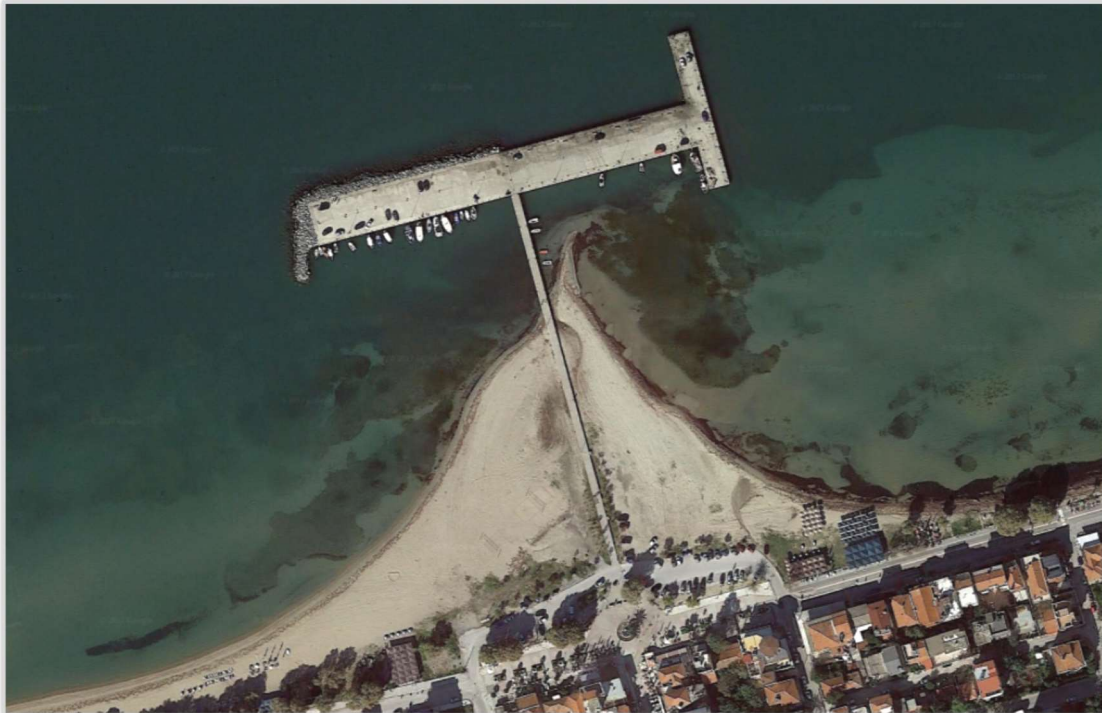




**Μελέτη για την αντιμετώπιση του προβλήματος προσάμμωσης
στο Αλιευτικό Καταφύγιο Νέων Επιβατών
(Θερμαϊκός Κόλπος)**

Γεωργακάκης Κωνσταντίνος

Παυλίδου Ευαγγελία



Σίνδος Δεκέμβριος, 2018

Τίτλος εργασίας

**Μελέτη για την αντιμετώπιση του προβλήματος προσάμμωσης
στο Αλιευτικό Καταφύγιο Νέων Επιβατών
(Θερμαϊκός Κόλπος)**

Όνομα Επώνυμο φοιτητών

Γεωργακάκης Κωνσταντίνος

Παυλίδου Ευαγγελία

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Όνομα Επώνυμο επιβλέποντα : κ. Σαββίδης Ιωάννης

Όνομα Επώνυμο μέλος : κ. Σαββίδης Ιωάννης

Όνομα Επώνυμο μέλος : κ. Γαληνού-Μητσούδη Σοφία

Όνομα Επώνυμο μέλος : κ. Κεραμάρης Ευάγγελος

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ..... | i |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | iii |
| ABSTRACT..... | iv |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | v |
| ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ | vi |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| 1.1. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΚΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΩΝ | 1 |
| 1.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ..... | 1 |
| 1.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ‘salient’ και ‘tombolo’ | 7 |
| 1.4. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ | 15 |
| 1.5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ..... | 18 |
| 1.6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΑΔΡΟΜΟΥ ΤΟΥ ΑΕΡΟΛΙΜΕΝΑ «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ» ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΕΡΑΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΕΠΙΒΑΤΩΝ..... | 26 |
| 1.6.1. ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΙΑΔΡΟΜΟΥ 10/28 ΤΟΥ ΑΕΡΟΛΙΜΕΝΑ «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ» Β.Α. ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΕΠΙΒΑΤΩΝ..... | 26 |
| 1.6.2. ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΙΑΔΡΟΜΟΥ 10/28 | 28 |
| 1.7. Ο ΚΥΜΑΤΑΘΡΑΥΣΤΗΣ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ | 29 |
| 1.8. ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΣΑΜΩΣΗΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΕΙ | 30 |
| 1.8.1. ΠΡΩΤΗ ΕΞΑΜΜΩΣΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΒΟΛΟ-ΓΕΦΥΡΑ..... | 30 |
| 1.8.2. ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΞΑΜΜΩΣΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΒΟΛΟ-ΓΕΦΥΡΑ..... | 30 |
| 1.9. ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ..... | 36 |
| 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ..... | 37 |
| 2.1. ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ..... | 37 |
| 2.2. ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΕ ΑΡΜΟΔΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ | 37 |
| 2.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΥΘΟΚΟΡΗΣΗΣ ΤΟΥ 2017 | 38 |
| 2.4. ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ..... | 38 |
| 2.5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ | 38 |
| 2.6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ..... | 38 |
| 2.6.1. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ | 38 |
| 2.6.2. ΕΥΡΕΣΗ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΚΑΙ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ | 41 |
| 2.7. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΘΡΑΥΣΗΣ | 42 |
| 2.7.1. ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ | 44 |
| 2.7.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΝΕΩΝ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ..... | 44 |
| 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ..... | 46 |
| 3.1. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΑΜΜΩΣΗΣ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ | 46 |

| | | |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2. | ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ SALIENT ΣΤΟΝ ΠΡΟΒΟΛΟ..... | 51 |
| 3.3. | ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΩ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ..... | 52 |
| 3.3.1. | ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΑΝΕΜΟ (Β) | 52 |
| 3.3.2. | ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (ΒΑ) | 55 |
| 3.3.3. | ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (ΒΔ) | 59 |
| 3.3.4. | ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (Δ)..... | 62 |
| 3.4. | ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ | 66 |
| 3.4.1. | ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΤΟΝ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΑΝΕΜΟ | 66 |
| 3.4.2. | ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ | 67 |
| 3.4.3. | ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ | 68 |
| 3.4.4. | ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ | 68 |
| 3.5. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΘΡΑΥΣΗΣ | 69 |
| 3.5.1. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΑΝΕΜΟ | 69 |
| 3.5.2. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ..... | 75 |
| 3.5.3. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ..... | 80 |
| 3.5.4. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ | 86 |
| 3.6. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ..... | 91 |
| 3.6.1. | ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΑΝΕΜΟ | 92 |
| 3.6.2. | ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ | 92 |
| 3.6.3. | ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ | 93 |
| 3.6.4. | ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ | 93 |
| 3.7. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΝΕΩΝ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ | 94 |
| 4. | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 97 |
| 4.1. | ΠΡΩΤΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ-ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΒΥΘΟΚΟΡΗΣΗ | 97 |
| 4.2. | ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΥΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ..... | 97 |
| 4.3. | ΤΡΙΤΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ- ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ | 99 |
| 4.4. | ΣΥΝΟΨΗ | 100 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 102 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται το πρόβλημα της προσάμμωσης στο αλιευτικό καταφύγιο στην περιοχή Νέων Επιβατών του Δήμου Θερμαϊκού (Ανατολικός Θερμαϊκός Κόλπος). Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε αρχικά με έναν πρόβολο (τύπου γέφυρας) κάθετα στην ακτή που λειτουργούσε ως αλιευτικό καταφύγιο για τα αλιευτικά σκάφη. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ένας κυματοθραύστης κάθετος και εφαπτόμενος στην άκρη του προβόλου με σκοπό την εξυπηρέτηση περισσότερων σκαφών και η προστασία από τα κύματα της ζώνης πίσω από τον κυματοθραύστη. Συνέπεια αυτού του έργου ήταν η συσσώρευση και απόθεση μεγάλης ποσότητας φερτών υλικών εκατέρωθεν και κατά μήκος του προβόλου, ξεκινώντας από την ακτογραμμή καταλήγοντας με το πέρασμα του χρόνου όλο και πιο κοντά στον κυματοθραύστη, δημιουργώντας έτσι το φαινόμενο salient. Σε περίπτωση που οι φερτές ύλες καταλάβουν εκατέρωθεν τον πρόβολο σε όλο το μήκος του μέχρι και τον κυματοθραύστη, οπότε και παρατηρείται προώθηση και ένωση της ακτής με την κατασκευή του κυματοθραύστη, τότε σχηματίζεται το φαινόμενο TOMBOLA. Το συγκεκριμένο φαινόμενο προκαλεί σοβαρές περιβαλλοντικές και ίσως μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στη γύρω περιοχή, σε περίπτωση που δεν παρθούν επείγοντως μέτρα για τον περιορισμό του. Η εργασία ολοκληρώνεται με τη μελέτη της παράκτιας στερεομεταφοράς και την παρουσίαση διαφόρων εναλλακτικών λύσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος της προσάμμωσης της παράκτιας ζώνης πίσω από τον κυματοθραύστη.

Study to address the problem of sand deposition in the Fishing Harbor of New Epivates (Thermaikos Gulf)

ABSTRACT

This diploma thesis presents the problem of sand deposition in the Fishing Harbor of New Epivates (East Thermaikos Gulf), the municipality of Thermaikos. The construction of the project was initially started with a cantilever vertically on the coast that served as a fishing shelter for fishing boats. Then a breakwater was built up and tangent to the end of the cantilever, in order to serve more vessels and protect against the waves of the belt behind the breakwater. The consequence of this project was the deposition of large quantities of sloping materials on both sides and along the cantilever, starting from the coastline, ending up constantly closer to the breakwater, creating in this way the salient phenomenon. If the materials occupy the cantilever all along its length, then the TOMBOLO phenomenon is formed. This phenomenon not only causes serious environmental issues but in the absence of protection measures perhaps it will cause irreversible impacts on the surrounding area. The diploma thesis is completed with the study of coastal stereotransfer and the presentation of various alternatives to address the problem of the coastal belt, which penetrate into the sea area behind the breakwater.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κατά το πέρας των σπουδών μας του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης, αναλάβαμε πτυχιακή εργασία κατά το έτος 2017-2018. Το θέμα εκπόνησης της δεδομένης πτυχιακής εργασίας μας, αποτελεί ο κυματοθραύστης στο αλιευτικό καταφύγιο των Ν. Επιβατών, στον κόλπο Θεσσαλονίκης, σε σχέση με το έντονο πρόβλημα προσάμμωσης που δημιουργήθηκε.

Πρωτίστως, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερος στον κ. Σαββίδη Ιωάννη, επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μας εργασίας, ο οποίος καθ' όλη τη διάρκεια ήταν κατατοπιστικός, δεκτικός και ιδιαίτερα συνεργάσιμος. Επιπροσθέτως, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, καθώς επίσης τον κ. Ευθυμιάδη Ευάγγελο, Δρ. Χημικό Μηχανικό του Τμήματος Περιβαλλοντικού και Χωρικού Σχεδιασμού της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Μακεδονίας – Θράκης, όπως και τον κ. Τσεμπέκιδη Γεώργιο, Πολιτικό Μηχανικό Τ.Ε., οι οποίοι μας παρείχαν σημαντικές πληροφορίες για την εργασία. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας, για τη στήριξη που λάβαμε.

Το αντικείμενο μελέτης που θα αναπτυχθεί στην παρούσα εργασία αφορά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην προσάμμωση του κυματοθραύστη στην περιοχή των Νέων Επιβατών. Κατόπιν ανάληψης του θέματος από τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σαββίδη Ιωάννη και έπειτα από συζήτηση, σπεύσαμε στην περιοχή του έργου, με σκοπό να αντιληφθούμε να μέγεθος του προβλήματος, καθώς επίσης και να συγκεντρώσουμε φωτογραφικό υλικό, το οποίο θα διευκόλυε την εργασία. Επίσης, επισκεφθήκαμε και ήρθαμε σε επικοινωνία με αρμόδιες δημόσιες υπηρεσίες, τόσο στην περιοχή των Νέων Επιβατών όσο και στην περιοχή του Δήμου Θεσσαλονίκης, με σκοπό τη συλλογή πληροφοριών. Στη συνέχεια, έχοντας συλλέξει αρκετές πηγές από συγγράμματα, διαδίκτυο, υπηρεσίες και μηχανικούς που ασχολήθηκαν κατά καιρούς με το συγκεκριμένο έργο, ξεκινήσαμε την εκπόνηση της εργασίας.

Έτσι λοιπόν, όσον αφορά το αλιευτικό καταφύγιο των Νέων Επιβατών, αρχικά κατασκευάστηκε ένας ξύλινος πρόβολος με σκοπό τη στάθμευση και φύλαξη αλιευτικών σκαφών, στη θέση του οποίου κτίστηκε εν συνεχεία ένας νέος πρόβολος από σπλισμένο σκυρόδεμα το 1966, χωρίς να προκαλέσει ιδιαίτερα αισθητικά και περιβαλλοντικά προβλήματα στην περιοχή. Όταν όμως το 1997 κατασκευάστηκαν σε δύο φάσεις, κάθετα στην υπάρχουσα προβλήτα δύο συνεχόμενα ολόσωμα (μασίφ) επιχώματα μέσα στη θάλασσα, προκάλεσαν την εναπόθεση μεγάλων ποσοτήτων λεπτόκοκκων αμμωδών υλικών. Συνέπεια αυτού ήταν να δημιουργηθούν δύο περίπου τριγωνικές νέες επιφάνειες στεριάς εκατέρωθεν του προβόλου, σχηματίζοντας το φαινόμενο Salient. Στη περίπτωση που τα φερτά υλικά εναποτεθούν καθ' όλο το μήκος του προβόλου και η ακτογραμμή ενωθεί με τον κυματοθραύστη τότε θα παρουσιαστεί το φαινόμενο Tombolo.

Έτσι το κύριο αντικείμενό μας είναι η μελέτη των παραπάνω φαινομένων, καθώς επίσης και οι τρόποι αντιμετώπισής τους. Για την επίλυση των συγκεκριμένων φαινομένων, αναγκαίοι κρίνονται οι υπολογισμοί με σκοπό την εκτίμηση της στερεομεταφοράς (άμμου), η οποία εγκλωβίζεται εκατέρωθεν του προβόλου. Σε περίπτωση που δε βρεθούν λύσεις για την καταπολέμησή τους, θα υπάρξουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις με αντίκτυπο στη γύρω περιοχή και όχι μόνο.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

- 1.**«Λιμενικό έργο» είναι εκείνο, το οποίο εκτελείται ολικά ή μερικά στον αιγιαλό, την όχθη, την παραλία ή την παρόχθια ζώνη, μέσα στη θάλασσα, στον πυθμένα της θάλασσας και στο υπέδαφος του βυθού και η κατασκευή του συνήθως προέρχεται από σκυρόδεμα, οπλισμό ή ξύλο.
- 2.**«Φερτά υλικά» είναι τα υλικά, τα οποία μετακινούνται στον πυθμένα της θάλασσας, κυρίως κατά τον κυματισμό.
- 3.**«Πρόβολος» ή βραχίονας ορίζεται μία κατασκευή, η οποία εφάπτεται της ακτής, είναι κάθετη σε αυτή και εκτείνεται προς τη θάλασσα.
- 4.**«Κυματοθραύστης» ορίζεται μία κατασκευή, συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα, η οποία είναι παράλληλη προς την ακτή και βρίσκεται στο θαλάσσιο χώρο, χωρίς να 'ακουμπά' την ακτογραμμή. Σε αρκετές περιπτώσεις ο κυματοθραύστης ενώνεται με την στεριά μέσω προβόλου.
- 5.**«Salient» είναι το φαινόμενο, κατά το οποίο φερτά υλικά εγκλωβίζονται, δημιουργώντας έτσι δύο τριγωνικές επιφάνειες στεριάς εκατέρωθεν και κατά μήκος του προβόλου.
- 6.**«Tombole» είναι το φαινόμενο, κατά το οποίο φερτά υλικά έχουν μεταφερθεί και έχουν καταλάβει όλο το μήκος του προβόλου, ενώνοντας τη στεριά με τον κυματοθραύστη.
- 7.**«Βυθοκόρηση» ή εξάμμωση, είναι η διαδικασία κατά την οποία απομακρύνονται φερτά υλικά από ένα θαλάσσιο τμήμα και συνήθως γύρω από λιμενικά έργα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται κάποια γενικά στοιχεία της περιοχής στην οποία ανήκει το λιμενικό έργο του κυματοθραύστη, για ποιο λόγο κατασκευάστηκε, τα χαρακτηριστικά του δεδομένου έργου, το φαινόμενο salient (προσάμμωση-προώθηση της ακτής) καθώς επίσης και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του έργου στην περιοχή.

1.1. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΚΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΩΝ

Στην παράκτια ζώνη γίνεται άμεσα αντιληπτή η πολυπλοκότητα του συστήματος και επομένως της φύσης των μεταβολών και των συνεπειών τους. Μία από τις σημαντικότερες αρνητικές αλλαγές είναι η έντονη διάβρωση που παρατηρείται στις ακτές τον τελευταίο καιρό, με αποτέλεσμα να διεισδύει κατά μεγάλο ποσοστό η θάλασσα στην ξηρά. Η διάβρωση, όπως έχει σημειωθεί είναι μία φυσική διαδικασία, η οποία όμως έχει ενταθεί εξαιτίας των κατασκευών και της αστικοποίησης των ακτών. Είναι ένα φαινόμενο παγκόσμιο, το οποίο απασχολεί και την Ελλάδα σε μεγάλο βαθμό δεδομένης της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνει η ακτογραμμή της. Παρόλα αυτά, για πολλά χρόνια δεν υπήρχε καμία σοβαρή πρόνοια όσον αφορά τις ακτές, οι οποίες αντιμετωπιζόνταν ως ένα κομμάτι του περιβάλλοντος, που θα παρέμενε για πάντα αναλλοίωτο. Οι επεμβάσεις που γίνονταν μέχρι το πρόσφατο παρελθόν είχαν ως βάση την αρχή της λεγόμενης σκληρής προσέγγισης, αδιαφορώντας για τις επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον (δημιουργία κλειστών λεκανών, αισθητική όχληση). Εκτός αυτού, σε πολλές περιπτώσεις τα έργα που κατασκευάζονταν, όπως είναι οι κυματοθραύστες, για την αποκατάσταση του προβλήματος είχαν αντίθετα αποτελέσματα από τα επιθυμητά. Γενικότερα, η απουσία ενός μακροχρόνιου σχεδιασμού και μιας ικανοποιητικής νομοθεσίας καθώς και η άγνοια σε μεγάλο βαθμό, των παράκτιων φυσικών διεργασιών οδήγησαν στην παρούσα δυσμενή κατάσταση.

Σήμερα έχει καταστεί σαφές ότι η παράκτια ζώνη χρειάζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης, σε αντιπαράθεση με τις συμβατικές ή 'σκληρές' μεθόδους που χρησιμοποιούνταν μέχρι πρόσφατα, το οποίο θα συμπεριλαμβάνει όλους τους φορείς και θα αφορά όλες τις διαστάσεις του προβλήματος. Κι αυτό διότι πρόκειται για ένα ζήτημα με πολλαπλές οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές, γεωμορφολογικές προεκτάσεις. Στα πλαίσια αυτής της ολοκληρωμένης διαχείρισης έχει επικρατήσει η τάση να προτιμώνται πλέον οι ήπιες μορφές έργων προστασίας, διότι ενυπάρχει και μία ευαισθητοποίηση σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος θαλάσσιου και χερσαίου.

Οι μέθοδοι αυτές είναι περιβαλλοντικά αποδεκτές, εφόσον δεν προκαλούν σημαντικές απώλειες σε φυσικά ενδιαίτηματα και δεν εμποδίζουν με την παρουσία τους (τουλάχιστον σε μεγάλο βαθμό) τις μετακινήσεις των υδάτων και του θαλάσσιου πληθυσμού. «Σκληρές» ή συμβατικές μέθοδοι θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν οι μεγάλες κατασκευές από σκυρόδεμα ή ογκολίθους παρόμοιες με αυτές των λιμενικών έργων. Στις περιπτώσεις αυτές η προστασία της ακτής μπορεί να γίνει με την κατασκευή παράκτιου τοίχου, προβόλων και κυματοθραυστών με στέψη πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας. (Κουτσουβέλα, 2010)

1.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η ύπαρξη των κυματοθραυστών για τα οικοσυστήματα (το σύνολο των έμβιων και αβιοτικών παραγόντων) που βρίσκονται στην περιοχή αποτελεί ουσιαστικά ένα εμπόδιο, που

διακόπτει τη φυσική μετάβαση από τα βαθιά νερά στα ρηχά και επομένως αναμένεται να έχει και ορισμένες οικολογικές προεκτάσεις. Άλλωστε, ο σκοπός τους είναι να μεταβάλλουν τις υπάρχουσες γεωμορφολογικές και υδροδυναμικές συνθήκες στις προστατευόμενες περιοχές.

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις τόσο σε τοπική όσο και στην ευρύτερη κλίμακα της περιοχής είναι οι εξής:

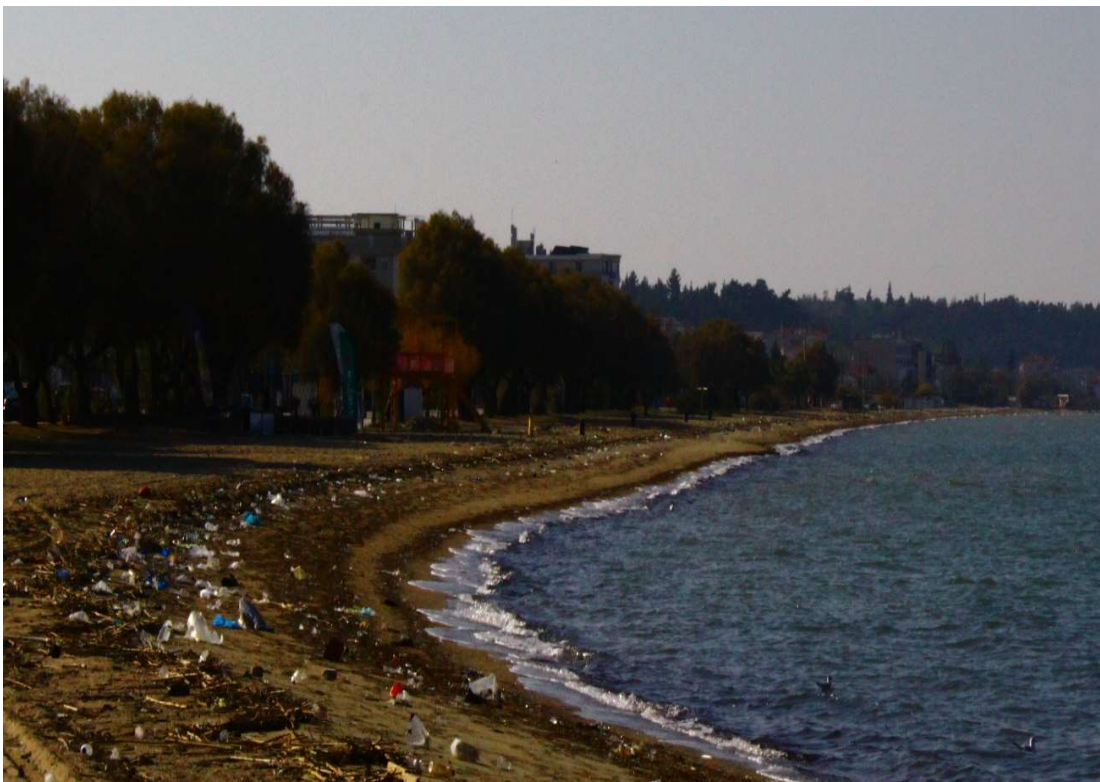
- οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των νερών αλλά και των ιζημάτων κυρίως προς τη μεριά της ξηράς μεταβάλλονται σημαντικά. Επειδή η κυκλοφορία του νερού αλλά και του οξυγόνου περιορίζεται, τα νερά γίνονται περισσότερο υπερτροφικά, φαινόμενο το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε φύκια.
- τα ενδιαιτήματα των οργανισμών μαλακού υποστρώματος καταστρέφονται ή διασπώνται διότι χάνονται τεράστιες ποσότητες σε άμμο στην περιοχή γύρω από τον κυματοθραύστη. Εξαιτίας της αλλαγής των συστατικών τόσο του νερού όσο και του ιζήματος δημιουργούνται οι συνθήκες να αναπτυχθούν άλλου είδους οργανισμοί (χλωρίδα και πανίδα) χαρακτηριστικοί των οικοσυστημάτων σε λίμνες και όχι σε θάλασσες.
- οι κυματοθραύστες αποτελούν έναν χώρο στον οποίο αναπτύσσονται οργανισμοί σκληρού υποστρώματος. Εάν πρόκειται για παραλίες, στις οποίες υπάρχουν και βραχώδεις περιοχές απλώς αλλάζει τις σχετικές συγκεντρώσεις μεταξύ των οργανισμών σκληρού και μαλακού υποστρώματος.

Αν όμως πρόκειται για καθαρά αμμώδεις παραλίες εισάγει νέα είδη, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αλλοιώσεις στα οικοσυστήματα που προϋπήρχαν. Συνεπώς και ο κυματοθραύστης στην περιοχή Νέων Επιβατών έχει προκαλέσει ορατές αλλαγές στην ακτογραμμή με σημαντικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Μεταξύ του κυματοθραύστη και της ακτής συμβαίνει αλλαγή της κατεύθυνσης και του ύψους των κυματισμών λόγω περίθλασης και ποσότητες φερτών οδηγούνται και παγιδεύονται στο τμήμα της ζώνης θραύσης πίσω από το έργο όπως προαναφέρθηκε, προκαλώντας προσάμμωση και την εμφάνιση «**salient**» που τείνει να ενώσει το έργο με την ακτή. Η δημιουργία της προσάμμωσης αυτής συνοδεύεται και από μία μεγάλη διάβρωση του τμήματος της ακτής που βρίσκεται πίσω από τα άκρα του μεμονωμένου κυματοθραύστη. Κατάντη του έργου όμως, όπως και στην περίπτωση των προβόλων, η διάβρωση είναι αναπόφευκτη. Επιπλέον οπτική όχληση αλλά και η παρεμπόδιση της ελεύθερης κυκλοφορίας των νερών προκαλεί αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ευαισθητοποίηση για την προστασία του περιβάλλοντος γενικότερα αποσκοπεί στον περιορισμό των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (διάβρωση των γειτονικών ακτών, ποιότητα νερού, αισθητική). Έτσι αντίθετα με τις παραπάνω κατασκευές έχουν εφαρμοστεί, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, περιβαλλοντικά φιλικές τεχνικές που χαρακτηρίζονται «ήπιες» μέθοδοι προστασίας ακτών. Οι μέθοδοι αυτές είναι περιβαλλοντικά αποδεκτές εφόσον δεν εμποδίζουν με την παρουσία τους (τουλάχιστον σε μεγάλο βαθμό) τις μετακινήσεις των υδάτων και του θαλάσσιου πληθυσμού και μπορούν να αποτελέσουν μία από τις λύσεις για τον περιορισμό του φαινομένου. Σημαντικό αντίκτυπο έχει και στην πανίδα αλλά και στη χλωρίδα της ακτογραμμής αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό της θαλάσσης.



Εικόνα 1 : Εγκλωβισμένα απορρίμματα στα νερά δίπλα από τον πρόβολο (05-05-2017)



Εικόνα 2 : Απορρίμματα στην ακτογραμμή κοντά στον πρόβολο (05-05-2017)



Εικόνα 3 : Μεγάλη ποσότητα εγκλωβισμένων φυκιών δίπλα από τον πρόβολο (05-05-2017)



Εικόνα 4 : Μολυσμένα νερά ανάμεσα από την προσάμωση και τον κυματοθραύστη (05-05-2017)

Όπως γίνεται αντιληπτό και από τις παραπάνω φωτογραφίες (εικόνες 1,2,3 και 4), στην περιοχή του κυματοθραύστη υπάρχει μεγάλο πρόβλημα ρύπανσης και μόλυνσης των υδάτων, καθώς παρατηρείται μεγάλη ποσότητα σκουπιδιών και το νερό δεν έχει φυσιολογικό χρώμα. Οι κάτοικοι που χρησιμοποιούν τον κυματοθραύστη ως αλιευτικό καταφύγιο, συχνά αφήνουν πίσω τους διάφορα απορρίμματα όπως μπουκάλια νερού, σακούλες, πλαστικά ποτήρια, μπιτόνια από καύσιμα για ανεφοδιασμό των σκαφών τους, τα οποία εγκαταλείπονται με κάποια ποσότητα πετρελαίου και πολλά άλλα αναλώσιμα. Τα σκουπίδια και τα φύκια εγκλωβίζονται στην περιοχή του προβόλου είτε καθώς μεταφέρονται με τον κυματισμό, είτε καθώς μεταφέρονται με τον άνεμο πάνω από τον κυματοθραύστη στα νερά. Κατά τους θερινούς μήνες κυρίως, αρκετοί είναι και οι τουρίστες οι οποίοι διασχίζουν τον κυματοθραύστη, καθώς χρησιμοποιούν τη θάλασσα συγκοινωνία με αποτέλεσμα να αφήνουν πίσω τους διαφόρων ειδών σκουπίδια. Ο όγκος επίσης των απορριμμάτων αυξάνεται από τους λουόμενους, οι οποίοι πολλές φορές αγνοώντας τους κάδους, αφήνουν πολλά από τα σκουπίδια τους στην παραλία. Το χρώμα των υδάτων οφείλεται κατά κύριο λόγο στα απόβλητα των σκαφών και στα λύματα της περιοχής που εγκλωβίζονται στα ρηχά νερά τα οποία εξαιτίας του φαινομένου salient δεν επιτρέπουν τη διέλευσή τους δεξιά και αριστερά του προβόλου. Η μόλυνση και η ρύπανση των υδάτων φυσικά με τον κυματισμό μεταφέρεται και στην ακτογραμμή.

Σε μολυσμένα από λύματα νερά η ζωή νεκρώνει και παρατηρούμε την ύπαρξη νεκρών ψαριών, η οποία προκλήθηκε από ασφυξία, καθώς τα μικρόβια στην προσπάθειά τους να αποικοδομήσουν τις τεράστιες ποσότητες οργανικού υλικού που κατέληγαν εκεί, κατανάλωσαν το υπάρχον οξυγόνο. Συνέπεια αυτού είναι η διατάραξη της βιοκοινότητας, η οποία αποτελεί το σύνολο των οργανισμών που ζουν και συνυπάρχουν λειτουργικά σε ένα οικοσύστημα ή έναν οικότοπο μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και βρίσκονται μεταξύ τους σε αλληλεξάρτηση και αλληλοεπηρεάζονται.

Μόλυνση είναι μια ειδική κατηγορία ρύπανσης, που οφείλεται σε μικροοργανισμούς. Όταν καταλήγουν στη θάλασσα βρώμικα νερά μπορεί να προκαλέσουν διάφορες μορφές ρύπανσης: για παράδειγμα, ρύπανση εξαιτίας της παρουσίας χημικών, βλαβερών ουσιών, αλλά και μόλυνση εξαιτίας της παρουσίας μικροβίων και γενικότερα παθογόνων οργανισμών στα απόβλητα.

Οι επιπτώσεις της ρύπανσης μπορεί να έχουν πολλές μορφές και να λαμβάνουν διαφορετική έκταση:

- Μείωση του οξυγόνου

Μείωση του οξυγόνου το οποίο είναι διαλυμένο στο νερό, σε αντίθεση με την ατμόσφαιρα, όπου η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι σχεδόν πάντα σταθερή και ανεξάρτητη από τη ρύπανση, τα νερά απειλούνται συχνά με πλήρη ή μερική αποξυγόνωση (αναερόβιες συνθήκες). Όσο αυξάνεται η ρύπανση των νερών, κυρίως, με οργανικές ύλες και ανεβαίνει η θερμοκρασία τους, τόσο μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο, γιατί καταναλώνεται λόγω της αερόβιας αναπνοής των μικροοργανισμών που κάνουν αποσύνθεση. Παράλληλα η μείωση του οξυγόνου οφείλεται και στην αύξηση θερμοκρασίας, λόγω της οποίας μειώνεται η διαλυτότητα των αερίων στο νερό. Όταν, λοιπόν, ρυπαίνονται τα επιφανειακά νερά με απόβλητα που περιέχουν ουσίες, που αποσυντίθενται από μικροοργανισμούς (οργανικές ύλες), εκτός των άλλων “αφαιρείται” από τα νερά και το οξυγόνο, που είναι απαραίτητο για την επιβίωση των φυτικών και ζωικών υδρόβιων οργανισμών. Οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές για τους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς, αφού κινδυνεύουν από ασφυξία.

- Ευτροφισμός των νερών

Ανάλογα αποτελέσματα για τα επιφανειακά νερά έχει και η ρύπανση με ανόργανα άλατα που περιέχουν άζωτο και φώσφορο, τα οποία περιέχονται συνήθως σε λιπάσματα, απόβλητα κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων, απορρυπαντικά και σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα. Το σημαντικότερο πρόβλημα, που δημιουργεί το άζωτο και ο φώσφορος είναι ο ευτροφισμός, δηλαδή η υπερβολική ανάπτυξη αλγών (φυτοπλαγκτόν) στα επιφανειακά νερά από την υπερβολική τροφοδοσία των νερών με θρεπτικά συστατικά. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί σοβαρή διαταραχή του υδατικού οικοσυστήματος με διάφορες δυσμενείς συνέπειες, μεταξύ των οποίων είναι η υπερβολική ανάπτυξη ορισμένων ειδών σε βάρος όλων των άλλων, η μείωση ή και εξαφάνιση της ποικιλίας ειδών με θανάτωση ή μετανάστευσή τους. Η υπέρμετρη ανάπτυξη ορισμένων ειδών και η θανάτωσή τους προκαλούν μείωση του οξυγόνου στο νερό. Όταν μειώνεται δραματικά το διαλυμένο οξυγόνο στα νερά ευνοείται η ανάπτυξη αναερόβιων βακτηριών τα οποία παράγουν υδρόθειο και συνήθως, έχουν οσμή κλούβιων αυγών.

- Ρύπανση των υδάτων

Ρύπανση των υδάτων μπορεί να θεωρηθεί οποιαδήποτε μεταβολή των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων του νερού, λόγω της παρουσίας σε αυτό ουσιών σε ποσότητα που υπερβαίνει τα φυσιολογικά όρια. Η μεταβολή αυτή μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις όχι μόνο στον άνθρωπο αλλά και σε ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς και γενικότερα να διαταράξει την ισορροπία των οικοσυστημάτων. Οι επικίνδυνες ουσίες διαλύονται στο νερό, επιπλέουν ή κατακάθονται στον πυθμένα και προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η ρύπανση διακρίνεται σε άμεση και έμμεση. Άμεση ρύπανση είναι αυτή που μπορεί να αντιληφθούμε άμεσα. Ένα παράδειγμα άμεσης ρύπανσης είναι η περίπτωση ενός ποταμού ή μιας λίμνης, όπου καταλήγουν τοξικά απόβλητα και προκαλείται άμεσος κι αιφνίδιος θάνατος ψαριών. Από την άλλη πλευρά, έμμεση ρύπανση είναι η μορφή ρύπανσης, που δεν αντιλαμβανόμαστε εύκολα, επειδή δεν είναι ορατή. Για παράδειγμα, όταν καταλήγουν σε ένα ποτάμι ή σε μια λίμνη ή στη θάλασσα λύματα ή απόβλητα, σε ποσότητες που δεν μπορούν τα υδατικά οικοσυστήματα να καθαρίσουν, είναι πολύ πιθανό να προκληθούν σταδιακά αλλαγές στα είδη που υπάρχουν σε αυτό. Ορισμένα είδη αναπτύσσονται υπερβολικά, ενώ άλλα περιορίζονται ή εξαφανίζονται (ευτροφισμός). Σε πιο προχωρημένο επίπεδο ρύπανσης, μπορεί το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο να μειωθεί και να αρχίσει η παραγωγή άλλων αερίων, επικίνδυνων για τις μορφές ζωής (υδρόθειο, αμμωνία κ).

- Απαγόρευση κολύμβησης

Σε περιοχές με ακατάλληλα ύδατα, οι αρχές υποχρεούνται να προβούν σε απαγόρευση κολύμβησης με ειδική σήμανση, καθώς η εισπνοή και η κατάποση μολυσμένου νερού μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνα προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό. Επίσης, η επαφή του με το δέρμα προκαλεί σημαντικές δερματίτιδες και σε ελάχιστες περιπτώσεις μέχρι και εγκαύματα. Επιβλαβείς ωστόσο, μπορεί να αποβεί και κατά την επαφή του με τους οφθαλμούς.

- Απαγόρευση αλιείας

Σε αντίθεση με την ατμόσφαιρα, όπου η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι σχεδόν πάντα σταθερή και ανεξάρτητη από τη ρύπανση, τα νερά απειλούνται συχνά με πλήρη ή μερική αποξυγόνωση (αναερόβιες συνθήκες). Όσο αυξάνεται η ρύπανση των νερών,

κυρίως, με οργανικές ύλες, και ανεβαίνει η θερμοκρασία τους, τόσο μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο, γιατί καταναλώνεται λόγω της αερόβιας αναπνοής των μικροοργανισμών που κάνουν αποσύνθεση. Όταν, λοιπόν, ρυπαίνονται τα επιφανειακά νερά με απόβλητα που περιέχουν ουσίες, που αποσυντίθενται από μικροοργανισμούς (οργανικές ύλες), εκτός των άλλων "αφαιρείται" από τα νερά και το οξυγόνο, που είναι απαραίτητο για την επιβίωση των φυτικών και ζωικών υδρόβιων οργανισμών. Οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές για τους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς, αφού κινδυνεύουν από ασφυξία. Έτσι, η ρύπανση με αστικά λύματα ή άλλα απόβλητα, που περιέχουν οργανικό φορτίο, μπορεί να απειλήσει με καταστροφή ένα ολόκληρο υδατικό οικοσύστημα.

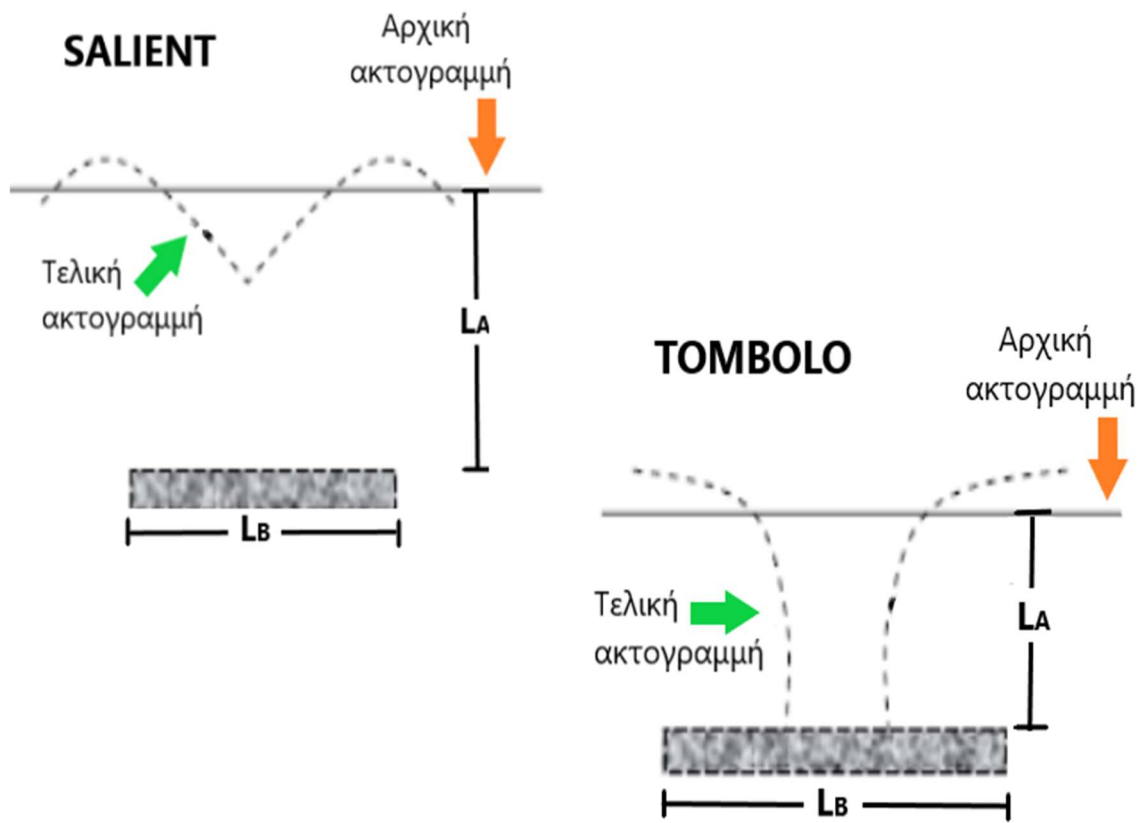
(Δύκτυο Μεσόγειος SOS, WATERSAVE - Εκπαιδευτικό πακέτο 'Εξοικονόμηση Νερού', 2011 & National Geographic, 2014)

1.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ 'salient' και 'tombolo'

Ο σχηματισμός των δύο τριγωνικών επιφανειών, είναι αποτέλεσμα συσσώρευσης και εγκλωβισμού μεγάλων ποσοτήτων φερτών υλικών. Συνεπώς μία σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξετασθεί στα πλαίσια μελέτης ενός κυματοθραύστη, είναι η μεταφορά ιζημάτων στην περιοχή που μας ενδιαφέρει. 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. Τα βασικότερα αίτια που προκαλούν την κίνηση των ιζημάτων είναι τα θαλάσσια ρεύματα και οι κυματισμοί. Οι παλίρροιες και οι άνεμοι είναι οι μηχανισμοί που προκαλούν τα κυριότερα είδη κυμάτων που είναι υπεύθυνα για μεταφορά φερτών υλών. Η εναπόθεση μεγάλης ποσότητας ιζημάτων εκατέρωθεν και κατά μήκος του προβόλου, ξεκινώντας από την ακτογραμμή και καταλήγοντας με το πέρασμα του χρόνου όλο και πιο κοντά στον κυματοθραύστη, δημιουργεί το φαινόμενο «**SALIENT**». Σε περίπτωση που οι φερτές ύλες καταλάβουν εκατέρωθεν τον πρόβολο σε όλο το μήκος του, τότε σχηματίζεται το φαινόμενο «**TOMBOLO**». Η απόθεση των φερτών υλών ανάμεσα από την ακτή και τον κυματοθραύστη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Ένας από τους κυριότερους είναι ο συσχετισμός της απόστασης της ακτής από τον κυματοθραύστη (L_A) με το μήκος του κυματοθραύστη (L_B).

