



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και
Τεχνολογίας

Πτυχιακή εργασία

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΗΝ
ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΗΣ ΟΡΟΚΛΙΝΗΣ**

Ραφαέλα Ζαχαρίου

Λεμεσός, Μάιος 2019

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πτυχιακή εργασία

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ
ΖΩΝΗ ΤΗΣ ΟΡΟΚΛΙΝΗΣ

της

Ραφαέλας Ζαχαρίου

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Κωνσταντίνος Μιχαηλίδης

Λεμεσός, Μάιος 2019

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ραφαέλα Ζαχαρίου,2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Κωνσταντίνο Μιχαηλίδη για την παροχή βοήθειας για την συγγραφή της πτυχιακής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην σύγχρονη εποχή, παρατηρούνται στις παράκτιες περιοχές να ασκούνται αυξανόμενες πιέσεις, ιδίως στους φυσικούς οικότοπους, στους φυσικούς πόρους καθώς και μέσω της αυξανόμενης ζήτησης λόγω του κατασκευαστικού τομέα. Επίσης, η ανάπτυξη σε περιοχή των παράκτιων περιοχών έχει άμεσες συνέπειες στην παραγωγικότητα και έχει ως αποτέλεσμα στην μείωση της βιοποικιλότητας στα οικοσυστήματα.

Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου επιφέρει αλλαγές στο παράκτιο περιβάλλον με επιπτώσεις όπως είναι οι ξηρασίες, πλημμύρες, διάβρωση των ακτών, θερμοκρασία των υδατορρευμάτων και αλατότητα σε συνδυασμό με την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας.

Επίσης, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την λειτουργία των παράκτιων τεχνικών έργων τα όποια χρήζουν πλέον αναβάθμιση ώστε να μειώσουν το πρόβλημα αυτών της διάβρωσης της ακτογραμμής.

Η μοντελοποίηση της ακτογραμμής, διερευνά τα ζητήματα της όπως η ισορροπία της ακτογραμμής, εκτιμάται η διάβρωση ή η πρόσχωση των ακτών, το ισοζύγιο ιζημάτων κλπ. Η ζήτηση και η προσφορά των ιζημάτων διαμορφώνει την παράκτια εξέλιξη σε ιζηματογενή περιβάλλοντα. Η ζήτηση των ιζημάτων της ακτής προσδιορίζεται από το ποσοστό της σχετικής απόδοσης της στάθμης της θάλασσας και από τη μορφολογία της παράκτιας ζώνης.

Τέλος, με την παρούσα εργασία διερευνάται η εκτίμηση της διάβρωσης της ακτογραμμής της Ορόκλινης με τα κατάλληλα μοντέλα προσδιορισμού της στερεομεταφοράς όταν θα γίνουν ανθρώπινες παρεμβάσεις δηλαδή κυρίως με την κατασκευή των παράκτιων τεχνικών έργων.

Λέξεις κλειδιά: ακτογραμμή, διάβρωση, κλιματική αλλαγή, ισοζύγιο ιζημάτων, ανθρώπινες δραστηριότητες.

ABSTRACT

In modern times, coastal areas are experiencing increasing pressures, particularly on natural habitats, on natural resources, and on rising demand for the construction sector. Also, coastal zone development has direct effects on productivity and has the effect of reducing biodiversity in ecosystems.

Furthermore, climate change due to the greenhouse effect brings about changes in the coastal environment with impacts such as droughts, floods, coastal corrosion, water temperature and salinity combined with elevation of sea level.

Climate change also affects the operation of offshore engineering projects, which they need further upgrading to reduce the problem of coastal pollution.

The coastal modeling explores issues such as coastline equilibrium, coastal corrosion or alluvium, sediment balance, etc. are estimated.

The Demand and supply of sediment shapes coastal development in sedimentary environments. The demand for coastal sediments is determined by the relative increase in sea level and the morphology of the coastal zone.

Finally, in this senior thesis is being investigated the estimation of the corrosion of the coastline of Oroklini with the appropriate models of determination of the stand transport when it will be human interventions, mainly the construction of coastal technical works.

Keywords: coastline, corrosion, climate change, equilibrium of sediments, human activities.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	xii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Παράκτια ζώνη.....	2
1.1.1 Σωστή Βιώσιμη Ανάπτυξη στην παράκτια ζώνη.....	4
1.1.2 Κατηγοριοποίηση των αλλαγών της ζώνης ακτογραμμής.....	5
1.1.3 Παράκτια διάβρωση	6
1.1.3.1 Φυσική περιγραφή των μηχανισμών μεταφοράς των φερτών υλών	9
2 Εγκάρσια στερεομεταφορά.....	12
2.1 Μεταφορά φερτών υλών παράλληλα στην ακτή	13
2.2.Παράκτια μεταβολή.....	14
2.3 Ισοζύγιο φερτών υλών και διάβρωση.....	15
3 Εποχιακές μεταβολές παράκτιας ζώνης	19
3.1 Χειμερινό προφίλ	19
3.2 Θερινό προφίλ	20
3.3 Γεωτεκτονικές διεργασίες	21
3.4 Κλιματικές αλλαγές	22
4 Έργα προστασίας ακτών	24
4.1 Εγκάρσια έργα -Μώλοι	24
4.2 Βραχίονες	25
5 Κυματοθραύστες	27

5.1 Έξαλοι κυματοθραύστες	27
5.2 Βυθισμένοι κυματοθραύστες	28
5.3 Βυθισμένοι πρόβολοι	29
5.4 Υφαλοί κυματοθραύστες	29
5.5 Σφαιρικοί κυματοθραύστες	34
5.6 Πλωτοί κυματοθραύστες	35
5.7 Παράκτιοι τοίχοι αντιστήριξης.....	38
6 Γραμμική Θεωρία Κυματισμών.....	39
6.1 Διαμόρφωση των κυματισμών στο παράκτιο χώρο.....	41
6.1.1 Ανάκλαση των κυματισμών.....	42
6.1.2 Φαινόμενα διάθλασης	42
6.1.3 Περίθλαση	42
6.1.4 Θραύση	43
7 Μεθοδολογία Έρευνας.....	46
7.1 Μαθηματικό Μοντέλο επίλυσης του Προγράμματος με την βοήθεια του MIKE ZERO	47
7.1.1 Βασικές εξισώσεις του μοντέλου 2DH Boussinesq Wave Module	49
7.1.1 2DH Boussinesq Wave Module.....	52
7.1.2 Βασικές εξισώσεις του μοντέλου 1DH Boussinesq Wave Module.....	53
7.2 Επεξήγηση της διαδικασίας	53
8 Εφαρμογές -Αποτελέσματα	63
9 Συμπεράσματα	76
Βιβλιογραφία	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σύγκριση των επιπτώσεων βάσει των ανθρωπίνων δράσεων στην παράκτια ζώνη.(Κρεστενίτης,2011).....3-4

Πίνακας 2 :Ταξινόμηση των τύπων διάβρωσης βάσει με τις τροποποιήσεις της ακτογραμμής (Galvano and Leatherman,2005).....6

Πίνακας 3:Συντεταγμένες και βαθυμετρία της παραλίας << Ορόκλινης>> 57-60

Πίνακας 4: Υπολογισμός του μήκους αναπτύγματος του νότιου άνεμου.....63-64

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1,2: Εμφάνιση του φαινομένου της διάβρωση στην περιοχή κόλπου Πόλης Χρυσοχούς	7-8
Διάγραμμα 3: Η ακτογραμμή της περιοχής Ορόκλινης.....	8
Διάγραμμα 4:Οι δυνάμεις στο πυθμένα της θάλασσας.(Καραμπάς,2002).....	10
Διάγραμμα 5: Φορτίο σε αιώρηση λόγω της τύρβης. (Καραμπάς,2002).....	10
Διάγραμμα 6:Επιρροή της ασυμμετρίας του επερχόμενου κυματισμού (Καραμπάς,2002).....	11
Διάγραμμα 7: Μεταφορά των φερτών υλών από δευτερογενές κύμα(Καραμπάς,2002)	11
Διάγραμμα 8: Σύγκριση του αρχικού - τελικού προφίλ της ακτογραμμής.(Καραμπάς,2002).....	13
Διάγραμμα 9: Η παράκτια εξέλιξη ρυθμίζεται από την ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης των ιζημάτων (Nichols,1998).....	15
Διάγραμμα 10: Εναπόθεση των ιζημάτων στο σύστημα της ακτής.(Κουτίτας,1998)..	17
Διάγραμμα 11 :Κατασκευή θαλάσσιου τοίχου και η επίδραση στην ακτή. (Καραμπάς,2002).....	17
Διάγραμμα 12:Οπισθοχώρηση της ακτογραμμής κατόπιν της αύξησης της στάθμης της θάλασσας.(Καραμπάς,2002).....	18
Διάγραμμα 13: Το χειμερινό προφίλ της ακτής.....	19
Διάγραμμα 14 :Θερινό προφίλ της ακτής.....	20
Διάγραμμα 15: Σύγκριση χειμερινού με θερινού προφίλ της παραλίας.....	21
Διάγραμμα 16 :Κλιματική μεταβολή και παράκτιο σύστημα-Σχηματική περιγραφή των σημαντικότερων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.(Nicholls et al,2007).....	22
Διάγραμμα 17:Υπήνεμος μώλος	24
Διάγραμμα 18 : Προσήνεμος μώλος	24
Διάγραμμα 19: Η τροποποίηση της ακτογραμμής στο κατάντη του εγκαρσίου μώλου (Κουτίτας ,1998).....	26

Διάγραμμα 20 : Διάταξη βραχιόνων και μώλων με εγκάρσια τομή τους (Κουτίτας,1998).....	26
Διάγραμμα 21 :Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργία του έξαλου κυματοθραύστη. (Καραμπάς,2002).....	28
Διάγραμμα 22 : Βυθισμένος κυματοθραύστης.	29
Διάγραμμα 23:Τυπική διατομή ύφαλου κυματοθραύστη και μηχανισμοί απώλειας της κινηματικής ενέργειας.(Καραμπάς,2015).....	30
Διάγραμμα 24: Σύστημα υφάλων κυματοθραυστών.(Καραμπάς,2015).....	31
Διάγραμμα 25: Σχεδιασμός των κυματογενών ρευμάτων και η εξέλιξη της ακτογραμμής.(Καραμπάς,2015).....	32
Διαγράμματα 26-28 : Τοπία που εφαρμόστηκαν οι σφαιρικοί ύφαλοι.....	35
Διάγραμμα 29: Πλωτός κυματοθραύστης.....	37
Διαγράμματα 30,31 : Εφαρμογή πλωτών κυματοθραυστών στο Ν.Μαρμαρά και στη λίμνη Πολυφύτου.....	38
Διάγραμμα 32: Παράκτιος τοίχος αντιστήριξης.	38
Διάγραμμα 33: Καθορισμός των παραμέτρων του συστήματος των γραμμικών κυματισμών. (Κουτίτας,1998).....	39
Διάγραμμα 34: Αναπαράσταση του φαινομένου της ανάκλασης και η στιγμιαίας φάσης της ανύψωσης της. (Καραμπάς,2015).....	41
Διάγραμμα 35:Αλλαγή διεύθυνσης των ορθογώνιων κυματισμών σε παράλληλες ισοβαθείς.(Καραμπάς,2015).....	42
Διαγράμματα 36,37 : Απεικονίσεις των περιθλάσεων των προσπίπτων κυματισμών πίσω από τους κυματοθραύστες. (Λουκογεωργάκη,2019).....	43
Διάγραμμα 38: Θραύση και αναρρίχηση του κυματισμού στην ακτή.(Καραμπάς,2019).....	44
Διάγραμμα 39: Τύποι θραυόμενων κυματισμών. (Κουτίτας,1998).....	45
Διάγραμμα 40 : Το παραλιακό μέτωπο της Υποπεριοχής 2.....	46

Διάγραμμα 41: Η διατομή ενός κύματος θραύσης σε ένα υποτιθέμενο κατακόρυφο προφίλ των οριζόντιων ταχυτήτων των σωματιδίων του κύματος.	51
Διάγραμμα 42: Κλιμακωτό πλέγμα στο δισδιάστατο επίπεδο.....	52
Διάγραμμα 43 : Καθορισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων της περιοχής.....	53
Διάγραμμα 44 : Προσανατολισμός της ακτογραμμής της περιοχής Ορόκλινης.....	53
Διάγραμμα 45 : Συντεταγμένες και βαθυμετρία της παραλίας << Ορόκλινης>>.....	56
Διάγραμμα 46: Συνοπτική διαδικασία για τον προσδιορισμό της Βαθυμετρίας.....	61
Διάγραμμα 47: Καθορισμός των διαστημάτων στους άξονες και των αριθμών σημείων στις δισδιάστατες συντεταγμένες.....	61
Διάγραμμα 48 : Διαμόρφωση της βαθυμετρίας.....	62
Διάγραμμα 49 : Τοποθέτηση των βραχιόνων εγκάρσια στην ακτή της περιοχής μελέτης.....	68

1 Εισαγωγή

Η διαχρονική εξέλιξη της ακτογραμμής μπορεί να παρουσιάσει φαινόμενα διάβρωσης ή προσαύξεσης της ακτογραμμής τα οποία προκαλούνται από ανθρώπινες πιέσεις μέσω του κατασκευαστικού τομέα.

Σύμφωνα με μελέτες του Τμήματος Δημόσιων έργων της Κύπρου κατέγραψαν ότι κατά την περίοδο 1963-2008, οι παραθαλάσσιες ζώνες της Κύπρου υπέστηκαν διάβρωση συνολικής έκτασης 2,2 τετραγωνικών χιλιομέτρων, λόγω των ανθρωπογενών επεμβάσεων και φυσικών φαινομένων.

Τα φυσικά φαινόμενα επιδεινώθηκαν με την κλιματική αλλαγή και κατά συνεπεία με την ανοδο της στάθμης της θάλασσας, οι παράκτιες ζώνες να εκτίθενται στα φαινόμενα διάβρωσης. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή μεταβάλλει την παράκτια γεωμορφολογία και απαιτεί την παρακολούθηση του φαινομένου χρησιμοποιώντας μια σειρά από τεχνικές και αναλυτικές εργασίες.

Επίσης, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την λειτουργία των παράκτιων τεχνικών έργων τα οποία χρήζουν πλέον αναβάθμιση ώστε να μειώσουν το πρόβλημα αυτών της διάβρωσης της ακτογραμμής.

Κατά την δεκαετία του 1980 τα παράκτια έργα που κατασκευάστηκαν από ιδιώτες δεν περιλάμβαναν την περιβαλλοντική διάσταση του συγκεκριμένου προβλήματος.

Στις αρχές του 1990 αποφασίστηκαν από την κυβέρνηση της Κύπρου, μέτρα αντιμετώπισης για την βελτίωση της παράκτιας ζώνης και καθόρισαν το πρόγραμμα << Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών της Κυπρου>> το οποίο ξεκίνησε το 1993 και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Στα πλαίσια του προγράμματος, η ακτογραμμή των ελευθέρων περιοχών χωρίστηκε σε 12 τμήματα όπου σε αυτά τοποθετήθηκαν σταθερά ορόσημα για να λαμβάνονται περιοδικές μετρήσεις με αναφορά των περιλαμβανόμενων χαρακτηριστικών της παραλίας και του βυθού, δείγματος φωτογραφιών κλπ.

Με την χαρτογράφηση των ακτογραμμών και την παρακολούθηση των αλλαγών τους αποκτούν κρίσιμη σημασία για την διαχείριση των παράκτιων πόρων, την προστασία του παράκτιου περιβάλλοντος, τη βιώσιμη ανάπτυξη και τον σχεδιασμό των παράκτιων ζωνών (Li et al., 2002)

Τέλος, με την παρούσα εργασία διερευνάται η εκτίμηση της διάβρωσης της ακτογραμμής της Οροκλίνης με τα καταλληλά μοντέλα προσδιορισμού της στερεομεταφοράς όταν θα γίνουν ανθρώπινες παρεμβάσεις δηλαδή κυρίως με την κατασκευή των παράκτιων τεχνικών έργων.

1.1 Παράκτια ζώνη

Ως παράκτια ζώνη προσδιορίζεται η περιοχή της ξηράς και του θαλάσσιου χώρου, στις οποίες η απομάκρυνση του εδάφους επιδρούν στις θαλασσιές διεργασίες.

Η ζώνη αυτή μεταβάλλεται μετά από χρόνια και συνορεύει την ηπειρωτική, την νησιωτική χώρα και τους ποταμούς.

Η ανθρωπινή δραστηριότητα στην παράκτια ζώνη διαταράσσουν τα φυσικά παράκτια συστήματα όπως είναι η διάβρωση, η απόθεση ιζημάτων κ.α.

Επίσης, στην σύγχρονη εποχή άνθρωποι ζουν κοντά από την ακτογραμμή και το ποσοστό αυξάνεται στις επόμενες χρονιές. Οι παράκτιες ζώνες αντιμετωπίζουν πλέον αυξημένες πιέσεις ιδίως στο βιοτόπους, στα θαλάσσια ύδατα καθώς και μέσω της αυξημένης ζήτησης υποδομών όπως είναι οι λιμένες, εγκαταστάσεις λυμάτων, κτλ (EAA, 2000).

Ο όρος «**Παράκτια Ζώνη**» χρησιμοποιείται ευρύτατα στη διεθνή βιβλιογραφία με βάση την ορολογία που εμφανίστηκε στη νομοθεσία των ΗΠΑ το 1972, για τη διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης (U.S. Congress, 1972), η οποία αναφέρει ότι: *«Παράκτια Ζώνη είναι το χερσαίο και γειτονικό θαλάσσιο τμήμα (υδάτινο και βυθός), στο οποίο οι χερσαίες διεργασίες επηρεάζουν άμεσα τις θαλάσσιες διεργασίες και αντίστροφα. Αποτελεί μια ζώνη μεταβλητού εύρους που συνορεύει (περιβάλλει /περικλείει) την ηπειρωτική, τη νησιωτική χώρα και τις λίμνες. Λειτουργικά ορίζεται σαν η ζώνη μετάβασης από την ξηρά στη θάλασσα, όπου η παραγωγή, η κατανάλωση και οι διεργασίες ανταλλαγής, έχουν τις υψηλότερες τιμές τους. Οικολογικά αποτελεί περιοχή δυναμικών βιοχημικών διεργασιών με ορισμένης δυναμικότητας υποστήριξη διαφόρων μορφών ανθρώπινης ζωής»*

Τέλος, το χερσαίο τμήμα της ακτογραμμής έχει σημαντικό ρόλο στο τουριστικό τομέα και χρειάζεται να γίνεται μείωση κάθε προκαλούμενης ζημίας ή να γίνεται σωστή η χρήση της περιοχής.

Πίνακας 1: Σύγκριση των επιπτώσεων βάση των ανθρωπίνων δράσεων στην παράκτια ζώνη.(Κρεστενίτης,2011)

	Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις	Συνέπειες
Αστικοποίηση Τουρισμός Μεταφορές	<ul style="list-style-type: none"> • Μεταλλαγή χρήσεων γης • Αυξημένη ανοικοδόμηση • Λιμενικά έργα • Παράκτια έργα • Χρησιμοποίηση υδάτων • Διαχείριση αστικών λυμάτων και απόβλητων • Οδικά έργα • Θαλάσσιες μεταφορές 	<ul style="list-style-type: none"> • Μόλυνση νερών • Ευτροφισμός • Οπτική όχληση του περιβάλλοντος • Ηχορύπανση • Διάβρωση • Επίδραση στην βιοποικιλότητα • Διάβρωση • Ηχορύπανση
Αγροτικές Διεργασίες	<ul style="list-style-type: none"> • Καλύτερευση των εδαφών με την χρήση λιπασμάτων • Χρήση φυτοφαρμάκων • Αντληση θαλάσσιου νερού • Ρυθμίσεις ποταμών 	<ul style="list-style-type: none"> • Ρύπανση υδάτων-εδάφους • Ευτροφισμός • Ελάττωση του υδάτινου αποθέματος
Αλιεία- Υδατοκαλλιέργειες	<ul style="list-style-type: none"> • Λιμενικά έργα • Ναυπηγεία • Αλιευτικός εξοπλισμός • Εγκαταστάσεις 	<ul style="list-style-type: none"> • Υπεραλίευση • Ρύπανση • Ευτροφισμός • Μεταβολή της σύστασης της άμμου

Βιομηχανία	<ul style="list-style-type: none"> • Χρήσεις γης • Εξόρυξη φυσικών πόρων • Μεταχείριση των υδάτινων μαζών για ψύξη • Μεταχείριση των υδάτινων κυμάτων για παραγωγή ενέργειας 	<ul style="list-style-type: none"> • Μόλυνση νερών • Ηχορύπανση • Ρύπανση του αέρα • Διάβρωση • Μείωση των φυσικών πόρων • Επίπτωση στη βιοποικιλότητα
-------------------	--	--

Πηγή: Ολοκληρωμένη διαχείριση της Παράκτιας ζώνης-Το φυσικό και το ανθρώπινο σύστημα στην παράκτια ζώνη.

1.1.1.Σωστή βιώσιμη ανάπτυξη στην παράκτια ζώνη

Οι εμπλεκόμενοι φορείς συμμετέχουν για λήψη αποφάσεων μετά από μια διαδικασία προσδιορισμού της βιώσιμης ανάπτυξης με καταγραφή και ανάλυση πληροφοριών, προκειμένου να υπάρξει ένα ουσιαστικό αποτέλεσμα.

Απαιτείται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, με τη συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων φορέων, συνεκτιμώντας πάντα τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της παράκτιας περιοχής, με τα ιδίομορφα γεωμορφολογικά, υδρολογικά, οικονομικά και κοινωνικά φαινόμενα.

Υπάρχει μια διεθνής επιστημονική κοινότητα όπως είναι η Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των Παράκτιων Ζωνών που καταβάλλουν προσπάθειες για θεσμοθέτηση των προϋποθέσεων και των διαδικασιών, με σκοπό την υλοποίηση μιας σωστής διαχείρισης των παραλίων.

Οι στόχοι, οι οποίοι επιδιώκονται να κατορθώνονται μέσα από την κοινότητα, στοχεύουν στη βιώσιμη ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών, είναι:

- 1) Η διατήρηση υψηλής ποιότητας του παραθαλάσσιου περιβάλλοντος.
- 2) Η διαφύλαξη της βιοποικιλότητας.
- 3) Καλύτερευση καίριας σημασίας οικολογικών διαδικασιών.
- 4) Βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων.

- 5) Έλεγχος της ρύπανσης.
- 6) Προστασία από φυσικές καταστροφές.
- 7) Επανόρθωση υποβαθμισμένου περιβάλλοντος.
- 8) Εφαρμογή διαδικασιών ενημέρωσης και συμμετοχής των εμπλεκομένων κοινοτήτων.

1.1.2 Κατηγοριοποίηση των αλλαγών της ακτογραμμής

Η ταξινόμηση των μορφών μεταβολής της ακτογραμμής, βασισμένη σε γεωμορφολογικούς κανόνες, παρέχει ένα καλά καθορισμένο πλαίσιο με τη βοήθεια του οποίου τα δεδομένα μεταβολής της ακτογραμμής μπορούν να ερμηνευθούν με περισσότερη ακρίβεια και μας εφοδιάζει με ένα πρακτικό εργαλείο διαχείρισης (Del Rio et al., 2013).

