



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και
Τεχνολογίας

Πτυχιακή εργασία

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΟ ΒΑΣΙΛΙΚΟ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ**

Ερατώ Αντωνίου

Λεμεσός, Απρίλιος 2019

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΟ ΒΑΣΙΛΙΚΟ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ**

της

Ερατώσ Αντωνίου

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Κωνσταντίνος Μιχαηλίδης

Λεμεσός, Απρίλιος 2019

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ερατώ Αντωνίου, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Κωνσταντίνο Μιχαηλίδη για την τεράστια βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας. Επίσης του οφείλω πραγματικά ένα μεγάλο ευχαριστώ για την άριστη συνεργασία μας αλλά και για την παραχώρηση όλων των πολύτιμων πληροφοριών και γνώσεων που μου δόθηκαν. Θερμές ευχαριστίες και στον παγκόσμιο οργανισμό «MIKE Powered by DHI» για την δωρεάν παραχώρηση της άδειας του λογισμικού Mike Zero-Mike21 με το οποίο βοηθήθηκα σε μεγάλο βαθμό για την μοντελοποίηση της βαθυμετρίας της περιοχής μελέτης. Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου για το κουράγιο και την δύναμη που μου προσέφερε όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγγραφή της παρούσας πτυχιακής εργασίας έχει ως βασικό στόχο να εκτιμήσει την διάβρωση της ακτής στο λιμάνι Βασιλικού, η οποία εν μέρει προκύπτει λόγω των φυσικών διεργασιών του θαλάσσιου περιβάλλοντος, αλλά στην προκειμένη περίπτωση οφείλεται και από την ανέγερση του παράκτιου έργου. Επομένως η εξέλιξη που μπορεί να υποστεί μια ακτογραμμή είναι είτε αποκλειστικά από αποτέλεσμα φυσικών παραγόντων, είτε και μέσω της παρέμβασης του ανθρώπινου παράγοντα. Για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη η αντίληψη και επομένως η περιγραφή προέλευσης του φυσικού φαινομένου της διάβρωσης των ακτών, έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει ορθή εκτίμηση της περιοχής μελέτης στο Βασιλικό.

Αρχικά μέσω της εργασίας αυτής, γίνεται αναφορά μιας μικρής έρευνας σχετικά με το που και σε πόσο βαθμό παρουσιάζεται πιο έντονα η διάβρωση σε ακτές της Κύπρου, καθώς επίσης και τους λόγους που οδηγούν σε αυτήν. Η διάβρωση στις ακτές της Κύπρου αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα παράκτια μέτωπα του νησιού, για το οποίο γίνεται συνεχής αναζήτηση αποδοτικών μέτρων προστασίας.

Έπειτα αναφέρονται οι παράγοντες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην συχνότητα εμφάνισης της διάβρωσης και ακολούθως γίνεται αναλυτική επεξήγηση των φυσικών μηχανισμών της στερεομεταφοράς των ιζημάτων στις παράκτιες ζώνες αλλά και των βασικών συνιστωσών της. Στο σημείο αυτό καταγράφηκαν και αρκετές εμπειρικές μαθηματικές σχέσεις που σχετίζονται άμεσα με το φυσικό φαινόμενο της διάβρωσης των ακτών, μέσω των οποίων εκτιμήθηκε μετέπειτα και η διάβρωση της ακτής στην περιοχή μελέτης.

Στη συνέχεια γίνεται μία μικρή περιγραφή έργων προστασίας των ακτών αλλά και της αλληλεπίδρασης που έχουν στην μεταξύ τους σχέση. Ακόμη μέσω της χρήσης του εμπορικού λογισμικού MIKE21 έγινε η μοντελοποίηση της βαθυμετρίας στο λιμάνι Βασιλικού.

Λέξεις κλειδιά: διάβρωση, ιζήματα, ακτή, στερεομεταφορά

ABSTRACT

The main aim of this thesis is to assess the erosion of the coast at Vasilikos port, which is partly due to the natural processes of the marine environment, but in this case is also due to the construction of the coastal work. Therefore, the development that a shoreline may have is either solely the result of natural factors or through the intervention of the human factor. For this reason it is necessary to perceive and therefore describe the origin of the natural phenomenon of coastal erosion, so that the study area in Vasiliko can be correctly assessed.

Initially, through this work, a small survey of where and in what degree the erosion on Cyprus coasts is most noticeable, as well as the reasons that lead to it. Corrosion on the coast of Cyprus is one of the most important problems faced by the coastal fronts of the island, which is constantly being sought for effective protection measures.

The factors that play an important role in the incidence of erosion are then reported, followed by a detailed explanation of the natural mechanisms of sedimentary sedimentation in coastal zones and its basic components. At this point, several empirical mathematical relations have been recorded that are directly related to the natural phenomenon of coastal erosion, through which the coastal erosion was subsequently assessed in the study area.

Then a small description of coastal protection projects and the interaction they have with the coasts is made. In addition, with the use of commercial software MIKE21 the modeling of bathymetry at Vasilikos port has been made.

Key words: corrosion, sediment, coast, stereotransfer

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	xi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xv
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ.....	3
3 ΦΥΣΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	10
3.1 Αναλυτική επεξήγηση φαινομένου στερεομεταφοράς.....	12
3.2 Μηχανισμοί μεταφοράς φερτών υλών.....	15
3.2.1 Βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς φερτών υλών.....	18
3.3 Εγκάρσια στερεοπαροχή στην ζώνη αναρρίχησης.....	22
3.4 Ρυθμός μεταβολής της στάθμης του πυθμένα.....	23
3.5 Τρόποι μεταφοράς φερτών υλών στις ακτές.....	25
3.5.1 Εγκάρσια στις ακτές.....	25
3.5.2 Παράλληλα στις ακτές.....	31
3.6 Ισοζύγιο φερτών υλών-διάβρωση ακτών.....	32
3.7 Επίδραση ισοζυγίου φερτών υλών από τις κλιματικές αλλαγές.....	35
4 ΕΡΓΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΚΤΩΝ.....	37
4.1 Σκληρής- Βαρεάς μορφής.....	38
4.1.1 Θαλάσσιοι- παράκτιοι τοίχοι.....	38
4.1.2 Παράλληλοι κυματοθραύστες ως προς την ακτή.....	39

4.1.3	Εγκάρσιοι κυματοθραύστες-Βραχίονες.....	42
4.2	Ήπιας μορφής.....	43
4.2.1	Βυθιζόμενοι κυματοθραύστες/Γεωσωλήνες.....	43
4.2.2	Πλωτοί κυματοθραύστες.....	44
4.2.3	Τεχνητή ανάπλαση της ακτής.....	45
4.3	Αλληλενέργειες μεταξύ ακτών και τεχνικών παράκτιων έργων.....	46
5	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ- ΛΙΜΑΝΙ ΒΑΣΙΛΙΚΟΥ, ΛΕΜΕΣΟΣ, ΚΥΠΡΟΣ.....	52
5.1	Χαρακτηριστικά της περιοχής.....	52
5.1.1	Προσδιορισμός της θέσης του έργου.....	52
5.1.2	Γενικά στοιχεία της περιοχής μελέτης.....	53
6	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ MIKE21.....	56
6.1	Λογισμικό MIKE21.....	56
6.2	Βαθυμετρία περιοχής Βασιλικού στο λογισμικό MIKE21.....	58
7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	69
7.1	Φυσικά φαινόμενα κυματισμών.....	69
7.1.1	Ρήγωση κυματισμών.....	71
7.1.2	Διάθλαση κυματισμών.....	71
7.1.3	Περίθλαση κυματισμών.....	72
7.1.4	Θραύση κυματισμών.....	73
7.2	Υπολογισμός απαραίτητων μεγεθών-σχέσεων.....	74
7.2.1	Υπολογισμός ανεμογενών κυματισμών.....	74
7.2.2	Υπολογισμός για ύψη κύματος στο σημείο του μόλου.....	77
7.2.3	Υπολογισμός για ύψη κύματος σε βάθος 3 μέτρων.....	78
7.2.4	Μορφολογική μεταβολή εγκάρσιου προφίλ-Κρίσιμο βάθος.....	81
7.2.5	Εκτίμηση για ένδειξη διάβρωσης ακτών.....	82
7.2.6	Εκτίμηση πλάτους διάβρωσης ακτογραμμής.....	83

7.2.7 Εκτίμηση νέας ακτογραμμής λόγω τοποθέτησης βραχίονα σε μελλοντικό στάδιο.....	84
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εισαγωγή σημείων x,y και z σε αρχείο Excel.....	62
Πίνακας 2: Υπολογισμός Feff για νοτιά.....	75
Πίνακας 3: Υπολογισμός Feff για νοτιοανατολικά.....	76
Πίνακας 4: Υπολογισμός Feff για νοτιοδυτικά.....	76
Πίνακας 5: Υπολογισμός Hs και Ts με βάση Feff	77
Πίνακας 6: Υπολογισμός Hs με φαινόμενα ρήχωσης και διάθλασης μέσω χρήσης εφαρμογής Excel	78
Πίνακας 7: Ύψη κύματος σε βάθος 3m λόγω ρήχωσης και διάθλασης	79
Πίνακας 8: Τελικά ύψη κύματος σε βάθος 3m λαμβάνοντας υπόψη ρήχωση, διάθλαση και περίθλαση.....	80
Πίνακας 9: Αποτελέσματα για d(y) και h*	81
Πίνακας 10: Αποτελέσματα για εκτίμηση διάβρωσης	82
Πίνακας 11: Εκτίμηση της υποχώρησης των ακτογραμμών χωρίς ανύψωση της στάθμης της θάλασσας	83
Πίνακας 12: Ύψη και βάθη θραυόμενων κυματισμών.....	83
Πίνακας 13: Εκτίμηση της υποχώρησης των ακτογραμμών με ανύψωση στάθμης θάλασσας.....	83
Πίνακας 14: Εξέλιξη της ακτογραμμής σε 5 χρόνια λόγω ύπαρξης βραχίονα.....	84
Πίνακας 15: Εξέλιξη της ακτογραμμής σε 10 χρόνια λόγω ύπαρξης βραχίονα.....	84

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Διάβρωση ακτής στο Ναυτικό Όμιλο Λεμεσού.....	2
Διάγραμμα 2: Μέση διάβρωση περιοχής «Αχέλεια» στα 60m, 1963-2008 (Ελεγκτική Υπηρεσία της Δημοκρατίας,2014)	5
Διάγραμμα 3: Διάβρωση ακτής στο παραλιακό μέτωπο τουριστικής περιοχής της Γεροσκήπου (Pafosnet.com, 2018)	5
Διάγραμμα 4: Διάβρωση ακτής στην περιοχή Αργάκας (Ελεγκτική Υπηρεσία της Δημοκρατίας,2014).....	6
Διάγραμμα 5: Μέση διάβρωση περιοχής «Πόλεως Χρυσοχούς» στα 36m, 1963-2008 (Ελεγκτική Υπηρεσία της Δημοκρατίας, 2014).....	6
Διάγραμμα 6: Διάβρωση στην περιοχή της Πέγειας, Πάφος(Philenews, 2017).....	7
Διάγραμμα 7: Διάβρωση ακτής στην περιοχή Δρομολαξιάς-Μενέου (Ελεγκτική Υπηρεσία της Δημοκρατίας, 2014).....	7
Διάγραμμα 8: Διάβρωση ακτής στο παραλιακό μέτωπο της Ορόκλινης	8
Διάγραμμα 9: Έντονη διάβρωση στο παραλιακό μέτωπο Ναυτικού Ομίλου Λεμεσού...8	
Διάγραμμα 10: Μεταφορά κόκκων στην παράκτια ζώνη (Σπετσιώτης Δ., 2003).....	14
Διάγραμμα 11: Φορτίο πυθμένα (Καραμπάς Θ., 2015)	16
Διάγραμμα 12: Φορτίο πυθμένα (Καραμπάς Θ., 2015)	16
Διάγραμμα 13: Τρόπος διάδοσης τρισδιάστατου κυματογενούς ρεύματος και μεταφοράς φερτών υλών εγκάρσια στην ακτή (Καραμπάς Θ., 2015)	19
Διάγραμμα 14: Μορφολογική μεταβολή πυθμένα(Καραμπάς Θ., 2015).....	23
Διάγραμμα 15: Τυπική μορφή διατομής αμμώδους ακτής (Σπετσιώτης Δ.,2003)	25
Διάγραμμα 16: Μεταφορά φερτών υλών εγκάρσια στις ακτές- Διαμόρφωση θερινού και χειμερινού προφίλ (Καραμπάς Θ., 2015)	27
Διάγραμμα 17: Μεταβολή της ακτογραμμής κατά την διάρκεια των ετών(Καραμπάς Θ., 2015).....	28

Διάγραμμα 18: Διάβρωση εγκάρσια στην ακτή-Ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας(Καραμπάς Θ., 2015)	30
Διάγραμμα 19: Ισοζύγιο φερτών υλών(Καραμπάς Θ., 2015).....	33
Διάγραμμα 20: Μεγάλα ύψη κύματος στην περιοχή της Ορόκλινης, Λάρνακα, Κύπρος (Βάσου Β.,2018).....	36
Διάγραμμα 21: Τυπική μορφή για θωράκιση της ακτής (Καραμπάς Θ., 2015)	38
Διάγραμμα 22: Παράκτιοι τοίχοι αντιστήριξης(Καραμπάς Θ., 2015)	39
Διάγραμμα 23: Παράλληλοι κυματοθραύστες στην περιοχή Ναυτικού Ομίλου Λεμεσού, Κύπρος.....	40
Διάγραμμα 24: Παράλληλοι κυματοθραύστες στην περιοχή της Ορόκλινης, Λάρνακα, Κύπρος	41
Διάγραμμα 25:.....	41
Διάγραμμα 26: Βραχίονας στην περιοχή Ναυτικού Ομίλου Λεμεσού, Κύπρος.....	42
Διάγραμμα 27: Υποθαλάσσιος γεωσωλήνας (Ζαλαχώρη Ε., Kievit J.J. , 2007)	43
Διάγραμμα 28: Πλωτός κυματοθραύστης (Ingemar.it, 2019)	44
Διάγραμμα 29: Τεχνητή αναπλήρωση ακτής(Escp.org.uk, 2019)	45
Διάγραμμα 30: Ανάκλαση κύματος και πρόκληση διάβρωσης (ΚαραμπάςΘ.,2015).....	46
Διάγραμμα 31: Εξέλιξη νέας ακτογραμμής κατάντη του βραχίονα (Καραμπάς Θ.,2015)	48
Διάγραμμα 32: Εξέλιξη νέας ακτογραμμής σε περίπτωση ύπαρξης δύο βραχιόνων(Καραμπάς Θ.,2015)	48
Διάγραμμα 33: Δημιουργία προεξοχής εξαιτίας της νέας κατάστασης που επικρατεί στο κέντρο του κυματικού πεδίου λόγω του παράλληλου κυματοθραύστη (Καραμπάς Θ.,2015)	49
Διάγραμμα 34: Εξέλιξη ακτογραμμής λόγω παρέμβασης παράλληλου κυματοθραύστη(Καραμπάς Θ.,2015)	51
Διάγραμμα 35: Προσδιορισμός της θέσης του έργου στον χάρτη της Κύπρου.....	52

Διάγραμμα 36: Προσδιορισμός της θέσης του έργου στον χάρτη της Κύπρου σε μεγέθυνση	52
Διάγραμμα 37: Βαθυμετρία στο Λιμάνι Βασιλικού πριν την επέκταση του κυματοθραύστη(Mike Results Coastal,2017)	54
Διάγραμμα 38: Βαθυμετρία στο Λιμάνι Βασιλικού μετά την επέκταση του κυματοθραύστη (Mike Results Coastal,2017)	54
Διάγραμμα 39: Διάβρωση στις παρακείμενες ακτές	55
Διάγραμμα 40: Δημιουργία νέου αρχείου	58
Διάγραμμα 41: Επιλογή εντολής της βαθυμετρίας	59
Διάγραμμα 42: Κάνναβος οριοθετημένης περιοχής Βασιλικού 100x100m	60
Διάγραμμα 43: Καταχώρηση γεωγραφικών συντεταγμένων.....	60
Διάγραμμα 44: Εισαγωγή μετρήσεων για την χωρική έκταση της περιοχής μελέτης	61
Διάγραμμα 45: Χώρος εργασίας της βαθυμετρίας.....	61
Διάγραμμα 46: Επιλογή εντολής background management	62
Διάγραμμα 47: Επιλογή εντολής import για εισαγωγή του αρχείου με όλα τα γεωγραφικά σημεία της περιοχής μελέτης.....	63
Διάγραμμα 48: Εισαγωγή γεωγραφικών σημείων στο χώρο εργασίας της βαθυμετρίας	63
Διάγραμμα 49: Εξακρίβωση σημείων βαθυμετρίας.....	64
Διάγραμμα 50: Εισαγωγή απόστασης μεταξύ των σημείων και αριθμού των σημείων .	65
Διάγραμμα 51: Καθορισμός επιλογής interpolate.....	65
Διάγραμμα 52: Βαθυμετρία 100x100m χωρίς επέκταση κυματοθραύστη.....	66
Διάγραμμα 53: Βαθυμετρία 100x100m με επέκταση κυματοθραύστη.....	66
Διάγραμμα 54: Κάνναβος 50x50m χωρίς επέκταση κυματοθραύστη	67
Διάγραμμα 55: Κάνναβος 50x50m με επέκταση κυματοθραύστη σε περιβάλλον AutoCAD	67
Διάγραμμα 56: Βαθυμετρία 50x50m χωρίς επέκταση κυματοθραύστη.....	68
Διάγραμμα 57: Βαθυμετρία 50x50m με επέκταση κυματοθραύστη.....	68

Διάγραμμα 58: Υπολογισμός μήκους κύματος (Κουτίτας Χ., 1998).....	70
Διάγραμμα 59: Περίθλαση κυμάτων (Καραμπάς Θ.,2015).....	72
Διάγραμμα 60: Μέτρηση απόστασης από Λιμάνι Βασιλικού ως την απέναντι ακτή.....	74
Διάγραμμα 61: Μετρήσεις αποστάσεων ανά 5°	75
Διάγραμμα 62: Επιλογή σημείου μελέτης	78
Διάγραμμα 63: Μέτρηση απόστασης r.....	79
Διάγραμμα 64: Ένδειξη γωνιάς $\beta=120^\circ$	80
Διάγραμμα 65: Τυπική διατομή απεικόνισης των μεγεθών $d(y)$ και h^* (Καραμπάς Θ.,2015).....	81

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΔΕ.: Τμήμα Δημοσίων Έργων

ΤΚΧ: Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας

ΑΛΚ: Αρχή Λιμένων Κύπρου

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αναμφισβήτητα η διάβρωση ακτών είναι ένα ακραίο φαινόμενο που δυστυχώς παρατηρείται έντονα και ανοδικά με το πέρασμα του χρόνου σε μεγάλο αριθμό περιοχών, τόσο στην Κύπρο όσο και στο εξωτερικό. Ένα αναπόσπαστο κομμάτι είναι η διεξαγωγή ορθού ελέγχου και χειρισμού της παράκτιας ζώνης, το οποίο απαιτεί και βαθιά ανάλυση του ως προς την κατασκευή έργων προστασίας με απώτερο στόχο αιεφόρες λύσεις για προστασία της ευαισθησίας του περιβάλλοντος. Βασικό αίτημα είναι ο αποτελεσματικός διαχειρισμός αποδοτικών έργων προστασίας της παράκτιας ζώνης που να είναι πλήρης εναρμονισμένος ως προς την φύση.

Για αυτούς τους λόγους είναι απαραίτητη η συνειδητοποίηση του φαινομένου της διάβρωσης των ακτών που θα συντελέσει στην εύρεση λύσεων ισορροπίας. Με τον όρο λύσεις ισορροπίας νοούνται οι κατασκευές έργων προστασίας που θα λειτουργούν ευνοϊκά ως προς τις ακτές και δεν θα προκαλούν μεγάλα προβλήματα στο παράκτιο μέτωπο.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η παράκτια ζώνη αποτελεί μια καθοριστική και κρίσιμη περιοχή μεταξύ ξηράς και θάλασσας, αφού παρατηρείται ως χώρος πλήρης αλληλεπίδρασης με σημαντικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες της βιόσφαιρας, λιθόσφαιρας, υδρόσφαιρας και ατμόσφαιρας. Μπορεί να θεωρηθεί ως εύθραστο οικοσύστημα αφού και η μορφολογία της σχετίζεται άμεσα με φυσικές διεργασίες που μπορεί να δεχθεί ιζήματα από τον θαλάσσιο χώρο ή από ποτάμια ή και από την ίδια την ατμόσφαιρα.

Ένα βασικό πρόβλημα που παρουσιάζεται σε όλες τις Ευρωπαϊκές θάλασσες συνολικού μήκους ακτογραμμής (εσωτερικό όριο παράκτιας ζώνης) 143000 km περιλαμβανομένων μεσογειακών, υποτροπικών και αρκτικών κλιματικών ζωνών είναι η θαλάσσια ρύπανση της παράκτιας ζώνης που προκαλεί ποικίλα μειονεκτήματα ως προς το περιβάλλον. Κατόπιν, μέσω του φαινομένου της στερεομεταφοράς, κατά το οποίο παρατηρείται αποσταθεροποίηση των κόκκων από τις ακτές εξαιτίας των κυματισμών που το προκαλούν αυτό, οδηγούν στην πρόκληση του φαινομένου της διάβρωσης των ακτών.

Γενικά, η διάβρωση των ακτών είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο προκύπτει από την δράση κυρίως των κυμάτων, του ανέμου, της παλίρροιας και γενικά των θαλάσσιων

ρευμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται κινήσεις μεγάλων ποσοτήτων ιζημάτος όπως λάσπη, άμμος και ιλύς, τα οποία υφίστανται αποκόλληση εξαιτίας των διαφόρων συνιστωσών που ασκούνται σε αυτούς τους κόκκους. Με αυτό τον τρόπο γίνεται η έναρξη του φαινομένου της διάβρωσης που δεν οφείλεται μόνο στις κλιματικές αλλαγές(κύματα, άνεμοι κλπ) αλλά και εξαιτίας του ανθρώπινου παράγοντα που μπορεί να κατασκευάσει φράγματα, παράκτια έργα κλπ, τα οποία διαταράσσουν τις ισορροπίες στις κατανομές των ιζημάτων. Πέρα από τις έντονες διαβρώσεις παρατηρούνται και έντονες προσχώσεις δηλαδή αποθέσεις στερεών υλικών από τα νερά και τον άνεμο που προκαλούν επέκταση εκτάσεων γης ή σχηματισμό νέων εκτάσεων, αφού εισέρχεται η ξηρά στη θάλασσα. Ενώ σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή παρατηρηθεί διεύδυση της θάλασσας στην ξηρά, οι ακτές υφίστανται διάβρωση.

Επομένως ένα αναπόσπαστο κομμάτι το οποίο πρέπει να πραγματοποιείται σε περιοχές με τέτοια προβλήματα, είναι η διεξαγωγή ορθής ακτομηχανικής μελέτης. Στις μελέτες αυτές θα πρέπει να περιλαμβάνονται και μαθηματικά μοντέλα από εξειδικευμένα λογισμικά που θα οδηγήσουν σε διευκολύνσεις σχετικά με την άμεση εύρεση λύσεων προστασίας των ακτών.



Διάγραμμα 1: Διάβρωση ακτής στο Ναυτικό Όμιλο Λεμεσού

2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ

Ένας βασικός έλεγχος ο οποίος απαιτείται να γίνεται κατά διαστήματα στην Κύπρο, είναι η παρουσίαση των σοβαρών προβλημάτων που εμφανίζονται ανοδικά στην παράκτια ζώνη της, σχετικά με το αναπόφευκτο φαινόμενο της διάβρωσης.

Δυστυχώς με το πέρασμα του καιρού η κατάσταση στην Κύπρο περί του θέματος αυτού όλο και χειροτερεύει. Οι ακτές της βρίσκονται σε ένα κρίσιμο σημείο αφού εξαιτίας του συνδυασμού των κλιματικών αλλαγών που παρατηρούνται στο νησί μαζί με την ενεργό συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα, διογκώνουν το πρόβλημα της διάβρωσης των κυπριακών ακτών.

Με τον όρο ανθρώπινος παράγοντας νοείται η παρέμβαση του ανθρώπου στην παράκτια ζώνη μέσω του λανθασμένου σχεδιασμού στις κατασκευές των παράκτιων έργων, στις κατασκευές των φραγμάτων, στις λατομεύσεις του παράκτιου υλικού κλπ. Επίσης η διάβρωση των ακτών της Κύπρου επιτείνεται μέσω της έντονης αστικής ανάπτυξης που μαζί με την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας έχει ως αποτέλεσμα την ένταξη του νερού της θάλασσας προς την ξηρά καθώς και την υποχώρηση της ακτογραμμής, αφού διαταράσσεται η δυναμική συμπεριφορά μεγάλων μέρων της ακτής. Οι κατασκευές έργων σε κυματικές περιοχές οδηγούν σε διαβρώσεις γιατί δυσκολεύουν τις φυσικές διαδικασίες των κυμάτων.

Πιο αναλυτικά, η οποιαδήποτε ανέγερση παράκτιου έργου στις ακτογραμμές της Κύπρου αποτελεί απόφραξη στις παράκτιες λειτουργίες και η παρέμβαση αυτή διαταράσσει τις ισορροπίες των ιζημάτων στις ακτές που οδηγούν σε ισχυρές διαβρώσεις αλλά και προσχώσεις. Κάποια παράκτια έργα που έχουν πραγματοποιηθεί στις ελεύθερες ακτές της Κύπρου μετέπειτα του ιστορικού γεγονότος του 1974, είναι εξήντα σχεδόν παράλληλοι κυματοθραύστες κατά μήκος απόστασης των 280 km, δώδεκα καταφύγια αλιείας και αρκετά άλλα μικρότερα έργα με στόχο τον σχηματισμό τεχνητών παραλιών. Συγκεκριμένα στη Λεμεσό σε μήκος ακτής 12km παρατηρείται το 50 % του συνόλου των παράκτιων έργων. Όλα αυτά τα παράκτια έργα προκαλούν ραγδαίες μεταβολές στην μορφολογία των ακτών, υποβάθμιση τόσο στους παράκτιους βιότοπους όσο και στο θαλάσσιο νερό, ειδικά όταν η κατασκευή τους γίνεται άστοχα, χωρίς κάποιο ουσιώδη σκοπό. (Λοϊζίδου Ξ., 2008)

Όπως αναφέρθηκε ο ανθρώπινος παράγοντας λαμβάνει χώρα και στις λατομεύσεις του παράκτιου υλικού που μέσα από τις λατομεύσεις αυτές χειροτερεύει το πρόβλημα της διάβρωσης αφού η άμμος στην Κύπρο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα υλικό υπό έλλειψη.

Επιπρόσθετα η ιδέα για κατασκευή των φραγμάτων γεννήθηκε δεδομένου του υδατικού προβλήματος που επικρατούσε στην Κύπρο, λόγω αυξημένου αριθμού στον πληθυσμό της χώρας. Στο σύνολο υπάρχουν 101 φράγματα στην Κύπρο, εκ των οποίων τα 37 ανεγέρθηκαν τα τελευταία 20 χρόνια και συγκεντρώνουν στους ταμιευτήρες τους 297εκ. κυβικά μέτρα νερού περίπου. Ο λόγος για τον οποίο η κατασκευή των φραγμάτων οδηγά στις παράκτιες διαβρώσεις είναι εξαιτίας του συνδυασμού των κυματικών δράσεων σε σχέση με την τροφοδοσία των ακτών με το ποτάμιο υλικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ενεργή δράση των κυμάτων να προκαλεί την εμφάνιση της διάβρωσης στις ακτές. (Λοϊζίδου Ξ., 2008)

Εννοείται ότι η εμφάνιση του φαινομένου αυτού δεν οφείλεται μόνο από τις ανθρώπινες ενέργειες αφού η διάβρωση είναι ένα φυσικό φαινόμενο που παρουσιάζεται και λόγω των δράσεων των κυμάτων, από τις παλίρροιες και γενικότερα εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών για τις οποίες γίνεται περαιτέρω ανάλυση σε μετέπειτα κεφάλαιο. Έπειτα είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το σύνολο των φυσικών αυτών ενεργειών επιδρά περισσότερο σε ακτογραμμές με χαμηλό υψόμετρο και με αυτό τον τρόπο εντείνονται τα ακραία καιρικά φαινόμενα τα οποία οδηγούν στην πρόκληση θαλάσσιων πλημμύρων.

Με βάση έρευνες από την ελεγκτική υπηρεσία της Κύπρου το συνολικό μήκος όλων των ακτών της Κύπρου ανέρχεται στα 772 χιλιόμετρα, καθώς επίσης αναφέρετε πως κατά την χρονική περίοδο 1963-2008 παρατηρήθηκε έντονη διάβρωση στις επιφάνειες των κυπριακών ακτών που φτάνει μέχρι τα 2,2 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Έπειτα έγινε λόγος από την Υπηρεσία Μεταλλείων πως είχαν πραγματοποιηθεί εξορύξεις άμμων και χαλκικών από το 1955 μέχρι το 1970 που αυτό σηματοδοτεί αυτόματα τον βασικότερο λόγο της διάβρωσης των ακτών. Η εξορύξη των υλικών αυτών είχε γίνει πριν παρθεί νομοθεσία απαγορεύσεως στις αρχές του 1970 αλλά με βάση το Τμήμα Δημοσίων Έργων (ΤΔΕ), η νομοθεσία αυτή δεν λήφθηκε υπόψη αφού εξακολουθούσε να παρατηρείτε διάβρωση κυρίως λόγω της ανέγερσης φραγμάτων. Παρόλα αυτά δυστυχώς δεν διεξάχθηκε η οποιαδήποτε έρευνα για εκτίμηση των κινδύνων που

ελλόχευαν στις ακτογραμμές εξαιτίας της διάβρωσης αλλά και της βύθισης. (Ελεγκτική Υπηρεσία της Δημοκρατίας,2014)

Σύμφωνα με το ΤΔΕ, καθώς και το Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας (ΤΚΧ) παρατηρείτε έντονη διάβρωση των ακτών στα παραλιακά μέτωπα της Πόλεως Χρυσοχούς και Γεροσκήπου στην Πάφο και στην περιοχή των Περιβολιών στην Λάρνακα. Συγκεκριμένα στην Γεροσκήπου η εμφάνιση του φαινομένου της διάβρωσης όλο και επιδεινώνεται διότι με βάση έρευνες έχει ήδη φτάσει τα 14 μέτρα και αποτελεί απειλή για δέκα παραλιακά ξενοδοχεία στην περιοχή. Ήδη από τα όρια της περιοχής Αχέλειας μέχρι και τα όρια της Κάτω Πάφου έχουν κατασκευαστεί 12 κυματοθραύστες για περιορισμό του φαινομένου αυτού, όμως η συνεχής ανοδική εξέλιξη της διάβρωσης απαιτεί κατασκευή και άλλων κυματοθραυστών ώστε να προστατευτούν τα δέκα ξενοδοχεία του Δήμου Γεροσκήπου. (Χριστοδούλου Ν.,2018).



Διάγραμμα 2: Μέση διάβρωση περιοχής «Αχέλεια» στα 60m, 1963-2008 (Ελεγκτική Υπηρεσία της Δημοκρατίας,2014)

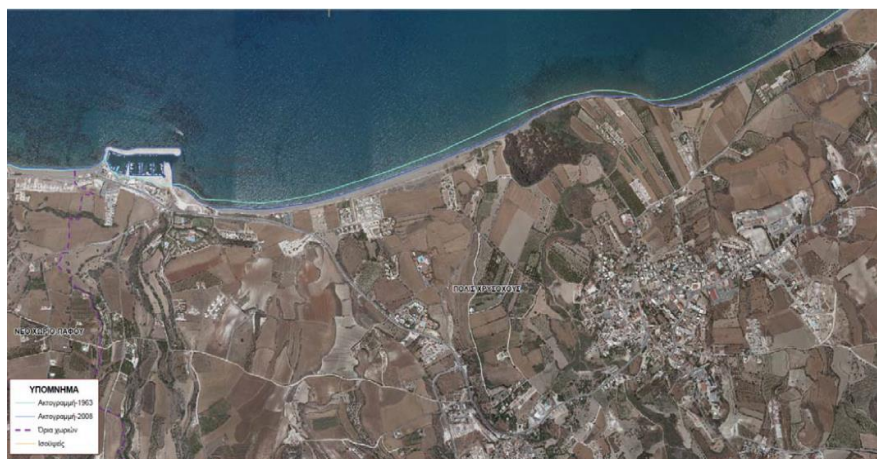


Διάγραμμα 3: Διάβρωση ακτής στο παραλιακό μέτωπο τουριστικής περιοχής της Γεροσκήπου (Pafosnet.com, 2018) 5

Πέρα όμως από την Γεροσκήπου, στον Δήμο της Πόλεως Χρυσοχούς καταγράφονται μετρήσεις που ξεπερνούν τα 70 μέτρα καταστροφής εξαιτίας της διάβρωσης. Στον Κόλπο Χρυσοχούς περιλαμβάνεται και η περιοχή της Αργάκας όπου επίσης διαφαίνεται έντονη διάβρωση. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού, που καταλαμβάνει έκταση πέρα των 20 km και που έχει ως αφετηρία την Γεροσκήπου μέχρι και την Πέγεια έχουν ήδη σχεδιαστεί και άλλα έργα προστασίας φιλικά προς το περιβάλλον για τα οποία αναμένεται η εκτέλεση τους.(Χριστοδούλου Ν. ,2018)



Διάγραμμα 4: Διάβρωση ακτής στην περιοχή Αργάκας (Ελεγκτική Υπηρεσία της Δημοκρατίας,2014)



Διάγραμμα 5: Μέση διάβρωση περιοχής «Πόλεως Χρυσοχούς» στα 36m, 1963-2008 (Ελεγκτική Υπηρεσία της Δημοκρατίας, 2014)

Η περιοχή της Πέγειας στην επαρχία Πάφου αποτελεί επιπλέον μια ανησυχητική περίπτωση με ένδειξη διαβρωτικού φαινομένου.