Σύμφωνα με πιο σύγχρονες έρευνες και με βάση δεδομένα πεδίου και εργαστηρίου εξήχθησαν οι παρακάτω γενικοί κανόνες σχεδιασμού (Καραμπάς κ.ά. 2015):

- ❖ Το μήκος του κυματοθραύστη θα πρέπει να είναι τουλάχιστον δύο φορές το μήκος κύματος για το οποίο σχεδιάζεται.
- ❖ Εάν επιθυμείται σχηματισμός tombolo, ο κυματοθραύστης θα πρέπει να κατασκευαστεί σχετικά πλησίον της ακτής. Συγκεκριμένα, ο λόγος του μήκους του κυματοθραύστη L_B προς την απόστασή του από την ακτή L_A , θα πρέπει να είναι σχετικά μεγάλος, $L_B/L_A > 2 \sim 3$. Για μικρότερες τιμές του λόγου L_B/L_A σχηματίζεται προεξοχή, $L_B/L_A < 1,5$. Μικρότερες τιμές του λόγου, $L_B/L_A < 0,5$, οδηγούν στον σχηματισμό ασθενούς προεξοχής, ενώ για πολύ μικρές τιμές, $L_B/L_A < 0,2$, επιφέρουν ανεπαίσθητες μορφολογικές μεταβολές στην ακτή.
- ❖ Σε ένα σύστημα κυματοθραυστών, εάν η απόσταση μεταξύ των κυματοθραυστών L_g είναι μικρότερη του 80% της απόστασης από την ακτή L_A , $L_g/L_A < 0,8$, δεν θα επέλθει διάβρωση στα κενά. Για τιμές του λόγου $L_B/L_A > 0,8-1,3$ θα έχουμε μικρή διάβρωση, ενώ για μεγαλύτερες τιμές $L_g/L_A > 1,3$, η διάβρωση θα είναι σημαντική



Εικόνα 5 : Δημιουργία προεξοχής (salient) ή tombolo. (Κουτσοβέλας, , 2010)

Παρακάτω απεικονίζονται οι σχηματισμοί tombolo και salient, που εμφανίστηκαν στην τεχνητή ακτή Pedregalejo στη Μάλαγα, όταν κατασκευάστηκαν οι κυματοθραύστες της φωτογραφίας (με στέψη πάνω από το επίπεδο της θάλασσας). Αυτή η μεταβολή στη βυθομετρία γίνεται λόγω της μορφής των κυματογενών ρευμάτων που δημιουργούνται. Οι κυματισμοί προσπίπτοντας στον κυματοθραύστη χάνουν σημαντικό μέρος της ενέργειάς τους. Στα ενδιάμεσα κενά όμως οι κυματισμοί προωθούνται προς την ακτή έχοντας μεγαλύτερη ενέργεια και συνεπώς θραύονται σε μεγαλύτερα βάθη από ότι αυτοί πίσω από τον κυματοθραύστη.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται διαφορές στη στάθμη της θάλασσας κατά μήκος της ακτής που οδηγούν στην δημιουργία των κυματογενών ρευμάτων. Τα ρεύματα αυτά μεταφέρουν την άμμο (που έχει αποσταθεροποιηθεί από τους κυματισμούς) από τα ενδιάμεσα ανοίγματα προς το κέντρο, μεταβάλλοντας την αρχική βυθομετρία και δημιουργώντας μια προεξοχή ή tombolo στη 'σκιά' του κυματοθραύστη.



Εικόνα 6 : Σχηματισμοί Tombolo και Salient που εμφανίστηκαν στην τεχνητή παραλία του Pedregalejo στη Μάλαγα της Ισπανίας. (Κουτσουβέλας, 2010)

Εκείνο που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι χρειάζεται προσοχή διότι στη 'σκιά' των κυματοθραυστών γίνεται εναπόθεση υλικού, το οποίο όμως στερείται από την ακτή που βρίσκεται κατάντη με αποτέλεσμα τη διάβρωσή της. Το γεγονός αυτό οφείλεται στους σχηματισμούς προεξοχής και 'tombolo', οι οποίοι παρεμβαίνουν στη φυσική ροή του ιζήματος κατά μήκος της ακτής, κυρίως σε ακτές με μία κυρίαρχη κατεύθυνση μεταφοράς. Ειδικά, το 'tombolo' είναι μία μορφολογική μεταβολή μάλλον ανεπιθύμητη, διότι διακόπτει τελείως την παράλληλη στερεομεταφορά. Κατά τη μετάδοση των κυματισμών λαμβάνουν χώρα οι παρακάτω διεργασίες:

- Διάθλαση και περίθλαση
- Ανάκλαση λόγω της παρουσίας κατασκευών στην παράκτια περιοχή
- Μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυματισμών – μετάδοση μακρών κυματισμών
- Θραύση και αναρρίχηση

Η επίδραση του κυματοθραύστη στην ακτή και επομένως η αποτελεσματικότητά του εξαρτάται από πάρα πολλές παραμέτρους.

Οι κυριότερες από αυτές είναι :

1. απόσταση από την ακτή
2. γεωμετρικά χαρακτηριστικά (μήκος της κατασκευής, ύψος προεξοχής από τη μέση στάθμη θάλασσας, πλάτος στέψης, κλίση των πρανών)
3. συντελεστής διάδοσης
4. κλίση του πυθμένα και βάθος στο σημείο, όπου βρίσκεται η κατασκευή (έχει να κάνει κυρίως με τη διαβάθμιση των κόκκων του ιζήματος της περιοχής)
5. μέσο ύψος κύματος
6. μέση περίοδος των κυμάτων που προσπίπτουν στην κατασκευή
7. προσανατολισμός της κατασκευής
8. κυρίαρχη διεύθυνση των κυματισμών
9. χαρακτηριστικά του ιζήματος

Από όλες τις παραπάνω παραμέτρους καθοριστικό ρόλο παίζει ο συντελεστής διάδοσης που είναι ουσιαστικά το ποσοστό της ενέργειας που φτάνει στην ακτή διαπερνώντας τον κυματοθραύστη και εξαρτάται κυρίως από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του. Οι τιμές που παίρνει ο συντελεστής αυτός είναι $0 < K_t < 1$, από τις οποίες το 0 εκφράζει το γεγονός ότι το ποσοστό της ενέργειας που φτάνει στην ακτή είναι αμελητέο (αδιαπέρατος, ψηλός κυματοθραύστης), ενώ το 1 εκφράζει την απουσία του κυματοθραύστη (όλη η ενέργεια του κυματισμού φτάνει στην ακτή). Ο τύπος που περιγράφει τον συντελεστή είναι:

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

Όπου,

H_t : ύψος κύματος που μεταδίδεται κατάντη του κυματοθραύστη

H_i : ύψος κύματος που προσπίπτει

Οι κυματισμοί επεμβαίνουν στη διαδικασία της μεταφοράς με τους ακόλουθους τρόπους:

- Ανάδευση του εδαφικού υλικού και θέση του σε αιώρηση μέσω της τύρβης που εκλύεται κατά τη θραύση.
- Εφαρμογή διατμητικής τάσης στον πυθμένα μέσω της τροχιακής κίνησης των υγρών σωματιδίων.
- Δημιουργία ρεύματος κατά μήκος της ακτής στη ζώνη μεταξύ ακτογραμμής και περιοχής θραύσης των κυματισμών. Η ένταση και φορά του ρεύματος αυτού εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών στην ακτή και από την ποσότητα κίνησης που μεταφέρουν. Ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της συνολικής στερεομεταφοράς σε μία περιοχή συμβαίνει μεταξύ ακτογραμμής και ζώνης θραύσης των κυματισμών.
- Η μεταφορά φερτών υλών στην περιοχή των λιμένων, κυρίως όταν είναι κατασκευασμένοι σε αμμώδεις ακτές με έντονες στερεοπαροχές, συνεπάγεται μεγάλα προβλήματα στην απρόσκοπτη λειτουργία τους.
- Η μεταφορά οφείλεται στη συνδυασμένη επίδραση κυματισμών και ρευμάτων και έχει τη μορφή φορτίου πυθμένα ή φορτίου σε αιώρηση.
- Η θέση σε κίνηση του υλικού του πυθμένα απαιτεί μια διατμητική τάση μεγαλύτερη της κρίσιμης τ_c .
- Το αν η μεταφορά θα γίνει σε επαφή με τον πυθμένα, με κύλιση, ή μικρά άλματα σε ένα ύψος μερικών διαμέτρων κόκκου, ή μέσα στο χώρο του νερού σε αιώρηση, εξαρτάται από τη σχέση ταχύτητας καθίζησης των κόκκων και της ταχύτητας τριβής.

Τα πάσης φύσεως λιμενικά έργα που κατασκευάζονται στην παράκτια ζώνη επιφέρουν, όπως είναι φυσικό, αλλαγές στην ισορροπία του συστήματος που μπορούν να επεκταθούν σε μεγάλες αποστάσεις από τη θέση των έργων. Η διατάραξη της ισορροπίας πολλές φορές συνεπάγεται με τη διάβρωση της ακτής και αποθέσεις ιζημάτων σε λειτουργικές περιοχές. Η υδροδυναμική κατάσταση κοντά στον πυθμένα της θάλασσας, όπου συνυπάρχουν κυματισμοί και παράκτια ρεύματα αποτελεί τον ουσιαστικό παράγοντα αποσταθεροποίησης και στη συνέχεια κίνησης των κόκκων των ιζημάτων. Υπάρχει, όμως, ένα σημείο οριακό για το ίζημα, στο οποίο ξεκινά η κίνηση, που ονομάζεται κατώφλι κίνησης. Ο ορισμός του σημείου αυτού είναι πολύ σημαντικός για την περιγραφή των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη μεταφορά ιζήματος στην παράκτια ζώνη.

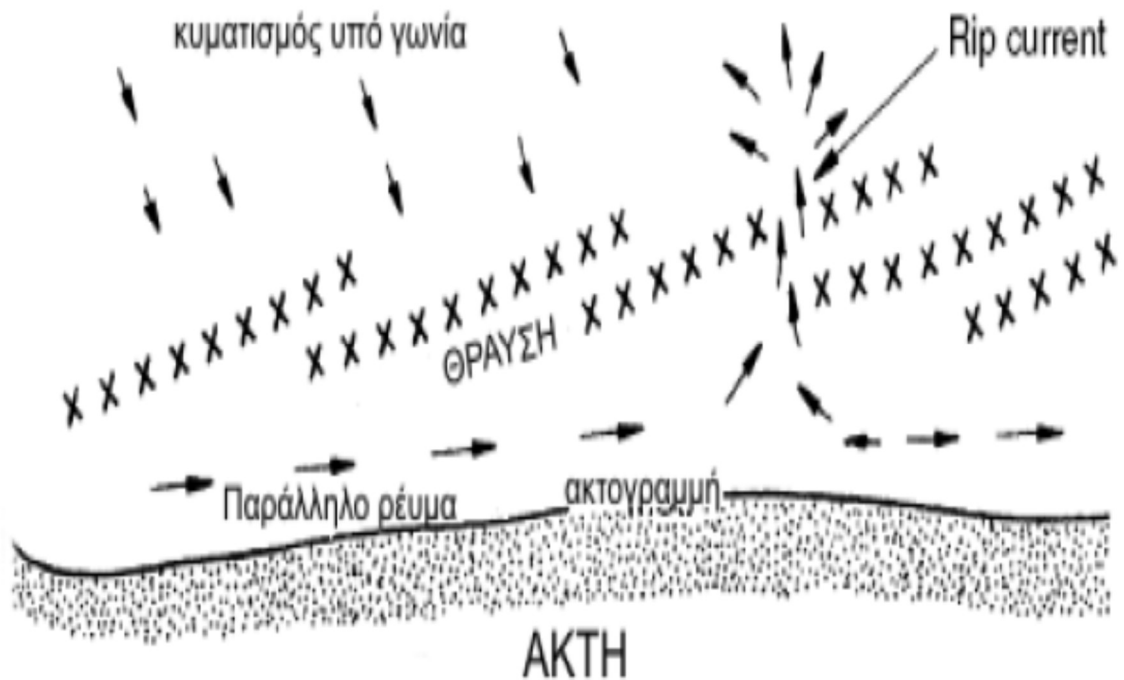
Οι δύο κυριότερες αιτίες μεταφοράς ιζήματος είναι τα κύματα που θραύονται και στη συνέχεια αναρριχώνται στην ακτή και τα ρεύματα που δημιουργούνται εξαιτίας τους στη ζώνη θραύσης. Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί με τους οποίους μεταφέρεται το ίζημα, τόσο κατά τη διεύθυνση παράλληλα όσο και κάθετα προς την ακτή. Ορισμένοι από αυτούς μεταφέρουν το ίζημα μόνο προς μία κατεύθυνση, ενώ υπάρχουν και κάποιοι που το μεταφέρουν άλλοτε προς τη μία και άλλοτε προς την άλλη, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κύματος και της ακτής.

Οι σημαντικότεροι μηχανισμοί μεταφοράς είναι οι εξής:

- Καθώς το κύμα μεταδίδεται προς την ακτή, υπάρχει μία ασυμμετρία στην ταχύτητα των σωματιδίων στον πυθμένα. Σύμφωνα με τις κλασικές μη γραμμικές θεωρίες των κυμάτων (Stokes, Cnoidal, Stream Functio), κάτω από την κορυφή του κύματος η ταχύτητα έχει κατεύθυνση προς την ακτή και είναι μεγαλύτερη σε μέτρο και μικρότερη σε διάρκεια. Ενώ κάτω από την κοιλία η ταχύτητα έχει διεύθυνση προς τα ανοιχτά και είναι μικρότερη σε μέτρο, αλλά μεγαλύτερη σε διάρκεια. Όμως, η διατμητική τάση που εφαρμόζεται στους κόκκους του ιζήματος στον πυθμένα είναι συνάρτηση της ταχύτητας στο τετράγωνο. Επομένως, ασκείται μία μεγάλη διατμητική τάση προς την ακτή και στη συνέχεια μία μικρότερη προς τα ανοιχτά, γεγονός που σημαίνει ότι η καθαρή τάση πυθμένα έχει κατεύθυνση προς την ακτή. Επιπλέον, το φαινόμενο αυτό της κίνησης του ιζήματος προς την ακτή ενισχύεται από το γεγονός ότι η διατμητική τάση πρέπει να ξεπεράσει μία ορισμένη οριακή τιμή για να μπορέσουν να κινηθούν οι κόκκοι.
- Η κλίση του πυθμένα προς τα ανοιχτά έχει ως αποτέλεσμα να ασκείται στα φερτά υλικά του πυθμένα μία βαρυτική δύναμη με μόνιμη κατεύθυνση προς τα ανοιχτά. Στην περίπτωση, όμως που το βαθυμετρικό προφίλ δεν είναι ενιαίο, αλλά διακόπτεται από ύφαλους είναι δυνατόν η βαρυτική δύναμη να ωθεί το ίζημα προς την ακτογραμμή. Επιπλέον, η δύναμη της βαρύτητας δρα ως σταθεροποιητικός παράγοντας, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα σωματίδια του ιζήματος κινητοποιούνται εφόσον:
 - α) οι δυνάμεις που σχετίζονται με την τύρβη και έχουν φορά προς τα πάνω (επιφάνεια της θάλασσας) υπερβούν το βυθισμένο βάρος των σωματιδίων και
 - β) οι διατμητικές δυνάμεις που είναι παράλληλες προς την κλίση του πυθμένα υπερνικήσουν την τριβή των σωματιδίων.
- Η δημιουργία ρευμάτων παράλληλων στην ακτή, που οφείλονται στην θραύση κυματισμών που σχηματίζουν γωνία με την ακτογραμμή, συμπαρασύρει τα φερτά υλικά σε μία κίνηση κατά μήκος της ακτής. Επίσης, η διαφορά στα ύψη κύματος κατά τη θραύση, κατά μήκος της ακτής επιφέρει μία διαφοροποίηση ως προς την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας στη ζώνη θραύσης. Εκείνη με τη σειρά της οδηγεί στον σχηματισμό ρευμάτων παράλληλων προς την ακτή και με κατεύθυνση από τις περιοχές των μεγαλύτερων υψών στα μικρότερα. Οι δύο αυτοί μηχανισμοί μπορεί να συνυπάρχουν και να έχουν τη ίδια ή αντίθετη κατεύθυνση. Αλλά γενικά η θραύση είναι ο κυριότερος από τους δύο. Επιπλέον, σε ένα κομμάτι της παραλίας, όπου αναπτύσσονται ρεύματα κατά μήκος της ακτής, δημιουργείται ανά διαστήματα ένα ρεύμα επιστροφής (rip current), που τροφοδοτείται από τα παράλληλα ρεύματα και παρασύρει τα φερτά υλικά με κατεύθυνση προς τα ανοιχτά όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 7 : Αεροφωτογραφία του Rip Current-ρεύμα επιστροφής. (Κουτσουβέλας, 2010)



Εικόνα 8 : Σχηματική απεικόνιση του Rip Current. (Κουτσουβέλας, 2010)

- Η μεταφορά μάζας νερού προς την ακτή με την επίδραση των κυμάτων έχει ως συνέπεια τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ρεύματος επαναφοράς της μάζας αυτής του νερού (undertow), που δημιουργείται κάτω από την κοιλία των κυματισμών. Το ρεύμα αυτό συμπαρασύρει τα φερτά υλικά του πυθμένα στα ανοιχτά.
- Κοντά στον πυθμένα παράγεται επίσης ένα ρεύμα εξαιτίας των μηχανισμών του κυματικού οριακού στρώματος. Το οριακό στρώμα είναι το στρώμα της ροής που βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον πυθμένα (όριο) και στο οποίο οι ταχύτητες είναι μικρότερες σε σχέση με το υπόλοιπο βάθος ροής, εξαιτίας των ιξωδών διατμητικών τάσεων. Το ρεύμα αυτό έχει την ίδια κατεύθυνση με την κατεύθυνση μετάδοσης του κυματισμού.
- Η τύρβη που δημιουργείται κατά τη θραύση των κυμάτων, έχει ως αποτέλεσμα την αιώρηση των κόκκων του ιζήματος, οι οποίοι μεταφέρονται από το τρισδιάστατο κυματογενές ρεύμα. Κάτω από τις κορυφές, αν το ίζημα αιωρείται και ο χρόνος καθίζησης του είναι μικρότερος από το ήμισυ της περιόδου του κύματος τότε η μεταφορά έχει κατεύθυνση προς την ακτή, ενώ αν είναι μεγαλύτερος από το ήμισυ έχει κατεύθυνση προς τα ανοιχτά. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται τόσο από την απόσταση πάνω από τον πυθμένα στην οποία αιωρείται το ίζημα, όσο και από την ταχύτητα καθίζησης.
- Οι ισχυροί άνεμοι που φυσάνε προς την ακτή δημιουργούν μία επιφανειακή ροή προς την ακτή, σε συνδυασμό με μία ροή στον πάτο της θάλασσας προς τα ανοιχτά. Αντίθετα, οι άνεμοι προς τα ανοιχτά δημιουργούν μία ροή στον πάτο της θάλασσας προς την ακτή. Επίσης η μεταφορά ιζήματος πραγματοποιείται προς την κατεύθυνση της ροής στον πάτο της θάλασσας.

Όλα τα παραπάνω υποδεικνύουν την πολυπλοκότητα που χαρακτηρίζει τους μηχανισμούς που συμβάλλουν στη μεταφορά ιζήματος και στον σχηματισμό του βαθυμετρικού προφίλ μίας παραλίας. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι διάφοροι αυτοί μηχανισμοί έχουν διαφορετική ισχύ, η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με τα κύματα που επικρατούν στην περιοχή και τη στάθμη του νερού. Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στον πίνακα 1, όπου αναφέρονται επιγραμματικά οι διάφοροι μηχανισμοί και η κατεύθυνση μεταφοράς στην οποία συνεισφέρουν.

Πίνακας 1 : Μηχανισμοί και κατεύθυνση της μεταφοράς μάζας

| Κατεύθυνση μεταφοράς | Μηχανισμός |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Προς την ακτή (κάθετα) | Μέση διατμητική τάση λόγω ασυμμετρίας των κυμάτων |
| Προς τα ανοιχτά (κάθετα) | Ρεύμα επαναφοράς (undertow) κάτω από την κοιλία των κυματισμών λόγω μεταφοράς μάζας προς την ακτή |
| Προς τα ανοιχτά (κάθετα) | Βαρύτητα |
| Προς την ακτή (κάθετα) | Μηχανισμοί του οριακού στρώματος |
| Παράλληλα προς την ακτή | Θραύση κυματισμών που διαδίδονται υπό γωνία προς την ακτή |
| Παράλληλα προς την ακτή | Διαφοροποίηση της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας (ΜΣΘ) λόγω της θραύσης |
| Μεταβλητή (άλλοτε προς την ακτή και άλλοτε προς τα ανοιχτά) | Άνεμοι |
| Μεταβλητή (άλλοτε προς την ακτή και άλλοτε προς τα ανοιχτά) | Διακοπτόμενη αιώρηση των κόκκων λόγω της τύρβης της θραύσης |

Η μεταφορά ιζήματος σε ένα σημείο είναι ένα διάλυμα, το οποίο συνιστάται από την παράλληλη και την κάθετη προς την ακτή μεταφορά. Τα φερτά υλικά στον πυθμένα αφού τεθούν σε κίνηση με κάποιους από τους παραπάνω τρόπους, μεταφέρονται:

- **Ως φορτίο πυθμένα**
- **Ως φορτίο υπό αιώρηση.**

Η διάκριση αυτή αν και είναι αρκετά διαδεδομένη, δεν είναι πολύ σαφής, ενώ τα όρια που τίθενται μεταξύ των δύο τρόπων είναι κάπως ανακριβή. Οι κόκκοι του ιζήματος που αναπηδούν, ολισθαίνουν ή κυλούν και βρίσκονται σε περιοδική επαφή με τον πυθμένα σχηματίζουν το φορτίο πυθμένα. Στην περίπτωση αυτή παίζουν πολύ μεγάλο ρόλο οι δυνάμεις πρόσκρουσης μεταξύ των κόκκων. Οι κόκκοι, που εισέρχονται στη στήλη του νερού και βρίσκονται σε αιώρηση μέσα σε αυτή τον περισσότερο καιρό αποτελούν το φορτίο υπό αιώρηση. Στην περίπτωση αυτή δεν παίζουν ρόλο οι δυνάμεις πρόσκρουσης, αλλά οι διαδικασίες ανάμιξης της τύρβης. Η τύρβη, που συμβάλλει στην κατακόρυφη διάχυση των φερτών σε αιώρηση, παράγεται κοντά στον πυθμένα λόγω της τριβής ή κοντά στην επιφάνεια λόγω της θραύσης των κυματισμών. Αν και ο πρώτος τρόπος αναφέρεται συνήθως σε πιο τραχείς κόκκους από ό,τι ο δεύτερος, τα δύο φαινόμενα λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Γενικά πάντως το φορτίο υπό αιώρηση συνδέεται άμεσα με τη θραύση και γι' αυτό το φαινόμενο είναι πιο έντονο στη γραμμή θραύσης για κυματισμούς κατάδυσης (plunging breakers) και στη ζώνη θραύσης για κυματισμούς υπερχειλίσης (spilling breakers). Η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων έγκειται στη μορφή του θραυόμενου κύματος. Οι κυματισμοί υπερχειλίσης αποτελούνται από κύματα με ασταθή μέτωπα που συνοδεύονται από μία αφρισμένη κορυφή, ενώ οι κυματισμοί κατάδυσης χαρακτηρίζονται από την καμπύλη που σχηματίζεται στην κορυφή τους. Στις παρακάτω εικόνες 9 και 10 φαίνονται και οι δύο τύποι θραυόμενων κυματισμών σε φωτογραφία.



Εικόνα 9 : Κυματισμός υπερχειλίσης (Κουτσοβέλας, 2010)



Εικόνα 10 : Κυματισμός κατάδυσης (Κουτσοβέλας, 2010)

Εκτός αυτών των δύο τρόπων μεταφοράς ιζήματος, υπάρχει και μία ενδιάμεση κατάσταση που ονομάζεται ροή στρώματος (sheet flow) και αναφέρεται στη ροή ενός ενιαίου στρώματος κόκκων στον πυθμένα, που έχει το πάχος πολλών διαμέτρων κόκκων ενιαίου στρώματος κόκκων στον πυθμένα, που έχει το πάχος πολλών διαμέτρων κόκκων (10-100) και πολύ υψηλές συγκεντρώσεις (>5-10%). Στο λεπτό αυτό στρώμα, παίζουν ρόλο τόσο οι δυνάμεις πρόσκρουσης όσο και οι διαδικασίες ανάμιξης τύρβης, αλλά και επιπλέον οι δυνάμεις πίεσης, που οφείλονται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του νερού και των κόκκων. Το στρώμα αυτό του πυθμένα ρευστοποιείται κάτω από την επίδραση της κυματικής κίνησης και πραγματοποιείται σημαντική μεταφορά φερτών ιδιαίτερα στη διάρκεια θύελλας, σε συνθήκες μεγάλων κυματισμών, όταν πλέον έχουν εξαφανιστεί τα αμμοκυμάτια και ο πυθμένας είναι επίπεδος.

Επίσης σημαντική για την υδρομορφοδυναμική εξέλιξη της παράκτιας περιοχής είναι η ζώνη αναρρίχησης. Στη ζώνη αυτή δημιουργούνται κύματα, τα οποία είναι δυνατόν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ιζήματος, που βρίσκονται σε αιώρηση μετά τη θραύση. Ειδικότερα σε περιοχές κοντά σε κατασκευές, ο μηχανισμός αυτός παίζει σημαντικότερο ρόλο, γεγονός που αποτελεί εξήγηση και για την έντονη διάβρωση που παρατηρείται σε ορισμένες περιπτώσεις. Επομένως, για την ολοκληρωμένη μελέτη της επίδρασης μίας κατασκευής στην περιοχή, όπου κατασκευάζεται είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί και η ζώνη αναρρίχησης. (Κουτσοβέλα, 2010 & Μέμος, 2008)

1.4. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ

Η περιοχή μελέτης υπάγεται διοικητικά στο Δήμο Θερμαϊκού και συγκεκριμένα στη Δημοτική Ενότητα Θερμαϊκού, της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας και εντοπίζεται περίπου 20 χιλιόμετρα νότια του κέντρου της πόλης της Θεσσαλονίκης (εικόνα 11).



Εικόνα 11 : Θέση του κυματοθραύστη (πηγή Google Earth 05-07-2017)

Η ιστορία της περιοχής ξεκινάει το 1923 οπότε και εγκαταστάθηκαν 1.754 πρόσφυγες από τα παράλια της Μικράς Ασίας και της Ανατολικής Θράκης. Οι πρώτοι κάτοικοι που ήρθαν μετά από τη Μικρασιατική Καταστροφή, δημιούργησαν τρεις συνοικισμούς: την Αγία Τριάδα, τους Νέους Επιβάτες και την Περαιά. Οι *Νέοι Επιβάτες* την εποχή εκείνη ήταν τούρκικο τσιφλίκι και λεγόταν «Μπαξέ Τσιφλίκι». Εκεί κατέφυγαν 159 οικογένειες, όλες προερχόμενες από τους Επιβάτες, που ήταν παράλια πόλη στα βόρεια της Προποντίδας και έδωσαν το όνομα Νέοι Επιβάτες στο συνοικισμό τους.

Η Δημοτική ενότητα Θερμαϊκού συνορεύει από τη δυτική και νοτιοδυτική πλευρά της με τη Δημοτική ενότητα Μηχανιώνας, από τη νότια πλευρά της με τη Δημοτική ενότητα Επανομής και από την ανατολική και νοτιοανατολική πλευρά της με το Δήμο Θέρμης, ενώ από τη βόρεια πλευρά της «βρέχεται» από τα νερά του Θερμαϊκού Κόλπου. Η Δημοτική ενότητα αποτελείται από τρεις Δημοτικές Κοινότητες που διασφαλίζουν θαλάσσιο μέτωπο προς το Θερμαϊκό Κόλπο και πρόκειται για τις Κοινότητες της Περαιάς, των Νέων Επιβατών και της Αγίας Τριάδας (από τα ανατολικά προς τα δυτικά), ενώ έδρα του Δήμου αποτελεί ο οικισμός της Περαιάς. Σήμερα, η πλειοψηφία των οικιστικών περιοχών του Δήμου αναπτύσσεται στο παραλιακό μέτωπο, καθώς και στις περιοχές των εγκεκριμένων σχεδίων πόλης της Άνω Περαιάς και των Άνω Νέων Επιβατών, στα νότια της εν λόγω οδού. Όσον αφορά το οδικό δίκτυο, εντός του οικισμού των Άνω Νέων Επιβατών, όλοι οι δρόμοι του οικισμού είναι πλήρως ασφαλτοστρωμένοι με πλάτος που ποικίλει. Οι υπόλοιποι δρόμοι που βρίσκονται εκτός του οικισμού είναι χωματόδρομοι αδιαμόρφωτοι και με μικρό πλάτος. Πρόκειται για ένα δίκτυο αγροτικών δρόμων που η αρχική του χρήση ήταν η πρόσβαση στους αγρούς.

Η περιοχή καλύπτεται από τον οδικό άξονα Θεσσαλονίκης – Μηχανιώνας. Ως προς τις χρήσεις γης στον οικισμό των Άνω Ν. Επιβατών κυριαρχεί η οικιστική χρήση αφού το μεγαλύτερο τμήμα του οικισμού έχει δομηθεί. Στην περιοχή του εγκεκριμένου σχεδίου των Άνω Νέων Επιβατών εντοπίζονται οι κοινόχρηστες και κοινωφελείς χρήσεις, όπως Χώρος νηπιαγωγείου, χώρος δημοτικού σχολείου, ο Ιερός Ναός της Αγίας Παρασκευής, το γήπεδο ποδοσφαίρου στην άκρη του οικισμού και ελεύθεροι χώροι πρασίνου. Οι Κεντρικές Υπηρεσίες είναι εγκατεστημένες στην έδρα του Δήμου, όπως οι Υπηρεσίες Υποστήριξης Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών.

Στην περιοχή εκτός του εγκεκριμένου σχεδίου καταγράφονται πολλές διάσπαρτες μονοκατοικίες, λίγα καλλιεργήσιμα αγροτεμάχια και πολλές χέρσες αδόμητες εκτάσεις. Επίσης μεγάλη περιοχή εντός της ενότητας καταλαμβάνουν οι χαρακτηρισμένες δασικές εκτάσεις. Τα κτίσματα που βρίσκονται στην περιοχή του εγκεκριμένου των Άνω Νέων Επιβατών είναι κατά κανόνα σε μέτρια κατάσταση όσον αφορά την ποιότητα κατασκευής τους. Όσον αφορά τον αριθμό των ορόφων τους, πρόκειται για μονοκατοικίες μονώροφες και διώροφες, και από πολυκατοικίες τριώροφες κατασκευασμένες στην πλειοψηφία τους με οπλισμένο σκυρόδεμα, κτισμένες πριν την τελευταία δεκαπενταετία. Στην εκτός σχεδίου περιοχή συνυπάρχουν μερικές σύγχρονες μονοκατοικίες καλής κατασκευής αλλά και πολλές μικρές κατοικίες πολύ κακής κατασκευής, αρκετές από αυτές λαμαρινοκατασκευές, που στερούνται οικοδομικής άδειας.

Ο Δήμος Θερμαϊκού καταλαμβάνει έκταση 133.4109 στρεμμάτων. Σύμφωνα με τα στοιχεία της τελευταίας απογραφής του 2011, ο πληθυσμός του Δήμου Θερμαϊκού είναι 50.100 κάτοικοι, και αυξήθηκε κατά 12.974 κατοίκους και ποσοστιαία κατά 34,94% από το 2001 έως το 2011. Θεμελιώδες χαρακτηριστικό του Δήμου Θερμαϊκού αποτελεί η ύπαρξη της παραθαλάσσιας ζώνης, η οποία σφραγίζει την περιβαλλοντική ταυτότητά του, προσδιορίζει τα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά του, τροφοδοτεί το αναπτυξιακό πλεόνασμα του Δήμου και εν γένει σηματοδοτεί τη γενικότερη αναπτυξιακή προοπτική του στην κατεύθυνση της βιώσιμης και αιιφόρου ανάπτυξης.

Η ύδρευση των οικισμών του Δήμου Θερμαϊκού γίνεται από γεωτρήσεις, αφού η περιοχή δεν εξυπηρετείται από το δίκτυο ύδρευσης της Ε.Υ.Α.Θ. Για τη διανομή του νερού χρησιμοποιούνται δεξαμενές, οι οποίες με τη βοήθεια αντλιοστασίων και αγωγών, συλλέγουν το νερό των γεωτρήσεων για να το διανείμουν μέσω κλειστού δικτύου αγωγών στον οικισμό των Άνω Νέων Επιβατών. Από το ίδιο δίκτυο υδροδοτούνται και άλλες περιοχές της πολεοδομικής ενότητας Π.Ε.2Α, ενώ οι περιοχές των υπόλοιπων Πολεοδομικών Ενοτήτων εξυπηρετούνται κυρίως από ιδιωτικές γεωτρήσεις.

Η αποχέτευση των λυμάτων του Δήμου Θερμαϊκού πραγματοποιείται με δίκτυο ακαθάρτων στον οικισμό των Άνω Νέων Επιβατών, το οποίο συνδέεται με τον βασικό συλλεκτήρα ακαθάρτων, ο οποίος είναι παράλληλος στον άξονα Θεσσαλονίκης – Μηχανιώνας και καταλήγει στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων στην περιοχή του Αγγελχωριού. Όσον αφορά στις περιοχές των υπόλοιπων Πολεοδομικών Ενοτήτων, η αποχέτευση των λυμάτων γίνεται με σηπτικούς ή απορροφητικούς βόθρους ενώ τα όμβρια νερά της περιοχής καταλήγουν στο Θερμαϊκό Κόλπο με ανοιχτούς αγωγούς (ρέματα). Τα απορρίμματα του οικισμού των Άνω Νέων Επιβατών καταλήγουν στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής της Μαυροράχης με απορριμματοφόρα οχήματα του Δήμου. Από την περιοχή μελέτης δεν διέρχονται πυλώνες υψηλής τάσης του δικτύου της Δ.Ε.Η. Η περιοχή μελέτης καλύπτεται από τηλεπικοινωνιακό δίκτυο.

Οι κύριοι φορείς οικονομίας της περιοχής του Δήμου *Θερμαϊκού* είναι :

Πίνακας 2 : Φορείς οικονομίας (πηγή : Site Δήμου Θερμαϊκού)

| Φορείς Οικονομίας | |
|------------------------------|----|
| Τουριστικά καταλύματα | |
| Ιχθυόσκαλα | 1 |
| Υποκατάστημα τράπεζας | 13 |
| Επαγγελματικοί φορείς | 5 |
| Αγροτικοί συνεταιρισμοί | 10 |
| Αγροτικοί σύλλογοι | 1 |
| Συνεταιρισμοί Αλιέων | 6 |
| Σύλλογοι Αλιέων | 4 |

Από τον πίνακα 2 γίνεται αντιληπτό το γεγονός πως ο πρόβολος-κυματοθραύστης παίζει σημαντικό ρόλο στους κατοίκους καθώς υπάρχουν 6 συνεταιρισμοί αλιέων και 4 σύλλογοι αλιέων.

1.5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

Στους Νέους Επιβάτες υπήρχε αρχικά μία ξύλινη προβλήτα που εξυπηρετούσε την τοπική κοινότητα αλιείας, χωρίς να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της περιοχής. Ο δεδομένος κυματοθραύστης που θα αναλυθεί παρακάτω, πήρε την σημερινή του μορφή το 1997 με σκοπό να λειτουργεί ως αλιευτικό καταφύγιο για τα σκάφη που χρησιμοποιούν οι ψαράδες και οι κάτοικοι της περιοχής.

Αργότερα αποτέλεσε μία από τις 6 στάσεις της «Θαλάσσιας Αστικής Συγκοινωνίας Θεσσαλονίκης» (Θ.Α.Σ.Θ.) για την παραβολή των σκαφών και την αποβίβαση και επιβίβαση των επιβατών.



Εικόνα 12 : Ο κυματοθραύστης των Ν. Επιβατών.

Παρεμβάσεις κατά της διάβρωσης σε ακτές του Δήμου Θερμαϊκού. Διαθέσιμο σε : <http://www.typosthes.gr/gr/topika/article/154348/thessaloniki-paremvaseis-kata-tis-diaavrosis-se-aktes-tou-dimou-thermaikou/>

Η δεδομένη κατασκευή χωροθετείται στην περιοχή Νέων Επιβατών της Περαιάς και αποτελείται από τον βραχίονα και τον κυματοθραύστη (εικόνα 12). Ο βραχίονας ή πρόβολος, κατασκευάστηκε στο θαλάσσιο βόρειο μέτωπο του οικισμού και το 1966-1967-1968 πήρε την τελική της μορφή, από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς στα πρώτα χρόνια ήταν ξύλινος. Ο βραχίονας ξεκινάει από το πέρασ του παραλιακού πεζοδρομίου της οδού Κουντουριώτου (ζώνη αιγιαλού) και εισχωρεί στη θάλασσα (θαλάσσια ζώνη). Το αρχικό μήκος το οποίο εκτείνονταν στη θαλάσσια ζώνη έφτανε τα 120 m και το πλάτος του περίπου τα 3,50 m. Αργότερα έγινε επέκτασή του κατά 55 m, συνεπώς το σημερινό μήκος του βραχίονα, ο οποίος φαίνεται στην εικόνα 13, φτάνει τα 175 m με επιφάνεια 612,50 m². Επίσης, το τμήμα του που ανήκει στη ζώνη αιγιαλού έχει μήκος 13,50 m και επιφάνεια 47,25 m².



Εικόνα 13 : Σημείο ένωσης του προβόλου με τον κυματοθραύστη (05-05-2017)

Ο βραχίονας κατασκευάστηκε πάνω σε κολώνες, οι οποίες διακρίνονται στην εικόνα 14, διατεταγμένες σε δύο παράλληλες σειρές που απέχουν μεταξύ τους περίπου όσο το πλάτος της προβλήτας, δηλαδή 3,50 m. Σε κάθε σειρά οι κολώνες (πάσσαλοι) εδράζονται στον πυθμένα της θάλασσας με ορθογωνική διατομή, διαστάσεων (0,35 m x 0,35 m) από οπλισμένο σκυρόδεμα και απέχουν οριζοντίως μεταξύ τους 3 m. Προεξέχουν από την επιφάνεια της θάλασσας περίπου 1 έως και 1,5 m. Πάνω σ' αυτές τις κολώνες εδράζεται η προβλήτα, αφήνοντας κάτω από αυτή το χώρο μεταξύ των κολωνών ελεύθερο για τα θαλάσσια ρεύματα και τον κυματισμό. Η ανωδομή της προβλήτας αποτελείται από συνεχείς και διαδοχικές τετραέριστες πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 20 cm και διαστάσεων (3 m x 3 m) που στηρίζονται περιμετρικά σε δοκούς διαστάσεων (0,60 m x 0,25 m).



Εικόνα 14 : Κολώνες πάνω στις οποίες εδράζεται η προβλήτα (05-05-2017)

Αρμοί πάχους 2 m υπάρχουν στο σκυρόδεμα της ανωδομής ανά 30 m. Σε όλο το μήκος της η προβλήτα φέρει δέστρες (εικόνες 15 και 16) για την εξυπηρέτηση των ελλιμενιζόμενων σκαφών.



Εικόνα 15 : Δέστρες κατά μήκος της προβλήτας (05-05-2017)



Εικόνα 16 : Δέστρες κατά μήκος της προβλήτας (05-05-2017)



Εικόνα 17 : Σκάλα της προβλήτας (05-05-2017)

Για τον ίδιο λόγο κατασκευάστηκαν και σκάλες από οπλισμένο σκυρόδεμα στη δυτική πλευρά της προβλήτας οι οποίες σήμερα έχουν πρόσβαση στο έδαφος και όχι στη θάλασσα, εξαιτίας της προσάμμωσης, όπως γίνεται αντιληπτό στην εικόνα 17.

Ο ηλεκτροφωτισμός πραγματοποιείται με επτά χαλύβδινους ιστούς φωτισμού, (εικόνα 18) ύψους 3 μέτρων, τοποθετημένους στην αριστερή πλευρά της προβλήτας με μέτωπο προς τη θάλασσα, ανά 25 m περίπου.



