



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**  
**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



**Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μελέτης κυματικής διείδυσης  
στην Λιμενολεκάνη Σκαφών Αναψυχής του Λιμένα Λαυρίου  
&  
Διερεύνηση της αποτελεσματικότητας τοποθέτησης πλωτών  
κυματοθραυστών και προβλητών**



Αθήνα Ιούλιος 2022



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ -----	4
1.1. Ιστορικό-----	4
1.2. Αντικείμενο -----	4
1.3. Διαθέσιμα Στοιχεία-----	4
1.4. Μεθοδολογία προσέγγισης-----	5
2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ “ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗ ΣΚΑΦΩΝ ΑΝΑΨΥΧΗΣ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΛΑΥΡΙΟΥ” ---	5
2.1. Περιγραφή μεθοδολογίας προσέγγισης -----	5
2.2. Αξιολόγηση μεθοδολογίας προσέγγισης-----	6
2.3. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ανεμολογικής δίαιτας -----	6
2.4. Αξιολόγηση μεθοδολογίας και αποτελεσμάτων υπολογισμού κυματικού κλίματος -----	6
2.5. Αξιολόγηση επιλογής κυματικών δεδομένων εισόδου για την μαθηματική προσομοίωση -----	6
3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ -----	9
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΛΩΤΩΝ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΩΝ -----	9
5. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΛΛΙΜΕΝΙΣΜΟΥ ΣΚΑΦΩΝ ΑΝΑΨΥΧΗΣ -----	10
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -----	12
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ -----	14
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 -----	15

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Ιστορικό

Με το από 7-7-2022 Ιδιωτικό Συμφωνητικό μεταξύ της Optimum Value ΑΕ Σύμβουλοι Επιχειρήσεων (Optimum Value )που εδρεύει στην Αττική, Δήμο Αμαρουσίου, οδό Κονίτσης 3-5, τκ. 15125, Α.Φ.Μ. 998473291, Δ.Ο.Υ.: ΦΑΕ ΑΘΗΝΩΝ νομίμως εκπροσωπούμενη από τον Διευθύνοντα Σύμβουλο κ. Θεοφάνη Καραγιάννη με το Ν.Π.Δ.Δ. με την επωνυμία «Ειδικός Λογαριασμός Κονδυλίων Έρευνας-Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο» ή για συντομία ΕΛΚΕ-ΕΜΠ, το οποίο εδρεύει στην Αθήνα, στην οδό Πατησίων 42, Τ.Κ : 106.82, ΑΦΜ: 099793475, Δ.Ο.Υ.: Δ' ΑΘΗΝΩΝ, και έχει Διοικητικές Υπηρεσίες στην οδό Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Τ.Κ.: 157.80 – ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ (Διεύθυνση Επικοινωνίας), εκπροσωπούμενο από τον Αντιπρύτανη Έρευνας και Δια Βίου Εκπαίδευσης του ΕΜΠ και Πρόεδρο της Επιτροπής Ερευνών και Διαχείρισης του ΕΛΚΕ-ΕΜΠ Καθ. Ιωάννη Κ. Χατζηγεωργίου, το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (ΕΛΕ) της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) με επιστημονικά υπεύθυνη την Διευθύντρια του Εργαστηρίου κα Βασιλική Τσουκαλά, Καθηγήτρια ΕΜΠ ανέλαβε την: «Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μελέτης κυματικής διείδυσης στη Λιμενολεκάνη Σκαφών Αναψυχής του Λιμένα Λαυρίου και διερεύνηση της αποτελεσματικότητας τοποθέτησης πλωτών κυματοθραυστών και προβλητών».

### 1.2. Αντικείμενο

Πιο συγκεκριμένα στο πλαίσιο του εν λόγω έργου το ΕΛΕ έχει αναλάβει:

- την αξιολόγηση της μεθοδολογίας προσέγγισης, καθώς και των αποτελεσμάτων της μελέτης “Μελέτη κυματικής διείδυσης στην Λιμενολεκάνη Σκαφών Αναψυχής του Λιμένα Λαυρίου”, η οποία εκπονήθηκε από την Scientia Maris για λογαριασμό της Optimum Value Α.Ε. – Σύμβουλοι Επιχειρήσεων,
- τον έλεγχο βαθμονόμησης και αξιοπιστίας αποτελεσμάτων του χρησιμοποιούμενου κυματικού μοντέλου,
- την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας και της λειτουργικότητας τω προτεινόμενων πλωτών κυματοθραυστών, λαμβάνοντας υπόψη τα ανεκτά όρια του κατασκευαστή, έναντι του ύψους κύματος σχεδιασμού το οποίο προκύπτει από την “Μελέτη κυματικής διείδυσης στην Λιμενολεκάνη Σκαφών Αναψυχής του Λιμένα Λαυρίου” για την προστασία του λιμένα,
- την εκτίμηση της δυνατότητας ασφαλούς ελλιμενισμού των προδιαγραμμένων από τον Οργανισμό Λιμένα Λαυρίου (ΟΛΛ) με βάση τα προτεινόμενα από τον ΟΛΛ έργα σύμφωνα με τις προβλεπόμενες από την “Μελέτη κυματικής διείδυσης στην Λιμενολεκάνη Σκαφών Αναψυχής του Λιμένα Λαυρίου” κυματικές συνθήκες.

### 1.3. Διαθέσιμα Στοιχεία

Στο ΕΛΕ διατέθηκαν από την Optimum Value ΑΕ Σύμβουλοι Επιχειρήσεων οι ακόλουθες μελέτες και στοιχεία:

- Μελέτη κυματικής διείδυσης εντός λιμενολεκάνης σκαφών αναψυχής λιμένα Λαυρίου, Οργανισμός Λιμένα Λαυρίου, Ανάδοχος Μελέτης: ADVANCED ENVIRONMENTAL STUDIES, Σύμβουλοι Μηχανικοί Ανώνυμη Μελετητική Εταιρεία, Ιανουάριος 2020
- Μελέτη τροποποίησης ΑΕΠΟ οικ. 206601/30.12.11 (ΑΔΑ: ΒΟΝ0-1Θ4) του έργου «Έργα Βελτίωσης -επέκτασης και λειτουργία του συνόλου του Λιμένος Λαυρίου» ως προς το έργο: «Οργάνωση και λειτουργία του χώρου ελλιμενισμού μικρών σκαφών και ημεροπλοίων στο λιμένα του Λαυρίου», Οργανισμός Λιμένα Λαυρίου, Ανάδοχος Μελέτης: Optimum Value Α.Ε. – Σύμβουλοι Επιχειρήσεων, Σύμβουλος Μελέτης SCIENTIA MARIS I.K.E, Οκτώβριος, 2020)
- Τεχνική Περιγραφή Διάταξης, Οργανισμός Λιμένα Λαυρίου, Μάρτιος 2022.

- Μελέτη Τεχνικών Προδιαγραφών Πλωτών Στοιχείων, Οργανισμός Λιμένα Λαυρίου, Μάρτιος 2022
- Γενικό Προγραμματικό Σχέδιο (Master Plan) του Λιμένα Λαυρίου, Σχέδιο σε Κλίμακα 1:2000, Δεκέμβριος 2017

#### 1.4. Μεθοδολογία προσέγγισης

Αφού μελετήθηκαν ενδελεχώς τα διατιθέμενα από την Optimum Value διατιθέμενα στοιχεία στα Κεφάλαια 2÷5 δίνεται η Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μελέτης κυματικής διείδυσης στην Λιμενολεκάνη Σκαφών Αναψυχής του Λιμένα Λαυρίου και Διερευνάται η αποτελεσματικότητα της τοποθέτησης πλωτών κυματοθραυστών και προβλητών.

