μετεωρολογικά δεδομένα. Τα ανεμολογικά δεδομένα της ΕΜΥ διαθέτουν μεγάλη αξιοπιστία. Ωστόσο αφορούν σε μέσες τιμές και δεν περιγράφουν ακραία φαινόμενα. Συνεπώς, για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για τη λειτουργία του Δίαυλου απαιτείται ο προσδιορισμός του δυσμενέστερου σεναρίου κυματισμών.

Η εκτίμηση του κυματικού κλίματος στα βαθιά θα γίνει μέσω του προσδιορισμού του σημαντικού ύψους κύματος H_{m0} και της περιόδου αιχμής φάσματος T_p . Για τον υπολογισμό τους απαιτείται ο προσδιορισμός του ενεργού μήκους αναπτύγματος (fetch), που περιγράφεται παρακάτω.

3.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΟΣ (fetch)

Το ενεργό μήκος αναπτύγματος (fetch) ορίζεται ως η γραμμική διάσταση του θαλάσσιου πεδίου από ακτή σε ακτή, πάνω στην οποία αναπτύσσεται ο κυματισμός και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$F_{eff} = \frac{\sum_i F_i (\cos a_i)^2}{\sum_i \cos a_i} \quad (3.1) \quad , \text{όπου:}$$

- i , ο αριθμός κάθε ακτίνας
- F_i , το μήκος κάθε ακτίνας, δηλαδή της απόστασης από ένα σταθερό σημείο στην περιοχή μελέτης έως την απέναντι ακτή σε μέτρα
- a_i , η γωνία μεταξύ της εκάστοτε ακτίνας και της διεύθυνσης του ανέμου

Κάθε άνεμος συγκεκριμένης διεύθυνσης θεωρείται ότι έχει επίδραση και προκαλεί ιζηματογένεση εκατέρωθεν της διεύθυνσης του. Αναφορικά με το εύρος του τομέα αυτού υπάρχουν διάφορε θεωρίες. Το CEM προτείνει το εύρος αυτό να είναι $\pm 22,5^\circ$. Ωστόσο, μια πιο συντηρητική προσέγγιση προτείνει την χρήση τομέα $\pm 45^\circ$ ανά 5° . Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η δεύτερη προσέγγιση, καθώς αναζητείται το δυσμενέστερο σενάριο.

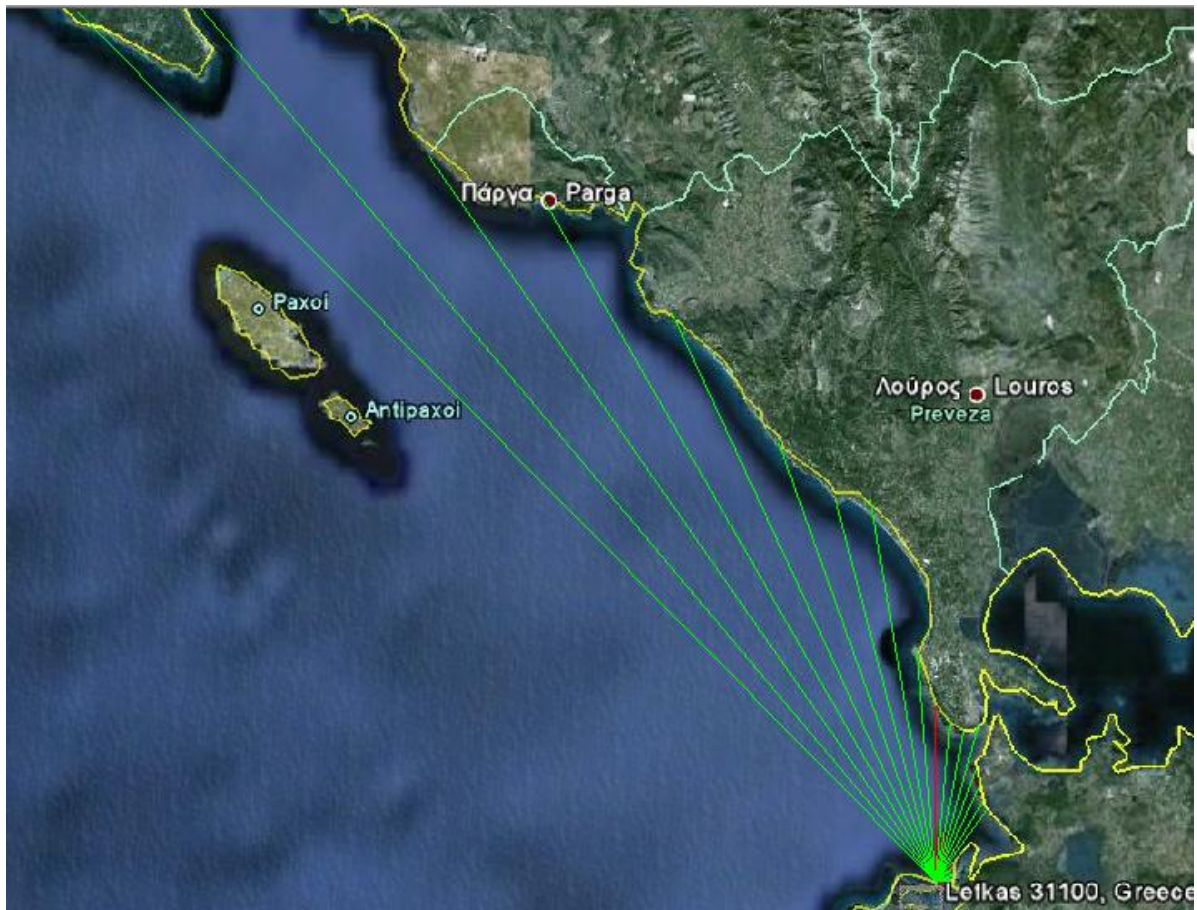
Το βόρειο τμήμα του Δίαυλου της Λευκάδας είναι εκτεθειμένο σε δυτικούς, βορειοδυτικούς, βόρειους και βορειοανατολικούς ανέμους. Ο ανατολικός άνεμος δεν προκαλεί κυματογένεση εξαιτίας της ιδιαίτερα μικρής απόστασης μεταξύ των δυο ακτών. Για τον υπολογισμό του ενεργού μήκους αναπτύγματος χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα. Επιλέχθηκε ως σημείο για τον υπολογισμό των ακτινών το άκρο της Αμμόγλωσσας καθώς είναι το πιο εκτεθειμένο σημείο της περιοχής μελέτης στους ανέμους.

Στο Σχήμα 3.1 απεικονίζεται ο τομέας επίδρασης του δυτικού ανέμου ($\pm 45^\circ$). Όπως φαίνεται η περιοχή δέχεται την κυματική ενέργεια ακόμα και από τις ακτές της Ιταλίας και της Αφρικής.



Σχήμα 3.1: Υπολογισμός ενεργού μήκους αναπτύγματος (*fetch*) για τον δυτικό άνεμο (W)

Στην περίπτωση του βορειοδυτικού ανέμου, η ενέργεια περιορίζεται από τις ακτές της Ιταλίας, την Κέρκυρα αλλά και της ακτές της Πρέβεζας. Αντίθετα, στην περίπτωση του βορειοανατολικού ανέμου οι ακτίνες αναπτύγματος είναι ιδιαίτερα μικρές, καθώς περιορίζονται από την ακαρνανική ακτή. Στην περίπτωση του βόρειου ανέμου, οι ακτίνες περιορίζονται τόσο από την Κέρκυρα όσο και από τις ακτές της Πρέβεζας, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2



Σχήμα 3.2: Υπολογισμός ενεργού μήκους αναπτύγματος (fetch) για βόρειο (N) & βορειοανατολικό άνεμο (NE)

Το fetch υπολογίστηκε για κάθε διεύθυνση ανέμου, που επηρεάζει την περιοχή μελέτης, χωρίζοντας το πεδίο δράσης ανά 5° και βάσει της Σχέσης 3.1. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζεται η διαδικασία υπολογισμού του και τα αποτελέσματα.

Πίνακας 3.1: Υπολογισμός ενεργού μήκους ανάπτυξης κυματισμών (fetch) για Δ, ΒΔ, Β & ΒΑ ανέμους

		ΔΥΤΙΚΟΣ		ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΣ		ΒΟΡΕΙΟΣ		ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ	
ai	cosa _i	Fi (m)	Fi*(cosa _i) ²	Fi (m)	Fi*(cosa _i) ²	Fi (m)	Fi*(cosa _i) ²	Fi (m)	Fi*(cosa _i) ²
-45	0.7071	87978	43989	360856	180428	87979	43990	11216	5608
-40	0.7660	52366	30730	281711	165315	81463	47805	10315	6053
-35	0.8192	233278	156532	313076	210077	57815	38794	10270	6891
-30	0.8660	227889	170917	334723	251042	54253	40690	11177	8383
-25	0.9063	372873	306276	373182	306529	42057	34545	7280	5980
-20	0.9397	373182	329528	372873	329255	31580	27885	6333	5592
-15	0.9659	334723	312301	227889	212623	27325	25495	6046	5641
-10	0.9848	313076	303636	233278	226244	25106	24349	5712	5540
-5	0.9962	281711	279571	52366	51968	13448	13346	5647	5604
0	1.0000	360856	360856	87979	87979	11216	11216	5697	5697
5	0.9962	360741	358001	81463	80845	10315	10236	5746	5703
10	0.9848	402210	390082	57815	56071	10270	9960	5774	5600
15	0.9659	512887	478530	54253	50619	11177	10428	5768	5382
20	0.9397	507308	447964	42057	37137	7280	6429	5644	4984
25	0.9063	939708	771870	31580	25939	6333	5202	5720	4699
30	0.8660	1030439	772829	27325	20494	6046	4535	6440	4830
35	0.8192	1015686	681536	25106	16846	5712	3833	1883	1263
40	0.7660	979426	574751	13448	7892	5647	3314	1760	1033
45	0.7071	909284	454642	11216	5608	5697	2848	1646	823
Σ		9295621	7224539	2982195	2322911	500717	364898	46077	95303
Feff (m)		427424		137430		21588		5638	

Παρατηρούμε, ότι για τον δυτικό άνεμο το fetch είναι πολύ μεγάλο, ενώ για τον βορειοανατολικό πολύ μικρό. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο, λόγω του μήκους των ακτινών. Πρακτικά αν η ακτίνα δεν συναντάει στεριά σε μεγάλη απόσταση, θεωρείται ότι κυματογένεση συμβαίνει ως 150 km μακριά. Μετά από αυτήν την απόσταση αυτή θεωρείται ότι δεν υπάρχει πια επίδραση. Στην περίπτωση του δυτικού ανέμου, γίνεται η σύμβαση το ανάπτυγμα πελάγους (fetch) να είναι ίσο με 150 χιλιόμετρα.

3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑ Coastal Engineering Manual (CEM) ΣΤΑ ΒΑΘΕΙΑ ΝΕΡΑ

Αναφορικά με την ανάπτυξη των κυματισμών διακρίνονται 3 διαφορετικές περιπτώσεις:

1. Fetch-limited συνθήκες: ο άνεμος πνέει κατά μήκος του αναπτύγματος για χρονικό διάστημα t_D (διάρκεια πνοής ανέμου), ικανό ώστε να αναπτυχθούν οι μέγιστοι δυνατοί κυματισμοί για τις δεδομένες συνθήκες.
2. Time-limited συνθήκες: ο άνεμος πνέει για μικρό χρονικό διάστημα σε μια περιοχή, χωρίς έτσι να αναπτύσσονται οι μέγιστοι δυνατοί κυματισμοί.

3. Συνθήκες πλήρους αναπτυγμένης θάλασσας: η ανάπτυξη κυματισμών δεν περιορίζεται ούτε από το ενεργό μήκος αναπτύγματος ούτε από τη διάρκεια πνοής του ανέμου. Το ύψος κύματος σε συνθήκες πλήρους αναπτυγμένης θάλασσας δίνει τη μέγιστη τιμή αυτού για τη δεδομένη ένταση και διεύθυνση ανέμου.

Για να ανατηχθούν Fetch-limited συνθήκες απαιτείται χρόνος $t_{x,u}$ ίσος με:

$$t_{x,u} = 77,23 \cdot \frac{F_{eff}^{0,67}}{u_{10}^{0,34} \cdot g^{0,33}} \quad (3.2)$$

Στην περίπτωση που ισχύει ότι $t_D > t_{x,u}$ ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{gH_{mo}}{u_*^2} = 4,13 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{g \cdot F_{eff}}{u_*^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3) \text{ \& (3.4) , όπου:}$$

$$\frac{gT_p}{u_*} = 0,751 \cdot \left(\frac{g \cdot F_{eff}}{u_*^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

- $u_* = C_D^{1/2} \cdot U_{10}$, η ταχύτητα τριβής του ανέμου (3.5)
- $C_D = 0,001(1,1 + 0,035 \cdot U_{10})$, ο συντελεστής σύρσεως (3.6)
- H_{mo} , το σημαντικό ύψος κύματος, δηλαδή η μέση τιμή του 1/3 των μεγαλύτερων κυμάτων που έχουν καταγραφεί.

Σε Time-limited συνθήκες, ισχύει $t_D < t_{x,u}$, το ενεργό μήκος αναπτύγματος fetch F αντικαθιστάται από το F' και ισχύει η σχέση:

$$\frac{gF'}{u_*^2} = 5,23 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{g \cdot t_D}{u_*^2} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.7)$$

Τέλος, σε συνθήκες πλήρους αναπτυγμένης θάλασσας ισχύουν οι σχέσεις:

$$\frac{gH_o}{u_*^2} = 2,115 \cdot 10^{-2} \quad (3.8) \text{ \& (3.9)}$$

$$\frac{gT_p}{u_*} = 2,398 \cdot 10^2$$

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα χαρακτηριστικά του κύματος σε Fetch-limited συνθήκες.

3.2.2.1 Εντοπισμός δυσμενέστερων σεναρίων ανέμου

Αναφορικά με τη διάρκεια πνοής του ανέμου ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία. Αρχικά επιλέχθηκε ως διάρκεια πνοής ανέμου t_D εκείνη που αντιστοιχεί στη μέγιστη μηνιαία συχνότητα με βάση τα ανεμολογικά της ΕΜΥ, ανάγοντάς την σε ώρες (hr). Αυτό σημαίνει ότι θεωρούμε ότι όλη η συνολική διάρκεια πνοής συμβαίνει σε ένα και μόνο επεισόδιο στη

διάρκεια του μήνα. Πρόκειται δηλαδή για την πιο δυσμενή περίπτωση διάρκειας πνοής, που μπορεί να εμφανίσει ένα σενάριο ανέμου (συνδυασμό έντασης και διεύθυνσης) μέσα στο μήνα. Συγκεκριμένα, προέκυψε ότι για τον βορειοανατολικό άνεμο, δυσμενέστερος είναι ο Ιανουάριος, για τον βόρειο άνεμο ο Δεκέμβριος, για τον βορειοδυτικό, ο Ιούλιος και τέλος για τον δυτικό άνεμο ο Ιούνιος, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.3.

Ακόμα, επιλέχθηκε να εξεταστεί και η περίπτωση η διάρκεια πνοής να είναι ίση με εκείνη του μήνα Ιουλίου. Ο μήνας αυτός επιλέχθηκε τόσο εξαιτίας της αυξημένης τουριστικής κίνησης, όσο και εξαιτίας της μεγάλης συχνότητας εμφάνισης ανέμων μεγάλης έντασης. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι οι μηνιαίες συχνότητες είχαν σχετικά μικρές τιμές. Στη συνέχεια επιλέχθηκε η διάρκεια πνοής να είναι ίση με το άθροισμα δύο συνεχόμενων μηνών του καλοκαιριού, δηλαδή Ιουλίου και Αυγούστου, καθώς αυτοί είναι οι μήνες με τη σημαντικότερη κίνηση για τον Δίαυλο.

Τέλος, επιλέχθηκε να εξεταστεί και το σενάριο, η διάρκεια πνοής να ισούται με εκείνη που αντιστοιχεί στην μέγιστη ετήσια συχνότητα βάσει των ανεμολογικών δεδομένων της ΕΜΥ. Για τη διερεύνηση του πεδίου ταχυτήτων των κυματογενών ρευμάτων στην περιοχή του Δίαυλου, επιλέχθηκε τελικά η τελευταία περίπτωση, δηλαδή να χρησιμοποιηθούν οι ετήσιες συχνότητες. Σκοπός της επιλογής αυτής ήταν το αντιστάθμισμα από την έλλειψη στοιχείων για ακραία καιρικά φαινόμενα και η εγγύτερη προσέγγιση μιας πιθανής ακραίας κατάστασης της θάλασσας. Εφαρμόζοντας λοιπόν, τη μεθοδολογία του CEM που αναπτύχθηκε παραπάνω, προέκυψαν οι κυματισμοί που παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.2 και 3.3..

Στον Πίνακα 3.2 περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού των κυματικών χαρακτηριστικών (H_{m0} , T_p) για την περίπτωση που η διάρκεια πνοής t_D αντιστοιχεί στις ετήσιες συχνότητες ανέμου για κάθε διεύθυνση. Παρατηρείται ότι το μέγιστο ύψος κύματος και η μέγιστη περίοδος αιχμής προκύπτει από τον συνδυασμό μεγάλης έντασης και μικρής διάρκειας πνοής που αντιστοιχεί σε μικρή συχνότητας εμφάνισης. Όπως φαίνεται επιλέχθηκε για τον βορειοανατολικό άνεμο ύψος κύματος 1,1 μέτρα, για τον βόρειο 1,06 μέτρα, για τον βορειοδυτικό 2,68 μέτρα και τέλος για τον δυτικό 2,80 μέτρα.

Πίνακας 3.2: Πρόγνωση κυματισμού με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα του σταθμού της Πρέβεζας και διάρκεια πνοής ίση με την ετήσια

	F_{eff} (km)	beaufort	U^* (m/s)	td (hr)	$t_{x,u}$ (hr)		g^*X/u^{*2}	g^*H_{m0}/u^{*2}	g^*T_p/u	H_{m0} (m)	T_p (sec)
Βορειοανατολικός (NE)	5.64	1	0.0509	24.0024	2.8689	t>tx,u	21336573	190.7710	208.2963	0.05	1.08
		2	0.1151	769.3032	2.1943	t<tx,u	4179894	84.4370	120.9748	0.11	1.42
		3	0.1939	745.3884	1.8560	t>tx,u	1472000	50.1076	85.4298	0.19	1.69
		4	0.2931	280.1448	1.6308	t>tx,u	644047	33.1443	64.8554	0.29	1.94
		5	0.4109	75.7740	1.4710	t>tx,u	327745	23.6438	51.7788	0.41	2.17
		6	0.5491	32.5872	1.3491	t>tx,u	183531	17.6931	42.6785	0.54	2.39
		7	0.7047	8.6724	1.2542	t>tx,u	111401	13.7846	36.1357	0.70	2.60
		8	0.8842	1.9272	1.1753	t>tx,u	111696	13.8028	36.1675	1.10	3.26
		9	1.0786	0.9636	1.1114	t<tx,u	29311	7.0707	23.1552	0.84	2.55
		10	1.2996	0.0000	1.0555	t<tx,u	0	0.0000	0.0000	0.00	0.00
Βόρειος (N)	21.6	1	0.0509	10.5120	7.0520	t>tx,u	81676703	373.2494	325.8412	0.10	1.69
		2	0.1151	214.8828	5.3937	t>tx,u	16000694	165.2036	189.2429	0.22	2.22
		3	0.1939	212.9556	4.5621	t>tx,u	5634835	98.0371	133.6391	0.38	2.64
		4	0.2931	78.6648	4.0086	t>tx,u	2465422	64.8479	101.4543	0.57	3.03
		5	0.4109	21.1116	3.6157	t>tx,u	1254612	46.2599	80.9984	0.80	3.39
		6	0.5491	10.5120	3.3161	t>tx,u	702559	34.6172	66.7627	1.06	3.74
		7	0.7047	1.9272	3.0829	t<tx,u	426446	26.9701	56.5277	1.37	4.06
		8	0.8842	0.9636	2.8890	t<tx,u	270918	21.4965	48.5943	1.71	4.38
		9	1.0786	0.0000	2.7319	t<tx,u	182061	17.6221	42.5643	2.09	4.68
		10	1.2996	0.0000	2.5945	t<tx,u	125403	14.6253	37.5903	2.52	4.98
Βορειοδυτικός (NW)	137	1	0.0509	5.7816	24.3712	t<tx,u	519908720	941.7022	603.8777	0.25	3.13
		2	0.1151	102.6672	18.6403	t>tx,u	101851566	416.8059	350.7216	0.56	4.11
		3	0.1939	117.9972	15.7664	t>tx,u	35868244	247.3461	247.6718	0.95	4.89
		4	0.2931	101.7036	13.8533	t>tx,u	15693512	163.6101	188.0240	1.43	5.62
		5	0.4109	31.6236	12.4956	t>tx,u	7986164	116.7130	150.1134	2.01	6.29
		6	0.5491	13.4028	11.4601	t>tx,u	4472100	87.3385	123.7306	2.68	6.93
		7	0.7047	3.8544	10.6544	t<tx,u	2714518	68.0450	104.7621	3.44	7.53
		8	0.8842	0.9636	9.9843	t<tx,u	1724511	54.2354	90.0593	4.32	8.12
		9	1.0786	0.9636	9.4414	t<tx,u	1158901	44.4604	78.8840	5.27	8.67
		10	1.2996	0.0000	8.9664	t<tx,u	798247	36.8993	69.6657	6.35	9.23
Δυτικός (W)	150	1	0.0509	8.6724	25.8430	t<tx,u	567462039	983.8264	621.7544	0.26	3.23
		2	0.1151	287.7660	19.7660	t>tx,u	111167394	435.4505	361.1041	0.59	4.24
		3	0.1939	647.5392	16.7186	t>tx,u	39148924	258.4104	255.0037	0.99	5.04
		4	0.2931	617.7552	14.6900	t>tx,u	17128916	170.9287	193.5901	1.50	5.78
		5	0.4109	117.0336	13.2502	t>tx,u	8716616	121.9338	154.5572	2.10	6.47
		6	0.5491	26.8932	12.1522	t>tx,u	4881139	91.2453	127.3934	2.80	7.13
		7	0.7047	7.7088	11.2978	t<tx,u	2962801	71.0888	107.8634	3.60	7.75
		8	0.8842	0.9636	10.5873	t<tx,u	1882243	56.6615	92.7254	4.52	8.36
		9	1.0786	0.9636	10.0116	t<tx,u	1264900	46.4492	81.2192	5.51	8.93
		10	1.2996	0.9636	9.5079	t<tx,u	871258	38.5499	71.7280	6.64	9.50

Στον Πίνακα 3.3 γίνεται σύγκριση των σεναρίων που περιγράφηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά των κυμάτων που παρουσιάζονται έχουν υπολογιστεί με την υπόθεση ότι:

- ο άνεμος πνέει αδιάκοπα κάθε μήνα για χρονικό διάστημα ανάλογο με την αντίστοιχη μέγιστη μηνιαία συχνότητα εμφάνισης,
- ο άνεμος πνέει αδιάκοπα για χρονικό διάστημα ανάλογο με τη μηνιαία συχνότητα εμφάνισης του Ιουλίου,

- ο άνεμος πνέει αδιάκοπα κάθε χρόνο για χρονικό διάστημα ανάλογο με την αντίστοιχη μέγιστη ετήσια συχνότητα εμφάνισης,
- ο άνεμος πνέει αδιάκοπα για χρονικό διάστημα ανάλογο με το άθροισμα των μηνιαίων συχνοτήτων εμφάνισης των μηνών Ιουλίου και Αυγούστου.

Πίνακας 3.3: Σύγκριση κυματισμών για διάρκεια πνοής που αντιστοιχεί στις μέγιστες μηνιαίες, στις ετήσιες συχνότητες εμφάνισης, στη συχνότητα εμφάνισης Ιουλίου & στο άθροισμα συχνοτήτων Ιουλίου και Αυγούστου

Συχνότητες:			Δυσμενείς Μηνιαίες		Ιουλίου		Ετήσιες		Ιουλίου + Αυγούστου			
	F _{eff} (km)	beaufort	t _{x,u}	H _{mo} (m)	T _p (sec)	H _{mo} (m)	T _p (sec)	H _{mo} (m)	T _p (sec)	H _{mo} (m)	T _p (sec)	
Βορειοανατολικός (NE)	5.64	1	2.869	Ιανουάριος	0.05	1.08	0.05	1.08	0.05	1.08	0.05	1.08
		2	2.194		0.11	1.42	0.11	1.42	0.11	1.42	0.11	1.42
		3	1.856		0.19	1.69	0.19	1.69	0.19	1.69	0.19	1.69
		4	1.631		0.29	1.94	0.29	1.94	0.29	1.94	0.29	1.94
		5	1.471		0.41	2.17	0.41	2.17	0.41	2.17	0.41	2.17
		6	1.349		0.54	2.39	0.54	2.39	0.54	2.39	0.54	2.39
		7	1.254		0.70	2.60	0.70	2.60	0.70	2.60	0.70	2.60
		8	1.175		0.88	2.80	0.88	2.80	1.10	3.26	0.88	2.80
		9	1.111		1.07	2.99	1.07	2.99	0.84	2.55	1.07	2.99
		10	1.056		1.29	3.18	1.29	3.18	0.00	0.00	1.29	3.18
Βόρειος (N)	21.59	1	7.052	Δεκέμβριος	0.10	1.69	0.10	1.69	0.10	1.69	0.10	1.69
		2	5.394		0.22	2.22	0.22	2.22	0.22	2.22	0.22	2.22
		3	4.562		0.38	2.64	0.38	2.64	0.38	2.64	0.38	2.64
		4	4.009		0.57	3.03	0.57	3.03	0.57	3.03	0.57	3.03
		5	3.616		0.80	3.39	0.80	3.39	0.80	3.39	0.80	3.39
		6	3.316		1.06	3.74	1.06	3.74	1.06	3.74	1.06	3.74
		7	3.083		1.37	4.06	1.37	4.06	1.37	4.06	1.37	4.06
		8	2.889		1.71	4.38	1.71	4.38	1.71	4.38	1.71	4.38
		9	2.732		2.09	4.68	2.09	4.68	2.09	4.68	2.09	4.68
		10	2.595		2.52	4.98	2.52	4.98	2.52	4.98	2.52	4.98
Βορειοδυτικός (NW)	137.43	1	24.371	Ιούλιος	0.25	3.13	0.25	3.13	0.25	3.13	0.25	3.13
		2	18.640		0.56	4.11	0.56	4.11	0.56	4.11	0.56	4.11
		3	15.766		0.95	4.89	0.95	4.89	0.95	4.89	0.95	4.89
		4	13.853		1.43	5.62	1.43	5.62	1.43	5.62	1.43	5.62
		5	12.496		2.01	6.29	2.01	6.29	2.01	6.29	2.01	6.29
		6	11.460		2.68	6.93	2.68	6.93	2.68	6.93	2.68	6.93
		7	10.654		3.44	7.53	3.44	7.53	3.44	7.53	3.44	7.53
		8	9.984		4.32	8.12	4.32	8.12	4.32	8.12	4.32	8.12
		9	9.441		5.27	8.67	5.27	8.67	5.27	8.67	5.27	8.67
		10	8.966		6.35	9.23	6.35	9.23	6.35	9.23	6.35	9.23
Δυτικός (W)	150.00	1	25.843	Ιούνιος	0.26	3.23	0.26	3.23	0.26	3.23	0.26	3.23
		2	19.766		0.59	4.24	0.59	4.24	0.59	4.24	0.59	4.24
		3	16.719		0.99	5.04	0.99	5.04	0.99	5.04	0.99	5.04
		4	14.690		1.50	5.78	1.50	5.78	1.50	5.78	1.50	5.78
		5	13.250		2.10	6.47	2.10	6.47	2.10	6.47	2.10	6.47
		6	12.152		2.80	7.13	2.80	7.13	2.80	7.13	2.80	7.13
		7	11.298		3.60	7.75	3.60	7.75	3.60	7.75	3.60	7.75
		8	10.587		4.52	8.36	4.52	8.36	4.52	8.36	4.52	8.36
		9	10.012		5.51	8.93	5.51	8.93	5.51	8.93	5.51	8.93
		10	9.508		6.64	9.50	6.64	9.50	6.64	9.50	6.64	9.50

Η παραπάνω διερεύνηση έγινε με στόχο να αποκτήσουμε μια εικόνα αν και πιθανολογικά πολύ σπάνια για τη δημιουργία ενός κυματισμού και να αντισταθμίσουμε την έλλειψη στοιχείων ακραίων ανεμολογικών επεισοδίων, καθώς και την αδυναμία της μεθοδολογίας αυτής να προβλέψει τον κυματισμό, όταν πνέει άνεμος με μια συγκεκριμένη ένταση και διεύθυνση και έχει προηγηθεί πνοή ανέμου μικρότερης έντασης ή άλλης διεύθυνσης όπως συχνά συμβαίνει στη φύση, προκαλώντας επιπλέον ενίσχυση του κύματος.

3.2.2.2 Μέγιστες ενεργειακά τιμές κυματισμών

Στην περιοχή της βόρειας εισόδου του Δίαλου υπάρχει λεπτόκοκκο ίζημα, και συγκεκριμένα άμμος. Η συσσώρευση ιζήματος στην είσοδο του Δίαλου και οι μεταβολές στο βάθος του, μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στη λειτουργία του. Για το λόγο αυτό θα πραγματοποιηθεί μια διερεύνηση της κίνησης των ιζημάτων στην περιοχή. Για τη μελέτη της κίνησης των ιζημάτων, απαιτείται ο προσδιορισμός του κυματισμού στα βαθιά νερά που προκαλεί τη μέγιστη στερεομεταφορά. Η επιλογή λοιπόν των κυματικών χαρακτηριστικών γίνεται έγινε με ενεργειακά κριτήρια.

Συγκεκριμένα, από το σύνολο των κυματισμών που προκύπτουν για διάρκεια πνοής ανέμου που αντιστοιχεί στις μέσες ετήσιες συχνότητες εμφάνισης, επιλέγεται εκείνος για τον οποίο ισχύει ότι το γινόμενο του τετραγώνου του ύψους κύματος επί την περίοδο και τη συχνότητα εμφάνισης $[(H_i^2 T_i f_i)_{max}]$, είναι μέγιστο. Στον Πίνακα 3.4, περιγράφεται η μεθοδολογία αυτή.

Όπως παρατηρούμε στον Πίνακα 3.4, μεγαλύτερη επίδραση στη στερεομεταφορά προκαλεί ο δυτικός άνεμος, αφού διαθέτει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης, αλλά και το μεγαλύτερο ύψος κύματος. Είναι φυσιολογικό που ο δυτικός και ο βορειοδυτικός άνεμος έχουν σημαντικότερη επίδραση στη δίατα των ιζημάτων της περιοχής μελέτης. Αυτό οφείλεται τόσο στη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης τους, όσο και στα μεγαλύτερα κυματικά χαρακτηριστικά (H_{mo}, T_p) λόγω του μεγαλύτερου ενεργού μήκους αναπτύγματος πελάγους για τις διευθύνσεις αυτές, αλλά και του προσανατολισμού της ακτής.

Πίνακας 3.4: Μέγιστες ενεργειακά τιμές κυματικών χαρακτηριστικών για Δ, ΒΔ, Β & ΒΑ ανέμους

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ : Βορειοανατολικός (NE)					Βόρειος (N)				
Beaufort	fi (%)	Hi (m)	Ti (sec)	Hi ² · Ti · fi	Beaufort	fi (%)	Hi (m)	Ti (sec)	Hi ² · Ti · fi
1	0.274	0.05	1.08	0.0008	1	0.120	0.10	1.69	0.0020
2	8.782	0.11	1.42	0.1617	2	2.453	0.22	2.22	0.2705
3	8.509	0.19	1.69	0.5295	3	2.431	0.38	2.64	0.9059
4	3.198	0.29	1.94	0.5220	4	0.898	0.57	3.03	0.8778
5	0.865	0.41	2.17	0.3105	5	0.241	0.80	3.39	0.5181
6	0.372	0.54	2.39	0.2627	6	0.120	1.06	3.74	0.5074
7	0.099	0.70	2.60	0.1252	7	0.022	1.37	4.06	0.1666
8	0.022	1.10	3.26	0.0868	8	0.011	1.71	4.38	0.1414
9	0.011	0.84	2.55	0.0197	9	0.000	2.09	4.68	0.0000
10	0.000	0.00	0.00	0.0000	10	0.000	2.52	4.98	0.0000
		Σύνολο		2.0189			Σύνολο		3.3898
		max		0.5295			max		0.9059
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ : Βορειοδυτικός (NW)					Δυτικός (W)				
Beaufort	fi (%)	Hi (m)	Ti (sec)	Hi ² · Ti · fi	Beaufort	fi (%)	Hi (m)	Ti (sec)	Hi ² · Ti · fi
1	0.066	0.25	3.13	0.0128	1	0.099	0.26	3.23	0.0216
2	1.172	0.56	4.11	1.5248	2	3.285	0.59	4.24	4.8028
3	1.347	0.95	4.89	5.9217	3	7.392	0.99	5.04	36.5193
4	1.161	1.43	5.62	13.3886	4	7.052	1.50	5.78	91.3891
5	0.361	2.01	6.29	9.1556	5	1.336	2.10	6.47	38.0774
6	0.153	2.68	6.93	7.6326	6	0.307	2.80	7.13	17.2107
7	0.044	3.44	7.53	3.9300	7	0.088	3.60	7.75	8.8328
8	0.011	4.32	8.12	1.6680	8	0.011	4.52	8.36	1.8744
9	0.011	5.27	8.67	2.6520	9	0.011	5.51	8.93	2.9803
10	0.000	6.35	9.23	0.0000	10	0.011	6.64	9.50	4.6042
		Σύνολο		45.8861			Σύνολο		206.3126
		max		13.3886			max		91.3891

Συγκεκριμένα, για τον βορειοανατολικό άνεμο, επιλέχθηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω, ο άνεμος που αντιστοιχεί σε ένταση 3 beaufort που αντιστοιχεί σε ταχύτητα 5,4 m/sec και προκαλεί κυματισμό σημαντικού ύψους 0,19 μέτρα και με περίοδο 1,69 δευτερόλεπτα. Για τον βόρειο άνεμο επιλέχθηκε κυματισμός με ύψος 0,38 μέτρα και περίοδο 2,64 δευτερόλεπτα που αντιστοιχεί σε άνεμο έντασης 3 beaufort και ταχύτητας 5,4 m/sec ενώ για τον βορειοδυτικό επιλέχθηκε κυματισμός με ύψος 1,43 μέτρα και περίοδο ίση με 5,62 δευτερόλεπτα, που αντιστοιχεί σε άνεμο έντασης 4 beaufort και ταχύτητας 7,9 m/sec. Τέλος, αναφορικά με τον δυτικό άνεμο, επιλέχθηκε ο κυματισμός ύψους 1,50 μέτρου και περιόδου 5,78 δευτερολέπτων που προκαλείται από άνεμο 4 beaufort και ταχύτητα 7,9 m/sec.

4. ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE 21

Για τις απαιτήσεις της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MIKE 21 της DHI (Danish Hydraulic Institute), που είναι ένας διεθνής ερευνητικός οργανισμός. Με τη βοήθεια του προγράμματος MIKE 21 προσομοιώθηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, το υδροδυναμικό πεδίο που αναπτύσσεται στην περιοχή του βόρειου τμήματος του Δίαυλου της Λευκάδας καθώς και οι κινήσεις των ιζημάτων στην περιοχή αυτή. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν το μοντέλο MIKE 21 PMS για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών και των τάσεων ακτινοβολίας στην περιοχή μελέτης, το υδροδυναμικό μοντέλο HD για τον υπολογισμό του κυματογενούς ρεύματος και τέλος το μοντέλο στερεομεταφοράς ST. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για το σύνολο των διευθύνσεων ανέμου για τις οποίες μπορεί να αναπτυχθεί κυματισμός στην περιοχή μελέτης (NE, N, NW, W). Αναφορικά, με τη διερεύνηση των συνθηκών εισόδου στον Δίαυλο, δηλαδή τον προσδιορισμό των κυμάτων και των ρευμάτων, χρησιμοποιήθηκε το μέγιστο κύμα για κάθε διεύθυνση. Αντίθετα, για την εκτίμηση της στερεομεταφοράς χρησιμοποιήθηκε το κύμα μέγιστης ενέργειας.

4.1 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Parabolic Mild–Slope Equation Model (MIKE21 PMS)

Το MIKE 21 PMS είναι ένα αριθμητικό μοντέλο γραμμικής διάθλασης – περίθλασης. Το μοντέλο ακολουθεί την παραβολική προσέγγιση της ελλειπτικής εξίσωσης ήπιας κλίσης (parabolic approximation of elliptic mild-slope equation) και λαμβάνει υπόψη τα παρακάτω φαινόμενα:

- διάθλαση (refraction),
- ρήχωση λόγω της μεταβολής του βάθους (shoaling),
- περίθλαση κατά μήκος της κάθετης στην κύρια διεύθυνση του κύματος (diffraction),

- απώλειες ενέργειας από την τριβή στο στερεό όριο του πυθμένα (bottom dissipation),
- απώλειες ενέργειας από τη θραύση κυματισμών (wave breaking),
- διασπορά συχνοτήτων (frequency spreading) και
- κατευθυντική διασπορά (directional spreading), χρησιμοποιώντας γραμμική υπέρθεση (linear superposition).

Το μοντέλο εφαρμόζει διάφορες παραβολικές προσεγγίσεις, όπως την απλή για μικρές γωνίες αλλά και πιο πολύπλοκες, κατάλληλες και για μεγάλες γωνίες κύματος. Η εξίσωση παραβολικής μορφής επιλύεται από ένα σχήμα πεπερασμένων διαφορών Crank-Nicholson. Ωστόσο, δεν λαμβάνει υπόψη το φαινόμενο της μη γραμμικής αλληλεπίδρασης κυμάτων και κυμάτων – ρευμάτων. Το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα επίλυσης σε δύο εκδοχές, σε μονοδιάστατο (1-D) και σε δισδιάστατο (2-D) πεδίο. Στην παρούσα εργασία επιλύθηκε σε δισδιάστατο πεδίο.

Τα βασικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου είναι το τετραγωνικό μέσο ύψος κύματος (root mean square) H_{rms} , η περίοδος αιχμής φάσματος T_p , η μέση διεύθυνση του κυματισμού MWD και οι τρις τάσεις ακτινοβολίας. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του κυματικού πεδίου σε παράκτιες περιοχές, όπου η διασπορά λόγω ανάκλασης στους επερχόμενους κυματισμούς (back-scatter φαινόμενα) μπορεί να αγνοηθεί και η περίθλαση είναι κυρίαρχη στον κάθετο άξονα της κύριας διεύθυνσης διάδοσης κυματισμού. Ακόμα, η γνώση των χαρακτηριστικών του κύματος (H_{rms} , T_p , MWD) μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατόπιν για την εκτίμηση της κίνησης των ιζημάτων, ενώ το αρχείο των τάσεων ακτινοβολίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το υδροδυναμικό μοντέλο για τη μελέτη κυματογενών ρευμάτων. Τέλος, εφόσον η περίθλαση και η διάθλαση δεν περιγράφονται ολοκληρωμένα από το μοντέλο αυτό, δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται σε περιπτώσεις λιμενολεκάνης, όπου κυριαρχούν τα φαινόμενα αυτά. (MIKE21 PMS User Guide, 2007)

4.1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο - Βασικές εξισώσεις

Η ελλειπτική εξίσωση ήπιας κλίσης είναι η κύρια εξίσωση που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των φαινομένων της διάθλασης, περίθλασης και ανάκλασης, γραμμικών χρονικά, αρμονικών κυμάτων από πυθμένα ήπιας κλίσης και έχει την παρακάτω μορφή:

$$\nabla \left(CC_g \nabla \varphi \right) + \left(k^2 CC_g + i\omega W \right) \varphi = 0 \quad (4.1), \text{ όπου:}$$

- $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$ δισδιάστατος τελεστής κλίσης,
- $C(x,y)$: ταχύτητα φάσης κύματος (celerity),
- C_g : ταχύτητα ομάδας (group velocity),
- $\varphi(x,y)$: δυναμικό ταχύτητας μέσης ελεύθερης επιφάνειας (mean free surface velocity potential) και ισχύει η σχέση

$$\Phi(x, y, z) = \frac{g}{\omega} \varphi(x, y) \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} e^{-i\omega t}, \text{ που είναι το δυναμικό ταχύτητας.}$$

$$\text{Ακόμα ισχύει ότι } \varphi = A^*(x, y) e^{i\psi} \quad (4.2),$$

$$\text{όπου } \psi = \int^x k dx$$

Ακόμα:

- z: ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης από τη ΜΣΗ,
- d: βάθος νερού,
- k: κυματαριθμός $k=2\pi/L$,
- W: όρος απωλειών $W= E_{\text{diss}}/E$,
- E_{diss} : μέσος ρυθμός απώλειας ενέργειας ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας,
- E: μέση ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας,
- ω : κυκλική συχνότητα $\omega=2\pi f$,
- L: μήκος κύματος,
- f: συχνότητα $f=1/T$

Μια παραβολική προσέγγιση της ελλειπτικής εξίσωσης ήπιας κλίσης προκύπτει αν υποθεθεί μία κύρια διεύθυνση κύματος, η x-διεύθυνση και αγνοηθεί η διασπορά λόγω ανάκλασης στους επερχόμενους κυματισμούς και η περίθλαση κατά μήκος αυτής της διεύθυνσης (Berkhoff, 1972). Μετά από επεξεργασία προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$A_x - i(k - \beta_1 k)A + \frac{A}{2C_g} C_{gx} + \frac{\sigma_1}{\omega C_g} (CC_g A_y)_y + \frac{\sigma_2}{\omega C_g} (CC_g A_y)_{yx} + A \frac{W}{2C_g} = 0, \quad (4.3)$$

όπου :

- $\sigma_1 = i \left(\beta_2 - \beta_3 \frac{k_0}{k} \right) + \beta_3 \left(\frac{k_x}{k^2} + \frac{C_{gx}}{2kC_g} \right), \quad \sigma_2 = -\frac{\beta_3}{k}, \quad (4.4) \text{ \& } (4.5)$
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, συντελεστές για διάφορες παραβολικές εξισώσεις

Η παραπάνω εξίσωση είναι εκείνη που επιλύεται από το απλό μοντέλο MIKE 21 PMS (simple) για μικρές γωνίες. Για καλύτερα αποτελέσματα και ειδικότερα στην περίπτωση μεγαλύτερων γωνιών από την κύρια διεύθυνση μετάδοσης του κυματισμού έχουν γίνει οι μαθηματικές μετατροπές «Padé approximation» για γωνίες έως 45° και «minimax approximation».έως και γωνία 60° . Στην παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε η απλή προσέγγιση, αν και έγιναν δοκιμές και με τις υπόλοιπες.

Η προσέγγιση Padé (1,0) δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{k} = \left[1 - \left(\frac{m}{k} \right)^2 \right]^{1/2}, \text{ όπου } m/k = \sin \theta \ll 1 \text{ και } \theta \text{ η διεύθυνση του κύματος. Η σχέση αυτή}$$

δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, όταν $\sin \theta < 0.4$. Για μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογίστηκε η προσέγγιση Padé (1,1), που δίνεται από τη σχέση:

$$2k(1-k) + m^2 - \frac{1}{2k}(1-k)m^2 = 0 \quad (4.6) \quad , \text{ και για}$$

$$A_x = i(l-k)A$$

$$A_y = imA$$

$$A_{yy} = -m^2 A$$

$$A_{xyy} = -i(l-k)m^2 A$$

και χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της αντιστοίχισης τελεστών (operator correspondence) προκύπτει τελικά η σχέση:

$$2ikA_x + A_{yy} + \frac{i}{2k}A_{xyy} = 0 \quad (4.7)$$

Η «minimax approximation» επιλύει τη σχέση:

$$2ikA_x + 2k^2(\beta_1 - 1)A + 2(\beta_3 - \beta_2)A_{yy} - \frac{2i\beta_3}{k}A_{xyy} = 0 \quad (4.8)$$

Η μέθοδος minimax υπολογίζει τους συντελεστές $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το σφάλμα ($1/k - \cos\theta$) πάνω σε ένα καθορισμένο πεδίο τιμών ($0 \leq \theta \leq \theta_a$). Το όριο εφαρμογής είναι $\theta_a = 60^\circ$, (Kirby, 1986).

Ανακεφαλαιώνοντας, το απλό μοντέλο απαιτεί η γωνία απόκλισης από την θετική κατά x διεύθυνση να μην ξεπερνάει τις 10° . Το μοντέλο Padé επεκτείνει την ανάλυση έως $\pm 45^\circ$ και το μοντέλο minimax μέχρι 60° , δίνοντας την ευκαιρία στον χρήστη να επιλέγει και μικρότερες γωνίες, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα λάθη.

4.1.2 Οριακές συνθήκες

Στο μοντέλο MIKE 21 PMS γίνεται η σύμβαση ότι ο κυματισμός εισέρχεται στην περιοχή προσομοίωσης μόνο από το ανοιχτό όριο (offshore boundary), το οποίο είναι πάντα το δυτικό. Τα πλευρικά όρια (lateral boundaries), δηλαδή το βόρειο και το νότιο συμπληρώνουν τις οριακές συνθήκες του υπολογιστικού πεδίου. Συγκεκριμένα, η εισερχόμενη κυματική ενέργεια στην περιοχή προσομοίωσης δίνεται στα μοντέλα από τα χαρακτηριστικά του κύματος, δηλαδή το μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος, τη περίοδο αιχμής φάσματος και τη μέση διεύθυνση της μετάδοσης (Hrms, Tp, MWD). Αναφορικά με τα πλευρικά όρια υπάρχουν τρεις επιλογές:

- να θεωρούνται συμμετρικά (symmetrical), δηλαδή η κλίση (gradient) των κυματικών συνθηκών κατά μήκος των ορίων είναι μηδενική, που πρακτικά σημαίνει ότι οι ισοβαθείς κοντά στα όρια θεωρούνται τοπικά ίσιες και παράλληλες,
- να θεωρούνται απορροφητικά (absorbing),
- να θεωρούνται ανακλαστικά (reflecting).

Γενικά, όταν οι κυματικές συνθήκες είναι άγνωστες από πριν στην περιοχή των πλευρικών ορίων, προτείνεται αυτά να θεωρούνται συμμετρικά. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή τα όρια θωρήθηκαν συμμετρικά, αφού δεν είχαμε περαιτέρω πληροφορίες.

Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα να συμπεριληφθεί η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας λόγω παλίρροιας. Ωστόσο, στη συγκεκριμένη εφαρμογή η επίδραση της παλίρροιας αμελήθηκε λόγω της μικρής τιμής της.

4.1.3 Στοιχεία υπολογισμών

Το σημαντικό ύψος κύματος H_{mo} και το μέσο τετραγωνικό ύψος H_{rms} δίνονται από τις

$$\text{σχέσεις: } \begin{aligned} H_{mo} &= 4\sqrt{m_0} \\ H_{rms} &= 2\sqrt{2m_0} \end{aligned} \quad (4.9),$$

$$\text{όπου } m_0 = E_1 = \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} E(f, \theta) d\theta df \quad (4.10)$$

Η περίοδος αιχμής φάσματος T_p ορίζεται ως η περίοδος που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενέργεια, ενώ η μέση διεύθυνση κύματος δίνεται από τη σχέση $\theta_m = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$ (4.11),

όπου

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{E_1} \int_0^{2\pi} \cos \theta \cdot E(\theta) d\theta \\ b &= \frac{1}{E_1} \int_0^{2\pi} \sin \theta \cdot E(\theta) d\theta \end{aligned} \quad (4.12)$$

Ακόμα, με τη χρήση του μοντέλου μπορεί να δημιουργηθεί ένα αρχείο αποτελεσμάτων που περιέχει τις τάσεις ακτινοβολίας S_{xx} , S_{xy} , S_{yy} , που ορίζονται ως εξής:

$$\begin{aligned} S_{xx} &= \rho \frac{g}{2} (F_u + F_p) \\ S_{xy} &= \rho \frac{g}{2} F_{uv} \\ S_{yy} &= \rho \frac{g}{2} (F_v + F_p) \end{aligned} \quad (4.13) \text{ , όπου:}$$

$$F_u = \int_0^{2\pi} \cos^2 \theta (1+G) E(\theta) d\theta$$

$$F_v = \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta (1+G) E(\theta) d\theta$$

$$F_{uv} = \int_0^{2\pi} \cos \theta \sin \theta (1+G) E(\theta) d\theta$$

$$F_u = \int_0^{2\pi} G \cdot E(\theta) d\theta$$

, (4.14) και $G = \frac{2kh}{\sinh(2kh)}$ (4.15)

4.1.3.1 Απώλειες ενέργειας λόγω επίδρασης πυθμένα

Το φαινόμενο της τριβής στο σταθερό όριο του πυθμένα προκαλεί απώλειες ενέργειας. Η ποσότητα της κυματικής ενέργειας που χάνεται, αυξάνει με την απόσταση, το ύψος κύματος, την περίοδο και το μειούμενο βάθος. Στο MIKE 21 PMS, για μονοχρωματικά κύματα και για τυχαία κύματα μίας κατεύθυνσης (random unidirectional) με κατανομή υψών Rayleigh, ο ρυθμός της σκέδασης της κυματικής ενέργειας dE/dt δίνεται από τους παρακάτω τύπους, Putnam & Johnson (1949) και Dingemans (1983) αντίστοιχα

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{1}{6\pi} \frac{c_{fw}}{g} \left(\frac{\omega H}{\sinh kd} \right)^3$$

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{1}{8\sqrt{\pi}} \frac{c_{fw}}{g} \left(\frac{\omega H_{rms}}{\sinh kd} \right)^3$$

(4.16) ,όπου

- $c_{fw}=f_w/2$, ένας συντελεστής κυματικής τριβής (Swart, 1974, Jobsson, 1966),
- $E = H_{rms}^2 / 8$,
- $f_w=0,24$ για $\alpha_b/k_n < 2$ και

$$f_w = \exp \left\{ -5,977 + 5,213 \left(\frac{\alpha_b}{k_n} \right)^{-0,194} \right\}$$

(4.17)

- α_b : το εύρος της κίνησης των μορίων του νερού στον πυθμένα
- $k_n=2,5 d_{50}$, ο συντελεστής τραχύτητας Nikuradse, και
- d_{50} : είναι η μέση διάμετρος κόκκου. (Nielsen, 1979; Roudkivi, 1988).