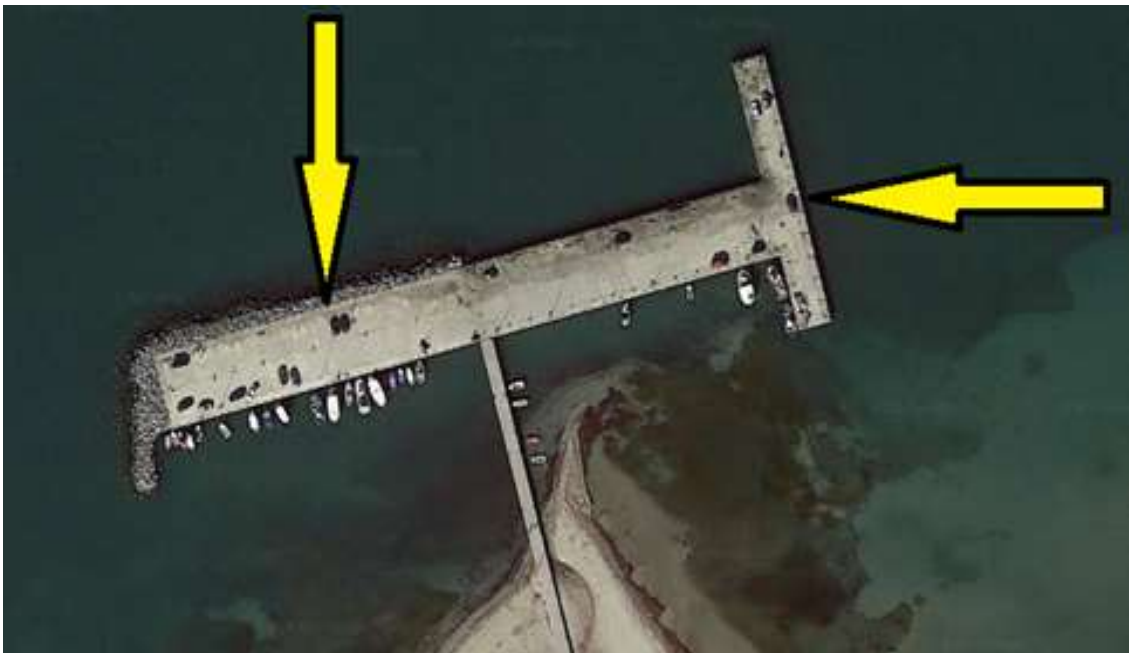
Εικόνα 18 : Χαλύβδινος ιστός φωτισμού της προβλήτας (05-05-2017)

Το τεχνικό έργο εξυπηρετεί τη διοχέτευση των όμβριων υδάτων που καταλήγουν από την οδό 25ης Μαρτίου προς τη θάλασσα. Πρόκειται για κανάλι εκτόνωσης των όμβριων υδάτων, μήκους 9,85 m και πλάτους 0,70 m (εξωτερικές διαστάσεις) και εγκιβωτισμένο σε σκυρόδεμα αγωγό όμβριων υδάτων, μήκους 7,64 m.

Αυτού του τύπου ο πρόβλος δεν προκάλεσε αισθητά και με εμφανείς συνέπειες προβλήματα προσάμμωσης ή διάβρωσης. Όμως το 1997 στη Σκάλα των Νέων Επιβατών κατασκευάστηκαν, σε δύο φάσεις, κάθετα στην υπάρχουσα προβλήτα, δύο συνεχόμενα ολόσωμα (μασσίφ) επιχώματα μέσα στη θάλασσα (κυματοθραύστης) , έτσι ώστε να δημιουργηθεί αλιευτικό καταφύγιο. Το μικρό αυτό λιμενικό έργο-θαλάσσιο μασσίφ επίχωμα, διατάραξε έντονα την ευπαθή ισορροπία του θαλάσσιου και παράκτιου περιβάλλοντος της περιοχής. Το ολόσωμο μεγαλύτερο επίχωμα (εικόνα 19) που εφάπτεται του προβόλου έχει διαστάσεις 176,00 m x 19,00 m και επιφάνεια 3.344,00 m² , ενώ το μικρότερο επίχωμα έχει διαστάσεις 71,00 m x 9,00 m με επιφάνεια 639,00 m² (σύμφωνα με μέτρηση από το Google Earth). Συνεπώς το συνολικό μήκος του κυματοθραύστη φτάνει τα 185 m.



Εικόνα 19 : Πανοραμική όψη του κυματοθραύστη από την αρχή του προβόλου (05-05-2017)



Εικόνα 20 : Μασίφ επιχώματα (πηγή Google Earth)

Ο κυματοθραύστης μήκους $L_B = 185$ m (εικόνα 20), βρίσκεται σε απόσταση $L_A = 175$ m από την ακτογραμμή, σε βάθος 3,20 m και προεξέχει από τη στάθμη της θάλασσας κατά 1,10 m. Συνεπώς το συνολικό ύψος του κυματοθραύστη φτάνει τα 4,30 m. Επίσης ο λόγος L_B/L_A είναι $185/175=1,05 < 1,5$ που δηλώνει δημιουργία προεξοχής (salient).

Η κατασκευή του λιμενικού έργου είχε ως αποτέλεσμα την απόθεση τεράστιων ποσοτήτων λεπτόκοκκων αμμωδών υλικών, την προσάμμωση με αυτά μεγάλης έκτασης εκατέρωθεν της αρχικής προβλήτας και την μετατροπή της έκτασης αυτής σε στεριά. Μέσα στα

επόμενα δεκατέσσερα χρόνια από την κατασκευή του καταφυγίου, στη θέση της προβλήτας η προσάμμωση έφθασε στα 135 m από την αρχική ακτογραμμή από την οποία “ξεκινούσε” η προβλήτα. Δημιουργήθηκαν με τον τρόπο αυτό δύο, περίπου τριγωνικές, νέες επιφάνειες στεριάς όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 21, από τα υλικά της προσάμμωσης και προφανώς μείωση του βάθους της θάλασσας μέσα στο υπόλοιπο αλιευτικό καταφύγιο (εικόνες 22, 23 και 24).



Εικόνα 21 : Σχηματισμός νέων επιφανειών στεριάς-φαινόμενο salient το 2011 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 22 : Νέα επιφάνεια στεριάς Ανατολικά του προβόλου (05-05-2017)



Εικόνα 23 : Νέα επιφάνεια στεριάς Δυτικά του προβόλου (05-05-2017)



Εικόνα 24 : Νέες επιφάνειες στεριάς εκατέρωθεν του προβόλου (05-05-2017)

Πληροφορίες

Πηγή : Αποκεντρωμένη διοίκηση Μακεδονίας-Θράκης, Δρ. Ε. Ευθυμιάδης, 2017 & Μελέτη πριν από 9 χρόνια για διάβρωση-προσάμμωση ακτών Θερμαϊκού. Διαθέσιμο σε :

<http://farosthermaikou.blogspot.gr/2015/02/9.html>

1.6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΑΔΡΟΜΟΥ ΤΟΥ ΑΕΡΟΛΙΜΕΝΑ «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ» ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΕΡΑΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΕΠΙΒΑΤΩΝ

Ο Διεθνής Κρατικός Αερολιμένας Θεσσαλονίκης «Μακεδονία» βρίσκεται 15 km νοτιοανατολικά από την πόλη της Θεσσαλονίκης, στο Δήμο Θέρμης. Το 1958 ο διάδρομος 10/28 ανακατασκευάστηκε και επεκτάθηκε σε συνολικό μήκος 2.440 m.

1.6.1. ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΙΑΔΡΟΜΟΥ 10/28 ΤΟΥ ΑΕΡΟΛΙΜΕΝΑ «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ» Β.Α. ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΕΠΙΒΑΤΩΝ

Για να μπορεί το Αεροδρόμιο Μακεδονία να δέχεται υπερατλαντικές πτήσεις, το μήκος του διαδρόμου πρέπει είναι 3,4 km. Συνεπώς στις 31 Οκτωβρίου 2005 υπεγράφη η πρώτη σύμβαση για την επέκταση κατά περίπου 1.000 m στη θάλασσα (εικόνα 25) με ανάδοχο του έργου την Κ/Ξ ΑΚΤΩΡ-ΑΘΗΝΑ ΑΤΕ.



Εικόνα 25 : επέκταση 1 km του αεροδιαδρόμου 10/28 του αερολιμένα Μακεδονίας.
Πηγή : Διαδικτυακή εγκυκλοπαίδεια ελεύθερου περιεχομένου Wikipedia. Διεθνής κρατικός αερολιμένας Θεσσαλονίκης «Μακεδονία».

Οι εκτιμήσεις της μελέτης του έργου ήταν πέρα για πέρα λανθασμένες, όπως υποστηρίζουν μηχανικοί που γνωρίζουν εκ των έδων την κατάσταση. Προβλεπόταν τρίμηνο για την ανάληψη των καθιζήσεων, ανά τμήμα και υπήρξε περίπτωση που απαιτήθηκαν 40 μήνες, ενώ σε πολλά τμήματα της επέκτασης, χρειάστηκαν 12 ως και 24 μήνες για να

συμπυκνωθούν οι επιχώσεις (εικόνα 26) στο θαλάσσιο τμήμα μήκους 1.064 m και πλάτους 450 m.



Εικόνα 26 : Επιχώσεις στο θαλάσσιο τμήμα για την επέκταση στου αεροδιαδρόμου 10/28
Πηγή : Αγώνας δρόμου για να παραδοθεί ο διάδρομος 10/28 του «Μακεδονία»
<https://www.voria.gr/article/agonas-dromou-gia-na-paradothi-o-diadromos-1028-tou-makedonia>

Παράλληλα, υπήρξε σοβαρή εμπλοκή λόγω εύρεσης οβίδων από τον Β` Παγκόσμιο Πόλεμο πράγμα που οδήγησε την ΕΤΕΘ σε αίτηση διάλυσης της εργολαβίας που όμως τελικά απεφεύχθη. Η απόκλιση μεταξύ των εκτιμήσεων της μελέτης και της πραγματικότητας, ήταν τεράστια και έκανε αναπόφευκτες τις καθυστερήσεις. Οι δυσκολίες στη σταθεροποίηση της επέκτασης, συνεπάγονταν τη χρήση πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων υλικών επίχωσης και τη δέσμευση, προσωπικού και μηχανημάτων στο έργο, για πολύ μεγαλύτερο χρόνο. Συνεπώς από τις 27.7.2011 η εγκεκριμένη ημερομηνία περαίωσης μεταφέρθηκε στις 31.12.2018, με υπέρβαση του χρόνου κατασκευής κατά έξι έτη.

Η σταθεροποίηση του διαδρόμου επιτεύχθηκε το Μάϊο του 2018, με συμπύκνωση και αυτοσυμπύκνωση των υλικών και με υπερταχείς ρυθμούς συνεχίζουν τα υπόλοιπα έργα για να παραδοθεί ο αεροδιάδρομος 10/28 (εκτεταμένος στα 3.440 μέτρα) τέλος του 2018, ενώ αρχές Μαρτίου του 2018 είχε ολοκληρωθεί και η αναβάθμιση του χερσαίου τμήματος του διαδρόμου. Όταν ολοκληρωθεί η επέκταση του αεροδιαδρόμου 10/28, ο διάδρομος θα μπορεί να εξυπηρετεί το 89,6% των υφισταμένων τύπων αεροσκαφών, όταν σήμερα μπορεί να εξυπηρετεί το 22,6%. Σύμφωνα με απόφαση του Υπουργείου Υποδομών το έργο παίρνει παράταση και η νέα ημερομηνία ολοκλήρωσης ορίστηκε στις 31.12.2018. Αυτό σημαίνει πως η λειτουργία του νέου διαδρόμου θα ξεκινήσει από το 2019, εφόσον βεβαίως δεν υπάρξουν και άλλες καθυστερήσεις.

Αεροδρόμιο Μακεδονία : Το 2019 μεταφέρεται η λειτουργία του νέου “υπερατλαντικού” διαδρόμου Διαθέσιμο σε : <https://www.ypodomes.com/index.php/limania-aerodromia/aerodromia/item/44787-aerodromio-makedonia-to-2019-metaferetai-i-leitourgia-tou-neou-yperatlantikoy-diadromou>

Αγώνας δρόμου για να παραδοθεί ο διάδρομος 10/28 του «Μακεδονία» . Διαθέσιμο σε: <https://www.voria.gr/article/agonas-dromou-gia-na-paradothi-o-diadromos-1028-tou-makedonia>

Διαδικτυακή εγκυκλοπαίδεια ελεύθερου περιεχομένου Wikipedia. Διεθνής κρατικός αερολιμένας Θεσσαλονίκης «Μακεδονία». Διαθέσιμο σε : https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B5%CE%B8%CE%BD%CE%AE%CF%82_%CE%9A%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B1%CF%82_%CE%98%CE%B5%CF%83%CF%83%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CE%AF%CE%BA%CE%B7%CF%82_%C2%AB%CE%9C%CE%B1%CE%BA%CE%B5%CE%B4%CE%BF%CE%BD%CE%AF%CE%B1%CF%82

1.6.2. ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΙΑΔΡΟΜΟΥ 10/28

Με μελέτη που είχε συντάξει πριν από δώδεκα (12) χρόνια (το έτος 2006) ο καθηγητής Υδρογεωλογίας και Τεχνικής Γεωλογίας στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιωάννης Κουμαντάκης, επισήμανε το μέγεθος του τεράστιου προβλήματος, που είχε ήδη δημιουργηθεί μέχρι τότε, το 2006, στις ακτές του Θερμαϊκού, αλλά και τις προβλέψεις του για τη διόγκωση της διάβρωσης και της προσάμμωσης τα επόμενα χρόνια.

Εξαιτίας της επέκτασης του διαδρόμου προσαπογειώσεων αεροσκαφών 10-28 του Διεθνούς Αερολιμένα Θεσσαλονίκης «Μακεδονία» στη θάλασσα κατά 1 km, όπως φαίνεται και στην εικόνα 27, θα πραγματοποιείται διάβρωση της ακτής 2-3 m ετησίως, δηλαδή η ακτογραμμή θα μετατοπίζεται εις βάρος της στεριάς και η θάλασσα θα προελαύνει αντίστοιχα μέτρα προς αυτήν, στο τμήμα από τη Σκάλα Περαιάς (κυματοθραύστης) έως τις κεραιές της ΕΤ-3.

Σε όλο το μήκος του εν λόγω τμήματος το προς διάβρωση υλικό είναι στο σύνολό του λεπτόκοκκη έως μεσόκοκκη, ασύνδετη χωρίς συνοχή, άμμος, πλούσια σε μικρά θαλάσσια κοχύλια και θραύσματα αυτών. Η διάβρωση των παράκτιων αυτών υλικών είναι ιδιαίτερα εύκολη, καθώς και η μεταφορά τους και απόθεσή τους σε άλλες θέσεις.

Με τα χαρακτηριστικά αυτά των προς διάβρωση υλικών, η ως άνω πρόβλεψη του μαθηματικού μοντέλου για διάβρωση 2-3 m ετησίως, είναι πολύ πιθανόν να αποδειχθεί ιδιαίτερα συντηρητική. Στην περίπτωση αυτή, αλλά ακόμη κι αν η πρόβλεψη είναι ακριβής, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (2 έως 4 ετών) η αμμώδης παράκτια λωρίδα σε όλο της το μήκος, από τη Σκάλα της Περαιάς έως και τις Κεραιές της ΕΤ-3 και σε πλάτος μεγαλύτερο των 10 m θα έχει εξαφανισθεί από τη διάβρωση. Με δεδομένη την διαμορφωμένη κατάσταση στην παραλία σε όλο το μήκος της δομημένης ζώνης της Περαιάς, η αμμώδης έκταση έχει πλάτος της τάξης των 10 m. και στην ακραία της λωρίδα στα νότια αυτής έχει διαμορφωθεί ο παραλιακός πεζόδρομος της οδού Ακτής.



Εικόνα 27 : Επέκταση αεροδιαδρόμου στο θαλάσσιο χώρο (πηγή Google Earth 05-11-2018)

Ο μεγάλου μήκους αυτός παραλιακός πεζόδρομος, που τα ολοκληρωμένα τμήματά του αποτελούν σήμερα ό,τι ωραιότερο μπορεί να απολαύσει κάποιος, με ολόκληρο τον κόλπο της Θεσσαλονίκης, την πόλη της Θεσσαλονίκης, το Χορτιάτη και την ύπαρξη κάθε είδους έργων και καταστημάτων αναψυχής, αθλητισμού, κ.τ.λ., κινδυνεύει στο μέλλον να αλλοιωθεί εξαιτίας διάβρωσης. Στον πεζόδρομο της οδού Ακτής υπάρχουν σήμερα ξενοδοχεία, εστιατόρια, ταβέρνες, κέντρα διασκέδασης, μπαρ, αθλητικές εγκαταστάσεις, πλατείες, μικρά λιμενικά και παράκτια έργα, κ.ά.

Αν καθυστερήσουν να ληφθούν κατάλληλα μέτρα αντιδιαβρωτικής προστασίας, ο πεζόδρομος της οδού Ακτής στην παραλία της Περαιάς θα καταστραφεί και θα αρχίσουν να διαβρώνονται οι ζώνες θεμελίωσης των πολυάριθμων κτηρίων που βρίσκονται σ' αυτήν. Είναι προφανές ότι πρέπει να παρθούν μέτρα προστασίας από τη διάβρωση που θα αλλοιώσουν τη χρήση αυτής της παραλίας, η οποία σήμερα αποτελεί ζώνη κολύμβησης και αναψυχής.

Η ετήσια διάβρωση στην παράκτια λωρίδα από τον κυματοθραύστη των Νέων Επιβατών μέχρι και τις Κεραίες της ΕΤ-3, θα επηρεάσει κατά συνέπεια και την ετήσια προσάμμωση κυρίως στην Ανατολική πλευρά του λιμενικού έργου.

Πηγή : Μελέτη πριν από 9 χρόνια για διάβρωση-προσάμμωση ακτών Θερμαϊκού. Ιωάννης Κουμαντάκης

1.7. Ο ΚΥΜΑΤΑΘΡΑΥΣΤΗΣ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Ο κυματοθραύστης Ν. Επιβατών εκτός από αλιευτικό καταφύγιο της περιοχής αποτελεί και μία από τις στάσεις της «**Θαλάσσιας Αστικής Συγκοινωνίας Θεσσαλονίκης**». Η Θαλάσσια Αστική Συγκοινωνία Θεσσαλονίκης (ΘΑΣΘ) έχει αναπτυχθεί στην Περιφερειακή Ενότητα Θεσσαλονίκης της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας. Οι 4 στάσεις της ΘΑΣΘ χωροθετούνται επί του παραλιακού μετώπου των Δήμων Θεσσαλονίκης, και Θερμαϊκού.

Η θαλάσσια αστική συγκοινωνία έχει αποτελέσει μία σημαντική εναλλακτική μορφή αστικής συγκοινωνίας, η οποία λειτουργεί σε συνδυασμό και συμπληρωματικά των υπόλοιπων δικτύων μέσων μαζικής μεταφοράς της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης. Παράλληλα η ΘΑΣΘ θα ενισχύσει τη στενή σχέση της πόλης της Θεσσαλονίκης με τη θάλασσα, προσφέροντας τακτικά δρομολόγια μεταξύ επιλεγμένων σημείων κατά μήκος των ανατολικών ακτών του Κόλπου Θεσσαλονίκης, όπου αναπτύσσεται το μητροπολιτικό κέντρο της Θεσσαλονίκης και ορισμένες από τις σημαντικότερες προαστιακές οικιστικές περιοχές αυτού.

Έως σήμερα η ΘΑΣΘ περιλαμβάνει τις ακόλουθες στάσεις:

1. στάση στο Λιμάνι της Θεσσαλονίκης
2. στάση στο Λευκό Πύργο
3. στάση στην την Περαιά και
4. στάση στους Νέους Επιβάτες

Η Στάση 4 «Νέοι Επιβάτες» χωροθετείται στην κεφαλή του προβλήτα σχήματος «Τ» (κυματοθραύστη) που έχει κατασκευαστεί παράλληλα και σε απόσταση από το παραλιακό μέτωπο του ομώνυμου οικισμού.

Site Δήμου Θερμαϊκού

1.8. ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΣΑΜΩΣΗΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΕΙ

Το μικρό αυτό λιμενικό έργο - θαλάσσιο μασίφ επίχωμα (κυματοθραύστης), όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, έχει οδηγήσει στην μεταφορά και απόθεση τεράστιων ποσοτήτων λεπτόκοκκων αμμωδών υλικών, την προσάμμωση με αυτά μεγάλης έκτασης εκατέρωθεν της αρχικής προβλήτας και την μετατροπή της έκτασης αυτής σε στεριά. Δημιουργήθηκαν με τον τρόπο αυτό δύο, περίπου τριγωνικές, νέες επιφάνειες στεριάς από τα υλικά της προσάμμωσης και προφανώς μείωση του βάθους της θάλασσας μέσα στο υπόλοιπο αλιευτικό καταφύγιο. Ο μέσος ρυθμός προσάμμωσης (τα πρώτα χρόνια) ήταν περίπου της τάξης των 40 μέτρων ετησίως. Η κατάσταση αυτή, που πέραν της προσάμμωσης είχε ως αποτέλεσμα και τη μείωση της έκτασης του αλιευτικού καταφυγίου και άρα ελάττωση της χωρητικότητάς του σε αλιευτικά και άλλα σκάφη, οδήγησε την Τεχνική Υπηρεσία της Νομαρχίας Θεσσαλονίκης να συντάξει μελέτη για εξάμμωση και να εκτελέσει σχετική εργολαβία για την αφαίρεση μέρους της άμμου που είχε αποτεθεί.

1.8.1. ΠΡΩΤΗ ΕΞΑΜΜΩΣΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΒΟΛΟ-ΓΕΦΥΡΑ

Η εργολαβία αυτή εκτελέστηκε το έτος 2000 με εργολάβο του έργου τον κ. Καματάκη. Αφαιρέθηκαν με εκσκαφές 120.000 m³ άμμου και απομακρύνθηκαν από την περιοχή. Η αφαίρεση αυτή, μείωσε την έκταση της επιφάνειας προσάμμωσης κατά ένα μικρό μέρος. Στη κεντρική ζώνη αυτής, που αντιστοιχεί στην παλαιά προβλήτα, τα 120 m που είχαν προσαμμωθεί, μειώθηκαν κατά 30-35 m από την αφαίρεση της άμμου των 120.000 m³. Απ' αυτό προκύπτει ότι την πρώτη τριετία τα υλικά προσάμμωσης ήταν της τάξης των 500.000 m³.

1.8.2. ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΞΑΜΜΩΣΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΒΟΛΟ-ΓΕΦΥΡΑ

Το φαινόμενο της προσάμμωσης άρχισε να ξαναδημιουργείται και μετά την εξάμμωση. Εντός της 5ετίας περίπου που μεσολάβησε από τον καθαρισμό (εξάμμωση) του 2000, η συνεχιζόμενη προσάμμωση ξαναγέμισε το χώρο που είχε εξαμμωθεί και άρχισε να προωθείται η δημιουργία νέας στεριάς και πέρα των 120 m από την αρχική θέση της ακτογραμμής. Ο

ρυθμός προσάμμωσης μειώθηκε σε σχέση με την πρώτη 3ετία (2000-2003), παρέμενε όμως ακόμη αρκετά υψηλός και σε μέση ετήσια βάση είναι της τάξης των 7 μέτρων (35 m νέας προσάμμωσης εντός 5ετίας). Την περίοδο 2000-2005 αποτέθηκαν περί της 150.000 m³ άμμου.

Έκτοτε δεν έγινε κάποια ενέργεια εξάμμωσης μέχρι τον Σεπτέμβρη του 2017, καθώς με την φυσική καταστροφή που έλαβε χώρα στην περιοχή του Δήμου Θερμαϊκού την 6-7η Σεπτεμβρίου 2016, είχε ως συνέπεια την κήρυξη του δήμου σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Μία από τις συντελεσθείσες βλάβες που υπέστη ο δήμος ήταν και η συσσώρευση μεγάλης ποσότητας άμμου και φερτών υλικών στον πυθμένα του αλιευτικού καταφυγίου με αποτέλεσμα αυτό να καταστεί μη λειτουργικό. Η άμμος που μεταφέρθηκε εκεί προήλθε από την εντονότατη διάβρωση των γύρω ακτών. Λόγω της συσσώρευσης άμμου και της επιπλέον φόρτισης από αυτήν υπήρξε εμφανής καθίζηση στον λιμενοβραχίονα.

Το γεγονός αυτό προκάλεσε πολύ μεγάλη αρνητική επίπτωση στην κοινότητα αλιέων της περιοχής καθώς οι θέσεις ελλιμενισμού πρόσδεσης κατά τους χειμερινούς μήνες είχε μειωθεί κατά 90%. Παράλληλα υπήρχε άμεσα κίνδυνος για το έργο στο σύνολό του καθώς ήταν αναμενόμενο να καταστραφεί πλήρως ο κάθετος προβλήτας- κυματοθραύστης στο ΒΑ άκρο του (εικόνα 28 και εικόνα 29), στον οποίο εμφάνιζε πολύ μεγαλύτερη καθίζηση και με τις κατάλληλες ενέργειες σταθεροποιήθηκε.

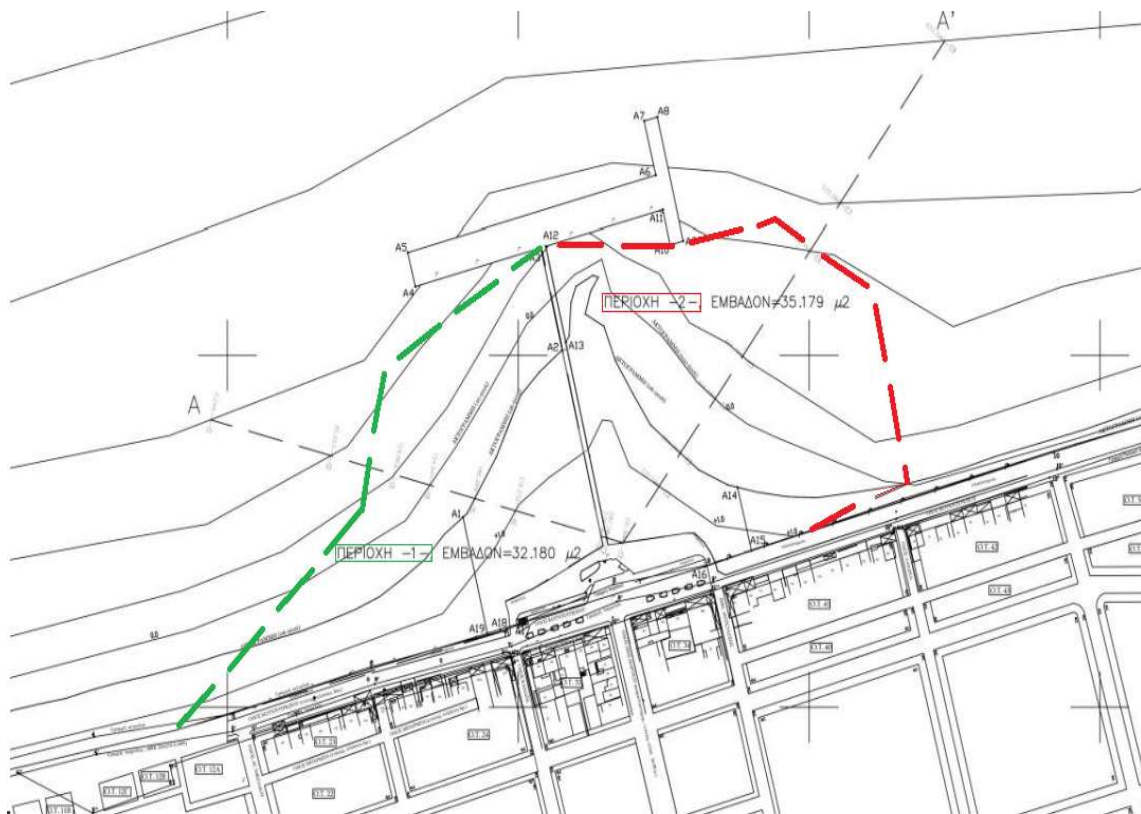


Εικόνα 28 : Η θέση του κάθετου προβλήτα στον κυματοθραύστη που παρουσιάζει καθίζηση
Πηγή : Τσεμπεκίδης, 2017.

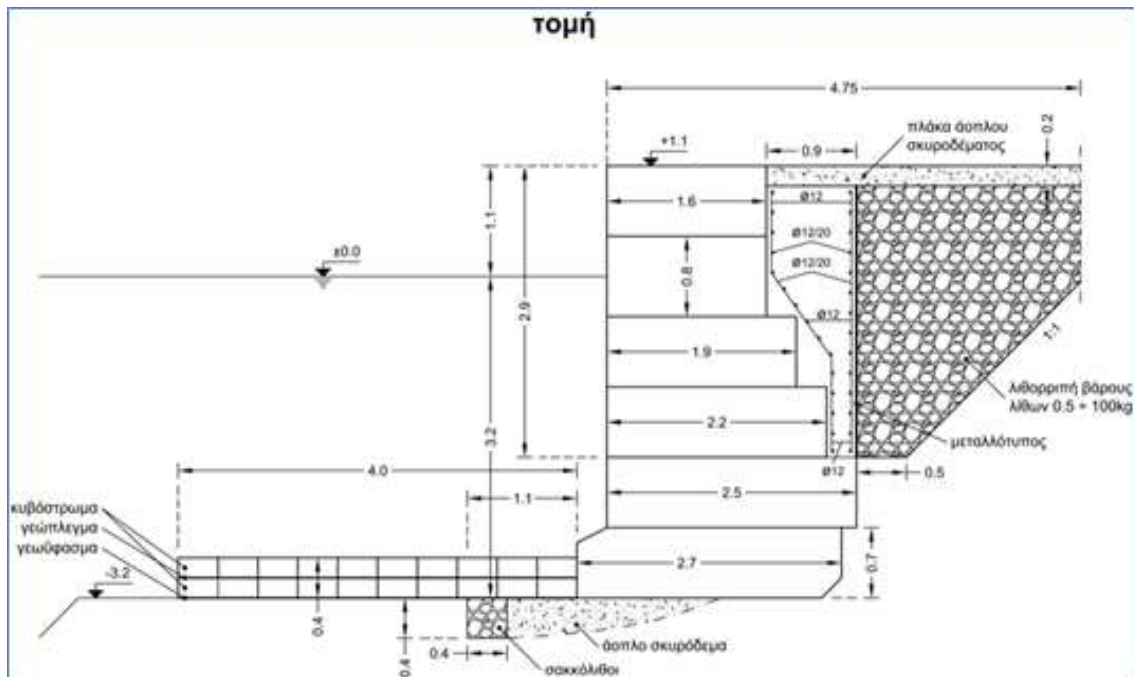


Εικόνα 29 : Καθίζηση του κάθετου προβλήτα του κυματοθραύστη (17-10-2016)
 Πηγή : Τσεμπεκίδης, 2017

Στο παρακάτω Τοπογραφικό Διάγραμμα (εικόνα 30), αποτυπώνονται η περιοχή 1 και η περιοχή 2 στις οποίες πραγματοποιήθηκε εξάμμωση.



Εικόνα 30 : Τοπογραφικό Διάγραμμα, στο οποίο αποτυπώνονται η περιοχή 1 και η περιοχή 2 στις οποίες πραγματοποιήθηκε εξάμμωση
 Πηγή : Τσεμπεκίδης, 2017.



Εικόνα 31 : τομή του κυματοθραύστη
 Πηγή : Τσεμπεκίδης, 2017.

Επείγοντος λοιπόν χαρακτήρα έργο αποτελούσε η βυθοκόρηση της μεγάλης αυτής πρόσθετης ποσότητας άμμου περίπου 35.500 m² και η αναδιανομή μέρους της στις γύρω ακτές από όπου και παρασύρθηκε με τις πλημμύρες.



Εικόνα 32 : Ανατολική Ακτογραμμή (17-10-2016)
 Πηγή : Τσεμπεκίδης, 2017.

Η μεγαλύτερη ποσότητα των φερτών μεταφέρθηκε σε παρακείμενες δημοτικές εκτάσεις, προκειμένου να αξιοποιηθεί από την Κτηματική Υπηρεσία, όπως προβλέπεται και από την Νομοθεσία. Για να εξασφαλισθεί το λειτουργικό βάθος στην περιοχή του αλιευτικού καταφυγίου, όπως υφίστατο πριν την 7-9-2016, έγινε βυθοκόρηση για 35.500 m³, με χρήση μηχανικής βυθοκόρου.

Στη συνέχεια κρίθηκε αναγκαία η αντιμετώπιση της καθίζησης στο κρηπίδωμα του μετώπου του κυματοθραύστη, καθώς παρουσιάστηκαν κενά στο επίπεδο του κρηπιδώματος της τάξης των 10 cm, με γενική κλίση του ακραίου τμήματος της κατασκευής σε μήκος 10 m της τάξης του 10% και εκτροπή κατά την κατακόρυφο μεταξύ του άνω και του κάτω άκρου του κρηπιδοτοίχου περί τα 38 cm. Η αποκατάσταση επιτεύχθηκε μέσω της στήριξης με συρματοκιβώτια και συγκόλληση του βραχίονα με χρήση κατάλληλων υλικών.

Η βυθοκόρηση πραγματοποιήθηκε:

- Στην ΠΕΡΙΟΧΗ -1-

Σε μία έκταση εμβαδού $E=32.180 \text{ m}^2$, οπότε ο όγκος των εκσκαφών με μέσο μέγιστο βάθος εκσκαφής 1,33 m είναι $32.180 \cdot (1,33:2) = 21.399,70 \sim \underline{\underline{21.500 \text{ m}^3}}$

- Στην ΠΕΡΙΟΧΗ -2-

Σε μία έκταση εμβαδού $E=35.179 \text{ m}^2$, οπότε ο όγκος των εκσκαφών με μέσο μέγιστο βάθος εκσκαφής 0,79 m είναι $35.179 \cdot (0,79:2) = 13.895,71 \sim \underline{\underline{14.000 \text{ m}^3}}$

Το μισό περίπου μέρος της ποσότητας της εκσκαφής (15.000 m³) διαστρώθηκε κατά μήκος της ακτής ανατολικά της γέφυρας που συνδέει την ακτή με τον κυματοθραύστη, στην περιοχή δηλαδή όπου παρατηρήθηκε η διάβρωση και σε μία λωρίδα μήκους 500 μέτρων, πλάτους 20 μέτρων και πάχους 1,50 μέτρου. Είναι η φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία αναπλήρωσης της ακτής.



Εικόνα 33 : Περιοχή ενίσχυσης ακτής
Πηγή : Τσεμπεκίδης, 2017.

Το υπόλοιπο του υλικού των εκσκαφών (20.500 m³) μεταφέρθηκε και αποθηκεύτηκε σε χώρους (εικόνα 34) που υπόδειξε η Διευθύνουσα Υπηρεσία σε συνεργασία με την Κτηματική Υπηρεσία Δημοσίου.



Εικόνα 34 : μεταφορά φερτών σε απόσταση 3,5km

Πηγή : Τσεμπεκίδης, 2017.

Οι εργασίες που συνεπώς πραγματοποιήθηκαν αφορούν :

- α) στη βυθοκόρηση των περιοχών 1 και 2 με συνολικό όγκος υλικού εκσκαφών **35.500 m³**
- β) στη μεταφορά και διάστρωση μέρους του υλικού στην περιοχή της ακτής που κυρίως υπέστη διάβρωση και
- γ) στη μεταφορά του υπόλοιπου υλικού σε γειτονική δημοτική περιοχή, προκειμένου να αξιοποιηθεί από την Κτηματική Υπηρεσία.

(Πολιτικός Μηχανικός Τ.Ε. Τσεμπεκίδης Γ., Σεπτέμβριος 2017 Θεσσαλονίκη)

Από την εξάμμηση που πραγματοποιήθηκε κατά τον Σεπτέμβρη του 2017, το φαινόμενο του salient έχει υποχωρήσει σχεδόν κατά το ήμισυ όπως γίνεται αντιληπτό και από τις παρακάτω εναέριες φωτογραφίες του google earth (εικόνα 35). Πιο συγκεκριμένα ενώ η εναπόθεση των φερτών υλικών εκτεινόταν εκατέρωθεν του προβόλου σε μήκος 135 m, μετά το πέρας των εργασιών το μήκος μειώθηκε κατά 61,5 m φθάνοντας έτσι στα 73,5 m.



Εικόνα 35 : Μήκος του φαινομένου salient πριν και μετά την εξάμμωση (πηγή Google Earth)

1.9. ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μετά την παρουσίαση και την ανάδειξη του προβλήματος της προσάμμωσης της ζώνης πίσω από τον κυματοθραύστη στο αλιευτικό καταφύγιο των Νέων Επιβατών ο στόχος της παρούσας εργασίας εστιάζεται στην κατά το δυνατό καλύτερη και πληρέστερη εικόνα της διάγνωσης του προβλήματος και εν συνεχεία στη διερεύνηση εναλλακτικών τρόπων αντιμετώπισής του. Η διερεύνηση αυτή προϋποθέτει την εφαρμογή μίας σειράς από υπολογιστικά εργαλεία και μεθόδους που θα επιτρέψουν τον υπολογισμό αρχικά του κυματικού κλίματος της περιοχής και εν συνεχεία της παράκτιας στερεομεταφοράς που προκαλείται.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των ενεργειών για την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας, καθώς κρίθηκε απαραίτητο να επισκεφτούμε όχι μόνο το λιμενικό έργο του κυματοθραύστη αρχικά, αλλά και ορισμένες αρμόδιες αρχές για τη συλλογή πληροφοριών. Έπειτα αναπτύσσεται η σχέση JONSWAP και άλλες μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν στο επόμενο κεφάλαιο και με τη χρήση των οποίων θα βρεθεί η ετήσια στερεομεταφορά.

Το πρώτο στάδιο ήταν η επίσκεψή μας στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σαββίδη Ιωάννη, με σκοπό να γίνει μία πρώτη συζήτηση σχετικά με το θέμα της πτυχιακής μας εργασίας, το οποίο ήταν η προσάμμωση πίσω από τη ζώνη του κυματοθραύστη, στη περιοχή Νέων Επιβατών του δήμου Θερμαϊκού.

2.1. ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Έπειτα από συζήτηση σχετικά με το φαινόμενο salient και γενικά στοιχεία του κυματοθραύστη, ο καθηγητής μας κατεύθυνε ως προς την απαιτούμενη δομή της εργασίας. Αναγκαία κρίθηκε και η λήψη φωτογραφιών του λιμενικού έργου, συνεπώς το επόμενο στάδιο ήταν να επισκεφτούμε τον κυματοθραύστη.

Κατά την άφιξή μας περπατήσαμε κατά μήκος της ακτής και στη συνέχεια διασχίσαμε τον πρόβολο αλλά και τον κυματοθραύστη, όπου αντιληφθήκαμε το μέγεθος του προβλήματος αμέσως. Καθ' όλη τη διάρκεια, φωτογραφίζαμε οτιδήποτε θεωρούσαμε πως θα αποτελούσε χρήσιμο στοιχείο και θα μας βοηθούσε να αναλύσουμε πιο διεξοδικά το πρόβλημα της προσάμμωσης. Η λήψη φωτογραφιών πραγματοποιήθηκε με χρήση φωτογραφικής μηχανής και με drone.

2.2. ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΕ ΑΡΜΟΔΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

Αφού συλλέξαμε φωτογραφικό υλικό αποχωρήσαμε με προορισμό τις δημόσιες και δημοτικές υπηρεσίες για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με το λιμενικό έργο. Με τη βοήθεια του διαδικτύου, εντοπίσαμε τις υπηρεσίες. Αρχικά πήγαμε στην Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θερμαϊκού, η οποία βρίσκεται σε κοντινή περιοχή του λιμενικού έργου χωρίς να έχουν στην κατοχή τους κάποια στοιχεία που θα μας διευκόλυναν. Έπειτα απευθυνθήκαμε στην Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών, η οποία εδράζεται και αυτή στην γύρω περιοχή. Η μηχανικός που μας εξυπηρέτησε δεν είχε κάποια αρχεία που να αναφέρονταν στον κυματοθραύστη. Παρόλο αυτά της ζητήσαμε να επικοινωνήσει με οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία πίστευε πως θα βρίσκαμε πληροφορίες, αλλά δυστυχώς έπειτα από τηλεφωνική επικοινωνία δεν είχε κάποιο νέο. Στη συνέχεια απευθυνθήκαμε στο Λιμενικό Τμήμα Μηχανιώνας, στο οποίο μας ζητήθηκε να κάνουμε αίτηση για να μας δώσουν στοιχεία σε περίπτωση που διέθετε η υπηρεσία. Η απάντησή τους ήταν αρνητική και επισκεφθήκαμε και τον Ναυτικό όμιλο. Μιλώντας με τον αρμόδιο της υπηρεσίας μας μετέφερε πως καμία πληροφορία σχετική με το λιμενικό έργο δεν κατείχε. Η τελευταία υπηρεσία που επισκεφθήκαμε ήταν η Αποκεντρωμένη διοίκηση Μακεδονίας-Θράκης, Γενική Δ/ση χωροταξικής και περιβαλλοντικής πολιτικής, Δ/ση Περιβάλλοντος και χωρικού σχεδιασμού κεντρικής Μακεδονίας, στην οδό Στρωμνίτσης 53 Χαριλάου. Εκεί συνομιλήσαμε με τον πολιτικό μηχανικό κύριο Ε. Ευθυμιάδη, ο οποίος μας έδωσε αρκετά στοιχεία σχετικά με την κατασκευή του κυματοθραύστη.

2.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΥΘΟΚΟΡΗΣΗΣ ΤΟΥ 2017

Κατά την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2017 με σκοπό τη μείωση του φαινομένου salient (προσάμμωσης) έπειτα από κάποια καταστροφή που συνέβη στην περιοχή, πραγματοποιήθηκε βυθοκόρηση (αφαίρεση των φερτών υλικών γύρω από τον πρόβολο). Αφού μιλήσαμε με κάποιον χειριστή μηχανημάτων της βυθοκόρησης, μας έφερε σε επικοινωνία με έναν από τους υπεύθυνους μηχανικούς, τον κύριο Τσεμπεκίδη Γεώργιο Πολιτικό Μηχανικό Τ.Ε., ο οποίος με προθυμία μας έδωσε πολύ αξιόλογες πληροφορίες για το λιμενικό έργο και πιο συγκεκριμένα για την ποσότητα φερτών υλικών που απομακρύνθηκαν εκατέρωθεν του προβόλου.

2.4. ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Έχοντας συλλέξει διαθέσιμο υλικό από τις δημόσιες υπηρεσίες ξεκινήσαμε την αναζήτηση στο διαδίκτυο αλλά και σε σχετικά επιστημονικά συγγράμματα. Υπήρχαν ελάχιστες πληροφορίες για το συγκεκριμένο κυματοθραύστη, τις οποίες φυσικά και προσθέσαμε στις ήδη υπάρχουσες πληροφορίες. Από το διαδίκτυο παράλληλα συλλέξαμε και ορισμένες πληροφορίες για τους σημαντικότερους λόγους μεταφοράς φερτών υλικών, τη σκοπιμότητα των κυματοθραυστών και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών στη γύρω περιοχή.

