

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΩΝ,
ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΟΥ
ΑΣΤΡΟΥΣ, ΝΟΜΟΥ ΑΡΚΑΔΙΑΣ**

ΚΟΣΜΑΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΠΑΙΝΕΣΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΦΟΥΡΝΙΩΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ, ΜΑΪΟΣ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε κατά το θερινό εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2014-2015 στα πλαίσια ολοκλήρωσης των Προπτυχιακών Σπουδών στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος (Τ.Ε.Ι.) Δυτικής Ελλάδας, υπό την επίβλεψη του Δρ. Νικόλαου Φουρνιώτη.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες αποδίδονται στον Δήμο Βόρειας Κυνουρίας για την παραχώρηση στοιχείων από τη μελέτη με τίτλο " Έργα Υποδομής και Προστασίας Λιμανιού Παραλίου Άστρους ", με τη βοήθεια του οποίου αποκτήσαμε όλες τις πληροφορίες που σχετίζονται με την μελέτη του λιμένα στο σημείο εφαρμογής μας και κατόπιν συνεννόησης με τον κ. Φουρνιώτη, ο οποίος διδάσκει το προπτυχιακό μάθημα "Λιμενικά Έργα".

Στόχος ήταν να μελετηθούν δύο πρακτικές εφαρμογές σε συγκεκριμένες περιοχές με ρεαλιστικές συνθήκες, οι οποίες βρίσκονται στο Παράλιο Άστρος Κυνουρίας (περιοχή Ατσιγγάνου και περιοχή Αγίου Ανδρέα) και αντιμετωπίζουν έντονο πρόβλημα διάβρωσης. Στην εργασία μας, προτείνουμε μια πιθανή λύση στο πρόβλημα μας, η οποία είναι η κατασκευή κυματοθραύστη παράλληλα στην ακτή. Παρακάτω, παρουσιάζεται όλη η διαδικασία που απαιτείται για την μελέτη ανάλυσης και τον σχεδιασμό των κυματοθραυστών με την βοήθεια εμπειρικών σχέσεων, καθώς και τον σχεδιασμό τους, ο οποίος πραγματοποιείται στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AUTOCAD.

Θα θέλαμε, λοιπόν, να εκφράσουμε τις πιο θερμές ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα της παρούσας εργασίας για την βοήθεια που μας προσέφερε σε όλα τα στάδια της δουλειάς μας. Τέλος, θέλουμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τον Δήμο Βόρειας Κυνουρίας, και πιο συγκεκριμένα τον Δήμαρχο αυτού, για την πολύτιμη βοήθεια του και την παραχώρηση στοιχείων που αξιοποιήθηκαν στην Πτυχιακή Εργασία, για εκπαιδευτικό σκοπό.

Κοσμάτου Γεωργία

Παινέση Κωνσταντίνα

Πάτρα, Μάιος 2015

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

(Όνοματεπώνυμο)

(Όνοματεπώνυμο)

.....

.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι κυματοθραύστες κατατάσσονται στην κατηγορία των εξωτερικών λιμενικών έργων και είναι επιμήκεις κατασκευές, παράλληλες προς την ακτή, που στόχο έχουν να εξασφαλίσουν όσο το δυνατόν ηρεμότερες συνθήκες στις λιμενολεκάνες από τα κύματα και τους ανέμους που προσβάλουν μία περιοχή. Για το λόγο αυτό, οι κυματοθραύστες ονομάζονται και έργα προστασίας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κυματοθραυστών, οι οποίοι ποικίλλουν ανάλογα με τη μορφή και τη λειτουργία τους.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός δύο κυματοθραυστών με πρηνή σε δύο περιοχές του Παραλίου Άστρους Β. Κυνουρίας, οι οποίες έχουν υποστεί το φαινόμενο της διάβρωσης. Πιο συγκεκριμένα, ο ένας εξ' αυτών κυματοθραύστης μελετάται στην περιοχή του Ατσιγγάνου και ο άλλος στην περιοχή του Αγίου Ανδρέα. Στη κάθε περιοχή προτείνεται η κατασκευή δύο κυματοθραυστών αντίστοιχα πριν τη ζώνη θραύσης του κύματος.

Αναλυτικότερα, η τρέχουσα μελέτη αποτελείται από επτά κεφάλαια και ένα παράρτημα. Αρχικά το πρώτο (1^ο) κεφάλαιο εξετάζει τον όρο "λιμενικά έργα" και τις κατηγορίες του, καθώς επίσης αναλύει και τις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού των λιμενικών έργων. Εν συνεχεία, στο δεύτερο (2^ο) κεφάλαιο παρουσιάζονται όλοι οι τύποι κυματοθραυστών και αναλύονται τα διάφορα χαρακτηριστικά του καθενός ξεχωριστά. Ακόμα, παρατίθενται και οι παράγοντες που εξαρτώνται για την εκλογή ενός τύπου κυματοθραύστη που θα εφαρμόσουμε σε μία κατασκευή.

Επιπροσθέτως, το τρίτο (3^ο) κεφάλαιο αναφέρεται στο φαινόμενο της διάβρωσης των ακτών. Συγκεκριμένα, αναλύονται α) ο σχηματισμός των ακτών, β) οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση των ακτών, γ) τα παραδείγματα του φαινομένου της διάβρωσης στην Ελλάδα, δ) οι επιπτώσεις της διάβρωσης των ακτών, ε) οι προτάσεις αντιμετώπισης της διάβρωσης και στ) οι βασικές αρχές των Ήπιων και Σκληρών μεθόδων προστασίας ακτών.

Επιπλέον, στο τέταρτο (4^ο) κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή του Παραλίου Άστρους Β. Κυνουρίας, καθώς και μία περιγραφή του φαινομένου της διάβρωσης στην περιοχή μελέτης (περιοχή Ατσιγγανός).

Στη συνέχεια, στο πέμπτο (5^ο) κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη του κυματοθραύστη στην περιοχή Ατσιγγάνου Β. Κυνουρίας. Εκτενέστερα αναλύονται α) οι κυματικοί υπολογισμοί, β) οι υπολογισμοί μηκών αναπτύγματος, γ) ο υπολογισμός της κλίσης του πυθμένα, δ) οι υπολογισμοί του χαρακτηριστικού ύψους κύματος και της χαρακτηριστικής περιόδου κύματος με τη μέθοδο SMB, ε) οι αντίστοιχοι υπολογισμοί γίνονται και με τη μέθοδο JOWNSAP, στ) τα χαρακτηριστικά θραύσης του κύματος και ζ) ο σχεδιασμός του κυματοθραύστη πριν τη ζώνη θραύσης. Όσον αφορά το έκτο (6^ο) κεφάλαιο έχει την αντίστοιχη δομή με το πέμπτο (5^ο) με τη διαφορά ότι επικεντρώνεται στη περιοχή του Αγίου Ανδρέα Β. Κυνουρίας.

Ακόμα, στο έβδομο (7^ο) κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εμπίπτουν από τη συγκεκριμένη μελέτη. Εν κατακλείδι, η τρέχουσα πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με την εισαγωγή ενός παραρτήματος, το οποίο αποτελείται από τα σχέδια σε AUTOCAD των διατομών των κυματοθραυστών, των μηκών αναπτύγματος και των κλίσεων του πυθμένα.

Το τελικό αποτέλεσμα αποτελεί μια σφαιρική προσέγγιση στο μελετώμενο αντικείμενο και μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο οδηγό για μελλοντικούς σπουδαστές και τελειόφοιτους, οι οποίοι αναζητούν πληροφορίες σχετικά με α) τις κατηγορίες κυματοθραυστών, β) τον σχεδιασμό τους γ) τη διάβρωση των ακτών και δ) τρόπους αντιμετώπισης του φαινομένου.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1° Λιμενικά Έργα	9
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.1.2 Εξωτερικά Λιμενικά Έργα.....	11
1.1.3 Εσωτερικά Λιμενικά Έργα.....	12
1.2 Βασικές Παράμετροι Σχεδιασμού.....	13
1.2.1 Μορφολογία Εδάφους	13
1.2.2 Άνεμος.....	14
1.2.3 Άλλα Μετεωρολογικά Μεγέθη	17
1.2.4 Κύματα	17
1.2.5 Θαλάσσια Ρεύματα.....	18
1.2.6 Μεταφορά Ιζημάτων	18
1.2.7 Γεωτεχνική Έρευνα	20
Κεφάλαιο 2° Κυματοθραύστες	21
2.1 Γενικά	21
2.2 Κυματοθραύστες με πρηνή ή κεκλιμένα μέτωπα	22
2.2.1 Υπερκατασκευή του κυματοθραύστη.....	25
2.2.2 Βυθισμένοι κυματοθραύστες	27
2.2.3 Σχεδιασμός και ευστάθεια του έργου	29
2.3 Κυματοθραύστες με κατακόρυφα μέτωπα	31
2.3.1 Τρόποι κατασκευής των κυματοθραυστών με κατακόρυφα μέτωπα	33
2.4 Σύνθετοι κυματοθραύστες	40
2.4.1 Μεικτοί καθ' ύψος κυματοθραύστες	40
2.4.2 Μεικτοί κατά πλάτος κυματοθραύστες.....	44
2.4.3 Μόρφωση και έλεγχος έναντι κατολισθήσεως των κυματοθραυστών	44
2.4.4 Κυματοθραύστες που θεμελιώνονται σε εδάφη πολύ μικρής αντοχής - επιπλέον θεμελίωση.....	45
2.5 Πλωτοί κυματοθραύστες	48
2.5.1 Κατασκευαστικά στοιχεία.....	50
2.6 Κυματοθραύστες που παράγουν ενέργεια	52
2.6.1 Διάτρητοι κυματοθραύστες.....	52
2.6.2 Κυματοθραύστες τύπου CONSIDERE.....	52
2.6.3 Αέριος κυματοθραύστης.....	53
2.6.4 Υδραυλικοί κυματοθραύστες	54

2.7 Εκλογή τύπου του κυματοθραύστη.....	56
Κεφάλαιο 3° Διάβρωση ακτών	57
3.1 Εισαγωγικά στοιχεία για τον σχηματισμό των ακτών	57
3.2 Βασικά στοιχεία παράκτιων περιοχών με έμφαση στον Ελλαδικό χώρο	59
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την διάβρωση των ακτών.....	60
3.4 Παρατήρηση φαινομένου διάβρωσης στην Ελλάδα - Παραδείγματα.....	62
3.5 Φωτογραφικό υλικό που απεικονίζει το φαινόμενο της διάβρωσης στην Ελλάδα.....	64
3.6 Επιπτώσεις της διάβρωσης των ακτών.....	67
3.7 Ορθολογική αντιμετώπιση της διάβρωσης.....	68
3.8 Βασικές αρχές των Ήπιων-Σκληρών μεθόδων προστασίας ακτών	68
3.9 Ήπιες λύσεις και κατασκευές για την παράκτια διάβρωση	75
Κεφάλαιο 4° Περιοχή μελέτης.....	77
4.1 Παράλιο Άστρος Κυνουρίας - Ιστορικά στοιχεία.....	77
4.2 Το φαινόμενο της διάβρωσης στην περιοχή μελέτης μας (περιοχή Ατσιγγανος)	79
4.3 Περιγραφή φαινομένου - Υφιστάμενη Κατάσταση.....	80
Κεφάλαιο 5° Μελέτη Κυματοθραύστη με πρηνή με Εφαρμογή στη περιοχή Ατσιγγάνου, Βόρειας Κυνουρίας.....	81
5.1 Κυματικοί υπολογισμοί	81
5.2 Υπολογισμός μηκών αναπτύγματος	81
5.3 Υπολογισμός κλίσης πυθμένα	85
5.4 Υπολογισμός H_s και T_s με τη μέθοδο SMB.....	89
5.5 Μέθοδος JOWNSAP	90
5.6 Χαρακτηριστικά Θραύσης Κύματος.....	92
5.7 Σχεδιασμός του κυματοθραύστη πριν τη ζώνη θραύσης.....	93
Κεφάλαιο 6° Μελέτη Κυματοθραύστη με πρηνή στη Περιοχή Αγ. Ανδρέα Β. Κυνουρίας	98
6.1 Κυματικοί υπολογισμοί	98
6.2 Υπολογισμός μηκών αναπτύγματος	98
6.3 Υπολογισμός κλίσης πυθμένα	102
6.4 Υπολογισμός H_s και T_s με τη μέθοδο SMB.....	106
6.5 Μέθοδος JOWNSAP	107
6.6 Χαρακτηριστικά Θραύσης Κύματος.....	108
6.7 Σχεδιασμός του κυματοθραύστη πριν τη ζώνη θραύσης.....	111
Κεφάλαιο 7° Συμπεράσματα	115
Βιβλιογραφία.....	116

Παράρτημα	120
-----------------	-----

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1. Αντιστοιχία Ανεμολογίου και Ονομασίας.....	14
Πίνακας 2. Κλίμακα Beaufort Ανέμων.....	15
Πίνακας 3. Μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης ανέμων στο Παράλιο Άστρος Βόρειας Κυνουρίας με βάση τα ανεμολογικά στοιχεία από τον Μ.Σ. Σπετσών της ΕΜΥ περιόδου 1956-1996.....	81
Πίνακας 4. Συσχέτιση χαρακτηριστικών ανέμου.....	82
Πίνακας 5. Υπολογισμός χαρακτηριστικών μηκών αναπτύγματος στο excel.....	83
Πίνακας 6. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο Α1.....	85
Πίνακας 7. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο Α2.....	85
Πίνακας 8. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο Α3.....	86
Πίνακας 9. Υπολογισμός στο excel Μέσης Τιμής των σημείων Α1,Α2,Α3 κατά μήκος των Ισοβαθών.....	86
Πίνακας 10. Συντελεστής μείωσης κυματογενούς αναρρίχησης λόγω τραχύτητας επιφάνειας πρανούς.....	93
Πίνακας 11. Σταθερές υπολογισμού κυματογενούς αναρρίχησης.....	94
Πίνακας 12. Συντελεστής ευστάθειας k_d στην εξίσωση Hudson.....	94
Πίνακας 13. Συντελεστής k_d υπολογισμού πλάτους στρωμάτων ογκολίθων.....	95
Πίνακας 14. Μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης ανέμων στο Παράλιο Άστρος Βόρειας Κυνουρίας με βάση τα ανεμολογικά στοιχεία από τον Μ.Σ. Λεωνιδίου της ΕΜΥ περιόδου 1956-1996.....	98
Πίνακας 15. Συσχέτιση χαρακτηριστικών ανέμου.....	99
Πίνακας 16. Υπολογισμός χαρακτηριστικών μηκών αναπτύγματος στο excel.....	100
Πίνακας 17. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο Α1'.....	102
Πίνακας 18. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο Α2'.....	102
Πίνακας 19. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο Α3'.....	102
Πίνακας 20. Υπολογισμός στο excel Μέσης Τιμής των σημείων Α1',Α2',Α3' κατά μήκος των Ισοβαθών.....	103
Πίνακας 21. Συντελεστής μείωσης κυματογενούς αναρρίχησης λόγω τραχύτητας επιφάνειας πρανούς.....	112
Πίνακας 22. Σταθερές υπολογισμού κυματογενούς αναρρίχησης.....	112
Πίνακας 23. Συντελεστής ευστάθειας k_d στην εξίσωση Hudson.....	113

Πίνακας 24. Συντελεστής k_4 υπολογισμού πλάτους στρωμάτων ογκολίθων.....	114
--	-----

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Τυπικό φάσμα της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου (Van der Hoven, J.Meteor., vol.14, pp.160-164, 1967).....	14
Διάγραμμα 2. Τάσεις εδάφους $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ από ομοιόμορφη φόρτιση p πάνω σε λωρίδα πλάτους ω και μεγάλου μήκους.....	41
Διάγραμμα 3. Τάσεις εδάφους σ_1, σ_3 από τριγωνική φόρτιση p πάνω σε λωρίδα πλάτους ω και μεγάλου μήκους.....	41
Διάγραμμα 4. Διάγραμμα ανόδου της ΜΣΘ με το χρόνο.....	66
Διάγραμμα 5. Αποστάσεις Σημείων - Ισοβαθών (A1, A2, A3).....	87
Διάγραμμα 6. Αδιάστατες παράμετροι μεθοδολογίας SMB πρόβλεψης χαρακτηριστικού ύψους και χαρακτηριστικής περιόδου ανεμογενών κυματισμών.....	88
Διάγραμμα 7. Αποστάσεις Σημείων - Ισοβαθών (A1', A2', A3').....	103
Διάγραμμα 8. Αδιάστατες παράμετροι μεθοδολογίας SMB πρόβλεψης χαρακτηριστικού ύψους και χαρακτηριστικής περιόδου ανεμογενών κυματισμών.....	105

Κεφάλαιο 1°

Λιμενικά Έργα

1.1 Εισαγωγή

Με τον όρο λιμενικά έργα εννοούμε τα έργα εκείνα αρμοδιότητας κατά βάση Πολιτικού Μηχανικού που αφορούν στο σχεδιασμό και την υλοποίηση της υποδομής των λιμενικών και των συναφών εγκαταστάσεων. Οι λιμένες σκοπό έχουν τον ελλιμενισμό των σκαφών και πλοίων με ευκολία, την απο-επιβίβαση των επιβατών και φορτοεκφόρτωση των εμπορευμάτων με ασφάλεια και ταχύτητα. Ο βασικός κανόνας που πρέπει να ικανοποιείται από κάθε λιμένα είναι η εξασφάλιση ασφαλούς αγκυροβολίου στα σκάφη και η προστασία τους από τους ανέμους και τα κύματα.

Οι λιμένες λειτουργούν είτε ως τερματικοί σταθμοί, είτε ως κόμβοι στο σύστημα μεταφορών. Στην πρώτη περίπτωση ο χαρακτήρας του λιμένα μπορεί να είναι βιομηχανικός, στρατιωτικός, ανεφοδιασμού κ.λπ. Ο βιομηχανικός λιμένας αποτελείται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας πρώτων υλών και χρησιμοποιεί τους θαλάσσιους δρόμους για τις απαραίτητες μεταφορές των πρώτων υλών ή των επεξεργασμένων προϊόντων.

Στην περίπτωση λειτουργίας του λιμένα ως κόμβου μεταφορών, που είναι και η πλέον διαδεδομένη, ο λιμένας κατέχει έναν κυρίως εμπορικό ρόλο. Η αποστολή του, λοιπόν, εδώ είναι να μεταφέρει επιβάτες και εμπορεύματα με ασφάλεια, ταχύτητα και χαμηλό κόστος.

Οι εμπορικοί λιμένες διακρίνονται ανάλογα με την κύρια λειτουργία τους σε:

1. επιβατικού
2. εμπορευματικούς
3. αλιείας
4. αναψυχής

Πολλοί λιμένες συνδυάζουν δύο ή και περισσότερες από τις χρήσεις αυτές στις εγκαταστάσεις τους.

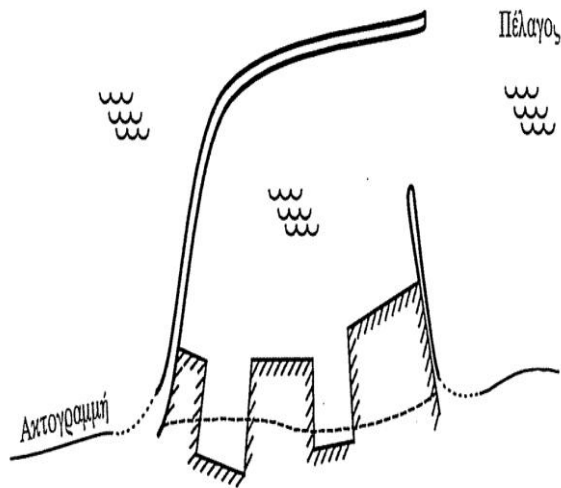
Η θέση ενός λιμένα καθορίζεται από οικονομικές, γεωπολιτικές και συγκοινωνιακές συνθήκες της ενδοχώρας, καθώς και από τις συνθήκες ναυσιπλοΐας, το ανάγλυφο και την ποιότητα του εδάφους, το κλίμα της περιοχής σε σχέση με τους κυματισμούς, τις παλίρροιες, τα ρεύματα και τη στερεομεταφορά.

Κατά γενικό κανόνα, τα λιμενικά έργα τα διακρίνουμε σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα εξωτερικά και τα εσωτερικά. Βασικός ρόλος των εξωτερικών έργων είναι να εξασφαλίζουν άνετες συνθήκες ελλιμενισμού στα σκάφη προστατεύοντάς τα από τους κυματισμούς και τους ανέμους. Γι' αυτό ονομάζονται και έργα προστασίας. Τα εσωτερικά λιμενικά έργα είναι αναγκαία για το δέσιμο του σκάφους και την κάθε είδους φορτοεκφόρτωση εμπορευμάτων και απο-επιβίβαση των επιβατών.

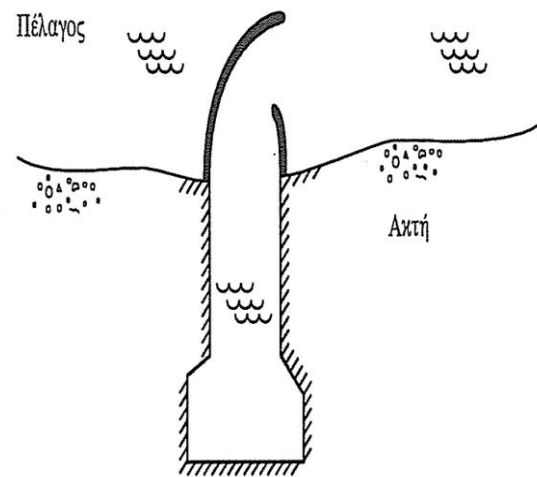
Μεταξύ των εξωτερικών και εσωτερικών λιμενικών έργων παρεμβάλλεται η θαλάσσια επιφάνεια που χρησιμεύει για την εκτέλεση των ελιγμών των σκαφών μέχρι τις θέσεις παρεμβολής και ονομάζεται λιμενολεκάνη. Οι λιμενολεκάνες μπορεί να είναι παλιρροιακές ή πλεύσεως. Οι παλιρροιακές βρίσκονται σε άμεση επικοινωνία με το ανοιχτό πέλαγος και παρακολουθούν τη μεταβολή της στάθμης της θάλασσας λόγω της παλίρροιας. Οι λιμενολεκάνες πλεύσεως επικοινωνούν με το πέλαγος μέσω υδατοφραχτών (ή αλλιώς κλεισιάδων), που κρατούν τη στάθμη στο λιμάνι σε υψηλά επίπεδα. Αυτός ο τύπος των λιμενολεκάνων εφαρμόζεται σε περιοχές με μεγάλο εύρος παλίρροιας, όπου τα απαιτούμενα

βάθη των κρηπιδωμάτων για συνεχή λειτουργία του λιμανιού προκύπτουν απαγορευτικά. (Μέμος, 2008)

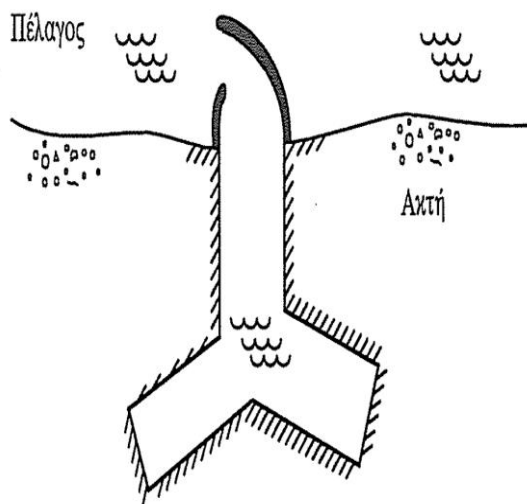
Όσον αφορά τη διάταξη των λιμενικών έργων μπορούμε να διακρίνουμε τις παρακάτω βασικές κατηγορίες που εμφανίζονται ενδεικτικά στα σχήματα 1 έως 8 Ένας σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη στην εκλογή του κατάλληλου τύπου λιμένα είναι η διαθεσιμότητα υλικών επίχωσης και η ποιότητα του εδάφους.



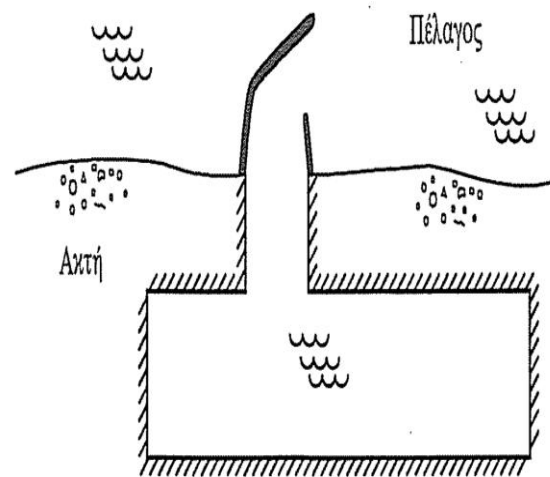
Σχήμα 1. Επίχωση στη θάλασσα και κρηπίδωση της ακτής



Σχήμα 2. Εκσκαφή διώρυγας και κύκλου ελιγμών

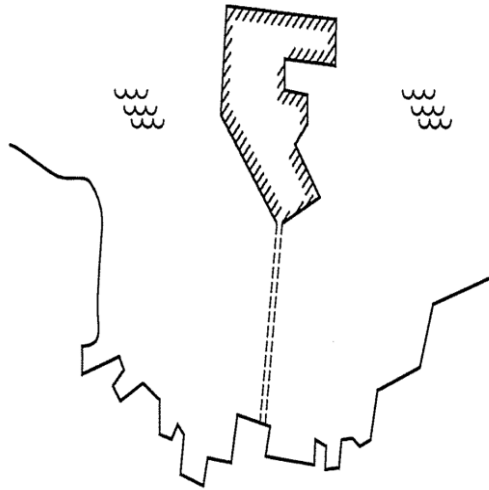


Σχήμα 3. Εκσκαφή τύπου Y

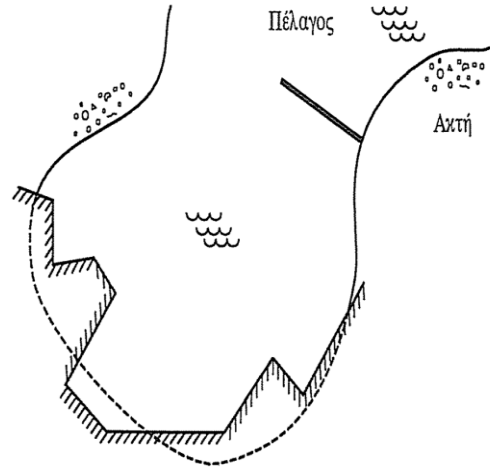


Σχήμα 4. Εκσκαφή παράλληλη προς την ακτή

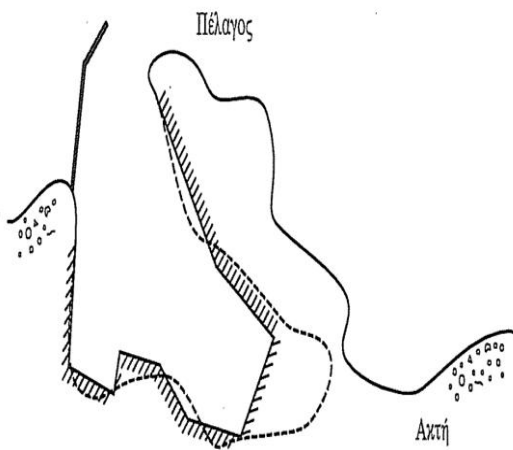
(Μέμος, 2008)



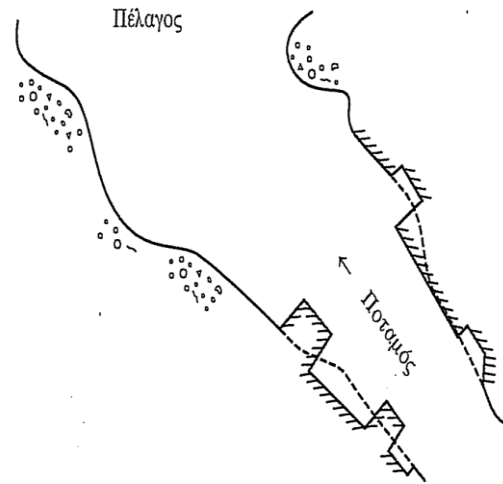
Σχήμα 5. Προσθήκη τεχνητής νησίδας σε υφιστάμενο λιμένα



Σχήμα 6. Κρηπίδωση φυσικού λιμένα



Σχήμα 7. Εκμετάλλευση νησίδας - χερσονήσου



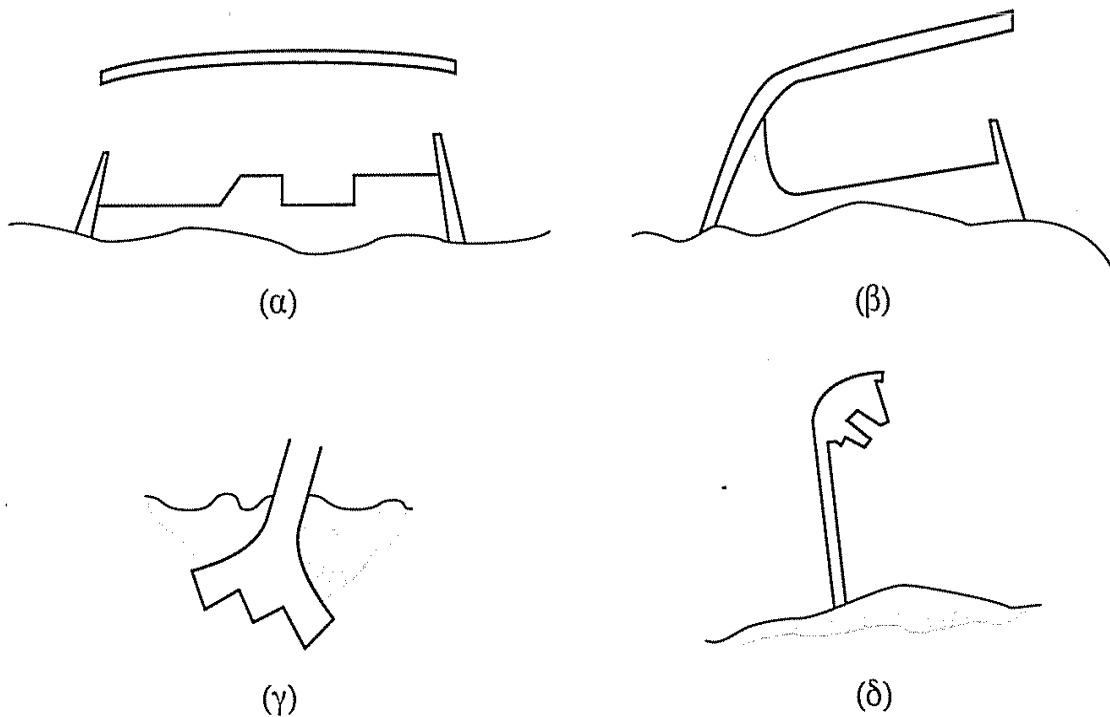
Σχήμα 8. Ανάπτυξη λιμένα σε εκβολές πλωτού ποταμού

(Μέμος, 2008)

1.1.2 Εξωτερικά Λιμενικά Έργα

Τα εξωτερικά λιμενικά έργα διακρίνονται σε (Μέμος, 2008):

- **Κυμαθοθραύστες:** επιμήκεις κατασκευές συνήθως παράλληλες προς την ακτή χωρίς να επικοινωνούν με αυτή. (σχήμα 9.α)
- **Μώλοι:** έργα προστασίας που επικοινωνούν με την ακτή και διακρίνονται σε προσήνεμους και υπήνεμους. Οι προσήνεμοι προστατεύουν τον λιμένα από τους κύριους κυματισμούς, ενώ οι υπήνεμοι προστατεύουν τον λιμένα από κυματισμούς δευτερεύουσας διεύθυνσης (σχήμα 9.β)
- **Βραχίονες:** συχνά σε παράλληλα ζεύγη διαμορφώνουν εισόδους λιμένων που βρίσκονται στο εσωτερικό της ακτής. Οι βραχίονες σε ζεύγη αυξάνουν τη ταχύτητα ροής με αποτέλεσμα να εμποδίζουν τις αποθέσεις φερτών. (σχήμα 9.γ)



Σχήμα 9. Βασικοί τύποι λιμένων (Μέμος, 2008)

Το σχήμα 9.δ αφορά λιμάνι-νησίδα που διαμορφώνεται στα ανοικτά, ώστε να επιτυγχάνονται τα αναγκαία βάθη των κρηπιδωμάτων χωρίς εκσκαφές, ενώ παράλληλα δεν εμποδίζεται σημαντικά η υπάρχουσα στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής.

1.1.3 Εσωτερικά Λιμενικά Έργα

Ως εσωτερικά λιμενικά έργα εννοούμε τα κάθε είδους κρηπιδώματα παραβολής των σκαφών στην προστατευόμενη λιμενολεκάνη. Τα κρηπιδώματα χρησιμεύουν για την πρόσδεση των σκαφών, ώστε να είναι δυνατές η κάθε είδους κινήσεις φορτοεκφόρτωσης εμπορευμάτων και απο-επιβίβασης επιβατών. Για το σκοπό αυτό διαμορφώνεται ένα υπαρκτό ή νοητό κατακόρυφο μέτωπο - το μέτωπο παραβολής - στο οποίο πλευρίζει, πρυμνοδετεί ή γενικά προσδένει το σκάφος για να ακινητοποιηθεί κατά το δυνατόν. Το κατακόρυφο αυτό μέτωπο συνήθως οριοθετεί τη λιμενολεκάνη και το υδάτινο στοιχείο, ενώ παράλληλα συγκρατεί τις γαίες που διαμορφώνουν τους χερσαίους χώρους του λιμένα και το δάπεδο εργασίας των κρηπιδωμάτων. Το έργο αυτό παραβολής ονομάζεται κρηπιδότοιχος. Η προβολή της ακμής του κρηπιδότοιχου σε οριζόντιο επίπεδο ονομάζεται κρηπίδα. Τα κρηπιδώματα συνήθως εξοπλίζονται (Μέμος, 2008):

- με προσκρουστήρες για την απορρόφηση κρουστικής ενέργειας κατά την παραβολή των σκαφών
- με δέστρες για την ακινητοποίησή τους μέσω κάβων
- με δίκτυα παροχών για την εξυπηρέτηση των σκαφών
- με γερανούς για την φορτοεκφόρτωση εμπορευμάτων

Διακρίνουμε διάφορους τύπους κρηπιδωμάτων ανάλογα με τη μορφή και τη λειτουργία τους. Αυτοί είναι:

1. Οι κρηπιδότοιχοι βαρύτητας
2. Τα εύκαμπτα διαφράγματα ή πασσαλοφράγματα
3. Οι κρηπιδότοιχοι ανοιχτού τύπου

Τα εξαρτήματα ανωδομής των κρηπιδότοιχων είναι:

- Προσκρουστήρες
- Δέστρες
- Κρίκοι
- Γερανοί
- Κλίμακες
- Κανάλια παροχών

1.2 Βασικές Παράμετροι Σχεδιασμού

Ένας σωστός οικονομοτεχνικός σχεδιασμός λιμενικών έργων προϋποθέτει εκτεταμένη συλλογή στοιχείων περιβάλλοντος, πολλά από τα οποία λαμβάνονται με επί τόπου μετρήσεις. Η σπουδαιότητα της εργασίας που αφορά τη συλλογή στοιχείων των επί τόπου μετρήσεων στα έργα είναι τεράστια, εφόσον η χάραξη και ο σχεδιασμός τους εξαρτώνται άμεσα από αυτά. Επομένως, η συλλογή των στοιχείων πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή, με γνώση των συνθηκών λήψης των μετρήσεων και των ενδεχόμενων σφαλμάτων. Το ίδιο ισχύει και για τις περιπτώσεις εκείνες όπου η συλλογή των στοιχείων περιλαμβάνει βιβλιογραφικές πηγές, όπου πρέπει να προηγείται έλεγχος της αξιοπιστίας της πληροφορίας, της μεθόδου απόκτησής της, του πεδίου ισχύος της, κ.λπ.

Σε πολλές περιπτώσεις οι διαθέσιμες πληροφορίες δεν είναι επαρκής για τη διαμόρφωση μίας σαφούς εικόνας σχετικά με ορισμένες παραμέτρους του συγκεκριμένου προβλήματος, όπως για παράδειγμα της μεταφοράς ιζημάτων στην ευρύτερη περιοχή του έργου της ή της διάιτας των ρευμάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις καταφεύγουμε σε μαθηματικά ή φυσικά ομοιώματα. Τα μοντέλα αυτά μπορούν υπό κατάλληλες συνθήκες να μας δώσουν στοιχεία που θα ήταν πρακτικά αδύνατο να συλλεχθούν με επί τόπου μετρήσεις περιορισμένης χρονικής διάρκειας.

Ακόμα μία χρησιμότητα των μαθηματικών (αριθμητικών) και φυσικών μοντέλων είναι ο έλεγχος συμπερασμάτων που έχουν τεκμηριωθεί σε απλούστερες μεθόδους, η βελτιστοποίηση διατάξεων λιμενικών έργων κ.λπ. Γενικά, σε σοβαρά και πολύπλοκα προβλήματα γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική η ανάγκη χρησιμοποίησης τέτοιων μοντέλων. Τα αριθμητικά μοντέλα θεωρούνται πιο προσιτά από άποψη χρόνου, οικονομίας και προσπάθειας σε αντίθεση με τα φυσικά ομοιώματα, που θεωρούνται όμως σαν πλέον αξιόπιστα. Πολλές είναι οι φορές που ο συνδυασμός τους δίνει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα στη διερεύνηση ενός σύνθετου προβλήματος λιμενικών έργων. (Μέμος, 2008)

1.2.1 Μορφολογία Εδάφους

Η τοπογραφία του πυθμένα της περιοχής μελέτης, καθώς και της αντίστοιχης χερσαίας ζώνης είναι οι βασικές πληροφορίες που πρέπει να γνωρίζει ένας Πολιτικός Μηχανικός, προκειμένου να ξεκινήσει τη διαδικασία μελέτης και κατασκευής πάσης φύσεως λιμενικών έργων.

Είναι γνωστό ότι για κάθε θαλάσσια περιοχή υπάρχουν οι αντίστοιχοι ναυτικοί χάρτες διαφόρων κλιμάκων, οι οποίοι έχουν συνταχθεί κυρίως για διευκόλυνση της ναυσιπλοΐας. Οι

εκδόσεις του Βρετανικού Ναυαρχείου είναι παγκοσμίως διαδεδομένες, εφόσον καλύπτουν όλη την υδρόγειο. Όσον αφορά όμως τις ελληνικές θάλασσες και ακτές, αυτές καλύπτονται από τους ναυτικούς χάρτες της Ελληνικής Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού. Επίσης αρκετές λιμενικές αρχές έχουν στη διάθεσή τους υδρογραφικά σχέδια της περιοχής τους. Οι παραπάνω πληροφορίες είναι ως επί το πλείστον επαρκής για τις προκαταρκτικές εκτιμήσεις και υπολογισμούς της διάταξης και μορφής των έργων και της συμπεριφοράς του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Σε περίπτωση εκτενέστερης μελέτης θα απαιτηθεί λεπτομερέστερη αποτύπωση του πυθμένα και της αντίστοιχης χερσαίας έκτασης.

Ένας κύριος παράγοντας, ο οποίος απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή είναι η υψομετρική εξάρτηση ως προς την επιφάνεια της θάλασσας. Δεν αρκεί να γνωρίζουμε μόνο τη μορφολογία του πυθμένα, αλλά και τη σχετική θέση του πυθμένα ως προς την επιφάνεια της θάλασσας. Προκύπτει λοιπόν το ζήτημα της υψομετρικής αποτύπωσης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού, που κατά κανόνα μεταβάλλεται συνεχώς. (Μέμος, 2008)

Κατά κύριο λόγο η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας οφείλεται στο φαινόμενο της αστρονομικής παλίρροιας, η οποία προκαλείται από τις νομοτελειακές κινήσεις των ουράνιων σωμάτων. Για το λόγο αυτό, είναι δυνατή η ασφαλής πρόβλεψη της στάθμης της θάλασσας για κάθε επιθυμητή χρονική στιγμή. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι πρόβλεψης της υψομετρικής εξάρτησης. Οι ασφαλέστεροι είναι (Μέμος, 2008):

1. Η πρόβλεψη μέσω της αστρονομικής παλίρροιας με την εφαρμογή της μεθοδολογίας πρόβλεψης της παλίρροιας, όπου κατά τη διάρκεια των τοπογραφικών εργασιών είμαστε σε θέση να εξαρτήσουμε υψομετρικά τα βυθόμετρα από κάποια χαρακτηριστική στάθμη, όπως κατώτατη ρηχία, μέση στάθμη, κ.τλ.
2. Με τη βοήθεια παλιρροιογράφου ή παλιρροιομέτρου που βρίσκεται εγκατεστημένο στην περιοχή.

Άλλα φαινόμενα που μεταβάλλουν τη στάθμη της θάλασσας είναι:

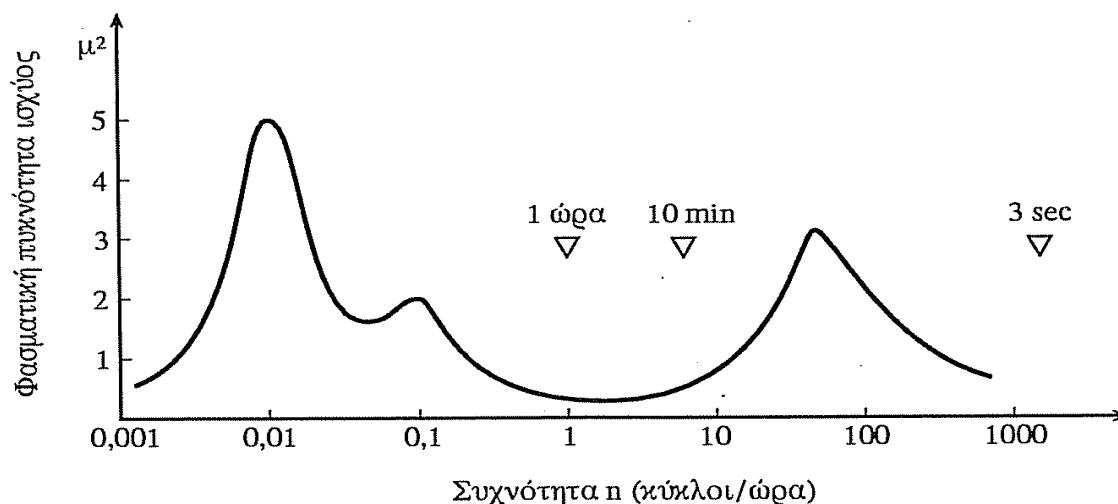
- Η ατμοσφαιρική πίεση
- Οι πνέοντες άνεμοι
- Οι μακρές ταλαντώσεις (seiches)
- Η απορροή των ποταμών

Τα φαινόμενα αυτά δεν υπόκεινται σε ασφαλή πρόγνωση και μέτρηση, σε αντίθεση με τις παλίρροιας. Έτσι λοιπόν, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ακύρωσης των επιδράσεών τους κατά τη μέτρηση της αστρονομικής παλίρροιας. (Μέμος, 2008)

1.2.2 Άνεμος

Τα τοπικά χαρακτηριστικά του ανέμου είναι ενδεχομένως η σημαντικότερη παράμετρος των μετεωρολογικών συνθηκών που βρίσκει εφαρμογή στη μελέτη λιμενικών έργων. Η ανεμοπίεση επιδρά άμεσα στις κατασκευές, στα σκάφη και στα μέτωπα παραβολής, καθώς επίσης δημιουργεί και τα ανεμογενή κύματα στην επιφάνεια της θάλασσας. Ειδικότερα, τα ανεμογενή κύματα αποτελούν την κύρια φόρτιση των λιμενικών έργων. Επομένως, η γνώση της συμπεριφοράς του ανέμου είναι προφανής για τη μελέτη των λιμενικών έργων.

Σε μία συγκεκριμένη θέση η ταχύτητα του ανέμου, μεταβάλλεται συνεχώς σε όλες τις κλίμακες του χρόνου. Μία τυπική μορφή φάσματος της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου φαίνεται στο διάγραμμα 1. (Μέμος, 2008)



Διάγραμμα 1. Τυπικό φάσμα της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου (Van der Hoven, J.Meteor., vol.14, pp.160-164, 1967) (Μέμος, 2008)

Εδώ παρατηρούμε ότι το φάσμα παρουσιάζει δύο κύριες κορυφές. Μία στις μεγάλες και μία στις μικρές συχνότητες. Η πρώτη κορυφή έχει χαρακτηριστικές περιόδους της τάξεως του λεπτού και προκαλεί, κατά κύριο λόγο, δυναμικές φορτίσεις στις κατασκευές. Η δεύτερη κορυφή έχει χαρακτηριστικές περιόδους της τάξεως των ολίγων ημερών και είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία των ανεμογενών κυματισμών στους ωκεανούς. Οι ονομασίες των ανέμων με την αντίστοιχη κατεύθυνσή τους παρατάσσονται στον παρακάτω πίνακα (Μέμος, 2008):

Πίνακας 2. Αντιστοιχία Ανεμολογίου και Ονομασίας (Πηγή: Μέμος, 2008)

Αρχαία Ονομασία	Σημερινή Ονομασία	Προέλευση
Βορέας	Τραμουντάνα	B
Καικίας	Γρέγος (ή Μέσης)	BA
Απηλιώτης	Λεβάντες	A
Εύρος	Σορόκος	NA
Νότος	Όστρια	N
Λιψ	Γαρμπής (ή Λίβας)	NΔ
Ζέφυρ	Πουνέντες	Δ
Σκίρων	Μαΐστρος	BΔ

Είναι γνωστό ότι η ένταση του ανέμου εκφράζεται σε βαθμούς της κλίμακας Beaufort. Αξίζει να σημειωθεί πως ο άνεμος παίρνει το όνομά του από την διεύθυνση προέλευσής του (π.χ. βόρειος, βορειοανατολικός), ενώ τα ρεύματα χαρακτηρίζονται από τον τομέα προορισμού τους. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις αντιστοιχίες της κλίμακας Beaufort με άλλες μονάδες μέτρησης του ανέμου και μία σύντομη περιγραφή της κατάστασης της θάλασσας.