Διάγραμμα 6: Διάβρωση στην περιοχή της Πέγειας, Πάφος(Philenews, 2017)

Επιπλέον εκτός από τις περιοχές του Δήμου Πάφου παρατηρείται διάβρωση στα Περβόλια στην Λάρνακα. Συγκεκριμένα το έτος 2015 η διάβρωση είχε ξεπεράσει τα πέντε μέτρα στα δυτικά του Κάβο Κίτι της περιοχής των Περβολιών. Σε μικρότερο βαθμό παρατηρείται η διάβρωση σε ακτές της παραλίας της Ορόκλινης στην Λάρνακα που σύμφωνα με ειδικούς υπάρχει απώλεια ενός μέτρου από την παραλία κάθε χρόνο. Με βάση μελέτες που έγιναν από το ΤΔΕ απαιτείται η κατασκευή επτά κυματοθραυστών στα γεωγραφικά όρια της Ορόκλινης, δεκαπέντε κυματοθραυστών από περιοχή Μενεού μέχρι Περβόλια καθώς και ακόμη πέντε εντός του Δήμου Λάρνακας. Σε άλλες ακτές της Κύπρου η διάβρωση δεν είναι τόσο έντονη και ανέρχεται στα 50 εκατοστά ανά έτος. (Δούκας Κ.,2013)



Διάγραμμα 7: Διάβρωση ακτής στην περιοχή Δρομολαξιάς-Μενεού (Ελεγκτική Υπηρεσία της Δημοκρατίας, 2014)



Διάγραμμα 8: Διάβρωση ακτής στο παραλιακό μέτωπο της Ορόκλινης

Το φαινόμενο της διάβρωσης όλο και επιδεινώνετε πλέον και στην κατά μήκος παραλιακή περιοχή του Ναυτικού Ομίλου Λεμεσού. Η σημερινή κατάσταση σε αυτήν την τοποθεσία (περιοχή Guaba, Λεμεσός) είναι έντονη και διαφάνεται πιο κάτω:



Διάγραμμα 9: Έντονη διάβρωση στο παραλιακό μέτωπο Ναυτικού Ομίλου Λεμεσού

Το ΤΚΧ είχε ετοιμάσει από το 2012 χάρτες αποτύπωσης όλου του μήκους των ακτογραμμών της ελεύθερης περιοχής της Κύπρου, έτσι ώστε να είναι εις γνώση της Επιτροπής Περιβάλλοντος τα στοιχεία για το πού και πόση είναι η επέκταση της διάβρωσης κατά μήκος μιας οποιασδήποτε κυπριακής ακτής. Με βάση τους χάρτες αυτούς εξάχθηκαν κάποια σημαντικά στοιχεία μέσα από τα οποία υποστηρίζεται πως κατά την χρονική περίοδο 1963-2008 υπήρξε μέγιστη διάβρωση στα 260 μέτρα και ελάχιστη στα 3.5 μέτρα σε ακτογραμμή συνολικού μήκους 92.338 μέτρων. (Ελεγκτική Υπηρεσία της Δημοκρατίας, 2014)

Γενικά, στατιστικές μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα πως το 40% της ακτογραμμής της Κύπρου έχει πάθει διάβρωση εξαιτίας της ανθρώπινης επέμβασης (πολλές φορές και από παράνομες κατασκευές κυματοθραυστών), καθώς και στο ότι, σε ορισμένα διαστήματα η ακτή έχει διαβρωθεί κατά 80m, που αυτό σημαίνει ότι παρατηρείται διάβρωση σχεδόν 2m τον χρόνο. Μία εναλλακτική αποτελεσματική τεχνική για αντιμετώπιση της αναπόφευκτης αυτής κατάστασης πέρα από τον ορθό σχεδιασμό έργων προστασίας, είναι οι βυθισμένοι κυματοθραύστες και η παρέμβαση για σχεδιασμό τεχνητής αναδημιουργίας των ακτών. Οι βυθισμένοι κυματοθραύστες θα συμβάλλουν στην ανανέωση του νερού αφού βρίσκονται κάτω από την στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας και δεν επιδρούν αρνητικά στο θαλάσσιο περιβάλλον. (Κουτσοβέλα Δ.,2010 ; Δούκας Κ.,2013)

3 ΦΥΣΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Το φαινόμενο της παράκτιας διάβρωσης αποτελεί μια άκρος σημαντική διεργασία κατά την οποία συμβαίνει η υποχώρηση της ακτογραμμής, λόγω της επίδρασης τόσο των φυσικών παραγόντων όσο και του ανθρώπινου παράγοντα. Προκαλεί την μεταβολή της μορφής των ακτογραμμών και πάντοτε εξαιτίας της πραγματοποίησης της παρατηρείται απώλεια αμμώδους έκτασης. (Αντζουλάτου Α.,2015)

Ο βαθμός διάβρωσης μίας ακτής σχετίζεται άμεσα με το βαθμό έντασης της επίδρασης των φυσικών φαινομένων που εμφανίζονται στο θαλάσσιο περιβάλλον καθώς και από διάφορους τοπικούς παράγοντες που αφορούν την γεωλογία, γεωμορφολογία και γενικά την τοπογραφία της περιοχής μελέτης της ακτής. Με τον όρο επίδραση φυσικού φαινομένου νοούνται φυσικά και οι ίδιοι οι κυματισμοί, οι οποίοι αποτελούν κυματική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται άμεσα με την επίδραση της ταχύτητας και της χρονικής διάρκειας του ανέμου στην θάλασσα και συνιστά τον βασικότερο λόγο εμφάνισης της διάβρωσης στις ακτές. Οι έντονες καταιγίδες και τα επιμήκη ρεύματα συντελούν επίσης στην πρόκληση των φυσικών διεργασιών της διάβρωσης και γενικότερα η όλη κατάσταση που επικρατεί με την αναπόφευκτη δράση των κλιματικών αλλαγών. Ο παράγοντας που σχετίζεται με την γεωλογία της ακτής αφορά την αντοχή των κοκκωδών υλικών της περιοχής. Σε περίπτωση που τα κοκκώδες υλικά έχουν χαμηλές τιμές αντοχής τότε η διάβρωση εμφανίζεται ταχύτερα απ'ότι με ύπαρξη κοκκωδών υλικών υψηλής αντοχής. Ακόμη βασική παρατήρηση είναι ότι μεγαλύτερος ρυθμός διάβρωσης γίνεται σε αμμώδεις ακτές όπου το νερό που εισέρχεται σε αυτές είναι λίγο, συγκριτικά με ακτές από χαλίγια στις οποίες μπορεί να εισαχθεί μεγαλύτερη ποσότητα νερού, που αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ελαττώνεται η ενέργεια εξαιτίας της τριβής και αυτό με την σειρά του οδηγεί σε πιο μικρούς ρυθμούς διάβρωσης. Ενώ ο παράγοντας της μορφολογίας της ακτής αφορά την κλίση της περιοχής μελέτης, για το κατά πόσο είναι απότομη ή ήπια. Τον ίδιο σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και τα τοπογραφικά δεδομένα στην ακτή.(Αντζουλάτου Α.,2015; Σπετσιώτης Δ.,2003)

Η διάβρωση μιας ακτής μπορεί να οδηγήσει σε μία μακροχρόνια υποχώρηση της γραμμής που ποτέ να μην μπορεί να επανέλθει ξανά στην αρχική της μορφή, δηλαδή θα παραμείνει αμετάβλητη λόγω της ανύψωσης της μέσης στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας ή και εξαιτίας της πρόκλησης του αρνητικού ισοζυγίου για το οποίο γίνεται

λόγος και ανάλυση του στο επόμενο κεφάλαιο. Όμως το φαινόμενο της διάβρωσης μπορεί να παρατηρηθεί και βραχυπρόθεσμα λόγω δράσης έντονων καιρικών θαλάσσιων φαινομένων όπως παλίρροιας και θύελλας τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε τεράστιες καταστροφές και σε παροδική υποχώρηση της ακτογραμμής.(Αντζουλάτου Α.,2015)

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικότερα η επεξήγηση του φαινομένου της στερεομεταφοράς που ουσιαστικά αυτή είναι που οδηγά στην διάβρωση.

3.1 Αναλυτική επεξήγηση φαινομένου στερεομεταφοράς

Πιο κάτω θα αναλυθούν οι φυσικοί μηχανισμοί της στερεομεταφοράς των ιζημάτων στην παράκτια ζώνη καθώς και των βασικών συνιστωσών της, αφού αυτή αποτελεί και την βασική αιτία πρόκλησης της παράκτιας διάβρωσης.

Η εμφάνιση του φαινομένου της παράκτιας διάβρωσης προκύπτει από το σοβαρό τεχνικό πρόβλημα του αρνητικού ισοζυγίου, που οφείλεται στις επιδράσεις των διεργασιών της εναπόθεσης και απομάκρυνσης των φερτών υλών. Οι μετακινήσεις αυτές γίνονται διαμέσου της επίδρασης των θαλάσσιων ρευμάτων και έτσι προκαλείτε η διάβρωση των ακτών. Όταν η οποιαδήποτε παραλία αδυνατεί να κρατήσει σε ισορροπία την ενέργεια που παράγεται από τα κύματα αλλά και από τους υδάτινους όγκους που μαζεύονται σε αυτή, τότε καθορίζεται και το αρνητικό ισοζύγιο. Για το λόγο αυτό είναι ευρείας σημασίας να είναι εις γνώση του μηχανικού, το πρόβλημα του ισοζυγίου των φερτών υλών για να μπορεί να αντιμετωπίσει άμεσα και χωρίς καμία ιδιαίτερη δυσκολία το πρόβλημα που παρουσιάστηκε μέσω των απαραίτητων έργων προστασίας.

Οι δράσεις των κυματισμών και των ρευμάτων παρατηρούνται τόσο στις ακτές όσο και στο πυθμένα των παράκτιων ζωνών και είναι σε θέση να διακριθούν ως βραχώδεις ή αμμώδεις. Οι βραχώδεις ακτές και ο πυθμένας διακρίνονται έχοντας σταθερή εικόνα που δύσκολα αλλάζει με το πέρασμα των αιώνων. Οι αμμώδεις περιοχές προκύπτουν από κοκκώδη υλικά στα οποία επιδρούν τα θαλάσσια ρεύματα, υφίστανται αλλοιώσεις ως προς την μορφολογία τους και κατ'επέκταση συνεχή διάβρωση. Οι μεταβολές που παρατηρούνται στις αμμώδεις περιοχές γίνονται σε μικρές μέχρι και μεγάλες χρονικές κλίμακες. (Καραμπάς Θ.,2015)

Γενικά η προέλευση του μεγαλύτερου μέρους υλικού που συνθέτει τις ακτές είναι μέσω της εναπόθεσης τους από ποταμούς, με τους οποίους γινόταν η μεταφορά του μέσω της ενδοχώρας, δεδομένου ότι αρχικά πραγματοποιηθήκαν τα φαινόμενα αποσάθρωσης και διάβρωσης. Συγκεκριμένα οι κροκάλες και οι χάλικες, τις περισσότερες φορές μεταφέρονται μέσω ποταμών μικρής έκτασης με απότομη κλίση, οι οποίοι παρατηρούνται σε τοποθεσίες με σχετικά σύγχρονα γεωλογικά δεδομένα. Ενώ στα πιο παλιά χρόνια γινόταν μεταφορά ιλύς και άμμου από ποταμούς οι οποίοι ήταν ρηχοί. Ακόμη μία πηγή προέλευσης που συμβάλλει σε μικρότερο βαθμό στην διαμόρφωση

των ακτών είναι τα κατακρημνίσματα εξαιτίας των σεισμών που εμφανίζεται σε βράχους και παράκτιους γκρεμούς, αλλά επίσης και οι χημικές αποσαθρώσεις κυρίως σε θερμές θάλασσες. (Σπετσιώτης Δ.,2003)

Είναι καλό να αναφερθούν τα βασικά ανόργανα υλικά που συνθέτουν τις κοκκώδεις ακτές και κατόπιν συμβάλλουν στις διάφορες κατεργασίες του φαινομένου της στερεομεταφοράς εξαιτίας των διαφορετικών φυσικών ιδιοτήτων του κάθε υλικού. Η ταξινόμηση των υλικών αυτών γίνεται με βάση τις διαμέτρους τους. Υπάρχουν οι κροκάλες με διάμετρο 250-60mm, οι χάλικες με 32-4mm, η άμμος με 2-0,1mm, ιλύς με 0,03-0,004mm και τέλος η άργιλος με 0,002-0,0002mm. Με βάση το ειδικό βάρος και την διάμετρο του κάθε κόκκου μπορεί να καθοριστούν σημαντικά χαρακτηριστικά τους όπως είναι η καθίζησης τους και η γωνία της εσωτερικής τους τριβής (στα αμμώδη υλικά: $\tan\Phi=0.6$). Συγκεκριμένα για φυσικούς κόκκους η ταχύτητα καθίζησης ορίζεται από την σχέση:

$$W_f = [(\rho_s/\rho - 1)g]^{0.7} (d_{50}^{1.1} / 6v^{0.4}), \text{ για } 0.13 \leq d_{50} \leq 1.6\text{mm} \quad (\text{Εξ.1})$$

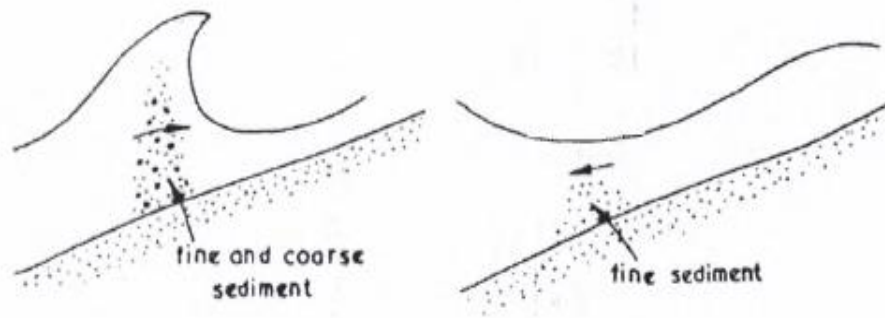
$$W_f = 1.05[(\rho_s/\rho - 1)gd_{50}]^{0.5}, \text{ για } 1.6 < d_{50} \leq 8\text{mm} \quad (\text{Εξ.2})$$

Όπου v = κινηματικό ιξώδες, ρ = πυκνότητα νερού, ρ_s =πυκνότητα κόκκου.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο διαχωρισμός κάθε είδους κόκκων έχει να κάνει με την ενέργεια που δέχεται από τα κύματα το οποιοδήποτε μέγεθος κόκκου. Διότι ο διαχωρισμός γίνεται με φυσικές διαδικασίες και όσο παρατηρούνται αλλαγές των χαρακτηριστικών του κύματος τόσες αντίστοιχα θα είναι και οι αλλαγές στον τρόπο κατάταξης των φερτών υλών σύμφωνα με την διάμετρο τους. (Καραμπάς Θ.,2015)

Στην παρακάτω εικόνα διαφαίνεται μια τυπική κίνηση των κόκκων σε παράκτια περιοχή. Παρατηρείται πως καθώς πλησιάζει η κορυφή του κύματος σε ένα συγκεκριμένο σημείο της παράκτιας ζώνης, οι διάφοροι κόκκοι είναι σε αιώρηση και έχουν κατεύθυνση προς την ακτή. Επίσης η ταχύτητα του νερού στο σημείο πριν ακολουθηθεί η κοιλία του κύματος μηδενίζεται και με αυτό τον τρόπο τείνει να οδηγήσει τα πιο βαρετά σωματίδια προς τον βυθό, ενώ τα ελαφρύτερα σωματίδια εξακολουθούν να βρίσκονται σε αιώρηση αλλά μετακινούνται προς τα ρηγά νερά λόγω του ρεύματος επαναφοράς. Η πραγματοποίηση των φαινομένων αυτών προς τα ανοικτά χρειάζεται αρκετό χρόνο μεγαλύτερο και από μία χρονική περίοδο ενός κύματος. Για

αυτό τον λόγο γίνεται η μεταφορά των βαρύτερων κόκκων στην ακτή και έτσι δημιουργείται η έκταση της άμμου.(Σπετσιώτης Δ., 2003)



Διάγραμμα 10: Μεταφορά κόκκων στην παράκτια ζώνη (Σπετσιώτης Δ., 2003)

3.2 Μηχανισμοί μεταφοράς φερτών υλών

Η δύναμη της βαρύτητας είναι ιδιαίτερης σημασίας σε ποικίλες περιστάσεις. Μία από αυτές είναι και η δράση της στις αναταράξεις των θαλάσσιων μαζών που παρατηρούνται στην επιφάνεια της θάλασσας και προκαλούν τους θαλάσσιους κυματισμούς. Οι βασικότερες πηγές προέλευσης των κυματισμών σχετίζονται με την επιρροή του ανέμου στην θάλασσα, με τους θαλάσσιους σεισμούς, με τις διαφορές που σημειώνονται περί των πυκνοτήτων στις θαλάσσιες μάζες καθώς επίσης και με τις διαφορετικές διαστάσεις της βαρομετρικής πίεσης στις διάφορες θέσεις της επιφάνειας της θάλασσας. Η σημαντικότερη όμως πηγή προέλευσης του κύματος είναι ο άνεμος, ο οποίος διαμέσου των παλιρροϊκών ρευμάτων αποτελεί μία βασική αιτία μεταφοράς των φερτών υλών.

Κατόπιν στα κύματα παρατηρούνται κάποια φυσικά φαινόμενα όπως είναι τα φαινόμενα της ρήξης, διάθλασης, περίθλασης, θραύσης, ανάκλασης και αναρρίχησης στην ακτή. Αυτό οδηγεί στην παράλληλη κίνηση του νερού ως προς την ακτή αλλά και στην πρόκληση ενός δεύτερου ρεύματος εγκάρσια, με πορεία προς τα ανοιχτά που θεωρείται ως κύμα επαναφοράς. Η μεταφορά των φερτών υλών προς τον παράκτιο χώρο οφείλεται παραδόξως σε όλη αυτή την πρόκληση του θαλάσσιου ρεύματος.

Είναι αυτονόητο ότι σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν ρεύματα και κυματισμοί δεν υπάρχει ούτε μεταφορά φερτών υλών του πυθμένα. Ο βασικότερος λόγος αποσταθεροποίησης των κόκκων των ιζημάτων είναι η υδροδυναμική κατάσταση που επικρατεί πλησίον του πυθμένα. Στα κοκκώδες υλικά ασκούνται κάποιες σημαντικές δράσεις όπως είναι οι ορθές και διατμητικές τάσεις που δέχονται από την κυματική ενέργεια, οι υδροδυναμικές πιέσεις εξαιτίας της διήθησης καθώς και οι αντιδράσεις πρόσκρουσης και στήριξης σε άλλους κόκκους. Όλες αυτές οι συνιστώσες προκαλούν τις απαραίτητες συνθήκες για δυναμική αποκόλληση των επιφανειακών κόκκων οδηγώντας στην διάβρωση. Εξαιρέση αποτελούν τα λεπτόκοκκα εδάφη όπως για παράδειγμα τα αργιλικά, όπου σε αυτά δυσκολεύεται να ξεκινήσει το φαινόμενο της διάβρωσης χάρις των δυνάμεων συνοχής διότι υπάρχουν συνεκτικά εδάφη. (Καραμπάς Θ., 2015)

Αφού γίνει η αποσταθεροποίηση των κόκκων των ιζημάτων, τότε αυτοί μεταφέρονται ως φορτίο πυθμένα ή ως φορτίο σε αιώρηση. Ως φορτίο πυθμένα συμβαίνει όταν

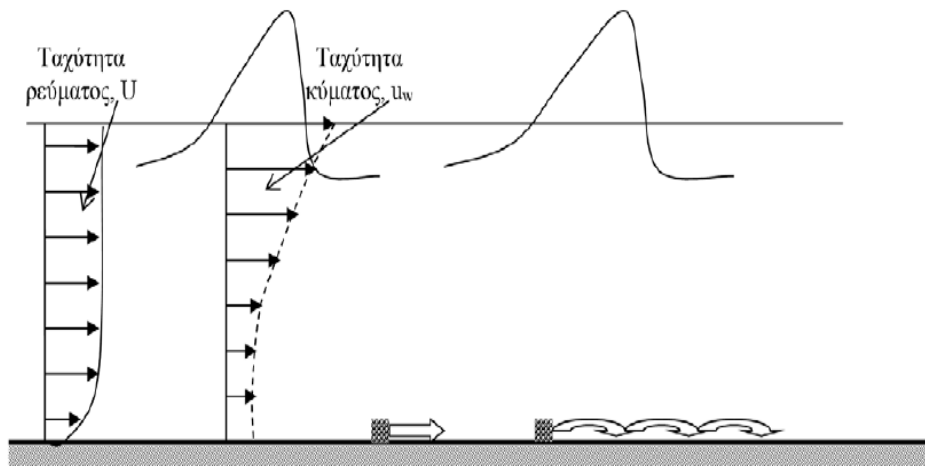
πραγματοποιείται κίνηση με κύλιση στον πυθμένα ή με διαδεχόμενες αναπηδήσεις στον πυθμένα. Ενώ το φορτίο σε αιώρηση προκύπτει από την κίνηση των κόκκων σε αιώρηση στο νερό εξαιτίας της τύρβης, των θραυόμενων κυματισμών και του οριακού στρώματος. (Καραμπάς Θ.,2015) Επομένως το συνολικό φορτίο φερτών υλών είναι το άθροισμα του φορτίου πυθμένα και του φορτίου σε αιώρηση.

$$q_t = q_b + q_s \quad (\text{Εξ.3})$$

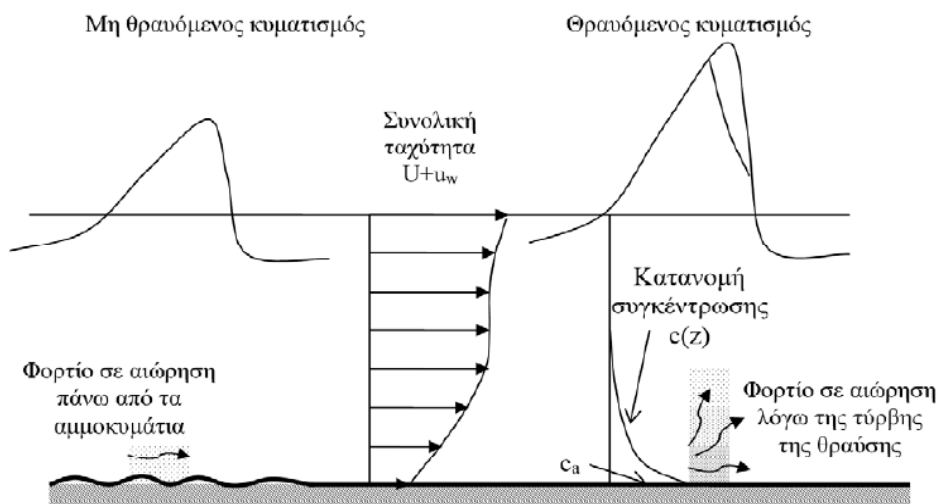
όπου: q_t =συνολική παροχή φορτίου φερτών υλών

q_b =φορτίο πυθμένα

q_s =φορτίο σε αιώρηση



Διάγραμμα 11: Φορτίο πυθμένα (Καραμπάς Θ., 2015)



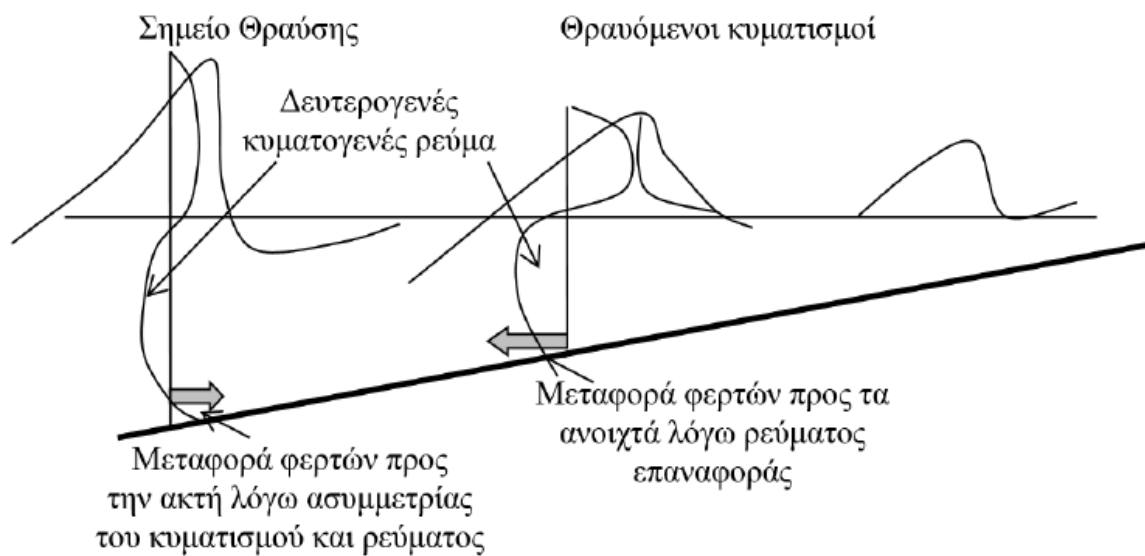
Διάγραμμα 12: Φορτίο πυθμένα (Καραμπάς Θ., 2015)

Τα θαλάσσια ρεύματα είναι υπεύθυνα για την μεταφορά του φορτίου αυτού σε μεγάλες αποστάσεις. Τα ρεύματα παραλαμβάνουν τους κόκκους , αφού αποσταθεροποιηθούν, μέσω των κυματισμών διότι τα κύματα είναι ο βασικότερος παράγοντας προέλευσης της αποκόλλησης των κόκκων. (Καραμπάς Θ.,2015)

3.2.1 Βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς φερτών υλών

Με βάση θεωρίες υδροδυναμικής πλευράς οι κύριοι μηχανισμοί για μεταφορά των φερτών υλών είναι αρχικά: **1)** η μεταφορά εξαιτίας κυματικής ασυμμετρίας δηλαδή η μεταφορά των φερτών γίνεται ασύμμετρα όπως είναι και η διεύθυνση των κυματισμών. Στην προκειμένη περίπτωση γίνεται μεγαλύτερη μεταφορά φερτών υλών στο σημείο ακριβώς κάτω από την κορυφή του κύματος λόγω του ότι η ταχύτητα στο σημείο αυτό μπορεί να πάρει την μέγιστη τιμή της. Ενώ στο σημείο κάτω από την κοιλιά του κυματισμού πραγματοποιείται μικρότερη μεταφορά των φερτών γιατί η ταχύτητα σε τέτοιο σημείο είναι πολύ πιο μικρή. **2)** Ακόμη ένας βασικός μηχανισμός είναι η μεταφορά των φερτών εξαιτίας των πρωτογενών κυματογενών ρευμάτων στις ζώνες θραύσης. Στο σημείο αυτό η ροή πλησίον του πυθμένα καθορίζει την εκκίνηση της κίνησης των κόκκων, οι οποίοι κατευθύνονται στην ίδια διεύθυνση με αυτήν του ρεύματος. **3)** Ένας τρίτος σημαντικός μηχανισμός μπορεί να θεωρηθεί η μεταφορά εξαιτίας δευτερογενών κυματογενών ρευμάτων που εν μέρει σχετίζεται με την μεταφορά λόγω κυματογενών ρευμάτων διότι οι κυματισμοί συνυπάρχουν με το κυματογενές ρεύμα και στις δύο περιπτώσεις. Με τον όρο δευτερογενές ρεύμα νοείται ένα τρισδιάστατο ρεύμα επαναφοράς με διεύθυνση προς τα ρηχά νερά καθώς και το ρεύμα που βρίσκεται κοντά στον πυθμένα του οποίου η κατεύθυνση συμπίπτει με αυτήν του κύματος. Ουσιαστικά το τρισδιάστατο ρεύμα επαναφοράς βρίσκεται κάτω από την κοιλιά του κύματος και εξισορροπεί την ροή της μάζας πάνω από την κοιλιά. (Καραμπάς Θ.,2015)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος ακτομηχανικής πρέπει να γίνεται εκτίμηση του δευτερογενούς ρεύματος προπάντων πλησίον του πυθμένα διότι εκεί παρατηρείται το μεγαλύτερο μέρος συγκέντρωσης των φερτών υλών.



Διάγραμμα 13: Τρόπος διάδοσης τρισδιάστατου κυματογενούς ρεύματος και μεταφοράς φερτών υλών εγκάρσια στην ακτή (Καραμπάς Θ., 2015)

Η μεταφορά του φορτίου των φερτών υλών σε περιοχές παράκτιας ζώνης όπου συνυπάρχουν οι κυματισμοί και τα ρεύματα, είναι μεγάλης σημασίας διότι οδηγεί σε ασταμάτητη μεταβολή της βαθυμετρίας και θέτει σε κύρια λειτουργία την ζώνη θραύσης και την ζώνη αναρρίχησης των κυμάτων. Στις ζώνες αυτές παρατηρείται συνεχής μεταβολή στην μορφολογία του πυθμένα και σε μικρή αλλά και σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Ένα αναπόσπαστο κομμάτι κατά την εκπόνηση μιας ακτομηχανικής μελέτης είναι αρχικά η εκτίμηση της παράκτιας αυτής στερεομεταφοράς και ακολούθως ο σωστός σχεδιασμός οποιουδήποτε παράκτιου έργου είτε λιμενικού είτε κάποιου έργου προστασίας των ακτών. (Σπετσιώτης Δ., 2003)

Μία βασική εκτίμηση θα μπορούσε να ήταν ο υπολογισμός για το κατώφλι κίνησης των κόκκων. Η αποκόλληση των κόκκων συμβαίνει όταν η διατμητική τάση που επικρατεί στον πυθμένα εξαιτίας κυματισμού και ρεύματος, ξεπεράσει μία οριακή τιμή. (Καραμπάς Θ., 2015)

Το κατώφλι κίνησης των κόκκων μπορεί να υπολογιστεί μέσω της παραμέτρου θ_{cr} του Shields συναρτήσει του αδιάστατου μεγέθους των κόκκων D^* :

$$D^* = d_{50} (g\Delta/v^2)^{1/3} \quad (\text{Εξ.4})$$

Όπου: d_{50} = μέση διάμετρος των κόκκων (0.2mm)

$\Delta=(\rho_s-\rho)/\rho$ σχετική πυκνότητα

ρ_s = πυκνότητα άμμου

ρ = πυκνότητα νερού

Για την παράμετρο θ_{cr} από Van Rijn, 1993:

$$\theta_{cr} = \tau_{ber} / (\rho_s - \rho)gD_{50} \quad \text{όταν:} \quad (\text{Εξ.5})$$

Όρια για παράμετρο D_* :

$0,24D_*^{-1}$	$1 < D_* < 4$
$0,14 D_*^{-0,64}$	$4 < D_* < 10$
$0,04 D_*^{-1}$	$10 < D_* < 20$
$0,013 D_*^{0,29}$	$20 < D_* < 150$
$0,055$	$D_* > 150$

Όπου τ_{ber} =κρίσιμη διατμητική τάση στον πυθμένα

Όταν η ολική διατμητική τάση που ασκείται στον πυθμένα υπερβεί την κρίσιμη διατμητική τάση του πυθμένα τότε γίνεται αποσταθεροποίηση των κόκκων.

Μία άλλη απαραίτητη εκτίμηση που θα πρέπει να λαμβάνει χώρα κατά την ακτομηχανική μελέτη είναι ο υπολογισμός των ποσοτικών σχέσεων της ειδικής στερεομεταφοράς με βάση εμπειρικές σχέσεις. Όπως προαναφέρθηκε μία βασική συνιστώσα για υπολογισμό της συνολικής παροχής φορτίου φερτών υλών είναι η τιμή του φορτίου πυθμένα η οποία μπορεί να βρεθεί μέσα από τις τροποποιημένες εξισώσεις των Meyer-Peter και Müller στηριζόμενοι στην θεωρία των διατμητικών τάσεων που εφαρμόζονται στον πυθμένα. Σε ένα θαλάσσιο περιβάλλον όπου συνυπάρχουν τα ρεύματα και οι κυματισμοί δίνονται οι εξής σχέσεις κατά τις διευθύνσεις x και y αντίστοιχα:

- $\langle q_{bx} \rangle / (\Delta g D_{50}^3)^{1/2} = 11 \langle |\theta| - \theta_c \rangle^{1.65} (\theta_x / |\theta|)$ ως προς την διεύθυνση x (Εξ.6)

- $\langle q_{by} \rangle / (\Delta g D_{50}^3)^{1/2} = 11 \langle |\theta| - \theta_c \rangle^{1.65} (\theta_y / |\theta|)$ ως προς την διεύθυνση y (Εξ.7)

Όπου $\langle \rangle$ είναι η ολοκλήρωση της περιόδου του κυματισμού και η παράμετρος θ :

$$\theta_x = \tau_{bx} / (\rho_s - \rho)gD_{50} \quad (\text{Εξ.8})$$

$$\theta_y = \tau_{by} / (\rho_s - \rho) g D_{50} \quad (\text{Εξ.9})$$

$$|\theta| = (\theta_x^2 + \theta_y^2)^{1/2} \quad (\text{Εξ.10})$$

Στο φορτίο του πυθμένα κατατάσσεται επίσης και η μεταφορά φερτών υλών σε στρώμα πυθμένα με πάχος 10 ως 100 διαμέτρους κόκκου που θεωρείται λεπτό στρώμα και στο οποίο συγκεντρώνεται μεγάλη αμμώδης επιφάνεια. Κυρίως σε περιπτώσεις θύελλας όπου παρατηρούνται μεγάλα ύψη κύματος το λεπτό αυτό στρώμα ρευστοποιείται λόγω της ενέργειας του κύματος και έτσι η μεταφορά των φερτών διαδραματίζεται σημαντικά.