2.5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

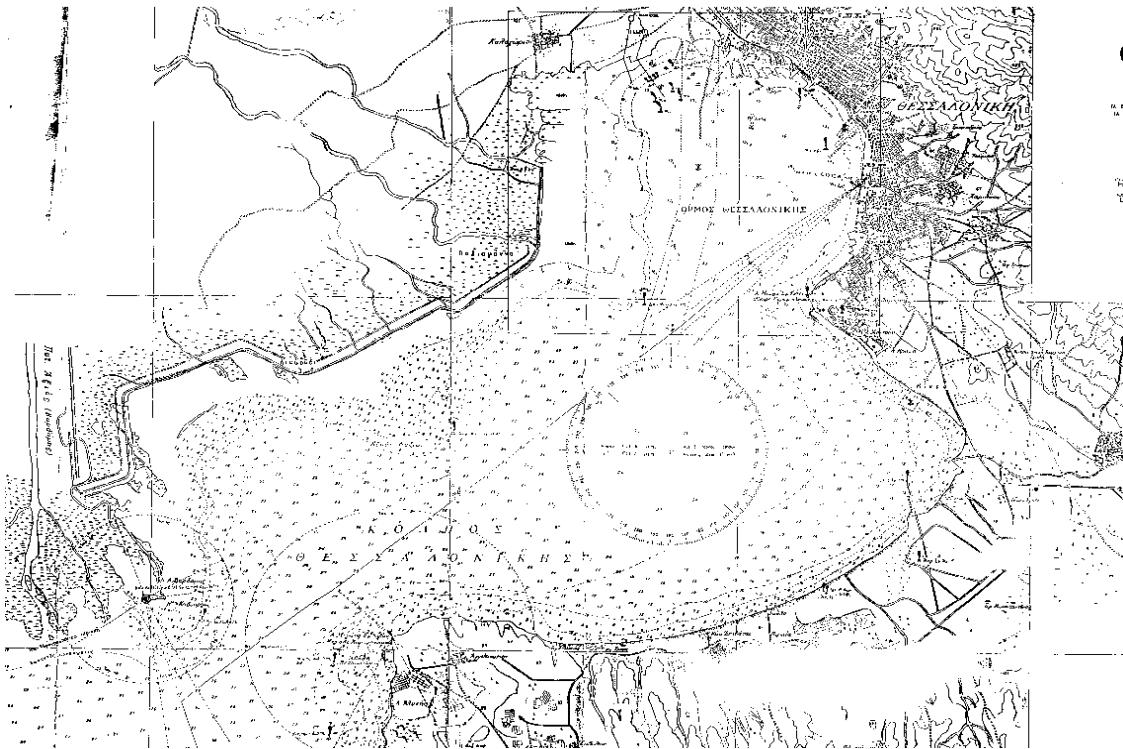
Επίσης χρησιμοποιήσαμε το Google Earth, το οποίο μας βοήθησε να έχουμε μία πλήρη εικόνα για την εξέλιξη του salient από το έτος 2002 έως το έτος 2017 και με το εργαλείο «μέτρηση απόστασης πάνω στον χάρτη» συγκεκριμενοποιήσαμε την απόσταση που είχαν καταλάβει τα φερτά υλικά και αφού επεξεργαστήκαμε τις φωτογραφίες μέσω του photoshop, τις προσθέσαμε στην εργασία μας. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του excel φτιάξαμε το διάγραμμα «εξέλιξη του φαινομένου salient», έχοντας έτσι δημιουργήσει μία πλήρη εικόνα του προβλήματος.

2.6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο τελικός στόχος της πτυχιακής μας εργασίας αποτελεί η αντιμετώπιση του φαινομένου salient. Σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό, φερτά υλικά από τη γύρω περιοχή του κυματοθραύστη μεταφέρονται κατά τον κυματισμό και εγκλωβίζονται στη σκιά του κυματοθραύστη. Ο κυματισμός όμως προκαλείται από τους ανέμους που πνέουν στην περιοχή, συνεπώς έπρεπε να βρεθούν ορισμένα στοιχεία για την πρόγνωση κυματισμών.

2.6.1. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

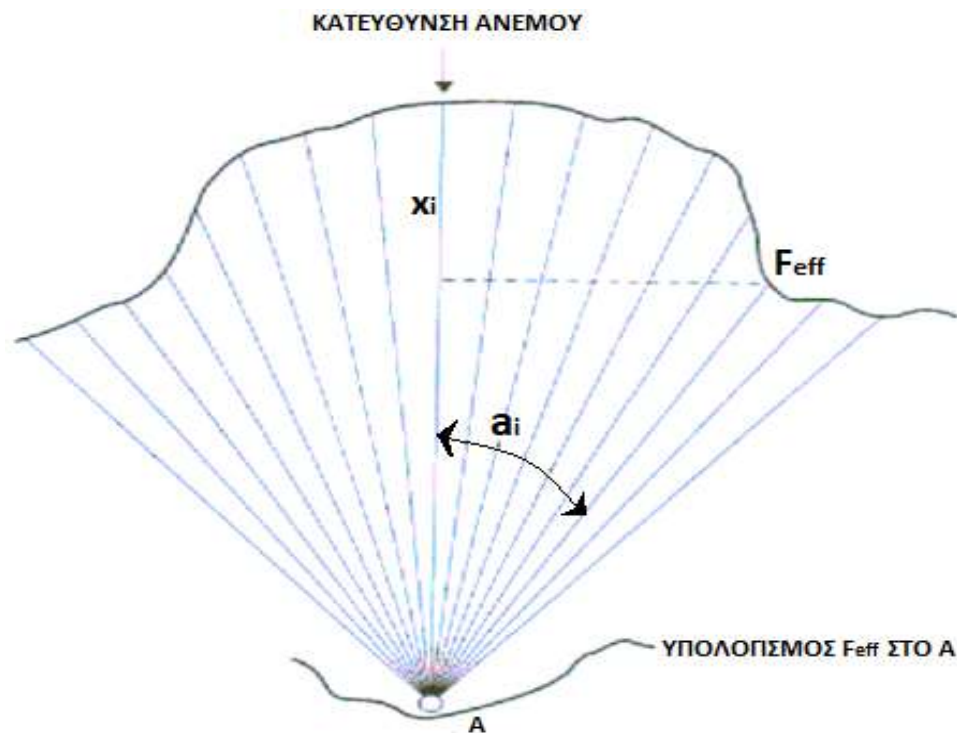
Χρησιμοποιώντας το χάρτη (εικόνα 36) με την ένδειξη των ισοβαθών του Θερμαϊκού κόλπου, θα σχεδιασθεί η κατεύθυνση ανέμων ως προς τη θέση του λιμενικού έργου, καθώς και τα μήκη ανάπτυξης F_i .



Εικόνα 36 : Χάρτης ισοβαθών του Θερμαϊκού κόλπου

Για το αποτελεσματικό (ή ισοδύναμο) μήκος ανάπτυξης ισχύει: $F_{eff} = \frac{\sum F_i \cdot (\cos(\alpha_i))^2}{\sum \cos(\alpha_i)}$

όπου το κάθε F_i αποτελεί μήκος ανάπτυξης κατά την κατεύθυνση που σχηματίζει γωνία $\alpha_i = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ με την κατεύθυνση του ανέμου (εικόνα 37). Όλες οι τιμές F_i θα υπολογισθούν πάνω στο χάρτη με τη βοήθεια του χάρακα, λαμβάνοντας υπόψιν την κλίμακα 1:50.000.



Εικόνα 37 : Ένδειξη σχεδίασης F_i και α_i .

Τα στοιχεία του κυματισμού H , T , είναι συναρτήσεις των

- ❖ t_D (διάρκεια πνοής του ανέμου)
- ❖ U_{10} (ταχύτητας του ανέμου μετρημένη σε 10 m πάνω από την επιφάνεια)
- ❖ F_{eff} (του αποτελεσματικού ή ισοδύναμου μήκους ανάπτυξης των κυματισμών από το σημείο όπου υπολογίζονται ως την απέναντι ακτή κατά μήκος της κατεύθυνσης πνοής του ανέμου και έναν τομέα 45° εκατέρωθεν αυτής)

Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις (ως προς την ανάπτυξη του κυματισμού)

- ανάπτυξη με περιορισμό χρόνου ή διάρκειας (H και T εξαρτώνται από τα t_D και U_{10})
- ανάπτυξη με περιορισμό μήκους ανάπτυξης (H και T εξαρτώνται από το F_{eff} και U_{10})
- πλήρη ανάπτυξη χωρίς περιορισμό μήκους & διάρκειας (H , T εξαρτώνται μόνο από το U_{10}).

Η μη γραμμική μορφή της σχέσης ταχύτητας του ανέμου και διατμητικής τάσης που ασκείται στην επιφάνεια της θάλασσας, επιβάλλει την αντικατάσταση της παραμέτρου U_{10} με τη ρυθμισμένη ταχύτητα του ανέμου : $U_A = 0,71 \cdot U_{10}^{1,23}$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10 m πάνω από την επιφάνεια) θα υπολογισθεί σε κάθε περίπτωση ανέμου (Βόρειο, Βορειοανατολικό, Βορειοδυτικό, Δυτικό). Στη συνέχεια για κάθε άνεμο θα βρεθούν τρεις τιμές σύμφωνα με τις παρακάτω κατηγορίες:

- Για **μέτριο** άνεμο : $U_{10} = 7$ m/sec
- Για **ισχυρό** άνεμο : $U_{10} = 15$ m/sec
- Για **ορμητικό** άνεμο : $U_{10} = 22$ m/sec

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι συσχέτισης των φυσικών συνθηκών (ταχύτητα ανέμου, μήκος ανάπτυξης, διάρκεια πνοής) με τα στοιχεία κύματος (συσχέτιση των H_s , T με τα F_{eff} , t_D και U_{10}). Κάποιες από αυτές είναι η **Pierson-Moskowitz** και η **JONSWAP (Carter)**.

- Αρχικά θα γίνει έλεγχος της μεθόδου **Pierson-Moskowitz**, σύμφωνα με την οποία θα πρέπει να ισχύει η ανισότητα : $\frac{g \cdot F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ και στη συνέχεια θα υπολογισθεί το σημαντικό ύψος κύματος (H_s) και η περίοδος που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα (T_p) ως εξής :

$$\frac{g \cdot H_s}{U_A^2} = 0,243 \Rightarrow H_s = 0,243 \cdot \frac{U_A^2}{g}$$
$$\frac{g \cdot T_p}{U_A} = 8,130 \Rightarrow T_p = 8,130 \cdot \frac{U_A}{g}$$

Σε περίπτωση που η παραπάνω ανισότητα δεν επαληθεύεται θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP (Carter)** καθώς κρίνεται η πιο κατάλληλη . Πιο αναλυτικά:

- Με βάση τη μέθοδο JONSWAP, $\frac{g}{U_A} \cdot t_D = 68,8 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2}\right)^{0,66}$ θα βρεθεί η διάρκεια πνοής του ανέμου (t_D) και στη συνέχεια θα υπολογισθεί το σημαντικό ύψος κύματος (H_s) και η περίοδος (T_p) ως εξής:

$$\frac{g}{U_A^2} \cdot H_s = 0,0016 \cdot \left(\frac{g \cdot x}{U_A^2}\right)^{0,5} \Rightarrow H_s = \frac{U_A^2}{g} \cdot 0,0016 \cdot \left(\frac{g \cdot x}{U_A^2}\right)^{0,5}$$
$$\frac{g}{U_A} \cdot T_p = 0,2860 \cdot \left(\frac{g \cdot x}{U_A^2}\right)^{0,33} \Rightarrow T_p = \frac{U_A}{g} \cdot 0,2860 \cdot \left(\frac{g \cdot x}{U_A^2}\right)^{0,33}$$

όπου, $x = F_{eff}$

2.6.2. ΕΥΡΕΣΗ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΚΑΙ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

Από τη μέθοδο **Pierson-Moskowitz** ή **JONSWAP** θα προκύψουν τρεις τιμές για το μήκος κύματος (H) και τρεις τιμές για την περίοδο (T).

- Για τον υπολογισμό της στερεομεταφοράς θα εκτιμηθεί η τιμή του T των ισοδύναμων κυματισμών από την παρακάτω σχέση :

$$T = \frac{\sum (T_i * f_i)}{\sum f_i}$$

όπου T : η ισοδύναμη περίοδος

T_i : οι περίοδοι που προέκυψαν από τη μέθοδο JONSWAP

f_i : οι συχνότητες εμφάνισης των κυμάτων που αντιστοιχούν στα διάφορα επίπεδα έντασης του ανέμου από την σχετική διεύθυνση

- Και η τιμή H των ισοδύναμων κυματισμών από τη σχέση :

$$H^2 * T = \frac{\sum (H_i^2 * T_i * f_i)}{\sum f_i}$$

όπου H : το ύψος κύματος

H_i : τα ύψη κύματος που προέκυψαν από τη μέθοδο JONSWAP

T_i : οι περίοδοι που προέκυψαν από τη μέθοδο JONSWAP

f_i : οι συχνότητες εμφάνισης των κυμάτων που αντιστοιχούν στα διάφορα επίπεδα έντασης του ανέμου από την σχετική διεύθυνση

Για την καλύτερη δυνατή αξιολόγηση των ανεμολογικών στοιχείων παρατίθενται και τα στοιχεία του φάρου του Μεγάλου Εμβόλου (Μεγ. Καραμπουρνού πίνακας 3) της Υδρογραφικής Υπηρεσίας, διότι είναι σχετικά κοντά στην περιοχή του έργου και η θέση του πιο αντιπροσωπευτική για την εξέταση του κυματικού κλίματος στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για το Φάρο του Μ. Εμβόλου είναι προϊόν στατιστικής επεξεργασίας μετρήσεων για χρονική περίοδο μεγαλύτερη των 10 ετών.

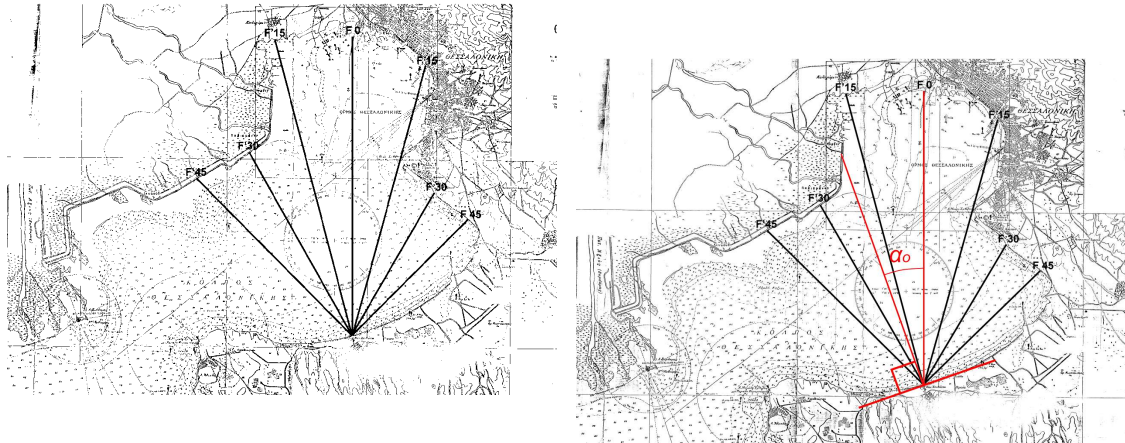
Πίνακας 3 : Στοιχεία φάρου Μεγάλου Εμβόλου, Ανεμολογικές συνθήκες στο Αιγαίο

| | B | BA | A | NA | N | NΔ | Δ | ΒΔ | Νηγεμία |
|-----------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|---------|
| Ασθενείς | 6,64 | 4,2 | 0,88 | 6,11 | 7,18 | 1,88 | 3,40 | 10,77 | 12,74 |
| Μέτριοι | 9,91 | 1,58 | 0,90 | 5,30 | 6,10 | 1,55 | 2,84 | 6,26 | |
| Ισχυροί | 3,66 | 0,15 | 0,16 | 0,44 | 0,55 | 0,28 | 0,54 | 1,17 | |
| Ορμητικοί | 2,76 | 0,04 | 0,06 | 0,12 | 0,19 | 0,44 | 0,55 | 0,67 | |
| Άθροισμα | 22,97 | 5,97 | 2,00 | 11,97 | 14,02 | 4,15 | 7,33 | 18,87 | |

Πηγή : Κατσούλης Σ. (1970)

2.7. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΘΡΑΥΣΗΣ

Στη συνέχεια, θα υπολογισθεί η γωνία α_0 η οποία σχηματίζεται από τη κάθετη στην ακτή και τη διεύθυνση του εκάστοτε ανέμου όπως φαίνεται και στο παρακάτω παράδειγμα (εικόνα 38).



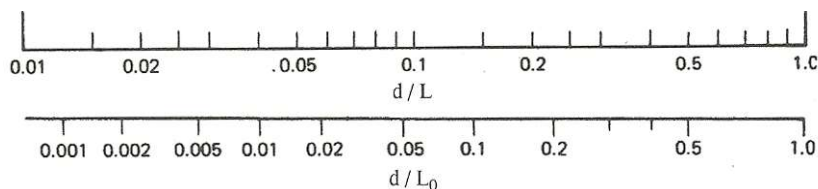
Εικόνα 38 : Ένδειξη γωνίας α_0 για τον Βόρειο άνεμο

Έπειτα θα γίνει υπολογισμός της κλίσης του πυθμένα σε απόσταση 350 μέτρων από την ακτή και σε βάθος 5 μέτρων χρησιμοποιώντας τον τύπο : $\frac{\Delta x}{L} = \frac{5-0}{350} = 0,0143 \rightarrow 1,43 \%$

Αφού βρεθούν τα στοιχεία κυματισμού (ο οποίος διαδίδεται από την ανοιχτή θάλασσα προς την ακτή) του εκάστοτε ανέμου, δηλαδή μήκος κύματος (H), περίοδος (T), τη γωνία (α_0) και την κλίση πυθμένα (m) θα υπολογισθούν :

Το μήκος κύματος στα βαθιά νερά $L_0 = g * \frac{T^2}{2 * \pi}$ και η διάθλαση έως την γραμμή θραύσης των κυματισμών $d_b = \frac{H_0}{0,78}$.

Στο βάθος που θα προκύψει, υπολογίζεται το μήκος κύματος L_b από το νομογράφημα d_b/L_0 και d_b/L_b (εικόνα 39).



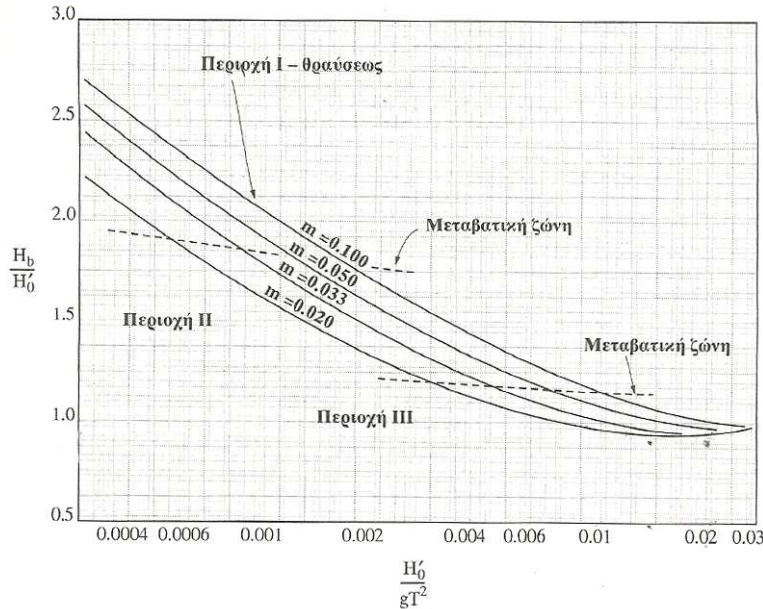
Εικόνα 39 : Νομογράφημα d_b/L_0 και d_b/L_b

Για τη διόρθωση του μήκους κύματος θα βρεθεί ένα νέο L με χρήση του τύπου

$L = L_0 * \tanh(2 * \pi * \frac{d_b}{L_b})$ και στη συνέχεια εφαρμόζοντας το Μέσο Όρο $\frac{L + L_b}{2}$ προκύπτει το διορθωμένο μήκος κύματος L_b .

Από το νόμο της διάθλασης θα βρεθεί η γωνία θραύσης $\alpha_b = \sin^{-1} \left(\frac{L_b}{L_0} * \sin(\alpha_0) \right)$ και ο συντελεστής διάθλασης $k_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_b)}}$.

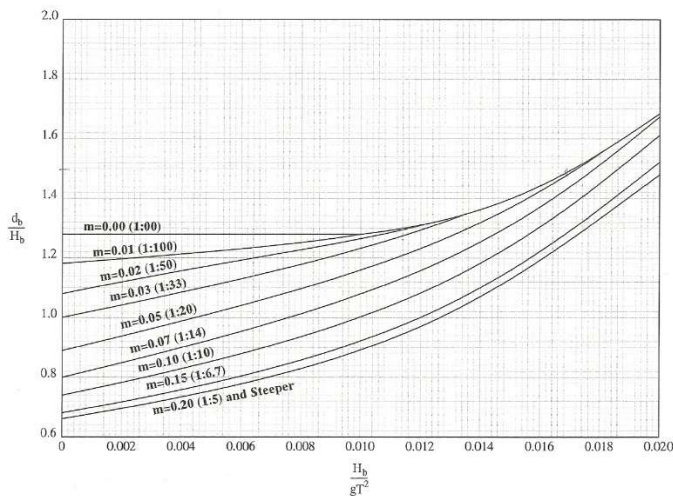
Με τη βοήθεια του νομογραφήματος για την εύρεση των στοιχείων θραύσης σύμφωνα με την εικόνα 40,



Εικόνα 40 : Νομογράφημα για την εύρεση των στοιχείων θραύσης

την τιμή $\frac{H'_0}{g * T^2}$ και την κλίση του πυθμένα προκύπτει η τιμή $\frac{H_b}{H_0}$, συνεπώς βρίσκεται το H_b .

Από τον λόγο $\frac{H_b}{g * T^2}$, την κλίση πυθμένα m, καθώς και με τη βοήθεια του παρακάτω νομογραφήματος (εικόνα 41),



Εικόνα 41 : Νομογράφημα για την εύρεση στοιχείων θραύσης

προκύπτει η τιμή $\frac{d_b}{H_b}$, συνεπώς βρίσκεται το d_b .

Σε περίπτωση που η τιμή του τελευταίου d_b υπερβαίνει το 20% του αρχικού, θα επαναληφθεί η διαδικασία από την αρχή χρησιμοποιώντας το νέο d_b .

2.7.1. ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ

Στο λιμενικό έργο παρατηρείται μία ετήσια στερεομεταφορά η οποία προκαλείται από τους ανέμους της περιοχής. Ο κάθε άνεμος ξεχωριστά (Βόρειος, Βορειοανατολικός, Βορειοδυτικός, Δυτικός) συμβάλει στη μετακίνηση φερτών υλών συνεπώς και στη δημιουργία του φαινομένου salient.

Η ετήσια παράκτια στερεοπαροχή προκύπτει από τη σχέση :

$$Q = 1290 * \frac{\rho * g}{16} * H_b^2 * C_{gb} * \sin(2 * a_b) * f \quad (m^3)$$

Όπου ρ : 1025 η πυκνότητα του θαλασσινού νερού (kg/m^3)

g : 9,81 επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)

H_b : ύψος κύματος θραύσης που προέκυψε από τους παραπάνω υπολογισμούς (m)

d_b : βάθος θραύσης που προέκυψε από τους παραπάνω υπολογισμούς (m)

C_{gb} : $(d_b * g)^{0,5}$ ταχύτητα διάδοσης κύματος (m/sec)

a_b : γωνία θραύσης που προέκυψε από τους παραπάνω υπολογισμούς (μοίρες)

f : $\frac{f_{μέτριου} + f_{ισχυρού} + f_{ορμητικού}}{100}$ ετήσια συχνότητα δράσης των κυματισμών

2.7.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΝΕΩΝ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ

Στη συνέχεια, αφού έχουν βρεθεί οι τιμές της παράκτιας στερεομεταφοράς του κάθε ανέμου, θα υπολογισθούν οι θέσεις και τα μήκη των βραχιόνων που θα πρέπει ενδεχομένως να τοποθετηθούν για την αντιμετώπιση του φαινομένου salient.

Συνεπώς θα διαχωρισθούν :

A) η Ανατολική συνιστώσα της στερεομεταφοράς, η οποία θα προκαλείται από την πρόσπτωση Βορείων και Βορειοανατολικών κυμάτων στην ακτή και

B) η Δυτική συνιστώσα της στερεομεταφοράς, η οποία θα προκαλείται από την πρόσπτωση Βορειοδυτικών και Δυτικών κυμάτων στην ακτή.

Η γωνία θραύσης των κυμάτων για τον Ανατολικό άνεμο θα προκύψει από τη μέθοδο των σταθμισμένων μέσων όρων με τον εξής τρόπο : $\alpha_{b \text{ ANAT}} = \frac{\alpha_{b B} * f_B + \alpha_{b BA} * f_{BA}}{f_B + f_{BA}}$ και για τον Δυτικό άνεμο : $\alpha_{b \text{ ΔΥΤ}} = \frac{\alpha_{b B\Delta} * f_{B\Delta} + \alpha_{b \Delta} * f_{\Delta}}{f_{B\Delta} + f_{\Delta}}$. Επίσης θα πρέπει η γωνία θραύσης των ανέμων να μετατραπεί από μοίρες σε ακτίνια ($1^\circ = 1 * \frac{\pi}{180} \approx 0,0175 \text{ rad}$).

Το βάθος θραύσης των κυμάτων του Ανατολικού ανέμου θα προκύψει επίσης από τη μέθοδο των σταθμισμένων μέσων όρων με τον εξής τρόπο : $d_{b \text{ ANAT}} = \frac{d_{b B} * f_B + d_{b BA} * f_{BA}}{f_B + f_{BA}}$ και του

Δυτικού ανέμου : $d_{b \Delta Y T} = \frac{d_{b B \Delta} * f_{B \Delta} - d_{b \Delta} * f_{\Delta}}{f_{B \Delta} + f_{\Delta}}$. Στη συνέχεια θα υπολογισθεί το βάθος επίδρασης του κύματος στην περιοχή της παράκτιας στερεομεταφοράς $h = 2,5 * d_b$ για τον κάθε άνεμο.

Τέλος θα να εξετασθεί το μήκος της επίδρασης του νέου βραχίονα κατά μήκος της ακτής μετά από 1 και 5 χρόνια από τον τύπο $x = \frac{3}{a_b} * \gamma$, όπου το γ προκύπτει από τον τύπο $\gamma = 2 * (Q * t * \frac{a_b}{\pi * h})^{0,5}$ για την Ανατολική και Δυτική πλευρά του κυματοθραύστη.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το κύριο αντικείμενο της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας αποτελεί η εναπόθεση φερτών υλικών εκατέρωθεν του προβόλου, ο οποίος ενώνει την ακτή με τον κυματοθραύστη, σχηματίζοντας έτσι το φαινόμενο «salient».

3.1. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΑΜΜΩΣΗΣ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ

Με σκοπό να διαπιστωθεί καλύτερα το μέγεθος του προβλήματος στον κυματοθραύστη της περιοχής των Νέων Επιβατών πραγματοποιήθηκε μία «χρονική» αναζήτηση στο πρόγραμμα Google Earth. Συνεπώς συλλέξαμε 13 διαθέσιμες εικόνες, σύμφωνα με τις οποίες γίνεται αντιληπτή η εξέλιξη του προβλήματος με την πάροδο των χρόνων, όπως επίσης και η συμβολή της εξάμμωσης στο φαινόμενο του salient μετά τις εργασίες του Σεπτεμβρίου 2017. Με τη βοήθεια ενός εργαλείου «μέτρηση απόστασης πάνω στον χάρτη», έγινε εφικτός ο προσδιορισμός του μήκους του προβόλου το οποίο είναι καλυμμένο με φερτά υλικά σε κάθε αποτύπωση από το έτος 2002 μέχρι και το 2017, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες 42 έως και 54.



Εικόνα 42 : Απεικόνιση του φαινομένου salient το Δεκέμβριο του 2002 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 43 : Απεικόνιση του φαινομένου salient το Φεβρουάριο του 2003 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 44 : Απεικόνιση του φαινομένου salient τον Ιούνιο του 2008 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 45 : Απεικόνιση του φαινομένου salient το Μάρτιο του 2010 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 46 : Απεικόνιση του φαινομένου salient το Μάιο 2011 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 47 : Απεικόνιση του φαινομένου salient τον Οκτώβρη του 2012 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 48 : Απεικόνιση του φαινομένου salient το Μάρτιο του 2013 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 49 : Απεικόνιση του φαινομένου salient το Νοέμβριο του 2014 (πηγή Google Earth)



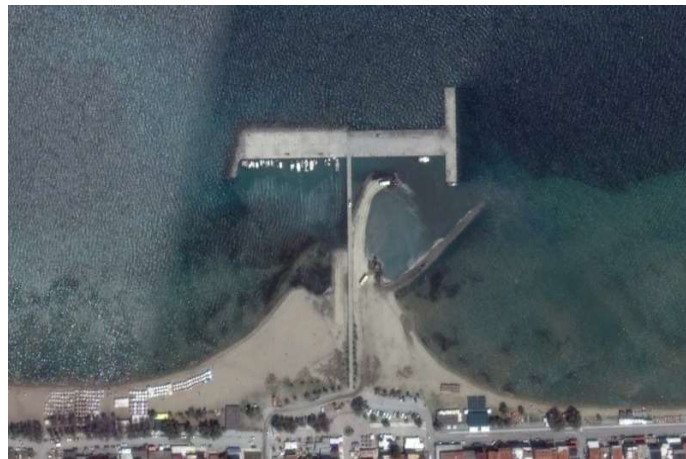
Εικόνα 50 : Απεικόνιση του φαινομένου salient τον Απρίλιο του 2015 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 51 : Απεικόνιση του φαινομένου salient τον Αύγουστο του 2015 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 52 : Απεικόνιση του φαινομένου salient τον Αύγουστο του 2016 (πηγή Google Earth)



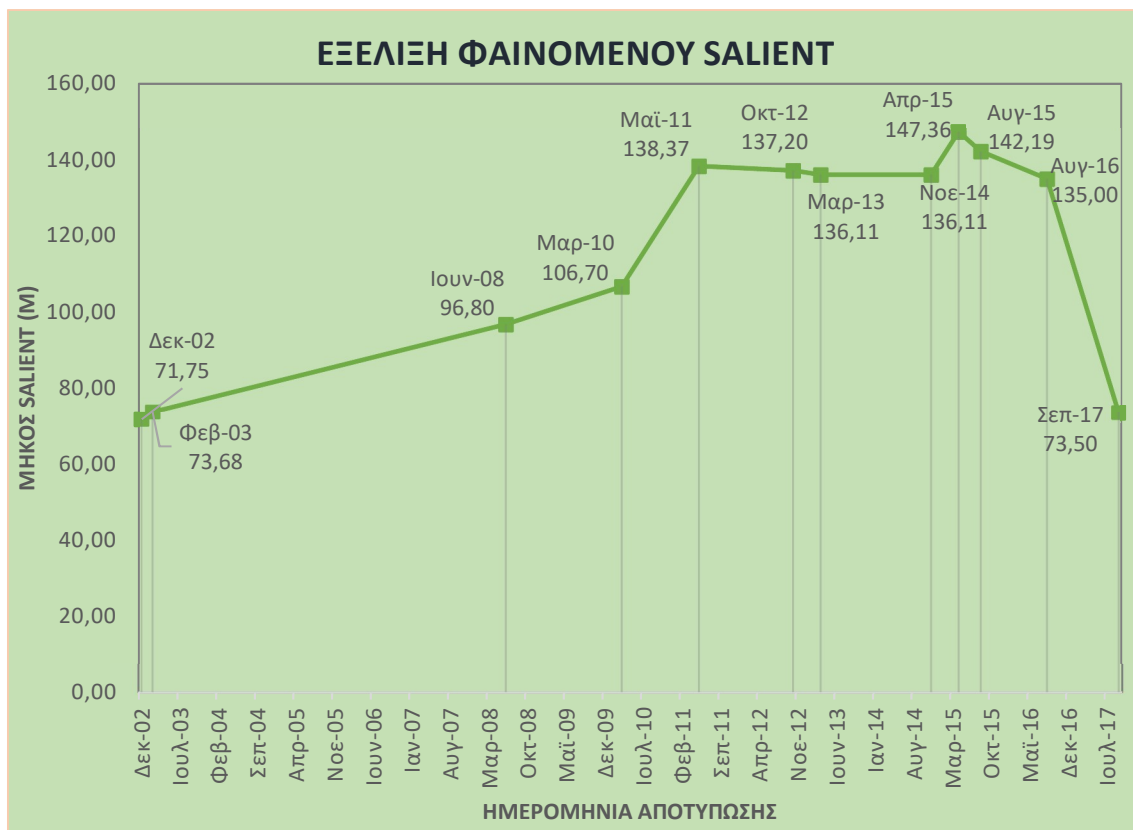
Εικόνα 53 : Απεικόνιση του φαινομένου salient τον Ιούλιο του 2017 (πηγή Google Earth)



Εικόνα 54 : Απεικόνιση του φαινομένου salient το Σεπτέμβριο του 2017 (πηγή Google Earth)

3.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ SALIENT ΣΤΟΝ ΠΡΟΒΟΛΟ

Παίρνοντας τα στοιχεία από τις παραπάνω εικόνες, στις οποίες αποτυπώνεται το μήκος του φαινομένου salient από το έτος 2002 έως και το 2017 στην περιοχή του προβόλου – γέφυρας πίσω από την κυματοθραύστη, έχουμε το παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 55 : Διάγραμμα εξέλιξης φαινομένου salient

Η κατασκευή του κυματοθραύστη (η οποία αποτελείται από δύο ολόσωμα επιχώματα) κατασκευάστηκε το 1997. Στο google maps υπάρχουν διαθέσιμες φωτογραφίες από το 2002 και μετά, συνεπώς δεν μπορεί να γίνει λόγος για την αύξηση της προσάμμωσης κατά τη διάρκεια των πρώτων πέντε χρόνων (1997-2002) παρά μόνο ότι έφτασε τα 71 m περίπου το 2002.

Βυθοκόρηση πραγματοποιήθηκε το 2000 και αφαιρέθηκαν με εκσκαφές 120.000 m³ άμμου. Σύμφωνα με το διάγραμμα (εικόνα 55) για τα επόμενα οχτώ έτη (2002-2010) η αύξηση της προσάμμωσης παρατηρείται σταθερή της τάξης περί των 4,5 m ετησίως. Τον επόμενο χρόνο (2010-2011) διαγράφεται μία πολύ σημαντική αύξηση, περίπου 32 m. Έπειτα τα επόμενα τρία χρόνια (2011-2014) η προσάμμωση ελαττώνεται ελάχιστα κατά 2 m, ενώ παρατηρείται μία απότομη αύξησή της μέσα στο επόμενο έτος (2014-2015) 11 m.

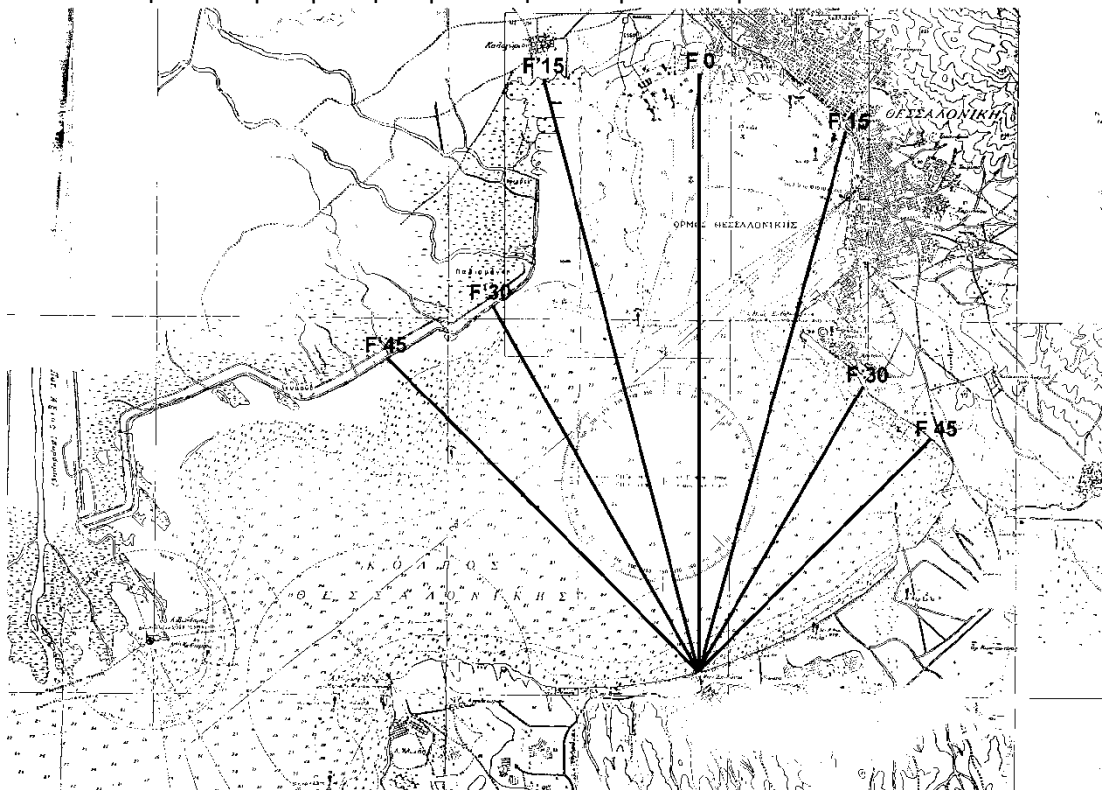
Κατά τον επόμενο χρόνο (2015-2016) έχουμε μείωση 5 m και τέλος το 2017 η προσάμμωση ανέρχεται στα 73,5 m έπειτα από βυθοκόρυση που έλαβε μέρος το Σεπτέμβριο του 2017, κατά την οποία αφαιρέθηκαν 35.500 m³ υλικών και το φαινόμενο salient μειώθηκε 51,5 m δηλαδή 45,6 % .

3.3. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΩ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Ο κυριότερος παράγοντας μεταφοράς ιζημάτων αποτελεί ο κυματισμός, ο οποίος με τη σειρά του εξαρτάται από τους ανέμους της περιοχής. Όπως παρατηρείται και από το παραπάνω διάγραμμα, ο όγκος των φερτών υλικών αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου. Συνεπώς παρακάτω θα βρεθούν τα στοιχεία κυματισμού και η ετήσια στερεομεταφορά, όπως επίσης θα προταθούν και πιθανές λύσεις με σκοπό την ελαχιστοποίηση του φαινομένου salient.