Πίνακας 2. Κλίμακα Beaufort Ανέμων (Πηγή: Μέμος, 2008)

Κλίμακα Beaufort	Περιγραφή	Ταχύτητα ανέμου			Κατάσταση θαλάσσης
		Κόμβοι	mil/hr	m/s	
0	Άπνοια	<1	<1	<0.5	Σαν καθρέφτης
1	Υποπνέων	1-3	1-3	0.5-1.5	Ρυτιδώσεις χωρίς αφρό
2	Ασθενής αύρα	4-6	4-7	2.1-3.1	Μικρά κυματίδια με λείες κορυφές χωρίς θραύση
3	Λεπτή αύρα	7-10	8-12	3.6-5.1	Μεγαλύτερα κυματίδια που αρχίζουν να θραύ- ονται. Αφρός υαλώ- δους εμφάνισης
4	Μέτρια αύ- ρα	11-16	13-18	5.7-8.2	Μικρά κύματα που γί- νονται μεγαλύτερα· συ- χνές εμφανίσεις αφρών
5	Λαμπρή αύ- ρα	17-21	19-24	8.7-10.8	Μέτρια επιμήκη κύμα- τα πολλοί αφροί και ίσως σταγονίδια
6	Ισχυρή αύρα	22-27	25-31	11.3-13.9	Μεγάλα κύματα εκτε- ταμένοι αφροί παντού
7	Ισχυρός άνεμος	28-33	32-38	14.4-17.0	(1)
8	Σφοδρός άνεμος	34-40	39-46	17.5-20.6	(2)
9	Ορμητικός άνεμος	41-47	47-54	21.1-24.2	(3)
10	Θύελλα	48-55	55-63	24.7-28.3	(4)
11	Σφοδρή θύελλα	56-63	64-73	28.8-32.4	(5)
12	Τυφώνας	64-71	74-82	32.9-36.5	(6)

- (1) Οι αφροί από τα θραυόμενα κύματα αρχίζουν να διατάσσονται σε λωρίδες κατά τη διεύθυνση του ανέμου.
- (2) Μετρίως υψηλά κύματα μεγαλύτερου μήκους. Οι αφροί διατάσσονται σε ευδιάκρι-
τες λωρίδες κατά τη διεύθυνση του ανέμου. Τα σταγονίδια εμποδίζουν την ορατό-
τητα.
- (3) Υψηλά κύματα. Πυκνές λωρίδες αφρού κατά τη διεύθυνση του ανέμου. Περιορι-
σμένη ορατότητα.
- (4) Πολύ υψηλά κύματα με κοίλες κορυφές. Η επιφάνεια της θάλασσας έχει άσπρη εμ-
φάνιση από τους πολλούς αφρούς. Περιορισμένη ορατότητα.
- (5) Ιδιαίτερα υψηλά κύματα που μπορούν να κρύψουν μικρά και μεσαία σκάφη. Η
επιφάνεια της θάλασσας είναι εντελώς καλυμμένη με αφρούς ενώ οι κορυφές των
κυμάτων εξανεμίζονται. Περιορισμένη ορατότητα.
- (6) Ο αέρας γεμίζει από αφρούς και σταγονίδια. Η θάλασσα καλύπτεται από αφρούς
και σταγονίδια. Η ορατότητα είναι πολύ σοβαρά περιορισμένη.

1.2.3 Άλλα Μετεωρολογικά Μεγέθη

Για μία ολοκληρωμένη μελέτη λιμενικών έργων, ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του λιμένα, πρέπει να συλλέγονται και άλλες μετεωρολογικές πληροφορίες που αφορούν (Μέμος, 2008):

- (α) Τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις
- (β) Τη θερμοκρασία και υγρασία του αέρα
- (γ) Την ορατότητα
- (δ) Την ατμοσφαιρική πίεση
- (ε) Την ηλιοφάνεια

1.2.4 Κύματα

Τα μεγέθη των ανεμογενών κυματισμών, που αφορούν τα λιμενικά έργα, υπολογίζονται κατά κύριο λόγο με ικανοποιητική ακρίβεια από τις μεθόδους πρόγνωσης της θαλάσσιας υδραυλικής. Οι μέθοδοι αυτοί βασίζονται στα ανεμολογικά στοιχεία και στη γεωγραφική διαμόρφωση των ακτών. Η πρόβλεψη των χαρακτηριστικών στοιχείων του κυματισμού αφορά στα βαθιά νερά, όπου η επίδραση του πυθμένα είναι αμελητέα. Δεδομένου ότι τα κύματα ταξιδεύουν προς την ακτή, όπου συνήθως βρίσκονται τα λιμενικά έργα, δέχονται ένα πλήθος μεταβολών, οι κυριότερες από τις οποίες οφείλονται στη ρήχωση, στη διάθλαση, στη περίθλαση, στην ανάκλαση από τον κεκλιμένο πυθμένα και στη θραύση των κυμάτων. Όλες οι παραπάνω μεταβολές μπορούν να υπολογισθούν με μεθόδους της θαλάσσιας υδραυλικής.



Εικόνα 1. Ρεαλιστική απεικόνιση της θραύσης των κυματισμών. (Κόφτης, 2010-2011)

Υπάρχουν, βέβαια, περιπτώσεις σοβαρών έργων ή ανυπαρξίας ανεμολογικών στοιχείων, όπου γίνονται μετρήσεις πεδίου των κυματισμών στην περιοχή. Αυτές οι μετρήσεις γίνονται είτε με αισθητήρια πίεσης, που τοποθετούνται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, είτε με επιπλέοντα όργανα (waveriders), ή με ηλεκτρόδια που διαπερνούν τη θαλάσσια επιφάνεια. Τα ύψη κύματος καταγράφονται και αναλύονται με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή και εφαρμόζοντας μία παραδεκτή μέθοδο.

Επίσης, χρήσιμη πληροφορία σχετικά με τους κυματισμούς είναι και η διεύθυνσή τους. Τα στοιχεία κατεύθυνσης των κυματισμών, τα συλλέγουμε με ραντάρ ή συσκευές υπερύθρων ακτινοβολιών, που τοποθετούνται σε θαλάσσιες πλατφόρμες. Γνωρίζοντας τα στοιχεία διεύθυνσης μπορούμε να παρουσιάσουμε τα χαρακτηριστικά των κυματισμών σε μορφή διαγραμμάτων κατανομής συχνότητας ή περιόδου για διάφορους τομείς κατευθύνσεων.

Στην πραγματικότητα, σε κάθε θαλάσσιο κυματισμό υπάρχει μία ποικιλία περιόδων που μπορεί να αποδοθεί με το κατάλληλο φάσμα. Εφαρμόζοντας τη θεωρία της θαλάσσιας υδραυλικής, είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε το κυματικό κλίμα στη θέση κατασκευής των έργων μας, υπό τη μορφή, έστω, ενός δυσδιάστατου φάσματος κατεύθυνσης - συχνότητας και μιας απλοποιημένης κατανομής υψών κύματος. (Μέμος, 2008)

1.2.5 Θαλάσσια Ρεύματα

Τα θαλάσσια ρεύματα στις παράκτιες περιοχές είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν με αξιοπιστία σε αντίθεση με τα κύματα, διότι επιδρούν διάφορες συνιστώσες των ρευμάτων όπως (Μέμος, 2008):

- (α) Τα ωκεάνια ρεύματα
- (β) Παλίρροιακά ρεύματα
- (γ) Τα ανεμογενή ρεύματα
- (δ) Τα ρεύματα λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης
- (ε) Τα κυματογενή ρεύματα

Τα ωκεάνια ρεύματα και τα ρεύματα λόγω παλίρροιας αναφέρονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Τα ανεμογενή ρεύματα και τα ρεύματα λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης εμφανίζονται σε τοπικά φαινόμενα, ενώ τα κυματογενή ρεύματα προκαλούνται στα ρηχά νερά.

Επίσης, σημαντικά ρεύματα μπορούν να προκληθούν από την ύπαρξη εκβολής ποταμού στην υπό εξέταση περιοχή. Το ποσοστό του γλυκού νερού που εισρέει στη θάλασσα συντηρεί ρεύματα πυκνότητας με φορά κάθετη προς τις επιφάνειες ίσης πυκνότητας.

Γίνεται φανερό ότι η θεωρητική πρόβλεψη των ρευμάτων είναι αδύνατη, εφόσον τα ρεύματα σε δεδομένη θέση της παράκτιας ζώνης μεταβάλλονται τόσο ως προς το βάθος όσο και ως προς το χρόνο. Επομένως, καταφεύγουμε στις απευθείας μετρήσεις ρευμάτων με τη χρήση κατάλληλων οργάνων. Αυτά τα προγράμματα ρευματομετρήσεων θα πρέπει να έχουν ικανοποιητική διάρκεια, της τάξεως του έτους, και ποικιλία ως προς τη στάθμη λήψης των μετρήσεων προκειμένου να είναι αξιόπιστα.

1.2.6 Μεταφορά Ιζημάτων

Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους που εξετάζονται για την μελέτη των λιμενικών έργων, όπως κυματοθραύστης, δίαυλος ναυσιπλοΐας κ.λπ., είναι η μεταφορά ιζημάτων στη περιοχή που μας ενδιαφέρει. Κατά κανόνα, τα λιμενικά έργα τοποθετούνται κοντά στην ακτή, στη ζώνη μετά την θραύση των κυμάτων, εκεί δηλαδή που συμβαίνει το μεγαλύτερο ποσοστό της στερεομεταφοράς. Συνεπώς, η επίδραση των έργων στη στερεομεταφορά της ακτής μπορεί να είναι σημαντική. Είναι γνωστό ότι τα επιφανειακά ιζήματα βρίσκονται είτε σε δυναμική ισορροπία με τις φορτίσεις του περιβάλλοντος, είτε σε κίνηση που μπορεί να γίνεται στον πυθμένα ή στα ανώτερα στρώματα του υδάτινου σώματος. Η διαδικασία της μεταφοράς ιζημάτων ορίζεται κυρίως από το μέγεθος των κόκκων του εδαφικού υλικού και τη διατμητική τάση που ασκεί η ροή σε αυτό. (Μέμος, 2008)

Όσο για το αν η μεταφορά των φερτών υλικών θα γίνει στον πυθμένα με κύλιση, σύρση, με μικρά άλματα, ή σε αιώρηση στη μάζα του νερού εξαρτάται από τον λόγο U_f/U^* , όπου:

U_f η ταχύτητα καθίζησης των κόκκων

$U^* = (\tau_0/\rho)^{1/2}$ η ταχύτητα τριβής

τ_0 η διατμητική τάση στον πυθμένα, που προκαλείται από τη ροή

ρ η πυκνότητα του θαλασσινού νερού

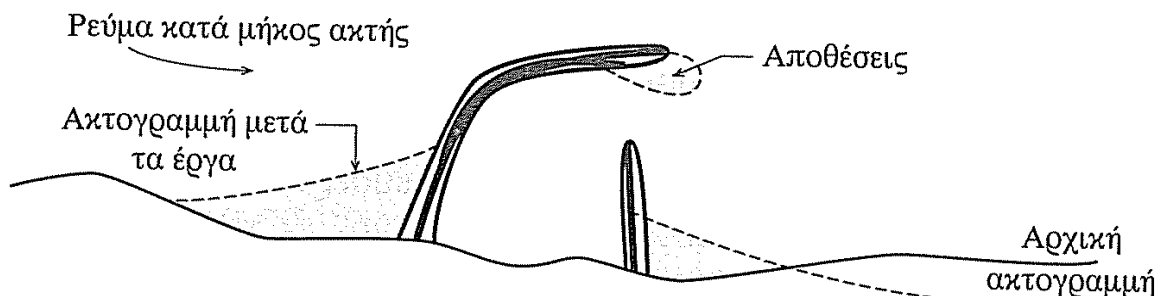
Για τιμές του λόγου κάτω από περίπου 1, το φορτίο σε αιώρηση γίνεται σημαντικό.

Τα κυριότερα αίτια που προκαλούν τη στερεομεταφορά είναι τα θαλάσσια ρεύματα και οι κυματισμοί. Οι άνεμοι και οι παλίρροιες είναι οι μηχανισμοί που προκαλούν τα βασικότερα είδη κυμάτων που είναι υπεύθυνα για τη μεταφορά των φερτών υλικών. Οι κυματισμοί συμμετέχουν στη διαδικασία της μεταφοράς με τους εξής τρόπους (Μέμος, 2008):

- Ανάδευση του εδαφικού υλικού και θέση του σε αιώρηση μέσω της τύρβης που ελκύεται κατά τη θραύση.
- Εφαρμογή διατμητικής τάσης στον πυθμένα μέσω της τροχιακής κίνησης των υγρών σωματιδίων. Η κίνηση αυτή λόγω του εναλλασσόμενου σημείου δημιουργεί τις γνωστές κυματώσεις αμμόδους πυθμένα στα ρηχά νερά.
- Δημιουργία ρεύματος κατά μήκος της ακτής στη ζώνη μεταξύ ακτογραμμής και περιοχής θραύσης των κυματισμών. Η ένταση και η φορά του ρεύματος αυτού εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών στην ακτή και από τη ποσότητα κίνησης που μεταφέρουν.

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι σύμφωνα με την απουσία σημαντικών ρευμάτων παλίρροιας (φαινόμενο που συμβαίνει στη Ελλάδα και γενικότερα στη Μεσόγειο), οι βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς ιζημάτων δρουν αποτελεσματικά στα ρηχά νερά. Σε μία περιοχή χωρίς παλίρροια, το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής στερεομεταφοράς συμβαίνει μεταξύ ακτογραμμής και ζώνης θραύσης των κυματισμών. (Μέμος, 2008)

Τα πάσης φύσεως λιμενικά έργα που κατασκευάζονται στη παράκτια ζώνη προκαλούν, όπως είναι λογικό, αλλαγές στην ισορροπία του συστήματος, οι οποίες μπορούν να επεκταθούν σε μεγάλη έκταση από τη θέση των έργων. Τα φαινόμενα που συνήθως δημιουργούνται από τη διατάραξη της ισορροπίας είναι διάβρωση της ακτής, συγκέντρωση φερτών ανάντι του (προσήνεμου) μώλου, αποθέσεις ιζημάτων στην περιοχή της εισόδου, του δίαυλου προσέγγισης, της λιμενολεκάνης, κ.ο.κ. Οι βασικές επιδράσεις που προκαλούνται από τη στερεομεταφορά φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 10. Επιδράσεις των λιμενικών έργων στη μεταφορά ιζημάτων (Μέμος, 2008)

Η επίλυση των παραπάνω προβλημάτων δεν είναι εύκολη υπόθεση, γι' αυτό και τις περισσότερες φορές καταφεύγουμε στη μέθοδο μεταφοράς των αποθέσεων με άντληση από το ανάντι στο κατάντι τμήμα του λιμένα (sand bypassing), ώστε να ελαχιστοποιούνται οι ελάχιστες βυθοκορήσεις συντήρησης των βαθών. Ουσιαστικά, σκοπός είναι να προσπαθήσουμε να δώσουμε μία μορφή στα εξωτερικά λιμενικά έργα, τέτοια ώστε να ευνοείται η μεταφορά των ιζημάτων προς τα βαθιά όπου δεν ενοχλούν.

1.2.7 Γεωτεχνική Έρευνα

Ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας για τη μελέτη ενός λιμενικού έργου είναι η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά του εδάφους όπου προβλέπεται η κατασκευή του έργου. Μέσα από ένα κατάλληλο πρόγραμμα γεωτεχνικών ερευνών, σχεδιασμένο έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις αναγκαιότητες του έργου, αποκτούμε τις πληροφορίες που θέλουμε σχετικά με το έδαφος στην περιοχή του έργου. Η γεωτεχνική έρευνα περιλαμβάνει εργαστηριακές αναλύσεις σε δοκίμια και επί τόπου δοκιμές, που στόχο έχουν την απόκτηση εδαφικών τομών ικανοποιητικής ακρίβειας. Επειδή αναφερόμαστε σε λιμενικά έργα, ένα μεγάλο μέρος των δοκιμών πρέπει να γίνεται στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Οι μέθοδοι γεωτεχνικής έρευνας που χρησιμοποιούνται στη θάλασσα δεν διαφέρουν από αυτές που γίνονται στη στεριά. Η απόκτηση των δοκιμών γίνεται είτε με γεωτρήσεις, είτε χωρίς αυτές με δειγματολήπτες ποικίλων τύπων (βαρύτητας, δονητικούς, κ.λπ.) ανάλογα με τη σύσταση του εδάφους.

Επιπλέον, εκτός από τα παραπάνω, συναντάμε και άλλες γνωστές μεθόδους που εφαρμόζονται στη γεωτεχνική έρευνα για λιμενικά έργα ανάλογα φυσικά με τις ανάγκες που παρουσιάζονται για το κάθε έργο. Μερικές από αυτές είναι, οι δοκιμαστικές τάφροι, οι δοκιμές πτερυγίου (vane tests), οι δοκιμές εισπίεσης νερού, κ.λπ. (Μέμος, 2008)

Κεφάλαιο 2° Κυμαθοθραύστες

2.1 Γενικά

Σήμερα οι όροι "κυμαθοθραύστης" και "μώλος" θεωρούνται σχεδόν συνώνυμοι γιατί ο κύριος αντικειμενικός σκοπός και των δύο είναι κοινός και αποβλέπει στην προστασία και διασφάλιση της ηρεμίας της λεκάνης του λιμένα από κύματα που προσβάλλουν την περιοχή από οποιαδήποτε διεύθυνση.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κυματοθραυστών ανάλογα με την μορφή και την λειτουργία τους. Οι κύριες κατηγορίες είναι οι εξής:

- Κυματοθραύστες με πρηνή ή με κεκλιμένα μέτωπα (ή παρειές)
- Κυματοθραύστες με κατακόρυφα μέτωπα (ή παρειές)
- Σύνθετοι κυματοθραύστες

Οι κυματοθραύστες τόσο του πρώτου τύπου όσο και του δεύτερου τύπου θεωρούνται "έργα βαρύτητας", γιατί η μόνη αντίσταση στις δράσεις των κυμάτων και στις αντιδράσεις στήριξης και ισορροπίας είναι το ίδιο τους το βάρος.

Το μέτωπο που προσβάλλεται από τα ισχυρότερα κύματα του πελάγους λέγεται εξωτερικό ή προσήνεμο ενώ το μέτωπο που "βλέπει" προς το λιμάνι λέγεται εσωτερικό ή υπήνεμο μέτωπο.



Εικόνα 2. Απεικόνιση προσήνεμου και υπήνεμου μετώπου μώλου στο λιμένα Παραλίου Άστρους.
(www.astrosnews.gr)

Πάνω, λοιπόν, στον προσήνεμο μώλο πρέπει να θραύσει το κύμα και όλη η ενέργειά του να διασκορπιστεί και να καταστραφεί. Λειτουργικά, το προσήνεμο μέτωπο του κυματοθραύστη

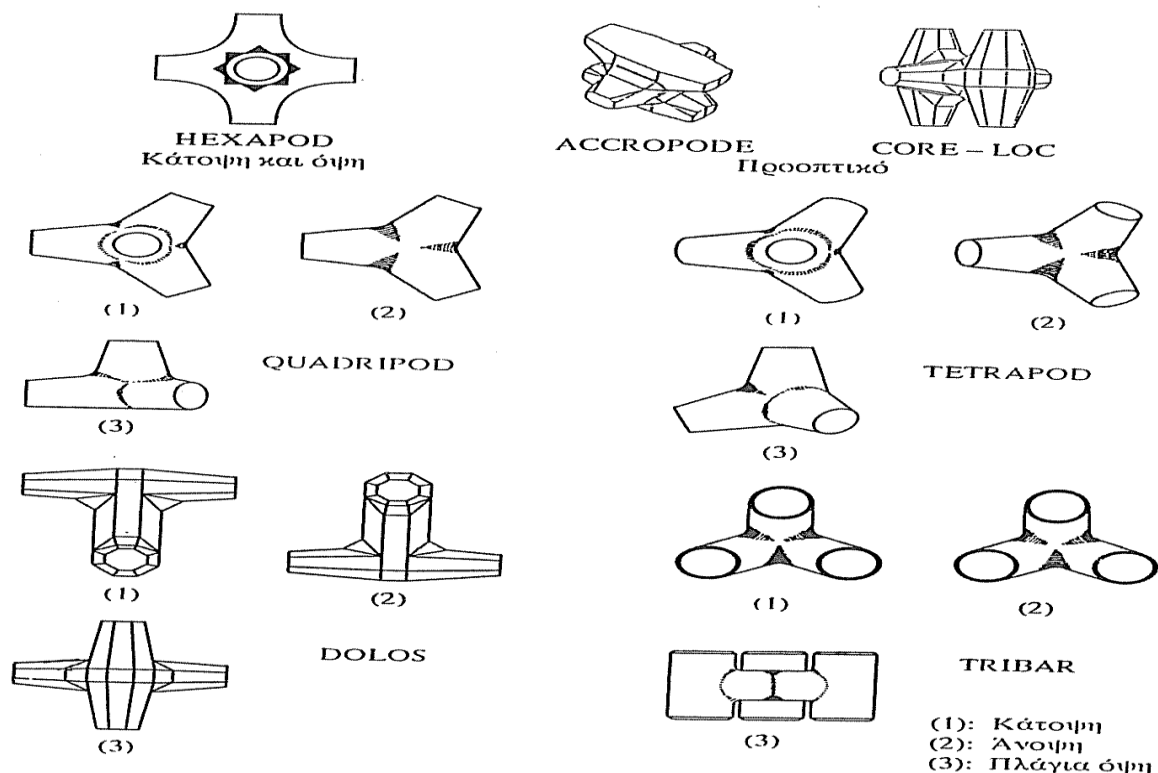
καλείται να παίξει ρόλο προφυλακτικής ασπίδας, πάνω στην οποία θα θραύονται και θα καταστρέφονται εντελώς όλοι οι κυματισμοί με την εξουδετέρωση όλων των δυνάμεων και τον κατακερματισμό όλης της κινητικής και δυναμικής ενέργειας που αποδεδμεύεται κατά την ροή των θαλάσσιων μαζών και τη θραύση των κυμάτων πάνω και γύρω από τις μονάδες θωράκισης. Για το λόγο αυτό, το προσήνεμο μέτωπο ενός κυματοθραύστη λέγεται και "θώρακας".

2.2 Κυματοθραύστες με πρανή ή κεκλιμένα μέτωπα

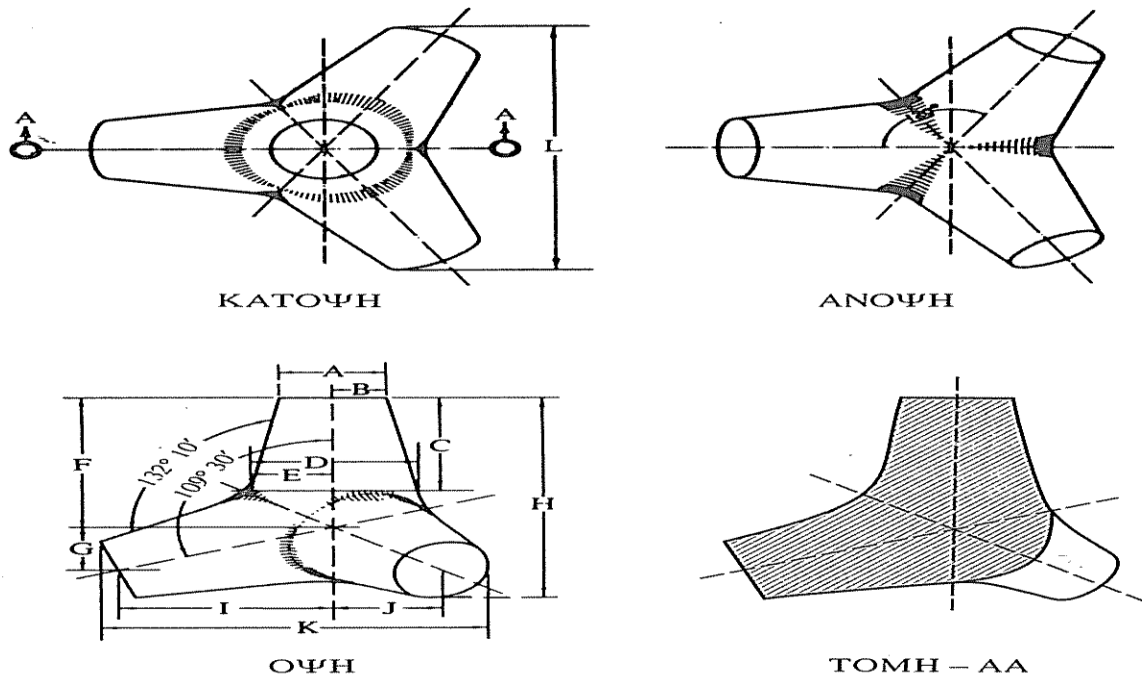
Οι κυματοθραύστες με κεκλιμένες παρειές διαμορφώνονται από λιθορριπές και ογκολίθους (φυσικούς ή τεχνητούς ή συνδυασμό και των δύο) και αποτελούν μία λύση στο πρόβλημα της προστασίας των λιμένων και των ακτών από τη δράση των κυματισμών.

Οι τεχνητοί ογκολίθοι κατασκευάζονται με κοινό άοπλο σκυρόδεμα και μπορούν να έχουν διάφορα σχήματα όπως του ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου, του κύβου, καθώς και διαφόρων παραλλαγών αυτών. Ακόμα, χρησιμοποιούνται διάφοροι τεχνητοί ογκολίθοι ειδικής μορφής που κατασκευάζονται και αυτοί με σκυρόδεμα υψηλής αντοχής.

Τέτοιοι ειδικοί τεχνητοί ογκολίθοι είναι: το δίποδο (STABIT), το τρίποδο (TRIBAR), το Γαλλικό τετράποδο (TETRAPOD), το Αμερικανικό τετράποδο (QUADRIPOD), η άγκυρα (DOLOS), το εξάποδο κ.α.

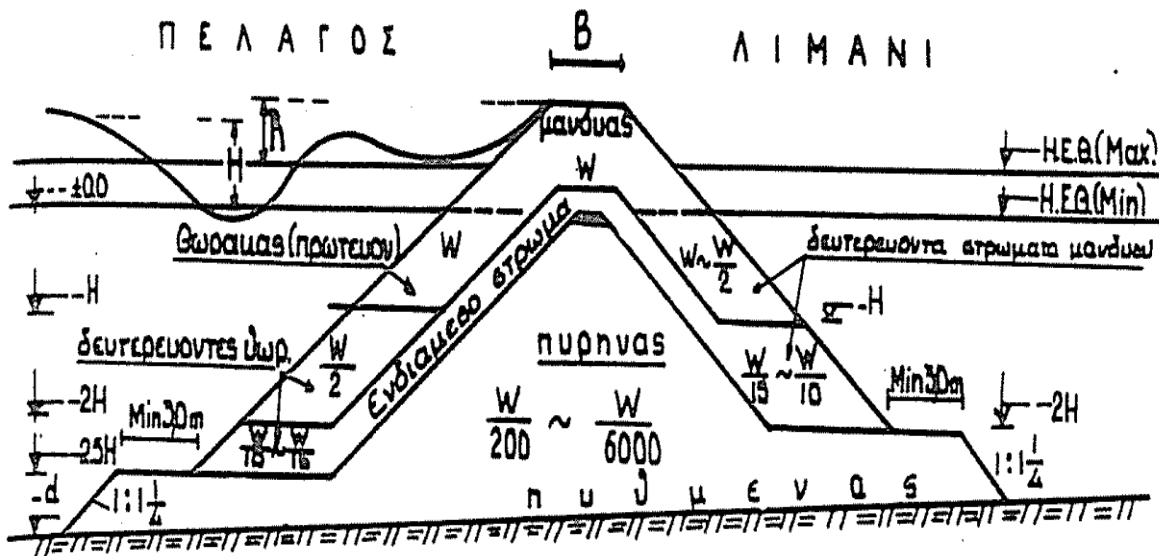


Σχήμα 11. Μερικοί τύποι τεχνητών ογκολίθων (Μέμος, 2008)



Σχήμα 12. Τεχνικά χαρακτηριστικά ογκολίθου τύπου τετραπόδου (Μέμος, 2008)

Η μόρφωση και η κατασκευή της διατομής των κυματοθραυστών με κεκλιμένα μέτωπα γίνεται κατά καπελωτά στρώματα με υλικά κατά κανόνα διαφορετικής σε βάρος διαβάθμισης. Το πιο εσωτερικό στρώμα είναι το κεντρικό και λέγεται πυρήνας. Τα υπεράνω του πυρήνα στρώματα ονομάζονται ενδιάμεσα ή δευτερεύοντα στρώματα, ενώ το ανώτατο πάνω από όλα αυτά λέγεται εξωτερικό στρώμα ή μανδύας. (Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 13. Διατομή κυματοθραύστη με κεκλιμένα μέτωπα (Δασκαλάκης, 2009)

Οι κυματοθραύστες με κεκλιμένα μέτωπα αποτελούνται από άπειρα φυσικά βραχώδη ή τεχνητά τεμάχια, των οποίων η ευστάθεια και η διατήρηση στις θέσεις τους έναντι των δυνάμεων του κύματος εξαρτώνται από (Δασκαλάκης, 2009):

- το δικό τους βάρος
- τη μεταξύ τους εμπλοκή και τριβή
- την υγιή εσωτερική σύσταση και αντοχή τους και
- τη κλίση του πρανούς που τοποθετούνται

Είναι λογικό, για την ασφαλή και συνεχή λειτουργία, αλλά και για την ενιαία αντίσταση της όλης μάζας του κυματοθραύστη να χρειάζονται κατάλληλες κατασκευαστικές μορφές και ικανές συνολικές διαστάσεις της διατομής του κυματοθραύστη. Συνεπώς, η φύση των μονάδων υλικών που χρησιμοποιούνται για μία σταθερή ισορροπία τόσο αυτών των ίδιων μονάδων, όσο και της όλης κατασκευής, απαιτεί την τοποθέτησή τους στα εξωτερικά τουλάχιστον στρώματα με κεκλιμένες παρειές ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η ασφάλειά τους σε ευστάθεια αυξάνει όσο η κλίση των εξωτερικών πρανών είναι μικρότερη.

Τα στοιχεία, λοιπόν, αυτά επιβάλλουν κεκλιμένο το εξωτερικό στρώμα (μανδύα) των κυματοθραυστών με τη μόρφωση γενικά των εξωτερικών επιφανειών τους με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Επειδή, οι δυνάμεις του κύματος διασκορπίζονται και καταστρέφονται πάνω στον μανδύα και κυρίως στον προσήνεμο μανδύα (θώρακα) είναι φυσικό, για τα υλικά που βρίσκονται κάτω από αυτόν, στα ενδιάμεσα στρώματα και ακόμη πιο μέσα στον πυρήνα της διατομής, να μην χρειάζεται ο ίδιος βαθμός ευστάθειας και αντοχής. Ακόμα, επειδή η εξόριση όλων των βραχωδών υλικών γίνεται ταυτόχρονα και μάλιστα από το μέγεθος του συντρίμματος μέχρι τους μεγάλους ογκόλιθους, λόγοι οικονομικοί επιβάλλουν τη χρησιμότητα όλων των υλικών που εξορύσσονται στο λατομείο. Οι παραπάνω λόγοι επιβάλλουν και δικαιολογούν την κατασκευή του σώματος του κυματοθραύστη κατά στρώματα τοποθετώντας τα μικρότερα βραχώδη υλικά στον πυρήνα και τα διαδοχικά μεγαλύτερα στα ενδιάμεσα στρώματα και στον μανδύα.

Τα μεγαλύτερα, όμως, τεμάχια του εξωτερικού στρώματος (μανδύα) τοποθετούνται στο τμήμα αυτού που βρίσκεται στην προσήνεμη πλευρά που δρουν τα κύματα και που ονομάζεται εξωτερικός μανδύας ή στρώμα θωράκισης του κυματοθραύστη, ενώ τα τεμάχια αυτά των υλικών (φυσικά ή τεχνητά) μονάδες θωράκισης. Οι μονάδες θωράκισης μπορούν να είναι μεγάλοι φυσικοί βράχοι συλλεκτοί ή λατομείου, είτε τεχνητοί από σκυρόδεμα ογκόλιθοι.

Όσον αφορά τις μεθόδους τοποθέτησης των μονάδων θωράκισης, είναι αδύνατο να υπολογισθούν με ακριβείς αναλυτικούς τρόπους οι δυνάμεις των κυμάτων που απαιτούνται για την μετατόπισή τους. Ακόμη, είναι αδύνατο να υπολογισθούν θεωρητικά οι δυνάμεις εκείνες των κυμάτων που προκαλούν την αρπαγή ή τη μετακίνηση των μονάδων θωράκισης.

Τα βραχέα κύματα που προσβάλλουν τον θώρακα του κυματοθραύστη μπορούν:

α) να θραυτούν εντελώς, οπότε ολόκληρη η υγρή μάζα του κύματος χύνεται κατά μήκος και μέσα στο σώμα του θώρακα.

β) να θραυτούν εν μέρει, οπότε μία ορισμένη μόνο θαλάσσια μάζα χύνεται επί του πρανούς και μέσα στο σώμα του θώρακα, ενώ μία άλλη ποσότητα θα παλινδρομήσει προς τα πίσω.

Για τους παραπάνω λόγους, η μόρφωση και ο υπολογισμός των κυματοθραυστών βασίζεται στη πείρα και στην εμπειρία που αποκτήθηκε τόσο από τη συμπεριφορά που έδειξαν οι κυματοθραύστες που έχουν κατασκευαστεί μέχρι σήμερα, όσο και από τα αποτελέσματα των πειραμάτων που έχουν γίνει στη φύση και στο εργαστήριο. Έτσι, περισσότερο από τη θεωρία, η εμπειρία με τη βοήθεια του υδραυλικού εργαστηρίου χρησιμοποιείται σήμερα για τη μόρφωση και την εξαγωγή τύπων υπολογισμού των κυματοθραυστών με πρανή, τα

αποτελέσματα των οποίων θεωρούνται πολύ ικανοποιητικά και εγγυούνται την ασφάλεια της κατασκευής.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στο παρελθόν έγιναν αρκετές προσπάθειες υπολογισμού των χαρακτηριστικών στοιχείων της ευστάθειας των κυματοθραυστών με πρηνή με θεωρητική ανάλυση που δυστυχώς δεν απέδωσαν θετικά αποτελέσματα.

Επίσης, οι κυματοθραύστες της κατηγορίας αυτής μπορούν για την καλύτερη προστασία τους από τα κύματα να είναι καλυμμένοι στη στέψη τους, από μια υπερκατασκευή που αποτελείται από μια βάση με ή χωρίς κατάστρωμα κυκλοφορίας και από ένα στηθαίο (προστατευτικός τοίχος) που κατασκευάζονται μονολιθικά από χυτό σκυρόδεμα. Η βάση μπορεί να εδράζεται πάνω σε μια ή και σε δύο σειρές τεχνητών ογκόλιθων σχήματος συνήθως ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου. (Μέμος, 2008 και Δασκαλάκης, 2009)

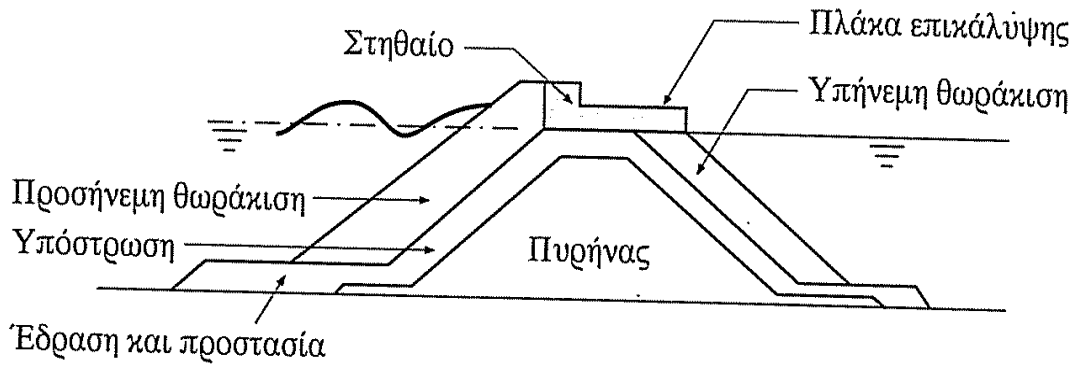
2.2.1 Υπερκατασκευή του κυματοθραύστη

Πολλές είναι οι περιπτώσεις, όπου η θωράκιση της στέψης ενισχύεται με τη συμπλήρωση των κενών με ισχυρό σκυρόδεμα. Η πράξη όμως έδειξε ότι η μονολιθικότητα που επιτυγχάνεται με τον τρόπο αυτό δεν διατηρείται για πολύ χρόνο γιατί η κατασκευή αυτή θραύεται σύντομα και δημιουργεί πρόσθετες εργασίες και συνεπώς και δαπάνες επισκευής. Εξάλλου η εξαφάνιση του πορώδους αλλά και της τραχύτητας των επιφανειών των φυσικών ογκολίθων κάνει λεία την επιφάνεια του θώρακα της στέψης και προκαλεί αύξηση της υπερύψωσης του κύματος, η οποία οπωσδήποτε είναι ανεπιθύμητη.

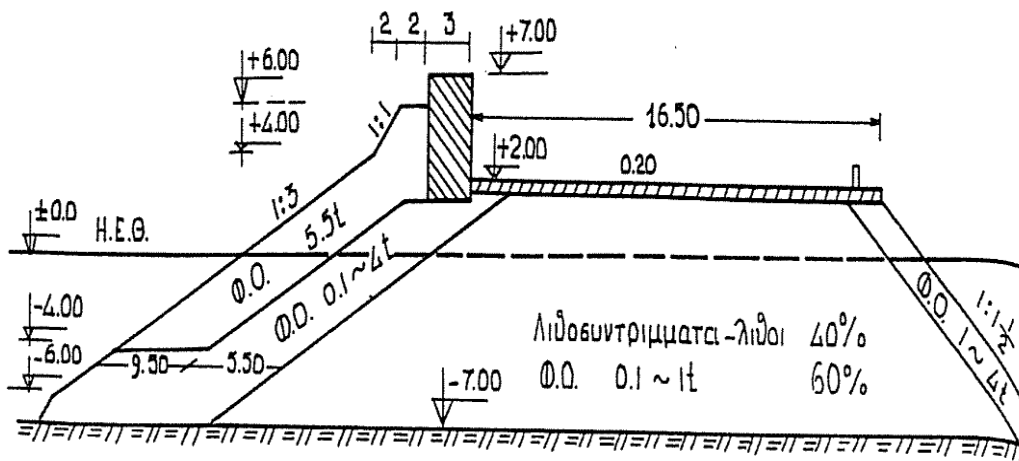
Ειδικότερα σε κυματοθραύστες στους οποίους επιτρέπεται κατά ένα βαθμό η διέλευση θαλάσσιων μαζών υπεράνω της στέψης τους, η κατασκευή αυτή είναι εντελώς περιττή. Στις περιπτώσεις, όμως, που δεν επιτρέπεται η υπερπήδηση των κυμάτων υπεράνω της στέψης, προτιμάται η κατασκευή πάνω σ' αυτή μιας υπερκατασκευής (βάσης) από χυτό σκυρόδεμα που θα εδράζεται είτε κατευθείαν πάνω στους φυσικούς ογκόλιθους της στέψης, είτε πάνω σε μία ή και σε δύο σειρές τεχνητών ογκολίθων, που τοποθετούνται πάνω στη στέψη του κυματοθραύστη. (Δασκαλάκης, 2009)

Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να υπερυψωθεί η στέψη του κυματοθραύστη, αλλά και να δημιουργηθεί κατάστρωμα κυκλοφορίας οχημάτων, σιδηροδρομικών βαγονιών, γερανών κ.λπ. τα οποία είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για τη συντήρηση του έργου, την πλεύριση των πλοίων και για άλλες λειτουργίες που θα προκύψουν από τη χρήση του εσωτερικού μετώπου του κυματοθραύστη.

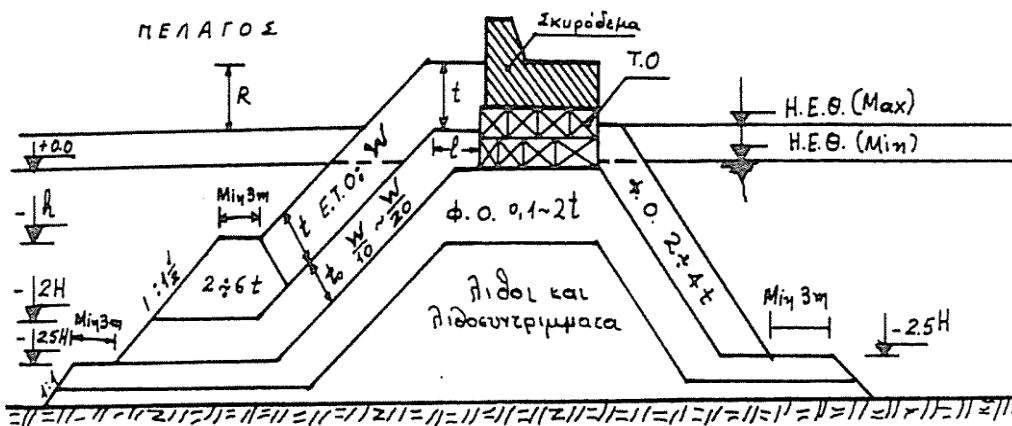
Η υπερκατασκευή μπορεί να έχει διάφορα σχήματα ανάλογα με τις πρόσθετες εξυπηρετήσεις που προορίζεται να παρέχει. Όταν χρειάζεται να έχει κατάστρωμα κυκλοφορίας, που είναι και η πιο συνηθισμένη μορφή, τότε η υπερκατασκευή έχει σχήμα διατομής L. Δηλαδή κατασκευάζεται μια βάση (ορθογωνικής διατομής) από χυτό σκυρόδεμα, πάνω στην οποία (και προς το άκρο που βρίσκεται προς την πλευρά του πελάγου) κατασκευάζεται ένας προφυλακτήριος τοίχος (επίσης από το ίδιο σκυρόδεμα) του οποίου η στέψη φτάνει σε ένα υψόμετρο που καθορίζεται από την υπερύψωση R της κορυφής του κύματος, ώστε να αποτρέπεται η υπερπήδησή του από τις θαλάσσιες μάζες του κύματος. (Δασκαλάκης, 2009)



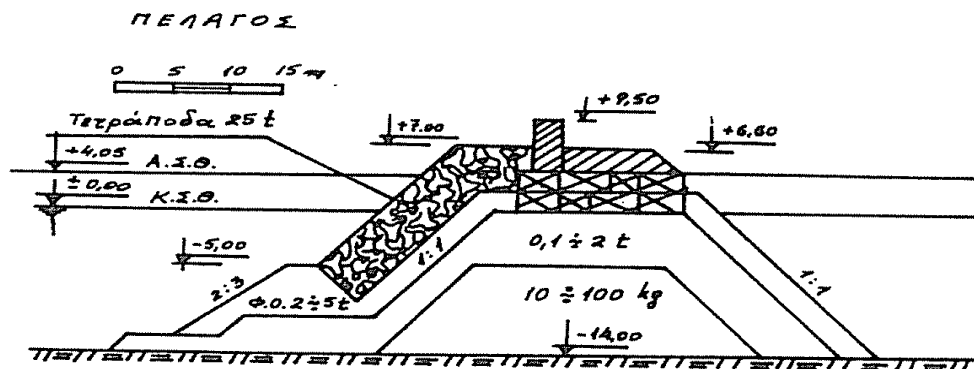
Σχήμα 14. Εξωτερικό έργο με πρανή και πλάκα επικάλυψης (Μέμος, 2008)



Σχήμα 15. Διατομή του κυματοθραύστη του λιμανιού VINARÓZ Ισπανίας. (Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 16. Τυπική διατομή κυματοθραύστη με θύρακα από Ε.Τ.Ο. (Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 17. Διατομή του κυματοθραύστη στο λιμάνι Safi (Marocco). Έδραση υπερκατασκευής πάνω σε δύο σειρές τεχνητών ογκολίθων. (Δασκαλάκης, 2009)

Η υπερκατασκευή θα πρέπει να κατασκευάζεται μετά από έναν τουλάχιστον χρόνο από τη κατασκευή της θωράκισης της στέψης του κυματοθραύστη, ώστε να έχουν γίνει εάν είναι δυνατό εντελώς όλες οι υποχωρήσεις από συνίζηση και καθίζηση των πετρωμάτων και του εδάφους. Φυσικά αυτό πρέπει να επιδιώκεται εφόσον άλλοι ειδικοί λόγοι (καταστροφικές τρικυμίες) δεν επιβάλουν την άμεση κατασκευή της υπερκατασκευής. Στις περιπτώσεις όμως αυτές, θα υπάρχει πάντοτε το θέμα αποκατάστασης ορισμένων ζημιών, οι οποίες θα προκύψουν από τοπικές θραύσεις και υποχωρήσεις της μονολιθικής υπερκατασκευής λόγω ανομοιομορφων συνιζήσεων των πετρωμάτων των υποκείμενων στρωμάτων του κυματοθραύστη, κυρίως όμως λόγω ανομοιομορφων καθιζήσεων του πυθμένα πάνω στον οποίο εδράζεται ο κυματοθραύστης. (Δασκαλάκης, 2009)

2.2.2 Βυθισμένοι κυματοθραύστες

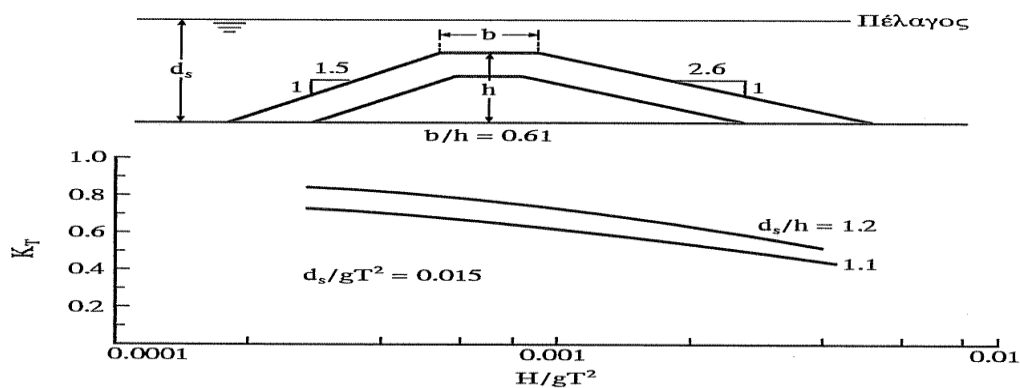
Μερικές φορές αναγκαζόμαστε να καταφύγουμε στη λύση των βυθισμένων κυματοθραυστών με πρηνή για να προστατεύσουμε μια περιοχή από τους κυματισμούς. Η στέψη των έργων αυτών βρίσκεται είτε στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, είτε λίγο πάνω από αυτόν ή χαμηλότερα από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας και κατασκευάζονται συχνά για να προστατεύσουν (Μέμος, 2008 και Δασκαλάκης, 2009):

- Τα θεμέλια παραλιακών ακτών (όπως οδών, κτηρίων κ.α.) από τις υποσκαφές και τις δυναμικές ενέργειες που προκαλούν τα κύματα.
- Τις αμμώδεις ακτές και παραλίες που χρησιμοποιούνται ως πλαζ λουόμενων και που παθαίνουν σοβαρές περιοδικές διαβρώσεις από τις δυνάμεις των κυμάτων.
- Τις χαμηλές παραλιακές περιοχές που πλημμυρίζουν από τις εκχυνόμενες μάζες των θραυόμενων κυμάτων, κοντά στην ακτή.
- Και τέλος, για να προστατέψουν, μερικώς και κατά ένα βαθμό, την ηρεμία της λεκάνης που σχηματίζεται μεταξύ κυματοθραύστη και της ακτής, σε περιπτώσεις που δεν χρειάζεται να υπάρχει απόλυτη νηνεμία σ' αυτή (όπως π.χ. για ένα προσωρινό αγκυροβόλιο, για την ανάπτυξη ιχθυοτροφείων, για την κολύμβηση κ.λπ.)