4.1.3.2 Απώλειες ενέργειας λόγω θραύσης κυματισμών

Κατά τη θραύση των κυματισμών, χάνεται ένα μέρος της κυματικής ενέργειας είτε γιατί η κλίση του κύματος έχει ξεπεράσει την οριακή τιμή, είτε γιατί το ύψος κύματος έχει γίνει τόσο μεγάλο (έχει ξεπεράσει την τιμή H/d) ώστε να συγκρατείται το βάρος του. Η ορθή επιλογή του μηχανισμού θραύσης είναι ίσως η κυριότερη παράμετρος για τη ρύθμιση του μοντέλου. Υπάρχουν διαθέσιμοι 4 μέθοδοι θραύσης κυματισμών:

- Battjes & Janssen (1978)

- Battjes & Stive (1985)
- Nelson (1987)
- Johnson (2006).

Η προεπιλεγμένη μέθοδος από το μοντέλο είναι η πρώτη που προσομοιώνει ποιοτικά τη διαδικασία της θραύσης παρομοιάζοντας την με τη διάδοση παλιρροιακού κύματος τύπου 'bore' και περιγράφεται με τον τύπο:

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{a}{4} Q_b f_m H_{\max}^2, \quad (4.18) \text{ ,όπου}$$

$$\bullet \quad H_{\max} = \gamma_1 k^{-1} \tanh(\gamma_2 k d / \gamma_1) \quad (4.19)$$

$$\bullet \quad H_{rms} = (8E)^{1/2} \quad (4.20)$$

$$\bullet \quad \frac{1-Q_b}{\ln Q_b} = -\left(\frac{H_{rms}}{H_{\max}}\right)^2 \quad (4.21), \text{ για τυχαίους η παραμετρικά τυχαίους κυματισμούς}$$

- f_m : η μέση κυματική συχνότητα, με $\omega=2\pi/f_m$
- k : ο κυματαριθμός, με $k=2\pi/L$
- d : το βάθος της θάλασσας
- E : η συνολική κυματική ενέργεια
- a : ελέγχει το ρυθμό της καταστροφής ενέργειας
- Q_b αποτελεί το ποσοστό των κυμάτων που θραύονται σε μία ακολουθία κυμάτων με κατανομή Rayleigh
- H_{\max} είναι η μέγιστη τιμή ύψους κύματος πριν τη θραύση
- γ_1 είναι ένας παράγοντας που ρυθμίζει τη μέγιστη τιμή κλίσης που μπορεί να έχει το κύμα πριν τη θραύση
- γ_2 είναι μία παράμετρος που ρυθμίζει τη μέγιστη τιμή του επιτρεπόμενου λόγου H/d που μπορεί να έχει το κύμα πριν τη θραύση.

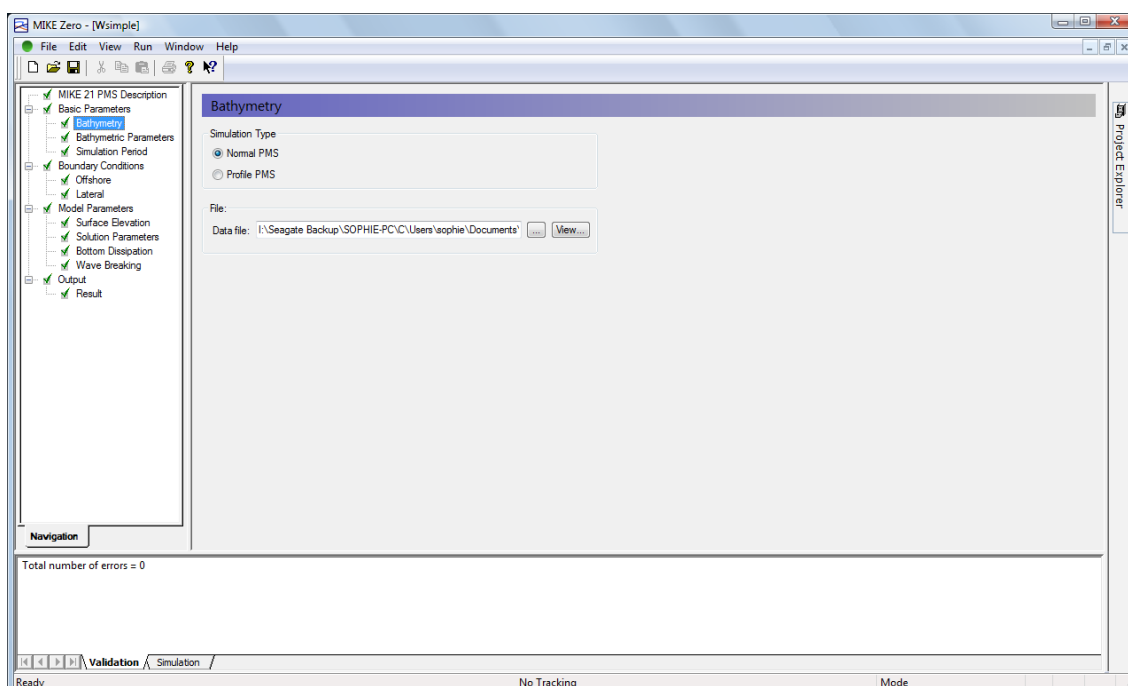
Αυξάνοντας του όρους γ_1 , γ_2 μειώνεται το φαινόμενο της θραύσης και άρα αυξάνεται το μέγιστο κύμα που εμφανίζεται πριν τη θραύση. Για μονοχρωματικούς κυματισμούς ο λόγος Q_b είναι ίσος με 0 ή 1 για μη θραυόμενους και θραυόμενους αντίστοιχα. Οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν παραπάνω αφορούν στη ρύθμιση των συντελεστών a , γ_1 , γ_2 . Σύμφωνα με τη μέθοδο Battjes & Janssen (1978) οι προτεινόμενες τιμές είναι $a=0,1$, $\gamma_1 =0,88$, $\gamma_2=0,8$.

Όπως αναφέρθηκε στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η προτεινόμενη μέθοδος των Battjes & Janssen (1978). Ωστόσο, πριν την τελική επιλογή έγιναν διάφορες δοκιμές με όλες τις υπόλοιπες μεθόδους. Παρατηρήθηκε ότι μόνο η προεπιλεγμένη μέθοδος έδινε σε όλες τις περιπτώσεις ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι άλλες περιγράφανε ίσως καλύτερα κάποια σενάρια ανέμου ενώ παράλληλα δεν έδιναν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε άλλα. Ακόμα, παρατηρήθηκε ότι οι υπόλοιπες μέθοδοι έδιναν ύψη κύματος ελαφρώς μικρότερα από τη μέθοδο Battjes & Janssen (1978). Έτσι, εφόσον μας ενδιαφέρει η ανάλυση του δυσμενέστερου σεναρίου επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος. Τέλος, αντί του συντελεστή $\gamma_1 =0,88$ επιλέχθηκε να είναι ίσος με 1. Με την επιλογή αυτή μειώνεται η διαταραχή που σχετίζεται με τη θραύση λόγω απότομης κλίσης. Αυτό προέκυψε ύστερα από δοκιμές, αφού φαινόταν να

περιγράφεται έτσι καλύτερα το κυματικό πεδίο. Με την επιλογή αυτή τα αποτελέσματα είναι ελαφρώς μεγαλύτερα, αναμενόμενο εφόσον καθορίζει τη μέγιστη τιμή κυματισμού πριν τη θραύση.

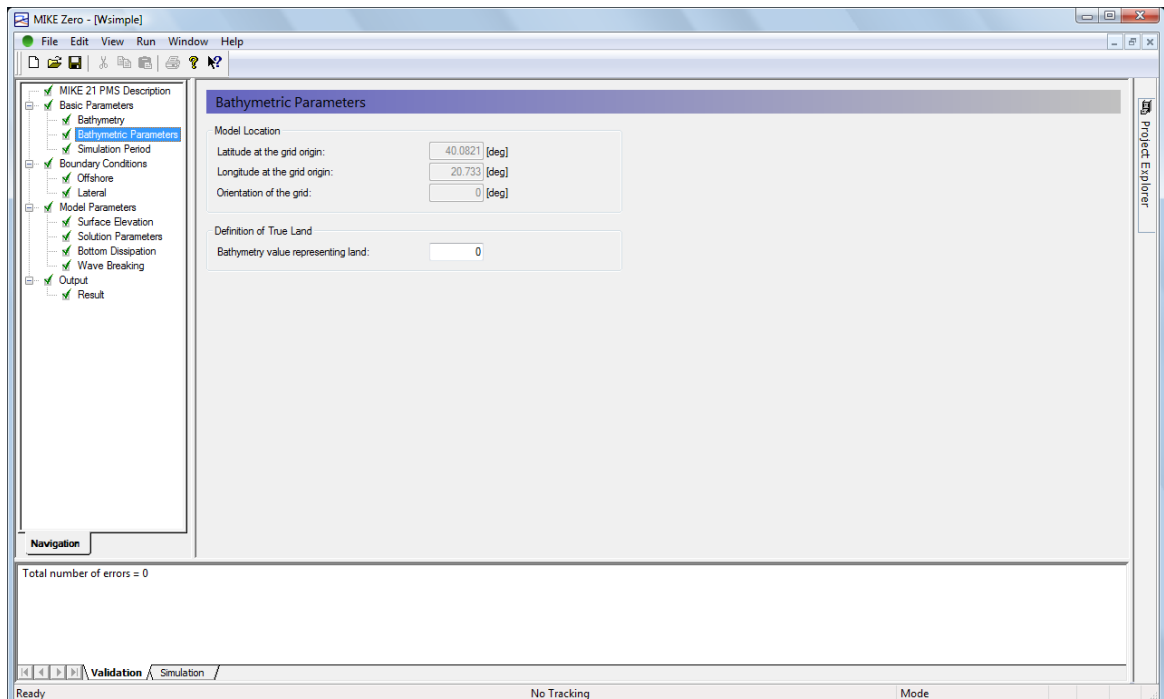
4.1.4 Διαδικασία προσομοίωσης

Το πρώτο στάδιο σχετίζεται με τις βασικές παραμέτρους του μοντέλου. Στην πρώτη καρτέλα, επιλέγεται ο τύπος της προσομοίωσης (Normal PMS, Profile PMS) και εισάγεται το αρχείο της βαθυμετρίας που έχει δημιουργηθεί σε προηγούμενο στάδιο. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε η κανονική προσομοίωση.



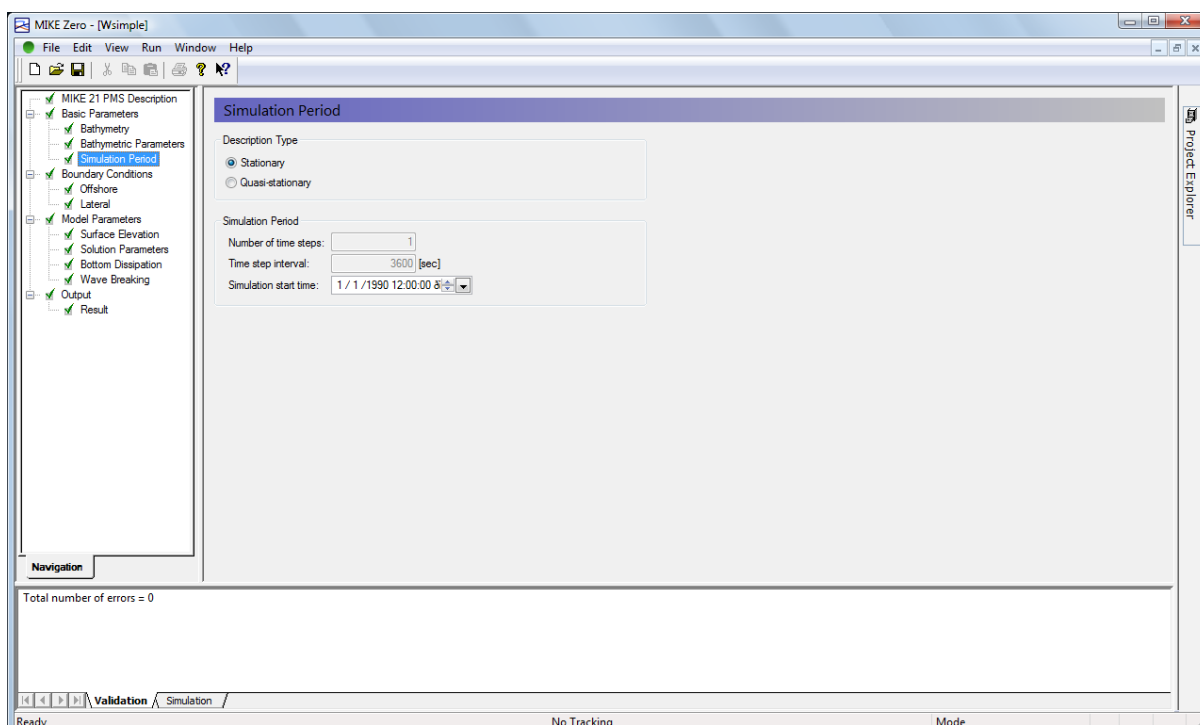
Σχήμα 4.1: Επιλογή τύπου προσομοίωσης

Στη δεύτερη καρτέλα, ορίζεται η τιμή του υψομέτρου, που αντιστοιχεί στην ξηρά. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 10 Ωστόσο, εδώ επιλέχθηκε η τιμή 0, που αντιστοιχεί στην πραγματική τιμή της ξηράς.



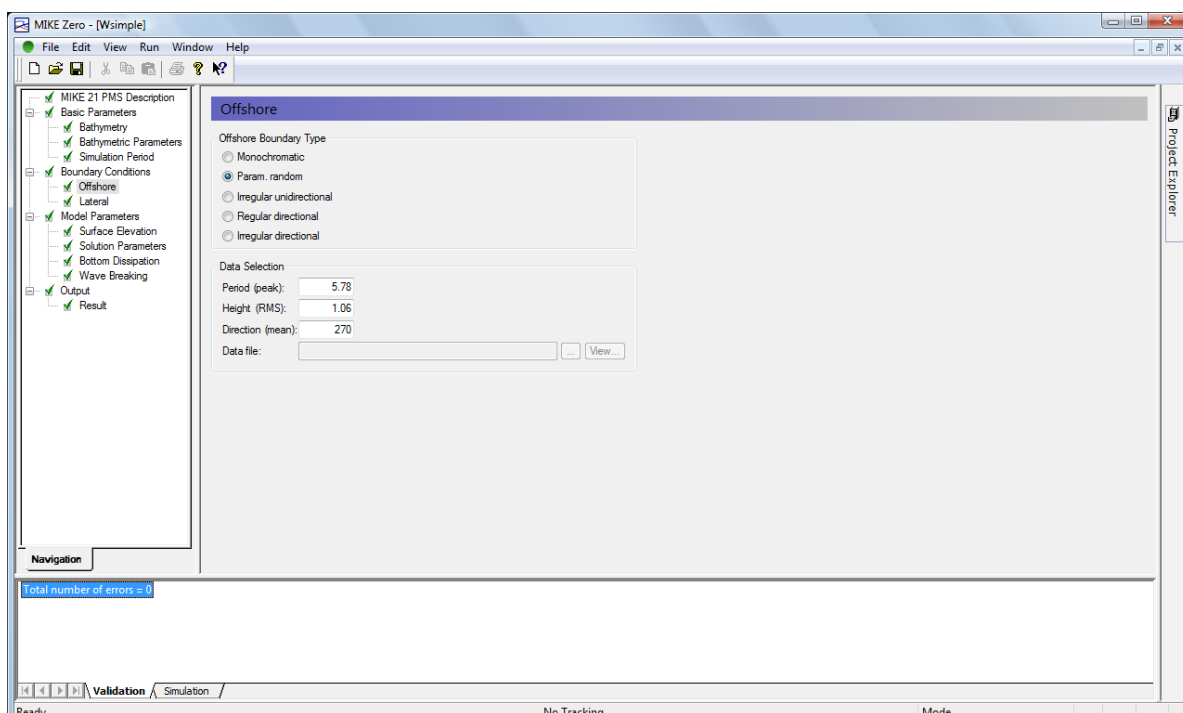
Σχήμα 4.2: Εισαγωγή τιμής υψομέτρου ξηράς

Η τρίτη καρτέλα αφορά στην περίοδο προσομοίωσης. Ειδικότερα, επιλέχθηκε η προσομοίωση για στατικές συνθήκες (stationary), δηλαδή λαμβάνεται υπόψη μόνο ένα κυματικό γεγονός στο ανοιχτό όριο, κατά την προσομοίωση. Η άλλη επιλογή που δεν επιλέχθηκε, χρησιμοποιείται όταν στο μοντέλο εισέρχονται περισσότεροι κυματισμοί και εισάγονται ως μια χρονοσειρά (Quasi-stationary). Τέλος, εισάγεται η χρονική στιγμή έναρξης της προσομοίωσης. Για όλες τις προσομοιώσεις, διατηρείται η προεπιλεγμένη ημερομηνία.

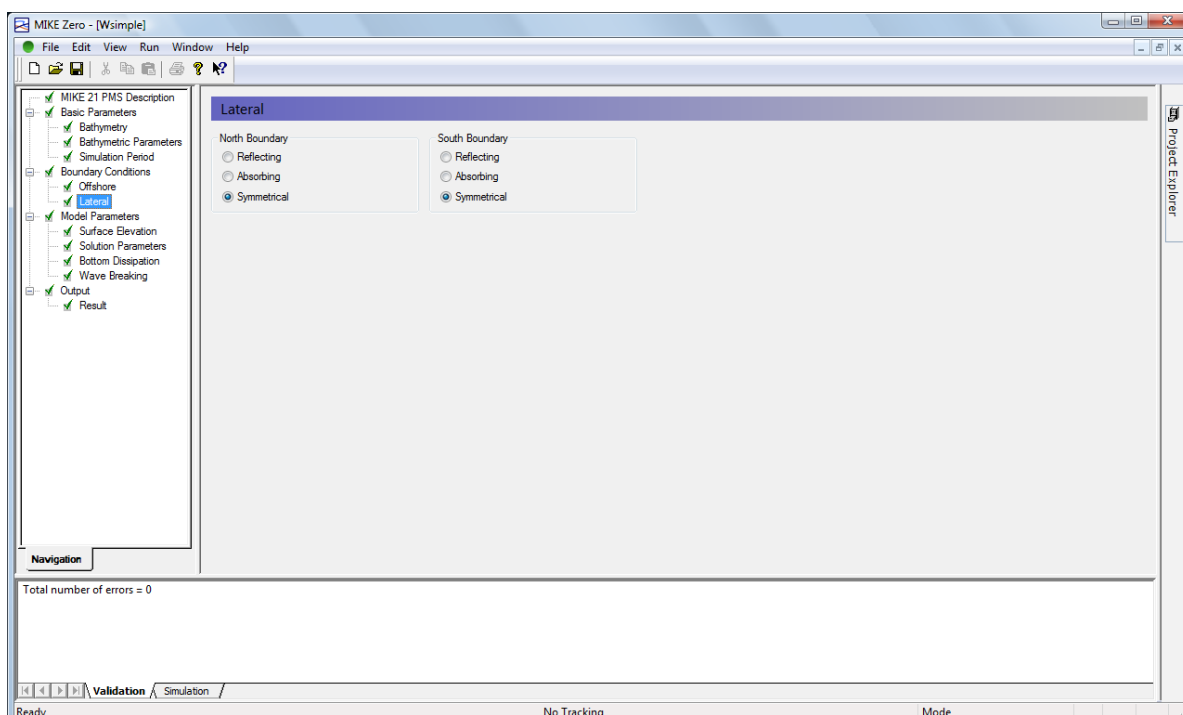


Σχήμα 4.3: Περίοδος προσομοίωσης

Το επόμενο στάδιο αφορά στις οριακές συνθήκες. Η πρώτη καρτέλα αφορά στο ανοιχτό όριο και τα χαρακτηριστικά του κυματισμού στα ανοιχτά που εισέρχεται στο μοντέλο από αυτό (Offshore Boundary Type). Έχει επιλεχτεί ο κυματισμός να θεωρείται τυχαίος παραμετρικός (Parametric random) και στη συνέχεια εισάγεται η περίοδος αιχμής, το μέσο τετραγωνικό ύψος και η μέση διεύθυνση κύματος. Στη δεύτερη καρτέλα επιλέγεται ο τύπος των πλευρικών ορίων, που όπως έχει αναφερθεί θεωρούνται συμμετρικά (symmetrical).

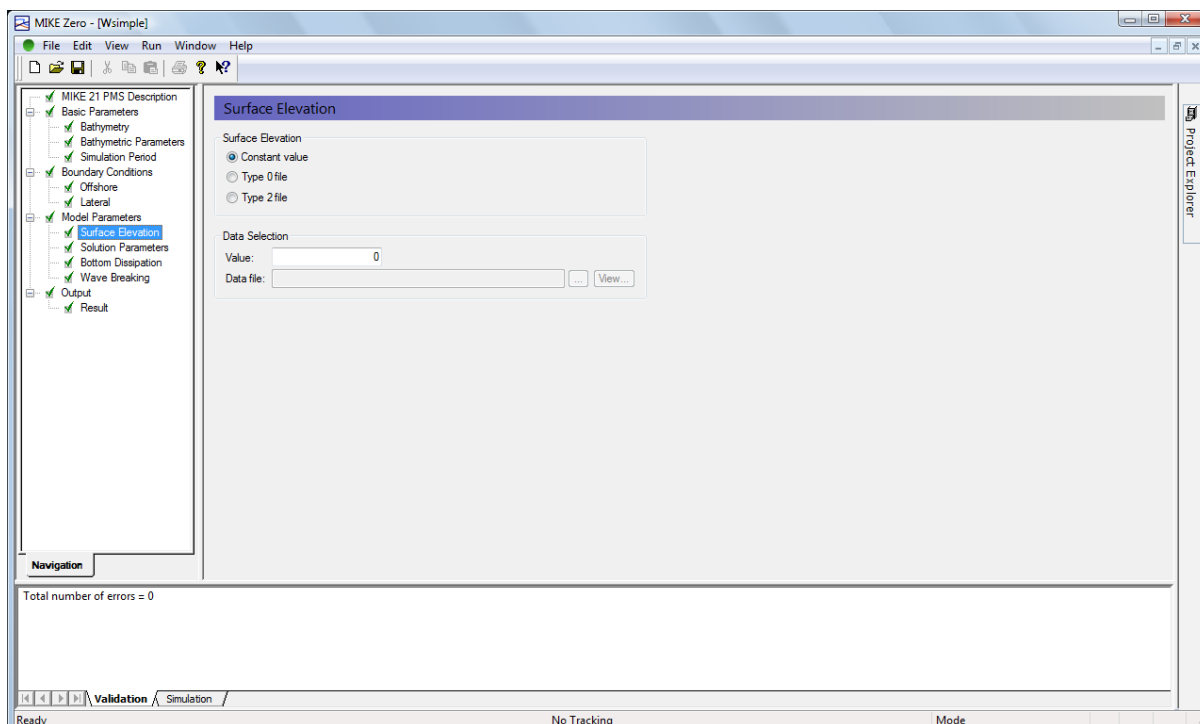


Σχήμα 4.4: Εισαγωγή κυματικών χαρακτηριστικών στο ανοιχτό όριο



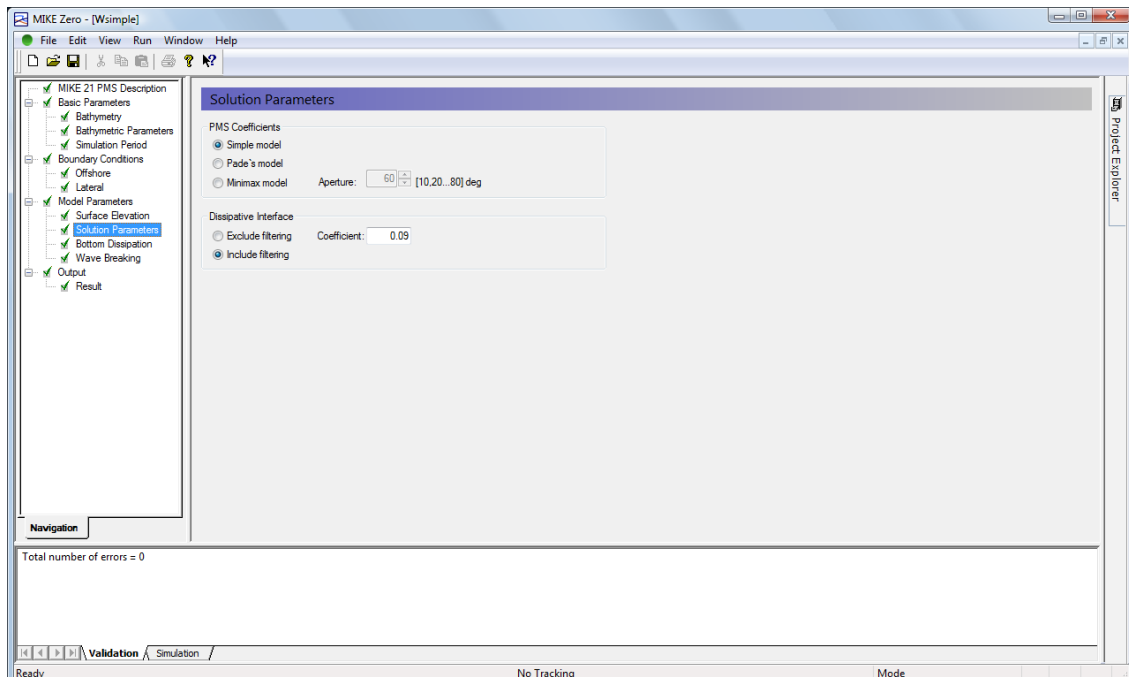
Σχήμα 4.5: Πλευρικά όρια

Στη συνέχεια ακολουθεί η συμπλήρωση των παραμέτρων του μοντέλου. Στην πρώτη καρτέλα, εισάγεται η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας. Στην περιοχή προσομοίωσης έχει επιλεγθεί, η ανύψωση να είναι μηδενική αφού δεν έχει ληφθεί υπόψη η παλίρροια.



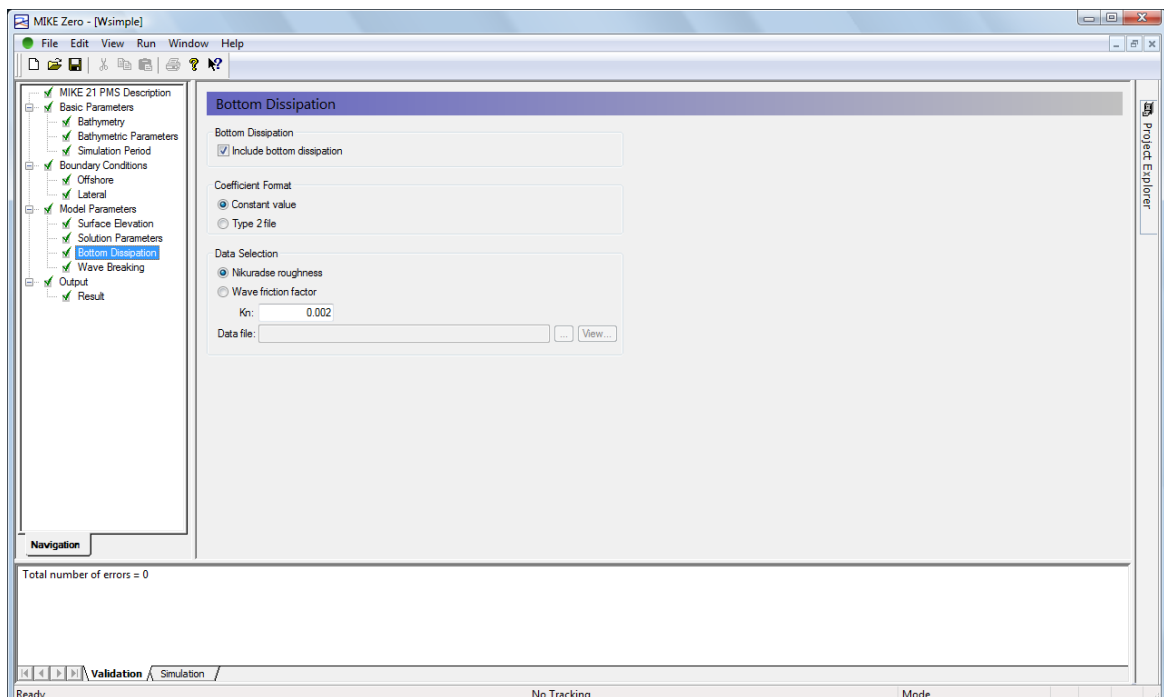
Σχήμα 4.6: Ανύψωση ελεύθερης επιφάνειας

Στη δεύτερη καρτέλα, εισάγονται οι παράμετροι επίλυσης. Συγκεκριμένα επιλέγεται η προσέγγιση με την οποία επιλύεται το μοντέλο. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχθηκε, όπως αναφέρθηκε παραπάνω η απλή προσέγγιση (simple). Η επιλογή αυτή έγινε καθώς η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης διάδοσης του κυματισμού και του άξονα x είναι σχεδόν μηδενική και το μοντέλο αυτό μπορεί να την περιγράψει με επιτυχία. Ακόμα, εισάγεται η τιμή του φίλτρου. Το φίλτρο χρησιμοποιείται για να μειώνει το θόρυβο από τη θραύση μεγάλων κυματισμών. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 0,25. Η τιμή αυτή θεωρήθηκε υπερβολική για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, αφού μελετούμε τη δυσμενέστερη περίπτωση. Έτσι, επιλέχθηκε η τιμή 0,09 έπειτα από δοκιμές.



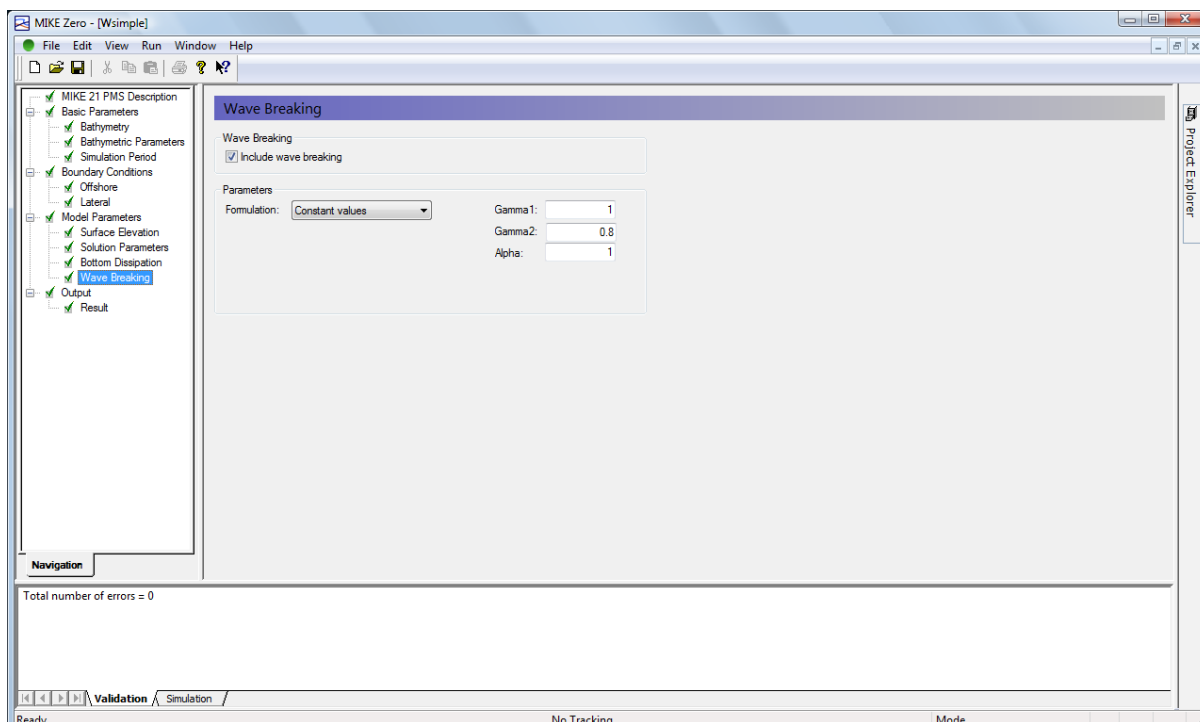
Σχήμα 4.7: Επιλογή μοντέλου επίλυσης και εισαγωγή φίλτρου

Στην τρίτη καρτέλα, εισάγονται οι πληροφορίες αναφορικά με την τριβή του πυθμένα (bottom dissipation). Επιλέγεται, να συμπεριληφθεί στην προσομοίωση και να θωρηθεί σταθερή η τιμή της σε όλη την περιοχή. Επιλέγεται η τραχύτητα Nikuradse k_N και διατηρείται η προεπιλεγμένη τιμή 0,002.



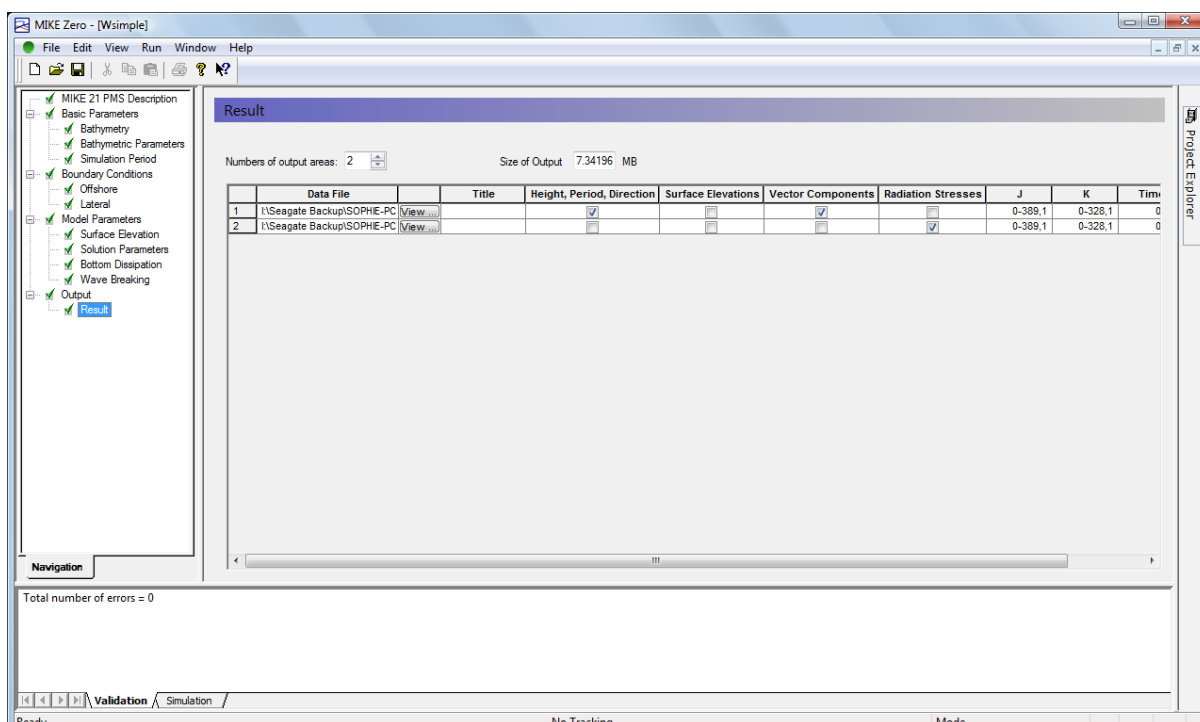
Σχήμα 4.8: Τριβή πυθμένα

Στην τέταρτη καρτέλα, καθορίζονται οι παράμετροι κυματικής θραύσης. Όπως αναφέρθηκε, επιλέγονται οι τιμές να είναι σταθερές σύμφωνα με τη θεωρία Battjes & Janssen, 1978. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε $\gamma_1=1$, $\gamma_2=0,8$ και $\alpha=1$.



Σχήμα 4.9: Θραύση κυματισμών

Τέλος, στην τελευταία καρτέλα, επιλέγεται το όνομα των αρχείων των αποτελεσμάτων, ποια μεγέθη θα περιέχουν, την υπό-περιοχή που αφορούν και το χωρικό βήμα. . Επιλέγεται η δημιουργία δύο αρχείων. Το πρώτο αφορά στις κυματικές παραμέτρους, δηλαδή περιέχει τη το ύψος κύματος, την περίοδο και τη διεύθυνση κυματισμού. Στο δεύτερο αρχείο, περιλαμβάνονται οι τάσεις ακτινοβολίας. Ακόμα, επιλέγεται να περιλαμβάνονται οι συνιστώσες του διανύσματος της ταχύτητας και στα δύο αρχεία (vector components). Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι το αρχείο των αποτελεσμάτων αφορά ολόκληρη την περιοχή προσομοίωσης. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δίνονται κάθε δύο σημεία του καννάβου. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν αρχεία που έχουν τις μισές διαστάσεις από το αρχικό της βαθυμετρίας. Αυτό, πραγματοποιήθηκε, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια από το υδροδυναμικό μοντέλο, στο οποίο κάθε τετραγωνικό στοιχείο έχει διπλάσιες διαστάσεις. Με τον τρόπο αυτό, έχουν τα δύο αρχεία θα έχουν τις ίδιες διαστάσεις.



Σχήμα 4.10: Αρχεία αποτελεσμάτων

Τέλος, εφόσον υπάρχει η ένδειξη ότι δεν υπάρχουν σφάλματα (Total number of errors = 0) και το πράσινο \surd , η προσομοίωση ξεκινά.

4.2 ΤΟ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Flow Model (MIKE21 HD)

Το μοντέλο αυτό προσομοιώνει δισδιάστατες ροές με ελεύθερη επιφάνεια και περιγράφει τις υδραυλικές και περιβαλλοντικές διεργασίες που συμβαίνουν σε παράκτιες περιοχές, στην ανοιχτή θάλασσα, σε λίμνες, σε κόλπους και εκβολές ποταμών. Παρέχει τη δυνατότητα προσομοίωσης πολλών φαινομένων όπως τα ανεμογενή και κυματογενή ρεύματα, η παλίρροια κ.ά., αλλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις όπου υπάρχει στρωμάτωση των υδάτων.

Το υδροδυναμικό μοντέλο MIKE 21 HD, χρησιμοποιεί πεπερασμένες διαφορές σε τετραγωνικό κάρναβο σταθερών αποστάσεων ($\Delta x = \Delta y$) και περιγράφει τη δισδιάστατη μη μόνιμη ροή, προσομοιώνοντας την ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας για κάθε σημείο του καννάβου. (MIKE 21 Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στους υδροδυναμικούς υπολογισμούς είναι:

- η διατμητική τάση στον πυθμένα,
- η διατμητική τάση στην ελεύθερη επιφάνεια που προκαλείται από τον άνεμο,
- 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 εξαγόμενα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δεδομένα σε άλλα μοντέλα του προγράμματος όπως Advection - Dispersion (AD), Sediment Transport (ST, MT), Particle tracking (PA) και ECOLab.

4.2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο - Βασικές εξισώσεις

Το υδροδυναμικό μοντέλο επιλύει τις εξισώσεις συνέχειας και ορμής κατά x και y ολοκληρωμένες ως προς το βάθος z, για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

-Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (4.22)$$

- Εξίσωση ποσότητας κίνησης κατά x:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \quad (4.23)$$

-Εξίσωση ποσότητας κίνησης κατά y:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (p_a) = 0 \quad (4.24)$$

Όπου:

- h (x,y,t): βάθος νερού (m)
- d (x,y,t): συνολικό βάθος (m)
- ζ (x,y,t): ανύψωση ελεύθερης επιφάνειας (m)
- p (x,y,t): ποσότητα κίνησης κατά x (m³/m/sec)
- q (x,y,t): ποσότητα κίνησης κατά y (m³/m/sec)
- C (x,y): συντελεστής τριβής κατά Chezy (m^{0.5}/sec)
- g : επιτάχυνση βαρύτητας (=9,81m/sec²)
- f (V) : συντελεστής τριβής ανέμου
- V_x, V_y (x,y,t): συνιστώσες ταχύτητας ανέμου κατά x και y (m/sec)
- Ω(x, y) : συντελεστής Coriolis (sec⁻¹)
- p_a (x,y,t): ατμοσφαιρική πίεση (kg/m/sec²)
- ρ_w : πυκνότητα νερού (kg/m³)

- x, y : χωρικές συντεταγμένες (m)
- t : χρόνος (sec)
- T_{xx}, T_{xy}, T_{yy} : συνιστώσες τάσεων ακτινοβολίας

Για τη χρονική ολοκλήρωση των παραπάνω εξισώσεων χρησιμοποιείται από το υδροδυναμικό μοντέλο HD ο Αλγόριθμος Εναλλασσόμενης Κατεύθυνσης (Alternating Direction Implicit - ADI) ενώ τα μητρώα που προκύπτουν για κάθε κατεύθυνση και κάθε γραμμή του καννάβου επιλύονται από αλγόριθμο διπλών περασμάτων (Double Sweep - DS).

4.2.2 Διαδικασία προσομοίωσης

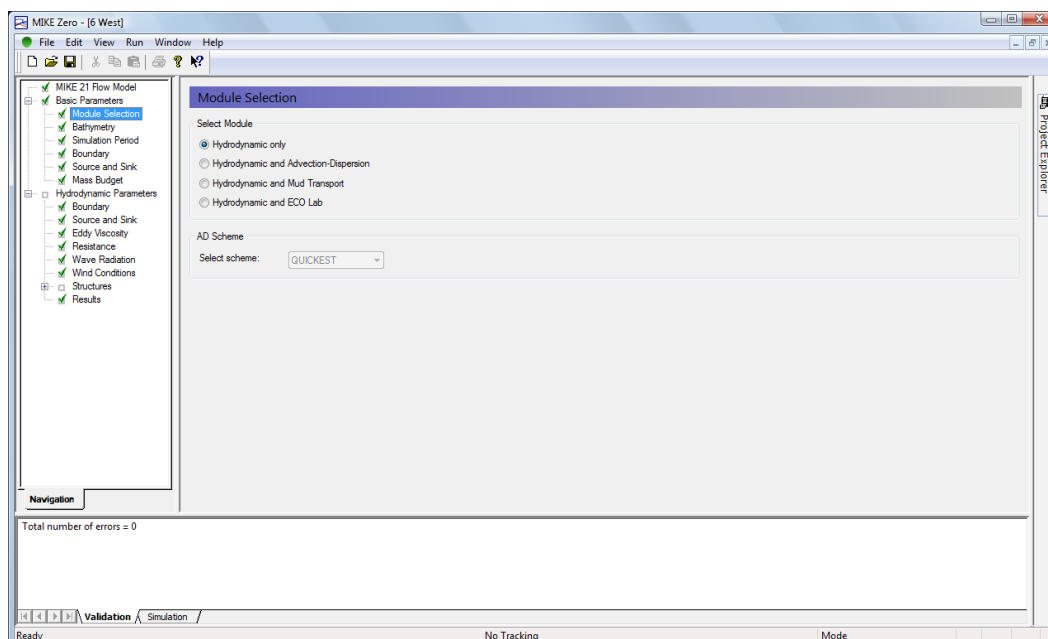
Στην ενότητα αυτή θα γίνει περιγραφή του περιβάλλοντος του προγράμματος MIKE 21 HD και των παραμέτρων που απαιτούνται για την επιτυχή προσομοίωση.

4.2.2.1 Βασικές παράμετροι προσομοίωσης

Στην πρώτη καρτέλα γίνεται επιλογή της ενότητας του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί μεταξύ:

- Hydrodynamic (HD)
- Hydrodynamic (HD) and Advection Dispersion module (AD)
- Hydrodynamic (HD) and Mud Transport (MT)
- Hydrodynamic (HD) and ECO Lab

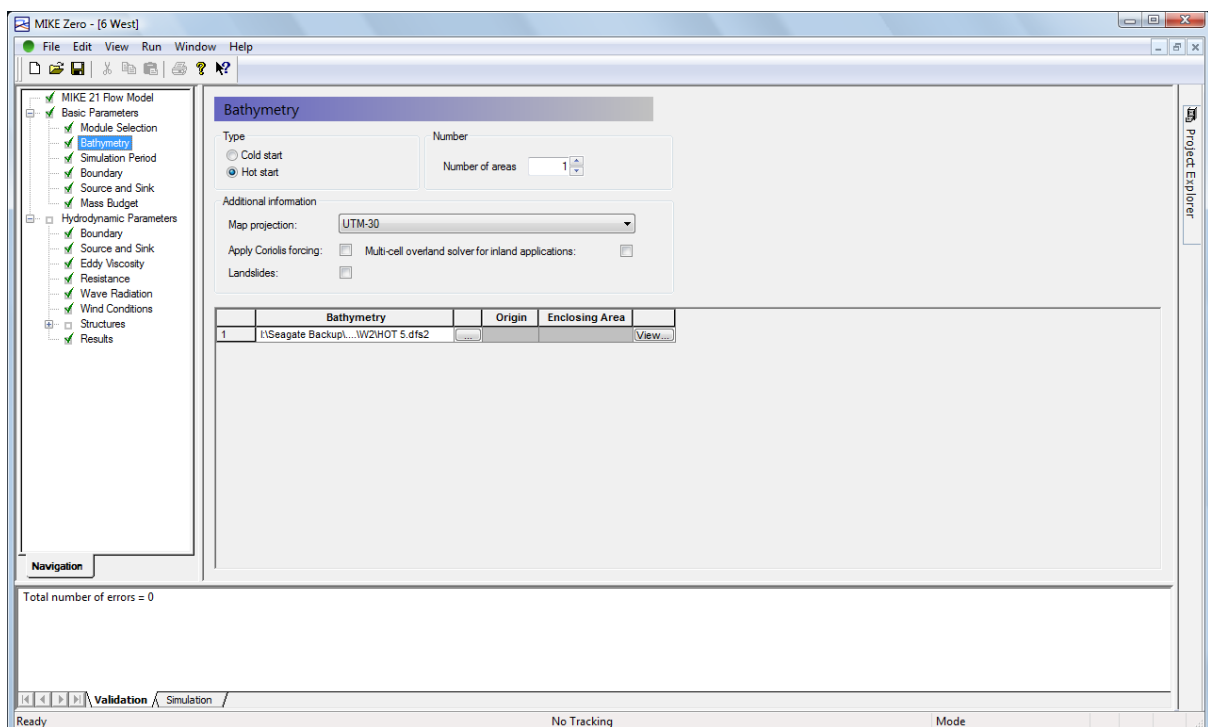
Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η υδροδυναμική ανάλυση.



Σχήμα 4.11: Επιλογή ενότητας μοντέλου

Η δεύτερη καρτέλα αφορά στην περιοχή μελέτης. Αρχικά εισάγεται το αρχείο της βαθυμετρίας, το οποίο δημιουργήθηκε σε προηγούμενο στάδιο (Ενότητα 2.2.1). Στη συνέχεια επιλέγεται αν θα ληφθεί υπόψη η γεωστροφία της περιοχής (δύναμη Coriolis). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκε να μην λαμβάνεται υπόψη καθώς προκαλεί φαινόμενα τοπικής ενίσχυσης της ταχύτητας ροής που δεν αφορούν αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας. Ωστόσο, πραγματοποιήθηκαν κάποιες δοκιμαστικές προσομοιώσεις στις οποίες είχε ληφθεί υπόψη και τα αποτελέσματα δεν επηρεάστηκαν. Η επίδραση της δύναμης λοιπόν κρίθηκε αμελητέα και γι αυτό δεν έχει ληφθεί υπόψη.