3.3.1. ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΑΝΕΜΟ (B)

Τα μήκη ανάπτυξης (εικόνα 56) κατά την κατεύθυνση που σχηματίζει γωνία α_i με την κατεύθυνση του ανέμου για την περίπτωση του Βόρειου ανέμου είναι :



Εικόνα 56 : Μήκη ανάπτυξης για το Βόρειο άνεμο

$$F_0 = 15700 \text{ m}$$

$$F_{15} = 13750 \text{ m}$$

$$F_{30} = 8050 \text{ m}$$

$$F_{45} = 8100 \text{ m}$$

$$F'_{15} = 15150 \text{ m}$$

$$F'_{30} = 10350 \text{ m}$$

$$F'_{45} = 10900 \text{ m}$$

Για το αποτελεσματικό ή ισοδύναμο μήκος ανάπτυξης ισχύει :
$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum F_i \cdot (\cos(\alpha_i))^2}{\sum \cos(\alpha_i)}$$

Συνεώς :

$$F_{eff} = \frac{F_0 * (\cos(0^\circ))^2 * F_{15} * (\cos(15^\circ))^2 * F_{30} * (\cos(30^\circ))^2 * F_{45} * (\cos(45^\circ))^2 * F'_{15} * (\cos(15^\circ))^2}{\cos(0^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ)} * \frac{F'_{30} * (\cos(30^\circ))^2 * F'_{45} * (\cos(45^\circ))^2}{\cos(0^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ)} = \frac{15700 * 1 + 13750 * 0,93 + 8050 * 0,75 + 8100 * 0,5 + 151 * 0,93 + 10350 * 0,75 + 10900 * 0,5}{1 + 0,97 + 0,87 + 0,71 + 0,97 + 0,87 + 0,71} = \frac{65,97}{6,1} \Leftrightarrow$$

$$F_{eff} = 10853 \text{ m}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για μέτριο άνεμο είναι : $U_{10} = 7 \text{ m/sec}$

Η μη γραμμική μορφή της σχέσης ταχύτητας του ανέμου και διατμητικής τάσης που ασκείται στην επιφάνεια της θάλασσας, επιβάλλει την αντικατάσταση της παραμέτρου U_{10} με τη ρυθμισμένη ταχύτητα του ανέμου :

$$U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} \text{ (m/sec)}$$

$$\text{Άρα έχουμε : } U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} = 0,71 * 7^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 7,78 \text{ m/sec}$$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 10853}{7,78^2} = \frac{106467,93}{60,53} = 1758,93 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Από τη σχέση JONSWAP (κυματισμοί υπό περιορισμό ανάπτυξης) $\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66}$ βρίσκουμε τη διάρκεια πνοής του ανέμου t_D :

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 7,78}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 10853}{7,78^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 7564,35 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 2,1 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος βρίσκεται από τη σχέση : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 10853 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{7,78^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 10853}{7,78^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 0,42 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{7,78}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 10853}{7,78^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 2,67 \text{ sec}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για ισχυρό άνεμο είναι : $U_{10} = 15 \text{ m/sec}$

$$\text{Άρα έχουμε : } U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} = 0,71 * 15^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 19,85 \text{ m/sec}$$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 10853}{19,85^2} = \frac{106467,93}{394,02} = 270,21 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου t_D :

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 19,85}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 10853}{19,85^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 5605,2 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 1,56 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 10853 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{19,85^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 10853}{19,85^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 1,05 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{19,85}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 10853}{19,85^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 3,67 \text{ sec}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για ορμητικό άνεμο είναι : $U_{10} = 22 \text{ m/sec}$

Άρα έχουμε : $U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} = 0,71 * 22^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 31,8 \text{ m/sec}$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 10853}{31,8^2} = \frac{106467,93}{1011,24} = 105,28 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου t_D :

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 31,8}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 10853}{31,8^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 4821,72 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 1,34 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 10853 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{31,8^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 10853}{31,8^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 1,69 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{31,8}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 10853}{31,8^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 4,31 \text{ sec}$$

Συνεπώς για Βόρειο άνεμο βρέθηκαν τα παρακάτω στοιχεία :

Μήκος ανάπτυξης : $F_{eff} = 10853 \text{ m}$

****Για μέτριο Βόρειο άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 7,78 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 2,1 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 0,42 \text{ m}$

Η περίοδος : $T_p = 2,67 \text{ sec}$

****Για ισχυρό Βόρειο άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 19,85 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 1,56 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 1,05 \text{ m}$

Η περίοδος : $T_p = 3,67 \text{ sec}$

****Για ορμητικό Βόρειο άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 31,8 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 1,34 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 1,69 \text{ m}$

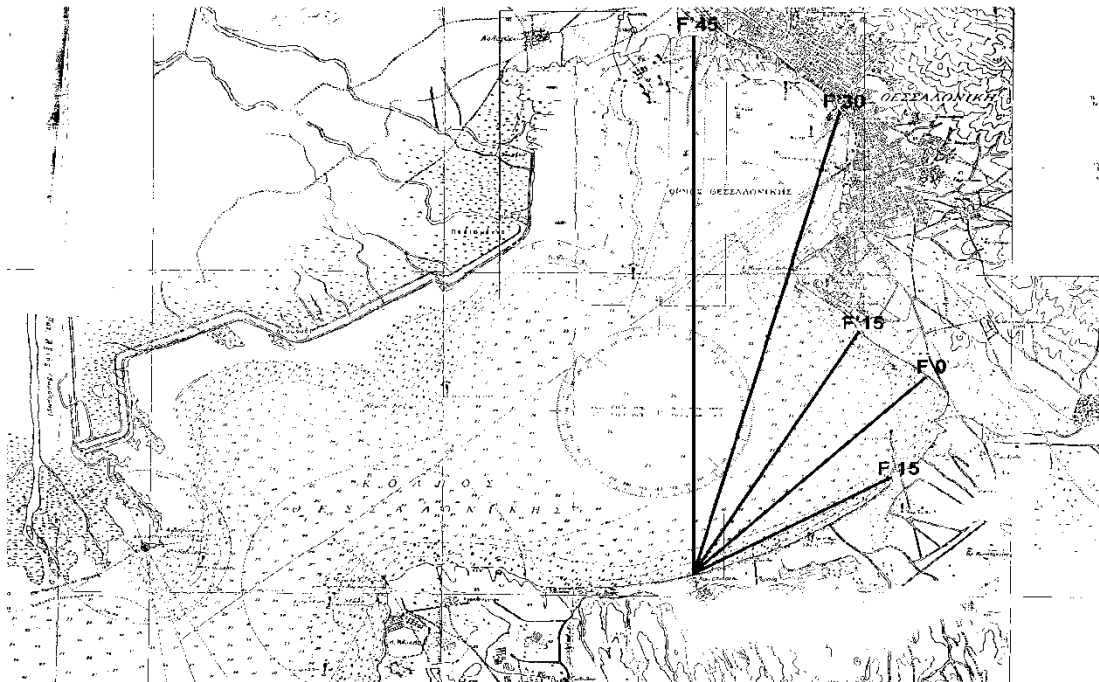
Η περίοδος : $T_p = 4,31 \text{ sec}$

Πίνακας 4 : Στοιχεία αποτελεσμάτων για Βόρειο άνεμο

| ΒΟΡΕΙΟ ΑΝΕΜΟ (B) | | | |
|------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| | Μέτριο $U_{10} = 7 \text{ m/s}$ | Ισχυρό $U_{10} = 15 \text{ m/s}$ | Ορμητικό $U_{10} = 22 \text{ m/s}$ |
| F_{eff} | 10853 m | 10853 m | 10853 m |
| U_A | 7,78 m/sec | 19,58 m/sec | 31,8 m/sec |
| t_D | 2,1 h | 1,56 h | 1,34 h |
| H_s | 0,42 m | 1,05 m | 1,69 m |
| T_p | 2,67 sec | 3,67 sec | 4,31 sec |

3.3.2. ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (BA)

Τα μήκη ανάπτυξης (εικόνα 57) κατά την κατεύθυνση που σχηματίζει γωνία α_i με την κατεύθυνση του ανέμου για την περίπτωση του Βορειοανατολικού ανέμου είναι :



Εικόνα 57 : Μήκη ανάπτυξης για το Βορειοανατολικό άνεμο

$$F_0 = 8100 \text{ m} \quad F'_{15} = 15150 \text{ m}$$

$$F_{15} = 5650 \text{ m} \quad F'_{30} = 8050 \text{ m}$$

$$F'_{45} = 13750 \text{ m}$$

Για το αποτελεσματικό ή ισοδύναμο μήκος ανάπτυξης ισχύει : $F_{\text{eff}} = \frac{\sum F_i \cdot (\cos(\alpha_i))^2}{\sum \cos(\alpha_i)}$

Συνεπώς :

$$F_{\text{eff}} = \frac{F_0 \cdot (\cos(0^\circ))^2 + F_{15} \cdot (\cos(15^\circ))^2 + F_{30} \cdot (\cos(30^\circ))^2 + F_{45} \cdot (\cos(45^\circ))^2 + F'_{15} \cdot (\cos(15^\circ))^2}{\cos(0^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ)} + \frac{F'_{30} \cdot (\cos(30^\circ))^2 + F'_{45} \cdot (\cos(45^\circ))^2}{\cos(0^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ)} = \frac{8100 \cdot 1 + 5650 \cdot 0,93 + 0 \cdot 0,75 + 0 \cdot 0,5 + 15700 \cdot 0,93 + 8050 \cdot 0,75 + 13750 \cdot 0,5}{1 + 0,97 + 0,87 + 0,71 + 0,97 + 0,87 + 0,71} = \frac{39,18}{6,1} = 6423 \text{ m}$$

$$F_{\text{eff}} = 6423 \text{ m}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για μέτριο άνεμο είναι : $U_{10} = 7 \text{ m/sec}$

Η μη γραμμική μορφή της σχέσης ταχύτητας του ανέμου και διατμητικής τάσης που ασκείται στην επιφάνεια της θάλασσας, επιβάλλει την αντικατάσταση της παραμέτρου U_{10} με τη ρυθμισμένη ταχύτητα του ανέμου : $U_A = 0,71 \cdot U_{10}^{1,23} \text{ (m/sec)}$

$$\text{Άρα έχουμε } U_A = 0,71 \cdot U_{10}^{1,23} = 0,71 \cdot 7^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 7,78 \text{ m/sec}$$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g \cdot F_{\text{eff}}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 6423}{7,78^2} = \frac{63009,63}{60,53} = 1040,97 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Από τη σχέση JONSWAP (κυματισμοί υπό περιορισμό ανάπτυξης)

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \quad \text{βρίσκουμε τη διάρκεια πνοής του ανέμου } t_D :$$

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 7,78}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 6423}{7,78^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 5350,55 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 1,49 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος βρίσκεται από τη σχέση : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 6423 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{7,78^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 6423}{7,78^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 0,32 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{7,78}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 6423}{7,78^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 2,25 \text{ sec}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για ισχυρό άνεμο είναι : $U_{10} = 15 \text{ m/sec}$

Άρα έχουμε : $U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} = 0,71 * 15^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 19,85 \text{ m/sec}$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 6423}{19,85^2} = \frac{63009,63}{394,02} = 159,91 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου t_D :

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 19,85}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 6423}{19,85^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 3965 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 1,1 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 6423 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{19,85^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 6423}{19,85^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 0,81 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{19,85}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 6423}{19,85^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 3,09 \text{ sec}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για ορμητικό άνεμο είναι : $U_{10} = 22 \text{ m/sec}$

Άρα έχουμε : $U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} = 0,71 * 22^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 31,8 \text{ m/sec}$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 6423}{31,8^2} = \frac{63009,63}{1011,24} = 62,31 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου t_D :

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 31,8}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 6423}{31,8^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 3410 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 0,94 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 6423 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{31,8^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 6423}{31,8^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 1,3 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{31,8}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 6423}{31,8^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 3,62 \text{ sec}$$

Συνεπώς για Βόρειο άνεμο βρέθηκαν τα παρακάτω στοιχεία :

Μήκος ανάπτυξης : $F_{eff} = 6423 \text{ m}$

****Για μέτριο Βόρειο άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 7,78 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 1,49 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 0,32 \text{ m}$

Η περίοδος : $T_p = 2,25 \text{ sec}$

****Για ισχυρό Βόρειο άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 19,85 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 1,1 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 0,81 \text{ m}$

Η περίοδος : $T_p = 3,09 \text{ sec}$

****Για ορμητικό Βόρειο άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 31,8 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 0,94$ h

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 1,3$ m

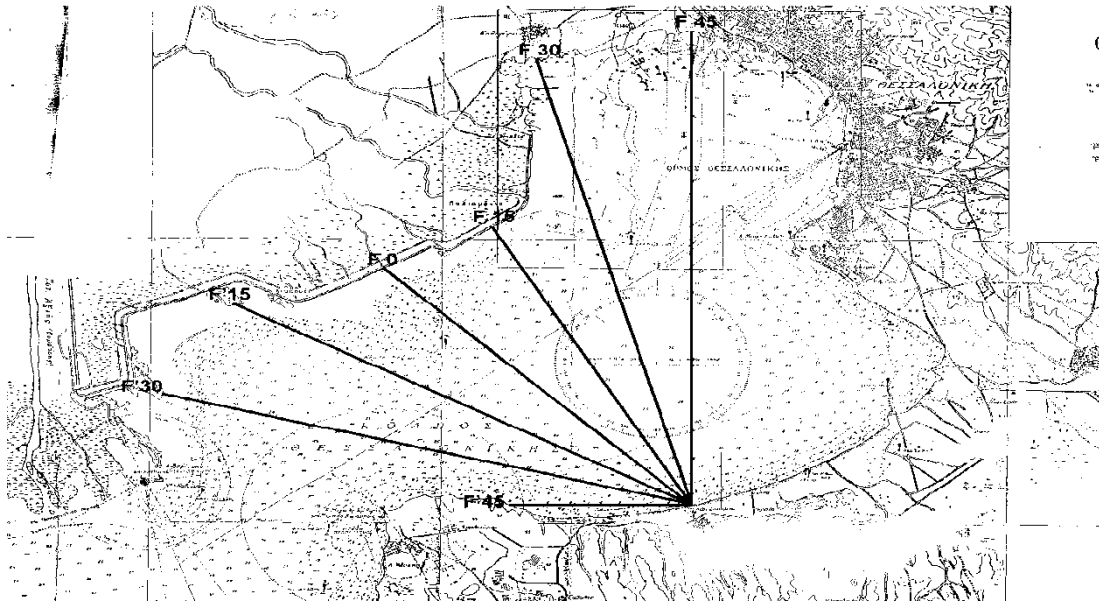
Η περίοδος : $T_p = 3,62$ sec

Πίνακας 5 : Στοιχεία αποτελεσμάτων για Βορειοανατολικό άνεμο

| ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (ΒΑ) | | | |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| | Μέτριο $U_{10}=7$ m/s | Ισχυρό $U_{10}=15$ m/s | Ορμητικό $U_{10}=22$ m/s |
| F_{eff} | 6423 m | 6424 m | 6425 m |
| U_A | 7,78 m/sec | 19,85 m/sec | 31,8 m/sec |
| t_D | 1,49 h | 1,1 h | 0,94 h |
| H_s | 0,32 m | 0,81 m | 1,3 m |
| T_p | 2,25 sec | 3,09 sec | 3,62 sec |

3.3.3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (ΒΔ)

Τα μήκη ανάπτυξης (εικόνα 58) κατά την κατεύθυνση που σχηματίζει γωνία α_i με την κατεύθυνση του ανέμου για την περίπτωση του Βορειοδυτικού ανέμου είναι :



Εικόνα 58 : Μήκη ανάπτυξης για το Βορειοδυτικό άνεμο

$$F_0 = 10900 \text{ m}$$

$$F_{15} = 10350 \text{ m} \quad F'_{15} = 13100 \text{ m}$$

$$F_{30} = 15150 \text{ m} \quad F'_{30} = 13100 \text{ m}$$

$$F_{45} = 15700 \text{ m} \quad F'_{45} = 4600 \text{ m}$$

Για το αποτελεσματικό ή ισοδύναμο μήκος ανάπτυξης ισχύει : $F_{eff} = \frac{\sum F_i * (\cos(\alpha_i))^2}{\sum \cos(\alpha_i)}$

Συνεπώς :

$$F_{eff} = \frac{F_0 * (\cos(0^\circ))^2 * F_{15} * (\cos(15^\circ))^2 * F_{30} * (\cos(30^\circ))^2 * F_{45} * (\cos(45^\circ))^2 * F'_{15} * (\cos(15^\circ))^2}{\cos(0^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ)} * \frac{F'_{30} * (\cos(30^\circ))^2 * F'_{45} * (\cos(45^\circ))^2}{\cos(0^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ)} = \frac{10900 * 1 + 15700 * 0,93 + 15150 * 0,75 + 10350 * 0,5 + 13100 * 0,93 + 13700 * 0,75 + 4600 * 0,5}{1 + 0,97 + 0,87 + 0,71 + 0,97 + 0,87 + 0,71} = \frac{67,92}{6,1} \Leftrightarrow$$

$$F_{eff} = 11133 \text{ m}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για μέτριο άνεμο είναι : $U_{10} = 7 \text{ m/sec}$

Η μη γραμμική μορφή της σχέσης ταχύτητας του ανέμου και διατμητικής τάσης που ασκείται στην επιφάνεια της θάλασσας, επιβάλλει την αντικατάσταση της παραμέτρου U_{10} με τη ρυθμισμένη ταχύτητα του ανέμου : $U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} \text{ (m/sec)}$

$$\text{Άρα έχουμε } U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} = 0,71 * 7^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 7,78 \text{ m/sec}$$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 11133}{7,78^2} = \frac{109214,73}{60,53} = 1804,31 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Από τη σχέση JONSWAP (κυματισμοί υπό περιορισμό ανάπτυξης) $\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66}$ βρίσκουμε τη διάρκεια πνοής του ανέμου t_D :

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 7,78}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 11133}{7,78^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 7692 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 2,14 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος βρίσκεται από τη σχέση : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 11133 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{7,78^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 11133}{7,78^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 0,42 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{7,78}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 11133}{7,78^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 2,7 \text{ sec}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για ισχυρό άνεμο είναι : $U_{10} = 15 \text{ m/sec}$

$$\text{Άρα έχουμε : } U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} = 0,71 * 15^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 19,85 \text{ m/sec}$$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 11133}{19,85^2} = \frac{109214,73}{394,02} = 277,18 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου t_D :

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 19,85}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 11133}{19,85^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 5700,7 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 1,58 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 11133 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{19,85^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 11133}{19,85^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 1,07 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{19,85}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 11133}{19,85^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 3,7 \text{ sec}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για ορμητικό άνεμο είναι : $U_{10} = 22 \text{ m/sec}$

Άρα έχουμε : $U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} = 0,71 * 22^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 31,8 \text{ m/sec}$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 11133}{31,8^2} = \frac{109214,73}{1011,24} = 108,01 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου t_D :

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 31,8}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 11133}{31,8^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 4902,4 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 1,36 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 11133 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{31,8^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 11133}{31,8^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 1,72 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{31,8}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 11133}{31,8^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 4,3 \text{ sec}$$

Συνεπώς για Βόρειο άνεμο βρέθηκαν τα παρακάτω στοιχεία :

Μήκος ανάπτυξης : $F_{eff} = 11133 \text{ m}$

****Για μέτριο Βόρειο άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 7,78 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 2,14 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 0,42 \text{ m}$

Η περίοδος : $T_p = 2,7 \text{ sec}$

****Για ισχυρό Βόρειο άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 19,85 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 1,58 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 1,07 \text{ m}$

Η περίοδος : $T_p = 3,7 \text{ sec}$

****Για ορμητικό Βόρειο άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 31,8 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 1,36 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 1,72 \text{ m}$

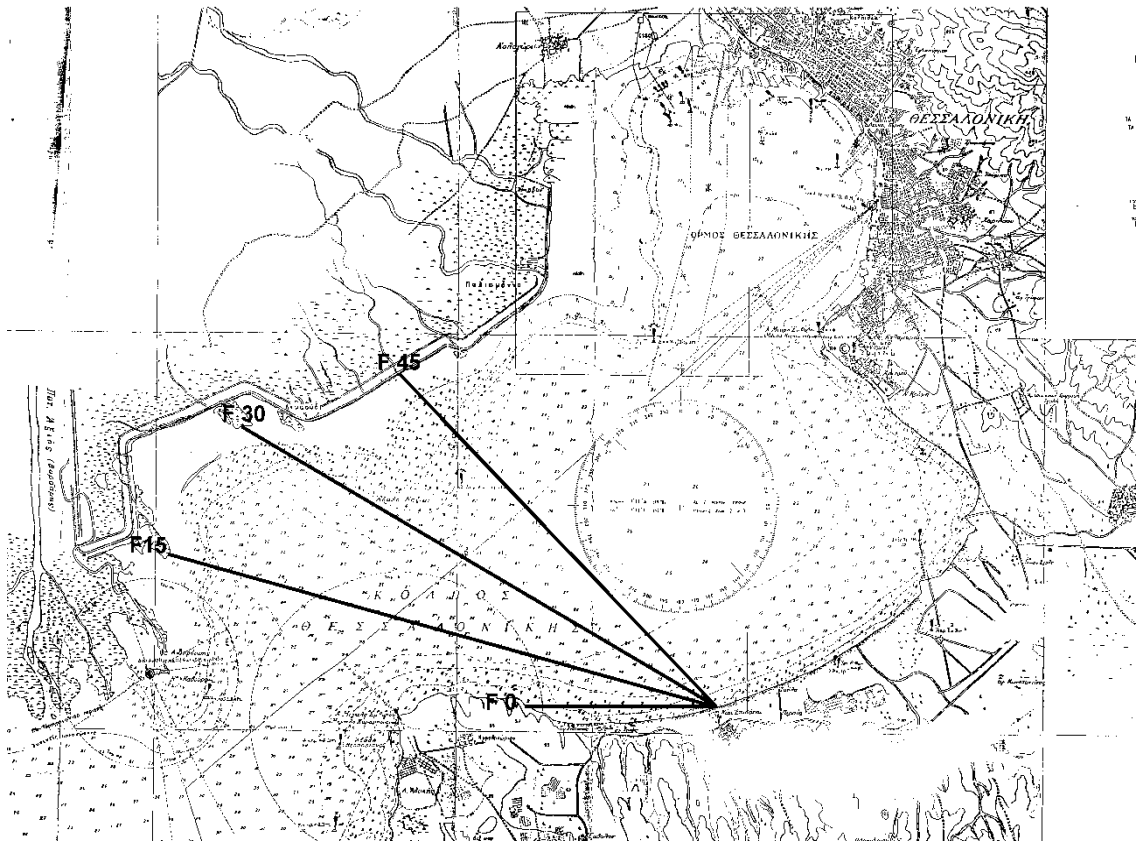
Η περίοδος : $T_p = 4,3 \text{ sec}$

Πίνακας 6 : Στοιχεία αποτελεσμάτων για Βορειοδυτικό άνεμο

| ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (ΒΔ) | | | |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | Μέτριο $U_{10}=7 \text{ m/s}$ | Ισχυρό $U_{10}=15 \text{ m/s}$ | Ορμητικό $U_{10}=22 \text{ m/s}$ |
| F_{eff} | 11133 m | 11134 m | 11135 m |
| U_A | 7,78 m/sec | 19,85 m/sec | 31,8 m/sec |
| t_D | 2,14 h | 1,58 h | 1,36 h |
| H_s | 0,42 m | 1,07 m | 1,72 m |
| T_p | 2,7 sec | 3,7 sec | 4,3 sec |

3.3.4. ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (Δ)

Τα μήκη ανάπτυξης (εικόνα 59) κατά την κατεύθυνση που σχηματίζει γωνία α_i με την κατεύθυνση του ανέμου για την περίπτωση του Δυτικού ανέμου είναι:



Εικόνα 59 : Μήκη ανάπτυξης για το Δυτικό άνεμο

$$F_0 = 4600 \text{ m} \quad F_{30} = 13100 \text{ m}$$

$$F_{15} = 13700 \text{ m} \quad F_{45} = 10900 \text{ m}$$

Για το αποτελεσματικό ή ισοδύναμο μήκος ανάπτυξης ισχύει : $F_{eff} = \frac{\sum F \cdot (\cos(ai))^2}{\sum \cos(ai)}$

$$\text{Συνεπώς : } \frac{F_0 \cdot (\cos(0^\circ))^2 + F_{15} \cdot (\cos(15^\circ))^2 + F_{30} \cdot (\cos(30^\circ))^2 + F_{45} \cdot (\cos(45^\circ))^2}{\cos(0^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ) + \cos(15^\circ) + \cos(30^\circ) + \cos(45^\circ)}$$

$$= \frac{4600 \cdot 1 + 13700 \cdot 0,93 + 13100 \cdot 0,75 + 10900 \cdot 0,5}{1 + 0,97 + 0,87 + 0,71 + 0,97 + 0,87 + 0,71} = \frac{32616}{6,1} = 5346,9 \text{ m}$$

$$F_{eff} = 5346,9 \text{ m}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για μέτριο άνεμο είναι : $U_{10} = 7 \text{ m/sec}$

Η μη γραμμική μορφή της σχέσης ταχύτητας του ανέμου και διαμητικής τάσης που ασκείται στην επιφάνεια της θάλασσας, επιβάλλει την αντικατάσταση της παραμέτρου U_{10} με τη ρυθμισμένη ταχύτητα του ανέμου : $U_A = 0,71 \cdot U_{10}^{1,23} \text{ (m/sec)}$

$$\text{Άρα έχουμε } U_A = 0,71 \cdot U_{10}^{1,23} = 0,71 \cdot 7^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 7,78 \text{ m/sec}$$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g \cdot F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g \cdot F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 \cdot 5346,9}{7,78^2} = \frac{52453,9}{60,53} = 866,56 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Από τη σχέση JONSWAP (κυματισμοί υπό περιορισμό ανάπτυξης)

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \quad \text{βρίσκουμε τη διάρκεια πνοής του ανέμου } t_D :$$

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 7,78}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 5346,9}{7,78^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 4740,84 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 1,32 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος βρίσκεται από τη σχέση : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 5381,1 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{7,78^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 5346,9}{7,78^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 0,29 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{7,78}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 5346,9}{7,78^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 2,11 \text{ sec}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για ισχυρό άνεμο είναι : $U_{10} = 15 \text{ m/sec}$

Άρα έχουμε : $U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} = 0,71 * 15^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 19,85 \text{ m/sec}$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 5346,9}{19,85^2} = \frac{52453,09}{394,02} = 133,12 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου t_D :

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 19,85}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 5346,9}{19,85^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 3513,06 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 0,98 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 5381,1 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{19,85^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 5346,9}{19,85^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 0,74 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{19,85}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 5346,9}{19,85^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 2,91 \text{ sec}$$

Η ταχύτητα U_{10} του ανέμου (μετρημένης σε 10m πάνω από την επιφάνεια) για ορμητικό άνεμο είναι : $U_{10} = 22 \text{ m/sec}$

Άρα έχουμε : $U_A = 0,71 * U_{10}^{1,23} = 0,71 * 22^{1,23} \Leftrightarrow U_A = 31,8 \text{ m/sec}$

Ελέγχεται εάν ισχύει η ανισότητα $\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} > 22800$ έτσι ώστε να ακολουθηθεί η μέθοδος

Pierson-Moskovitz :

$$\frac{g * F_{eff}}{U_A^2} = \frac{9,81 * 5346,9}{31,8^2} = \frac{52453,09}{1011,24} = 51,87 < 22800$$

Παρατηρείται ότι η ανισότητα δεν επαληθεύεται, επομένως θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **JONSWAP**.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου t_D :

$$\frac{g * t_D}{U_A} = 68,8 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = \frac{68,8 * U_A}{g} * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow$$

$$t_D = \frac{68,8 * 31,8}{9,81} * \left(\frac{9,81 * 5346,9}{31,8^2}\right)^{0,66} \Leftrightarrow t_D = 3021,29 \text{ sec} \Leftrightarrow t_D = 0,84 \text{ h}$$

Το σημαντικό ύψος H_s κύματος : $H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * x}{U_A^2}\right)^{0,5}$

Για $x = F_{eff} = 6423 \text{ m}$ έχουμε

$$H_s = \frac{U_A^2}{g} * 0,0016 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,5} = \frac{31,8^2}{9,81} * 0,0016 * \left(\frac{9,81 * 5346,9}{31,8^2}\right)^{0,5} \Leftrightarrow H_s = 1,19 \text{ m}$$

Η περίοδος T_p που αντιστοιχεί στη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα είναι :

$$T_p = \frac{U_A}{g} * 0,2860 * \left(\frac{g * F_{eff}}{U_A^2}\right)^{0,33} = \frac{31,8}{9,81} * 0,2860 * \left(\frac{9,81 * 5346,9}{31,8^2}\right)^{0,33} \Leftrightarrow T_p = 3,41 \text{ sec}$$

Συνεπώς για Βόρειο άνεμο βρέθηκαν τα παρακάτω στοιχεία :

Μήκος ανάπτυξης : $F_{eff} = 5346,9 \text{ m}$

****Για μέτριο Δυτικό άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 7,78 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 1,32 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 0,29 \text{ m}$

Η περίοδος : $T_p = 2,11 \text{ sec}$

****Για ισχυρό Δυτικό άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 19,85 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 0,98 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 0,74 \text{ m}$

Η περίοδος : $T_p = 2,91 \text{ sec}$

****Για ορμητικό Δυτικό άνεμο**

Ταχύτητα ανέμου : $U_A = 31,8 \text{ m/sec}$

Διάρκεια πνοής ανέμου : $t_D = 0,84 \text{ h}$

Το σημαντικό ύψος κύματος : $H_s = 1,19 \text{ m}$

Η περίοδος : $T_p = 3,41 \text{ sec}$

Πίνακας 7 : Στοιχεία αποτελεσμάτων για Βορειοανατολικό άνεμο

| ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (Δ) | | | |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | Μέτριο $U_{10}=7 \text{ m/s}$ | Ισχυρό $U_{10}=15 \text{ m/s}$ | Ορμητικό $U_{10}=22 \text{ m/s}$ |
| F_{eff} | 5346.9 m | 5346.9 m | 5346.9 m |
| U_A | 7,78 m/sec | 19,85 m/sec | 31,8 m/sec |
| t_D | 1,32 h | 0,98 h | 0,84 h |
| H_s | 0,29 m | 0,74 m | 1,19 m |
| T_p | 2,11 sec | 2,91 sec | 3,41 sec |

3.4. ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Τα ύψη των ισοδύναμων κυματισμών υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις :

$$T = \frac{\sum (T_i * f_i)}{\sum f_i} \quad \text{και} \quad H^2 * T = \frac{\sum (H_i^2 * T_i * f_i)}{\sum f_i}$$

Όπου T η ισοδύναμη περίοδος, H_i τα ύψη, T_i οι περίοδοι και f_i οι συχνότητες εμφάνισης των κυμάτων που αντιστοιχούν στα διάφορα επίπεδα έντασης του ανέμου από τη σχετική διεύθυνση. Ο ισοδύναμος κυματισμός είναι ουσιαστικά ο κυματισμός που εμφανίζεται με συχνότητα $f = \sum f_i$ και έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με το σύνολο των κυματισμών των διάφορων εντάσεων του σχετικού τομέα.

3.4.1. ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΤΟΝ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΑΝΕΜΟ

Πίνακας 8 : Ανεμολογικές συνθήκες στο Αιγαίο (Κατσούλης Σ. 1970)

| | B | BA | A | NA | N | NΔ | Δ | ΒΔ |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Ασθενείς | 6,64 | 4,20 | 0,88 | 6,11 | 7,18 | 1,88 | 3,40 | 10,77 |
| Μέτριοι | 9,91 | 1,58 | 0,90 | 5,30 | 6,10 | 1,55 | 2,84 | 6,26 |
| Ισχυροί | 3,66 | 0,15 | 0,16 | 0,40 | 0,55 | 0,28 | 0,54 | 1,17 |
| Ορμητικοί | 2,76 | 0,04 | 0,06 | 0,12 | 0,19 | 0,44 | 0,55 | 0,67 |

$T_{μέτριο}^B = 2,67 \text{ sec}$ και $H_{μέτριο}^B = 0,42 \text{ m}$

$T_{ισχυροί}^B = 3,67 \text{ sec}$ και $H_{ισχυροί}^B = 1,05 \text{ m}$

$T_{ορμητικοί}^B = 4,31 \text{ sec}$ και $H_{ορμητικοί}^B = 1,69 \text{ m}$

Η ισοδύναμη περίοδος είναι :

$$T^B = \frac{T_{\text{μέτριο}}^B * f_{\text{μέτριο}}^B + T_{\text{ισχυρό}}^B * f_{\text{ισχυρό}}^B + T_{\text{ορμητικό}}^B * f_{\text{ορμητικό}}^B}{f_{\text{μέτριο}}^B + f_{\text{ισχυρό}}^B + f_{\text{ορμητικό}}^B} = \frac{2,67 * 9,91 + 3,67 * 3,66 + 4,31 * 2,67}{9,91 + 3,66 + 2,76} =$$

$$= \frac{51,7875}{16,33} \Leftrightarrow T^B = 3,17 \text{ sec}$$

Το ύψος ισοδύναμου κυματισμού :

$$H^2 * T = \frac{\sum (H_i^2 * T_i * f_i)}{\sum f_i} \Leftrightarrow H = \sqrt{\frac{\sum (H_i^2 * T_i * f_i)}{T * \sum f_i}} =$$

$$= \sqrt{\frac{H_{\text{μέτριο}}^B{}^2 * T_{\text{μέτριο}}^B * f_{\text{μέτριο}}^B + H_{\text{ισχυρό}}^B{}^2 * T_{\text{ισχυρό}}^B * f_{\text{ισχυρό}}^B + H_{\text{ορμητικό}}^B{}^2 * T_{\text{ορμητικό}}^B * f_{\text{ορμητικό}}^B}{T^B * (f_{\text{μέτριο}}^B + f_{\text{ισχυρό}}^B + f_{\text{ορμητικό}}^B)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,42^2 * 2,67 * 9,91 + 1,05^2 * 3,67 * 3,66 + 1,69^2 * 4,31 * 2,67}{3,17 * (9,91 + 3,66 + 2,67)}} = \sqrt{\frac{52,34}{51,77}} \Leftrightarrow H^B = 1,01 \text{ m}$$

3.4.2. ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ

Πίνακας 9 : Ανεμολογικές συνθήκες στο Αιγαίο (Κατσούλης Σ. 1970)

| | B | BA | A | NA | N | NΔ | Δ | ΒΔ |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Ασθενείς | 6,64 | 4,20 | 0,88 | 6,11 | 7,18 | 1,88 | 3,40 | 10,77 |
| Μέτριοι | 9,91 | 1,58 | 0,90 | 5,30 | 6,10 | 1,55 | 2,84 | 6,26 |
| Ισχυροί | 3,66 | 0,15 | 0,16 | 0,40 | 0,55 | 0,28 | 0,54 | 1,17 |
| Ορμητικοί | 2,76 | 0,04 | 0,06 | 0,12 | 0,19 | 0,44 | 0,55 | 0,67 |

$$T_{\text{μέτριο}}^{BA} = 2,25 \text{ sec και } H_{\text{μέτριο}}^{BA} = 0,32 \text{ m}$$

$$T_{\text{ισχυρό}}^{BA} = 3,09 \text{ sec και } H_{\text{ισχυρό}}^{BA} = 0,81 \text{ m}$$

$$T_{\text{ορμητικό}}^{BA} = 3,62 \text{ sec και } H_{\text{ορμητικό}}^{BA} = 1,3 \text{ m}$$

Η ισοδύναμη περίοδος είναι :

$$T^{BA} = \frac{T_{\text{μέτριο}}^{BA} * f_{\text{μέτριο}}^{BA} + T_{\text{ισχυρό}}^{BA} * f_{\text{ισχυρό}}^{BA} + T_{\text{ορμητικό}}^{BA} * f_{\text{ορμητικό}}^{BA}}{f_{\text{μέτριο}}^{BA} + f_{\text{ισχυρό}}^{BA} + f_{\text{ορμητικό}}^{BA}} = \frac{2,25 * 1,58 + 3,09 * 0,15 + 3,62 * 0,04}{1,58 + 0,15 + 0,04} =$$

$$= \frac{4,163}{1,77} \Leftrightarrow T^{BA} = 2,35 \text{ sec}$$

Το ύψος ισοδύναμου κυματισμού :

$$H^2 * T = \frac{\sum (H_i^2 * T_i * f_i)}{\sum f_i} \Leftrightarrow H = \sqrt{\frac{\sum (H_i^2 * T_i * f_i)}{T * \sum f_i}} =$$

$$= \sqrt{\frac{H_{\text{μέτριο}}^{BA}{}^2 * T_{\text{μέτριο}}^{BA} * f_{\text{μέτριο}}^{BA} + H_{\text{ισχυρό}}^{BA}{}^2 * T_{\text{ισχυρό}}^{BA} * f_{\text{ισχυρό}}^{BA} + H_{\text{ορμητικό}}^{BA}{}^2 * T_{\text{ορμητικό}}^{BA} * f_{\text{ορμητικό}}^{BA}}{T^{BA} * (f_{\text{μέτριο}}^{BA} + f_{\text{ισχυρό}}^{BA} + f_{\text{ορμητικό}}^{BA})}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,32^2 * 2,25 * 1,58 + 0,81^2 * 3,09 * 0,15 + 1,30^2 * 3,62 * 0,04}{2,35 * (1,58 + 0,15 + 0,04)}} = \sqrt{\frac{0,91}{4,16}} \Leftrightarrow H^{BA} = 0,47 \text{ m}$$

3.4.3. ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ

Πίνακας 10 : Ανεμολογικές συνθήκες στο Αιγαίο (Κατσούλης Σ. 1970)

| | B | BA | A | NA | N | ΝΔ | Δ | ΒΔ |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Ασθενείς | 6,64 | 4,20 | 0,88 | 6,11 | 7,18 | 1,88 | 3,40 | 10,77 |
| Μέτριοι | 9,91 | 1,58 | 0,90 | 5,30 | 6,10 | 1,55 | 2,84 | 6,26 |
| Ισχυροί | 3,66 | 0,15 | 0,16 | 0,40 | 0,55 | 0,28 | 0,54 | 1,17 |
| Ορμητικοί | 2,76 | 0,04 | 0,06 | 0,12 | 0,19 | 0,44 | 0,55 | 0,67 |

$$T_{\text{μέτριο}}^{B\Delta} = 2,70 \text{ sec} \quad \text{και} \quad H_{\text{μέτριο}}^{B\Delta} = 0,42 \text{ m}$$

$$T_{\text{ισχυρό}}^{B\Delta} = 3,70 \text{ sec} \quad \text{και} \quad H_{\text{ισχυρό}}^{B\Delta} = 1,07 \text{ m}$$

$$T_{\text{ορμητικό}}^{B\Delta} = 4,30 \text{ sec} \quad \text{και} \quad H_{\text{ορμητικό}}^{B\Delta} = 1,72 \text{ m}$$

Η ισοδύναμη περίοδος είναι :

$$T^{B\Delta} = \frac{T_{\text{μέτριο}}^{B\Delta} * f_{\text{μέτριο}}^{B\Delta} + T_{\text{ισχυρό}}^{B\Delta} * f_{\text{ισχυρό}}^{B\Delta} + T_{\text{ορμητικό}}^{B\Delta} * f_{\text{ορμητικό}}^{B\Delta}}{f_{\text{μέτριο}}^{B\Delta} + f_{\text{ισχυρό}}^{B\Delta} + f_{\text{ορμητικό}}^{B\Delta}} = \frac{2,70 * 6,26 + 3,70 * 1,17 + 4,30 * 0,67}{6,26 + 1,17 + 0,67} = \frac{24,11}{8,1} \Leftrightarrow T^{B\Delta} = 2,98 \text{ sec}$$

Το ύψος ισοδύναμου κυματισμού :

$$H^2 * T = \frac{\sum (H_i^2 * T_i * f_i)}{\sum f_i} \Leftrightarrow H = \sqrt{\frac{\sum (H_i^2 * T_i * f_i)}{T * \sum f_i}}$$

$$= \sqrt{\frac{H_{\text{μέτριο}}^{B\Delta 2} * T_{\text{μέτριο}}^{B\Delta} * f_{\text{μέτριο}}^{B\Delta} + H_{\text{ισχυρό}}^{B\Delta 2} * T_{\text{ισχυρό}}^{B\Delta} * f_{\text{ισχυρό}}^{B\Delta} + H_{\text{ορμητικό}}^{B\Delta 2} * T_{\text{ορμητικό}}^{B\Delta} * f_{\text{ορμητικό}}^{B\Delta}}{T^{B\Delta} * (f_{\text{μέτριο}}^{B\Delta} + f_{\text{ισχυρό}}^{B\Delta} + f_{\text{ορμητικό}}^{B\Delta})}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,42^2 * 2,70 * 6,26 + 1,07^2 * 3,70 * 1,17 + 1,72^2 * 4,30 * 0,67}{2,98 * (6,26 + 1,17 + 0,67)}} = \sqrt{\frac{16,46}{20,16}} \Leftrightarrow H^{B\Delta} = 0,90 \text{ m}$$

3.4.4. ΥΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ

Πίνακας 11 : Ανεμολογικές συνθήκες στο Αιγαίο (Κατσούλης Σ. 1970)

| | B | BA | A | NA | N | ΝΔ | Δ | ΒΔ |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Ασθενείς | 6,64 | 4,20 | 0,88 | 6,11 | 7,18 | 1,88 | 3,40 | 10,77 |
| Μέτριοι | 9,91 | 1,58 | 0,90 | 5,30 | 6,10 | 1,55 | 2,84 | 6,26 |
| Ισχυροί | 3,66 | 0,15 | 0,16 | 0,40 | 0,55 | 0,28 | 0,54 | 1,17 |
| Ορμητικοί | 2,76 | 0,04 | 0,06 | 0,12 | 0,19 | 0,44 | 0,55 | 0,67 |

$$T_{\text{μέτριο}}^{\Delta} = 2,11 \text{ sec} \quad \text{και} \quad H_{\text{μέτριο}}^{\Delta} = 0,29 \text{ m}$$

$$T_{\text{ισχυρό}}^{\Delta} = 2,91 \text{ sec} \quad \text{και} \quad H_{\text{ισχυρό}}^{\Delta} = 0,74 \text{ m}$$

$$T_{\text{ορμητικό}}^{\Delta} = 3,41 \text{ sec} \quad \text{και} \quad H_{\text{ορμητικό}}^{\Delta} = 1,19 \text{ m}$$

Η ισοδύναμη περίοδος είναι :

$$T^{\Delta} = \frac{T_{\mu\epsilon\tau\rho\iota}^{\Delta} * f_{\mu\epsilon\tau\rho\iota}^{\Delta} + T_{\iota\sigma\chi\upsilon\rho\acute{o}}^{\Delta} * f_{\iota\sigma\chi\upsilon\rho\acute{o}}^{\Delta} + T_{\theta\rho\rho\mu\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}^{\Delta} * f_{\theta\rho\rho\mu\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}^{\Delta}}{f_{\mu\epsilon\tau\rho\iota}^{\Delta} + f_{\iota\sigma\chi\upsilon\rho\acute{o}}^{\Delta} + f_{\theta\rho\rho\mu\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}^{\Delta}} = \frac{2,11 * 2,84 + 2,91 * 0,54 + 3,41 * 0,55}{2,84 + 0,54 + 0,55} = \frac{9,47}{3,932} \Leftrightarrow$$

$$T^{\Delta} = \mathbf{2,41 \text{ sec}}$$

Το ύψος ισοδύναμου κυματισμού :

$$H^2 * T = \frac{\sum (H_i^2 * T_i * f_i)}{\sum f_i} \Leftrightarrow H = \sqrt{\frac{\sum (H_i^2 * T_i * f_i)}{T * \sum f_i}}$$

$$= \sqrt{\frac{H_{\mu\epsilon\tau\rho\iota}^{\Delta 2} * T_{\mu\epsilon\tau\rho\iota}^{\Delta} * f_{\mu\epsilon\tau\rho\iota}^{\Delta} + H_{\iota\sigma\chi\upsilon\rho\acute{o}}^{\Delta 2} * T_{\iota\sigma\chi\upsilon\rho\acute{o}}^{\Delta} * f_{\iota\sigma\chi\upsilon\rho\acute{o}}^{\Delta} + H_{\theta\rho\rho\mu\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}^{\Delta 2} * T_{\theta\rho\rho\mu\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}^{\Delta} * f_{\theta\rho\rho\mu\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}^{\Delta}}{T^{\Delta} * (f_{\mu\epsilon\tau\rho\iota}^{\Delta} + f_{\iota\sigma\chi\upsilon\rho\acute{o}}^{\Delta} + f_{\theta\rho\rho\mu\eta\tau\iota\kappa\acute{o}}^{\Delta})}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,29^2 * 2,11 * 2,84 + 0,74^2 * 2,91 * 0,54 + 1,19^2 * 3,41 * 0,55}{2,41 * (2,84 + 0,54 + 0,55)}} = \sqrt{\frac{4,02}{9,47}} \Leftrightarrow H^{\Delta} = \mathbf{0,65 \text{ m}}$$

Συνεπώς βρέθηκαν τα παρακάτω στοιχεία T και H:

Η ισοδύναμη περίοδος για Βόρειο άνεμο : $T^B = \mathbf{3,17 \text{ sec}}$

Η ισοδύναμη περίοδος για Βορειοανατολικό άνεμο : $T^{BA} = \mathbf{2,35 \text{ sec}}$

Η ισοδύναμη περίοδος για Βορειοδυτικό άνεμο : $T^{BD} = \mathbf{2,98 \text{ sec}}$

Η ισοδύναμη περίοδος για Δυτικό άνεμο : $T^{\Delta} = \mathbf{2,41 \text{ sec}}$

Τα ύψη των ισοδύναμων κυματισμών για Βόρειο άνεμο : $H^B = \mathbf{1,01 \text{ m}}$

Τα ύψη των ισοδύναμων κυματισμών για Βορειοανατολικό άνεμο : $H^{BA} = \mathbf{0,47 \text{ m}}$

Τα ύψη των ισοδύναμων κυματισμών για Βορειοδυτικό άνεμο : $H^{BD} = \mathbf{0,90 \text{ m}}$

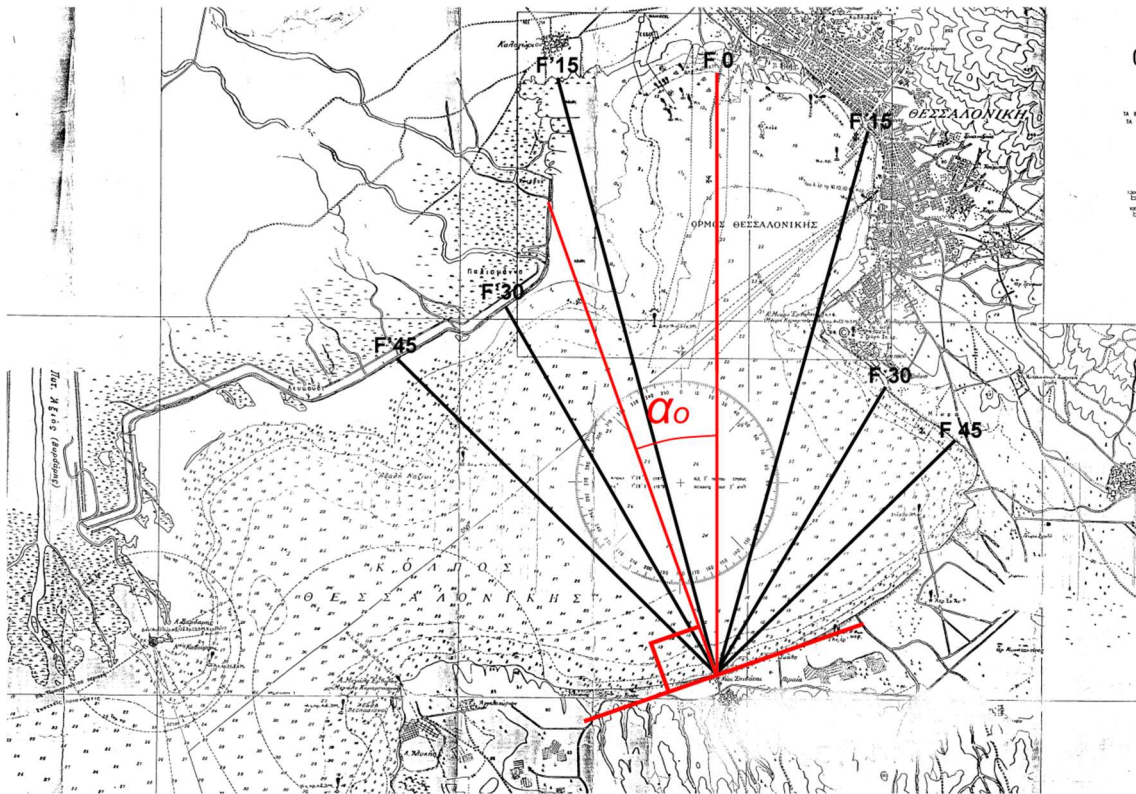
Τα ύψη των ισοδύναμων κυματισμών για Δυτικό άνεμο : $H^{\Delta} = \mathbf{0,65 \text{ m}}$

3.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΘΡΑΥΣΗΣ

Τα στοιχεία στη ζώνη θραύσης είναι η γωνία θραύσης $\alpha_b = \sin^{-1}(\frac{L_b}{L_0} * \sin(\alpha_0))$, το βάθος θραύσης d_b , το ύψος θραυόμενου κύματος H_b ενώ η απόσταση της γραμμής θραύσης από την ακτή είναι $X = \frac{d_b}{m}$ όπου m η κλίση του πυθμένα.