Σαν "τύπος" μεταβολής της ακτογραμμής καθορίζεται ένα διακριτό μοτίβο μετακίνησης της ακτογραμμής που αναγνωρίζεται από μία ιδιαίτερη αλλαγή στο σχήμα, στον ρυθμό ή στην περιοδικότητα.

Οι τύποι μεταβολής της ακτογραμμής μπορούν να εμφανισθούν ως δισδιάστατες (γραμμικές) ή τρισδιάστατες (κατά μήκος της ακτής) μεταβολές που εξελίσσονται σε διάφορες χρονικές και χωρικές κλίμακες (Galvano and Leatherman, 2005).

Οι τύποι μεταβολής της ακτογραμμής που έχουν εντοπιστεί και έχουν προταθεί για την ταξινόμηση των μεταβολών της ακτογραμμής, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2 :Ταξινόμηση των τύπων διάβρωσης βάσει με τις τροποποιήσεις της ακτογραμμής (Galvano and Leatherman,2005)

Τύπος	Κατάταξη
1	Απλή γραμμική υποχώρηση.
2	Εναλλασσόμενη διάβρωση- πρόσχωση.
3	Διαδοχική διάβρωση κατά μήκος της ακτογραμμής.
4	Επεισοδιακή διάβρωση
5	Διάβρωση όρμων
6	Κυκλική μεταβολή ακτογραμμής
7	Συμπεριφορά μέσο-παλιρροιακού ύφαλου
8	Αντιληπτή περιστροφή νησιού
9	Ελεγχόμενη Προ-οζαινικά διαμόρφωση
10	Παροδική διαδοχική διάβρωση
11	Χαρακτηριστικά ακρωτηρίου
12	Επέκταση αμμολωρίδας

Πηγή: Modes and Patterns of Shoreline Change, in : Schwartz M(Ed.),Encyclopedia of Coastal Science,Encyclopedia of Earth Science Series,Springer Netherlands,pp 651-656

1.1.3 Παράκτια Διάβρωση:

Με την κατασκευή των τεχνικών έργων στη παράκτια ζώνη παρατηρείται η τροποποίηση της έντασης των κυματισμών και με αυτό να προκαλείται εναπόθεση των φερτών υλών ή διάβρωση.

Επίσης, η διάβρωση καθορίζει την μακροχρόνια απώλεια του όγκου της ακτής σε σχέση με κάποια σταθερή ευθεία αναφοράς.

Η διάβρωση χωρίζεται ως σε διάβρωση από φυσικά αίτια όπως είναι οι άνεμοι ,οι τεκτονικές διεργασίες ,η ανύψωση της θάλασσας ή είτε από την παρέμβαση των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας σε σχέση με τις κλίσεις του εδάφους προκαλείται από τις κατασκευές κοντά στην ακτή ή στην θάλασσα. Ακόμη, με τις κατασκευές για απομάκρυνση του φαινομένου της διάβρωσης ή στην ελάττωση των φόρτων υλών που οφείλονται σε ανθρώπινες επεμβάσεις.

Η οπισθοχώρηση της ακτογραμμής (διάβρωση) διακρίνεται κυρίως ως:

Μακροπρόθεσμη διάβρωση σχηματίζεται λόγω με την αύξηση της θαλάσσιας στάθμης όπου προκαλεί μια διαμόρφωση της ακτογραμμής προς την ξηρά.

Βραχυπρόθεσμη διάβρωση αναπτύσσεται κυρίως από ακραία φαινόμενα και έχει ως αποτέλεσμα μιας μεγάλης καταστροφής.

Ακόμη, μπορούν να διαχωριστεί ως οξεία ή ως χρόνια διάβρωσης. Οξεία διάβρωση είναι συνεπεία ενός επεισοδιακού γεγονότος ενώ η χρόνια διάβρωση είναι ένα συνεχές εξελισσόμενο φαινόμενο.





Διάγραμμα 1,2: Εμφάνιση του φαινομένου της διάβρωση στην περιοχή κόλπου Πόλης Χρυσοχούς .



Διάγραμμα 3: Η ακτογραμμή της περιοχής Ορόκλινης.

<https://www.google.com/maps/place/%CE%9F%CF%81%CF%8C%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BD%CE%B7/@34.9526755,33.6543786,1285m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x14de28da64d963ff:0xc823ad927c8a182b!8m2!3d34.9876126!4d33.6567371>

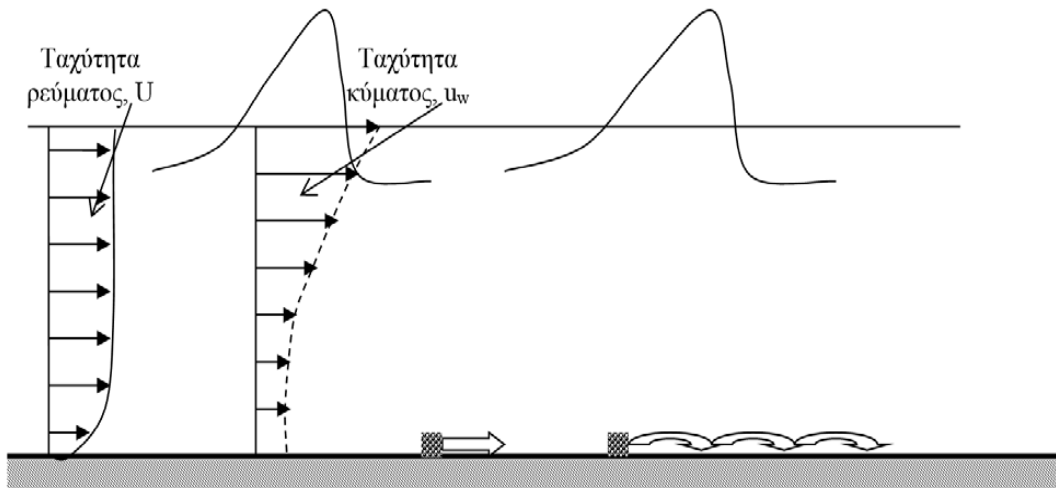
Ο βαθμός διάβρωσης εξαρτάται από τοπικούς παράγοντες όποιοι είναι:

1. Η τοποθεσία της ακτής (ακτή σε κόλπο ή στην ανοιχτή θάλασσα).
2. Η γεωλογία της ακτής.
3. Η μορφολογία της ακτής.
4. Οι κλιματικές και κυματικές συνθήκες (υπολογισμού του μέγιστου ύψους των κυματισμών).
5. Η ένταση των ακραίων καιρικών και κυματικών φαινομένων.
6. Η συσσώρευση των ιζημάτων στην περιοχή.

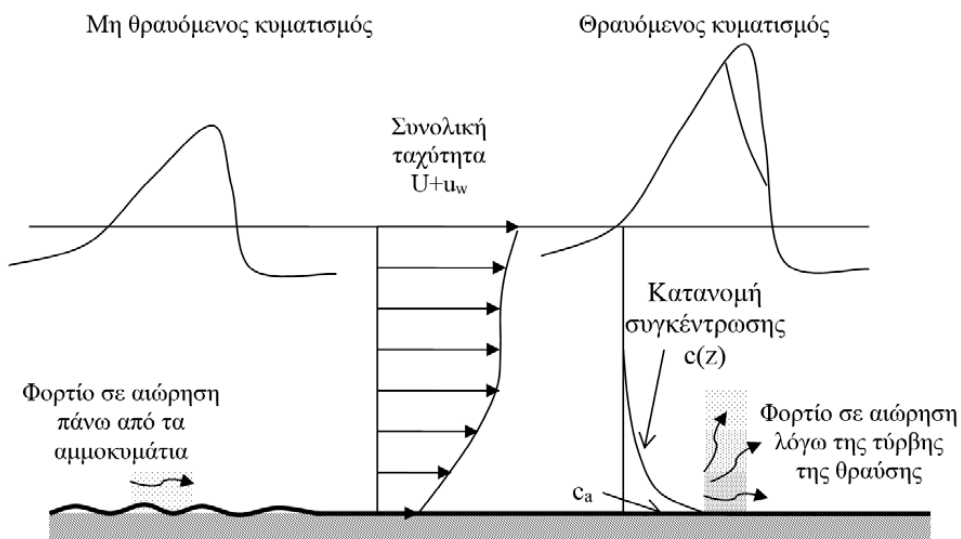
1.1.3.1 Φυσική περιγραφή των μηχανισμών μεταφοράς των φερτών υλών.

- II. Μεταφορά φερτών υλών λόγω των θαλασσιών κυματισμών στην ζώνη θραύσης Η κυματική ενεργεία των θραυόμενων ή μη θραυόμενων κυματισμών μεγιστοποιεί την διατμητική τάση του βυθού (πυθμένα) υποβάλλει σε μετακίνηση τους κόκκους των ιζημάτων. Όταν αποκολληθούν οι κόκκοι μεταξύ τους θα κινούνται προς την διεύθυνση του κύματος. (Διάγραμμα 5)
- III. Μεταφορά λόγω κυματικής ασυμμετρίας βάση της μη γραμμικής δράσης των ρευμάτων η κίνηση των κόκκων είναι ασύμμετρη. Κατά συνέπεια, στην κορυφή του κύματος να παρατηρείται μεγάλη ταχύτητα με κατεύθυνση προς την ακτή ενώ στην κοιλιά που η ταχύτητα είναι μικρότερη ,έχει φόρα προς τα βαθιά νερά και υλοποιείται μικρότερη διάβρωση. (Διάγραμμα 6)
- IV. Μεταφορά λόγω του δευτερογενές κύματος εγκάρσια στην ακτή του τρισδιάστατου κύματος επαναφοράς (undertow) με διεύθυνση προς τα ανοιχτά στο οριακό στρώμα του κυματισμού κοντά στον πυθμένα με κατεύθυνση την διεύθυνση μετάδοσης του κυματισμού.

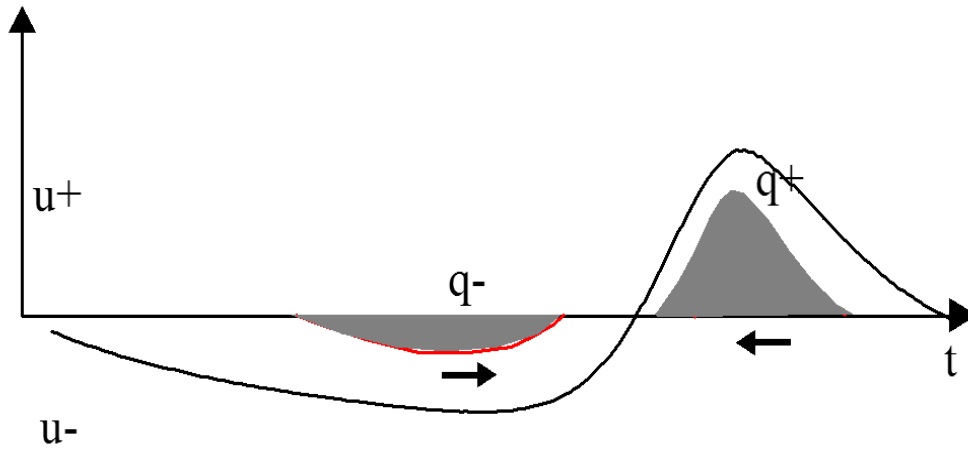
Ο μηχανισμός μεταφοράς είναι ίδιος με την περίπτωση 1 εφόσον τα ρεύματα αυτά συνυπάρχουν με το πρωτογενές κυματογενές ρεύμα (Διάγραμμα 4).(Καράμπας,2002)



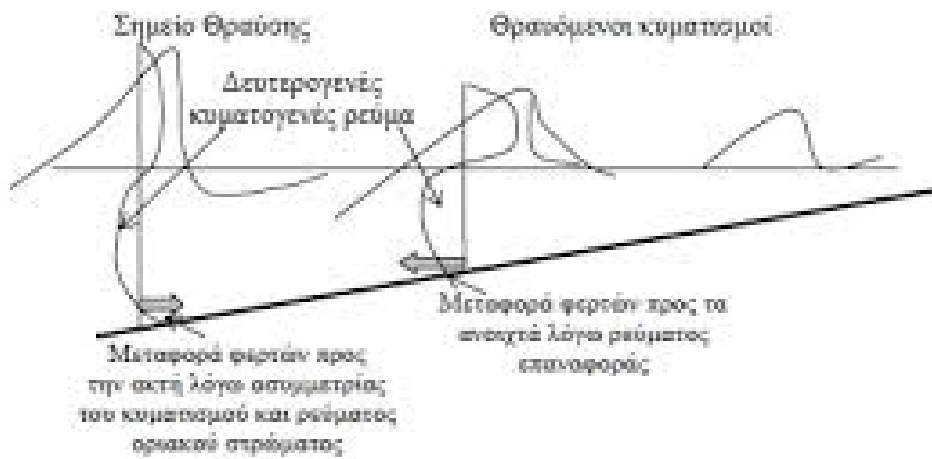
Διάγραμμα 4: Οι δυνάμεις στο πυθμένα της θάλασσας. (Καραμπάς, 2002)



Διάγραμμα 5: Φορτίο σε αιώρηση λόγω της τύρβης. (Καραμπάς, 2002)



Διάγραμμα 6:Επιρροή της ασυμμετρίας του επερχόμενου κυματισμού. (Καραμπάς,2002)



Διάγραμμα 7: Μεταφορά των φερτών υλών από δευτερογενές κύμα(Καραμπάς,2002)

2 Εγκάρσια στερεομεταφορά

Η εγκάρσια στερεομεταφορά ορίζεται η διαδικασία απομάκρυνση του εδάφους της ακτής που οφείλεται σε ανισορροπίες αναμεταξύ του εφοδιασμού και την αφαίρεση υλικού από ένα συγκεκριμένο τμήμα.

Για τον υπολογισμό της διάβρωσης ή της πρόσχωσης σε συνάρτηση των κυματικών συνθηκών και της κοκκομετρίας χρησιμοποιούνται οι δυο σχέσεις οι οποίες είναι:

1) Η εξίσωση Dean:

$$Fo = \frac{Ho}{w_f T}$$

Όταν η τιμή $Fo > 1$ παρατηρείται διάβρωση και για $Fo < 1$ εναπόθεση υλικού.

2) Η εξίσωση Sunamura-Horikawa:

$$Go = \frac{Ho}{Lo} (\tan\theta)^{0,27} \left(\frac{D_{50}}{Lo}\right)^{-0,67}$$

Όταν η μέτρηση είναι για $Go > 18$ συμβαίνει διάβρωση, ενώ για $Go < 9$ συμβαίνει εναπόθεση υλικού στην ακτή.

Σε περίπτωση απλούστερης δράσης των κυματισμών ,χωρίς την σημασία της ανύψωσης της στάθμης, η υποχώρηση της ακτής dy_s μπορεί να υπολογιστεί από σχέση(Hsu,1998):

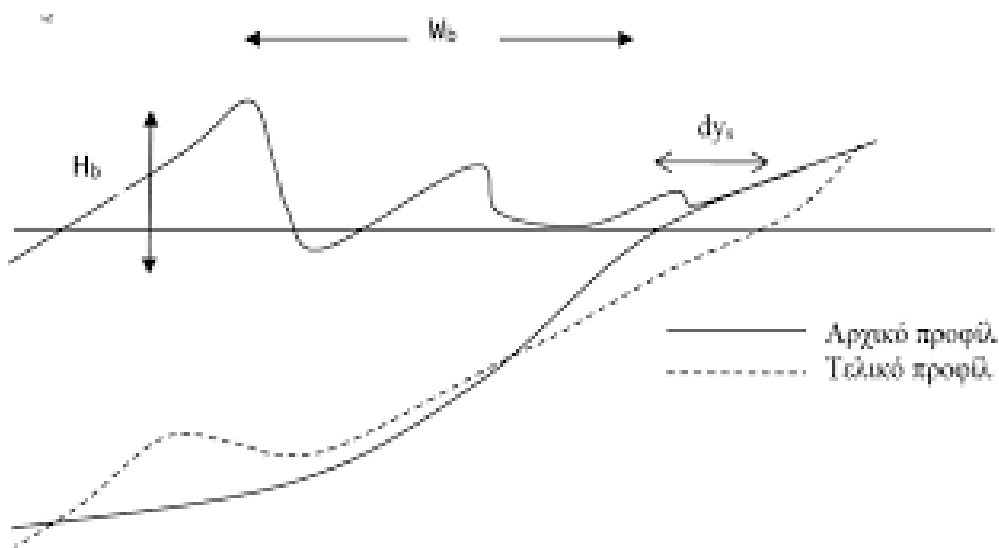
$$\frac{dy_s}{Lo} = 0.4\xi^{-0,99}$$

Η τελική διάβρωση της ακτογραμμής dy_s σε περίπτωση δράσης των κυματισμών με ανύψωση στάθμης μπορεί να υπολογιστεί από την εμπειρική σχέση(Dean,1991):

$$\frac{dy_s}{Wb} = \frac{0,068 \frac{H_b}{B} + \frac{ds}{B}}{1 + 1,28 \frac{H_b}{B}}$$

Όπου H_b = η απόσταση από την ακτογραμμή του σημείου θραύσης

B =το ύψος του παραλιακού αμμόδους μετώπου.



Διάγραμμα 8: Σύγκριση του αρχικού - τελικού προφίλ της ακτογραμμής (Καραμπάς,2002).

2.1 Μεταφορά φερτών υλών παράλληλα στην ακτή

Η παράκτια στερεομεταφορά έχει καθαρισθεί η μακροχρόνια ζημία της άμμου της ακτής οφειλόμενη σε ανισορροπίες ανάμεσα στον εφοδιασμό και την εξαγωγή υλικού από μια συγκεκριμένη περιοχή.

Η συνολική στερεοπαροχή στη ζώνη θραύσης παράλληλα στην ακτογραμμή υπολογίζεται από (U.S Army Corps of Engineers.2002):

$$Q_t = K \left(\frac{\rho g^{0,5}}{16\gamma^{0,5}(\rho_s - \rho)(1 - n)} \right) H_{sb}^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b)$$

Όπου:

Q_t =η συνολική στερεοπαροχή στη ζώνη θραύσης,(m^3/s)

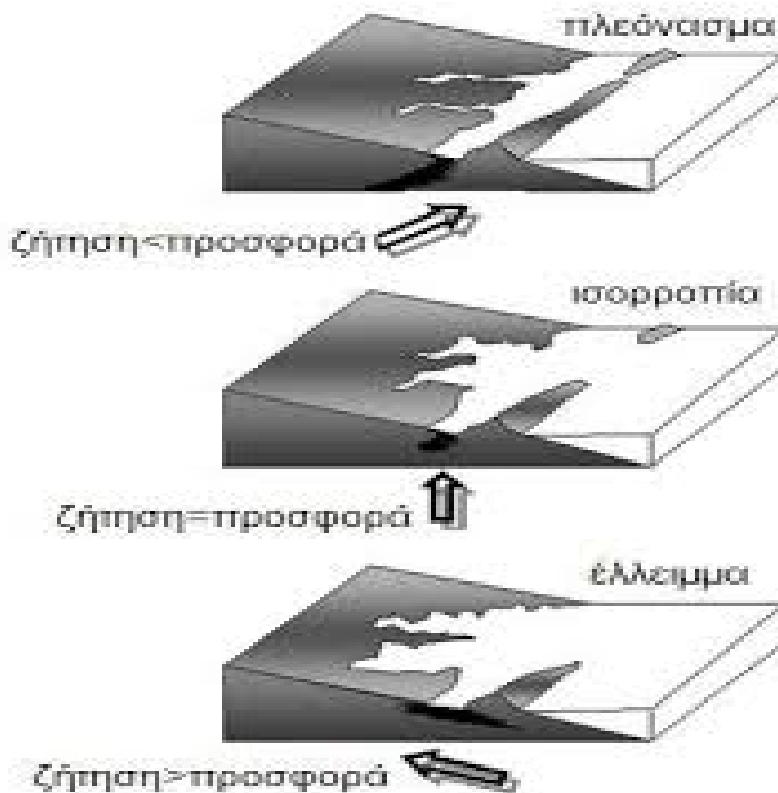
H_b =το ύψος κύματος στο σημείο θραύσης,

α_b = η γωνία πρόσπτωσης στο σημείο θραύσης.

Ο συντελεστή K λαμβάνεται ίσος με 0.39, $K=0.39$, εάν χρησιμοποιηθεί στη σχέση (6.29) το σημαντικό ύψος κύματος στο σημείο θραύσης ($H_b = H_{sb}$).

2.2 Παράκτια μεταβολή

Η ζήτηση και η προσφορά των ιζημάτων διαμορφώνει την παράκτια εξέλιξη σε ιζηματογενή περιβάλλοντα. Η ζήτηση των ιζημάτων της ακτής προσδιορίζεται από το ποσοστό της σχετικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας και από τη μορφολογία της παράκτιας κοιλάδας. Η παροχή των ιζημάτων καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα των ιζημάτων και από την μεταφορική δυναμικότητα-ικανότητα του αέρα και του νερού. Η ισορροπία μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς των ιζημάτων οδηγεί στην εξέλιξη της ακτής (Διάγραμμα 9): όταν η προσφορά είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, η ακτή θα αυξηθεί προς την θάλασσα, όταν η ζήτηση είναι ίση με την προσφορά, η ακτή θα παραμείνει στη θέση της, και όταν η προσφορά είναι ανεπαρκής, η ακτή θα τείνει να υποχωρήσει.



Διάγραμμα 9: Η παράκτια εξέλιξη ρυθμίζεται από την ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης των ιζημάτων (Nichols, 1998)

2.3 Ισοζύγιο φερτών υλών και διάβρωση ακτών

Η παράκτια και η εγκάρσια στερεομεταφορά επεκτείνεται σε ένα μικρό πλάτος της παραθαλάσσιας περιοχής και επακολουθούν σημαντικές μορφολογικές αλλαγές στην ακτή.

Η εκτίμηση του ετήσιου ισοζυγίου φερτών υλών σε ένα τμήμα της ακτής που είτε κινδυνεύει με τις αντιδράσεις της φύσης πάνω σε ένα τεχνικό έργο αποτελεί ένα πολύ σοβαρό τεχνικό πρόβλημα.

Σε ένα τμήμα της ακτής είναι δυνατόν να αναπτύσσεται μορφοδυναμικά λόγω στερεομεταφορών ανεξάρτητα από την υπόλοιπη ακτή, είναι δυνατόν να περικλείονται πολλές **πηγές (sources)** και πολλές **παγίδες (sinks)** φερτών υλών.

Οι κυριότερες **πηγές** και **παγίδες (sinks)** φερτών υλών είναι (Κουτίτας):

Πηγές:

Τα κυματικά ρεύματα απαρτίζουν την κυριότερη πηγή φερτών, καθώς με μελέτες αποδείχθηκε ότι παγκοσμίως μεταφέρουν περί τα 14 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φερτών υλών ετησίως. Το υλικό αυτό προέρχεται από τη διάβρωση χερσαίων εκτάσεων της γης, και ένα μεγάλο μέρος το είναι άργιλος, ενώ ένα μικρό ποσοστό είναι άμμος. Τα πλέον χονδρόκοκκα παραμένουν στις ακτές, ενώ τα υπόλοιπα καθιζάνουν σε μεγαλύτερα βάθη.

Ακόμη, σε ακτές κάτω από συνθήκες βροχής ή από δυνατούς ανέμους, η διάβρωση γαιωδών όγκων αποτελεί μια δεύτερη πηγή φερτών υλών.