## 2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ “ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗ ΣΚΑΦΩΝ ΑΝΑΨΥΧΗΣ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΛΑΥΡΙΟΥ”

### 2.1. Περιγραφή μεθοδολογίας προσέγγισης

Η μεθοδολογία εκπόνησης που ακολουθήθηκε από την Scientia Maris για την μελέτη της κυματικής διείδυσης στην λιμενολεκάνη σκαφών αναψυχής του Λιμένα Λαυρίου βασίστηκε σε τρία διακριτά στάδια:

- **Πρώτο στάδιο:**

Συλλογή και αξιολόγηση των διαθέσιμων στοιχείων και δεδομένων με σκοπό τον προσδιορισμό των περιβάλλουσων συνθηκών στην περιοχή μελέτης. Ειδικότερα, προσδιορίζονται και αξιολογούνται τα ακόλουθα:

- Βαθυμετρία περιοχής μελέτης
- Ανεμολογική δίαιτα περιοχής μελέτης και ευρύτερης περιοχής
- Κυματικό κλίμα στα ανοιχτά και ωκεανογραφικά δεδομένα (στάθμη θάλασσας, παλίρροια και ρεύματα)
- Προβλέψεις μεταβολής κρίσιμων παραμέτρων λόγω κλιματικής διακύμανσης

- **Δεύτερο στάδιο,**

Προσομοίωση της διείδυσης του κυματικού κλίματος, για την υφιστάμενη κατάσταση (Do Nothing) χωρίς την παρουσία των προτεινόμενων πλωτών στοιχείων, εντός της λιμενολεκάνης Λαυρίου.

- **Τρίτο στάδιο**

Προσομοίωση της διείδυσης του κυματικού κλίματος με την παρουσία των πλωτών κυματοθραυστών και των πλωτών προβλητών με στόχο την διερεύνηση της διαταραχής εντός της λιμενολεκάνης του λιμένα Λαυρίου και συγκεκριμένα σε επιλεγμένες περιοχές ελέγχου στο τμήμα σκαφών αναψυχής, όπου πραγματοποιείται έλεγχος με τα ανεκτά όρια.

Στην συνέχεια, και αφού αρχικά στην **§ 2.2. Αξιολόγηση μεθοδολογίας προσέγγισης** ελέγχεται και αξιολογείται συνολικά κατά πόσο η μεθοδολογία εκπόνησης της Μελέτης Κυματικής Διείδυσης έχει εκπονηθεί σύμφωνα με τα διεθνή ή/και εθνικά πρότυπα και προδιαγραφές, στην παράγραφο:

- **2.3. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ανεμολογικής δίαιτας,** ελέγχεται και αξιολογείται η αντιπροσωπευτικότητα και η επάρκεια των ανεμολογικών δεδομένων που επιλέχθηκαν και χρησιμοποιούνται από τους μελετητές στην Μελέτη Κυματικής Διείδυσης για τον προσδιορισμό των ανεμογενών κυματισμών και του κυματικού κλίματος, :
- **2.4. Αξιολόγηση επιλογής κυματικών δεδομένων εισόδου για την μαθηματική προσομοίωση,** ελέγχεται και αξιολογείται η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα υπολογισμού
  - Κυματικού κλίματος
  - Ακραιών κυμάτων



## 2.2. Αξιολόγηση μεθοδολογίας προσέγγισης

Από τον ενδελεχή έλεγχο της Μελέτης Κυματικής Διείδυσης της Scientia Maris διαπιστώθηκε ότι η **μεθοδολογία προσέγγισης που ακολουθήθηκε από τους μελετητές ακολουθεί τις κατευθυντήριες οδηγίες των διεθών προτύπων** (PIANC, British Standards, κλπ) ενώ **τα περιεχόμενα της μελέτης έχουν συνταχθεί σύμφωνα με τον υπό έγκριση «ΟΔΗΓΟΣ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ» ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ «ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ», Κεφάλαιο 1. 1 Μελέτη Κυματικής Διαταραχής**, (βλ. Παράρτημα 1) ο οποίος εκπονείται για λογαριασμό της Διεύθυνσης Λιμενικών Υποδομών (Δ20), Γ.Δ.Υ.ΛΙ.Κ.Υ.Γ.Γ.Υ/ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ, από την Ένωση Οικονομικών Φορέων: Α.Δ.Κ. Α.Ε. – ΡΟΓΚΑΝ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Ε. – ΤΡΙΤΩΝ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε. – ΡΟΪΚΟΣ Α.Ε., και για τον οποίο έχει οριστεί με το από 30.11.2020 Συμφωνητικό (ΑΔΑΜ: 20ΣΥΜΝ007755206) η υπογράφουσα το παρόν υπόμνημα Καθηγήτρια Βασιλική Τσουκαλά, Διευθύντρια του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων, ΕΜΠ ως ΕΙΔΙΚΟΣ ΕΜΠΕΙΡΟΓΝΩΜΟΝΑΣ, για την παρακολούθηση της εξέλιξης και τον έλεγχο επί μέρους εξειδικευμένων θεμάτων της σύμβασης παροχής υπηρεσιών: «ΟΔΗΓΟΣ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ, ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΕΚΤΙΜΩΜΕΝΕΣ ΑΜΟΙΒΕΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ», όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1.

Εξάιρεση αποτελεί το Κεφάλαιο στο οποίο θα έπρεπε να γίνει η Περιγραφή των Εναλλακτικών Λύσεων (βλ. Κεφ. 9 της Μελέτης και Κεφ. 8 των Προδιαγραφών) και όπου πολύ ορθά οι Μελετητές περιγράφουν ως **Μοναδική Εναλλακτική τα Προτεινόμενα και Εγκεκριμένα από το Γενικό Προγραμματικό Σχέδιο (Master Plan) του Λιμένα Λαυρίου**.

## 2.3. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ανεμολογικής δίαιτας

Στο Λιμένα Λαυρίου, εξαιτίας της γεωγραφικής του θέσης και του προσανατολισμού της εισόδου του, από άποψης γένεσης κυματισμών στα βαθιά, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι Ανατολικοί, Νοτιοανατολικοί και Νότιοι άνεμοι. Κατά συνέπεια οι μελετητές έχουν ορθά χρησιμοποιήσει, για τον υπολογισμό της ανεμολογικής δίαιτας στον Λιμένα Λαυρίου, και τον υπολογισμό του κυματικού κλίματος με μοντέλα πρόγνωσης – συσχέτισης των χαρακτηριστικών πνοής του ανέμου (Ένταση, Διάρκεια, Ανάπτυγμα πελάγους [fetch] και Ετήσια συχνότητα πνοής) με τα κυματικά χαρακτηριστικά (ύψος κύματος [ $H_s$ ], περίοδο κύματος [ $T_p$ ] και συχνότητα εμφάνισης [%]), τα δεδομένα του Ανεμολογικού Σταθμού της ΕΜΥ στην Μήλο για την Νότια και Νοτιοανατολική διεύθυνση και του Ανεμολογικού Σταθμού της ΕΜΥ στα Σπάτα για την Ανατολική Διεύθυνση ως τα πλέον αντιπροσωπευτικά.