3.5.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΑΝΕΜΟ

Ο κυματισμός που διαδίδεται από την ανοιχτή θάλασσα προς την ακτή (στη περιοχή που κείται ο κυματοθραύστης) έχει στοιχεία : ύψος κύματος $H_0 = 0,936 \text{ m}$, περίοδος κύματος $T = 3,17 \text{ sec}$ και γωνία (που σχηματίζεται από την κάθετη προς την ακτή και τη διεύθυνση του Βόρειου κύματος και ορίζεται από τις κόκκινες γραμμές) $\alpha_0 = 20^0$ (εικόνα 60)



Εικόνα 60 : Ένδειξη γωνίας διάδοσης κύματος (α_0) και μήκη ανάπτυξης κύματος για το κύμα που προκαλείται από βόρειο άνεμο

| H_0 | T | α_0 |
|--------|----------|------------|
| 1,01 m | 3,17 sec | 20° |

Η κλίμακα του χάρτη είναι 1:50.000, που σημαίνει ότι για ισοβαθή 5 m, έχουμε απόσταση (από την ακτή) 0,7 cm που αντιστοιχούν σε 350 m

$$\text{Η κλίση του πυθμένα : } \frac{\Delta x}{L} = \frac{5-0}{350} = 0,0143 \rightarrow 1,43 \%$$

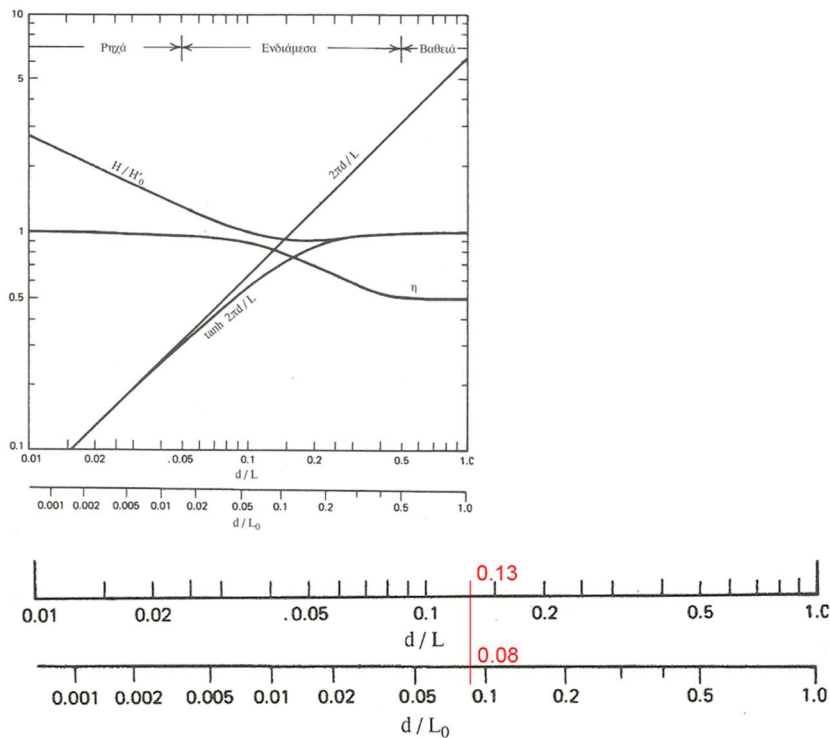
Το μήκος κύματος στα βαθιά νερά είναι :

$$L_0 = g * \frac{T^2}{2 * \pi} = 9,81 * \frac{3,17^2}{2 * 3,14} \Leftrightarrow L_0 = 15,7 \text{ m}$$

Για τον υπολογισμό της διάθλασης έως τη γραμμή θραύσης των κυματισμών υποτίθεται σε πρώτη προσέγγιση ένα βάθος θραύσης $d_b = \frac{H_0}{0,78} = \frac{1,01}{0,78} \Leftrightarrow d_b = 1,29 \text{ m}$

Στο βάθος αυτό υπολογίζεται το μήκος κύματος L_b

$$\frac{d_b}{L_0} = \frac{1,29}{15,7} = 0,08$$



Εικόνα 61 : Νομογράφημα d/L και d/L_0

Από την παραπάνω εικόνα 61, προκύπτει ότι

$$\frac{d_b}{L_b} = 0,13 \Leftrightarrow L_b = \frac{d_b}{0,13} = \frac{1,29}{0,13} \Leftrightarrow L_b = 9,92 \text{ m}$$

Στο βάθος θραύσης $d_b = 1,29 \text{ m}$ υπολογίζεται το μήκος κύματος L

$$L = L_0 * \tanh(2 * \pi * \frac{d_b}{L_b}) = 15,7 * \tanh(2 * 3,14 * \frac{1,29}{9,92}) \Leftrightarrow L = 10,57 \text{ m}$$

Εφαρμόζοντας το μέσο όρο έχουμε :

$$L_b = \frac{9,92 + 10,57}{2} \Leftrightarrow L_b = 10,25 \text{ m}$$

Από το νόμο της διάθλασης βρίσκεται :

$$\eta \text{ γωνία θραύσης } \alpha_b = \sin^{-1}(\frac{L_b}{L_0} * \sin(\alpha_0)) = \sin^{-1}(\frac{10,25}{15,7} * \sin(20^\circ)) \Leftrightarrow \alpha_b = 12,90^\circ$$

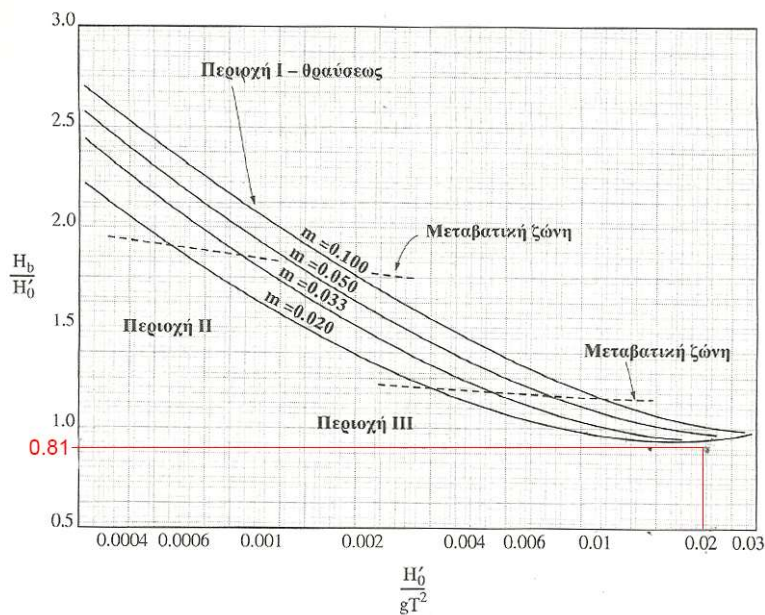
και

$$\text{ο συντελεστής διάθλασης } k_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_b)}} = \sqrt{\frac{\cos(20^\circ)}{\cos(12,90^\circ)}} = \sqrt{\frac{0,94}{0,97}} \Leftrightarrow k_r = 0,98$$

Το ύψος κύματος μετά τη διάθλαση είναι :

$$H_0' = 2 * k_r = 2 * 0,98 \Leftrightarrow H_0' = 1,96 \text{ m}$$

Από το νομογράφημα (εικόνα 62) το σχετικό με τη θραύση των κυματισμών

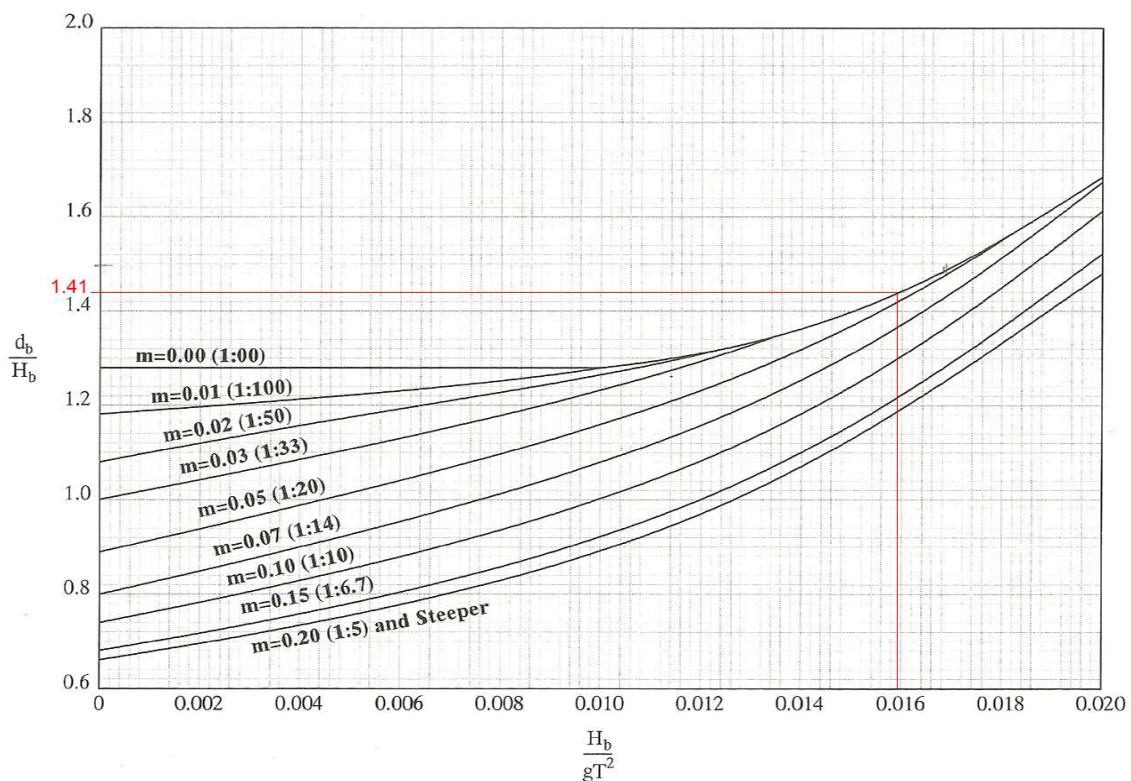


Εικόνα 62 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

την τιμή $\frac{H'_0}{g * T^2} = \frac{1.96}{9,81 * 3,17^2} = 0,02$ και την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$

προκύπτει ότι $\frac{H_b}{H'_0} = 0,81$ και $H_b = 0,81 * 1,96 \Leftrightarrow H_b = 1,59$ m

Από την παραπάνω τιμή, τον λόγο $\frac{H_b}{g * T^2} = 0,016$ m/sec² και $m = 0,0143$, καθώς και με τη βοήθεια του παρακάτω νομογραφήματος (εικόνα 63)



Εικόνα 63 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

προκύπτει ότι:

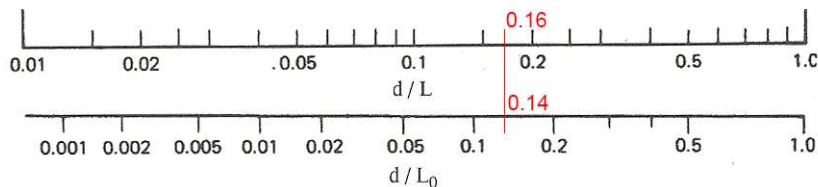
$$\frac{d_b}{H_b} = 1,41 \Leftrightarrow d_b = 1,41 * H_b = 1,41 * 1,59 \Leftrightarrow d_b = 2,24 \text{ m}$$

Επειδή η νέα τιμή υπερβαίνει το 20% της αρχικής, η οποία είναι ίση με 1,20 m , επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία με τα παρακάτω στοιχεία :

| H_o | T | α_o | L_o | d_b |
|--------|----------|------------|--------|--------|
| 1,01 m | 3,17 sec | 20° | 15,7 m | 2,24 m |

Για 350 m η κλίση του πυθμένα είναι : $m = 0,0143$ δηλαδή 1,43 %

$$\frac{d_b}{L_o} = \frac{2,24}{15,7} = 0,14$$



Εικόνα 64 : Νομογράφημα d/L και d/L_o

Από τον παραπάνω νομογράφημα (εικόνα 64) προκύπτει : $\frac{d_b}{L_b} = 0,16$

$$L_b = \frac{d_b}{0,16} = \frac{2,24}{0,16} \Leftrightarrow L_{b1} = 14 \text{ m}$$

$$L_{b2} = L_o * \tanh(2 * \pi * \frac{d_b}{L_b}) = 15,7 * \tanh(2 * 3,14 * \frac{2,24}{14}) \Leftrightarrow L_{b2} = 12 \text{ m}$$

Εφαρμόζοντας τον μέσο όρο έχουμε :

$$L_b = \frac{L_{b1} + L_{b2}}{2} = \frac{14 + 12}{2} \Leftrightarrow L_b = 13 \text{ m}$$

Από το νόμο της διάθλασης βρίσκεται :

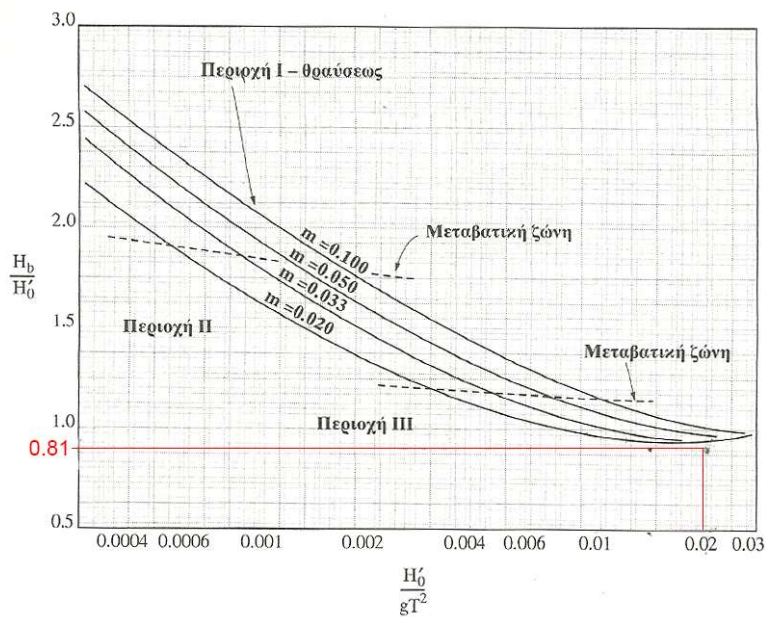
$$\gamma\omega\nu\acute{\iota}\alpha \text{ θραύσης } \alpha_b = \sin^{-1}(\frac{L_b}{L_o} * \sin(\alpha_o)) = \sin^{-1}(\frac{13}{15,7} * \sin(20^\circ)) \Leftrightarrow \alpha_b = 16,45^\circ$$

$$\text{συντελεστή διάθλασης } k_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_o)}{\cos(\alpha_b)}} = \sqrt{\frac{\cos(20^\circ)}{\cos(16,45^\circ)}} = \sqrt{\frac{0,94}{0,96}} \Leftrightarrow k_r = 0,99$$

Το ύψος κύματος μετά τη διάθλαση είναι :

$$H_o' = 2 * k_r = 2 * 0,99 \Leftrightarrow H_o' = 1,98 \text{ m}$$

Από το νομογράφημα (εικόνα 65) το σχετικό με τη θραύση των κυματισμών,

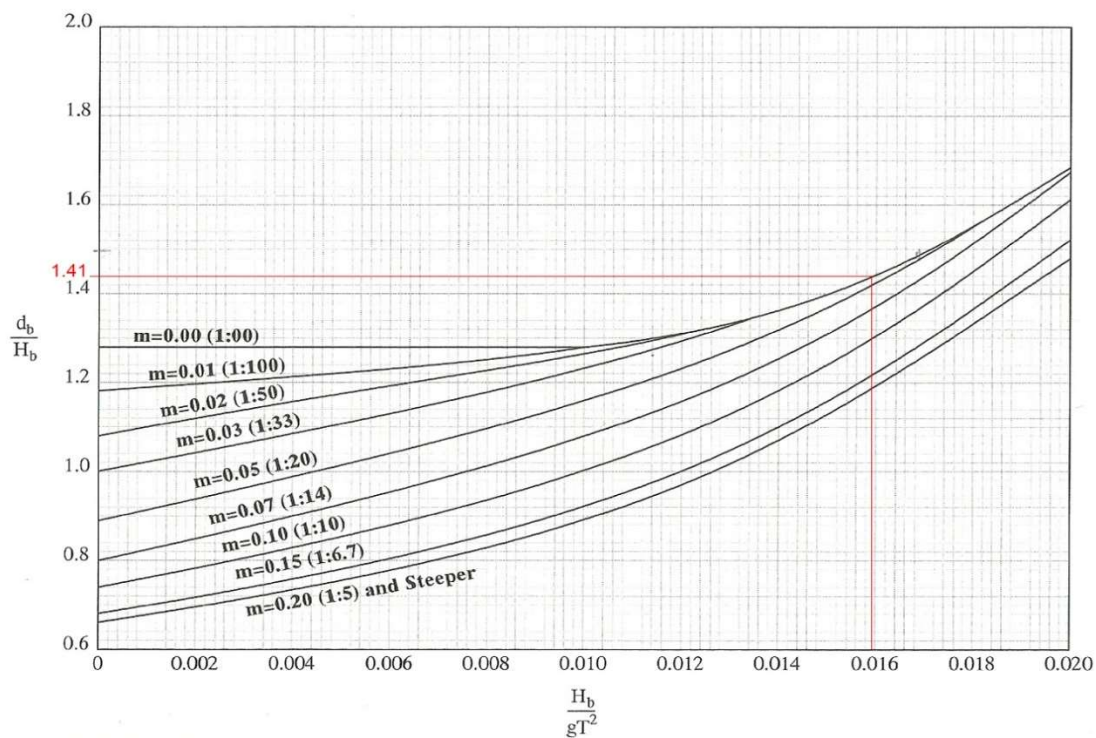


Εικόνα 65 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

την τιμή $\frac{H'_0}{g * T^2} = \frac{1,98}{9,81 * 3,17^2} = 0,02$ και την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$

προκύπτει ότι $\frac{H_b}{H'_0} = 0,81 \Leftrightarrow H_b = 0,81 * 1,98 \Leftrightarrow H_b = 1,6 \text{ m}$

Από την παραπάνω τιμή, τον λόγο $\frac{H_b}{g * T^2} = 0,016$, την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$, καθώς και με τη βοήθεια του παρακάτω νομογραφήματος (εικόνα 66)



Εικόνα 66 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

βρίσκουμε ότι :

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,41 \Leftrightarrow d_b = 1,41 * H_b = 1,41 * 1,6 \Leftrightarrow d_b = 2,26 \text{ m}$$

Η πρώτη τιμή του d_b είναι ίση με 2,24 , ενώ μετά τη διόρθωση η νέα τιμή είναι ίση με 2,26

Η διαφορά είναι μικρότερη της τάξης του 20%, συνεπώς δε χρειάζεται να επαναληφθεί η διαδικασία για νέο d_b .

Έτσι τα στοιχεία θραύσης είναι :

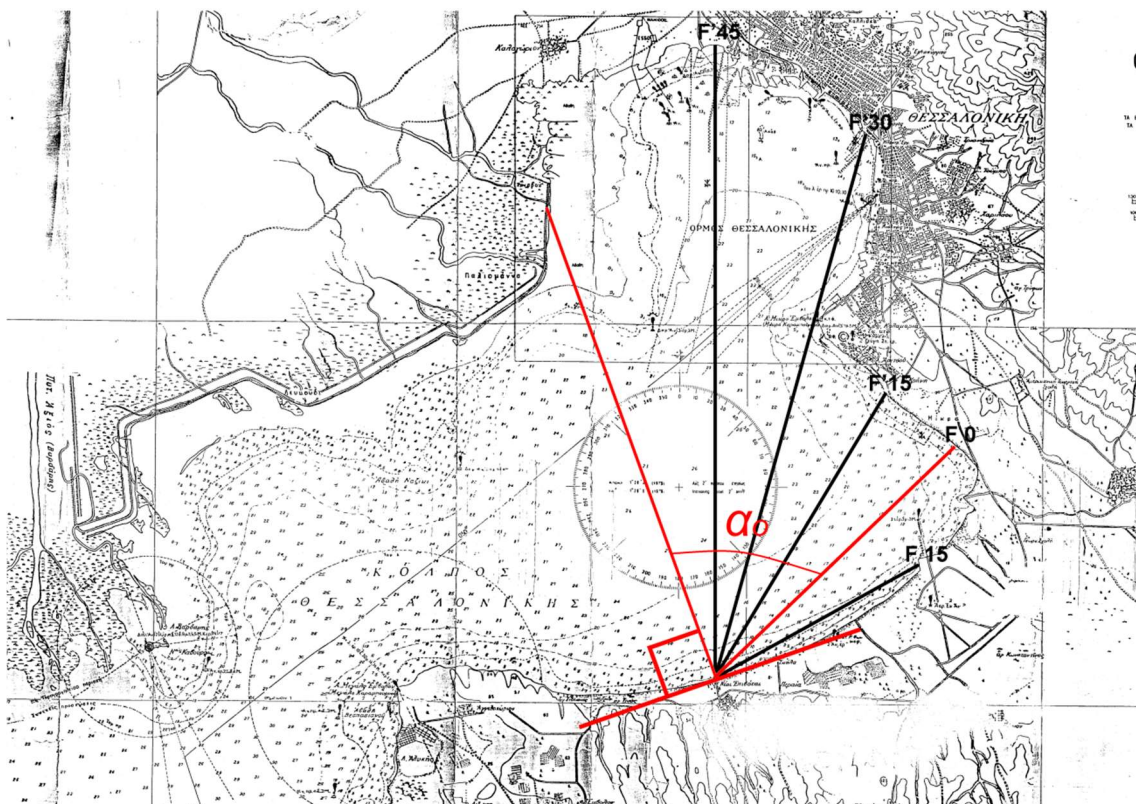
| d_b | H_b | α_b |
|--------|--------|------------|
| 2,26 m | 1,78 m | 16,45° |

Η απόσταση της γραμμής θραύσης από την ακτή είναι :

$$X = \frac{d_b}{m} = \frac{2,26}{0,0143} = 158,04 \text{ m}$$

3.5.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ

Ο κυματισμός που διαδίδεται από την ανοιχτή θάλασσα προς την ακτή (στη περιοχή που κείται ο κυματοθραύστης) έχει στοιχεία : ύψος κύματος $H_0 = 0,47 \text{ m}$, περίοδος κύματος $T = 2,35 \text{ sec}$ και γωνία (που σχηματίζεται από την κάθετη προς την ακτή και τη διεύθυνση του Βορειοανατολικού κύματος και ορίζεται από τις κόκκινες γραμμές) $\alpha_0 = 65^\circ$ (εικόνα 67)



Εικόνα 67 : Ένδειξη γωνίας διάδοσης κύματος (α_0) και μήκη ανάπτυξης για το κύμα που προκαλείται από βορειοανατολικό άνεμο.

| H_0 | T | α_0 |
|--------|----------|------------|
| 0,47 m | 2,35 sec | 65° |

Η κλίμακα του χάρτη είναι 1:50.000, που σημαίνει ότι για ισοβαθή 5 m, έχουμε απόσταση (από την ακτή) 0,7 cm που αντιστοιχούν σε 350 m

$$\text{Η κλίση του πυθμένα } \frac{\Delta x}{L} = \frac{5-0}{350} = 0,0143 \rightarrow 1,43 \%$$

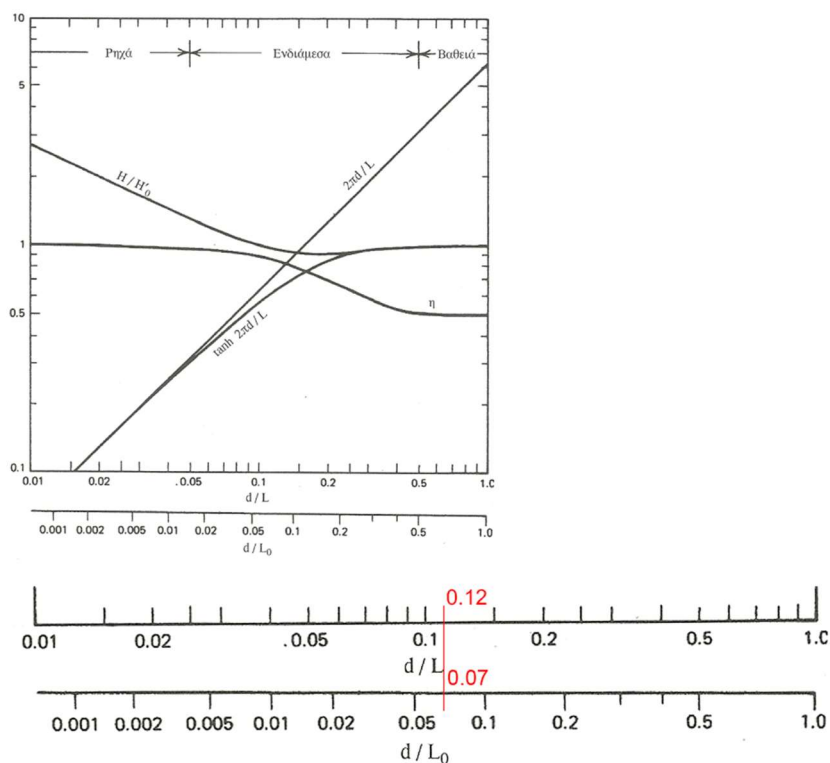
Το μήκος κύματος στα βαθιά νερά είναι :

$$L_0 = g \cdot \frac{T^2}{2\pi} = 9,81 \cdot \frac{2,35^2}{2 \cdot 3,14} \Leftrightarrow L_0 = 8,63 \text{ m}$$

Για τον υπολογισμό της διάθλασης έως τη γραμμή θραύσης των κυματισμών υποτίθεται σε πρώτη προσέγγιση ένα βάθος θραύσης $d_b = \frac{H_0}{0,78} = \frac{0,47}{0,78} \Leftrightarrow d_b = 0,60 \text{ m}$

Στο βάθος αυτό υπολογίζεται το μήκος κύματος L_b

$$\frac{d_b}{L_0} = \frac{0,60}{8,63} = 0,07$$



Εικόνα 68 : Νομογράφημα d/L και d/L_0

Από το παραπάνω νομογράφημα (εικόνα 68), προκύπτει ότι

$$\frac{d_b}{L_b} = 0,12 \Leftrightarrow L_{b1} = \frac{d_b}{0,12} = \frac{0,60}{0,12} \Leftrightarrow L_{b1} = 5,00 \text{ m}$$

Στο βάθος θραύσης $d_b = 0,60 \text{ m}$ υπολογίζεται το μήκος κύματος L

$$L = L_0 * \tanh(2 * \pi * \frac{d_b}{L_{b1}}) = 8,63 * \tanh(2 * 3,14 * \frac{0,60}{5,00}) \Leftrightarrow L = 5,50 \text{ m}$$

Εφαρμόζοντας τον μέσο όρο έχουμε :

$$L_b = \frac{L_{b1} + L}{2} = \frac{5,00 + 5,50}{2} \Leftrightarrow L_b = 5,25 \text{ m}$$

Από το νόμο της διάθλασης βρίσκεται :

$$\eta \text{ γωνία θραύσης } \alpha_b = \sin^{-1}(\frac{L_b}{L_0} * \sin(\alpha_0)) = \sin^{-1}(\frac{5,25}{8,63} * \sin(65^\circ)) \Leftrightarrow \alpha_b = 33,46^\circ$$

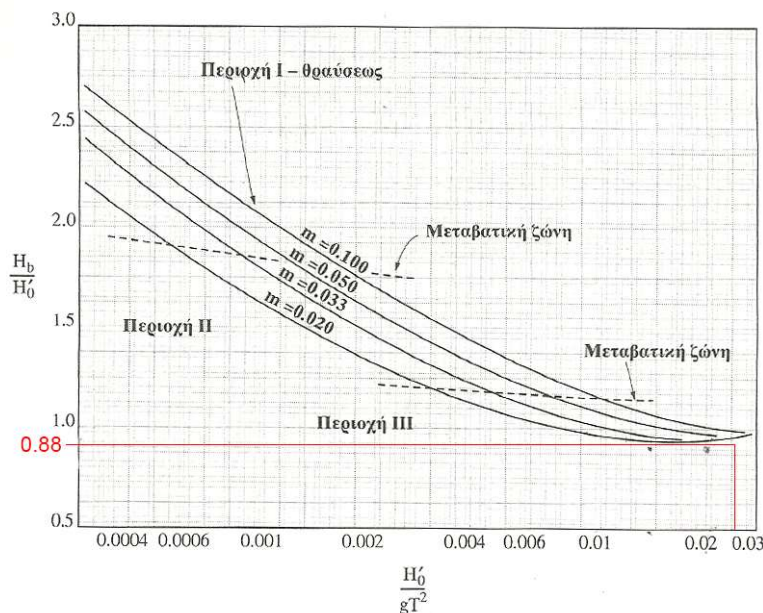
και

$$\text{ο συντελεστής διάθλασης } k_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_b)}} = \sqrt{\frac{\cos(65^\circ)}{\cos(33,46^\circ)}} = \sqrt{\frac{0,42}{0,83}} \Leftrightarrow k_r = 0,71$$

Το ύψος κύματος μετά τη διάθλαση είναι :

$$H_0' = 2 * k_r = 2 * 0,71 \Leftrightarrow H_0' = 1,42 \text{ m}$$

Από το νομογράφημα το σχετικό με τη θραύση των κυματισμών (εικόνα 69),

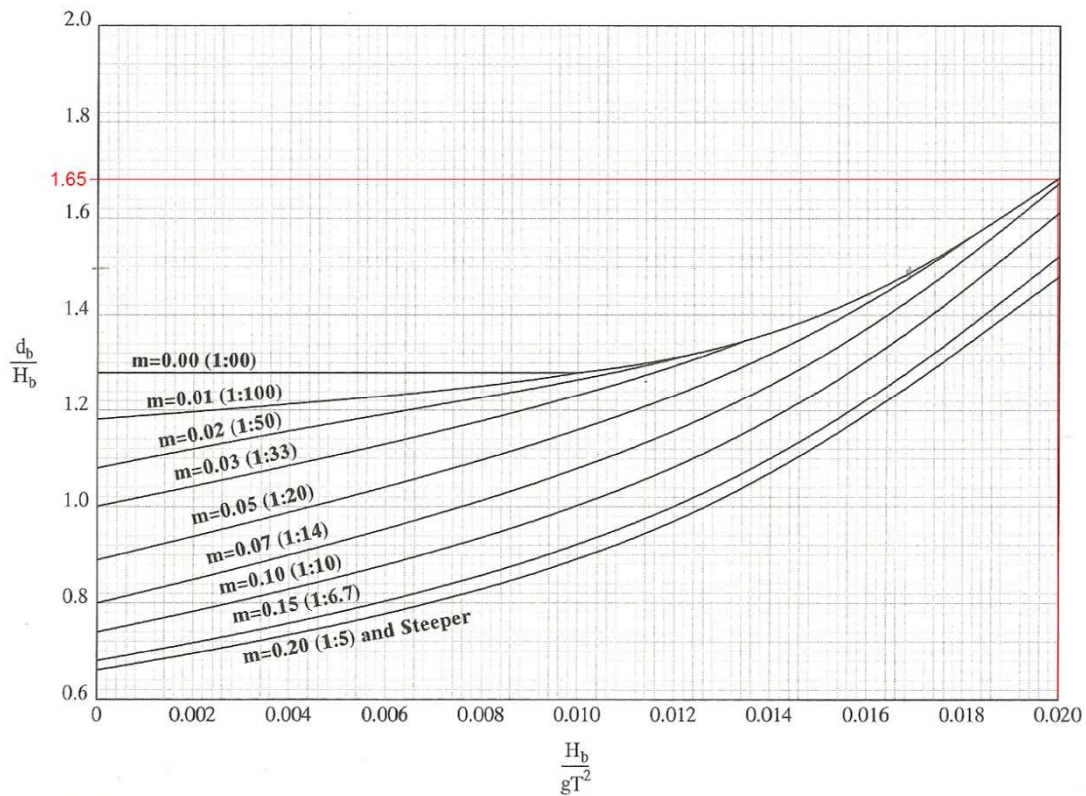


Εικόνα 69 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

$$\text{την τιμή } \frac{H_0'}{g * T^2} = \frac{1,42}{9,81 * 2,35^2} = 0,026 \text{ την κλίση πυθμένα } m = 0,0143$$

$$\text{προκύπτει ότι } \frac{H_b}{H_0'} = 0,88 \text{ και } H_b = 0,88 * 1,42 \Leftrightarrow H_b = 1,25 \text{ m}$$

Από την παραπάνω τιμή, τον λόγο $\frac{H_b}{g * T^2} = \frac{1,25}{9,81 * 2,35^2} = 0,023$, το $m = 0,0143$, καθώς και με τη βοήθεια του παρακάτω νομογραφήματος (εικόνα 70),



Εικόνα 70 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

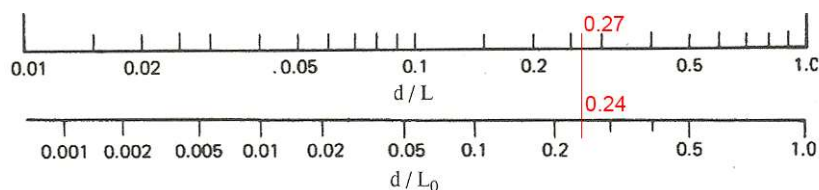
προκύπτει ότι: $\frac{d_b}{H_b} = 1,65 \Leftrightarrow d_b = 1,65 * H_b = 1,65 * 1,25 \Leftrightarrow d_b = 2,06 \text{ m}$

Επειδή η νέα τιμή υπερβαίνει το 20% της αρχικής, η οποία είναι ίση με 1,05 m, επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία με τα παρακάτω στοιχεία :

| H_o | T | α_o | L_o | d_b |
|--------|----------|------------|--------|--------|
| 0,47 m | 2,35 sec | 65° | 8,63 m | 2,06 m |

Για 350 m η κλίση του πυθμένα είναι : $m = 0,0143$ δηλαδή 1,43 %

$$\frac{d_b}{L_o} = \frac{2,06}{8,63} = 0,24$$



Εικόνα 71 : Νομογράφημα d/L και d/L_o

Από το παραπάνω νομογράφημα (εικόνα 71), προκύπτει : $\frac{d_b}{L_{b1}} = 0,27$

$$L_{b1} = \frac{d_b}{0,27} = \frac{2,06}{0,27} \Leftrightarrow L_{b1} = 7,63 \text{ m} \quad \text{και}$$

$$L_{b2} = L_0 * \tanh(2 * \pi * \frac{d_b}{L_{b1}}) = 8,63 * \tanh(2 * 3,14 * \frac{2,06}{7,63}) \Leftrightarrow L_{b2} = 8,07 \text{ m}$$

Εφαρμόζοντας τον μέσο όρο έχουμε :

$$L_b = \frac{L_{b1} + L_{b2}}{2} = \frac{7,63 + 8,07}{2} \Leftrightarrow L_b = 7,85 \text{ m}$$

Από το νόμο της διάθλασης βρίσκεται :

$$\gamma\omega\nu\acute{\iota}\alpha \text{ θραύσης } \alpha_b = \sin^{-1}(\frac{L_b}{L_0} * \sin(\alpha_0)) = \sin^{-1}(\frac{7,85}{8,63} * \sin(65^\circ)) \Leftrightarrow \alpha_b = 55,53^\circ$$

και

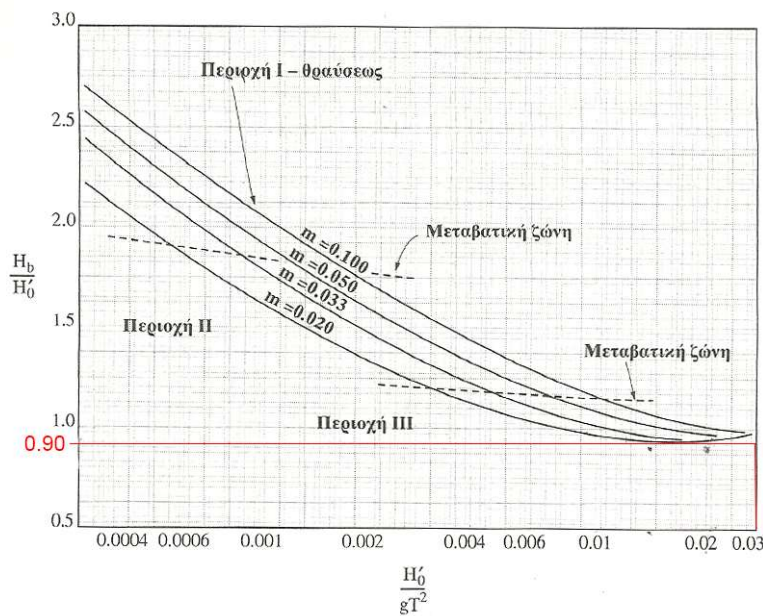
ο συντελεστή διάθλασης

$$k_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_b)}} = \sqrt{\frac{\cos(65^\circ)}{\cos(55,53^\circ)}} = \sqrt{\frac{0,42}{0,57}} \Leftrightarrow k_r = 0,86 \text{ m}$$

Το ύψος κύματος μετά τη διάθλαση είναι :

$$H_0' = 2 * k_r = 2 * 0,86 \Leftrightarrow H_0' = 1,72 \text{ m}$$

Από το νομογράφημα τοσχετικό με τη θραύση των κυματισμών (εικόνα 72),

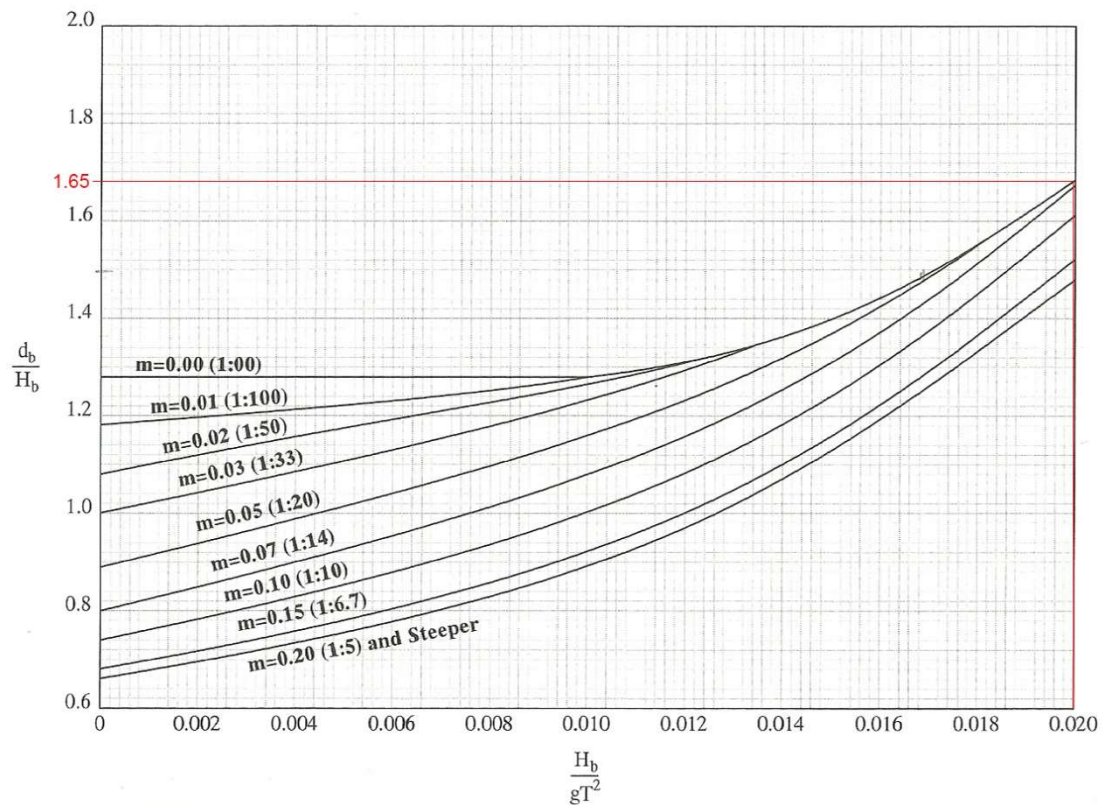


Εικόνα 72 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

την τιμή $\frac{H_0'}{g * T^2} = \frac{1,72}{9,81 * 2,35^2} = 0,032$ και την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$

προκύπτει ότι $\frac{H_b}{H_0'} = 0,90 \Leftrightarrow H_b = 0,90 * 1,72 \Leftrightarrow H_b = 1,55 \text{ m}$

Από την παραπάνω τιμή, τον λόγο $\frac{H_b}{g * T^2} = \frac{1,55}{9,81 * 2,35^2} = 0,029$, την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$, καθώς και με τη βοήθεια του παρακάτω νομογραφήματος (εικόνα 73),



Εικόνα 73 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

βρίσκουμε ότι :

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,65 \Leftrightarrow d_b = 1,65 * H_b = 1,65 * 1,55 \Leftrightarrow d_b = 2,56 \text{ m}$$

Η πρώτη τιμή του d_b είναι ίση με 2,06 , ενώ μετά τη διόρθωση η νέα τιμή είναι ίση με 2,56

Η διαφορά είναι μικρότερη της τάξης του 20%, συνεπώς δε χρειάζεται να επαναληφθεί η διαδικασία για νέο d_b .