Ακόμα, επιλέγεται αν η προσομοίωση είναι η πρώτη ή αποτελεί συνέχεια κάποιας προηγούμενης, «Cold ή hot start». Τέλος, επιλέγεται η εγκάρσια μερκατορική προβολή στην οποία ανήκει η περιοχή μελέτης.



Σχήμα 4.12: Εισαγωγή αρχείου βαθυμετρίας και καθορισμός παραμέτρων

Η τρίτη καρτέλα αφορά στην περίοδο προσομοίωσης. Ορίζεται η χρονική στιγμή έναρξης (simulation start date), δηλαδή η ιστορική ημερομηνία, τη χρονική στιγμή μηδέν της προσομοίωσης. Ακόμα, ορίζεται η τιμή του χρονικού βήματος (time step interval) και το εύρος της χρονικής περιόδου προσομοίωσης (time step range). Η επιλογή του χρονικού βήματος γίνεται βάσει του αριθμού Courant, ο οποίος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 8 ή 10. Ο αριθμός Courant δίνεται από τη σχέση:

$$C_R = c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (4.25), \text{ όπου:}$$

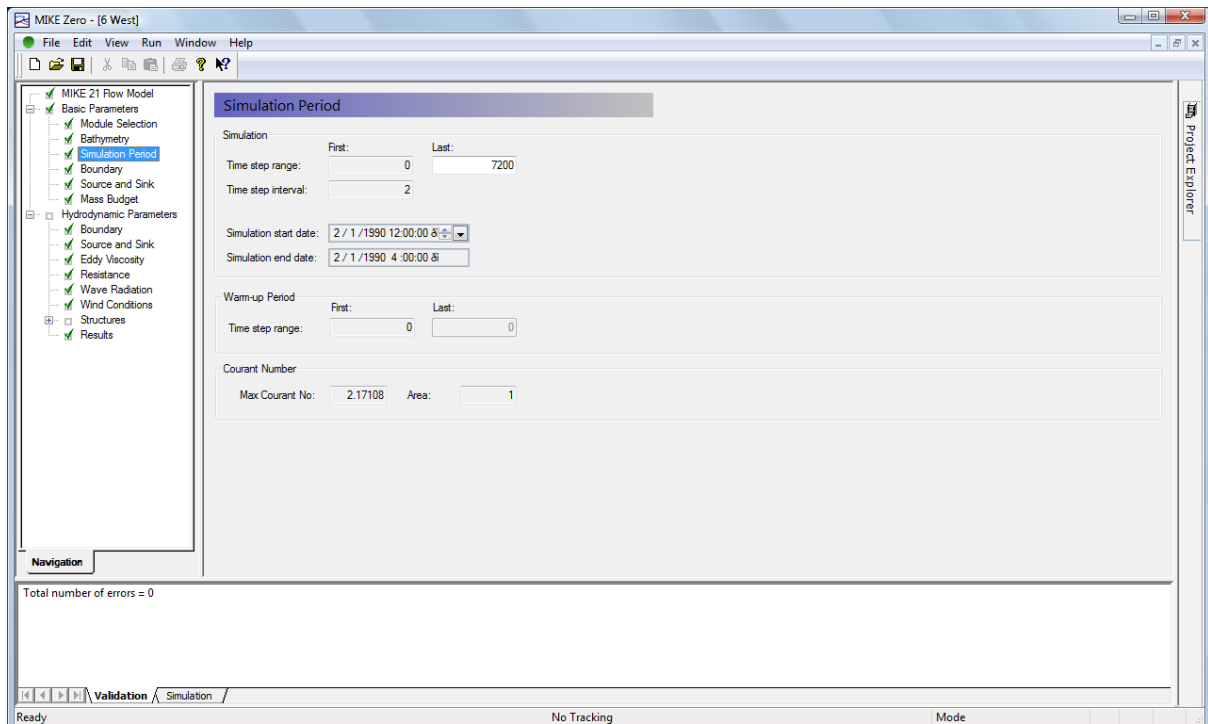
- $c = \sqrt{g \cdot h}$, η ταχύτητα σε κάθε πεπερασμένο στοιχείο,

- Δt , το χρονικό βήμα
- Δx , η οριζόντια απόσταση του πεπερασμένου στοιχείου

Στη συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε να μην ξεπερνά το 5 έτσι ώστε να υπάρχει αυξημένη ευστάθεια στις τιμές των αποτελεσμάτων

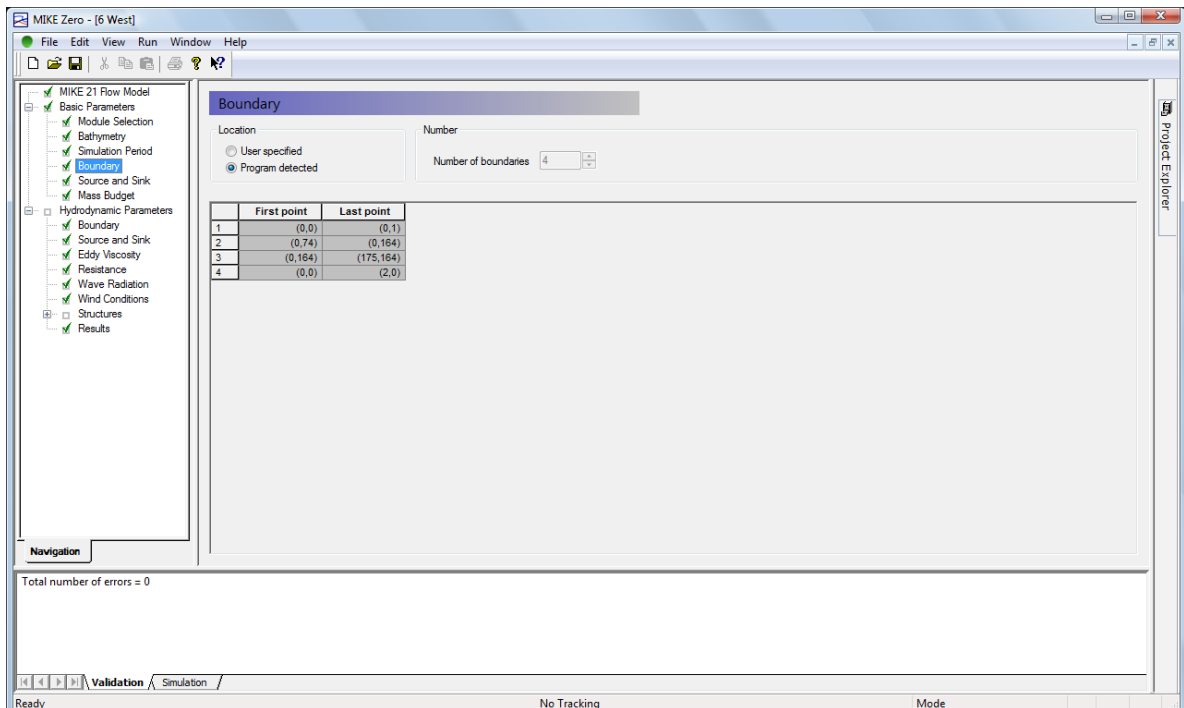
Η περίοδος προσομοίωσης είναι ένα από τα πλέον σημαντικά δεδομένα, που απαιτεί το υδροδυναμικό μοντέλο για να προσομοιώσει τη ροή. Μέσα από μια σειρά δοκιμών, επιλέγεται το κατάλληλο εύρος, έτσι, ώστε να εξασφαλίζεται μόνιμη κατάσταση της ροής. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, για την εκτίμηση της περιόδου της υδροδυναμικής προσομοίωσης, αντί να προσδιοριστεί ο χρόνος σταθεροποίησης της ροής για κάθε σενάριο ανέμου, προσδιορίστηκε μόνο για εκείνο με τη μικρότερη ένταση. Θεωρήθηκε ότι, στο σενάριο αυτό αντιστοιχεί ο μεγαλύτερος απαιτούμενος χρόνος για την επίτευξη μόνιμη ροής. Εισάγοντας, στη συνέχεια, το χρόνο αυτόν και στα υπόλοιπα σενάρια ανέμου, προκύπτει μόνιμο πεδίο ροής για κάθε συνδυασμό έντασης και διεύθυνσης.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου δεν αντιστοιχεί ούτε στην ετήσια ούτε στη μηνιαία. Οι δοκιμές, που πραγματοποιήθηκαν, ανέδειξαν ως κατάλληλη περίοδο προσομοίωσης τις 2 ώρες Εφόσον, απαιτείται ο εντοπισμός του δυσμενέστερου, για την εξαγωγή ασφαλών, περίπτωση ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία. Η αρχική προσομοίωση στο υδροδυναμικό μοντέλο γίνεται για διάρκεια συμβάντος δύο ωρών. Στη συνέχεια το εξαγόμενο αρχείο χρησιμοποιείται σαν δεδομένο στην επόμενη προσομοίωση hot start δημιουργώντας έτσι μια κυκλική διαδικασία. Στη συνέχεια καταρτίζεται ένας πίνακας που περιέχει τον αριθμό Manning σε κάθε σημείο του καννάβου. Όταν τα αποτελέσματα που προκύπτουν σταθεροποιηθούν, δηλαδή οι τιμές συγκλίνουν, η κυκλική αυτή διαδικασία τερματίζεται. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι ο αριθμός Manning στη συγκεκριμένη περιοχή να ανταποκρίνεται στον πραγματικό και να μην είναι μια θεωρητική εφαρμογή. Ακόμα, αυτό οδηγεί σε ασφαλή συμπεράσματα καθώς σίγουρα το παραγόμενο κυματογενές ρεύμα που προκύπτει από την τελευταία κυκλική προσομοίωση είναι το δυσμενέστερο που μπορεί να υπάρξει, αφού έχει σταματήσει να μεγαλώνει η τιμή του.



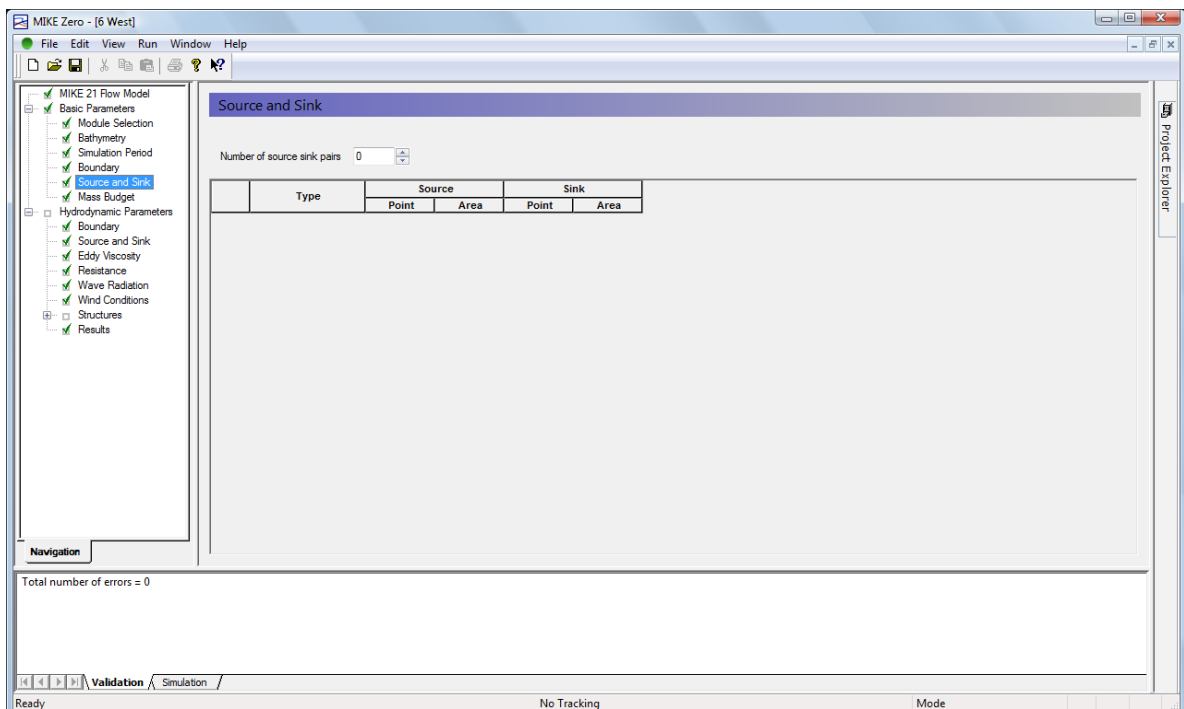
Σχήμα 4.13: Εισαγωγή παραμέτρων περιόδου προσομοίωσης

Στην τέταρτη καρτέλα γίνεται η εισαγωγή στο πρόγραμμα των ανοιχτών ορίων. Υπάρχουν δύο επιλογές. Είτε χειροκίνητα από τον χρήστη είτε η αυτόματη αναζήτηση από το μοντέλο. Προτείνεται σε κάθε περίπτωση η επαλήθευση των ορίων που επιλέγει το πρόγραμμα. Τα ανοιχτά όρια συνιστάται να τοποθετούνται σε περιοχές όπου η ροή είναι ομαλή και κατά το δυνατόν κάθετη σε αυτά. Μπορούν να εισαχθούν από τον χρήστη έως 14 όρια.



Σχήμα 4.14: Εισαγωγή ανοιχτών ορίων

Στην πέμπτη καρτέλα επιλέγεται ο αριθμός των πηγών και καταβοθρών, δηλαδή τα σημεία εισόδου και εξόδου ροής που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, στην παρούσα περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν τέτοια σημεία (number of source sink pairs = 0).

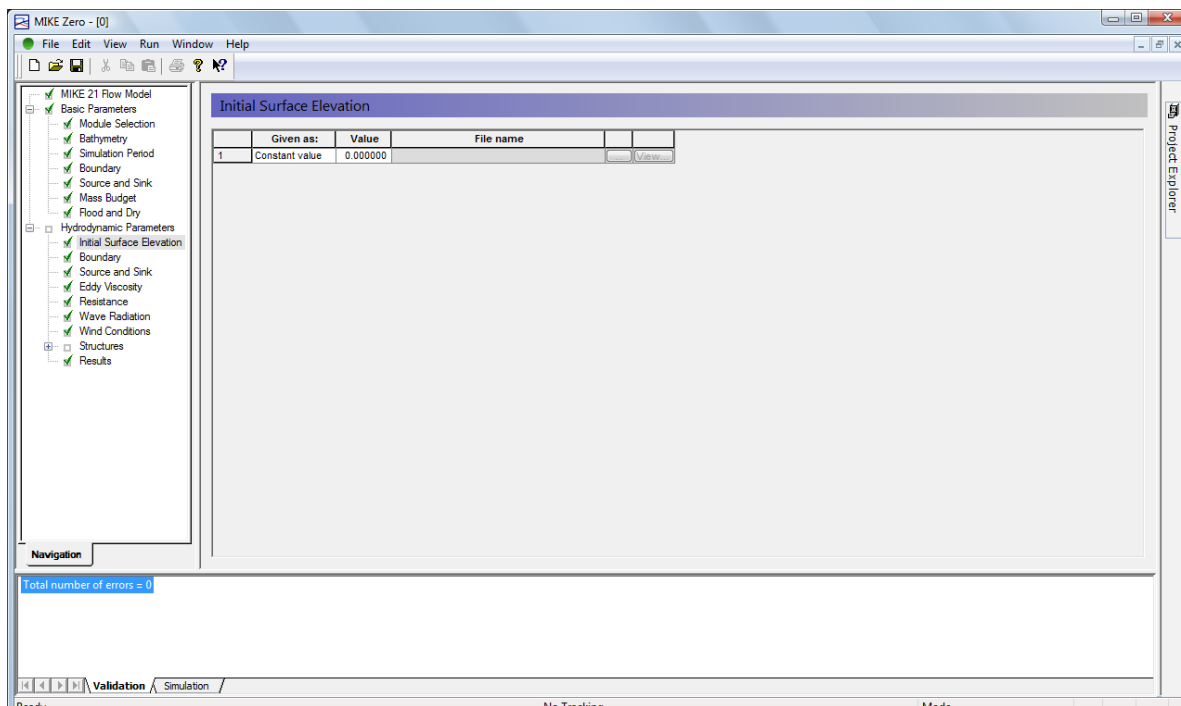


Σχήμα 4.15: Εισαγωγή πηγών και καταβοθρών

Στην έκτη καρτέλα, το μοντέλο παρέχει τη δυνατότητα, σε περιοχές με σημαντική παλίρροια, να εισάγονται και να εξάγονται κάποια πεπερασμένα στοιχεία ανάλογα με το αν βρίσκονται κάτω ή πάνω από τη στάθμη του νερού και το βάθος νερού κρίνεται ικανό ώστε να πραγματοποιηθούν υπολογισμοί. Οι προτεινόμενες από το πρόγραμμα τιμές είναι 0,2 m για το drying depth και 0,3 m για το flooding depth. Ωστόσο, συχνά συναντούνται και οι τιμές 0,1 m και 0,2 m αντίστοιχα. Γενικά, προτείνεται οι δύο αυτές τιμές να μην διαφέρουν περισσότερο από 0,1 m. Εφόσον στη συγκεκριμένη περιοχή η διακύμανση της παλίρροιας θεωρήθηκε μικρή και άρα αμελήθηκε, δεν ενεργοποιήθηκε αυτή η επιλογή.

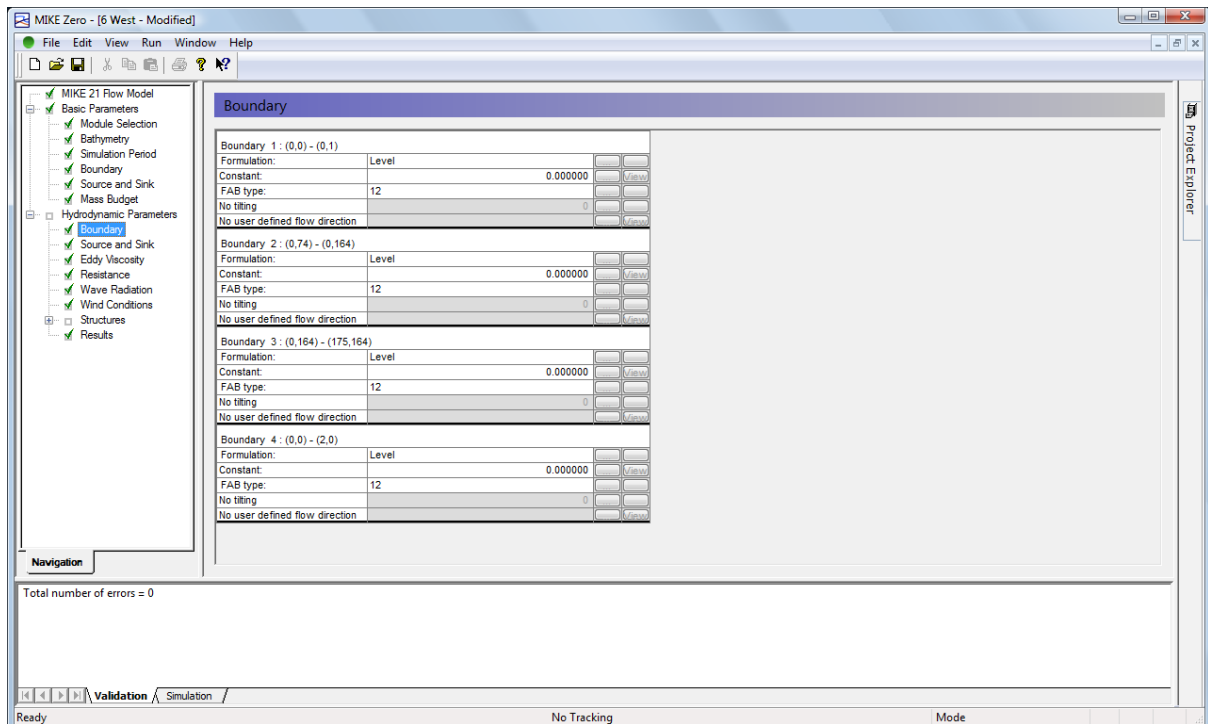
4.2.2.2 Υδροδυναμικές παράμετροι προσομοίωσης

Στη συνέχεια ακολουθεί μια σειρά από καρτέλες που αφορούν σε υδροδυναμικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα, στην πρώτη καρτέλα εισάγεται η αρχική ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης σε σχέση με τη μέση στάθμη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει εισαχθεί η τιμή 0, θεωρώντας ότι τη χρονική στιγμή μηδέν η στάθμη της θάλασσας ταυτίζεται με τη μέση στάθμη.



Σχήμα 4.16: Αρχική ανύψωση θαλάσσιας στάθμης

Η δεύτερη καρτέλα αφορά στα ανοιχτά όρια και τον τύπο τους. Συγκεκριμένα, επιλέγεται αν θα υπολογιστεί η ροή ή η στάθμη της θάλασσας (Formulation) καθώς και ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται κατά μήκος του ορίου (FAB type). Οι παράμετροι αυτοί είναι ιδιαίτερα σημαντικές και επηρεάζουν κατά πολύ τα αποτελέσματα.



Σχήμα 4.17: Εισαγωγή τύπου και τρόπου υπολογισμού ανοιχτών ορίων

Στην τρίτη καρτέλα επιλέγονται οι λεπτομέρειες αναφορικά με τις πηγές και τις καταβόθρες. Εδώ ορίζονται η παροχή, η ταχύτητα και η διεύθυνση ροής (εισροή / εκροή). Σε αυτήν την καρτέλα ακόμα υπάρχει η δυνατότητα να συμπεριληφθούν οι κατακρημνίσεις και η εξάτμιση που τυχόν υπάρχουν στην υπό μελέτη περιοχή. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν ούτε πηγές ούτε καταβόθρες.

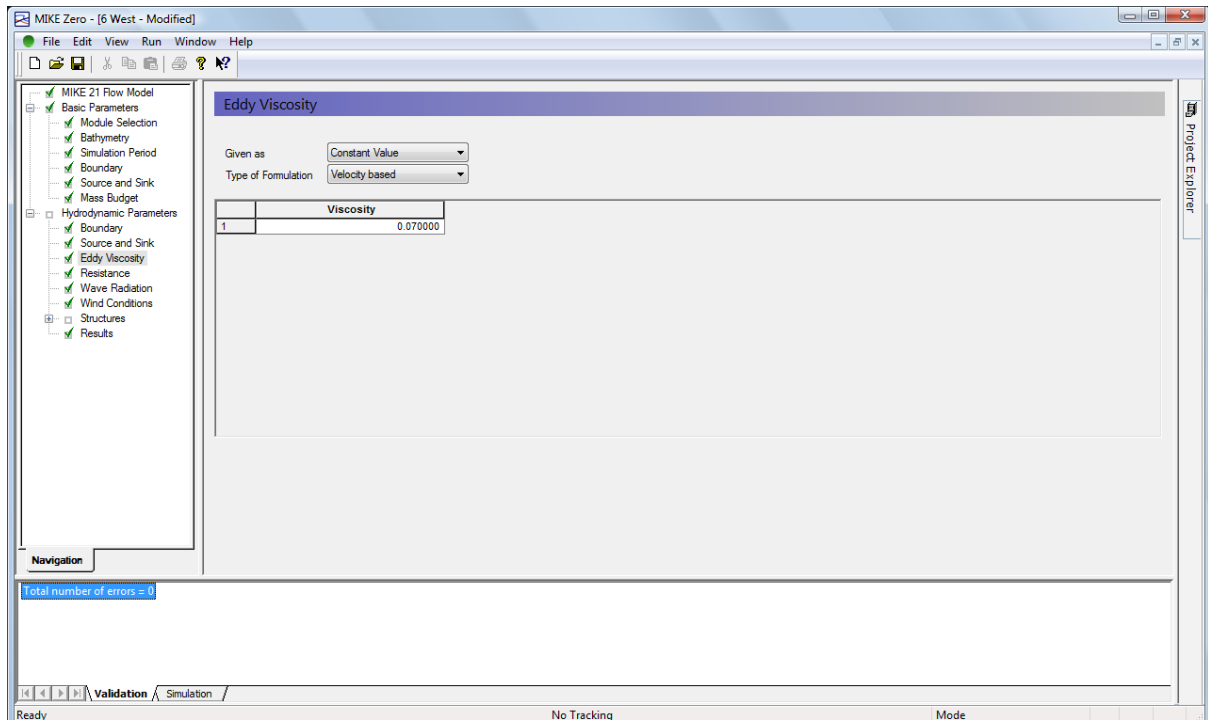
Η τέταρτη καρτέλα αφορά στον καθορισμό του συντελεστή τυρβώδους διάχυσης (Eddy viscosity). Ο κατάλληλος συντελεστής τυρβώδους διάχυσης εξασφαλίζει την απουσία ασταθειών εξαιτίας στροβιλισμών της ροής. Η τιμή του συντελεστή τυρβώδους διάχυσης μπορεί να είναι είτε σταθερή είτε να μεταβάλλεται στο πεδίο ροής. Συγκεκριμένα, το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού του συντελεστή τυρβώδους διάχυσης με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους:

- να μην συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς,
- να είναι σταθερός σε όλη την περιοχή,
- να μεταβάλλεται σε κάθε σημείο του καννάβου ή
- να υπολογιστεί βάσει του τύπου Smagorinsky.

Ακόμα, επιλέγεται (Type of formulation) εάν η τιμή του συντελεστή υπολογίζεται βάσει της ροής (flux based formulation) ή της ταχύτητας (velocity based formulation). Η πρώτη επιλογή είναι κατάλληλη όταν το βάθος στο πεδίο ροής είναι σταθερό, ενώ η δεύτερη είναι γενικότερη και γι' αυτό επιλέχθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση. (Madsen et al., 1988, Wang, 1990) Ο συντελεστής τυρβώδους διάχυσης θα πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω ανίσωση:

$$\frac{E\Delta t}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{2} \Rightarrow E \leq \frac{\Delta x^2}{2\Delta t} \Rightarrow E \leq \frac{10^2}{2 \cdot 2} \Rightarrow E \leq 25 \text{m}^2 / \text{sec} \quad (4.26)$$

Μετά από διερεύνηση επιλέχθηκε να παραμένει σταθερός σε όλη την περιοχή και ίσος με 0,07 m²/sec. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε καθώς δεν παρουσίαζε προβλήματα αστάθειας στις διάφορες δοκιμές και παράλληλα έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες παλαιότερες εφαρμογές που οι συνθήκες είναι παρόμοιες.



Σχήμα 4.18: Συντελεστής τυρβώδους διάχυσης

Η πέμπτη καρτέλα αφορά στην αντίσταση στη ροή. Συγκεκριμένα, γίνεται επιλογή μεταξύ του συντελεστή τριβής Manning και του συντελεστή τριβής Chézy. Η αντίσταση

περιγράφεται από τον όρο $\frac{g \cdot u \cdot |u|}{C^2}$, όπου:

- g: η επιτάχυνση της βαρύτητας
- u: η ταχύτητα
- C: ο αριθμός Chézy (m^{1/2}/s)

Η σχέση μεταξύ των δύο συντελεστών δίνεται από την εξίσωση:

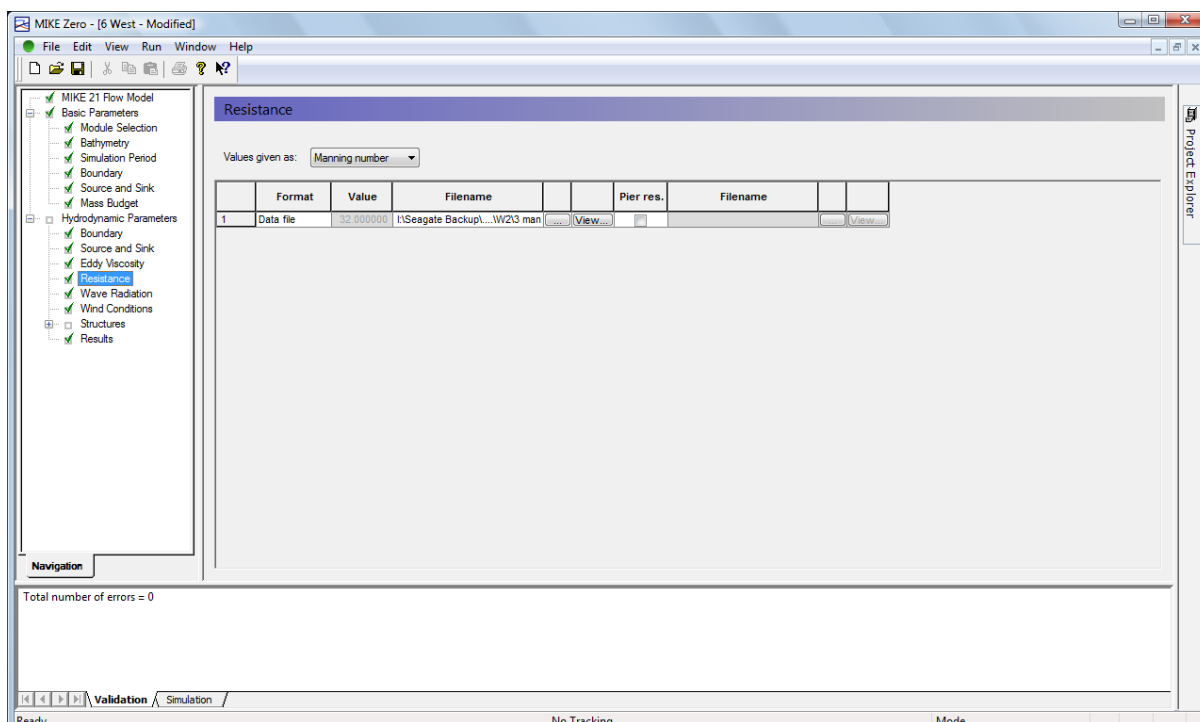
$$C = M \cdot h^{\frac{1}{6}} \quad (4.27), \text{ όπου}$$

- h: το βάθος(m)
- M: ο αριθμός Manning (m^{1/3}/s)

Σε εφαρμογές στις οποίες η διακύμανση του βάθους είναι σημαντική, όπως και η συγκεκριμένη, συνίσταται η χρήση του αριθμού Manning. Φυσιολογικές τιμές για τον αριθμό αυτό θεωρούνται από 20-40 $m^{1/3}/s$, ενώ η προτεινόμενη τιμή από το πρόγραμμα είναι 32 $m^{1/3}/s$. Αντίστοιχα, ο αριθμός Chezy θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 30 και 50 $m^{1/3}/s$.

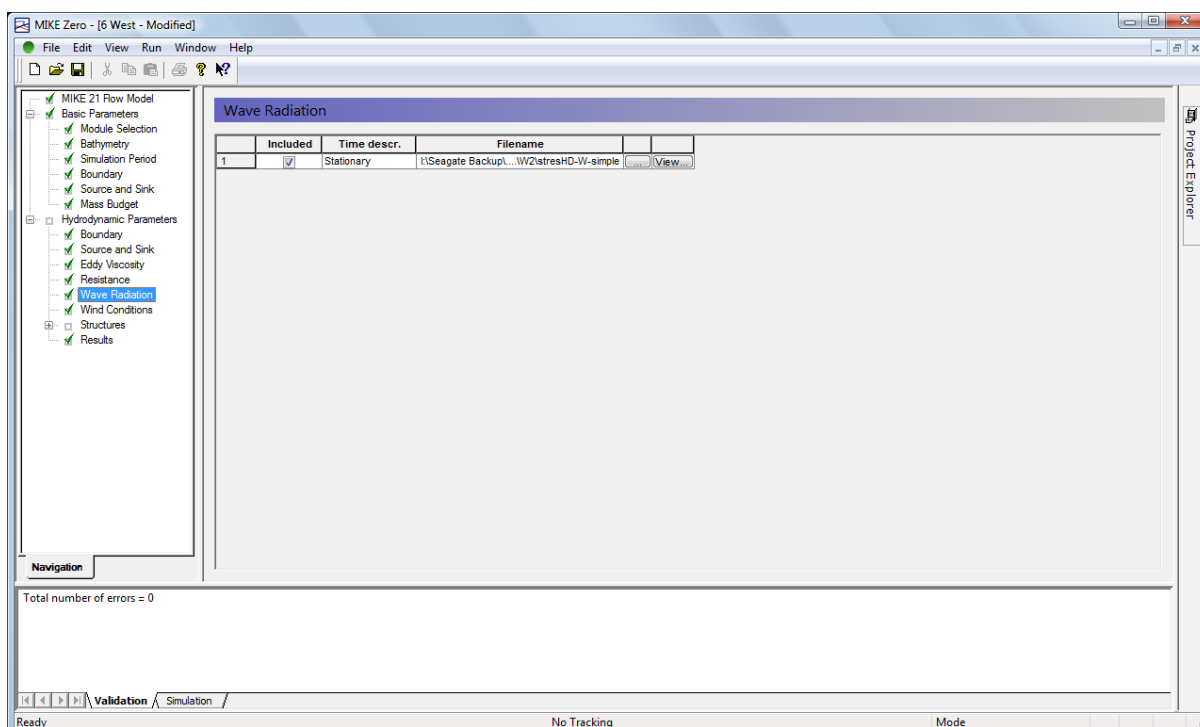
Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ο αριθμός Manning είτε α παραμένει σταθερός σε όλη την περιοχή είτε να μεταβάλλεται. Στην περίπτωση που μεταβάλλεται εισάγεται ο χάρτης Manning, δηλαδή ένα αρχείο που περιέχει την τιμή σε κάθε κόμβο του καννάβου.

Στην παρούσα εφαρμογή, αρχικά για την πρώτη προσομοίωση επιλέχθηκε η προτεινόμενη τιμή, δηλαδή 32 $m^{1/3}/s$. ενώ για τις κυκλικές προσομοιώσεις που ακολούθησαν καταρτίστηκε πίνακας με βάση το αρχείο αποτελεσμάτων από την προηγούμενη υδροδυναμική προσομοίωση. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται το εργαλείο «Apparent Bed Roughness» από το MIKE 21Toolbox (Manning map parametrised calculation), στο οποίο εισάγονται το αρχείο με τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά, τα κυματικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά του ιζήματος που επικρατεί στην περιοχή μελέτης και προκύπτει ο χάρτης Manning.



Σχήμα 4.19: Αντίσταση πυθμένα

Η έκτη καρτέλα αφορά στους κυματισμούς της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα εισάγεται το αρχείο με τις τάσεις ακτινοβολίας που έχει προκύψει από το μοντέλο PMS .



Σχήμα 4.20: Εισαγωγή τάσεων ακτινοβολίας

Στην έβδομη καρτέλα εισάγονται τα ανεμολογικά δεδομένα. Αναλυτικά, το μοντέλο μας δίνει τη δυνατότητα να επιλέξουμε, αν η διαμητική τάση του ανέμου στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας είναι:

- σταθερή στον χώρο και το χρόνο, δηλαδή θεωρείται ότι πνέει με την ίδια ένταση και διεύθυνση για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης
- σταθερή στον χώρο αλλά μεταβαλλόμενη χρονικά
- μεταβλητή στον χώρο και τον χρόνο

Για την συγκεκριμένη περίπτωση, θεωρήθηκε ότι ο άνεμος έχει σταθερά χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, καθώς δεν υπάρχουν άλλα στοιχεία και εισήχθησαν οι ταχύτητες ανέμου που αντιστοιχούν στις εντάσεις ανέμου των σεναρίων που επιλέχθηκαν. Η διεύθυνση των ανέμων δίνεται σε μοίρες και υπολογίζεται ωρολογιακά από τον Βορρά έως το σημείο από όπου προέρχεται ο άνεμος. Τελικά η περίοδος προσομοίωσης που προκύπτει για κάθε σενάριο ανέμου είναι μεγαλύτερη από τη διάρκεια πνοής t_D κάθε ανέμου, βάσει των μέσων ετήσιων συχνοτήτων εμφάνισης.

Ακόμα, καθορίζεται η τιμή τριβής του ανέμου και επιλέγεται αν θα είναι σταθερή η γραμμικά εξαρτημένη με την ταχύτητα του ανέμου. Η προτεινόμενη τιμή είναι 0,0026 ενώ για την εφαρμογή αυτή επιλέχθηκε βάσει της σχέσης:

$$C(W) = (7 + 1,2 \cdot W) \cdot 10^{-4} \quad \text{για } W < 14 \text{ m/sec \&}$$

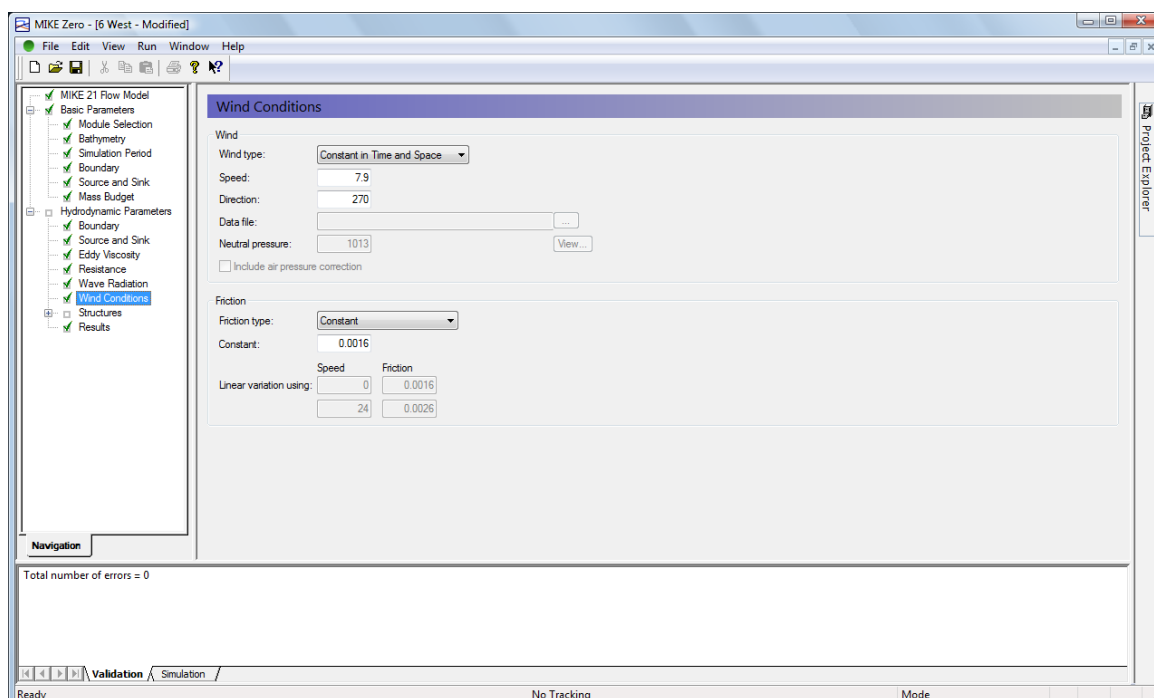
$$C(W) = 2,4 \cdot 10^{-3} \quad \text{για } W \geq 14 \text{ m/sec (Memos, 1979). \quad (4.28)}$$

Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας στον οποίο παρουσιάζονται η ένταση και η ταχύτητα του ανέμου καθώς ο συντελεστής τριβής που αναλογεί.

Πίνακας 4.1: Ένταση, ταχύτητα και συντελεστής τριβής ανέμου

Ένταση ανέμου (beaufort)	Ταχύτητα ανέμου (m/sec)	Συντελεστής τριβής
0	0 - 0,2	0.0007
1	0,3 - 1,5	0.0009
2	1,6 - 3,3	0.0011
3	3,4 - 5,4	0.0013
4	5,5 - 7,9	0.0016
5	8,0 - 10,7	0.0020
6	10,8 - 13,8	0.0024
7	13,9 - 17,1	0,0024
8	17,2 - 20,7	0,0024
9	20,8 - 24,4	0,0024
10	24,5 - 28,4	0,0024
11	28,5 - 32,6	0,0024
12	32,7 - 36,9	0,0024

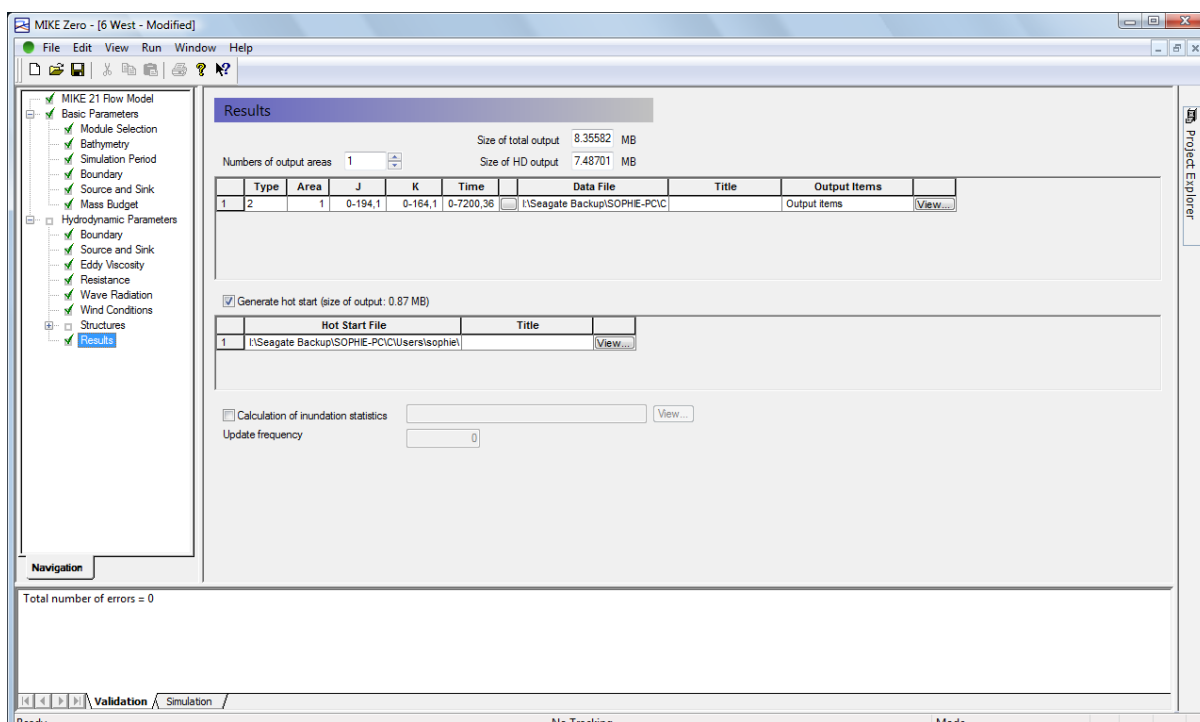
(Πηγή: Μουτζούρης, 2006, Memos, 1979).



Σχήμα 4.21: Συνθήκες ανέμου

Στην όγδοη και ένατη καρτέλα μπορούν να εισαχθούν στο μοντέλο κάποιες κατασκευές όπως υδατοφράκτες ή κανάλια. Στην παρούσα εργασία δεν συμπεριλαμβάνονται τέτοιες κατασκευές.

Η δέκατη καρτέλα αφορά στα αρχεία των εξαγόμενων αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, ορίζεται το όνομα του αρχείου που θα εξαχθεί, προσδιορίζεται αν το αρχείο θα αφορά σε όλη την περιοχή προσομοίωσης ή τμήμα αυτής και ανά πόσα χρονικά βήματα θα γίνεται η επισκόπηση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα καταχωρούνται ανά 360 χρονικά βήματα, δηλαδή $360 \cdot 2 = 720$ δευτερόλεπτα, έτσι ώστε να μειωθεί το μέγεθος του αρχείου αποτελεσμάτων. Ακόμα, επιλέγεται ποιες παράμετροι (output items: Fluxes and Levels) θα υπολογίζονται στα αποτελέσματα (στοιχεία ροής ή στάθμης της επιφάνειας) και ελέγχεται το μέγεθος του εξαγόμενου αρχείου.



Σχήμα 4.22: Καθορισμός αρχείου αποτελεσμάτων

Τέλος, στο κάτω μέρος της οθόνης εμφανίζεται ένα μήνυμα που υποδηλώνει την απουσία σφαλμάτων (Total number of errors = 0) και η πράσινη ένδειξη του \checkmark , και τότε μπορεί η προσομοίωση να ξεκινήσει.

Μετά τη επιτυχή ολοκλήρωση της προσομοίωσης προκύπτει ένα αρχείο που περιγράφει το κυματογενές ρεύμα και την ταχύτητά του

4.3 TO MONTELO Non-Cohesive Sediment Transport (MIKE 21 ST)

Το MIKE 21 ST είναι ένα αριθμητικό μοντέλο στερεομεταφοράς. Με τη χρήση του μοντέλου υπολογίζεται ο ρυθμός μεταφοράς μη συνεκτικού ιζήματος είτε εξαιτίας ρευμάτων είτε λόγω της συνδυασμένης δράσης κυμάτων και ρευμάτων. Ακόμα, υπολογίζεται ο ρυθμός μεταβολής του βάθους, εξαιτίας της μεταβολής του πυθμένα.

Για την χρησιμοποίηση του μοντέλου MIKE 21 ST απαιτείται ο συνδυασμός του με άλλα μοντέλα του προγράμματος. Δεδομένα εισόδου του μοντέλου MIKE 21 ST αποτελούν τα αρχεία που προκύπτουν από προσομοιώσεις άλλων μοντέλων και τη βαθυμετρία της περιοχής που αυτά αφορούν. Συγκεκριμένα, απαιτείται ένα αρχείο αποτελεσμάτων από προσομοίωση MIKE 21 HD, το οποίο περιγράφει τα κυματογενή ρεύματα, και ένα αρχείο κυματικών χαρακτηριστικών που προκύπτει από τα μοντέλα MIKE 21 NSW ή PMS, στην περίπτωση που εξετάζεται η συνδυασμένη δράση κυμάτων και ρευμάτων.

Επισημαίνεται ακόμα, ότι το MIKE 21 ST χρησιμοποιείται για να υποδεικνύει τις πιθανές θέσεις απόθεσης και διάβρωσης και να προσδιορίζεται μια αρχική προσέγγιση για το ρυθμό μεταβολής του βάθους στην περιοχή προσομοίωσης. Η προσομοίωση με το συγκεκριμένο μοντέλο δεν μπορεί να αποδώσει την τελική μορφή της βαθυμετρίας της περιοχής μελέτης, εφόσον δεν υπάρχει ανάδραση στο ρυθμό μεταβολής εξαιτίας των κυμάτων και των ρευμάτων, όπως συμβαίνει στη φύση.

4.3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο – Βασικές εξισώσεις

Το πεδίο εφαρμογής του MIKE 21 ST είναι ιδιαίτερα ευρύ και αφορά στη στερεομεταφορά στην παράκτια ζώνη, στην περιοχή γύρω από παράκτια έργα, στις παλιρροιακές εισόδους και στις εκβολές ποταμών, που προκαλείται από την επίδραση ρευμάτων, ανέμων, κυμάτων και παλίρροιας. Παρακάτω περιγράφονται οι υπολογιστικές δυνατότητες του μοντέλου MIKE 21 ST.

Η εισαγωγή των χαρακτηριστικών του ιζήματος, δηλαδή του μεγέθους του κόκκου και της διαβάθμισης γίνεται με δύο τρόπους. Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά του ιζήματος μπορούν είτε να θεωρούνται σταθερά σε όλη την περιοχή προσομοίωσης είτε να μεταβάλλονται με την εισαγωγή ενός χάρτη ιζημάτων.

Το μοντέλο MIKE 21 ST χρησιμοποιεί την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών σε κλιμακούμενο ορθογωνικό κάνναβο. Στο μοντέλο ικανοποιείται το κριτήριο σταθερότητας Courant – Friedrich – Lewy. (MIKE 21 ST,2007)

Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταφοράς μη συνεκτικού ιζήματος στην περίπτωση που υπάρχει επίδραση μόνο από τα ρεύματα, υπάρχουν πέντε θεωρίες διαθέσιμες.

- Θεωρία ολικού φορτίου μεταφοράς Engelund & Hansen.
- Θεωρία ολικού φορτίου μεταφοράς (ίσο με το άθροισμα του φορτίου πυθμένα και του φορτίου αιώρησης) Engelund & Fredsøe.
- Θεωρία ολικού φορτίου μεταφοράς (ίσο με το άθροισμα του φορτίου πυθμένα και του φορτίου αιώρησης) Zyserman & Fredsøe.
- Θεωρία μεταφοράς φορτίου πυθμένα Meyer-Peter & Müller.
- Θεωρία ολικού φορτίου μεταφοράς Ackers & White.