## 2.4. Αξιολόγηση μεθοδολογίας και αποτελεσμάτων υπολογισμού κυματικού κλίματος

Η συγκεκριμένη Μελέτη, **ακολούθησε ορθά** δύο διαφορετικές μεθόδους (Α και Β, όπως παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3) για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών στα ανοιχτά της εισόδου του Λιμένα. Η πρώτη αξιοποιεί, και επεξεργάζεται στατιστικά, κυματικά δεδομένα που προσφέρονται από την Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων Copernicus (marine.copernicus.eu) με στόχο τον υπολογισμό του μέσου ετήσιου κυματικού κλίματος. Στην δεύτερη μέθοδο αξιοποιούνται ανεμολογικά δεδομένα της ΕΜΥ και μαθηματικές εξισώσεις για τον υπολογισμό ακραίων κυματικών χαρακτηριστικών για την διερεύνηση της ευστάθειας/αστοχίας των προτεινόμενων πλωτών στοιχείων.

**Πίνακας .1.** Περιεχόμενα Μελέτης Κυματικής Διαταραχής εντός Λιμενολεκάνης

<b>ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΕΝΤΟΣ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗΣ¶</b>	
<b>¶</b>	
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ¶</b>	
<b>1. → Εισαγωγή¶</b>	
1.1. Ιστορικό και Στοιχεία Ανάθεσης Μελέτης¶	
1.2. Συνοπτική Περιγραφή Αντικειμένου και Στόχων Μελέτης¶	
1.3. Ομάδα Εργασίας¶	
1.4. Κωδικοποίηση Παραδοτέων και Ιστορικό Τροποποιήσεων¶	
<b>2. → Περιοχή Μελέτης και Περιγραφή Υφιστάμενης Κατάστασης¶</b>	
2.1. Γεωγραφική Θέση—Περιγραφή Περιοχής Μελέτης¶	
2.2. Υφιστάμενη Κατάσταση—Υφιστάμενα Τεχνικά Έργα¶	
<b>3. → Συλλογή και Αξιολόγηση Δεδομένων Φυσικού Περιβάλλοντος¶</b>	
3.1. Γεωμορφολογικά Στοιχεία¶	
3.2. Ανεμολογικές Συνθήκες¶	
3.3. Κυματικό Κλίμα¶	
3.4. Στοιχεία Θαλάσσιας Στάθμης¶	
3.5. Κλιματική Διακύμανση και Αλλαγή¶	
<b>4. → Τοπογραφική και Βυθομετρική Αποτύπωση¶</b>	
<b>5. → Μεθοδολογία Εκπόνησης Αριθμητικών Προσομοιώσεων και Περιγραφή Αριθμητικών Μοντέλων¶</b>	
5.1. Μεθοδολογία Εκπόνησης Αριθμητικών Προσομοιώσεων¶	
5.2. Περιγραφή Μοντέλου Κυματικής Διάδοσης¶	
<b>6. → Θαλάσσιες και Ανεμολογικές Συνθήκες προς Αριθμητική Προσομοίωση¶</b>	
6.1. Δεδομένα Κυματικού Κλίματος¶	
6.2. Δεδομένα Στάθμης Θάλασσας¶	
6.3. Ανεμολογικό Κλίμα¶	
6.4. Σενάρια προς Προσομοίωσης¶	
<b>7. → Διερεύνηση Κυματικής Διαταραχής Υφιστάμενης Κατάστασης με Αριθμητική Προσομοίωση¶</b>	
7.1. Δεδομένα Εισόδου¶	
7.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης Κυματικής Διαταραχής¶	
<b>8. → Περιγραφή Εναλλακτικών Διατάξεων¶</b>	
<b>9. → Διερεύνηση Κυματικής Διαταραχής Εναλλακτικών Διατάξεων με Αριθμητική Προσομοίωση¶</b>	
9.1. Δεδομένα Εισόδου¶	
9.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης Κυματικής Διαταραχής¶	
<b>10. → Συμπεράσματα—Βέλτιστη Διάταξη¶</b>	
<b>11. → Βιβλιογραφικές Αναφορές¶</b>	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ¶</b>	

Για τον υπολογισμό του μέσου ετήσιου κυματικού κλίματος, **προκρίνεται ορθά** από τους μελετητές η **αξιοποίηση των δεδομένων της βάσης Copernicus**, αφού τα δεδομένα αυτά είναι αποτελέσματα αριθμητικών προσομοιώσεων (που έχουν βαθμονομηθεί και με μετρήσεις πεδίου), κυματικής γένεσης και διάδοσης στην Μεσόγειο, με υψηλή χωρική ανάλυση (~4.6 km) και χρονική διακριτοποίηση με μικρό βήμα (1 hr). Ως εκ τούτου, μπορούν να θεωρηθούν πιο αξιόπιστα, αφού προσφέρουν μια πληρέστερη, και πλησιέστερη προς την πραγματικότητα, εικόνα κυματισμών στα «ανοιχτά» του Λιμένα Λαυρίου τα τελευταία χρόνια.

Για τον υπολογισμό ακραίων κυματικών χαρακτηριστικών, για τους υπολογισμούς ευστάθειας των πλωτών κυματοθραυστώντα συγκεκριμένα δεδομένα της βάσης Copernicus δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, καθώς το χρονικό διάστημα των 13 ετών (2006-2019), για το οποίο είναι διαθέσιμα, είναι βραχύ και δεν επιτρέπει μια αξιόπιστη χρονική επέκταση των τιμών των ακραίων συμβάντων (π.χ. με κατανομή Weibull) πέραν περίπου των 40 ετών. Κατά συνέπεια οι μελετητές πολύ **ορθά επέλεξαν για τον υπολογισμό των ακραίων κυματικών συμβάντων** να χρησιμοποιήσουν τα ανεμολογικά δεδομένα των αντιπροσωπευτικών για την περιοχή ανεμολογικών σταθμών της EMY

(Μήλου [Έτη λειτουργίας: 1987-2019] και Σπάτων [Έτη λειτουργίας: 1974-2000] ) και την μέθοδο Smith (1991), εφαρμόζοντας ένα απλό αλλά αξιόπιστο αριθμητικό εργαλείο, το Maris-OWC όπως προέκυψε από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του που διενεργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας σύμβασης. Κατά συνέπεια,

τα κυματικά δεδομένα στα ανοιχτά του λιμένα, κρίνεται ότι:

- ✓ είναι ρεαλιστικά και αξιόπιστα,
- ✓ βασίζονται σε πρωτογενή δεδομένα έγκυρων οργανισμών (Corpernicus και EMY)
- ✓ έχουν υπολογιστεί βάσει τεκμηριωμένων μεθόδων, απόλυτα σύμφωνων με τις επιστημονικές αρχές της θαλάσσιας υδραυλικής και μηχανικής

## 2.5. Αξιολόγηση επιλογής κυματικών δεδομένων εισόδου για την μαθηματική προσομοίωση

Ως δεδομένα εισόδου στην Μελέτη Κυματικής Διείδυσης χρησιμοποιήθηκαν (βλ. Πίνακα 2):

1. Για την **έγερση του μέσου ετήσιου ποσοστού λειτουργίας των περιοχών ελέγχου του τμήματος σκαφών αναψυχής του λιμένα Λαυρίου**, τα κυματικά δεδομένα που υπολογίστηκαν ότι έχουν εμφανιστεί στα ανοιχτά της περιοχής μελέτης προερχόμενα από την βάση δεδομένων του Corpernicus (υποκεφάλαιο 6.1 της Μελέτης Κυματικής Διείδυσης) και
2. Για τον **έλεγχο της ευστάθειας των πλωτών κυματοθραυστών**, και την επιλογή ακραίου κυματικού σεναρίου, τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Smith (1991) με την αξιοποίηση των ετήσιων ανεμολογικών δεδομένων των ανεμολογικών δεδομένων της EMY για fetch-limited συνθήκες.