Έτσι τα στοιχεία θραύσης είναι :

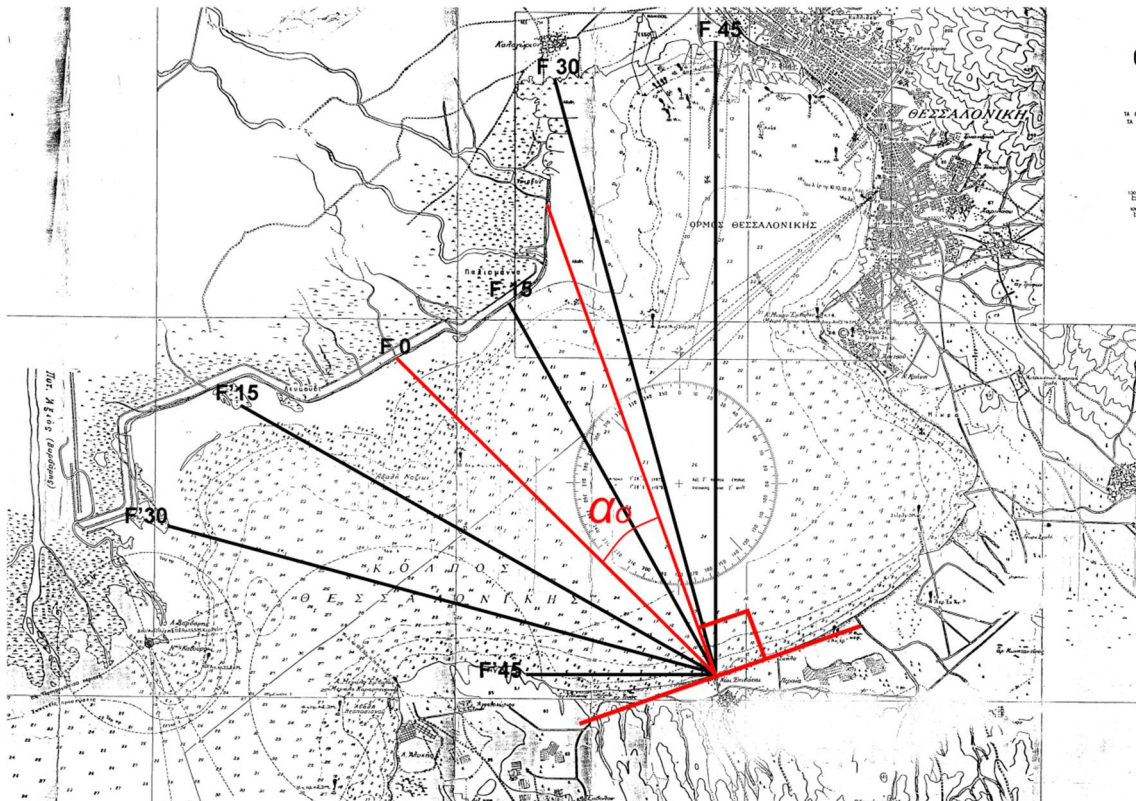
| d_b | H_b | α_b |
|--------|--------|------------|
| 1,65 m | 1,55 m | 55,53° |

Η απόσταση της γραμμής θραύσης από την ακτή είναι :

$$\chi = \frac{d_b}{m} = \frac{1,65}{0,0143} = 115,38 \text{ m}$$

3.5.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ

Ο κυματισμός που διαδίδεται από την ανοιχτή θάλασσα προς την ακτή (στη περιοχή που κείται ο κυματοθραύστης) έχει στοιχεία : ύψος κύματος $H_0 = 0,90 \text{ m}$, περίοδος κύματος $T = 2,98 \text{ sec}$ και γωνία (που σχηματίζεται από την κάθετη προς την ακτή και τη διεύθυνση του Βορειοδυτικού κύματος και ορίζεται από τις κόκκινες γραμμές) $\alpha_0 = 25^\circ$ (εικόνα 74).



Εικόνα 74 : : Ένδειξη γωνίας διάδοσης κύματος (α_0) και μήκη ανάπτυξης κύματος για το κύμα που προκαλείται από βορειοδυτικό άνεμο

| H_0 | T | α_0 |
|--------|----------|------------|
| 0,90 m | 2,98 sec | 25° |

Η κλίμακα του χάρτη είναι 1:50.000, που σημαίνει ότι για ισοβαθή 5 m, έχουμε απόσταση (από την ακτή) 0,7 cm που αντιστοιχούν σε 350 m

$$\text{Η κλίση του πυθμένα: } \frac{\Delta x}{L} = \frac{5-0}{350} = 0,0143 \rightarrow 1,43 \%$$

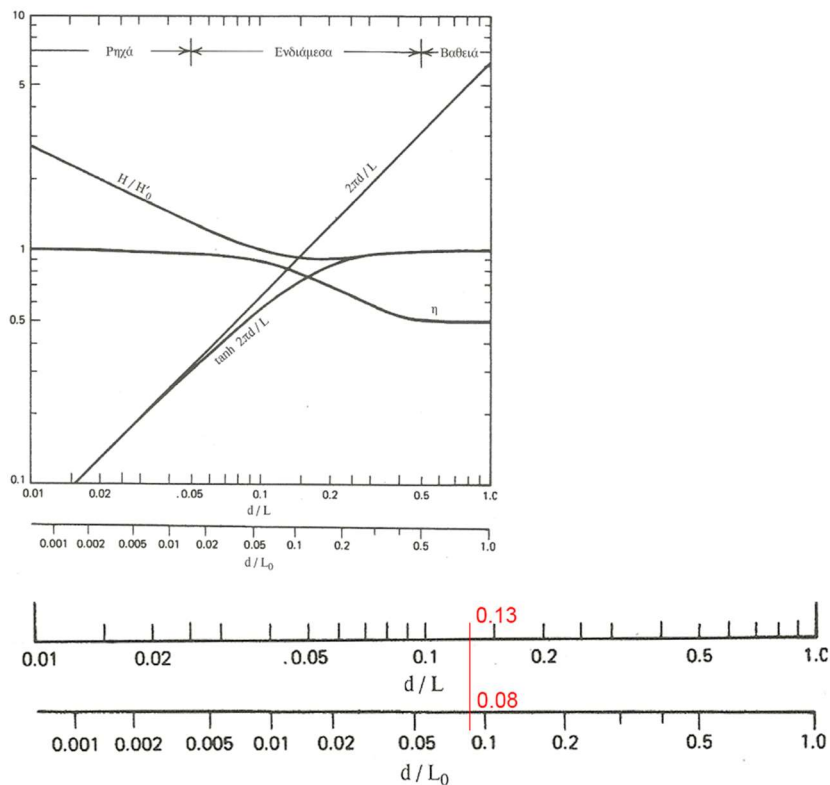
Το μήκος κύματος στα βαθιά νερά είναι :

$$L_0 = g \cdot \frac{T^2}{2\pi} = 9,81 \cdot \frac{2,98^2}{2 \cdot 3,14} \Leftrightarrow L_0 = 13,87 \text{ m}$$

Για τον υπολογισμό της διάθλασης έως τη γραμμή θραύσης των κυματισμών υποτίθεται σε πρώτη προσέγγιση ένα βάθος θραύσης $d_b = \frac{H_0}{0,78} = \frac{0,90}{0,78} \Leftrightarrow d_b = 1,15 \text{ m}$

Στο βάθος αυτό υπολογίζεται το μήκος κύματος L_b

$$\frac{d_b}{L_0} = \frac{1,15}{13,87} = 0,08$$



Εικόνα 75 : Νομογράφημα d/L και d/L_0

Από το παραπάνω νομογράφημα (εικόνα 75), προκύπτει ότι:

$$\frac{d_b}{L_{b1}} = 0,13 \Leftrightarrow L_{b1} = \frac{d_b}{0,13} = \frac{1,15}{0,13} \Leftrightarrow L_{b1} = 8,85 \text{ m}$$

Στο βάθος θραύσης $d_b = 1,15 \text{ m}$ υπολογίζεται το μήκος κύματος L

$$L = L_0 * \tanh(2 * \pi * \frac{d_b}{L_{b1}}) = 13,87 * \tanh(2 * 3,14 * \frac{1,15}{8,85}) \Leftrightarrow L = 9,33 \text{ m}$$

Εφαρμόζοντας τον μέσο όρο έχουμε :

$$L_b = \frac{L_{b1} + L}{2} = \frac{8,85 + 9,33}{2} \Leftrightarrow L_b = 9,09 \text{ m}$$

Από το νόμο της διάθλασης βρίσκεται :

$$\eta \text{ γωνία θραύσης } \alpha_b = \sin^{-1}(\frac{L_b}{L_0} * \sin(\alpha_0)) = \sin^{-1}(\frac{9,09}{13,87} * \sin(25^\circ)) \Leftrightarrow \alpha_b = 16,08^\circ$$

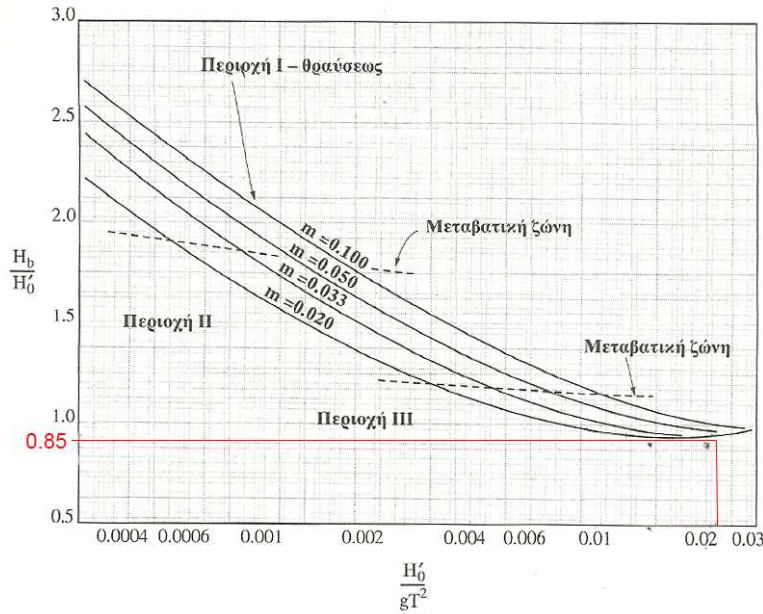
και

$$\text{ο συντελεστής διάθλασης } k_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_b)}} = \sqrt{\frac{\cos(25^\circ)}{\cos(16,08^\circ)}} = \sqrt{\frac{0,91}{0,96}} \Leftrightarrow k_r = 0,97$$

Το ύψος κύματος μετά τη διάθλαση είναι :

$$H_0' = 2 * k_r = 2 * 0,97 \Leftrightarrow H_0' = 1,94 \text{ m}$$

Από το νομογράφημα το σχετικό με τη θραύση των κυματισμών (εικόνα 76),

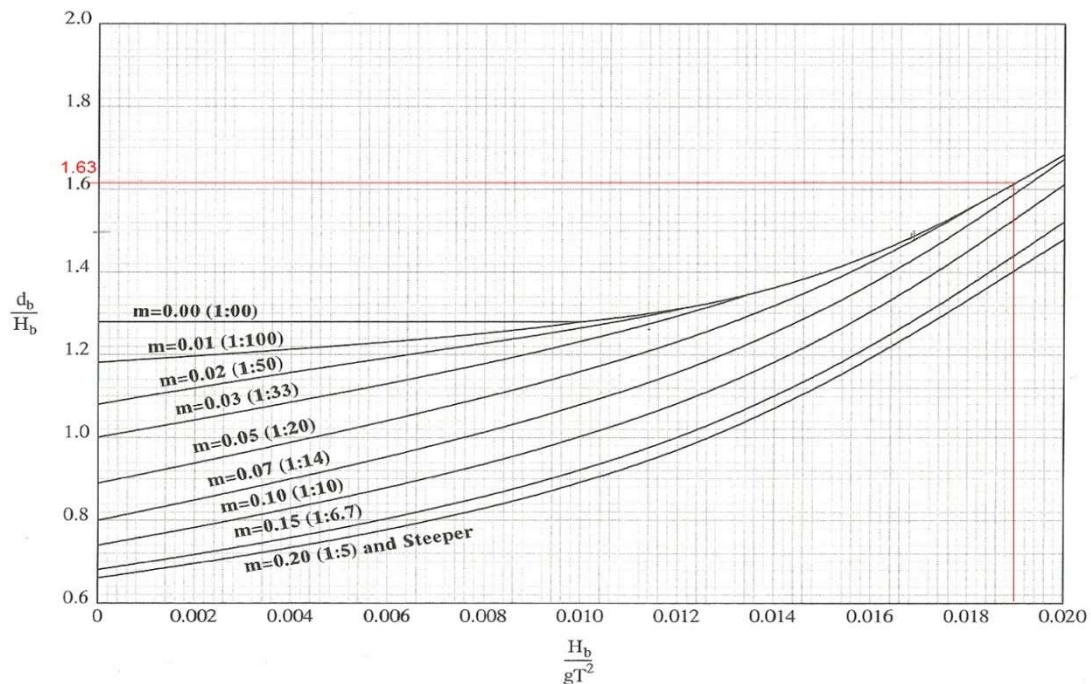


Εικόνα 76 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

την τιμή $\frac{H'_0}{g \cdot T^2} = \frac{1,94}{9,81 \cdot 2,98^2} = 0,022$ και την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$

προκύπτει ότι $\frac{H_b}{H'_0} = 0,85$ και $H_b = 0,85 \cdot 1,94 \Leftrightarrow H_b = 1,65$ m

Από την παραπάνω τιμή, τον λόγο $\frac{H_b}{g \cdot T^2} = \frac{1,65}{9,81 \cdot 2,98^2} = 0,019$, το $m = 0,0143$, καθώς και με τη βοήθεια του παρακάτω νομογράφημα (εικόνα 77),



Εικόνα 77 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

προκύπτει ότι:

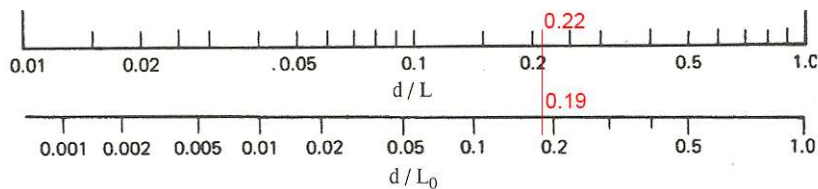
$$\frac{d_b}{H_b} = 1,63 \Leftrightarrow d_b = 1,63 * H_b = 1,63 * 1,65 \Leftrightarrow d_b = 2,69 \text{ m}$$

Επειδή η νέα τιμή υπερβαίνει το 20% της αρχικής, η οποία είναι ίση με 1,14 m, επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία με τα παρακάτω στοιχεία :

| H_o | T | α_o | L_o | d_b |
|--------|----------|------------|--------|--------|
| 0,90 m | 2,98 sec | 25° | 15,9 m | 2,69 m |

Για 350 m η κλίση του πυθμένα είναι : $m = 0,0143$ δηλαδή 1,43 %

$$\frac{d_b}{L_o} = \frac{2,69}{13,87} = 0,19$$



Εικόνα 78 : Νομογράφημα d/L και d/L_o

Από τον παραπάνω νομογράφημη (εικόνα 78), προκύπτει : $\frac{d_b}{L_b} = 0,22$

$$L_{b1} = \frac{d_b}{0,22} = \frac{2,69}{0,22} \Leftrightarrow L_{b1} = 12,22 \text{ m}$$

$$L = L_o * \tanh(2 * \pi * \frac{d_b}{L_{b1}}) = 13,87 * \tanh(2 * 3,14 * \frac{2,69}{12,22}) \Leftrightarrow L = 12,22 \text{ m}$$

Εφαρμόζοντας τον μέσο όρο έχουμε :

$$L_b = \frac{L_{b1} + L}{2} = \frac{12,22 + 12,22}{2} \Leftrightarrow L_b = 12,22 \text{ m}$$

Από το νόμο της διάθλασης βρίσκεται :

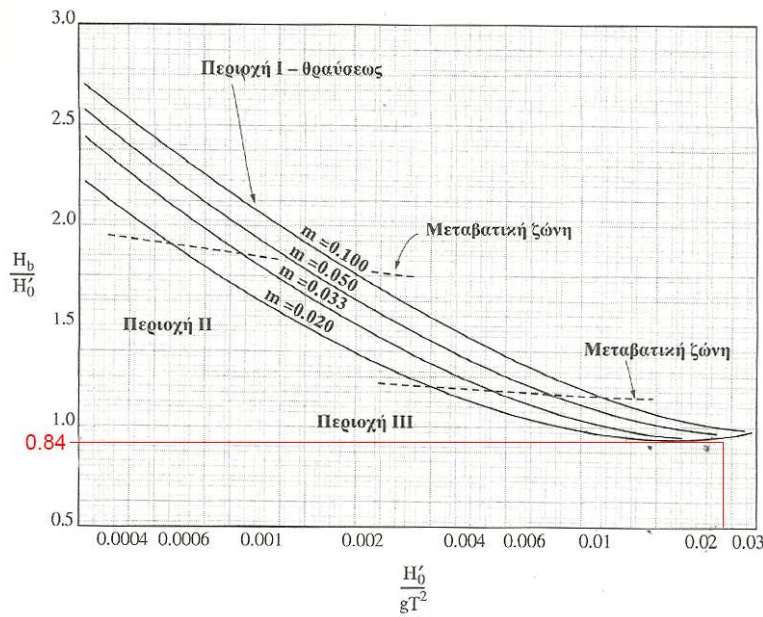
$$\gamma\omega\nu\acute{\iota}\alpha \text{ θραύσης } \alpha_b = \sin^{-1}(\frac{L_b}{L_o} * \sin(\alpha_o)) = \sin^{-1}(\frac{12,22}{13,87} * \sin(25^\circ)) \Leftrightarrow \alpha_b = 21,86^\circ$$

$$\sigma\upsilon\upsilon\tau\epsilon\lambda\epsilon\sigma\tau\acute{\eta} \text{ διάθλασης } k_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_o)}{\cos(\alpha_b)}} = \sqrt{\frac{\cos(25^\circ)}{\cos(21,86^\circ)}} = \sqrt{\frac{0,91}{0,93}} \Leftrightarrow k_r = 0,99 \text{ m}$$

Το ύψος κύματος μετά τη διάθλαση είναι :

$$H_o' = 2 * k_r = 2 * 0,99 \Leftrightarrow H_o' = 1,98 \text{ m}$$

Από το νομογράφημα το σχετικό με τη θραύση των κυματισμών (εικόνα 79),

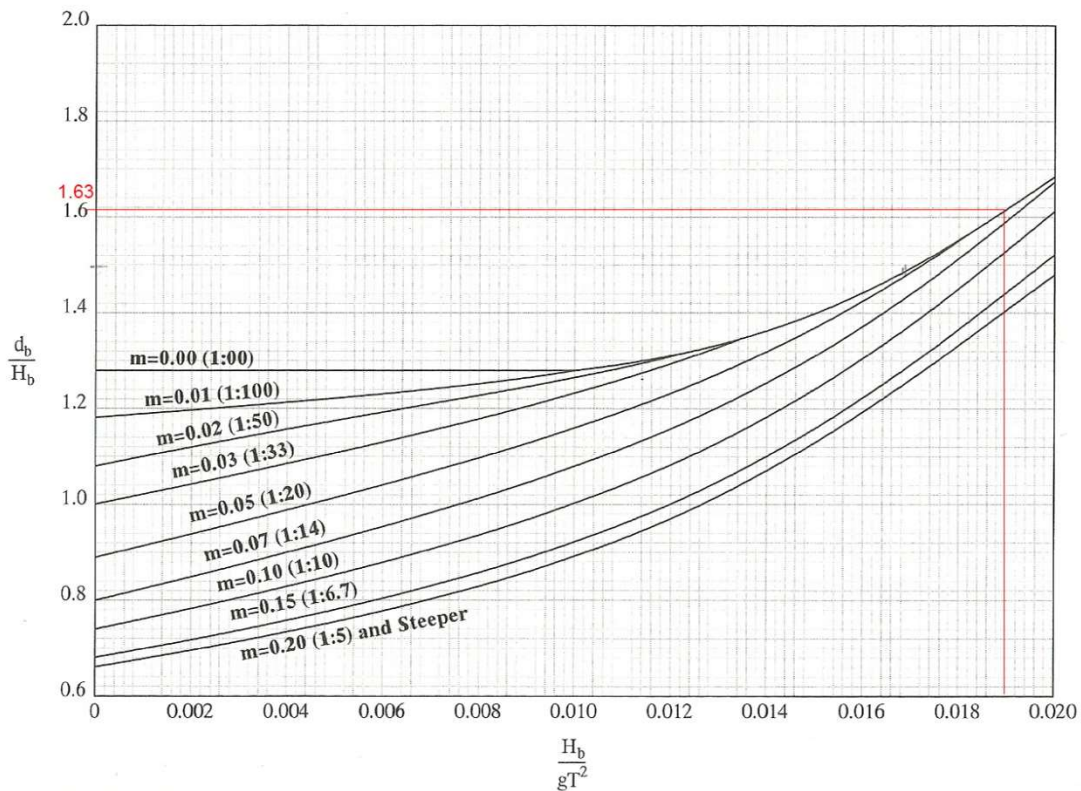


Εικόνα 79 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

την τιμή $\frac{H'_0}{g * T^2} = \frac{1,98}{9,81 * 2,98^2} = 0,023$ και την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$

προκύπτει ότι $\frac{H_b}{H_0} = 0,84 \Leftrightarrow H_b = 0,84 * 1,98 \Leftrightarrow H_b = 1,66 \text{ m}$

Από την παραπάνω τιμή, τον λόγο $\frac{H_b}{g * T^2} = \frac{1,66}{9,81 * 2,98^2} = 0,019$ και την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$, καθώς και με τη βοήθεια του παρακάτω νομογραφήματος (εικόνα 80),



Εικόνα 80 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

βρίσκουμε ότι :

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,63 \Leftrightarrow d_b = 1,63 * H_b = 1,63 * 1,66 \Leftrightarrow d_b = 2,71 \text{ m}$$

Η πρώτη τιμή του d_b είναι ίση με 2,69 , ενώ μετά τη διόρθωση η νέα τιμή είναι ίση με 2,71

Η διαφορά είναι μικρότερη της τάξης του 20%, συνεπώς δε χρειάζεται να επαναληφθεί η διαδικασία για νέο d_b .

Έτσι τα στοιχεία θραύσης είναι :

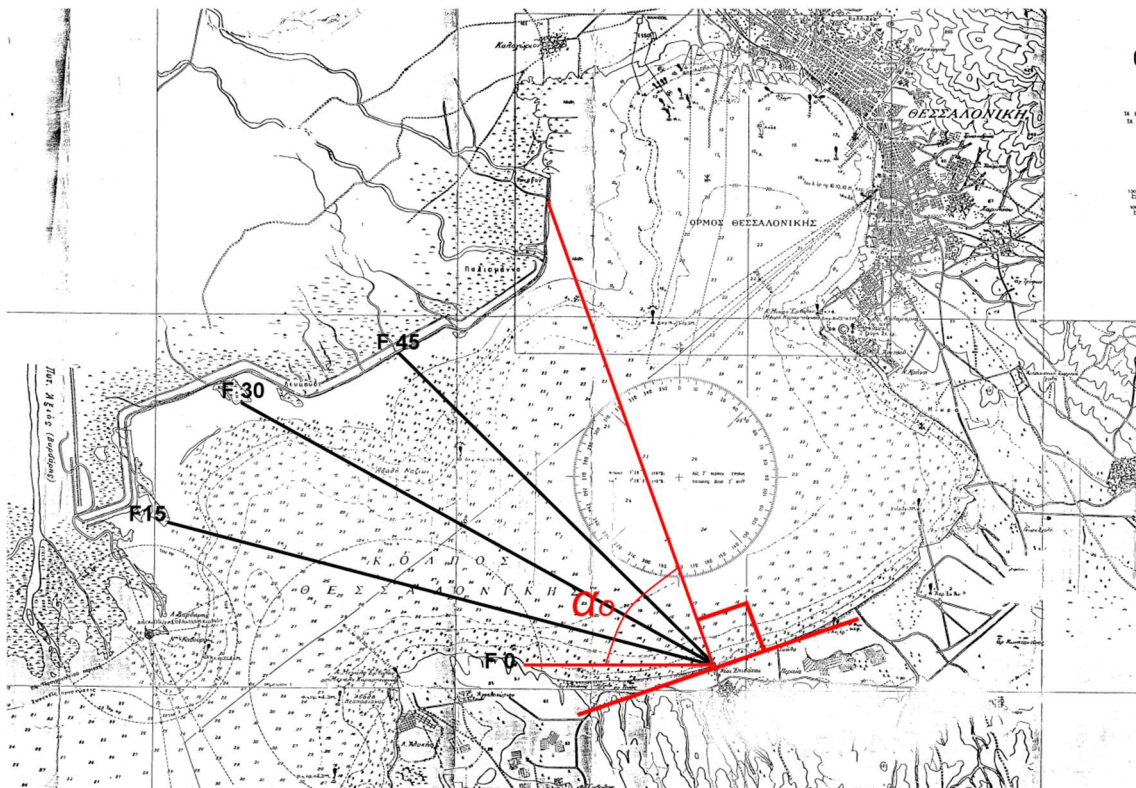
| d_b | H_b | α_b |
|--------|--------|------------|
| 2,71 m | 1,66 m | 21,86 ° |

Η απόσταση της γραμμής θραύσης από την ακτή είναι :

$$X = \frac{d_b}{m} = \frac{2,71}{0,0143} = 189,51 \text{ m}$$

3.5.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ

Ο κυματισμός που διαδίδεται από την ανοιχτή θάλασσα προς την ακτή (στη περιοχή που κείται ο κυματοθραύστης) έχει στοιχεία : ύψος κύματος $H_0 = 0,652 \text{ m}$, περίοδος κύματος $T = 3,41 \text{ sec}$ και γωνία (που σχηματίζεται από την κάθετη προς την ακτή και τη διεύθυνση του Δυτικού κύματος και ορίζεται από τις κόκκινες γραμμές $\alpha_0 = 70^\circ$ (εικόνα 81)



Εικόνα 81 : Ένδειξη γωνίας διάδοσης κύματος (α_0) και μήκη ανάπτυξης κύματος για το κύμα που προκαλείται από δυτικό άνεμο

| H_0 | T | α_0 |
|--------|----------|------------|
| 0,65 m | 2,41 sec | 70 ° |

Η κλίμακα του χάρτη είναι 1:50.000, που σημαίνει ότι για ισοβαθή 5 m, έχουμε απόσταση (από την ακτή) 0,7 cm που αντιστοιχούν σε 350 m

Η κλίση του πυθμένα : $\frac{\Delta x}{L} = \frac{5-0}{350} = 0,0143 \rightarrow 1,43 \%$

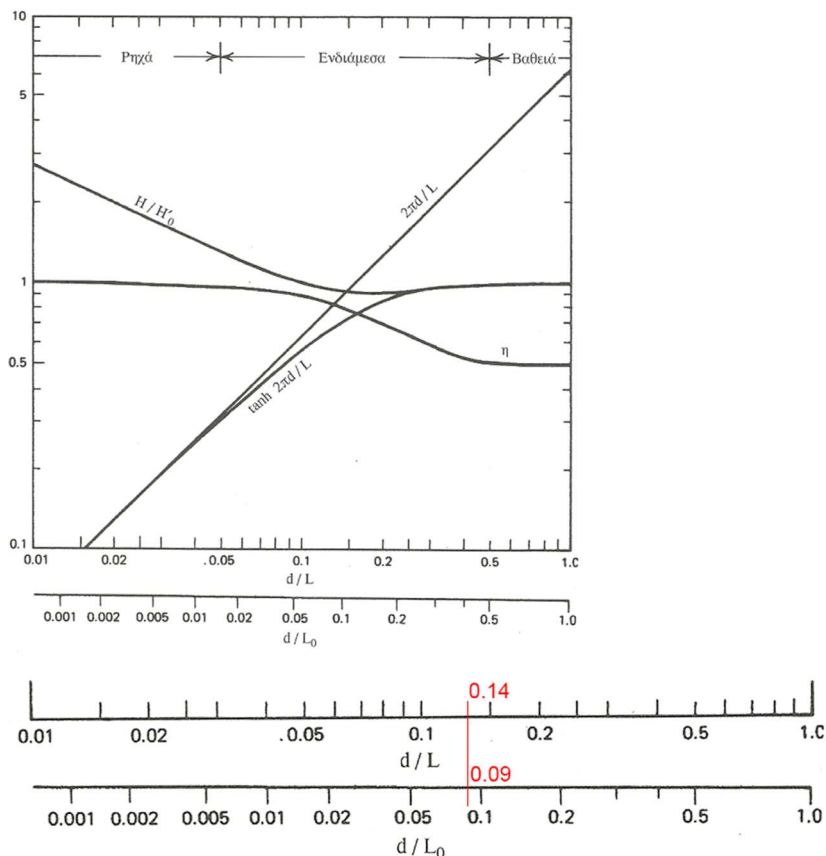
Το μήκος κύματος στα βαθιά νερά είναι :

$$L_0 = g \cdot \frac{T^2}{2 \cdot \pi} = 9,81 \cdot \frac{2,41^2}{2 \cdot 3,14} \Leftrightarrow L_0 = 9,07 \text{ m}$$

Για τον υπολογισμό της διάθλασης έως τη γραμμή θραύσης των κυματισμών υποτίθεται σε πρώτη προσέγγιση ένα βάθος θραύσης $d_b = \frac{H_0}{0,78} = \frac{0,65}{0,78} \Leftrightarrow d_b = 0,84 \text{ m}$

Στο βάθος αυτό υπολογίζεται το μήκος κύματος L_b

$$\frac{d_b}{L_0} = \frac{0,84}{9,07} = 0,09$$



Εικόνα 82 : Νομογράφημα d/L και d/L_0

Από το παραπάνω νομογράφημα (εικόνα 82), προκύπτει ότι

$$\frac{d_b}{L_b} = 0,14 \Leftrightarrow L_b = \frac{d_b}{0,14} = \frac{0,84}{0,14} \Leftrightarrow L_b = 6 \text{ m}$$

$$L = L_0 * \tanh\left(2 * \pi * \frac{d_b}{L_b}\right) = 9,07 * \tanh\left(2 * 3,14 * \frac{0,84}{6}\right) \Leftrightarrow L = 6,4 \text{ m}$$

Εφαρμόζοντας τον μέσο όρο έχουμε :

$$L_b = \frac{L_b + L}{2} = \frac{6 + 6,4}{2} \Leftrightarrow L_b = 6,2 \text{ m}$$

Από το νόμο της διάθλασης βρίσκεται :

$$\eta \text{ γωνία θραύσης } \alpha_b = \sin^{-1}\left(\frac{L_b}{L_0} * \sin(\alpha_0)\right) = \sin^{-1}\left(\frac{6,2}{9,07} * \sin(70^\circ)\right) \Leftrightarrow \alpha_b = 39,96^\circ$$

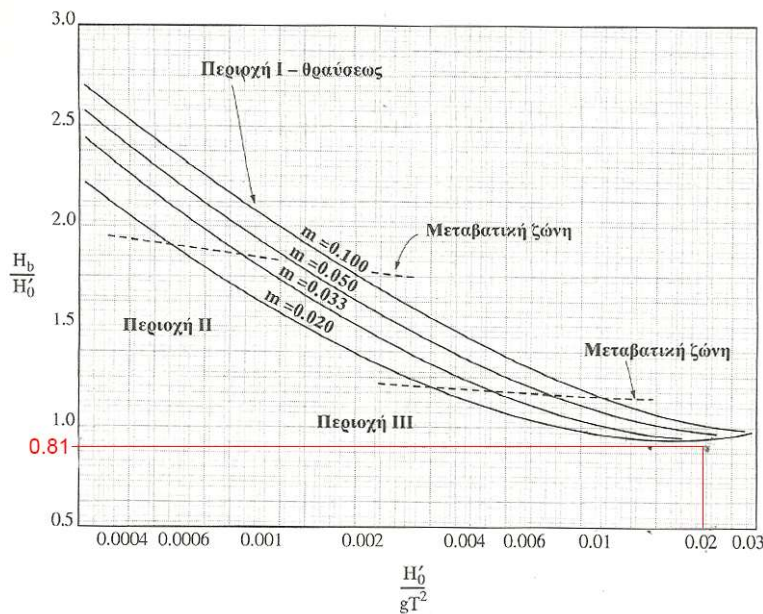
και

$$\text{ο συντελεστής διάθλασης } k_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_b)}} = \sqrt{\frac{\cos(70^\circ)}{\cos(39,96^\circ)}} = \sqrt{\frac{0,34}{0,77}} \Leftrightarrow k_r = 0,67$$

Το ύψος κύματος μετά τη διάθλαση είναι :

$$H_0' = 2 * k_r = 2 * 0,67 \Leftrightarrow H_0' = 1,34 \text{ m}$$

Από το νομογράφημα το σχετικό με τη θραύση των κυματισμών (εικόνα 83),



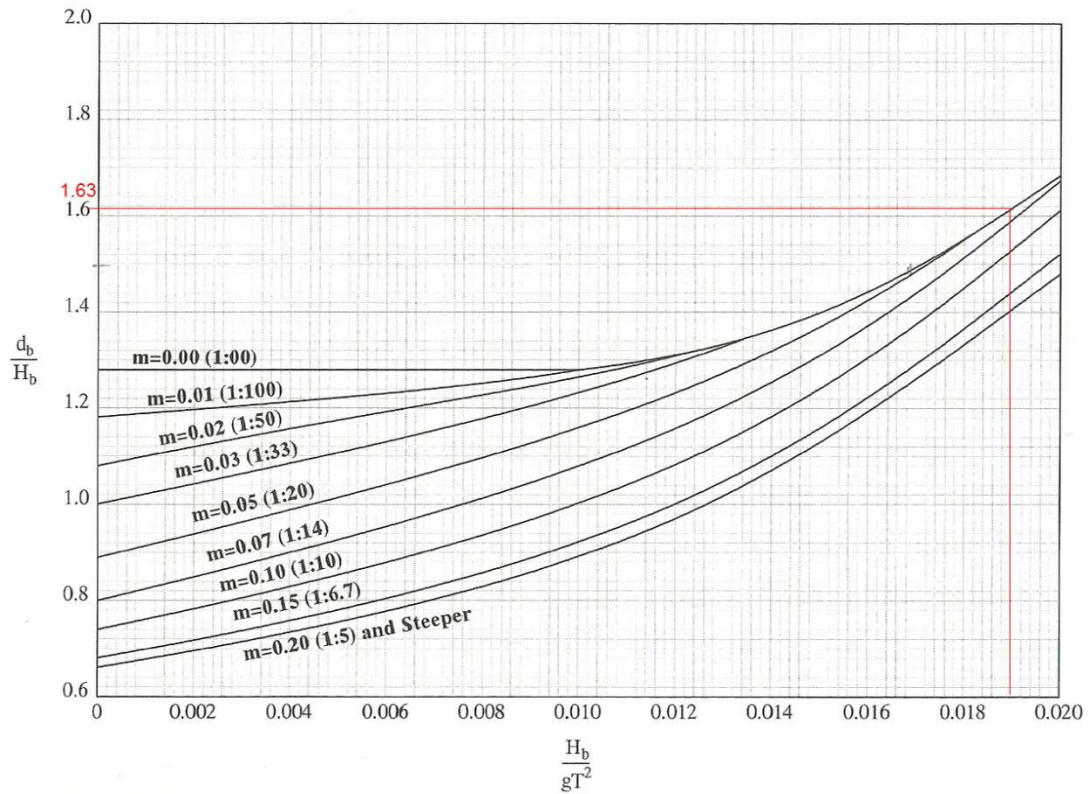
Εικόνα 83 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

την τιμή $\frac{H_0'}{g * T^2} = \frac{1,34}{9,81 * 2,41^2} = 0,02$ και την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$

προκύπτει ότι $\frac{H_b}{H_0'} = 0,81$ και $H_b = 0,81 * 1,34 \Leftrightarrow H_b = 1,09 \text{ m}$

Από την παραπάνω τιμή, τον λόγο $\frac{H_b}{g * T^2} = \frac{1,09}{9,81 + 2,41^2} = 0,019$, την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$,

καθώς και με τη βοήθεια του παρακάτω νομογράφηματος (εικόνα 84),



Εικόνα 84 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

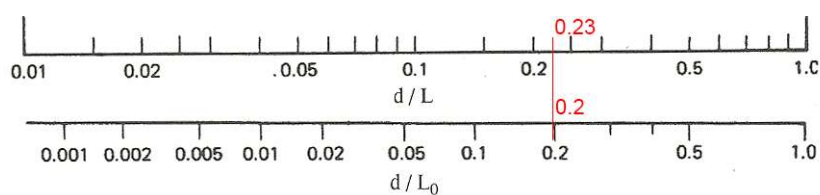
προκύπτει ότι : $\frac{d_b}{H_b} = 1,63 \Leftrightarrow d_b = 1,63 * H_b = 1,63 * 1,09 \Leftrightarrow d_b = 1,78 \text{ m}$

Επειδή η νέα τιμή υπερβαίνει το 20% της αρχικής, η οποία είναι ίση με 0,84 m, επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία με τα παρακάτω στοιχεία.

| H_o | T | α_o | L_o | d_b |
|--------|----------|------------|--------|--------|
| 0,65 m | 2,41 sec | 70° | 9,07 m | 1,78 m |

Για 350 m η κλίση του πυθμένα είναι : $m = 0,0143$ δηλαδή 1,43 %

$$\frac{d_b}{L_o} = \frac{1,78}{9,07} = 0,20$$



Εικόνα 85 : Νομογράφημα d/L και d/L_o

Από το παραπάνω νομογράφημα (εικόνα 85), προκύπτει : $\frac{d_b}{L_b} = 0,23$

$$L_{b1} = \frac{d_b}{0,23} = \frac{1,78}{0,23} \Leftrightarrow L_{b1} = 7,74 \text{ m}$$

$$L = L_o * \tanh\left(2 * \pi * \frac{d_b}{L_{b1}}\right) = 9,07 * \tanh\left(2 * 3,14 * \frac{1,78}{7,74}\right) \Leftrightarrow L = 8,11 \text{ m}$$

Εφαρμόζοντας τον μέσο όρο έχουμε :

$$L_b = \frac{L_{b1} + L}{2} = \frac{7,74 + 8,11}{2} \Leftrightarrow L_b = 7,93 \text{ m}$$

Από το νόμο της διάθλασης βρίσκεται :

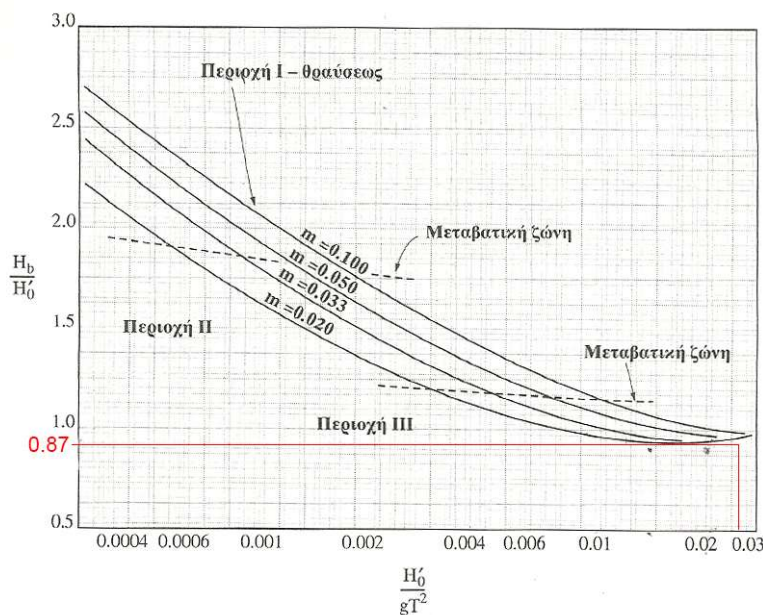
$$\gamma\text{γωνία θραύσης } \alpha_b = \sin^{-1}\left(\frac{L_b}{L_o} * \sin(\alpha_o)\right) = \sin^{-1}\left(\frac{7,93}{9,07} * \sin(70^\circ)\right) \Leftrightarrow \alpha_b = 55,24^\circ$$

$$\text{συντελεστής διάθλασης } k_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_o)}{\cos(\alpha_b)}} = \sqrt{\frac{\cos(70^\circ)}{\cos(55,24^\circ)}} = \sqrt{\frac{0,34}{0,57}} \Leftrightarrow k_r = 0,77 \text{ m}$$

Το ύψος κύματος μετά τη διάθλαση είναι :

$$H_o' = 2 * k_r = 2 * 0,77 \Leftrightarrow H_o' = 1,54 \text{ m}$$

Από το νομογράφημα το σχετικό με τη θραύση των κυματισμών (εικόνα 86),



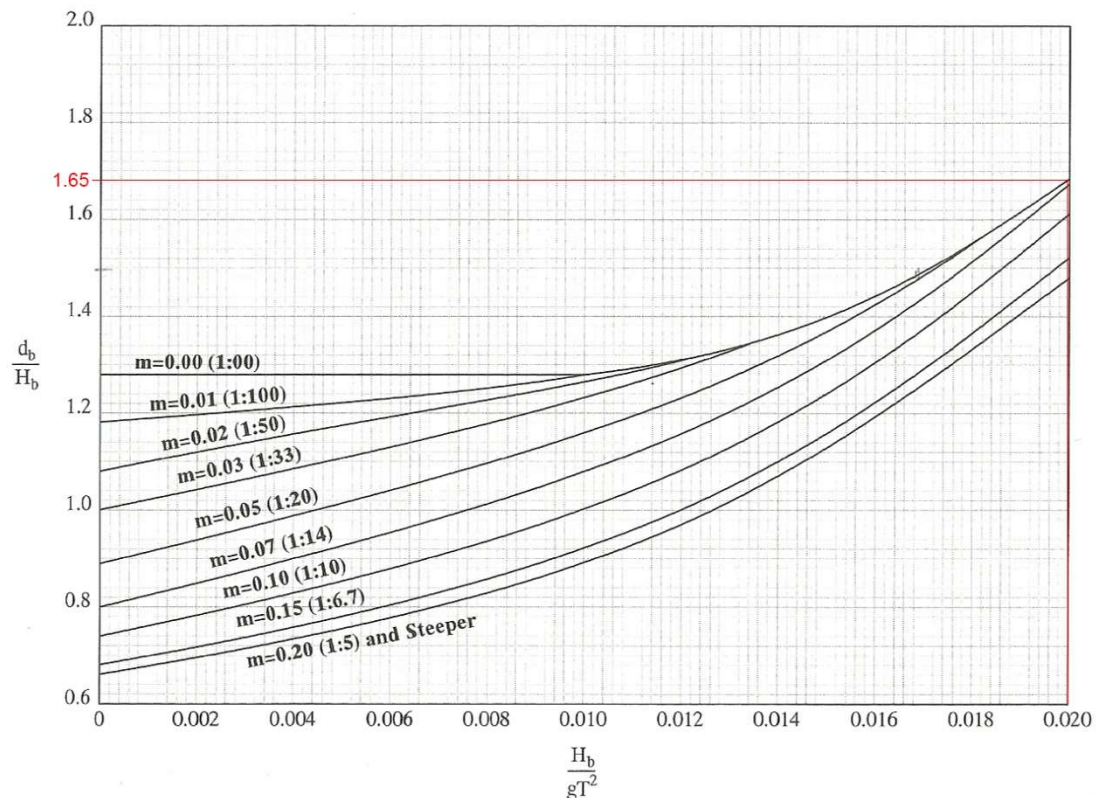
Εικόνα 86 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

την τιμή $\frac{H_o'}{g * T^2} = \frac{1,54}{9,81 * 2,41^2} = 0,027$ και την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$

προκύπτει ότι $\frac{H_b}{H_o'} = 0,87 \Leftrightarrow H_b = 0,87 * 1,54 \Leftrightarrow H_b = 1,34 \text{ m}$

Από την παραπάνω τιμή, τον λόγο $\frac{H_b}{g * T^2} = \frac{1,34}{9,81 * 2,41^2} = 0,024$,

την κλίση πυθμένα $m = 0,0143$, καθώς και με τη βοήθεια του παρακάτω νομογραφήματος (εικόνα 87),



Εικόνα 87 : Νομογράφημα για εύρεση στοιχείων θραύσης

βρίσκουμε ότι : $\frac{d_b}{H_b} = 1,65 \Leftrightarrow d_b = 1,65 * H_b = 1,65 * 1,34 \Leftrightarrow d_b = 2,21 \text{ m}$

Η πρώτη τιμή του d_b είναι ίση με 1,78 , ενώ μετά τη διόρθωση η νέα τιμή είναι ίση με 2,21

Η διαφορά είναι μικρότερη της τάξης του 20%, συνεπώς δε χρειάζεται να επαναληφθεί η διαδικασία για νέο d_b .