Για την περίπτωση, όπου υπάρχει επίδραση τόσο των κυμάτων όσο και των ρευμάτων στο ρυθμό μεταφοράς ιζημάτων, παρέχονται δύο θεωρίες, που περιγράφονται παρακάτω . Στην παρούσα εργασία έχει πραγματοποιηθεί προσομοίωση στην οποία λαμβάνεται υπόψη η επίδραση και των κυμάτων και των ρευμάτων στην περιοχή μελέτης

- Θεωρία Bijker
- Ντετερμινιστικό διακυματικό μοντέλο μεταφοράς ιζήματος STP, της DHI

Το STP είναι ένα προηγμένο μοντέλο που μπορεί να λαμβάνει υπόψη, στον υπολογιζόμενο ρυθμό μεταφοράς ιζημάτων, την επίδραση των παρακάτω φαινομένων, μεταξύ άλλων:

- αυθαίρετη διεύθυνση της διάδοσης των κυμάτων σε σχέση με το ρεύμα,
- θραυόμενα / μη – θραυόμενα κύματα,
- επίπεδο ή πτυχωμένο πυθμένα,
- ομοιόμορφο ή βαθμονομημένο ίζημα, δηλαδή οι γεωμετρικές ιδιότητες του ιζήματος μπορούν να περιγραφούν είτε μέσω ενός ενιαίου μεγέθους κόκκου είτε μέσω κοκκομετρικής καμπύλης.

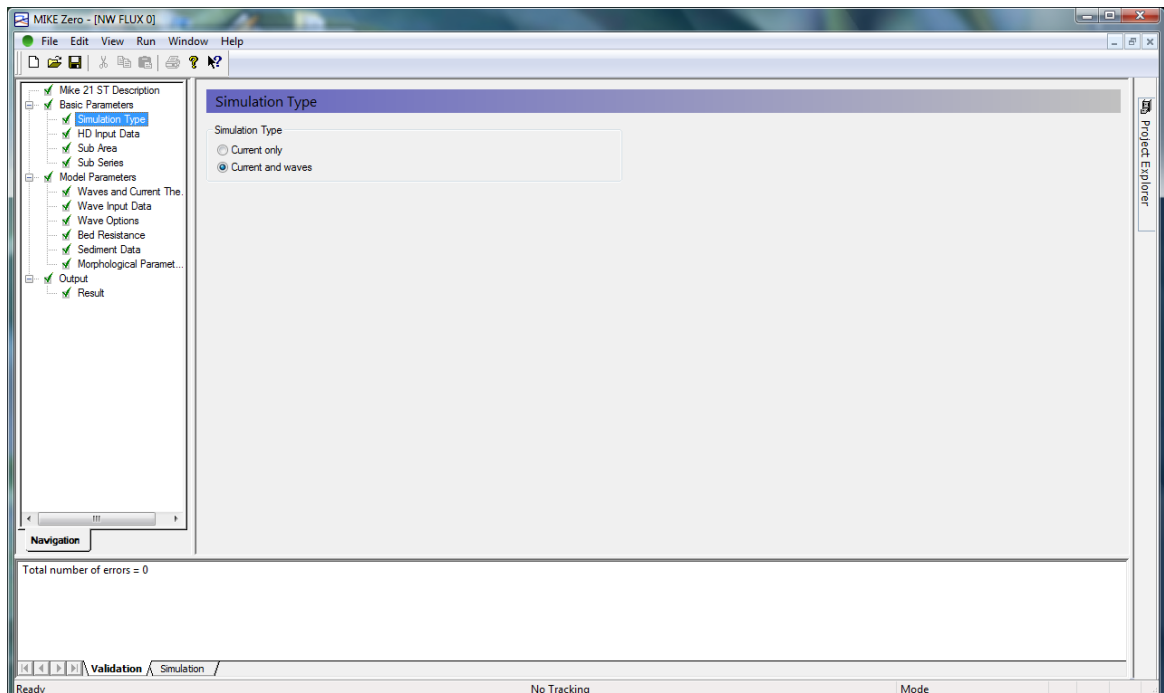
Ακόμα, δίνεται η δυνατότητα επιλογής από τον χρήστη, εφαρμογής της μεθόδου είτε σε 2 διαστάσεις (2DH) είτε σε μερικής τρισδιάστατη εκδοχή (Q3D). Η εφαρμογή του μοντέλου αυτού προϋποθέτει την κατάστρωση εκ των προτέρων πινάκων μεταφοράς ιζήματος, μέσω των οποίων παρεμβάλλονται τα ποσοστά μεταφοράς. Συνηθέστερη είναι η δισδιάστατη εκδοχή, στην οποία η ροή περιγράφεται κυρίως από τα κυματογενή ρεύματα ενώ η γωνία μεταξύ κύριας διεύθυνσης μετάδοσης του κύματος και του ρεύματος μπορεί να κυμαίνεται από 0 έως 90 μοίρες. Η τρισδιάστατη εκδοχή έχει κυρίως εφαρμογή σε εκβολές ποταμών ή σε περιοχές με σημαντικά παλιρροιακά ρεύματα και η γωνία μεταξύ διεύθυνσης κύματος και ρεύματος μπορεί να είναι οποιαδήποτε (0°-360°).

Στην παρούσα εφαρμογή, επιλέχτηκε η χρήση του ντετερμινιστικού μοντέλου σε δύο διαστάσεις.

4.3.2 Διαδικασία προσομοίωσης

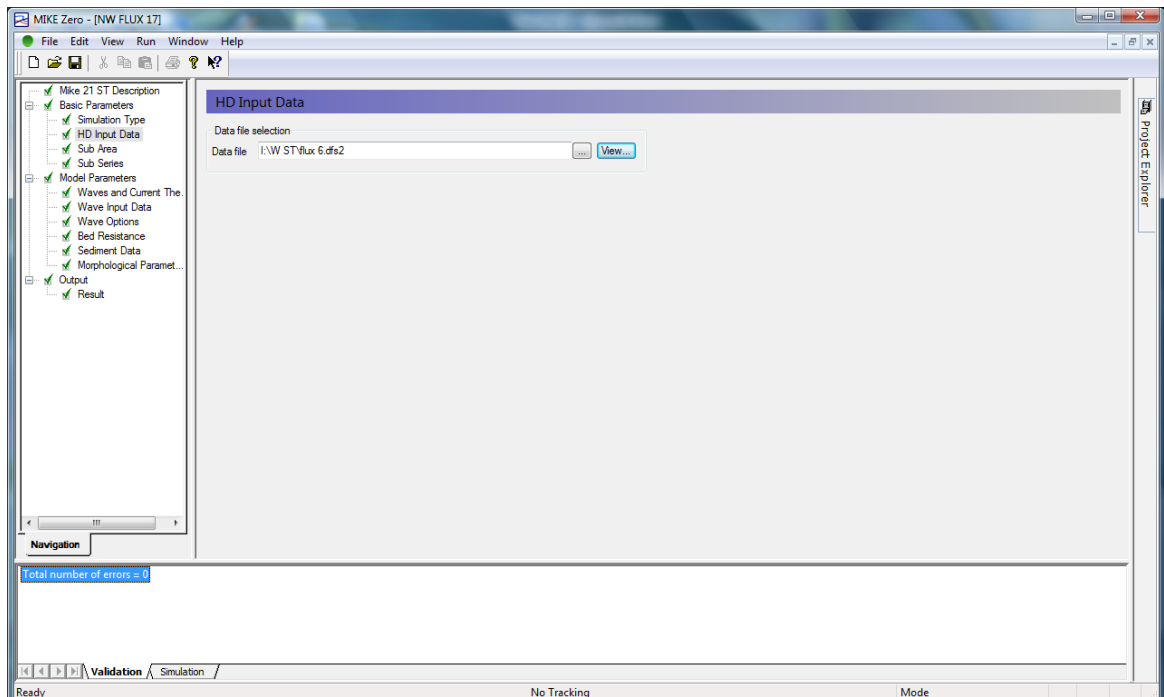
4.3.2.1 Εισαγωγή βασικών παραμέτρων

Στην πρώτη καρτέλα επιλέγεται ο τύπος της προσομοίωσης, δηλαδή αν θα υπάρχει επίδραση μόνο ρευμάτων (current only) ή ρευμάτων και κυμάτων (currents and waves) στην κίνηση των ιζημάτων. Επιλέχθηκε ο δεύτερος τύπος καθώς το σύνολο των ανέμων που μελετήθηκαν (W,NW,N,NE) προκαλεί τόσο κυματισμούς όσο και ρεύματα στην περιοχή μελέτης.



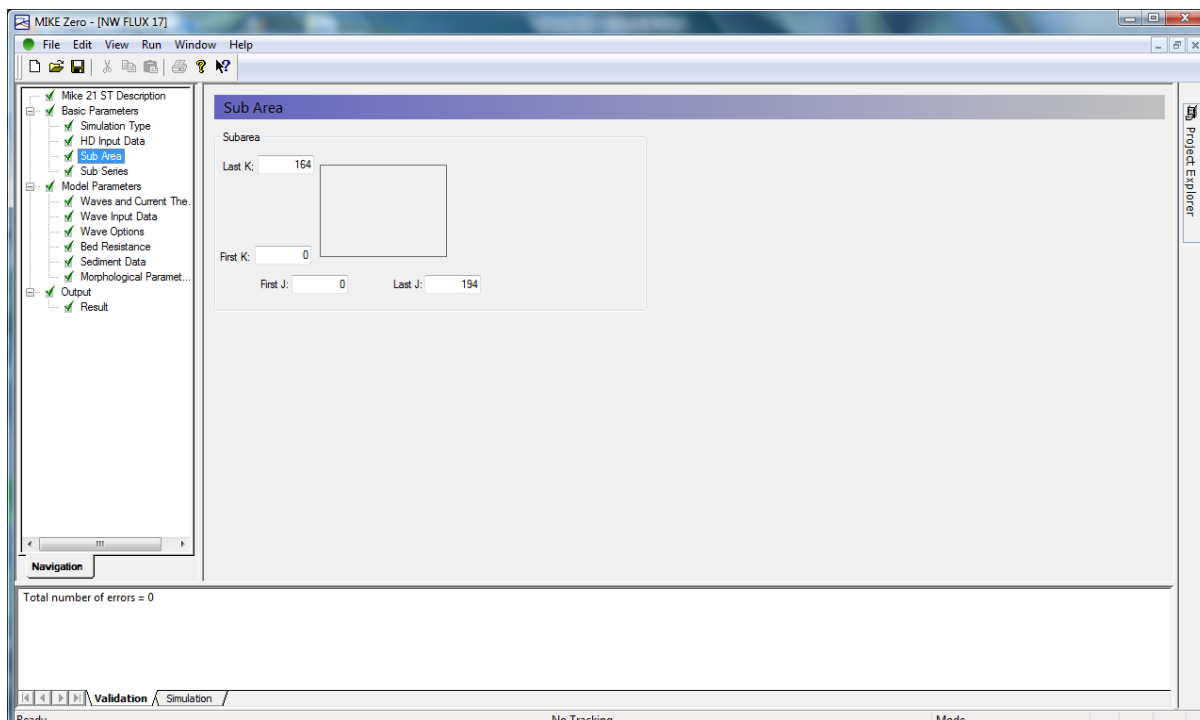
Σχήμα 4.23: Επιλογή τύπου προσομοίωσης

Στην δεύτερη καρτέλα εισάγεται το αρχείο αποτελεσμάτων από το υδροδυναμικό μοντέλο MIKE 21 HD. Τα αρχείο αυτό είναι το τελευταίο που προέκυψε ύστερα από κυκλική προσομοίωση για σενάριο ανέμου που προκαλεί τα μέγιστα ενεργειακά κυματικά χαρακτηριστικά και επηρεάζουν στο μέγιστο την μεταφορά ιζήματος (ενότητα 3.2.2.2)



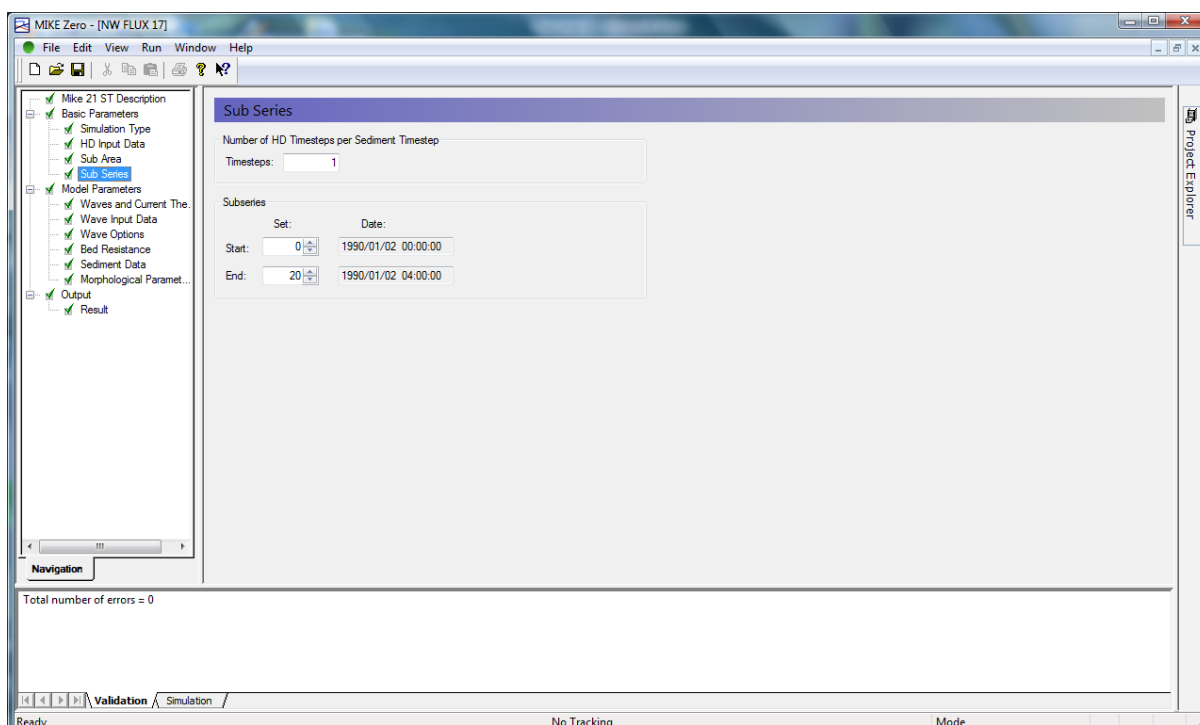
Σχήμα 4.24: Εισαγωγή αρχείου HD

Στην τρίτη καρτέλα επιλέγεται αν στην προσομοίωση θα συμπεριληφθεί ολόκληρη η περιοχή μελέτης ή τμήμα αυτής. Οι συντεταγμένες J και K ταυτίζονται με εκείνες του αρχείου βαθυμετρίας, καθώς και των αποτελεσμάτων όλων των αρχείων από όλα τα μοντέλα (MIKE 21 PMS, HD, ST). Στην παρούσα εφαρμογή οι υπολογισμοί αφορούν στο σύνολο της περιοχής.



Σχήμα 4.25: Καθορισμός υπο-περιοχής προσομοίωσης

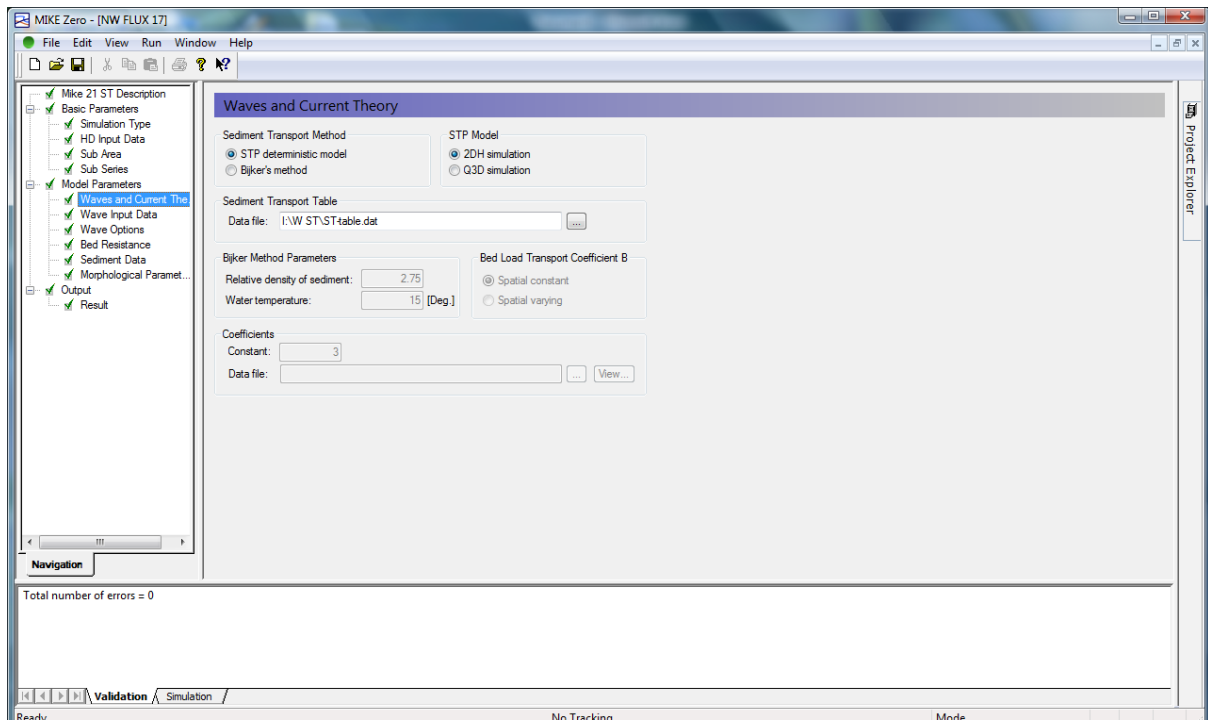
Η τέταρτη καρτέλα αφορά στις υπο-σειρές (sub-series). Συγκεκριμένα προσδιορίζεται ο αριθμός των χρονικών βημάτων της υδροδυναμικής προσομοίωσης που αντιστοιχεί στο χρονικό βήμα της προσομοίωσης στερεομεταφοράς (ST). Στην περίπτωση μας τα δύο χρονικά βήματα ταυτίζονται ($\Delta t = 360\text{sec}$) και άρα η τιμή της παραμέτρου είναι ίση με ένα. Τέλος, συμπληρώνεται ο αριθμός του χρονικού βήματος της υδροδυναμικής προσομοίωσης κατά την οποία ξεκινάει η προσομοίωση (ST). Συγκεκριμένα, εδώ ξεκινάει από το χρονικό βήμα 0. Τα πεδία αυτά αλλάζουν μόνο τους ανάλογα με το αρχείο που έχει εισαχθεί και την τιμή που συμπληρώσαμε.



Σχήμα 4.26: Καθορισμός περιόδου προσομοίωσης

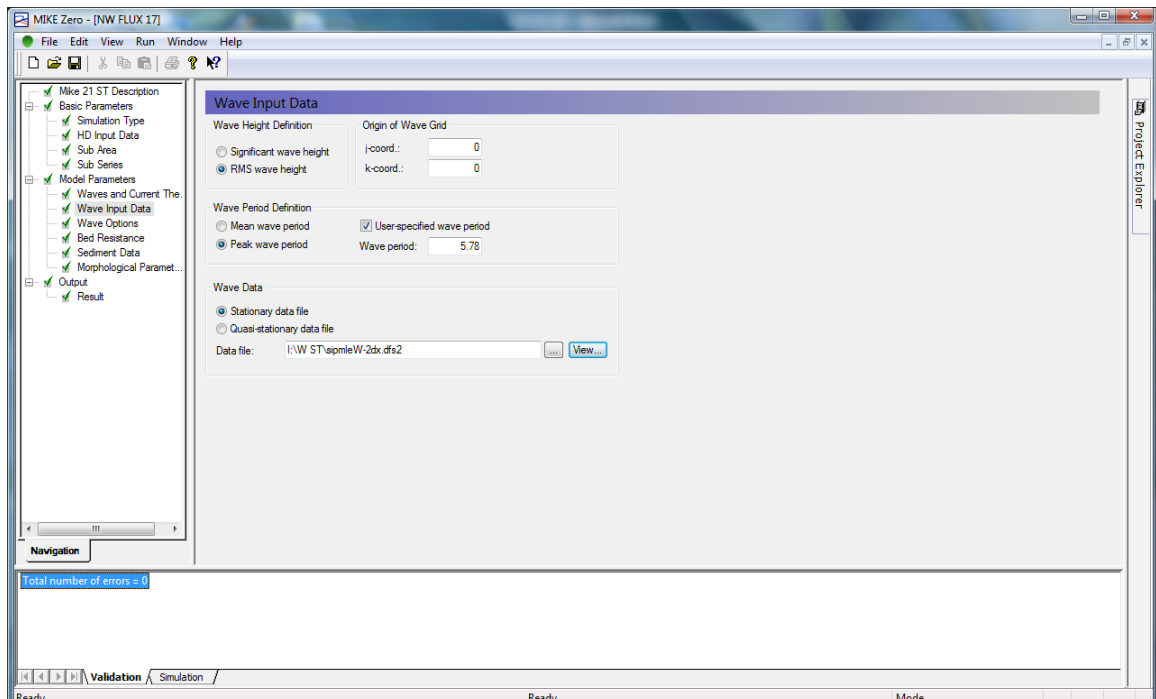
4.3.2.2 Εισαγωγή παραμέτρων μοντέλου

Η πρώτη καρτέλα αφορά στη θεωρία που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταφοράς ιζήματος. Επιλέχθηκε η χρήση του ντετερμινιστικού μοντέλου (STP deterministic model) για δύο διαστάσεις (2DH simulation). Στη συνέχεια, εισάγεται το αρχείο που περιέχει τον πίνακα μεταφοράς ιζήματος (Sediment Transport Table). Το αρχείο αυτό δημιουργείται με το εργαλείο MIKE 21 Toolbox. Ειδικότερα, επιλέγεται στην καρτέλα Sediments το εργαλείο Generation of Sediment Tables, όπου συμπληρώνονται τα χαρακτηριστικά του ιζήματος καθώς και άλλα δεδομένα και ύστερα από τη ανάλυση προκύπτει το ζητούμενο αρχείο.



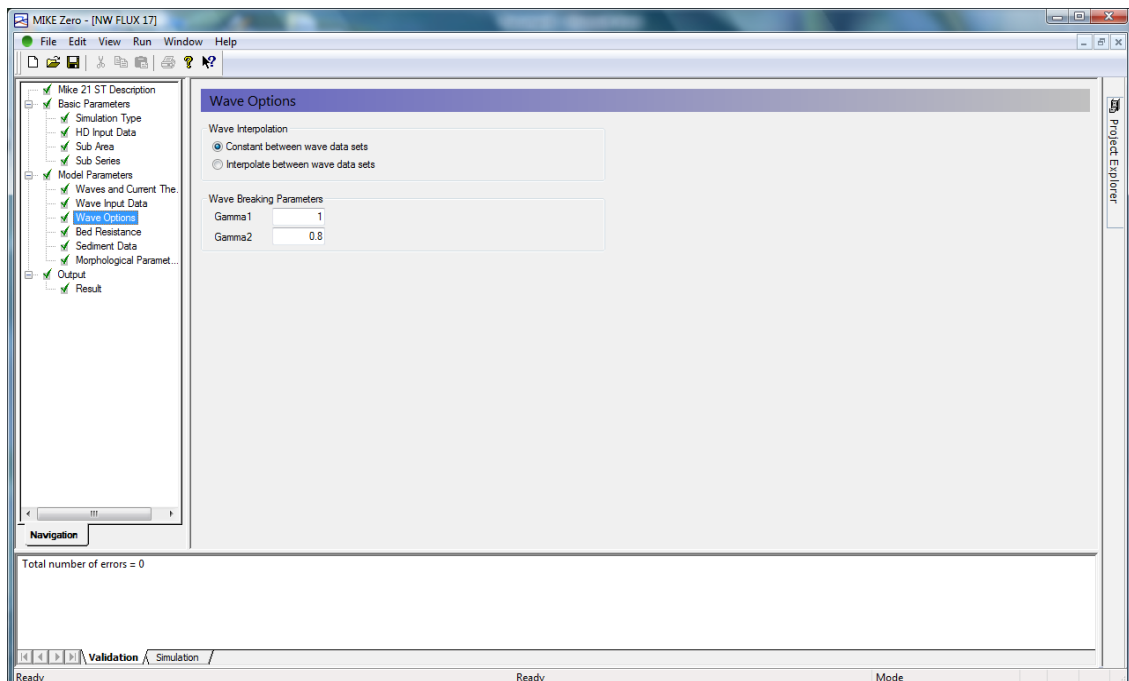
Σχήμα 4.27: Καθορισμός αρχείου αποτελεσμάτων

Στη δεύτερη καρτέλα συμπληρώνονται τα στοιχεία αναφορικά με τα κύματα (wave input data). Αρχικά, επιλέγεται ο τύπος του ύψους κύματος που θα εισαχθεί (H_{m0} ή H_{rms}). Το αρχείο με τα κυματικά δεδομένα που προκύπτει από MIKE 21 PMS και θα χρησιμοποιηθεί εδώ σαν δεδομένο, περιέχει H_{rms} και άρα αυτό επιλέγεται και για την προσομοίωση ST. Στη συνέχεια, επιλέγεται ο τύπος της κυματικής περιόδου (T_m ή T_p). Το αρχείο που θα εισαχθεί περιέχει T_p και γι' αυτό επιλέγεται αυτή η παράμετρος. Ακόμα, προσδιορίζεται το σημείο του υδροδυναμικού καννάβου από τον οποίο ξεκινάει η προσομοίωση ST. Από τη στιγμή που στην περίπτωση μας οι δύο καννάβοι ταυτίζονται εισάγονται οι τιμές ($J = 0$, $K = 0$). Τέλος, εισάγεται το αρχείο με τα κυματικά χαρακτηριστικά σε σταθερές συνθήκες (Stationary data file), που προέκυψε από το μοντέλο MIKE 21 PMS και περιέχει το ύψος, την περίοδο και τη διεύθυνση κύματος.



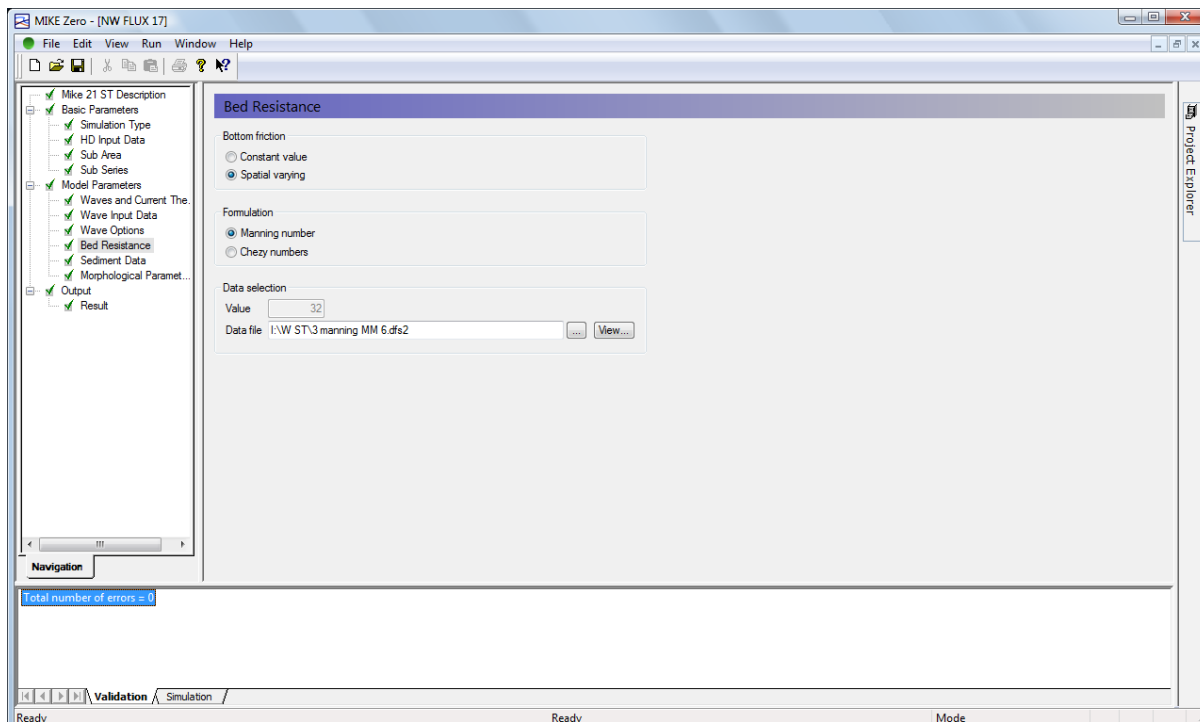
Σχήμα 4.28: Εισαγωγή κυματικών δεδομένων

Η τρίτη καρτέλα αφορά στις κυματικές επιλογές (wave options). Συγκεκριμένα, προσδιορίζονται οι τιμές των παραμέτρων της θραύσης κυματισμών. Εισάγονται οι ίδιες τιμές που επιλέχθηκαν και στο MIKE 21 PMS, δηλαδή $\gamma_1 = 1$ και $\gamma_2 = 0,8$



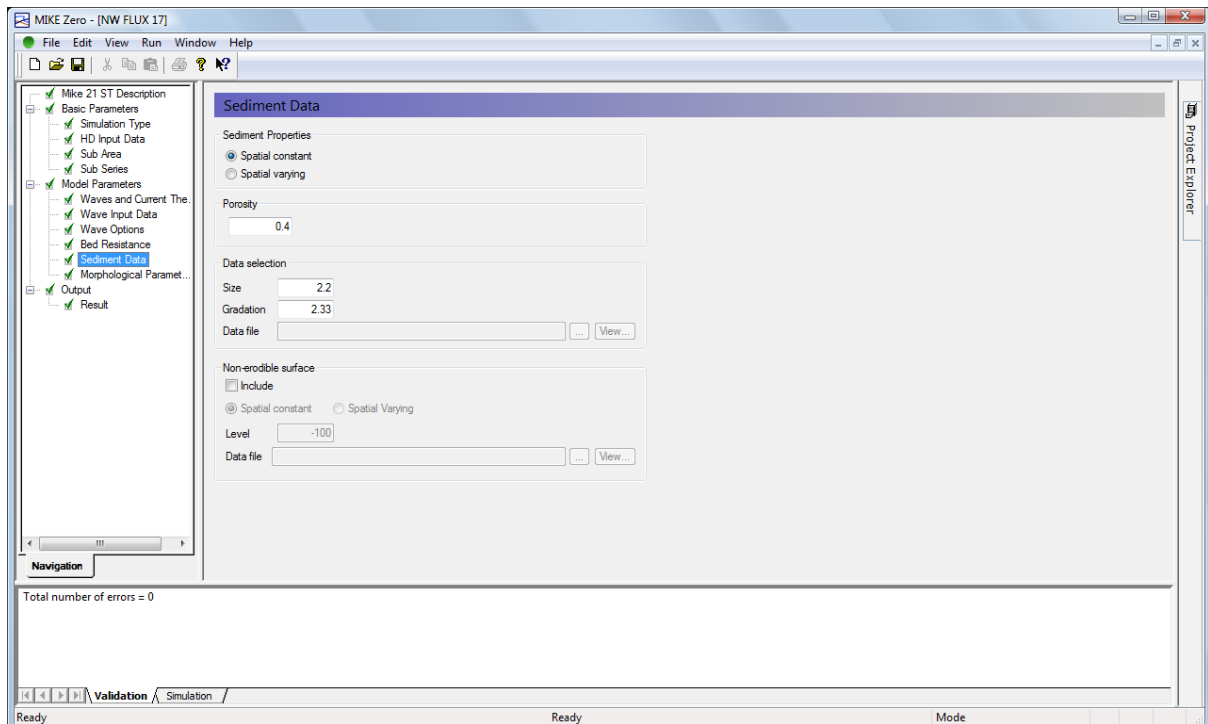
Σχήμα 4.29: Εισαγωγή παραμέτρων θραύσης

Στην τέταρτη καρτέλα, εισάγονται οι παράμετροι που σχετίζονται με την αντίσταση του πυθμένα (Bed resistance). Εισάγεται δηλαδή ο τύπος (Manning ή Chezy) της τριβής πυθμένα (bottom friction) που έχει χρησιμοποιηθεί στην υδροδυναμική προσομοίωση και η τιμή του. Στην παρούσα εφαρμογή εισάγεται το αρχείο που περιέχει τον χάρτη Manning που χρησιμοποιήθηκε στην τελευταία υδροδυναμική προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε.



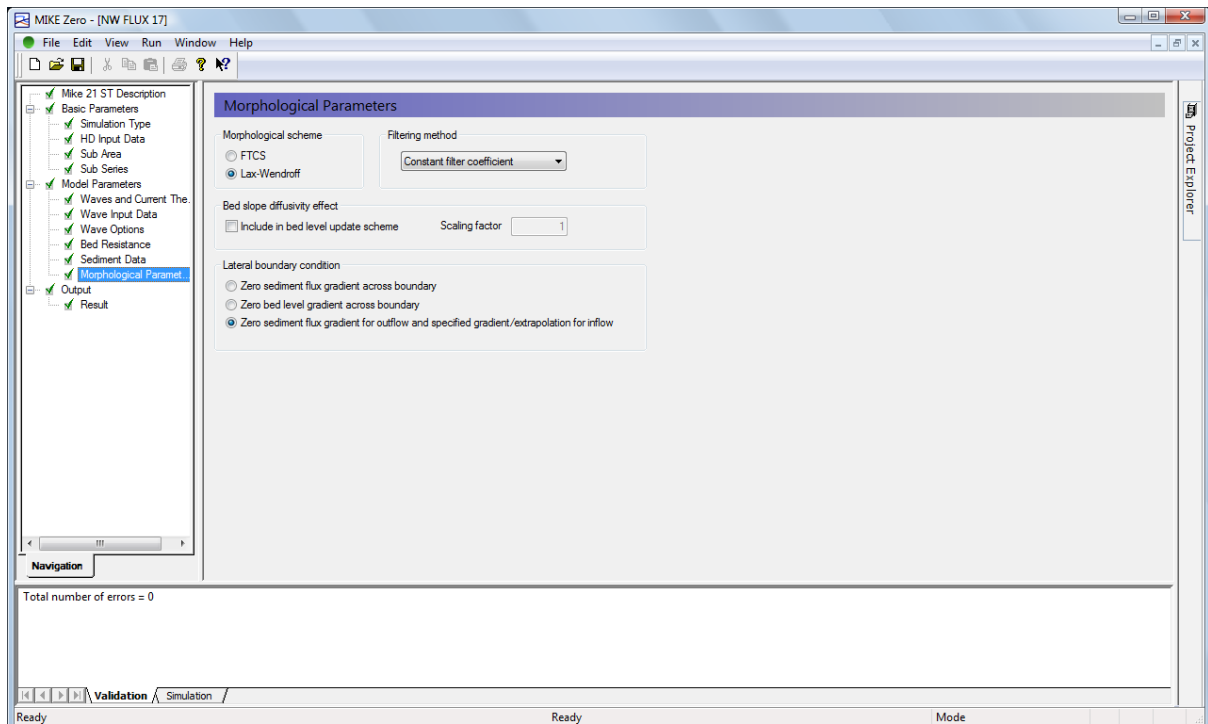
Σχήμα 4.30: Αντίσταση πυθμένα

Στην πέμπτη καρτέλα εισάγονται στοιχεία αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του ιζήματος (sediment data). Συγκεκριμένα, εισάγεται η τιμή του πορώδους του υλικού του πυθμένα (porosity). Στην εφαρμογή αυτή διατηρήθηκε η προεπιλεγμένη από το μοντέλο τιμή για κανονική άμμο ($n = 0,40$). Στη συνέχεια ζητούνται η μέση διάμετρος κόκκου d_{50} (size) και ο συντελεστής διαβάθμισης (gradation) $s_g = (d_{84}/d_{16})^{0,5}$. Επιλέχθηκαν οι τιμές $d_{50} = 2,2$ mm και $s_g = 2,33$. Η επιλογή αυτή στηρίχτηκε σε παλαιότερες εργασίες που είχαν κάνει εργαστηριακές μετρήσεις σε ίζημα από κοντινή περιοχή αλλά και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της περιοχής (ενότητα 2.3).



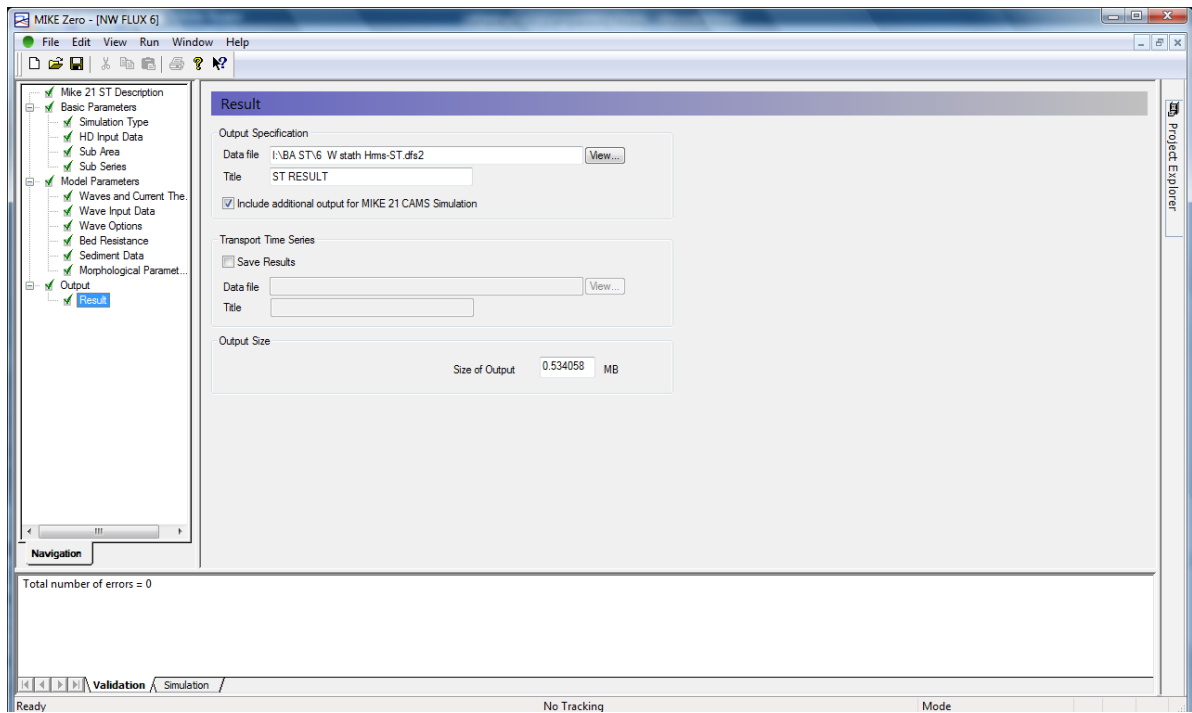
Σχήμα 4.31: Χαρακτηριστικά ιζήματος

Η έκτη καρτέλα αφορά σε μορφολογικές παραμέτρους (morphological parameters), που κυρίως χρησιμοποιούνται όταν το μοντέλο βρίσκεται σε μορφοδυναμική προσομοίωση με το μοντέλο MIKE 21 CAMS, γεγονός που δεν συμβαίνει στην περίπτωση μας. Ειδικότερα, επιλέχθηκε η αριθμητική μέθοδος Lax Wendroff (centred time-centred space), μέσω της οποίας υπολογίζονται τα ποσοστά εξέλιξης του βάθους, χρησιμοποιώντας την εξίσωση διατήρησης για τη μάζα του ιζήματος. Ακόμα, επιλέγεται ο τύπος του συντελεστή του φίλτρου, που αφαιρεί τις υψηλές ταλαντώσεις. Εδώ επιλέχθηκε ο συντελεστής να είναι σταθερός (Constant filter coefficient). Στη συνέχεια επιλέγεται αν θα συμπεριληφθεί η επίδραση της κλίσης του πυθμένα. Στην παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε να μην έχει επίδραση. Τέλος, καθορίζονται οι συνθήκες στα πλευρικά όρια.



Σχήμα 4.32: Μορφολογικές παράμετροι

Στην έβδομη καρτέλα ορίζεται το όνομα του αρχείου των αποτελεσμάτων. Ακόμα, επιλέγεται αν θα συμπεριληφθούν επιπρόσθετα αποτελέσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το μοντέλο MIKE 21 CAMS. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή έχουν συμπεριληφθεί, καθώς τα αποτελέσματα αυτά δίνουν έναν χάρτη της περιοχής προσομοίωσης που υποδεικνύει τις πιθανές περιοχές απόθεσης και διάβρωσης και το ρυθμό μεταβολής του βάθους στην περιοχή προσομοίωσης.



Σχήμα 4.33: Αρχείο αποτελεσμάτων

5. ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η κίνηση των ιζημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική στην παράκτια ζώνη, όπου κυριαρχεί η συνδυασμένη δράση κυμάτων και ρευμάτων, και έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή μεταβολή της βαθυμετρίας. Η μεγαλύτερη δραστηριότητα παρατηρείται στη ζώνη θραύσης και τη ζώνη αναρρίχησης των κυματισμών. Στην περιοχή αυτή η μορφολογία του πυθμένα μεταβάλλεται τόσο σε μικρή χρονική κλίμακα, για παράδειγμα κατά τη διάρκεια θύελλας, όσο και σε μεγάλη, δηλαδή της τάξης μερικών ετών, σαν αθροιστικό αποτέλεσμα εποχικών κυματικών καταστάσεων.

Η μεταφορά ιζημάτων ονομάζεται στερεομεταφορά και εξαρτάται κατά βάση από την θαλάσσια διαταραχή που την προκαλεί. Τα ιζήματα προέρχονται από την εναπόθεση φερτών υλών, που διακινούνται με το θαλάσσιο νερό σε αιώρηση ή σε επαφή με τον πυθμένα (*Κουτίτας Χ, 1994*)

Η θραύση κυματισμών στην παράκτια ζώνη σε συνδυασμό με τα κυματογενή παράκτια ρεύματα, που δημιουργούνται, συντελούν στη μετακίνηση ιζήματος κατά μήκος της ακτής. Οι θραυόμενοι υπό γωνία στην ακτή κυματισμοί επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής και ουσιαστικά υπαγορεύουν τη διεύθυνσή της. Συνεπώς, οι κυματισμοί με τη μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης υπαγορεύουν την επικρατέστερη διεύθυνση της στερεομεταφοράς. Στην παρούσα εφαρμογή τον ρόλο αυτό παίζουν ο βορειοδυτικός και ο δυτικός άνεμος.

Η παράκτια στερεομεταφορά μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις τρόπους, ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του ιζήματος. Το παράκτιο φορτίο, δηλαδή το φορτίο των ιζημάτων που διακινείται στην παράκτια ζώνη υπό την επίδραση κυμάτων και ρευμάτων, διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες. Η εμφάνιση του τρόπου μεταφοράς του ιζήματος εξαρτάται από την ταχύτητα της ροής μεταφοράς και την κοκκομετρία του ιζήματος

- Το φορτίο πυθμένα ορίζεται ως το υλικό που βρίσκεται σχεδόν σε συνεχή επαφή με τον πυθμένα και αποτελείται από χονδρόκοκκο υλικό, που μεταφέρεται με κύλιση, ολίσθηση ή αναπήδηση.
- Το φορτίο αιώρησης, το οποίο δεν βρίσκεται σε συνεχή επαφή με τον πυθμένα εξαιτίας της τύρβης που προκαλείται από τη θραύση κυματισμών και περιλαμβάνει σωματίδια μεσαίου μεγέθους.
- Το φορτίο απόπλυσης είναι εκείνο που βρίσκεται συνεχώς σε αιώρηση και μετακινείται συνεχώς μαζί με το θαλασσινό νερό. Για τον προσδιορισμό του φορτίου απόπλυσης δεν είναι αρκετή η γνώση του ιζήματος του πυθμένα. Ωστόσο, στην συγκεκριμένη εφαρμογή, λόγω της διαύγειας των υδάτων στην περιοχή μελέτης αλλά και του σχετικά χονδρόκοκκου υλικού το φορτίο απόπλυσης μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο.

Συνεπώς, η συνολική παροχή του φορτίου είναι το άθροισμα του φορτίου πυθμένα και του φορτίου σε αιώρηση.

Οι κόκκοι των ιζημάτων του πυθμένα κινούνται λόγω των διατμητικών τάσεων της θάλασσας σε επαφή με το στρώμα των ιζημάτων. Οι κινήσεις μπορούν να προέρχονται από επαλληλία κύματος και ρεύματος. Οι τροχιές των σωματιδίων της διαταραγμένης θάλασσας λόγω κυματικών κινήσεων διαφέρουν ριζικά από τις τροχιές σε μια μόνιμη ροή δεδομένου ότι οι επιταχύνσεις έχουν συνιστώσες παράλληλες και κάθετες στον πυθμένα. Το πάχος του οριακού στρώματος και η κατανομή της ενέργειας μεταβάλλεται με το χρόνο κατά συνεχή τρόπο. Οι επιταχύνσεις στη διάρκεια των τροχιακών κινήσεων δημιουργούν αδρανειακές δυνάμεις στους κόκκους. Οι δυνάμεις αυτές προστίθενται στις συρτικές και ανυψωτικές δυνάμεις, που δρουν στους ίδιους κόκκους, με αποτέλεσμα την παράσυρση και κίνηση των κόκκων σε αιώρηση και σε σύρση. Η τροχιακή κίνηση των υγρών σωματιδίων θέτει σε κίνηση το ίζημα, που στη συνέχεια μεταφέρεται από το ρεύμα.

Τα παράκτια ρεύματα μπορούν να μεταφέρουν σχετικά λεπτόκοκκα ιζήματα. Χονδρόκοκκα ιζήματα μεταφέρονται μόνο από κυματική κίνηση. Κύματα υπό γωνία ως προς την ακτογραμμή μπορούν να μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες ιζημάτων στην παράκτια ζώνη. Έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχει ένα βέλτιστος συνδυασμός των χαρακτηριστικών ενός κύματος που μεγιστοποιεί την προκαλούμενη μεταφορά ιζήματος. Επίσης, υπάρχει μια τιμή της γωνίας πρόσπτωσης των κυμάτων (περίπου 45°), για την οποία μεγιστοποιείται η στερεομεταφορά. Οι συνιστώσες της παράκτιας κινήσεως των ιζημάτων είναι κάθετα προς την ακτογραμμή (στερεομεταφορά κάθετη στην ακτογραμμή ή απλά κάθετη μεταφορά) και παράλληλα προς την ακτογραμμή (στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής ή απλά παράλληλη μεταφορά). Σε γενικές γραμμές, η μεταφορά στη ζώνη αποσβέσεως γίνεται μεταφορά και κατά τις δύο συνιστώσες. Στην ζώνη πριν από τη θραύση η ύπαρξη παράλληλης μεταφοράς εξαρτάται από την διεύθυνση πρόσπτωσης των κυματισμών, δεδομένου ότι οι διευθύνσεις μεταφοράς και πρόσπτωσης συμπίπτουν.

Σε κάτοψη, η κίνηση των ιζημάτων έχει την κλασική πριονωτή μορφή. Η κίνηση προς την ακτή κατά την φάση αναρριχήσεως αντιστρέφεται κατά την φάση καταβάσεως. Στην αντιστρεφόμενη αυτή κίνηση υπερτίθεται η κίνηση κατά μήκος της ακτής. Δεδομένου ότι στην ζώνη πριν από την θραύση η ταχύτητα κατά μήκος της ακτής είναι πολύ μικρή, η

τροχιά στα σημεία αντίστροφης τροχιάς εμφανίζει γωνιακά σημεία, ενώ στην ζώνη αποσβέσεων η τροχιά είναι πιο στρογγυλεμένη στα ίδια σημεία. (Μουτζούρης, 2006)

Για μεγαλύτερες ταχύτητες και/ή μικρότερο μέγεθος κόκκων το φορτίο τείνει να τεθεί σε αιώρηση. Υπάρχει επίσης μια σειρά άλλων παραμέτρων, που επηρεάζει τον τύπο, όπως η μορφή του πυθμένα, η τύρβη, τα αμμοκυμάτια κλπ. Σε γενικές γραμμές, στο θαλάσσιο περιβάλλον το μεγαλύτερο μέρος του ολικού φορτίου είναι φορτίο πυθμένα, όπου κινείται με κύλιση ή μικρά άλματα. Οι υπολογιζόμενες συνήθως τιμές φορτίου πυθμένα, αιωρήσεως ή ολικού είναι μέσες τιμές και ως προς τον χρόνο και ως προς τον χρόνο σε μια περίοδο κύματος.

Κυριότερος μηχανισμός απώλειας ενέργεια στην ζώνη πριν από την θραύση είναι η τριβή στον πυθμένα. Κατά συνέπεια, στη ζώνη αυτή επικρατεί η μεταφορά φορτίου πυθμένα. Στη ζώνη μετά την θραύση, η ενέργεια μειώνεται λόγω τύρβης και τριβής στον πυθμένα και εμφανίζεται μεταφορά φορτίου πυθμένα και σε αιώρηση.