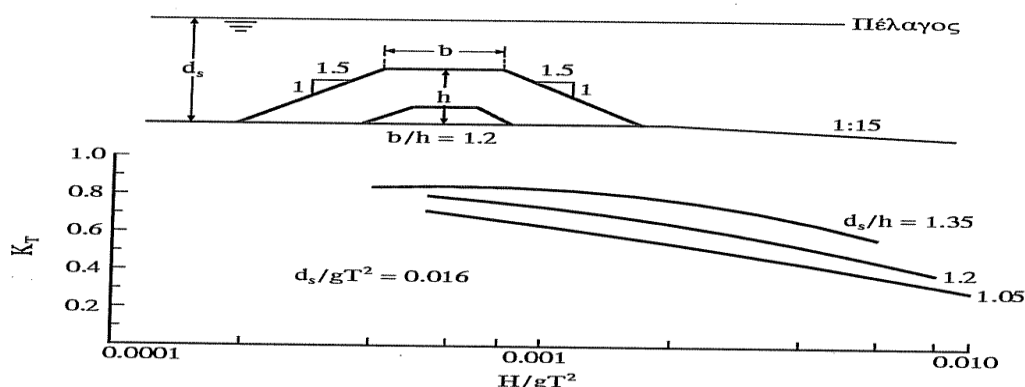
Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των βυθισμένων έργων είναι ότι εναρμονίζονται αισθητικά με το περιβάλλον, καλύτερα από τους ορατούς κυματοθραύστες. Αυτό έχει ιδιαίτερη βαρύτητα σε περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους ή ιστορικής παράδοσης. Άλλα πλεονεκτήματα είναι βέβαια η μείωση των απαιτούμενων υλικών κατασκευής έναντι των αντίστοιχων ορατών έργων και η χαμηλή ανάκλαση κυματισμών. (Μέμος, 2008)

Όμως οι βυθισμένοι κυματοθραύστες δεν είναι άμοιροι μειονεκτημάτων, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι η μεγάλη διαπερατότητα που παρουσιάζουν στους κυματισμούς και ο κίνδυνος που τίθεται στη ναυσιπλοΐα. Η μικρή απορρόφηση ενέργειας κυματισμών που παρουσιάζουν οι βυθισμένοι κυματοθραύστες οφείλεται στο ότι τα πρηνή τους δεν εκτείνονται στη ζώνη που μεταδίδεται το μεγαλύτερο ποσοστό της κυματικής ενέργειας. Για να είναι πιο αποτελεσματικό το βυθισμένο εξωτερικό έργο θα πρέπει η στέψη του να βρίσκεται όσο γίνεται κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια. Σε περιοχές που η στάθμη της θάλασσας παρουσιάζει σημαντική διακύμανση γίνεται επομένως προβληματική η πρόβλεψη τέτοιων έργων. Το ίδιο ισχύει και σε περιοχές έντονης κυματικής δράσης, λόγω του μεγάλου συντελεστή μετάδοσης των κυματισμών. (Μέμος, 2008)

Εν κατακλείδι, το πλάτος b της στέψης του έργου προβλέπεται μεγάλο, ώστε να συντελεστεί εκεί θραύση σημαντικού ποσοστού κυματισμών με αποτέλεσμα την καλύτερη απόδοση του έργου. Στη συνέχεια δίδονται μερικά διαγράμματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν οδηγός στον υδραυλικό σχεδιασμό βυθισμένου κυματοθραύστη από λιθορριπές. (Μέμος, 2008)



Σχήμα 18. Μετάδοση κυματισμού πάνω από βυθισμένο κυματοθραύστη ήπιας κλίσης πρηνούς. (Μέμος, 2008)



Σχήμα 19. Μετάδοση κυματισμού πάνω από βυθισμένο κυματοθραύστη με εκτεταμένη θωράκιση. (Μέμος, 2008)

2.2.3 Σχεδιασμός και ευστάθεια του έργου

(α) ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

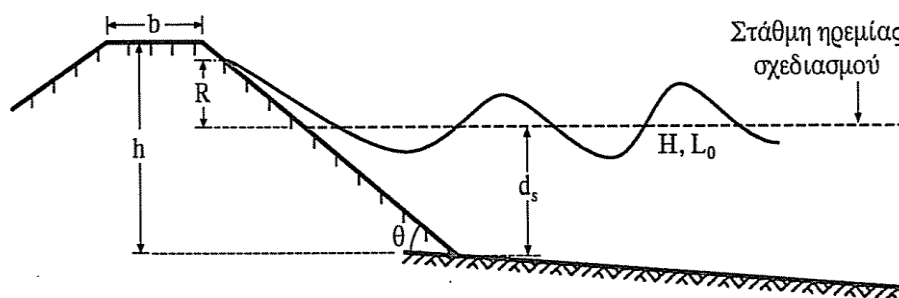
Για τον σχεδιασμό της διατομής με πρηνή είναι απαραίτητος ο καθορισμός μερικών βασικών παραμέτρων, όπως η στάθμη της θάλασσας, το ύψος κύματος, το μήκος κύματος ή το φάσμα ενέργειας στην περιοχή συχνοτήτων.

Το βάθος του νερού στη θέση του έργου αποτελεί τον κυρίαρχο ρόλο στον καθορισμό του είδους της φόρτισης της διατομής από θραυόμενους ή μη θραυόμενους κυματισμούς. Θα πρέπει να γίνεται προσεκτική αναγνώριση του βάθους της θάλασσας σε όλο το μήκος του έργου για διερεύνηση των πλέον δυσμενών συνθηκών φόρτισης. Σε υπερβατά έργα η θωράκιση της στέψης και ενδεχομένως ενός μέρους της εσωτερικής παρειάς υπόκειται σε θραυόμενους κυματισμούς. Εδώ, σε αντίθεση με την εξωτερική παρειά, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η υψηλότερη στάθμη της θάλασσας. Αντίθετα, σε βυθισμένα έργα η πλέον δυσμενής περίπτωση από άποψη φορτίσεων προκύπτει για την χαμηλότερη στάθμη, οπότε μπορεί να συμβεί και αποκάλυψη μέρους της διατομής. Συνδυασμός ακραίων τιμών στάθμης παλίρροιας και ανύψωσης στάθμης λόγω καταιγίδας μπορεί να λαμβάνεται υπόψη κατά περίπτωση.

Το ύψος κύματος καθορίζει ουσιαστικά τις διαστάσεις του έργου και τα βάρη των λίθων θωράκισης και υποστρώσεων. Συνίσταται να λαμβάνεται ως ύψος κύματος σχεδιασμού το $H_{1/10}$ ή έστω το χαρακτηριστικό ύψος H_s εάν πρόκειται για μικρής σπουδαιότητας έργο. (Μέμος, 2008)

(β) ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Το ποσό της αναρρίχησης είναι απαραίτητο να είναι γνωστό προκειμένου να ορισθεί η στέψη του έργου σύμφωνα με την υπερπήδηση που είναι αποδεκτή για την κάθε περίπτωση. Η αναρρίχηση R , που ορίζεται γραφικά στο σχήμα 20, εξαρτάται κυρίως από τη κλίση θ του πρηνούς του έργου, το υλικό θωράκισης και τα χαρακτηριστικά του κύματος. (Μέμος, 2008)



Σχήμα 20. Ορισμός μεγεθών για την αναρρίχηση. (Μέμος, 2008)

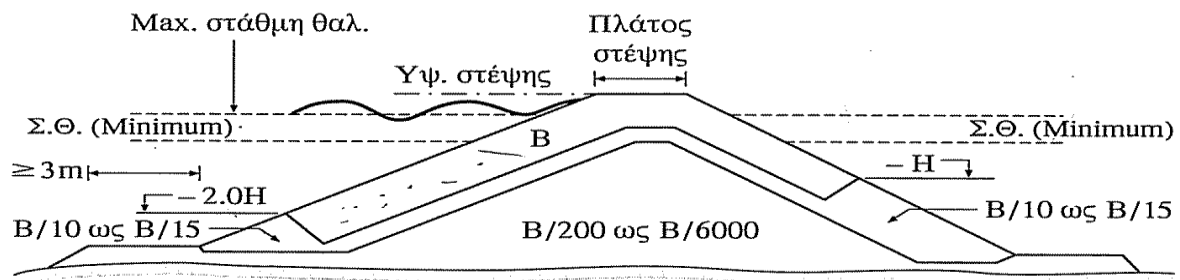
(γ) ΤΥΠΟΙ ΤΕΧΝΙΤΩΝ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ

Οι τεχνητοί ογκόλιθοι της στρώσης θωράκισης παρουσιάζουν καλύτερη αλληλοεμπλοκή και γι' αυτό ο συντελεστής ευστάθειας είναι μεγαλύτερος από των φυσικών ογκόλιθων. Λόγω όμως της μορφής τους είναι πιο ευαίσθητοι στον κίνδυνο θραύσης στη θέση τους λόγω της

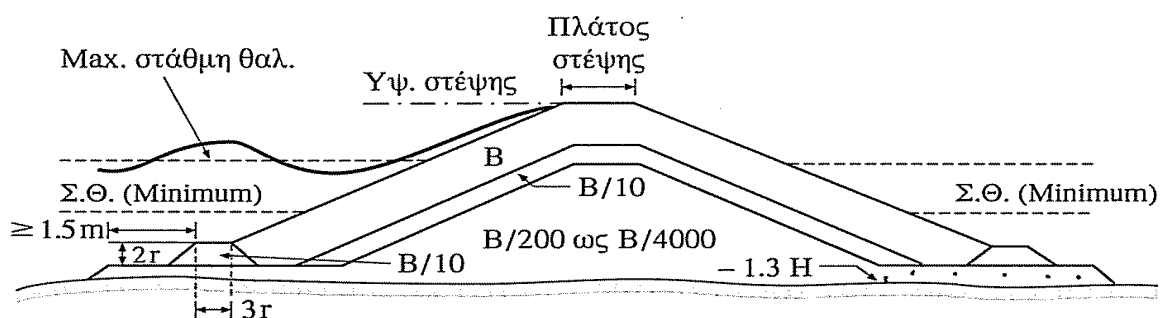
εναλλασσόμενης κυματικής φόρτισης. Η κύρια αιτία που μας υποχρεώνει να καταφύγουμε στη λύση των τεχνητών ογκολίθων θωράκισης είναι η απαίτηση για βάρος λίθων πάνω από τις δυνατότητες των τοπικών λατομείων. (Μέμος, 2008)

(δ) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Τα εξωτερικά λιμενικά έργα με πρηνή διαμορφώνονται από στρώση εδράσεως, κεντρικό πυρήνα από κοκκώδη υλικά που περιβάλλεται από στρώσεις ολοένα μεγαλύτερων λίθων κατάλληλης διαβάθμισης μέχρι την εξωτερική στρώση θωράκισης από φυσικούς ή τεχνητούς ογκόλιθους. Στη συνέχεια δίδονται δύο προτεινόμενες τυπικές διατομές που μπορούν να εφαρμοστούν στη πράξη με κατάλληλη διαβάθμιση του βάρους των λίθων κάθε στρώσης, ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος της απόπλυσης του υπερκείμενου υλικού μέσω των κενών της υπερκείμενης στρώσης. Η πρώτη διατομή (σχ. 21) αναφέρεται σε συνθήκες μη θραυόμενου κυματισμού και μικρής υπερπήδησης, ενώ η δεύτερη (σχ. 22) σε συνθήκες θραυόμενου κυματισμού μέτριας υπερπήδησης ή σε περιπτώσεις προσβολής του έργου και από τις δύο πλευρές, όπως στα ακρομώλια. (Μέμος, 2008)



Σχήμα 21. Προτεινόμενη τυπική διατομή μη θραυόμενου κυματισμού και μικρής υπερπήδησης. (Μέμος, 2008)



Σχήμα 22. Προτεινόμενη τυπική διατομή θραυόμενου κυματισμού, μέτριας υπερπήδησης ή αμφίπλευρης προσβολής. (Μέμος, 2008)

Παρατηρούμε πως η δεύτερη αυτή διατομή έχει εφαρμογή γενικά σε ρηγά νερά και γι' αυτό οι ασθενέστερες στρώσεις της διατομής καλύπτονται από τις ισχυρότερες μέχρι τον πυθμένα.

Οι αναγραφόμενες τιμές βάρους λίθων παριστούν τις μέσες τιμές που ισχύουν σε κάθε στρώση. Η προτεινόμενη διακύμανση της κοκκομετρίας κάθε στρώσης έχει όπως παρακάτω (Μέμος, 2008), σε ποσοστό της υπολογισθείσας τιμής "B".

Διατομή I	Θωράκιση	75% ως 125%
	Υπόστρωση	5% ως 13%
	Πυρήνας	0.005% ως 0.75%

Διατομή II	Θωράκιση	75% ως 125%
	Υπόστρωση	7% ως 13%
	Πυρήνας	0.0075% ως 0.75%

(ε) ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Γενικά, τα εξωτερικά λιμενικά έργα από λιθορριπές δεν ελέγχονται σε σεισμική επιβάρυνση. Όμως σε περιπτώσεις σημαντικών έργων, όπου συνυπάρχουν κακές συνθήκες θεμελίωσης του έργου και αυξημένη σεισμική δραστηριότητα, θα πρέπει να γίνεται σεισμική ανάλυση της κατασκευής που να βασίζεται σε εδαφικές παραμέτρους όπως προκύπτουν από γεωτεχνική έρευνα. Για την απομάκρυνση του κινδύνου αστοχίας, ο μελετητής μπορεί να χρησιμοποιήσει τεχνικές, όπως επέμβαση στη γεωμετρία της διατομής με ηπιότερες κλίσεις, χρήση γεωϋφασμάτων, προγραμματισμό της κατασκευής ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή προφόρτιση του εδάφους. (Μέμος, 2008)

2.3 Κυματοθραύστες με κατακόρυφα μέτωπα

Η λειτουργία των κυματοθραυστών με κατακόρυφα μέτωπα διαφέρει εντελώς από εκείνη των κυματοθραυστών με κεκλιμένα μέτωπα. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, στους κυματοθραύστες με πρηνή θραύεται εντελώς το κύμα πάνω στο πρηνές του μετώπου, και οι θαλάσσιες μάζες που μπαίνουν στους ενδιάμεσους κενούς χώρους του θώρακα, στροβιλίζονται γύρω από τα πόδια των μονάδων θωρακίσεως και αλληλοσυγκρούονται μεταξύ τους. Αποτέλεσμα της ροής αυτής των θαλάσσιων μαζών είναι η πλήρης αλληλοεξουδετέρωση των δυνάμεων που έχουν οι μάζες αυτές και ο πλήρης κατακερματισμός ολόκληρης της ενέργειας του κύματος που αποδεδεσμεύεται κατά τη θραύση του πάνω στον θώρακα. (Δασκαλάκης, 2009)

Αντίθετα στους κυματοθραύστες με κατακόρυφο προσβαλλόμενο μέτωπο, το κύμα ανακλάται πλήρως χωρίς να γίνεται κανείς διασκορπισμός αυτού και χωρίς να αποδεδεσμεύεται ενέργεια. Έτσι τα κύματα δεν χάνουν τον παλμικό χαρακτήρα τους, αλλά ανακλούνται σε αντίθετη διεύθυνση και σχηματίζουν μία ακολουθία στάσιμων κυμάτων.

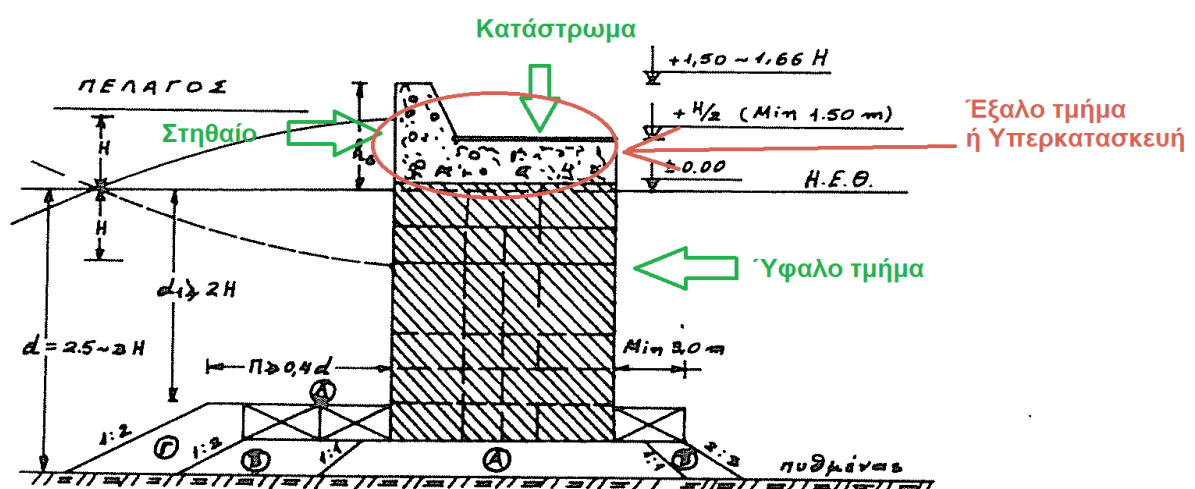
Για να συντελείται όμως πλήρης ανάκλαση, (που κατά κανόνα επιδιώκεται για να μην συντελείται θραύση του κύματος, η οποία προκαλεί αποδέσμευση ενέργειας και ανάπτυξη πρόσθετων δυναμικών δράσεων) πρέπει το βάθος του πυθμένα στο πόδι του μετώπου να μην είναι μικρότερο από το διπλάσιο του ύψους (2H) του κύματος (ασφαλέστερα όμως μεγαλύτερο του 2,5H).

Εάν η συνθήκη αυτή τηρείται τότε, το κύμα έρχεται ομαλά σε επαφή με το μέτωπο και πάλλεται περιοδικά (ανεβαίνει και κατεβαίνει) και αρμονικά πάνω και κάτω από το επίπεδο ηρεμίας της θάλασσας και σε μία κατακόρυφη διαδρομή, ίση με το διπλάσιο του ύψους του κύματος (2H).

Στην περίπτωση αυτή συντελείται πλήρης ανάκλαση του κύματος και οι δυνάμεις που ασκούν τα κύματα πάνω στο μέτωπο του κυματοθραύστη είναι μόνο υδροστατικές. Εάν όμως το βάθος του νερού είναι $H < d < 2H$ τότε γίνεται μερική θραύση του κύματος, ενώ όταν $d < H$ το κύμα θραύεται εντελώς. Στις περιπτώσεις αυτές οι δυνάμεις που τα κύματα ασκούν πάνω στο μέτωπο του κυματοθραύστη δεν είναι μόνο υδροστατικής φύσης αλλά και δυναμικής.

Τέτοιες συνθήκες πρέπει, όσο είναι δυνατό, να αποφεύγονται με την προτίμηση κυματοθραύστη με κεκλιμένο το εξωτερικό μέτωπο, ή διαφορετικά να παίρνονται τα κατάλληλα μέτρα έναντι των δυναμικών δράσεων που αναπτύσσονται τόσο πάνω στον κυματοθραύστη όσο και στη θεμελίωση αυτού. (Δασκαλάκης, 2009)

Γενικά, ένας κυματοθραύστης με κατακόρυφα μέτωπα αποτελείται από δύο διακεκριμένα τμήματα, δηλαδή: από το ύφαλο τμήμα και από το έξαλο τμήμα ή την υπερκατασκευή (Σχ. 23).



Σχήμα 23. Τυπική διατομή κυματοθραύστη με κατακόρυφα μέτωπα. (τροποποιημένο από Δασκαλάκη, 2009)

Το ύφαλο τμήμα έχει διατομή, κατά γενικό κανόνα σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου και κατασκευάζεται με διάφορες μεθόδους, από τις οποίες η περισσότερο εφαρμοζόμενη στη πράξη είναι αυτή που χρησιμοποιεί τους συμπαιγείς τεχνητούς ογκόλιθους από σκυρόδεμα (ή και από λιθόδεμα). Οι τεχνητοί αυτοί ογκόλιθοι μπορεί να είναι είτε συμπαιγείς, είτε από σκυρόδεμα, είτε κυψελωτοί τεχνητοί ογκόλιθοι, των οποίων οι κυψέλες γεμίζονται με χυτό σκυρόδεμα.

Η υπερκατασκευή αποτελείται από μία βάση σχήματος διατομής ορθογωνίου παραλλ/μου, η οποία μπορεί ή όχι, να φέρει στο άκρο της (που είναι προς το πέλαγος) προφυλακτήριο τοίχο (σχήματος ορθογωνίου παραλλ/μου, ή τραπεζίου κ.α.), ο οποίος λέγεται στηθαίο. Ολόκληρη η υπερκατασκευή, κατασκευάζεται μονολιθικά κατά σπονδύλους όπως και η βάση με χυτό σκυρόδεμα. (Δασκαλάκης, 2009)

Η πάνω επιφάνεια της βάσης που μένει ελεύθερη από το στηθαίο λέγεται κατάστρωμα του κυματοθραύστη. Αυτό χρησιμεύει γενικά για την κυκλοφορία τροχοφόρων και πεζών, όταν το εσωτερικό μέτωπο του μώλου χρησιμοποιείται από τα πλοία, είτε απλώς για προσωρινή αγκυροβολία, είτε για την εκτέλεση επισκευών ή και ακόμη διαφόρων φορτοεκφορτωτικών πράξεων. Για τον λόγο αυτό, το πάνω στρώμα του σκυροδέματος της βάσης και όλη η έκταση του καταστρώματος κατασκευάζονται με ενισχυμένο με μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντο και με προσθήκη σκληρυντικών υλικών στην επιφάνεια του καταστρώματος.

Στις περιπτώσεις που δεν γίνεται χρήση του εσωτερικού μετώπου του κυματοθραύστη και δεν υπάρχει ανάγκη κατασκευής καταστρώματος κυκλοφορίας ή διατομή της υπερκατασκευής μπορεί να έχει μία μορφή στο σύνολό της, σχήματος ορθογωνίου παραλλ/μου ή τραπεζίου, χωρίς να υπάρχει διακεκριμένη κατασκευή στηθαίου.

Το πάχος του κυματοθραύστη θα προκύψει από υπολογισμό κατά τις γνωστές μεθόδους της στατικής, παίρνοντας όλες τις δυνάμεις που δρουν πάνω σε αυτό, καθώς και το διάγραμμα της πίεσης του κύματος.

Το βάθος της εδράσεως του κυματοθραύστη πέραν του ελαχίστου επιθυμητού και πέραν του $2,5H$ θα εξαρτηθεί από το βάθος της θάλασσας στην αντίστοιχη θέση κατασκευής και από την αντοχή του εδάφους θεμελίωσης.

Σε βραχώδες ή σκληρούς και γενικά ανθεκτικούς πυθμένες, η έδραση του κυματοθραύστη γίνεται κατευθείαν πάνω στο έδαφος με την παρεμβολή μόνο ενός μικρού από λιθορριπές πάχους εξισωτικού υποστρώματος εδράσεως του μώλου και εφόσον το βάθος του νερού δεν είναι μεγάλο ή βρίσκεται στα επιθυμητά όρια θεμελίωσης.

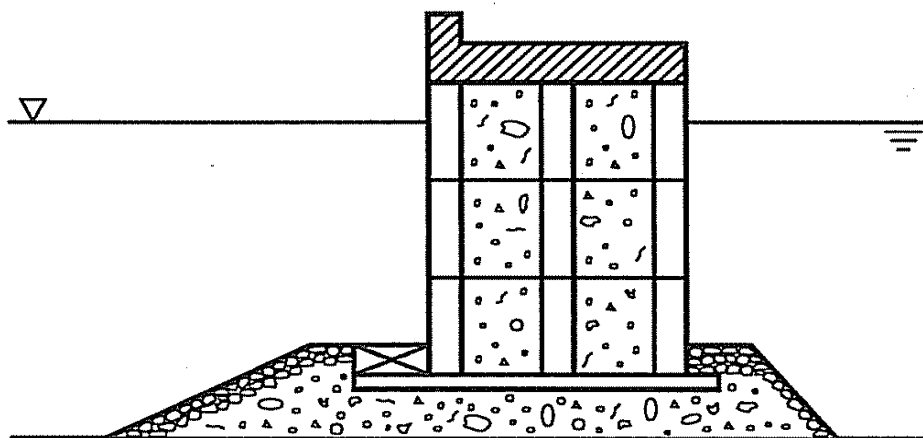
Οι κυματοθραύστες με κατακόρυφα μέτωπα κατασκευάζονται μέχρι βάθος 18 μέτρων, εκτός εάν ειδικές συνθήκες (π.χ. πλεύριση δεξαμενόπλοιων) επιβάλλουν την κατασκευή κατακόρυφου μετώπου σε βάθος μεγαλύτερο από 18 μέτρα (αν και στις περιπτώσεις αυτές προτιμούν άλλες κατασκευές). (Δασκαλάκης, 2009)

2.3.1 Τρόποι κατασκευής των κυματοθραυστών με κατακόρυφα μέτωπα

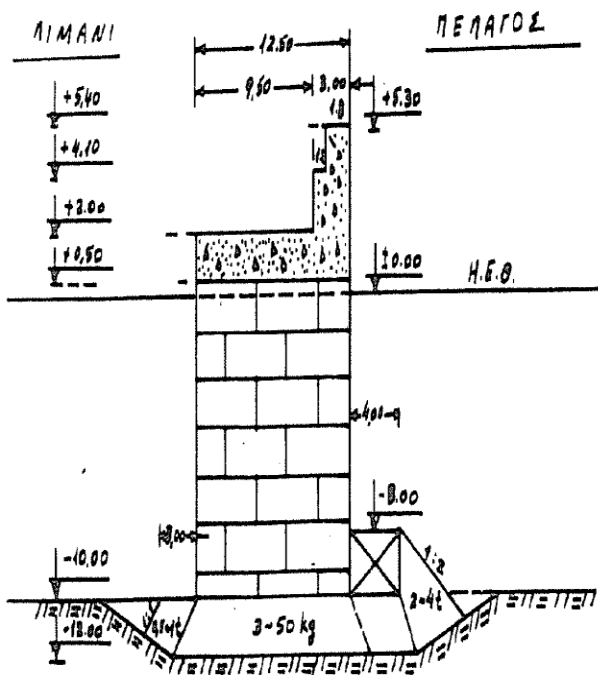
Οι κυματοθραύστες αυτής της κατηγορίας, όπου αμφότερες οι παρειές μορφώνονται περίπου ή ακριβώς κατακόρυφα κατασκευάζονται:

(α) Με τεχνητούς ογκόλιθους από σκυρόδεμα, διαφόρων σχημάτων (κυρίως όμως εφαρμόζεται το σχήμα του ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου).

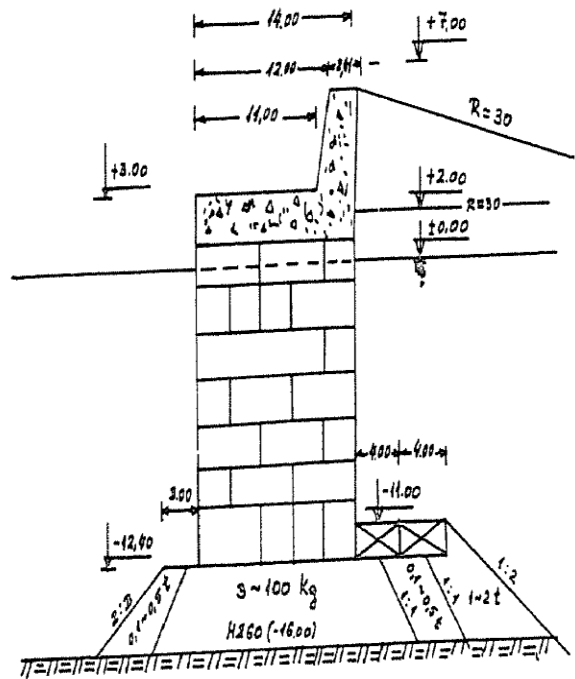
Σε αυτήν τη περίπτωση κατασκευής, το βασικό σημείο που πρέπει να εξασφαλίζεται είναι η μονολιθικότητα της κατασκευής για να μην αποδιοργανώνεται το έργο από την υδροδυναμική φόρτιση. Οι ογκόλιθοι πρέπει να είναι συμπαγείς ή με εσωτερικό κενό που συμπληρώνεται εκ των υστέρων με σκυρόδεμα. (Μέμος, 2008)



Σχήμα 24. Διατομή από κυβελωτούς ογκόλιθους (Μέμος, 2008)

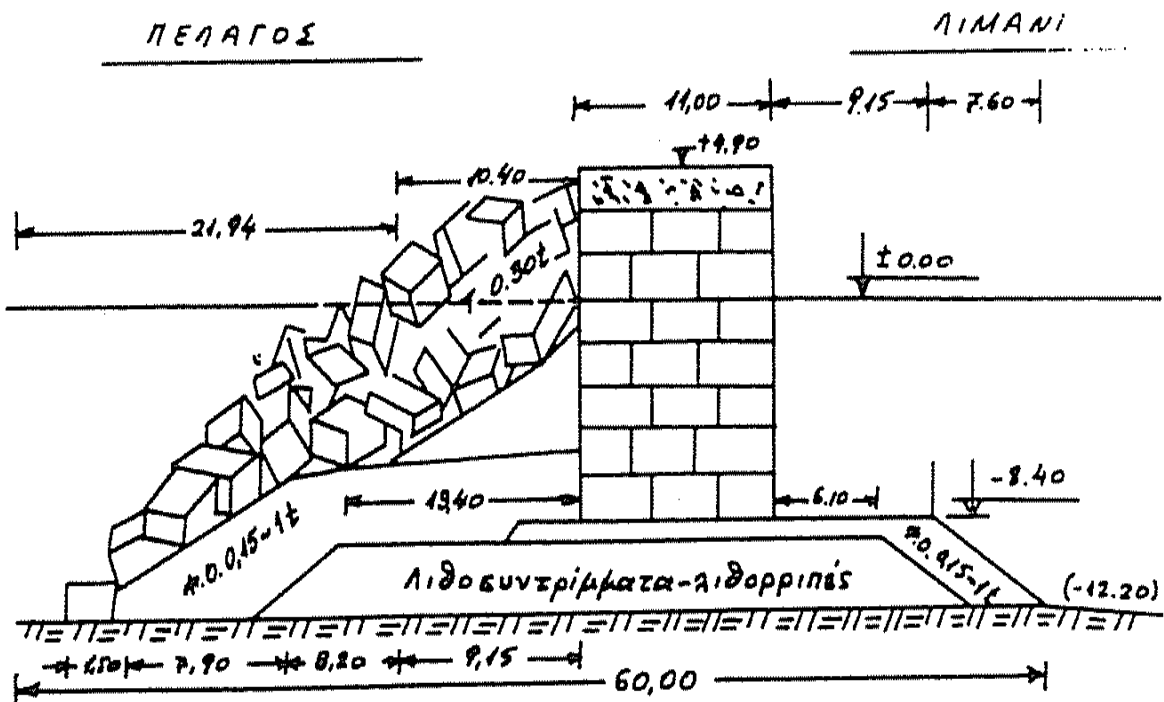


(α)

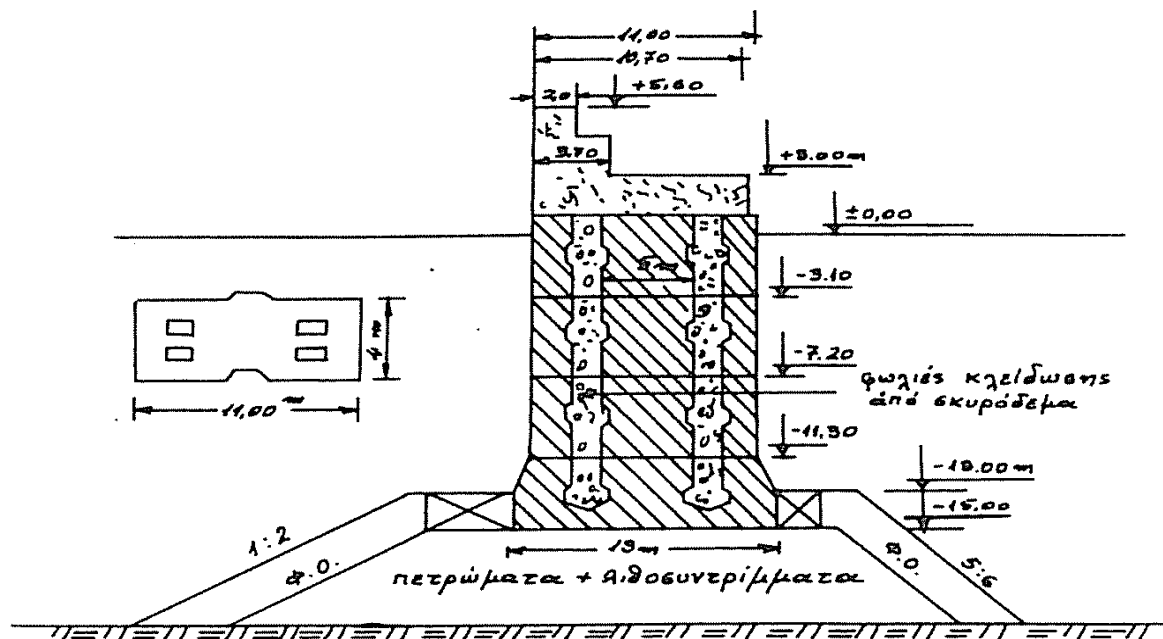


(β)

Σχήμα 25. (α)Κυματοθραύστης του παλιού λιμανιού στο Ηράκλειος Κρήτης (έτη κατασκ.1922-1930).
 (β)Νέος κυματοθραύστης στο λιμάνι Ηρακλείου της Κρήτης (έτη κατασκ.1966-1973).
 (Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 26. Διατομή κυματοθραύστη στο λιμάνι Madras (Ινδίες). (Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 27. Διατομή του κυματοθραύστη στο λιμάνι Αλγερίου (Marocco). (Δασκαλάκης, 2009)

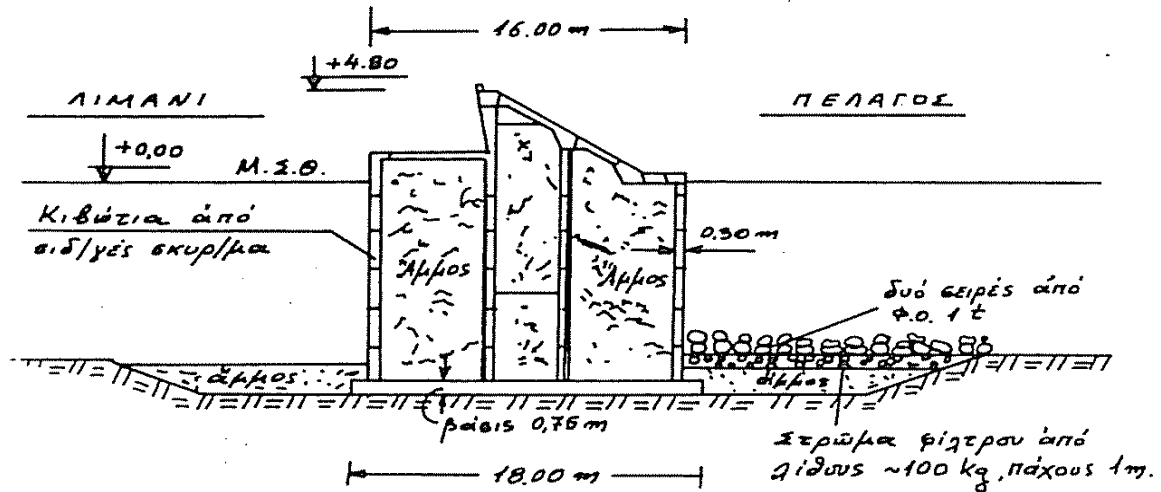
(β) Με κιβώτια (CAISSONS) από οπλισμένο σκυρόδεμα ή από σίδηρο.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου κατασκευής κυματοθραυστών με κιβώτια από σκυρόδεμα (caissons) είναι η μεγάλη περιστολή του χρόνου εργασίας μέσα στη θάλασσα. Αυτό έχει μεγάλη σημασία σε εκτεθειμένες προς το πέλαγος περιοχές, όπου οι εργάσιμες ημέρες (νηνεμίες) είναι πολύ περιορισμένες. Αντίθετα τα κύρια μειονεκτήματά τους είναι το ακριβό κόστος κατασκευής και ο κίνδυνος διάβρωσης του σιδηρού οπλισμού των τοιχωμάτων, αν και η σκωρίωση του σιδηρού οπλισμού δεν είναι τόσο σοβαρός κίνδυνος εάν η κατασκευή των κιβωτίων γίνει με επιμέλεια και προσοχή.

Τα κιβώτια αυτά έχουν κατά γενικό κανόνα το σχήμα του ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου και χωρίζονται εσωτερικά, εγκάρσια και κατά μήκος με κατακόρυφα τοιχία, ενώ από κάτω είναι κλειστά με δάπεδο (πλάκα) από το ίδιο υλικό. Το υλικό αυτό κατασκευής των caissons είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα. Η άνω επιφάνεια των κιβωτίων (caissons) είναι ανοιχτή για να γεμιστούν, μετά τη τοποθέτησή τους, με αμμώδη ή βραχώδη προϊόντα, κυρίως όμως με άοπλο σκυρόδεμα.

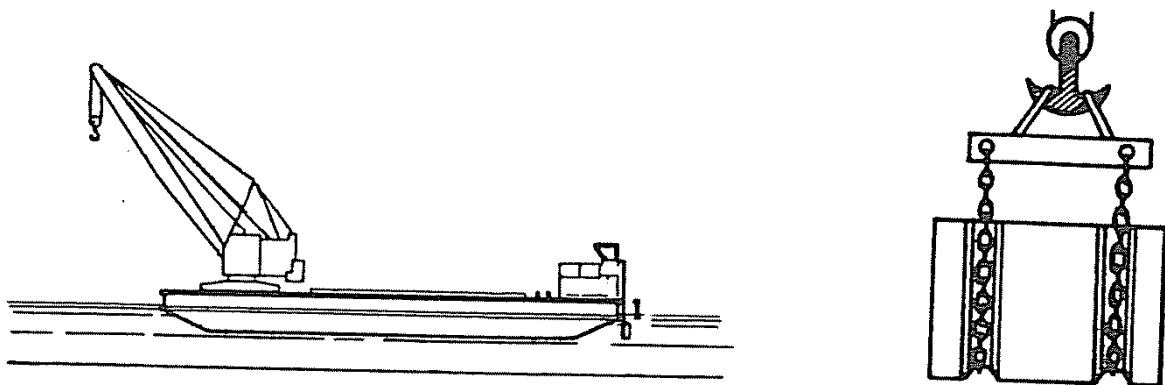
Η κατασκευή των κιβωτίων γίνεται σε παραλιακή περιοχή (πλησίον του έργου) και μέσα σε χώρο (ναυπηγείο) ειδικά διαμορφωμένο, ώστε να μπορούν να καθελκυστούν. (Δασκαλάκης, 2009)

Η μεταφορά τους από την περιοχή κατασκευής τους στη θέση βύθισής τους γίνεται με ρυμούλκηση. Εάν κατά τη διαδρομή μεταφοράς τους υπάρχει κίνδυνος να γεμίσουν με νερό από κυματισμούς, επιβάλλεται να εφοδιαστεί η άνω ανοιχτή επιφάνειά τους με στεγανό και ανθεκτικό κάλυμμα που δεν επιτρέπει να μπαίνουν νερά. Το κάλυμμα αυτό θα αφαιρεθεί κατά την τοποθέτηση των κιβωτίων για να βυθιστούν στις προκαθορισμένες θέσεις τους και να γεμιστούν με στερεά υλικά ή με σκυρόδεμα. Εάν, όμως, η διαδρομή της ρυμούλκησης τους είναι μικρή τότε η μεταφορά τους μπορεί να γίνει και χωρίς το στεγανό κάλυμμα, αφού κατά τη μεταφορά και τοποθέτησή τους θα είναι νηνεμία και δεν θα υπάρχει κίνδυνος να γεμίσουν νερά κατά τη μεταφορά τους. Συνίσταται πάντως, ανεξάρτητα με τη πλήρη στεγανότητα που μπορούν να έχουν τα εξωτερικά τοιχώματα των κιβωτίων, τα κιβώτια σε όλη τη φάση της μεταφοράς και της τοποθέτησής τους να είναι εφοδιασμένα με μία ή και με



Σχήμα 30. Διατομή του κυματοθραύστη στο λιμάνι Marsa el Brega (Λιβύη). (Δασκαλάκης, 2009)

Πιο παραστατικά, ο τρόπος μεταφοράς των caissons στη θάλασσα απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 31. Πλωτός γερανός και ανάρτηση τεχνητού ογκολίθου. (Μέμος, 2008)

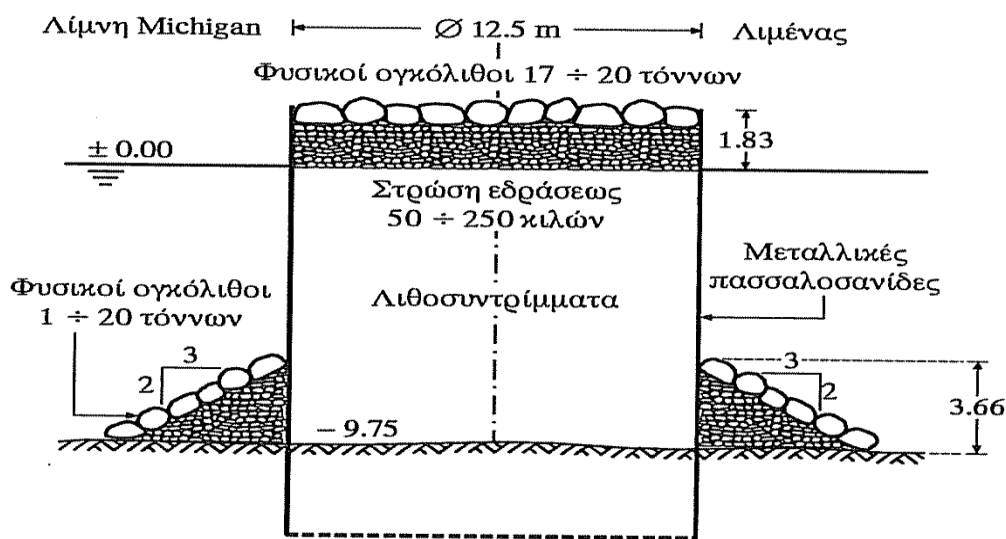
(γ) Με κελιά από σιδερένιες πασσαλοσανίδες

Ο τύπος των κυματοθραυστών αυτών χρησιμοποιείται κυρίως σε λίμνες. Δεν συνίσταται όμως η χρησιμοποίησή του σε περιοχές που προσβάλλονται από σημαντικούς κυματισμούς γιατί (Δασκαλάκης, 2009):

- Η απαιτούμενη εργασία μέσα στη θάλασσα είναι αρκετά σύνθετη και επιπλέον χρειάζεται αρκετό χρόνο.
- Το πρόβλημα της σκωρίωσης των σιδηροπασσαλοσανίδων είναι σημαντικό και δεν λύνεται ούτε με τη καθοδική προστασία και κατά συνέπεια η διάρκεια ζωής των έργων αυτών πολλές φορές περιορίζεται σε λίγα μόνο χρόνια.
- Δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές όπου το βάθος του πυθμένα ξεπερνά τα 18 μέτρα, εκτός εάν για τα μεγαλύτερα αυτά βάθη κατασκευαστεί βάση από βραχώδη προϊόντα (κυματοθραύστης πλήρως βυθισμένος μέσα στη θάλασσα με κεκλιμένα μέτωπα από φυσικά βραχώδη προϊόντα).

Τα κελιά αυτά αποτελούν αυτοτελείς μονάδες και κατασκευάζονται με σιδηροπασσαλοσανίδες, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν καμπύλα ή και εντελώς κυλινδρικά μέτωπα. Οι σιδηροπασσαλοσανίδες εμπηγνύονται κατακόρυφα μέσα στον πυθμένα. Το μήκος έμπηξής τους μέσα στον πυθμένα εξαρτάται από τη φύση του εδάφους και ουδέποτε είναι μικρότερο από τα 3 μέτρα.

Για την πλήρωση των κελιών χρησιμοποιούνται αμμώδη ή αμμοχαλικώδη προϊόντα ή και βραχώδη λιθοσυντρίμματα λατομείου. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διατομή του κυματοθραύστη, ο οποίος κατασκευάστηκε στο Calumet της λίμνης του Michigan με τη χρησιμοποίηση κελιών του τύπου αυτού. (Δασκαλάκης, 2009)



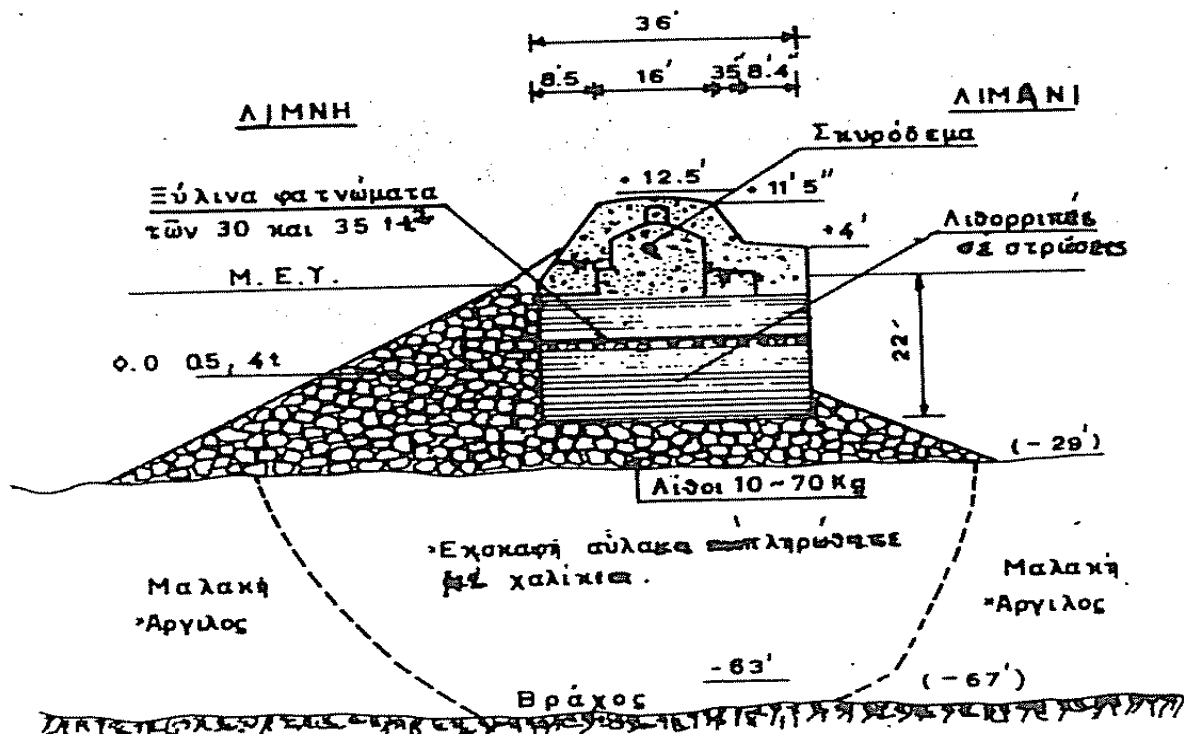
Σχήμα 32. Διατομή κυματοθραύστη στη λίμνη Michigan, ΗΠΑ. (Μέμος, 2008)

Ο τύπος πάντως αυτός χρησιμοποιείται περισσότερο στην κατασκευή κρηπιδότοιχων μέσα στις λεκάνες λιμανιών.