Η δεύτερη βασική συνιστώσα που συμπληρώνει την συνολική παροχή φορτίου φερτών υλών είναι το φορτίο σε αιώρηση. Ένας σημαντικός παράγοντας που βοηθάει στην διάχυση των φερτών υλών κατακόρυφα σε αιώρηση είναι η τύρβη η οποία προκύπτει πλησίον του πυθμένα εξαιτίας της τριβής ή εξαιτίας της θραύσης των κυμάτων που εμφανίζεται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι εμπειρικές σχέσεις που ισχύουν για υπολογισμό του φορτίου σε αιώρηση ως προς του άξονες x και y είναι:

- $q_{sx} = \langle \int_{-d}^z u(z, t) c'(z, t) dz \rangle$ ως προς την διεύθυνση x (Εξ.11)

- $q_{sy} = \langle \int_{-d}^z v(z, t) c'(z, t) dz \rangle$ ως προς την διεύθυνση y (Εξ.12)

Οι σχέσεις αυτές μπορούν να απλοποιηθούν ως:

- $q_{sx} = \langle \int_{-d}^z u_c c(z) dz \rangle$ κατά άξονα x (Εξ.13)

- $q_{sy} = \langle \int_{-d}^z v_c c(z) dz \rangle$ κατά άξονα y (Εξ.14)

3.3 Εγκάρσια στερεοπαροχή στην ζώνη αναρρίχησης

Ένα ενεργό μέρος της παράκτιας περιοχής στο οποίο παρουσιάζεται έντονο το φαινόμενο της στερεομεταφοράς είναι στην ζώνη αναρρίχησης στην οποία η τύρβη είναι ραγδαία και παρατηρούνται μεγάλες τιμές ταχυτήτων. Για ορθή εκτίμηση της στερεομεταφοράς σε αυτή την ζώνη χρησιμοποιούνται απλοποιημένες σχέσεις παρόλο που η υδροδυναμική κατάσταση της είναι πολυσύνθετη. Επομένως η μέση εγκάρσια στερεοπαροχή q_R υπολογίζεται από:

$$q_R = \frac{0,03(2gR)^{\frac{3}{2}}(\tan\beta_{eq} - \tan\beta)}{(\rho_s/\rho - 1)g} \quad (\text{Εξ.15})$$

όπου : R= ύψος αναρρίχησης του κύματος

$\tan\beta$ = κλίση του πυθμένα

$\tan\beta_{eq}$ = κλίση ισορροπίας ($\tan\beta_{eq} = 20w_f / ((gt)^{1/2} (gH_o)^{1/4})$)

Η εξίσωση αυτή είναι πάρα πολύ βασική για υπολογισμό της εγκάρσιας στερεομεταφοράς αφού το πρόσημο που θα έχει η q_R καθορίζει κατά πόσο υπάρχει διάβρωση ή πρόσχωση. Το πρόσημο αυτό εξαρτάται από την διαφορά του $\tan\beta_{eq} - \tan\beta$. Σε περίπτωση που προκύπτει αρνητικό πρόσημο τότε αυτό σημαίνει πως παρατηρείται το φαινόμενο της διάβρωσης ενώ σε αντίθετη περίπτωση το φαινόμενο της πρόσχωσης. Σημαντική παρατήρηση είναι πως η κλίση του πυθμένα τείνει να γίνει ίδια με την κλίση της ισορροπίας λόγω των μεταβολών που συμβαίνουν στην βαθυμετρία. (Καραμπάς Θ.,2015)

Για τον υπολογισμό της στερεομεταφοράς στην ζώνη αναρρίχησης μπορεί κατόπιν να χρησιμοποιηθεί ακόμη μία σχέση που δίνει κοντινά αποτελέσματα και ισχύει και σε αυτήν η ίδια σημασία του πρόσημου.

$$q_R = Kw_f \left(\frac{H_o^3}{d_{50}} \right)^{1/2} \quad (\text{Εξ.16})$$

Όπου K= παράμετρος βαθμονόμησης

3.4 Ρυθμός μεταβολής της στάθμης του πυθμένα

Είναι αναμενόμενο ότι συνεχώς παρατηρούνται μεταβολές ως προς την μορφολογία του πυθμένα και αυτό αποτελεί έναν ακόμη βασικό παράγοντα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις ακτομηχανικές μελέτες.

Η εξίσωση της διατήρησης του όγκου των φερτών υλών δίδει τον ρυθμό αλλαγής της στάθμης του πυθμένα με την εξής σχέση:

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{1}{(1-n)} \frac{\partial q_{xt}}{\partial x} - \frac{1}{(1-n)} \frac{\partial q_{yt}}{\partial y} \quad (\text{Εξ.17})$$

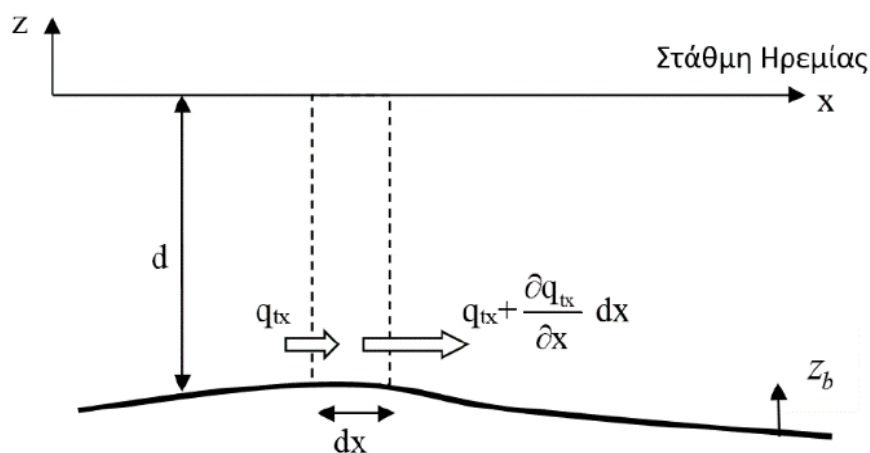
Όπου: z_b = μεταβολή βάθους νερού

n = πορώδες άμμου ($\sim 0,4$)

q_{xt} = συνολική στερεοπαροχή παράλληλα με την ακτή

q_{yt} = συνολική στερεοπαροχή κάθετα με την ακτή

Με το πιο κάτω διάγραμμα επαληθεύεται η εξίσωση της συνέχειας αφού προκύπτει το συμπέρασμα πως σε περίπτωση που εξάγεται ένα μεγάλο ποσοστό άμμου από ένα πεπερασμένο όγκο και το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο από αυτό που εισάγεται τότε ο πυθμένας υποσκάπτεται και έτσι παρατηρείται αύξηση στο βάθος και επομένως διάβρωση. Σε αντίθετη περίπτωση θα προκληθεί πρόσχωση.



Διάγραμμα 14: Μορφολογική μεταβολή πυθμένα(Καραμπάς Θ., 2015)

Εννοείται πως η κλίση του πυθμένα σχετίζεται άμεσα με τον υπολογισμό του φαινομένου της στερεομεταφοράς και αυτό φαίνεται και μέσα από την σχέση του Watanabe (1988) ο οποίος εισήγαγε την κλίση στην εξής σχέση:

$$q_{tx,s} = (q_{tx} - \varepsilon |q_{tx}| \frac{\partial z_b}{\partial x}) \quad \text{κατά άξονα x} \quad (\text{Εξ.18})$$

$$q_{ty,s} = (q_{ty} - \varepsilon |q_{ty}| \frac{\partial z_b}{\partial y}) \quad \text{κατά άξονα y} \quad (\text{Εξ.19})$$

Ο δείκτης s υποδηλώνει την στερεομεταφορά σε συνδυασμό με την κλίση του πυθμένα. Το ε παίρνει τιμές από 2 μέχρι 5.

Η τελική σχέση που προκύπτει με βάση τον Watanabe είναι:

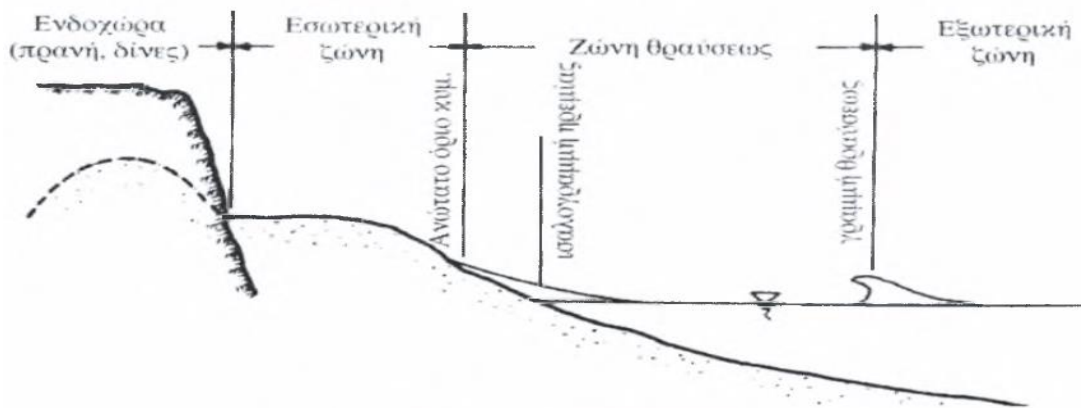
$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = - \frac{1}{(1-n)} \frac{\partial}{\partial x} (q_{tx} - \varepsilon |q_{tx}| \frac{\partial z_b}{\partial x}) - \frac{1}{(1-n)} \frac{\partial}{\partial y} (q_{ty} - \varepsilon |q_{ty}| \frac{\partial z_b}{\partial y}) \quad (\text{Εξ.20})$$

Οι μορφολογικές μεταβολές που υπολογίζονται μέσα από την τελική σχέση εκφράζονται σε τριδιάστατο πεδίο και η χρήση της συμβάλλει στην εκτίμηση των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων μεταβολών. (Καραμπάς Θ.,2015)

3.5 Τρόποι μεταφοράς φερτών υλών στις ακτές

3.5.1 Εγκάρσια στις ακτές

Μία φυσική διαδικασία η οποία πραγματοποιείται για την διαμόρφωση του προφίλ ισορροπίας στις ακτές είναι η εγκάρσια πρόσπτωση των φερτών σε αυτές, μέσω της οποίας παρατηρείται μετακίνηση των ιζημάτων και κατ'επέκταση πρόκληση των μεταβολών στην μορφολογία του εγκάρσιου προφίλ. Στο πιο κάτω σχήμα παρουσιάζεται μία τυπική διατομή αμμώδους ακτής μέσα από την οποία σχηματίζονται τα υψόμετρα σε όλες τις ζώνες και τα οποία προκύπτουν εξαιτίας των εγκάρσιων ενεργειών που πραγματοποιούνται για την μεταφορά των φερτών. (Σπετσιώτης Δ., 2003)



Διάγραμμα 15: Τυπική μορφή διατομής αμμώδους ακτής (Σπετσιώτης Δ., 2003)

Το προφίλ ισορροπίας που προκύπτει, μπορεί να εκφραστεί έως ένα συγκεκριμένο κρίσιμο βάθος h^* και μπορεί να υπολογιστεί με την πιο κάτω σχέση του Dean :

$$d(y) = A_P y^m \quad (\text{Εξ.21})$$

όπου: d = βάθος νερού

$$A_P = 0.5 w_f^{0.44} \text{ (παράμετρος σχετικά με το μέγεθος του κόκκου του ιζήματος)}$$

y = απόσταση από την ακτογραμμή

$$m = 2/3$$

Σε βάθος $h^* = 2.28 H_e - 68.5 \left(\frac{H_e^2}{g T_e^2} \right)$, (Εξ.22) όπου H_e = ύψος κύματος για πιθανότητα

υπέρβασης 0,137% και T_e = αντίστοιχη περίοδος.

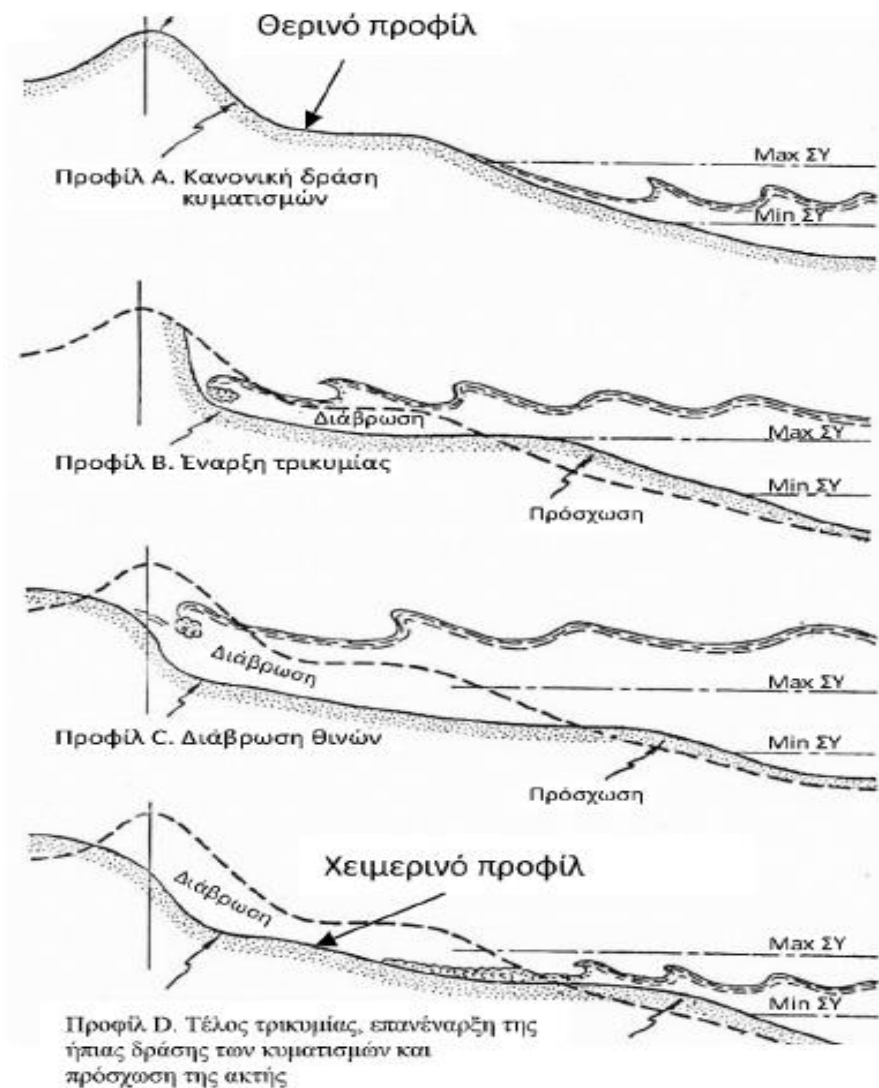
Ακόμη πιο βαθιά από το κρίσιμο βάθος h^* παρατηρείται πως οι διατμητικές τάσεις παραλαμβάνουν τιμές πιο μικρές από την κρίσιμη τιμή αποκόλλησης των κόκκων λόγω του ότι υπάρχει μείωση της ταχύτητας στον πυθμένα και επομένως τα κυματικά επεισόδια δεν είναι σε θέση να προκαλέσουν μορφολογικές μεταβολές.

Παρόλα αυτά, το προφίλ ισορροπίας που διαμορφώνεται από τις μορφολογικές μεταβολές σχετίζεται άμεσα από την κοκκομετρία του ιζήματος, από το ύψος και την περίοδο του κυματισμού. Μέσω του προφίλ ισορροπίας μπορούν να σχηματιστούν κάποιες καμπύλες με κατεύθυνση προς τα πάνω, καθώς επίσης το προφίλ αυτό συμβάλλει στο σχηματισμό επίπεδων κλίσεων για σχετικά μεγάλα ύψη κύματος αλλά και στο σχηματισμό ήπιων κλίσεων για λεπτόκοκκα ιζήματα. (Καραμπάς Θ.,2015)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως, ουσιαστικά η υδροδυναμική κατάσταση που επικρατεί στον πυθμένα σε συνδυασμό με την ασυμμετρία των κυμάτων και τις διαμέτρους των κόκκων ορίζουν τις κατευθύνσεις της μεταφοράς των φερτών υλών. Σε περίπτωση που παρατηρείται μεταφορά χονδρόκοκκων φερτών προς την ακτή, που αυτό προκαλείται από μικρούς θραυόμενους ασύμμετρους κυματισμούς, δημιουργείται το φαινόμενο της πρόσχωσης. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή παρατηρείται μεταφορά λεπτόκοκκων φερτών εξαιτίας των μεγάλων θραυόμενων ασύμμετρων κυματισμών τότε προκύπτει το φαινόμενο της διάβρωσης. (Καραμπάς Θ.,2015)

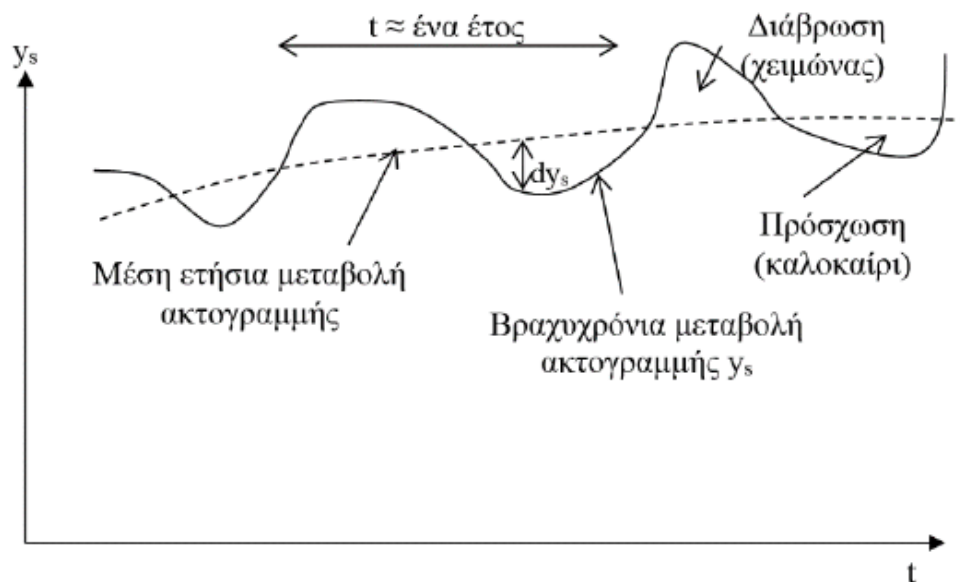
Οι συνυπάρχουσες δράσεις των κυμάτων και των κυματογενών ρευμάτων που εφαρμόζονται εγκάρσια στις ακτές, έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό δύο κύριων προφίλ εποχιακών μεταβολών της παράκτιας ζώνης, το χειμερινό και το θερινό. Στο χειμερινό προφίλ όπου επικρατούν έντονα καιρικά φαινόμενα προκαλούνται κυματισμοί μεγάλης καμπυλότητας $\frac{H_0}{L_0}$, οι οποίοι οδηγούν σε διάβρωση τόσο σε ένα τμήμα του βυθού όσο και σε ένα τμήμα του μετώπου της ακτής στην περιοχή ενδιάμεσα της ακτής και της γραμμής θραύσεως διαμορφώνοντας έναν επιμήκη παράλληλο ύφαλο προς την ακτή. Ο επιμήκης ύφαλος προστατεύει κατά κάποιο τρόπο την ακτή έτσι ώστε να μην υποστεί περαιτέρω διάβρωση διότι οι κυματισμοί υφίστανται θραύση με αποτέλεσμα να παρατηρείται απώλεια ενέργειας και μείωση της διάβρωσης. Όμως τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν κατά τις χειμερινές περιόδους ανυψώνουν την μέση στάθμη της θάλασσας εξαιτίας του φυσικού φαινομένου της παλίρροιας, μέσω του οποίου προκαλείται η πρόκληση των διατμητικών δυνάμεων του ανέμου και έτσι

συμβαίνει η ανύψωση σε ορισμένες περιοχές και σε κάποιες άλλες όχι. Στις περιοχές που παρατηρείται ανύψωση η διάβρωση φτάνει μέχρι και το πάνω μέρος της ζώνης αναρρίχησης. Έτσι η ολική εικόνα που προκύπτει καθορίζεται ως το «χειμερινό» προφίλ. Το «θερινό» προφίλ διαμορφώνεται κατά την περίοδο του καλοκαιριού όπου επικρατούν κυματισμοί μικρής καμπυλότητας, επομένως με σχετικά λίγη ενέργεια, λόγω των ήπιων κυματικών συνθηκών, οι οποίοι συνεισφέρουν πλούσιο κοκκώδες υλικό προς την ακτή. (Καραμπάς Θ.,2015; Σπετσιώτης Δ.,2003)



Διάγραμμα 16: Μεταφορά φερτών υλών εγκάρσια στις ακτές- Διαμόρφωση θερινού και χειμερινού προφίλ (Καραμπάς Θ., 2015)

Στο πιο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται μία τυπική ένδειξη βραχυχρόνιας και μέσης ετήσιας μεταβολής της ακτογραμμής κατά την διάρκεια των ετών. Το βασικό συμπέρασμα είναι πως κατά τις χειμερινές περιόδους παρατηρείται έντονη διάβρωση των ακτών στις παράκτιες ζώνες λόγω της ύπαρξης δραστικών κυματισμών που εμφανίζονται σε μικρές περιόδους και σε μεγάλα ύψη, ενώ στους καλοκαιρινούς μήνες όπου επικρατούν ήπια καιρικά φαινόμενα άρα ήπιοι κυματισμοί προκύπτει το φαινόμενο της πρόσχωσης. Τα δύο αυτά φαινόμενα εμφανίζονται διαδοχικά κατά την διάρκεια ενός έτους. (Καραμπάς Θ.,2015)



Διάγραμμα 17: Μεταβολή της ακτογραμμής κατά την διάρκεια των ετών(Καραμπάς Θ., 2015)

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι σε παραλίες που επικρατούν λεπτόκοκκα ιζήματα άμμου, η κλίση που έχει η ακτή είναι ήπια και με αυτό τον τρόπο μπορεί να διαβρωθεί ταχύτερα συγκριτικά με μία ακτή απότομης κλίσης στην οποία εμφανίζονται χονδρόκοκκα ιζήματα. Για να μπορέσουν να εκτιμηθούν σε μία ακτομηχανική μελέτη οι επικρατούσες συνθήκες διάβρωσης και εναπόθεσης σε συνάρτηση των συνθηκών κυματισμού και κοκκομετρίας χρησιμοποιούνται οι παρακάτω σχέσεις του Dean και των Sunamura-Horikawa.

1) Σχέση Dean:

$$F_0 = \frac{H_0}{w_f T} \quad (\text{Εξ.23})$$

Όταν το F_0 παίρνει τιμές μεγαλύτερες από την μονάδα τότε σημαίνει πως παρατηρείται εμφάνιση του φαινομένου της διάβρωσης καθώς και του σχηματισμό επιμήκους υφάλου. Ενώ όταν το F_0 παίρνει τιμές μικρότερες της μονάδας τότε παρατηρείται εναπόθεση υλικού.

2) Σχέση Sunamura-Horikawa :

$$G_0 = \frac{H_0}{L_0} (\tan\theta)^{0.27} \left(\frac{D_{50}}{L_0}\right)^{-0.67} \quad (\text{Εξ.24})$$

Στη συγκεκριμένη σχέση όταν το G_0 παίρνει τιμές μεγαλύτερες από το 18 τότε συμβαίνει το φαινόμενο της διάβρωσης, ενώ για τιμές μικρότερες από τη τιμή 9 συμβαίνει προσάμωση δηλαδή εναπόθεση του υλικού στην ακτή. (Καραμπάς Θ.,2015)

Μία διαφορετική εμπειρική σχέση για εκτίμηση της τελικής διάβρωσης των ακτών σε συνθήκες απλής εφαρμογής των κυματισμών όπου δηλαδή δεν παρατηρείται ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας, έχει καθοριστεί από τον Hsu το 1998 και είναι η πιο κάτω:

$$\frac{dy_s}{L_0} = 0.40\xi^{-0.99} \quad (\text{Εξ.25})$$

Όπου: dy_s = υποχώρηση της ακτογραμμής

L_0 = μήκος κύματος στα βαθιά νερά

ξ = παράμετρος Irribaren

Επιπλέον έχει οριστεί η μαθηματική εκτίμηση της τελικής διάβρωσης της ακτής όπου παρατηρείται προσωρινή ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας λόγω της έντονης δράσης των κυμάτων από τον Dean το 1991:

$$\frac{dy_s}{W_b} = \frac{0.068 \frac{H_b + d_s}{B}}{1 + 1.28 \frac{H_b}{B}} \quad (\text{Εξ.26})$$

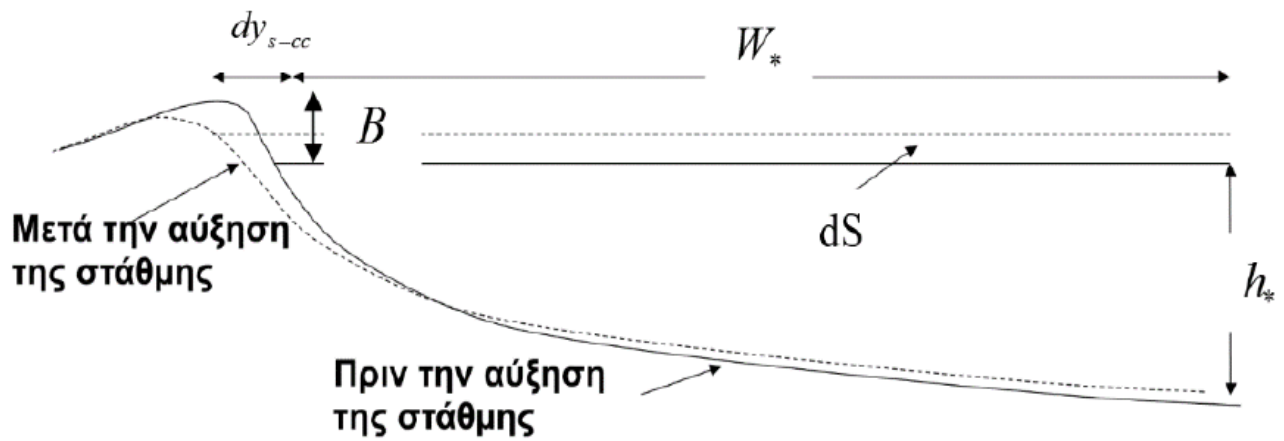
Όπου: W_b = απόσταση από την ακτογραμμή του σημείου θραύσης

B = ύψος αμμώδους μετώπου

Σε περίπτωση που παρατηρείται μόνιμη ανύψωση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών όπως για παράδειγμα το λιώσιμο των πάγων και γενικά των θερμοκρασιακών διαστολών χρησιμοποιείται η εξίσωση του Bruun, 1962 η οποία βασίζεται στο προφίλ ισορροπίας:

$$\frac{dy_{s-cc}}{W_*} = \frac{dS}{h_* + B} \quad (\text{Εξ.27})$$

Όπου τα μεγέθη της πιο πάνω σχέσης διακρίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 18: Διάβρωση εγκάρσια στην ακτή-Ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας(Καραμπάς Θ., 2015)

3.5.2 Παράλληλα στις ακτές

Όπως προαναφέρθηκε η πρώτη βασική συνιστώσα που είναι απαραίτητη για την διαμόρφωση του προφίλ ισορροπίας στις ακτές είναι η φυσική διαδικασία της εγκάρσιας μεταφοράς φερτών υλών σε αυτές έτσι ώστε να διαμορφωθεί το εγκάρσιο προφίλ. Η δεύτερη σημαντική συνιστώσα για να συμπληρώσει το προφίλ της ακτής είναι η παράλληλη μεταφορά των φερτών.

Η παράκτια στερεομεταφορά εξαπλώνεται κατά μήκος της ζώνης όπου επιδρούν οι κυματισμοί και φτάνει στο μέγιστο της στην ζώνη θραύσης, με αποτέλεσμα να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες φερτών υλών σε όλο το μήκος των ακτών. Οι κόκκοι των φερτών αποσταθεροποιούνται λόγω των μέγιστων ταχυτήτων που επικρατούν τόσο στα παράκτια ρεύματα όσο και στα κύματα στην περιοχή του πυθμένα.

Η εκτίμηση της ολικής στερεοπαροχής σε όλο το μήκος των ακτών σχετίζεται με την ισχύ των κυματισμών κατά μήκος της ζώνης θραύσης και μπορεί να υπολογιστεί με την πιο κάτω μαθηματική σχέση:

$$P_1 = \left(\frac{\rho g^{\frac{3}{2}}}{16\gamma^{\frac{1}{2}}}\right) H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2a_b) \quad (\text{Εξ.28})$$

Όμως η πιο ευρέως διαδεδομένη σχέση η οποία χρησιμοποιείται για υπολογισμό της συνολικής στερεομεταφοράς στην ζώνη θραύσης παράλληλα στην ακτή είναι η πιο κάτω:

$$Q_t = K \left(\frac{\rho g^{\frac{1}{2}}}{16\gamma^{\frac{1}{2}}(\rho_s - \rho)(1-n)} \right) H_{sb}^{5/2} \sin(2a_b) \quad \text{σε } \text{m}^3/\text{s} \quad (\text{Εξ.29})$$

Όπου:

K = συντελεστής που διαμορφώνεται ανάλογα με το ύψος κύματος στο σημείο θραύσης.

H_{sb} = ύψος κύματος στο σημείο θραύσης

a_b = γωνιά πρόσπτωσης στο σημείο θραύσης

Σε περίπτωση όπου η τιμή της κλίσης της ακτογραμμής τείνει να γίνει ίδια με την γωνιά θραύσης τότε η συνολική στερεομεταφορά θα είναι μηδενική.

3.6 Ισοζύγιο φερτών υλών-διάβρωση ακτών

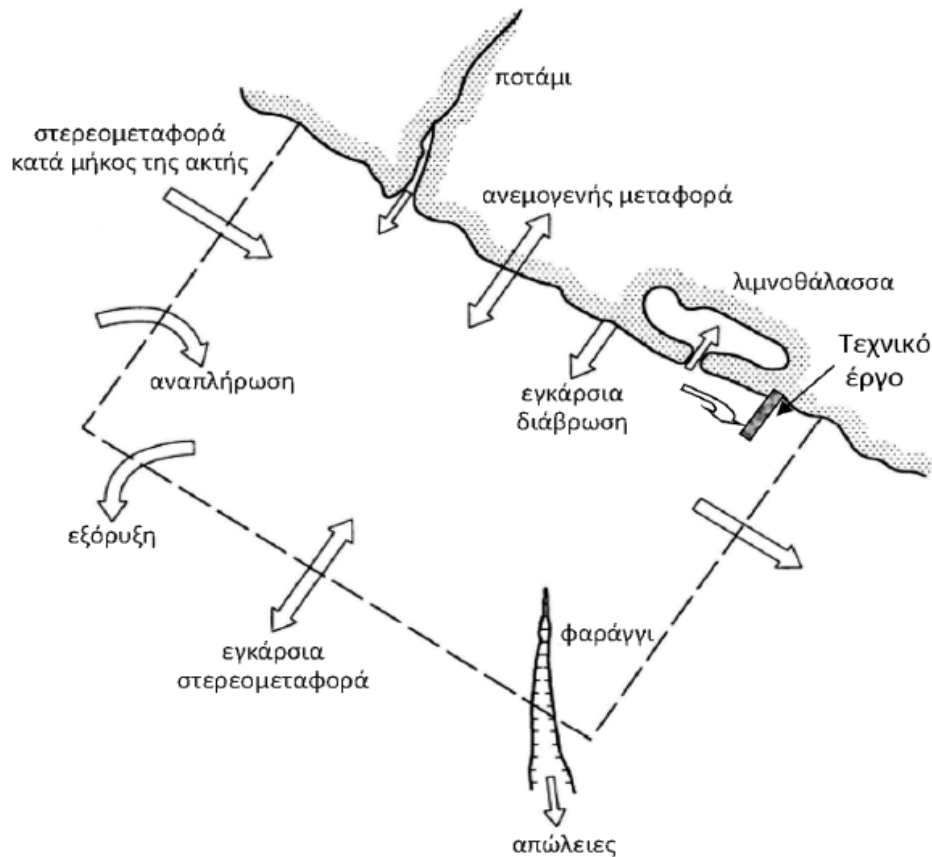
Οι δύο σημαντικές συνιστώσες που διαμορφώνουν το προφίλ ισορροπίας της ακτής, είναι σε θέση να επιφέρουν εκτεταμένες επιδράσεις ως προς την μορφολογία των ακτών. Αποτελεί ένα μεγάλο και σημαντικό πρόβλημα τεχνικής η εκτίμηση ετήσιου ισοζυγίου των φερτών υλών, διότι οι φερτές ύλες κινδυνεύουν σε μεγάλο βαθμό από τις αλληλενέργειες που δέχονται από την ίδια την φύση. Σε ένα οποιοδήποτε τμήμα της ακτής για το οποίο γίνεται μελέτη και στο οποίο παρατηρείται μορφοδυναμική εξέλιξη εξαιτίας της στερεομεταφοράς, περιλαμβάνονται σε μεγάλο αριθμό πηγές και παγίδες των φερτών υλών. Συγκεκριμένα οι πηγές των φερτών υλών αποτελούν τα αίτια πρόσχωσης ενώ οι παγίδες τα αίτια του φαινομένου της διάβρωσης. (Καραμπάς Θ.,2015)

Βασικότερη πηγή φερτών υλών αποτελούν τα υδατορεύματα μέσω των οποίων μεταφέρονται περίπου 14 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φερτών υλών κάθε χρόνο. Οι φερτές αυτές ύλες προκύπτουν από τις διαβρώσεις που υφίστανται τα χερσαία τμήματα της γης. Το γεωλογικό είδος του μεγαλύτερου μέρους των υλών είναι αργιλώδες και ιλυώδες ενώ το υπόλοιπο μέρος είναι αμμώδες με ελάχιστο ποσοστό που φτάνει μέχρι το 5%. Λιγότερο σημαντική πηγή φερτών υλών είναι οι διαβρώσεις γαιωδών παράκτιων πρανών, οι μεταφορές των κόκκων από τον άνεμο, η βιογενής απόθεση των νεκρών θαλάσσιων οργανισμών και τέλος η τεχνητή τροφοδοσία του παράκτιου μέρους με άμμο. (Καραμπάς Θ.,2015; Σπετσιώτης Δ.,2003)

Στις παγίδες φερτών υλών ανήκουν τα παλιρροϊκά στόμια, στα οποία οι εσωτερικές στερεοπαροχές είναι πιο μεγάλες κατά την πλημμυρίδα απ'ότι οι εξωτερικές στερεοπαροχές κατά την άμπωτιδα. Επίσης παγίδες αποτελούν τα υφαλοπρανή και τα υποβρύχια φαράγγια, στα οποία παγιδεύεται μεγάλο ποσοστό φερτών υλών με κατεύθυνση προς τα ανοιχτά. Η μεταφορά από τον άνεμο προς την ακτή αλλά και η εγκάρσια στερεομεταφορά κατά το χειμερινό προφίλ που μεταφέρουν τα ιζήματα προς τα ρηχά νερά είναι επίσης παγίδες φερτών υλών. Επιπλέον παγίδα είναι οι αμμοληψίες-πρόσχωσεις σε ορισμένα σημεία στα οποία γίνεται μεταφορά και εναπόθεση των φερτών υλών καθώς και η διακοπή ή η ελάττωση των χερσογενών ιζημάτων λόγω φραγμάτων ή δόμησης. Κατόπιν η εξόρυξη άμμου για διάφορες χρήσεις και η

ανέγερση παράκτιων έργων που γίνεται χωρίς κάποιον ουσιώδη σκοπό αποτελούν επιπλέον παγίδες φερτών υλών. (Καραμπάς Θ.,2015; Σπετσιώτης Δ.,2003)

Στο παρακάτω διάγραμμα αναδεικνύονται κάποιες βασικές ορολογίες σχετικά με το ισοζύγιο φερτών υλών.