**Πίνακας 2.** Σύνοψη κυματικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην Μελέτη Κυματικής Διείδυσης της SCIENTIA MARIS (Πηγή: Μελέτη Κυματικής Διείδυσης SCIENTIA MARIS)

Κυματικά δεδομένα εισόδου για την αριθμητική προσομοίωση του μέσου ετήσιου κυματικού κλίματος				
α/α	Διεύθυνση	Συχνότητα εμφάνισης f%	Ύψος κύματος Hs(m)	Περίοδος κύματος Tp(s)
1		2.460%	1.00	3.13
2	<b>E -Ανατολικοί</b> Θων=90°	0.035%	1.50	4.84
3		0.009%	2.00	5.42
4		0.008%	2.50	5.82
5		3.490%	1.00	3.58
6	<b>SE - Νοτιοανατολικοί</b> Θων=135°	0.285%	1.50	5.23
7		0.125%	2.00	5.99
8		0.064%	2.50	6.55
9		0.033%	3.00	7.20
10		23.413%	1.00	4.42
11		2.760%	1.50	6.35
12	<b>S - Νότιοι</b> Θων=180°	1.165%	2.00	6.81
13		0.359%	2.50	7.43
14		0.096%	3.00	8.16
15		0.031%	3.50	8.46
16		<b>S - Νότιοι</b> Θwd=180° Θων=179°	0.0038	5.75



Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε από τους μελετητές για την επιλογή των προς **έλεγχο κυματικών σεναρίων** είναι **ορθή, αν και κάπως συντηρητική**, δεδομένου ότι έχουν συντηρητικά επιλέξει κάθε ομάδα του Πίνακα 6.1 της μελέτης τους να αντιπροσωπεύεται από ένα ύψος ίσο με το άνω όριο τους εύρους της [για παράδειγμα για την ομάδα 3 που αντιστοιχεί στο εύρος 1.5-2.0 m του Πίνακα 6-1, επιλέγεται η συγκεκριμένη ομάδα να αντιπροσωπευθεί με την τιμή των 2 m] και κατά συνέπεια ο

**υπολογισμός του μέσου ετήσιου ποσοστού λειτουργίας των περιοχών ελέγχου του τμήματος σκαφών αναψυχής του λιμένα Λαυρίου είναι και αυτός συντηρητικά και υπολογισμένος**

Επιπρόσθετα και σχετικά με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε από τους μελετητές για τον **καθορισμό του ακραίου κυματικού σεναρίου** για τον έλεγχο της ευστάθειας των πλωτών κυματοθραυστών κρίνεται **ορθή** αν και πάλι **συντηρητική**, δεδομένου ότι επιλέγεται ως ακραίο κυματικό σενάριο ο μέγιστος κυματισμός που είναι δυνατό να εμφανιστεί στην Νότια Διεύθυνση, παρόλο, που όπως προκύπτει από τα ανεμολογικά δεδομένα του σταθμού της ΕΜΥ, η συχνότητα εμφάνισης ενός τέτοιου ακραίου κυματισμού είναι 0.013% ετησίως (με περίοδο επαναφοράς  $T \sim 25$  έτη).

### 3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στην συγκεκριμένη Μελέτη, εφαρμόστηκε ένα εξελιγμένο μη γραμμικό αριθμητικό μοντέλο υψηλής ακρίβειας, υπερβολικής μορφής, που είναι ικανό να προσομοιώνει όλα τα πολύπλοκα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα εντός και εκτός λιμένα, όπως την ρήχωση, την διάθλαση, τις απώλειες ενέργειας λόγω θραύσης και τριβής πυθμένα και κυρίως την περίθλαση και την μερική ή ολική ανάκλαση των κυματισμών.

Στην μελέτη κυματικής διαταραχής διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζεται αναλυτικά το μαθηματικό υπόβαθρο του εν λόγω αριθμητικού μοντέλου κυματικής διάδοσης, συνοδευόμενο από βιβλιογραφικές αναφορές σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά. Συνεπώς,

το **αριθμητικό μοντέλο** που εφαρμόστηκε είναι απόλυτα:

- ✓ **ικανό να προσομοιώσει όλα τα φαινόμενα που συμμετέχουν στη διαταραχή εντός της λιμενολεκάνης, και**
- ✓ **σύμφωνο με τις επιστημονικές αρχές της θαλάσσιας υδραυλικής και μηχανικής.**

### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΛΩΤΩΝ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΩΝ

Από τα διατιθέμενα στο ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ στοιχεία, σχετικά με τις διαστάσεις των κυματοθραυστών που θα εγκατασταθούν και τα ανεκτά όρια για την ασφαλή λειτουργία των κυματοθραυστών από την εταιρεία Optimum Value, και λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν από την SCIENTIA MARIS σχετικά με τους συντελεστές ανάκλασης και συντελεστών μετάδοσης κυματικής ενέργειας έχοντας υπόψη και τα χαρακτηριστικά του προσπίπτοντος κυματικού κλίματος (κυρίως τις περιόδους των κυματισμών), οι πλωτοί κυματοθραύστες **ορθώς** προκύπτει ότι **δεν είναι «αποδοτικοί»** για περιόδους κυματισμών μεγαλύτερες των 5 s καθώς επιτρέπουν την μετάδοση της κυματικής ενέργειας σε ποσοστό από 92% έως και 99%, ενώ αντίθετα σε περιόδους μικρότερες των 5 s είναι πιο αποδοτικοί και κυρίως για περιόδους μικρότερες των 4 s.

## Συμπερασματικά

**η μετάδοση της κυματικής ενέργειας με την παρουσία των πλωτών στοιχείων δεν επηρεάζει εν τέλει αρνητικά την λειτουργία της Μαρίνας και την ασφάλεια των ελλιμενιζόντων σκαφών αναψυχής, όπως στην συνέχεια προκύπτει από τον έλεγχο της κυματικής διαταραχής, ενώ θα μπορούσε να θεωρηθεί ευεργετική για την βελτίωση της ποιότητας των υδάτων της λιμενολεκάνης με την μείωση του χρόνου ανανέωσης των υδάτων**

Επιπρόσθετα σύμφωνα με την προσομοίωση του ακραίου κυματικού γεγονότος, με μεγάλο ύψος προσπίπτοντος κυματισμού στα ανοιχτά της εισόδου του λιμένα ( $H_s=5.75$  m  $T_p = 9.39$  s), από την Νότια διεύθυνση, προκύπτει ότι το μέγιστο εμφανιζόμενο ύψος κυματισμού στις θέσεις εγκατάστασης των πλωτών κυματοθραυστών είναι 2.5 m.

Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία των πλωτών κυματοθραυστών, με βάση τα στοιχεία που έχουν διατεθεί στο ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ύψος κύματος  $H_s=2.5$  m είναι εντός των ανεκτών ορίων για να μην αστοχήσουν.