(δ) Με ξύλινα φατνώματα

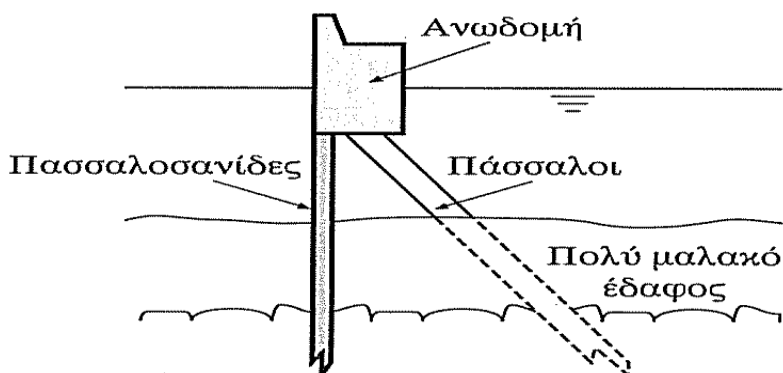
Ο τύπος αυτός, επίσης, έχει περιορισμένη εφαρμογή και χρησιμοποιείται για την κατασκευή κυματοθραυστών μέσα σε λίμνες, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου υπάρχει φθινή ξυλεία.

Τα φατνώματα έχουν επιφάνεια $3m^2$ και διαιρούνται σε διαμερίσματα με οριζόντιους κατά μήκος και εγκάρσιους δοκούς που γεμίζονται με λίθους. Ολόκληρα τα φατνώματα κατασκευάζονται το ένα κοντά στο άλλο στη θέση της ευθυγραμμίας του κυματοθραύστη. Το σχήμα 33 δείχνει τη διατομή του κυματοθραύστη του Νότιου Λιμανιού στο Buffalo της Ν. Υόρκης, ο οποίος κατασκευάστηκε τα έτη 1898-1900. Η υπερκατασκευή καταστράφηκε το 1900 και ανακατασκευάστηκε το 1902 με τεχνητούς ογκόλιθους και με χυτό σκυρόδεμα. (Δασκαλάκης, 2009)



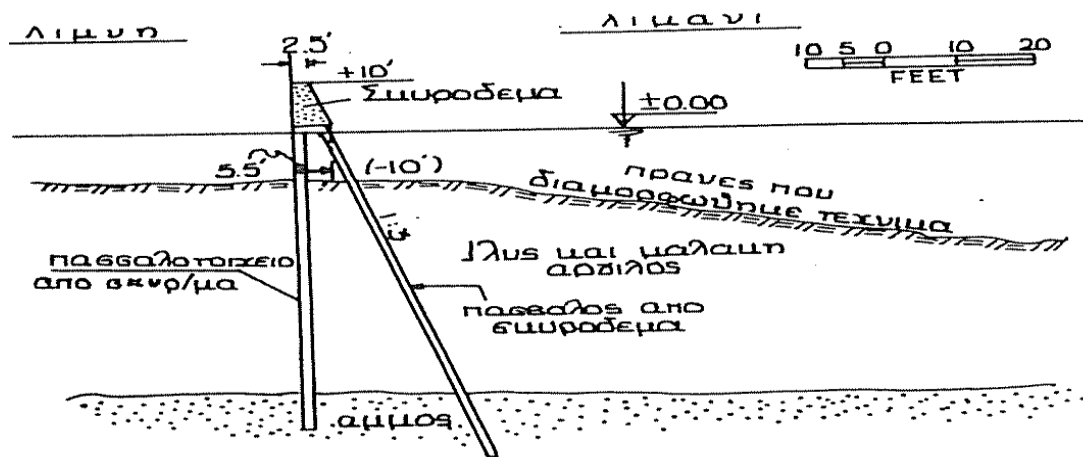
Σχήμα 33. Διατομή του κυματοθραύστη (με ξύλινα φατνώματα) στο Buffalo της Ν. Υόρκης. (Δασκαλάκης, 2009)

(ε) Με πασσαλοτοιχία από σκυρόδεμα ή από σιδηροπασσαλοσανίδες που εμπήγνυονται μέσα στον πυθμένα.



Σχήμα 34. Κυματοθραύστης από απλή σειρά πασσαλοσανίδων. (Μέμος, 2008)

Ο τύπος αυτός των κυματοθραυστών εφαρμόζεται όπου ο πυθμένας αποτελείται από πολύ μαλακά εδάφη, των οποίων το πάχος φτάνει σε μεγάλο βάθος και σε περιοχές οι οποίες προσβάλλονται από μικρούς κυματισμούς, ύψους μικρότερου από 3 μέτρα. (Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 35. Διατομή του κυματοθραύστη με πασσαλοτοιχία από σιδ/γές σκυρόδεμα. (Δασκαλάκης, 2009)

Η σύνδεση στην κορυφή τους γίνεται με κεφαλοδεσμούς. Τα παραπάνω σχήματα δείχνουν τη διατομή ενός τέτοιου τύπου κυματοθραύστη με πασσαλοτοιχία και πασσάλους από σκυρόδεμα. Να σημειωθεί ότι και αυτός ο τύπος κυματοθραύστη έχει περιορισμένη εφαρμογή και χρησιμοποιείται για την κατασκευή κυματοθραυστών μέσα σε λίμνες.

Συμπερασματικά λοιπόν, από τις παραπάνω πέντε μεθόδους κατασκευής των κυματοθραυστών με κατακόρυφα μέτωπα οι σπουδαιότεροι και οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες είναι οι δύο πρώτες (α) και (β), δηλαδή οι μέθοδοι με τεχνητούς ογκόλιθους που κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα και με κιβώτια (CAISSONS) από οπλισμένο σκυρόδεμα ή και από σιδηροελάσματα. Οι λοιπές τρεις μέθοδοι (γ), (δ) και (ε) μόνο σε ειδικές τοπικές συνθήκες και με μικρούς κυματισμούς έχουν στο παρελθόν εφαρμοστεί λόγω των σοβαρών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν τόσο κατά την εφαρμογή τους όσο και κατά τη διαρκή συντήρηση και προστασία των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους. Για τους παραπάνω λόγους οι μέθοδοι αυτές έχουν σχεδόν εγκαταλειφθεί δεδομένου μάλιστα ότι η κατασκευή των μονάδων έργου που χρησιμοποιούνται είναι σημαντικά δυσκολότερη και περισσότερο δαπανηρή έναντι των δύο πρώτων μεθόδων. Κατά συνέπεια οι μέθοδοι αυτές δεν μπορούν να θεωρηθούν σήμερα "κύριες μέθοδοι" κατασκευής κυματοθραυστών όπως είναι οι δύο πρώτες αλλά "επικουρικές μέθοδοι", οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν εφόσον κάποιος σημαντικός παράγοντας επιβάλλει αυτές. (Δασκαλάκης, 2009 και Μέμος, 2008)

Να σημειωθεί ότι στους κυματοθραύστες με κατακόρυφα μέτωπα, λόγω της συγκέντρωσης όλων των φορτίων σε μία μικρή σχετικά βάση εδράσεως, αναπτύσσονται (ειδικότερα στο εσωτερικό πόδι του) σημαντικές πιέσεις, οι οποίες απαιτούν ανθεκτικά γενικά εδάφη θεμελίωσης. Έτσι τα βραχώδη ή τα σκληρά γενικά εδάφη, ακόμα και τα ψαμμίτικα και πυκνά αμμώδη αποτελούν ανθεκτικά υπόβαθρα θεμελίωσης των κυματοθραυστών με κατακόρυφα μέτωπα. (Δασκαλάκης, 2009 και Μέμος, 2008)

2.4 Σύνθετοι κυματοθραύστες

2.4.1 Μεικτοί καθ' ύψος κυματοθραύστες

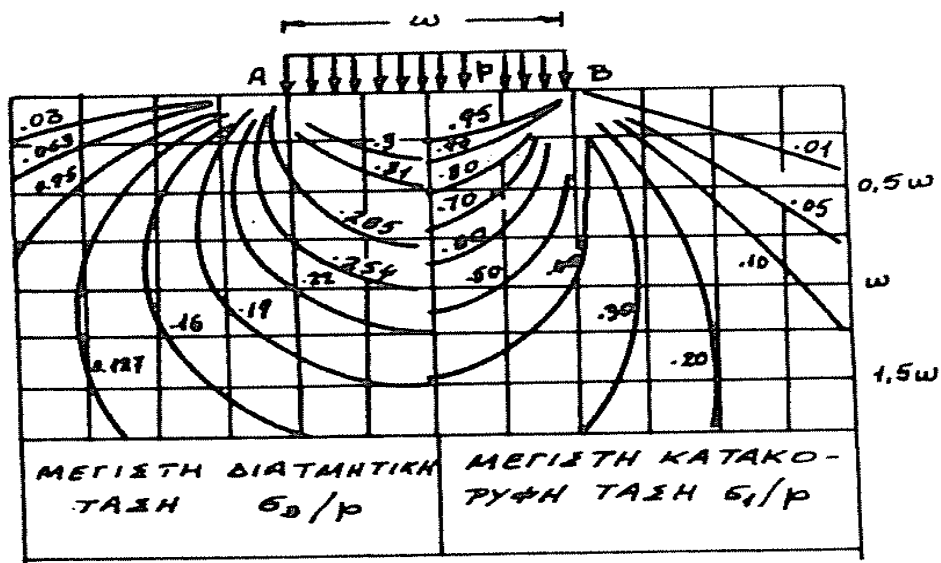
Σε εδάφη μικρής αντοχής, η θεμελίωση των κυματοθραυστών με κεκλιμένα μέτωπα χρειάζεται μεγαλύτερο πλάτος εδράσεως. Σε τέτοια εδάφη δεν είναι δυνατό να θεμελιωθούν κατευθείαν οι κυματοθραύστες με κατακόρυφα μέτωπα. Γι' αυτό χρειάζεται ένα ενδιάμεσο

πρισματικό στρώμα (βάση) από μικρά βραχώδη ή και αμμοχαλικώδη καλά διαβαθμισμένα προϊόντα πολύ μεγαλύτερου πλάτους σε σχέση με το πλάτος εδράσεως του κατακόρυφου κυματοθραύστη. Στη βάση, λοιπόν, του πυθμένα του κυματοθραύστη με πρηνή θα εδράζει πάνω ο κυματοθραύστης με κατακόρυφα μέτωπα. Ο τύπος αυτός του κυματοθραύστη ονομάζεται μεικτός καθύψος κυματοθραύστης με κατακόρυφα μέτωπα. (Δασκαλάκης, 2009)

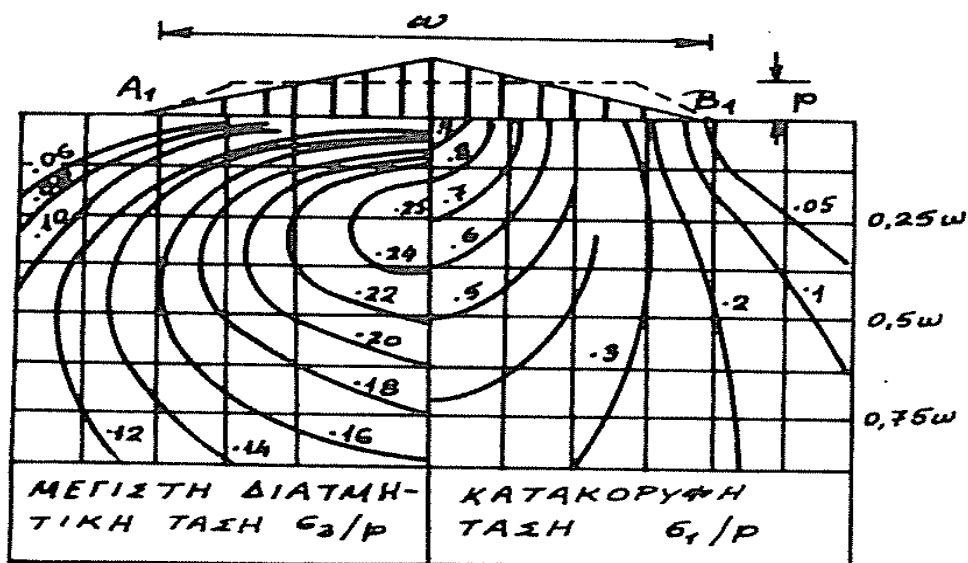
Σε αμφότερες τις παραπάνω περιπτώσεις θεμελίωσης κυματοθραυστών με κατακόρυφα ή με κεκλιμένα μέτωπα, το στρώμα της βάσης δεν έχει μόνο σκοπό να κατανέμει τα φορτία σε μεγαλύτερη επιφάνεια ώστε η πίεση που μεταβιβάζεται στο έδαφος να εξισωθεί ή και να κατέβει κάτω από την επιτρεπόμενη αντοχή του εδάφους, αλλά ακόμα να δημιουργήσει μεταβατικές περιοχές στα πόδια των κυματοθραυστών ώστε οι μεταβολές των τάσεων που ασκούνται πάνω στο έδαφος, από τη κεντρική περιοχή της μέγιστης τάσης προς τις περιοχές των ποδιών να συντελούνται ομαλά μέχρι της μηδενικής τιμής τους. Και αυτό γιατί η απότομη μεταβολή μιας τιμής της τάσης, έστω και αν αυτή είναι ίση ή μικρότερη της αντοχής του εδάφους προκαλεί απότομες διεισδύσεις και πλάγιες εισχωρήσεις μέσα στο έδαφος των αιχμηρών κυρίως υλικών του στρώματος της βάσης στηρίξεως του μώλου. Οι διεισδύσεις και οι εισχωρήσεις αυτές προκαλούν πλάγιες απωθήσεις του εδάφους κοντά και κάτω από τις περιοχές των ποδιών του κυματοθραύστη, κι' αυτή η κατάσταση δημιουργεί καθιζήσεις των ακραίων τμημάτων του μώλου οι οποίες θα συνεχιστούν μέχρι να ισορροπήσει και να σταθεροποιηθεί εντελώς το έδαφος. Φυσικά το φαινόμενο αυτό συντελείται σε ολόκληρη την έκταση του πλάτους της θεμελίωσης και μάλιστα σε πολύ μεγάλο βαθμό όσες φορές το έδαφος είναι πολύ μαλακό (μαλακή άργιλος, ιλυώδες έδαφος, αλλουβιακές αποθέσεις σε εκβολές ποταμών κ.λπ.). Οι καθιζήσεις τότε μπορούν να φτάσουν τα 8 και πλέον μέτρα (οπότε οι ποσότητες των απαιτούμενων υλικών σταθεροποίησης του εδάφους είναι τεράστιες) που συντελούνται όχι μόνο κατά τη διάρκεια κατασκευής του κυματοθραύστη, αλλά και επί αρκετά χρόνια μετά την αποπεράτωσή του. (Δασκαλάκης, 2009)

Αντίθετα σε λεπτόκοκκά εδάφη ή χαλικοαμμώδη εδάφη δεν παρατηρούνται μεγάλες καθιζήσεις (30÷50 cm) και γίνονται σχεδόν εξ' ολοκλήρου κατά τη διάρκεια της κατασκευής του κυματοθραύστη. Σε τέτοια αμμώδη και λοιπά εδάφη ένα στρώμα (βάσης) από καλά διαβαθμισμένα βραχώδη ή αμμοχαλικώδη λεπτά προϊόντα ικανοποιητικού πλάτους και πάχους 3,00÷6,00 μέτρων θεωρείται κατάλληλο ενδιάμεσο στρώμα για τη βαθμιαία κατανομή των τάσεων που μεταβιβάζονται πάνω στο έδαφος από τη μέγιστη προς τη μηδενική τιμή τους και για την αποφυγή διαβρώσεων και υποσκαφών των περιοχών του εδάφους γύρω και κάτω από τα πόδια του κυματοθραύστη. (Δασκαλάκης, 2009)

Στην εδαφομηχανική υπάρχουν αρκετές μέθοδοι με τις οποίες βρίσκεται η κατανομή των φορτίων και των τάσεων επί του εδάφους σε ομογενή και ιστροπικά εδάφη. Οι ίδιες θεωρίες μπορούν να εφαρμοστούν και στις θεμελιώσεις των κυματοθραυστών. Αλλά στη περίπτωση της μη συμμετρικής φόρτισης και μάλιστα τριγωνικής, όπως περίπου είναι η φόρτιση του εδάφους από κυματοθραύστη με πρηνή, υπάρχει μία μεγάλη διαφορά διανομής της μέγιστης διατμητικής τάσης που αναπτύσσεται και η οποία είναι εντονότερη μεταξύ της τριγωνικής και της ομοιόμορφης φόρτισης. Στα παρακάτω διαγράμματα των τάσεων φαίνεται η διαφορά κατανομής μέσα στο έδαφος θεμελίωσης τόσο των κατακόρυφων όσο και των διατμητικών δυνάμεων στις περιπτώσεις ομοιόμορφης και τριγωνικής φόρτισης p του εδάφους πάνω σε πλάτος θεμελίωσης ω . (Δασκαλάκης, 2009)



Διάγραμμα 2. Τάσεις εδάφους $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ από ομοιόμορφη φόρτιση p πάνω σε λωρίδα πλάτους ω και μεγάλου μήκους. (Δασκαλάκης, 2009)



Διάγραμμα 3. Τάσεις εδάφους σ_1, σ_3 από τριγωνική φόρτιση p πάνω σε λωρίδα πλάτους ω και μεγάλου μήκους. (Δασκαλάκης, 2009)

Με βάση, λοιπόν, τα διαγράμματα 2 και 3 είναι δυνατό να υπολογιστούν σε καθένα σημείο του εδάφους θεμελίωσης, οι αναπτυσσόμενες μέγιστες διατμητικές και κατακόρυφες δυνάμεις, οι οποίες οφείλονται στο κατανομημένο φορτίο πάνω στη βάση εδράσεως του κυματοθραύστη. Κατά τον ίδιο τρόπο βρίσκονται οι διατμητικές και οι κατακόρυφες δυνάμεις, οι οποίες αναπτύσσονται εξαιτίας του βάρους της βάσης πάνω στην επιφάνεια του εδάφους θεμελίωσης και αυτού του ίδιου του εδάφους. Το άθροισμα των διατμητικών και κατακόρυφων δυνάμεων, που βρίσκονται με υπολογισμό στο ίδιο σημείο, δίνει τη συνολική μέγιστη διατμητική και κατακόρυφη δύναμη που δρα στη μονάδα επιφάνειας. Η παραπάνω διατμητική δύναμη όταν ενεργεί πάνω σε μη ανθεκτικά εδάφη προκαλεί θραύση του εδάφους

κατά επίπεδα περιφερειακών κύκλων και έτσι ολόκληρο το έργο μαζί με το θραυσμένο κυκλικό τμήμα του εδάφους τείνει να ολισθήσει και να καταρρεύσει δια περιστροφής γύρω από το κέντρο του κύκλου θραύσεως. (Δασκαλάκης, 2009)

Οι παραπάνω κύκλοι λέγονται κύκλοι κατολισθήσεως. Στο σχήμα 36 δείχνεται ένας κύκλος κατολισθήσεως που περνά από το πόδι εδράσεως ενός μώλου με κατακόρυφα μέτωπα. Στη διατμητική αυτή δύναμη αντιδρά η διατμητική αντοχή του εδάφους, η οποία μπορεί να υπολογιστεί με τον τρόπο του Coulomb (Δασκαλάκης, 2009):

$$\tau = c + (p \times \epsilon\phi\phi)$$

όπου τ = η διατμητική αντοχή ή αντίσταση του εδάφους σε kg/cm^2

c = η συνοχή του εδάφους σε kg/cm^2

p = η ορθή δύναμη $p = p_0 \times \sigma\upsilon\nu\alpha$ σε kg/cm^2

p_0 = η κατακόρυφη δύναμη

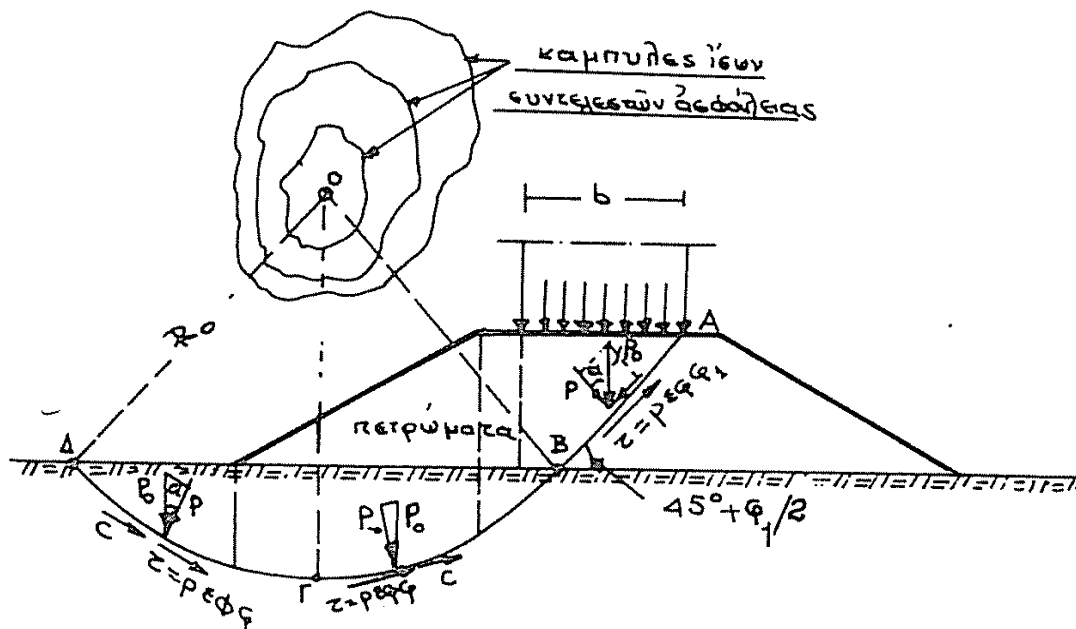
ϕ = η γωνία εσωτερικής τριβής

α = η γωνία της επιφάνειας ολισθήσεως με τη κατακόρυφο

Εάν το έδαφος δεν έχει συνοχή, τότε $c = 0$ και ο παραπάνω τύπος γίνεται:

$$\tau = p \times \epsilon\phi\phi$$

Εάν αντίθετα το έδαφος είναι συνεκτικό (έχει $\phi = 0$) τότε $c = \frac{1}{2}q_u$ όπου q_u η αντοχή του εδάφους σε ανεμπόδιστη θλίψη.



Σχήμα 36. Κύκλος περιστροφικής κατολισθήσεως κυματοθραύστη. (Δασκαλάκης, 2009)

2.4.2 Μεικτοί κατά πλάτος κυματοθραύστες

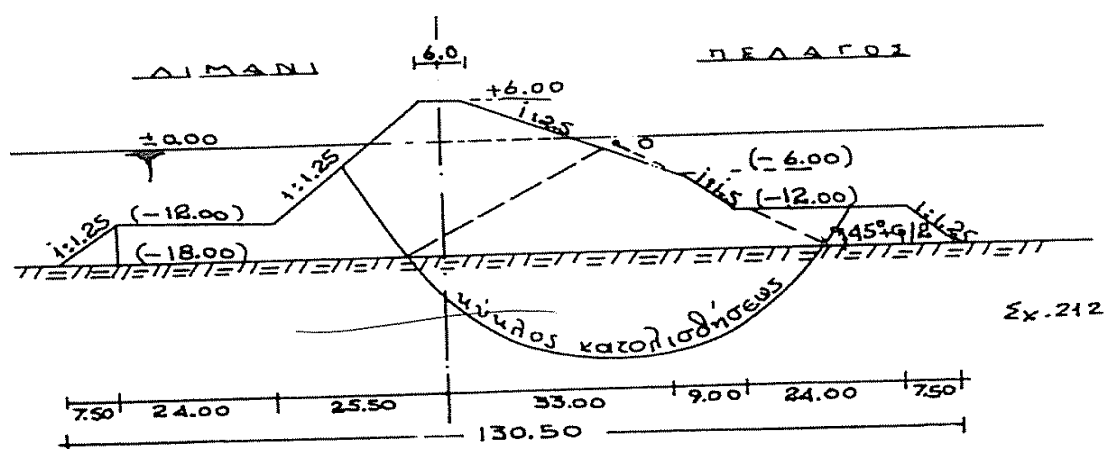
Επίσης υπάρχει και ο μεικτός κατά πλάτος τύπος κυματοθραύστη, όπου η παρειά προς το πέλαγος προστατεύεται με μονοκλινή κυματοθραύστη, του οποίου η κεκλιμένη προς το πέλαγος παρειά είναι θωρακισμένη με φυσικούς ή τεχνητούς ογκόλιθους. Αυτή η κατηγορία κυματοθραύστη είναι κατά κανόνα δαπανηρότερη και πρέπει να αποφεύγεται, εκτός εάν κατασκευάζεται η εξωτερική παρειά αμέσως από την αρχή κεκλιμένη και η εσωτερική κατακόρυφη. Παρόλα αυτά ο τύπος αυτός εφαρμόζεται πολλές φορές στην πράξη γιατί δίνει σε πρώτο βαθμό ταχύτερη κατασκευή και προστασία της λεκάνης του λιμανιού από τους μέτριους όμως κυματισμούς που η συχνότητά τους, όπως είναι φυσικό, είναι σημαντική. Έτσι λοιπόν, η συμπλήρωση της διατομής της εξωτερικής (προσήνεμης) παρειάς γίνεται ευκολότερα και ταχύτερα και ακολουθεί προοδευτικά την κατασκευή της υπερκατασκευής του κυματοθραύστη.

Το μεγάλο μειονέκτημα του συστήματος αυτού, εκτός φυσικά της αντισοικονομικότητας της κατασκευής, είναι ότι πάντοτε το μπροστινό τμήμα του μώλου - που προοδευτικά κατασκευάζεται - βρίσκεται απροφύλαχτο εξωτερικά μέχρις ότου κατασκευαστεί η θωράκιση (προς το πέλαγος). Για το λόγο αυτό το μπροστινό αυτό τμήμα του κυματοθραύστη είναι εκτεθειμένο για ένα χρονικό διάστημα (μέχρι να συμπληρωθεί η διατομή) στη δράση των ισχυρών κυματισμών από τους οποίους κινδυνεύει να υποσκαφεί και να ανατραπεί πλήρως. Επιβάλλεται, λοιπόν, να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε πριν από την έναρξη των μεγάλων τρικυμιών ολόκληρο το κατασκευασμένο τμήμα του μώλου να έχει θωρακιστεί. (Δασκαλάκης, 2009)

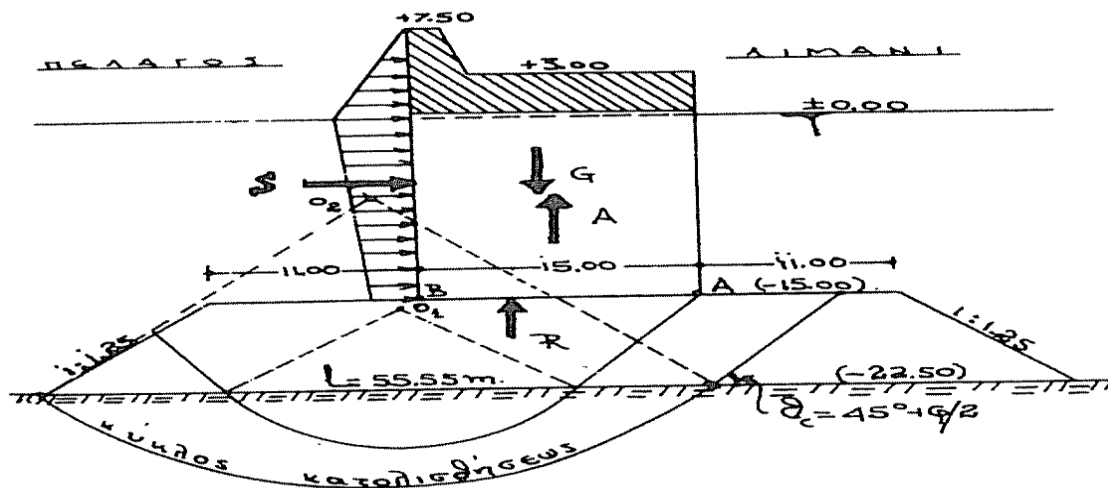
2.4.3 Μόρφωση και έλεγχος έναντι κατολισθήσεως των κυματοθραυστών

Η μόρφωση της διατομής τόσο των κυματοθραυστών με κεκλιμένα μέτωπα όσο και εκείνων με κατακόρυφα μέτωπα μικτού καθ' ύψους, στην περίπτωση θεμελίωσης σε μαλακά εδάφη περιορισμένης αντοχής, δεν διαφέρει από εκείνη που η θεμελίωση γίνεται σε ανθεκτικά εδάφη. Η μόνη διαφορά είναι ότι το κατώτατο στρώμα της βάσης στηρίξεως του μώλου που στηρίζεται επάνω στο έδαφος επεκτείνεται εκατέρωθεν της διατομής σε αρκετό πλάτος (15÷30 μέτρα) και σε πάχος (3÷6 μέτρα). (Δασκαλάκης, 2009)

Στα σχήματα 37 και 38 δείχνονται δύο τυπικές διατομές κυματοθραυστών, οι οποίοι θεμελιώνονται σε μαλακά εδάφη.



Σχήμα 37. Τυπική διατομή κυματοθραύστη με κεκλιμένα μέτωπα, θεμελιωμένου σε μαλακό έδαφος.(Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 38. Τυπική διατομή κυματοθραύστη με κατακόρυφα μέτωπα, μικτού καθ' ύψους τύπου, θεμελιωμένου σε μαλακό έδαφος. (Δασκαλάκης, 2009)

2.4.4 Κυματοθραύστες που θεμελιώνονται σε εδάφη πολύ μικρής αντοχής - επιπλέονσα θεμελίωση

Γενικά η θεμελίωση των έργων σε εδάφη πολύ μικρής αντοχής αποτελεί πάντοτε ένα δύσκολο πρόβλημα.

Στο παρελθόν, η θεμελίωση των κυματοθραυστών πάνω σε τέτοια εδάφη γίνονταν με τη συνεχή ρίψη βραχωδών υλικών μέχρι να σταθεροποιηθεί το έδαφος. Οι μεγάλες όμως διεισδύσεις των υλικών μέσα στο έδαφος - όπως έδειξε η πράξη - προκαλούν πλάγιες ολισθήσεις της αργίλου εξαιτίας των οποίων γίνονται πολύ μεγάλες καθιζήσεις του έργου, οι οποίες συνεχίζονται για πολλά χρόνια μετά την αποπεράτωση του έργου. Η συνεχής αυτή καθίζηση της κατασκευής απαιτούσε πάντοτε τεράστιες ποσότητες βραχωδών υλικών και μακροχρόνιες εργασίες συμπλήρωσης αλλά και παρακολούθησης. (Δασκαλάκης, 2009)

Ο τρόπος αυτός έχει σήμερα εγκαταλειφτεί εντελώς και έχει αντικατασταθεί με τη λεγόμενη "επιπλέονσα θεμελίωση".

Η επιπλέονσα θεμελίωση συνίσταται στην αφαίρεση του πάνω εντελούς σαθρού στρώματος του πυθμένα θεμελίωσης κατά ένα μικρό πάχος συνήθως 2÷3 μέτρα σε όλο το πλάτος εδράσεως της διατομής και στη συνέχεια γέμισμα του αύλακα που διανοίχτηκε με καθαρή λεπτόκοκκο άμμο σε πάχος 2÷5 μέτρα. Πάνω στο στρώμα αυτό της άμμου κατασκευάζεται στη συνέχεια ο κυματοθραύστης.

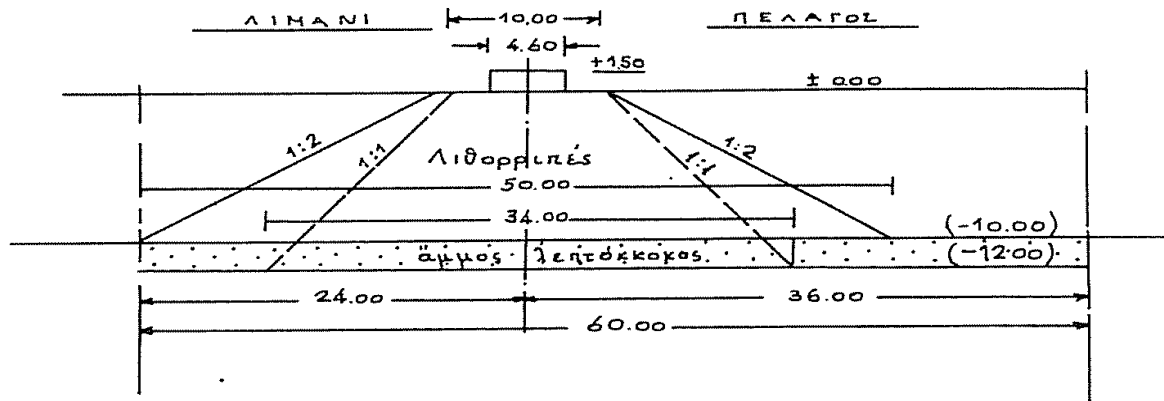
Με τη μέθοδο αυτή, όχι μόνο οι καθιζήσεις περιορίζονται σε πολύ μικρά όρια της τάξης του 0,50÷1,00 m, αλλά ακόμη επιτυγχάνεται γρήγορη και οικονομική κατασκευή. (Δασκαλάκης, 2009)

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένοι κυματοθραύστες οι οποίοι θεμελιώθηκαν με τη μέθοδο αυτή(Δασκαλάκης, 2009) :

(α) Κυματοθραύστης LA SREZZIA.

Ο πυθμένας θεμελίωσης βρίσκεται σε βάθος 10 μέτρα, το δε έδαφος κάτω απ' αυτόν αποτελείται από μαλακή άργιλο σε πάχος 30 μέτρα. Η αντοχή σε θλίψη της αργίλου αυτής είναι 0.20÷0.30 kg/cm², ενώ η γωνία εσωτερικής τριβής $\varphi = 6^\circ$. Το 1864 η θεμελίωση είχε γίνει με λιθορριπές, οι οποίες εισχώρησαν σε βάθος 18 μέτρων κάτω από τον πυθμένα ενώ

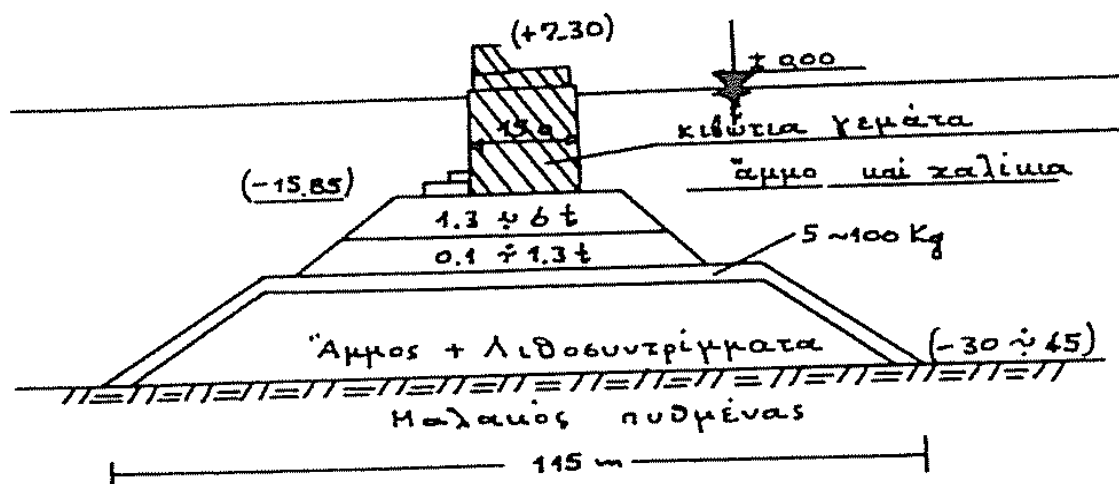
συγχρόνως δημιουργήθηκαν πλευρικές διογκώσεις εκατέρωθεν των ποδιών του κυματοθραύστη, ύψους 7,00 m. και μήκους 70 m. Το 1912 διανοίχτηκε αύλακας βάθους 2,80 m. , ο οποίος γεμίστηκε με λεπτή άμμο. Οι καθιζήσεις του έργου κράτησαν 6 έτη, αλλά η μέγιστη καθίζηση που τελικά μετρήθηκε ήταν μόνο 0,80 m. , ενώ καμία πλευρική διόγκωση δεν παρατηρήθηκε. Η πίεση που ο κυματοθραύστης ασκεί στο έδαφος είναι $1,22 \text{ kg/cm}^2$ δηλαδή πενταπλάσια περίπου της αντοχής της αργίλου. (Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 39. Διατομή του κυματοθραύστη στο λιμάνι "La Spezia". (Δασκαλάκης, 2009)

(β) Κυματοθραύστης VALPARAISO.

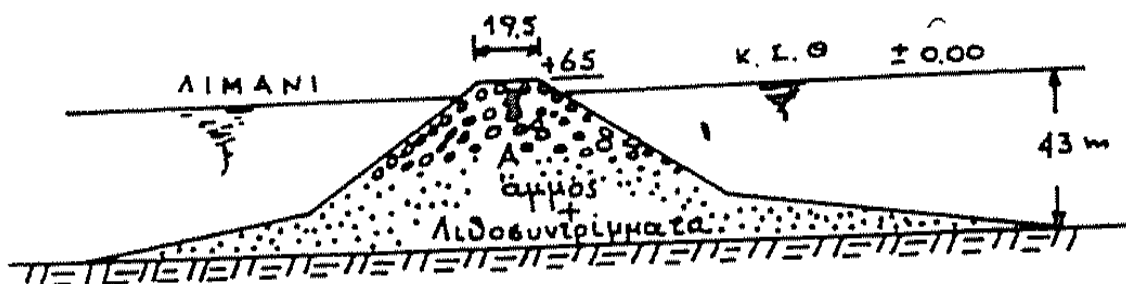
Ο κυματοθραύστης του λιμανιού αυτού θεμελιώθηκε πάνω σε φυσικό πυθμένα, ο οποίος βρίσκεται σε βάθος περίπου 40 μέτρα. Το έδαφος κάτω από τον πυθμένα είναι πολύ μαλακό με αντοχή σε θλίψη $0,20 \div 0,30 \text{ kg/cm}^2$. Η θεμελίωση έγινε με παρεμβολή στρώματος άμμου και λιθοσυντριμμάτων σε πάχος περίπου 12 μέτρων. Η πίεση που ασκείται πάνω στο έδαφος σε περίπτωση τρικυμίας είναι $5,28 \text{ kg/cm}^2$, ενώ η συνολική καθίζηση του κυματοθραύστη είναι 0,91 m. , χωρίς καμία πλευρική διόγκωση. (Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 40. Διατομή του κυματοθραύστη στο λιμάνι "Valparaiso". (Δασκαλάκης, 2009)

(γ) Κυματοθραύστης AUGUSTA (Ιταλίας)

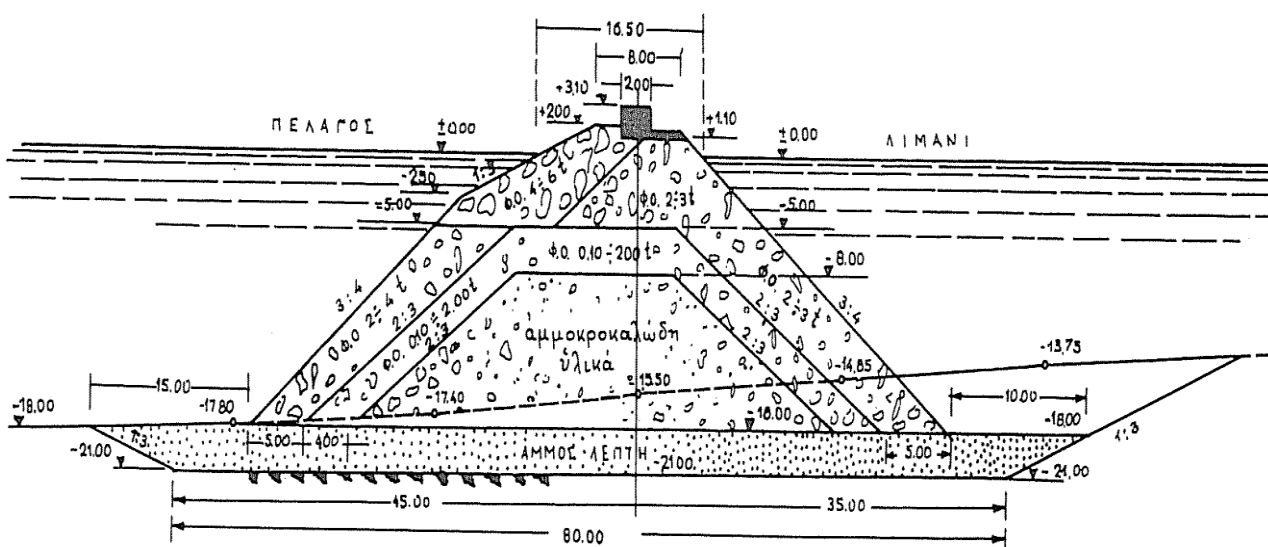
Για πολεμικούς σκοπούς κατά τον 1ο Παγκόσμιο Πόλεμο, ο καθηγητής Luigi πήρε την εντολή να κατασκευάσει γρήγορα τον κυματοθραύστη AUGUSTA. Η περιοχή προσβάλλεται από ισχυρούς κυματισμούς ύψους 4,5 m., ενώ το βάθος θεμελίωσης ήταν 43 m. Το έδαφος ήταν μαλακό. Όπως φαίνεται στο σχήμα ο κυματοθραύστης θεμελιώθηκε πάνω στον φυσικό πυθμένα με τη παρεμβολή ενός μεγάλου στρώματος (περίπου 20 μέτρα) από άμμο και λιθοσυντρίμματα, το οποίο καλύφθηκε με άλλα στρώματα από πετρώματα και φυσικούς ογκόλιθους. Το έργο παραμένει μέχρι και σήμερα άθικτο και η άμμος δεν έχει υποστεί καμία διαταραχή. (Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 41. Κυματοθραύστης Augusta (Ιταλία). (Δασκαλάκης, 2009)

(δ) Κυματοθραύστης Πατρών (νέα επέκταση)

Η διατομή της νέας επέκτασης του κυματοθραύστη Πατρών δείχνεται στο παρακάτω σχέδιο. Ο κυματοθραύστης αυτός θεμελιώθηκε σε αργιλώδες έδαφος, του οποίου το πάχος φτάνει τα 22 m. Κατά τη μελέτη του έργου πάρθηκαν: γωνία εσωτερικής τριβής της αργίλου $\phi = 6^\circ$, αντοχή σε θλίψη $q = 0,30 \text{ kg/cm}^2$ και συνοχή $c = \frac{1}{2}q = 0,15 \text{ kg/cm}^2$. Το πάχος του στρώματος της άμμου καθορίστηκε σε 3,00 m. Η πίεση που ασκεί ο κυματοθραύστης πάνω στην επιφάνεια εδράσεως υπολογίστηκε σε $1,25 \text{ kg/cm}^2$. (Δασκαλάκης, 2009)



Σχήμα 42. Διατομή του κυματοθραύστη στο λιμάνι Πατρών (νέα επέκταση). (Δασκαλάκης, 2009)

2.5 Πλωτοί κυματοθραύστες

Πλωτοί κυματοθραύστες είναι οι προκατασκευασμένοι κυματοθραύστες (σε μορφή κιβωτίων οπλισμένου σκυροδέματος που περικλείουν όγκο διογκωμένης πολυστερίνης εργοστασιακής κατασκευής και ειδικής τεχνολογίας) που παρέχουν μερική κυματοπροστασία. Η κυματική προστασία την οποία προσφέρουν ποικίλλει ανάλογα με τα κυματικά χαρακτηριστικά και το βάθος της ακτής. Κάτω από κυματικά επεισόδια περιόδου 3÷5 δευτερολέπτων και ύψους 1÷2 μέτρων απορροφούν 70÷80% της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας. Οι πλωτοί κυματοθραύστες αποτελούν την πιο περιβαλλοντικά φιλική λύση προστασίας ακτών, καθώς δεν εμποδίζουν τη ρευματογενή θαλάσσια κυκλοφορία. Με αυτό τον τρόπο αποτρέπουν τη δημιουργία συνθηκών στασιμότητας των υδάτων όπισθεν αυτών, συνεπώς και την ποιοτική υποβάθμιση του θαλάσσιου περιβάλλοντος στην περιοχή την οποία προστατεύουν. Επιπλέον, δεδομένου ότι δεν εκτείνονται παρά κάποια εκατοστά κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, δεν διαταράσσουν (εκτός από τις θέσεις αγκύρωσής τους) τον θαλάσσιο πυθμένα και τα βενθικά οικοσυστήματα. (Μελέτη Τουριστικού Λιμένα στον 1° Προβλήτα του Οργανισμού Λιμένος Θεσσαλονίκης, 2009)

Γενικά όμως, οι επιπλέοντες κυματοθραύστες δεν είναι πολύ αποτελεσματικοί ως εξωτερικά λιμενικά έργα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως ως προσωρινά έργα που αποσυναρμολογούνται και μπορούν να μεταφερθούν καθώς και ως μόνιμα έργα σε θαλάσσιες περιοχές χαμηλής κυματικής ενέργειας με χαρακτηριστικό ύψος κύματος μέχρι 2 m περίπου. (Μέμος, 2008)

Ιστορικά οι επιπλέοντες κυματοθραύστες εμφανίσθηκαν στην απόβαση της Νορμανδίας κατά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο, όπου όμως καταστράφηκαν λόγω της σφοδρής κακοκαιρίας που επικράτησε τότε. Μετά από 10 χρόνια το Beach Erosion Board των ΗΠΑ αρχίζει δοκιμές σε ένα τύπο πλωτού κυματοθραύστη από χάλυβα που περιέχει 3 επιπλέοντα κατακόρυφα διαφράγματα που συγκρατούνται σε παράλληλη διάταξη μέσω δικτυωμάτων. Οι επαναλαμβανόμενες μονάδες του κυματοθραύστη αρθρώνονται μεταξύ τους και το σύνολο αγκυρώνεται μέσω αλυσίδων στον πυθμένα της θάλασσας. (Μελέτη Τουριστικού Λιμένα στον 1° Προβλήτα του Οργανισμού Λιμένος Θεσσαλονίκης, 2009)

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται χαρακτηριστικές περιπτώσεις λειτουργίας πλωτών κυματοθραυστών.