Η παράκτια συνιστώσα της μεταφοράς ιζήματος εκτίνεται σε όλο το πλάτος της ζώνης επίδρασης των κυματισμών στο υλικό της ακτής, αλλά μεγιστοποιείται στην ζώνη θραύσεως, όπου και η τύρβη του νερού αποκτά τους μέγιστους ρυθμούς γενέσεως και αποσβέσεως, συνεπαγόμενη πέρα από το φορτίο πυθμένα και μεγάλο φορτίο σε αιώρηση, αλλά και όπου διαμορφώνεται το παράκτιο ρεύμα λόγω λοξής θραύσεως.

5.2 ΕΝΑΡΞΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ

Στην ενότητα αυτή, πραγματοποιείται έλεγχος έναρξης της κίνησης του ιζήματος στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιώντας το διάγραμμα του Shields (1936), για το μέγιστο ενεργειακά κύμα που προέκυψε από τις ετήσιες συχνότητες, όπως υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 3.

Η ανάπτυξη διατμητικών τάσεων στον πυθμένα από τις κινήσεις των υγρών σωματιδίων προκαλεί την έναρξη κινήσεως ιζημάτων. Οι κόκκοι των ιζημάτων του πυθμένα κινούνται λόγω των διατμητικών τάσεων σε αυτούς από τις κινήσεις της θαλάσσιας μάζας σε επαφή με το στρώμα των ιζημάτων. Οι κινήσεις μπορούν να προέρχονται από επαλληλία κύματος και ρεύματος. Η έναρξη κινήσεως ενός κόκκου ιζήματος στον πυθμένα εξαρτάται από την αναπτυσσόμενη διατμητική ή επιφανειακή τάση στον κόκκο. Η τροχιακή κίνηση των υγρών σωματιδίων θέτει σε κίνηση το ίζημα, που στη συνέχεια μεταφέρεται από το ρεύμα.

Για τη χρήση του διαγράμματος του Shields υπολογίζεται η παράμετρος θ_{cr} που εκφράζει το ποσοστό της διατμητικής τάσης που ασκείται στον κόκκο ιζήματος στον πυθμένα, λόγω της συνδυασμένης δράσης κύματος, ρεύματος και του ίδιου βάρους του κόκκου, και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\theta_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{g(\rho_s - \rho)d} \quad (5.1), \quad \text{όπου}$$

- τ_{cr} : η κρίσιμη διατμητική τάση πυθμένα,

- g : η επιτάχυνση της βαρύτητας
- ρ_s : η πυκνότητα του κόκκου
- ρ : η πυκνότητα νερού
- d : η διάμετρος κόκκου

Η τιμή της παραμέτρου θ_{cr} συνδέεται με το αδιάστατο μέγεθος κόκκου D^* που δίνεται από τη σχέση:

$$D_* = 2.5 \text{Re}_*^{4/5} \quad 0,3 < \text{Re}_* < 12$$

$$D_* = 3.8 \text{Re}_*^{5/8}, \text{ για } 12 < \text{Re}_* \quad (5.2), \quad \text{όπου } \text{Re}_* = \frac{u_* D}{\nu} \quad (5.3),$$

- ν η κινηματική συνεκτικότητα του νερού
- $u_* = \frac{8\nu u_{\max}^2}{\pi T}$
- u_{\max} = η μέγιστη τιμή της οριζόντιας τροχιακής ταχύτητας u_b : στον πυθμένα, που δίνεται από τη σχέση : $u_{\max} = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\sinh kd}$

Η αλγεβρική έκφραση της καμπύλης που συνδέει την θ_{cr} με το αδιάστατο μέγεθος κόκκου D^* δίνεται από τη σχέση:

$$\theta_{cr} = \frac{0,3}{1+1,2D_*} + 0,055 [1 - \exp(-0,02D_*)] \quad (5.4) \quad (\text{Soulsby \& Whitehouse, 1997}).$$

Η σχέση 5.4 αναφέρεται σε σταθερή ροή ρεύματος. Ωστόσο, μπορεί να επεκταθεί και για τη συνδυασμένη δράση κύματος και ρεύματος. Η τιμή της διατμητικής τάσης πυθμένα από συνδυασμένη δράση κυματισμών και ρεύματος δίνεται από τη σχέση : $\tau_{cw} = \frac{1}{2} \rho f_{cw} u_b^2$

(5.5) , όπου

- $f_{cw} = \lambda f_c + (1-\lambda)f_w$, ο συντελεστής τριβής πυθμένα για συνδυασμό ρεύματος και κύματος, (5.6)
- $\lambda = u/(u+u_o)$ (5.7)
- u : ταχύτητα ρεύματος,
- $u_o = \pi(H/T)\sinh(kd)$, ταχύτητα ρευστού σωματιδίου στον πυθμένα λόγω κυματισμού, (5.8)
- $f_c = 2g/C^2$,
- $C = 18 \log(12h/k_s)$ ($m^{1/2}/s$), ο αριθμός Chezy, (5.9)
- $f_w = \exp \left\{ 5,123 \left(\frac{k_s}{\xi} \right)^{0,19} - 5,977 \right\}$ (5.10),
- $\xi = u_o T / 2\pi$ (5.11),
- T περίοδος κυματισμού

- $k_s=2,5 d_{50}$.

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζεται η εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε για το σύνολο των ανέμων που επηρεάζουν την περιοχή και για τους κυματισμούς που προκύπτουν από αυτούς. Υπολογίστηκε έτσι το μέγεθος κόκκου πάνω από το οποίο δεν υπάρχει κίνηση ιζημάτων για τις συγκεκριμένες συνθήκες ροής.

Πίνακας 5.1: Έλεγχος έναρξης κίνησης ιζημάτων

Διεύθυνση ανέμου	Βορειο-ανατολικός (NE)	Βόρειος (N)	Βορειο-δυτικός(NW)	Δυτικός (W)
Βάθος h (m)	-5	-5	-5	-5
Ύψος κύματος H(m)	0.14	0.3	0.9	1
Περίοδος T (sec)	1.69	2.64	5.62	5.78
Μήκος κύματος L (m)	4.46	10.89	49.34	52.19
Ετήσια συχνότητα εμφάνισης %	1.927	10.512	13.403	26.893
Ταχύτητα ρεύματος u_c (m/s)	0.05	0.16	0.3	0.6
Ταχύτητα κύματος u_o (m/s)	148.15	3.18	0.34	0.35
Πυθμενική ταχύτητα u_b (m/s)	0.00	0.04	0.74	0.85
k_s (m)	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055
ξ (m)	39.87	1.34	0.31	0.32
C ($m^{1/2}/s$)	72.68	72.68	72.68	72.68
f_c	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037
λ	0.0003	0.0479	0.4672	0.6336
f_w	0.0065	0.0154	0.0276	0.0271
f_{cw}	0.0065	0.0148	0.0164	0.0123
θ_{cr}	0.0657	0.0299	0.0391	0.0398
u_c	0.0008	0.0065	0.0231	0.0246
Re.	1.3487	11.2924	40.1782	42.7992
D^*	3.1759	17.3848	47.9880	50.4765
s	2.578	2.578	2.578	2.578
ν (m^2/s)	1.15E-06	1.15E-06	1.15E-06	1.15E-06
$\tau_{cr}=\tau_{cw}$ (N/m^2)	0.0000	0.0122	4.6173	4.5653
dcr (mm)	0.00	0.03	7.43	7.20

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.3, το μέγεθος των κόκκων στην περιοχή μελέτης είναι ίσο με 2.2 mm. Αυτό σημαίνει ότι σύμφωνα με τον παραπάνω έλεγχο υπάρχει σημαντική κίνηση ιζημάτων, η οποία οφείλεται στον βορειοδυτικό και τον δυτικό άνεμο. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1 σημαντικότερη κίνηση ιζημάτων προκαλεί ο βορειοδυτικός άνεμος, που είναι και εκείνος που επηρεάζει περισσότερο την περιοχή μελέτης, εξαιτίας του προσανατολισμού της.

5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΜΑ

5.3.1 Μέθοδος CERC

Ως παροχή στερεομεταφοράς κμα προς τα δεξιά ή τα αριστερά (Q_l , Q_r), ορίζεται η παροχή ιζημάτων κμα που διέρχεται από μια εγκάρσια διατομή κάθετη στην ακτογραμμή με φορά κινήσεως προς τα δεξιά ή αριστερά αντίστοιχα, της διατομής, για έναν παρατηρητή στην ακτογραμμή με μέτωπο στραμμένο προς τα ανοιχτά. Παροχή αθροιστικής στερεομεταφοράς καλείται το άθροισμα των παροχών στερεομεταφοράς κμα προς τα δεξιά και προς τα αριστερά, δηλαδή $Q_g = Q_r + Q_l$. Τέλος, Καθαρή παροχή στερεομεταφοράς κμα καλείται η διαφορά μεταξύ των παροχών στερεομεταφοράς κμα προς τα δεξιά και προς τα αριστερά, δηλαδή $Q_n = Q_r - Q_l$.

Κάθε παροχή υπολογίζεται για διαφορετικό σκοπό. Για παράδειγμα, ο υπολογισμός της συσσωρεύσεως ιζημάτων σε μια εσοχή της ακτής ή σε μια λιμενολεκάνη λόγω της διακινούμενης στερεομεταφοράς, απαιτεί τον υπολογισμό της συνολικής παροχής, ενώ για τον υπολογισμό του ρυθμού επεκτάσεως ακτογραμμής χρησιμοποιείται η καθαρή στερεοπαροχή. (Μουτζούρης, 2005)

Η μέθοδος CERC (Corps of Engineers Research Center) υπολογίζει το ολικό φορτίο, δηλαδή το άθροισμα των φορτίων πυθμένα και αιωρήσεως. Η μέθοδος βασίζεται στην παραδοχή ότι η παροχή Q_l εξαρτάται από τη συνιστώσα κμα της ροής ενέργειας P_{ls} ανά μονάδα μήκους της κορυφογραμμής ενός κύματος ύψους H και ταχύτητας ομάδας C_g , σύμφωνα με τη γραμμική θεωρία κύματος και δίνεται από τη σχέση:

$$P_l = \frac{1}{16} \rho g H^2 C_g \sin 2\beta \quad (5.12),$$

όπου β η γωνία της κορυφογραμμής με την ακτογραμμή

Η παροχή κατά μήκος προκύπτει από την εφαρμογή της γραμμικής εμπειρικής σχέσης, δηλαδή $Q_l = c * P_l$. (5.13),

Το Shore Protection Manual (SPM) προτείνει την τιμή $c = 7,5 \cdot 10^3 \cdot \text{yd}^3/\text{lb}$ έτος.

Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόστηκε για τα δεδομένα της παρούσας εργασίας. Θεωρούμε ότι η ακτογραμμή στο σημείο της Αμμόγλωσσας, στην είσοδο του Δίαυλου έχει κατεύθυνση $A - \Delta$. Οι άνεμοι που έχουν επίδραση στη δίαυτα των ιζημάτων για την περίπτωση αυτή είναι ο δυτικός, ο βορειοδυτικός, ο βόρειος, ο βορειοανατολικός και ο ανατολικός. Ο ανατολικός στην συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να αγνοηθεί καθώς το ανάπτυσμα πελάγους που προκύπτει είναι τόσο μικρό που δεν επιτρέπει τη δημιουργία κυματισμών. Κάθε άνεμος θεωρείται ότι έχει τομέα επίδρασης $\pm 22,5^\circ$.

Η παροχή στερεομεταφοράς κατά μήκος ακτής προς τα δεξιά προκαλείται από το δυτικό, το βορειοδυτικό και τον μισό τομέα του βόρειου ανέμου ενώ προς τα αριστερά από τον βορειοανατολικό και τον μισό τομέα του βόρειου ανέμου. Οι τιμές προκύπτουν από εφαρμογή της σχέσης 5.13 πολλαπλασιασμένη επί την ετήσια συχνότητα εμφάνισης ανέμου συγκεκριμένης έντασης και διεύθυνσης, στην περίπτωση του βορειοδυτικού,

βόρειου και βορειοανατολικού ανέμου. Αντίθετα, στην περίπτωση του δυτικού ανέμου και του βόρειου η σχέση πολλαπλασιάζεται επί το $\frac{1}{2}$ της αντίστοιχης ετήσιας συχνότητας, αφού συμμετέχει ο μισός τομέας επίδρασης του ανέμου.

Το ύψος κύματος θεωρείται το σημαντικό ύψος κύματος στα ανοιχτά και είναι το ίδιο που υπολογίστηκε κατά CEM στο κεφάλαιο 3 και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2. Οι ετήσιες συχνότητες εμφάνισης ανέμου, συγκεκριμένης έντασης και διεύθυνσης έχουν δοθεί στο Σχήμα 2.7.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω μεθοδολογίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη παροχή στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής, παρατηρείται για το δυτικό και το βορειοδυτικό άνεμο, όπως αναμενόταν. Ακόμα, παρατηρείται ότι η παροχή στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής προς τα δεξιά είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη προς τα αριστερά. Η παροχή αθροιστικής στερεομεταφοράς είναι ίση με 11.093 m^3 ανά έτος, ενώ η καθαρή παροχή στερεομεταφοράς κατά μήκος ακτής είναι ίση με 10.272 m^3 ανά έτος.

Πίνακας 5.2: Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής

Beaufort	W	NW	N	N	NE	E
1	0.61	1.15	0.09	0.09	0.09	-
2	155.16	156.50	14.62	14.62	21.66	-
3	1287.00	663.00	53.40	53.40	77.36	-
4	3450.38	1605.89	55.43	55.43	81.71	-
5	1520.86	1161.76	34.61	34.61	51.42	-
6	721.45	1016.45	35.58	35.58	45.65	-
7	385.99	545.59	12.17	12.17	22.68	-
8	85.07	240.49	10.73	10.73	15.72	-
9	139.81	395.25	0.00	0.00	3.99	-
10	222.81	0.00	0.00	0.00	0.00	-
Σ	7969.13	5786.07	216.64	216.64	320.26	-
	$Q_r = 10682.24 \text{ m}^3/\text{έτος}$			$Q_l = 410.49 \text{ m}^3/\text{έτος}$		
$Q_n = 10271.75 \text{ m}^3/\text{έτος}$						

5.3.2 Δυνητική στερεομεταφορά κατά μήκος ακτής

Μια άλλη εμπειρική σχέση που δίνει τη δυνητική κατά μήκος στερεομεταφορά είναι:
 $Q = 1290 \cdot P_l$. ($\text{m}^3/\text{έτος}$) (5.14),

όπου P_l το κινούμενο υγρό (ενέργεια / χρόνο * απόσταση) σε μοναδιαίο μήκος κατά μήκος της ακτής και υπολογίζεται από τη σχέση: $P_l = 0,0884 \rho g^{3/2} H_{sb}^{5/2} \sin a_{sb}$ (5.15),

όπου H_{sb} (m) το σημαντικό ύψος κύματος στο σημείο της θραύσης και a_{sb} η αντίστοιχη γωνία πρόσπτωσης του. (Memos, 2009)

Μετά από υπολογισμούς προκύπτει ότι η ετήσια δυνητική παροχή στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής είναι $Q=23.819 \text{ m}^3/\text{yr}$.

Παρατηρούμε ότι είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με την εκτίμηση με τη μέθοδο CERC.

5.4 ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ, ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Στην ενότητα αυτή συμπεριλαμβάνονται συμπεράσματα για την στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής στην περιοχή μελέτης, όπως αυτά προέκυψαν από παλαιότερες μελέτες αλλά και έπειτα από σύγκριση της ακτογραμμής, σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές διαστήματος άνω των 50 ετών, μέσω χαρτών της ΥΥΝ.

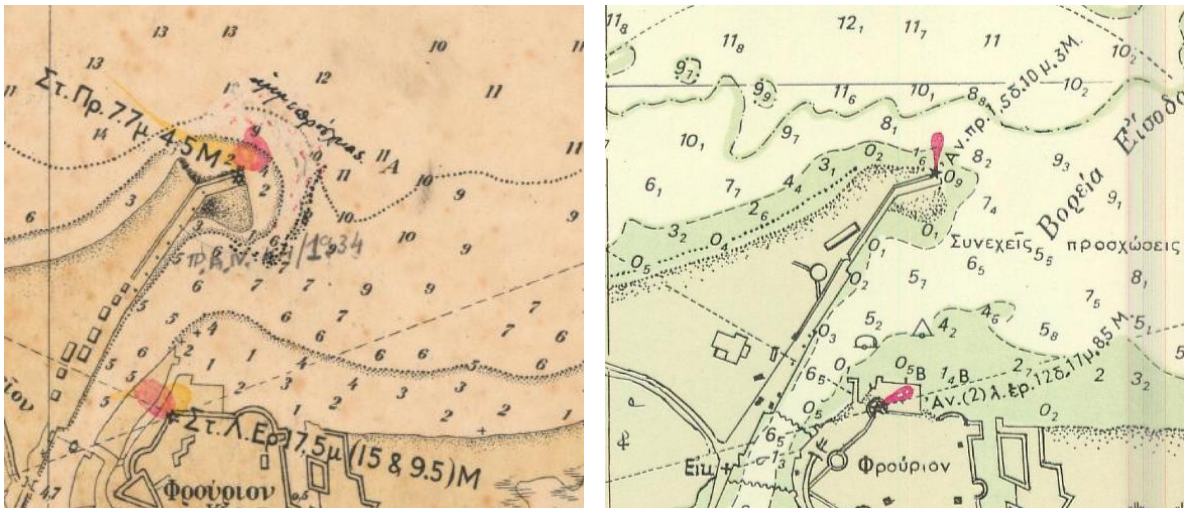
Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης η στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής γίνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά λόγω της παρουσίας κυματογενών ρευμάτων κατά μήκος της ακτής, που οφείλονται κυρίως στην παρουσία των βορειοδυτικών ανέμων που είναι και οι επικρατέστεροι στην περιοχή.

Η επικρατούσα αυτή διεύθυνση συνάδει και με τη γεωμορφολογία της περιοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παρουσία και επέκταση προς τα ανατολικά της Αμμόγλωσσας στα δυτικά του Δίαυλου. Την διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνει και η μεγάλη συσσώρευση ιζημάτων στα δυτικά του υφιστάμενου λιμενοβραχίονα (Φάρος) καθώς και η ύπαρξη της λιμνοθάλασσας, δυτικά του κάστρου της Αγίας Μαύρας.

Ο σχηματισμός της Αμμόγλωσσας οφείλεται στην εναπόθεση κόκκων ιζήματος που μεταφέρονται με τα παράκτια ρεύματα, λόγω της μείωσης της ταχύτητας, που προκαλείται από την απότομη αλλαγή βάθους υδάτων στην περιοχή του Δίαυλου καθώς και την ηρεμία των νερών στο εσωτερικό αυτού.

Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες, η μέση ετήσια στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής στα δυτικά της Αμμόγλωσσας εκτιμάται σε 15.000 m^3 ανά έτος, ενώ οι μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της Αμμόγλωσσας εκτιμάται περίπου 10000 m^3 ανά έτος. Τα στοιχεία αυτά προέκυψαν ύστερα από στοιχεία εκσκαφής στη περιοχή. (Παπαπάνου, 1973).

Η εκτίμηση αυτή επιβεβαιώνεται και από μεταγενέστερες μελέτες που εκτιμούν τη στερεομεταφορά από 10000 έως $12\ 000 \text{ m}^3$ ανά έτος (Marnet, 2011) Τα στοιχεία αυτά συμφωνούν με τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν παραπάνω. Φαίνεται λοιπόν η στερεοπαροχή να κυμαίνεται από 10.000 έως 15.000 m^3 ανά έτος.



Σχήμα 5.1: Η περιοχή μελέτης όπως αποτυπώνεται στους χάρτες της ΥΥΝ το 1921 και σήμερα (Πηγή: ΥΥΝ, 1921 & ΥΥΝ, 1971)

Στο Σχήμα 5.1 γίνεται σύγκριση των χαρτών της ΥΥΝ του 1921 και του 1971. Μετά από παρατήρηση προκύπτει ότι οι κυριότερες περιοχές απόθεσης του ιζήματος της δυναμικής παράκτιας στερεομεταφοράς είναι οι εξής:

- Δυτικά του υφιστάμενου λιμενοβραχίονα: Στη θέση αυτή το μέτωπο της ακτής έχει ΒΑ – ΝΔ προσανατολισμό, κάθετο στους προσπίπτοντες κυρίαρχους κυματισμούς (βορειοδυτικούς) και έτσι η στερεομεταφορά κατά μήκος είναι περιορισμένη, ενώ αυξημένη είναι η μεταφορά υλικού προς τα ανοιχτά.
- Μέρος του ιζήματος διαχέεται στα βαθιά. Παρατηρείται μείωση των σημειακών βαθιών
- Μέρος του ιζήματος τροφοδοτεί την περιοχή ανατολικά του Δίαυλου
- Μέρος του ιζήματος παρακάμπει τον λιμενοβραχίονα και αποτίθεται αμέσως μετά τροφοδοτώντας την Αμμόγλωσσα.

Συμπερασματικά, διαπιστώνεται ότι διαχρονικά υπάρχει πρόβλημα προσάμμισης του βόρειου στομίου του Δίαυλου. Το πρόβλημα αυτό ήταν εξάλλου γνωστό από την εποχή κατασκευής του Δίαυλου (Κεφάλαιο 1). Ο Δίαυλος έχει υποστεί εκβάθυνση κατά την περίοδο της ιταλικής κατοχής (1941-1943) ενώ η περιοχή της Αμμόγλωσσας έχει υποστεί βυθοκορήσεις το 1958 και το 1969. Γενικά στην περιοχή αυτή είναι έντονη η τάση επέκτασής της, όπως φαίνεται και από τη σύγκριση των δύο χαρτών.

Η ακτή στην βόρεια απόληξη του υφιστάμενου λιμενοβραχίονα (όπου υπάρχει μικρός αριθμός φυσικών ογκολίθων (Κεφάλαιο 1)) καθώς και η περιοχή του ενετικού προβλήτα προελαύνει (προσχώνεται).

Η ακτή στα ανατολικά του κάστρου της Αγίας Μαύρας παρουσιάζει μικρής κλίμακας προέλαση. Ίδια εικόνα παρουσιάζει και η ακτή στο εσωτερικό του Δίαυλου μεταξύ της πλωτής γέφυρας και του κάστρου της Αγίας Μαύρας. Η μείωση του ωφέλιμου πλάτους της βόρειας εισόδου του Δίαυλου συμβάλει στη μεταφορά και απόθεση υλικού στο εσωτερικό του Δίαυλου και τα ανατολικά του κάστρου της Αγίας Μαύρας (Λιμένας κάστρου).

6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή των αρχείων βαθυμετρίας που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε με τα μοντέλα MIKE 21 PMS, HD και ST καθώς και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από αυτή. Τέλος, γίνεται σχολιασμός και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για την προσομοίωση με το μοντέλο MIKE 21 PMS απαιτείται η δημιουργία ενός αρχείου βαθυμετρίας με τη χρήση του εργαλείου “bathymetries” του MIKE 21 Zero. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στην ενότητα 2.21. Στο μοντέλο MIKE 21 PMS, υπάρχει η σύμβαση ότι ο κυματισμός εισέρχεται στο μοντέλο από το ανοιχτό όριο, το οποίο είναι πάντα το δυτικό. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η περιστροφή της περιοχής μελέτης έτσι ώστε ο κυματισμός να εισέρχεται πάντα από το δυτικό (αριστερό) όριο και ειδικότερα η ροή να είναι κάθετη σε αυτό. Έτσι προέκυψαν 4 διαφορετικά αρχεία βαθυμετρίας, ένα για κάθε διεύθυνση ανέμου που μελετήθηκε.

Εφόσον πρόκειται για μοντέλο πεπερασμένων διαφορών, για την προσομοίωση απαιτείται η δημιουργία ορθογωνικού καννάβου. Ο κάνναβος θα πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με την κύρια διεύθυνση μετάδοσης των κυματισμών. Πηγή του μοντέλου θεωρείται πάντα η κάτω αριστερή γωνία. Η περιοχή ενδιαφέροντος θα πρέπει να είναι καλά ενταγμένη στον κάνναβο των υπολογισμών. Συγκεκριμένα, θα πρέπει το σημείο ενδιαφέροντος να απέχει πάνω από 10 σημεία καννάβου από τα όρια. Σημείο ενδιαφέροντος στην παρούσα εφαρμογή αποτέλεσε το βόρειο στόμιο του Δίαυλου. Με τα κριτήρια αυτά επιλέχθηκαν τα όρια της περιοχής μελέτης σε κάθε ένα από τα τέσσερα αρχεία βαθυμετρίας που δημιουργήθηκαν.

Η επιλογή των διαστάσεων του πλέγματος σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με στόχο την ορθή αποτύπωση οποιασδήποτε μεταβολής στη βαθυμετρία της περιοχής. Ακόμα, σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του μοντέλου, θα πρέπει οι διαστάσεις $\Delta X = \Delta Y$, να είναι τέτοιες ώστε σε κάθε μήκος κύματος να αντιστοιχούν πέντε με επτά σημεία καννάβου. Το μήκος κύματος κυματισμών στα βαθειά δίνεται από τη σχέση:

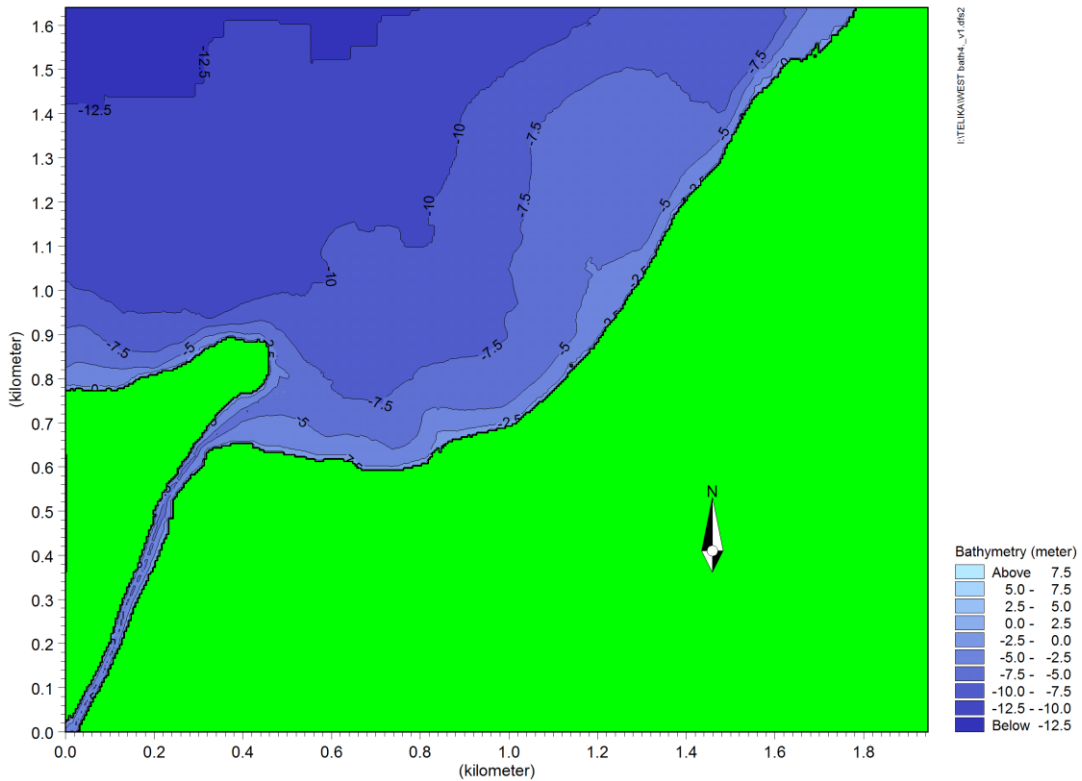
$$L = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Οι διαστάσεις του καννάβου σχετίζονται με τον αριθμό Courant. Συνεκτιμώντας τα κριτήρια αυτά επιλέχθηκαν οι διαστάσεις του καννάβου και για τις 4 περιπτώσεις ανέμου και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1: Επιλογή διαστάσεων καννάβου

Διεύθυνση ανέμου	Περίδος αιχμής φάσματος	Μήκος κύματος	$\Delta X = \Delta Y$
Βορειοανατολικός (NE)	3.26	16.60	2 m
Βόρειος (N)	3.74	21.85	2 m
Βορειοδυτικός (NW)	6.93	75.02	5 m
Δυτικός (W)	7.13	79.41	5 m

Στο σχήμα 6.1 απεικονίζεται το αρχείο της βαθυμετρίας που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση με το πρόγραμμα MIKE 21..



Σχήμα 6.1: Η βαθυμετρία της περιοχής μελέτης

6.2 ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΕΜΟΥ

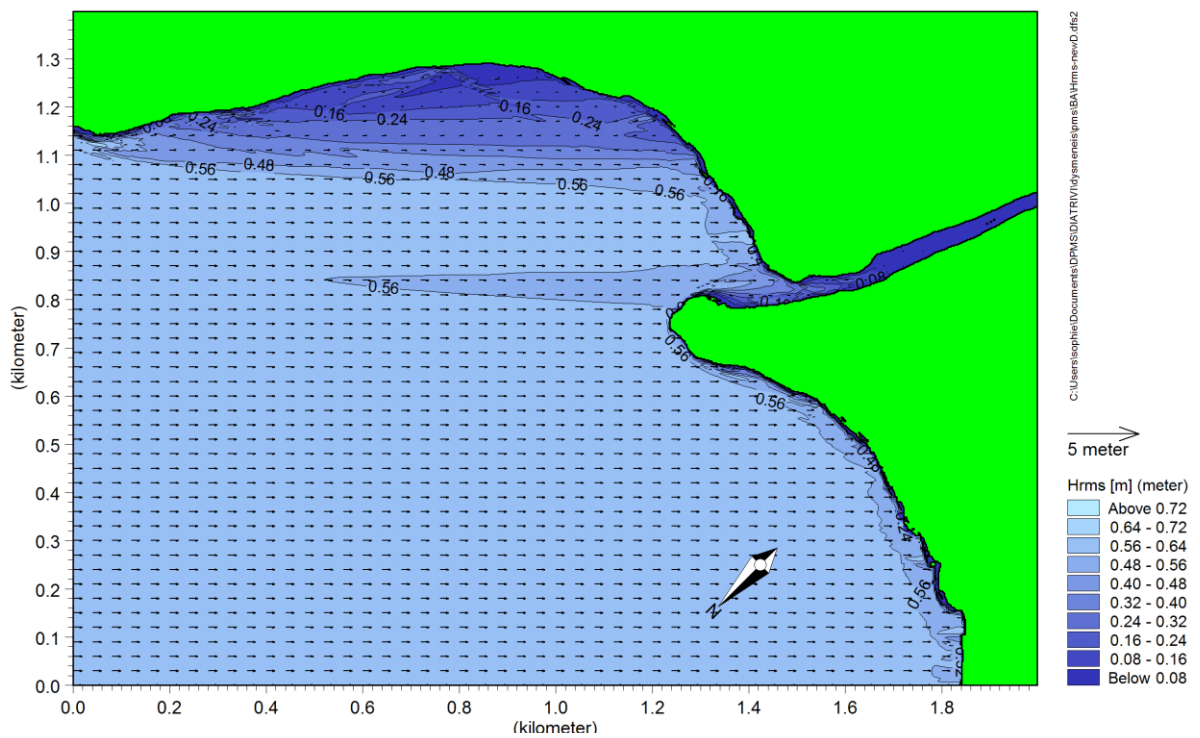
Εδώ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε με τα μοντέλα MIKE 21 PMS και HD για το δυσμενέστερο σενάριο ανέμου στην περιοχή μελέτης, όπως αυτό περιγράφηκε στην ενότητα 3.2.2.1. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για βορειοανατολικό άνεμο 8 beaufort, και για βόρειο, βορειοδυτικό και δυτικό 6 beaufort. Για την προσομοίωση των συνθηκών στο Δίαυλο, χρησιμοποιήθηκαν τα κυματικά χαρακτηριστικά στα βαθιά νερά, όπως αυτά προέκυψαν στο κεφάλαιο 3.

Τέλος, με βάση το κυματικό κλίμα, όπως αυτό αποτυπώνεται στα αποτελέσματα, γίνεται διερεύνηση της λειτουργικότητας του Δίαυλου, βάσει των κανονισμών της PIANC για την ασφαλή είσοδο σε κανάλια και δίαυλους.

6.2.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης

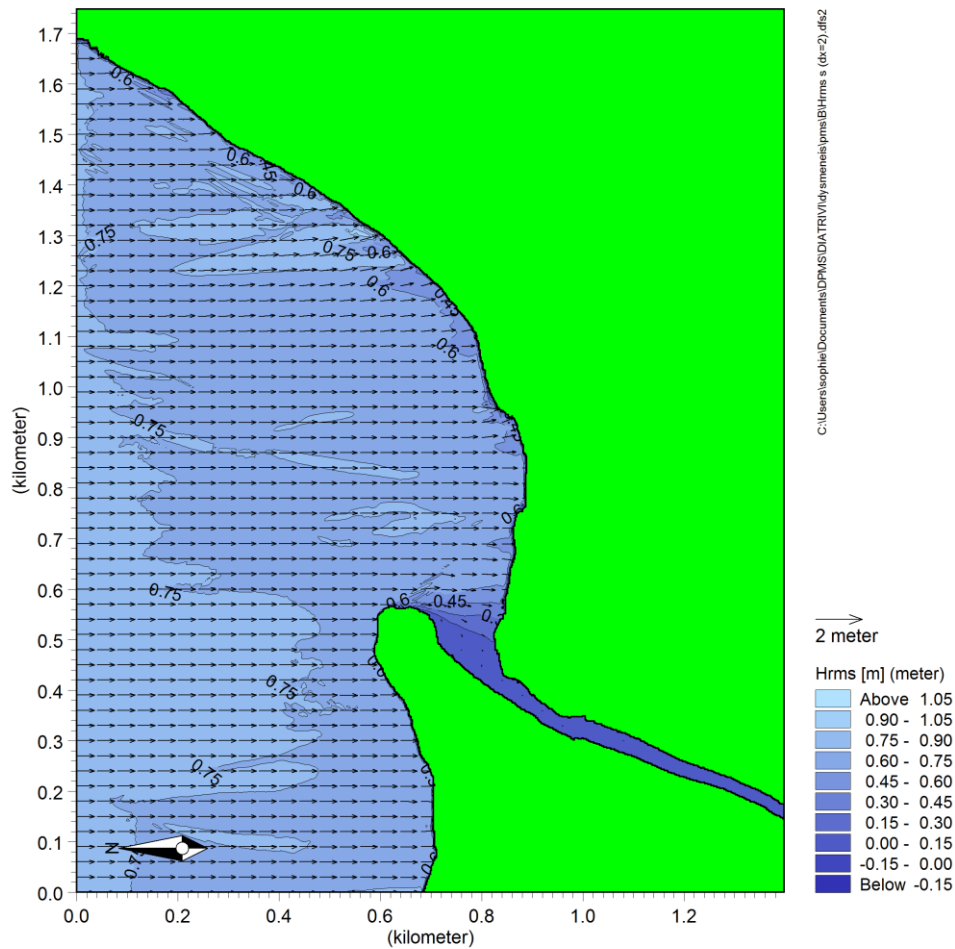
6.2.1.1 Αποτελέσματα μοντέλου MIKE 21 PMS

Στα Σχήματα 6.2 έως 6.5 απεικονίζεται το μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (H_{rms}) στην περιοχή της βόρειας εισόδου του Δίαυλου, καθώς και η διεύθυνση του, όπως προέκυψε έπειτα από προσομοίωση με το μοντέλο MIKE 21 PMS.



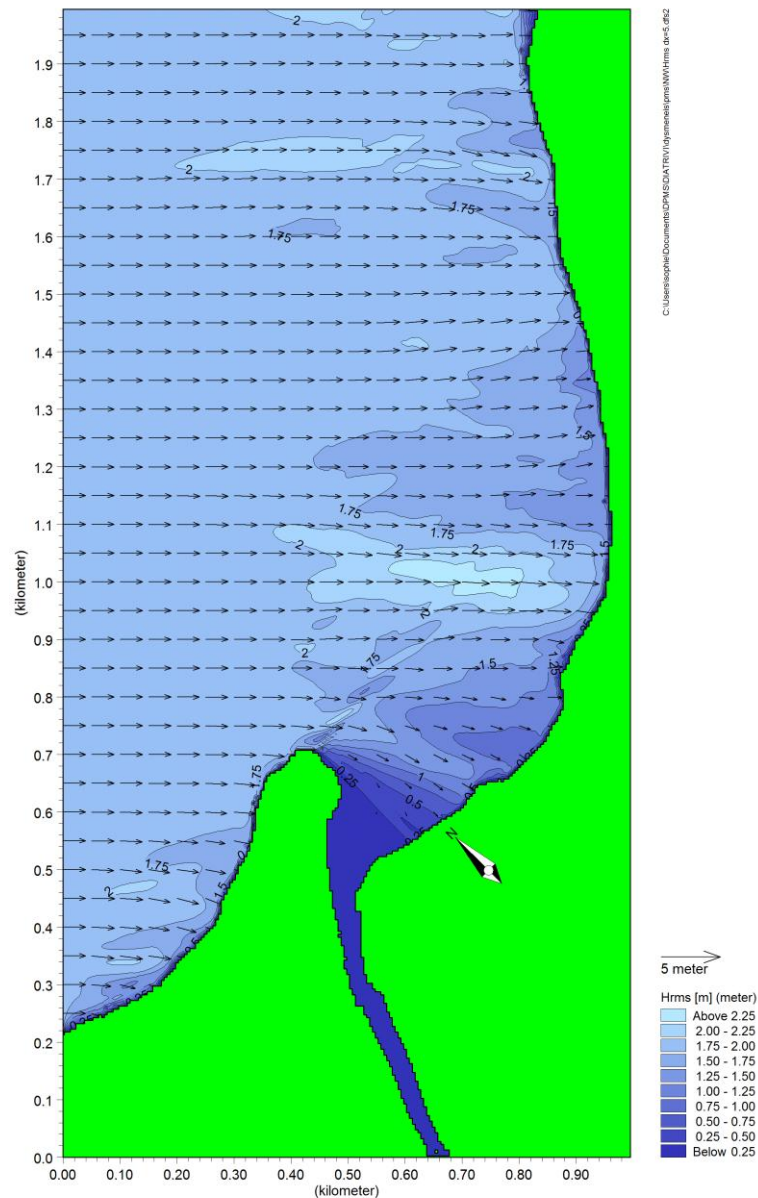
Σχήμα 6.2: Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (H_{rms}) για βορειοανατολικό άνεμο

Για τον βορειοανατολικό άνεμο (Σχήμα 6.5), φαίνεται το ύψος κύματος H_{rms} , στην είσοδο του Δίαυλου να κυμαίνεται από 0,48 έως 0,64 μέτρα. Αντίθετα, στο εσωτερικό του Δίαυλου το ύψος κύματος μειώνεται κατά πολύ και είναι από 0 έως 0,08 μέτρα.



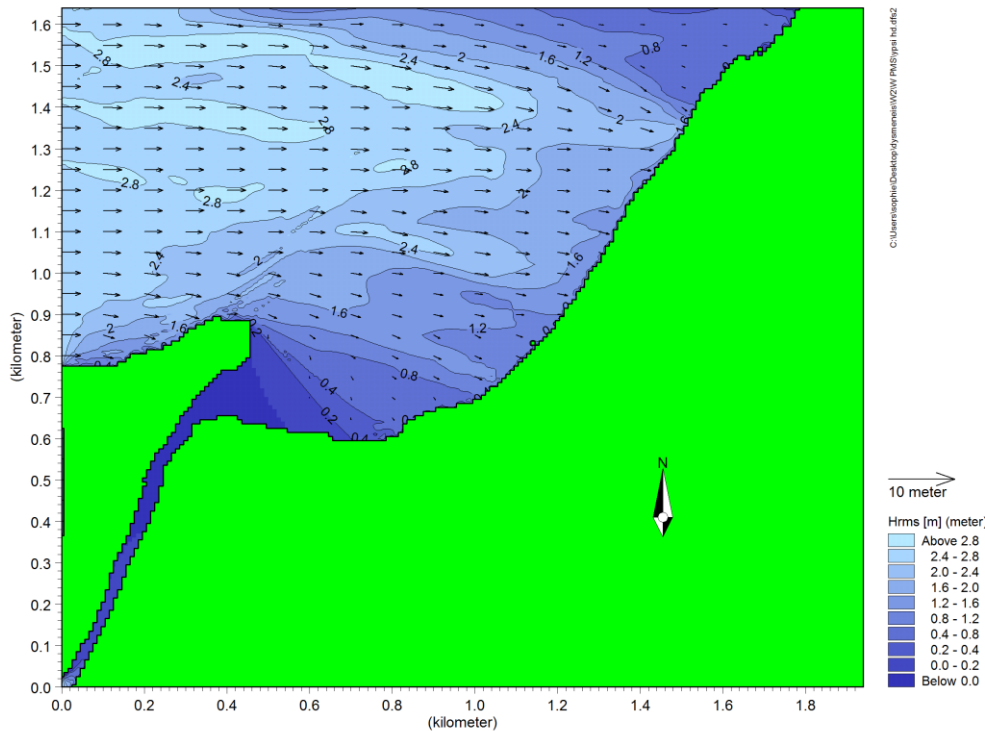
Σχήμα 6.3: Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (H_{rms}) για βόρειο άνεμο

Στην περίπτωση του βόρειου ανέμου στην είσοδο του Δίαλου το ύψος κύματος κυμαίνεται από 0,45 έως τοπικά 0,75 μέτρα, ενώ στο εσωτερικό του Δίαλου είναι μηδενικό.



Σχήμα 6.4: Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (H_{rms}) για βορειοδυτικό άνεμο

Όσον αφορά στον βορειοδυτικό άνεμο, το ύψος κύματος φαίνεται να κυμαίνεται στην είσοδο από 0,25 έως τοπικά 1,50 μέτρα μπροστά από το ακρωτήριο. Προχωρώντας στο εσωτερικό του Διάουλου αυτή η τιμή μικραίνει και τελικά μηδενίζεται.

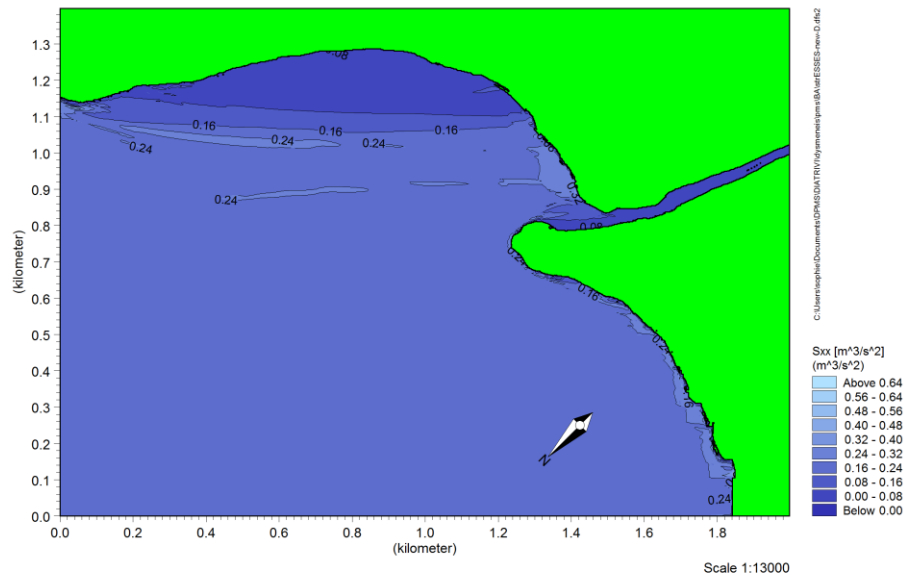


Σχήμα 6.5: Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (H_{rms}) για δυτικό άνεμο

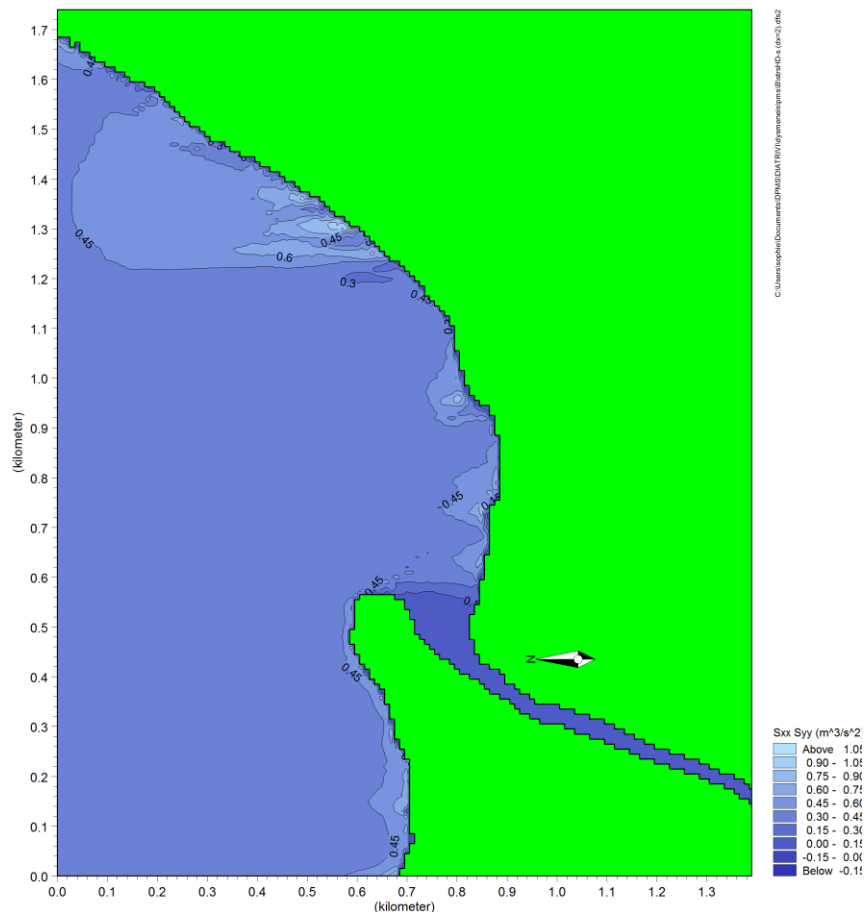
Τέλος, ο δυτικός άνεμος φαίνεται να προκαλεί ύψος κύματος στην περιοχή μελέτης που κυμαίνεται από 0 έως 2,8 μέτρα. Στην είσοδο του Δίαυλου το ύψος κύματος παίρνει τιμές από 0,4 μέτρα έως 1,2 μέτρα, ενώ στο εσωτερικό του, το ύψος είναι μηδενικό. Παρατηρείται ότι ενώ γενικά στο σύνολο της περιοχής μελέτης ο δυτικός άνεμος προκαλεί μεγαλύτερα ύψη κύματος, στο βόρειο άκρο του Δίαυλου μεγαλύτερα ύψη δίνει ο βορειοδυτικός άνεμος. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μορφολογία και τον προσανατολισμό της περιοχής.

Γενικά, η τιμή του μέγιστου ύψους κύματος στο εσωτερικό του Δίαυλου φαίνεται να είναι ιδιαίτερα μικρή και ίση με 0,08 μέτρα, στην περίπτωση του βορειοανατολικού ανέμου,. Αντίθετα στην είσοδο το ύψος κύματος παρουσιάζει διακύμανση. Η μέγιστη τιμή που παρουσιάζεται είναι ίση με 1,50 μέτρο για βορειοδυτικό άνεμο έντασης 6 beaufort.