## 5. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΛΛΙΜΕΝΙΣΜΟΥ ΣΚΑΦΩΝ ΑΝΑΨΥΧΗΣ

Στο Κεφ. 10 της Μελέτης Κυματικής Διείσδυσης της SCIENTA MARIS υπολογίζεται η κυματική διείσδυση εντός της Λιμενολεκάνης του Λιμένα Λαυρίου με την παρουσία των πλωτών κυματοθραυστών και προβλητών. Για το σκοπό αυτό οι μελετητές:

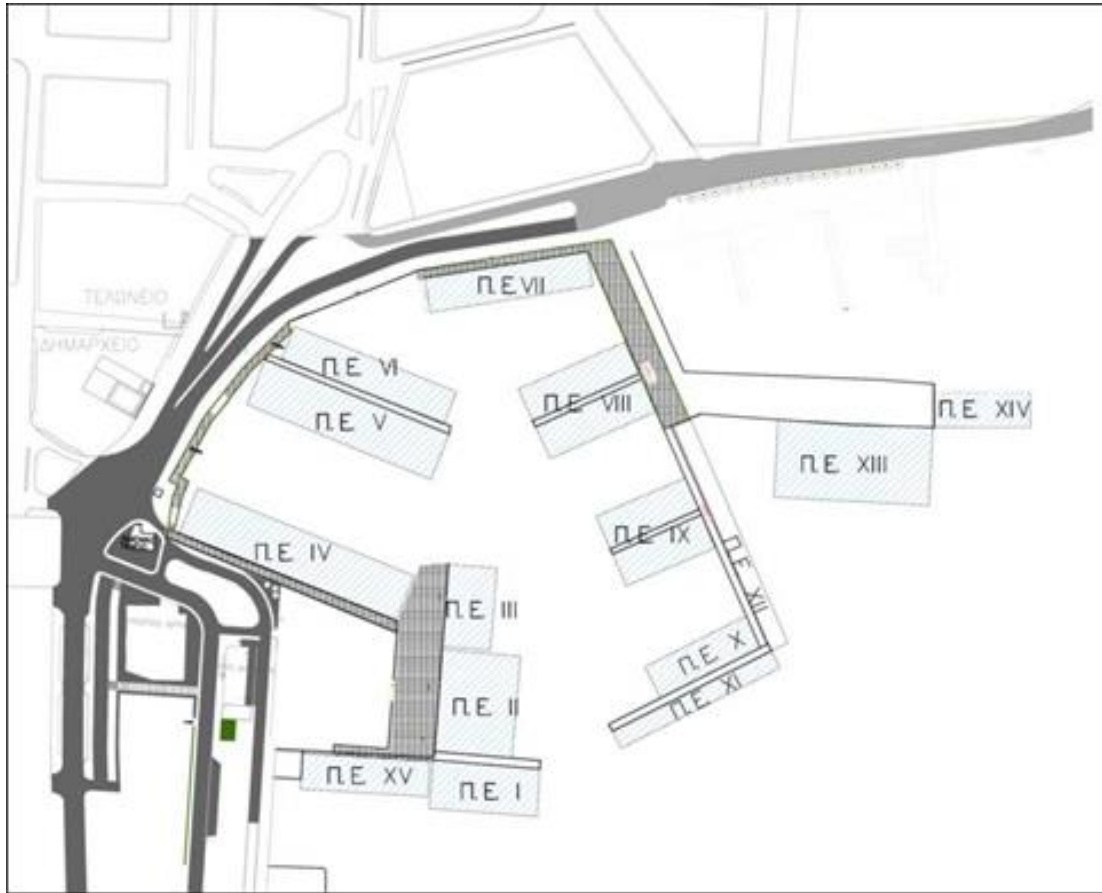
- ✓ προσδιορίζουν τους συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης των πλωτών κυματοθραυστών,
- ✓ καθορίζουν τα ανεκτά όρια ύψους προσπιπτόντων κυματισμών κατά PIANC (2016)
- ✓ επιλέγουν συνολικά 15 περιοχές ελέγχου (ΠΕ) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1,
- ✓ στην συνέχεια πραγματοποιούν αριθμητικές προσομοιώσεις, για τα ίδια κυματικά σενάρια με τα οποία ελέγχθηκε η λειτουργία της λιμενολεκάνης χωρίς την παρουσία πλωτών στοιχείων με το μαθηματικό μοντέλο κυματικής διάδοσης Maris-HMS Nonlinear Hyperbolic Mild-Slope και προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά (ύψος, περίοδο και διεύθυνση) του μέγιστου ύψους κυματισμού για κάθε ΠΕ
- ✓ ελέγχουν αν ικανοποιούνται τα κριτήρια λειτουργίας / διακοπής (ήτοι: Ανεκτό όριο ύψους κυματισμού στην ΠΕ > Μέγιστο ύψος κυματισμού που έχει προκύψει από τις αριθμητικές προσομοιώσεις) σε καθεμία από τις περιοχές ελέγχου
- ✓ υπολογίζουν τις ημέρες διακοπής λειτουργίας σε ποσοστό, ημέρες και ώρες ανά έτος.

Για την επιλογή των ορίων λειτουργίας οι μελετητές έκαναν τις **ακόλουθες ορθές αλλά συντηρητικές παραδοχές:**

- Η διεύθυνση των προσπιπτόντων κυματισμών σε σχέση με τα σκάφη θεωρείται πλευρική -Beam seas- για όλες τις ΠΕ. Η **παραδοχή αυτή είναι προς την μεριά της ασφαλείας** καθώς η θεώρηση πλευρικής πρόσπτωσης δίνει πιο χαμηλά ανεκτά όρια (PIANC, 2016) σε σχέση με την πρόσπτωση κυματισμών παράλληλα με τον άξονα του σκάφους (Head seas) ή την πλάγια πρόσπτωση (Oblique seas).
- Η περίοδος των προσπιπτόντων κυματισμών λαμβάνεται μικρότερη των 6 s για όλα τα σενάρια προσομοίωσης ακόμα και για αυτά με μεγαλύτερη περίοδο. Η παραδοχή αυτή επίσης είναι προς την μεριά της ασφαλείας καθώς **η θεώρηση περιόδων μεγαλύτερων των 6 s δίνει μεγαλύτερα ανεκτά όρια** (PIANC, 2016). Ειδικά για τις περιπτώσεις των σεναρίων κυματικής πρόσπτωσης με περίοδο μεγαλύτερη των 6 s προστίθεται ακόμα ένα κριτήριο όπως αναλύεται παρακάτω.
- Το ανεκτό όριο ύψους κυματισμού για μήκη σκαφών 18 m και 20 m επιλέγεται 0.20 m ενώ για μεγαλύτερα μήκη σκαφών, 40 m, επιλέγεται το όριο των 0.30 m. Για τα ενδιάμεσα μήκη

θεωρείται γραμμική αύξηση.

- Επιλέγεται περίοδος επαναφοράς ενός έτους.
- Το κυματικό κλίμα ταξινομείται ως μέτριο.



**Σχήμα 1.** Περιοχές Ελέγχου (ΠΕ) κυματικής διαταραχής (Πηγή: Μελέτη Κυματικής Διείδυσης SCIENTIA MARIS).

Σύμφωνα με όσα **ορθά αλλά από την πλευρά της ασφάλειας** έχουν υπολογιστεί στην Μελέτη Κυματικής Διείδυσης στην συνέχεια στον Πίνακα 3 συνοψίζονται τα ακόλουθα σε σχέση με το ποσοστό λειτουργίας για κάθε ΠΕ.

Από τον Πίνακα 3 παρατηρείται, όπως άλλωστε ήταν και αναμενόμενο, ότι τα μεγαλύτερα ετήσια ποσοστά (ή αντιστοίχως οι περισσότερες ημέρες στο έτος, π.χ. 20.6) όπου υπάρχει υπέρβαση των ανεκτών ορίων, εμφανίζονται αποκλειστικά στις τρεις, από τις συνολικά δεκαπέντε, περιοχές ελέγχου XII, XIII και XIV, καθώς είναι οι πλέον εκτεθειμένες στη συμβολή των προσπιπτόντων από την είσοδο του λιμένα και των ανακλώμενων στο υφιστάμενο κατακόρυφο μέτωπο του προσήνεμου του αλιευτικού. Για τις όλες τις υπόλοιπες περιοχές ελέγχου το ποσοστό υπέρβασης είναι κοντά στο 1% έως μέγιστο το 2.17%, το οποίο δεν συνεπάγεται ζημιές στα ελλιμενιζόμενα σκάφη.