Εικόνα 3. Πλωτός κυματοθραύστης υπό την επίδραση ισχυρών κυματισμών
(Πηγή: SF Marina)



Εικόνα 4. Πλωτός κυματοθραύστης υπό την επίδραση ισχυρών κυματισμών
(Πηγή: IRC Network)

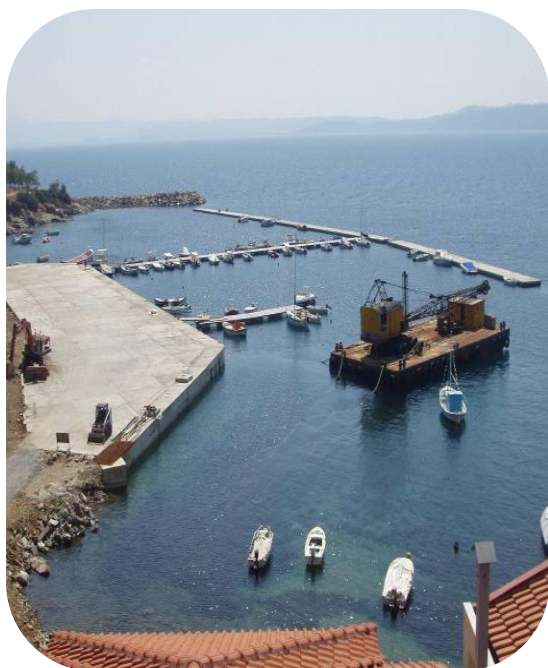
Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιπτώσεις που εμφανίστηκαν μετά τον 1ο και τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, με παροπλισμένα πλοία από σκυρόδεμα να χρησιμοποιούνται ως πλωτοί κυματοθραύστες ή μόλοι. Τα πλοία αυτά είχαν κατασκευαστεί κατά τη διάρκεια των πολέμων λόγω έλλειψης πρώτων υλών και εξειδικευμένου προσωπικού. Μετά τη λήξη τους αξιοποιήθηκαν σε διάφορες εναλλακτικές χρήσεις, μεταξύ των οποίων και για την κυματική προστασία λιμενικών εγκαταστάσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα φαίνεται στη παρακάτω φωτογραφία. (Μελέτη Τουριστικού Λιμένα στον 1^ο Προβλήτα του Οργανισμού Λιμένος Θεσσαλονίκης, 2009)



Εικόνα 5. Χρήση πλοίων από σκυρόδεμα ως πλωτοί κυματοθραύστες
(Πηγή: www.concreteships.org)

2.5.1 Κατασκευαστικά στοιχεία

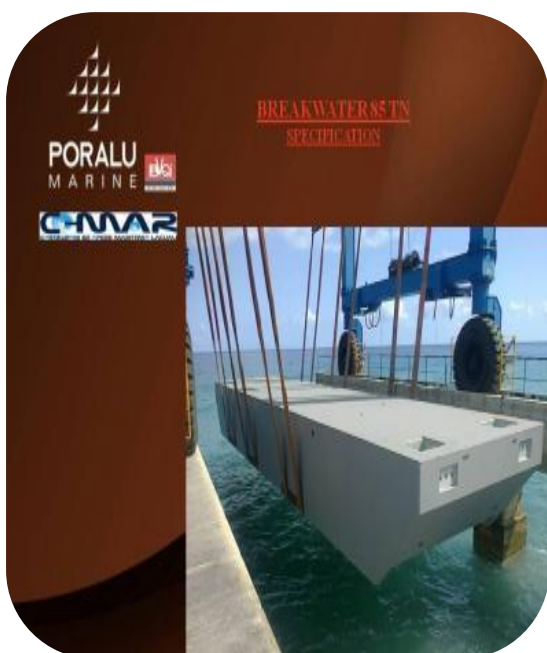
Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζεται συνήθως ο σκελετός των πλωτών κυματοθραυστών είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα και ο γαλβανισμένος χάλυβας για το πλαίσιο (εφόσον υπάρχει). Ειδικότερα, κάθε στοιχείο πλωτού κυματοθραύστη πρέπει να είναι μία μονολιθική κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα (ινοπλισμένο ή μη) που περιβάλλει ένα πυρήνα διογκωμένης πολυστερίνης, ο οποίος και εξασφαλίζει την πλευστότητα. Για την αποφυγή διάβρωσης του οπλισμού θα πρέπει να επιλέγονται τα πλέον κατάλληλα αδρανή και χαμηλός λόγος νερού προς τσιμέντο (μέγιστο 0,40). Επίσης, θα πρέπει να προβλέπεται η προσθήκη πλαστικοποιητικών (βελτιωτικών) μάζας για την εξασφάλιση της στεγανότητας. Οι εποξειδικές βαφές του οπλισμού συντελούν επίσης στην προστασία του από τα ιόντα χλωρίου που προκαλούν τη διάβρωση. Η ελάχιστη πυκνότητα της διογκωμένης πολυστερίνης του πυρήνα θα πρέπει να είναι 20 kg/m^3 . Τα τυχόν χαλύβδινα στοιχεία των κυματοθραυστών θα είναι γαλβανισμένα εν θερμώ σύμφωνα με το B.S. 729. Το πλάτος των πλωτών κυματοθραυστών εκτιμάται κατ' ελάχιστον στα 3,0 m. Το μήκος κάθε πλωτού στοιχείου του κυματοθραύστη μπορεί να ποικίλει, ανάλογα με την τυποποίηση του κατασκευαστή. Το ελάχιστο συνολικό ύψος του κυματοθραύστη (ύφαλο + έξαλο) θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,80 m. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζεται το κατάστρωμα είναι ξύλο, σκυρόδεμα και πολυπροπυλένιο. Τα ξύλινα τμήματα είναι συνήθως από τροπική ξυλεία και όχι εμποτισμένη σε τοξικά υλικά, γιατί δεν υφίστανται οποιαδήποτε αλλοίωση στο θαλάσσιο περιβάλλον και δε απαιτούν οποιαδήποτε συντήρηση ή προστασία. Η επιφάνεια του καταστρώματος θα πρέπει να είναι και να παραμένει με την πάροδο του χρόνου αντιολισθητική. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται στα καταστρώματα των πλωτών προβλητών θα είναι κατηγορίας τουλάχιστον C30/37. Επίσης πρέπει να είναι οπλισμένο με πλαστικές ίνες και να έχει αντιολισθητική επιφάνεια, που να διατηρείται με την πάροδο του χρόνου και τη χρήση. Το πολυπροπυλένιο που χρησιμοποιείται πρέπει να μην περιέχει τοξικές ουσίες (με βάση τα επισυναπτόμενα πιστοποιητικά) και να είναι άφλεκτο. (Μελέτη Τουριστικού Λιμένα στον 1° Προβλήτα του Οργανισμού Λιμένος Θεσσαλονίκης, 2009)



Εικόνα 6. Εφαρμογή πλωτών
κυματοθραυστών στα Πυργαδίκια



Εικόνα 7. Εφαρμογή πλωτών
κυματοθραυστών στα Πυργαδίκια



Εικόνα 8. Τοποθέτηση μέρους πλωτού
κυματοθραύστη



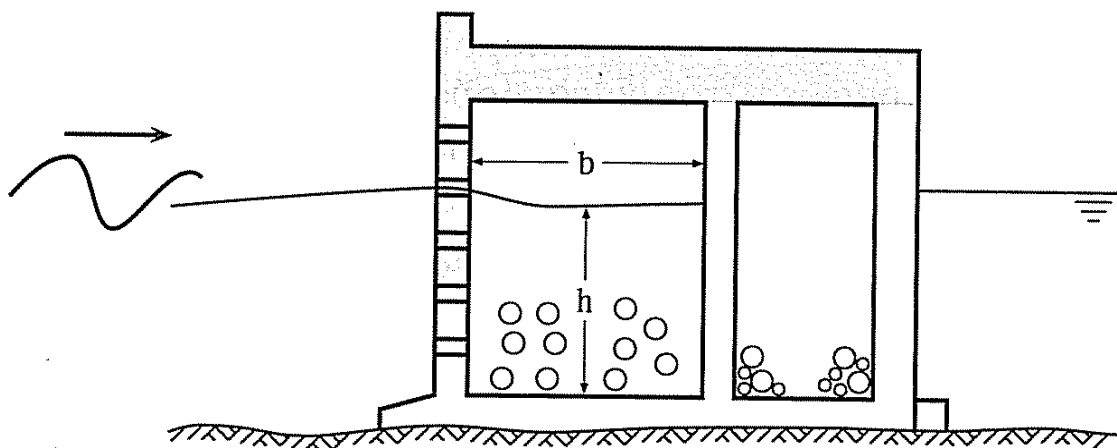
Εικόνα 9. Εφαρμογή πλωτών
κυματοθραυστών

2.6 Κυματοθραύστες που παράγουν ενέργεια

2.6.1 Διάτρητοι κυματοθραύστες

Ο τύπος αυτού του κυματοθραύστη έχει ως στόχο του τη μείωση της υδροδυναμικής φόρτισης του έργου με τη χρησιμοποίηση διάτρητου κατακόρυφου μετώπου. Οι οπές έχουν συνήθως κυκλικό σχήμα και οδηγούν σε θάλαμο εκτόνωσης με πλήρες το κατόπι κατακόρυφο μέτωπο. Ο θάλαμος αυτός διαχωρίζεται κατά τη διαμήκη έννοια με εγκάρσια τοιχώματα που επίσης φέρουν οπές. Κατά την πρόσπτωση του κυματισμού στον διάτρητο κυματοθραύστη προκαλείται κατακόρυφη ταλάντωση της ελεύθερης στάθμης στο θάλαμο εκτόνωσης με συχνότητα αντίστοιχη του προσπίπτοντος κυματισμού. Κατά τη διαδικασία αυτή μετατρέπεται συνεχώς η δυναμική ενέργεια του κύματος σε κινητική και αντίστροφα ενώ παράλληλα καταργείται μέρος της μηχανικής ενέργειας μέσω των δυνάμεων συνεκτικότητας και τύρβης που δημιουργείται κυρίως κατά τη φάση εξόδου του νερού από τις οπές και της σύγκρουσής του με το επερχόμενο κύμα. (Μέμος, 2008)

Αυτή η ιδέα ,του διάτρητου κυματοθραύστη, ξεκίνησε από τον G.E JARLAN στις αρχές της δεκαετίας του 1960 στον Καναδά. Μέχρι σήμερα δεν έχει τύχει ευρείας εφαρμογής λόγω του συνολικά μικρού οφέλους που προκύπτει σε πραγματικές συνθήκες. Πράγματι, ενώ η διαστασιολόγηση των οπών και του θαλάμου μπορεί να δώσει ευνοϊκά αποτελέσματα σε μονοχρωματικό κυματισμό, στη φύση επικρατούν συνθήκες τυχαίων κυματισμών που λόγω της ποικιλίας των περιόδων που περιέχουν αλληλεπιδρούν διαφορετικά με τη διάτρητη συσκευή. Εάν η συχνότητα του επερχόμενου κύματος βρίσκεται στην περιοχή της ιδιοσυχνότητας ταλάντωσης στο θάλαμο εκτόνωσης τότε η αποτελεσματικότητα της απορρόφησης ενέργειας μεγιστοποιείται.

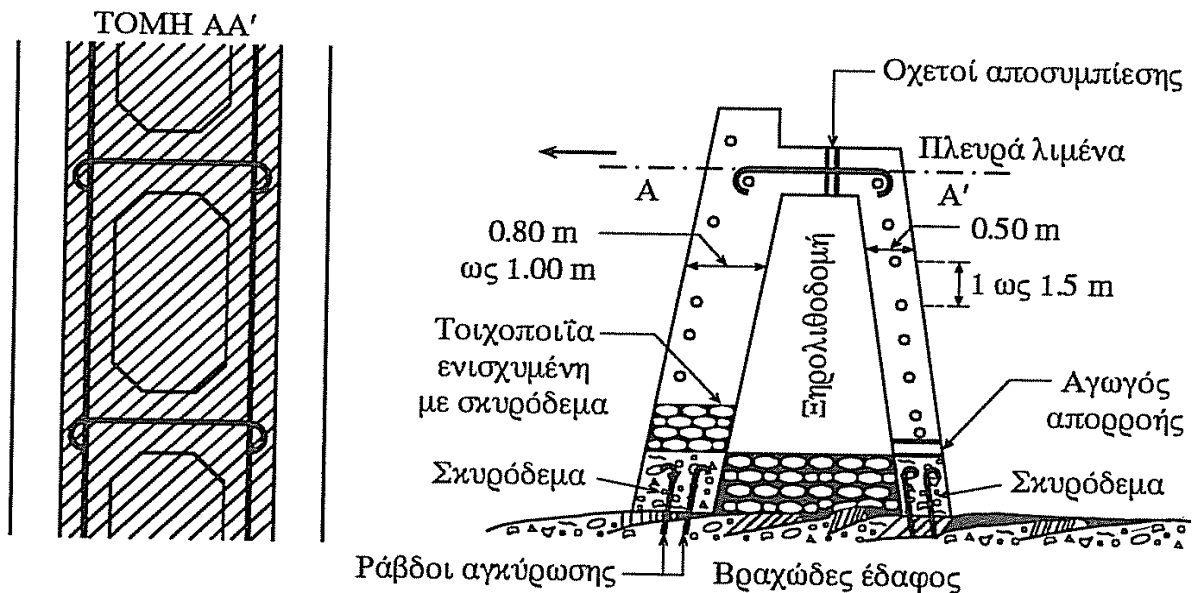


Σχήμα 43. Διατομή διάτρητου κυματοθραύστη. (Μέμος, 2008)

2.6.2 Κυματοθραύστες τύπου CONSIDERE

Πρόκειται για έναν τύπο κυματοθραύστη ιστορικής περισσότερο σημασίας λόγω των πολλών περιορισμών που τίθενται. Συγκεκριμένα οι κυματοθραύστες αυτοί πρέπει να θεμελιώνονται σε σταθερό βραχώδες έδαφος, να τοποθετούνται σε μικρό βάθος θάλασσας και σε περιοχές μικρής κυματικής ενέργειας. Η κατασκευή αυτή πρέπει να εκτελείται πολύ επιμελημένα κυρίως λόγω των υφάλων σκυροδεμάτων που απαιτούνται. Κυματοθραύστες τύπου Considere έχουν κατασκευαστεί σε αλιευτικούς λιμενίσκους της Βρετανίας στη Γαλλία.

Η κατασκευή θεμελιώνεται πάνω σε σενάζ που αγκυρώνεται σταθερά στο βραχώδη πυθμένα. Το περίγραμμα του έργου μορφώνεται από τοιχοποιία ενισχυμένη με σκυρόδεμα και οπλισμό. Το εσωτερικό της κατασκευής πληρούται με ξηρολιθοδομή, ενώ προβλέπονται οπές στη στέψη και την υπήμενη παρειά για εκτόνωση της διαφοράς πίεσης του νερού. Κατά τη σκυροδέτηση δεν πρέπει να προβλέπονται οριζόντιοι αρμοί εργασίας. (Μέμος, 2008)

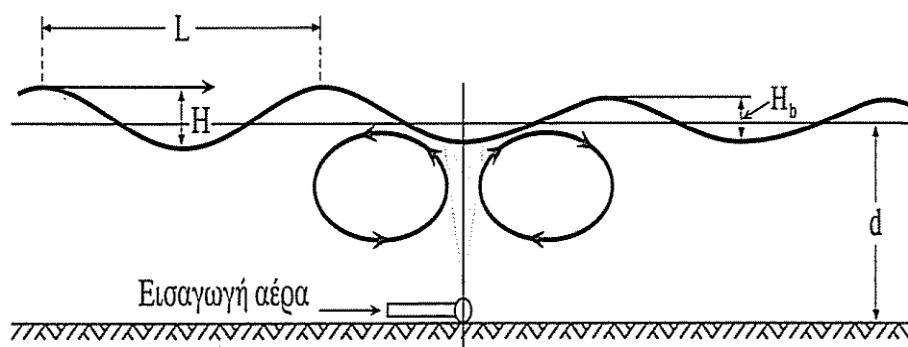


Σχήμα 44. Κυματοθραύστης τύπου Considere. (Μέμος, 2008)

2.6.3 Αέριος κυματοθραύστης

Ο τύπος αυτός του κυματοθραύστη εφαρμόστηκε στις αρχές του αιώνα στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, αλλά από τότε έχει τύχει περιορισμένης χρήσης, με πιο γνωστή την επιτυχή λειτουργία σε αποβάθρα του Dover της Αγγλίας γύρω στο 1950.

Η αρχή λειτουργίας του αεροκυματοθραύστη βασίζεται στην εκτόξευση κατακόρυφα πεπιεσμένου αέρα από συστοιχία ακροφυσίων διαταγμένων σε μια ή περισσότερες ευθείες κάθετες στη φορά πρόσπτωσης του κυματισμού. (Μέμος, 2008)



Σχήμα 45. Αρχή λειτουργίας αεροκυματοθραύστη. (Μέμος, 2008)

Οι φυσαλίδες αέρα συμπαρασύρουν κατά την άνοδο τους προς την επιφάνεια τα υγρά μόρια, που στην επιφανειακή ζώνη δημιουργούν στροβίλους αντίθετης φοράς, από αυτήν του κύματος. Το ρεύμα αυτό μικρής κλίμακας και η συνεπαγόμενη τύρβη προκαλούν τεχνητή ρήγωση και άρα μερική θραύση των επερχόμενων κυματισμών καθώς και μείωση της κλίσης των διερχόμενων κυματισμών. Η απόδοση των κυματοθραυστών αυτού του είδους είναι συνήθως περιορισμένη και έτσι η χρήση τους περιορίζεται σε εισόδους λιμένων.

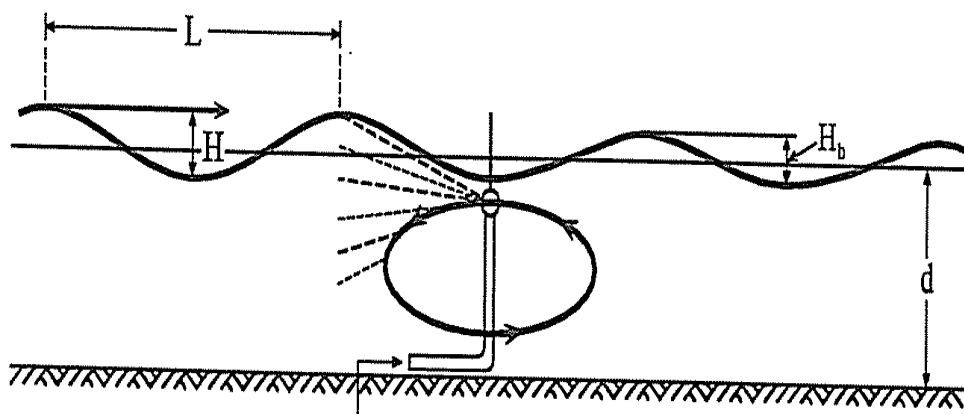
Από οικονομική άποψη φαίνεται πως το κόστος λειτουργίας του είναι πολύ υψηλό. Μείωση αυτού του κόστους μπορεί να επιτευχθεί εάν προβλέπεται διάταξη μεταβαλλόμενης παροχής πεπιεσμένου αέρα σε άμεση συνάρτηση με το ύψος των επερχόμενων κυματισμών. Τέτοια διάταξη είχε ενσωματωθεί στον κυματοθραύστη του Dover, που έχει επιτύχει αποδόσεις μέχρι 50% ως προς το συντελεστή απόδοσης. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως λόγω των δυο διαφορετικών ρευστών - αέρα και νερού - που συνυπάρχουν σε αυτόν τον τύπο κυματοθραύστη είναι εξαιρετικά δύσκολη η συναγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων από εργαστηριακά πειράματα σε ομοίωμα. (Μέμος, 2008)

2.6.4 Υδραυλικοί κυματοθραύστες

Όπως και οι αέριοι κυματοθραύστες έτσι και οι υδραυλικοί έχουν σαν αρχή λειτουργίας τους την αύξηση της κυρτότητας των επερχόμενων κυματισμών και τη συνεπακόλουθη θραύση τους. Αυτό στην περίπτωση του υδραυλικού κυματοθραύστη επιτυγχάνεται με εκτόξευση οριζόντιας φλέβας νερού από σειρά ακροφυσίων σε στάθμη λίγο χαμηλότερη από αυτήν της κοιλίας του κύματος.

Η βασική ιδέα διατυπώθηκε στις αρχές του αιώνα, ενώ συστηματικά πειράματα διεξήχθησαν στις ΗΠΑ στα μέσα του αιώνα.

Τα σοβαρά μειονεκτήματα που παρουσιάζουν και ιδιαίτερα αυτό του υψηλού κόστους λειτουργίας περιορίσει τη χρήση τους σε έργα δευτερεύουσας κλίμακας όπως π.χ. σε στόμια λιμένων, μαρίνες κ.λπ. (Μέμος, 2008)



Σχήμα 46. Αρχή λειτουργίας υδραυλικού κυματοθραύστη. (Μέμος, 2008)



Εικόνα 10. Εφαρμογή υδραυλικού κυματοθραύστη στα ανοιχτά της Πορτογαλίας.
(www.saveplanet.gr)



Εικόνα 11. Σχέδιο για υδραυλικούς κυματοθραύστες.
(www.elem.tee.gr)

2.7 Εκλογή τύπου του κυματοθραύστη

Ο τύπος του κυματοθραύστη που θα εφαρμόσουμε σε μία κατασκευή εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες (Δασκαλάκης, 2009):

- από την διαθεσιμότητα των αναγκαίων ποσοτήτων υλικών στη γύρω περιοχή της κατασκευής του έργου
- από τον επιθυμητό βαθμό συνεχούς λειτουργίας του λιμανιού
- από το βάθος του πυθμένα
- από τον διαθέσιμο εξοπλισμό (μηχανήματα) κατασκευής των εργασιών
- από τα χαρακτηριστικά στοιχεία και τις δυνάμεις του κύματος
- από τη φύση του πυθμένα

Το κυριότερο υλικό κατασκευής των κυματοθραυστών είναι ο βράχος. Απαραίτητη, συνεπώς, προϋπόθεση για την κατασκευή ενός τέτοιου έργου σε εκτεθειμένες θαλάσσιες περιοχές είναι η ύπαρξη ικανών ποσοτήτων υγείων βραχωδών υλικών αρκετής πυκνότητας και σκληρότητας.

Επίσης, ο επιθυμητός βαθμός λειτουργίας του λιμανιού επιδρά πάρα πολύ στην εκλογή του τύπου του κυματοθραύστη. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι σε εμπορικά λιμάνια απαιτείται ο βαθμός λειτουργίας τους να είναι μέγιστος. Για το λόγο αυτό η επίτευξη πλήρους προστασίας τόσο στις θέσεις που πλευρίζουν τα πλοία όσο και μέσα στη λιμενολεκάνη, σ' όλη τη διάρκεια του χρόνου αποτελεί βασική ανάγκη που τίθεται υποχρεωτικός όρος στη σύνταξη της μελέτης του λιμανιού. Αντίθετα δεν χρειάζεται τέτοιος βαθμός λειτουργίας για λιμάνια καταφυγίου, προσωρινής αγκυροβολίας, αναμονής κ.λπ. (Δασκαλάκης, 2009)

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας στην εκλογή του τύπου του κυματοθραύστη είναι το βάθος του πυθμένα και αυτό γιατί καθορίζει ποιος τύπος κυματοθραύστη είναι η οικονομικότερη λύση. Για παράδειγμα, για βάθη κάτω από 18 μέτρα προτιμάται ο κυματοθραύστης με πρηνή.

Σπουδαίο επίσης παράγοντα αποτελεί και ο μηχανικός εξοπλισμός που διατίθεται για την κατασκευή του έργου. Ο μηχανικός εξοπλισμός επιδρά ακόμη και στις μεθόδους κατασκευής των επί μέρους μονάδων του έργου. Η διάθεση γερανών πλωτών ή χερσαίων με μεγάλες ανυψωτικές ικανότητες δίνει μεγάλη ευελιξία τόσο στο μελετητή όσο και στον κατασκευαστή. Γιατί δίνει την δυνατότητα κατασκευής και τοποθέτησης μεγάλων μονάδων (τεχνητών ογκολίθων, caissons, κ.λ.π), η χρήση των οποίων συμβάλει στην αρτιότερη, ταχύτερη και οικονομικότερη κατασκευή του έργου. Αντίθετα η διάθεση γερανών μικρών ανυψωτικών δυνάμεων επιβάλλει στον μελετητή και τον κατασκευαστή τη χρήση περιορισμένου βάρους μονάδων, πράγμα που δημιουργεί προβλήματα στο να βρεθούν κατάλληλες κατασκευαστικές μέθοδοι (πάντοτε με πρόσθετες οικονομικές επιβαρύνσεις) οι οποίες να εξασφαλίζουν τη σταθερότητα, τη σύνδεση των μονάδων και την αντοχή του έργου. Επιπλέον η χρήση μικρών κατασκευαστικών μονάδων περιορίζει την απόδοση των εργασιών και δημιουργεί καθυστερήσεις οι οποίες γίνονται ακόμη μεγαλύτερες σε εκτεθειμένες περιοχές όπου οι νηνεμίες είναι περιορισμένες. (Δασκαλάκης, 2009)

Τα στοιχεία του κύματος και οι δυνάμεις του αποτελούν σημαντικότερους παράγοντες για τον καθορισμό του τύπου του κυματοθραύστη, αφού κύριος σκοπός των κυματοθραυστών είναι η αναχαίτηση της προέλασης του κύματος και η καταστροφή ή διασπορά του ενέργειάς του.

Το ύψος και το μήκος του κύματος σε συνδυασμό με το βάθος του νερού στη θέση της κατασκευής του έργου αποτελούν τα κύρια στοιχεία πάνω στα οποία θα βασιστεί ο υπολογισμός του κυματοθραύστη και η εκλογή του τύπου αυτού.

Τέλος, η φύση και η αντοχή του πυθμένα, πάνω στον οποίο θα εδρασθεί ο κυματοθραύστης, αποτελούν δύο ακόμη ουσιώδη παράγοντες προσδιορισμού του τύπου του κυματοθραύστη.

Κεφάλαιο 3°

Διάβρωση ακτών

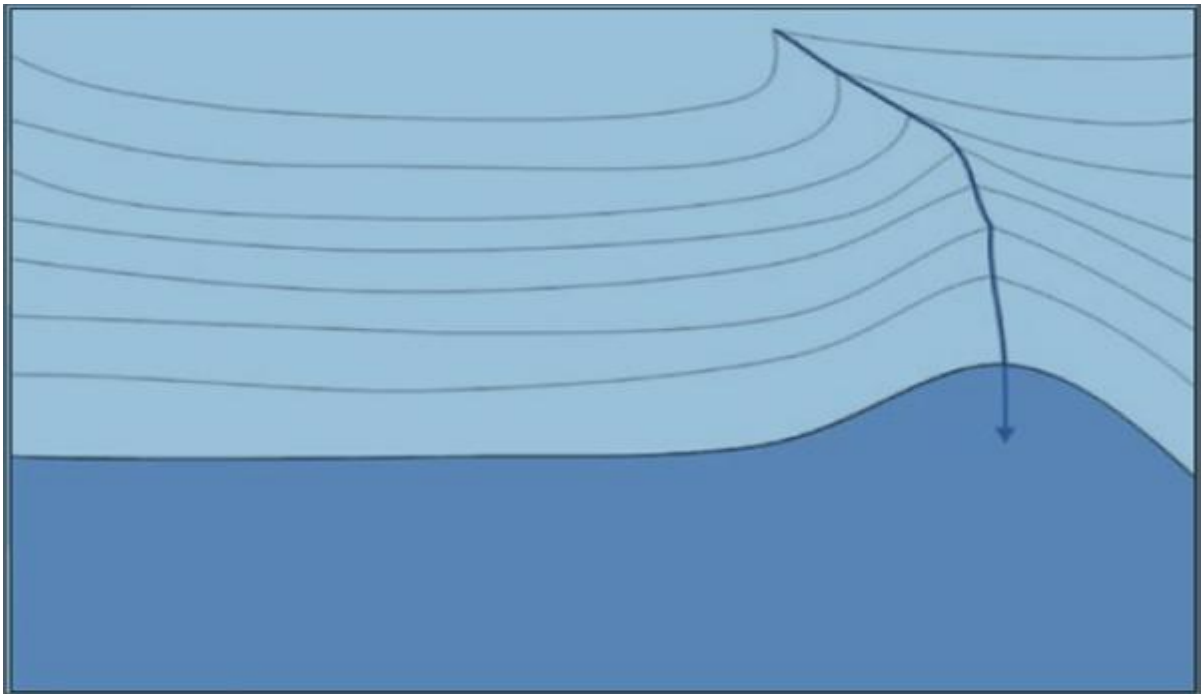
3.1 Εισαγωγικά στοιχεία για τον σχηματισμό των ακτών

Στην καθημερινότητα, ως ακτογραμμή ορίζουμε εκείνο το σημείο που τα τρία κύρια φυσικά στοιχεία, ο αέρας το νερό και η γη, συναντώνται. Η ακτογραμμή δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται με το χρόνο σε δυο κλίμακες. Βραχυπρόθεσμα οι κυματισμοί δύνανται να μεταβάλλουν την θέση της, ενώ μακροπρόθεσμα εξαρτάται από μεταβολές της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας (ΜΣΘ) και από την διάβρωση και από την εναπόθεση ιζημάτων.

Ο σχηματισμός των ακτών είναι το δυναμικό συνδυαστικό αποτέλεσμα των εξής δράσεων (COASTANCE, 2012):

- Γεωλογικές διεργασίες (σεισμοί, καθίζηση-υπερύψωση εδάφους, ρήγματα)
- Τροφοδοσία των ακτών με φερτά (που έχουν προέλευση τις υδρολογικές λεκάνες και σε μικρότερο ποσοστό τη διάβρωση των παράκτιων πετρωμάτων)
- Κυματισμοί και ρεύματα (διάβρωση ακτών, αναδιανομή ιζημάτων, μεταφορά ιζημάτων κατά μήκος της ακτής, μεταφορά ιζημάτων προς τα βαθειά)

Ο συνδυασμός αυτών των παραμέτρων οδηγεί σε μια δυναμική ισορροπία. Όταν αλλάζει μια από αυτές τις παραμέτρους χάνεται αυτή η ισορροπία και το παράκτιο σύστημα αλλάζει σχήμα μέχρι να επιτευχθεί μια νέα δυναμική ισορροπία.

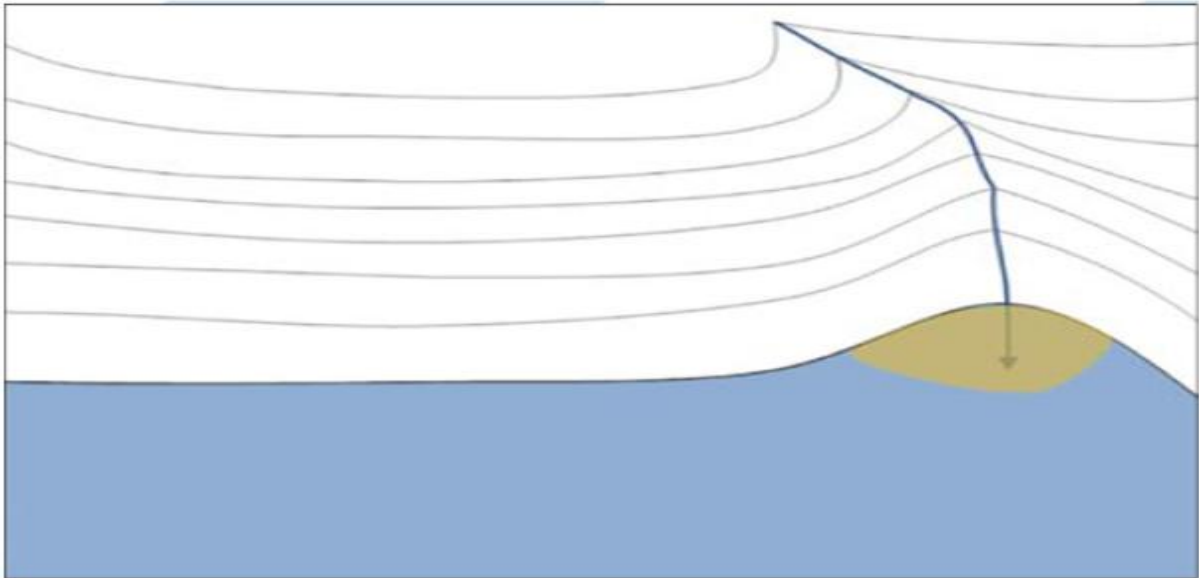


Σχήμα 47. Σχηματισμός ακτογραμμής και μισγάγγειας από γεωλογικές διεργασίες.
(www.coastance.eu)

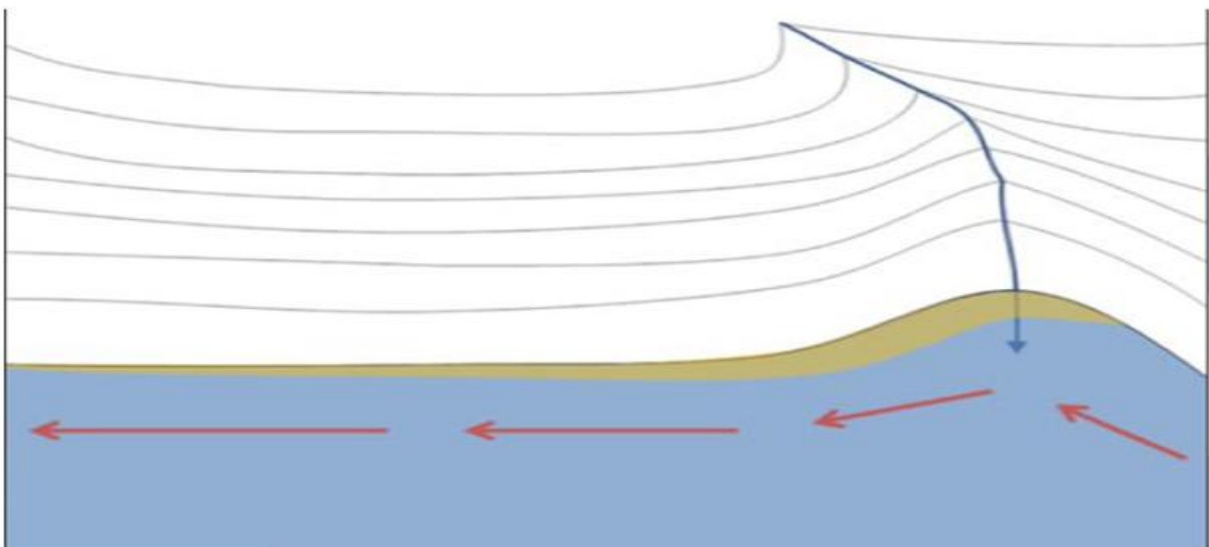
Με την πάροδο του χρόνου οι ακτογραμμές διαβρώνονται από την κυματική ενέργεια και συγχρόνως εμπλουτίζονται με ίζημα, το οποίο εισέρχεται σε αυτές από υδάτινες οδούς. Ως

αποτέλεσμα αυτού, σχηματίζεται σταδιακά το σύστημα παραλίας-αιγιαλού-θάλασσας (μέχρι το κρίσιμο βάθος), το οποίο συνήθως αποκαλείται απλά παραλία.

Παραλίες ονομάζουμε τους γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι έχουν ομαλή κλίση και αποτελούνται από ιζηματογενές υλικό, συνήθως άμμο ή βότσαλα, και έχουν την ικανότητα να απορροφούν την κυματική ενέργεια και λειτουργούν σαν «προφυλακτήρας» για την προστασία της παράκτιας ζώνης.



Σχήμα 48. Συσσώρευση ιζήματος - άμμου στην εκβολή της μισγάγγειας.
(www.coastance.eu)



Σχήμα 49. Διαμόρφωση αμμώδους παραλίας υπό την επιρροή θαλάσσιων ρευμάτων και κυματισμών. Η ακτογραμμή επιτυγχάνει μία δυνατή ισορροπία.
(www.coastance.eu)

3.2 Βασικά στοιχεία παράκτιων περιοχών με έμφαση στον Ελλαδικό χώρο

Οι παράκτιες περιοχές της Ευρώπης υπόκεινται σε συνεχείς πιέσεις. Ο μισός σχεδόν πληθυσμός της Ευρώπης ζει κοντά στην θάλασσα, σε απόσταση μικρότερη ή ίση των 50 χιλιομέτρων. Οι Ευρωπαϊκές Ακτές εκτείνονται περίπου σε 89.000 χιλιόμετρα. Στην Ευρώπη υπολογίζεται ότι ετησίως υποχωρούν 15km^2 . Στην περίοδο 1999-2002, περίπου 250-300 σπίτια εγκαταλείφθηκαν ως αποτέλεσμα του επικείμενου παράκτιου κινδύνου διάβρωσης. Επίσης, περίπου 20.000 km των ακτών της Ευρώπης, που αντιστοιχούν στο 20% των ακτογραμμών της, αντιμετώπισαν έντονα προβλήματα το έτος 2004. (Χ. Καπόπουλος)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση οφείλει στους πόρους των παράκτιων ζωνών μεγάλο μέρος του οικονομικού πλούτου της. Η συνεχώς αυξανόμενη πίεση στους παράκτιους πόρους, που οδηγεί μοιραία στην υποβάθμισή τους, οφείλεται σε (Χ. Καπόπουλος):

- Επιδείνωση της ποιότητας των υδάτων
- Εξάντληση της ποσότητας των υδατικών πόρων
- Επιτάχυνση της Διάβρωσης των Ακτών
- Αύξηση των επιπέδων ρύπανσης
- Σημαντική μείωση του Ενάλιου πλούτου

Πιο συγκεκριμένα, η **Ελλάδα** με συνολική έκταση 131.957 km^2 έχει εύρος ακτών περίπου 13.000 km και περίπου 3.000 νησιά κάθε μεγέθους. Έτσι επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ολοένα και μεγαλύτερη υποχώρηση των ακτογραμμών της. Ιδιαίτερα, έχει την πιο εκτεταμένη ακτογραμμή από όλες τις χώρες της Μεσογείου και παρουσιάζει την μεγαλύτερη, μετά την Νορβηγία, αναλογία μήκους ακτών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο γης. Μεγάλο τμήμα υφίσταται διαβρώσεις, κατακρημνίσεις, υποχωρήσεις των ακτογραμμών και εν γένει φυσικές καταστροφές. Υπολογίζεται ότι το 50% των συνολικών ακτών θα πρέπει να προστατευθεί καθώς στην πλειονότητα αυτών εκδηλώνονται ή πρόκειται να εκδηλωθούν ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Οι Ακτές της Ελλάδας αντιμετωπίζουν, όπως και οι Ευρωπαϊκές, μεγάλο αριθμό οικονομικών, κοινωνικών και οικολογικών προβλημάτων από κακό προγραμματισμό και διαχείριση. Μερικά από τα προβλήματα αυτά είναι (Χ. Καπόπουλος):

- Αύξηση της αστικοποίησης
- Κακός Προγραμματισμός Τουριστικής Ανάπτυξης
- Κακοσχεδιασμένα δίκτυα μεταφορών
- Ρύπανση
- Φθίνουσα πορεία αλιείας
- Καταστροφή των ενδιαιτημάτων
- Αύξηση της διάβρωσης**

Ένας από τους παράγοντες με τον μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης τα τελευταία χρόνια είναι η Διάβρωση των Παράκτιων Ζωνών

3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την διάβρωση των ακτών

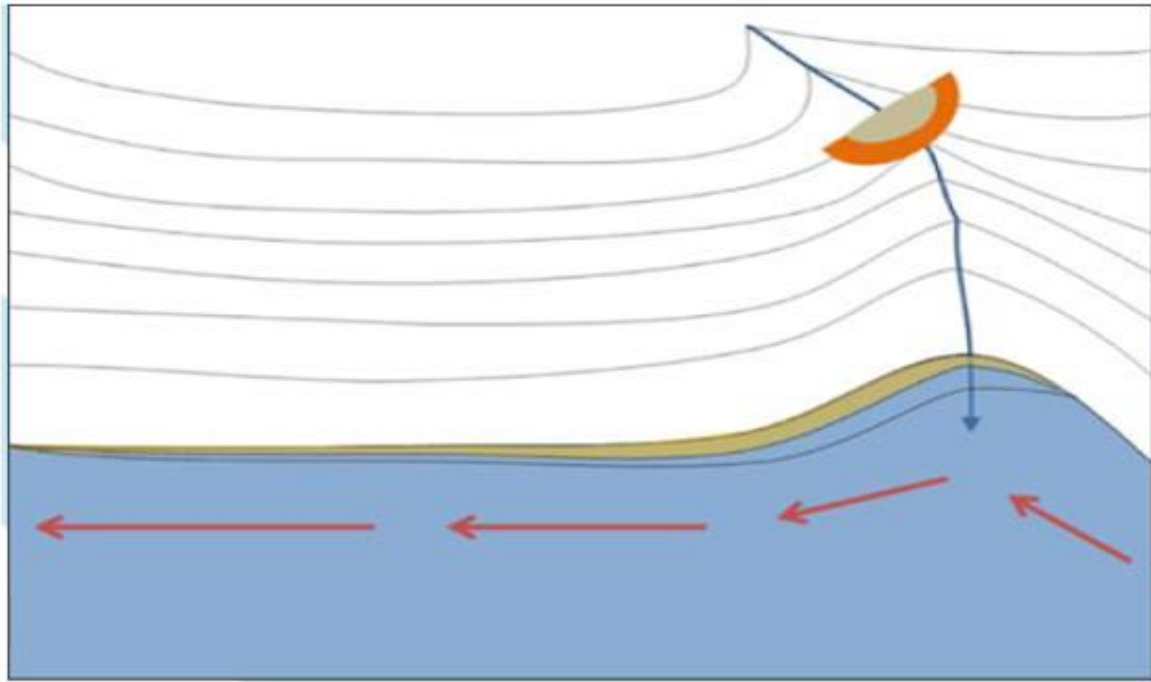
Παράκτια διάβρωση ορίζεται ως η σταδιακή οπισθοχώρηση της ακτογραμμής υπό την επίδραση της θάλασσας σε ικανοποιητικό χρονικό ορίζοντα, συνήθως ετήσιο, ώστε η μέτρηση να μην επηρεάζεται από τις επιδράσεις του καιρού, τις κυματικές καταιγίδες και την τοπική δυναμική των ιζημάτων.

Η διάβρωση και η προσαρμογή των ακτών είναι ένα φυσικό δυναμικό φαινόμενο. Κάθε παραλία αποτελείται από ιζήματα συγκεκριμένης σύστασης, τα χαρακτηριστικά των οποίων εξαρτώνται από τους εκάστοτε γεωλογικούς σχηματισμούς της ακτογραμμής και των περιοχών που βρίσκονται πίσω από αυτή. Έτσι λοιπόν αυτά διαβρώνονται και οδηγούνται μέσω ποταμών, πλημμυρών και άλλων υδάτινων οδών ή και ακόμα με τον αέρα, σε παραλίες. Τα κύματα κάνουν «διαλογή» αυτών των ιζημάτων. Τα πολύ βαριά παραμένουν στην παραλία και στον πυθμένα της θάλασσας καθώς η δύναμη της βαρύτητας στο σημείο αυτό είναι μεγαλύτερη από την δύναμη των ρευμάτων που επικρατούν στη παραλία, τα ενδιάμεσα μεταφέρονται από τους δυνατούς κυματισμούς μόνο τοπικά και τα πιο ελαφριά μεταφέρονται από τους κυματισμούς και τα ρεύματα σε γειτονικές παραλίες ή στα ανοιχτά.

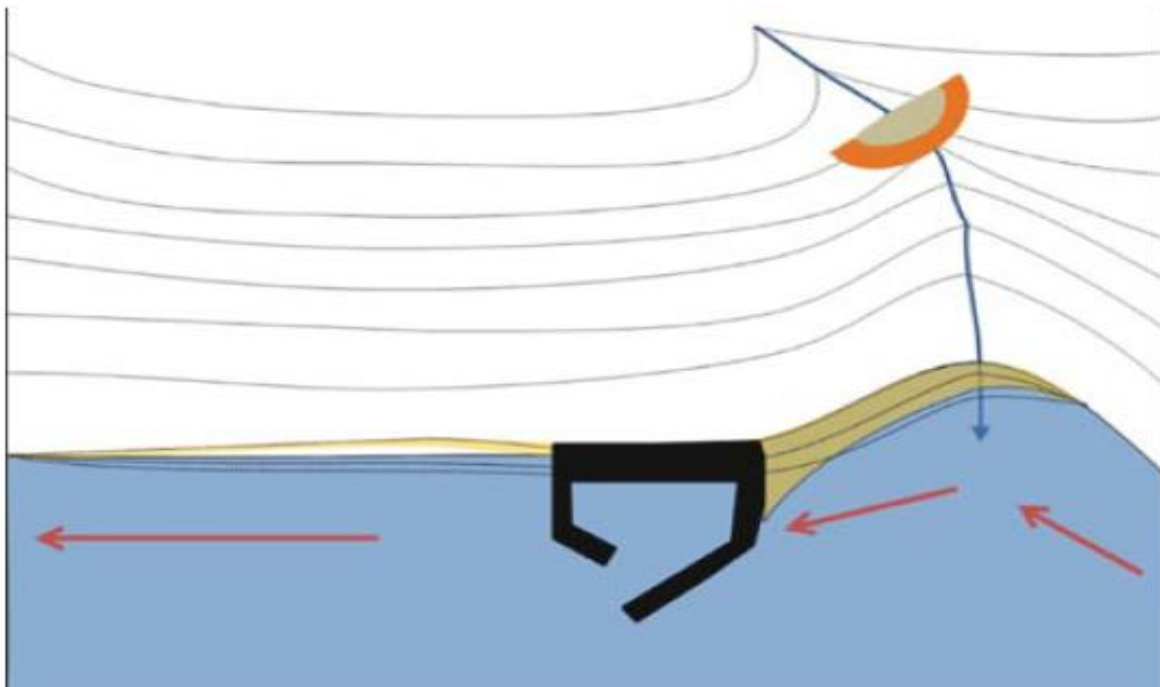
Τα τελευταία χρόνια, η διάβρωση των ακτών αυξάνεται λόγω (COASTANCE, 2012):

- Των ανθρωπογενών παρεμβάσεων στις παράκτιες ζώνες που αυτό πραγματοποιείται με την κατασκευή λιμενικών ή άλλων παράκτιων έργων τα οποία διαταράσσουν την παράκτια μεταφορά ιζήματος και την αρχική δυναμική μορφολογική ισορροπία.
- Έντονες καταιγίδες οι οποίες μεταφέρουν ίζημα από ή προς τα βαθειά
- Αμμοληψία από ακτές
- Αμμοληψίες από ποταμούς ή δέλτα ποταμών, οι οποίες μειώνουν την στερεοπαροχή προς τις ακτές
- Άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω κλιματικών αλλαγών
- Συχνότερες ή πιο σφοδρές καταιγίδες λόγω κλιματικών αλλαγών
- Βύθιση της παραλίας λόγω καθίζησης του εδάφους λόγω υπεράντλησης από τον υδροφόρο ορίζοντα ή λόγω εξόρυξης ορυκτών/μεταλλευμάτων/πετρελαίου/φυσικού αερίου

Λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος, απαιτούνται πολλά στοιχεία για τον εντοπισμό των αιτιών διάβρωσης της ακτής. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται σχηματικά οι πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις διάβρωσης λόγω ανθρώπινης παρέμβασης.