Παγίδες φερτών υλών:

Τα παλιρροιακά στόμια, στα οποία οι προς τα έσω στερεοπαροχές κατά την πλημμυρίδα είναι μεγαλύτερες από αυτές προς τα έξω κατά την άμπωτη. Ακόμη, τα υποβρύχια φαράγγια, στα οποία παγιδεύονται, οδηγούμενα προς τα ανοιχτά μεγάλες ποσότητες φερτών υλών. Η ανεμογενείς ή κυματογενής μεταφορά προς την εσωτερική ζώνη των αμμοθινών.

Ανάλογα με την ποσότητα που παγιδεύεται ή εισέρχεται σε ένα τμήμα μιας αμμώδους ακτής, τότε αυτή είτε βρίσκεται σε μια δυναμική ισορροπία με μικρές μορφολογικές μεταβολές, είτε βρίσκεται σε μια συνεχή μορφοδυναμική μεταβολή, δηλαδή διαβρώνεται ή γίνεται εναπόθεση υλικού. Ένα σοβαρό τεχνικό πρόβλημα είναι η εκτίμηση του ετησίου ισοζυγίου φερτών υλών σε ένα τμήμα της ακτής.

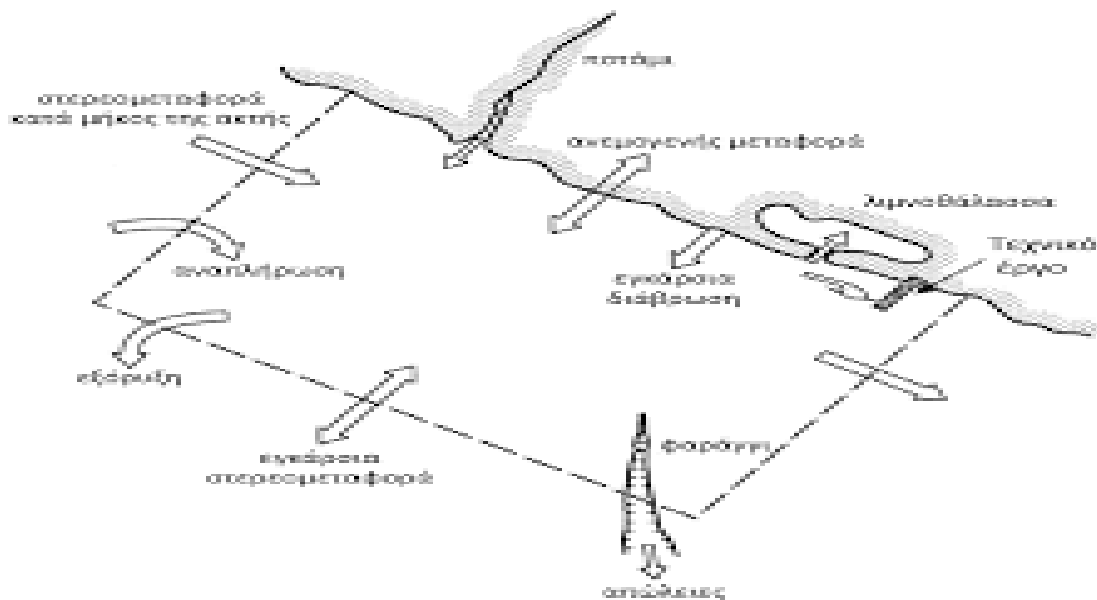
Η επέμβαση του ανθρώπου με την κατασκευή τεχνικών έργων επηρεάζει την παραπάνω ισορροπία, με αποτέλεσμα η ακτή να κινδυνεύει από τις αναδράσεις της φύσης πάνω σε αυτά.

Τα παράκτια τεχνικά έργα αποτελούν σημαντικές παγίδες φερτών υλών γιατί αναστέλλουν έμμεσα ή άμεσα τη κυρίαρχη στερεομεταφορά, με αποτέλεσμα την κατακράτηση μέρους των κατά μήκος της ακτής κινούμενων ιζημάτων.

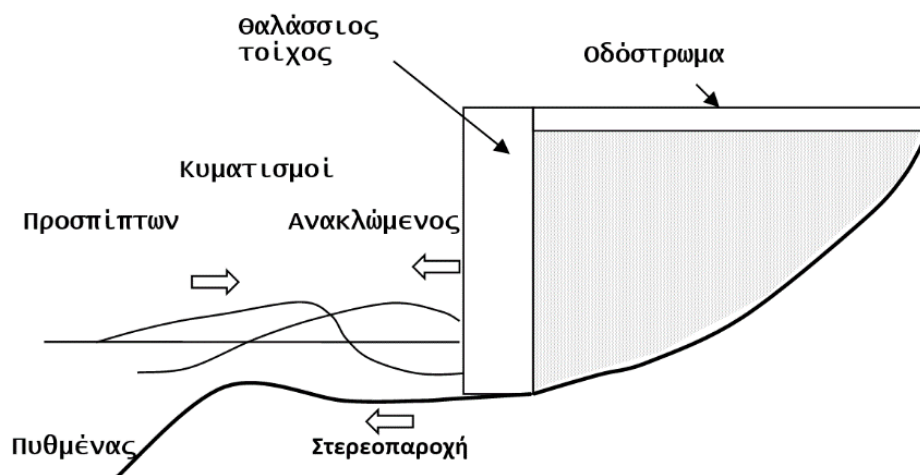
Αυτό έχει αποτέλεσμα την μεταβολή της ισορροπίας όπου είναι σημαντικές διαβρώσεις (κατάντη του έργου) και προσχώσεις (ανάντη του έργου).

Οι αμμοληψίες για το κατασκευαστικό τομέα αποσπούν στις ακτές μεγάλες παροχές φερτών υλών, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται προβλήματα συστηματικών διαβρώσεων

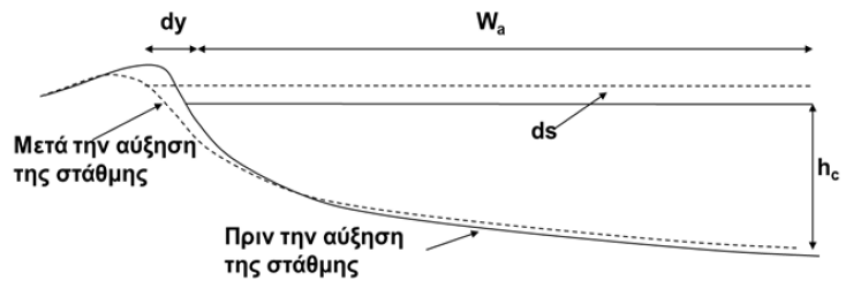
Η ανύψωση της μέσης στάθμης της θάλασσας εξαιτίας της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη (φαινόμενο του θερμοκηπίου), συναποτελεί μια νέα απειλή για τις ακτές.



Διάγραμμα 10: Εναπόθεση των ιζημάτων στο σύστημα της ακτής. (Κουτίτας, 1998)



Διάγραμμα 11 : Κατασκευή θαλάσσιου τοίχου και η επίδραση στην ακτή. (Καραμπάς, 2002)



Διάγραμμα 12: Οπισθοχώρηση της ακτογραμμής κατόπιν της αύξησης της στάθμης της θάλασσας. (Καραμπάς, 2002)

Οι κυματισμοί σε σχέση με το υλικό του εδαφούς της ακτής σχηματίζουν ένα συγκεκριμένο προφίλ ισορροπίας που μετρείται με την εξίσωση του Dean:

$$d(y) = A_P y^m$$

Όπου:

$d(y)$ = βάθος νερού,

A_P = παράμετρος που σχετίζεται με την διαμέτρου της άμμου,

y = η απόσταση από την ακτογραμμή.

Ο εκθέτης m λαμβάνεται συνήθως ίσως με $2/3$ ενώ ο συντελεστής A_P ισούται με (Dean, 1983):

$$A_P = 0.5w_f^{0.44}$$

3 Εποχιακές μεταβολές παράκτιας ζώνης

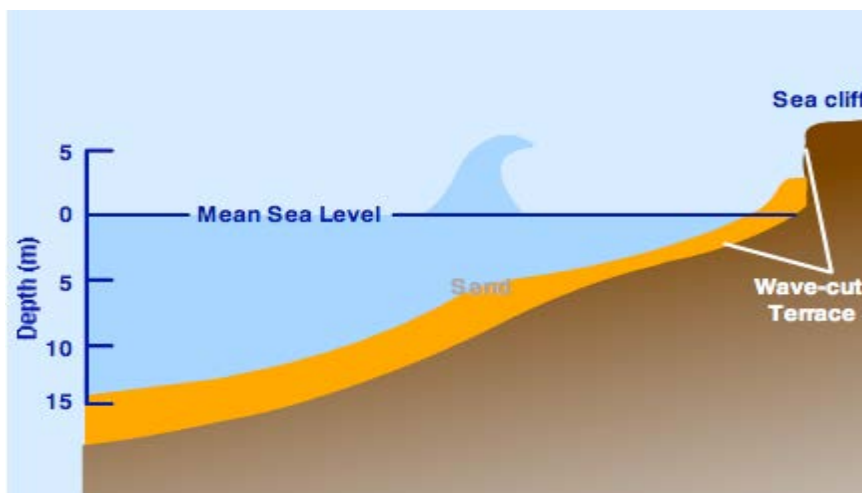
3.1 Χειμερινό προφίλ

Κατά την διάρκεια του χειμώνα διακρίνεται ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω των ισχυρών καταιγίδων και των ανέμων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ενδυναμώνουν την ενεργεία των κυμάτων όπου συμβάλουν στην στερεομεταφορά της άμμου και επακόλουθα η απώλεια εδάφους. Ο βαθμός της απώλειας επηρεάζεται κυρίως από την ένταση των κυματισμών την διάρκεια, την κατεύθυνση και την ταχύτητα μετακίνησης της καταιγίδας. Ακόμη, εξαρτάται από τα ύψη των κυματισμών και την γωνία προσέγγισης αυτών στην παραλία αλλά και από το στάδιο της παλίρροιας κατά την διάρκεια της καταιγίδας.

Τέλος, η ανθρώπινη παρέμβαση σε μια παραλία μπορεί να αποτελέσει σε διάβρωση. Τα παράκτια κύματα που φτάνουν στην παραλία, δεν θα υποστούν θραύση ή η θραύση θα συμβαίνει πολύ κοντά στην ακτή. Τα κύματα αυτά θα μεταφέρουν μεγαλύτερη ενέργεια στην παραλία προκαλώντας πιθανές πλημμύρες και περαιτέρω ζημιές στην ακτή.

Ανθρώπινες παρεμβάσεις όπως είναι οι κατασκευές παράκτιων έργων, χωρίς τις κατάλληλες ακτομηχανικές μελέτες, μπορεί να αλλάξουν τις τοπικές ανεμολογικές και κυματικές συνθήκες και τα θαλάσσια ρεύματα. Αυτές οι επεμβάσεις μπορεί να μειώσουν το ενεργό πλάτος της

παραλίας, μειώνοντας έτσι το ύψος του χειμερινού αναβαθμού με τελικό αποτέλεσμα να παρουσιαστεί διάβρωση στην παραλία.



Διάγραμμα 13: Το χειμερινό προφίλ της ακτής.

3.2 Θερινό προφίλ

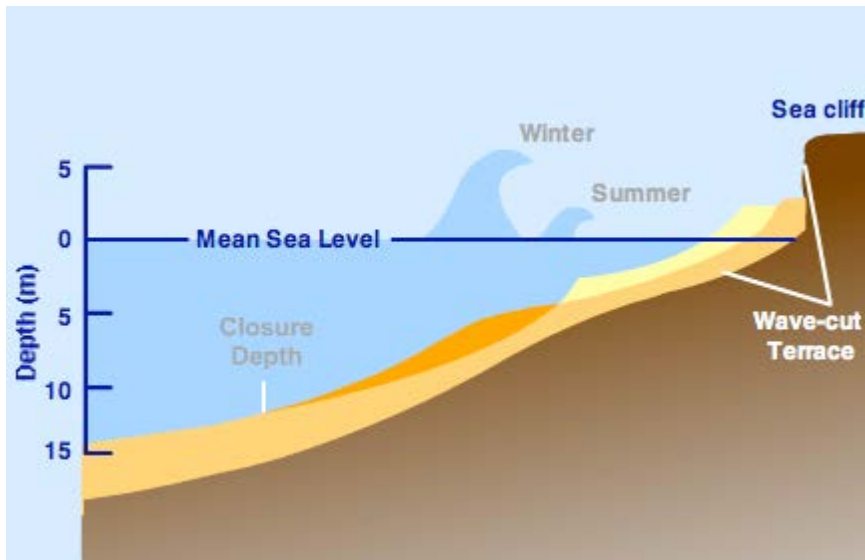
Κατά την διάρκεια των θερινών μηνών διακρίνονται πιο ήπιες κυματικές συνθήκες σε σχέση με τους χειμερινούς μήνες. Τα κύματα που δέχεται μια παραλία έχουν μικρή, τα οποία έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν το ίζημα από τον θαλάσσιο χώρο που βρίσκεται κοντά στην παραλία και να το αποθέτουν στην στεριά. Τέλος, με αυτό τον τρόπο η παραλία αποκτά μεγαλύτερο πλάτος και μικρότερες κλίσεις από τις ανάλογες του χειμώνα.



Διάγραμμα 14 :Θερινό προφίλ της ακτής

3.3 Σύγκριση καλοκαιρινού με χειμερινό προφίλ

Το χειμώνα, το πλάτος της παραλίας είναι μικρότερο από αυτό του καλοκαιριού, αφού μέρος της έχει μετακινηθεί στη θάλασσα. Στην εικόνα φαίνεται η σύγκριση του χειμερινού με το καλοκαιρινό προφίλ, ενώ παρουσιάζεται σχηματικά ένας αναβαθμός, ο οποίος εμφανίζεται με καφέ χρώμα. Με ανοικτό κίτρινο παρουσιάζεται το ίζημα του αναβαθμού, το οποίο έχει επιστρέψει πίσω στην στεριά και έχει μεγαλώσει το πλάτος της.



Διάγραμμα 15: Σύγκριση χειμερινού με θερινού προφίλ της παραλίας.

3.4 Γεωτεκτονικές διεργασίες

Με τις γεωτεκτονικές διεργασίες σε μια παραθαλάσσια περιοχή, η ακτογραμμή μετατοπίζεται προς τα ανοιχτά της θάλασσας. Οι κινήσεις του φλοιού της γης επιφέρουν ανοδικές ή καθοδικές μετακινήσεις και διαμορφώσεις της ακτογραμμής.

Οι ακτές οι οποίες ανυψώνονται τεκτονικά προσδιορίζονται από βραχώδεις, απότομες ακτογραμμές και ακρωτήρια που διακόπτονται από στενούς σχήματος κόλπους.

Όπου παρατηρούνται καταβυθίσεις της ακτής, τα αποθέματα τείνουν να επαναπροσδιορίσουν την αρχική θέση της ακτογραμμής.

Σε περίπτωση καταβυθίσεις της ξηράς, οι παράκτιες ζώνες αυτές έχουν μικρές κλίσεις και μεγάλη επιφάνεια με χαμηλό υψόμετρο στο τμήμα της που παρατηρήθηκαν πρόσφατα ιζήματα.

Οι βυθιζόμενες παράκτιες ζώνες σχηματίζουν μικρά αμμώδη νησιά κοντά στην ακτογραμμή και πίσω από αυτήν διαμορφώνονται έμμονες. Ακόμη, τα θαλάσσια νερά φτάνουν μέχρι την στεριά. Με αποτέλεσμα να παρατηρείται μια ισορροπία μεταξύ της ποσότητας της άμμου που διαβρώνεται λόγω της καθίζησης της παραλίας με αυτή που επικάθεται μέχρι σε συγκεκριμένο βάθος για να καλύπτει τη ανομοιομορφία που εμφανίζεται λόγω της καταβύθισης.

3.5 Κλιματικές αλλαγές

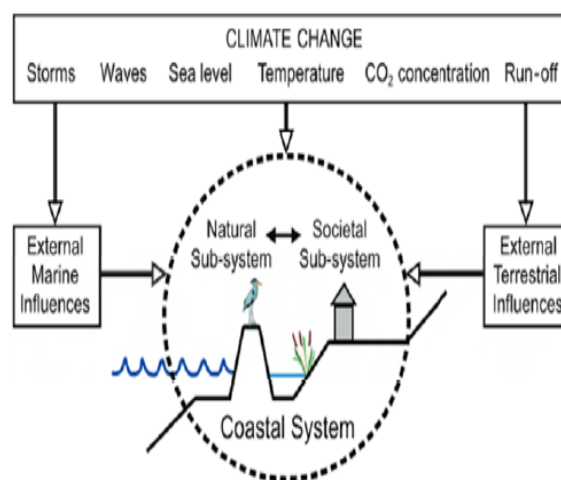
Η τροποποίηση του κλίματος βάσει τους φαινομένου του θερμοκηπίου επιφέρει αλλαγές στο παράκτιο περιβάλλον με επιπτώσεις όπως είναι οι ξηρασίες, πλημμύρες, διάβρωση των ακτών, θερμοκρασία των υδατορρευμάτων και αλατότητα σε συνδυασμό με την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας και μείωση των οικοτόπων.

Επίσης, η ανάπτυξη σε περιοχή των παράκτιων εκτάσεων έχει άμεσες συνέπειες στην παραγωγικότητα και έχει ως αποτέλεσμα στην μείωση της βιοποικιλότητας στα οικοσυστήματα.

Ακόμη, οι πιο σοβαρότερη επίπτωση από το φαινόμενο του θερμοκηπίου και των κλιματικών αλλαγών είναι η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας.

Όμως, παρατηρούνται φυσικές αλλαγές όπως είναι :

- 1) η αύξηση της συχνότητας κατάκλυσης και πλημμύρων από καταιγίδες.
- 2) Αυξανόμενη παράκτια στερεομεταφορά.
- 3) Αλατότητα των παράκτιων υδροφορέων.
- 4) Εισχώρηση υδατορρευμάτων σε εκβολές ποταμών
- 5) Μείωση των παράκτιων υγροβιότοπων.



Διάγραμμα 16 :Κλιματική μεταβολή και παράκτιο σύστημα-Σχηματική περιγραφή των σημαντικότερων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.(Nicholls et al,2007)

Τέλος, η κλιματική αλλαγή επιφέρει επιπτώσεις στους κοινωνικοοικονομικούς φορείς όπως είναι:

- 1) Αυξανόμενος κίνδυνος από πλημμύρες και απώλεια ζωών.
- 2) Ζημιές σε οικισμούς κοντά της παραλίας.
- 3) Μειωση των ανανεώσιμων φυσικών πόρων .
- 4) Επιπτώσεις στον τουρισμό και στις μεταφορές των πλοίων.
- 5) Κίνδυνος για ιστορικά μνημεία κοντά της ακτης.(Δουκάκης,2007)

Για υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της στάθμης του πυθμένα εφαρμόζεται η εξίσωση:

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{1}{(1-n)} \frac{\partial}{\partial x} \left(q_{xt} - \varepsilon |q_{xt}| \frac{\partial z_b}{\partial x} \right) = -\frac{1}{(1-n)} \frac{\partial}{\partial y} \left(q_{yt} - \varepsilon |q_{yt}| \frac{\partial z_b}{\partial y} \right)$$

4 Έργα προστασίας ακτών

Στις παράκτιες περιοχές κατασκευάζονται τα τεχνικά έργα για την παρεμπόδιση της ανάπτυξης της διάβρωσης που δεν επιθυμητό να εμφανίζεται σε μια λιμενική περιοχή.

Με την τοποθέτηση του τεχνικού έργου στην παράκτια ζώνη αλλάζει η κατεύθυνση και η ένταση των κυματισμών με αποτέλεσμα ο παράκτιος χώρος να προκαλεί εναπόθεση των φερτών υλών και να εμποδίζουν την ίδια την λειτουργικότητα των τεχνικών έργων.

Κατά συνέπεια αυτό πρέπει να εξεταστεί στην μελέτη πριν την τοποθέτηση του κυματοθραύστη για να μην υπάρχουν ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

Η επιλογή των υλικών της κατασκευής εξαρτάται από: την σοβαρότητα του έργου ,τις ανάγκες του έργου ,την τοποθεσία του έργου αν υπάρχουν κοντά λατομεία για την απόθεση των υλικών .

Τα συνηθέστερα υλικά είναι φυσικοί ογκόλιθοι με μεγάλο βάρος ή οπλισμένο σκυρόδεμα ή σωστές επεξεργασμένες μεταλλικές πασσαλοσανίδες.

Τα λιμενικά έργα και τα έργα προστασία χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες:

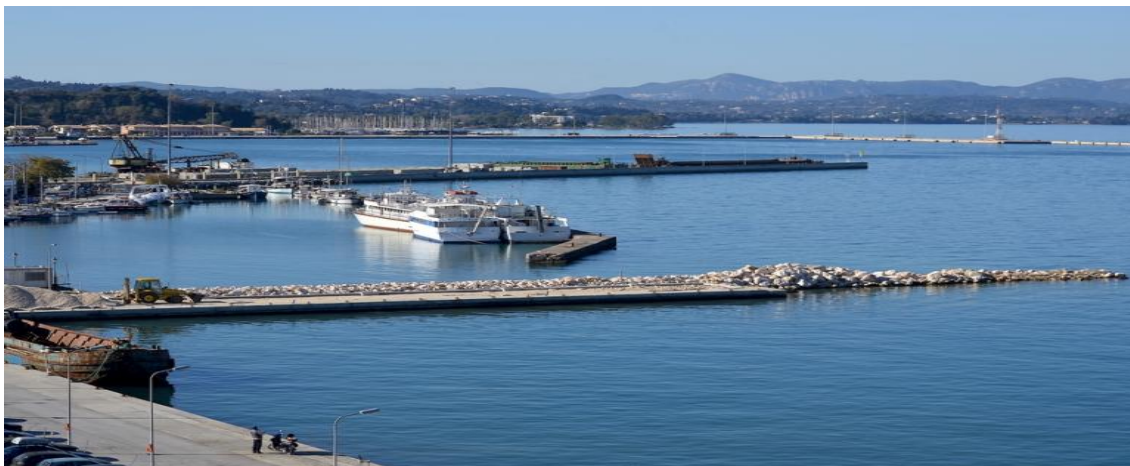
1. Εγκάρσια έργα όπως είναι οι βραχίονες, μώλοι, υποβρύχιοι αγωγοί.
2. Παράλληλα έργα είναι οι κυματοθραύστες, οι κρηπιδότοιχοι και τοίχοι προστασίας ακτών.

4.1 Εγκάρσια έργα -Μώλοι

Οι μώλοι χωρίζονται σε υπήνεμους και σε προσήνεμους ανάλογα με την κατεύθυνση του άνεμου που επικρατεί στην περιοχή.

Η κατασκευή ενός υπήνεμου μώλου επιδιώκει την προστασία την περιοχής από τις κατευθύνσεις του άνεμου και την διαμόρφωση της εισόδου ενός λιμανιού.

Τα υλικά κατασκευής των μώλων είναι από σκυρόδεμα με ογκολίθους ή με κεκλιμένα πρανή.