**Πίνακας 3.** Σύνοψη κυματικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην Μελέτη Κυματικής Διείσδυσης της SCIENTIA MARIS (Πηγή: Μελέτη Κυματικής Διείσδυσης SCIENTIA MARIS)

Περιοχή Ελέγχου	Μήκος σκαφών αναψυχής που φιλοξενεί [m]	Ανεκτό όριο ύψους κύματος [m]	Συνολικό ποσοστό λειτουργίας σε ημέρες ανά έτος	Διακοπή λειτουργίας σε ημέρες ανά έτος
I	30	0.25	1.000%	3.6
II	40	0.30	2.174%	7.9
III	25	0.22	2.174%	7.9
IV	25	0.22	0.992%	3.6
V	25	0.22	1.000%	3.6
VI	18	0.20	1.009%	3.7
VII	18	0.20	0.992%	3.6
VIII	18	0.20	1.000%	3.6
IX	18	0.20	2.174%	7.9
X	18	0.20	2.174%	7.9
XI	30	0.25	2.174%	7.9
XII	30	0.25	4.490%	16.4
XIII	40	0.30	5.655%	20.6
XIV	18	0.20	5.655%	20.6
XV	18	0.20	1.000%	3.6

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τον ενδελεχή έλεγχο που έγινε: α) στην επιλογή των φυσικών μεταβλητών, β) στην μεθοδολογία υπολογισμού του κυματικού κλίματος, γ) στην επιλογή των κυματικών σεναρίων, δ) στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του φυσικού μοντέλου, ε) στην μεθοδολογία ορισμού ανεκτών ορίων για την ασφάλεια των ελλιμενιζόντων σκαφών, προκύπτει ότι η

“Μελέτη κυματικής διείσδυσης στην Λιμενολεκάνη Σκαφών Αναψυχής του Λιμένα Λαυρίου”, η οποία εκπονήθηκε από την Scientia Maris, έχει υπολογίσει **ορθά**:

- την αποτελεσματικότητα και την λειτουργικότητα των προτεινόμενων πλωτών κυματοθραυστών,
- την ασφάλεια ελλιμενισμού σκαφών αναψυχής
- το συνολικό ποσοστό % διακοπής λειτουργίας στο έτος καθώς και την διακοπή λειτουργίας σε μέρες και ώρες στο έτος

στο Λιμένα Λαυρίου.

Η εν λόγω προσέγγιση είναι **αρκετά συντηρητική και σε αρκετές περιπτώσεις και πιο αυστηρή** από αυτή που κατά την συνήθη πρακτική λαμβάνεται υπόψη από τους φορείς διαχείρισης των μαρινών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η επιλογή της διεύθυνσης των προσπιπτόντων κυματισμών σε σχέση με τον άξονα του σκάφους, όπου στην συγκεκριμένη μελέτη, όπως αναφέρεται και στην τεχνική της έκθεση, θεωρείται πλευρική (Beam seas) για όλες τις ΠΕ. Η παραδοχή αυτή είναι προς την μεριά της ασφαλείας καθώς η θεώρηση πλευρικής πρόσπτωσης δίνει πιο χαμηλά ανεκτά όρια σε σχέση με την πρόσπτωση κυματισμών παράλληλα με τον άξονα του σκάφους (Head seas) ή την πλάγια πρόσπτωση (Oblique seas). Σε κάθε περίπτωση κρίνεται ότι

**ο Οργανισμός Λιμένα Λαυρίου θα μπορούσε να προχωρήσει στην υλοποίηση των προτεινόμενων από το Γενικό Προγραμματικό Σχέδιο (Master Plan) του Λιμένα πλωτών κατασκευών στον χώρο ελλιμενισμού μικρών σκαφών. .**

Επιπρόσθετα, και λαμβάνοντας υπόψη α) το μικρό ενδεχόμενο ανάπτυξης ακραίων κυματικών συνθηκών στις ΠΕ XII, XII, και XIV, που μπορεί να δημιουργήσουν μην ανεκτές συνθήκες ελλιμενισμού με πολύ μικρή συχνότητα εμφάνισης όπως προκύπτει από την μελέτη Κυματικής Διείσδυσης, β) τις σύγχρονες μεθόδους πρόγνωσης σε πραγματικό χρόνο της κυματικής διαταραχής εντός λιμενολεκάνης (βλ. <http://accuwaves.eu/index.php/about-gr/>), γ) την δυνατότητα αύξησης της ασφάλειας της ναυσιπλοΐας και την βελτιστοποίηση της διαδικασίας επιλογής κατάλληλων θέσεων πρόσδεσης σκαφών, δ) την δυνατότητα ποιοτικής αναβάθμισης των λιμενικών υπηρεσιών και απόδοσης του Λιμένα Λαυρίου καθώς και ε) τις καλές πρακτικές διαχείρισης λιμένων σκαφών αναψυχής από την διεθνή αγορά συστήνονται τα ακόλουθα:

1. εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης των ωκεανογραφικών παραμέτρων (ανεμολογικός σταθμός, παλιρροιογράφος, μετρητές μεταβολής στάθμης θάλασσας, κ.λπ.)
2. εγκατάσταση συστήματος έγκαιρης πρόγνωσης της επίδρασης των θαλάσσιων συνθηκών στις διαδικασίες είσπλου, επιλογής θέσης, απόπλου σκαφών και
3. ανάπτυξη και λειτουργίας προγνωστικού εργαλείου υποστήριξης των σχετικών αποφάσεων από πλευράς λιμένα και πλοίου, μέσω εξιδεικευμένου λογισμικού το οποίο θα μπορεί να παρέχει αξιόπιστη εικόνα τριήμερης πρόγνωσης ανά 3 ώρες για τις εξής παραμέτρους:
  - ένταση/διεύθυνση ανέμου και ατμοσφαιρική πίεση στη στάθμη της θάλασσας
  - ένταση/διεύθυνση θαλασσιών ρευμάτων
  - μέση στάθμη θάλασσας
  - ύψος, περίοδος και κύρια διεύθυνση αποθάλασσας
  - χαρακτηριστικό ύψος, μέση περίοδος και κύρια διεύθυνση βραχέων ανεμογενών κυματισμών
  - χαρακτηριστικά στάσιμων κυμάτων

Η Διευθύντρια του  
Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων

Βασιλική Τσουκαλά  
Καθηγήτρια, ΕΜΠ  
Λιμενολόγος



## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- CEM, (2008). Coastal Engineering Manual. Coast. Eng. Res. Centre, US Army Corps Eng.
- Pena E., Ferreras J., and Sanchez-Tembleque F. Experimental study on wave transmission coefficient, mooring lines and module connector forces with different designs of floating breakwaters. *Ocean Engineering*, 38(10):1150-1160, 2011.
- PIANC (1995): "Criteria for Movements of Moored Ships in Harbors, a Practical Guide", Report of Working Group no. 24, Supplement to Bulletin No 88.
- PIANC (2016): "Guidelines for Marina Design", Report No 149/part II, Recreational Navigation Commission.
- Ruol P., Martinelli L., and Pezzutto P. Formula to predict transmission for pi-type floating breakwaters. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139(1):1-8, 2013a.
- Ruol P., Martinelli L., and Pezzutto P. Limits of the new transmission formula for pi-type floating breakwaters. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(33): 47, 2013b.
- Shore Protection Manual, (1984). 4th ed., 2 Vols., US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, US Government Printing Office, Washington, DC, Chapter 3, pp. 24-66.
- Smith, J.M. (1991). Wind-Wave Generation on Restricted Fetches, Miscellaneous Paper CERC-91-2, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Thoresen C. A. (2003). Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines. Thomas Telford, London

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

## ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΑΠΟ

### «ΟΔΗΓΟ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

#### ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ

#### «ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ»

### ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

#### ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΕΝΤΟΣ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗΣ

Η Μελέτη Κυματικής Διαταραχής Εντός Λιμενολεκάνης, λειτουργεί ως Υποστηρικτική Μελέτη μιας Κύριας Μελέτης είτε Προγραμματικού Σχεδίου (Master Plan) είτε μιας Μελέτης Λιμενικών Έργων.