Διάγραμμα 19: Ισοζύγιο φερτών υλών(Καραμπάς Θ., 2015)

Η ανάλυση για την εκτίμηση του ισοζυγίου των φερτών υλών προϋποθέτει αρχικά την εκτίμηση της παράκτιας στερεοπαροχής, κατά την εκπόνηση μίας ακτομηχανικής μελέτης. Οι ακτομηχανικοί αναλαμβάνουν τον διαχωρισμό του κατά μήκος μέρους της ακτής σε τμήματα έτσι ώστε να μπορεί να γίνει ο υπολογισμός της συνολικής ποσότητας των φερτών υλών σε όλες τις κατευθύνσεις. Μέσω αυτής της διαδικασίας μπορεί να διευκρινιστεί κατά πόσο υπάρχει ισορροπία στο ισοζύγιο των φερτών υλών. Σε περίπτωση που παρουσιαστεί οποιοδήποτε έλλειμμα των φερτών σε ένα χρονικό έτος τότε αυτό αποδεικνύει την επικείμενη εμφάνιση της διάβρωσης, διαφορετικά εάν παρατηρηθεί κάποιο περίσσειμα τότε αυτό θα σηματοδοτεί την εμφάνιση του φαινομένου της πρόσχωσης. Η ανάλυση για το ισοζύγιο των φερτών υλών είναι δυνατό

να γίνει με την δημιουργία ιστογράμματος, στο οποίο να αναδεικνύονται οι συχνότητες των ποικίλων κυματολογικών συνθηκών και το οποίο επιτρέπει τον υπολογισμό του πιο κάτω αλγεβρικού αθροίσματος:

$$\Omega = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i Q_{ti} f_i \quad (\text{Εξ.30})$$

όπου: i =προσπίπτοντες κυματισμοί

ε_i = πρόσημο(ανάλογα με φορά κίνησης)

Q_{ti} = ετήσιος όγκος φερτών υλών

f_i = συχνότητα εμφάνισης των κυμάτων

3.7 Επίδραση ισοζυγίου φερτών υλών από τις κλιματικές αλλαγές

Δυστυχώς το αναπόφευκτο γεγονός της κλιματικής αλλαγής επηρεάζει ακόμη περισσότερο το ισοζύγιο των φερτών υλών, αφού προκαλεί μεταβολές στην μορφολογία των ακτών οδηγώντας στις διαβρώσεις τους.

Ένα καθημερινό παράδειγμα που το αποδεικνύει αυτό είναι οι επιδράσεις που δέχεται η ακτή από τα μεγάλα ύψη κύματος. Υπό κανονικές συνθήκες θα έπρεπε να επικρατούσε μία ισορροπία μεταξύ θερινού και χειμερινού προφίλ, κάτι το οποίο διαταράσσεται εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Τα έντονα καιρικά φαινόμενα κατά τις χειμερινές περιόδους προκαλούν μεγάλου ύψους κυματισμούς και αυτό συντελεί την άμμο στο να μεταφερθεί πολύ βαθιά σε σημείο που να αδυνατεί να επιστρέψει τους καλοκαιρινούς μήνες και έτσι να μην μπορούν να διεξαχθούν ορθά τα φυσικά φαινόμενα πρόσχωσης και διάβρωσης. (Καραμπάς Θ.,2015)

Επιπλέον η επίδραση που δέχεται το ισοζύγιο από τις κλιματικές αλλαγές φαίνεται ξεκάθαρα και από την αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας. Η δράση των κλιματικών αλλαγών σε αυτό το σημείο παρεμβαίνει με το λιώσιμο των πάγων αλλά και μέσω της θερμοκρασιακής διαστολής εξαιτίας της αύξησης του μέσου βαθμού θερμοκρασίας. Θεωρητικά στο μέλλον, δεδομένου ότι συμβαίνουν οι κλιματικές αλλαγές και παρατηρείται σταθερή αύξηση της στάθμης της θάλασσας, θα έπρεπε να διαμορφωθεί ένα νέο προφίλ ισορροπίας που αυτό θα οδηγούσε αναπόφευκτα στην διάβρωση. Η αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας οφείλεται στην υπεράντληση υπόγειων υδάτων καθώς και από τα στρώματα του φυσικού αερίου. (Καραμπάς Θ.,2015)

Διαβρώσεις ακτών μπορούν να προκαλέσουν και οι συνεχείς αλλαγές που παρατηρούνται στις εντάσεις και τις συχνότητες τόσο των βροχών όσο και των ανέμων. Για παράδειγμα οι μεταβολές στην ένταση και συχνότητα του ανέμου συντελούν στις αναταράξεις του ισοζυγίου των φερτών της ακτής λόγω της διατάραξης της δυναμικής ισορροπίας που προκαλείτε. (Καραμπάς Θ.,2015)



Διάγραμμα 20: Μεγάλα ύψη κύματος στην περιοχή της Ορόκλινης, Λάρνακα, Κύπρος (Βάσου Β.,2018)

4 ΕΡΓΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΚΤΩΝ

Είναι γνωστό ότι δεν παύουν να γίνονται συνεχώς αναζητήσεις για βέλτιστες αιεφόρες λύσεις σχεδιασμού έργων προστασίας των ακτών. Μέτα την παραπάνω ανάλυση του αναπόφευκτου φαινομένου της διάβρωσης ο καθένας θα μπορούσε να αναρωτηθεί τι είδους μέτρα είναι δυνατόν να ληφθούν για την άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος της διάβρωσης.

Η κάθε μία ανέγερση παράκτιου έργου από ένα Πολιτικό Μηχανικό είναι μοναδική, εντελώς ξεχωριστή από όλα τα υπόλοιπα έργα. Σημαντική προϋπόθεση που απαιτείται να επικρατεί πάντα στην σκέψη ενός Πολιτικού Μηχανικού κατά την εκπόνηση της ακτομηχανικής του μελέτης είναι η πραγματοποίηση λύσεων φιλικών προς το θαλάσσιο περιβάλλον. Λύσεις αξιόπιστης στατικής ανάλυσης έχοντας εις γνώση την ανταπόκριση των παράκτιων φυσικών διεργασιών. Βασικό ρόλο διαδραματίζουν σε μεγάλο βαθμό τα υλικά για τις κατασκευές των διαφόρων έργων προστασίας τα οποία εξαρτώνται κυρίως από την γεωγραφική τοποθεσία του έργου (για παράδειγμα ίσως να υπάρχουν κοντά χώροι λατομιών για την παραχώρηση τους), τις οικονομικές δυνατότητες για την προμήθεια τους και γενικότερα από τις ανάγκες του έργου.

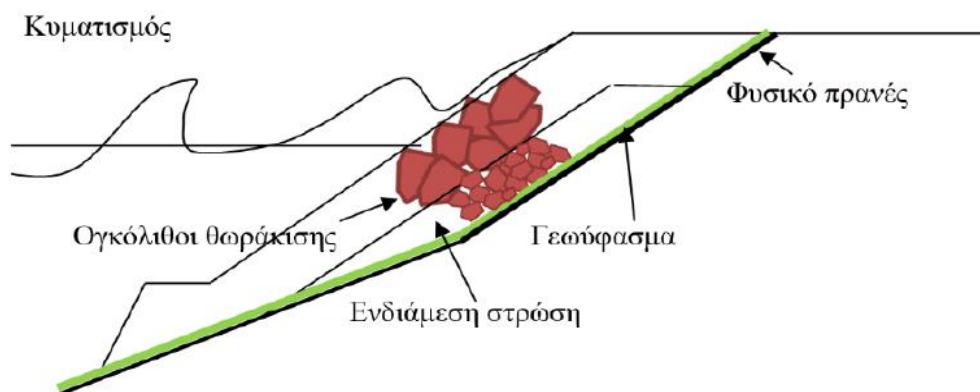
Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί σκυρόδεμα για την κατασκευή οποιουδήποτε έργου προστασίας αδιαμφισβήτητα πρέπει να έχει μεγάλη ανθεκτικότητα, να είναι καλής ποιότητας και να χύνεται σε αδιατάρακτα νερά. Τα προσθετικά μάζας, η δόνηση και γενικότερα η λήψη μέτρων για προστασία του οπλισμού είναι κύρια μέτρα προστασίας τα οποία βοηθούν στην απαγόρευση περάσματος του σκυροδέματος στο νερό της θάλασσας για αποφυγή ρυπάνσεων. Εάν όμως η ποιότητα του θαλασσινού νερού θεωρηθεί καλή τότε το σκυρόδεμα μπορεί να συμπεριφερθεί αντίστοιχα. Σε περίπτωση όμως που το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή είναι το μέταλλο τότε επιβάλλεται να είναι ειδικά βαμμένο έτσι ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση που θα προκληθεί από το θαλασσινό νερό εξαιτίας των ηλεκτρολυτών που περιλαμβάνει. Εάν το έργο προστασίας είναι ξύλινο τότε και πάλι θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για προστασία από τους διάφορους μικροοργανισμούς. Οποιοδήποτε υλικό χρησιμοποιηθεί σε έργα προστασίας, θα πρέπει να γίνει με προσοχή και η διαδικασία της θεμελίωσης του στο κατάλληλο βάθος και με τις κατάλληλες ενισχύσεις σε περίπτωση που χρειαστεί. (Σπετσιώτης Δ.,2003)

Τα παράκτια έργα προστασίας μπορούν να διαχωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με την μορφή τους αλλά και την θέση στην οποία βρίσκονται ως προς τις ακτές. Αρχικά ένα είδος διαχωρισμού ως προς την μορφή τους θα μπορούσε να είναι της σκληρής-βαρεάς μορφής σε αντίθεση με της ήπιας μορφής κατασκευές.

4.1 Σκληρής- Βαρεάς μορφής

4.1.1 Θαλάσσιοι- παράκτιοι τοίχοι

Οι παράκτιοι τοίχοι απαρτίζονται από ογκόλιθους θωράκισης των ακτών οι οποίοι ορίζονται κατά μήκος μιας ακτής και κύριος σκοπός τους είναι να προστατέψουν αρχικά την ακτή από την διάβρωση αλλά ταυτόχρονα τις διάφορες υποδομές που τυχόν να κινδυνεύουν από ακραία θαλάσσια καιρικά φαινόμενα. Επιπλέον οι θαλάσσιοι τοίχοι αποτελούν χρήσιμες κατασκευές σε περιπτώσεις που ίσως υπάρχει κάποιος κίνδυνος από υποσκαφή εξαιτίας της διάβρωσης της ακτής(όπως για παράδειγμα οι δρόμοι). Δεν κατασκευάζονται σε περιοχές τουριστικής ανάπτυξης διότι ο χώρος στον οποίο κατασκευάζονται σβήνει τις ακτές. Τα υλικά κατασκευής τους είναι είτε από ξύλο, είτε από οπλισμένο σκυρόδεμα είτε από λιθορριπές.(γενικά είναι φυσικοί ή τεχνητοί ογκόλιθοι), ενώ το μέτωπο τους μπορεί να είναι κατακόρυφο ή κεκλιμένο που διαμορφώνεται με βάση την ανάκλαση των κυμάτων. Γενικά η ανέγερση των παράκτιων τοίχων αποτελεί εμπόδιο στην διάβρωση των ακτών με την έννοια ότι τα έργα προστασίας συμβάλλουν στην σταθεροποίηση της διάβρωσης αποδέχοντας την δράση από τους κυματισμούς. (Καραμπάς Θ.,2015; Σπετσιώτης Δ.,2003)



Διάγραμμα 21: Τυπική μορφή για θωράκιση της ακτής (Καραμπάς Θ., 2015)



Διάγραμμα 22: Παράκτιοι τοίχοι αντιστήριξης(Καραμπάς Θ., 2015)

4.1.2 Παράλληλοι κυματοθραύστες ως προς την ακτή

Οι παράλληλοι κυματοθραύστες βρίσκονται σε απόσταση μερικών μέτρων από την ακτή (50-100 μέτρα) και αποτελούν κατασκευές αναμόρφωσης της αφού συμβάλλουν σε παρεκβάσεις ως προς τις διευθύνσεις των κυματισμών και κατ'επέκταση της στερεομεταφοράς. Είναι αναμενόμενο ότι στην ενδιάμεση απόσταση μεταξύ των παράλληλων κυματοθραυστών και της ακτής παρατηρείται μεταβολή τόσο του ύψους όσο και της κατεύθυνσης των κυμάτων εξαιτίας του φαινομένου της περίθλασης. Με αυτό τον τρόπο μεγάλος όγκος φερτών υλών κατευθύνεται και «σφραγίζεται» στην περιοχή της ζώνης θραύσεως εμφανίζοντας το φαινόμενο της προσάμμωσης και ταυτόχρονα την δημιουργία προεξοχής που έχει την τάση να συμπράξει την κατασκευή με την ακτή. Επίσης λόγω της ύπαρξης των παράλληλων κυματοθραυστών παρατηρείται και μείωση της δράσης των κυμάτων πίσω από τα έργα και επομένως η ακτή προστατεύεται από την διάβρωση. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να παρατηρηθούν πολλοί παράλληλοι κυματοθραύστες σε σειρά ή ένας μεμονωμένος ανάλογα με τις περιστάσεις. Σε άλλες όμως περιπτώσεις η κατασκευή τους μπορεί να γίνει με τεχνητή τροφοδοσία της ακτής έτσι ώστε να μεγαλώσει η έκταση της παραλίας και επομένως να είναι πιο εύκολος ο έλεγχος για διάβρωση. (Καραμπάς Θ.,2015; Σπετσιώτης Δ.,2003)

Η κατασκευή τους γίνεται σε βάθος από 2 μέχρι 5m με συγκεκριμένη κλίση ως προς την ακτή και με κάθετη κατεύθυνση ως προς την κύρια διεύθυνση των κυμάτων. Η απόσταση που απέχουν από την ακτή είναι σίγουρα μεγαλύτερη από το ίδιο το μήκος του έργου. Η δράση των κυμάτων στους παράλληλους κυματοθραύστες τους καθιστά ως ευσταθή έργα για τα οποία απαιτείται ορθή επιλογή των υλικών κατασκευής τους. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τέτοιες κατασκευές είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα, ογκόλιθοι άοπλου σκυροδέματος ή ακόμη και με πρανή από λιθορρίπη. (Καραμπάς Θ.2015)

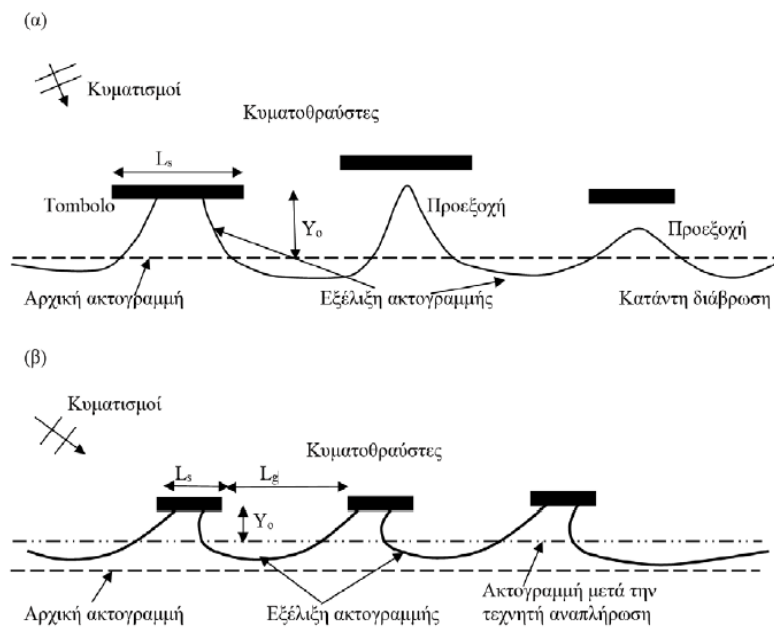
Στην κατηγορία των παράλληλων κυματοθραυστών βαρέας μορφής μπορούν να καταταχθούν και οι έξαλοι κυματοθραύστες οι οποίοι σχεδιάζονται με ύψος πέραν των 2 μέτρων πάνω από την μέση στάθμη ανύψωσης της θάλασσας αλλά και οι κυματοθραύστες χαμηλής στέψης που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Τα δύο αυτά είδη μπορούν να κατασκευαστούν με τα ίδια υλικά. Η παρουσία τους εμποδίζει την στερεομεταφορά παράλληλα στην ακτή αλλά στην κάτω πλευρά των κατασκευών η διάβρωση μπορεί να συνεχιστεί. (Καραμπάς Θ.,2015)



Διάγραμμα 23: Παράλληλοι κυματοθραύστες στην περιοχή Ναυτικού Ομίλου Λεμεσού, Κύπρος



Διάγραμμα 24: Παράλληλοι κυματοθραύστες στην περιοχή της Ορόκλινης, Λάρνακα, Κύπρος



Διάγραμμα 25:

α) Παράλληλοι κυματοθραύστες με πρόκληση προεξοχής

β) Παράλληλοι κυματοθραύστες με τεχνητή τροφοδοσία της ακτής

(Καραμπάς Θ., 2015)

4.1.3 Εγκάρσιοι κυματοθραύστες-Βραχίονες

Οι βραχίονες είναι κυματοθραύστες οι οποίοι τοποθετούνται εγκάρσια ως προς την ακτή και σε παράλληλη διάταξη μεταξύ τους έχοντας άμεση επαφή με την ακτή. Τοποθετούνται σε περιοχές που επικρατεί διάβρωση με βασικό στόχο να κρατήσουν την στερεοπαροχή που φεύγει από την ακτή για να μπορέσει να γίνει έλεγχος της διάβρωσης και να επικρατήσει μία σταθερότητα στην ακτή. Επιπλέον γίνεται η τοποθέτηση τους και σε περιοχές εισόδων οποιουδήποτε λιμενικού έργου έτσι ώστε να αποτρέπουν την διάδοση των ιζημάτων μέσα στις λιμενολεκάνες, καθώς επίσης και σε περιοχές εκβολών για να γίνεται έλεγχος της ροής των ποταμών αποτρέποντας τις εναποθέσεις φερτών υλών. Στους βραχίονες όπως και στους κυματοθραύστες πρέπει να δίνεται εξίσου η ίδια προσοχή κατά το στάδιο της θεμελίωσης τους. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τα ίδια υλικά κατασκευής και η ίδια διατομή. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που έχουν οι βραχίονες έναντι των φυσικών ογκολίθων είναι η αποδοτικότερη συμπεριφορά που έχουν με την θάλασσα διότι έχουν την δυνατότητα να απορροφούν την ενέργεια των κυμάτων. Από την άλλη όμως ένα βασικό μειονέκτημα τους είναι πως υποβαθμίζουν το θαλάσσιο νερό προκαλώντας θολότητα, άσχημες μυρωδιές ακόμη και ευτροφισμό και όλα αυτά εξαιτίας της συσσώρευσης του νερού σε εκείνα τα σημεία της περιοχής, το οποίο δεν ανανεώνονται. (Καραμπάς Θ.,2015; Σπετσιώτης Δ.,2003)



Διάγραμμα 26: Βραχίονας στην περιοχή Ναυτικού Ομίλου Λεμεσού, Κύπρος

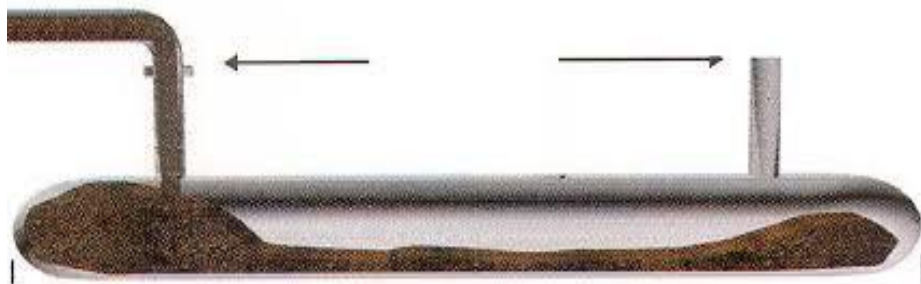
4.2 Ήπιας μορφής

Συγκεντρώνοντας όλες τις αρνητικές επιπτώσεις που επέφεραν οι σκληρές μέθοδοι έργων προστασίας προς το θαλάσσιο περιβάλλον, καλό θα ήταν να γίνεται περισσότερο η χρήση ήπιων μεθόδων που συμβάλλουν περισσότερο στην προστασία του παράκτιου περιβάλλοντος. Κάποιες αποδεχτές και περιβαλλοντικά φιλικές ήπιες μέθοδοι που δεν παρουσιάζουν σε μεγάλο βαθμό δυσμενείς επιπτώσεις προς το υδάτινο περιβάλλον είναι οι πιο κάτω.

4.2.1 Βυθιζόμενοι κυματοθραύστες/Γεωσωλήνες

Οι βυθιζόμενοι κυματοθραύστες ορίζονται ως βραχίονες ήπιας όμως μορφής που βρίσκονται κάτω από το νερό έτσι ώστε να μην αλλάζουν την οπτική μορφή του παράκτιου χώρου. Τοποθετούνται με παράλληλη διάταξη μεταξύ τους έτσι ώστε να μαζεύουν την άμμο στα ενδιάμεσα τους τμήματα. Όμως και πάλι έστω και σε μικρό βαθμό είναι αναπόφευκτο να μην υποστεί η ακτή καθόλου διάβρωση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα προκληθούν κάποιες τοπικές διαβρώσεις κατά μήκος της ακτής. (Σπετσιώτης Δ.,2003)

Πιο σύγχρονες τεχνικές που έχουν προστεθεί στην τελευταία τριακονταετία σε βαθυμετρικές μελέτες είναι η τοποθέτηση υποθαλάσσιων κυλινδρικών γεωσωλήνων σε κατάλληλα σημεία με την προϋπόθεση ότι έχει γίνει ορθή μελέτη για την διαστασιολόγηση τους με βάση τις επικρατούσες συνθήκες. Οι γεωσωλήνες αποτελούν λύσεις σε διάφορα ακτομηχανικά προβλήματα και ένα από αυτό είναι και η διάβρωση των ακτών. (Ζαλαχώρη Ε.,Kievit J.J., 2007)



Διάγραμμα 27: Υποθαλάσσιος γεωσωλήνας (Ζαλαχώρη Ε., Kievit J.J. , 2007)

4.2.2 Πλωτοί κυματοθραύστες

Μια καινοτόμα λύση αποτελούν οι πλωτοί κυματοθραύστες οι οποίοι ουσιαστικά επιπλέουν στην επιφάνεια της θάλασσας στηριζόμενοι με άγκυρες, παρεκτρέποντας τα κυματογενές ρεύματα και επομένως την στερεοπαροχή. Κατασκευάζονται από πλαστικό υλικό ή οπλισμένο σκυρόδεμα και έχουν μορφή κιβωτίου με πολύ μικρό βάθος. Σημαντικό είναι το στάδιο στην αγκύρωση τους διότι οι κυματικές δράσεις ίσως επιδράσουν έντονα και αυτό θα επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις.

Διακρίνονται από ποικίλα πλεονεκτήματα όπως είναι η οικονομία στο κόστος κατασκευής και κυρίως οι ελάχιστες αρνητικές επιπτώσεις που επιφέρει στο θαλάσσιο περιβάλλον διότι το βύθισμα που εισέρχεται στην θάλασσα φτάνει μόνο μέχρι το ένα μέτρο με αποτέλεσμα να μην εγκλωβίζεται το νερό αλλά να μπορεί να ανακυκλώνετε. Έχουν την δυνατότητα να μετακινούνται σε διάφορα σημεία αφού είναι πλωτοί και με αυτό τον τρόπο μπορούν να προσαρμόζονται σε κάθε σημείο σύμφωνα με τις αντίστοιχες ισχύουσες συνθήκες. (Καραμπάς Θ.,2015; Σπετσιώτης Δ.,2003)



Διάγραμμα 28: Πλωτός κυματοθραύστης (Ingemar.it, 2019)

4.2.3 Τεχνητή ανάπλαση της ακτής

Η τεχνητή ανάπλαση της ακτής είναι μια ακόμη ήπια μέθοδος που δεν αποτελεί οποιαδήποτε ανέγερση έργου προστασίας αφού γίνεται απλή τροφοδότηση της ακτής με άμμο η οποία συλλέγεται από άλλες ακτές που ίσως να έχουν περίσσειμα υλικού. Στόχος είναι η επέκταση της ακτής ως προς την θάλασσα τοποθετώντας επιπλέον ποσότητες υλικών άμμου ή χαλικιών προπάντων για αντιμετώπιση της διάβρωσης και μετέπειτα για καλή οπτική εικόνα. Με την τεχνητή απόθεση άμμου θα διαμορφωθεί ένα νέο προφίλ ισορροπίας εξαιτίας των νέων χαρακτηριστικών των κόκκων. Η προσθήκη νέας ποσότητας άμμου στην ακτή μεταβάλλει αρκετούς παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όπως είναι το μήκος, το πλάτος και η κλίση της ακτής. Για αυτό τον λόγο θα πρέπει να μελετηθεί με προσοχή η επικρατούσα κατάσταση της παραλίας και οι αρμόδιοι να ενεργήσουν ανάλογα κατά το στάδιο ρήξης της άμμου. (Σπετσιώτης Δ.,2003)

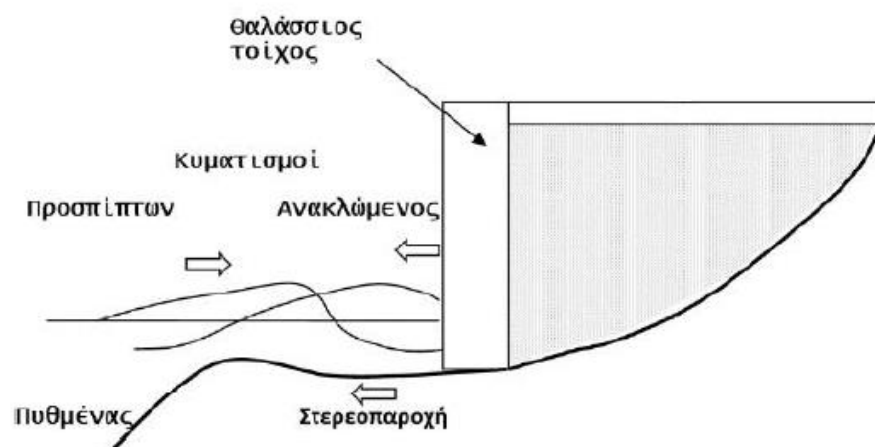


Διάγραμμα 29: Τεχνητή αναπλήρωση ακτής(Escp.org.uk, 2019)

4.3 Αλληλενέργειες μεταξύ ακτών και τεχνικών παράκτιων έργων

Είναι φυσικό και αναμενόμενο πως η οποιαδήποτε ανέγερση παράκτιας κατασκευής πάντα θα επιφέρει μεταβολές στις υδροδυναμικές καταστάσεις που επικρατούν στα παράκτια μέτωπα. Οι μεταβολές αυτές επιφέρουν πάντοτε αλλαγές και στον ρυθμό του φαινομένου της στερεομεταφοράς με αποτέλεσμα να προκαλείται η εμφάνιση της διάβρωσης ή της πρόσχωσης.

Η παρέμβαση των παράκτιων έργων διαταράσσει τις κυματικές φυσικές διεργασίες αφού μεταβάλλει τις κατευθύνσεις και τον βαθμό έντασης των κυματισμών και των ρευμάτων. Η επίδραση που δέχεται η ακτή από τα παράκτια έργα της, οδηγά σε απρόβλεπτες κινήσεις των φερτών υλών εξαιτίας της αναστάτωσης που παρατηρείται στο θαλάσσιο περιβάλλον αφού η παρουσία των έργων στις ακτές διαφοροποιεί τα δεδομένα των κυμάτων λόγω της πρόκλησης των φαινομένων της περίθλασης, της ανάκλασης και της θραύσης. Σημαντική παρατήρηση σημειώνετε κυρίως στην περιοχή της ζώνης θραύσης όπου εκεί επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η στερεομεταφορά. Επιπλέον η λειτουργικότητα του παράκτιου χώρου έχει αρνητικές επιπτώσεις και σε εισόδους λιμενολεκάνων όπου εγκλωβίζονται οι διαταραγμένες φερτές ύλες και παραμένουν εκεί. Κατόπιν και οι τοίχοι αντιστήριξης που βρίσκονται παράλληλα με την ακτή και είναι μέσα στην ζώνη αναρρίχησης δημιουργούν με την ανάκλαση του κύματος την πρόκληση της διάβρωσης. Αυτό μπορεί να γίνει περισσότερο αντιληπτό και μέσω του πιο κάτω διαγράμματος. (Καραμπάς Θ.,2015)



Διάγραμμα 30: Ανάκλαση κύματος και πρόκληση διάβρωσης
(ΚαραμπάςΘ.,2015)

Αλληλεπίδραση ακτών υπάρχει με κάθε είδος παράκτιου έργου όπως αναφέρθηκε. Συγκεκριμένα σε περίπτωση που υπάρχει ένας βραχίονας εγκάρσια της ακτής ο οποίος αποτελεί ουσιαστικά εμπόδιο στην πρόσπτωση των κυματισμών, τότε η παράλληλη στερεοπαροχή με την ακτή θα διακοπεί και πλέον τα ιζήματα θα τοποθετηθούν στο πάνω μέρος του βραχίονα και στα ρηχά νερά. Η εναπόθεση των φερτών υλών στο πάνω μέρος του βραχίονα θα αλληλεπιδράσει άμεσα με την μορφή τόσο του πυθμένα όσο και της ακτής. Οι νέες μορφολογίες που θα ισχύουν στον πυθμένα και στην ακτογραμμή θα δημιουργήσουν σιγά σιγά ένα νέο προφίλ ισορροπίας όταν η κλίση της ακτογραμμής και των ισοβαθών αποκτήσει νέα κατεύθυνση και με αυτόν τον τρόπο η πρόσπτωση των κυμάτων θα μπορεί να γίνεται εγκάρσια. Όμως με αυτόν τον τρόπο οι φερτές ύλες που παγιδεύτηκαν ανάντη του βραχίονα είχαν αφαιρεθεί από τα κατάντη του βραχίονα και έτσι προκαλούν την διάβρωση της ακτής. (Καραμπάς Θ., 2015)

Μέσω μαθηματικών σχέσεων η εξέλιξη της ακτογραμμής αλληλεπιδρώντας με ένα εγκάρσιο βραχίονα μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση του Pelnard-Considere (1956):

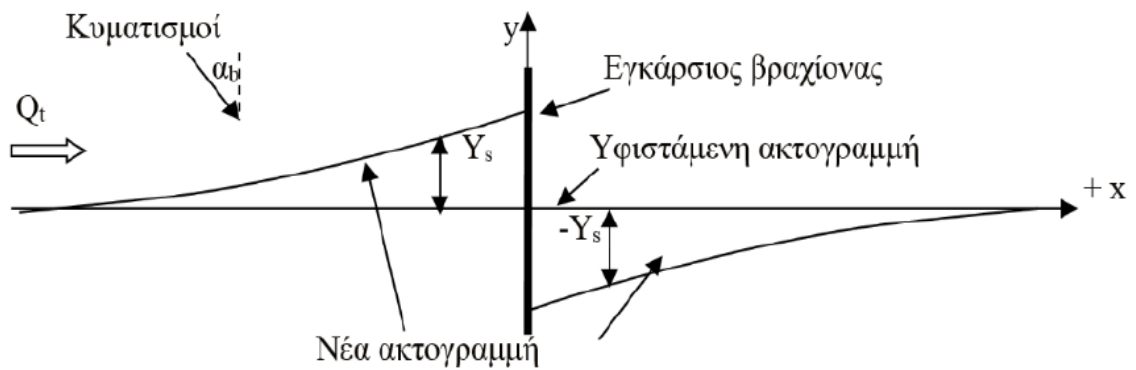
$$Y_s(x,t) = 2\sqrt{\varepsilon_Q t} \tan(a_b) \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{x}{2\sqrt{\varepsilon_Q t}}\right)^2\right] - \frac{x}{2\sqrt{\varepsilon_Q t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\varepsilon_Q t}}\right) \right\} \quad (\text{Εξ.31})$$

Όπου:

- $Y_s(x)$ = απόσταση της νέας ακτογραμμής από την αρχική
- $\varepsilon_Q = \frac{KH_b^2 c_{gb}}{8} \left(\frac{\rho}{(\rho_s - \rho)(1-n)} \right) \left(\frac{1}{h_* + B} \right)$
- h_* = κρίσιμο βάθος
- B = ύψος παραλιακού αναχώματος
- $\operatorname{erfc}(\cdot) = 1 - \operatorname{erf}(\cdot)$, όπου $\operatorname{erf}(\cdot) = \frac{2}{\pi} \int_0^{(\cdot)} \exp(-z^2) dz$ και είναι η συνάρτηση σφάλματος

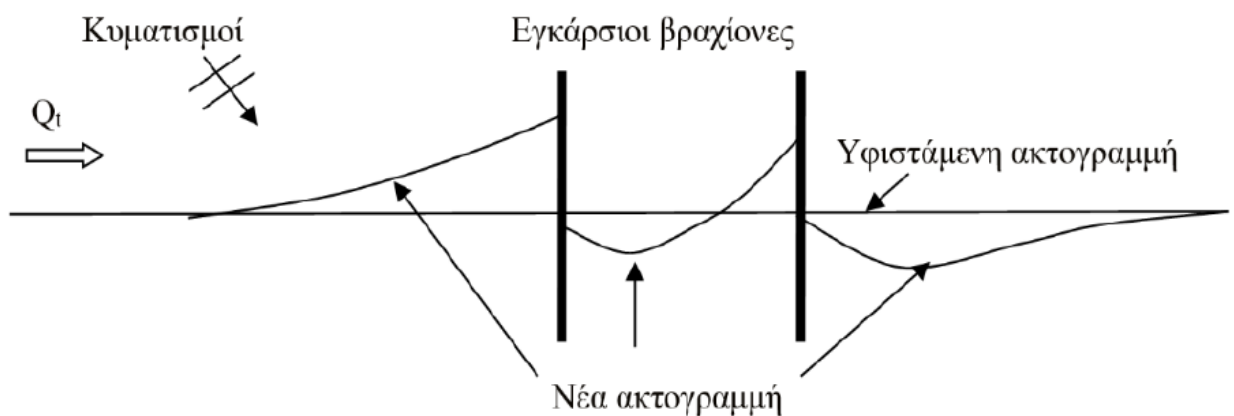
Για επίλυση της συγκεκριμένης μαθηματικής σχέσης ισχύουν οι παραδοχές:

- Μικρές γωνίες στο σημείο θραύσης
- Μηδενική συνολική στερεοπαροχή στο αδιαπέρατο όριο του προβόλου
- Ισχύει μόνο όταν η πρόσκωση στο όριο του βραχίονα είναι μικρότερη από το μήκος του



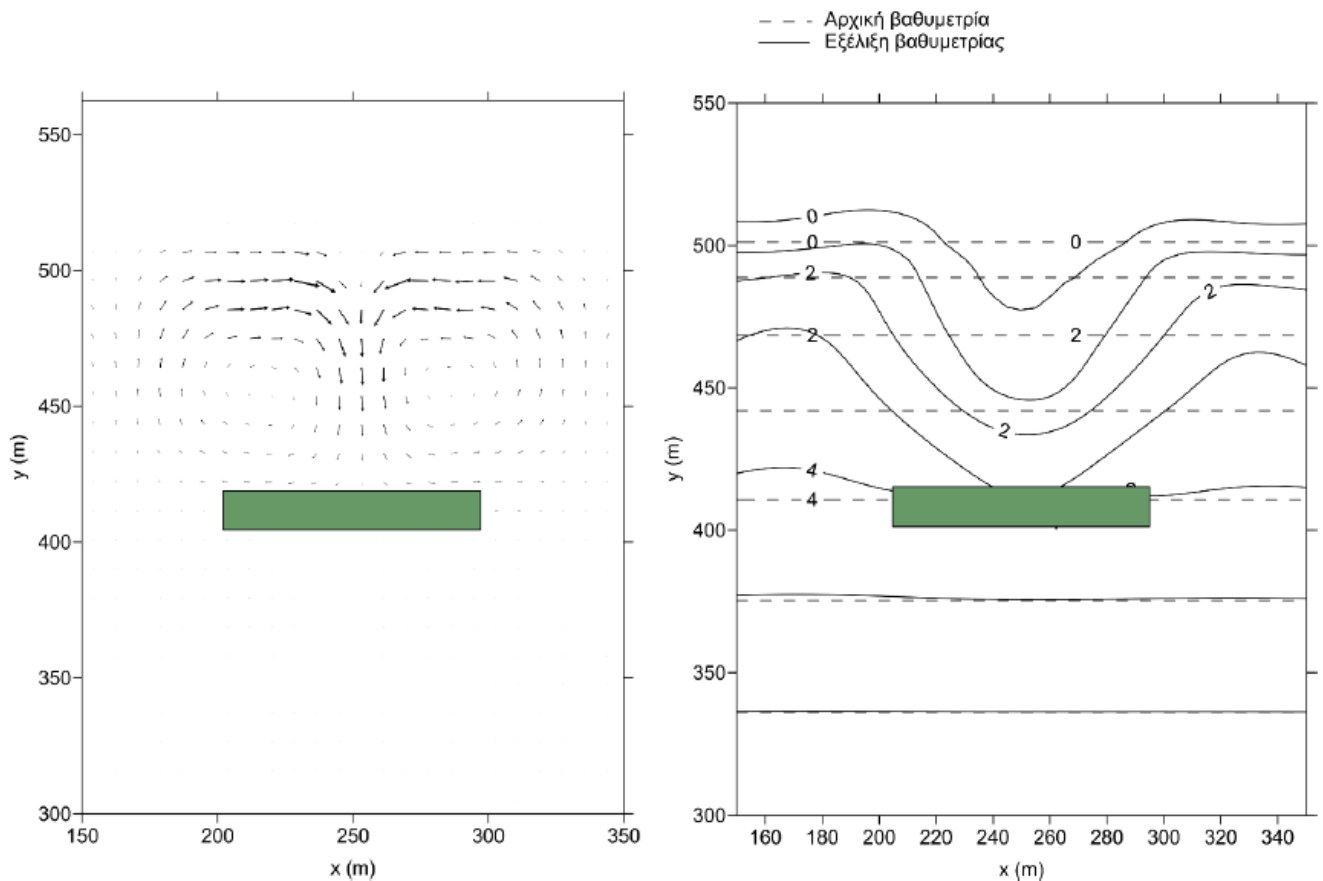
Διάγραμμα 31: Εξέλιξη νέας ακτογραμμής κατάντη του βραχίονα (Καραμπάς Θ.,2015)

Σε περίπτωση που υπάρχουν πιο πολλοί από ένα βραχίονα τότε ακολουθούνται οι ίδιες αλληλενέργειες μεταξύ των βραχιόνων και της ακτής ως προς την μορφολογία της ακτογραμμής και του πυθμένα. Δηλαδή θα παρατηρείται το φαινόμενο της πρόσχωσης στο άνω μέρος του αρχικού βραχίονα και το φαινόμενο τη διάβρωσης στο κάτω μέρος του τελικού βραχίονα. Στα ενδιάμεσα τμήματα των βραχιόνων θα παρατηρούνται και πάλι τα φαινόμενα πρόσχωσης και διάβρωσης αλλά σε μικρότερο βαθμό.



Διάγραμμα 32: Εξέλιξη νέας ακτογραμμής σε περίπτωση ύπαρξης δύο βραχιόνων(Καραμπάς Θ.,2015)

Ένα άλλο έργο προστασίας με το οποίο αλληλεπιδρά η ακτή είναι οι παράλληλοι κυματοθραύστες. Οι παράλληλοι κυματοθραύστες αποτελούν ουσιαστικά απόφραξη στην διάδοση των κυμάτων ως προς την ακτή μεταβάλλοντας σημαντικά την κυματική κατάσταση. Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στην ανύψωση της στάθμης της θάλασσας οδηγούν στην δημιουργία δύο κυματογενών ρευμάτων που έχουν ως κατεύθυνση το κέντρο του κυματικού πεδίου διαμορφώνοντας δύο στροβίλους. Ο συνδυασμός των δύο αυτών ρευμάτων με τα κύματα βοηθά στην αποκόλληση των κόκκων καθώς μεγιστοποιείται η απόδοση του φαινομένου της στερεομεταφοράς μεταφέροντας τις φερτές ύλες στο κέντρο του πεδίου όπου αρχικά επικρατούσε μειωμένη απόδοση στερεομεταφοράς. Έτσι στο τέλος παρατηρείται υποχώρηση της ακτογραμμής λόγω της κατασκευής του κυματοθραύστη και δημιουργία προεξοχής που τείνει να ενώσει την κατασκευή με την ακτή.(δημιουργία tombolo)(Καραμπάς Θ.,2015)



Διάγραμμα 33: Δημιουργία προεξοχής εξαιτίας της νέας κατάστασης που επικρατεί στο κέντρο του κυματικού πεδίου λόγω του παράλληλου κυματοθραύστη (Καραμπάς Θ.,2015)

Στη προκειμένη περίπτωση, με την παρουσία των παράλληλων κυματοθραυστών η εμπειρική μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται για την εξέλιξη που θα έχει η ακτογραμμή είναι από τους Silvester and Hsu(1997) και είναι η ακόλουθη:

$$\frac{R_{\theta}}{R_0} = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta_{SH}} \right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta_{SH}} \right)^2 \quad (\text{Εξ.32})$$

Όπου:

R_{θ} = η απόσταση της νέας ακτογραμμής από την άκρια του κυματοθραύστη. Είναι συναρτήσεως της γωνιάς θ_{SH} που σχηματίζει η μεταβλητή ακτίνα με τον κατά μήκος άξονα του κυματοθραύστη με μήκος R_0 και μία γωνιά β . (Διακρίνεται καλύτερα στο σχήμα).

$$\beta = 40^{\circ}$$

$$C_0 = 0$$

$$C_1 = 1,32$$

$$C_2 = 0,33$$

$$R_0 \rightarrow \frac{R_0}{L_s} = 0.1737 + 1.683 \frac{Y_0}{L_s}$$

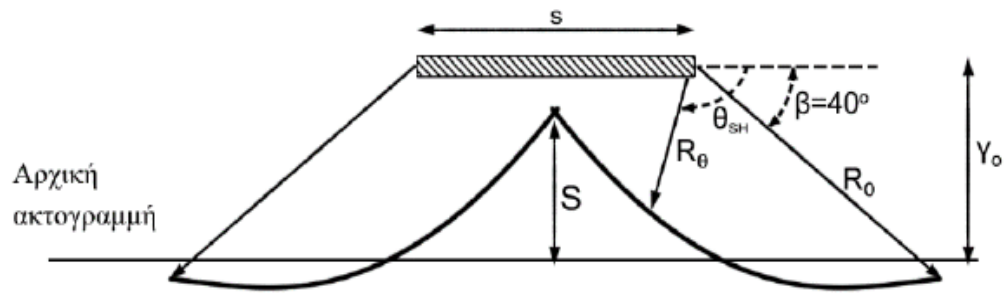
L_s = μήκος κυματοθραύστη

Y_0 = απόσταση κυματοθραύστη από την αρχική ακτογραμμή

Στην περίπτωση του tombolo η απόσταση S υπολογίζεται από:

$$\frac{S}{L_s} = -0.1626 + 0.8439 \left(\frac{Y_0}{L_s} \right) + 0.0274 \left(\frac{Y_0}{L_s} \right)^2 \quad (\text{Εξ.33})$$

Όλοι αυτοί οι συμβολισμοί διακρίνονται από το παρακάτω τυπικό διάγραμμα.



Διάγραμμα 34: Εξέλιξη ακτογραμμής λόγω παρέμβασης παράλληλου κυματοθραύστη(Καραμπάς Θ.,2015)

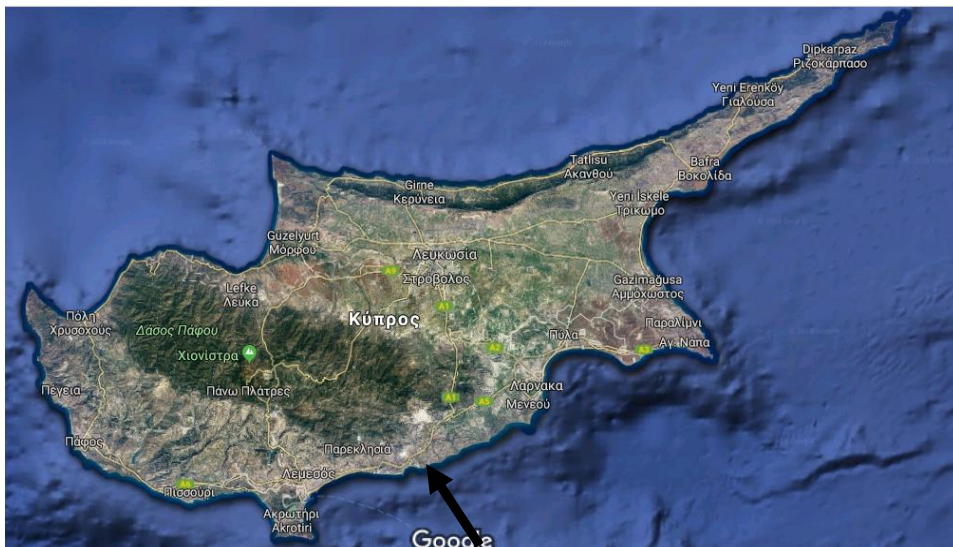
Παρόμοιες αλληλεπιδράσεις συμβαίνουν και στις σχέσεις ακτών είτε με λιμενικά έργα είτε με παράκτιους τοίχους αντιστήριξης αφού και πάλι προκαλούν ανάλογες διαταραχές στο θαλάσσιο περιβάλλον. Στόχος είναι οι ορθές εκτιμήσεις και μελέτες για επίλυση των ακτομηχανικών προβλημάτων έτσι ώστε τα έργα προστασίας των ακτών να κατασκευάζονται αποκλειστικά και μόνο για τον σκοπό που πρέπει να εξυπηρετούν και να παρεμβαίνουν όσο το δυνατό λιγότερο γίνεται στις φυσικές κυματικές διεργασίες για να μην επιφέρουν το αντίθετο επιθυμητό αποτέλεσμα.

5 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ- ΛΙΜΑΝΙ ΒΑΣΙΛΙΚΟΥ, ΛΕΜΕΣΟΣ, ΚΥΠΡΟΣ

5.1 Χαρακτηριστικά της περιοχής

5.1.1 Προσδιορισμός της θέσης του έργου.

Το Λιμάνι Βασιλικού οριοθετείται διοικητικά εντός των συνόρων της επαρχίας Λάρνακας. Βρίσκεται στα νότια της ακτής του νησιού της Κύπρου, πλησίον του χωριού Μαρί, σε ανατολικό μέτωπο από την Ναυτική Βάση και πιο συγκεκριμένα σε απόσταση 1,5 km από τον ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό του Βασιλικού. Ως προς τον κόλπο της περιοχής του Βασιλικού χωροθετείται στα ανατολικά.



Διάγραμμα 35: Προσδιορισμός της θέσης του έργου στον χάρτη της Κύπρου



Διάγραμμα 36: Προσδιορισμός της θέσης του έργου στον χάρτη της Κύπρου σε μεγέθυνση

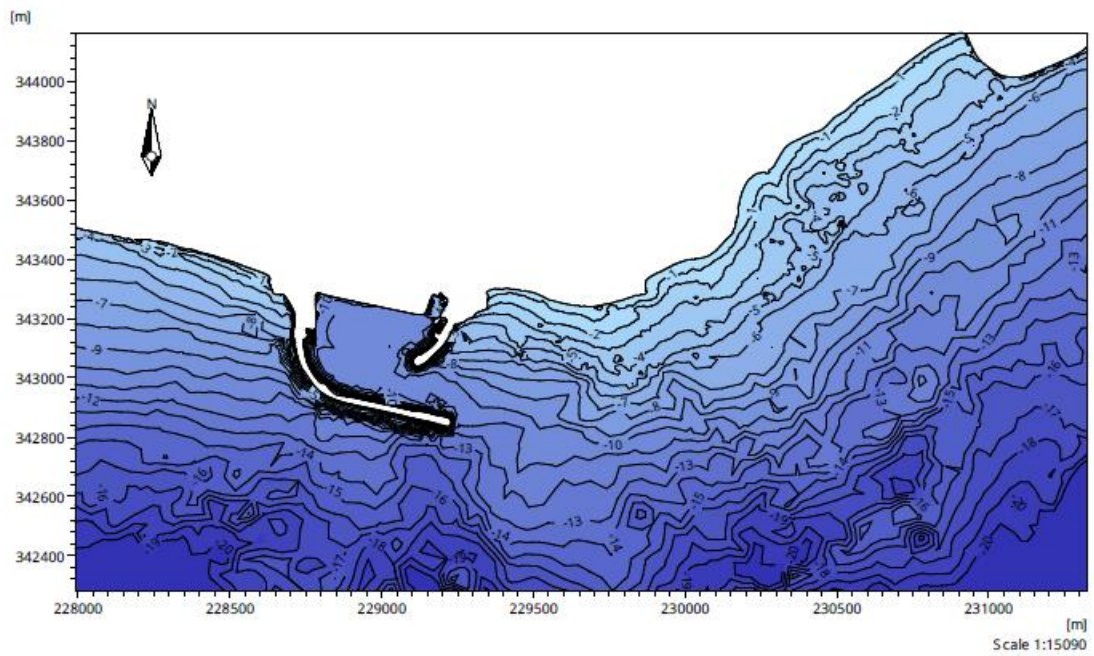
5.1.2 Γενικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

Αρμόδια αρχή για την κατασκευή και την λειτουργία του λιμενικού έργου στην περιοχή του Βασιλικού είναι η Αρχή Λιμένων Κύπρου (Α.Λ.Κ) η οποία έχει κλείσει συμφωνία ανάθεσης των εργασιών που απαιτούνται για την ανέγερση του συγκεκριμένου έργου, με την εταιρεία «Τσιμεντοποιία Βασιλικού Δημόσια Εταιρεία ΛΤΔ». Η επίσημη αυτή συμφωνία ισχύει για 50 χρόνια (01/01/1984-31/12/2034) και αποτελεί συμφωνία μίσθωσης για παραχώρηση διαφόρων αναγκών που μπορεί να προκύψουν κατά την πραγματοποίηση του έργου.

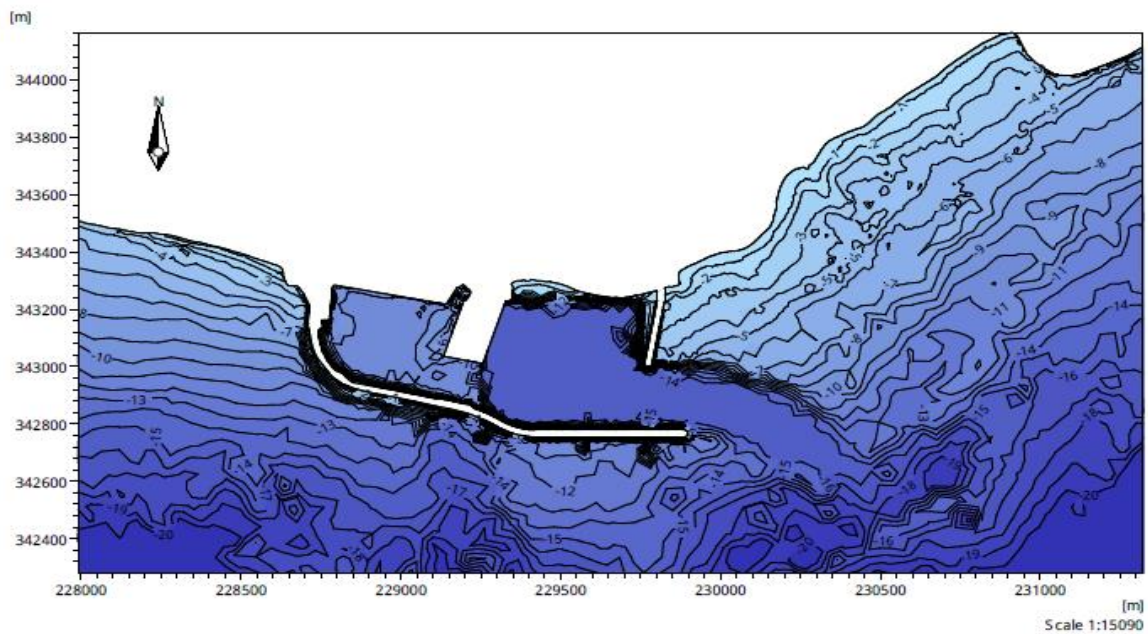
Ο σκοπός κατασκευής οποιουδήποτε λιμενικού έργου συνήθως είναι η εξασφάλιση των απαραίτητων μέτρων για προστασία ή θωράκιση έργων στον παράκτιο χώρο, καθώς επίσης και για εξυπηρέτηση των αναγκών εμπορίου και διακινήσεων του πληθυσμού. Στην προκειμένη περίπτωση, η κατασκευή λιμανιού στο Βασιλικό γίνεται για την εγκατάσταση δικτύου φυσικού αερίου, που αυτό θα συμβάλλει στο να εξασφαλιστούν με περιβαλλοντικά αποδεκτό τρόπο τα συγκοινωνιακά δίκτυα και οι ενεργειακές υποδομές αφού το φυσικό αέριο αποτελεί καύσιμο με πολύ μικρότερες εκπομπές των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Απώτερος στόχος είναι να περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό η ανάγκη για την χρήση πετρελαίου, χρησιμοποιώντας άμεσα αξιόπιστες λύσεις μορφών ενέργειας περαιτέρω φιλικές προς το περιβάλλον.

Η εγκαθίδρυση του δικτύου για συγκέντρωση του φυσικού αερίου σε συνδυασμό με την εφαρμογή σύγχρονων μορφών ενέργειας θα επιφέρει καινοτόμες λύσεις με επιτυχία για το νησί. Σημαντικό είναι να γίνει ορθή διεξαγωγή εργασιών για ασφαλή κατασκευή του λιμενικού έργου στο Βασιλικό, το οποίο να λειτουργά εύρυθμα και αποτελεσματικά ικανοποιώντας όλες τις απαραίτητες ανάγκες για τις οποίες κατασκευάστηκε.

Πλέον έχουν ήδη γίνει μελέτες σχετικά με την επέκταση του λιμένα αυτού κατά 705m σχεδόν προς την ανατολική κατεύθυνση σε μελλοντικό στάδιο, που θα συνέβαλε σε δημιουργία ασφαλέστερων χώρων για την τοποθέτηση των πλοίων που μεταφέρουν το φυσικό αέριο.



Διάγραμμα 37: Βαθυμετρία στο Λιμάνι Βασιλικού πριν την επέκταση του κυματοθραύστη(Mike Results Coastal,2017)



Διάγραμμα 38: Βαθυμετρία στο Λιμάνι Βασιλικού μετά την επέκταση του κυματοθραύστη (Mike Results Coastal,2017)

Όσο και αν εφαρμόζονται με ασφάλεια όλες οι απαραίτητες ενέργειες για την εκτέλεση αποτελεσματικού λιμενικού έργου, είναι αναπόφευκτο να μην παρουσιαστεί το φυσικό φαινόμενο της διάβρωσης στις παρακείμενες ακτές. Κυρίως παρατηρούνται τάσεις για διάβρωση τόσο στα δυτικά του λιμανιού όπου έγινε η θωράκιση του μόλου και επομένως της ακτογραμμής αλλά και στην ανατολική μεριά του. Η στερεομεταφορά προκαλείται από την κυματογενή κυκλοφορία που προέρχεται κυρίως από τους νοτιοδυτικούς κυματισμούς. Παρόλα αυτά, κατά μήκος της έκτασης των 600m από τα ανατολικά της προέκτασης του κυματοθραύστη επικρατούν τάσεις για διάθεση και απόθεση αλλά δεν παρουσιάζεται τόσο έντονα όσο αρχικά το φαινόμενο της διάβρωσης σε σημείο που να χρειάζεται άμεσα προστασία της. Δεν παύει όμως να υπάρχει.

Εξαιτίας της ανέγερσης του λιμανιού θα παρουσιαστεί διάβρωση στις παρακάτω ακτές που φαίνονται στο διάγραμμα 39.

Στο υποκεφάλαιο 6.2 θα γίνει ανάλυση του μαθηματικού μοντέλου στο λογισμικό MIKE21, μέσω του οποίου καθορίστηκε η βαθυμετρία της οριοθετημένης περιοχής του λιμανιού στο Βασιλικό. Έπειτα στο υποκεφάλαιο 7.2, γίνεται ο υπολογισμός της διάβρωσης της ακτής στο νοτιοανατολικό μέτωπο της περιοχής μελέτης μέσω διαφόρων εμπειρικών σχέσεων που διατυπώθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.



Διάγραμμα 39: Διάβρωση στις παρακείμενες ακτές

6 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ MIKE21

6.1 Λογισμικό MIKE21

Το μαθηματικό μοντέλο MIKE21 κατηγοριοποιείται στον παγκόσμιο οργανισμό «MIKE Powered by DHI». Σκοπός του λογισμικού αυτού είναι η επίλυση των οποιοδήποτε υδάτινων-θαλάσσιων περιβαλλοντικών προβλημάτων που τυχόν εμφανιστούν, μέσω της μοντελοποίησης τους, η οποία θα δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και θα λειτουργήσει αποδοτικά, εφόσον τηρηθούν ορθά όλα τα απαραίτητα στάδια και με τις απαραίτητες παραδοχές και προϋποθέσεις.

Συγκεκριμένα το λογισμικό MIKE21 είναι ένα βοηθητικό και ευέλικτο εργαλείο το οποίο συμβάλλει στην μοντελοποίηση της ακτής και της θάλασσας. Έχει ενσωματωμένες εξισώσεις οι οποίες λειτουργούν άμεσα χωρίς να επιφέρουν λανθασμένα αποτελέσματα αφού είναι ελεγχόμενες, εκτός εάν ο ίδιος ο χρήστης εφαρμόσει απερίσκεπτες κινήσεις κατά την εισαγωγή των δεδομένων. Οι παράμετροι που προσβλέπει το λογισμικό είναι ποικίλοι. Για παράδειγμα είναι σε θέση να λάβει υπόψη του, τους θραυόμενους και μη θραυόμενους κυματισμούς, την γωνία διεύθυνσης της διάδοσης του κυματισμού, την ταυτόχρονη δράση των κυματισμών και των κυματογενών ρευμάτων κλπ. Απαραίτητα στοιχεία που θα πρέπει να διατίθενται για να μπορέσει να ξεκινήσει να γίνεται ο σχεδιασμός κάποιου παράκτιου έργου με βάση μία ακτομηχανική μελέτη, είναι η βαθυμετρία της περιοχής μελέτης, η κοκκομετρική διαβάθμιση των φερτών υλών στον βυθό και γενικότερα οι διάφοροι συντελεστές που επηρεάζουν το μαθηματικό μοντέλο.

Για παράδειγμα μία από τις βασικές εξισώσεις που κρύβει το επιστημονικό υπόβαθρο του λογισμικού MIKE21 αναγράφεται πιο κάτω. Τα ζεύγη των εξισώσεων που αναφέρονται συμβάλλουν στον υπολογισμό της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις χ και ψ . (MIKE Powered by DHI, 2016)

Διεύθυνση χ :

$$\left. \begin{aligned} n \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial R_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial y} + F_x \\ n^2 g h \frac{\partial \xi}{\partial x} + n^2 P \left[\alpha + \beta \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{h} \right] + \frac{gP\sqrt{P^2 + Q^2}}{h^2 c^2} + n\Psi_1 = 0 \end{aligned} \right\} \text{(Εξ.34)}$$

Διεύθυνση ψ:

$$\left. \begin{aligned} n \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial R_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + F_y \\ n^2 gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + n^2 Q \left[\alpha + \beta \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{h} \right] + \frac{gQ\sqrt{P^2+Q^2}}{h^2 C^2} + n\Psi_2 = 0 \end{aligned} \right\} \text{(Εξ.35)}$$

Όπου:

P= πυκνότητα ροής στον άξονα χ (m³/s/m)

Q= πυκνότητα ροής στον άξονα ψ (m³/s/m)

B= παράγοντας διασποράς Boussinesq

F_x= οριζόντια πίεση στον άξονα χ

F_y= οριζόντια πίεση στον άξονα ψ

x,y= καρτεσιανές συντεταγμένες σε m

t= χρόνος σε seconds

h= συνολικό βάθος νερού σε m

d= μέρος του συνολικού βάθους νερού σε m

g= επιτάχυνση βαρύτητας (9,81 m/s²)

n= πορώδες

C= τιμή αντίστασης σε m^{0.5}/s

α= συντελεστής αντίστασης σε στρωτή ροή σε πορώδες πεδίο

β= συντελεστής αντίστασης σε τυρβώδη ροή σε πορώδες πεδίο

ξ = σημείο του επιπέδου της επιφάνειας του νερού πάνω από το σημείο αναφοράς

Αντίστοιχες και ποικίλες εξισώσεις για κάθε περίπτωση ξεχωριστά είναι

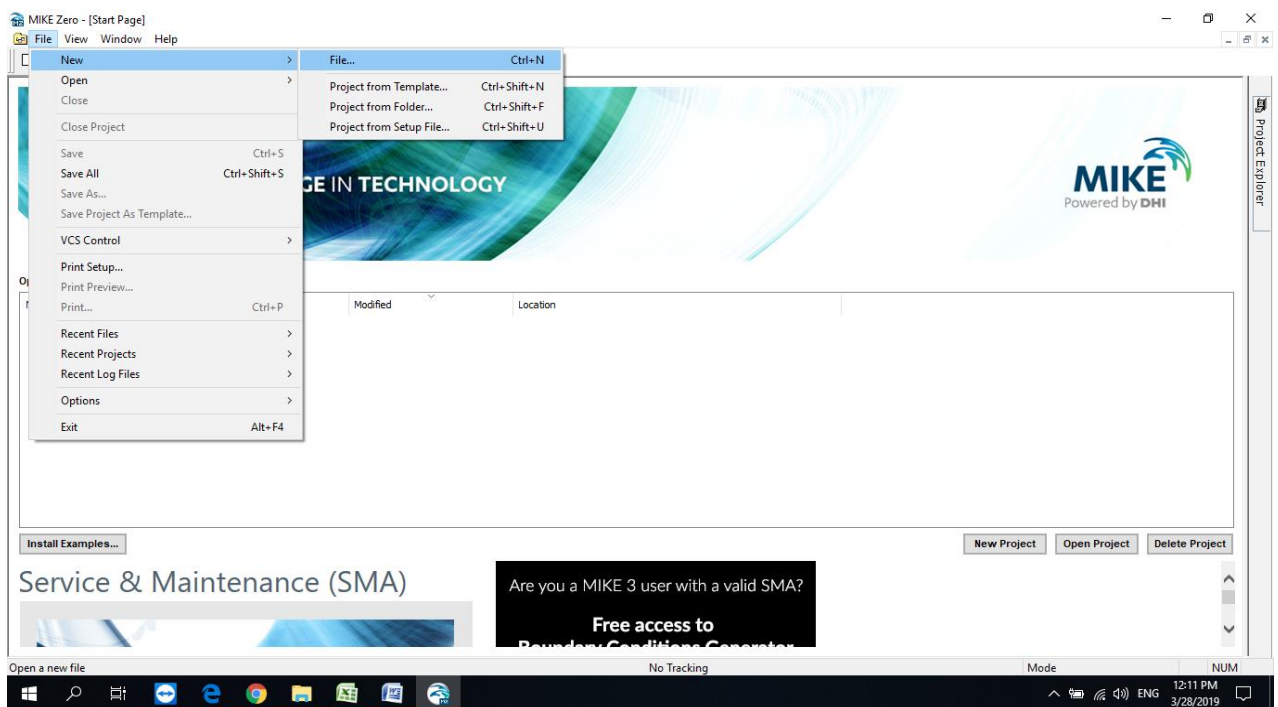
ενσωματωμένες στο μαθηματικό υπόβαθρο του λογισμικού και επίσης επισυνάπτονται στα παραρτήματα που προσφέρει ο παγκόσμιος οργανισμός «MIKE Powered by DHI».

6.2 Βαθυμετρία περιοχής Βασιλικού στο λογισμικό MIKE21

Όπως προαναφέρθηκε ένα από τα βασικότερα στοιχεία που επιβάλλεται να έχει στην διάθεση του το λογισμικό MIKE21 έτσι ώστε να μπορεί να αποδώσει και να λειτουργήσει ορθά, είναι η βαθυμετρία της περιοχής μελέτης. Σημαντικό είναι να γίνει προσεχτική συλλογή των στοιχείων βαθυμετρίας που χρειάζονται.

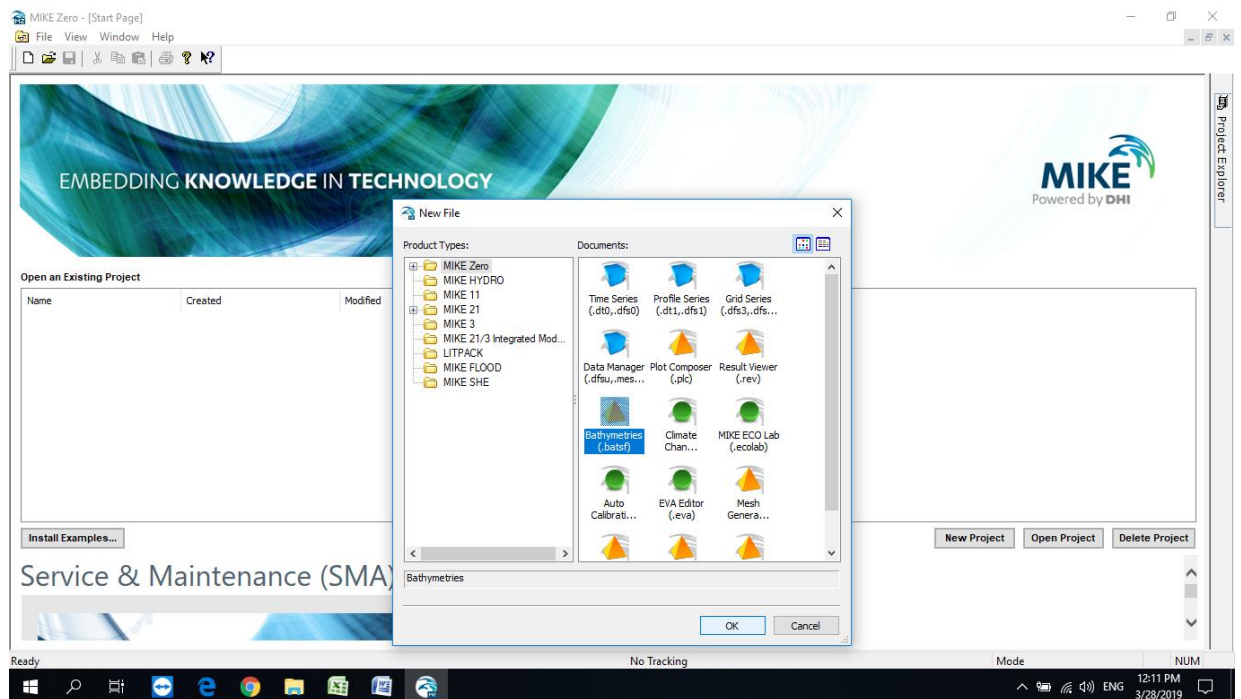
Πιο κάτω περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να δημιουργηθεί η βαθυμετρία της περιοχής του Βασιλικού στο λογισμικό αυτό. Η βαθυμετρία είναι ένα αναγκαίο στάδιο έτσι ώστε να μπορέσει ένας ακτομηχανικός να προχωρήσει στο σχεδιασμό παράκτιου-λιμενικού έργου.