Διάγραμμα 17: Υπήνεμος μώλος (<https://enimerosi.com/details.php?id=20109>)



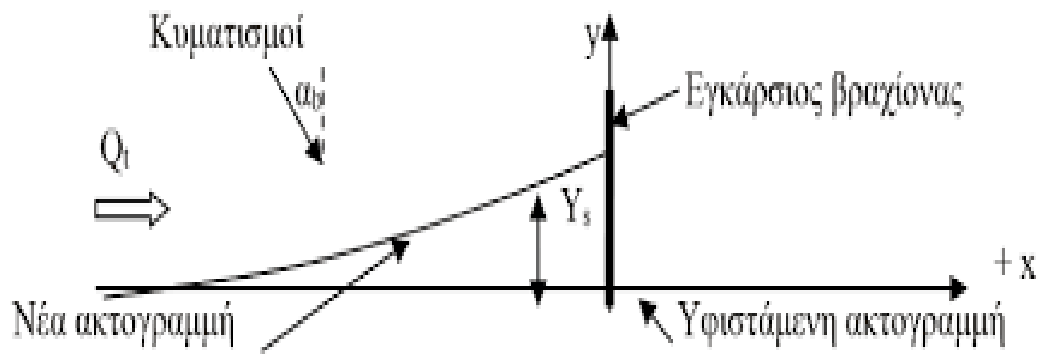
Διάγραμμα 18 : Προσήνεμος μώλος (https://velanidia-baladis.blogspot.com/2012/12/blog-post_20.html)

4.2 Βραχίονες

Οι βραχίονες κατατάσσονται στα εγκάρσια έργα που έχουν σκοπό τη διακοπή της παράκτιας στερεοπαροχής.

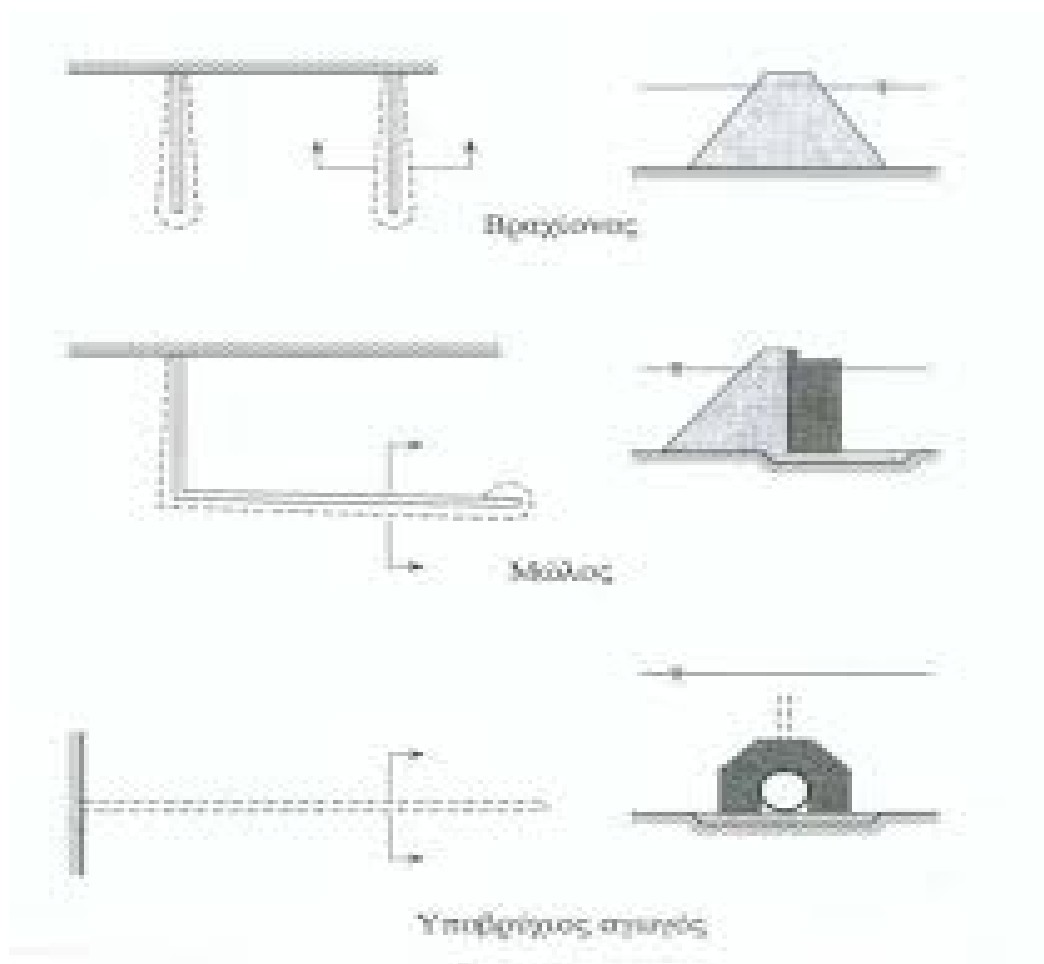
Επίσης, αξιολογείται ο βαθμός της διάβρωσης και την εναπόθεση ιζημάτων με τα κατάλληλα μέτρα να σταθεροποιηθεί η ακτή. Συνηθίζονται να κατασκευάζονται από πολυαιθυλένιο ή από μεταλλικά πασαλοφράγματα.

Τέλος, τοποθετούνται κάθετα στην ακτή και η απόσταση μεταξύ τους είναι διπλασία από το μήκος τους.



Διάγραμμα 19: Η τροποποίηση της ακτογραμμής στο κατάντη του εγκάρσιου μώλου.

(Κουτίτας ,1998)



Διάγραμμα 20 : Διάταξη βραχιόνων και μώλων με εγκάρσια τομή τους (Κουτίτας ,1998)

5 Κυματοθραύστες

Οι κυματοθραύστες ταξινομούνται στα παράλληλα έργα και τα όποια δεν έχουν σημεία επαφής με την ακτή. Οι λόγοι κατασκευής τους είναι για την προστασία της ακτής από την διαβρωτική δράση και από ισχυρούς κυματισμούς. Επίσης, όταν είναι επιθυμητό να διέρχεται ένα μέρος του κύματος ώστε να υπάρχει καλή κυκλοφορία του νερού τότε κατασκευάζεται βυθισμένος κυματοθραύστης και διαπερατός κατά τμήματα.

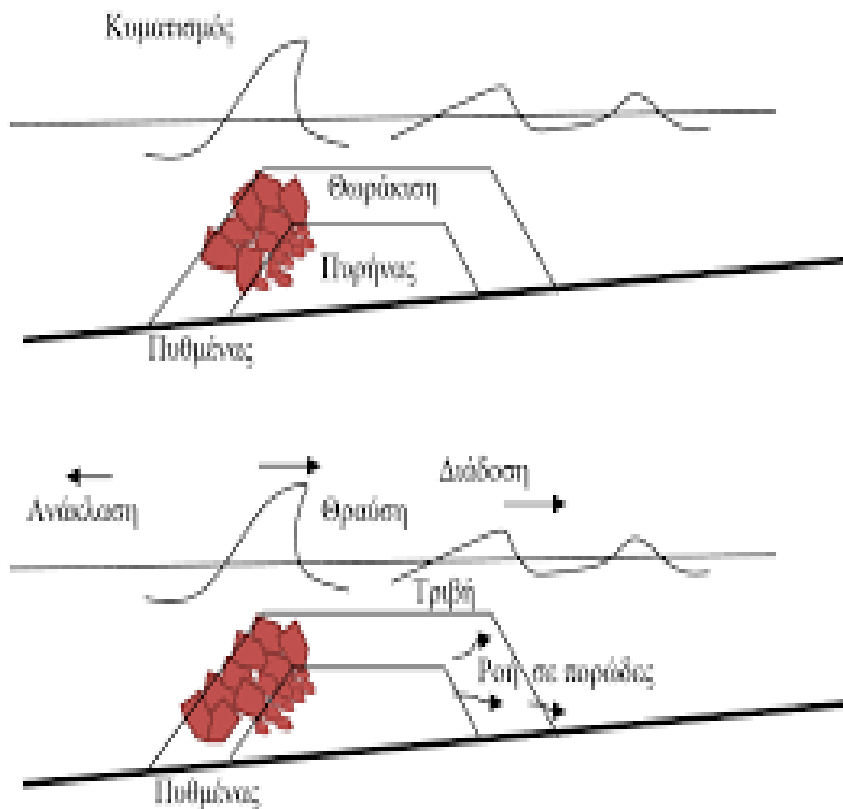
5.1 Έξαλοι κυματοθραύστες

Τα χαρακτηριστικά των έξαλων κυματοθραυστών:

Το ύψος στέψης τους πρέπει να είναι μεγαλύτερο από τα 2 m πάνω από την μέση στάθμη της θάλασσας. Οι βασικοί παράμετροι σχεδιασμού είναι ένα μέρος του κύματος να διαπερνά είτε με την υπερπήδηση των κυματισμών ή είτε με το πορώδες της κατασκευής.

Διάφοροι γενικοί κανόνες σχεδιασμού των έξαλων κυματοθραυστών είναι:

1. Το μήκος του κυματοθραύστη θα πρέπει να είναι διπλάσιο από το μήκος κύματος που υπολογίζεται.
2. Πρέπει να υπολογίζεται ο λόγος του μήκους του κυματοθραύστη προς την απόσταση από τη ακτή:
Όταν το $\frac{Ls}{Y_0} < 1,5$ δημιουργείται προεξοχή. Σε μικρότερες τιμές τους οδηγούν στο σχηματισμό ασθενής προεξοχή.
3. Η απόσταση μεταξύ των κυματοθραυστών L_s πρέπει να είναι μικρότερη του 80% της απόστασης τους από την ακτή Y_0 για να μην παρουσιάσουν διάβρωση μεταξύ των κενών τους.



Διάγραμμα 21 :Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργιά του έξαλου κυματοθραύστη.
(Καραμπάς,2002)

5.2 Βυθισμένοι κυματοθραύστες

Τα υλικά κατασκευής τους είναι συνήθως από ογκολίθους αλλά και από σκυρόδεμα.

Η στέψης τους κατασκευάζεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας έτσι ώστε να αφήνει το νερό να διαπερνά από πάνω τους με αποτέλεσμα την ανανέωση του θαλασσιού νερού της περιοχής.

Επίσης, όταν το κύμα προσπίπτει πάνω στην κατασκευή παρατηρείται το φαινόμενο της περίθλασης, ένα μέρος της κυματικής ενέργειας ανακλάται στα ρηγά νερά και ένα μέρος μεταδίδεται προς την ακτή. Η εξασθένιση της κυματικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την θραύση πάνω στη κατασκευή και μέσω της τριβής στο εσωτερικό τους.

Η παρουσία τους παράλληλα στην ακτή ελαχιστοποιεί την διάβρωση και ενισχύει την πρόσχωση.

Συμπεραίνεται ότι οι βυθισμένοι κυματοθραύστες ελαττώνουν την κυματική ενέργεια που θα προσπίπτει στη ακτή αφού με την παρουσία τους έχουν αποτέλεσμα στη

θραύση των κυματισμών στην παρειά τους, ανακλάται ενός μέρους της κινηματικής ενεργείας προς τα ρηχά νερά .

Τέλος, η απώλεια ενέργειας λόγω της ροής επιτυγχάνεται στο εσωτερικό πορώδες σώμα άλλα και λόγω τις τριβής στην επιφάνεια του.



Διάγραμμα 22 : Βυθισμένος κυματοθραύστης.

(http://s3.amazonaws.com/medias.photodeck.com/191cc356-53bd-4be1-9c5d139b95415063/artificial_reef_breakwate_rjc17860_uxga.jpg)

5.3 Βυθισμένοι πρόβολοι

Η κατασκευή των βυθισμένων προβόλων γίνεται από έγχυτο σκυρόδεμα μέσα σε ελλειψοειδές διατομές από γεώφασμα και καλύπτουν όλο το μήκος της προστατευόμενης ζώνης.

Η τοποθέτησή τους έχει ως συνέπεια την μείωση της κινηματικής ενεργείας με ένα μέρος αυτής να αποσβένεται με την θραύση πάνω στους πρόβλους.

Τέλος, παρατηρείται μείωση της έντασης των προωθούμενων κυμάτων που αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παγίδευση φερτών υλών και την αποφυγή της διάβρωσης.

5.4 Ύφαλοι κυματοθραύστες

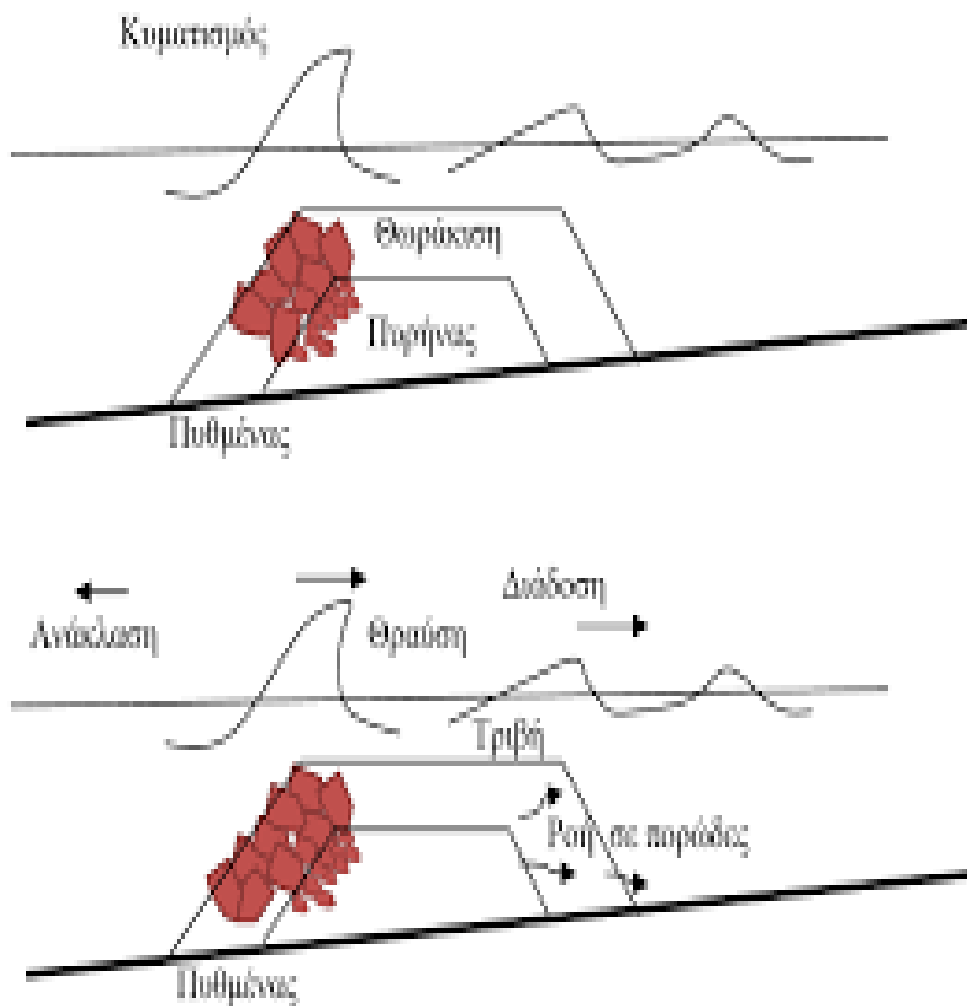
Πρόκειται για προκατασκευασμένες μονάδες από σκυρόδεμα ή ογκολίθους.

Μπορούν να κατασκευαστούν από σωλήνες γεωφάσματος που είναι γεμισμένοι από άμμο. Με τον σχηματισμό των ύφαλων κυματοθραυστών επιτυγχάνεται η μείωση της διάβρωσης κατόπιν των δράσεων που ασκούν τα προσπίπτοντα κύματα.

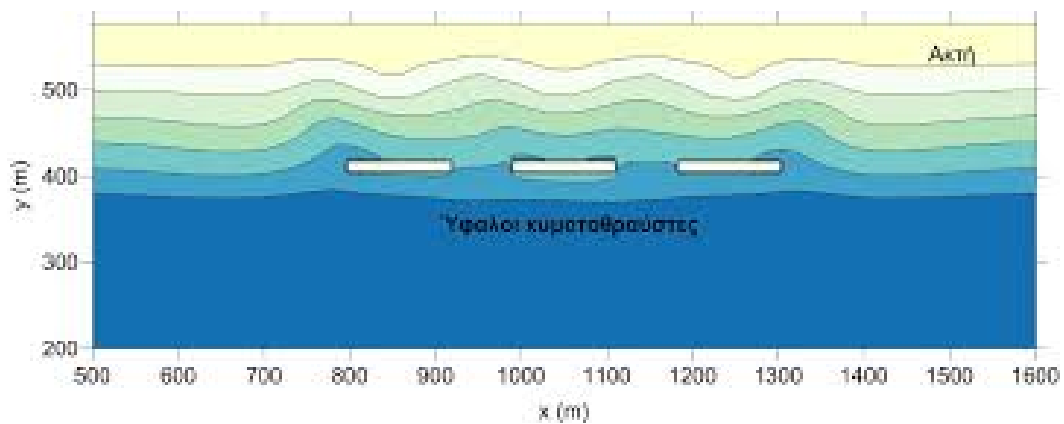
Ένα μέρος της κυματικής ενέργειας χάνεται λόγω της θραύσης του κύματος πάνω από την κατασκευή ή των τριβών στην επιφάνεια του.

Επίσης, χρειάζονται να τοποθετούνται μεμονωμένα ή ως ένα σύστημα κυματοθραυστών με απόσταση μεταξύ τους. Το εύρος παλίρροιας να είναι σχετικά μικρό όπως της Μεσόγειας Θάλασσας.

Τέλος, έχουν παρόμοιες κυματικές διεργασίες όπως με αυτές των έξαλων κυματοθραυστών όπου είναι η συγκέντρωση άμμου και η δημιουργία προεξοχής .

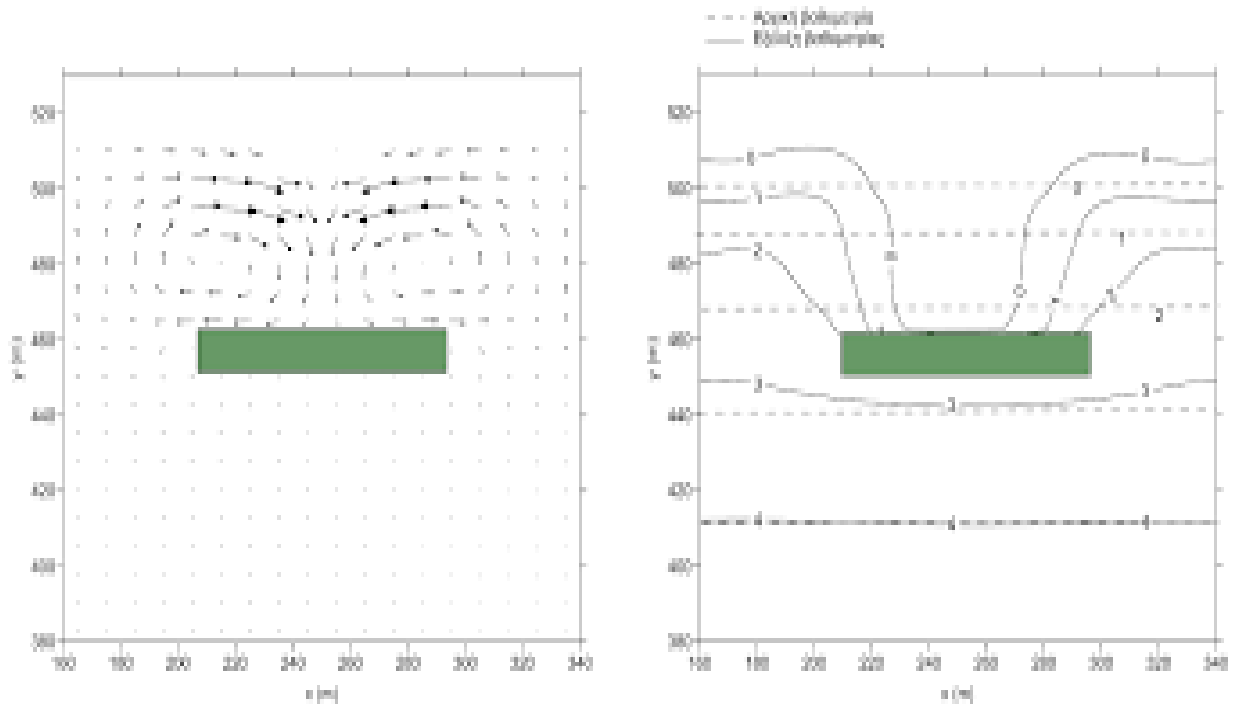


Διάγραμμα 23:Τυπική διατομή ύφαλου κυματοθραύστη και μηχανισμοί απώλειας της κινηματικής ενέργειας.(Καραμπάς,2015)



Διάγραμμα 24: Σύστημα υφάλων κυματοθραυστών.(Καραμπάς,2015)

Οι κατασκευές αυτές διαταράσσουν το υδροδυναμικό πεδίο των κυματισμών που παρατηρείται διότι μειώνεται το ύψος του κυματισμού στην σκιά του κυματοθραύστη. Τα κύματα που θα διαδέχονται θα θραύονται σε μεγαλύτερα βάθος και με μεγαλύτερο ύψος θραύσης σε σχέση με αυτά που μεταδίδονται πίσω από την κατασκευή. Όταν οι κυματισμοί θραύονται πάνω από τους υφάλους κυματοθραύστες, η κυματογενής ροή μάζας που διαπερνά πάνω από τους κυματοθραύστες και εισέρχεται στην περιοχή ανάμεσα σε αυτούς και στην ακτή, αυξάνοντας τη μέση Στάθμη Θάλασσας. Έτσι, δημιουργούνται ρεύματα επαναφοράς μέσα από τα κενά της σειράς των υφάλων κυματοθραυστών προς τα ανοιχτά, ώστε να εκτονωθεί η συσσώρευση των μαζών τρυ νερού (Διάγραμμα 23). Τα ρεύματα αυτά δημιουργούν διαβρώσεις κυρίως στα κενά.



Διάγραμμα 25: Σχεδιασμός των κυματογενών ρευμάτων και η εξέλιξη της ακτογραμμής. (Καραμπάς, 2015)

Λαμβάνοντας υπόψη τα πιο παραπάνω, για τον σχεδιασμό της χωροδιάταξής τους θα πρέπει, εκτός του μήκους των κυματοθραυστών, της απόστασής τους από την ακτή και την απόσταση μεταξύ τους, να θεωρηθεί μία ακόμη παράμετρος: ο συντελεστής διάδοσης K_t που καθορίζει το υδροδυναμικό πεδίο και ορίζεται ως (Briganti et al, 2003):

$$K_t = \frac{H_t}{H_i}$$

όπου

H_t : ύψος κύματος που μεταδίδεται κατάντη των κυματοθραυστών

H_i : ύψος κύματος που προσπίπτει

Στις περιπτώσεις των κυματοθραυστών με πρανή από λιθορριπή, το βύθισμα (απόσταση του επιπέδου της στέψης από την ελεύθερη επιφάνεια), το πλάτος της στέψης, η κλίση των πρανών καθώς τα χαρακτηριστικά του κύματος που προσπίπτει είναι οι παράμετροι που καθορίζουν τον συντελεστή διάδοσης.