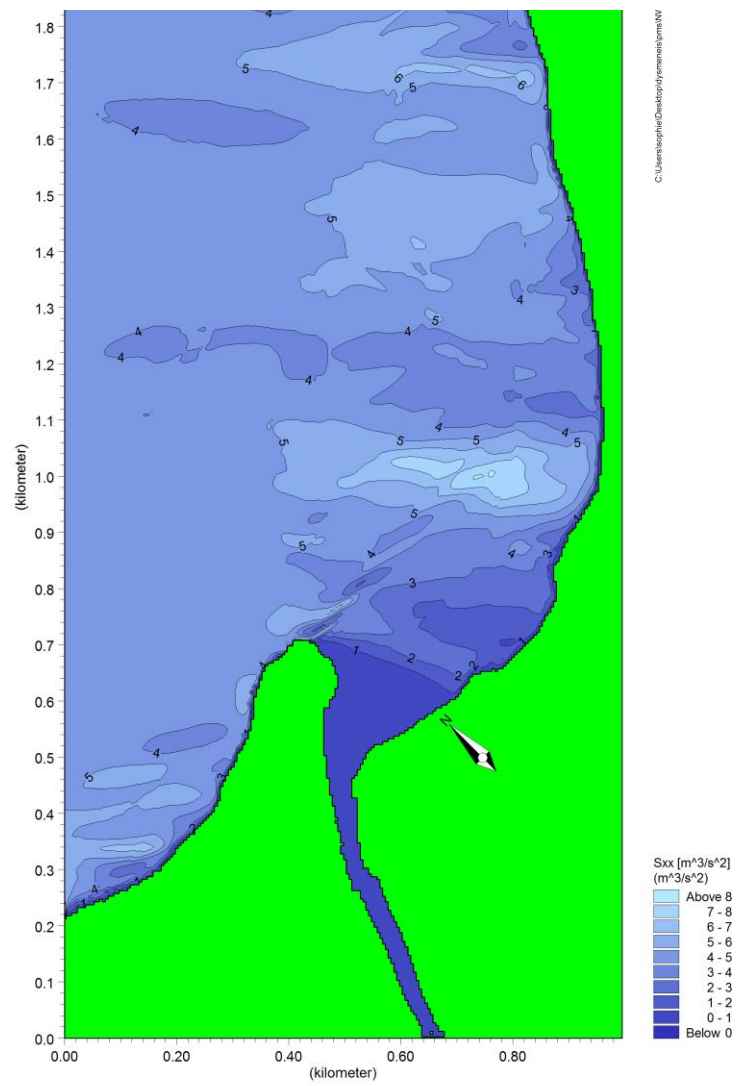
Στα Σχήματα 6.6 έως 6.9 που ακολουθούν, απεικονίζονται οι τάσεις ακτινοβολίας στην περιοχή μελέτης για κάθε σενάριο ανέμου που μελετήθηκε. Τα βελάκια, όπου αυτά έχουν διατηρηθεί δείχνουν απλά τη διεύθυνση. Οι τάσεις ακτινοβολίας είναι υπαίτιες για τη δημιουργία και την μορφή των κυματογενών ρευμάτων που παρουσιάζονται παρακάτω.



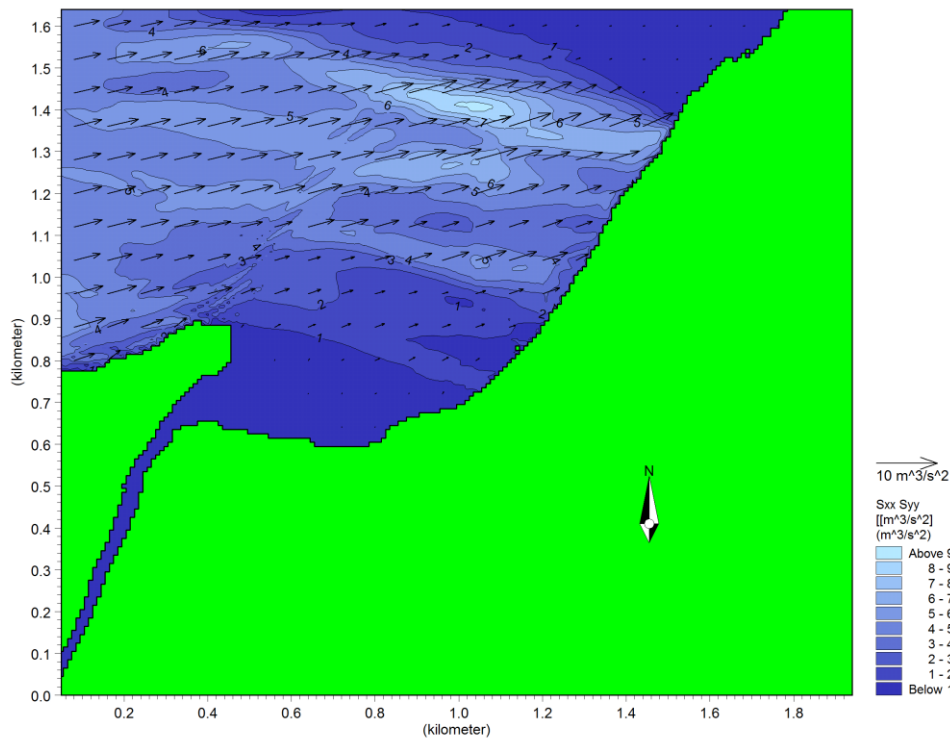
Σχήμα 6.6: Τάσεις ακτινοβολίας για βορειοανατολικό άνεμο



Σχήμα 6.7: Τάσεις ακτινοβολίας για βόρειο άνεμο



Σχήμα 6.8: Τάσεις ακτινοβολίας για βορειοδυτικό άνεμο

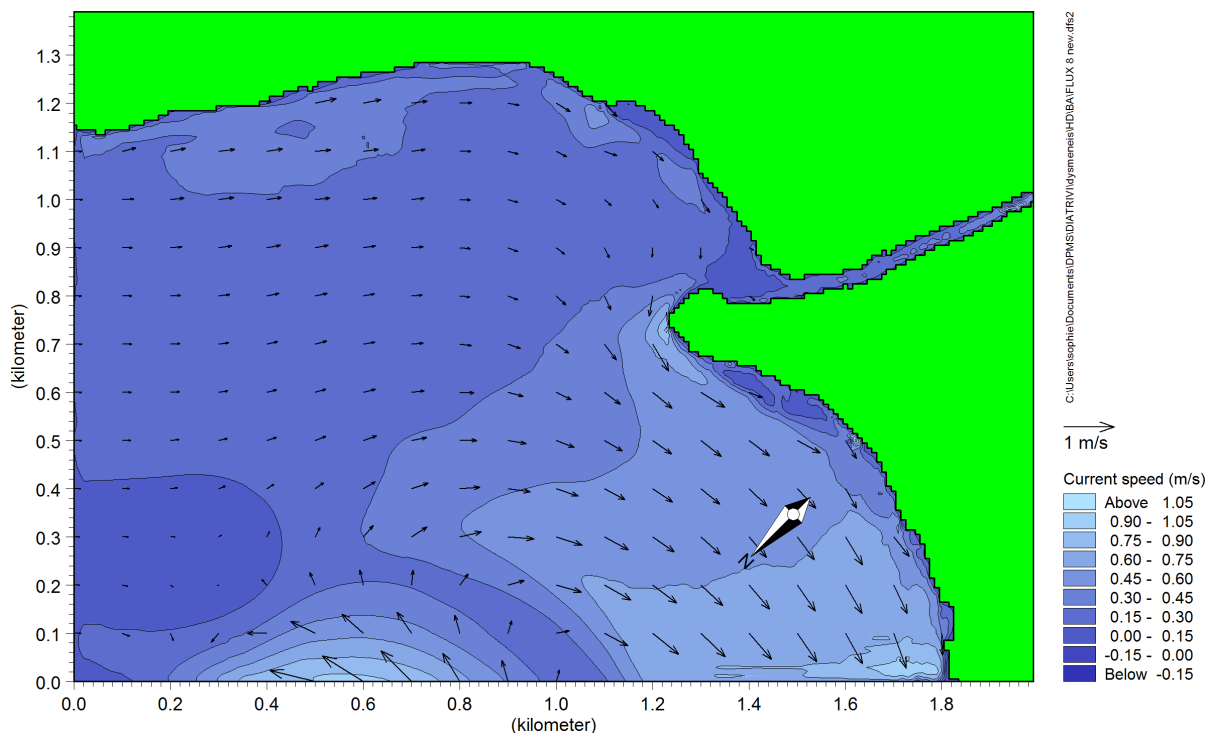


Σχήμα 6.9: Τάσεις ακτινοβολίας για δυτικό άνεμο

6.2.1.2 Αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου MIKE 21 HD

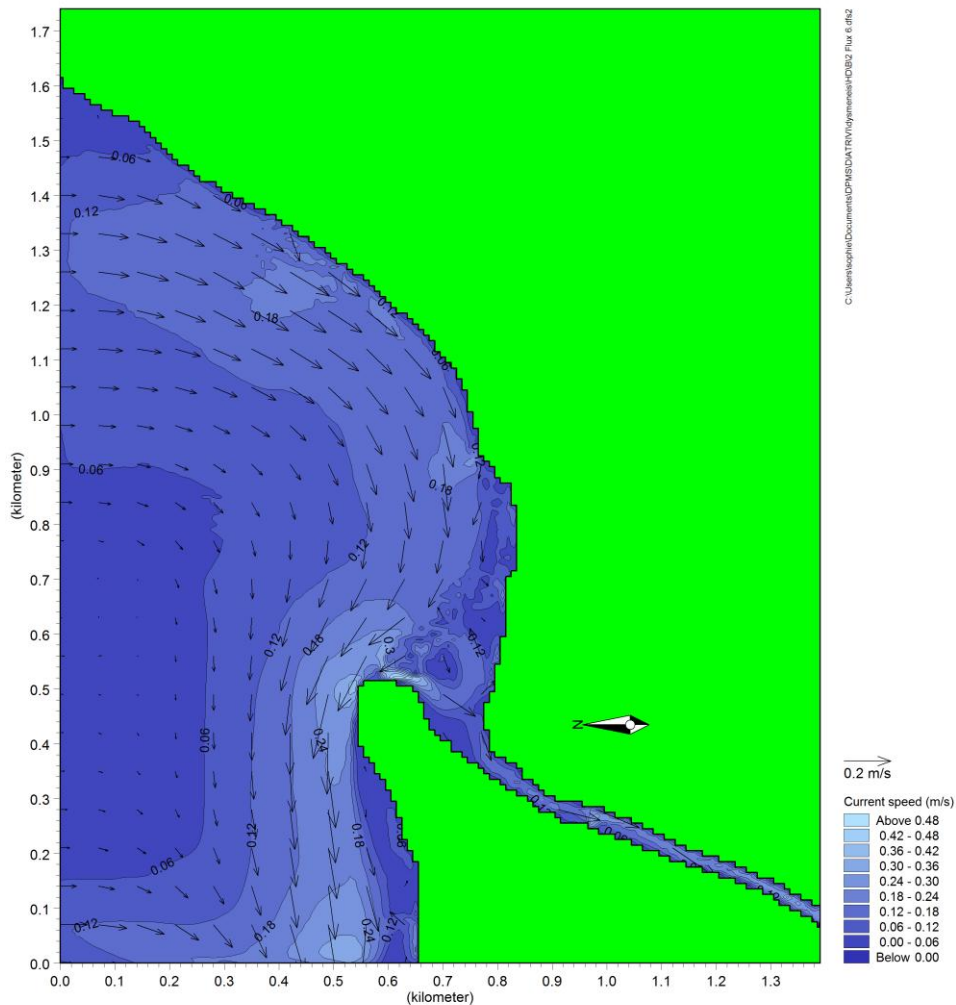
Στα Σχήματα 6.10 – 6.13 που ακολουθούν παρουσιάζεται η ταχύτητα και η μορφή του κυματογενούς ρεύματος στην περιοχή μελέτης για κάθε σενάριο ανέμου που μελετήθηκε. Για κάθε περίπτωση διαφέρει η χρονική στιγμή που παρουσιάζεται το κυματογενές ρεύμα. Αυτό οφείλεται στη διαφορετική περίοδο προσομοίωσης. Κατά την υδροδυναμική προσομοίωση επιλέχτηκε αρχικά περίοδος ίση με 2 ώρες. Παρατηρήθηκε ότι σε αυτό το διάστημα τα αποτελέσματα σταθεροποιούνταν σε ικανοποιητικό βαθμό. Ωστόσο, στη συνέχεια ακολουθήθηκε μια κυκλική διαδικασία (hot start), στην οποία δεδομένο εισόδου αποτελούσε το αρχείο αποτελεσμάτων της προηγούμενης προσομοίωσης. Στη συνέχεια καταρτιζόταν ο χάρτης Manning. Η διαδικασία αυτή τερματίζεται όταν τα αποτελέσματα συγκλίνουν σε κάποια τιμή. Τότε, θεωρούταν ότι οι συνθήκες στο υδροδυναμικό πεδίο ήταν σταθερές και αποτελούσαν το δυσμενέστερο στιγμιότυπο, που θα μπορούσε να συμβεί. Συνήθως το χρονικό διάστημα που απαιτούνταν για τη σταθεροποίηση των συνθηκών ήταν περίπου ίσο με την πραγματική διάρκεια πνοής ανέμου, που είχε υπολογιστεί βάσει των ετήσιων συχνοτήτων εμφάνισης.

Στην περίπτωση του βορειοανατολικού ανέμου το κυματογενές ρεύμα στην είσοδο του Δίαυλου είναι περίπου ίσο με 0,45 m/sec ενώ η τιμή αυτή μηδενίζεται στο εσωτερικό του. Παρατηρείται ότι όπως ήταν αναμενόμενο ακολουθεί την μορφολογία της ακτογραμμής, με κατεύθυνση από ανατολικά προς δυτικά.



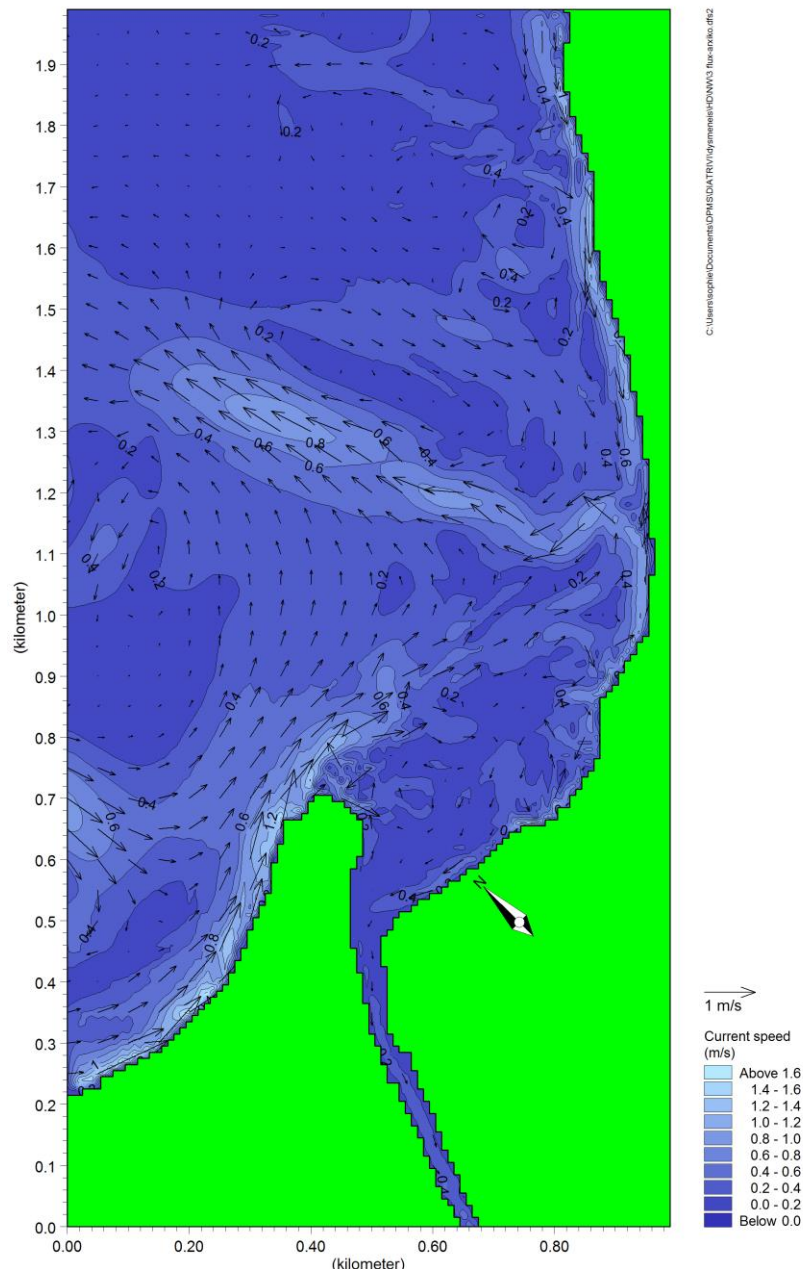
Σχήμα 6.10: Κυματογενές ρεύμα για βορειοανατολικό άνεμο

Στο Σχήμα 6.11 παρουσιάζεται το κυματογενές ρεύμα στην περίπτωση του βόρειου ανέμου. Οι τιμές στην ευρύτερη περιοχή κυμαίνονται από 0 έως 0,48 m/sec. Το ρεύμα ακολουθεί και σε αυτήν την περίπτωση την μορφολογία της ακτογραμμής, από ανατολικά προς δυτικά. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή εισέρχεται και στο εσωτερικό του Δίαυλου. Συγκεκριμένα στην είσοδο και το εσωτερικό το ρεύμα έχει ταχύτητα περίπου 0,12 m/sec. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις οι τιμές της ταχύτητας του ρεύματος είναι ιδιαίτερα μικρές.



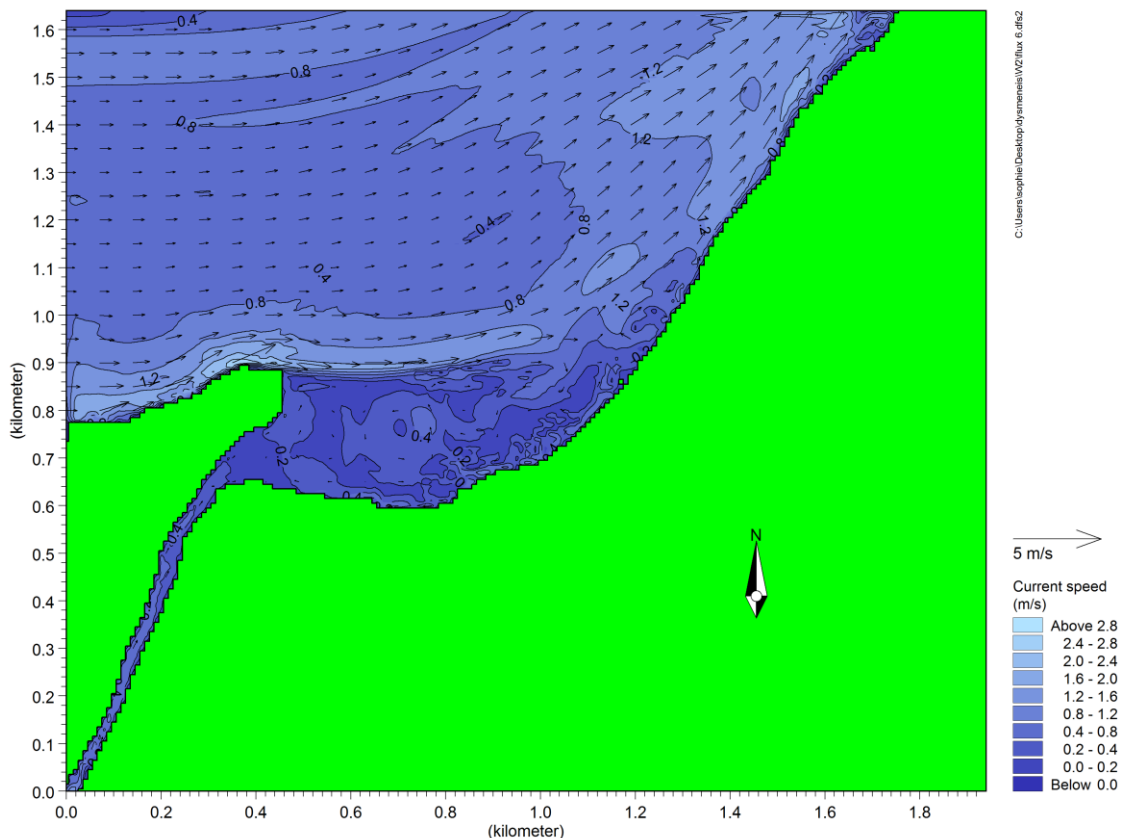
Σχήμα 6.11: Κυματογενές ρεύμα για βόρειο άνεμο

Αναφορικά με την περίπτωση του βορειοδυτικού ανέμου, στην περιοχή του ακρωτηρίου η ταχύτητα του ρεύματος παρουσιάζεται να κυμαίνεται από 0 έως 1,2 m/sec. Στην είσοδο του Δίαυλου καθώς και στο εσωτερικό του η ταχύτητα είναι περίπου 0,2 m/sec, αν και σποραδικά στην περιοχή της εισόδου εντοπίζεται και ταχύτητα ίση με 0,4 m/sec. Το ρεύμα ακολουθεί τη μορφολογία της ακτογραμμής και έχει διεύθυνση από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά και προς το εσωτερικό του Δίαυλου.



Σχήμα 6.12: Κυματογενές ρεύμα για βορειοδυτικό άνεμο

Ο δυτικός άνεμος φαίνεται να προκαλεί τη δημιουργία έντονου κυματογενούς ρεύματος, το οποίο ακολουθεί τη μορφολογία της ακτογραμμής με φορά από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Η μέγιστη ταχύτητα του ρεύματος παρουσιάζεται μπροστά από το ακρωτήριο και είναι ίση με 2 m/sec. Στην περιοχή της εισόδου η ταχύτητα του ρεύματος κυμαίνεται από 0,4 έως 0,8 m/sec. Στην εσωτερικό του, η ταχύτητα είναι περίπου 0,2 m/sec, αν και σποραδικά στην περιοχή της εισόδου εντοπίζεται και ταχύτητα ίση με 0,4 m/sec.



Σχήμα 6.13: Κυματογενές ρεύμα για δυτικό άνεμο

6.2.2 Έλεγχος επάρκειας διαστάσεων του Δίαυλου, βάσει κανονισμών της PIANC

Η γνώση των υδροδυναμικών συνθηκών στην περιοχή του Δίαυλου αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη λειτουργία του. Στην ενότητα αυτή πραγματοποιείται μια διερεύνηση αναφορικά με την επάρκεια των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του Δίαυλου σε σχέση με τις απαιτήσεις των πλοίων και τη γενικότερη λειτουργία του.

Γενικές οδηγίες και κανονισμοί για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο επάρκειας των καναλιών παρέχονται από την *Permanent International Association of navigation Congresses (PIANC) – International Association of ports and Harbors*

Βασικό συστατικό για τον έλεγχο επάρκειας των διαστάσεων του Δίαυλου, αποτελεί η επιλογή του πλοίου σχεδιασμού. Το πλοίο σχεδιασμού δεν είναι απαραίτητα το μεγαλύτερο πλοίο που διασχίζει τον Δίαυλο. Είναι εξάλλου συνηθισμένο τα μεγάλα πλοία τυγχάνουν ειδικής μεταχείρισης από τις Αρχές. Η επιλογή του πλοίου σχεδιασμού μπορεί να γίνεται βάσει της ικανότητας ελιγμών ή των διαστάσεων του πλοίου. Το πλοίο σχεδιασμού μπορεί να είναι διαφορετικό για τον έλεγχο του πλάτους και τους βάρους αντίστοιχα.

Το βάθος ενός καναλιού αποτελεί συνάρτηση του μέγιστου βυθίσματος του πλοίου. Ειδικότερα, το βάθος καθορίζεται, από το βύθισμα του πλοίου, το ύψος της παλίρροιας, τα ύψη κυμάτων, το squat και τα περιθώρια που επιλέγουμε να αφήσουμε. Αν δεν υπάρχουν όλες οι παραπάνω πληροφορίες τότε θα πρέπει ο λόγος βάθους νερού προς το βύθισμα να μην είναι μικρότερος από 1.2 για προστατευμένα νερά. Τέλος, θα πρέπει ο αριθμός Froude F_{nh} να είναι μικρότερος από 0.7. (PIANC, 1995) Στην συγκεκριμένη εφαρμογή το βάθος θεωρείται ίσο με 6 μέτρα, αν και δεν είναι σταθερό σε όλη την έκταση του Δίαυλου.

Το πλάτος ενός καναλιού εκφράζεται ως πολλαπλάσιο του μέγιστου πλάτους του πλοίου σχεδιασμού. Το απαραίτητο πλάτος προκύπτει από τον τύπο

$$w = w_{BM} + \sum_i^n w_i + w_{Br} + w_{Bg} \quad (6.1), \quad \text{όπου}$$

- w_{Br} , w_{Bg} είναι η απόσταση από κάθε όχθη του Δίαυλου,
- w_{BM} : το πλάτος της βασικής λωρίδας ελιγμών και
- w_i , είναι πρόσθετο πλάτος ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης.

Το πλάτος της βασικής λωρίδας ελιγμών είναι πολλαπλάσιο του πλάτους του πλοίου σχεδιασμού και είναι το πλάτος για το οποίο το πλοίο σχεδιασμού πλέει σε ιδανικές συνθήκες. Ο συντελεστής με τον οποίο πολλαπλασιάζεται το πλάτος του πλοίου σχεδιασμού είναι 1,3 όταν η ικανότητα ελιγμών του πλοίου είναι καλή, 1,5 για μέτρια ικανότητα και 1,8 για κακή.

Η επιλογή ωστόσο της κατηγορίας ικανότητας ελιγμών δεν είναι εύκολη, καθώς διαφέρει στα ανοιχτά νερά από ότι στο εσωτερικό ενός Δίαυλου. Το βάθος του νερού έχει σημαντική επίδραση στην ικανότητα ελιγμών. Όσο μειώνεται ο λόγος βάθους / βυθίσματος, τόσο αυξάνεται η σταθερότητα του πλοίου. Στην περίπτωση ενός ευθύγραμμου καναλιού, και αν το πλοίο δεν χρειάζεται να αποκλίνει της πορείας του, αυτό αποτελεί προτέρημα. Αντίθετα, αποτελεί μειονέκτημα, αν το πλοίο χρειαστεί να αποκλίνει της αρχικής πορείας, εξαιτίας της αργής αντίδρασης και απαιτεί περισσότερο χώρο. Στα ρηχά νερά είναι γενικά δυσκολότερο για όλους τους τύπους πλοίων να πραγματοποιούν ελιγμό.

Τα κανάλια διακρίνονται σε εξωτερικά και εσωτερικά. Εξωτερικά κανάλια χαρακτηρίζονται εκείνα, που επηρεάζονται από την κυματική δράση, προκαλώντας σημαντική κίνηση των πλοίων. Αντίθετα, εσωτερικά κανάλια χαρακτηρίζονται εκείνα των οποίων τα νερά είναι προστατευμένα και δεν αποτελούν αντικείμενο κυματικής δράσης.

Το τελικό πλάτος ενός καναλιού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η ταχύτητα του πλοίου, ο κάθετος άνεμος, τα ρεύματα, το ύψος κύματος, τα βοηθήματα πλοήγησης, η επιφάνεια του πυθμένα και το βάθος του καναλιού, που περιγράφονται παρακάτω.

Η ύπαρξη κάθετου ανέμου στην πορεία ενός πλοίου επηρεάζει κατά πολύ τη συμπεριφορά του. Στην περίπτωση γρήγορων πλοίων προτείνεται η κατηγοριοποίηση τους, ως κακής ικανότητας ελιγμών, έτσι ώστε να μην κινδυνεύουν από την ύπαρξη κάθετων ανέμων.

Αναφορικά με τα κάθετα ρεύματα, προτείνεται να αποφεύγονται κατά το σχεδιασμό του καναλιού. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η ευθυγράμμιση του άξονα του καναλιού με το κυρίαρχο ρεύμα. Στην περίπτωση μας ισχύει αυτός ο κανονισμός, καθώς παρατηρούνται ιδιαίτερα μικρές τιμές κάθετων ρευμάτων.

Η ύπαρξη κυματισμών σε ένα κανάλι είναι πολύ καθοριστική για την ασφαλή ναυσιπλοΐα. Αναφορικά με τα κύματα, δίνονται γενικές οδηγίες, οι οποίες ωστόσο θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να επαναξιολογούνται χωριστά. Για την επίδραση τους στο πλάτος ενός καναλιού διακρίνονται τρεις κατηγορίες. Το σημαντικό ύψος κύματος να είναι έως 1 μέτρο, το σημαντικό ύψος κύματος να είναι έως 3 μέτρα και τέλος μεγαλύτερο από 3. Στα εσωτερικά κανάλια, εξ ορισμού δεν υπάρχει επίδραση των κυματισμών.

Το πλάτος του Δίαυλου επηρεάζεται και από τον τύπο του πυθμένα, στην περίπτωση των ρηχών νερών. Τα νερά θωρούνται ρηχά αν ο λόγος βάθους / βυθίσματος είναι μικρότερος του 1,5. Γενικά, προτείνεται ο πυθμένας να έχει μαλακά υλικά. Ωστόσο, η παρουσία αργίλου μπορεί να εμποδίσει τους ελιγμούς ενός πλοίου. Τέλος, καθοριστικό ρόλο παίζει το βάθος του καναλιού καθεαυτό. Είναι σημαντικό ο λόγος βάθους / βυθίσματος να μην είναι σε καμιά περίπτωση μικρότερος του 1.1 (PIANC, 1997)

Σύμφωνα με τα στοιχεία στον Δίαυλο Λευκάδας διέρχονται πλοία μέγιστου βυθίσματος 4,5 μέτρων και μήκους 30 μέτρων. Σύμφωνα με τον πίνακα διαστάσεων πλοίων, αλλά και κατασκευαστικά στοιχεία, το μέγιστο πλάτος (B) ενός τέτοιου πλοίου θα είναι 10 μέτρα. Ωστόσο, ο κύριος όγκος των σκαφών που διαπλέουν τον Δίαυλο είναι ιστιοπλοϊκά και ταχύπλοα σκάφη πολύ μικρότερων διαστάσεων, με βύθισμα που κυμαίνεται από 1,5 έως 3 μέτρα. Ένα μέσο βύθισμα περίπου 2 μέτρα αντιστοιχεί σε ένα πλάτος $B = 5$ m. Τα πλοία αυτά αναπτύσσουν σημαντική ταχύτητα που πολλές φορές υπερβαίνει τους 26 κόμβους. Για το λόγο αυτό, το πλοίο σχεδιασμού θα θεωρείται σε κάθε περίπτωση κακής ικανότητας ελιγμών και το πλάτος της βασικής λωρίδας ελιγμών θα είναι ίσο με $1,8 B$.

Αναφορικά με την επιλογή του πλοίου σχεδιασμού για τον Δίαυλο Λευκάδας, εξετάστηκαν δύο σενάρια. Το πρώτο σενάριο αφορά στην επιλογή ως πλοίου σχεδιασμού, εκείνου που συναντάται συχνότερα στον Δίαυλο. Συγκεκριμένα, επιλέγεται το πλοίο σχεδιασμού να έχει βύθισμα περίπου 2 μέτρα και μέγιστο πλάτος $B = 5$ m. Συνεπώς ο λόγος βάθους / βυθίσματος είναι περίπου 3.

Στο δεύτερο σενάριο ως πλοίο σχεδιασμού επιλέχτηκε το πλοίο με τις μεγαλύτερες διαστάσεις που έχει καταγραφεί, δηλαδή βύθισμα 4,5 μέτρα και αντίστοιχο πλάτος $B = 10$ m. Επισημαίνεται ωστόσο, ότι η μαρίνα αναψυχής μπορεί να εξυπηρετήσει πλοία με βύθισμα έως 4 μέτρα. Το σενάριο αυτό αποτελεί και τη δυσμενέστερη περίπτωση. Στην περίπτωση αυτή ο λόγος βάθους / βυθίσματος είναι ίσος με 1,33 περίπου. Για το πλοίο αυτό προκύπτει ότι το μικρότερο βάθος που είναι ανεκτό είναι ίσο με 5,5 μέτρα.

Στον Πίνακα 6.2, που ακολουθεί παρουσιάζεται η εφαρμογή των κανονισμών που περιγράφηκαν παραπάνω, με στόχο τον έλεγχο επάρκειας των διαστάσεων του Δίαυλου Λευκάδας.

Πίνακας 6.2: Έλεγχος διαστάσεων Δίαυλου

		B=5 m		B=10 m	
		Εξωτερικό τμήμα	Εσωτερικό τμήμα	Εξωτερικό τμήμα	Εσωτερικό τμήμα
w_{BM}	Βασική λωρίδα ελιγμών	1,8 B	1,8 B	1,8 B	1,8 B
w_i	Ταχύτητα πλοίου	0,1 B	0,1 B	0,1 B	0,1 B
	Κάθετος άνεμος	0,5 B	0,5 B	0,5 B	0,5 B
	Κάθετο ρεύμα	1 B	0,8 B	1 B	0,8 B
	Κατά μήκος ρεύμα	0 B	0,1 B	0 B	0,1 B
	Ύψος κύματος	2 B	0 B	2 B	0 B
	Βοήθεια στη Ναυσιπλοια	0,5 B	0,5 B	0,5 B	0,5 B
	Επιφάνεια πυθμένα	0 B	0 B	0,1 B	0,1 B
	Βάθος	0 B	0 B	0,4 B	0,2 B
w_{Br}, w_{Bg}	Οχθες	2* 0,7 B	2* 0,7 B	2* 0,7 B	2* 0,7 B
w		7,3 B	5,2 B	7,8 B	5,5 B
		36,5 m	26 m	78 m	55 m

Για το πρώτο σενάριο, εκείνο των ταχύπλων σκαφών, φαίνεται ο Δίαυλος να επαρκεί ακόμη και στις δυσμενέστερες καιρικές συνθήκες. Μάλιστα φαίνεται ότι για το συγκεκριμένο πλοίο σχεδιασμού ο Δίαυλος μπορεί να λειτουργήσει και ως διπλής κατεύθυνσης.

Όσον αφορά στο πλοίο σχεδιασμού πλάτους $B=10$ μέτρων παρατηρείται ότι απαιτούνται έργα διαπλάτυνσης του Δίαυλου. Συγκεκριμένα, στην είσοδο του Δίαυλου, όπου επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες, απαιτείται πλάτος 78 μέτρων, ενώ στο εσωτερικό του Δίαυλου απαιτείται πλάτος 55 μέτρων. Με τα έργα αυτά ο Δίαυλος θα μπορεί να εξυπηρετήσει οποιοδήποτε πλοίο αυτών των διαστάσεων, ακόμη και στις δυσμενέστερες καιρικές συνθήκες. Τέλος, επισημαίνεται, ότι μπορούν να εξυπηρετηθούν και πλοία μεγαλύτερων διαστάσεων, με αυξημένη προσοχή κατά τον διάπλου.

Ωστόσο, στην περιοχή του φρουρίου της Αγίας Μαύρας, το πλάτος του Δίαυλου δεν μπορεί να υπερβεί τα 42 μέτρα. Το πλάτος αυτό θα παραμείνει ίδιο, καθώς το φρούριο θεωρείται μνημείο και δεν μπορεί να γίνει οποιαδήποτε παρέμβαση. Εφαρμόζοντας τους παραπάνω κανονισμούς, προκύπτουν οι μέγιστες διαστάσεις πλοίου που μπορεί να διαπλεύσει το Δίαυλο στο σημείο αυτό με άνεση και ασφάλεια, ακόμα και με τις δυσμενέστερες καιρικές συνθήκες, σύμφωνα με τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής.

Ο Δίαυλος στο σημείο αυτό μπορεί να θεωρηθεί εσωτερικό κανάλι. Από τον Πίνακα 6.2 προκύπτει ότι για πλάτος Δίαυλου από 26 έως 55 μέτρα, το πλάτος του πλοίου σχεδιασμού κυμαίνεται μεταξύ 5 και 10 μέτρων. Συγκεκριμένα ισχύει ότι:

$$26m \leq 42m \leq 55m$$

$$5,2B \leq 42m \leq 5,5B'$$

$$5,2B \leq 42m \Rightarrow B \leq 8,08m$$

και

$$5,5B \geq 42m \Rightarrow B \geq 7,64m$$

Έστω ότι το πλοίο έχει πλάτος ίσο με 7,64 μέτρα. Στην περίπτωση αυτή το βύθισμα αναμένεται να είναι ίσο 3,4 μέτρα και ο λόγος βάρους βυθίσματος θα είναι ίσος με $1,8 > 1,5$. Αυτό είναι άτοπο καθώς για να προκύψει πλάτος δίαυλου $5,5B=7,64$ μέτρα, είχε θεωρηθεί ότι ο λόγος αυτός ήταν μικρότερος του 1,5.

Στην περίπτωση που θεωρήσουμε ότι το μέγιστο πλάτος του πλοίου είναι ίσο με 8,08 μέτρα, προκύπτει ότι το βύθισμα αντίστοιχα, είναι περίπου 3,9 μέτρα. Τότε ο λόγος βάρους / βυθίσματος είναι $1,54 > 1,5$. Αυτό ισχύει, αφού για να προκύψει πλάτος καναλιού ίσο με $5,2 B$, έχει υποθεθεί ότι ο λόγος είναι μεγαλύτερος του 1,5. Για πλάτος πλοίου ίσο με 8 μέτρα, προκύπτει ότι το απαιτούμενο ωφέλιμο πλάτος του Δίαυλου στην είσοδο, όπου θεωρείται εξωτερικό κανάλι είναι περίπου 60 μέτρα. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται και στον Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3: Πλάτος Δίαυλου για πλοίο σχεδιασμού πλάτους 8 μέτρων

		B=8 m, βύθισμα: 3,9 m	B=8 m, βύθισμα: 3,9 m
		Εσωτερικό τμήμα	Εξωτερικό τμήμα
w_{BM}	Βασική λωρίδα ελιγμών	1,8 B	1,8 B
w_i	Ταχύτητα πλοίου	0,1 B	0,1 B
	Κάθετος άνεμος	0,5 B	0,5 B
	Κάθετο ρεύμα	0,8 B	1 B
	Κατά μήκος ρεύμα	0,1 B	0 B
	Ύψος κύματος	0 B	2 B
	Βοήθεια στη Ναυσιπλοια	0,5 B	0,5 B
	Επιφάνεια πυθμένα	0 B	0 B
	Βάθος	0 B	0 B
w_{Br}, w_{Bg}	Οχθες	2* 0,7 B	2* 0,7 B
w		5,2 B	7,3 B
		41,6 m	59 m

Αναφορικά με το βάθος του Δίαυλου, θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι θα είναι σε όλο το μήκος και το πλάτος του Δίαυλου μεγαλύτερο από 5,5 μέτρα, έτσι ώστε να ισχύει ο παραπάνω έλεγχος. Προτείνεται όμως το βάθος να είναι ίσο με 6 μέτρα σε όλο το ωφέλιμο πλάτος του Δίαυλου, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ο άνετος διάπλους.

6.3 ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΤΙΜΩΝ

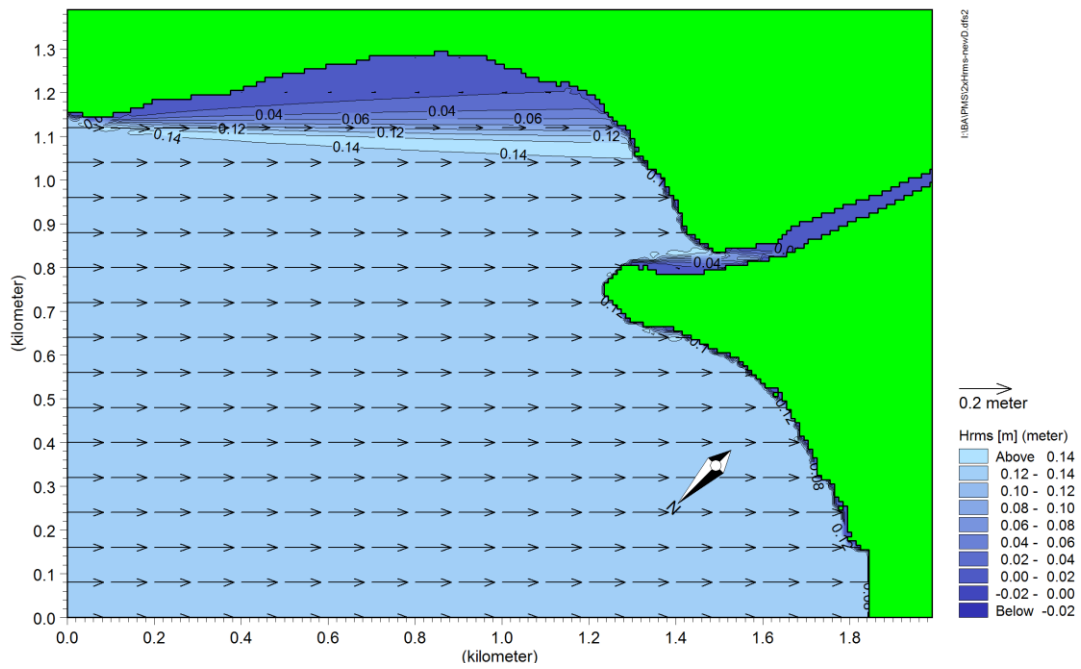
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μοντέλων MIKE 21 PMS, HD και ST για σενάριο ανέμου που προκαλεί τη μέγιστη στερεομεταφορά, όπως αυτό περιγράφηκε στην ενότητα 3.2.2.2, στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, προσομοιώθηκε βορειοανατολικός και βόρειος άνεμος έντασης 3 beaufort και βορειοδυτικός και δυτικός έντασης 4 beaufort, όπως προέκυψε από την ανάλυση που προηγήθηκε.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα του μοντέλου στερεομεταφοράς ST, επισημαίνεται ότι αποτελούν μια πρώτη προσέγγιση των περιοχών διάβρωσης και απόθεσης στην περιοχή ενδιαφέροντος. Τέλος, τα αποτελέσματα αυτά αξιολογούνται και συγκρίνονται με άλλα στοιχεία που αφορούν την κίνηση των ιζημάτων όπως περιγράφονται στην ενότητα 2.4 αλλά και τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

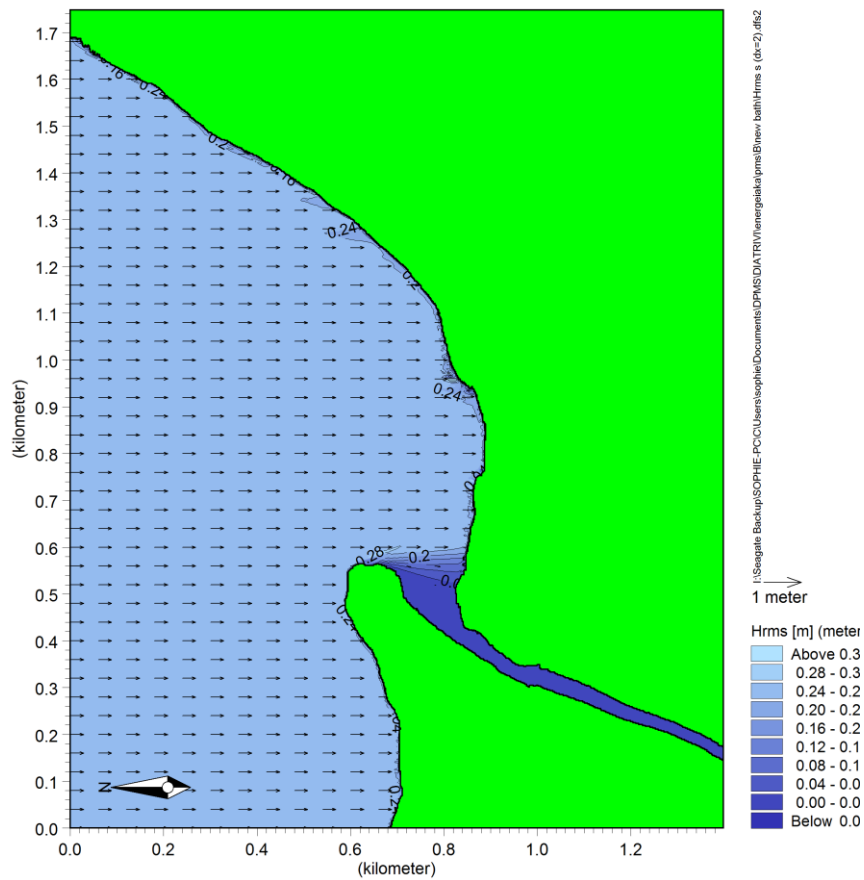
6.3.1 Αποτελέσματα μοντέλου MIKE 21 PMS

Στα Σχήματα 6.14 έως 6.17 που ακολουθούν απεικονίζεται το μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (H_{rms}) στην περιοχή μελέτης, όπως αυτό προέκυψε από την προσομοίωση για τιμές κυματισμού στα βαθιά νερά επιλεγμένες με ενεργειακά κριτήρια. Οι τιμές αυτές είναι μικρότερες, εφόσον αφορούν και ανέμους μικρότερης έντασης και έτσι αναμένεται να είναι μικρότερα και τα ύψη κύματος στην περιοχή μελέτης, σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο.

Στο Σχήμα 6.14 παρατηρείται ότι το ύψος κύματος κυμαίνεται από 0 έως 0.14 μέτρα. Ειδικότερα στην περιοχή της εισόδου του Δίαυλου είναι σχεδόν σταθερό και ίσο με 0,14 μέτρα ενώ στο εσωτερικό του, η μέγιστη τιμή είναι ίση με 0,04 μέτρα. Οι τιμές αυτές είναι σαφώς μικρότερες από τις αντίστοιχες για το δυσμενέστερο σενάριο ανέμου, όπως άλλωστε αναμενόταν.



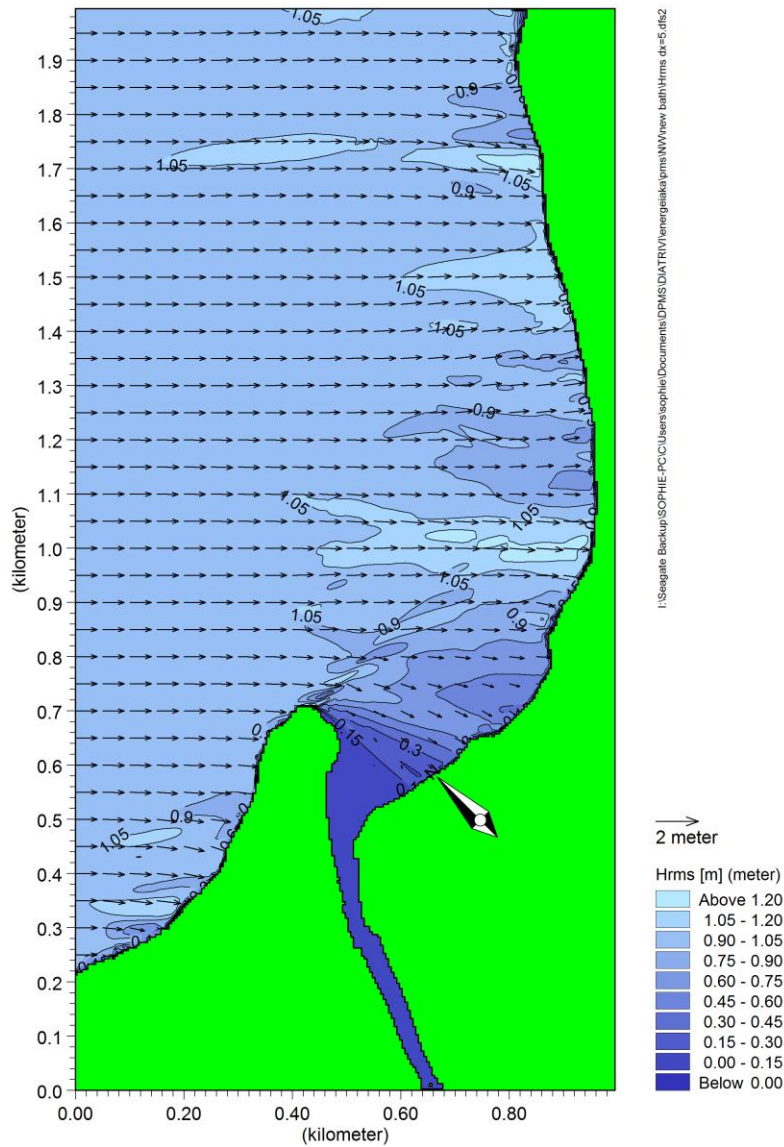
Σχήμα 6.14: Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (H_{rms}) για βορειοανατολικό άνεμο



Σχήμα 6.15: Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (H_{rms}) για βόρειο άνεμο

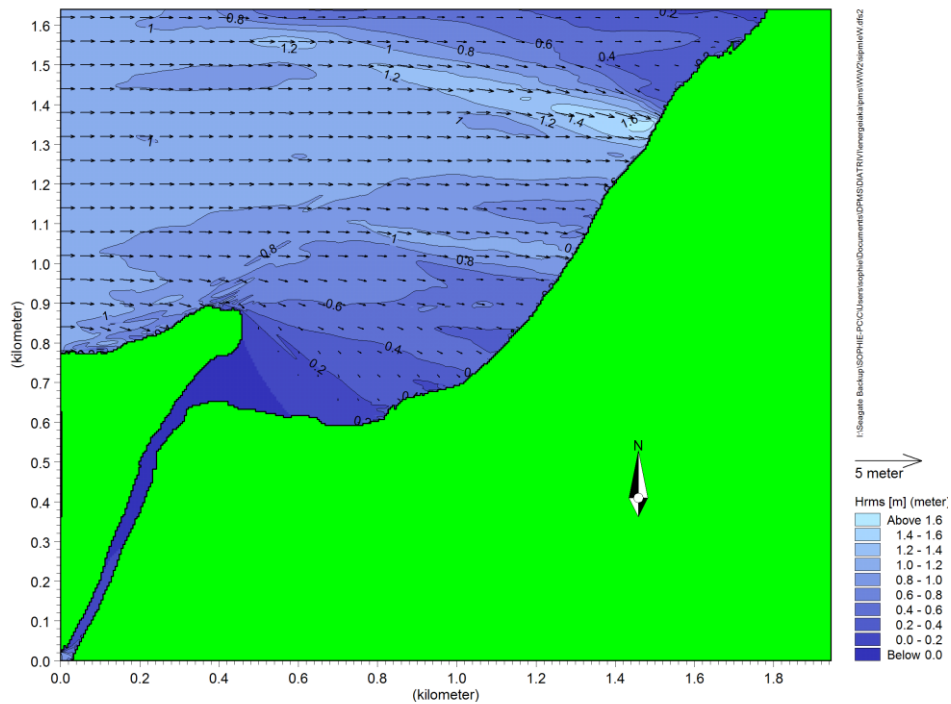
Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 6.15, το ύψος κύματος για τον βόρειο άνεμο, στην περιοχή της εισόδου του Δίαυλου κυμαίνεται μεταξύ 0,06 και 0,3 μέτρα, ενώ στο εσωτερικό του, είναι μηδενικό.