Αρχικά το πρώτο βασικό στάδιο είναι η εγκατάσταση του λογισμικού MIKEZero που ουσιαστικά περιλάμβανε και το MIKE21. Ανοίγοντας το πρόγραμμα εμφανίζεται η πιο κάτω οθόνη για να δημιουργηθεί το νέο αρχείο στο οποίο θα εφαρμοστεί η βαθυμετρία.



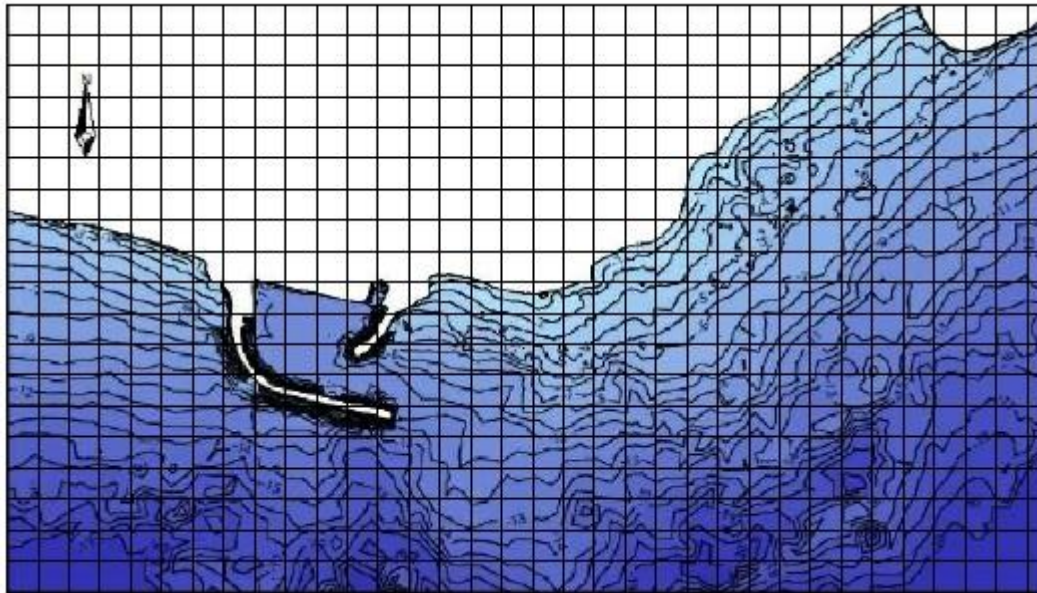
Διάγραμμα 40: Δημιουργία νέου αρχείου

Στη συνέχεια επιλέγεται από τον φάκελο MIKEZero η εντολή bathymetry έτσι ώστε να μας ζητηθούν τα απαραίτητα στοιχεία για την δημιουργία της βαθυμετρίας.



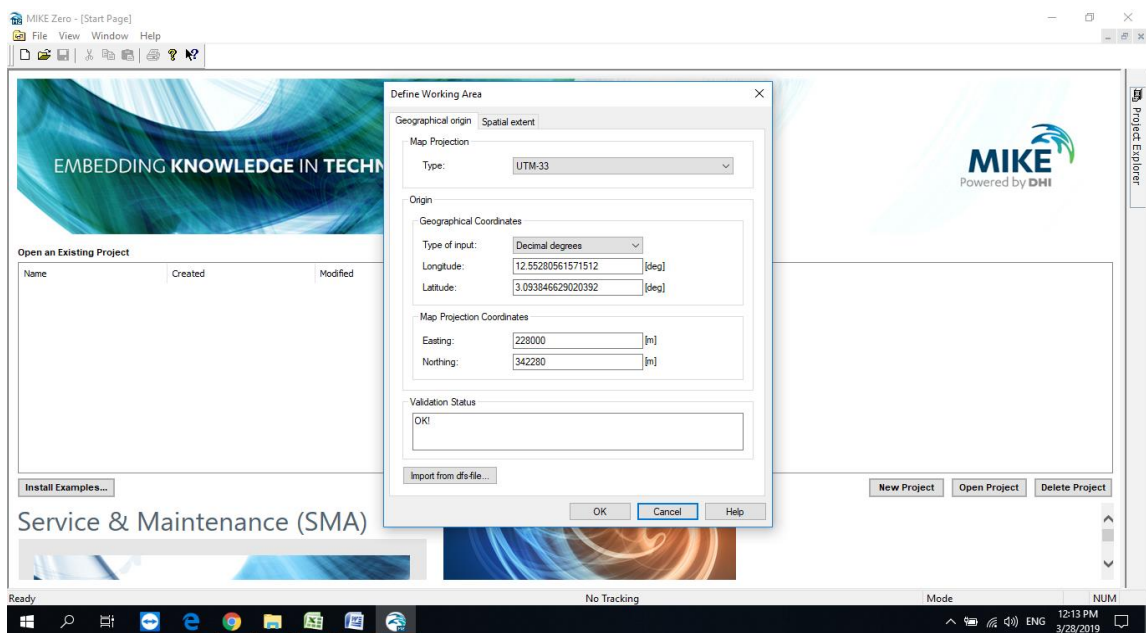
Διάγραμμα 41: Επιλογή εντολής της βυθομετρίας

Κατόπιν ζητούνται οι συντεταγμένες της περιοχής μελέτης από τους χάρτες ως προς βόρεια και ανατολικά..Για να μπορέσει να εκτελεστεί το συγκεκριμένο βήμα προηγήθηκε η δημιουργία κάρναβου μέσου του προγράμματος AutoCAD. Συγκεκριμένα, στο περιβάλλον AutoCAD έγινε η εισαγωγή μίας εικόνας, η οποία απεικόνιζε ήδη την υπάρχουσα βαθυμετρία της περιοχής του Βασιλικού και η οποία πάρθηκε από ολοκληρωμένες μελέτες που έγιναν ήδη σε αυτήν την περιοχή. Η εικόνα της βαθυμετρίας αυτής διαφαίνεται στο «Διάγραμμα 38». Μέσω διαφόρων εντολών από το AutoCAD (όπως για παράδειγμα η εντολή offset) προέκυψε αρχικά κάρναβος οριοθετημένης περιοχής στο λιμάνι Βασιλικού διαστάσεων 100x100m διαμορφώνοντας όλες τις απαραίτητες αλλαγές των μονάδων μέτρησης, σύμφωνα και με την κλίμακα που μας δινόταν στην επικρατούσα εικόνα (1:15090). Ο κάρναβος 100x100m που προέκυψε είναι ο πιο κάτω:



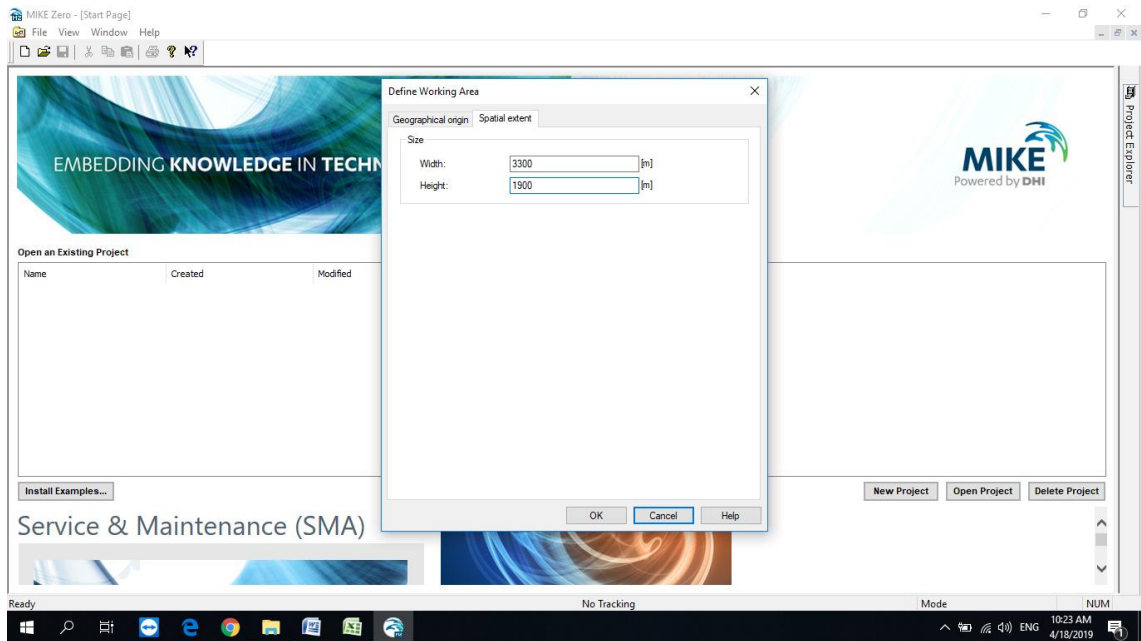
Διάγραμμα 42: Κάνναβος οριοθετημένης περιοχής Βασιλικού 100x100m

Έχοντας πλέον τον κάνναβο 100x100m εισάγουμε τις μετρήσεις που προέκυψαν ως προς τον βορρά και ως προς την ανατολή. Ως προς τα βόρεια η τιμή είναι 342280m και ως προς τα ανατολικά η τιμή είναι 228000m και αυτές οι μετρήσεις προήλθαν από την δημιουργία του κάνναβου. Με αυτό τον τρόπο καταχωρούνται αυτόματα από το λογισμικό και οι γεωγραφικές συντεταγμένες σε μορφή μοιρών.



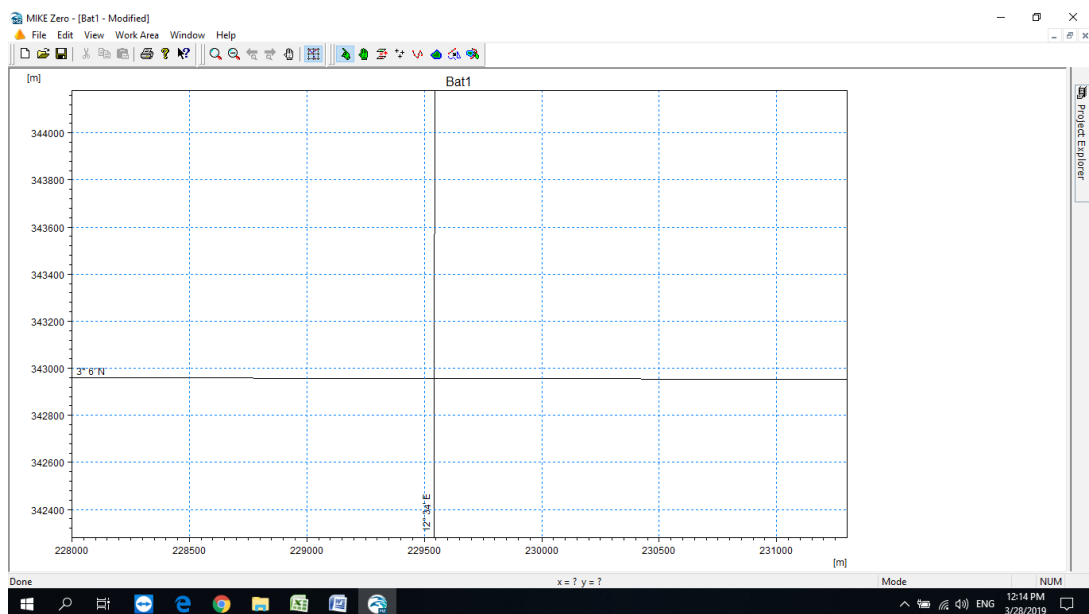
Διάγραμμα 43: Καταχώρηση γεωγραφικών συντεταγμένων

Έπειτα ζητούνται οι μετρήσεις για χωρική έκταση της περιοχής. Η έκταση σε ύψος παίρνει την τιμή 1900m και σε πλάτος την τιμή 3300m.



Διάγραμμα 44: Εισαγωγή μετρήσεων για την χωρική έκταση της περιοχής μελέτης

Ακολούθως δημιουργείται η παρακάτω οθόνη που ουσιαστικά αποτελεί τον χώρο εργασίας της βαθυμετρίας.



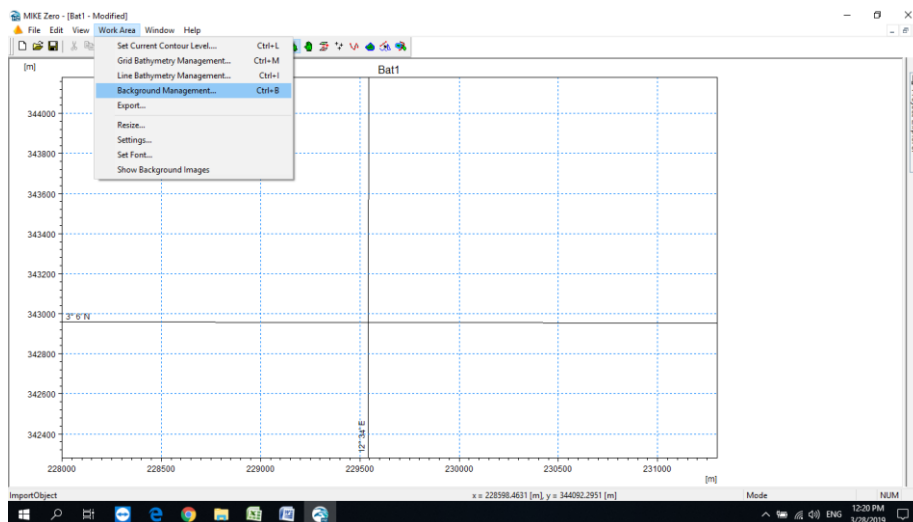
Διάγραμμα 45: Χώρος εργασίας της βαθυμετρίας

Σε αυτό το στάδιο θα γίνει η εισαγωγή όλων των σημείων σε άξονες x, y, και z. Τα σημεία αυτά έχουν προκύψει και πάλι από τον κάρναβο 100x100m. Μέσω αυτού έχουν εξαχθεί τα βάθη z με την βοήθεια των ισοβαθών σε κάθε σημείο, καθώς επίσης και όλες οι συντεταγμένες στους άξονες x και y για τα αντίστοιχα σημεία. Όλα τα σημεία έχουν εισαχθεί σε πίνακα αρχείου Excel και στην συνέχεια έχουν μετατραπεί σε μορφή αρχείου .xyz λόγω του ότι το λογισμικό MIKEZero μπορεί να δεχθεί τέτοιου είδους μορφής αρχεία.

Πίνακας 1: Εισαγωγή σημείων x,y και z σε αρχείο Excel

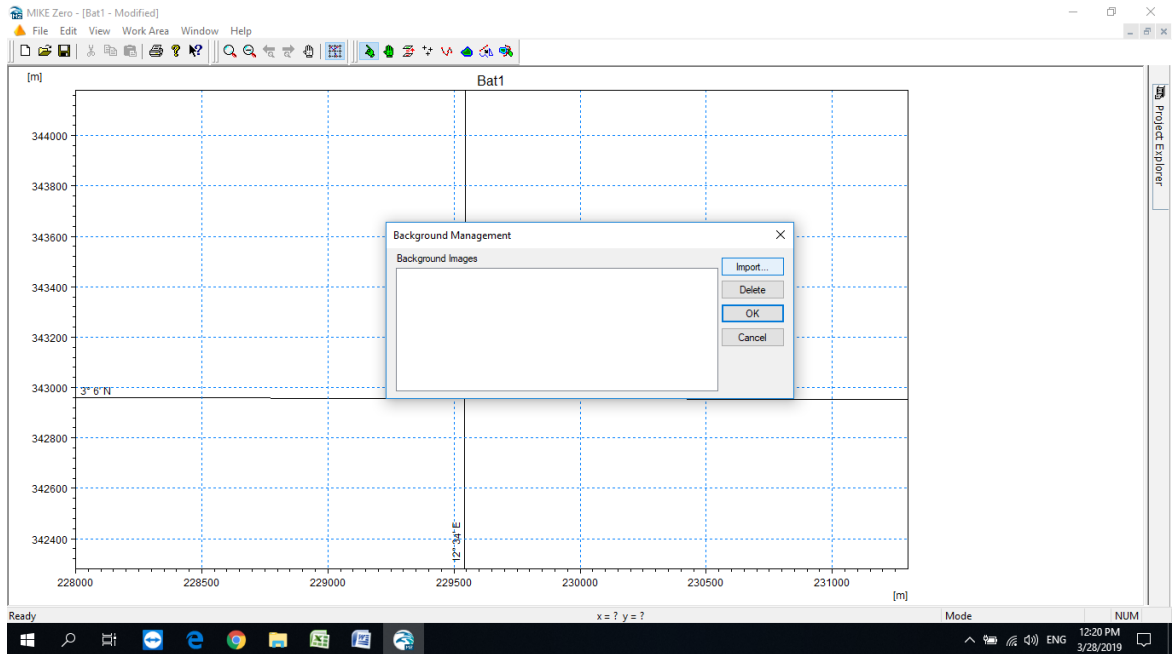
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1		228000	228050	228100	228150	228200	228250	228300	228350	228400	228450	228500	228550	228600	228650	228700	228750	228800	228850	228900	2289
2	344180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	344130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	344080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	344030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	343980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	343930	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	343880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	343830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	343780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	343730	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	343680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	343630	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	343580	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	343530	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	343480	-4	-4	-0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	343430	-4.9	-4.8	-4.5	-4.2	-4	-3	-2.5	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	343380	-5.5	-5.4	-5.2	-5.1	-5	-4.3	-3.9	-3.9	-2.1	-1.9	-0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	343330	-6.1	-6	-6	-6	-6	-5.2	-5	-4.9	-4.2	-4	-3.1	-3	-1	0	0	0	0	0	0	0
20	343280	-6.9	-6.9	-6.7	-6.6	-6.5	-6.1	-5.9	-5.5	-5.2	-4.9	-4	-3.9	-3.5	-1	0	0	0	0	0	0
21	343230	-7.5	-7.5	-7.2	-7.1	-7	-7	-6.9	-6.2	-6	-5.8	-5.5	-5.5	-4.9	-4	-2	0	0	0	0	0
22	343180	-8	-8	-8	-8	-7.9	-7.9	-7.8	-7.5	-7	-6.9	-6.7	-6.5	-6.2	-5.1	-4	0	0	0	0	0
23	343130	-8.8	-8.5	-8.5	-8.6	-8.5	-8.5	-8.5	-8.5	-8	-8	-7.9	-7.2	-7	-7	-2	0	0	0	0	0
24	343080	-9.2	-9.2	-9.3	-9.1	-9.1	-9	-9.2	-9	-9	-8.8	-8.9	-8.2	-8.1	-8.1	-1	0	0	0	0	0

Πλέον, αφού έχει ολοκληρωθεί η εισαγωγή όλων των σημείων στην εφαρμογή Excel, στο περιβάλλον του λογισμικού MIKEZero επιλέγεται από το menu bar η εντολή Work Area- Background Management όπως φαίνεται στο παρακάτω παράθυρο.



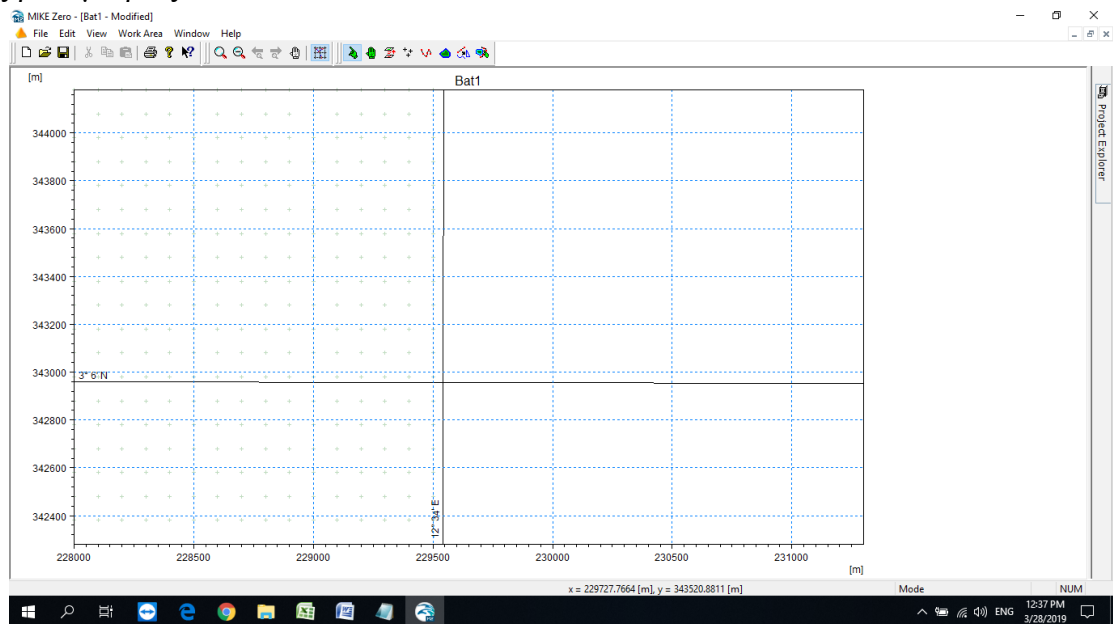
Διάγραμμα 46: Επιλογή εντολής background management

Σε αυτό το σημείο μέσω της εντολής Import θα γίνει η εισαγωγή των σημείων από το μετατρεπόμενο αρχείο .xyz .



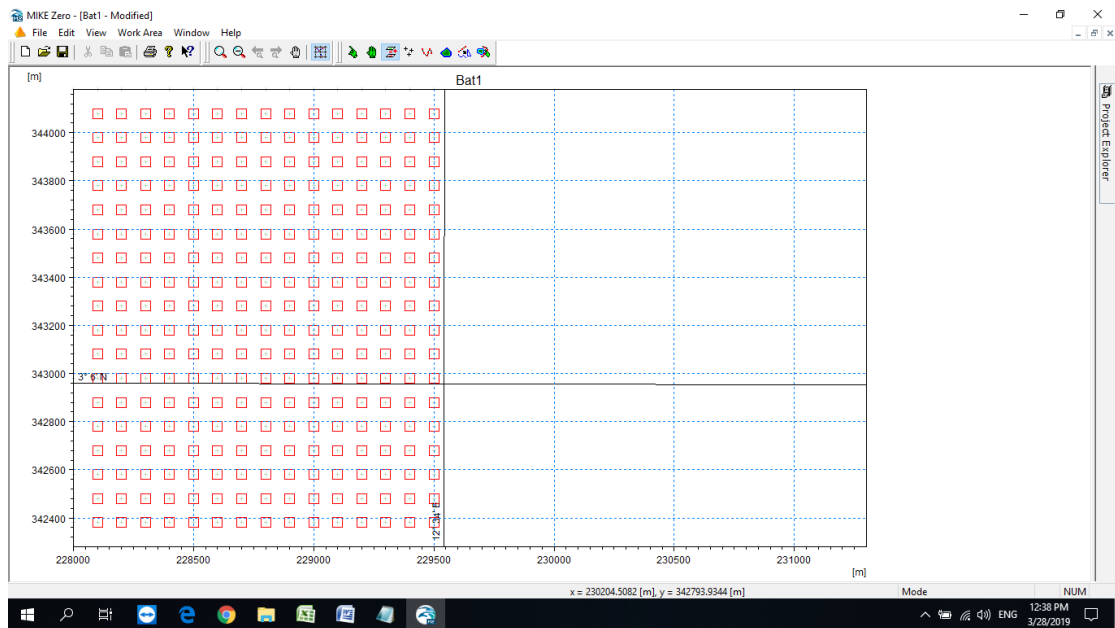
Διάγραμμα 47: Επιλογή εντολής import για εισαγωγή του αρχείου με όλα τα γεωγραφικά σημεία της περιοχής μελέτης

Έπειτα παρατηρείται στην οθόνη η εισαγωγή των σημείων αυτών στον χώρο εργασίας της βαθυμετρίας.



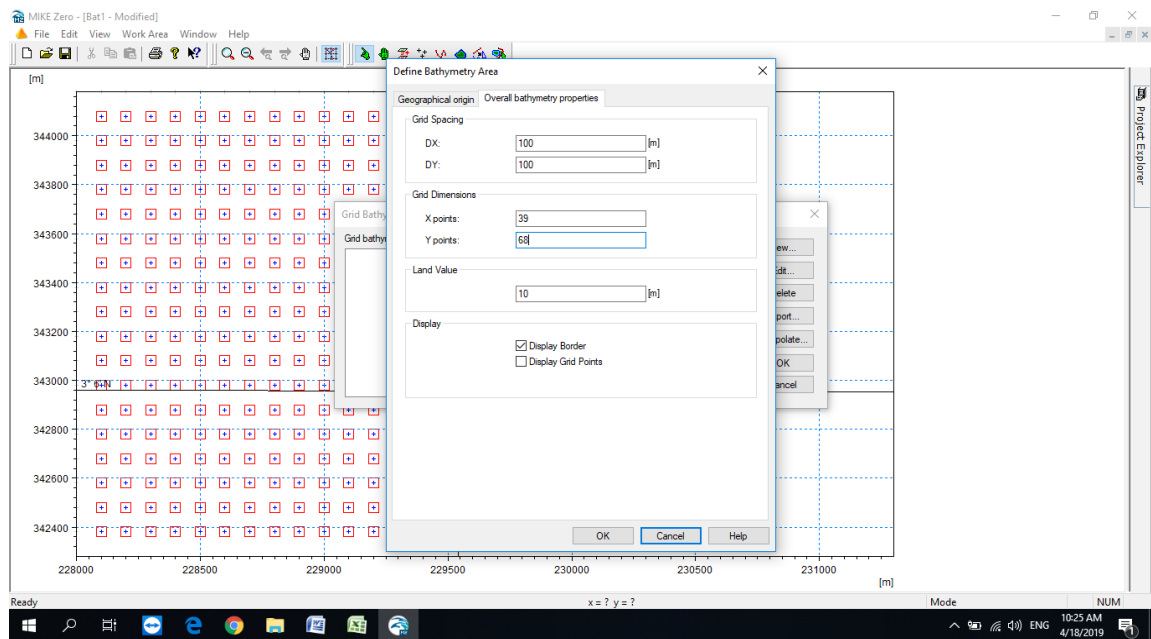
Διάγραμμα 48: Εισαγωγή γεωγραφικών σημείων στο χώρο εργασίας της βαθυμετρίας

Ακολούθως επιλέγεται δύο φορές το εικονίδιο «Import from Background» από το menu bar εμφανίζοντας το παρακάτω παράθυρο οθόνης.



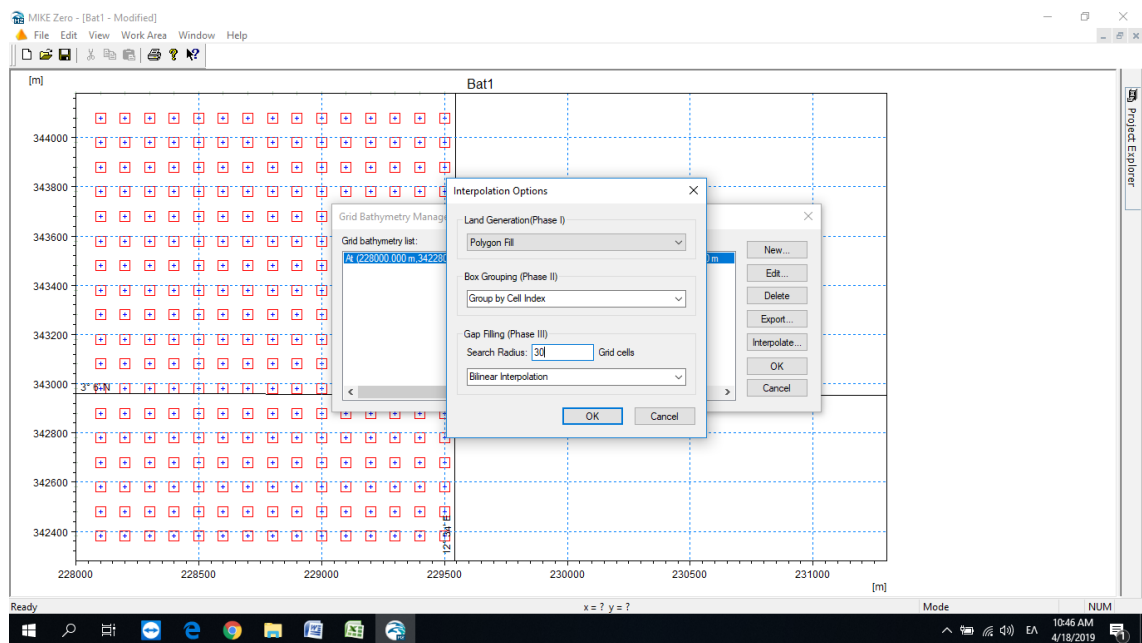
Διάγραμμα 49: Εξακρίβωση σημείων βαθυμετρίας

Θα δημιουργηθεί ένα νέο αρχείο μέσω της επιλογής Grid Bathymetry Management η οποία βρίσκεται στο menu bar στην επιλογή Work Area. Μέσω της επιλογής New θα ζητηθούν οι σταθερές αποστάσεις μεταξύ των σημείων, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ανά 100m αφού ο κάνναβος που δημιουργήθηκε εξ αρχής ήταν σε αυτή την μορφή, ενώ στην συνέχεια της πτυχιακής εργασίας θα παρατηρηθεί πύκνωση του κάνναβου ανά 50m αντί 100m έτσι ώστε να εξασφαλιστούν πιο ακριβή και αισθητά αποτελέσματα. Σε αυτό το σημείο ζητείται επίσης ο αριθμός των γεωγραφικών σημείων που υπάρχουν στους άξονες χ και ψ. Οι εντολές αυτές διακρίνονται στο παρακάτω παράθυρο εργασίας.



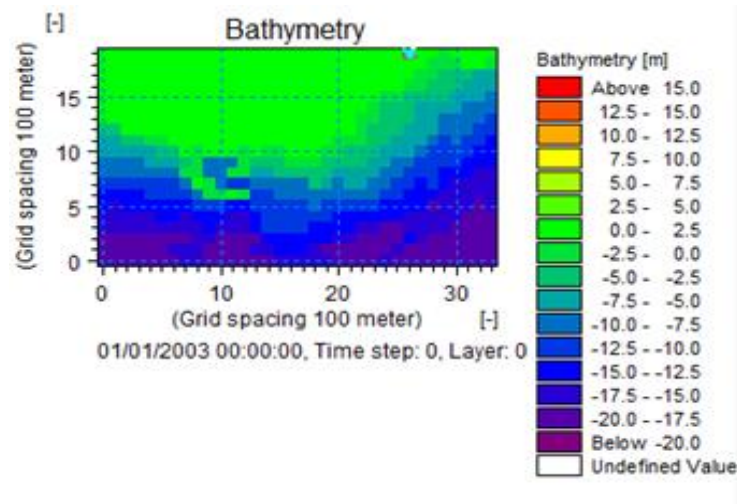
Διάγραμμα 50: Εισαγωγή απόστασης μεταξύ των σημείων και αριθμού των σημείων

Ακολουθεί η επιλογή Interpolate μέσω της οποίας καθορίζεται η παρεμβολή που μπορεί να υπάρχει μεταξύ των σημείων η οποία επιλέγεται ως 30.

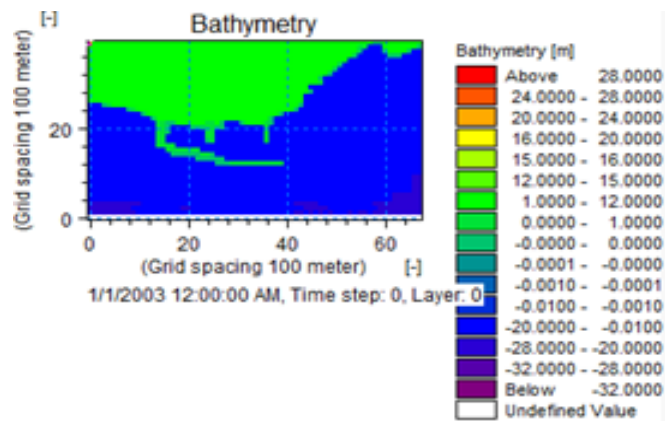


Διάγραμμα 51: Καθορισμός επιλογής interpolate

Αφού πλέον το νέο αρχείο (grid bathymetry) που δημιουργήθηκε γίνει export, τότε σύρεται στον χώρο εργασίας της βαθυμετρίας και αυτομάτως δημιουργείται η βαθυμετρία 100x100m. Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως αυτό έχει γίνει αρχικά για βαθυμετρία χωρίς επέκταση του κυματοθραύστη. Σε μελλοντικό στάδιο, όπως αναφέρθηκε, έχουν ήδη γίνει μελέτες για επέκταση του κυματοθραύστη κατά 705m προς τα ανατολικά της περιοχής μελέτης. Για αυτό τον λόγο ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς διαδικασία για δημιουργία κάβναβου 100x100m με επέκταση κυματοθραύστη αλλάζοντας τα σημεία βάθους z στην κατά μήκος επέκταση του.