Η βασική λειτουργία του λιμένα συνίσταται στην παροχή προστατευμένου αγκυροβολίου στα σκάφη και στη διευκόλυνση της γρήγορης και ασφαλούς φορτοεκφόρτωσης εμπορευμάτων και απο-επιβίβασης επιβατών.

Η Μελέτη Κυματικής Διαταραχής Εντός Λιμενολεκάνης αποσκοπεί:

- Στη βελτιστοποίηση των λιμενικών έργων (π.χ. μήκος και χωροθέτηση προσήνεμου και υπήνεμου κυματοθραύστη, διερεύνηση επίδρασης απορροφητικών κρηπιδωμάτων κ.α.), που προβλέπει κάθε εναλλακτική που προτείνεται στο πλαίσιο της Κύριας Μελέτης, για την εξασφάλιση της απαραίτητης ηρεμίας στη θαλάσσια επιφάνεια της λιμενολεκάνης.
- Στον υπολογισμό του ετήσιου ποσοστού λειτουργίας (και διακοπής λειτουργίας) όλου του λιμένα ή συγκεκριμένων θέσεων παραβολής.

- Στη συγκριτική αξιολόγηση των διάφορων εναλλακτικών που προτείνονται στο πλαίσιο της Κύριας Μελέτης από άποψη ηρεμίας της λιμενολεκάνης.

Τα αποτελέσματα μεταφέρονται στην Κύρια Μελέτη όπου εξετάζεται η απόδοση των έργων και από οικονομική σκοπιά.

Σημειώνεται ότι εφόσον πρόκειται για καθημερινές λειτουργικές ανάγκες του λιμένα η έρευνα των διαταραχών της λιμενολεκάνης προσανατολίζεται προς το επικρατούν κυματικό κλίμα της περιοχής παρά σε εξαιρετικά γεγονότα, με βάση τα οποία γίνεται ο σχεδιασμός των εξωτερικών έργων. Το ζητούμενο της Μελέτης Κυματικής Διαταραχής είναι ο προσδιορισμός του μέσου ετήσιου ποσοστού του χρόνου κατά το οποίο οι λιμενικές λειτουργίες δεν είναι δυνατό να επιτελεσθούν.

Κύριος παράγοντας, που οι εν λόγω λιμενικές λειτουργίες δεν είναι δυνατό να επιτελεσθούν, οδηγώντας στη διακοπή ή την μη ομαλή λειτουργία ενός λιμένα, ή ορισμένων θέσεων παραβολής, είναι οι ανεμογενείς κυματισμοί. Ως εκ τούτου, η Μελέτη Κυματικής Διαταραχής αφορά τη διερεύνηση με αριθμητική προσομοίωση της διάδοσης των ανεμογενών κυματισμών από τα βαθιά νερά εντός της λιμενολεκάνης, με στόχο τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών σε επιλεγμένες θέσεις παραβολής και τον καθορισμό του ετήσιου ποσοστού κατά το οποίο αυτές δεν είναι λειτουργικές λόγω αυξημένης διαταραχής. Πέραν των ανεμογενών κυματισμών, προτείνεται και η διερεύνηση της επίδρασης μακρών ταλαντώσεων (πιθανά ζητήματα συντονισμού που σχετίζονται με τη γεωμετρία της λιμενολεκάνης) σε συγκεκριμένες περιπτώσεις που κρίνει ο Μελετητής ότι αυτές συμβάλουν σημαντικά και συχνά στη διαταραχή της λιμενολεκάνης.

Σημειώνεται ότι σε περιπτώσεις κατασκευής νέων λιμενικών έργων ενός υφιστάμενου λιμένα θα πρέπει να μελετάται η διαταραχή που προκαλείται και στις υφιστάμενες θέσεις παραβολής πέραν των νέων θέσεων.

## Εισαγωγή

Δίνονται εισαγωγικά στοιχεία του Έργου.

### *Ιστορικό και Στοιχεία Ανάθεσης Μελέτης*

Ο Μελετητής θα παραθέτει πληροφορίες αναφορικά με:

- τον Κύριο του Έργου,
- την Αναθέτουσα Αρχή καθώς επίσης και τον Υπεύθυνο Συντονισμού από μέρους, της Αναθέτουσας Αρχής,
- το ιστορικό του Έργου καθώς επίσης και τα στοιχεία ανάθεσης.

### *Συνοπτική Περιγραφή Αντικειμένου και Στόχων Μελέτης*

Δίνεται συνοπτική περιγραφή του αντικειμένου της μελέτης κυματικής διαταραχής εντός της λιμενολεκάνης με αναφορά σε βασικά στοιχεία του στόχου και της σκοπιμότητας του Έργου, όπως διατυπώθηκαν από την Αναθέτουσα Αρχή.

### *Ομάδα Εργασίας*

Ο Υπεύθυνος Εργασίας/ Μελέτης παρουσιάζει την Ομάδα Εργασίας / Μελέτης, καταρτίζοντας ένα σαφές Οργανόγραμμα Έργου.

Εντός του Οργανογράμματος θα είναι καθορισμένες με σαφήνεια οι θέσεις των μελών της Ομάδας Εργασίας/ Μελέτης και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις, ανάλογα με το τεχνικό υπόβαθρο, την εξειδίκευση και τα προσόντα τους.

Ο Υπεύθυνος Εργασίας/ Μελέτης στο στάδιο αυτό, έχει καταστήσει κατανοητό και σαφή σε κάθε μέλος της Ομάδας Εργασίας/ Μελέτης αλλά και προς την Αναθέτουσα Αρχή το ρόλο αλλά και το αντικείμενο εργασίας που καλείται να φέρει εις πέρας το κάθε μέλος.

#### *Κωδικοποίηση Παραδοτέων και Ιστορικό Τροποποιήσεων*

Ο Μελετητής παρουσιάζει την κωδικοποίηση των παραδοτέων του, την οποία και οφείλει να ακολουθεί με συνέπεια καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης των υπηρεσιών.

Η ακολουθούμενη κωδικοποίηση είτε έχει καθοριστεί από την Αναθέτουσα Αρχή εντός των Όρων Εντολής είτε καθορίζεται από το Μελετητή στη φάση αυτή (απουσία του πρώτου).

Σε κάθε περίπτωση, η κωδική ονομασία κάθε παραδοτέου οφείλει να αποτυπώνει με ευκρίνεια, με λατινικούς κατά προτίμηση χαρακτήρες - εκτός αν προδιαγράφεται διαφορετικά εντός των Όρων Εντολής - τα ακόλουθα:

- το εκπονούμενο έργο
- το Μελετητή
- την κατηγορία μελέτης (λιμενική, γεωτεχνική, στατική, κτλ.)
- το είδος του εκάστοτε παραδοτέου (σχέδιο, έκθεση, υπολογισμοί, κτλ.)
- τον αύξοντα αριθμό του αντίστοιχου παραδοτέου
- την έκδοση / τον αριθμό αναθεωρήσεων - τροποποιήσεων

Γίνεται αναφορά στο ιστορικό των τροποποιήσεων του τεύχους με επεξήγηση των αλλαγών που πραγματοποιήθηκαν σε σχέση με το προηγούμενο τεύχος.