Έτσι τα στοιχεία θραύσης είναι :

| d_b | H_b | α_b |
|--------|--------|------------|
| 2,21 m | 1,34 m | 55,24° |

Η απόσταση της γραμμής θραύσης από την ακτή είναι :

$$X = \frac{d_b}{m} = \frac{2,21}{0,0143} \Leftrightarrow X = 154,55 \text{ m}$$

3.6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ

Στην ετήσια στερεομεταφορά εκατέρωθεν του προβόλου συμβάλουν ο βόρειος, ο βαρειοανατολικός, ο βορειοδυτικός και ο δυτικός άνεμος. Συνεπώς θα πρέπει να βρεθεί η στερεομεταφορά που προκαλεί ο καθένας ξεχωριστά άνεμος.

3.6.1. ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΑΝΕΜΟ

| H_b | a_b | d_b | M |
|--------|---------|--------|--------|
| 1,78 m | 16,45 ° | 2,26 m | 1,43 % |

Η ετήσια παράκτια στερεοπαροχή βρίσκεται από τη σχέση :

$$Q = 1290 * \frac{\rho * g}{16} * H_b^2 * C_{gb} * \sin(2 * a_b) * f$$

$$\text{Για } f = \frac{9,91 + 3,66 + 2,76}{100} = \frac{16,33}{100} \Leftrightarrow f = 0,1633 \text{ ή } 16,33 \%$$

$$\text{Το πλάτος της ζώνης θραύσης είναι : } X = \frac{d_b}{m} = \frac{2,26}{0,0143} = 158,04 \text{ m}$$

$$\text{Η ταχύτητα διάδοσης κύματος είναι : } C_{gb} = (d_b * g)^{0,5} = (2,26 * 9,81)^{0,5} \Leftrightarrow$$

$$C_{gb} = 4,71 \text{ m/sec}$$

$$\text{Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι : } \rho \approx 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Συνεπώς έχουμε } Q = 1290 * \frac{\rho * g}{16} * H_b^2 * C_{gb} * \sin(2 * a_b) * f \Leftrightarrow$$

$$Q = 1290 * \frac{10000}{16} * 1,78^2 * 4,17 * \sin(2 * 16,45^\circ) * 0,1633 \Leftrightarrow$$

$$Q = 1290 * 625 * 3,17 * 4,17 * 0,54 * 0,1633 \Leftrightarrow \boxed{Q_{\text{στερ.}}^A = 939.820,70 \text{ m}^3}$$

3.6.2. ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ

| H_b | a_b | d_b | m |
|--------|---------|--------|--------|
| 1,55 m | 55,53 ° | 1,65 m | 1,43 % |

Η ετήσια παράκτια στερεοπαροχή βρίσκεται από τη σχέση :

$$Q = 1290 * \frac{\rho * g}{16} * H_b^2 * C_{gb} * \sin(2 * a_b) * f$$

$$\text{Για } f = \frac{1,58 + 0,15 + 0,04}{100} = \frac{1,77}{100} \Leftrightarrow f = 0,0177 \text{ ή } 1,77 \%$$

$$\text{Το πλάτος της ζώνης θραύσης είναι : } \frac{d_b}{m} = \frac{1,65}{0,0143} = 115,38 \text{ m}$$

$$\text{Η ταχύτητα διάδοσης κύματος είναι : } C_{gb} = (d_b * g)^{0,5} = (1,65 * 9,81)^{0,5} \Leftrightarrow C_{gb} = 4,02 \text{ m/sec}$$

$$\text{Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι : } \rho \approx 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Συνεπώς έχουμε } Q = 1290 * \frac{\rho * g}{16} * H_b^2 * C_{gb} * \sin(2 * a_b) * f \Leftrightarrow$$

$$Q = 1290 * \frac{10.000}{16} * 1,55^2 * 4,02 * \sin(2 * 55,53^\circ) * 0,0177 \Leftrightarrow$$

$$Q = 1290 * 625 * 2,40 * 4,02 * 0,93 * 0,0177 \Leftrightarrow \boxed{Q_{\text{στερ.}}^{BA} = 128.045,20 \text{ m}^3}$$

3.6.3. ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ

| H_b | a_b | d_b | M |
|--------|---------|--------|--------|
| 1,66 m | 21,86 ° | 2,71 m | 1,43 % |

Η ετήσια παράκτια στερεοπαροχή βρίσκεται από τη σχέση :

$$Q = 1290 * \frac{\rho * g}{16} * H_b^2 * C_{gb} * \sin(2 * a_b) * f$$

$$\text{Για } f = \frac{6,26 + 1,17 + 0,67}{100} = \frac{8,10}{100} \Leftrightarrow f = 0,0810 \text{ ή } 8,10 \%$$

$$\text{Το πλάτος της ζώνης θραύσης είναι : } \frac{d_b}{m} = \frac{2,71}{0,0143} = 189,51 \text{ m}$$

$$\text{Η ταχύτητα διάδοσης κύματος είναι : } C_{gb} = (d_b * g)^{0,5} = (2,71 * 9,81)^{0,5} = 5,16 \text{ m/sec}$$

$$\text{Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι : } \rho \approx 1.025 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Συνεπώς έχουμε } Q = 1290 * \frac{\rho * g}{16} * H_b^2 * C_{gb} * \sin(2 * a_b) * f \Leftrightarrow$$

$$Q = 1290 * \frac{10.000}{16} * 1,66^2 * 5,16 * \sin(2 * 21,86^\circ) * 0,0810 \Leftrightarrow$$

$$Q = 1290 * 625 * 2,76 * 5,16 * 0,69 * 0,0810 \Leftrightarrow \boxed{Q_{\text{στερ.}}^{\Delta} = 641.745,20 \text{ m}^3}$$

3.6.4. ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ

| H_b | a_b | d_b | M |
|--------|---------|--------|--------|
| 1,34 m | 55,24 ° | 2,21 m | 1,43 % |

Η ετήσια παράκτια στερεοπαροχή βρίσκεται από τη σχέση :

$$Q = 1290 * \frac{\rho * g}{16} * H_b^2 * C_{gb} * \sin(2 * a_b) * f$$

$$\text{Για } f = \frac{2,84 + 0,54 + 0,55}{100} = \frac{3,93}{100} \Leftrightarrow f = 0,0393 \text{ ή } 3,93 \%$$

$$\text{Το πλάτος της ζώνης θραύσης είναι : } \frac{d_b}{m} = \frac{2,21}{0,0143} = 154,55 \text{ m}$$

$$\text{Η ταχύτητα διάδοσης κύματος είναι : } C_{gb} = (d_b * g)^{0,5} = (2,21 * 9,81)^{0,5} \Leftrightarrow C_{gb} = 4,66 \text{ m/sec}$$

$$\text{Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι : } \rho \approx 1025 \text{ kg/m}^3$$

Συνεπώς έχουμε :

$$Q = 1290 * \frac{\rho * g}{16} * H_b^2 * C_{gb} * \sin(2 * a_b) * f \Leftrightarrow$$

$$Q = 1290 * \frac{10.000}{16} * 1,34^2 * 4,66 * \sin(2 * 55,24^\circ) * 0,0393 \Leftrightarrow$$

$$Q = 1290 * 625 * 1,80 * 4,66 * 0,94 * 0,0393 \Leftrightarrow \boxed{Q_{\text{στερ.}}^{\Delta} = 249.832,30 \text{ m}^3}$$

3.7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΝΕΩΝ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ

Με σκοπό την αντιμετώπιση - διαχείριση της στερεομεταφοράς ίσως κριθεί απαραίτητη η τοποθέτηση δύο βραχιόνων εκατέρωθεν του έργου. Συνεπώς θα πρέπει να βρεθούν οι κατάλληλες αποστάσεις των βραχιόνων από την Ανατολική και Δυτική πλευρά του κυματοθραύστη καθώς και τα κατάλληλα μήκη αυτών.

Αθροίζοντας τις συνιστώσες παράκτιας στερεομεταφοράς που προκαλούνται από Β και ΒΑ κύματα καθώς και από ΒΔ και Δ κύματα, προκύπτουν δύο νέα Q στερεομεταφοράς. Οπότε:

$$Q_{\sim ANAT} = Q_{\sigma\tau\epsilon\rho.B} + Q_{\sigma\tau\epsilon\rho.BA} = 939820,70 + 128045,20 \Leftrightarrow Q_{ANAT} = 1067865,90 \text{ m}^3$$

$$Q_{\sim \Delta YT} = Q_{\sigma\tau\epsilon\rho.B\Delta} + Q_{\sigma\tau\epsilon\rho.\Delta} = 641745,20 + 249832,30 \Leftrightarrow Q_{\Delta YT} = 891577,50 \text{ m}^3$$

Οι γωνίες θραύσης για τις διαφορετικές διευθύνσεις διάδοσης του κύματος είναι :

| | | | |
|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| $\alpha_b^B = 16,45^\circ$ | $\alpha_b^{BA} = 55,53^\circ$ | $\alpha_b^{B\Delta} = 21,86^\circ$ | $\alpha_b^\Delta = 55,24^\circ$ |
|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|

Συνεπώς για την εύρεση των δύο γωνιών θραύσης α_b θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο των σταθμισμένων μέσων όρων κι έτσι θα προκύψει :

$$\alpha_{b ANAT} = \frac{\alpha_{bB} * f_{B+} + \alpha_{bBA} * f_{BA}}{f_{B+} + f_{BA}} = \frac{16,45 * (9,91+3,66+2,76) + 55,53 * (1,58+0,15+0,04)}{(9,91+3,66+2,76) + (1,58+0,15+0,04)} = \frac{16,45*16,33+55,53*1,77}{16,33+1,77}$$

$$= \frac{268,63+98,29}{18,10} = 20,27^\circ \Leftrightarrow \alpha_{b ANAT} = 0,35 \text{ rad}$$

$$\alpha_{b \Delta YT} = \frac{\alpha_{bB\Delta} * f_{B\Delta+} + \alpha_{b\Delta} * f_{\Delta}}{f_{B\Delta+} + f_{\Delta}} = \frac{21,86 * (6,26+1,17+0,67) + 55,24 * (2,84+0,54+0,55)}{(6,26+1,17+0,67) + (2,84+0,54+0,55)} = \frac{21,86 * 8,10 + 55,24 * 3,93}{8,10 + 3,93}$$

$$= \frac{177,07 + 217,09}{12,03} = 32,77^\circ \Leftrightarrow \alpha_{b \Delta YT} = 0,57 \text{ rad}$$

Τα βάρη θραύσης για κάθε περίπτωση είναι :

| | | | |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| $d_b^B = 2,26 \text{ m}$ | $d_b^{BA} = 1,65 \text{ m}$ | $d_b^{B\Delta} = 2,71 \text{ m}$ | $d_b^\Delta = 2,21 \text{ m}$ |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|

Συνεπώς για την εύρεση των δύο d_b (βάθος θραύσης) θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο των σταθμισμένων μέσων όρων κι έτσι προκύπτει :

$$d_{b ANAT} = \frac{d_{bB} * f_{B+} + d_{bBA} * f_{BA}}{f_{B+} + f_{BA}} = \frac{2,26 * (9,91+3,66+2,76) + 1,65 * (1,58+0,15+0,04)}{(9,91+3,66+2,76) + (1,58+0,15+0,04)} = \frac{2,26 * 16,33 + 1,65 * 1,77}{16,33 + 1,77}$$

$$\frac{36,91 + 2,92}{18,10} \Leftrightarrow d_{b ANAT} = 2,20 \text{ m}$$

$$d_{b \Delta YT} = \frac{d_{bB\Delta} * f_{B\Delta+} + d_{b\Delta} * f_{\Delta}}{f_{B\Delta+} + f_{\Delta}} = \frac{2,71 * (6,26+1,17+0,67) + 2,21 * (2,84+0,54+0,55)}{(6,26+1,17+0,67) + (2,84+0,54+0,55)} = \frac{2,71 * 8,10 + 2,21 * 3,93}{8,10 + 3,93}$$

$$\frac{21,95 + 8,68}{12,03} \Leftrightarrow d_{b \Delta YT} = 2,55 \text{ m}$$

Στη συνέχεια θα υπολογισθεί το βάθος επίδρασης του κύματος στην περιοχή της παράκτιας στερεομεταφοράς h

$$h_{ANAT} = 2,5 * d_{b ANAT} = 2,5 * 2,20 \Leftrightarrow h_{ANAT} = 5,50 \text{ m}$$

$$h_{\Delta YT} = 2,5 * d_{b \Delta YT} = 2,5 * 2,55 \Leftrightarrow h_{\Delta YT} = 6,38 \text{ m}$$

Συνεπώς προέκυψαν τα ακόλουθα δεδομένα :

| | ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ | ΔΥΤΙΚΟ |
|----------------------|--------------|------------|
| Q (m ³) | 1.067.865,90 | 891.577,50 |
| α _b (rad) | 0,35 | 0,57 |
| d _b (m) | 2,20 | 2,55 |
| h (m) | 5,50 | 6,38 |

Θα πρέπει να εξετασθεί το μήκος της επίδρασης του νέου βραχίονα κατά μήκος της ακτής μετά από 1 και 5 χρόνια από τον τύπο $x = \frac{3}{a_b} * \gamma$,

όπου το γ προκύπτει από τον τύπο $\gamma = 2 * (Q * t * \frac{\alpha_b}{\pi * h})^{0,5}$

- Για t=1 χρόνο :

Το μήκος του νέου βραχίονα στην Ανατολική πλευρά του κυματοθραύστη θα είναι :

$$\gamma_{ANAT} = 2 * (Q_1 * t * \frac{\alpha_{b1}}{\pi * h_1})^{0,5} = 2 * (1067865,90 * 1 * \frac{0,35}{3,14 * 5,50})^{0,5} = 2 * (21641,75)^{0,5} = 2 * 147,11$$

$$\Leftrightarrow \gamma_{ANAT} = \mathbf{294,22 \text{ m}}$$

Η απόστασή του βραχίονα από την Ανατολική πλευρά του κυματοθραύστη θα είναι :

$$x_{ANAT} = \frac{3}{a_{b1}} * \gamma_{ANAT} = \frac{3}{0,35} * 294,22 \Leftrightarrow x_{ANAT} = \mathbf{2521,91 \text{ m} \approx 2525,00 \text{ m}}$$

Το μήκος του νέου βραχίονα στη Δυτική πλευρά του κυματοθραύστη θα είναι :

$$\gamma_{ΔΥΤ} = 2 * (Q_2 * t * \frac{\alpha_{b2}}{\pi * h_2})^{0,5} = 2 * (891577,50 * 1 * \frac{0,57}{3,14 * 6,38})^{0,5} = 2 * (25367,85)^{0,5} = 2 * 159,27 \Leftrightarrow$$

$$\gamma_{ΔΥΤ} = \mathbf{318,55 \text{ m}}$$

Η απόστασή του βραχίονα από τη Δυτική πλευρά του κυματοθραύστη θα είναι :

$$x_{ΔΥΤ} = \frac{3}{a_{b2}} * \gamma_{ΔΥΤ} = \frac{3}{0,57} * 318,55 \Leftrightarrow x_{ΔΥΤ} = \mathbf{1676,56 \text{ m} \approx 1680,00 \text{ m}}$$

Συνεπώς για να καταπολεμηθεί η στερεομεταφορά από την ανατολική πλευρά του κυματοθραύστη, θα πρέπει να τοποθετηθεί βραχίονας, ο οποίος να απέχει 2525 m από τον κυματοθραύστη και να έχει μήκος 294,22 m, ενώ για να καταπολεμηθεί η στερεομεταφορά από τη δυτική πλευρά του κυματοθραύστη, θα πρέπει να τοποθετηθεί βραχίονας, ο οποίος να απέχει 1680 m από τον κυματοθραύστη και να έχει μήκος 318,55 m.

- Για t=5 χρόνια :

Το μήκος του νέου βραχίονα στην Ανατολική πλευρά του κυματοθραύστη θα είναι :

$$\gamma_{ANAT} = 2 * (Q_1 * t * \frac{\alpha_{b1}}{\pi * h_1})^{0,5} = 2 * (1067865,90 * 5 * \frac{0,35}{3,14 * 5,50})^{0,5} = 2 * (108208,76)^{0,5} = 2 * 328,95$$

$$\Leftrightarrow \gamma_{ANAT} = \mathbf{657,90 \text{ m}}$$

Η απόστασή του βραχίονα από την Ανατολική πλευρά του κυματοθραύστη θα είναι :

$$x_{ANAT} = \frac{3}{a_{b1}} * y_{ANAT} = \frac{3}{0,35} * 657,90 \Leftrightarrow x_{ANAT} = 5639,16 \text{ m} \approx 5640,00 \text{ m}$$

Το μήκος του νέου βραχίονα στη Δυτική πλευρά του κυματοθραύστη θα είναι :

$$y_{\Delta YT} = 2 * (Q_2 * t * \frac{\alpha_{b2}}{\pi * h_2})^{0,5} = 2 * (891577,50 * 5 * \frac{0,57}{3,14 * 6,38})^{0,5} = 2 * (126839,24)^{0,5} = 2 * 356,14$$
$$\Leftrightarrow y_{\Delta YT} = 712,29 \text{ m}$$

Η απόστασή του βραχίονα από τη Δυτική πλευρά του κυματοθραύστη θα είναι :

$$x_{\Delta YT} = \frac{3}{a_{b2}} * y_{\Delta YT} = \frac{3}{0,57} * 712,29 \Leftrightarrow x_{\Delta YT} = 3748,89 \text{ m} \approx 3750,00 \text{ m}$$

Συνεπώς για να καταπολεμηθεί η στερεομεταφορά από την ανατολική πλευρά του κυματοθραύστη, θα πρέπει να τοποθετηθεί βραχίονας, ο οποίος να απέχει 56340 m από τον κυματοθραύστη και να έχει μήκος 657,90 m, ενώ για να καταπολεμηθεί η στερεομεταφορά από τη δυτική πλευρά του κυματοθραύστη, θα πρέπει να τοποθετηθεί βραχίονας, ο οποίος να απέχει 3750 m από τον κυματοθραύστη και να έχει μήκος 712,29 m.

- Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς για αποφυγή απόθεσης φερτών υλών πίσω από τον κυματοθραύστη για χρονικό διάστημα 5 ετών, το απαιτούμενο μήκος του νέου βραχίονα στην Ανατολική πλευρά του κυματοθραύστη θα πρέπει να είναι περίπου 660 m και από τη Δυτική πλευρά περίπου 710 m. Τα μήκη αυτά είναι μη ρεαλιστικά, για το λόγο αυτό η μελέτη για 5 χρόνια απορρίπτεται και γίνεται δεκτή η μελέτη για χρονικό διάστημα 1 έτους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η κατασκευή του κυματοθραύστη στη θέση των Νέων Επιβατών έχει προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στη γύρω περιοχή, λόγω της προσάμμωσης που έχει δημιουργηθεί εκατέρωθεν του προβόλου. Σκοπός της κατασκευής του, ήταν η δημιουργία θέσεων για τα αλιευτικά σκάφη (αλιευτικό καταφύγιο) . Λόγω της προσάμμωσης, οι διαθέσιμες θέσεις ελαττώθηκαν σημαντικά. Συνεπώς στόχος της δεδομένης πτυχιακής εργασίας, αποτελεί η εύρεση λύσεων για την ελαχιστοποίηση του φαινομένου salient, το οποίο με το πέρασμα του χρόνου τείνει να καταλάβει όλο το μήκος του προβόλου- γέφυρας, κάνοντας έτσι την εμφάνισή του, το φαινόμενο tombolo.

Έπειτα από την έρευνα που διεξήχθη και την ολοκλήρωση των απαραίτητων υπολογισμών, προτείνονται τρεις πιθανές λύσεις για το συγκεκριμένο πρόβλημα.

4.1. ΠΡΩΤΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ-ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΒΥΘΟΚΟΡΗΣΗ

Ως πρώτος τρόπος αντιμετώπισης προτείνεται η απομάκρυνση των φερτών υλικών εκατέρωθεν του προβόλου, δηλαδή βυθοκόρηση ή εξάμμωση. Σε πρώτο στάδιο κρίνεται απαραίτητη η βυθοκόρηση έτσι ώστε ο πρόβολος να ελευθερωθεί σε όλο το μήκος του, δίνοντας τη δυνατότητα σε περισσότερα αλιευτικά σκάφη να σταθμεύουν, αλλά και να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην περιοχή. Με το πέρασμα του χρόνου το φαινόμενο salient θα αρχίσει να ξαναδημιουργείται, καθώς λόγω των κυματισμών θα εναποτίθενται ποσότητες φερτών υλικών. Η κατασκευή του κυματοθραύστη ολοκληρώθηκε το 1997 και σύμφωνα με το πρόγραμμα Google Earth μέχρι το 2002 το φαινόμενο salient είχε καταλάβει 71,75 m του προβόλου. Συνεπώς η διαδικασία της βυθοκόρησης θα πρέπει να επαναλαμβάνεται το πολύ ανά 5 χρόνια.

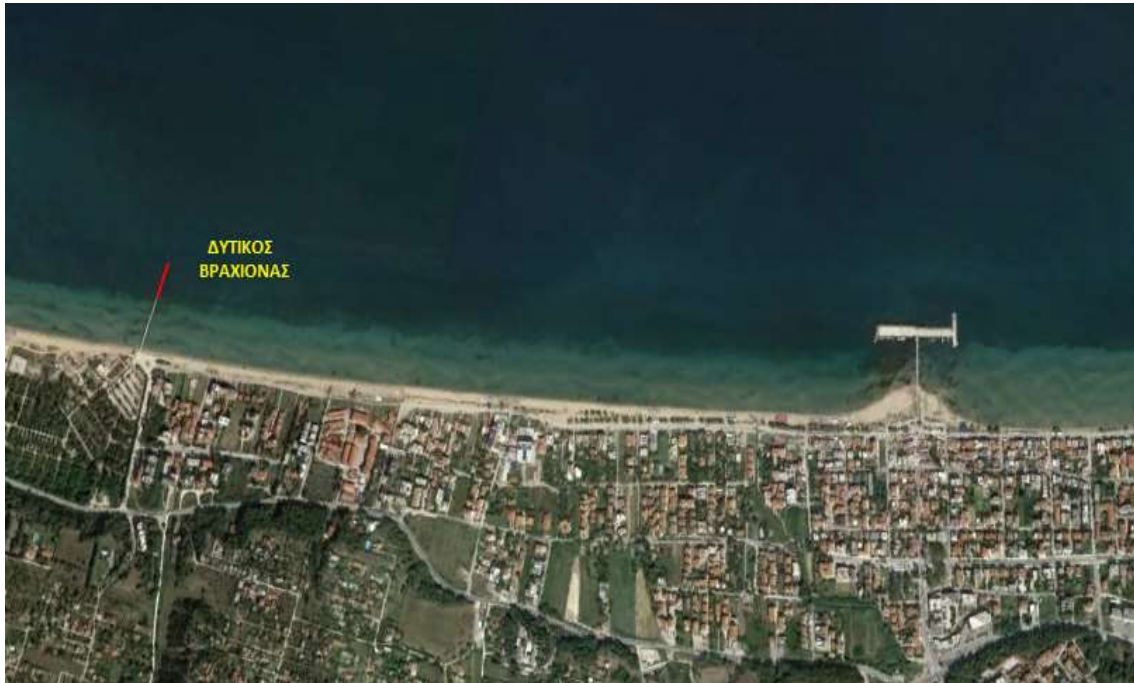
4.2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΥΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Ένας άλλος τρόπος αντιμετώπισης θεωρείται η τοποθέτηση ενός βραχίονα, καθώς η κατασκευή του θα εμποδίσει τη μεταφορά φερτών υλικών. Η τοποθέτησή του θα πρέπει να συνδυαστεί με την βυθοκόρηση και εξάμμωση εκατέρωθεν του προβόλου.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς της δεδομένης πτυχιακής εργασίας, παρατηρήθηκε μεγαλύτερος όγκος στερεομεταφοράς από τη Δυτική πλευρά. Συνεπώς, η κατασκευή του βραχίονα θα γίνει από τη Δυτική πλευρά του κυματοθραύστη και θα απέχει από αυτόν 1680,00 m. Σε απόσταση 1771,50 m από τον κυματοθραύστη δυτικά, υπάρχει ήδη ένας πρόβολος μήκους 120 m. Έτσι με τη μικρή διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στις δύο αποστάσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο υφιστάμενος πρόβολος για την για τη συγκράτηση των φερτών που έρχονται κυρίως από δυτικά (εικόνα 88).

Με βάση τους υπολογισμούς, το αναγκαίο μήκος του βραχίονα θα πρέπει να εκτείνεται στα 189,51 m, έστω 200,00 m, που προκύπτει από την πιο μακρινή γραμμή θραύσης των ανέμων. Επομένως θα γίνει επέκταση του υφισταμένου προβόλου κατά 80,00 m (εικόνα 89). Η στήριξή του, η οποία επιτυγχάνεται με κολώνες, επιτρέπει τη μεταφορά των φερτών υλών, συνεπώς εργασίες σε όλο του το μήκος του κρίνονται απαραίτητες, έτσι ώστε να διακόπτεται η μεταφορά τους. Με αυτόν τον τρόπο η στερεομεταφορά θα εμποδίζεται μόνο από τη δυτική πλευρά της γέφυρας πίσω από τον κυματοθραύστη. Όσον αφορά την άλλη πλευρά από την οποία μπορεί να υπάρχει στερεομεταφορά (ανατολικά του αλιευτικού καταφυγίου) επισημαίνεται ότι η κατασκευή της επέκτασης του αεροδιαδρόμου 10/28 του αερολιμένα

Θεσσαλονίκης «Μακεδονία», περιορίζει καθοριστικά τη στερεομεταφορά προς το αλιευτικό καταφύγιο των Ν.Επιβατών, οπότε η παρούσα λύση με τον βραχίονα δυτικά του υπο μελέτη λιμένα μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική.



Εικόνα 88 : Θέση Δυτικού βραχίονα-επέκταση του ήδη υπάρχοντος προβόλου (Google Earth 20-10-2018)



Εικόνα 89 : Επέκταση-επιμήκυνση υφιστάμενου βραχίονα στη δυτική πλευρά του αλιευτικού καταφυγίου (επεξεργασία από εικόνα του Google Earth 20-10-2018)

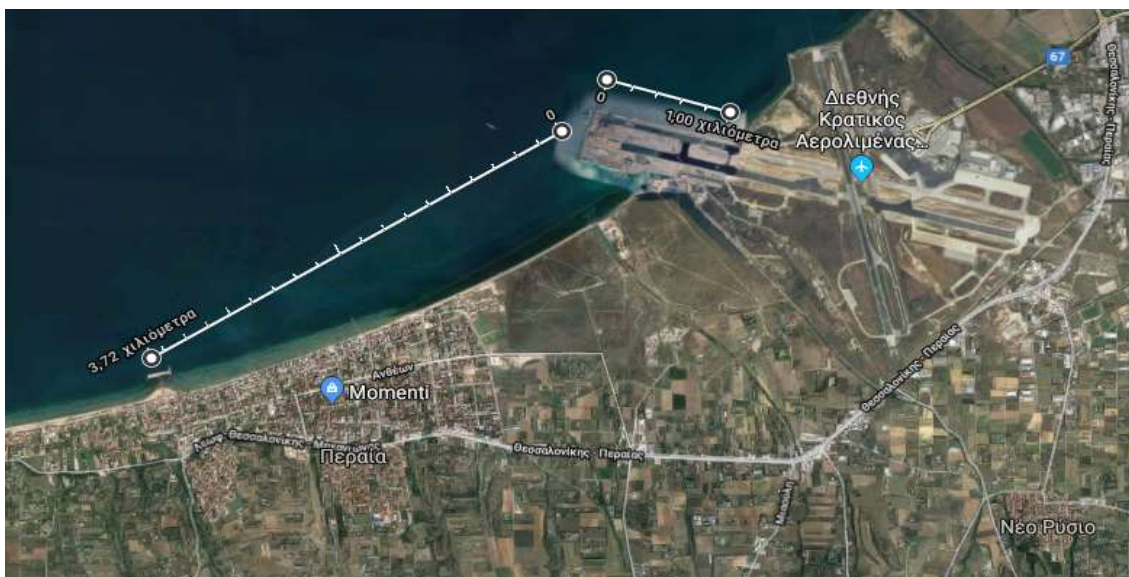
4.3. ΤΡΙΤΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ- ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

Τελευταίος τρόπος αντιμετώπισης είναι η κατασκευή δύο βραχιόνων, ενός δυτικά και ενός ανατολικά του κυματοθραύστη σε συνδιασμό με την περιοδική βυθοκόρηση εκατέρωθεν του προβόλου-γέφυρας και, (εικόνα 90). Η διαδικασία τοποθέτησης του βραχίονα στη Δυτική πλευρά θα πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τον προηγούμενο τρόπο αντιμετώπισης. Ο δεύτερος βραχίονας θα τοποθετηθεί στην Ανατολική πλευρά του έργου και σύμφωνα με τους υπολογισμούς, θα απέχει από τον κυματοθραύστη 2525,00 m και θα πρέπει να έχει μήκος 200,00 m (σύμφωνα με την γραμμή θραύσης). Ωστόσο κρίνεται αναγκαία η περιοδική εξάμμωση στο ανάντι μέρος και των δύο βραχιόνων κάθε 5 χρόνια.



Εικόνα 90 : Θέσεις Δυτικού και Ανατολικού βραχίονα (Google Earth 20-10-2018)

Ωστόσο, όπως επισημάνθηκε προηγουμένως, η κατασκευή της επέκτασης του αεροδιαδρόμου 10/28 του αερολιμένα Θεσσαλονίκης «Μακεδονία», καθιστά ενδεχομένως μη σημαντική την κατασκευή του βραχίονα στην Ανατολική πλευρά του λιμενικού έργου, καθώς ο αεροδιάδρομος δεν απέχει ούτε 4 km, από το λιμενικό έργο του κυματοθραύστη της περιοχής της Περαιάς, όπως γίνεται αντιληπτό στην εικόνα 91.



Εικόνα 91 : Απόσταση μεταξύ κυματοθραύστη και αεροδιαδρόμου (Google Earth 05-07-2018)

Επίσης, επισημαίνεται ότι ανάμεσα από τον κυματοθραύστη και τον Ανατολικό προτεινόμενο Βραχίονα υπάρχει και ένας πρόβολος μήκους 200 m (εικόνα 92). Πρόκειται για τη γέφυρα της Περαίας η οποία όμως αποτελείται από ένα κατάστρωμα που εδράζεται σε πασσάλους και είναι διαπερατή όσον αφορά τη στερεομεταφορά.



Εικόνα 92 : Πρόβολος Ανατολικά του κυματοθραύστη (Google Earth 20-10-2018)

4.4. ΣΥΝΟΨΗ

Συνοψίζοντας, παρόλο τις ενέργειες εξαμμώσεων που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, παρατηρείται έντονο το φαινόμενο του salient (εικόνες 93 και 94), συνεπώς η δεύτερη λύση με την κατασκευή ενός βραχίονα δυτικά του υπό μελέτη λιμενικού έργου, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η πιο ενδεδειγμένη λύση, σε συνδυασμό πάντα με ένα πρόγραμμα συνεχούς παρακολούθησης και ελέγχου της παράκτιας ζώνης.



Εικόνα 93 : Σημερινή μορφή του έργου (drone 10-11-2018)



Εικόνα 94 : Σημερινή μορφή του έργου (drone 10-11-2018)

Τέλος είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η πιο ακριβής και τεκμηριωμένη υπολογιστική διαδικασία για την περιγραφή της στερεομεταφοράς και τη διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων μπορεί να γίνει με τα πλέον σύγχρονα εργαλεία των μαθηματικών μοντέλων παράκτιας υδραυλικής και ακτομηχανικής.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγώνας δρόμου για να παραδοθεί ο διάδρομος 10/28 του «Μακεδονία» . Διαθέσιμο σε :
<https://www.voria.gr/article/agonas-dromou-gia-na-paradothi-o-diadromos-1028-tou-makedonia>

Πρόσβαση : 07/11/2018

Αεροδρόμιο Μακεδονία : Το 2019 μεταφέρεται η λειτουργία του νέου “υπερατλαντικού” διαδρόμου. Διαθέσιμο σε :

<https://www.ypodomes.com/index.php/limania-aerodromia/aerodromia/item/44787-aerodromio-makedonia-to-2019-metaferetai-i-leitourgia-tou-neou-yperatlantikoy-diadromou>

Πρόσβαση : 07/11/2018

Διαδικτυακή εγκυκλοπαίδεια ελεύθερου περιεχομένου Wikipedia. Διεθνής κρατικός αερολιμένας Θεσσαλονίκης «Μακεδονία». Διαθέσιμο σε :

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B5%CE%B8%CE%BD%CE%AE%CF%82_%CE%9A%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B1%CF%82_%CE%98%CE%B5%CF%83%CF%83%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CE%AF%CE%BA%CE%B7%CF%82_%C2%AB%CE%9C%CE%B1%CE%BA%CE%B5%CE%B4%CE%BF%CE%BD%CE%AF%CE%B1%CF%82

Πρόσβαση : 07/11/2018

Δύκτυο Μεσόγειος SOS, WATERSAVE - Εκπαιδευτικό πακέτο “Έξοικονόμηση Νερού” , 11. Η ρύπανση του νερού (Υλικό για εκπαιδευτικούς). Διαθέσιμο σε :

<https://www.watersave.gr/files/PDF/11ekp.pdf>

Πρόσβαση : 16/05/2016

Ευθυμιάδης Ε., Ιανουάριος 2017. Αποκεντρωμένη διοίκηση Μακεδονίας-Θράκης, Γενική Δ/νση χωροταξικής και περιβαλλοντικής πολιτικής, Δ/νση Περιβάλλοντος και χωρικού σχεδιασμού κεντρικής Μακεδονίας, Στρωμνίτσης 53 Χαριλάου.

Κατσούλης Σ. , 1970. Ανεμολογικές συνθήκες στο Αιγαίο, Διαδακτορική διατριβή , Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Καραμπάς Θεοφάνης, Γιάννης Κρεστενίτης, Χριστόφορος Κουτίτας 2016, Ακτομηχανική – Έργα Προστασία Ακτών, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ.

Κουτσουβέλας Δ. , 2010 . Ήπιες μέθοδοι προστασίας ακτών από διάβρωση : Βυθισμένοι κυματοθραύστες . Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστήμης Της Θάλασσας. Διαθέσιμο σε :

<http://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/10865/file0.pdf?sequence=1>

Πρόσβαση : 16/05/2016

Μελέτη πριν από 9 χρόνια για διάβρωση-προσάμμιση ακτών Θερμαϊκού. Διαθέσιμο σε : <http://farosthermaikou.blogspot.gr/2015/02/9.html>
Πρόσβαση : 25/07/2017

Μέμος Κ. , 2008. Εισαγωγή στα λιμενικά έργα . Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα. Διαθέσιμο σε : https://eclass.teiath.gr/modules/document/file.php/PEY128/KEFALAIA_1_2_MEMOY.pdf
Πρόσβαση : 25/06/2016

Παρεμβάσεις κατά της διάβρωσης σε ακτές του Δήμου Θερμαϊκού. Διαθέσιμο σε : <http://www.typosthes.gr/gr/topika/article/154348/thessaloniki-paremvasis-kata-tis-diaivrosis-se-aktes-tou-dimou-thermaikou/>
Πρόσβαση: 08/09/2016.

Τεχνικός Φάκελος για την εξαίρεση από τις ισχύουσες διατάξεις διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης του «**έργου αποκατάστασης του Αλιευτικού Καταφυγίου Ν.Επιβατών του Δήμου Θερμαϊκού**», σύμφωνα με την Εγκύκλιο με αρ. πρωτ. οικ. 203913/19-12-2012, του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, με θέμα «Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων επείγοντος χαρακτήρα». Προσωπική Επαφή με τον Πολιτικό Μηχανικό Τ.Ε. Τσεμπεκίδη Γ., Σεπτέμβριος 2017 Θεσσαλονίκη.

Χριστοφόρος Γ. Κουτίτας, 1994. Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

National Geographic, 2014. Εγκυκλοπαίδεια του περιβάλλοντος για νέους (σε ηλεκτρονική έκδοση e-book), Τόμος 1. SELENA A.E. , Αθήνα. Διαθέσιμο σε : <https://www.inedivim.gr/images/ng-egkykpolaideia/ng-egkykpolaideia-perivalon-1-viopoikilotita.pdf>
Πρόσβαση : 16/05/2016

Site Δήμου Θερμαϊκού. Διαθέσιμο σε : <http://www.thermaikos.gr/inst/e-thermaikos/gallery/2015/%CE%91%CE%9D%CE%A4%CE%99%CE%94%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A1%CE%A7%CE%99%CE%95%CE%A3/%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3/%CE%93%CE%95%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%A0%CE%9F%CE%9B%CE%95%CE%9F%CE%94%CE%9F%CE%9C%CE%99%CE%9A%CE%9F/2%CE%B7%20%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%BE%CE%B7%20%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82/%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%95%CE%9A%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%97%20%CE%9D%CE%95%CE%9F%CE%99%20%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%92%CE%91%CE%A4%CE%95%CE%A3%CE%A0%CE%95%20%CE%91.pdf>

Πρόσβαση : 02/08/2016