Σχήμα 50. Διαταραχή της φυσικής δυναμικής ισορροπίας της ακτής με την κατασκευή φράγματος, το οποίο κατακρατεί μέρος των φερτών που διαφορετικά θα οδηγούσαν στην παραλία. Η φυσική ακτογραμμή σημειώνει σταδιακά υποχώρηση/διάβρωση μέχρι να επιτευχθεί νέα δυναμική ισορροπία.
(www.coastance.eu)



Σχήμα 51. Διαταραχή της φυσικής ισορροπίας της ακτής με την κατασκευή λιμένα. Οι λιμενοβραχίονες προκαλούν διακοπή της φυσικής παράκτιας στερεομεταφοράς ιζήματος με αποτέλεσμα να συγκρατείται περισσότερο ίζημα στη μία πλευρά του λιμανιού και να υπάρχει έλλειμμα ιζήματος/διάβρωσης στην άλλη, μέχρι να επιτευχθεί μία νέα δυναμική ισορροπία.
(www.coastance.eu)

Πιο ιδιαίτερα, το **φαινόμενο της Διάβρωσης των Ελληνικών ακτών** έχει αρχίσει να καταγράφεται πριν από τη δεκαετία του 1970 (Αεροφωτογραφίες). Έως σήμερα, εκατομμύρια στρέμματα ελληνικών παραλιών έχουν διαβρωθεί και καταληφθεί από τη θάλασσα.

3.4 Παρατήρηση φαινομένου διάβρωσης στην Ελλάδα - Παραδείγματα

Α) ΠΑΡΑΛΙΑΚΗ ΛΩΡΙΔΑ ΚΡΕΜΑΣΤΗΣ ΡΟΔΟΥ



Εικόνα 12. Τοπογραφικό της παραλιακής λωρίδας της Κρεμαστής Ρόδου.
(Χ. Κατόπουλος, 2010)

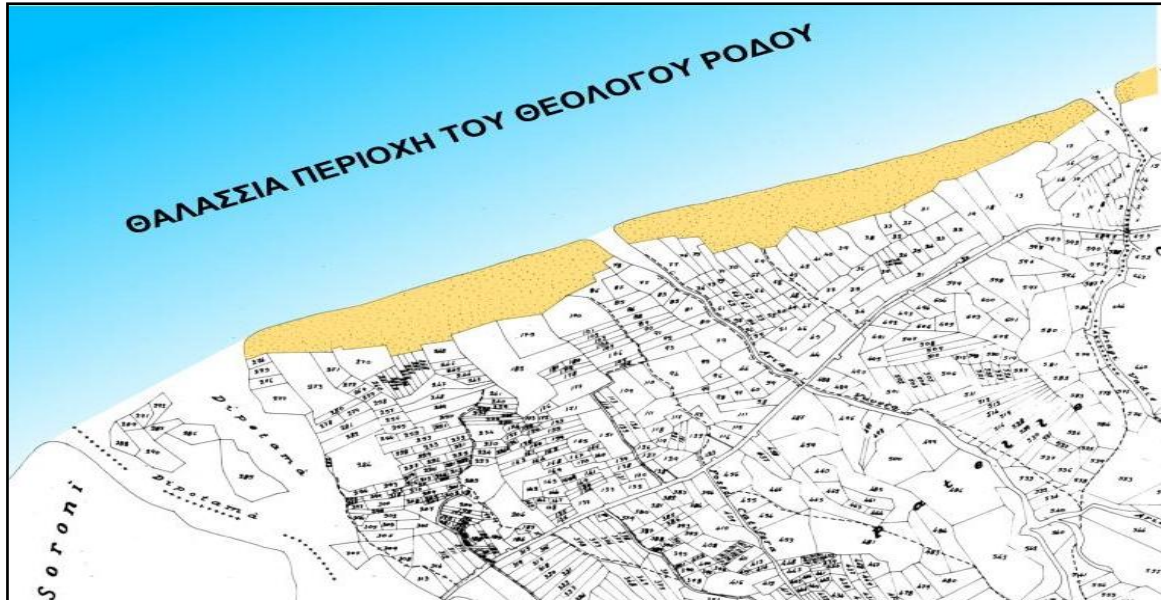
Η παραλιακή λωρίδα της Κρεμαστής Ρόδου όπως έχει καταγραφεί στο παλαιό τοπογραφικό του Κτηματολογίου (1926-1936). Το πλάτος της λωρίδας αυτής έχει έκτοτε μειωθεί δραματικά, ενώ συνεχίζεται η διάβρωσή της και στις ημέρες μας. Το ελάχιστο πλάτος της παραλίας ήταν **58 m** και το μέγιστο **162 m**. Η παρακάτω αεροφωτογραφία λήφθηκε περίπου 60 χρόνια μετά την χαρτογράφηση του Κτηματολογίου. (Χ.Κατόπουλος)



Εικόνα 13. Αεροφωτογραφία της παραλιακής λωρίδας της Κρεμαστής Ρόδου.
(Χ. Κατόπουλος, 2010)

Η δραματική μείωση του πλάτους της παραλιακής λωρίδας στην Κρεμαστή Ρόδου είναι προφανής. Σήμερα, το μέγιστο πλάτος της ίδιας παραλίας είναι **μικρότερο των 30m**.

Β) ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΘΕΟΛΟΓΟΥ ΡΟΔΟΥ



Εικόνα 14. Τοπογραφικό της θαλάσσιας περιοχής του Θεολόγου Ρόδου. (Χ. Καπόπουλος, 2010)

Ιδιαίτερα μεγάλοι πλάτους ήταν κατά την περίοδο κατάρτισης του κτηματολογίου (1926-1936) η παραλία του Θεολόγου. (Χ. Καπόπουλος, 2010)



Εικόνα 15. Αεροφωτογραφία της θαλάσσιας περιοχής του Θεολόγου Ρόδου. (Χ. Καπόπουλος, 2010)

Η σημερινή κατάσταση της παραλιακής λωρίδας στον Θεολόγο δεν αναγνωρίζεται ούτε από το πλάτος, αλλά ούτε και από τη γεωμετρική μορφή της ακτογραμμής.

3.5 Φωτογραφικό υλικό που απεικονίζει το φαινόμενο της διάβρωσης στην Ελλάδα



Εικόνα 16. Κάμειρος-Ρόδος (www.oicologicarodiaka.wordpress.com)



Εικόνα 17. Σορωνή-Ρόδος (www.oicologicarodiaka.wordpress.com)



Εικόνα 18. Το φαινόμενο της διάβρωσης στο Ξυλόκαστρο. (www.sfedona.gr)



Εικόνα 19. Περιοχή στο ανατολικό Αίγιο που έχει υποστεί διάβρωση. (www.styga.gr)



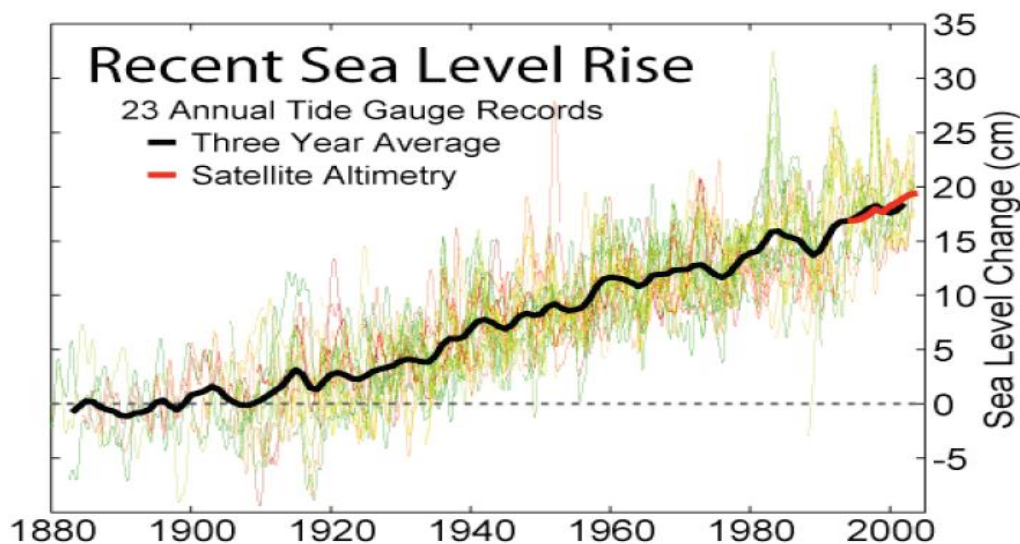
Εικόνα 20. Δήμος Πλατανιά-Κρήτη. (www.cretevoice.gr)



Εικόνα 21. Μελίσσι Κορινθίας. (www.sfedona.gr)

3.6 Επιπτώσεις της διάβρωσης των ακτών

Η διάβρωση των ακτογραμμών είναι αναμενόμενη, καθώς η γη βρίσκεται σε μεσοπαγετώδη περίοδο, ενώ τον προηγούμενο αιώνα η ετήσια άνοδος της Μέσης Στάθμης Θαλάσσης ήταν 1,8mm. Όμως εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου επιταχύνεται ο ρυθμός διάβρωσης πολλών ακτογραμμών (Σ. Φωτεινής, 2009).



Διάγραμμα 4. Διάγραμμα ανόδου της ΜΣΘ με το χρόνο (en.wikipedia.org)

Οι **δυσμενείς επιπτώσεις** διάβρωσης των ακτών μεγεθύνονται λόγω ύπαρξης ανθρώπινων δραστηριοτήτων (COASTANCE, 2012):

- Μειώνεται το πλάτος της παραλίας, μέχρι να εξαφανιστεί ή μέχρι να επιτευχθεί μια νέα δυναμική ισορροπία. Η μείωση του πλάτους των παραλιών έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται η δυνατότητα της παραλίας να προστατεύσει την ενδοχώρα από την κυματική ενέργεια και επομένως έχουμε πιο συχνή πλημμύριση από τη θάλασσα.
- Ακόμα ένα αποτέλεσμα της μείωσης του πλάτους της παραλίας είναι ο λιγότερος χώρος για δραστηριότητες αναψυχής, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα ζημιογόνο για τουριστικές περιοχές.
- Υποβαθμίζεται η παραθαλάσσια καλλιεργήσιμη γη. Όσο η θάλασσα προχωρά προς τη στεριά, το έδαφος λόγω της αλατότητας καθίσταται άχρηστο για αγροτική εκμετάλλευση.
- Εξίσου σημαντική είναι η μείωση ή η καταστροφή των παραθαλάσσιων οικοσυστημάτων.
- Απειλούνται υποδομές όπως δρόμοι, κοινωφελή δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης, ηλεκτρισμού καθώς και δημόσια και ιδιωτικά κτήρια.

Όλα αυτά τα δυσμενή αποτελέσματα έχουν μεγάλο κόστος τόσο για τους παράκτιους οικισμούς και συνολικά για την οικονομία της ευρύτερης περιοχής. Γι' αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχει μια μεσοπρόθεσμη-μακροπρόθεσμη διαχείριση των ακτών, ώστε να αντιμετωπιστεί έγκαιρα η διάβρωση των ακτών και να ελαχιστοποιηθούν οι μελλοντικές ζημιές.

3.7 Ορθολογική αντιμετώπιση της διάβρωσης

Με βάση τα αποτελέσματα μεγάλων ευρωπαϊκών και μεσογειακών ερευνητικών προγραμμάτων (Map, EuroSION, BeachMed, ObseMedi κ.α.) προτείνονται δέσμες μέτρων για την αντιμετώπιση της διάβρωσης των ακτών στην Ελλάδα και σε όλη την Ευρώπη (Χ. Καπόπουλος, 2010 και COASTANCE, 2012):

- Οι σύγχρονες τεχνικές διαχείρισης θα πρέπει να συμπορεύονται με τις φυσικές δυνάμεις και όχι να συγκρούονται με αυτές (προσέγγιση ήπιων μεθόδων προστασίας).
- Ενδυνάμωση της προσαρμοστικότητας των ακτών με την αποκατάσταση της ισορροπίας των ιζημάτων.
- Συνυπολογισμός του κόστους της διάβρωσης των ακτών κατά το σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων για επενδύσεις.
- Ενεργή και μακροχρόνια σχεδιασμένη αντίδραση στη διάβρωση των ακτών. Πρέπει να αξιολογείται συγκριτικά το τι διακυβεύεται και ποια είναι τα κόστη και οι συνέπειες των διαφορετικών επιλογών.
- Ενδυνάμωση της γνωστικής βάσης σχετικά με τη διαχείριση της διάβρωσης των ακτών και σχεδιασμός, ώστε να διασφαλίζεται ότι οι αποφάσεις που λαμβάνονται βασίζονται σε αξιόπιστες πληροφορίες και ότι εφαρμόζονται οι καλύτερες διαθέσιμες πρακτικές.

Η αντιμετώπιση της διάβρωσης πραγματοποιείται με δύο μεθόδους:

- Ήπια μέθοδος προστασίας ακτών (soft engineering)
- Σκληρή μέθοδος προστασίας ακτών (hard engineering)

3.8 Βασικές αρχές των Ήπιων-Σκληρών μεθόδων προστασίας ακτών

Η διάκριση μεταξύ των παραδοσιακών «σκληρών Έργων» (Τοίχοι, κυματοθραύστες, θωράκιση ακτών με ογκόλιθους κλπ) και των «Ήπιων Έργων» προστασίας των ακτών προκύπτει από το κείμενο του Ευρωπαϊκού Κώδικα Συμπεριφοράς για τις Παράκτιες Ζώνες (**European Code of conduct for coastal zones**) όπως αναφέρεται από (Χ. Καπόπουλος, 2010).

Η προστασία των ακτών με την **ήπια μέθοδο Προστασίας Ακτών** επιτυγχάνεται με εγκαταστάσεις στοιχείων και τεχνικών διατάξεων που εργάζονται μαζί με την φύση, τροποποιώντας φυσικά συστήματα που μπορούν να προσαρμοστούν στην ενέργεια των κυμάτων, των παλιρροιών και του ανέμου. Αυτή η προσέγγιση έχει οικονομικά πλεονεκτήματα καθώς ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των παραδοσιακών κατασκευών.

Παρακάτω παρουσιάζουμε από τη Βιβλιογραφία παραδείγματα της Ήπιας μεθόδου Προστασίας των Ακτών:



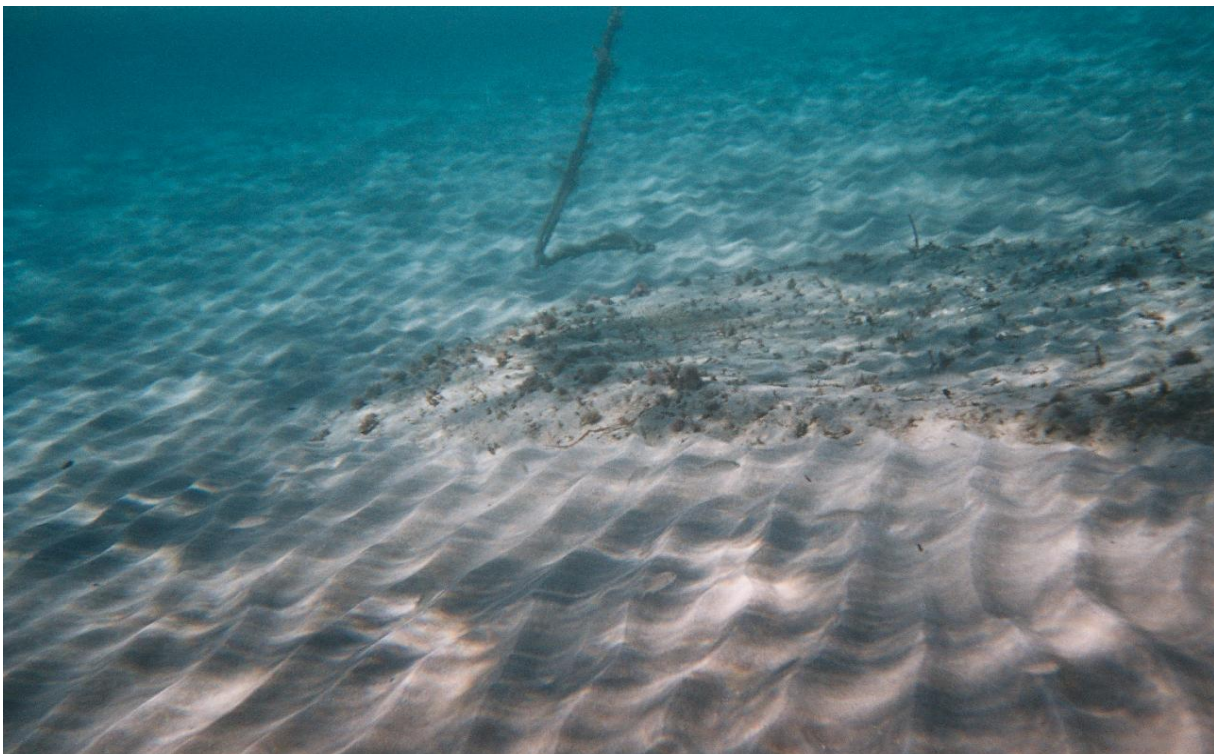
Εικόνα 22. Εγκατάσταση Ήπιας Μεθόδου σε διαβρωμένο τμήμα ακτής (Πελοπόννησος).
(Χ. Καπόπουλος, 2010)



Εικόνα 23. Λειτουργία Ήπιας Μεθόδου προστασίας ακτής (Πελοπόννησος).
(Χ. Καπόπουλος, 2010)



Εικόνα 24. Εφαρμογή Ήπιας Μεθόδου - Προσάμμωση θαλάσσιου πυθμένα.
(Χ. Καπόπουλος, 2010)



Εικόνα 25. Εφαρμογή Ήπιας Μεθόδου - Προσάμμωση θαλάσσιου πυθμένα.
(Χ. Καπόπουλος, 2010)

Ενώ, αντίθετα, οι **σκληρές μέθοδοι Προστασίας των Ακτών** επιτυγχάνονται με εγκαταστάσεις κατασκευών που αποσκοπούν στην αντίσταση της ενέργειας των κυμάτων και των παλιρροιών (αμετακίνητοι υδατοφράκτες). Τέτοιες κατασκευές περιλαμβάνουν κυματοθραύστες, τοίχους, προβόλους λιθορριπών-ογκολίθων που σχεδιάζονται ως επιχώματα-φράγματα στην παράκτια ζώνη.



Εικόνα 26. Εξέλιξη Διάβρωσης – Προστασία με Λιθορριπές και Ογκολίθους (Ακτή Βέλου Ν. Κορινθίας).
(Χ. Καπόπουλος, 2010)



Εικόνα 27. Εξέλιξη Διάβρωσης – Προστασία παραλιακού δρόμου με Τοίχιο Σκυροδέματος (Δήμος Συμπολιτείας Ν. Αχαΐας).
(Χ. Καπόπουλος, 2010)



Εικόνα 28. Εξέλιξη Διάβρωσης-Προστασία ακτής με εκτοξευμένο σκυρόδεμα και έργα ογκολίθων (Δυτική Αχαΐα)
(Χ. Κατόπουλος, 2010)



Εικόνα 29. Εξέλιξη Διάβρωσης-Προστασία ακτής Ξενοδοχείου με Τοίχιο Σκυροδέματος και ογκολίθους (Ν. Θάσος).
(Χ. Κατόπουλος, 2010)



Εικόνα 30. Αστοχία Παραλιακών Υποδομών-Προστασία ακτής με κυματοθραύστες (Falconara, Italy 2006).
(Χ. Καπόπουλος, 2010)



Εικόνα 31. Σκληρά Έργα προστασίας ακτής με Ογκόλιθους (Ακτή Λυκοποριάς Κορινθίας 2008).
(Χ. Καπόπουλος, 2010)

Όμως, η επιλογή **Σκληρών Μεθόδων** για την προστασία των ακτών από την διάβρωση, μετέτρεψαν την θάλασσα από Σύμμαχο σε «Εχθρό», ενώ σε πολλές περιπτώσεις τα έργα αυτά, αφαίρεσαν την δυνατότητα πρόσβασης των Πολιτών στο φυσικό τους Περιβάλλον, δηλαδή στον παράκτιο και θαλάσσιο χώρο. Συχνά οδηγούν σε ανεπιθύμητες επιπτώσεις στις ιζηματογενείς διεργασίες. Προκαλούν νέες διαβρωμένες εκτάσεις και νέες περιοχές με προβλήματα τροφοδοσίας ιζημάτων, καθόσον οι παράκτιες αυτές κατασκευές λειτουργούν ως φράγματα (barrier) στο παράκτιο ρεύμα μεταφοράς των ιζημάτων (natural littoral drift of the sediments).

Πιο συγκεκριμένα, τα πλεονεκτήματα της **«ήπιας μεθόδου έναντι των άλλων συμβατικών, «σκληρών» μεθόδων** προστασίας των ακτών είναι τα ακόλουθα (www.aquaterra.gr):

- Εξασφάλιση ακτής φιλικής προς τον άνθρωπο.
- Αντιμετωπίζει το φαινόμενο της διάβρωσης, χωρίς να το μεταθέτει σε άλλο τμήμα της ακτής.
- Παράγει ακτή με απολύτως ίδια χαρακτηριστικά προς τις φυσικές αμμώδεις ακτές.
- Η μέθοδος είναι Περιβαλλοντικά φιλική. Δεν αλλοιώνει την αισθητική του τοπίου. Η υλοποίηση της μεθόδου γίνεται αποκλειστικά με ανθρώπινο δυναμικό (δύτες, ειδικευμένοι και ανειδίκευτοι εργάτες). Η κατανάλωση ενέργειας είναι ελάχιστη. Δεν γίνεται χρήση μηχανημάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον (πλωτές εξέδρες, γερανοί κλπ).
- Η μέθοδος δεν διακόπτει την κυκλοφορία του νερού στην παράκτια ζώνη.
- Δεν απαιτείται συντήρηση.
- Το κόστος μελέτης και κατασκευής είναι πολύ μικρότερο (1/3 έως το 1/7) σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο προστασίας της ακτής.
- Η εφαρμογή του συστήματος δεν προκαλεί κανένος είδους όχληση, ακόμη και κατά το χρόνο της τοποθέτησης. Οι λουόμενοι μπορούν ανενόχλητοι να χρησιμοποιούν την ακτή χωρίς να διατρέχουν κανένα κίνδυνο, τόσο κατά την τοποθέτηση όσο και κατά την περίοδο λειτουργίας του συστήματος. Δεν δημιουργούνται επικίνδυνοι στροβιλισμοί για τους κολυμβητές, ούτε κίνδυνοι τραυματισμού.
- Ο χρόνος κατασκευής του συστήματος είναι ελάχιστος. Η υλοποίηση του συστήματος σε μήκος 1 km ακτής απαιτεί χρόνο μικρότερο των 15 ημερών.
- Ευνοεί τον καθαρισμό των ρύπων και δεν διακόπτει την κυκλοφορία του νερού παράλληλα ή εγκάρσια προς την ακτή. Δεν δημιουργεί συνθήκες «κλειστής λεκάνης», όπως συμβαίνει με τους κυματοθραύστες και τις άλλες συμβατικές κατασκευές προστασίας των ακτών.

Με βάση τα πορίσματα (από COASTANCE, 2012):

1. την Διακυβερνητική Επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος IPCC των Ηνωμένων Εθνών (IPCC – UNEP, Nobel Prize 2007)
2. την μελέτη EUROSION που έγινε για λογαριασμό της Ε.Ε.
3. το Πρόγραμμα Διαβαλκανικής Συνεργασίας για τις ακτές BEACHMED
4. τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (European Environment Agency, EEA Report No6/2006)
5. την Ευρωπαϊκή Επιτροπή/Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος («ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΖΩΝΕΣ: ΜΙΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ»)

Προτείνεται η απομάκρυνση από τις σκληρές μεθόδους και η υιοθέτηση των ήπιων μεθόδων και έργων προστασίας των ακτών από την διάβρωση, καθώς επισημαίνεται ότι τα παραδοσιακά "σκληρά" έργα δεν αντιμετωπίζουν το φαινόμενο της διάβρωσης, είναι δαπανηρά και προκαλούν ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Μάλιστα σε ορισμένες ζώνες έχουν επιταχύνει το φαινόμενο της διάβρωσης.

Για να υπάρξει αειφόρος ανάπτυξη της παράκτιας ζώνης είναι απαραίτητο να συνδυαστεί ο έλεγχος και η διαχείριση της παράκτιας διάβρωσης με καλές περιβαλλοντικές πρακτικές, στο

πλαίσιο της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης της Παράκτιας Ζώνης. Συχνά, οι Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων έχουν αποδειχθεί ανεπαρκείς στη διατύπωση των επιπτώσεων των σκληρών παράκτιων κατασκευών στο ευρύτερο παράκτιο περιβάλλον. Οι σκληρές παράκτιες κατασκευές συχνά κατασκευάζονται ως έκτακτα έργα άμεσης ανάγκης, οπότε υποβαθμίζονται οι περιβαλλοντικές αλλά και οι κοινωνικές τους επιπτώσεις.

Στόχος είναι η σταδιακή μετάβαση από τις σκληρές στις ήπιες παρεμβάσεις στις ακτές που είναι τεχνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά εφικτές και αποδεκτές. Στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ προωθούνται οι ήπιες μέθοδοι προστασίας.

Οι **Ήπιες Μέθοδοι προστασίας** εκπληρώνουν αυτό τον ρόλο προβάλλοντας βιώσιμες λύσεις για αντιμετώπιση του προβλήματος της διάβρωσης με το μικρότερο δυνατό κόστος και τις λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις.

Συνοψίζοντας για την μέθοδο αυτή (www.aquaterra.gr):

- Πρόκειται για σύστημα ύφαλων βραχιόνων μικρού μήκους που τοποθετούνται πλησίον της ακτογραμμής.
- Η βασική λειτουργία στηρίζεται στην διαχείριση της ενέργειας στην παράκτια ζώνη.
- Η μέθοδος προκαλεί την σταδιακή σταθεροποίηση της ακτής και αποτρέπεται η διάβρωση.
- Η μέθοδος ευνοεί την ανανέωση των υδάτων και την διασπορά των ρύπων σε αντιδιαστολή με τις συμβατικές κατασκευές που εμποδίζουν την ανανέωση των υδάτων και την κίνηση των ιζημάτων.
- Πρόκειται για ήπια μέθοδο προστασίας της ακτής σύμφωνα με τον ορισμό του Ευρωπαϊκού Κώδικα Συμπεριφοράς για τις ακτές. Δεν γίνονται εκσκαφές και λιθορριπές.

3.9 Ήπιες λύσεις και κατασκευές για την παράκτια διάβρωση

- Μια λύση είναι οι ξύλινες ή πλωτές αποβάθρες. Η παραλία μπορεί να «επιπλωθεί» με ελαφρές ξύλινες κατασκευές, πασαρέλες που βοηθούν την πρόσβαση στη θάλασσα, που δημιουργούν θέσεις για να ξαπλώνουν οι λουόμενοι. Τα έξοδα ελαχιστοποιούνται σε σχέση με το κόστος των συμβατικών βαρέου τύπου, «σκληρών» έργων, και οι επιπτώσεις στην παράκτια μορφολογία είναι μηδενικές. Η παράκτια αισθητική, η ποιότητα και οι χρήσεις αναψυχής εξυπηρετούνται πολύ καλύτερα.

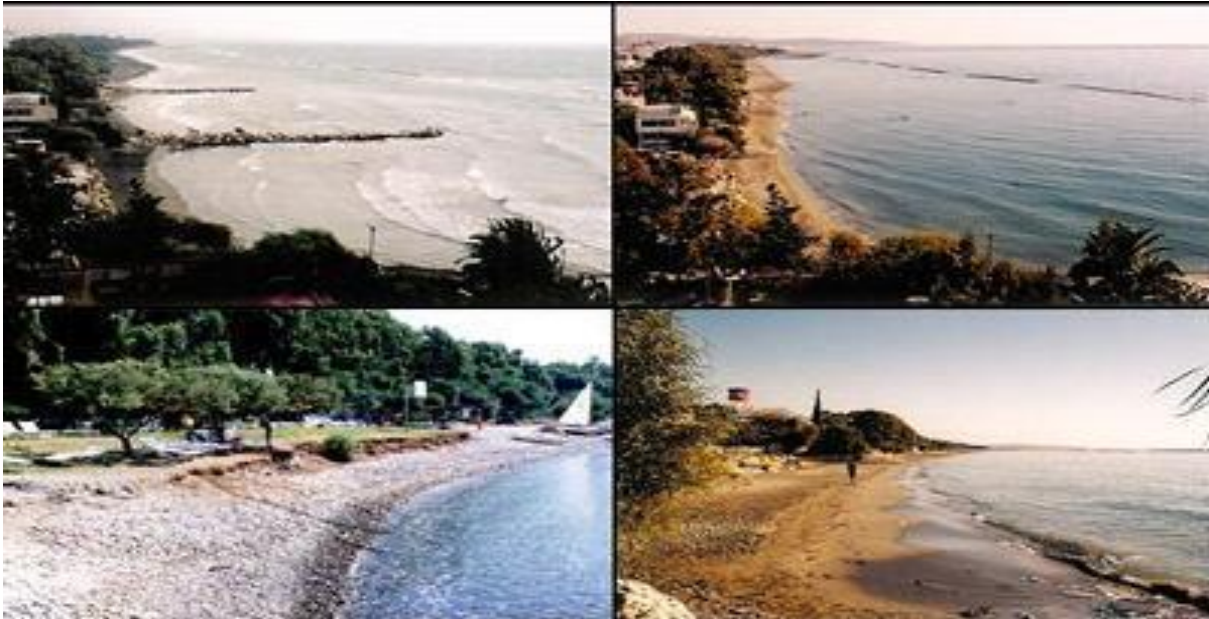


Εικόνα 32. Πλωτή αποβάθρα δίπλα από ντόκο από σκυρόδεμα. (Ξ.Ι. Λοϊζίδου, 2011).

- Η κατεδάφιση υφιστάμενων σκληρών έργων αποτελεί μια δόκιμη λύση. Έχει αποδειχτεί σε πολλές περιπτώσεις ότι μπορεί να επιτευχθεί ραγδαία βελτίωση της παραλίας αν κατεδαφιστούν «σκληρά» και ακατάλληλα παράκτια έργα, που στην πραγματικότητα «πνίγουν» την ακτή. Τα λανθασμένα παράκτια έργα επιτείνουν πολλές φορές τη διάβρωση της ακτής.

ΠΡΙΝ

ΜΕΤΑ



Εικόνα 33. Κατεδάφιση κάθετων προβόλων στη Λεμεσό της Κύπρου και αντίδραση της ακτής.
(Ξ.Ι. Λοϊζίδου, 2011).

Κεφάλαιο 4°

Περιοχή μελέτης

4.1 Παράλιο Άστρος Κυνουρίας - Ιστορικά στοιχεία

Το Παράλιο «Άστρος» Κυνουρίας πήρε το όνομα του από το σχήμα (άστρο) του λόφου Νησί (στην αρχαιότητα βρεχόταν γύρω – γύρω από θάλασσα) που δεσπόζει στο λιμάνι, η δε Κυνουρία αντλεί το όνομα της από τον αρχαίο οικιστή της περιοχής το γιο του Περσέα τον Κύνουρο.

Σύμφωνα με τον Ηρόδοτο οι κάτοικοι της Κυνουρίας ήταν αυτόχθονες. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα αρχαιολογικά ευρήματα. Τα παλαιότερα σημάδια ανθρώπινης παρουσίας στην Κυνουρία χρονολογούνται στη νεολιθική εποχή (γύρω στο 6500 π.Χ.) ή παλιότερα. Σύμφωνα με τα λίθινα εργαλεία από πυριτόλιθο που εντοπίστηκαν επιφανειακά στο Παράλιο Άστρος, πρόκειται για λίθινους πελέκεις, αξίνες, λίθινους τριπτήρες, αιχμές βελών από οψιανό και εργαλεία οψιανού, επίσης κεραμικά ευρήματα που χρονολογούνται στην εποχή του Χαλκού (2800 – 1100 π.Χ.)

Ο Πλούταρχος μας δίνει την πληροφορία ότι ο Δαναός πριν φτάσει στην Αργολίδα κατά την Πρωτοελλαδική περίοδο εγκαταστάθηκε και κατοίκησε σε παραλιακό μέρος της Θυρέας στα «Πυράμια» το σημερινό Παράλιο Άστρος, (Πυράμια από το σχήμα πυραμίδας που έχει η χερσόνησος του Παραλίου Άστρους, ευρύτερη στη βάση και στενότερη στη κορυφή).

Από τον 8ο π.Χ. αιώνα και έπειτα την Κυνουρία διεκδικούν με πείσμα οι Σπαρτιάτες και οι Αργείοι. Μετά από αλληπάλληλες συγκρούσεις φτάνουμε σε μία από τις συγκλονιστικότερες μάχες της Ελληνικής ιστορίας, τη μάχη που δόθηκε το 546 π.Χ. στη περιοχή που βρίσκεται το Γένεον Πεδίον μεταξύ του Τάνου ποταμού και του φρουρίου του Παραλίου Άστρους και ονομάστηκε μάχη των εξακοσίων Λογάδων (εκλεκτών) ή μάχη της Θυρέας, στην οποία νικητές αναδείχτηκαν οι Σπαρτιάτες. Μετά από αυτή τη μάχη, ολόκληρη η Κυνουρία εντάσσεται στην επικράτεια της Σπάρτης και ακολουθεί την τύχη της ως το 338 π.Χ.

Το 431 π.Χ. οι διωγμένοι από το νησί Αιγινήτες εγκαταστάθηκαν στη Θυρεάτιδα και το 424 π.Χ. χτίζουν το «επί θαλάσση τείχος», πιθανότατα στη χερσόνησο του Παραλίου Άστρους. Ωστόσο η κατασκευή του οχυρωματικού αυτού έργου διακόπηκε από τους Αθηναίους, οι οποίοι τον ίδιο χρόνο με επικεφαλής τον Νικία, ήλθαν στη Θυρέα, την κυρίευσαν και την κατάστρεψαν. Το 338 π.Χ. μετά τη μάχη στη Χαιρώνεια, ο Φίλιππος Β΄ παραχώρησε την Κυνουρία στους Αργείους. Έτσι, στα ελληνιστικά χρόνια, η Κυνουρία γνωρίζει νέα ακμή έχοντας περάσει στην επικράτεια του Άργους. Οι οικισμοί οχυρώνονται και γενικά υπάρχει έντονη δραστηριότητα και ζωή.

Την ανάπτυξη των ελληνιστικών χρόνων ακολούθησε αισθητή καθίζηση σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας στη Κυνουρία, κατά τα Ρωμαϊκά χρόνια ο πληθυσμός ελαττώνεται αισθητά και οι οικισμοί ερημώνουν και φθίνουν. Το μόνο που ξεχωρίζει την εποχή αυτή είναι η έπαυλη του Ηρώδη του Αττικού στην περιοχή Εύα της Λουκούς.

Στην κορυφή του υψώματος της αστεροειδούς χερσονήσου του Παραλίου Άστρους βρίσκεται το μεσαιωνικό κάστρο. Ήταν φρούριο και η θέση του έδινε δυνατότητα οπτικής επαφής και φυσικά επικοινωνίας με φωτιές (φрукτωρίες) με την Ακρόπολη των Μυκηνών, το κάστρο της Ωριάς που βρίσκεται σε λόφο ΝΑ από το Ξεροκάμπι και με το κάστρο Οριώντα ή Ρέοντα στα Δ του Τυρού πλησίον της Παλαιοχώρας.

Το 1256 μ.Χ. ο Γουλιέλμος Βιλεαρδουίνος τελειοποίησε το φρούριο αυτό και πήρε τη μορφή του κάστρου και το ονόμασε «Castello della estella» (estella σημαίνει αστέρι), όπου και διέμενε ο Ενετός διοικητής. Στα μεταγενέστερα χρόνια της Τουρκοκρατίας το κάστρο διαμορφώθηκε σε ισχυρό αμυντικό συγκρότημα. Έχει τετράπλευρη κάτοψη και διατηρεί μεγάλο τμήμα του οχυρωματικού περιβόλου και έναν από τους οχυρούς πύργους. Σώζονται επίσης δύο εξωτερικές πύλες του κάστρου.

Τον 18ο αιώνα, τρεις αδελφοί, οι αδελφοί Ζαφειρόπουλοι (Ιωάννης, Κωνσταντίνος και Πάνος που ονομάστηκε Άκουρος, γιατί ορκίστηκε να μην κόψει τα γένια και τα μαλλιά του πριν ελευθερωθεί ο τόπος του), εύποροι έμποροι στο εξωτερικό, επέστρεψαν στην ιδιαίτερη πατρίδα τους για να αγωνιστούν κατά των Τούρκων και οικοδόμησαν στο χώρο του τρεις κατοικίες, διαμορφώνοντας παράλληλα το εσωτερικό του. Το κάστρο αντιμετώπισε με επιτυχία τον στρατό του Ιμπραήμ το 1826, αλλά καταστράφηκε ο παραθαλάσσιος οικισμός. Η ανάπτυξη του οικισμού άρχισε και πάλι μετά την αναχώρηση του Ιμπραήμ από την Ελλάδα το 1828. Οι τρεις κατοικίες του κάστρου είναι χαρακτηριστικά δείγματα της προεπαναστατικής αρχιτεκτονικής της περιοχής και σώζονται μέχρι σήμερα, οι δύο πρώτες σε ημιερειπωμένη και η τρίτη σε ερειπωμένη κατάσταση.



Εικόνα 34. Παλιό λιμάνι Παραλίου Άστρους Β. Κυνουρίας (www.astrosnews.gr)



Εικόνα 35. Λιμάνι Παραλίου Άστρους Βόρειας Κυνουρίας (www.hellastime.gr)

4.2 Το φαινόμενο της διάβρωσης στην περιοχή μελέτης μας (περιοχή Ατσιγγανος)

Στην παράκτια περιοχή του Παραλίου Άστρους, και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή μελέτης μας, το φαινόμενο της διάβρωσης προκαλείται με έντονο ρυθμό, δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα στην παράκτια ζώνη, στην τοπική κοινωνία καθώς και στο περιβάλλον.



Εικόνα 36. Περιοχή Ατσιγγανος (Παράλιο Άστρος Κυνουρίας)
(www.astrosparalio.gr)

Παρατηρούμε ότι η σφοδρότητα των ανθρώπινων και οικονομικών δραστηριοτήτων και πιέσεων στην περιοχή, καθώς και οι συνεπακόλουθες κλιματικές αλλαγές των τελευταίων χρόνων ενισχύουν το φαινόμενο αυτό.

Πιο συγκεκριμένα, η έντονη οικοδομική δραστηριότητα, πολλές φορές κατά άναρχο τρόπο, και με έλλειψη υποδομών ανατρέπει περαιτέρω το ισοζύγιο φερτών, ενισχύει τους διαβρωτικούς κυματογενείς μηχανισμούς και μεταφέρει το πρόβλημα στα κατάντι.

Παρακάτω, παρατηρούμε το αποτέλεσμα του φαινομένου της διάβρωσης στη περιοχή μας:



Εικόνα 37. Διαβρωμένη ακτή στην περιοχή Ατσιγγάνου
(www.arcadiaportal.gr)

4.3 Περιγραφή φαινομένου - Υφιστάμενη Κατάσταση

Το τμήμα του παραλιακού δρόμου στην περιοχή της Γλυφάδας εφάπτεται σχεδόν της ακτογραμμής. Για την αντιμετώπιση της διαβρωτικής ενέργειας των κυμάτων κατασκευάστηκαν στο παρελθόν τοίχοι προφύλαξης – αντιστήριξης σε όλο σχεδόν το μήκος, το οποίο ανέρχεται σε 350 περίπου μέτρα. Οι τοίχοι αντιστήριξης δεν ήταν κατασκευασμένοι επί πασσάλων και η θεμελίωσή τους πιθανότατα έγινε έως 1 μέτρο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Μετά από αλληπάλληλα ακραία καιρικά φαινόμενα και τον έντονο κυματισμό παρατηρήθηκαν μετατοπίσεις του τοίχου αντιστήριξης με ταυτόχρονη υποχώρηση – καθίζηση τμημάτων του οδοστρώματος της ανατολικής πλευράς (Εικόνα 37).

Η μετατόπιση των τοίχων αντιστήριξης προκλήθηκε κυρίως από υποσκαφή του επιπέδου έδρασης των λόγω μηχανικής διάβρωσης των κυμάτων. Χαρακτηριστικές είναι οι παραμορφώσεις και θραύσεις των τοιχίων από οπλισμένο σκυρόδεμα (Εικόνα 37).

Κεφάλαιο 5°

Μελέτη Κυματοθραύστη με πρανή με Εφαρμογή στη περιοχή Ατσιγγάνου, Βόρειας Κυνουρίας

5.1 Κυματικοί υπολογισμοί

Στον πίνακα 3 παρουσιάζεται η μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης των ανέμων στη περιοχή του Παραλίου Άστρους Κυνουρίας σύμφωνα με τα ετήσια στατιστικά ανεμολογικά στοιχεία από τον Μ.Σ. Σπετσών της ΕΜΥ περιόδου 1956-1996 και στον πίνακα 4.2 η συσχέτιση των χαρακτηριστικών του ανέμου σε κλίμακα Beaufort.

Στην παρούσα εργασία επιλέγεται να μελετηθούν οι κυματισμοί που προκαλούνται από ανέμους ΝΑ διεύθυνσης. Η συγκεκριμένη επιλογή, ωστόσο, γίνεται με βασικό γνώμονα όχι τη συχνότητα εμφάνισής τους, αλλά τη δυνατότητα τους να προκαλέσουν τα υψηλότερα κύματα στη θέση του έργου. Η θέση και ο προσανατολισμός του λιμένα Παραλίου Άστρους, καταδεικνύουν ότι αυτά θα προκληθούν από ανέμους ΝΑ προέλευσης, οι οποίοι αντιστοιχούν και στο μεγαλύτερο μήκος ανάπτυξης.

5.2 Υπολογισμός μηκών αναπτύγματος

Σύμφωνα με την επικρατούσα θεωρία, η κυματογένεση ξεκινά με γραμμική αύξηση του κύματος λόγω συντονισμού με τις τυρβώδεις διαταραχές πίεσης και τριβής στην επιφάνεια, και συνεχίζεται με εκθετικό ρυθμό αναπτύξεως λόγω υδροδυναμικής αστάθειας. Η επίδραση του ανέμου μιας συγκεκριμένης κατεύθυνσεως διαπιστώθηκε ότι προκαλεί κυματογένεση σε έναν τομέα $\pm 45^\circ$ εκατέρωθεν της διευθύνσεως του ανέμου, με αποτέλεσμα να διαμορφώνεται ένα πεδίο τρισδιάστατων κυματισμών (Κουτίτας, 1998). Περιγράφεται από τη χαρακτηριστική παράμετρο του ισοδύναμου μήκους ανάπτυξης, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\sum F_i (\cos \alpha_i)^2}{\sum \cos \alpha_i} \text{ [km]} \quad (5.1)$$

όπου:

$$F_i = \text{μήκος αναπτύγματος [km]}$$

i = ακέραιος που περιγράφει τη κατεύθυνση ακτινών ανά 5° εκατέρωθεν της κατεύθυνσης του ανέμου

$$\alpha_i = \text{η γωνία που σχηματίζει κάθε ακτίνα με τη κατεύθυνση του ανέμου}$$

Πίνακας 3. Μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης ανέμων στο Παράλιο Άστρος Βόρειας Κυνουρίας με βάση τα ανεμολογικά στοιχεία από τον Μ.Σ. Σπετσών της ΕΜΥ περιόδου 1956-1996. (Πηγή: Μελέτη λιμένα Παραλίου Άστρους (δήμος Βόρειας Κυνουρίας)) (Φράγκου και Μαρινόπουλος, 2011)

STATION ΣΠΕΤΣΕΣ 729

LATITUDE 37° 16' N LONGITUDE 23° 10' E ALTITUDE OF BAROMETER 4.0 METERS

PERIOD 1974-1992

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

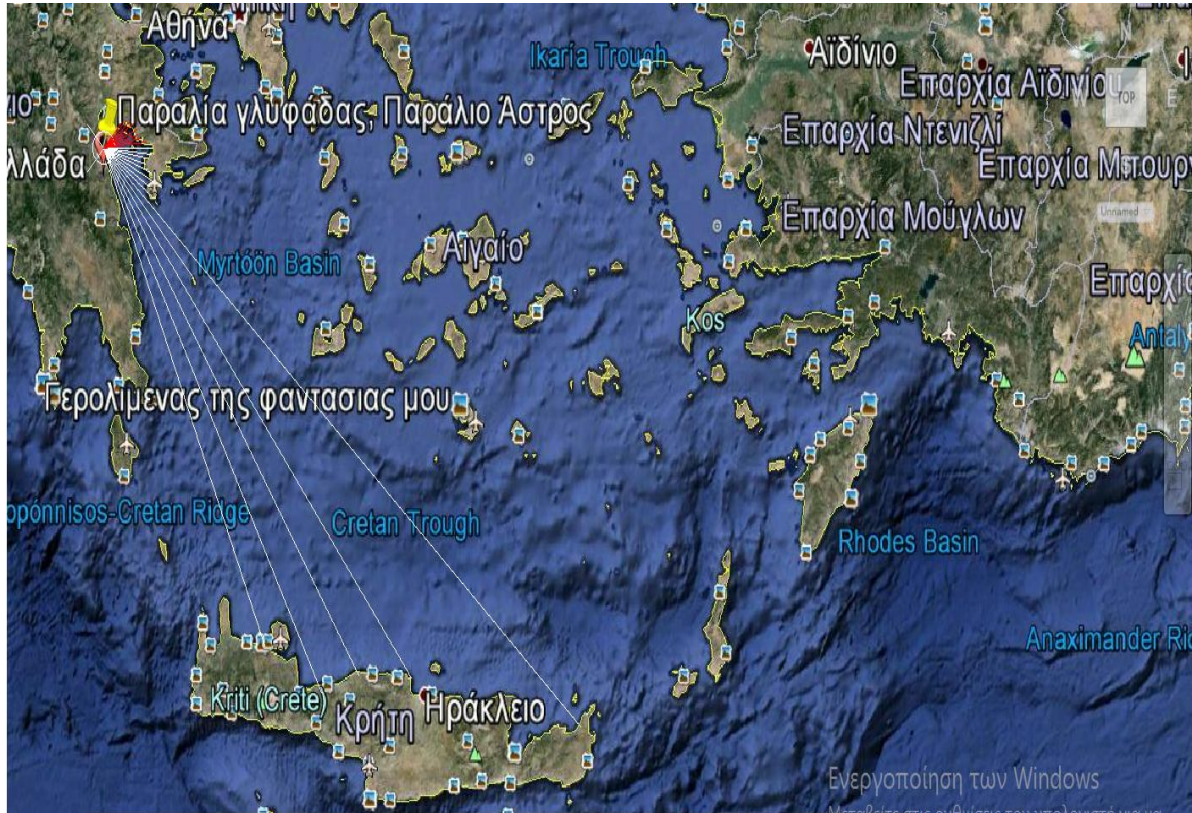
MONTH =00 YEAR =00

BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	SUM
0									13.864	13.864
1	.826	2.195	.566	8.025	.920	1.876	1.499	4.107		20.014
2	2.478	5.594	2.018	16.533	1.251	2.679	1.322	7.635		39.510
3	2.101	3.552	1.038	2.714	.507	.826	.625	3.351		14.714
4	1.428	1.912	.283	.779	.248	.472	.248	1.109		6.479
5	.684	.944	.071	.472	.201	.248	.165	.437		3.222
6	.177	.283	.024	.177	.035	.071	.047	.177		.991
7	.035	.071	.024	.094	.012	.012	.024	.059		.331
8	.035	.118	.012	.024	.012	.012	.000	.094		.307
9	.024	.118	.012	.071	.000	.012	.012	.047		.296
10	.000	.059	.000	.035	.000	.012	.000	.035		.141
>11	.012	.059	.000	.024	.000	.000	.012	.024		.131
=										
SUM	7.800	14.905	4.048	28.948	3.186	6.220	3.954	17.075	13.864	100.000

Πίνακας 4. Συσχέτιση χαρακτηριστικών ανέμου. (www.meteo.gr)

Ένταση ανέμου σε Beaufort*	Ανεμος	Ταχύτητα ανέμου**				Median of av. windspeed			
		m/s	km/h	knots	miles/h	m/s	km/h	knots	miles/h
0	άπνοια	0-0,2	< 1	< 1	<1	0,0	0,0	0,0	0,0
1	σχεδόν άπνοια	0,3-1,5	1-5	1-3	1-3	0,8	3,0	1,6	1,9
2	πολύ ασθενής	1,6-3,3	6-11	4-6	4-7	2,4	8,5	4,6	5,3
3	ασθενής	3,4-5,4	12-19	7-10	8-11	4,3	15,6	8,4	9,7
4	σχεδόν μέτριος	5,5-7,9	20-28	11-16	13-18	6,7	24,1	13,0	15,0
5	μέτριος	8,0-10,7	29-38	17-21	19-24	9,3	33,6	18,2	20,9
6	ισχυρός	10,8-13,8	39-49	22-27	25-31	12,3	44,2	23,9	27,5
7	Σχεδόν θυελλώδης	13,9-17,1	50-61	28-33	32-38	15,5	55,7	30,1	34,6
8	θυελλώδης	17,2-20,7	62-74	34-40	39-46	18,9	68,1	36,8	42,3
9	πολύ θυελλώδης	20,8-24,4	75-88	41-47	47-54	22,6	81,3	43,9	50,5
10	θύελλα	24,5-28,4	89-102	48-55	55-63	26,4	95,2	51,4	59,1
11	ισχυρή θύελλα	28,5-32,6	103-117	56-63	64-74	30,5	109,8	59,3	68,2
12	τυφώνας	>= 32,7	>= 118	>= 64	>=75

Στη παρακάτω εικόνα φαίνονται τα μήκη αναπτύγματος που χαράχθηκαν και υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος AUTOCAD. Μήκη αναπτύγματος ελήφθησαν για τις επικρατούσες κατευθύνσεις ανέμων στη περιοχή και για γωνία $\pm 45^\circ$.