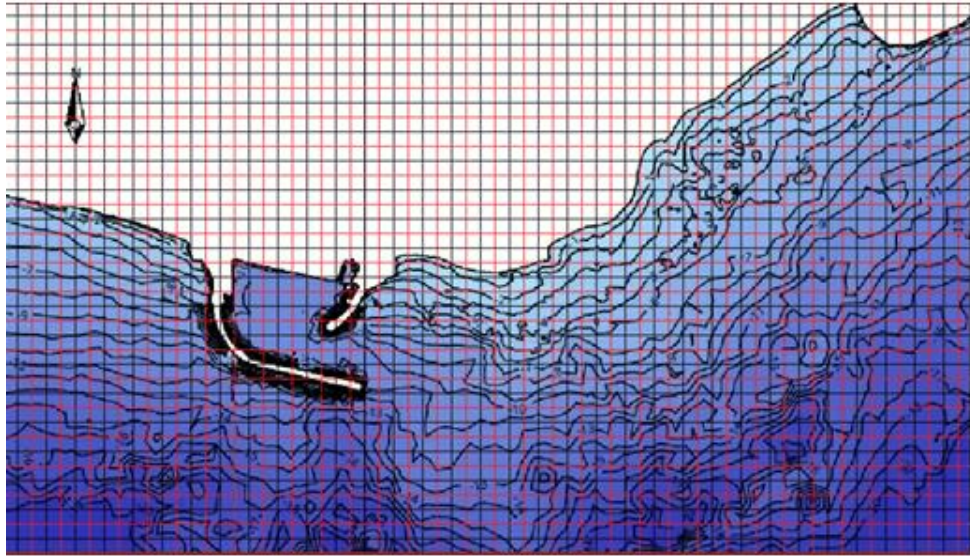


Διάγραμμα 52: Βαθυμετρία 100x100m χωρίς επέκταση κυματοθραύστη

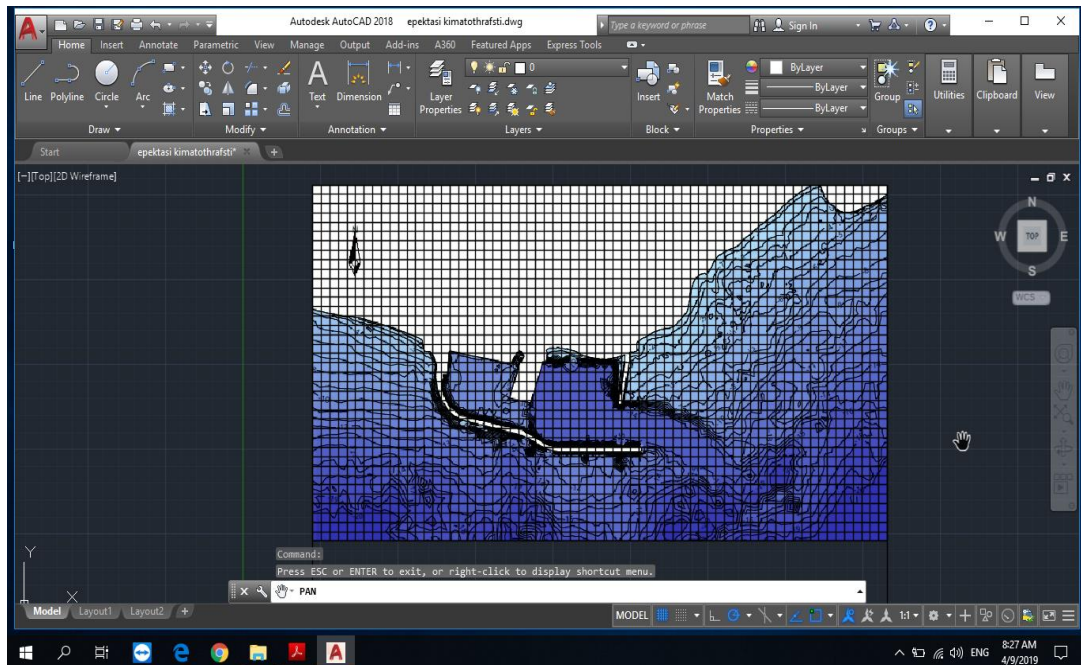


Διάγραμμα 53: Βαθυμετρία 100x100m με επέκταση κυματοθραύστη

Παρόλα αυτά, στη συνέχεια δημιουργήθηκε κάρναβος 50x50m για πιο αισθητό αποτέλεσμα βαθυμετρίας όπως αναφέρθηκε. Οι κάρναβοι αυτοί χωρίς επέκταση αλλά και με επέκταση του κυματοθραύστη διαφάνονται πιο κάτω.

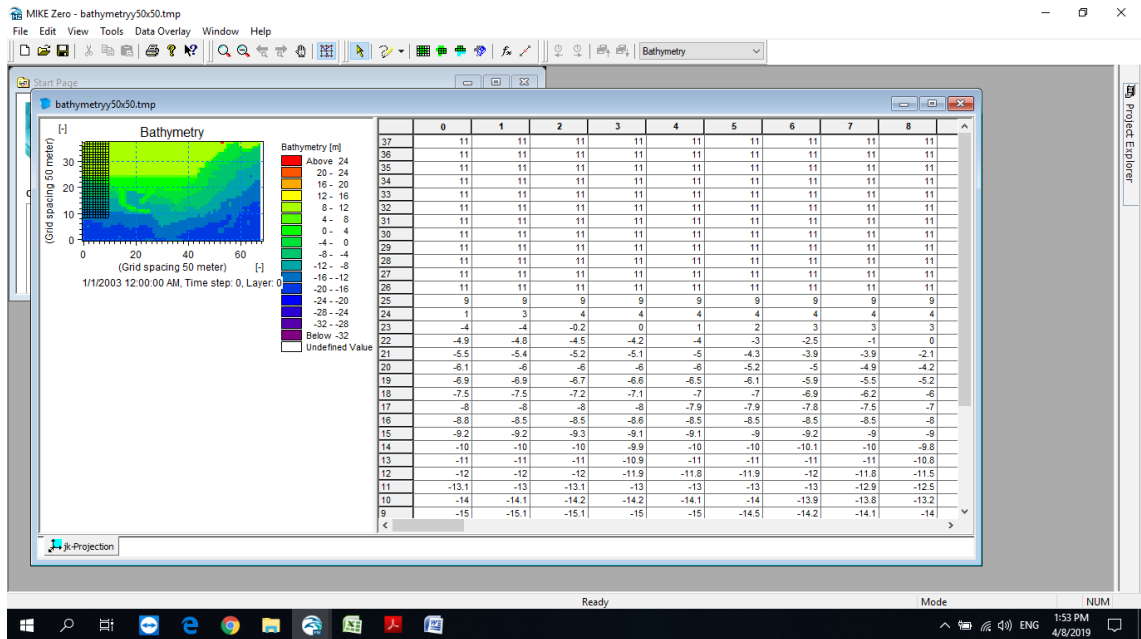


Διάγραμμα 54: Κάρναβος 50x50m χωρίς επέκταση κυματοθραύστη

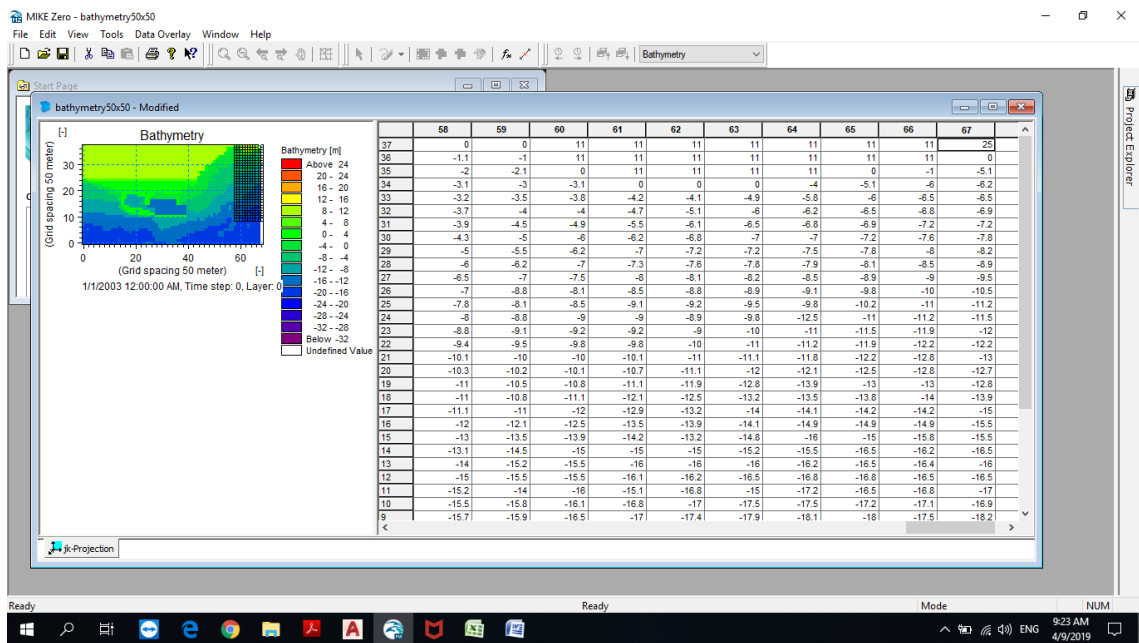


Διάγραμμα 55: Κάρναβος 50x50m με επέκταση κυματοθραύστη σε περιβάλλον AutoCAD

Επαναλήφθηκε η ίδια μεθοδολογία στο λογισμικό MIKEZero με περισσότερα γεωγραφικά σημεία στο αρχείο .xyz αφού η πύκνωση του κάνναβου σηματοδοτεί την αύξηση των σημείων. Τα αποτελέσματα βαθυμετρίας που προέκυψαν είναι τα εξής:



Διάγραμμα 56: Βαθυμετρία 50x50m χωρίς επέκταση κοινοτοθραύστη



Διάγραμμα 57: Βαθυμετρία 50x50m με επέκταση κοινοτοθραύστη

7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως προαναφέρθηκε, σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για να εκτιμηθεί η διάβρωση της ακτής στο νοτιοανατολικό μέτωπο της περιοχής μελέτης μέσω διαφόρων εμπειρικών σχέσεων που διατυπώθηκαν πιο πάνω.

Για να μπορέσει όμως να ακολουθηθεί ορθή διαδικασία προς υπολογισμό των απαραίτητων αυτών μεγεθών απαιτείται να γίνει υπολογισμός των αναγκαίων προϋποθέσεων. Οι προϋποθέσεις αυτές σχετίζονται με τα φυσικά φαινόμενα των κυματισμών δηλαδή των διαταραχών που παρατηρούνται την επιφάνεια της θάλασσας.

Θα πρέπει να βρεθεί το ζεύγος του ύψους κύματος μαζί με την περίοδο στο σημείο όπου θα μελετηθεί η διάβρωση με βάση και τα φαινόμενα ρήχωσης, διάθλασης, περίθλασης και θραύσης, όπου παρατηρούνται. Με αυτό τον τρόπο θα προκύψουν αποτελέσματα που έχουν ενσωματωμένα μέσα τους τα φαινόμενα αυτά και στην συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν για υπολογισμό των εξισώσεων διάβρωσης.

7.1 Φυσικά φαινόμενα κυματισμών

Προτού όμως ξεκινήσουν οι υπολογισμοί, θα γίνει μια μικρή περιγραφή των φυσικών φαινομένων που πραγματοποιούνται στους κυματισμούς και λήφθηκαν υπόψη στην παρούσα εκτίμηση.

Η γενική εξίσωση των γραμμικών κανονικών κυματισμών της θεωρίας Airy-Stokes 1^{ης} τάξης εμπειρικά είναι η πιο κάτω:

$$n = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (\text{Εξ.36})$$

Όπου:

n = ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας στιγμιαία

H = ύψος κύματος σε m

k = αριθμός κύματος ($\frac{2\pi}{L}$)

L = μήκος κύματος

ω = κυκλική συχνότητα ($\frac{2\pi}{T}$)

T = περίοδος κύματος σε seconds

Ο υπολογισμός του μήκους κύματος L γίνεται με βάση τον πιο κάτω τύπο ο οποίος προκύπτει μέσω επαναληπτικής διαδικασίας.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi}{L}d\right) \quad (\text{σε m}) \quad (\text{Εξ.37})$$

Όπου:

g = επιτάχυνση βαρύτητας (9.81 m/s^2)

T = περίοδος κύματος σε seconds

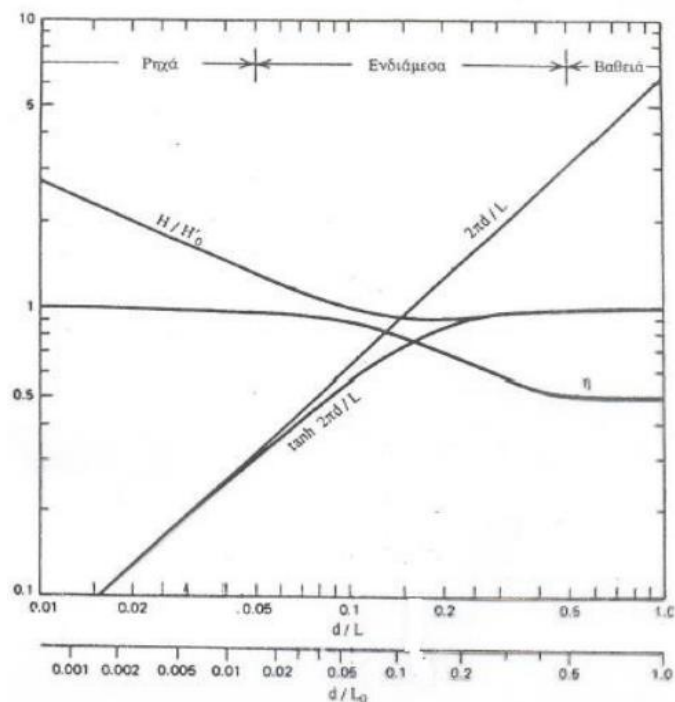
π = σταθερά (3.14)

d = βάθος κύματος σε m

Σε περίπτωση όμως που είναι γνωστό πως το σημείο μελέτης βρίσκεται στα βαθιά νερά τότε ο υπολογισμός του μήκους κύματος καθορίζεται από την εξής εξίσωση: $L_0 =$

$$\frac{gT^2}{2\pi} \quad (\text{σε m}) \quad (\text{Εξ.38})$$

Πέρα από την επαναληπτική διαδικασία υπάρχει και δεύτερη μεθοδολογία για υπολογισμό του μήκους κύματος, η οποία είναι μέσω της σωστής χρήσης του παρακάτω εμπειρικού διαγράμματος.



Διάγραμμα 58: Υπολογισμός μήκους κύματος (Κουτίτας Χ., 1998)

7.1.1 Ρήγωση κυματισμών

Το φαινόμενο της ρήγωσης των κυμάτων παρατηρείται σε περίπτωση που αλλάξει το ύψος του κύματος εξαιτίας της μείωσης του βάθους και έτσι τείνει να φτάσει στα ρηχά νερά. Επομένως από το φαινόμενο αυτό, το ζητούμενο είναι να βρεθεί το νέο ύψος κύματος H_2 χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση, με την οποία υπολογίζεται και ο συντελεστής ρήγωσης k_s .

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{n_1 L_1}{n_2 L_2}} = k_s \quad (\text{Εξ.39})$$

Όπου $n=0.5$ για βαθειά νερά και $n=1$ για ρηχά νερά.

Σε ενδιάμεση περίπτωση το ο συντελεστής n υπολογίζεται από την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \quad (\text{Εξ.40})$$

7.1.2 Διάθλαση κυματισμών

Το φαινόμενο της διάθλασης των κυμάτων εμφανίζεται μόνο σε ενδιάμεσα και ρηχά νερά. Προκύπτει από την πρόκληση της λοξότητας της διάδοσης των κυμάτων, όταν δηλαδή οι κυματοκορυφές τείνουν να γίνουν καμπύλες από ευθύγραμμες που ήταν αρχικά. Ο υπολογισμός του συντελεστή διάθλασης γίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$k_R = \sqrt{\frac{\cos(\varphi_1)}{\cos(\varphi_2)}} \quad (\text{Εξ.41})$$

Όπου:

φ_1 = γωνιά διάδοσης των κυμάτων

φ_2 = γωνιά εξαιτίας της διάθλασης

Η γωνιά φ_2 υπολογίζεται από την σχέση:

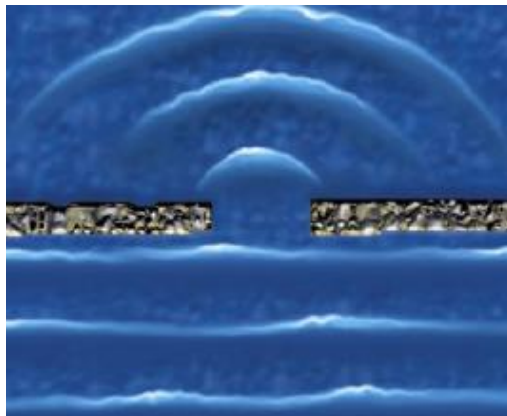
$$\varphi_2 = \sin^{-1} \left(\frac{L_A}{L_0} \sin \varphi_1 \right) \quad (\text{Εξ.42})$$

Το νέο ύψος κύματος σε συνδυασμό με την ρήγωση θα είναι:

$$\frac{H_2}{H_1} = k_s k_R \quad (\text{Εξ.43})$$

7.1.3 Περίθλαση κυματισμών

Το φαινόμενο της περίθλασης των κυματισμών υπάρχει μόνο σε περίπτωση ύπαρξης κατασκευής θαλάσσιου έργου το οποίο προκαλεί κυκλική διαμόρφωση των κυμάτων με πιο μικρό ύψος στην περιοχή της σκιάς της κατασκευής. Το φαινόμενο αυτό φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Διάγραμμα 59: Περίθλαση κυμάτων (Καραμπάς Θ.,2015)

Για να υπολογιστεί το νέο ύψος κύματος λόγω του φαινομένου της περίθλασης, υπολογίζεται ο συντελεστής περίθλασης k_D ο οποίος είναι συναρτήσε:

$$k_D = k_D(\theta, \beta, \frac{r}{L}) \quad (\text{Εξ.44})$$

Όπου:

θ = γωνιά μεταξύ κατασκευής και διεύθυνσης διάδοσης κυματισμού

r = απόσταση από την άκρη της κατασκευής έως το σημείο ενδιαφέροντος

β = γωνιά μεταξύ κατασκευής και απόστασης r

L = μήκος κύματος

} Με χρήση
πίνακα
Wiegel

Επομένως το νέο ύψος κύματος H_2 θα είναι:

$$H_2 = k_D H_1 \quad (\text{Εξ.45})$$

7.1.4 Θραύση κυματισμών

Το φαινόμενο της θραύσης των κυματισμών παρατηρείται όταν η ενέργεια των κυμάτων χάνεται καθώς το κύμα διαδίδεται προς τα ρηχά νερά με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητα του και επομένως το βάθος του. Στην προκειμένη περίπτωση γίνεται υπολογισμός του νέου ύψους και βάθους θραύσης, h_b και d_b αντίστοιχα. Η εύρεση τους γίνεται με την ανάλογη χρήση των εμπειρικών διαγραμμάτων Goda. Σε περίπτωση που επικρατεί ταυτόχρονη δράση της θραύσης με την διάθλαση τότε μαθηματικά ακολουθείται επαναληπτική διαδικασία με αρχική υπόθεση για βάθος θραύσης που θα συντελέσει στην εύρεση του τελικού βάθους και ύψους θραύσης.

Όσον αφορά την μορφή της θραύσης μπορεί να καθοριστεί από την παράμετρο Iribaren, ξ . Σε περίπτωση που η παράμετρος ξ είναι μικρότερη από 0.5 τότε σημαίνει πως επικρατεί μικρή κλίση κύματος και η μορφή της θραύσης είναι υπερχειλίση. Όταν τα ξ βρίσκεται μεταξύ 0.5 και 3.3 τότε παρατηρείται κατάδυση με μεγάλες κλίσεις, ενώ όταν το ξ είναι μικρότερο από 3.3 τότε παρατηρείται εφόρμηση δηλαδή επικρατούν τεράστιες κλίσεις κυμάτων. (Καραμπάς Θ.,2015) Η παράμετρος ξ καθορίζεται από την πιο κάτω σχέση:

$$\xi = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} \quad (\text{Εξ.46})$$

7.2 Υπολογισμός απαραίτητων μεγεθών-σχέσεων

7.2.1 Υπολογισμός ανεμογενών κυματισμών

Το πρώτο βασικό στάδιο που πρέπει να εφαρμοστεί είναι ο υπολογισμός των ανεμογενών κυματισμών $F_{effective}$. Η τιμή αυτή θα μας δώσει το βέλτιστο μήκος στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν οι κυματισμοί σε μία απόσταση μεταξύ του σημείου του υπολογιζόμενου κυματισμού μέχρι την απέναντι ακτή, με βασική διεύθυνση, την κατεύθυνση πνοής του ανέμου (45°). Κατόπιν, το μέγεθος αυτό θα δώσει, με βάση εμπειρικές σχέσεις, το ζεύγος ύψους κύματος και περιόδου σύμφωνα με την θέση που βρίσκεται η ακτή.

Ο υπολογισμός του μεγέθους $F_{effective}$ είναι μεγάλης σημασίας και για μετεωρολογικούς σκοπούς και δίνεται μέσω της πιο κάτω σχέσης:

$$F_{eff} = \frac{\sum_{i=-N}^N F_i (\cos a_i)^2}{\sum_{i=-N}^N \cos a_i} \quad (\text{Εξ.47})$$

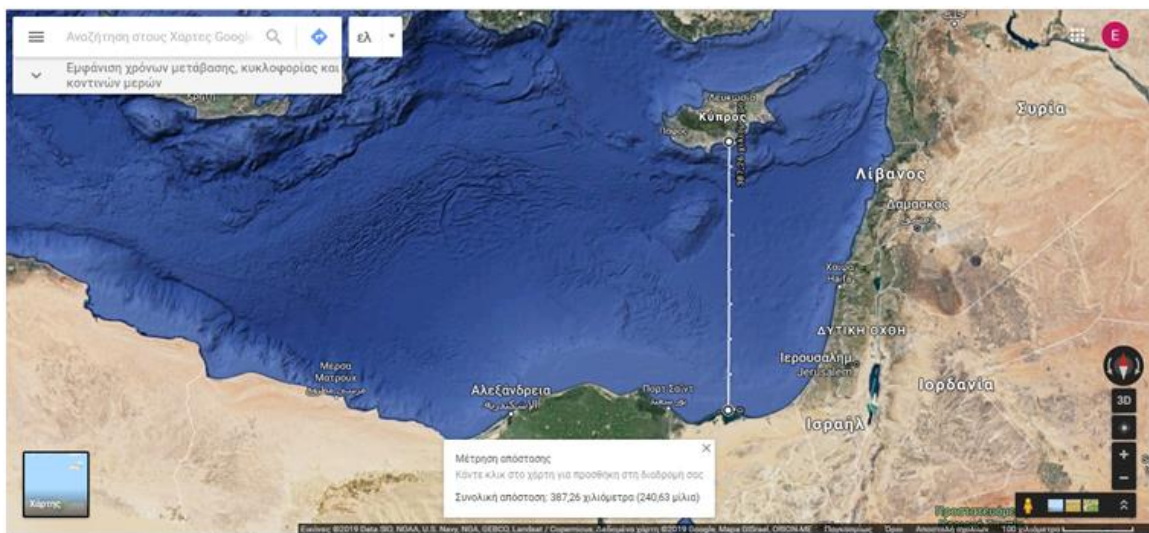
Όπου:

a_i = γωνιά διάδοσης με βάση την κατεύθυνση του ανέμου ($\pm 45^\circ$)

F_i = ευκλείδεια απόσταση σε km

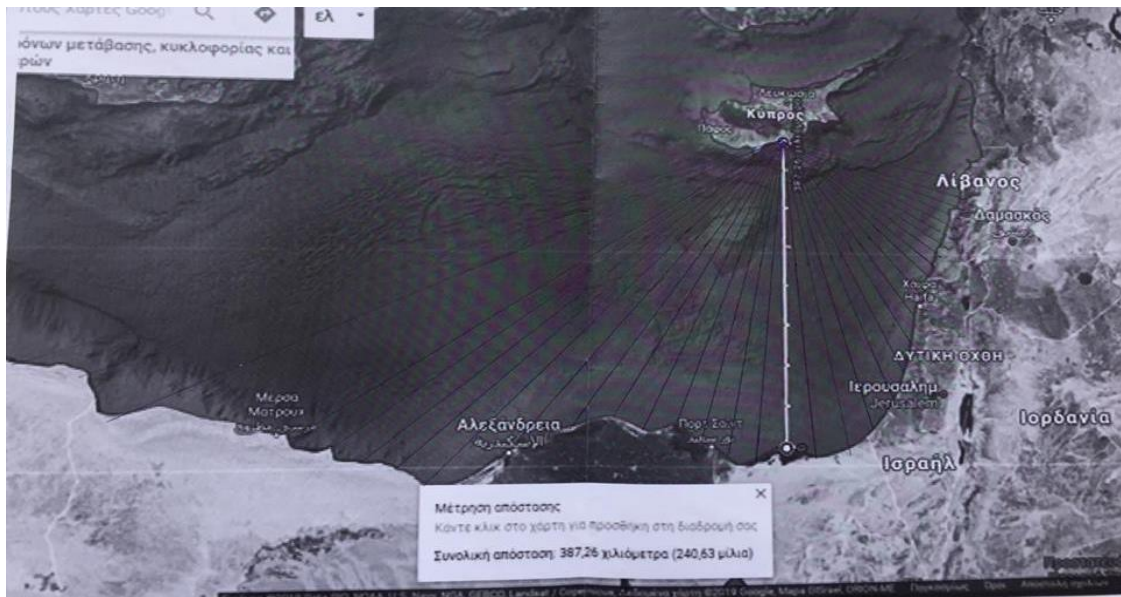
i = ακέραιος αριθμός σχετικός με τον προσανατολισμό ακτινών ανά 5 ή 10 μοίρες

Στην συγκεκριμένη περίπτωση με την περιοχή μελέτης στο Βασιλικό, έγινε χρήση του δορυφόρου στο Google Maps όπου μετρήθηκε η απόσταση από το λιμάνι Βασιλικού έως την απέναντι ακτή και διακρίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Διάγραμμα 60: Μέτρηση απόστασης από Λιμάνι Βασιλικού ως την απέναντι ακτή

Αφού τυπώθηκε η συγκεκριμένη εικόνα, τραβήχτηκαν στο χέρι ανά 5° δεξιά και αριστερά οι γραμμές έτσι ώστε να μετρηθούν οι αποστάσεις μέχρι τις απέναντι ακτές έως ότου φτάσουν τις 45°.



Διάγραμμα 61: Μετρήσεις αποστάσεων ανά 5°

Ακολούθως μέσω της χρήσης της εφαρμογής Excel έγιναν πιο εύκολα οι ανάλογοι υπολογισμοί σύμφωνα με την σωστή κλίμακα (χάρτης με πραγματικότητα) και κάνοντας τις ανάλογες μετατροπές σε μονάδες μέτρησης (cm σε km, radius σε °). Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε για νότια, νοτιοανατολική και νοτιοδυτική κατεύθυνση για υπολογισμό των αντίστοιχων τριών F_{eff} τα οποία καταγράφονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 2: Υπολογισμός F_{eff} για νοτία

		ΝΟΤΙΑ						
	ai (°)	ai (radius)	cos(ai)	cos^2(ai)	Κλίμακα Χάρτης(Cm)	Fi(km)	Fi*cos^2(ai)	F _{eff} (km)
ΔΕΞΙΑ(+)	45	0.785	0.70739	0.500398	30.9808	7.8	241.65	120.921336
	40	0.697777778	0.76627	0.587173	30.9808	8	247.85	145.528618
	35	0.610555556	0.81933	0.671301	30.9808	8.7	269.53	180.937758
	30	0.523333333	0.86616	0.75023	30.9808	9.6	297.42	223.130119
	25	0.436111111	0.9064	0.821563	30.9808	10.5	325.3	267.253202
	20	0.348888889	0.93975	0.883136	30.9808	11.35	351.63	310.53893
	15	0.261666667	0.96596	0.933079	30.9808	12.3	381.06	355.562685
	10	0.174444444	0.98482	0.969877	30.9808	12.7	393.46	381.603909
	5	0.087222222	0.9962	0.992412	30.9808	13	402.75	399.694151
	Κύρια διεύθυνση	0	0	1	1	30.9808	12.5	387.26
ΑΡΙΣΤΕΡΑ(-)	5	0.087222222	0.9962	0.992412	30.9808	13	402.75	399.694151
	10	0.174444444	0.98482	0.969877	30.9808	12.9	399.65	387.613419
	15	0.261666667	0.96596	0.933079	30.9808	12.5	387.26	361.344192
	20	0.348888889	0.93975	0.883136	30.9808	12	371.77	328.323097
	25	0.436111111	0.9064	0.821563	30.9808	12.8	396.55	325.79438
ΣΥΝΟΛΟ	30	0.523333333	0.86616	0.75023	30.9808	12.8	396.55	297.506826
	35	0.610555556	0.81933	0.671301	30.9808	14	433.73	291.164208
	40	0.697777778	0.76627	0.587173	30.9808	15.7	486.4	285.599914
ΣΥΝΟΛΟ	45	0.785	0.70739	0.500398	30.9808	19.1	591.73	296.102247
		16.9046						5745.57314

Πίνακας 3: Υπολογισμός Feff για νοτιοανατολικά

ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΑ									
ai (°)	ai (radius)	cos (ai)	cos^2(ai)	Κλίμακα	Χάρτης(Cm)	Fi(km)	Fi*cos^2(ai)	<u>Fef.(km)</u>	
	45	0.785	0.707388	0.500398	30.9808	6.9	213.7675	106.9688744	257.5237
	40	0.697777778	0.766272	0.587173	30.9808	7.4	229.2579	134.613972	
	35	0.610555556	0.81933	0.671301	30.9808	7.9	244.7483	164.2998031	
ΔΕΞΙΑ(+)	30	0.523333333	0.866158	0.75023	30.9808	7.1	219.9637	165.0233174	
	25	0.436111111	0.906401	0.821563	30.9808	7.2	223.0618	183.2593387	
	20	0.348888889	0.939753	0.883136	30.9808	7.2	223.0618	196.9938585	
	15	0.261666667	0.96596	0.933079	30.9808	7.3	226.1598	211.025008	
Κύρια διεύθυνση	10	0.174444444	0.984823	0.969877	30.9808	7.4	229.2579	222.351884	
	5	0.087222222	0.996199	0.992412	30.9808	7.6	235.4541	233.6673501	
	0	0	1	1	30.9808	7.8	241.6502	241.65024	
	5	0.087222222	0.996199	0.992412	30.9808	12.5	387.26	384.3212995	
	10	0.174444444	0.984823	0.969877	30.9808	13	402.7504	390.6181746	
ΑΡΙΣΤΕΡΑ(-)	15	0.261666667	0.96596	0.933079	30.9808	12.7	393.4562	367.1256989	
	20	0.348888889	0.939753	0.883136	30.9808	12.3	381.0638	336.5311749	
	25	0.436111111	0.906401	0.821563	30.9808	11.35	351.6321	288.8879853	
	30	0.523333333	0.866158	0.75023	30.9808	10.5	325.2984	244.048568	
	35	0.610555556	0.81933	0.671301	30.9808	9.6	297.4157	199.6554569	
	40	0.697777778	0.766272	0.587173	30.9808	8.7	269.533	158.2623725	
	45	0.785	0.707388	0.500398	30.9808	8	247.8464	124.0218834	
ΣΥΝΟΛΟ			16.90457					4353.32626	

Πίνακας 4: Υπολογισμός Feff για νοτιοδυτικά

ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ									
ai (°)	ai (radius)	cos (ai)	cos^2(ai)	Κλίμακα	Χάρτης(Cm)	Fi(km)	Fi*cos^2(ai)	<u>Fef.(km)</u>	
	45	0.785	0.707388	0.500398	30.9808	12.5	387.26	193.7841927	323.1058
	40	0.697777778	0.766272	0.587173	30.9808	13	402.7504	236.4840048	
	35	0.610555556	0.81933	0.671301	30.9808	12.9	399.6523	268.2870202	
ΔΕΞΙΑ(+)	30	0.523333333	0.866158	0.75023	30.9808	12.5	387.26	290.5340096	
	25	0.436111111	0.906401	0.821563	30.9808	12	371.7696	305.4322311	
	20	0.348888889	0.939753	0.883136	30.9808	12.8	396.5542	350.211304	
	15	0.261666667	0.96596	0.933079	30.9808	12.8	396.5542	370.0164524	
Κύρια διεύθυνση	10	0.174444444	0.984823	0.969877	30.9808	14	433.7312	420.6657265	
	5	0.087222222	0.996199	0.992412	30.9808	15.7	486.3986	482.7075522	
	0	0	1	1	30.9808	19.1	591.7333	591.73328	
	5	0.087222222	0.996199	0.992412	30.9808	19.4	601.0275	596.4666568	
	10	0.174444444	0.984823	0.969877	30.9808	20.1	622.7141	603.955793	
ΑΡΙΣΤΕΡΑ(-)	15	0.261666667	0.96596	0.933079	30.9808	20.6	638.2045	595.4952281	
	20	0.348888889	0.939753	0.883136	30.9808	1.2	37.17696	32.83230975	
	25	0.436111111	0.906401	0.821563	30.9808	1.1	34.07888	27.99795452	
	30	0.523333333	0.866158	0.75023	30.9808	1.2	37.17696	27.89126492	
	35	0.610555556	0.81933	0.671301	30.9808	1.3	40.27504	27.03667645	
	40	0.697777778	0.766272	0.587173	30.9808	1.2	37.17696	21.82929275	
	45	0.785	0.707388	0.500398	30.9808	1.2	37.17696	18.6032825	
ΣΥΝΟΛΟ			16.90457					5461.964232	