Στην περίπτωση του βορειοδυτικού ανέμου (Σχήμα 6.16) το ύψος κύματος στην περιοχή εισόδου του Δίαυλου έχει αρκετά μεγάλη διακύμανση ενώ στο εσωτερικό είναι ίσο με το μηδέν. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται να παίρνει τιμές από 0,15 έως 1,05 μέτρα, μπροστά από το ακρωτήριο.



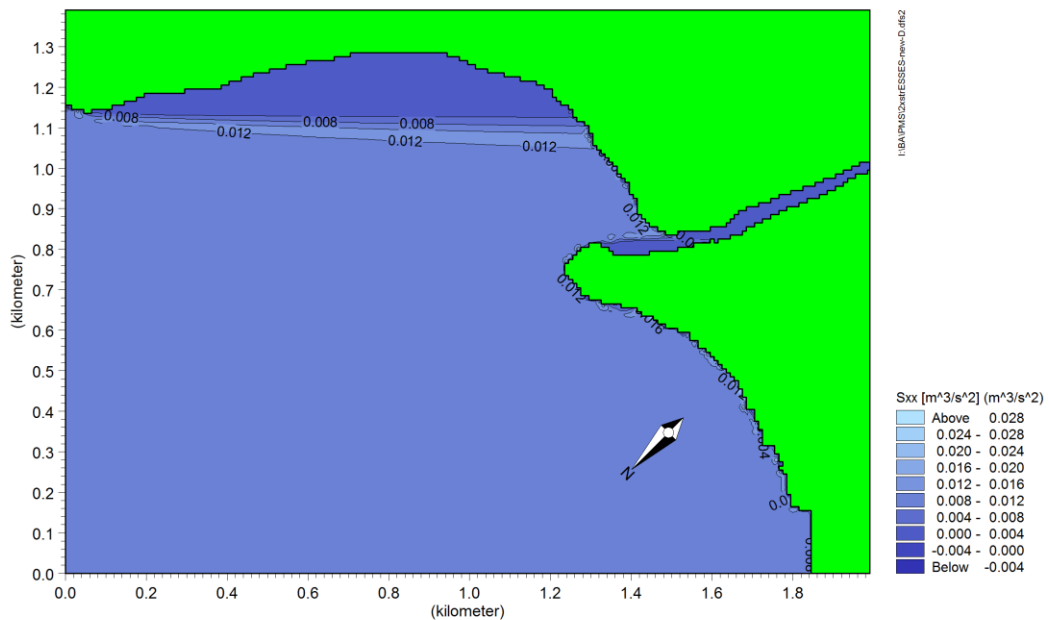
Σχήμα 6.16: Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (Hrms) για βορειοδυτικό άνεμο

Τέλος, στην περίπτωση του δυτικού ανέμου (Σχήμα 6.17), το ύψος κύματος στην περιοχή της εισόδου κυμαίνεται από 0 που είναι και στο εσωτερικό έως 0,4 μέτρα, ενώ μπροστά από το ακρωτήριο η μέγιστη τιμή είναι ίση με 0,8 μέτρα.

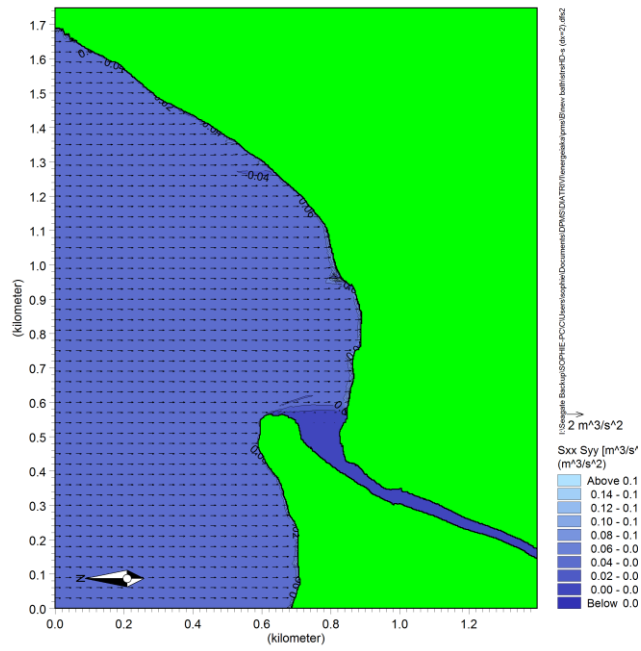


Σχήμα 6.17: Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος (H_{rms}) για δυτικό άνεμο

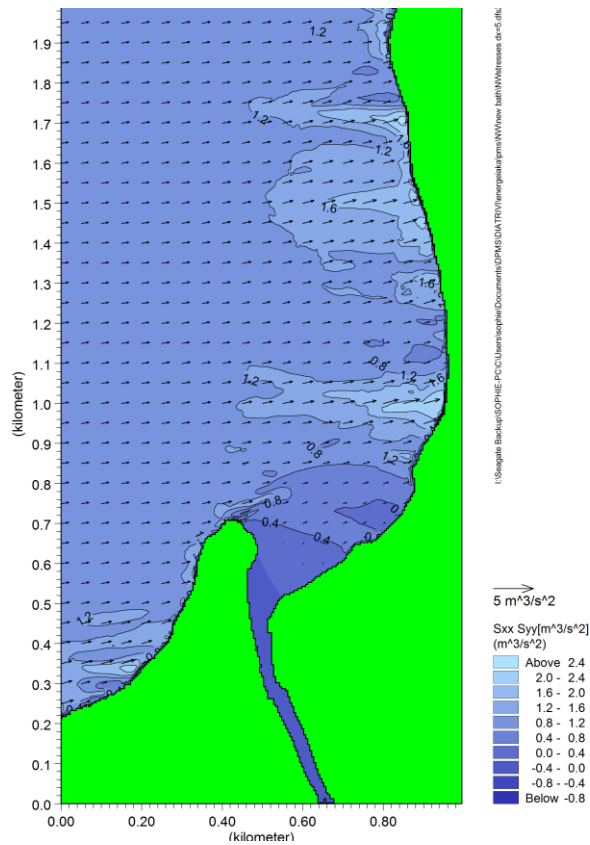
Στη συνέχεια ακολουθούν τα σχήματα 6.18 έως 6.21 στα οποία απεικονίζονται οι τάσεις ακτινοβολίας στην περιοχή μελέτης, για το σενάριο ανέμου που αντιστοιχεί κάθε φορά.



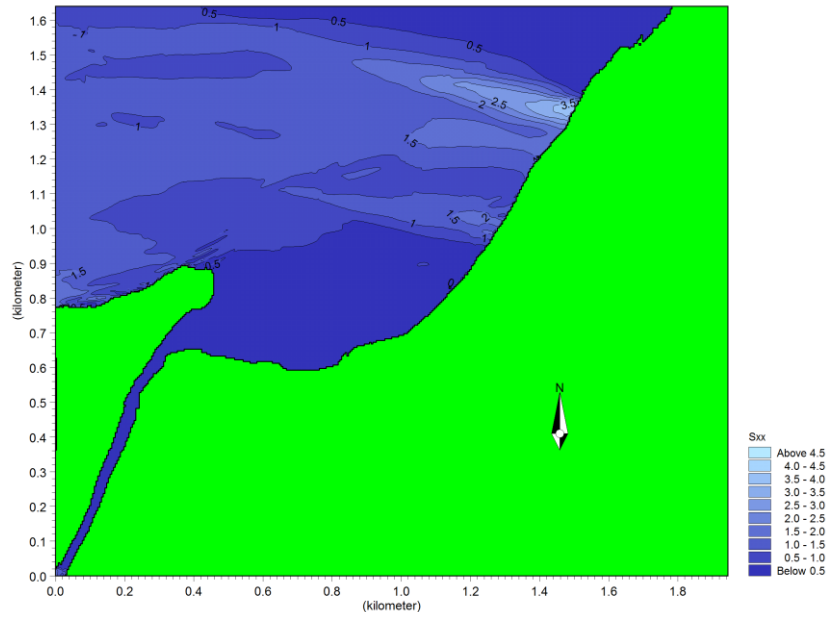
Σχήμα 6.18: Τάσεις ακτινοβολίας για βορειοανατολικό άνεμο



Σχήμα 6.19: Τάσεις ακτινοβολίας για βόρειο άνεμο



Σχήμα 6.20: Τάσεις ακτινοβολίας για βορειοδυτικό άνεμο

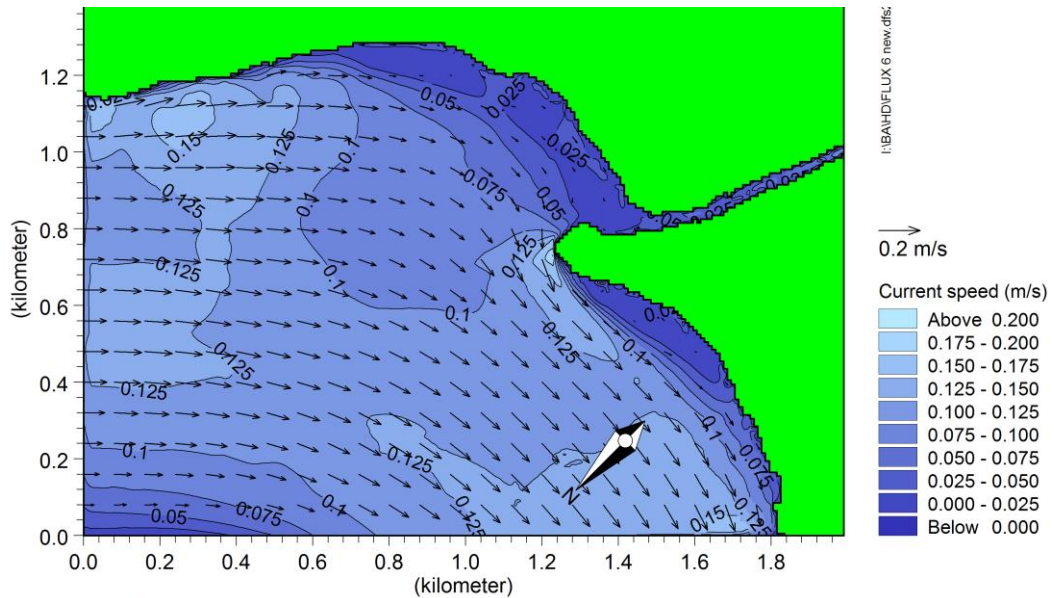


Σχήμα 6.21: Τάσεις ακτινοβολίας για δυτικό άνεμο

6.3.2 Αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου MIKE 21 HD

Στα Σχήματα 6.22 έως 6.25 απεικονίζεται η μορφή και η ταχύτητα του κυματογενούς ρεύματος για κάθε σενάριο ανέμου.

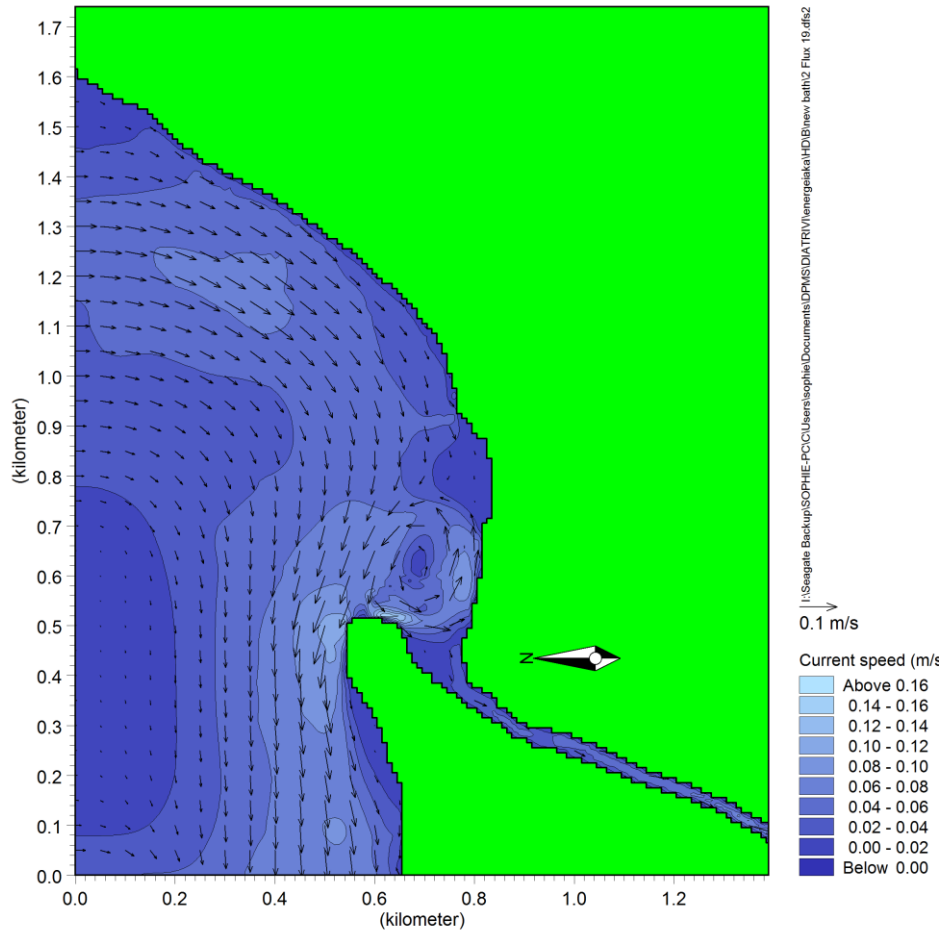
Παρατηρείται ότι για τον βορειοανατολικό άνεμο η τιμή της ταχύτητας του κυματογενούς ρεύματος στην είσοδο του Δίαυλου κυμαίνεται από 0,025 έως 0,05 m/sec, ενώ στο εσωτερικό του, η μέγιστη τιμή που παρατηρείται είναι 0,025 m/sec.



Σχήμα 6.22: Κυματογενές ρεύμα για βορειοανατολικό άνεμο

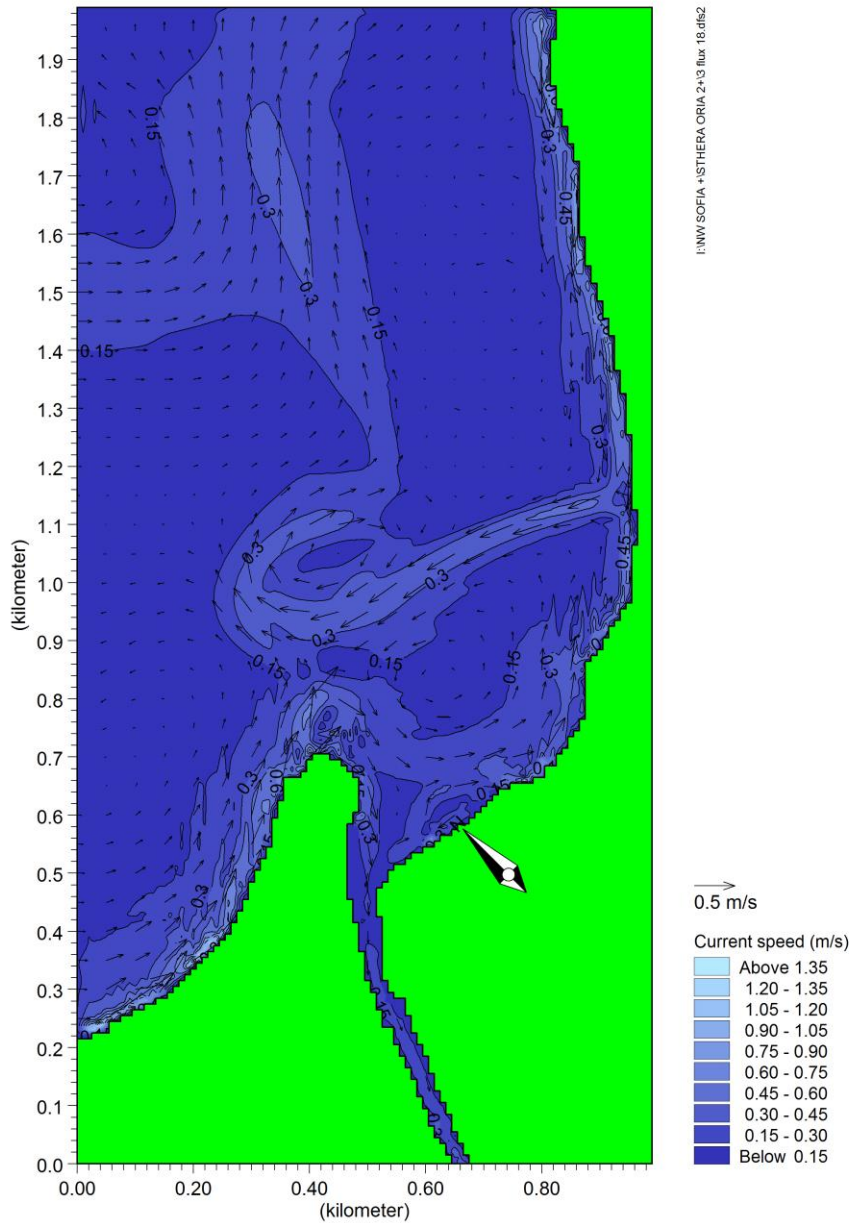
Οι τιμές αυτές είναι ιδιαίτερα μικρές και αναμένεται να μην επηρεάζουν τη δίαιτα των ιζημάτων στην περιοχή.

Στην περίπτωση του βόρειου ανέμου (Σχήμα 6.23), η ταχύτητα του ρεύματος στην περιοχή της εισόδου κυμαίνεται από 0,04 έως 0,16 m/sec, ενώ στο εσωτερικό του η μέγιστη τιμή της ταχύτητας είναι ίση με 0,08 m/sec και η ελάχιστη ίση με 0,04 m/sec. Η φορά του ρεύματος είναι προς το εσωτερικό του Δίαυλου, αν και οι τιμές της ταχύτητας είναι μικρές.



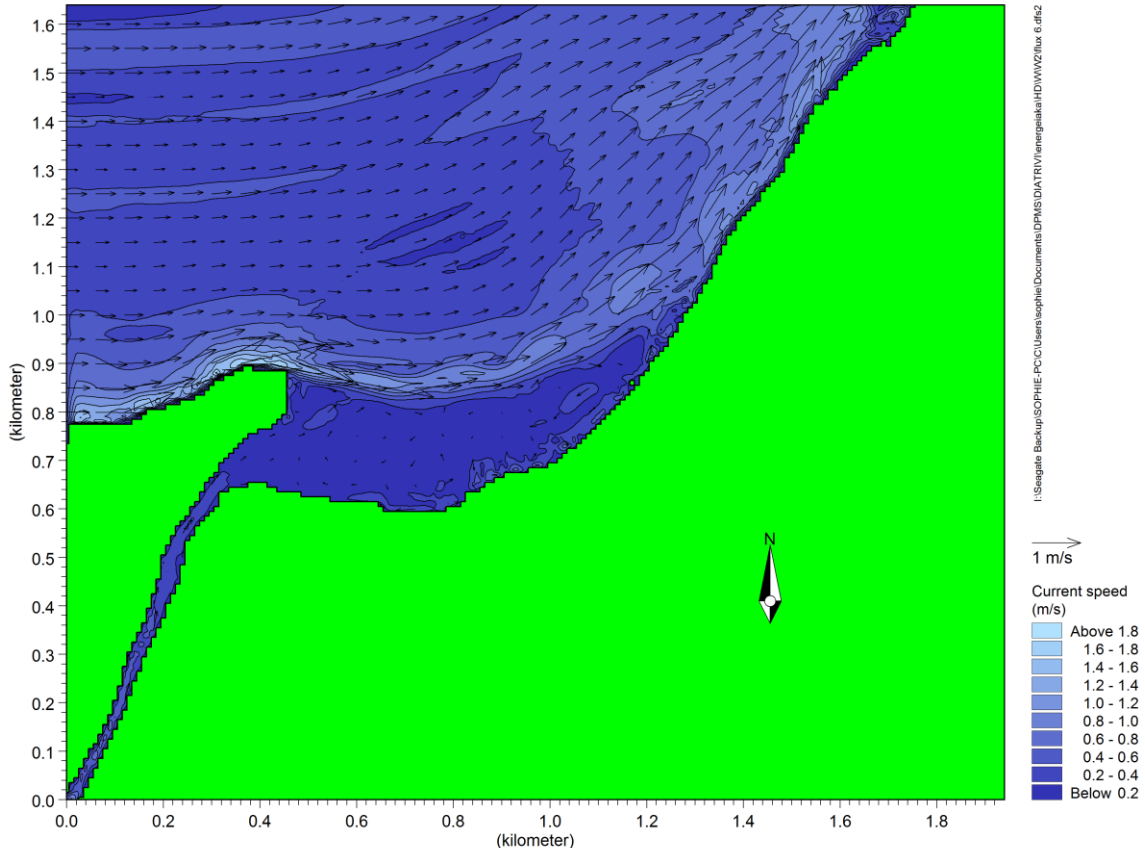
Σχήμα 6.23: Κυματογενές ρεύμα για βόρειο άνεμο

Στο Σχήμα 6.24, παρατηρείται ότι η ταχύτητα του ρεύματος για την περίπτωση του βορειοδυτικού ανέμου, κυμαίνεται από 0 έως 0,3 m/sec τόσο στην είσοδο, όσο και στο εσωτερικό του Δίαυλου. Το ρεύμα παρουσιάζει διεύθυνση από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά, αλλά και προς το εσωτερικό του Δίαυλου, ενώ μεγιστοποιείται μπροστά από το ακρωτήριο.



Σχήμα 6.24: Κυματογενές ρεύμα για βορειοδυτικό άνεμο

Στην περίπτωση του δυτικού ανέμου (Σχήμα 6.25) παρατηρούνται οι μεγαλύτερες ταχύτητες κυματογενούς ρεύματος. Συγκεκριμένα, η ταχύτητα του ρεύματος στην είσοδο του Δίαυλου κυμαίνεται από 0,2 έως 1 m/sec. Μπροστά από το ακρωτήριο παρατηρείται η δημιουργία έντονου κυματογενούς ρεύματος με φορά προς τα ανατολικά, του οποίου η ταχύτητα φτάνει ως και 1,6 m/sec. Στο εσωτερικό του Δίαυλου ωστόσο, η μέγιστη τιμή που παρατηρείται είναι 0,6 m/sec.



Σχήμα 6.25: Κυματογενές ρεύμα για δυτικό άνεμο

6.3.3 Αποτελέσματα μοντέλου στερεομεταφοράς MIKE 21 ST

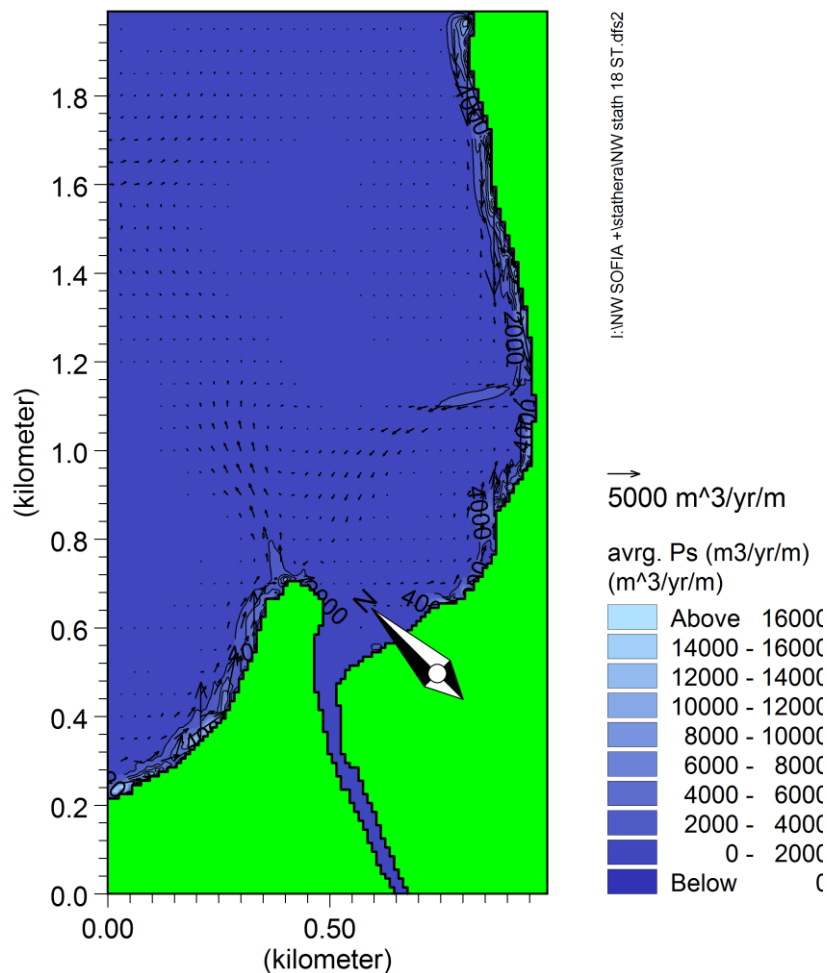
Στην ενότητα αυτή παραθέτονται τα αποτελέσματα του μοντέλου στερεομεταφοράς. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται δύο τύποι σχημάτων. Το ένα απεικονίζει την στερεοπαροχή στην περιοχή μελέτης, ενώ το άλλο το ρυθμό μεταβολής του βάθους του πυθμένα. Ωστόσο, ειδικά το δεύτερο σχήμα, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μόνο ποιοτικά. Τα ποσοτικά δεδομένα αυτού του αρχείου, συχνά δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές τιμές. Αυτό συμβαίνει για διάφορους λόγους. Ένας από τους σημαντικότερους, είναι ότι το μοντέλο στερεομεταφοράς θεωρεί ότι υπάρχει άπειρη ποσότητα ιζήματος στην περιοχή καθώς και άπειρο πάχος πυθμένα. Άλλος ένας λόγος είναι ότι το μοντέλο δεν θεωρεί ότι υπάρχει καμία αλληλεπίδραση έξω από τα όρια της περιοχής μελέτης. Τέλος, επισημαίνεται πως στο μοντέλο θεωρείται ότι δεν υπάρχει ανάδραση στο ρυθμό μεταβολής εξαιτίας των κυμάτων και των ρευμάτων, όπως συμβαίνει στη φύση. Για τους παραπάνω λόγους τα

αποτελέσματα αποτελούν μια πρώτη προσέγγιση της τάξης μεγέθους της στερεοπαροχής και κυρίως μια ένδειξη για τις πιθανές περιοχές διάβρωσης και απόθεσης ιζημάτων.

Στα Σχήματα 6.26 έως 6.29 απεικονίζεται η μέση ετήσια στερεοπαροχή ανά διατομή στην περιοχή μελέτης σε $\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$.

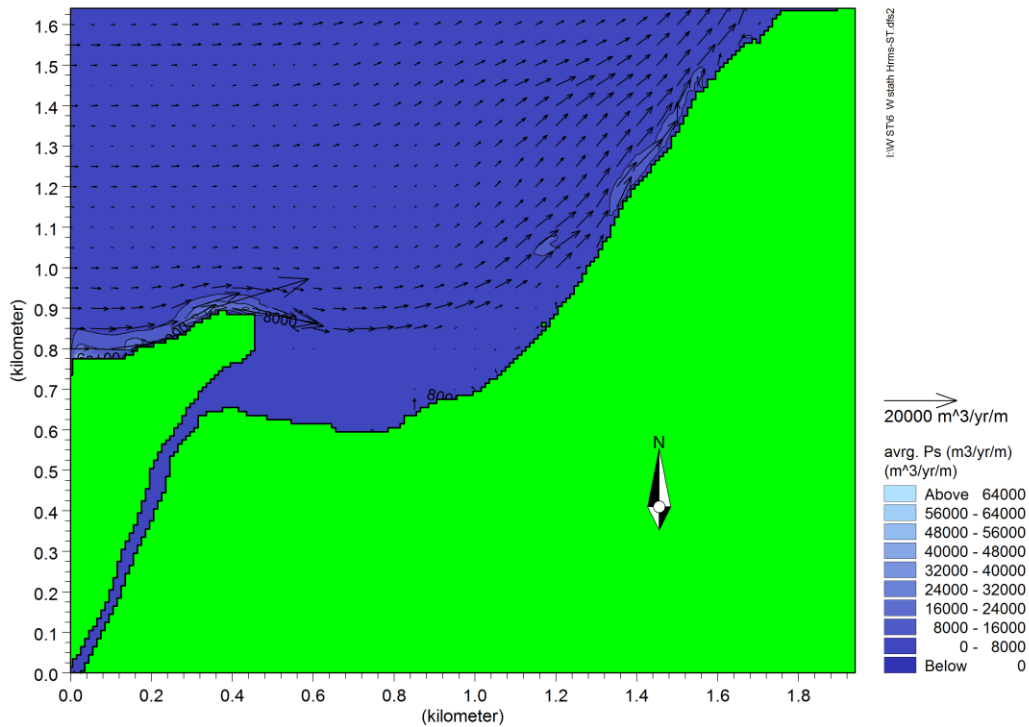
Η σημαντικότερη στερεομεταφορά φαίνεται να πραγματοποιείται στην περιοχή για τον βορειοδυτικό και δυτικό άνεμο, καθώς έχουν και τη μεγαλύτερη ένταση.

Στην περίπτωση του βορειοδυτικού ανέμου (Σχήμα 6.26), η μέγιστη στερεοπαροχή παρατηρείται μπροστά από το ακρωτήριο και είναι ίση με $5000 \text{ m}^3/\text{yr}/\text{m}$. Ακόμα, τα βελάκια δείχνουν τη φορά κίνησης των ιζημάτων, που εδώ είναι από τα νοτιοδυτικά προς τα βορειοανατολικά αλλά και προς τα ανοιχτά. Τέλος, παρατηρείται ότι στο εσωτερικό του Δίαυλου υπάρχει πολύ μικρή έως μηδενική στερεοπαροχή.



Σχήμα 6.26: Μέση ετήσια στερεοπαροχή για βορειοδυτικό άνεμο

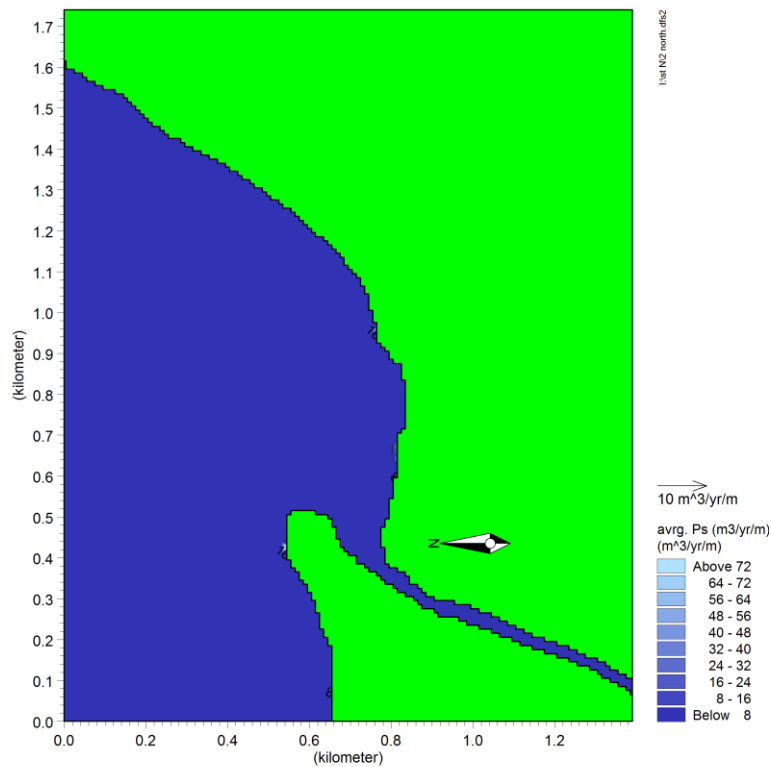
Στο Σχήμα 6.27 παρουσιάζεται η στερεοπαροχή για τον δυτικό άνεμο. Στην περίπτωση αυτή στην ευρύτερη περιοχή παρατηρείται μέση ετήσια στερεοπαροχή έως $16000 \text{ m}^3/\text{yr}/\text{m}$. Ωστόσο, τόσο στην είσοδο, όσο και στο εσωτερικό οι τιμές αυτή γίνεται περίπου μισή και ειδικότερα φτάνει έως $8000 \text{ m}^3/\text{yr}/\text{m}$. Η κίνηση των ιζημάτων στην περίπτωση αυτή έχει φορά προς τα ανατολικά, όπως άλλωστε και το κυματογενές ρεύμα. Γενικά, η στερεοπαροχή ακολουθεί τη μορφή του κυματογενούς ρεύματος.



Σχήμα 6.27: Μέση ετήσια στερεοπαροχή για δυτικό άνεμο

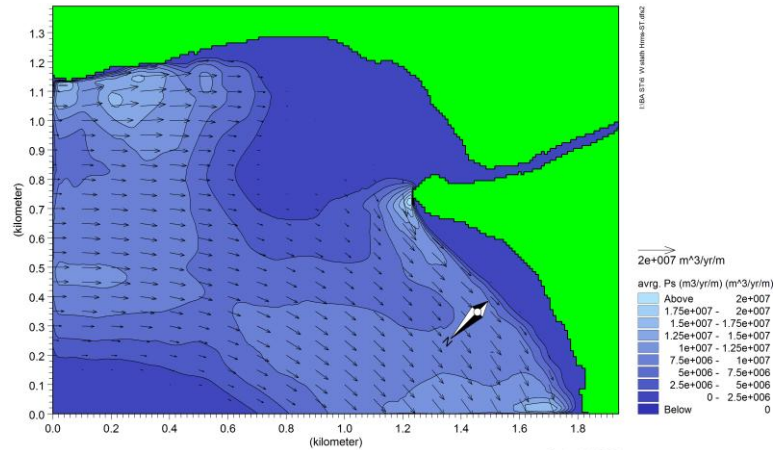
Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα αποτελέσματα του κεφαλαίου 5, τόσο ως προς την τάξη μεγέθους, όσο και προς την φορά της στερεοπαροχής.

Στο Σχήμα 6.28 παρουσιάζεται η μέση ετήσια στερεοπαροχή για τον βόρειο άνεμο. Παρατηρείται ότι για τον άνεμο αυτό, η στερεοπαροχή είναι σχεδόν μηδενική στην ευρύτερη περιοχή. Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς ο βόρειος άνεμος είναι κάθετος στην ακτογραμμή, με αποτέλεσμα να μην προκαλεί ρεύμα κατά μήκος της ακτής, το οποίο είναι υπαίτιο για την στερεομεταφορά. Είναι εξάλλου γνωστό ότι η στερεομεταφορά ,μεγιστοποιείται για γωνία πρόσπτωσης κυματισμών στην ακτογραμμή περίπου ίση με 45° .



Σχήμα 6.28: Μέση ετήσια στερεοπαροχή για βόρειο άνεμο

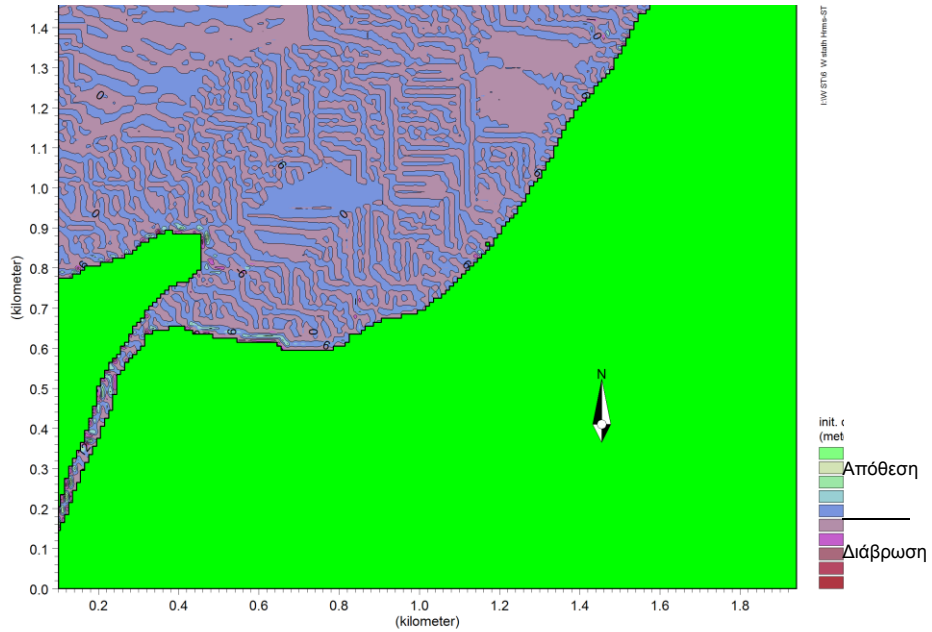
Στο Σχήμα 6.29 παρουσιάζεται η περίπτωση του βορειανατολικού ανέμου. Εξαιτίας του πολύ μικρού αναπτύγματος πελάγους (fetch), οι τιμές των κυματισμών στα βαθιά νερά που προέκυψαν στην περίπτωση αυτή ήταν ιδιαίτερα μικρές ($H_{m0}=0,19$ m). Για τον λόγο αυτό οι τάσεις ακτινοβολίας είχαν ιδιαίτερα μικρές τιμές, και άρα και το κυματογενές ρεύμα, όπως παρατηρήθηκε παραπάνω. Σαν αποτέλεσμα αυτών, οι τιμές της μέσης ετήσιας στερεοπαροχής είναι σχεδόν μηδενικές και ιδιαίτερα στην είσοδο και το εσωτερικό του Δίαυλου. Τόσο στην περίπτωση του βόρειου όσο και του βορειοανατολικού ανέμου, ο έλεγχος έναρξης κίνησης ιζήματος έδειξε ότι η στερεομεταφορά είναι αμελητέα (κεφάλαιο 5.2). Συνεπώς, η στερεομεταφορά στην περιοχή καθορίζεται από τον βορειοδυτικό και τον δυτικό άνεμο.



Σχήμα 6.29: Μέση ετήσια στερεοπαροχή για βορειοανατολικό άνεμο

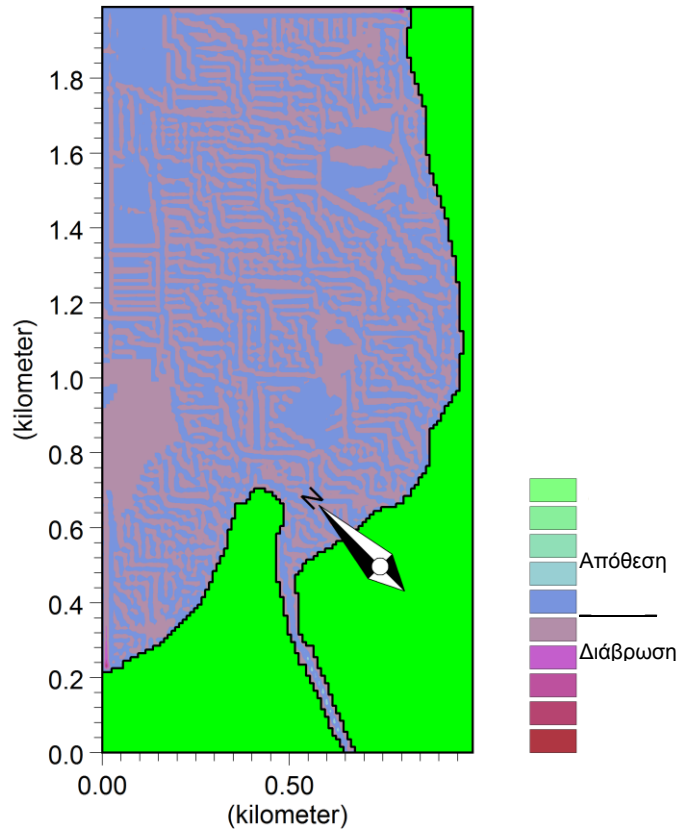
Στα Σχήματα 6.30 και 6.31 που ακολουθούν γίνεται μια ποιοτική αναπαράσταση του ρυθμού μεταβολής του βάθους στην περιοχή μελέτης.

Στο Σχήμα 6.30 απεικονίζεται ποιοτικά ο ρυθμός μεταβολής του βάθους του πυθμένα, για δυτικό άνεμο. Παρατηρείται με γαλάζιο χρώμα, μια περιοχή έντονων αποθέσεων μπροστά από την είσοδο του Δίαλου.



Σχήμα 6.30: Ρυθμός μεταβολής βάθους για δυτικό άνεμο

Στο Σχήμα 6.31 απεικονίζεται ο ρυθμός μεταβολής του πυθμένα για την περίπτωση του βορειοδυτικού ανέμου, που όπως επισημάνθηκε προκαλεί σημαντική στερεομεταφορά. Με ροζ χρώμα επισημαίνονται οι πιθανές θέσεις διάβρωσης και με γαλάζιο οι πιθανές θέσεις απόθεσης. Παρατηρείται μια περιοχή κυρίως αποθέσεων μπροστά από το ακρωτήριο.



Σχήμα 6.31: Ρυθμός μεταβολής βάθους για βορειοδυτικό άνεμο

Ο ρυθμός μεταβολής του πυθμένα για την περίπτωση του βόρειου ανέμου, όπως αναμένονταν ο ρυθμός αυτός είναι μηδενικός.

Συμπερασματικά, υπάρχει η τάση μεταφοράς ιζημάτων από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά και απόθεσής τους στην περιοχή της Αμμόγλωσσας μπροστά από το στόμιο του Δίαυλου. Η συνολική παροχή στερεομεταφοράς από το δυτικό και βορειοδυτικό άνεμο είναι ίση με $13.000 \text{ m}^3/\text{yr}$. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με το πρόγραμμα MIKE 21 φαίνεται λοιπόν να συμφωνούν με τη μορφολογία της περιοχής αλλά και με τις εκτιμήσεις της στερεομεταφοράς στο κεφάλαιο 5.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία για το Δίαυλο της Λευκάδας, αναφορικά με την υφιστάμενη κατάσταση, το κυματικό κλίμα και τις υδροδυναμικές συνθήκες στη βόρεια είσοδο, τη λειτουργικότητα αλλά και μεταφορά ιζημάτων και τη μεταβολή του βάθους. Τέλος, γίνονται κάποιες προτάσεις για τη βελτίωση των συνθηκών ναυσιπλοΐας και την ανάδειξη του Δίαυλου από τουριστικής άποψης.

7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο Δίαυλος της Λευκάδας αποτελεί ανέκαθεν αναπόσπαστο κομμάτι ανάπτυξης του νησιού. Από την αρχαιότητα ακόμα, η ύπαρξη του Δίαυλου αποτέλεσε κέντρο της κοινωνικής και οικονομικής ζωής της Λευκάδας και συντέλεσε στην εμπορική ανάπτυξη του νησιού. Η κατασκευή και η ολοκλήρωση του στις αρχές του περασμένου αιώνα βοήθησε την αύξηση των εσόδων του αλλά και την εξαγωγή προϊόντων όπως το ελαιόλαδο και το κρασί.

Στη σύγχρονη εποχή, ο Δίαυλος της Λευκάδας αποτελεί μαζί με τη μαρίνα σκαφών αναψυχής τη βάση του θαλάσσιου τουρισμού, ο οποίος βασίζεται κυρίως στην προσέλκυση τουριστικών σκαφών. Ακόμα, ο Δίαυλος αποτελεί την μοναδική πρόσβαση για την μαρίνα τουριστικών σκαφών που λειτουργεί στην πρωτεύουσα του νησιού.

Σύμφωνα με το Λιμεναρχείο Λευκάδας, ο Δίαυλος θεωρείται επίσημα κλειστός διότι δεν είναι πλήρως σημαινόμενος κατά τη διάρκεια της νύχτας και η διέλευση γίνεται αποκλειστικά με ευθύνη των κυβερνητών των σκαφών. Ακόμα, επισημαίνεται, ότι για μεγάλα σκάφη ο διάπλους δεν είναι εύκολος, εξαιτίας των προσαμμώσεων σε κάποια σημεία του.

7.1.1 Συμπεράσματα για το κυματικό κλίμα και τις υδροδυναμικές συνθήκες.

Όπως παρουσιάστηκε στα παραπάνω κεφάλαια η βόρεια είσοδος του Δίαυλου, πλήττεται κυρίως από δυτικούς και βορειοδυτικούς ανέμους. Για τους ανέμους αυτούς παρατηρούνται και οι μεγαλύτερες τιμές ύψους κυμάτων καθώς και ταχύτητας ρευμάτων.

Ειδικότερα, για το σύνολο των ανέμων (W, NW, N, NE) που επηρεάζουν την περιοχή μελέτης το ύψος κύματος στην είσοδο του Δίαυλου κυμαίνεται από 0 έως 1,50 μέτρο, ενώ στο εσωτερικό η μέγιστη τιμή που παρατηρείται είναι 0,25 μέτρα. Το μεγαλύτερο ύψος κύματος παρατηρείται για το βορειοδυτικό άνεμο που είναι και ο κυρίαρχος στην περιοχή, λόγω της μορφολογίας και του προσανατολισμού. Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται ακριβώς μπροστά από το ακρωτήριο και την περιοχή της Αμμόγλωσσας. Η παρουσία της Αμμόγλωσσας δημιουργεί μια υδροδυναμική σκιά στο εσωτερικό του Δίαυλου με αποτέλεσμα τα νερά στο εσωτερικό του Δίαυλου να βρίσκονται σε σχετική ηρεμία (το ύψος κύματος στο εσωτερικό είναι αμελητέο).

Η ταχύτητα του ρεύματος στην είσοδο του Δίαυλου παρουσιάζει μια διακύμανση από 0,12 m/sec έως 0,8 m/sec. Η μεγαλύτερη ταχύτητα παρουσιάζεται για τον βορειοδυτικό και τον δυτικό άνεμο. Το ρεύμα στην περίπτωση αυτή έχει κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Στο εσωτερικό του Δίαυλου η μέγιστη τιμή ταχύτητας ρεύματος που παρατηρείται είναι 0,2 m/sec και εμφανίζεται στην περίπτωση του βόρειου ανέμου, εξαιτίας της χάραξης και του προσανατολισμού του Δίαυλου. Το ρεύμα στην περίπτωση αυτή είναι κατά μήκος του Δίαυλου με φορά προς το εσωτερικό του. Για τις ταχύτητες αυτές, το ρεύμα στην περιοχή της εισόδου μπορεί να χαρακτηριστεί σε κάθε περίπτωση ασθενές έως ήπιο.

Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο επάρκειας των διαστάσεων του Δίαυλου. Μετά τον έλεγχο, προέκυψε ότι οι διατάσεις κρίνονται επαρκείς ακόμα και με τις δυσμενέστερες καιρικές συνθήκες για τα τουριστικά σκάφη, βυθίσματος από 1,5 έως 3 μέτρα και πλάτους έως 5 μέτρων, που συνήθως πλέουν στην περιοχή. Ειδικότερα, για αυτήν την κατηγορία σκαφών, ο Δίαυλος κρίνεται επαρκής ακόμα και για να λειτουργεί ταυτόχρονα και ως διπλής κατεύθυνσης.

Παρατηρήθηκε ωστόσο ανεπάρκεια του ωφέλιμου πλάτους του Δίαυλου, για την εξυπηρέτηση σκαφών πλάτους μεγαλύτερου ή ίσου των 10 μέτρων. Για την υπερπήδηση του προβλήματος αυτού αλλά και την αναβάθμιση του επιπέδου εξυπηρέτησης του Δίαυλου, προτείνεται η διαπλάτυνσή του. Επισημαίνεται ακόμα ότι, κατά τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών, έγινε προσπάθεια να αντανakλούνται ακόμα οι πιο ακραίες πιθανές συνθήκες της θάλασσας.