Σχήμα 52. Χάραξη μηκών αναπτύγματος. (Google Earth, 2015)

Πίνακας 5. Υπολογισμός χαρακτηριστικών μηκών αναπτύγματος στο excel

Ακτίνα	αi (φ)	Wind	cos(αi)	cos ² (αi)	Fi (m)	Fi*cos ² (αi)
1	0	E	1	1	31.730	31729,8149
2	5	E	0,996	0,992016	30.698	30452,4487
3	10	E	0,985	0,970225	27.602	26780,1505
4	15	E	0,966	0,933156	27.831	25970,6646
5	20	E	0,94	0,8836	32.360	28593,296
6	25	E	0,906	0,820836	35.016	28742,3934
7	30	E	0,866	0,749956	33.752	25312,5149
8	35	E	0,819	0,670761	37.367	25064,3263
9	40	E	0,766	0,586756	402.139	235957,471
10	45	E	0,707	0,499849	82.346	41160,5658
11	50	SE	0,643	0,413449	308.839	127689,176
12	55	SE	0,573	0,328329	287.776	94485,2063
13	60	SE	0,5	0,25	281.122	70280,5
14	65	SE	0,423	0,178929	245.619	43948,3621
15	-5	NE	0,996	0,992016	27.432	27212,9829
16	-10	NE	0,985	0,970225	23.819	23109,7893
17	-15	NE	0,966	0,933156	22.539	21032,4031
18	-20	NE	0,937	0,877969	22.994	20188,0192
19	-25	NE	0,906	0,820836	16.495	13539,6898
20	-30	NE	0,866	0,749956	21.872	16403,0376
21	-35	NE	0,819	0,670761	20.172	13530,5909
22	-40	NE	0,766	0,586756	18.763	11009,3028
23	-45	NE	0,707	0,499849	16.363	8179,02919
			19,038			990371,735

Από τη σχέση (5.1) προκύπτει :

$$F = 52.020,787 \text{ m} = 52,02 \text{ km}$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 4 η Ταχύτητα του ανέμου στη περιοχή μελέτης μας είναι :

$$w = 10,7 \text{ m/s}$$

5.3 Υπολογισμός κλίσης πυθμένα

Από τον χάρτη που πήραμε από τη μελέτη του λιμένα Παραλίου Άστρους με τίτλο << Έργα Υποδομής και Προστασίας Λιμανιού Παραλίου Άστρους (οριστική μελέτη λιμενικών έργων) >>, επικεντρωθήκαμε στη περιοχή μελέτης μας, όπως φαίνεται στο σχήμα 53, όπου είναι τα σημεία A1, A2, A3 (περιοχή Ατσιγγάνου) που η ακτή έχει υποστεί το φαινόμενο της διάβρωσης. (Φράγκου και Μαρινόπουλος, 2011)



Σχήμα 53. Απεικόνιση σημείων (A1,A2,A3,A1',A2',A3') στο χάρτη ισοβαθών του Αργολικού Κόλπου. (Πηγή: Μελέτη λιμένα Παραλίου Άστρους (δήμος Βόρειας Κυνουρίας))

Στη συνέχεια στα 500m δεξιά και αριστερά του A1 τοποθετήσαμε τα σημεία A2 και A3. Για να υπολογίσουμε τις αποστάσεις των ισοβαθών μεταξύ τους μετρήσαμε, για κάθε σημείο ξεχωριστά (A1, A2, A3), με το χάρακα (σε cm) την απόσταση δέκα σημείων ανά 5m βάθους μέχρι τα 50m βάθους. Με την βοήθεια της κλίμακας του χάρτη υπολογίσαμε την κλίση μας.

Η διαδικασία του υπολογισμού έχει ως εξής:

Μετρήσαμε με τον δικό μας χάρακα σε πόσα cm αντιστοιχούν τα 1000m.

Από την απλή μέθοδο των τριών προκύπτει:

Τα 1,35cm αντιστοιχούν σε 1000m

Τα 0,1cm αντιστοιχούν σε X;

Άρα $X=740,74m$

Επομένως, η κλίμακά σχεδιασμού του πυθμένα είναι **1:740,74**.

Με βάση το σχήμα 4.1 και τη παραπάνω κλίμακα προκύπτουν οι εξής αποστάσεις:

Πίνακας 6. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο A1

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ cm	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ m	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ (m)
(A ₁ B ₁)	0,30	222,22	222,22
(B ₁ Γ ₁)	0,30	222,22	444,44
(Γ ₁ Δ ₁)	0,10	74,07	518,51
(Δ ₁ Ε ₁)	0,10	74,07	592,58
(Ε ₁ ΣΤ ₁)	0,20	148,15	740,73
(ΣΤ ₁ Ζ ₁)	0,10	74,07	814,80
(Ζ ₁ Η ₁)	0,12	88,89	903,69
(Η ₁ Θ ₁)	0,19	140,74	1044,43
(Θ ₁ Ι ₁)	0,12	88,89	1133,32
(Ι ₁ Κ ₁)	0,15	111,11	1244,53

Πίνακας 7. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο A2

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ cm	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ m	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ (m)
(A ₂ B ₂)	0,19	140,74	140,74
(B ₂ Γ ₂)	0,30	222,22	362,96
(Γ ₂ Δ ₂)	0,30	222,22	585,18
(Δ ₂ Ε ₂)	0,20	148,15	733,33
(Ε ₂ ΣΤ ₂)	0,25	185,18	918,51
(ΣΤ ₂ Ζ ₂)	0,10	74,07	992,58
(Ζ ₂ Η ₂)	0,10	74,07	1066,65
(Η ₂ Θ ₂)	0,20	148,15	1214,80
(Θ ₂ Ι ₂)	0,17	125,93	1340,73

(I_2K_2)	0,32	237,04	1577,77
------------	------	--------	---------

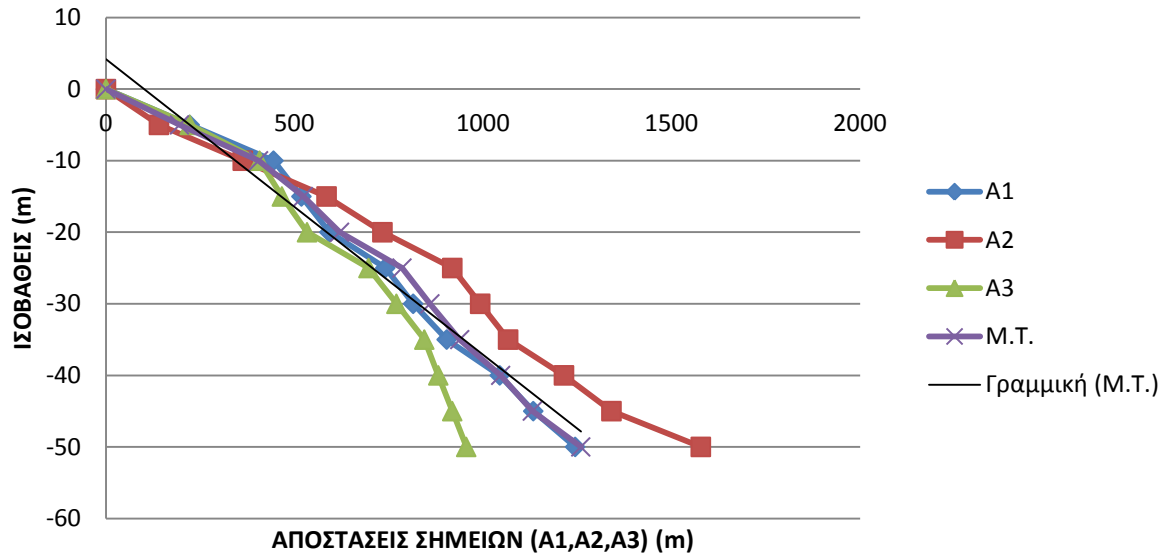
Πίνακας 8. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο Α3

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ cm	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ m	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ (m)
(A_3B_3)	0,30	222,22	222,22
$(B_3Γ_3)$	0,25	185,18	407,40
$(Γ_3Δ_3)$	0,08	59,26	466,66
$(Δ_3Ε_3)$	0,09	66,66	533,32
$(Ε_3ΣΤ_3)$	0,22	162,96	696,28
$(ΣΤ_3Ζ_3)$	0,10	74,07	770,35
$(Ζ_3Η_3)$	0,10	74,07	844,42
$(Η_3Θ_3)$	0,05	37,04	881,46
$(Θ_3Ι_3)$	0,05	37,04	918,50
$(Ι_3Κ_3)$	0,05	37,04	955,54

Πίνακας 9. Υπολογισμός στο excel Μέσης Τιμής των σημείων Α1,Α2,Α3 κατά μήκος των Ισοβαθών

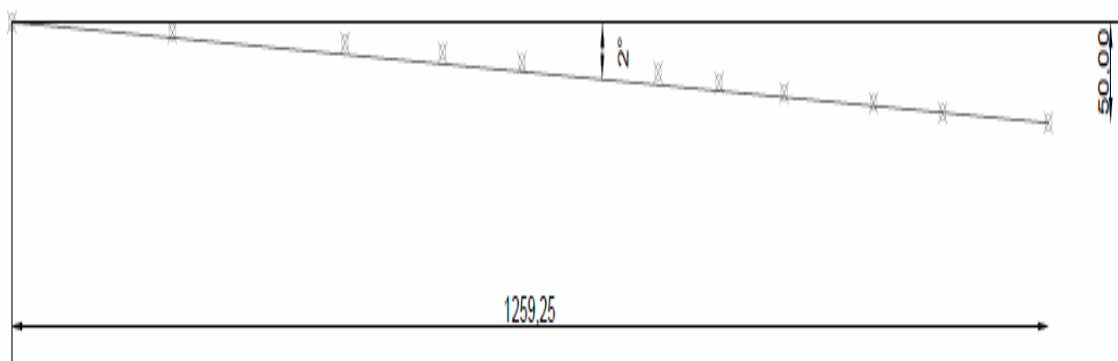
A1	A2	A3	M.T.	ΙΣΟΒΑΘΕΙΣ (m)
0	0	0	0	0
222,22	140,74	222,22	195,06	-5
444,44	362,96	407,4	404,93	-10
518,51	585,18	466,66	523,45	-15
592,58	733,33	533,32	619,74	-20
740,73	918,51	696,28	785,17	-25
814,8	992,58	770,35	859,24	-30
903,69	1066,65	844,42	938,25	-35
1044,43	1214,8	881,46	1046,9	-40
1133,32	1340,73	918,5	1130,85	-45
1244,43	1577,77	955,54	1259,25	-50

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΩΝ - ΙΣΟΒΑΘΕΙΣ (Α1,Α2,Α3)



Διάγραμμα 5. Αποστάσεις Σημείων - Ισοβαθών (Α1, Α2, Α3)

ΚΛΙΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΤΣΙΓΓΑΝΟΥ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΟΥ ΑΣΤΡΟΥΣ Β.ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ



Σχήμα 54. Υπολογισμός κλίσης πυθμένα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AUTOCAD

Κλίση Πυθμένα για σημεία (A1, A2, A3) :

Με βάση το σχήμα 54 προκύπτει

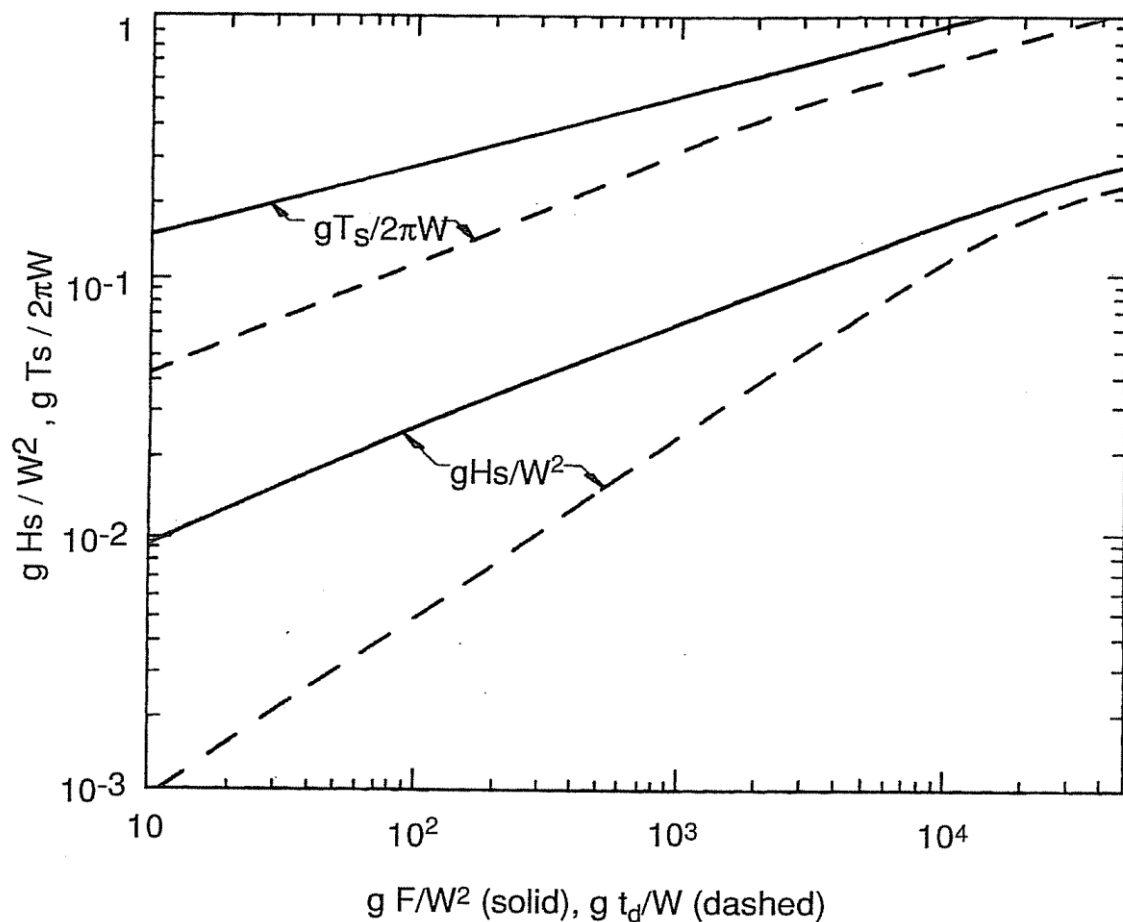
$$\tan \varphi = \frac{\text{απέναντι πλευρά}}{\text{προσκείμενη πλευρά}} = \frac{50}{1259,25} = 0,04 \text{ ή } 4\%$$

όπου το βάθος του νερού είναι $d = 50 \text{ m} = d$

5.4 Υπολογισμός H_s και T_s με τη μέθοδο SMB

Σε αυτήν την ενότητα θα υπολογίσουμε το χαρακτηριστικό ύψος κύματος (H_s) και τη χαρακτηριστική περίοδο του κύματος (T_s), που αντιστοιχούν στα χαρακτηριστικά του κύματος σε μεγάλο βάθος.

Από το ακόλουθο διάγραμμα για τη μέθοδο SMB προκύπτει ότι:



Διάγραμμα 6. Αδιάστατες παράμετροι μεθοδολογίας SMB πρόβλεψης χαρακτηριστικού ύψους και χαρακτηριστικής περιόδου ανεμογενών κυματισμών. (Δήμας 2011)

$$\rightarrow \frac{g \times F}{w^2} = \frac{9,81 \times 52.020,787}{10,7^2} = 4457,37$$

Συνεπώς βρίσκοντας στον οριζόντιο άξονα το 4457,37 και χτυπώντας στη συνεχή γραμμή στο διάγραμμα 6 βρίσκουμε ότι:

$$\frac{g \times H_s}{w^2} = 0,1 \quad \text{και} \quad \frac{g \times T_s}{2\pi w} = 0,8$$

Άρα:

$$\rightarrow \frac{g \times H_s}{w^2} = 0,1 \Rightarrow H_s = \frac{0,1 \times w^2}{g} \Rightarrow H_s = \frac{0,1 \times 10,7^2}{9,81} \Rightarrow H_s = 1,167 \text{ m}$$

$$\rightarrow \frac{g \times T_s}{2\pi w} = 0,8 \Rightarrow T_s = \frac{2\pi w \times 0,8}{g} \Rightarrow T_s = \frac{2 \times 0,8 \times 3,14 \times 10,7}{9,81} \Rightarrow T_s = 5,48 \text{ sec}$$

Δεν δίνεται η διάρκεια πνοής του ανέμου, επομένως ο κυματισμός είναι περιορισμένος από το μήκος αναπτύγματος και για τη μέθοδο SMB παίρνω μόνο τη πρώτη περίπτωση που δεν περιλαμβάνει το t_d .

5.5 Μέθοδος JOWNSAP

Αρχικά υπολογίζω τη διατμητική ταχύτητα (U_*):

$$U_* = w \times \sqrt{0,001 \times (1,1 + 0,035w)} \Rightarrow$$

$$U_* = 10,7 \times \sqrt{0,001 \times [1,1 + (0,035 \times 10,7)]} \Rightarrow$$

$$U_* = 0,5 \text{ m/s}$$

Στη συνέχεια με τους παρακάτω τύπους υπολογίζουμε το χαρακτηριστικό ύψος κύματος (H_s) και τη χαρακτηριστική περίοδο κύματος (T_s).

$$\bullet \frac{g \times H_s}{U_*^2} = 0,0413 \times \left(\frac{g \times F}{U_*^2} \right)^{0,5} \Rightarrow$$

$$H_s = U_*^2 \times \frac{\left[0,0413 \times \left(\frac{g \times F}{U_*^2} \right)^{0,5} \right]}{g} \Rightarrow$$

$$H_s = \frac{(0,5)^2 \times \left\{ 0,0413 \times \left[\frac{9,18 \times 52.020,787}{(0,5)^2} \right]^{0,5} \right\}}{9,81} \Rightarrow$$

$$H_s = 1,5 \text{ m}$$

$$\bullet \frac{g \times T_s}{U_*} = 0,71345 \times \left(\frac{g \times F}{U_*^2} \right)^{0,33} \Rightarrow$$

$$T_s = \frac{U_* \times \left[0,71345 \times \left(\frac{g \times F}{U_*^2} \right)^{0,33} \right]}{g} \Rightarrow$$

$$T_s = \frac{0,5 \times \left[0,71345 \times \left(\frac{9,81 \times 52.020,787}{0,5^2} \right)^{0,33} \right]}{9,81} \Rightarrow$$

$$T_s = 4,4 \text{ sec.}$$

Επικρατεί η πρόβλεψη με το μεγαλύτερο ύψος κύματος και στη προκειμένη περίπτωση είναι η πρόβλεψη με τη μέθοδο **JOWNSAP**. Άρα:

$$H_s = 1,5 \text{ m} \quad \text{και} \quad T_s = 4,4 \text{ sec}$$

Υποθέτουμε ότι βρισκόμαστε σε μεγάλο βάθος πυθμένα, άρα:

$$H_0 = 1,5 \text{ m} \quad \text{και} \quad T = 4,4 \text{ sec}$$

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, υπολογίζουμε τη κυματική κατάσταση στον πόδα του κυματοθραύστη, όπου $H_0 = H_s = 1,5 \text{ m}$ και μήκος κύματος $\lambda_0 = \frac{g \times T^2}{2\pi}$

$$\lambda_0 = \frac{g \times T^2}{2\pi} = \frac{9,81 \times 4,4^2}{2 \times 3,14} \Rightarrow \lambda_0 = 30,24 \text{ m}$$

Για $d_0 = 50 \text{ m}$ και $\lambda_0 = 30,24 \text{ m}$ προκύπτει:

$$\frac{d_0}{\lambda_0} = \frac{50}{30,24} = 1,65 > 0,5$$

Άρα η υπόθεσή μας για μεγάλο βάθος ήταν σωστή.

5.6 Χαρακτηριστικά Θραύσης Κύματος

- Καθορισμός ύψους θραύσης, H_b :

$$\frac{H_b}{H_0} = 0,56 \times \left(\frac{H_0}{\lambda_0}\right)^{-\left(\frac{1}{5}\right)} \Rightarrow \frac{H_b}{1,5} = 0,56 \times \left(\frac{1,5}{30,24}\right)^{-\left(\frac{1}{5}\right)} \Rightarrow H_b = 1,53 \text{ m}$$

- Καθορισμός βάθους θραύσης, d_b :

$$\frac{H_b}{d_b} = b - \left(a \times \frac{H_b}{g \times T^2} \right), \quad [4.5.1]$$

όπου:

$$- \alpha = 43,8 \times (1 - e^{-19 \tan \varphi}) \Rightarrow \alpha = 43,8 \times (1 - e^{-(19 \times 0,04)}) \Rightarrow$$

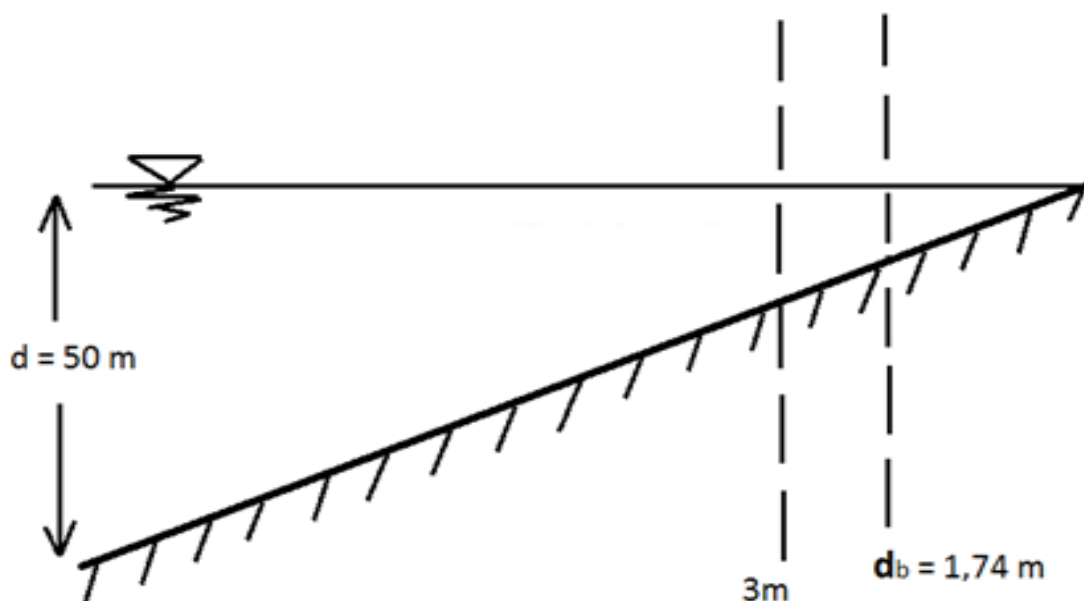
$$\alpha = 43,8 \times (1 - e^{-0,76}) \Rightarrow \alpha = 23,32$$

$$- b = \frac{1,56}{1 + e^{-19,5 \tan \varphi}} \Rightarrow b = \frac{1,56}{1 + e^{-(19,5 \times 0,04)}} \Rightarrow b = \frac{1,56}{1 + e^{-0,78}} \Rightarrow b = 1,07$$

Άρα:

$$[4.5.1] \Rightarrow \frac{1,53}{d_b} = 1,07 - \left[23,32 \times \frac{1,53}{9,81 \times 4,4^2} \right] \Rightarrow d_b = 1,74 \text{ m}$$

Επειδή θέλουμε να κατασκευάσουμε έναν κυματοθραύστη πριν τη ζώνη θραύσης του κύματος, δηλαδή πριν τα 1,74 μέτρα, επιλέγουμε ένα βάθος κατασκευής $d = 3\text{m}$.



Για βάθος $d = 3\text{m}$ εφαρμόζω την εξίσωση διασποράς:

$$w^2 = g \times k \times \tan h(kd) \Rightarrow$$

$$w^2 \times \frac{d}{g} = \frac{d}{g} \times g \times k \times \tan h(kd) \Rightarrow$$

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \times \frac{d}{g} = kd \tan h(kd) \Rightarrow$$

$$kd \tan h(kd) = \frac{4 \times 3 \times 3,14^2}{4,4^2 \times 9,81} \Rightarrow$$

$$kd \tan h(kd) = 0,63$$

ΔΟΚΙΜΕΣ:

- 1) για $kd = 0,9$ προκύπτει $kd \tan h(kd) = 0,645$
- 2) για $kd = 0,85$ προκύπτει $kd \tan h(kd) = 0,59$
- 3) για $kd = 0,86$ προκύπτει $kd \tan h(kd) = 0,60$
- 4) για $kd = 0,87$ προκύπτει $kd \tan h(kd) = 0,61$
- 5) για $kd = 0,88$ προκύπτει $kd \tan h(kd) = 0,62$
- 6) για $kd = 0,89$ προκύπτει $kd \tan h(kd) = 0,63$

Επομένως:

$$kd = 0,89 \Rightarrow k = \frac{0,89}{d} \Rightarrow k = \frac{0,89}{3} \Rightarrow k = 0,297 \text{ m}^{-1}$$

- **Μήκος κύματος, λ :**

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k} \Rightarrow \lambda = \frac{2 \times 3,14}{0,297} \Rightarrow \lambda = 21,14 \text{ m}$$

- **Σχετικό βάθος:**

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{3}{21,14} = 0,14 \rightarrow \text{Άρα βρισκόμαστε στα ενδιάμεσα ύδατα, επειδή ισχύει } 0,05 < \frac{d}{\lambda} < 0,5.$$

5.7 Σχεδιασμός του κυματοθραύστη πριν τη ζώνη θραύσης

Για τον υπολογισμό του ύψους κύματος (H) πριν τη ζώνη θραύσης σε βάθος $d = 3\text{m}$ θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση:

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right) \tanh(kd)}}$$

όπου:

- $H_0 = 1,5$ και
- $kd = 0,89$

Άρα

$$H = H_0 \times \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right) \tanh(kd)}} \Rightarrow H = 1,5 \times \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \frac{(2 \times 0,89)}{\sinh(2 \times 0,89)}\right) \tanh(0,89)}} \Rightarrow$$

$$H = 1,4 \text{ m}$$

Υπολογισμός αριθμού Iribaren (ξ_s):

Για κλίση πρανούς επιλέγουμε $\tan \alpha = 0,6667$ και $\cot \alpha = 1,5$

$$\xi_s = \tan \alpha \sqrt{\frac{1,11 \times g \times T_s^2}{2 \times \pi \times H}} \Rightarrow \xi_s = 0,667 \sqrt{\frac{1,11 \times 9,81 \times 4,4^2}{2 \times 3,14 \times 1,4}} \Rightarrow \xi_s = 3,26 \text{ m}$$

Υπολογισμός κυματογενούς αναρρίχησης (R_n):

$$\frac{R_n}{H_s} = \gamma_r [(A \times \xi_s) + c] \quad (1)$$

όπου:

- $\gamma_r = 0,55$ για 2 ή περισσότερες στρώσεις (Πίνακας 10)
- $A = -0,25$ και $c = 3$ για $\xi_s > 2$ και $1/4 < \tan \alpha = 0,667 < 1$ (Πίνακας 11)

Πίνακας 10. Συντελεστής μείωσης κυματογενούς αναρρίχησης λόγω τραχύτητας επιφάνειας πρανούς. (Δήμας 2011)

Επιφάνεια Πρανούς	γ_r
Λεία	1
Επικάλυψη με φύκια	0,9
Μία στρώση ογκολίθων διαμέτρου D ($H_s / D = 1,5 - 3,0$)	0,55 - 0,60
Δύο ή περισσότερες στρώσεις ογκολίθων ($H_s / D = 1,5 - 6,0$)	0,50 - 0,55
Τεχνητά στοιχεία τραχύτητας	0,60 - 0,90

Πίνακας 11. Σταθερές υπολογισμού κυματογενούς αναρρίχησης. (Δήμας 2011)

Αναρρίχηση	Αριθμός Irribarren	Κλίση Πρανούς	A	C
R	$\xi_s \leq 2$ $2 < \xi_s < 4$	$1/8 \leq \tan \alpha \leq 1/3$	1,6 0	0 3,2
R	$\xi_s \leq 2,5$ $2,5 < \xi_s < 9$	$1/4 \leq \tan \alpha \leq 1$	1,6 -0,2	0 4,5
R_s	$\xi_s \leq 2$ $2 < \xi_s < 9$		1,35 -0,25	0 3

$$(1) \Rightarrow \frac{R_n}{H_s} = \gamma_r [(A \times \xi_s) + c] \Rightarrow \frac{R_n}{1,5} = 0,55(-0,25 \times 3,26 + 3) \Rightarrow R_n = 1,80 \text{ m}$$

Υπολογισμός μεθόδου ογκολίθων στρώματος θωράκισης:

$$D_n = \frac{H}{\Delta(k_\Delta \times \cot \alpha)^{1/3}}$$

όπου:

- $\alpha = 33^\circ$, άρα $\cot \alpha = 1,5$ (συνήθως $1,5 \leq \cot \alpha \leq 3,0$ για φυσικούς ογκολίθους)
- $\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 = \frac{25,9}{10} - 1 \Rightarrow \Delta = 1,59$
- $k_\Delta = 4$ για μη θραυόμενο κυματισμό, μηδενικό ποσοστό αστοχίας, ακανόνιστο σχήμα και τυχαία τοποθέτηση (Πίνακας 12)

Πίνακας 12. Συντελεστής ευστάθειας k_Δ στην εξίσωση Hudson. (Δήμας 2011)

H	Σχήμα Ογκολίθου	Τοποθέτηση Ογκολίθου	Ποσοστό Αστοχίας 0-5%		Ποσοστό Αστοχίας 5-10%
			Θραυόμενος Κυματισμός	Μη Θραυόμενος Κυματισμός	Μη Θραυόμενος Κυματισμός
H_s	Λείο	Τυχαία	2,1	2,4	3,0
	Ακανόνιστο	Τυχαία	3,5	4,0	4,9
	Ακανόνιστο	Ειδική*	4,8	5,5	-
H_{10}	Λείο	Τυχαία	1,2	2,4	-
	Ακανόνιστο	Τυχαία	2,0	4,0	-
	Ακανόνιστο	Ειδική*	5,8	7,0	-

*Οι ογκολίθοι τοποθετούνται έτσι ώστε ο επιμήκης άξονάς τους να είναι κάθετος στην επιφάνεια του πρανούς.

Άρα η διάμετρος των ογκολίθων είναι:

$$D_n = \frac{1,4}{1,59(4 \times 1,5)^{1/3}} \Rightarrow D_n = 0,49 \text{ m}$$

➤ Μέσο βάρος φυσικών ογκολίθων:

$$W_s = \gamma_s \times D_n^3 = 25,9 \times (0,49)^3 \Rightarrow W_s = 3,05 \text{ KN}$$

όπου $\gamma_s = 25,9$ το ειδικό βάρος των φυσικών ογκολίθων

➤ Πλάτος στέψης:

$$B = n \times k_\Delta \times D_n = 3 \times 1 \times 0,49 \Rightarrow B = 1,47 \text{ m}$$

όπου:

$n = 3$, διότι το πλάτος της στέψης (crest width) για μικρή υπερπήδηση είναι της τάξης των 3 ογκολίθων.

$k_\Delta = 1$ (από πίνακα 13)

Πίνακας 13. Συντελεστής k_Δ υπολογισμού πλάτους στρωμάτων ογκολίθων. (Δήμας 2011)

Ογκόλιθος	k_Δ
Φυσικός	1,00
TETRAPOD	1,04
CORE-LOC	1,51
ACCROPOD	1,51

➤ Πλάτος στρώματος ογκολίθων:

Στρώση 1η

$$r_1 = n \times k_\Delta \times \left(\frac{W_1}{\gamma}\right)^{1/3} \Rightarrow r_1 = 2 \times 1 \times \left(\frac{3,05}{25,9}\right)^{1/3} \Rightarrow r_1 = 0,98 \text{ m}$$

όπου:

- $W_1 = W_s = 3,05 \text{ KN}$ και
- $n = 2$, το πλήθος των επάλληλων λίθων σε κάθε στρώση (λαμβάνεται ίσο με 2, ώστε να υπάρχει εξασφάλιση από τη δράση των κυματισμών)
- $k_\Delta = 1$ (από πίνακα 13)

Στρώση 2η

$$r_2 = n \times k_{\Delta} \times \left(\frac{W_2}{\gamma}\right)^{1/3} \Rightarrow r_2 = 2 \times 1 \times \left(\frac{0,305}{25,9}\right)^{1/3} \Rightarrow r_2 = \mathbf{0,46\ m}$$

$$\text{όπου } W_2 = \frac{W_s}{10} = \frac{3,05}{10} = 0,305\ \text{KN}$$

Στρώση 3η

$$r_3 = n \times k_{\Delta} \times \left(\frac{W_3}{\gamma}\right)^{1/3} \Rightarrow r_3 = 2 \times 1 \times \left(\frac{0,01525}{25,9}\right)^{1/3} \Rightarrow r_3 = 0,17\ \text{m}$$

$$\text{όπου } W_3 = \frac{W_s}{200} = \frac{3,05}{200} = 0,01525\ \text{KN}$$

Κεφάλαιο 6°

Μελέτη Κυματοθραύστη με πρηνή στη Περιοχή Αγ. Ανδρέα Β. Κυνουρίας

6.1 Κυματικοί υπολογισμοί

Στον πίνακα 14 παρουσιάζεται η μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης των ανέμων στη περιοχή του Παράλιου Άστρους Κυνουρίας σύμφωνα με τα ετήσια στατιστικά ανεμολογικά στοιχεία από τον Μ.Σ. Λεωνιδίου της ΕΜΥ περιόδου 1956-1996 και στον πίνακα 5.2 η συσχέτιση των χαρακτηριστικών του ανέμου σε κλίμακα Beaufort.

Στην παρούσα εργασία επιλέγεται να μελετηθούν οι κυματισμοί που προκαλούνται από ανέμους ΝΑ διεύθυνσης. Η συγκεκριμένη επιλογή, ωστόσο, γίνεται με βασικό γνώμονα όχι τη συχνότητα εμφάνισής τους, αλλά τη δυνατότητα τους να προκαλέσουν τα υψηλότερα κύματα στη θέση του έργου. Η θέση και ο προσανατολισμός του λιμένα Παραλίου Άστρους, καταδεικνύουν ότι αυτά θα προκληθούν από ανέμους ΝΑ προέλευσης, οι οποίοι αντιστοιχούν και στο μεγαλύτερο μήκος ανάπτυξης.

6.2 Υπολογισμός μηκών αναπτύγματος

Σύμφωνα με την επικρατούσα θεωρία, η κυματογένεση ξεκινά με γραμμική αύξηση του κύματος λόγω συντονισμού με τις τυρβώδεις διαταραχές πίεσης και τριβής στην επιφάνεια, και συνεχίζεται με εκθετικό ρυθμό αναπτύξεως λόγω υδροδυναμικής αστάθειας. Η επίδραση του ανέμου μιας συγκεκριμένης κατεύθυνσεως διαπιστώθηκε ότι προκαλεί κυματογένεση σε έναν τομέα $\pm 45^\circ$ εκατέρωθεν της διευθύνσεως του ανέμου, με αποτέλεσμα να διαμορφώνεται ένα πεδίο τρισδιάστατων κυματισμών (Κουτίτας, 1998). Περιγράφεται από τη χαρακτηριστική παράμετρο του ισοδύναμου μήκους ανάπτυξης, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\sum F_i (\cos a_i)^2}{\sum \cos a_i} \text{ [km]} \quad (6.1)$$

όπου:

F_i = μήκος αναπτύγματος [km]

i = ακέραιος που περιγράφει τη κατεύθυνση ακτινών ανά 5° εκατέρωθεν της κατεύθυνσης του ανέμου

a_i = η γωνία που σχηματίζει κάθε ακτίνα με τη κατεύθυνση του ανέμου

Πίνακας 14. Μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης ανέμων στο Παράλιο Άστρος Βόρειας Κυνουρίας με βάση τα ανεμολογικά στοιχεία από τον Μ.Σ. Λεωνιδίου της ΕΜΥ περιόδου 1956-1996.
(Πηγή: Μελέτη λιμένα Παραλίου Άστρους (δήμος Βόρειας Κυνουρίας)) (Φράγκου και Μαρινόπουλος, 2011)

STATION ΛΕΩΝΙΔΙΟ 727

LATITUDE 37° 10' N LONGITUDE 22° 51' E ALTITUDE OF BAROMETER 3.7 METERS

PERIOD 1981-1993

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

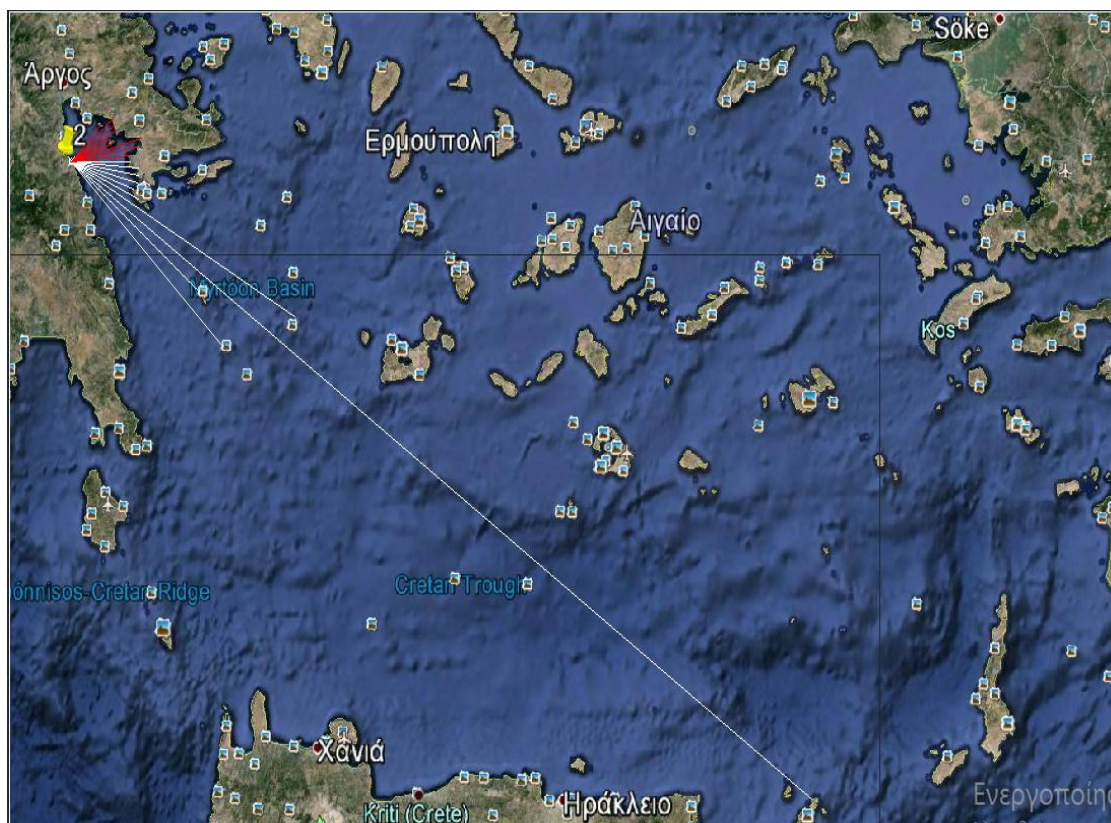
MONTH =00 YEAR =00

BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	SUM
0									40.046	40.046
1	.268	.361	.256	.023	.012	.000	.035	.128		1.083
2	4.854	5.146	4.983	.873	1.467	1.059	1.572	5.960		25.914
3	3.097	3.853	4.307	.792	1.246	1.246	2.177	5.669		22.387
4	1.234	1.455	1.560	.256	.640	.733	1.222	2.037		9.137
5	.163	.175	.012	.023	.151	.163	.163	.221		1.071
6	.035	.012	.012	.012	.070	.012	.058	.081		.292
7	.000	.000	.000	.000	.012	.000	.023	.023		.058
8	.000	.000	.000	.000	.012	.000	.000	.000		.012
9	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000
10	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000
>11	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000
=										
SUM	9.651	11.002	11.130	1.979	3.610	3.213	5.250	14.119	40.046	100.000

Πίνακας 15. Συσχέτιση χαρακτηριστικών ανέμου. (www.meteo.gr)

Ένταση ανέμου Beaufort*	Ανέμος	Ταχύτητα ανέμου**				Median of av. windspeed			
		m/s	km/h	knots	miles/h	m/s	km/h	knots	miles/h
0	άπνοια	0-0,2	< 1	< 1	<1	0,0	0,0	0,0	0,0
1	σχεδόν άπνοια	0,3-1,5	1-5	1-3	1-3	0,8	3,0	1,6	1,9
2	πολύ ασθενής	1,6-3,3	6-11	4-6	4-7	2,4	8,5	4,6	5,3
3	ασθενής	3,4-5,4	12-19	7-10	8-11	4,3	15,6	8,4	9,7
4	σχεδόν μέτριος	5,5-7,9	20-28	11-16	13-18	6,7	24,1	13,0	15,0
5	μέτριος	8,0-10,7	29-38	17-21	19-24	9,3	33,6	18,2	20,9
6	ισχυρός	10,8-13,8	39-49	22-27	25-31	12,3	44,2	23,9	27,5
7	Σχεδόν θυελλώδης	13,9-17,1	50-61	28-33	32-38	15,5	55,7	30,1	34,6
8	θυελλώδης	17,2-20,7	62-74	34-40	39-46	18,9	68,1	36,8	42,3
9	πολύ θυελλώδης	20,8-24,4	75-88	41-47	47-54	22,6	81,3	43,9	50,5
10	θύελλα	24,5-28,4	89-102	48-55	55-63	26,4	95,2	51,4	59,1
11	ισχυρή θύελλα	28,5-32,6	103-117	56-63	64-74	30,5	109,8	59,3	68,2
12	τυφώνας	>= 32,7	>= 118	>= 64	>=75

Στη παρακάτω εικόνα φαίνονται τα μήκη αναπτύγματος που χαράχθηκαν και υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος AUTOCAD. Μήκη αναπτύγματος ελήφθησαν για τις επικρατούσες κατευθύνσεις ανέμων στην περιοχή και για γωνία $\pm 45^\circ$.