Οι Briganti et al. (2003) πρότειναν την παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό του K_t :

$$K_t = -0.4 \frac{R_c}{H_{si}} + 0.64 \left(\frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5\xi}), \frac{B}{H_{si}} < 10$$

$$K_t = -0.35 \frac{R_c}{H_{si}} + 0.51 \left(\frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.65} (1 - e^{-0.41\xi}), \frac{B}{H_{si}} > 10$$

όπου

H_{si} = το σημαντικό ύψος του κύματος που προσπίπτει,

R_c η απόσταση από την επιφάνεια του νερού ως την επιφάνεια του κυματοθραύστη (αρνητικό για βυθισμένους),

B = το πλάτος στέψης,

$$\xi = \text{συντελεστής Irribarren, } \xi = \frac{\tan\theta}{\frac{H}{L_0}}$$

όπου L_0 είναι το μήκος κύματος στα βαθιά νερά ($L_0 = \frac{gT_p^2}{2\pi}$, όπου T_p = η περίοδος κορυφής του φάσματος) και $\tan\theta$ η κλίση του πρανούς.

Αν και στη βιβλιογραφία (Pilarczyk, 2003) αναφέρεται ότι εάν οι ύφαλοι κυματοθραύστες τοποθετηθούν πολύ κοντά θα σχηματιστεί tombolo, υπάρχει επιφύλαξη ως προς αυτό. Στην περίπτωση αυτή, η ροή μάζας των κυματισμών που υπερπηδούν την κατασκευή δημιουργεί συσσώρευση μάζας και ρεύματα εκτόνωσης πολύ κοντά στην ακτή, μην επιτρέποντας σε πολλές περιπτώσεις τον επαρκή σχηματισμό των δύο στροβίλων. Τα δύο, αντίθετης φοράς ρεύματα που σχηματίζονται μεταφέρουν την άμμο από τη «σκιά» προς τα ανοίγματα, όπου και την εναποθέτουν, μια διεργασία αντίθετη με την προηγούμενη του σχηματισμού προεξοχής (Koutsouvela et al., 2007).

5.5 Σφαιρικοί ύφαλοι κυματοθραύστες

Πρόκειται για προκατασκευασμένες μονάδες από οπλισμένο σκυρόδεμα με ημισφαιρική όψη. Το κέλυφος του έχουν οπές σε διάφορα μεγέθη και οι οπές αυτές βοηθούν στην βελτιστοποίηση του φυσικού περιβάλλον και στην ανάπτυξη της θαλάσσιας πανίδας .

Επίσης, συνεισφέρουν στην απόσβεση των κυματισμών εξαιτίας των τριβών που αναπτύσσονται στον πυθμένα τους.

Ακόμη, τα χαρακτηριστικά της κατασκευής είναι ότι το ύψος τους μετριέται στα 1.4 m και η διάμετρος της στα 2 m.

Εφαρμόζονται σε βάθη μικρότερα από 2,5 m και σε πολλές σειρές παράλληλα των ακτών και σχετικά κοντά η μία από την άλλη.

Τέλος, η λειτουργία τους αποσβένουν την κυματική ένταση και την μείωση της ικανότητας στερεομεταφορά ως αποτέλεσμα τον έλεγχο της διάβρωσης.



(<http://newenglandboating.com/artificial-reef-system-to-be-created-off-harwich-ma/>)



(Iberostar Tucan Coastal, <https://www.pinterest.com/pin/73605775129490718/?lp=true>)



(Gran Dominicus Coastal, <https://www.monarc.ca.html>)

Διαγράμματα 26-28 : Τοπία που εφαρμόστηκαν οι σφαιρικοί ύφαλοι.

5.6 Πλωτοί κυματοθραύστες

Ο πλέον διαδεδομένος τύπος κυματοθραυστών είναι οι σταθερά εδραζόμενοι στον πυθμένα κυματοθραύστες.

Οι πλωτοί κυματοθραύστες εκπροσωπούν μια ενδεχόμενη λύση για την προστασία της περιοχής του λιμανιού στοχεύοντας την αποφυγή της διάβρωσης.

Ακόμη, επιτελούν την μείωση της κυματικής ενέργειας των προσπίπτον κυματισμών που μπορεί να είναι αποτελεσματικοί κυρίως στις παραλιακές περιοχές.

Παράγοντες που συμβάλουν στην χρήση των πλωτών κυματοθραυστών είναι:

1. Η κακή ποιότητα εδάφους
2. Τα βαθιά νερά: Σε μεγαλύτερα βάθη νερού, τα συμβατικά είδη κυματοθραυστών είναι ακριβότεροι σε σχέση από τους πλωτούς κυματοθραύστες.
3. Η ποιότητα του νερού: Μελέτες έδειξαν ότι οι πλωτοί κυματοθραύστες παρουσιάζουν ελάχιστες αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες καθώς δεν εμποδίζουν την ανανέωση των νερών.
4. Η οπτική όχληση: Σε περιοχές με υψηλό εύρος παλίρροιας οι πλωτοί κυματοθραύστες τείνουν να μην έχουν οπτική όχληση.
5. Η επαναδιάταξη κυματοθραυστών: Η κατασκευή έχει την δυνατότητα να τοποθετούνται με σχετική ευκολία.

Πλεονεκτήματα πλωτών κυματοθραυστών :

1. Μικρότερο κόστος κατασκευής .
2. Ευέλικτες κατασκευές με δυνατότητα μετακίνησης για μελλοντική επέκταση.
3. Δεν παρατηρούνται αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω ότι το τμήμα τους δεν υπερβαίνει την ελεύθερη επιφάνεια κατά 0,5 m.

Μειονεκτήματα πλωτών κυματοθραυστών:

1. Σε περίπτωση αστοχίας στους πλωτούς κυματοθραύστες πιθανόν να έχει πλήρη αστοχία το έργο.
2. Για την σωστή λειτουργικότητα τους εξαρτώνται από την περίοδο των προσπιπτόντων κυματισμών.
3. Τα υλικά κατασκευής τους πρέπει να συντηρούνται προκειμένου να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος αστοχίας.



Διάγραμμα 29: Πλωτός κυματοθραύστης. (<https://e-thessalia.gr/lysi-plota-agkyrovolia-gia-ta-krouazieroplia-th>, 2016)

Οι πλωτοί κυματοθραύστες χωρίζονται σε τέσσερις γενικές κατηγορίες:

- Box
- Pontoon
- Mat
- Tethered





Διαγράμματα 30,31 : Εφαρμογή πλωτών κυματοθραυστών στο Ν.Μαρμαρά και στη λίμνη Πολυφύτου.(http://mytikaspres.blogspot.com/2014/03/blog-post_7862.html, 2014)
(<http://www.prlogos.gr/>,2017)

5.7 Παράκτιοι τοίχοι

Οι παράκτιοι τοίχοι αντιστήριξης πρανών εδράζονται πάνω στην ακτή με σκοπό την ελαχιστοποίηση του φαινομένου διάβρωσης .Ακόμη, οι τουριστικοί οικισμοί διαφυλάττονται από πλημμύρες και από τα αναρριχόμενα κύματα λόγω των έντονων καιρικών φαινομένων.

Η κατασκευή των τοίχων αντιστήριξης γίνεται με κρηπιδότοιχοι με κατακόρυφα μέτωπα.



Διάγραμμα 32: Παράκτιος τοίχος αντιστήριξης.(Ε. Πούλος,2017)

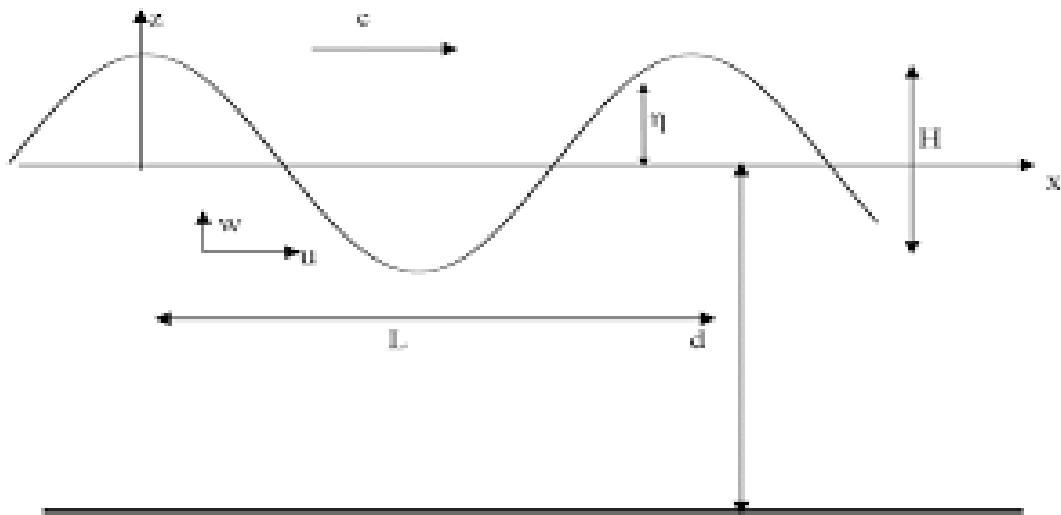
6 Γραμμική θεωρία κυματισμών

Κυματισμός χαρακτηρίζεται ως η περιοδική διαταραχή της επιφάνειας της θάλασσας σε ένα χρονικό πεδίο. Η βασική αιτία της δημιουργίας θαλάσσιων κυμάτων είναι η μεταφορά ενέργειας προς την ακτή λόγω της κινητικής ενέργειας του άνεμου.

Οι κυματισμοί που εμφανίζονται στο παράκτιο χώρο έχουν συνισταμένη διαφορετικής προέλευσης (x, y, z) και διαφορετικά χαρακτηριστικά περιόδου T , για διευκόλυνση στην ανάλυση επιτεύχθηκε σε πρώτη φάση η παραδοχή δισδιάστατου κυματισμού.

Στην παραδοχή τα στοιχεία κατά την οριζόντια διεύθυνση y (κυματοκορυφή) είναι σταθερά και οι μεταβολές επιτρέπονται στο επίπεδο x, z .

Χαρακτηριστικά του κύματος:



Διάγραμμα 33: Καθορισμός των παραμέτρων του συστήματος των γραμμικών κυματισμών. (Κουτίτας, 1998).

Όπου:

Φασική ταχύτητα, C (m/sec)

Η ταχύτητα διάδοσης του κυματισμού ορίζεται : $c = \frac{L}{T}$

Πλάτος κύματος, $\alpha = \frac{H}{2}$ (m)

f: Κυκλική συχνότητα, $f = \frac{1}{T}$, (Hz)

ω : Γωνιακή συχνότητα, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (rad/sec)

η : στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας.

Η εξίσωση που δίνει την ελεύθερη επιφάνεια η είναι:

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$$

T: η περίοδος του κύματος

H: το ύψος κύματος (m)

k: αριθμός κύματος, $k = 2\pi/L$

L: το μήκος κύματος (m)

Για υπολογισμό του μήκους κύματος L με γνωστό βάθος του βυθού d και περίοδο T χρησιμοποιείται η σχέση :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi}{L} d\right)$$

6.1 Διαμόρφωση των κυματισμών στο παράκτιο χώρο

6.1.1 Ανάκλαση των κυματισμών

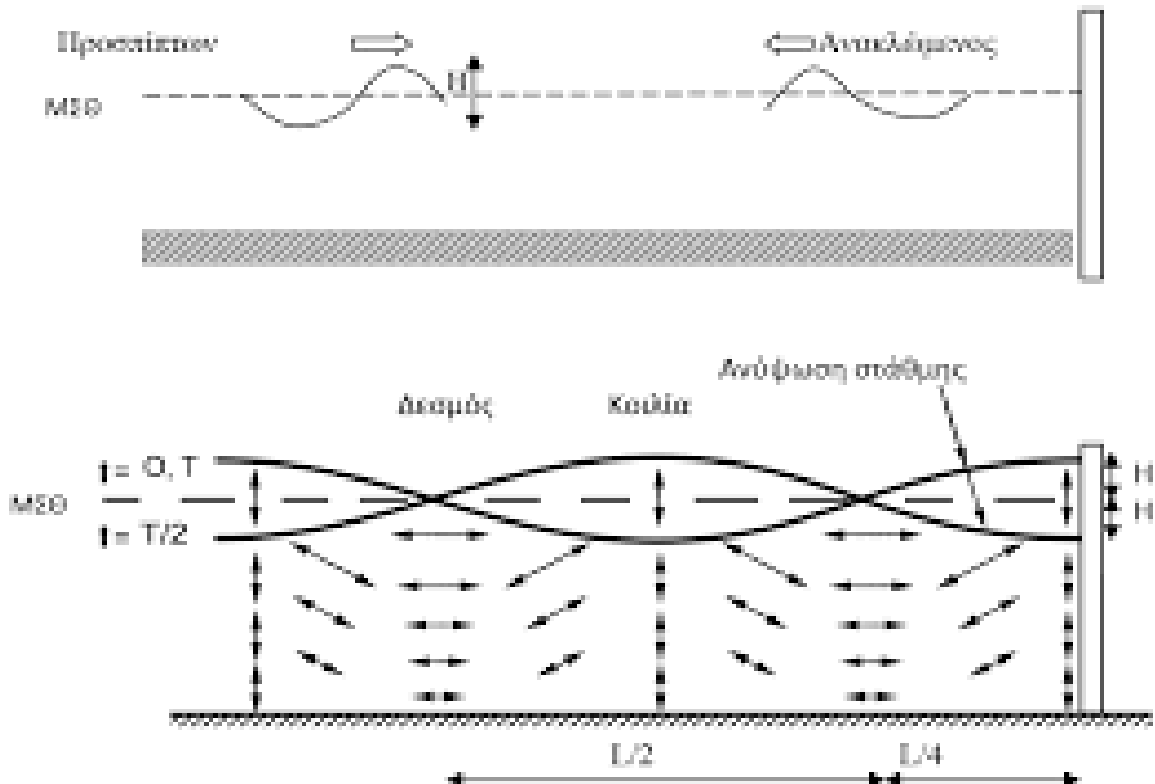
Η ύπαρξη των λιμενικών έργων στο παράκτιο χώρο επιδρά στη διαμόρφωση των κυματισμών .

Το προσπίπτον κύμα ασκεί δύναμη στα κατακόρυφα μέτωπα ,το ανακλώμενο κύμα διαδίδεται προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτήν του προσπίπτοντος κύματος.

Με την αλληλεπίδραση των δυο κυμάτων προκαλείται έναν στάσιμο κύμα.

Η στιγμιαία ανύψωση της στάθμης ενός στάσιμου κυματισμού η ορίζεται από την σχέση:

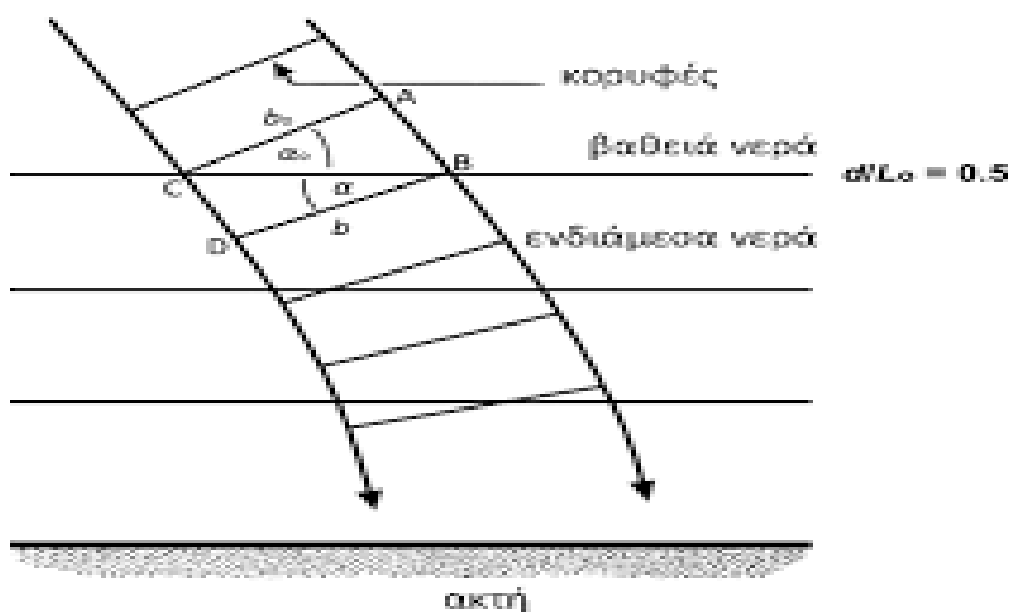
$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) + \frac{H}{2} \cos(kx + \omega t)$$



Διάγραμμα 34: Αναπαράσταση του φαινομένου της ανάκλασης και η στιγμιαία φάση της ανύψωσης της. (Καραμπάς,2015)

6.1.2 Φαινόμενο διάθλασης

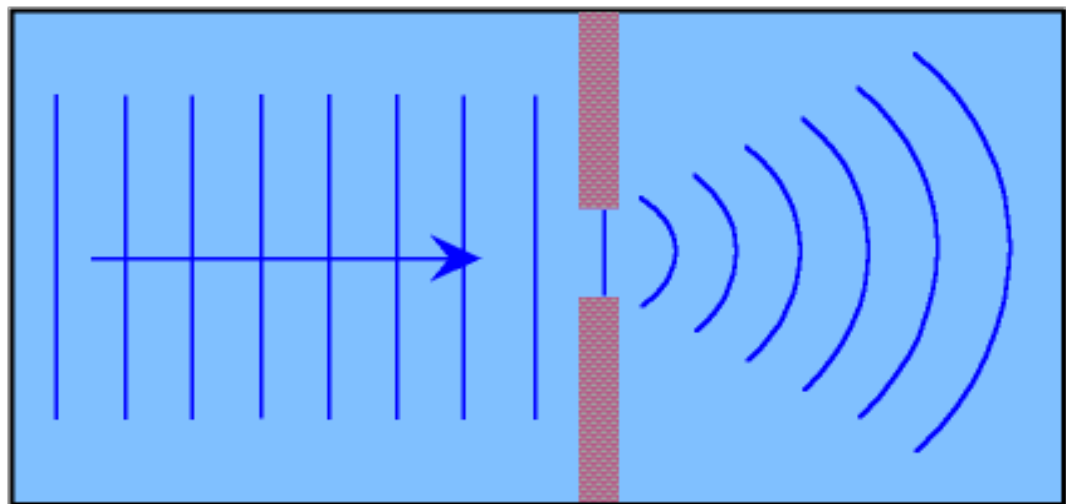
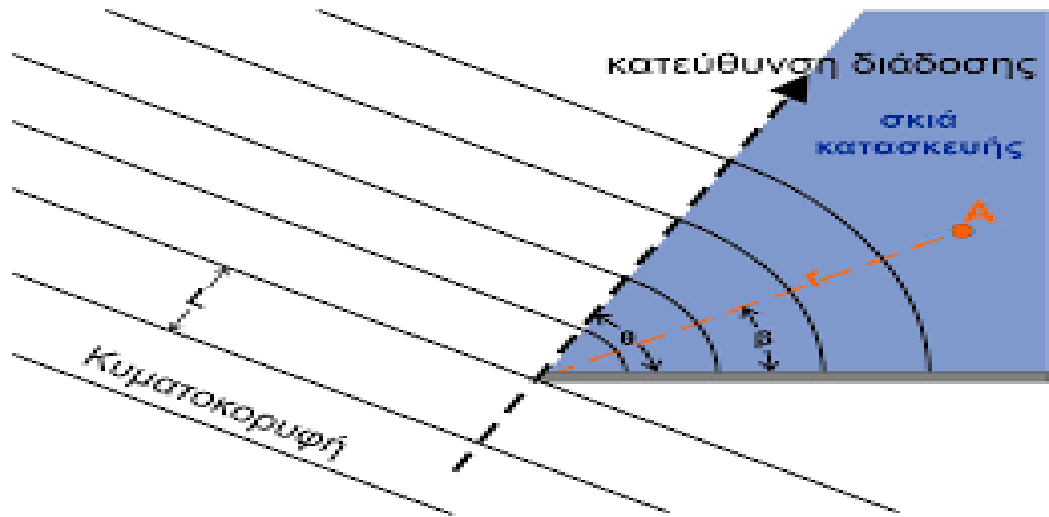
Το φαινόμενο διάθλασης δημιουργείται στην περίπτωση της αλλαγής της κατεύθυνσης των κυματισμών λόγω της αλλαγής της μετάδοσης του κύματος σε διαφορετικού βάθους .



Διάγραμμα 35: Αλλαγή διεύθυνσης των ορθογώνιων κυματισμών σε παράλληλες ισοβαθείς. (Καραμπάς, 2015)

6.1.3 Περίθλαση

Το φαινόμενο της περίθλασης προκαλείται όταν το κύμα προσπίπτει σε φυσικό ή τεχνητό εμπόδιο και η ενέργεια που μεταφέρεται από τον κυματισμό μεταδίδεται στην σκιά της κατασκευής με αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού το αρχικό ύψος του κύματος μειώνεται και η κατεύθυνση του να αλλάζει.



Διαγράμματα 36,37 : Απεικονίσεις των περιθλάσεων των προσπίπτων κυματισμών πίσω από τους κυματοθραύστες. (Λουκογεωργάκη,2019)

6.1.4 Θραύση

Το φαινόμενο θραύσης έχει σημαντικό ρολό στις διεργασίες της παράκτιας ζώνης όπως είναι η στερεομεταφορά, η παράκτια μορφοδυναμική κ.α.

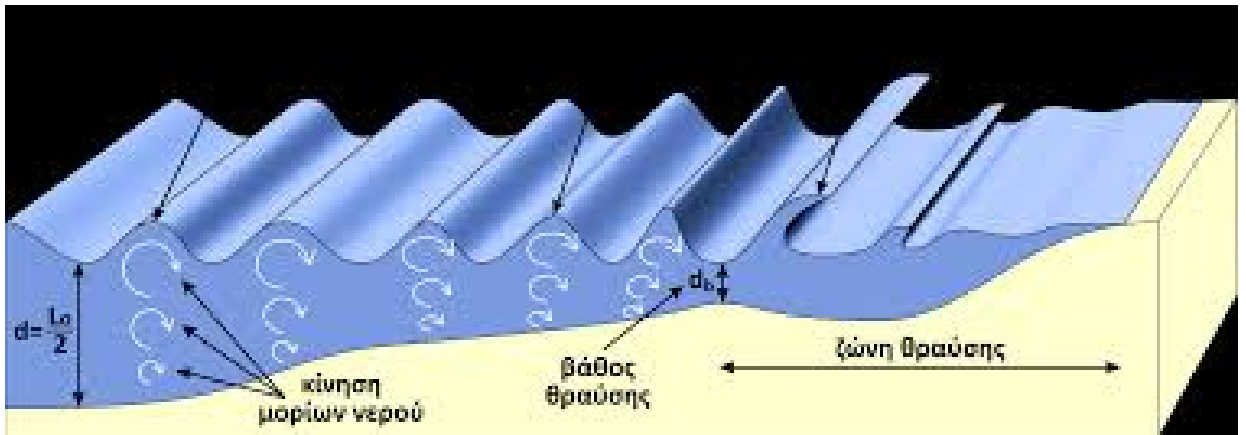
Δημιουργείται η θραύση όταν το πηλίκο του ύψος κύματος σε σχέση με το μήκος κύματος στο συγκεκριμένο βάθος που εξετάζεται να υπερβεί το επιτρεπόμενο όριο.