Το βάθος του Δίαυλου, διαπιστώθηκε ότι δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να είναι μικρότερο των 2,5 μέτρων στην περίπτωση που προβλέπεται η χρήση του μόνο από μικρά τουριστικά σκάφη βυθίσματος από 1,5 έως 2 μέτρα και μέγιστου πλάτους 5 μέτρων. Στην περίπτωση της χρήσης του Δίαυλου από σκάφη με βύθισμα έως 4,5 μέτρα και πλάτος έως 10 μέτρα, το βάθος του Δίαυλου εκτιμήθηκε ότι θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 μέτρα. Τέλος, για τις δεδομένες υδροδυναμικές συνθήκες και τη σύνθεση κυκλοφορίας του Δίαυλου είναι σημαντικό το βάθος του Δίαυλου στο βόρειο άκρο να διατηρείται σταθερό και ίσο με 6 μέτρα, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ο ασφαλής και άνετος διάπλους.

7.1.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων στερεομεταφοράς & εξαγωγή συμπερασμάτων

Σημαντική παράμετρο για τη λειτουργικότητα του Δίαυλου και τις συνθήκες ναυσιπλοΐας εκεί αποτελεί η δίαιτα των ιζημάτων στην περιοχή και οι περιοχές απόθεσής τους. Η περιοχή διαθέτει πλούσιο παράκτιο φορτίο, και συγκεκριμένα αδρόκοκκη άμμο. Αυτό προκύπτει τόσο από τα γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής, όσο και από τα ιστορικά στοιχεία. Ακόμα και πριν την κατασκευή του Δίαυλου στην περιοχή υπήρχε αβαθής λιμνοθάλασσα καθώς και πλήθος από ξέρες. Ιστορικά, καταγράφεται πρόβλημα προσάμμωσης του Δίαυλου και ειδικά του βόρειου στομίου. Οι αποθέσεις ιζημάτων στην περιοχή του Δίαυλου εμπόδιζαν την είσοδο σε αυτόν. Όπως παρουσιάστηκε και στην ενότητα 5.4 έγιναν και στο παρελθόν προσπάθειες επίλυσης του προβλήματος αυτού με τη διενέργεια βυθοκορήσεων στην περιοχή της Αμμόγλωσσας, αλλά και εκβάθυσής του.

Ο υπολογισμός της παροχής της στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής υπολογίστηκε τόσο μέσω εμπειρικών σχέσεων όσο και έπειτα από προσομοίωση με το μοντέλο στερεομεταφοράς ST του προγράμματος MIKE 21. Ακόμα, συλλέχθηκαν στοιχεία από παλαιότερες μελέτες αλλά και τη σύγκριση χαρτών, με στόχο την αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων, αλλά και τον εντοπισμό των πιθανών θέσεων απόθεσης ιζημάτων. Από τη σύγκριση όλων των παραπάνω δεδομένων προέκυψε ότι τόσο το μοντέλο στερεομεταφοράς του προγράμματος MIKE 21 όσο και οι υπόλοιπες μέθοδοι έδωσαν μια ρεαλιστική εκτίμηση της παροχής στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής, αλλά και της μεταβολής της μορφολογίας της περιοχής

Κύρια περιοχή ενδιαφέροντος για την κίνηση των ιζημάτων αποτελεί η βόρεια είσοδος του Δίαυλου και συγκεκριμένα το σημείο της Αμμόγλωσσας, που ιστορικά έχει την τάση να επεκτείνεται. Δεδομένου του προσανατολισμού της περιοχής και συνυπολογίζοντας το γεγονός ότι η στερεομεταφορά μεγιστοποιείται για κυματισμούς που σχηματίζουν γωνία 45° με το μέτωπο της ακτής, αναμένονταν ο βορειοδυτικός άνεμος να καθορίζει την τάξη μεγέθους και τη διεύθυνση της στερεομεταφοράς στην περιοχή αυτή. Σημειώνεται εδώ ότι άλλες περιοχές που παρουσιάζουν πρόβλημα προσάμμωσης εμφανίζονται να είναι το βόρειο άκρο του υφιστάμενου λιμενοβραχίονα, η ακτή ανατολικά του κάστρου της Αγίας Μαύρας και η δυτική όχθη του Δίαυλου.

Πράγματι, από την υδροδυναμική προσομοίωση προέκυψε ότι ο βορειοδυτικός αλλά και ο δυτικός άνεμος συντελούν στη δημιουργία κυματογενούς ρεύματος με κατεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά, που συμβάλει στην στερεομεταφορά. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται τόσο από τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, και την εξέλιξη της ακτογραμμής αλλά και από παλαιότερες μελέτες. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με το πρόγραμμα MIKE 21 για τους ανέμους αυτούς, έδειξαν ότι η στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής έχει σαφώς διεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Ακόμα, μετά την προσομοίωση προέκυψε ως πιθανή θέση απόθεσης ιζήματος, η περιοχή βορειοανατολικά του ακρωτηρίου, δηλαδή στην ευρύτερη περιοχή μπροστά από την Αμμόγλωσσα.

Όσον αφορά στη τάξη μεγέθους της παροχής στερεομεταφοράς, ο προσδιορισμός μιας τιμής είναι αρκετά γενικά δύσκολος. Στο βόρειο στόμιο του Δίαυλου, προέκυψε έπειτα από την προσομοίωση για τον βορειοδυτικό άνεμο ότι, είναι περίπου $5.000 \text{ m}^3/\text{yr}$ ενώ για τον

δυτικό ανέρχεται ως 8.000 m³/yr. Οι άλλοι δύο άνεμοι που εξετάστηκαν φαίνεται να μην προκαλούν στερεομεταφορά, όπως αναμένονταν. Συνεπώς, η ολική στερεομεταφορά στην περιοχή, σύμφωνα με το μοντέλο ST είναι περίπου 13.000 m³/yr. Παρατηρείται λοιπόν συμφωνία των αποτελεσμάτων του προγράμματος MIKE 21 και των υπόλοιπων στοιχείων και αποτελεσμάτων, αναφορικά με την μορφή αλλά και την τάξη μεγέθους της στερεομεταφοράς.

Η στερεοπαροχή κατά μήκος της ακτής, σύμφωνα με τη μέθοδο CERC εκτιμήθηκε να είναι περίπου 11.000 m³/yr. Τέλος, άλλες μελέτες εκτιμούν τη στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής να κυμαίνεται από 10.000 έως 15.000 m³/y. Συνεπώς, κάθε μέθοδος που εξετάστηκε δίνει αποτελέσματα ίδιας τάξης μεγέθους, τα οποία είναι σε συμφωνία με την υφιστάμενη κατάσταση και την ιστορική εξέλιξη της μορφολογίας της περιοχής.

Συμπερασματικά, υπάρχει πρόβλημα προσάμμωσης του βόρειου στομίου του Δίαυλου και τάση επέκτασης της Αμμόγλωσσας, ενώ η στερεομεταφορά κυμαίνεται από 10.000 έως 20.000 m³/yr. Συνεπώς κρίνεται αναγκαία η λήψη κάποιων μέτρων με στόχο τη βελτίωση της παρούσας κατάστασης και την αποφυγή μελλοντικών προβλημάτων.

7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - ΜΕΤΡΑ

Στο πλαίσιο της βελτίωσης των συνθηκών εισόδου στον Δίαυλο, αλλά και του επιπέδου εξυπηρέτησης με στόχο την τουριστική ανάπτυξη, στην ενότητα αυτή γίνονται προτάσεις προς την κατεύθυνση αυτή. Οι προτάσεις αυτές γίνονται με γνώμονα τη διατήρηση της φυσιογνωμίας του τοπίου αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος και της αισθητικής του.

Επισημαίνεται εδώ ότι η περιφέρεια Ιόνιων Νησιών έχει εγκρίνει από το 2009 το έργο με τίτλο: «Μελέτη Διαπλάτυνσης Διαύλου Λευκάδας». Η μελέτη του έργου αυτού έχει εκπονηθεί από την τεχνική εταιρεία MAPNET ATE, η οποία παλαιότερα είχε μελετήσει και την κατασκευή της μαρίνας τουριστικών σκαφών.

Το βάθος του Δίαυλου αποτελεί σημαντική λειτουργική παράμετρο του έργου. Από τη διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι ένα ικανοποιητικό βάθος για τη διασφάλιση ενός ασφαλούς και άνετου διάπλου, είναι 6 μέτρα. Το βάθος αυτό αφορά σε πλοία βυθίσματος ακόμα και 5 μέτρων και αντίστοιχου πλάτους 10 μέτρων. Οι διαστάσεις αυτές αντικατοπτρίζουν ακόμα και μικρά κρουαζιερόπλοια. Τα κρουαζιερόπλοια αυτά δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από τη μαρίνα σκαφών αναψυχής, στην οποία ελλιμενίζονται πλοία μέγιστου βυθίσματος 4 μέτρων. Υπάρχει ωστόσο η πιθανότητα να επιθυμούν να διαπλεύσουν το Δίαυλο.

Σήμερα το βάθος του Δίαυλου δεν είναι σταθερό και κυμαίνεται, σύμφωνα με το Λιμεναρχείο, από 4,5 έως 6 μέτρα. Για την επίτευξη σταθερού βάθους στον Δίαυλο ίσο με 6 μέτρα, απαιτείται η διενέργεια βυθοκορήσεων στην περιοχή του βόρειου στομίου αλλά και όπου κρίνεται αναγκαίο στο εσωτερικό του Δίαυλου. Τα ιζήματα από τη βυθοκορήση

μπορούν να χρησιμοποιηθούν αν κριθούν κατάλληλα για την αναπλήρωση ακτών στη δυτική πλευρά του νησιού, όπου παρουσιάζονται προβλήματα διάβρωσης.

Το κρισιμότερο ίσως μέγεθος για την ασφαλή διέλευση σκαφών σε κανάλια, αποτελεί το ωφέλιμο πλάτος. Όπως αναλύθηκε και στην ενότητα 6.2.2 για πλοίο σχεδιασμού πλάτους 10 μέτρων και τις δεδομένες υδροδυναμικές συνθήκες, απαιτείται ωφέλιμο πλάτος στην είσοδο του Δίαυλου ίσο με 78 μέτρα και 55 μέτρα στο εσωτερικό. Για την εξασφάλιση των διαστάσεων αυτών προτείνεται η διαπλάτυνση του Δίαυλου, στο βόρειο τμήμα, το οποίο μελετήθηκε.



Σχήμα 7.1: Προτεινόμενη διαπλάτυνση Δίαυλου Λευκάδας

Ειδικότερα, προτείνεται η εκσκαφή της περιοχής της Αμμόγλωσσας, έτσι ώστε να αυξηθεί το ωφέλιμο πλάτος στην είσοδο και να καταστούν πιο εύκολοι οι ελιγμοί. Στη συγκεκριμένη θέση, προτείνεται η διαπλάτυνση του Δίαυλου έως 78 μέτρα, έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν ακόμα και μικρά κρουαζιερόπλοια. Στο εσωτερικό του Δίαυλου προέκυψε ότι το απαιτούμενο ωφέλιμο πλάτος είναι ίσο με 55 μέτρα. Ωστόσο, ο στόχος αυτός δεν είναι εφικτός σε όλο το μήκος του έργου. Στην περιοχή του κάστρου της Αγίας Μαύρας υπάρχει μια στένωση η οποία σε συνδυασμό με τη ύπαρξη παλαιών κρηπιδωμάτων και άλλων μνημείων δεν επιτρέπει τη διαπλάτυνση περισσότερο από 42 μέτρα. Το πλάτος αυτό επιτρέπει την ασφαλή διέλευση, ακόμα και στις δυσμενέστερες καιρικές συνθήκες σε πλοία πλάτους 8 μέτρων και βυθίσματος 3,9 μέτρων. Για πλοία πλάτους 8 μέτρων απαιτείται ωφέλιμο πλάτος Δίαυλου ίσο με 60 μέτρα. Επισημαίνεται ωστόσο, ότι με την μείωση της ταχύτητας των πλοίων είναι εφικτός ο διάπλους και από πλοία μεγαλύτερων διαστάσεων. Στο Σχήμα 7.1 παρουσιάζεται το πλάτος του Δίαυλου μετά τη διαπλάτυνση που προτείνεται.

Δεδομένης της υψηλής σεισμικής ενέργειας στην περιοχή αλλά και του αμμώδους υλικού, προτείνεται η υποστήριξη των πρανών έτσι ώστε να αποφευχθούν πιθανές

ρευστοποιήσεις, ή καθιζήσεις. Ένα τέτοιο συμβάν, πέρα από άλλα προβλήματα θα οδηγούσε και σε μείωση του ωφέλιμου πλάτους. Ειδικότερα, στην περιοχή του κάστρου είναι πιθανό να απαιτείται αντιστήριξη του υλικού του πυθμένα, έτσι ώστε να προστατεύονται και οι υποθαλάσσιες αρχαιότητες στην περιοχή. Τονίζεται εδώ ότι κατόπιν της περιοχής μελέτης (νότια της πλωτής γέφυρας) και πριν την πόλη της Λευκάδας απαγορεύεται η κατασκευή οποιουδήποτε έργου από την Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων.

Σημαντικό έλλειμμα, αναφορικά με τη λειτουργία του Δίαυλου είναι η απουσία φωτισμού, έτσι ώστε να είναι εύκολα προσπελάσιμος και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η απουσία αυτή, είναι εξάλλου, υπαίτια, σύμφωνα με το Λιμεναρχείο, και για το γεγονός ότι ο Δίαυλος θεωρείται επίσημα κλειστός. Προτείνεται λοιπόν η πλήρης σήμανση και ο φωτισμός του Δίαυλου έτσι ώστε να θεωρείται επίσημα ανοιχτός.

Τέλος, εξαιτίας της ύπαρξης μεγάλου όγκου ιζημάτων στην περιοχή αλλά και της τάσης προσάμμωσης του βόρειου στομίου, κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω διερεύνηση για την πιθανή κατασκευή ενός έργου ακτομηχανικής. Ένα σύστημα προβόλων στην περιοχή του υφιστάμενου λιμενοβραχίονα στο ακρωτήριο της Γυράπετρας θα μπορούσε να ανακόψει την παροχή ιζήματος προς την είσοδο του Δίαυλου και την αποφυγή μελλοντικών προσαμμώσεων εκεί. Με την κατασκευή ενός επιτυχημένου τέτοιου έργου θα εξασφαλιστεί η καλή κατάσταση του Δίαυλου και η εύρυθμη λειτουργία του και στο μέλλον. Το μέτρο αυτό θα συμβάλλει και στην αποφυγή διενέργειας συχνών βυθοκορήσεων, οι οποίες είναι δαπανηρές και δύσκολο να αδειοδοτηθούν. Ωστόσο επισημαίνεται ότι για την κατασκευή ενός τέτοιου έργου απαιτείται γίνει προσεκτική μελέτη των συνθηκών της περιοχής, καθώς η λειτουργία τέτοιων έργων είναι πολύπλοκη και συχνά απρόβλεπτη. Σκόπιμος είναι και ο προσδιορισμός των επιδράσεων στη μορφολογία της ευρύτερης περιοχής έπειτα από την κατασκευή ενός τέτοιου έργου αλλά και οι γενικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Μετά την εφαρμογή των παραπάνω προτάσεων ο Δίαυλος Λευκάδας θα αποτελεί μια ασφαλή επιλογή για οποιοδήποτε τουριστικό σκάφος, ακόμα και μικρό κρουαζιερόπλοιο, και θα αποτελέσει εκ νέου άξονα ανάπτυξης για το νησί. Είναι σημαντική η ανάδειξη του έργου αυτού που χαρακτηρίζει το τοπίο αλλά και τον τρόπο ζωής των ανθρώπων της Λευκάδας.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **ΓΑΚ.** *Αρχεία Νομού Λευκάδας*, Γενικά Αρχεία του Κράτους, Υπουργείο Παιδείας. Δια Βίου Μάθησης & Θρησκευμάτων
2. **Γράψα Δ. Ελένη (2009).** «Δίαυλος-Διώρυξ Λευκάδος 1688-1987», Γενικά αρχεία του κράτους – Αρχεία Νομού Λευκάδας, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λευκάδας, Λευκάδα.
3. **ΕΜΥ.** Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Μετεωρολογικός σταθμός Πρέβεζας. «Μέσες ετήσιες και μηνιαίες ποσοστιαίες συχνότητες εμφάνισης ανέμου, 1971 – 2001»
4. **Εταιρεία Λευκαδικών Μελετών (2001).** «Οι πρωτεύουσες της Λευκάδας. Αρχαία Λευκάδα - Νήρικος, Κάστρο Αγίας Μαύρας, Αμαξική», Πρακτικά Δ΄ συμποσίου: Πνευματικό Κέντρο Δήμου Λευκάδας, Γιορτές λόγου και τέχνης, Λευκάδα 6-8 Αυγούστου 1999
5. **ΙΤΣΑΚ (2004)**, Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών, «Ο σεισμός της Λευκάδας (M=6.2, 14 Αυγούστου 2003), Ισχυρή σεισμική κίνηση και συνέπειες στο δομημένο και φυσικό περιβάλλον», Τεχνικά Χρονικά, Μαρτίος-Απρίλιος 2004.
6. **Κατωπόδη Δ. (2009).** «Μεταφορά ιζήματος κατά μήκος μη ευθειογενούς ακτής – Περίπτωση Αγίου Ιωάννη Λευκάδας», Μεταπτυχιακή εργασία, ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα 2009.
7. **Κουτίτας Χ. (1994).** «Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα»
8. **Μέμος Κ. Δ. (2006).** «Θαλάσσια Υδροδυναμική», Σημειώσεις Μαθήματος ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα 2009.
9. **Μουτζούρης Κ. Ι. (2005).** «Εισαγωγή στην ακτομηχανική», ΕΜΠ, Αθήνα 2005
10. **Μουτζούρης Κ. Ι. (2006).** «Θαλάσσια Υδραυλική», ΕΜΠ, Αθήνα 2006
11. **Μπορνόβας Ι. (1964).** «Η γεωλογία της νήσου Λευκάδας. Γεωλογικές και Γεωφυσικές μελέτες ΙΓΕΥ, τομ. Χ, Νο 1»

12. **Μπορνόβας Ι. (1964).** « Η γεωλογία της νήσου Λευκάδος», ΙΓΜΕ, Αθήνα
13. **Μπορνόβας Ι., Ροντογιάννης - Τσιαμπάος Θ. (1983).** «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:500000. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2η έκδοση», Αθήνα
14. **Νομοσχέδιο (1889).** «Νομοσχέδιον περί κατασκευής και χρήσεως θαλάσσιας Διώρυγος και νέου λιμένος εν Λευκάδι - Project de loi concernant la construction et l'exploitation du canal maritime et du nouveau port de Sainte-Maure», Εθνικό Τυπογραφείο Αθήνα.
15. **Παπαπάνου Ι. (1969).** «Έκθεσις και γενική προμελέτη διαίτης προσαρμοσεως βορείου στομίου διώρυγος, Τεχνικό γραφείο Ι παπαπάνου 69pp)
16. **Παπαπάνου Ι. (1973)** «Οριστική μελέτη αντιπροσαρμοστικών έργων λιμένος Λευκάδας , τεύχος 1: Τεχνική έκθεσις », Τεχνικό γραφείο Ι παπαπάνου 27pp)
17. **Προκουαία (2008).** «Γράμματα – Τέχνες – Επιστήμες, Τεύχος 2^ο, Τα Τεχνικά έργα Διώρυξ – Λιμενικά της περιόδου 1898-1903 στη Λευκάδα μέσα από τον τοπικό τύπο», Πνευματικό Κέντρο Δήμου Λευκάδας, Λευκάδα.
18. **ΥΝ (1921).** Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, Χάρτης «Διώρυξ Λευκάδος»
19. **ΥΝ (1971).** Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, Χάρτης 022: «Η Διώρυγα της Λευκάδας»
20. **ΥΝ (1991).** Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, «Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων», Αθήνα, Δ' Έκδοση, 1991.
21. **Battjes JA, and Janssen, JPFM (1978).** «Energy Loss and Set-up due to Breaking of Random Waves», Proc 16th Int Conf on Coastal Engineering, Hamburg, Germany, pp 569—587.
22. **Battjes JA, and Stive, MJF (1985).** «Calibration and Verification of a Dissipation Model for Random Breaking Waves». J Geophysical Research, Vol 90 (C5), pp 9159-9167.
23. **Berkhoff JCW (1972).** «Computation of Combined Refraction-Diffraction,» Proc 13th Coastal Engineering Conf, Vancouver, pp 471-490.
24. **Coastal Engineering Manual (2008).** CEM 2.01 Professional Edition, US Army Engineer Research and Development Center, Veri-Tech, Incorporated, Vicksburg, USA. US Army Corps of Engineers (2008), „Coastal Engineering Manual”.
25. **Dingemans, MW (1983).** «Verification of Numerical Wave Equation Models with Field Measurements», CREDIZ Verification Haringvliet, Delft Hydraulics Laboratory, Report No W488, Delft, Netherlands, pp 137.
26. **Fredsøe J. & Deigaard R. (1992).** «Mechanics of coastal sediment transport”, Advanced Series on Ocean Engineering», Vol. 3, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore.

27. **Johnson HK (1998)**. «On Modelling Wind-Waves in Shallow and Fetch Limited Areas Using the Method of Holthuijsen, Booij and Herbers», J Coastal Research, Vol 14, No 3, pp 917-932.
28. **Jonsson I.G. (1966)**. «Wave Boundary Layers and Friction Factors», Proc. 10th Coastal Engrg. Conf., pp. 127-148
29. **Kirby JT (1986)**. «Rational Approximations in the Parabolic Equation Method for Water Waves», Coastal Engineering, Vol 10, pp 355-378.
30. **Madsen P.A, Rugbjerg, M. and Warren, I.R. (1988)**. «Subgrid Modelling in Depth Integrated Flows», Coastal Engineering Conference, 1, pp 505-511, Malaga, Spain, 1988.
31. **Memos C. D. (2009)**, «Shoreline Erosion Management», International Post-graduate Course "Educate", WREM 404, Athens.
32. **MIKE21 PMS (2007)**. «MIKE 21 Parabolic mild slope module, User Guide», Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Denmark
33. **MIKE21 HD (2007)**. «MIKE 21 Flow Model, Hydrodynamic module, User Guide», Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Denmark
34. **MIKE21 ST (2007)**. «MIKE 21 Non-cohesive Sediment Transport module, User Guide», Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Denmark
35. **Nelson RC (1987)**. «Design Wave Heights on Very Mild Slopes: an Experimental Study» Civil Eng Trans, Inst Eng Australia, Vol 29, pp 157-161.
36. **Nielsen P (1979)**. «Some Basic Concepts of Wave Sediment Transport» Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering (ISVA), Technical University of Denmark, Series Paper No 20, January 1979.
37. **PIANC (1995)**. Permanent International Association of navigation Congresses (PIANC) – International Association of ports and Harbors (IAPH), «Approach channels, Preliminary Guidelines», Final Report of the joint working group II-30 in cooperation with IMA and IALA, April 1995
38. **PIANC (1997)**. Permanent International Association of navigation Congresses (PIANC) – International Association of ports and Harbors (IAPH), «Approach channels, A guide for Design», Final Report of the joint working group II-30 in cooperation with IMA and IALA, June 1997
39. **Putnam JA and Johnson JW (1949)**. «The Dissipation of Wave Energy by Bottom Friction» Trans American Geophysical Union, Vol 30, pp 67-74.
40. **Roudkivi AJ (1988)**. «The Roughness Heights under Waves», Journal of Hydraulic Research, Vol. 26, No. 5.
41. **Smagorinsky J (1963)**. «General Circulation Experiment with the Primitive Equations», Monthly Weather Review, 91, No. 3, pp 99-164, 1963.

42. **Soulsby R. L. and Whitehouse R.J.S.W, (1997).** «Threshold of sediment motion in coastal environments» Proc.Pacific Coasts and Ports '97 Conf., Christchurch, 1, .p. 149-54. University of Canterbury, New Zealand
43. **Swart DH (1974).** «Offshore sediment transport and equilibrium beach profiles», WL Delft Hydraulics Publication no. 131, Delft, the Netherlands.
44. **US Army Corps of Engineers,** Coastal Engineering Research Center (1984). Shore Protection Manual.
45. **.Wang J.D, (1990).** «Numerical Modelling of Bay Circulation, The Sea», Ocean Engineering Science, 9, Part B, Chapter 32, pp 1033-1067, 1990.
46. <http://wikimapia.org>
47. www.lefkada.gr
48. <http://nikiana.wordpress.com>
49. maps.google.com/

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

9.1 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ, ΜΣ ΠΡΕΒΕΖΑΣ, (Πηγή: ΕΜΥ)

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ									
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
3	5.409	9.667	2.828	2.151	1.075	1.387	2.968	4.032	
4	1.871	2.398	2.914	2.226	0.828	1.882	3.473	4.828	
5	0.301	0.086	1.204	0.796	0.366	1.366	2.129	1.774	
6	0.054	0.043	0.720	0.495	0.140	1.032	1.624	1.151	
7	0.000	0.000	0.151	0.118	0.043	0.484	0.978	0.441	
8	0.000	0.000	0.075	0.000	0.022	0.247	0.355	0.129	
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ									
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
3	4.140	8.102	3.102	2.300	0.861	2.040	4.010	3.703	
4	1.828	2.300	3.255	2.713	0.790	2.123	4.328	5.437	
5	0.377	0.177	1.380	1.132	0.259	1.474	3.255	2.465	
6	0.059	0.035	0.731	0.590	0.035	0.767	1.981	1.215	
7	0.000	0.000	0.354	0.236	0.024	0.330	0.837	0.425	
8	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.200	0.295	0.094	
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.012	
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
ΜΑΡΤΙΟΣ									
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
3	2.722	3.959	2.496	2.399	1.000	2.356	5.519	5.185	
4	1.119	1.517	2.861	2.453	0.570	1.441	6.315	6.530	
5	0.215	0.140	1.915	1.183	0.151	0.742	3.270	2.722	
6	0.065	0.140	1.334	0.473	0.086	0.506	1.388	1.119	
7	0.000	0.022	0.420	0.108	0.011	0.097	0.602	0.301	
8	0.000	0.000	0.097	0.097	0.022	0.097	0.430	0.118	
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.011	
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
ΑΠΡΙΛΙΟΣ									
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
3	1.055	1.844	2.799	2.299	0.689	2.000	6.499	7.110	
4	0.378	0.411	2.799	2.188	0.355	1.844	8.587	8.032	
5	0.078	0.033	1.711	0.922	0.100	0.911	4.010	3.355	
6	0.033	0.033	1.100	0.811	0.022	0.289	2.322	1.255	
7	0.000	0.011	0.233	0.122	0.000	0.078	0.389	0.189	
8	0.000	0.000	0.044	0.022	0.000	0.011	0.078	0.011	
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

ΜΑΙΟΣ								
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
3	0.430	0.785	1.387	1.441	0.527	1.667	9.840	9.818
4	0.172	0.280	1.882	1.613	0.215	1.237	10.894	10.356
5	0.011	0.043	0.656	0.581	0.075	0.387	4.388	3.054
6	0.011	0.022	0.355	0.323	0.000	0.054	1.366	0.903
7	0.000	0.011	0.129	0.022	0.000	0.032	0.194	0.075
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΙΟΥΝΙΟΣ								
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
3	0.300	0.311	0.800	0.789	0.311	1.545	10.713	12.136
4	0.278	0.178	0.756	0.567	0.089	0.745	11.703	13.892
5	0.056	0.033	0.233	0.189	0.022	0.233	5.046	4.923
6	0.000	0.011	0.156	0.144	0.000	0.022	1.578	1.534
7	0.000	0.000	0.011	0.011	0.000	0.011	0.133	0.167
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΙΟΥΛΙΟΣ								
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
3	0.366	0.345	0.162	0.108	0.248	1.347	12.677	12.310
4	0.377	0.108	0.140	0.151	0.097	0.593	13.819	14.649
5	0.162	0.022	0.011	0.032	0.000	0.280	5.519	5.616
6	0.043	0.000	0.043	0.022	0.000	0.000	1.531	1.789
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.162	0.119
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ								
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
3	0.613	0.645	0.280	0.323	0.398	2.581	11.292	11.033
4	0.430	0.215	0.118	0.054	0.151	0.936	11.808	12.259
5	0.075	0.054	0.032	0.032	0.032	0.290	5.302	4.667
6	0.022	0.022	0.000	0.000	0.000	0.043	1.903	1.957
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.140	0.161
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ								
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
3	1.412	2.167	0.811	0.978	1.023	3.057	7.536	8.581
4	0.478	0.289	0.534	0.700	0.367	1.689	10.203	10.715
5	0.100	0.033	0.167	0.167	0.056	0.522	3.490	3.023
6	0.000	0.000	0.044	0.033	0.022	0.033	0.822	0.889
7	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.122	0.111
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.089	0.011
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ								
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
3	3.626	7.274	2.572	2.658	0.850	2.873	6.155	5.402
4	0.936	1.614	2.324	2.034	0.635	1.420	4.918	4.746
5	0.054	0.129	0.947	0.958	0.075	0.613	1.840	1.431
6	0.011	0.032	0.560	0.172	0.011	0.161	0.430	0.484
7	0.000	0.000	0.258	0.043	0.000	0.097	0.097	0.043
8	0.000	0.000	0.022	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ								
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
3	4.313	8.747	2.790	2.590	1.156	1.934	3.779	4.290
4	0.956	1.667	2.790	2.601	0.667	1.812	3.812	3.990
5	0.122	0.133	1.489	1.423	0.467	1.289	2.101	1.789
6	0.056	0.022	0.867	0.367	0.189	0.645	1.034	1.034
7	0.000	0.011	0.144	0.044	0.011	0.322	0.411	0.278
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.156	0.245	0.111
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.044	0.011
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ								
BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
3	4.473	10.375	3.086	2.172	0.774	1.720	2.494	3.849
4	1.344	1.839	2.828	2.419	1.473	2.613	3.903	4.354
5	0.280	0.140	1.236	0.849	0.570	1.580	2.236	1.849
6	0.032	0.032	0.817	0.559	0.226	1.301	1.344	1.043
7	0.011	0.000	0.312	0.086	0.054	0.516	0.710	0.247
8	0.000	0.000	0.097	0.011	0.022	0.258	0.226	0.118
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011

9.2 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΠΛΑΤΗ ΓΙΑ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟ ΚΑΝΑΛΙ, (Πηγή: PIANC)

WIDTH w_1	Vessel Speed	Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water
(a) Vessel speed (knots) - fast > 12 - moderate > 8 - 12 - slow 5 - 8		0.1 B 0.0 0.0	0.1 B 0.0 0.0
(b) Prevailing cross wind (knots) - mild ≤ 15 (\approx Beaufort 4) - moderate > 15 - 33 ($>$ Beaufort 4 - Beaufort 7) - severe > 33 - 48 ($>$ Beaufort 7 - Beaufort 9)	all fast mod slow fast mod slow	0.0 0.3 B 0.4 B 0.5 B 0.6 B 0.8 B 1.0 B	0.0 - 0.4 B 0.5 B - 0.8 B 1.0 B
(c) Prevailing cross current (knots) - negligible < 0.2 - low 0.2 - 0.5 - moderate > 0.5 - 1.5 - strong > 1.5 - 2.0	all fast mod slow fast mod slow fast mod slow	0.0 0.1 B 0.2 B 0.3 B 0.5 B 0.7 B 1.0 B 0.7 B 1.0 B 1.3 B	0.0 - 0.1 B 0.2 B - 0.5 B 0.8 B - - -
(d) Prevailing longitudinal current (knots) - low ≤ 1.5 - moderate > 1.5 - 3 - strong > 3	all fast mod slow fast mod slow	0.0 0.0 0.1 B 0.2 B 0.1 B 0.2 B 0.4 B	0.0 - 0.1 B 0.2 B - 0.2 B 0.4 B
(e) Significant wave height H_s and length λ (m) - $H_s \leq 1$ and $\lambda \leq L$ - $3 > H_s > 1$ and $\lambda = L$ - $H_s > 3$ and $\lambda > L$	all fast mod slow fast mod slow	0.0 - 2.0 B - 1.0 B - 0.5 B - 3.0 B - 2.2 B - 1.5 B	0.0
(f) Aids to Navigation - excellent with shore traffic control - good - moderate with infrequent poor visibility - moderate with frequent poor visibility		0.0 0.1 B 0.2 B ≥ 0.5 B	0.0 0.1 B 0.2 B ≥ 0.5 B
(g) Bottom surface - if depth $\geq 1.5T$ - if depth < 1.5T then - smooth and soft - smooth or sloping and hard - rough and hard		0.0 0.1 B 0.1 B 0.2 B	0.0 0.1 B 0.1 B 0.2 B
(h) Depth of waterway - $\geq 1.5T$ - 1.5T - 1.25T - < 1.25T		0.0 0.1 B 0.2 B	$\geq 1.5T$ 0.0 < 1.5T - 1.15T 0.2 B < 1.15T 0.4 B
(i) Cargo hazard level - low - medium - high		0.0 - 0.5 B - 1.0 B	0.0 - 0.4 B - 0.8 B

9.3 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΑΥΤΟΨΙΑ



1. Η βόρεια είσοδος του Δίαυλου, λήψη από μαρίνα σκαφών αναψυχής



2. Λήψη από αριστερή όχθη, κατάντη της μαρίνας σκαφών αναψυχής

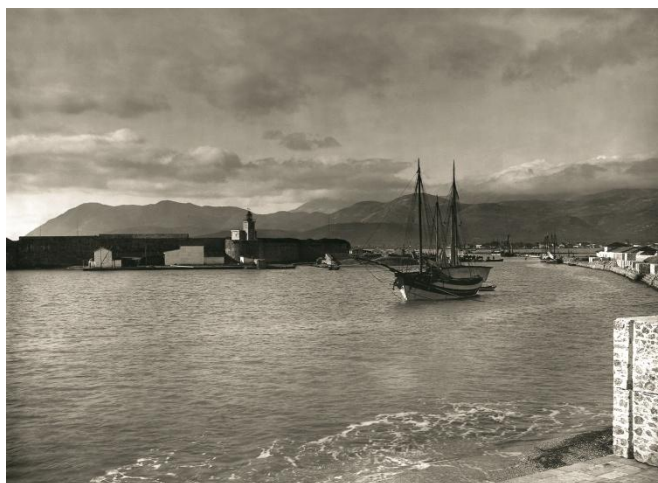


3. Λήψη από αριστερή όχθη, κατόντη της μαρίνας σκαφών αναψυχής

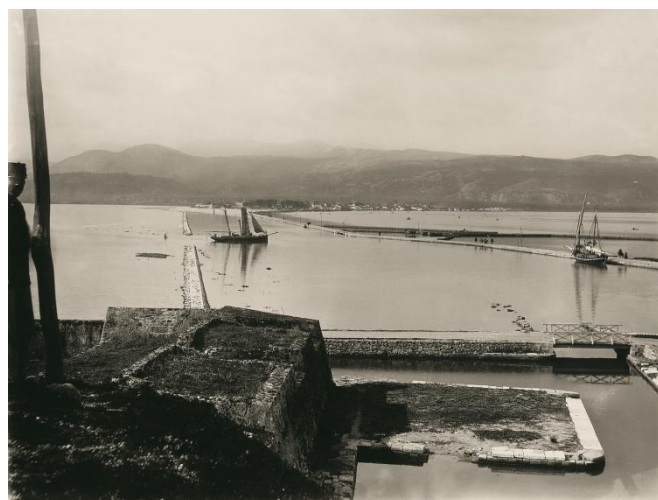


4. Λήψη από αριστερή όχθη, κατόντη της μαρίνας σκαφών αναψυχής

9.4 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟΥ ΛΕΥΚΑΔΑΣ



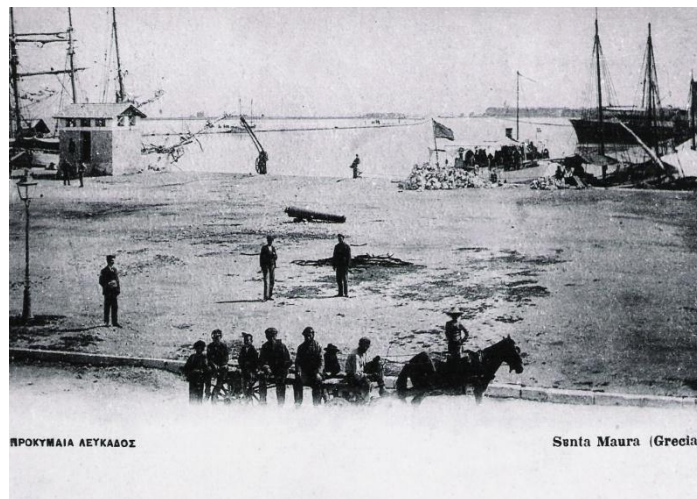
1. Η είσοδος της Λευκάδας, Γ. Δέρπφελδ, Γερμανικό Ινστιτούτο Αθήνας



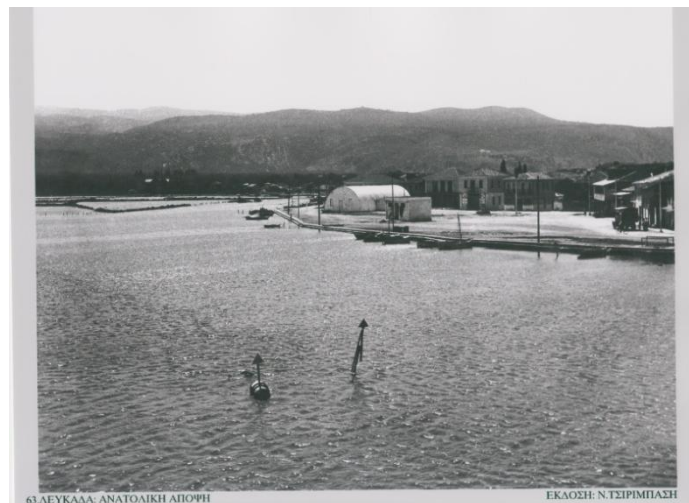
2. Το σχεδόν τελειωμένο ανατολικό κρηπίδωμα, Γ. Δέρπφελδ, Γερμανικό Ινστιτούτο Αθήνας



3. Η περιοχή του φρουρίου, το σημείο όπου σήμερα βρίσκεται η πλωτή γέφυρα, Γ. Δέρπφελδ, Γερμανικό Ινστιτούτο Αθήνας



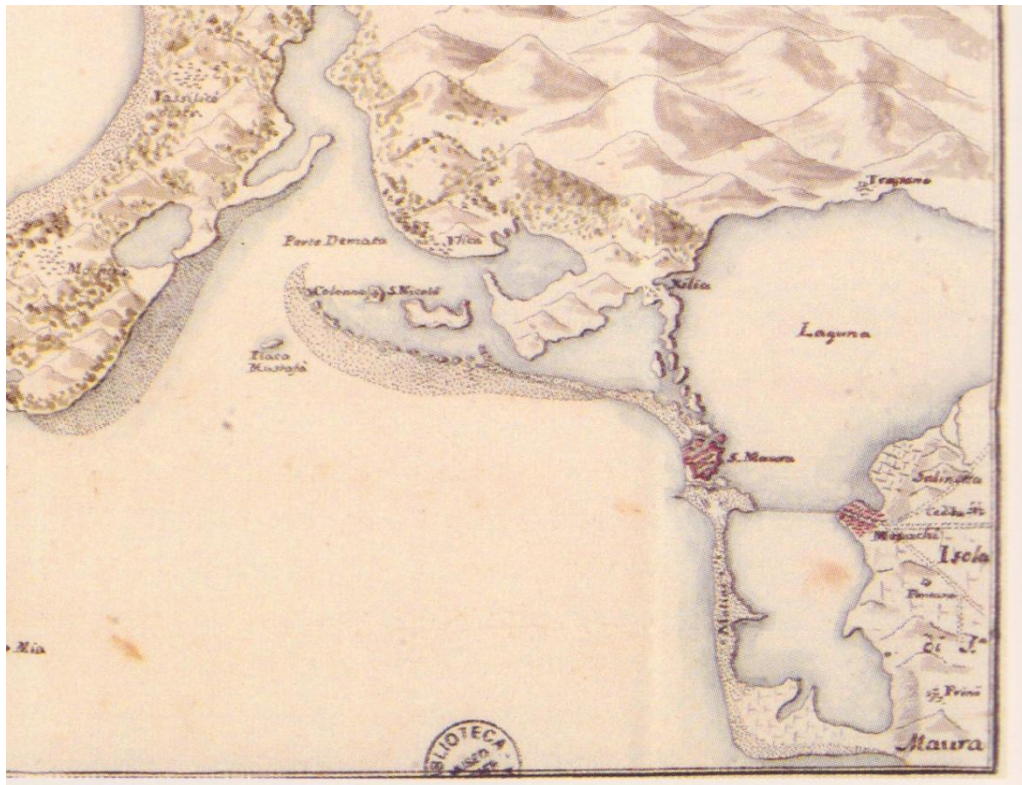
4. Το εσωτερικό λιμάνι και η Πλατεία λιμένων, Αρχές 20ου αιώνα



5. Η σήμανση της Διώρυγας, Ανατολική άποψη, 1950, Αρχείο Ν. Τσιρίμπαση



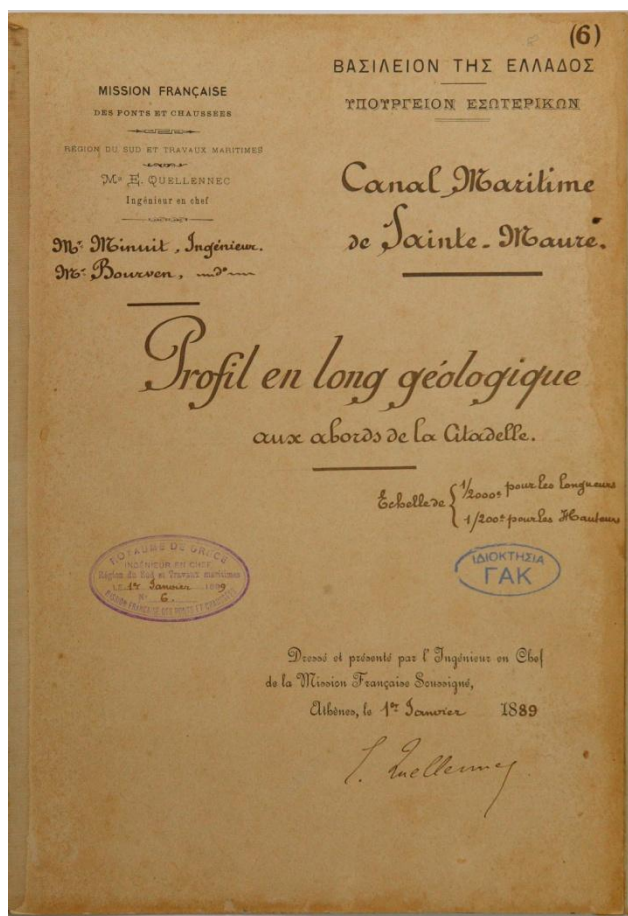
6. Ανατολική πλευρική Διώρυγα (προς Αγία Κάρα), 1950, Αρχείο Ν. Τσιρίμπαση



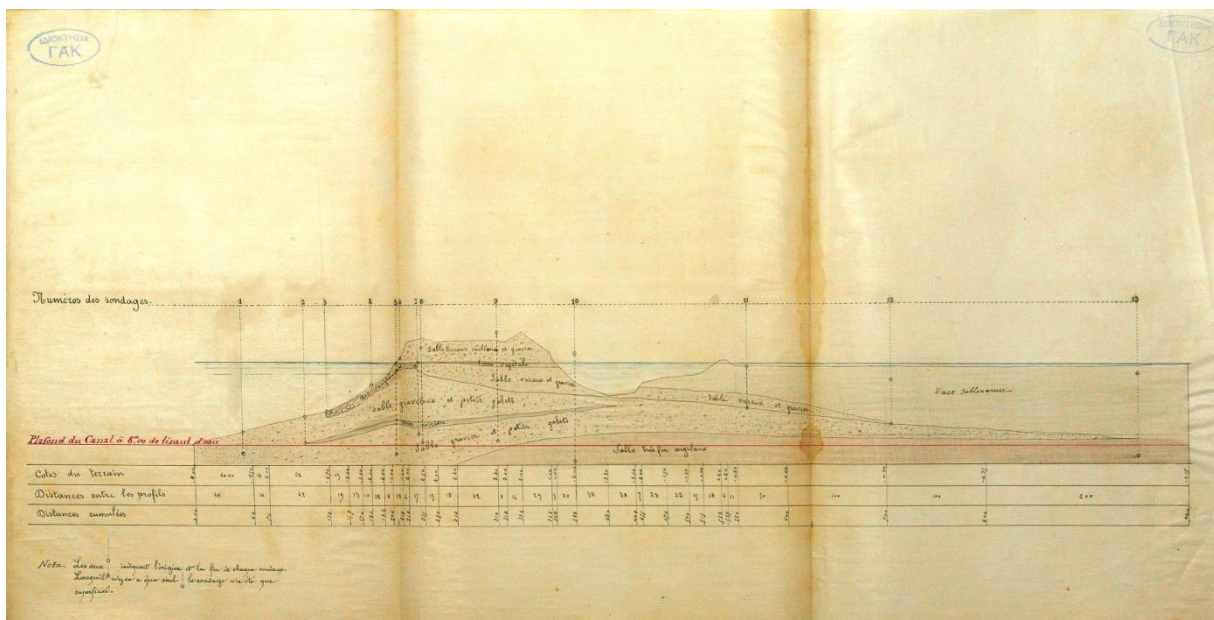
7. Το βόρειο άκρο του Δίαυλου με τις ξέρες, τέλη 18 αιώνα, Μουσείο Κορέρ Βενετία



8. Το φρούριο, η λιμνοθάλασσα, η πόλη της Αγίας Μαύρας, η πεδιάδα της Αμαξικής, οι αλυκές και ο Δίαυλος, Τέλη 18 αιώνα, A. Paravia, Μουσείο Κορέρ Βενετία

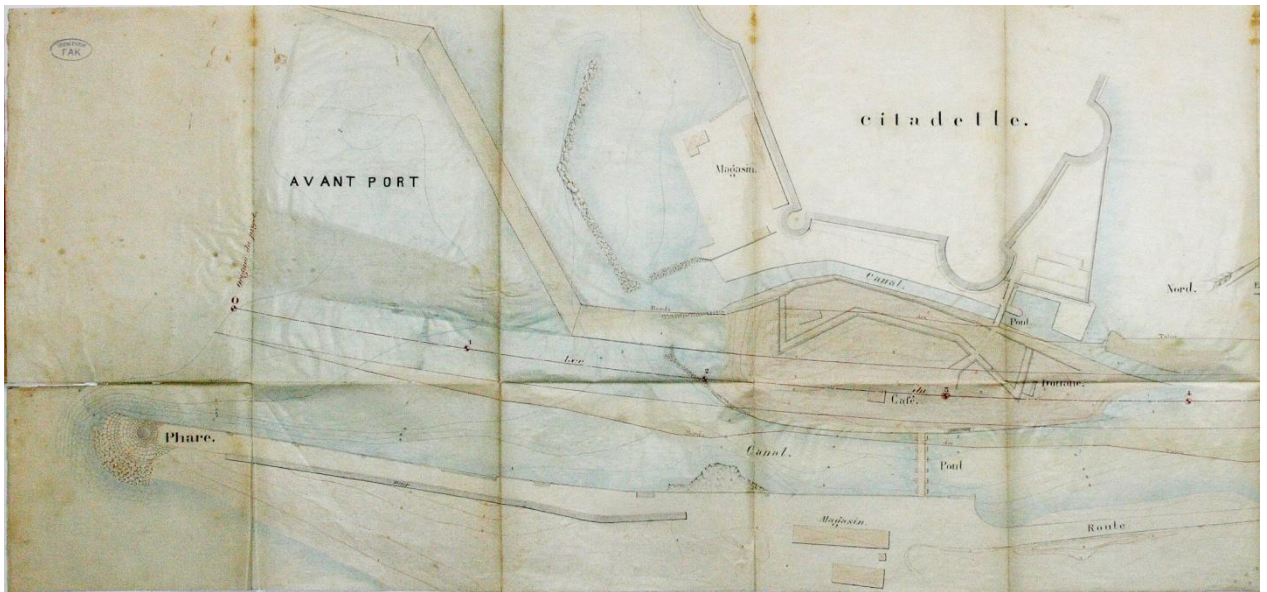


(α)



(β)

9. Απόσπασμα της έκθεσης της Γαλλικής Αποστολής Δημοσίων Έργων: Γεωτεχνική μελέτη, 1 Ιανουαρίου 1889



10. Απόσπασμα της έκθεσης της Γαλλικής Αποστολής Δημοσίων Έργων: Σχέδιο του προ του Φρουρίου τμήματος της Διώρυγας, 1 Ιανουαρίου 1889



11. Το εξώφυλλο του νομοσχεδίου για την κατασκευή της Διώρυγας που κατατέθηκε στην ελληνική βουλή, 1889