Σχήμα 55. Χάραξη μηκών αναπτύγματος. (Google Earth, 2015)

Πίνακας 16. Υπολογισμός χαρακτηριστικών μηκών αναπτύγματος στο excel

Ακτίνα	α _i (φ)	Wind	cos(α _i)	cos ² (α _i)	Fi (m)	Fi*cos ² (α _i)
1	0	E	1	1	24897	24897
2	5	E	0,996	0,992016	28582	28353,8013
3	10	E	0,985	0,970225	29108	28241,3093
4	15	E	0,966	0,933156	29243	27288,2809
5	20	E	0,94	0,8836	28122	24848,5992
6	25	E	0,906	0,820836	31351	25734,0294
7	30	E	0,866	0,749956	109783	82332,4195
8	35	E	0,819	0,670761	386164	259023,751
9	40	E	0,766	0,586756	71204	41779,3742
10	45	E	0,707	0,499849	91261	45616,7196
11	-5	NE	0,996	0,992016	24566	24369,8651
12	-10	NE	0,985	0,970225	28699	27844,4873
13	-15	NE	0,966	0,933156	30745	28689,8812
14	-20	NE	0,937	0,877969	18685	16404,8508
15	-25	NE	0,906	0,820836	18157	14903,9193
16	-30	NE	0,866	0,749956	22389	16790,7649
17	-35	NE	0,819	0,670761	22474	15074,6827
18	-40	NE	0,766	0,586756	23084	13544,6755
19	-45	NE	0,707	0,499849	17938	8966,29136
			16,899			754704,702

Από τη σχέση (6.1) προκύπτει :

$$F = 44.659,72 \text{ m} = 44,659 \text{ km}$$

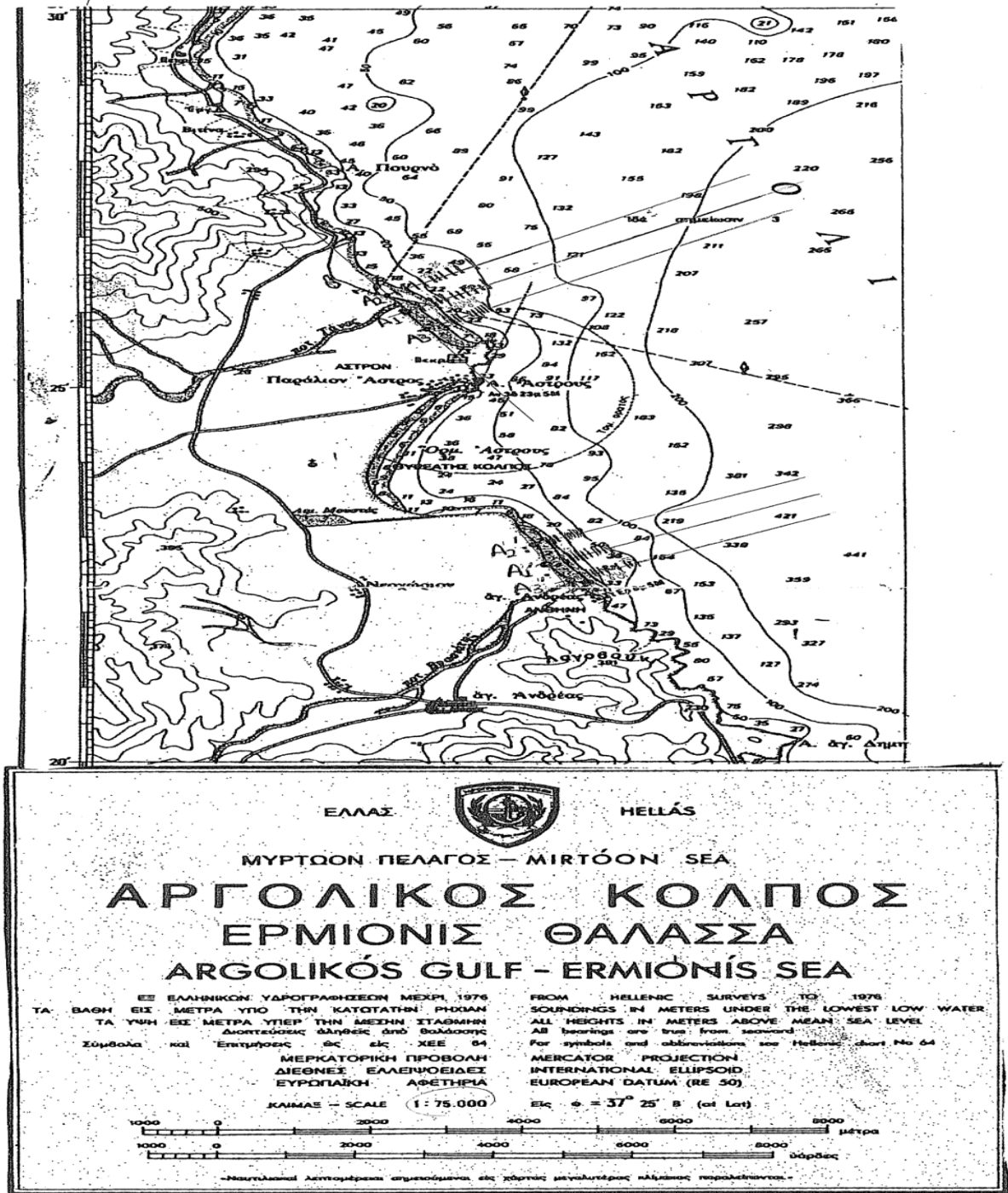
Σύμφωνα με τον πίνακα 15 η ταχύτητα του ανέμου στη περιοχή μελέτης μας είναι :

$$w = 10,7 \text{ m/s}$$

6.3 Υπολογισμός κλίσης πυθμένα

Όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 5.3, από τον χάρτη που πήραμε από τη μελέτη του λιμένα Παραλίου Άστρους με τίτλο << Έργα Υποδομής και Προστασίας Λιμανιού Παραλίου Άστρους (οριστική μελέτη λιμενικών έργων) >>, εργαστήκαμε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και για τα σημεία A1',A2',A3' (περιοχή Αγίου Ανδρέα). (Φράγκου και Μαρινόπουλος, 2011)

Η κλίμακά μας δεν αλλάζει, γιατί εργαζόμαστε στον ίδιο χάρτη. Επομένως είναι **1:740,74**.



Σχήμα 56. Απεικόνιση σημείων (A1,A2,A3,A1',A2',A3') στο χάρτη ισοβαθών του Αργολικού Κόλπου. (Πηγή: Μελέτη λιμένα Παραλίου Άστρους (δήμος Βόρειας Κυνουρίας))

Επομένως, με βάση το σχήμα 56 και τη παραπάνω κλίμακα προκύπτουν οι εξής αποστάσεις:

Πίνακας 17. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο Α1'

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ cm	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ m	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ (m)
(A ₁ 'B ₁ ')	0,30	222,22	222,22
(B ₁ 'Γ ₁ ')	0,17	125,93	348,15
(Γ ₁ 'Δ ₁ ')	0,09	66,66	414,81
(Δ ₁ 'Ε ₁ ')	0,10	74,07	488,88
(Ε ₁ 'ΣΤ ₁ ')	0,05	37,03	525,917
(ΣΤ ₁ 'Ζ ₁ ')	0,11	81,48	607,397
(Ζ ₁ 'Η ₁ ')	0,11	81,48	688,877
(Η ₁ 'Θ ₁ ')	0,02	14,815	703,692
(Θ ₁ 'Ι ₁ ')	0,05	37,037	740,729
(Ι ₁ 'Κ ₁ ')	0,10	74,07	814,799

Πίνακας 18. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο Α2'

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ cm	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ m	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ (m)
(A ₂ 'B ₂ ')	0,31	229,63	229,63
(B ₂ 'Γ ₂ ')	0,12	88,88	318,51
(Γ ₂ 'Δ ₂ ')	0,10	74,07	392,58
(Δ ₂ 'Ε ₂ ')	0,18	133,33	525,91
(Ε ₂ 'ΣΤ ₂ ')	0,01	7,41	533,32
(ΣΤ ₂ 'Ζ ₂ ')	0,02	14,81	548,13
(Ζ ₂ 'Η ₂ ')	0,05	37,04	585,17
(Η ₂ 'Θ ₂ ')	0,05	37,04	622,21
(Θ ₂ 'Ι ₂ ')	0,06	44,44	666,65
(Ι ₂ 'Κ ₂ ')	0,01	7,41	674,06

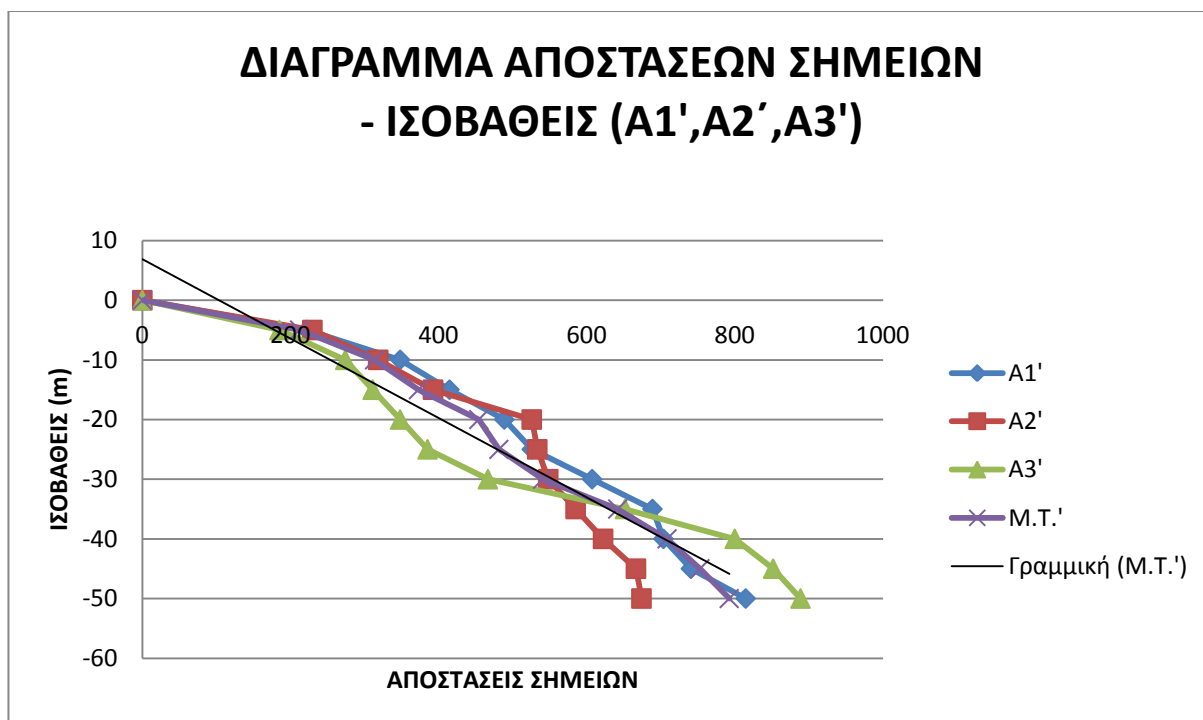
Πίνακας 19. Αποστάσεις κατά μήκος των ισοβαθών στο σημείο Α3'

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ cm	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΕ m	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ (m)
(A ₃ 'B ₃ ')	0,25	185,185	185,185
(B ₃ 'Γ ₃ ')	0,12	88,88	274,065
(Γ ₃ 'Δ ₃ ')	0,05	37,04	311,105
(Δ ₃ 'Ε ₃ ')	0,05	37,04	348,145
(Ε ₃ 'ΣΤ ₃ ')	0,05	37,04	385,185
(ΣΤ ₃ 'Ζ ₃ ')	0,11	81,48	466,665

$(Z_3' H_3')$	0,25	185,185	651,85
$(H_3' \theta_3')$	0,20	148,148	799,998
$(\theta_3' I_3')$	0,07	51,85	851,848
$(I_3' K_3')$	0,05	37,04	888,888

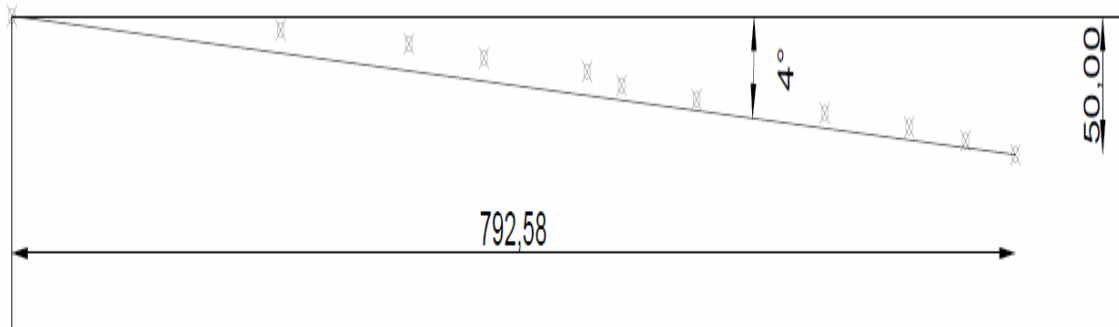
Πίνακας 20. Υπολογισμός στο excel Μέσης Τιμής των σημείων A1',A2',A3' κατά μήκος των Ισοβαθών

A1'	A2'	A3'	Μ.Τ.'	ΙΣΟΒΑΘΕΙΣ (m)
0	0	0	0	0
222,22	229,63	185,185	212,345	-5
348,15	318,51	274,065	313,575	-10
414,81	392,58	311,105	372,832	-15
488,88	525,91	348,145	454,312	-20
525,917	533,32	385,185	481,474	-25
607,397	548,13	466,665	540,731	-30
688,877	585,17	651,85	641,966	-35
703,692	622,21	799,998	708,633	-40
740,729	666,65	851,848	753,076	-45
814,799	674,06	888,888	792,582	-50



Διάγραμμα 7. Αποστάσεις Σημείων - Ισοβαθών (A1', A2', A3')

ΚΛΙΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓ. ΑΝΔΡΕΑ Β. ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ



Σχήμα 57. Υπολογισμός κλίσης πυθμένα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AUTOCAD

Κλίση Πυθμένα για σημεία (A1', A2', A3') :

Με βάση τη παραπάνω εικόνα του Autocad προκύπτει

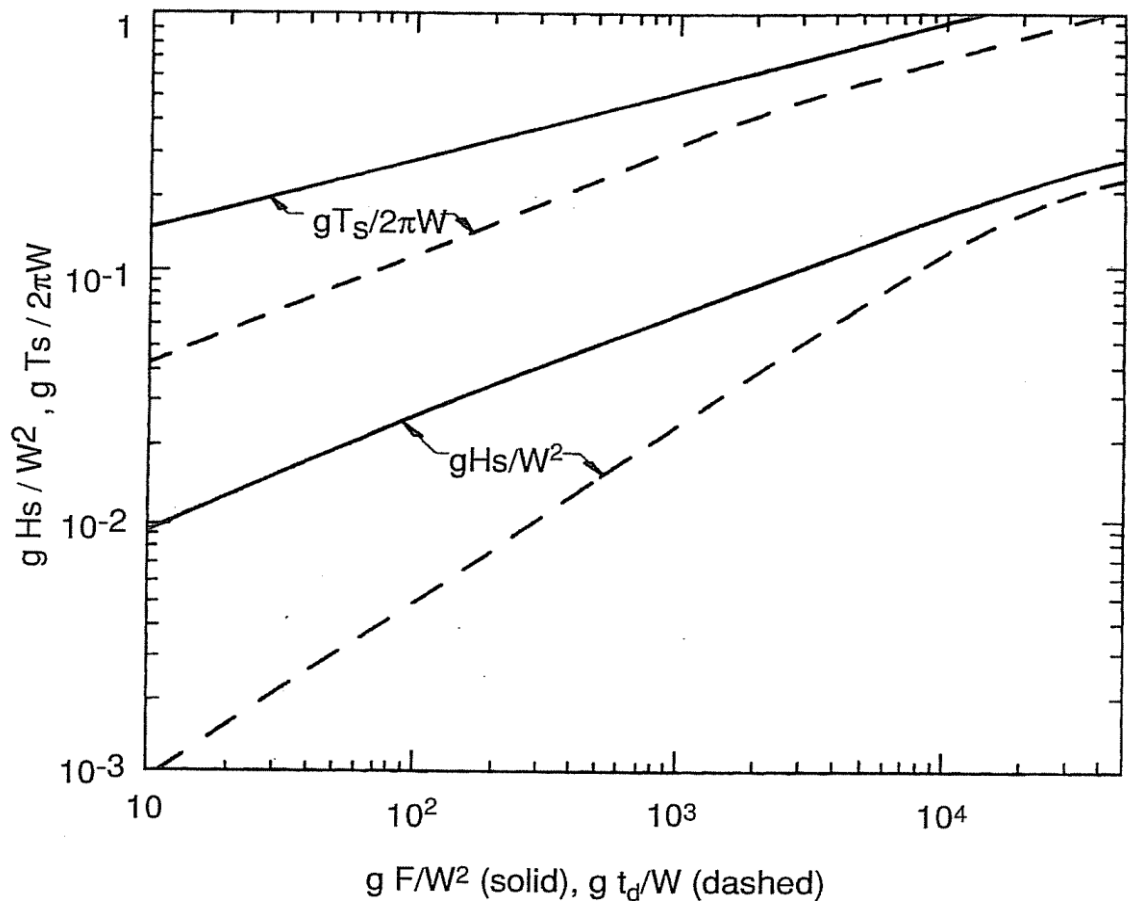
$$\tan \varphi = \frac{\text{απέναντι πλευρά}}{\text{προσκείμενη πλευρά}} = \frac{50}{792,582} = 0,06 \text{ ή } 6\%$$

όπου το βάθος του νερού είναι $d = 50 \text{ m} = d'$

6.4 Υπολογισμός H_s και T_s με τη μέθοδο SMB

Σε αυτήν την ενότητα θα υπολογίσουμε το χαρακτηριστικό ύψος κύματος (H_s) και τη χαρακτηριστική περίοδο του κύματος (T_s), που αντιστοιχούν στα χαρακτηριστικά του κύματος σε μεγάλο βάθος.

Από το ακόλουθο διάγραμμα για τη μέθοδο SMB προκύπτει ότι:



Διάγραμμα 8. Αδιάστατες παράμετροι μεθοδολογίας SMB πρόβλεψης χαρακτηριστικού ύψους και χαρακτηριστικής περιόδου ανεμογενών κυματισμών. (Δήμας 2011)

$$\blacktriangleright \frac{g \times F}{w^2} = \frac{9,81 \times 44.659,73}{10,7^2} = 3826,64$$

Συνεπώς βρίσκοντας στον οριζόντιο άξονα το 4457,37 και χτυπώντας στη συνεχή γραμμή στο διάγραμμα 4.2 βρίσκουμε ότι:

$$\frac{g \times H_s}{w^2} = 0,09 \quad \text{και} \quad \frac{g \times T_s}{2\pi w} = 0,68$$

Άρα:

$$\triangleright \frac{g \times H_s}{w^2} = 0,09 \Rightarrow H_s = \frac{0,09 \times w^2}{g} \Rightarrow H_s = \frac{0,09 \times 10,7^2}{9,81} \Rightarrow H_s = 1,05 \text{ m}$$

$$\triangleright \frac{g \times T_s}{2\pi w} = 0,68 \Rightarrow T_s = \frac{2\pi w \times 0,68}{g} \Rightarrow T_s = \frac{2 \times 0,68 \times 3,14 \times 10,7}{9,81} \Rightarrow T_s = 4,66 \text{ sec}$$

Δεν δίνεται η διάρκεια πνοής του ανέμου, επομένως ο κυματισμός είναι περιορισμένος από το μήκος αναπτύγματος και για τη μέθοδο SMB παίρνω μόνο τη πρώτη περίπτωση που δεν περιλαμβάνει το t_d .

6.5 Μέθοδος JOWNSAP

Αρχικά υπολογίζω τη διατμητική ταχύτητα (U_*):

$$U_* = w \times \sqrt{0,001 \times (1,1 + 0,035w)} \Rightarrow$$

$$U_* = 10,7 \times \sqrt{0,001 \times [1,1 + (0,035 \times 10,7)]} \Rightarrow$$

$$U_* = 0,5 \text{ m/s}$$

Στη συνέχεια με τους παρακάτω τύπους υπολογίζουμε το χαρακτηριστικό ύψος κύματος (H_s) και τη χαρακτηριστική περίοδο κύματος (T_s).

$$\frac{g \times H_s}{U_*^2} = 0,0413 \times \left(\frac{g \times F}{U_*^2} \right)^{0,5} \Rightarrow$$

$$H_s = U_*^2 \times \frac{\left[0,0413 \times \left(\frac{g \times F}{U_*^2} \right)^{0,5} \right]}{g} \Rightarrow$$

$$H_s = \frac{(0,5)^2 \times \left\{ 0,0413 \times \left[\frac{9,18 \times 44.659,73}{(0,5)^2} \right]^{0,5} \right\}}{9,81} \Rightarrow$$

$$H_s = 1,4 \text{ m}$$

$$\bullet \frac{g \times T_s}{U_*} = 0,71345 \times \left(\frac{g \times F}{U_*^2} \right)^{0,33} \Rightarrow$$

$$T_s = \frac{U_* \times \left[0,71345 \times \left(\frac{g \times F}{U_*^2} \right)^{0,33} \right]}{g} \Rightarrow$$

$$T_s = \frac{0,5 \times \left[0,71345 \times \left(\frac{9,81 \times 44,659,73}{0,5^2} \right)^{0,33} \right]}{9,81} \Rightarrow T_s = 4,18 \text{ sec.}$$

Επικρατεί η πρόβλεψη με το μεγαλύτερο ύψος κύματος και στη προκειμένη περίπτωση είναι η πρόβλεψη με τη μέθοδο **JOWNSAP**. Άρα:

$$H_s = 1,4 \text{ m} \quad \text{και} \quad T_s = 4,18 \text{ sec}$$

Υποθέτουμε ότι βρισκόμαστε σε μεγάλο βάθος πυθμένα, άρα:

$$H_0 = 1,4 \text{ m} \quad \text{και} \quad T = 4,18 \text{ sec}$$

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, υπολογίζουμε τη κυματική κατάσταση στον πόδα του κυματοθραύστη, όπου $H_0 = H_s = 1,4 \text{ m}$ και μήκος κύματος $\lambda_0 = \frac{g \times T^2}{2\pi}$

$$\lambda_0 = \frac{g \times T^2}{2\pi} = \frac{9,81 \times 4,18^2}{2 \times 3,14} \Rightarrow \lambda_0 = 27,30 \text{ m}$$

Για $d_0 = 50 \text{ m}$ και $\lambda_0 = 27,30 \text{ m}$ προκύπτει:

$$\frac{d_0}{\lambda_0} = \frac{50}{27,30} = 1,83 > 0,5$$

Άρα η υπόθεσή μας για μεγάλο βάθος ήταν σωστή.

6.6 Χαρακτηριστικά Θραύσης Κύματος

- Καθορισμός ύψους θραύσης, H_b :

$$\frac{H_b}{H_0} = 0,56 \times \left(\frac{H_0}{\lambda_0} \right)^{-\left(\frac{1}{5}\right)} \Rightarrow \frac{H_b}{1,4} = 0,56 \times \left(\frac{1,4}{27,30} \right)^{-\left(\frac{1}{5}\right)} \Rightarrow H_b = 1,42 \text{ m}$$

- Καθορισμός ύψους βάθους θραύσης, d_b :

$$\frac{H_b}{d_b} = b - \left(a \times \frac{H_b}{g \times T^2} \right), \quad [5.5.1]$$

όπου:

$$- \alpha = 43,8 \times (1 - e^{-19 \tan \varphi'}) \Rightarrow \alpha = 43,8 \times (1 - e^{-(19 \times 0,06)}) \Rightarrow$$

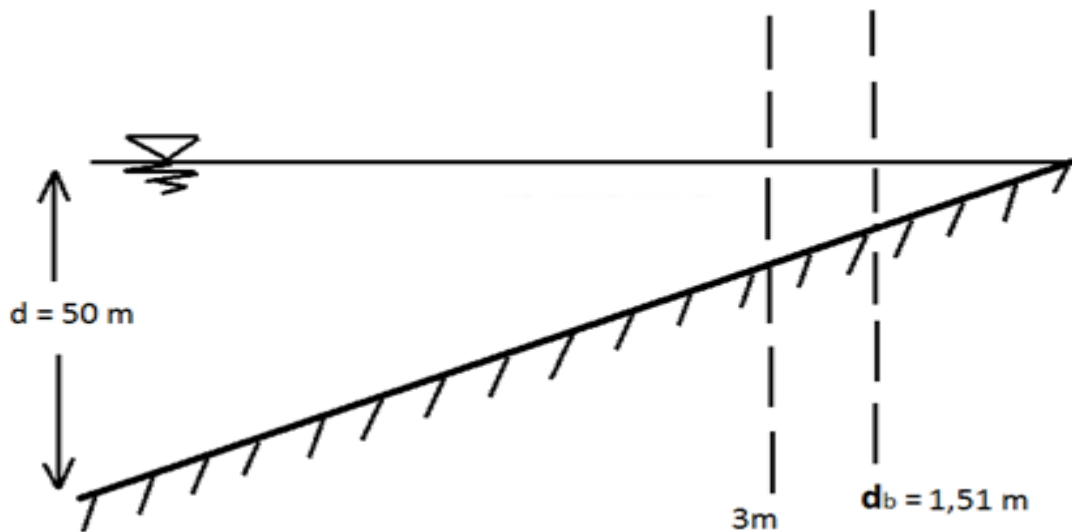
$$\alpha = 43,8 \times (1 - e^{-1,14}) \Rightarrow \alpha = 29,79$$

$$- b = \frac{1,56}{1+e^{-19,5 \tan \varphi'}} \Rightarrow b = \frac{1,56}{1+e^{-(19,5 \times 0,06)}} \Rightarrow b = \frac{1,56}{1+e^{-1,17}} \Rightarrow b = 1,19$$

Άρα:

$$[5.5.1] \Rightarrow \frac{1,42}{d_b} = 1,19 - \left[29,79 \times \frac{1,42}{9,81 \times 4,18^2} \right] \Rightarrow d_b = 1,51 \text{ m}$$

Επειδή θέλουμε να κατασκευάσουμε έναν κυματοθραύστη πριν τη ζώνη θραύσης του κύματος, δηλαδή πριν τα 1,74 μέτρα, επιλέγουμε ένα βάθος ένα βάθος κατασκευής $d = 3\text{m}$.



Για βάθος $d = 3\text{m}$ εφαρμόζω την εξίσωση διασποράς:

$$w^2 = g \times k \times \tan h(kd) \Rightarrow$$

$$w^2 \times \frac{d}{g} = \frac{d}{g} \times g \times k \times \tan h(kd) \Rightarrow$$

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \times \frac{d}{g} = kd \tan h(kd) \Rightarrow$$

$$kd \tan h(kd) = \frac{4 \times 3 \times 3,14^2}{4,18^2 \times 9,81} \Rightarrow$$

$$kd \tan h(kd) = 0,69$$

ΔΟΚΙΜΕΣ:

7) για $kd = 0,9$ προκύπτει $kd \tan h(kd) = 0,645$

8) για $kd = 0,95$ προκύπτει $kd \tan h(kd) = 0,70$

9) για $kd = 0,94$ προκύπτει $kd \tan h(kd) = 0,69$

Επομένως:

$$kd = 0,94 \Rightarrow k = \frac{0,94}{d} \Rightarrow k = \frac{0,94}{3} \Rightarrow k = 0,313 \text{ m}^{-1}$$

▪ **Μήκος κύματος, λ :**

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k} \Rightarrow \lambda = \frac{2 \times 3,14}{0,313} \Rightarrow \lambda = 20,06 \text{ m}$$

▪ **Σχετικό βάθος:**

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{3}{20,06} = 0,15 \rightarrow \text{Άρα βρισκόμαστε στα ενδιάμεσα ύδατα, επειδή ισχύει } 0,05 < \frac{d}{\lambda} < 0,5.$$

6.7 Σχεδιασμός του κυματοθραύστη πριν τη ζώνη θραύσης

Για τον υπολογισμό του ύψους κύματος (H) πριν τη ζώνη θραύσης σε βάθος $d = 3m$ θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση:

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right) \tanh(kd)}}$$

όπου:

- $H_0 = 1,4$ και
- $kd = 0,94$

Άρα

$$H = H_0 \times \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right) \tanh(kd)}} \Rightarrow H = 1,4 \times \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \frac{(2 \times 0,94)}{\sinh(2 \times 0,94)}\right) \tanh(0,94)}} \Rightarrow$$
$$H = 1,30m$$

Υπολογισμός αριθμού Iribaren (ξ_s):

Για κλίση πρανούς επιλέγουμε $\tan \alpha = 0,6667$ και $\cot \alpha = 1,5$

$$\xi_s = \tan \alpha \sqrt{\frac{1,11 \times g \times T_s^2}{2 \times \pi \times H}} \Rightarrow \xi_s = 0,667 \sqrt{\frac{1,11 \times 9,81 \times 4,18^2}{2 \times 3,14 \times 1,3}} \Rightarrow \xi_s = 3,22 m$$

Υπολογισμός κυματογενούς αναρρίχησης (R_n):

$$\frac{R_n}{H_s} = \gamma_r [(A \times \xi_s) + c] \quad (1)$$

όπου:

- $\gamma_r = 0,55$ για 2 ή περισσότερες στρώσεις (Πίνακας 21)
- $A = -0,25$ και $c = 3$ για $\xi_s > 2$ και $1/4 < \tan \alpha = 0,667 < 1$ (Πίνακας 22)

Πίνακας 21. Συντελεστής μείωσης κυματογενούς αναρρίχησης λόγω τραχύτητας επιφάνειας πρανούς. (Δήμας 2011)

Επιφάνεια Πρανούς	γ_r
Λεία	1
Επικάλυψη με φύκια	0,9
Μία στρώση ογκολίθων διαμέτρου D ($H_s / D = 1,5 - 3,0$)	0,55 - 0,60
Δύο ή περισσότερες στρώσεις ογκολίθων ($H_s / D = 1,5 - 6,0$)	0,50 - 0,55
Τεχνητά στοιχεία τραχύτητας	0,60 - 0,90

Πίνακας 22. Σταθερές υπολογισμού κυματογενούς αναρρίχησης. (Δήμας 2011)

Αναρρίχηση	Αριθμός Irribarren	Κλίση Πρανούς	A	C
R	$\xi_s \leq 2$	$1/8 \leq \tan \alpha \leq 1/3$	1,6	0
	$2 < \xi_s < 4$		0	3,2
R	$\xi_s \leq 2,5$	$1/4 \leq \tan \alpha \leq 1$	1,6	0
	$2,5 < \xi_s < 9$		-0,2	4,5
R_s	$\xi_s \leq 2$		1,35	0
	$2 < \xi_s < 9$		-0,25	3

Άρα :

$$(1) \Rightarrow \frac{R_n}{H_s} = \gamma_r [(A \times \xi_s) + c] \Rightarrow \frac{R_n}{1,4} = 0,55(-0,25 \times 3,22 + 3) \Rightarrow R_n = 1,69 \text{ m}$$

Υπολογισμός μεθόδου ογκολίθων στρώματος θωράκισης:

$$D_n = \frac{H}{\Delta(k_\Delta \times \cot \alpha)^{1/3}}$$

όπου:

- $\alpha = 33^\circ$, άρα $\cot \alpha = 1,5$ (συνήθως $1,5 \leq \cot \alpha \leq 3,0$ για φυσικούς ογκολίθους)
- $\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 = \frac{25,9}{10} - 1 \Rightarrow \Delta = 1,59$
- $k_\Delta = 4$ για μη θραυόμενο κυματισμό, μηδενικό ποσοστό αστοχίας, ακανόνιστο σχήμα και τυχαία τοποθέτηση (Πίνακας 23)

Πίνακας 23. Συντελεστής ευστάθειας k_d στην εξίσωση Hudson. (Δήμας 2011)

H	Σχήμα Ογκολίθου	Τοποθέτηση Ογκολίθου	Ποσοστό Αστοχίας 0-5%		Ποσοστό Αστοχίας 5-10%
			Θραυόμενος Κυματισμός	Μη Θραυόμενος Κυματισμός	Μη Θραυόμενος Κυματισμός
H_s	Λείο	Τυχαία	2,1	2,4	3,0
	Ακανόνιστο	Τυχαία	3,5	4,0	4,9
	Ακανόνιστο	Ειδική*	4,8	5,5	-
H_{10}	Λείο	Τυχαία	1,2	2,4	-
	Ακανόνιστο	Τυχαία	2,0	4,0	-
	Ακανόνιστο	Ειδική*	5,8	7,0	-

*Οι ογκόλιθοι τοποθετούνται έτσι ώστε ο επιμήκης άξονάς τους να είναι κάθετος στην επιφάνεια του πρανούς.

Αρα η διάμετρος των ογκολίθων είναι:

$$D_n = \frac{1,3}{1,59(4 \times 1,5)^{1/3}} \Rightarrow D_n = 0,45 \text{ m}$$

➤ Μέσο βάρος φυσικών ογκολίθων:

$$W_s = \gamma_s \times D_n^3 = 25,9 \times (0,45)^3 \Rightarrow W_s = 2,36 \text{ KN}$$

όπου $\gamma_s = 25,9$ το ειδικό βάρος των φυσικών ογκολίθων

➤ Πλάτος στέψης:

$$B = n \times k_d \times D_n = 3 \times 1 \times 0,45 \Rightarrow B = 1,35 \text{ m}$$

όπου:

$n = 3$, διότι το πλάτος της στέψης (crest width) για μικρή υπερπήδηση είναι της τάξης των 3 ογκολίθων.

$k_d = 1$ (από πίνακα 24)

Πίνακας 24. Συντελεστής k_{Δ} υπολογισμού πλάτους στρωμάτων ογκολίθων. (Δήμας 2011)

Ογκόλιθος	k_{Δ}
Φυσικός	1,00
TETRAPOD	1,04
CORE-LOC	1,51
ACCROPOD	1,51

➤ Πλάτος στρώματος ογκολίθων:

Στρώση 1η

$$r_1 = n \times k_{\Delta} \times \left(\frac{W_1}{\gamma}\right)^{1/3} \Rightarrow r_1 = 2 \times 1 \times \left(\frac{2,36}{25,9}\right)^{1/3} \Rightarrow r_1 = \mathbf{0,90\ m}$$

όπου:

- $W_1 = W_s = 2,36\ KN$ και
- $n = 2$, το πλήθος των επάλληλων λίθων σε κάθε στρώση (λαμβάνεται ίσο με 2, ώστε να υπάρχει εξασφάλιση από τη δράση των κυματισμών)
- $k_{\Delta} = 1$ (από πίνακα 24)

Στρώση 2η

$$r_2 = n \times k_{\Delta} \times \left(\frac{W_2}{\gamma}\right)^{1/3} \Rightarrow r_2 = 2 \times 1 \times \left(\frac{0,236}{25,9}\right)^{1/3} \Rightarrow r_2 = \mathbf{0,42\ m}$$

όπου $W_2 = \frac{W_s}{10} = \frac{2,36}{10} = 0,236\ KN$

Στρώση 3η

$$r_3 = n \times k_{\Delta} \times \left(\frac{W_3}{\gamma}\right)^{1/3} \Rightarrow r_3 = 2 \times 1 \times \left(\frac{0,0118}{25,9}\right)^{1/3} \Rightarrow r_3 = 0,15\ m$$

όπου $W_3 = \frac{W_s}{200} = \frac{2,36}{200} = 0,0118\ KN$

Κεφάλαιο 7°

Συμπεράσματα

1. Η διαδικασία μελέτης και κατασκευής πάσης φύσεως λιμενικών έργων απαιτεί τη συλλογή περιβαλλοντικών παραμέτρων (μέσα από αξιόπιστη βιβλιογραφία και επί τόπου μετρήσεις πεδίου), δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή: α) στη τοπογραφία του πυθμένα της θάλασσας (βαθυμετρία), β) τη μεταβολή στην στάθμη της θάλασσας, γ) τα χαρακτηριστικά του ανέμου στη κάθε περιοχή, δ) τα μεγέθη των ανεμογενών κυματισμών (χαρακτηριστικό ύψος κύματος (H_s), ύψος θραύσης κύματος (H_b), βάθος θραύσης κύματος (d_b) κ.λπ.) και ε) το ποσοστό της μεταφοράς ιζήματος στη περιοχή μελέτης.
2. Οι κυματοθραύστες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) αυτούς που στόχο έχουν τη διασφάλιση της ηρεμίας της λεκάνης του λιμένα από τα κύματα οποιασδήποτε διεύθυνσης προσβάλλουν τη περιοχή και β) τους κυματοθραύστες που χρησιμοποιούνται σαν μέθοδοι προστασίας ακτών. Επίσης, στις σύγχρονες κατασκευές κατατάσσονται και οι κυματοθραύστες που παράγουν ενέργεια, δηλαδή μετατρέπουν την δυναμική ενέργεια του κύματος σε κινητική και αντίστροφα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κάθε κυματοθραύστης διαθέτει τα δικά του χαρακτηριστικά ως προς τη μορφή και τη λειτουργία του και σχεδιάζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κάθε περιοχής.
3. Πολλοί είναι οι παράγοντες, οι οποίοι με την πάροδο του χρόνου συντελούν στη διάβρωση των ακτών. Ιδιαίτερα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση του φαινομένου αυτού, λόγω των ανθρωπογενών επεμβάσεων και των έντονων κλιματικών αλλαγών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του πλάτους της παραλίας, την καταστροφή των παραθαλάσσιων οικοσυστημάτων και την καταστροφή των υποδομών. Η αντιμετώπιση, λοιπόν, της διάβρωσης πραγματοποιείται με δύο μεθόδους: α) την ήπια μέθοδο προστασίας ακτών (εγκαταστάσεις στοιχείων και τεχνικών διατάξεων που προσαρμόζουν φυσικά συστήματα στην ενέργεια των κυμάτων, των παλιρροιών και του ανέμου) και β) την σκληρή μέθοδο προστασίας ακτών (κυματοθραύστες, τοίχους, προβόλους λιθορριπών-ογκολίθων). Σύμφωνα όμως με την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι περισσότερο επιθυμητά τα έργα προστασίας ακτών με την ήπια μέθοδο, διότι είναι οικονομικότερα και συνεργάζονται με το περιβάλλον, ενώ οι σκληρές μέθοδοι προκαλούν τα ακριβώς αντίθετα αποτελέσματα.
4. Η διαδικασία μελέτης και κατασκευής ενός κυματοθραύστη περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά των ανέμων, των κυματισμών σε μεγάλο βάθος και του πυθμένα στη περιοχή μελέτης. Σύμφωνα με εμπειρικές σχέσεις και τη συλλογή στοιχείων για από τη μελέτη " Έργα Υποδομής και Προστασίας Λιμανιού Παραλίου Άστρους " του Δήμου Βόρειας Κυνουρίας, σχεδιάστηκαν δύο κυματοθραύστες με πρηνή για εκπαιδευτικό σκοπό στη περιοχή Ατσιγγάνου και στην περιοχή Αγ. Ανδρέα του Παραλίου Άστρους Β. Κυνουρίας προκειμένου να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της διάβρωσης στις περιοχές αυτές. Η ανάλυση και ο σχεδιασμός των διατομών των δύο κυματοθραυστών βασίστηκαν σε ρεαλιστικό άνεμο και βαθυμετρία της περιοχής. Τα σχέδια των κυματοθραυστών πραγματοποιήθηκαν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AUTOCAD και αποδίδονται στη πτυχιακή εργασία σε κλίμακα 1:100 και παρατίθενται παρακάτω σε παράρτημα.

Βιβλιογραφία

Ελληνικές και ξενόγλωσσες αναφορές

1. Φράγκου, Μ. , Μαρινόπουλος, Ν. (2011). "Έργα Υποδομής και Προστασίας Λιμανιού Παραλίου Άστρους" , Οριστική Μελέτη Λιμενικών Έργων, Περιφέρεια Πελοποννήσου, Δ. Βόρειας Κυνουρίας - Ν. Αρκαδίας.
2. Σενγκιέργκη, Μ., Σεραφείμ, Α., Τικοζόγλου, Δ. (2009). Μελέτη Τουριστικού Λιμένα στον 1ο Προβλήτα του Οργανισμού Λιμένος Θεσσαλονίκης. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
3. Φωτεινής, Σ. (2009). Η διάβρωση των Ακτογραμμών της Κρήτης. Διπλωματική Εργασία. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Κρήτη.
4. Μέμος, Κ. (2008). Εισαγωγή στα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
5. Δασκαλάκης, Μ. Κ. (2009). Λιμάνια - Θαλάσσια Κύματα - Λιμενικά Έργα, Τόμος Β'. Γ' Έκδοση. Εκδόσεις Τεκδοτική, Αθήνα.
6. Δήμας, Α. Α. (2011). Εισαγωγή στην Μελέτη Λιμενικών Έργων. Διδακτικές Σημειώσεις. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
7. Δήμας, Α. Α. (2012-2013). Παράδειγμα Υπολογισμού Θαλάσσιου Μήκους Αναπτύγματος Κυμάτων με Χρήση των Προγραμμάτων GOOGLE EARTH & AUTOCAD για την Περιοχή της Ικαρίας. Διδακτικές Σημειώσεις. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
8. Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.
9. Κόφτης, Θ. (2010-2011). Ακτομηχανική και Λιμενικά Έργα. Παραδόσεις Εαρινού Εξαμήνου 2010 - 2011. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
10. Κουτίτας, Χ. (1998). Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη
11. Loizidou, X. I. and Loizides M. I. (2007). Environmental Issues and Social Perception as an Inherent Part of Coastal Erosion Management - Case Studies from Cyprus. Proceedings of MEDCOAST 2007 (p. 991 - 1002), Alexandria, Egypt.

Αναφορές στο διαδίκτυο

1. www.stygma.gr
2. www.cretevoice.gr
3. www.sfedona.gr

4. www.astrosnews.gr
5. www.coastance.eu
6. www.aquaterra.gr
7. www.meteo.gr
8. www.concreateships.org
9. www.saveplanet.gr
10. www.elem.tee.gr
11. www.hellaskps.gr
12. www.oicologicarodiaka.wordpress.com
13. en.wikipedia.org/wiki/File:Resent_Sea_Level_Rise.png
14. www.astrosparalio.gr
15. www.arcadiaportal.gr
16. www.floatingdocks.gr
17. www.marnet.gr
18. wiki.litusgo.com
19. www.hellastime.gr
20. Google Earth. Διαθέσιμο στην διεύθυνση: <https://earth.google.com>

Πηγές Εικονογράφησης

Εικόνα 1: Κόφτης, Θ. (2010-2011). Ακτομηχανική και Λιμενικά Έργα. Παραδόσεις Εαρινού Εξαμήνου 2010 - 2011. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Εικόνα 2: www.astrosnews.gr

Εικόνα 3: www.SF Marina.gr

Εικόνα 4: www.IRC.gr

Εικόνα 5: www.concreateships.org

Εικόνα 6: www.marnet.gr

Εικόνα 7: www.marnet.gr

Εικόνα 8: www.floatingdocks.gr

Εικόνα 9: www.floatingdocks.gr

Εικόνα 10: www.saveplanet.gr

Εικόνα 11: www.elem.tee.gr

Εικόνα 12: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 13: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 14: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 15: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 16: www.oicologicarodiaka.wordpress.com

Εικόνα 17: www.oicologicarodiaka.wordpress.com

Εικόνα 18: www.sfedona.gr

Εικόνα 19: www.stygma.gr

Εικόνα 20: www.Cretevoice.gr

Εικόνα 21: www.sfedona.gr

Εικόνα 22: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 23: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 24: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 25: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 26: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 27: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 28: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 29: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 30: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 31: Καπόπουλος, Χ. (2010). Προστασία και Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών : Μία Προτεραιότητα για την Ελλάδα. Πάτρα.

Εικόνα 32: Loizidou, X. I. and Loizides M. I. (2007). Environmental Issues and Social Perception as an Inherent Part of Coastal Erosion Management - Case Studies from Cyprus. Proceedings of MEDCOAST 2007 (p. 991 - 1002), Alexandria, Egypt.

Εικόνα 33: . Loizidou, X. I. and Loizides M. I. (2007). Environmental Issues and Social Perception as an Inherent Part of Coastal Erosion Management - Case Studies from Cyprus. Proceedings of MEDCOAST 2007 (p. 991 - 1002), Alexandria, Egypt.

Εικόνα 34: www.astrosnews.gr

Εικόνα 35: www.hellastime.gr

Εικόνα 36: www.astrospalio.gr

Εικόνα 37: www.arcadiaportal.gr

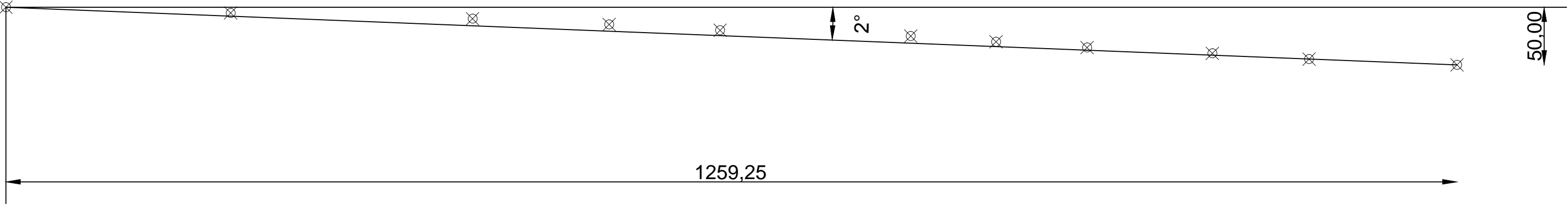
Παράρτημα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται τα σχέδια σε AUTOCAD των διατομών των κυματοθραυστών, των μηκών αναπτύγματος και των κλίσεων του πυθμένα

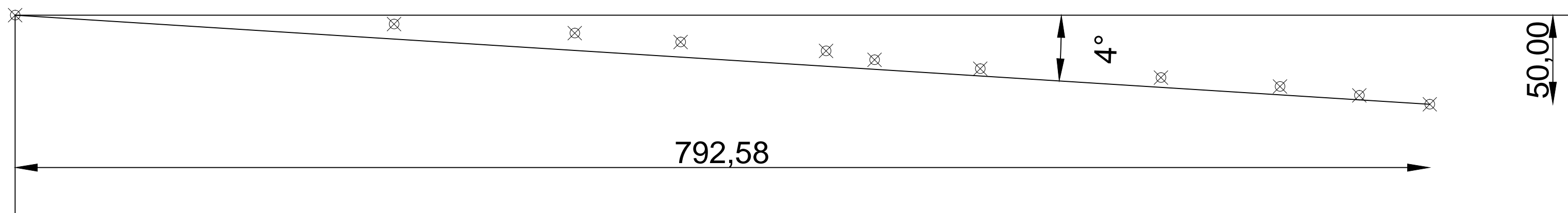
ΜΗΚΗ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΑΓ. ΑΝΔΡΕΑ



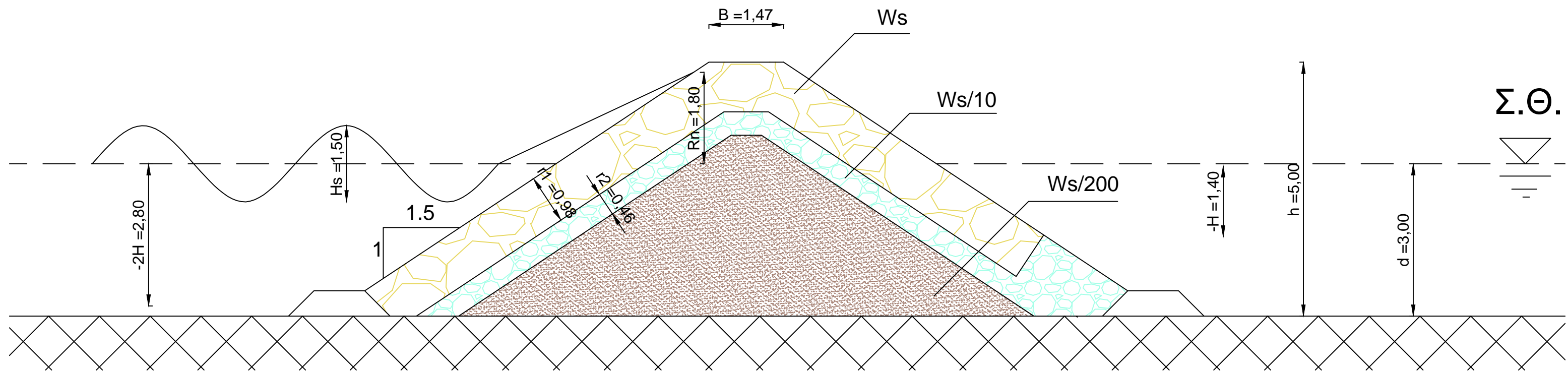
ΚΛΙΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΤΣΙΓΓΑΝΟΥ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΟΥ ΑΣΤΡΟΥΣ Β.ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ



ΚΛΙΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓ. ΑΝΔΡΕΑ Β. ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ



ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΤΣΙΓΓΑΝΟΥ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ Β. ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ (ΚΛ.1:75)



ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓ. ΑΝΔΡΕΑ ΔΗΜΟΥ Β. ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ (ΚΛ. 1:75)