Στα βαθιά νερά η θραύση των κυματισμών υπολογίζεται :

$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{1}{7}$$

Στα ρηχά νερά:

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{7} \tanh(2kd)$$



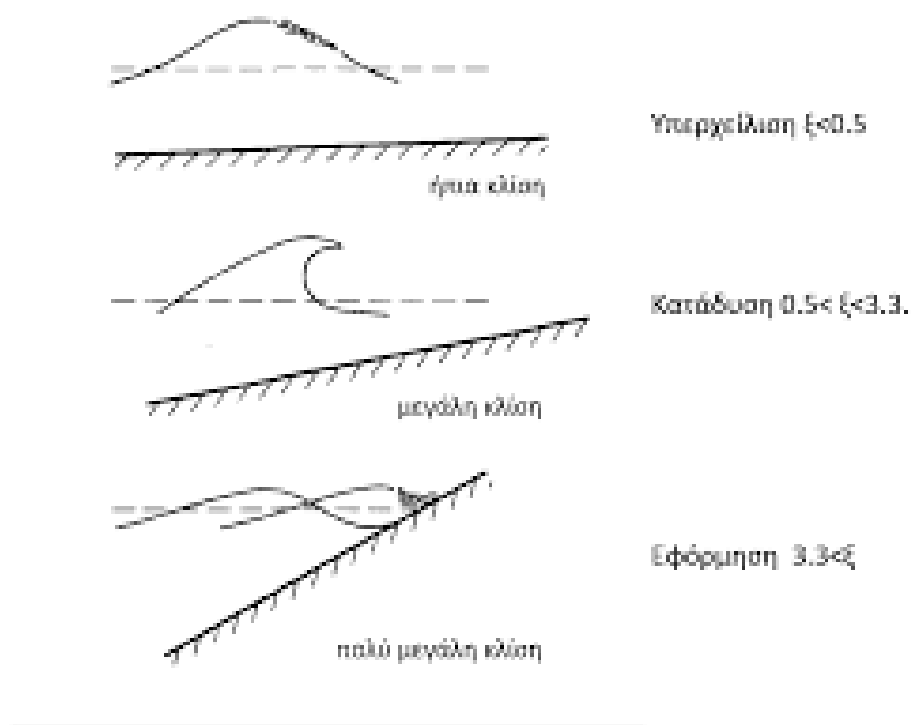
Διάγραμμα 38: Θραύση και αναρρίχηση του κυματισμού στην ακτή. (Καραμπάς, 2019)

Τύπος για την παράμετρο Iribaren: $\xi = \frac{\tan\beta}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}}$

Όπου $\tan\beta$ είναι η κλίση του πυθμένα

H_0 : το ύψος κύματος στα βαθιά νερά

L_0 : το μήκος κύματος στα βαθιά νερά



Διάγραμμα 39: Τύποι θραυόμενων κυματισμών. (Κουτίτας,1998).

Μορφές θραυόμενων κυματισμών ανάλογα της παραμέτρου Iribaren ξ :

1. Θραύση Κυλίσεως-Υπερχείλισης:

Ο κυματισμός εμφανίζει μικρή κλίση κύματος σε ακτές με μικρή κλίση όπου όταν θραύονται παρατηρείται έντονος αφρός και τύρβη στην κατάντη παρειά τους και μέχρι να μηδενιστεί όλη η ενέργειά τους

2. Θραύση Εκτινάξεως- Κατάδυσης:

Ο πυθμένας έχει μεγαλύτερες κλίσεις με αποτέλεσμα δημιουργίας κοιλότητας στην κατάντη παρειάς και κατάδυση στην κορυφή του κύματος προς τα εμπρός.

3. Θραύση Εφόρμησης:

Η ακτή παρουσιάζει πολύ μεγάλη κλίση και ο κυματισμός που θραύεται σε αυτήν ανέρχεται και κατέρχεται.

7 Μεθοδολογία έρευνας

Το παραλιακό μέτωπο που θα εξεταστεί είναι η *Υποπεριοχή 2* όπου βρίσκεται στα διοικητικά όρια Λάρνακας- Ορόκλινης.

Κατά τα τέλη του 19 αιώνα διαπιστώθηκε φαινόμενα διάβρωσης λόγω των τουριστικών κατασκευών κατά μήκος της ακτογραμμής τα όποια διαφοροποίησαν το υδροδυναμικό σύστημα της περιοχής.

Το συνολικό μήκος της *Υποπεριοχής 2* υπολογίζεται στο 1 χιλιόμετρο και εκτείνεται από τα όρια Λάρνακας-Ορόκλινης μέχρι τον κάθετο κυματοθραύστη του ξενοδοχείου << Lebay >>.

Η παράλια αποτελείται από βότσαλα, με περιστασιακά παρουσίας αμμώδης επιφανείας. Στο τμήμα αυτό της παραλίας χρησιμοποιείται το καλοκαίρι κατά από τους λουόμενους.

Φωτογραφία:



Διάγραμμα 40 : Το παραλιακό μέτωπο της Υποπεριοχής 2.

<https://www.google.com/maps/place/%CE%9F%CF%81%CF%8C%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BD%CE%B7/@34.9526755,33.6543786,1285m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x14de28da64d963ff:0xc823ad927c8a182b!8m2!3d34.9876126!4d33.6567371>

Χρησιμοποίηση το μήκος αναπτύγματος που συσχετίζει την γραμμική διάσταση του θαλασσιού πεδίου από ακτή σε ακτή κατά μήκος της οπού ασκείται το κύμα.

Το ισοδύναμο μήκος ανάπτυξης υπολογίζεται ως:

$$F_{eff} = \frac{\sum_{i=-N}^N Fi(\cos ai)^2}{\sum_{i=-N}^N \cos(ai)}$$

7.1 Μαθηματικό Μοντέλο Επίλυσης με την βοήθεια του Προγράμματος MIKE ZERO

Σκοπός της χρήσης του προγράμματος είναι η διερεύνηση της μεταβολής της ακτογραμμής στην περιοχή Ορόκλινης της επαρχίας Λάρνακας, και συγκεκριμένα στην Υποπεριοχή 2, με χρήση του μαθηματικού ομοιώματος εξέλιξης ακτογραμμής.

Αρχικά γίνεται προσομοίωση της μεταβολής της ακτογραμμής προκειμένου να βαθμονομηθεί το μαθηματικό ομοίωμα και να ρυθμιστούν οι παράμετροι του.

Επίσης, αναλύεται η επίδραση που έχουν στην εξέλιξη της ακτογραμμής μια σειρά από προτεινόμενα έργα (αποσπασμένοι κυματοθραύστες).

Για όλες τις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MIKE ZERO.

Το υπολογιστικό εργαλείο του Mike Zero αποτελείται από δύο κύρια μέρη:

α. Υδροδυναμικό μοντέλο.

β. Μοντέλο στερεομεταφοράς βάσει των οποίων γίνεται ο υπολογισμός της στερεομεταφοράς μη συνεκτικού ιζήματος που λαμβάνει κατά μήκος μια διατομής εγκάρσια σε μία ακτογραμμή.

Στο μοντέλο δίνονται δεδομένα εισόδου τα όποια είναι η βαθυμετρία υπό την μορφή εγκάρσιας τομής στην ακτογραμμή, οι συντελεστές τριβής πυθμένα, η κοκκομετρική διαβάθμιση του ιζήματος, η στάθμη της θάλασσας, ύψος κύματος, περίοδος γωνία προσπτώσεως κυματισμού για ένα βάθος, ταχύτητες ρευμάτων, ταχύτητα ανέμου.

Το *Boussinesq wave model* είναι ένα βασικό αριθμητικό εργαλείο για τις μελέτες και τις αναλύσεις των αλλαγών των κυματισμών σε λιμένες ή σε παράκτιες περιοχές.

Το μοντέλο Mike 21 BW περιλαμβάνει δυο μοντέλα:

- 2DH Boussinesq Wave Module.
- 1DH Boussinesq Wave Module.

Τα φαινόμενα που λαμβάνουν υπόψη τα μοντέλα αυτά είναι:

- Η Ρήχωση.
- Η Διάθλασης.
- Των τάσεων τριβής πυθμένα.
- Θραύσεως κυματισμού.
- Φασματικής περιγραφής κυματισμού.
- Επίδρασης ανέμου.
- Αλληλεπίδρασης ρευμάτων κυματισμών.

Το 2DH Boussinesq Wave Module καλύπτει δύο οριζόντιες συντεταγμένες σε σχέση με το 1DH Boussinesq Wave Module που είναι για μια οριζόντια συντεταγμένη.

Τα δυο μοντέλα λύνουν τις εξισώσεις Boussinesq χρησιμοποιώντας μια ροή από βελτιωμένες χαρακτηριστικές τιμές συχνότητας. Τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της διασποράς του μη διερχόμενου γραμμικού κύματος από βαθιά σε ρηχά νερά

Οι εφαρμογές του μοντέλου 2DH Boussinesq Wave Module περιλαμβάνει:

- Τον προσδιορισμό των διακυμάνσεων των κυμάτων που προκαλείται από των ανεμογενών κυμάτων.
- Τις αναλύσεις των χαμηλών συχνότητας διάδοσης κυματισμών που προκαλούνται από την ορμή προσπίπτων γραμμικών ή μη γραμμικών κυμάτων.
- Τον μετασχηματισμό του κύματος σε παράκτιες περιοχές, όπου η διάθλαση και η περίθλαση είναι σημαντικά φαινόμενα

Οι εφαρμογές του μοντέλου 1DH Boussinesq Wave Module περιλαμβάνει:

- Τον υπολογισμό του μετασχηματισμού των μη γραμμικών κυμάτων από βαθιά νερά μέσα από τη ζώνη θραύσης μέχρι στην παραλία
- Την ανάλυση των παραγόμενων κυμάτων χαμηλής συχνότητας
- Την ανάλυση των προσπίπτων κυματισμών, των γεωλογικών χαρακτηριστικών του βυθού –παραλίας.

7.1.1 Βασικές εξισώσεις του μοντέλου 2DH Boussinesq Wave Module

Το Boussinesq Wave Module του MIKE 21 BW λύνει τις εξισώσεις Boussinesq που εκφράζονται είτε σε μια οριζόντια συντεταγμένη ή είτε σε δυο οριζόντιες συντεταγμένες από την ελεύθερη επιφάνεια ανύψωσης της θάλασσας και το βάθος, την ταχύτητα, την σύσταση του εδάφους και τις πυκνότητες P, Q.

Εξισώσεις του μοντέλου Boussinesq:

Εξίσωση συνέχειας:

$$n \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0$$

Ορμή κίνησης στον άξονα x:

$$n \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial \alpha x}{\partial x} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial y} + F_x$$

$$n^2 gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + n^2 P \left[\alpha + \beta \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{h} \right] + \frac{gP \sqrt{P^2 + Q^2}}{h^2 C^2} + n \Psi_1 = 0$$

Ορμή κίνησης στον άξονα y:

$$n \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial R_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + F_y$$

$$n^2 gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + n^2 Q \left[\alpha + \beta \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{h} \right] + \frac{gQ \sqrt{P^2 + Q^2}}{h^2 C^2} + n \Psi_2 = 0$$

Όπου οι όροι Ψ_1 και Ψ_2 υπολογίζονται από τις πιο κάτω σχέσεις:

$$\Psi_1 \equiv -\left(B + \frac{1}{3}\right) d^2 + (P_{xxt} + Q_{xyt}) - nBgd^3(\xi_{xxx} + \xi_{xyy})$$

$$-dd_x \left(\frac{1}{3} P_{xt} + \frac{1}{6} Q_{yt} + nBgd(2\xi_{xx} + \xi_{yy}) \right) - dd_y \left(\frac{1}{6} Q_{xt} + nBgd\xi_{xy} \right)$$

$$\Psi_2 \equiv -\left(B + \frac{1}{3}\right) d^2 + (P_{xyt} + Q_{yyt}) - nBgd^3(\xi_{yyy} + \xi_{xxy})$$

$$-dd_y \left(\frac{1}{3} Q_{yt} + \frac{1}{6} P_{xt} + nBgd(2\xi_{yy} + \xi_{xx}) \right) - dd_x \left(\frac{1}{6} P_{yt} + nBgd\xi_{xy} \right)$$

Οι σημασίες των συμβόλων είναι :

$$P = \text{Πυκνότητα ροής στην διεύθυνση } x, \left(\frac{m^3}{s/m} \right),$$

$$Q = \text{Πυκνότητα ροής στην διεύθυνση } y, \left(\frac{m^3}{s/m} \right)$$

B= Παράγοντας διασποράς του μοντέλου

F_x =Οριζόντια δύναμη στην διεύθυνση x

$$F_x = -\left(\frac{\partial}{\partial x} \left(v_t \frac{\partial P}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t \left(\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial Q}{\partial x} \right) \right),$$

F_y = Οριζόντια δύναμη στην διεύθυνση y

$$F_y = -\left(\frac{\partial}{\partial y} \left(v_t \frac{\partial Q}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t \left(\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial Q}{\partial x} \right) \right)$$

v_t = κινηματικό ιξώδες

x,y= καρτεσιανές συντεταγμένες(m) ,t= ο χρόνος(sec),

h=συνολικό βάθος του βυθού (d+ξ)(m),

d=βάθος νερού (m)

g=επιτάχυνση βαρύτητας (=9,81 m³/s)

n =πορώδες

C =συντελεστής ασφάλειας, $\frac{m^{0,5}}{s}$

α = Συντελεστής συνάφειας για τη ροή σε πορώδη

β = Συντελεστής συνάφειας για τυρβώδη ροή σε πορώδη

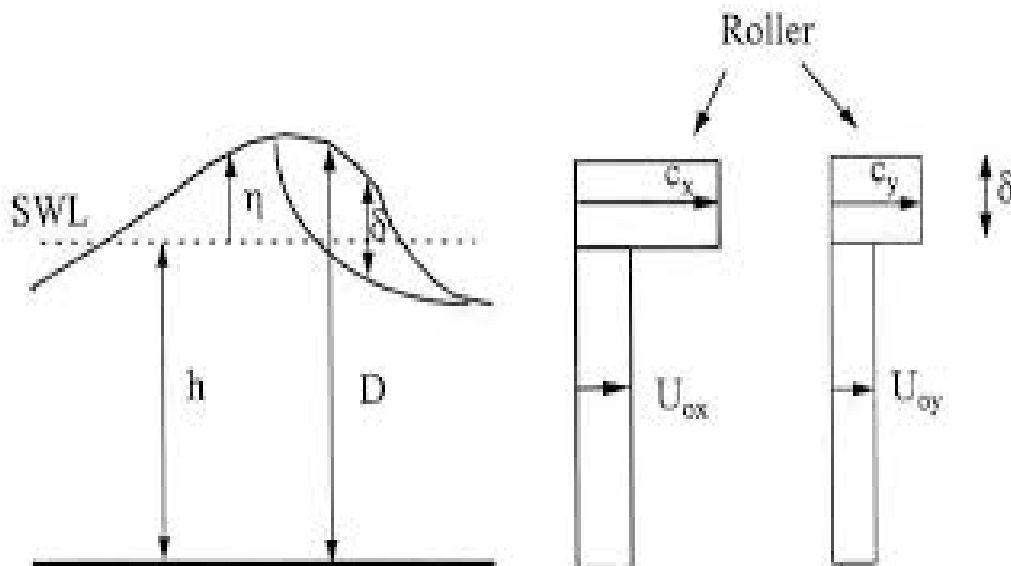
ξ = στάθμης της επιφάνειας νερού πάνω από το σημείο αναφοράς(m)

Οι όροι που σημειώνονται R_{xx}, R_{xy}, R_{yy} λαμβάνουν υπόψη της ορμής για μη ομοιόμορφη κατανομή ταχύτητας ορίζονται από τις πιο κάτω εξισώσεις:

$$R_{xx} = \frac{\delta}{1-\frac{\delta}{d}} \left(c_x - \frac{P}{d} \right)^2$$

$$R_{xy} = \frac{\delta}{1-\frac{\delta}{d}} \left(c_x - \frac{P}{d} \right) \left(c_y - \frac{Q}{d} \right)$$

$$R_{yy} = \frac{\delta}{1-\frac{\delta}{d}} \left(c_y - \frac{P}{d} \right)^2$$



Διάγραμμα 41: Η διατομή ενός κύματος θραύσης σε ένα υποτιθέμενο κατακόρυφο προφίλ των οριζόντιων ταχυτήτων των σωματιδίων του κύματος. (MIKE 21 Boussinesq Wave Module Scientific Documentation, 2017).

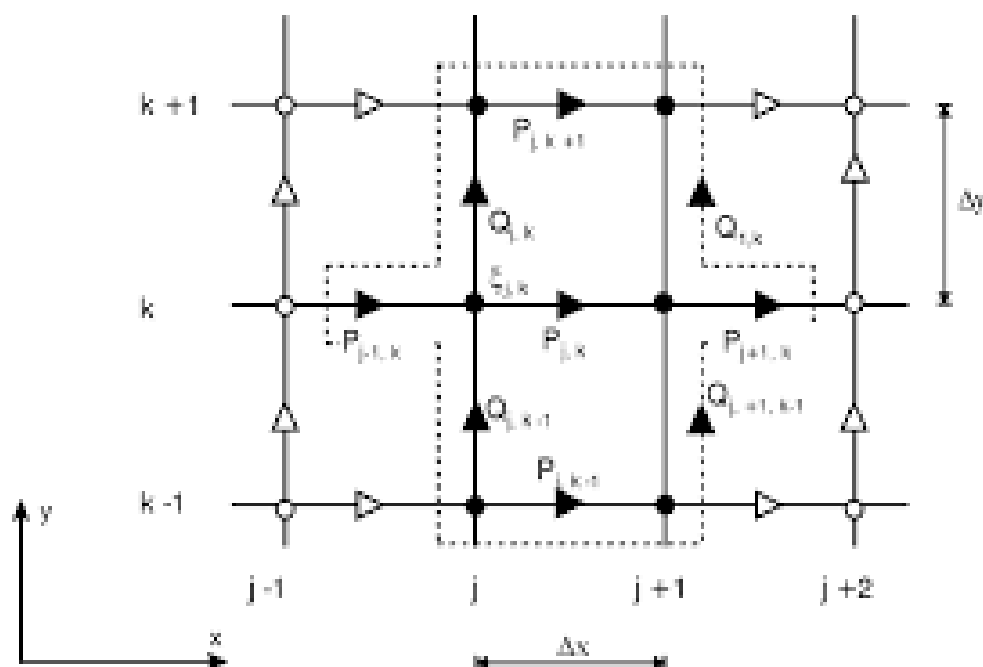
$$(C_x, C_y) = (c \cdot \cos\theta, c \cdot \sin\theta)$$

$$c = 1,3 \sqrt{gh}$$

7.1.1 2DH Boussinesq Wave Module

Η αριθμητική μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι βασισμένη στο ίδιο αριθμητικό σχεδιάγραμμα με το MIKE 2 Flow Model που υλοποιήθηκε από τον Abbott et al (1973) και επεκτάθηκε με το μοντέλο των κυματισμών από τον Abbott et al (1978). Μετέπειτα, το σχεδιάγραμμα έχει εξελιχτεί από τους Madsen et al (1991), Madsen και Sorensen (1992).

Οι διαφορετικές εξισώσεις σπάνια διακρίνονται από ένα ορθογώνιο, κλιμακωτό πλέγμα όπως απεικονίζεται στο σχήμα. Τα βαθμωτά ποσοτικά όρια όπως είναι η ανύψωση της επιφάνειας του νερού καθορίζεται στους κόμβους των οριζόντων, καθώς τα συστατικά ροής καθορίζονται κατά το ήμισυ της διαδρομής μεταξύ γειτονικών κόμβων στις σχετικές διαστάσεις.



Διάγραμμα 42: Κλιμακωτό πλέγμα στο δισδιάστατο επίπεδο.

(MIKE 21 Boussinesq Wave Module Scientific Documentation, 2017).

7.1.2 Βασικές εξισώσεις του μοντέλου 1DH Boussinesq Wave Module

Εξίσωση συνέχειας:

$$n \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0$$

$$n \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{h} \right) + \frac{\partial R_{xx}}{\partial y} + n^2 gh \frac{\partial \xi}{\partial y} \equiv -n \left(B + \frac{1}{3} \right) d^2 \frac{\partial^3 P}{\partial x \partial x \partial t} - \frac{1}{3} d \frac{\partial d}{\partial x} \frac{\partial^2 P}{\partial x \partial t} - n^2 Bgd^2 \frac{\partial w}{\partial x}$$

$$+ n^2 P \left[\alpha + \beta \frac{|P|}{h} \right] + \frac{gP|P|}{h^2 C^2} = 0$$

$$W = \frac{\partial}{\partial x} \left(d \frac{\partial \xi}{\partial x} \right)$$

7.2 Επεξήγηση της διαδικασίας

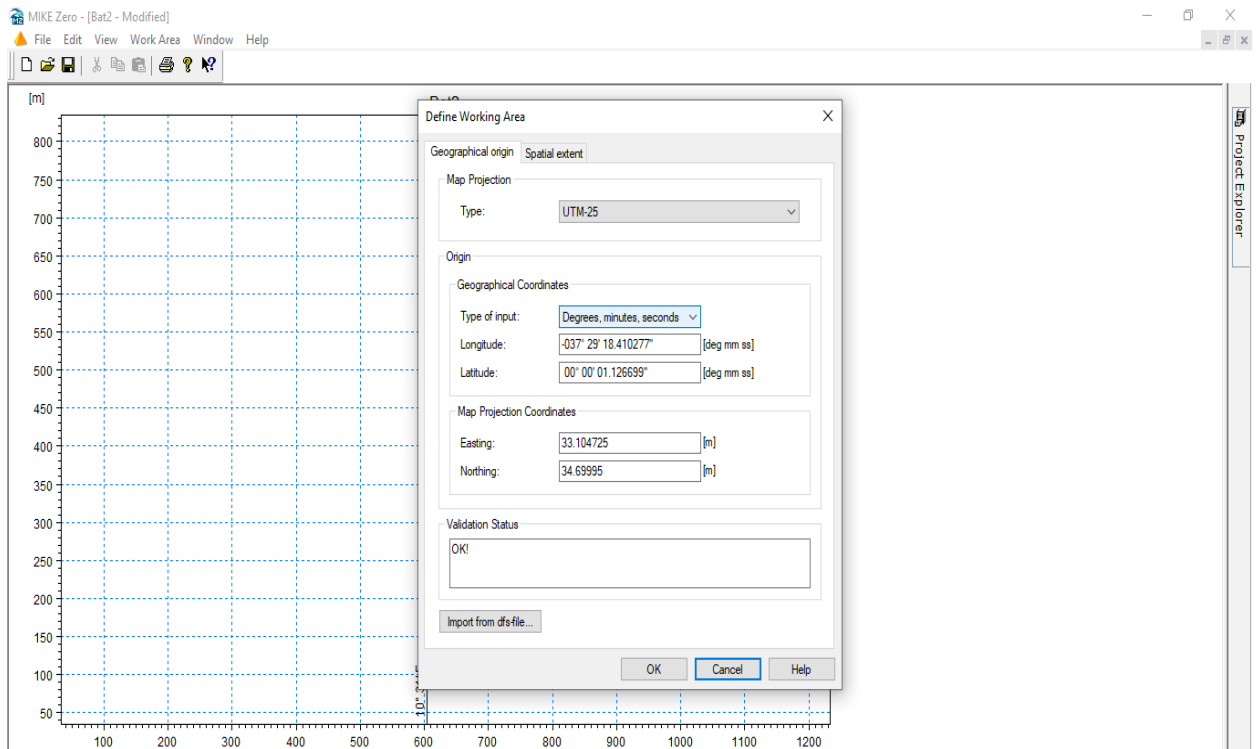
Η πιο σημαντική παράμετρος για τον σωστό υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής είναι ο προσδιορισμός της θέσης της στο πρόγραμμα MIKE ZERO, όσο το δυνατόν ακριβέστερος.