Στη συνέχεια εφαρμόζοντας τους παρακάτω εμπειρικούς τύπους υπολογίστηκαν για κάθε ένα F_{eff} το ύψος κύματος H_s και η αντίστοιχη περίοδος T_s .

$$U_A = 0.71 * U_{10}^{1.23} \quad (\text{Εξ.48})$$

$$H_s = (0.0016 * \left(\frac{gF_{eff}}{U_A^2}\right)^{0.5} * U_A^2)/g \quad (\text{Εξ.49})$$

$$T_p = (0.286 * \left(\frac{gF_{eff}}{U_A^2}\right)^{0.33} * U_A^2)/g \quad (\text{Εξ.50})$$

$$T_s = 0.95 * T_p \quad (\text{Εξ.51})$$

Όπου:

$U_{10}=6\text{m/s}$ σταθερή εμπειρική τιμή, Άρα $U_A=6.432568\text{m/s}$

$g=$ επιτάχυνση βαρύτητας (9.81 m/s^2)

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις αυτές προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα για τις 3 διευθύνσεις:

Πίνακας 5: Υπολογισμός H_s και T_s με βάση F_{eff}

	Feff(km)	Hs(m)	Tp(s)	Ts(s)
Νότια	339.8829	1.915731	7.80076	7.41073
Νοτιοανατολικά	257.5237	1.667548	7.11817	6.76226
Νοτιοδυτικά	323.1058	1.867851	7.67154	7.28796

7.2.2 Υπολογισμός για ύψη κύματος στο σημείο του μόλου

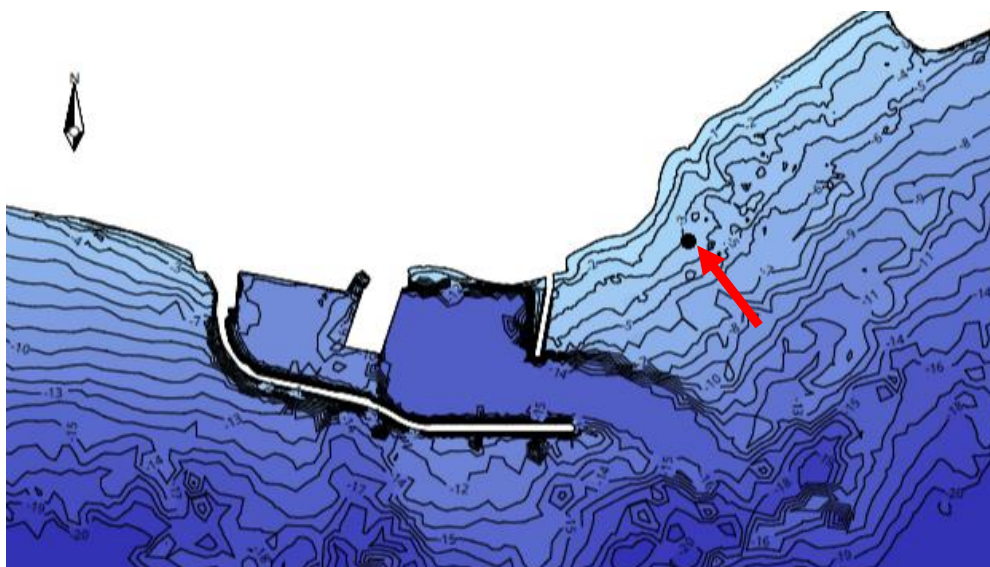
Δεν παύουν να συνυπάρχουν όμως τα φαινόμενα ρήγωσης και διάθλασης και για αυτό τον λόγο θα υπολογιστούν τα νέα H_s που λαμβάνουν υπόψη τους τις διαταραχές αυτές. Με βάση την εξίσωση 38 υπολογίστηκαν τα μήκη κύματος στα βαθιά νερά L_0 (χρησιμοποιώντας όπου T το T_s) και μετέπειτα με την χρήση του εμπειρικού διαγράμματος 58 υπολογίστηκαν τα αντίστοιχα μήκη κύματος σε βάθος 15 μέτρων στο σημείο του υπάρχοντος κυματοθραύστη. Έγινε επίσης χρήση της εξίσωσης 40 για υπολογισμό των συντελεστών n που είναι απαραίτητοι για εύρεση του συντελεστή ρήγωσης (Εξίσωση 39). Κατόπιν χρησιμοποιώντας την εξίσωση 41 υπολογίστηκε και ο συντελεστής διάθλασης έτσι ώστε να υπολογιστούν τα τελικά H_s που θα ισχύουν στο σημείο του μόλου. Όλες αυτές οι μετρήσεις διακρίνονται πιο κάτω:

Πίνακας 6: Υπολογισμός Hs με φαινόμενα ρήξης και διάθλασης μέσω χρήσης εφαρμογής Excel

	Feff(km)	Hs(m)	Tp(s)	Ts(s)	Lo(Βαθεία νερά)	L(για d=15m)	n1	n2	ks	kr	Hs(στο μώλο)
Νότια	339.8829	1.915731	7.80076	7.41073	85.788856	75	0.74820656	0.70787476	1.09956	0.98416	2.073081967
Νοτιοανατολικά	257.5237	1.667548	7.11817	6.76226	71.432009	53.5714286	0.6929686	0.60503205	1.2358	0.9256	1.907432939
Νοτιοδυτικά	323.1058	1.867851	7.67154	7.28796	82.970002	82.97	0.73981233	0.73981233	1	1.26144	2.356189881

7.2.3 Υπολογισμός για ύψη κύματος σε βάθος 3 μέτρων

Ακολούθως επιλέχθηκε ένα τυχαίο σημείο στο νοτιοανατολικό μέτωπο της περιοχής μελέτης του Βασιλικού ως προς το οποίο υπολογίστηκαν τα νέα ύψη κύματος εξαιτίας του φαινομένου και της περίθλασης ως προς τα νότια, νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά. Το σημείο αυτό φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Διάγραμμα 62: Επιλογή σημείου μελέτης

Επειδή πλέον το βάθος στο νέο σημείο μελέτης είναι 3m αντί 15m που ήταν αρχικά στο μώλο, θα πρέπει να υπολογιστούν τα νέα ύψη κύματος λόγω ρήξης και διάθλασης στο σημείο των 3m. Στη συνέχεια αυτά τα ύψη θα πολλαπλασιαστούν με τον κατάλληλο συντελεστή περίθλασης έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά ύψη στο σημείο μελέτης.

Τα ύψη κύματος σε βάθος 3m λόγω ρήγωσης και διάθλασης είναι τα ακόλουθα:

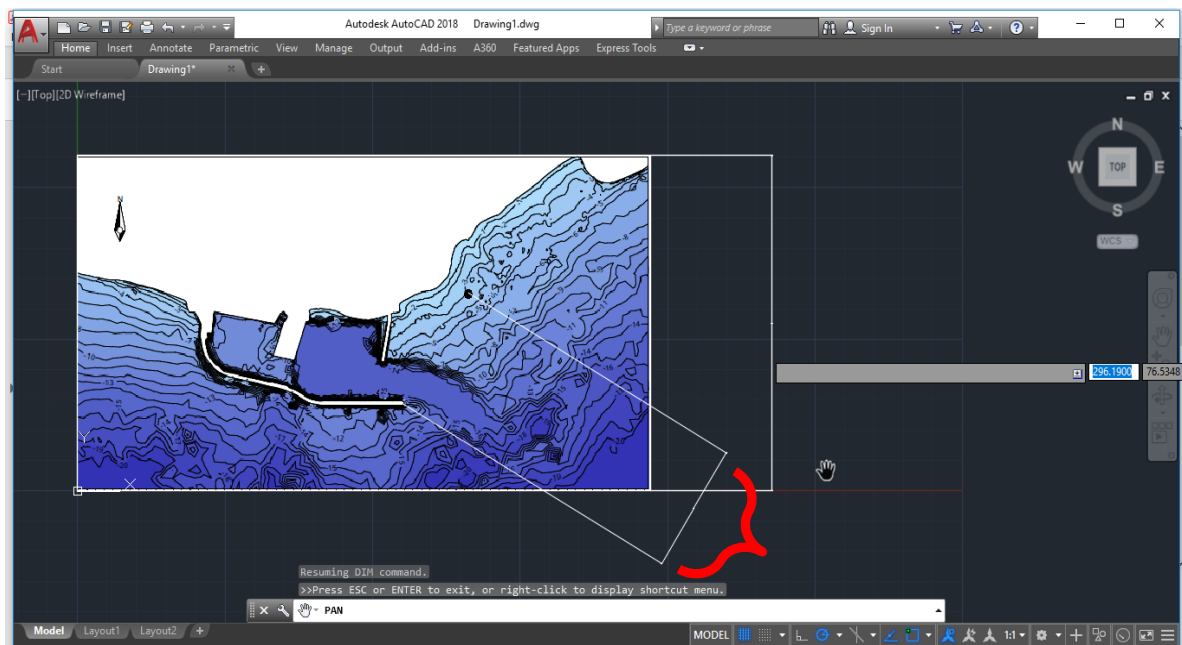
Πίνακας 7: Ύψη κύματος σε βάθος 3m λόγω ρήγωσης και διάθλασης

	Feff(km)	Hs(m)	Tp(s)	Ts(s)	Lo(Βαθεία νερά)	L(για d=3m)	n1	n2	ks	kr	Hs(σε σημείο 3m)
Νότια	339.8829	1.915731	7.80076	7.41073	85.788856	39.64	0.98427857	0.931949	1.51186	0.86512	2.505657305
Νοτιοανατολικά	257.5237	1.667548	7.11817	6.76226	71.432009	37.5	0.97754371	0.924819	1.41896	0.8728	2.065198561
Νοτιοδυτικά	323.1058	1.867851	7.67154	7.28796	82.970002	41.6	0.98321781	0.937654	1.44616	0.86976	2.34941861

Όμως θα υπολογιστούν τα τελικά ύψη κύματος σε βάθος 3m, που θα διαμορφωθούν με τον συντελεστή περίθλασης.

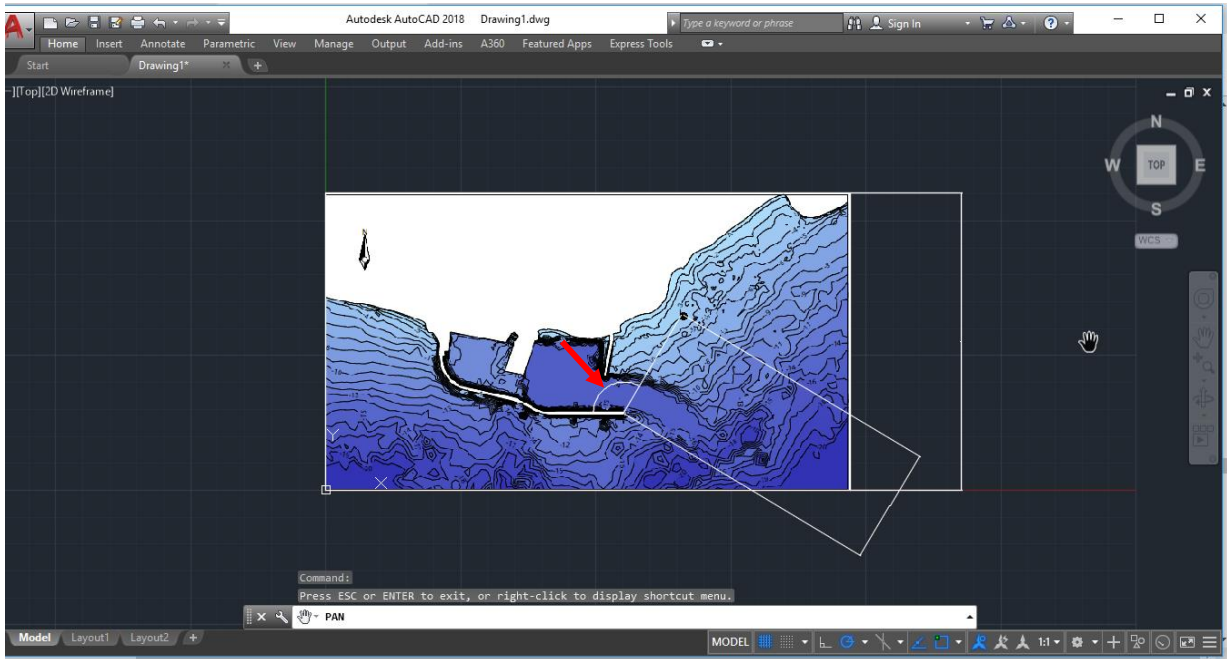
Για υπολογισμό του συντελεστή περίθλασης θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση 44, $k_D = k_D(\theta, \beta, \frac{r}{L})$. Θα πρέπει να υπολογιστούν τα στοιχεία που είναι συναρτήσει του συντελεστή περίθλασης.

Για υπολογισμό του r δηλαδή της απόστασης από την άκρη της κατασκευής έως το σημείο μελέτης είναι απαραίτητη η χρήση της εφαρμογής AutoCAD.



Διάγραμμα 63: Μέτρηση απόστασης r

Μετά από τις ανάλογες μετατροπές μονάδων μέτρησης λόγω κλίμακας η απόσταση r υπολογίστηκε 735,7329 m υπό πραγματικές συνθήκες. Επιπλέον μέσω του AutoCAD εκτιμήθηκε και η γωνιά β που σχηματίζεται μεταξύ της κατασκευής και της απόστασης r . Η τιμή που προέκυψε για την γωνιά β είναι 120° .



Διάγραμμα 64: Ένδειξη γωνιάς $\beta=120^\circ$

Ακολούθησε η δημιουργία πίνακα στην Excel που περιλάμβανε όλα τα αναγκαία στοιχεία για την περίθλαση (και με την βοήθεια χρήσης του πίνακα Wiegel) αλλά και τα τελικά ύψη κύματος σε βάθος 3m.

Πίνακας 8: Τελικά ύψη κύματος σε βάθος 3m λαμβάνοντας υπόψη ρήγωση, διάθλαση και περίθλαση

	r/L	$\theta(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	K_d	Ητελικό(m)
Νότια	9.8	38.1833954	120	1.01	2.530713878
Νοτιοανατολικά	13.73368	32.026	120	1	2.065198561
Νοτιοδυτικά	8.867457	44.9999986	120	1.01	2.372912797

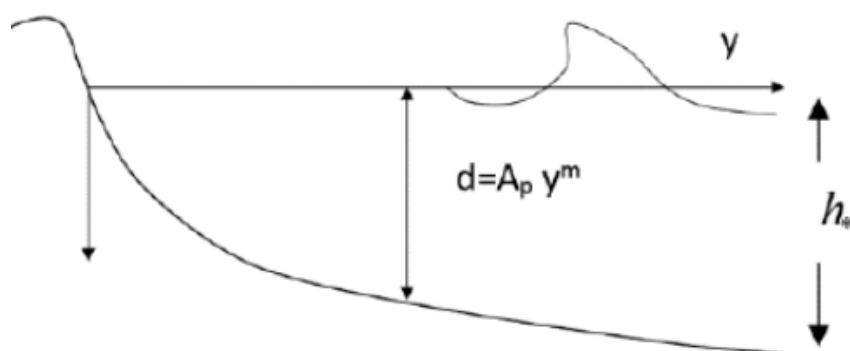
7.2.4 Μορφολογική μεταβολή εγκάρσιου προφίλ-Κρίσιμο βάθος

Αφού πλέον έχουν υπολογιστεί όλα τα αναγκαία και απαραίτητα στοιχεία που χρειάζονται, θα χρησιμοποιηθούν κάποιες βασικές σχέσεις σχετικά με το φαινόμενο της παράκτιας διάβρωσης. Όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 3.5.1, η μία βασική συνιστώσα για να διαμορφωθεί το προφίλ ισορροπίας στις ακτές, είναι η εγκάρσια μεταφορά φερτών υλών σε αυτές. Ο υπολογισμός των εξισώσεων 21 και 22 θα δώσει την μορφολογική μεταβολή του εγκάρσιου προφίλ $d(y)$ και το κρίσιμο βάθος h^* αντίστοιχα.

Πίνακας 9: Αποτελέσματα για $d(y)$ και h^*

$Wf=0.024\text{m/s}$ (ταχύτητα καθίζησης)	A_p	Θέτω y (m)-απόσταση από την ακτογραμμή	$d(y)$	h^* (m)-Κρίσιμο βάθος
Νότια	0.0968	2	0.1536	4.95
Νοτιοανατολικά	0.0968	1.5	0.1268	4.05
Νοτιοδυτικά	0.0968	1	0.0968	4.669

Μία τυπική διατομή των μεγεθών αυτών φαίνεται στο πιο κάτω τυπικό διάγραμμα:



Διάγραμμα 65: Τυπική διατομή απεικόνισης των μεγεθών $d(y)$ και h^* (Καραμπάς Θ.,2015)

7.2.5 Εκτίμηση για ένδειξη διάβρωσης ακτών

Δύο άλλες σημαντικές σχέσεις που συντελούν στην εκτίμηση των συνθηκών διάβρωσης είναι οι εξισώσεις 23 και 24 του Dean και των Sunamura-Horikawa αντίστοιχα. Με αυτές τις εξισώσεις εκτιμάται κατά πόσο θα προκληθεί διάβρωση ή πρόσχωση της ακτής. Για επίλυση τους είναι απαραίτητες οι μετρήσεις για ύψη και περιόδους κυματισμών που έχουν ήδη υπολογιστεί με τα φαινόμενα ρήγωση, διάθλασης και περίθλασης. Η διάμετρος των κόκκων d_{50} λαμβάνεται ίση με 0.2mm. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

Πίνακας 10: Αποτελέσματα για εκτίμηση διάβρωσης

	Σχέση Dean-Fo	Σχέση Sunamura-Horikawa-Go
Νότια	15.9	35.1
Νοτιοανατολικά	12.725	28.6
Νοτιοδυτικά	13.566	35.5

Ένδειξη διάβρωσης παρατηρείται σε περίπτωση που η τιμή Fo είναι μεγαλύτερη από την μονάδα, ενώ αν ήταν μικρότερη από την μονάδα θα παρατηρητών πρόσχωση. Στην προκειμένη περίπτωση παρατηρείται ξεκάθαρα διάβρωση από τα αποτελέσματα των τιμών και για τις τρεις διευθύνσεις στο νοτιοανατολικό μέτωπο της περιοχής μελέτης.

Σχετικά με την τιμή Go ισχύει ότι εάν λάβει τιμή μεγαλύτερη από 18 τότε παρατηρείται διάβρωση ενώ εάν λάβει τιμή μικρότερη από 9, θα παρατηρηθεί εναπόθεση του υλικού. Σε αυτή την περίπτωση όλα τα αποτελέσματα παίρνουν τιμές μεγαλύτερες από 18, επομένως και πάλι οι ενδείξεις οδηγούν σε διάβρωση της ακτής στο νοτιοανατολικό μέτωπο.

7.2.6 Εκτίμηση πλάτους διάβρωσης ακτογραμμής

Κάποιοι άλλοι βασικοί υπολογισμοί που αφορούν την διάβρωση των ακτών σχετίζονται με την εκτίμηση του πλάτους στο οποίο θα διαβρωθεί η ακτή (dys). Η εξίσωση 25 εκτιμά την υποχώρηση της ακτογραμμής σε συνθήκες που δεν παρατηρείται ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας. Τα πλάτη αυτά υπολογίστηκαν και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 11: Εκτίμηση της υποχώρησης των ακτογραμμών χωρίς ανύψωση της στάθμης της θάλασσας

Χωρίς ανύψωση στάθμης θάλασσας	ξ-Irribaren	dys(m)
Νότια	4.57	7.62
Νοτιοανατολικά	3.678	7.83
Νοτιοδυτικά	5.9	5.726

Σε περίπτωση όμως που τα κύματα δρουν σε ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας χρησιμοποιείται η εξίσωση 26 για υπολογισμό του μεγέθους dys. Η συγκεκριμένη εξίσωση απαιτεί χρήση των υψών θραυόμενων κυματισμών για αυτό αρχικά έγινε ο υπολογισμός τους με την χρήση των διαγραμμάτων Goda. Οι τιμές που προέκυψαν από τα διαγράμματα αυτά για τα ύψη θραύσης φαίνονται στον πίνακα 12 ενώ οι τιμές για τα πλάτη όπου θα διαβρωθεί η ακτογραμμή στο πίνακα 13.

Πίνακας 12: Ύψη και βάθη θραυόμενων κυματισμών

	Hb(m)-ύψος θραύσης	db(m)-βάθος θραύσης
Νότια	2.9356	3.434652
Νοτιοανατολικά	2.3956	2.826808
Νοτιοδυτικά	2.7288	3.247272

Πίνακας 13: Εκτίμηση της υποχώρησης των ακτογραμμών με ανύψωση στάθμης θάλασσας

Με ανύψωση στάθμης θάλασσας	Wb	ds	dys(mm)
Νότια	0.049	0.73	9.18
Νοτιοανατολικά	0.04	0.599	7.48
Νοτιοδυτικά	0.046	0.679	8.47

7.2.7 Εκτίμηση νέας ακτογραμμής λόγω τοποθέτησης βραχίονα σε μελλοντικό στάδιο

Σε μελλοντικό στάδιο εκτιμήθηκε, πως στο νοτιοανατολικό μέτωπο της περιοχής μελέτης θα τοποθετηθεί εγκάρσιος βραχίονας μήκους 200m. Για αυτό τον λόγο έγιναν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για εύρεση της απόστασης της νέας ακτογραμμής από την αρχική, διότι αναμφισβήτητα θα υπάρχει αλληλεπίδραση της ακτής με τον βραχίονα. Οι εκτιμήσεις αυτές έγιναν με σκοπό να μελετηθεί η εξέλιξη της ακτογραμμής σε πέντε και δέκα χρόνια.

Με βάση την εξίσωση του Pelnard-Consideré (1956), εξίσωση 31, προέκυψαν οι παρακάτω εξελίξεις της ακτογραμμής $y_s(x,t)$ σε αποστάσεις 250m και 500m που θα μας έδιναν τα τελικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά καταγράφηκαν στον πιο κάτω πίνακα.

Σε 5 χρόνια για $x=250m$ και $x=500m$ είναι:

Πίνακας 14: Εξέλιξη της ακτογραμμής σε 5 χρόνια λόγω ύπαρξης βραχίονα

Εξέλιξη της ακτογραμμής σε 5 χρόνια	ϵq	$x/(2*((\epsilon q*t)^{1/2}))$	$2*((\epsilon q*t)^{1/2})*\tan(ab)$	$y_s(250m, 5 \text{ χρόνια})$ σε m
Νότια	0.4	0.015739	72.827	39.95
Νοτιοανατολικά	0.283	0.0187	61.2574	33.42
Νοτιοδυτικά	0.3526	0.01676	68.37	37.43
Εξέλιξη της ακτογραμμής σε 5 χρόνια	ϵq	$x/(2*((\epsilon q*t)^{1/2}))$	$2*((\epsilon q*t)^{1/2})*\tan(ab)$	$y_s(500m, 5 \text{ χρόνια})$ σε m
Νότια	0.4	0.0315	72.827	38.84
Νοτιοανατολικά	0.283	0.0374	61.2574	32.31
Νοτιοδυτικά	0.3526	0.033528	68.37	36.33

Σε 10 χρόνια για $x=250m$ και $x=500m$ είναι:

Πίνακας 15: Εξέλιξη της ακτογραμμής σε 10 χρόνια λόγω ύπαρξης βραχίονα

Εξέλιξη της ακτογραμμής σε 10 χρόνια	ϵq	$x/(2*((\epsilon q*t)^{1/2}))$	$2*((\epsilon q*t)^{1/2})*\tan(ab)$	$y_s(250m, 10 \text{ χρόνια})$ σε m
Νότια	0.4	0.01113	102.99	56.91
Νοτιοανατολικά	0.283	0.01323	86.63	47.73
Νοτιοδυτικά	0.3526	0.011854	96.69	53.41
Εξέλιξη της ακτογραμμής σε 10 χρόνια	ϵq	$x/(2*((\epsilon q*t)^{1/2}))$	$2*((\epsilon q*t)^{1/2})*\tan(ab)$	$y_s(500 m, 10 \text{ χρόνια})$ σε m
Νότια	0.4	0.0222	102.99	55.79
Νοτιοανατολικά	0.283	0.0265	86.63	46.61
Νοτιοδυτικά	0.3526	0.0237	96.69	52.29

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η κάθε ακτή απαρτίζεται ως ένας πολύτιμος φυσικός πόρος, ως ένα αυτεξούσιο δυναμικό περιβάλλον το οποίο λειτουργεί εύρυθμα και μοναδικά. Ανέκαθεν, οι ακτές αποτελούν δυναμικά αυτόνομα συστήματα, τα οποία απαιτείται να βρίσκονται σε ισορροπία. Μέσω της ανθρώπινης παρέμβασης, η ισορροπία αυτή δυστυχώς διαταράσσεται προκαλώντας μεταβολές στο θαλάσσιο περιβάλλον με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αποφευχθεί η αντιμετώπιση των ποικίλων προβλημάτων. Ένα από τα σημαντικότερα αυτά προβλήματα αποτελεί και η παράκτια διάβρωση.

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν αρκετά έργα και μέθοδοι προστασίας των ακτών από την διάβρωση. Όμως τα έργα αυτά λειτουργούν ευνοϊκά έως ένα βαθμό, διότι το πρόβλημα της διάβρωσης έστω και σε μικρή κλίμακα αναπόφευκτα παραμένει. Αυτό συμβαίνει διότι η διάβρωση δεν παύει να είναι ένα φυσικό φαινόμενο. Παρόλα αυτά θα πρέπει να εξασφαλίζεται η προστασία των ακτών και να αντιμετωπίζονται τυχόν προβλήματα στο βέλτιστο βαθμό που επιτρέπεται χωρίς να επιφέρουν περαιτέρω αρνητικά αποτελέσματα.

Στην προκειμένη περίπτωση, η εκτίμηση που έγινε στο Λιμάνι Βασιλικού έχει φέρει σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα για την διάβρωση που θα παρατηρηθεί σε νοτιοανατολικό μέτωπο της περιοχή μελέτης. Αναμενόμενες ήταν και οι ενδείξεις που προέκυψαν στους υπολογισμούς των αποστάσεων των νέων ακτογραμμών σε 5 και 10 χρόνια λόγω της μελλοντικής τοποθέτησης του εγκάρσιου βραχίονα μήκους 200m, αφού παρατηρείται πως η ύπαρξη του βραχίονα θα βοηθήσει στην επέκταση της ακτογραμμής με το πέρασμα των χρόνων και όχι στην διαγραφή της.

Γενικά, βασικό συμπέρασμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας, ήταν η ορθή αντίληψη και κατανόηση της προέλευσης του φαινομένου της παράκτιας διάβρωσης, οι λόγοι οι οποίοι οδηγούν σε αυτήν, τα έργα προστασίας της, καθώς επίσης και η εφαρμογή των εμπειρικών σχέσεων που θα βοηθούσαν στις εκτιμήσεις των απαραίτητων υπολογισμών της περιοχής μελέτης στο λιμάνι Βασιλικού. Προϋπόθεση αυτού ήταν να ληφθούν υπόψη τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούνται στο θαλάσσιο περιβάλλον για να μπορέσουν να γίνουν σωστές τελικές εκτιμήσεις διάβρωσης. Έπειτα, στόχος ήταν και η άμεση επαφή και γνωριμία με το αξιόπιστο λογισμικό MikeZero, το οποίο δίδει αποδοτικά αποτελέσματα για θέματα μοντελοποίησης θαλάσσιου περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Καραμπάς Θ., Κρεστένιτης Γ., Κουτίτας Χ., (2015), *Ακτομηχανική-Εργα προστασίας ακτών*, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ-Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Available at: <file:///C:/Users/User/Downloads/%C2%AB%CE%91%CE%BA%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%20%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B1%20%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82%20%CE%B1%CE%BA%CF%84%CF%8E%CE%BD%20%BB%20-%20eBooks4Greeks.gr.pdf> [Accessed 01 May 2018]
- Ελεγκτική υπηρεσία της Δημοκρατίας, (2014), *Διαχείριση παραλιών της Κύπρου*, [online], Available at: [http://www.audit.gov.cy/audit/audit.nsf/B5218099EADB0E4CC2258394002B62FB/\\$file/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7%20%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CF%8E%CE%BD%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%9A%CF%8D%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%85.pdf](http://www.audit.gov.cy/audit/audit.nsf/B5218099EADB0E4CC2258394002B62FB/$file/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7%20%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CF%8E%CE%BD%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%9A%CF%8D%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%85.pdf) [Accessed 21 Sept. 2018]
- Moa.gov.cy. (2011). *ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ - Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών*. [online] Available at: http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/page11_gr/page11_gr?OpenDocument [Accessed 6 Jan. 2019].

(Moa.gov.cy, 2011)
- Stanners D., Bourdeau P., (2019). *ΠΑΡΑΚΤΕΙΕΣ ΑΠΕΙΛΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ*. [online] Available at: <http://www.clab.edc.uoc.gr/arca/gr/coast.htm> [Accessed 1 Feb. 2019].

(Stanners D., Bourdeau P., 2019)
- Αντζουλάτου Α. (2015). *ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΚΤΩΝ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ ΤΗΣ ΑΧΑΪΑΣ*., Available at: [file:///C:/Users/User/Downloads/Antzoulatau\(geo\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Antzoulatau(geo).pdf), Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών [Accessed 22 Jan.2019]

- Σπετσιώτης Δ. (2003). *ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΚΤΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΛΙΜΕΝΑΡΙΩΝ ΘΑΣΟΥ.*, Available at: <http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/13318/P0013318.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας [Accessed 5 Dec.2018]
- Ζαλαχώρα Ε., Kievit J.J. (2007). *ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΓΩΣΩΛΗΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΜΜΩΛΟΥΣ ΠΑΡΑΛΙΑΣ ΣΤΟ ΛΑΓΟΝΗΣΙ ΑΤΤΙΚΗΣ*, Available at: http://library.tee.gr/digital/m2185/m2185_zalahori.pdf?fbclid=IwAR0OLg07KUmLOCL_yWNDwmBQ2fiTAECPlf47IKbOSRuSKJRxnCRmKr4r6b4 [Accessed 25 Oct. 2018]
- Συλαίος Γ. (n.d.) *Τεχνικές Περιβαλλοντικής Διαχείρισης και Οικονομικής Αποτίμησης Ι*, Available at: https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMC346/8_%CE%A0%CF%81%CF%89%CF%84%CF%8C%CE%BA%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%BF%20ICZM%20%26%20CE%91%CE%B9%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CF%8C%CF%82.pdf [Accessed 1 Apr. 2018]
- Philenews. (2017). *Η διάβρωση «έφαγε» τις ακτές*. [online] Available at: <http://www.philenews.com/eidiseis/topika/article/412161/i-diabrosi-efag-tis-aktes> [Accessed 20 Feb. 2019]
- Κουτσοβέλα Δ. (2010). *Περιβάλλον για όλους: Η Διάβρωση των Ακτών και η κατάσταση στην Κύπρο*. [online] Available at: <https://www.kanali6.com.cy/blog-posts/16206-perivallon-gia-oloy-s-i-diavrosi-ton-akton-kai-i-katastasi-stin-kypro> [Accessed 1 Dec. 2018].
- Λοϊζίδου Ξ., (2008). *Διάβρωση ακτών στην Κύπρο* [online] Available at: <http://www.monumenta.org/article.php?IssueID=3&ArticleID=219&CategoryID=3&lang=gr> [Accessed 03 Nov. 2018].
- Κωστακόπουλος Γ. (2017). *SOS από τις παραλίες της Λεμεσού*. [online] Available at: <http://www.reporter.com.cy/local-news/article/194542/> [Accessed 23 Feb. 2019].
- Χριστοδούλου Ν. (2018). *Έργα ανακοπής της διάβρωσης στην Πάφο*. [online] Available at: <http://www.philenews.com/eidiseis/topika/article/518927/erg-anakopis-tis-diabrosis-stin-pafo> [Accessed 10 Sep. 2018].
- Ant1.com.cy. (2015). *Διάβρωση παραλίας στα Περβόλια από την κακοκαιρία*. [online] Available at: <https://www.ant1.com.cy/news/cyprus/article/196929/diavrosi-paralias-sta-pervolia-apo-tin-kakokairia-/?expandedarticle=true> [Accessed 15 Jan. 2019].

- Δούκας Κ. (2013). *Διαβρώνονται οι παραλίες Ορόκλινης και Περβολιών – 24h.com.cy*. [online] 24h.com.cy. Available at: <https://24h.com.cy/2013/11/diavrwnontai-oi-paralies-oroklinhs/> [Accessed 4 Oct. 2018].
- Δούκας Κ. (2013). *Το 40% των ακτών της Κύπρου έχει διαβρωθεί – 24h.com.cy*. [online] 24h.com.cy. Available at: <https://24h.com.cy/2013/10/to-40-twn-aktwn-ths-kyprou-exei-diavrwthei/> [Accessed 01 Feb. 2019].
- Sigmalive/ΚΥΠΕ (2013). *Σοβαρό πρόβλημα διάβρωσης στις παραλίες Ορόκλινης - Περβολιών | News*. [online] Sigmalive.com. Available at: <http://www.sigmalive.com/news/local/77669/sovaro-provlima-diavroshis-stis-paralies-oroklinis-pervolion> [Accessed 9 Feb. 2019].
- phileleftheros. (2014). *Διάβρωση υπέστη το 40% των ακτών της Κύπρου*. [online] Available at: <http://archive.philenews.com/el-gr/top-stories/885/178717/diavroshi-ypesti-to-40-ton-akton-tis-kyprou> [Accessed 03 Feb. 2019].
- MIKE Powered by DHI. (2016). *MIKE 21*. [online] Available at: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21> [Accessed 10 March. 2019].
- DHI (2019). *MIKE 21 Documentation*. [online] Mikepoweredbydhi.help. Available at: http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2019/MIKE_21.htm [Accessed 23 Apr. 2019].