Οι πιο συνηθισμένες πηγές για την απόκτηση των δεδομένων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες είναι από: αεροφωτογραφίες, χάρτες, διαγράμματα παράκτιων εκτάσεων (Δουκάκης, 2007a).

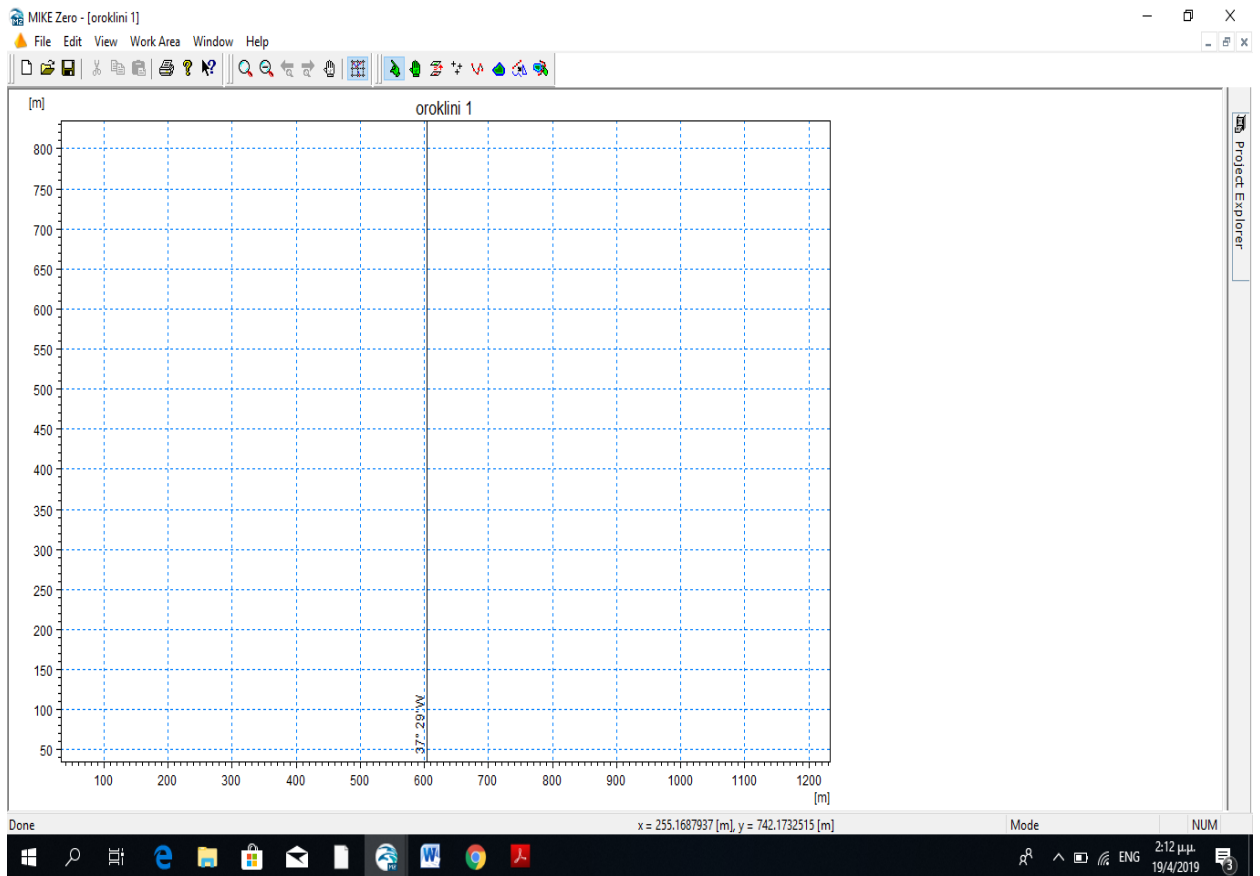
Με την παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη συλλογή, επεξεργασία των δεδομένων με την βοήθεια τα γεωμορφολογικά και ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά της παράκτιας περιοχής της Ορόκλινης.

Για την δημιουργία βαθυμετρίας της περιοχής χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MIKE ZERO.

Ανοίγοντας το πρόγραμμα καθόρισα τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής που της εντόπισα με την βοήθεια του προγράμματος Google maps και το είδος της προβολής που θα έχει χάρτης <<UTM-25>>.



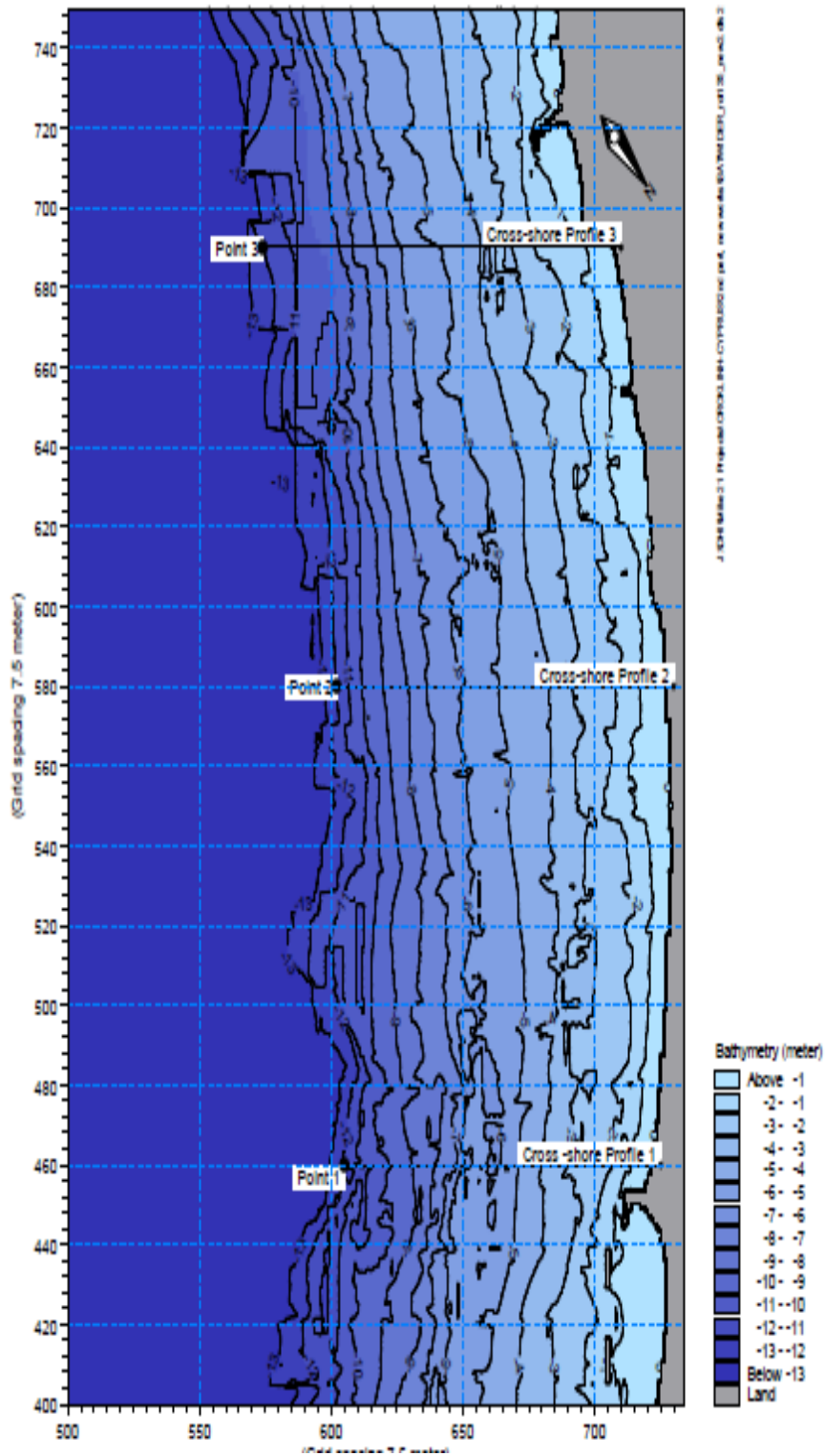
Διάγραμμα 43 : Καθορισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων της περιοχής.



Διάγραμμα 44 : Προσανατολισμός της ακτογραμμής της περιοχής Ορόκλινης.

Το επόμενο βήμα ήταν να προσδιορίσω της συντεταγμένες xyz σε ένα αρχείο ώστε να μπορώ να τις δηλώσω στο πρόγραμμα. Με την παρακάτω εικόνα σχημάτισα ένα καννάβο ώστε να βρω τα βάθη σε συγκεκριμένα σημεία.

Κατέγραψα τις συντεταγμένες σε αρχείο XYZ File ώστε να μπορώ να τις εισαγάγω στο πρόγραμμα MIKE ZERO.Στον άξονα x κατέγραφα σημεία κατά 10 m ,ξεκινώντας από το σημείο στα 600 m λόγω ότι στο σημείο αυτό ξεκίνα η αλλαγή του βάθους του βυθού. Στον άξονα y κατέγραφα σημεία κατά 20 m ξεκινώντας από το σημείο στα 400 m.



Διάγραμμα 45 : Συντεταγμένες και βαθυμετρία της παραλίας << Ορόκλινης >>.

Πίνακας 3: Συντεταγμένες και βαθυμετρία της παραλίας << Ορόκλινης >>

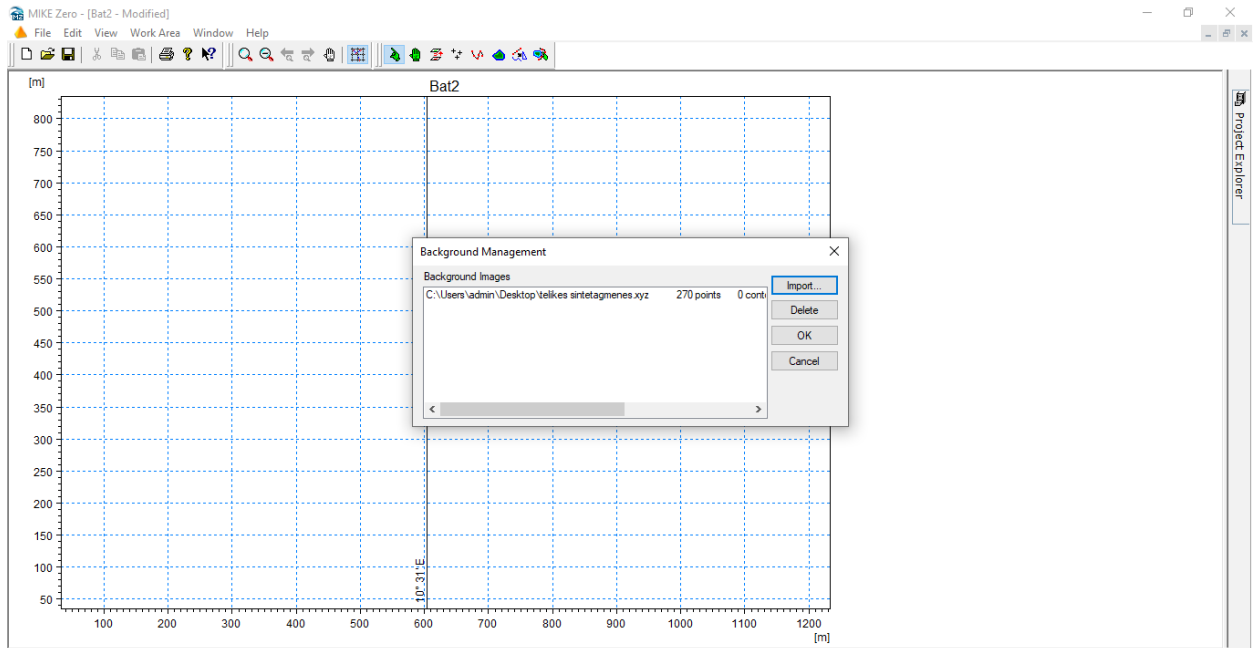
X	Y	Z
600	400	-11
600	420	-11
600	440	-11
600	460	-12,9
600	480	-13
600	500	-12
600	520	-11
600	540	-12,4
600	560	-12
600	580	-12
600	600	-11,5
600	620	-11,5
600	640	-10,5
600	660	-10
600	680	-9,5
600	700	-8,4
600	720	7,8
600	740	-6,8
610	400	-9,8
610	420	-9,8
610	440	-10

610	460	-11
610	480	-11,5
610	500	-11
610	520	-10,5
610	540	-11,1
610	560	-11
610	580	-10
610	600	-10
610	620	-10
610	640	-9
610	660	-8,5
610	680	-8,2
610	700	-7,5
610	720	-6,8
610	740	-6
620	400	-8,5
620	420	-8,8
620	440	-10
620	460	-10
620	480	-10
620	500	-9,5
620	520	-9
620	540	-9,5
620	560	-9
620	580	-8,9

620	600	-8,5
620	620	-8
620	640	-7,5
620	660	-7
620	680	-6,9
620	700	-7
620	720	-5,5
620	740	-5
630	400	-7,5
630	420	-8,2
630	440	-9
630	460	-9
630	480	-9
630	500	-8
630	520	-8,2
630	540	-8,5
630	560	-8
630	580	-7,9
630	600	-7,5
630	620	-7
630	640	-6,5
630	660	-6
630	680	-5,9
630	700	-5,5
630	720	-5

630	740	-4,8
640	400	-6
640	420	-7
640	440	-7
640	460	-7,8
640	480	-8,2
640	500	-7,2
640	520	-7,2
640	540	-7,2
640	560	-6,8
640	580	-6,5
640	600	-6,2
640	620	-6
640	640	-5,5
640	660	-5
640	680	-5,1
640	700	-4,5
640	720	-4,1

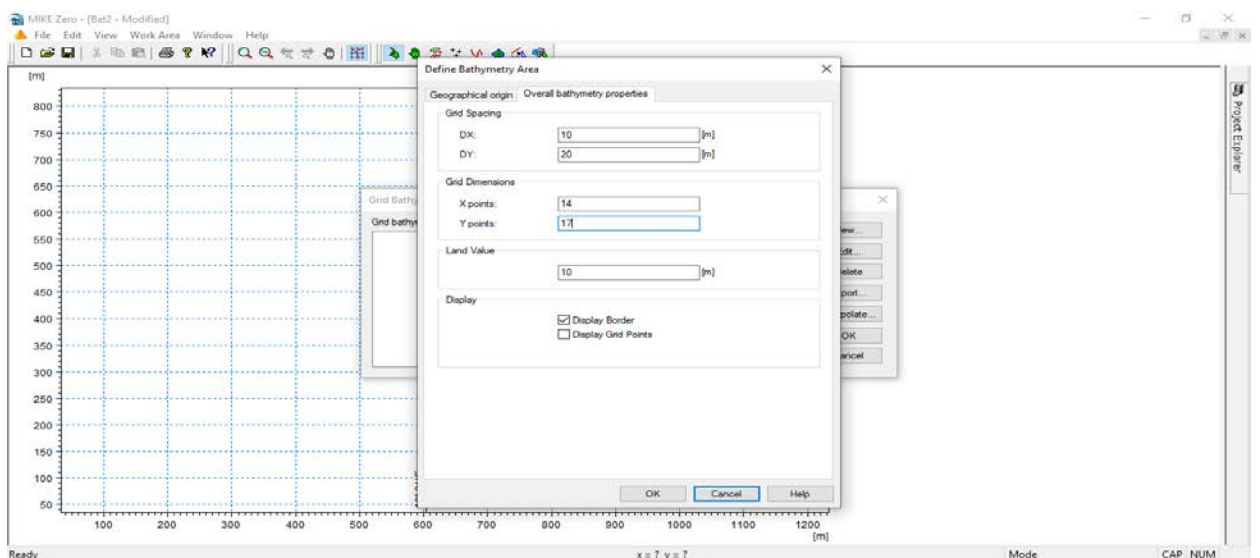
Το επόμενο βήμα ήταν να εισάγω στο πρόγραμμα το xyz file με την διαδικασία Work Area →Background Management→Import.



Διάγραμμα 46: Συνοπτική διαδικασία για τον προσδιορισμό της Βαθυμετρίας.

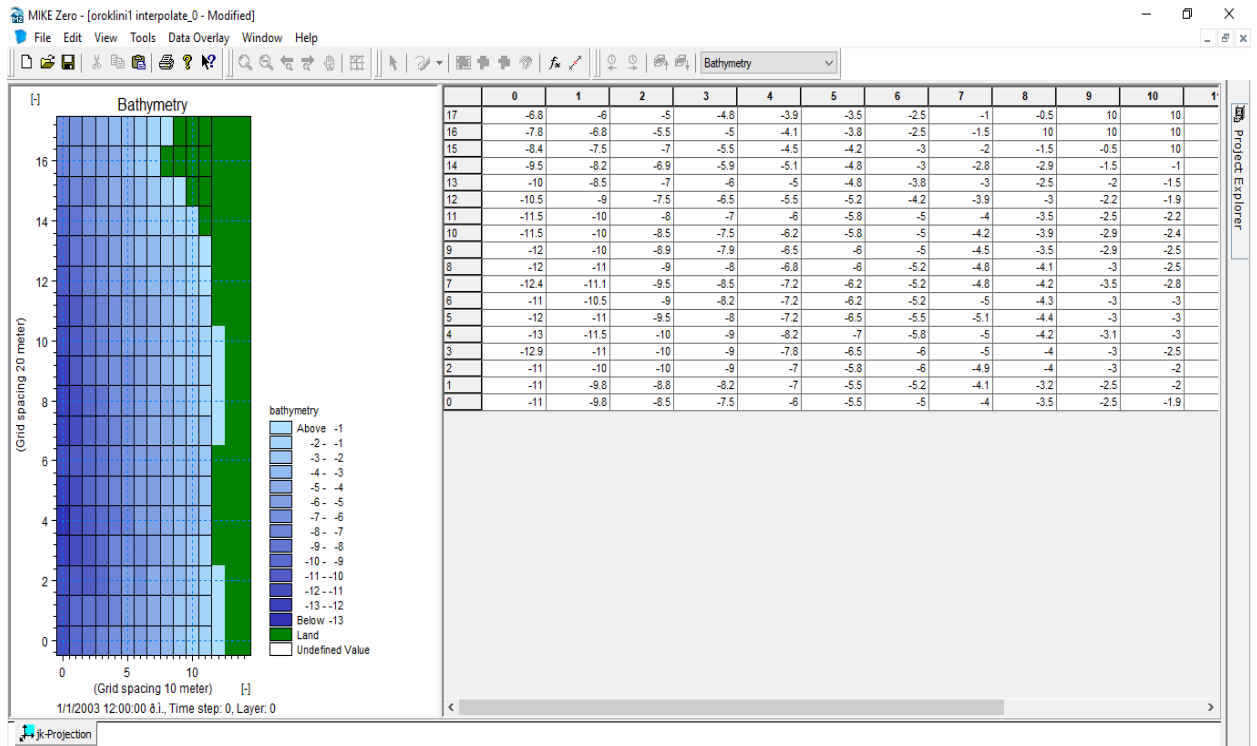
Στην συνέχεια προσδιορίζω την βαθυμετρία με την διαδικασία Work Area→Grid Bathymetry Management→New.

Καθορίζω τα διαστήματα που θα έχουν στους άξονες και των αριθμών σημείων στις διδιάστατες συντεταγμένες. Επίσης, το πρόγραμμα MIKE ZERO θα ανιχνεύει το έδαφος στην τιμή 10.



Διάγραμμα 47: Καθορισμός των διαστημάτων στους άξονες και των αριθμών σημείων στις διδιάστατες συντεταγμένες.

Ακόμη, με το εργαλείο Import from Background επέλεξα τα σημεία που με ενδιαφέρουν στην μελέτη και μετέπειτα με τις οδηγίες του MIKE ZERO ακολούθησα την διαδικασία Work Area→Grid Bathymetry Management →Interpolate. Τέλος, το πρόγραμμα το αποθήκευσα και άνοιξα ένα νέο αρχείο όπου τοποθέτησα την βαθυμετρία μέσα σε αυτό.



Διάγραμμα 48 : Διαμόρφωση της βαθυμετρίας.

8 Εφαρμογές- Αποτελέσματα

Για την συγκεκριμένη Υποπεριοχή 2 διαπιστώνεται ότι υπάρχουν ανεμογενείς κυματισμοί όπου θα πρέπει να υπολογιστούν .

Ακόμη, πρέπει να διαγνωστεί το ύψος κύματος και την περίοδο κύματος με βάση τη μετεωρολογική πρόγνωση και της θέσης της ακτής .

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα μετρήθηκε η απόσταση από την Υποπεριοχή 2 μέχρι την Βηρυτό για τον καθορισμό του μήκους αναπτύγματος του νότιου ανέμου.

Λεδομένα Μελέτης

Πίνακας 4: Υπολογισμός του μήκους αναπτύγματος του νότιου ανέμου.

A	radians	Cosa	(cosa) ²	Fi	Fi*(cosa) ²
-45	-0,7854	0,707107	0,5	277,88	138,94
-40	-0,69813	0,766044	0,586824	269,65	158,2371
-35	-0,61087	0,819152	0,67101	261,42	175,4155
-30	-0,5236	0,866025	0,75	253,19	189,8925
-25	-0,43633	0,906308	0,821394	244,96	201,2086
-20	-0,34907	0,939693	0,883022	236,73	209,0379
-15	-0,2618	0,965926	0,933013	228,5	213,1934
-10	-0,17453	0,984808	0,969846	220,27	213,628
-5	-0,08727	0,996195	0,992404	212,04	210,4293
0	0	1	1	203,81	203,81
5	0,087266	0,996195	0,992404	223,81	222,1099
10	0,174533	0,984808	0,969846	243,81	236,4582
15	0,261799	0,965926	0,933013	263,81	246,1381
20	0,349066	0,939693	0,883022	283,81	250,6105
25	0,436332	0,906308	0,821394	303,81	249,5477
30	0,523599	0,866025	0,75	323,81	242,8575

35	0,610865	0,819152	0,67101	343,81	230,7
40	0,698132	0,766044	0,586824	363,81	213,4925
45	0,785398	0,707107	0,5	383,81	191,905
		16,90251	15,21503		3997,612

Χρησιμοποίηση το μήκος αναπτύγματος που συσχετίζει την γραμμική διάσταση του θαλασσιού πεδίου από ακτή της α σε ακτή κατά μήκος της οπού ασκείται το κύμα.

Το ισοδύναμο μήκος ανάπτυξης υπολογίζεται ως:

$$F_{eff} = \frac{\sum_{i=-N}^N Fi(\cos ai)^2}{\sum_{i=-N}^N \cos(ai)}$$

$$F_{eff} = \frac{3997.612}{16.90251} = 236.51 \text{ km}$$

Πρόγνωση Κυματισμού με Jonswap

$$U_A = 0,71 \cdot 8,5^{1,23} = 9,875 \text{ m/sec}$$

$$\frac{g F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9.81 \cdot 236.51 \cdot 10^3}{9.875^2} = 23793 > 22800$$

$$\frac{g t_D}{U_A^2} > 68.8 \left(\frac{g F_{eff}}{U_A^2} \right)^{0.66}$$

$$\frac{9.81 \cdot 8 \cdot 3600}{9.875} > \left(\frac{9.81 \cdot 236.51 \cdot 10^3}{9.875^2} \right)^{0.66} = 28610 < 53216$$

Αν δεν ΙΣΧΥΕΙ η ισότητα: (ανάπτυξη κυματισμών σε συνθήκες περιορισμένης διάρκειας) τότε επιλύεται η ίδια εξίσωση σαν ισότητα για τον υπολογισμό νέου F:

$$F = \frac{U_A^2}{g} \left(\frac{g t_D}{U_A} \right)^{1.5} = 84296$$

κατόπιν θέτουμε $x=F$ (αυτό που έχει υπολογιστεί) και εφαρμόζουμε πάλι τις σχέσεις:

$$X = 84296$$

$$\frac{g H_s}{U_A^2} = 0.0016 \left(\frac{9.81 \cdot 84296}{9.875^2} \right)^{0.5} \rightarrow \frac{9.81 H_s}{9.875^2} = 0.147 \rightarrow H_s = 1.46 \text{ m.}$$

$$\frac{g T_p}{U_A} = 0.286 \left(\frac{g F_{\text{eff}}}{U_A^2} \right)^{0.33} \rightarrow \frac{9.81 T_p}{9.875} = 0.286 \left(\frac{9.81 \cdot 84296}{9.875^2} \right)^{0.33} \rightarrow T_p = 5.8 \text{ sec.}$$

Φαινόμενα που θα παρατηρούνται στην θαλάσσια ζώνη της Ορόκλινης και πρέπει να υπολογιστούν:

- **Ρήγωση.**
- **Διάθλαση.**
- **Θραύση.**

Με δεδομένα της μελέτης θα υπολογίσω τους συντελεστές της ρήγωσης και διάθλασης ώστε να βρω το ύψος κύματος στο συγκεκριμένο σημείο που θα υπάρξει με τα φαινόμενα αυτά.

Λεδομένα κύματος στα βαθιά (Θέση 1) :

Βάθος βυθού $z, z=10\text{m}$

Περίοδος κύματος $T= 5,8 \text{ sec.}$

Ύψος κύματος $H_0 = H_s = 1,46 \text{ m.}$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9,81 \cdot (5,8)^2}{2 \cdot 3,14} = 52,52 \text{ m}$$

$$m = \frac{\Delta\psi}{\Delta\chi} = \frac{(740-400)}{740-600} = \frac{340}{140} = 2,4 \%$$

Απόσταση $x = 140 \text{ m.}$

Θέση 2:

$$d_2 = 10 - 0.024 \cdot 140 = 6.64 \text{ m.}$$

$$\frac{d_2}{L_0} = \frac{6.64 \text{ m}}{52.52 \text{ m}} = 0.126$$

$$\frac{d_2}{L_2} = 0.16 \rightarrow L_2 = 41.5 \text{ m.}$$

Ο συντελεστής ρηχότητας (K_S) υπολογίζεται:

$$K_S = \sqrt{\frac{n_1 L_1}{n_2 L_2}} = \sqrt{\frac{0,5 * 52,52}{0,77 * 41,5}} = \mathbf{0,906}$$

$$n_2 = 0,5 \left(1 + \frac{2 \frac{2\pi}{L_2} d_2}{\sinh(2 \frac{2\pi}{L_2} d_2)} \right) = \mathbf{0,77}$$

Ο συντελεστής διάθλασης (K_R) υπολογίζεται :

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2}} = \sqrt{\frac{\cos 50}{\cos 37,25}} = \mathbf{0,9}$$

$$\Phi_1 = 90 - 40 = 50^\circ$$

$$\Phi_2 = \sin^{-1} \left(\frac{L_2}{L_1} \sin\varphi_1 \right) = 37,25$$

$$H_2 = H_0 k_S k_R = \mathbf{1,46 * 0,9 * 0,906 = 1,19 \text{ m.}}$$

Θραύση:

Με το διάγραμμα Goda καθορίζεται το H_b :

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι :

Στάδιο 1:

Με βάση την τιμή του H_0 από πριν, υπολογίζεται το $\frac{H_b}{H_0}$ και μετέπειτα ο υπολογισμός

του H_{bc}

$$\frac{H_0}{gT^2} = \frac{1,19}{9,81 * 5,8^2} = 0,004$$

$$\frac{H_b}{H_0} = 1,25$$

$$H_b = 1,25 * 1,19 = \mathbf{1,5 \text{ m.}}$$

Στάδιο 2:

Από το διάγραμμα Goda με βάση την τιμή του H_b , υπολογισμός του db/H_b άρα υπολογισμός db .

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{1,5}{9,81 \cdot 5,8^2} = 0,005$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,15$$

$$D_b = 1,15 \cdot 1,5 = 1,73 \text{ m.}$$

Υπολογισμός της μεταφοράς φερτών υλών εγκάρσια στις ακτές:

(Θα εμφανιστεί το φαινόμενο διάβρωσης ή πρόσχωσης.)

Δεδομένα μελέτης :

$$D_{50} = 0,12 \text{ mm.}$$

$$H_0 = 1,19 \text{ m}$$

$$T = 5,8 \text{ sec.}$$

$$\gamma_s = 2,65 \text{ t / m}^3$$

$$\gamma_w = 1,00 \text{ t / m}^3$$

$$v = 1,01 \cdot 10^{-6}$$

Για τον υπολογισμό της διάβρωσης ή της πρόσχωσης σε συνάρτηση των κυματικών συνθηκών και της κοκκομετρίας χρησιμοποιήθηκε η σχέση του Dean :

$$F_0 = \frac{H_0}{w_f T} = \frac{1,19}{0,028 \cdot 5,8} = 7,32 > 1 \text{ (Απομάκρυνση της άμμου} \rightarrow \text{Διάβρωση).}$$

$$W_f = g \left(\frac{2,65}{1,00} - 1 \right)^{0,7} \frac{0,00012^{1,1}}{5,8 (1,01 \cdot 10^{-6})^{0,4}} = 0,028 \text{ m / s}$$

Η τελική διάβρωση της ακτής dy_s στην περίπτωση απλής δράσης των κυματισμών, χωρίς δηλαδή να συνοδεύεται από ανύψωση στάθμης, μπορεί να υπολογιστεί από την εμπειρική σχέση:

Σε περίπτωση απλούστερης δράσης των κυματισμών ,χωρίς την σημασία της ανύψωσης της στάθμης, η υποχώρηση της ακτής dy_s μπορεί να υπολογιστεί από σχέση(Hsu,1998):

$$dy_s = 0,4 \xi^{-0,99} L_0 = 1,5 \text{ m.}$$

$$\xi = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} = \frac{2,4}{\sqrt{\frac{1,46}{52,52}}} = 14,4$$

Μέτρηση της αλληλεπίδρασης που θα παρατηρηθεί στην παράκτια ζώνη με βάση την κατασκευή ενός βραχίονα εγκάρσια σε αυτήν:

Θέση του δευτέρου βραχίονα

Θέση του πρώτου βραχίονα



Διάγραμμα 49 : Τοποθέτηση των βραχιόνων εγκάρσια στην ακτή της περιοχής μελέτης. (<https://www.google.com/maps/place/%CE%9F%CF%81%CF%8C%CE%BA%CE%B%CE%B9%CE%BD%CE%B7/@34.9526755,33.6543786,1285m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x14de28da64d963ff:0xc823ad927c8a182b!8m2!3d34.9876126!4d33.6567371>)

Εξισώσεις

$$Y_s(x,t) = 2\sqrt{e_Q t} \tan(\alpha_b) \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{x}{2\sqrt{e_Q t}} \right)^2 \right] - \frac{x}{2\sqrt{e_Q t}} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{e_Q t}} \right) \right\}$$

$Y_s(x)$ = η απόσταση της νέας ακτογραμμής από την αρχική (μικρότερο από το μήκος του προβόλου)

$$e_Q = \frac{K H_b^2 c_{gb}}{8} \left(\frac{\rho}{(\rho_s - \rho)(1-n)} \right) \left(\frac{1}{h_* + B} \right)$$

$$C_{gb} = \sqrt{gd_b}$$

$$\text{Erf}(z) = \frac{2}{\pi} \int_0^z \exp(-z^2) dz, \text{ erf}(z) = \text{συνάρτηση σφάλματος}$$

Ερωτήματα:

A) Ποια θα είναι τα πλάτη της παραλίας Y_s στην ανάντη πλευρά του βραχίονα στην βάση του, για τις αποστάσεις $X=0,50,100$ από τη βάση του μετά από 1,5,10 χρόνια;

Δεδομένα

$$H_b = 1.5 \text{ m.}$$

$$D_p = 1.73 \text{ m.}$$

$$H_* + B = 6 \text{ m.}$$

$$\alpha_b = 3^\circ$$

$$T = 5.8 \text{ sec.}$$

$$n = 0.4$$

$$\rho = 1000$$

$$\rho_s = 2650$$

$$K = 0.39$$

Τα πιο πάνω δεδομένα της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν για να τον υπολογισμό της νέας μορφής της ακτογραμμής Y_s .

Επίλυση:

$$C_{gb} = \sqrt{gd_b} = \sqrt{9.81 * 1.73} = 4.12$$

$$e_Q = \frac{K H_b^2 C_{gb}}{8} \left(\frac{\rho}{(\rho_s - \rho)(1-n)} \right) \left(\frac{1}{h_* + B} \right) = \frac{0.39 * 1.5^2 * 4.12}{8} \left(\frac{1000}{(2650 - 1000)(1-0.4)} \right) \left(\frac{1}{6} \right) = 0.076$$

Μετατροπές σε δευτερόλεπτα από χρόνια:

1 περίπτωση για t= 1 χρόνο : $365*3600*24= 31536000 \text{ sec}$

2 περίπτωση για t= 5 χρόνια : $5*365*3600*24= 157680000 \text{ sec.}$

3 περίπτωση για t= 10 χρόνια : $10*365*3600*24= 315360000 \text{ sec.}$

1 περίπτωση για t= 1 χρόνο:

Για x = 0 m και για t= 1 χρόνο:

$$Y(0,31536000)= 2\sqrt{0.076 * 31536000} \tan(3) \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \right\} = 162 * \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \right\} = \mathbf{91 \text{ m.}}$$

Για x = 50 m και για t= 1 χρόνο:

$$Y(50,31536000)=$$

$$= 2\sqrt{0.076 * 31536000} \tan(3) \left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{50}{2\sqrt{0.076*31536000}} \right)^2 \right] - \frac{50}{2\sqrt{0.076*31536000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{50}{2\sqrt{0.076*31536000}} \right) \right\} \right\} = 162 * (0.56*1.02 - 0.016*0.98) = \mathbf{90m}$$

Για x = 100 m και για t= 1 χρόνο:

$$Y(100,31536000)=$$

$$= 2\sqrt{0.076 * 31536000} \tan(3) \left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{100}{2\sqrt{0.076*31536000}} \right)^2 \right] - \frac{100}{2\sqrt{0.076*31536000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{100}{2\sqrt{0.076*31536000}} \right) \right\} \right\} = 162 (0,56*1 - 0,03*0,97) = \mathbf{86 \text{ m}}$$

2 περίπτωση για t= 5 χρόνια :

Για x = 0 m και για t= 5 χρόνια:

$$Y(0,157680000)=2\sqrt{0.076 * 157680000} \tan(3)\left\{\frac{1}{\sqrt{\pi}}\right\}=363*\left\{\frac{1}{\sqrt{\pi}}\right\}=204\text{m.}$$

Για x = 50 m και για t= 5 χρόνια:

$$Y(50,157680000)=$$

$$=2\sqrt{0.076 * 157680000} \tan(3)\left\{\left\{\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{50}{2\sqrt{0.076*15680000}}\right)^2\right] - \frac{50}{2\sqrt{0.076*15680000}} \operatorname{erfc}\left(\frac{50}{2\sqrt{0.076*15680000}}\right)\right\}\right\} = 363 *(0.56*1.02-0.02*0.98) =196 \text{ m}$$

Για x = 100 m και για t= 5 χρόνια:

$$Y(100,157680000)=$$

$$=2\sqrt{0.076 * 157680000} \tan(3)\left\{\left\{\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{100}{2\sqrt{0.076*15680000}}\right)^2\right] - \frac{100}{2\sqrt{0.076*15680000}} \operatorname{erfc}\left(\frac{100}{2\sqrt{0.076*15680000}}\right)\right\}\right\} = 363 (0.56*1-0.04*0.96)=190 \text{ m}$$

3 περίπτωση για t= 10 χρόνια :

Για x = 0 m και για t= 10 χρόνια:

$$Y(0,315360000)=2\sqrt{0.076 * 315360000} \tan(3)\left\{\frac{1}{\sqrt{\pi}}\right\}=513*\left\{\frac{1}{\sqrt{\pi}}\right\}=289 \text{ m.}$$

Για x = 50 m και για t= 10 χρόνια:

$$Y(50,315360000)=2\sqrt{0.076 * 315360000} \tan(3)$$

$$\left\{\left\{\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{50}{2\sqrt{0.076*315360000}}\right)^2\right] - \frac{50}{2\sqrt{0.076*315360000}} \operatorname{erfc}\left(\frac{50}{2\sqrt{0.076*315360000}}\right)\right\}\right\} = 513*(0.56*1 -0.005*0.98)=285 \text{ m}$$

Για $x = 100$ m και για $t = 10$ χρόνια:

$$Y(100, 315360000) = 2\sqrt{0.076 * 315360000} \tan(3)$$

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{100}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \right)^2 \right] - \frac{100}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{100}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \right) \right\} \right\} = 513 (0.56 * 1 - 0.01 * 1) = 283 \text{ m}$$

Μέτρηση της αλληλεπίδρασης που θα παρατηρηθεί στην παράκτια ζώνη βάση με την κατασκευή δυο βραχιόνων εγκάρσια σε αυτήν:

Η κατασκευή δύο ή και περισσότερων βραχιόνων έχει σαν αποτέλεσμα παρόμοια επίδραση στη μορφολογία.

Ερωτήματα:

A) Ποια θα είναι τα πλάτη της παραλίας Y_S στην ανάντη πλευρά του δεύτερου βραχίονα που θα κατασκευαστεί εγκάρσια στην ακτή της Ορόκλινης σε απόσταση από την βάση του πρώτου βραχίονα 170 m, για τις αποστάσεις από τη βάση του δεύτερου βραχίονα $X = 0, 50, 100$ μετά από 1, 5, 10 χρόνια;

Δεδομένα

$$H_b = 1.5 \text{ m.}$$

$$D_p = 1.73 \text{ m.}$$

$$H_* + B = 6 \text{ m.}$$

$$\alpha_b = 3^\circ$$

$$T = 5.8 \text{ sec.}$$

$$n = 0.4$$

$$\rho = 1000$$

$$\rho_s = 2650$$

$$K = 0,39$$

Τα πιο πάνω δεδομένα της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν για να τον υπολογισμό της νέας μορφής της ακτογραμμής Y_s .

Επίλυση:

$$C_{gb} = \sqrt{gd_b} = \sqrt{9,81 * 1,73} = \mathbf{4,12}$$

$$E_Q = \frac{K H_b^2 c_{gb}}{8} \left(\frac{\rho}{(\rho_s - \rho)(1-n)} \right) \left(\frac{1}{h_* + B} \right) = \frac{0.391.5^2 4.12}{8} \left(\frac{1000}{(2650-1000)(1-0.4)} \right) \left(\frac{1}{6} \right) = \mathbf{0.076}$$

Μετατροπές σε δευτερόλεπτα από χρόνια:

1 περίπτωση για t= 1 χρόνο : $365 * 3600 * 24 = \mathbf{31536000 \text{ sec.}}$

2 περίπτωση για t= 5 χρόνια : $5 * 365 * 3600 * 24 = \mathbf{157680000 \text{ sec.}}$

3 περίπτωση για t= 10 χρόνια : $10 * 365 * 3600 * 24 = \mathbf{315360000 \text{ sec.}}$

1 περίπτωση για t= 1 χρόνο :

Για x = 170 m και για t= 1 χρόνο:

$$Y(170, 31536000) = 2\sqrt{0.076 * 31536000} \tan(3)$$

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{170}{2\sqrt{0.076 * 31536000}} \right)^2 \right] - \frac{170}{2\sqrt{0.076 * 31536000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{170}{2\sqrt{0.076 * 31536000}} \right) \right\} \right\} = 162 * (0,56 * 1 - 0,05 * 0,94) = \mathbf{83 \text{ m}}$$

Για x = 220 m και για t= 1 χρόνο:

$$Y(220, 31536000) = 2\sqrt{0.076 * 31536000} \tan(3)$$

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{220}{2\sqrt{0.076 * 31536000}} \right)^2 \right] - \frac{220}{2\sqrt{0.076 * 31536000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{220}{2\sqrt{0.076 * 31536000}} \right) \right\} \right\} = 162 * (0,56 * 1 - 0,07 * 0,92) = \mathbf{80 \text{ m}}$$

Για x = 270 m και για t= 1 χρόνο:

$$Y(270,31536000)= 2\sqrt{0.076 * 31536000} \tan(3)$$

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{270}{2\sqrt{0.076*31536000}} \right)^2 \right] - \frac{270}{2\sqrt{0.076*31536000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{270}{2\sqrt{0.076*31536000}} \right) \right\} \right\} = 162*(0,56-1 -0,09*0,9)=77 \text{ m}$$

2 περίπτωση για t= 5 χρόνια :

Για x = 170 m και για t= 5 χρόνια:

$$Y(170,157680000)= 2\sqrt{0.076 * 157680000} \tan(3)$$

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{170}{2\sqrt{0.076*15680000}} \right)^2 \right] - \frac{170}{2\sqrt{0.076*15680000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{170}{2\sqrt{0.076*15680000}} \right) \right\} \right\} = 363*(0,56-0,08*0,91) = 177 \text{ m}$$

Για x = 220 m και για t= 5 χρόνια:

$$Y(220,157680000)=$$

$$=2\sqrt{0.076 * 157680000} \tan(3) \left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{220}{2\sqrt{0.076*15680000}} \right)^2 \right] - \frac{220}{2\sqrt{0.076*15680000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{220}{2\sqrt{0.076*15680000}} \right) \right\} \right\} = 363 (0,56*0,9 -0,32*0,65)=107 \text{ m}$$

Για x = 270 m και για t= 5 χρόνια:

$$Y(270,157680000)=$$

$$=2\sqrt{0.076 * 157680000} \tan(3) \left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{270}{2\sqrt{0.076*15680000}} \right)^2 \right] - \frac{270}{2\sqrt{0.076*15680000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{270}{2\sqrt{0.076*15680000}} \right) \right\} \right\} = 363 * (0,56 *0,98 -0,12*0,87)=161 \text{ m}$$

3 περίπτωση για t= 10 χρόνια :

Για x =170 m και για t= 10 χρόνια:

$$Y(170,315360000) = 2\sqrt{0.076 * 315360000} \tan(3)$$

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{170}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \right)^2 \right] - \frac{170}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{170}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \right) \right\} \right\} = 513 * (0.56 * -0.017 * 0.98) = 279 \text{ m.}$$

Για x = 220 m και για t= 10 χρόνια:

$$Y(220,315360000) = 2\sqrt{0.076 * 315360000} \tan(3)$$

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{220}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \right)^2 \right] - \frac{220}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{220}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \right) \right\} \right\} = 513 * (0.56 * -0.02 * 0.98) = 277 \text{ m.}$$

Για x = 270 m και για t= 10 χρόνια:

$$Y(270,315360000) = 2\sqrt{0.076 * 315360000} \tan(3)$$

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{270}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \right)^2 \right] - \frac{270}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \operatorname{erfc} \left(\frac{270}{2\sqrt{0.076 * 315360000}} \right) \right\} \right\} = 513 * (0.56 - 0.03 * 0.966) = 273 \text{ m.}$$

Συμπεράσματα

Η εκτίμηση της διάβρωσης μιας ακτογραμμής μπορεί να υπολογιστούν με τις κατάλληλες εξισώσεις και με την βοήθεια ιστορικών αεροφωτογραφιών, έχουμε την δυνατότητα να συγκρίνουμε την αλλαγή της ακτογραμμής και ποιοι παράγοντες επηρέασαν τις αλλαγές αυτές ώστε να είναι σε γνώση μας η γεωμορφολογία της ακτής μετά από συγκεκριμένα χρόνια.

Επίσης, η παρακτια ζώνη της Οροκλινής δέχεται μη ελέγξιμες αλλαγές που ασκούνται από τις φυσικές όσο και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες με αποτέλεσμα να αντιδρά αρνητικά στην προσπάθεια της η ακτή να επανέλθει στο αρχικό προφίλ της.

Οι ανθρώπινες δράσεις, ειδικότερα τα τεχνικά έργα που κατασκευάστηκαν για να <<ελέγξουν >> την ακτογραμμή έχουν την μείωση της φυσική ικανότητας προσαρμογής της παράκτιας ζώνης.

Ακόμη, επιβεβαιώθηκε ότι η αυξανόμενη τάση σε διάβρωση παρατηρείται κυρίως σε περιοχές με έντονη οικιστική ανάπτυξη κατά μήκος της ακτογραμμής.

Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στη συλλογή μετρήσεων των συντεταγμένων της παραλίας και την διαθεσιμότητα πληροφοριών της βαθυμετρίας και ώστε να μπορεί να υπολογισθεί η διάβρωση σε συνάρτηση των κυματικών φαινομένων που παρατηρείται στην περιοχή της Ορόκλινής.

Ο υπολογισμός του ρυθμού διάβρωσης της παράκτιας ζώνης της *Υποπεριοχής 2* συνδυαζόμενος με τις προβλέψεις για την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, τα ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά της και τον υπολογισμό των κυματισμών συμβάλουν και συμπληρώνουν την επιστημονική έρευνα στον τομέα της διάβρωσης των Κυπριακών ακτών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό ζωνών προτεραιότητας επεμβάσεις με τις οποίες οι αρμόδιοι φορείς είναι δυνατό να δράσουν με το σωστό και αποτελεσματικό τρόπο για αποφυγή του φαινομένου της διάβρωσης.

Βιβλιογραφία

Galgano, F., Leatherman, S., 2005 Modes and Patterns of Shoreline Change, in : Schwartz M (Ed.), Encyclopedia of Coastal Science, Encyclopedia of Earth Science Series, Springer Netherlands, pp 651-656

MIKE 21 Boussinesq Wave Module Scientific Documentation (2017)

http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/MIKE21BW_Sci_Doc.pdf (Μάιος, 2019)

Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V., Codignotto, J., Hay, J., McLean, R., Ragoonaden, S., Woodroffe, C.D., 2007. Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Presented at the Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 315–356.

Αντζουλάτου Αθ. (2015) Διάβρωση ακτών και χρήσεις γης της παράκτιας ζώνης της Αχαΐας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Καραμπάς Θ (2002) Υπολογιστική κυματομηχανική και ακτομηχανική – *Θεωρητική προσέγγιση εκπαιδευτικό & επιχειρησιακό λογισμικό*, Τμήμα Πολ. Μηχανικών, Παν. Θεσσαλίας, Βόλος

Καραμπάς Θ, Κρεστενίτης Γ, Κουτίτας Χρ (2015) Ακτομηχανική - Έργα Προστασίας Ακτών, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κρεστενίτης, Γ. Ν, 2011 Ολοκληρωμένη διαχείριση της Παράκτιας ζώνης-*Το φυσικό και το ανθρώπινο σύστημα στην παράκτια ζώνη*.

Κουτίτας Χρ. (1998) Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1998

Ραπάντα, Ε. (2015) Ήπιες μέθοδοι προστασίας ακτών: Πλωτοί Κυματοθραύστες, Τμήμα Πολ. Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Πολυτεχνική Σχολή