#### *Περιοχή Μελέτης και Περιγραφή Υφιστάμενης Κατάστασης*

Δίνονται συνοπτικά τα βασικά στοιχεία και τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και περιγράφεται η υφιστάμενη κατάσταση και τα υφιστάμενα λιμενικά έργα (σε περίπτωση που υπάρχουν).

#### *Γεωγραφική Θέση - Περιγραφή Περιοχής Μελέτης*

Αναφέρεται η γεωγραφική θέση της υπό μελέτη περιοχής και η σχετική της θέση στον Ελληνικό χώρο και γίνεται αναφορά στην Διοικητικής της υπαγωγή (π.χ. Περιφέρεια, Περιφερειακή Ενότητα και Δημοτική ή Τοπική Κοινότητα) και δίνονται οι κεντροβαρικές συντεταγμένες της περιοχής μελέτης στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα 1984 (WGS 84) ή/και στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ 87).

Περιγράφεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης. Επιπλέον, δίνεται περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης με αναφορά σε γενικά στοιχεία σχετικά με τη μορφή και την κατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος.

Η γεωγραφική θέση και η έκταση της περιοχής μελέτης καθώς και λοιπές σημαντικές πληροφορίες απεικονίζονται σε κατάλληλα σχήματα / εικόνες.

Επιπρόσθετα, δίνονται στοιχεία, πληροφορίες και φωτογραφίες που έχουν συλλεχθεί κατά την επί τόπου επίσκεψη μελών της ομάδας του Μελετητή.

#### *Υφιστάμενη Κατάσταση – Υφιστάμενα Τεχνικά Έργα*

Καταγράφονται συνοπτικά οι υφιστάμενες τεχνικές υποδομές της περιοχής μελέτης που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με το αντικείμενο της μελέτης κυματικής διαταραχής. Συνοδεύονται από αντίστοιχες εικόνες και σχήματα γενικών διατάξεων που απεικονίζεται δορυφορικά η περιοχή μελέτης με τα υφιστάμενα έργα να διακρίνονται εμφανώς.



## Συλλογή και Αξιολόγηση Δεδομένων Φυσικού Περιβάλλοντος

Πραγματοποιείται συλλογή και αξιολόγηση των απαραίτητων δεδομένων του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης. Τα εν λόγω δεδομένα περιλαμβάνουν στοιχεία, έρευνες ή σχετικές μελέτες που σχετίζονται με το αντικείμενο του Έργου.

### *Γεωμορφολογικά Στοιχεία*

Συλλέγονται διαθέσιμα τοπογραφικά και βυθομετρικά διαγράμματα και χάρτες της περιοχής μελέτης προερχόμενα είτε από τυχόν παλαιότερες μελέτες είτε από άλλες αξιόπιστες πηγές (π.χ. χάρτες Υδρογραφικής Υπηρεσίας), τα οποία θα λειτουργήσουν συμπληρωματικά της πρόσφατης τοπογραφικής και βυθομετρικής αποτύπωσης (όπως παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 1.4) προσφέροντας πρόσθετη πληροφορία κυρίως για τα βαθιά νερά.

### *Ανεμολογικές Συνθήκες*

Συγκεντρώνονται τα ανεμολογικά δεδομένα προκειμένου να προσδιοριστούν τα μέσα ετήσια ανεμολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Τα δεδομένα θα πρέπει να καλύπτουν όσο το δυνατόν ευρύτερη και πιο πρόσφατη χρονική περίοδο και σίγουρα ίση ή μεγαλύτερη των 10 ετών. Τα εν λόγω δεδομένα αναζητούνται είτε από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) ή άλλους Ευρωπαϊκούς και Διεθνείς Οργανισμούς. Πλέον αυτών των δεδομένων, δύναται να αναζητηθούν οι πλήρεις χρονοσειρές καταγραφής ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου των τελευταίων δεκαετιών, που μπορούν να προκύψουν είτε από την ΕΜΥ είτε από διεθνείς βάσεις δεδομένων.

Η επιλογή της θέσης των μετεωρολογικών σταθμών, πέραν των άμεσα γειτνιαζόντων, θα πρέπει να γίνεται έχοντας υπόψη την περιοχή γένεσης των κυματισμών. Επιλέγεται η αντιπροσωπευτικότερη τοποθεσία του σταθμού για ανέμους που δύναται να γεννήσουν κυματισμούς από διευθύνσεις όπου η περιοχή μελέτης είναι εκτεθειμένη.

### *Κυματικό Κλίμα*

Αναζητούνται δεδομένα κυματικού κλίματος όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην ανοιχτή θάλασσα (βαθιά νερά) της περιοχής μελέτης. Τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να περιλαμβάνουν τις εξής παραμέτρους: ύψος, περίοδο, διεύθυνση διάδοσης και μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης των κυματισμών. Οι πηγές των δεδομένων αυτών μπορούν ενδεικτικά να είναι οι εξής: α) βάσεις δεδομένων μετρήσεων πεδίου (wave field measurements), β) βάσεις δεδομένων αποτελεσμάτων πρόβλεψης με βάση την προσομοίωση ιστορικών δεδομένων ανέμων (wave hindcasting), γ) εκτίμηση αυτών με εφαρμογή κατάλληλων μαθηματικών εξισώσεων της θαλάσσιας υδραυλικής που λαμβάνουν υπόψη το ανάπτυγμα πελάγους και τα χαρακτηριστικά του ανέμου δ) βιβλιογραφία ή προηγούμενες μελέτες. Τα κυματικά δεδομένα θα πρέπει να καλύπτουν όσο το δυνατόν ευρύτερη και πιο πρόσφατη χρονική περίοδο και σίγουρα ίση ή μεγαλύτερη των 10 ετών για υπολογισμό του μέσου ετήσιου κυματικού κλίματος. Σε περίπτωση όπου υπάρχουν κυματικά δεδομένα εντός ενδιάμεσων ή ρηχών νερών, εγγύτερα της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης, θα λαμβάνονται επίσης υπόψη.

### *Στοιχεία Θαλάσσιας Στάθμης*

Αναζητούνται στατιστικά στοιχεία της Στάθμης Θάλασσας και της παλίρροιας. Οι πηγές των δεδομένων αυτών μπορούν να είναι οι εξής: α) δίκτυο παλιρροιομέτρων και παλιρροιογράφων της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού β) βιβλιογραφία ή προηγούμενες μελέτες. Τα δεδομένα θα πρέπει να καλύπτουν όσο το δυνατόν ευρύτερη και πιο πρόσφατη χρονική περίοδο. Τα εν λόγω στοιχεία λαμβάνονται από τους πλησιέστερους σταθμούς στην περιοχή μελέτης.

### Κλιματική Διακύμανση και Αλλαγή

Λαμβάνονται υπόψη δεδομένα και προβλέψεις για την κλιματική διακύμανση και αλλαγή τις ερχόμενες δεκαετίες, από έγκυρες βιβλιογραφικές αναφορές ή από Ευρωπαϊκές και Διεθνείς βάσεις δεδομένων. Τα στοιχεία που συλλέγονται αναφέρονται ενδεικτικά στις παραμέτρους: α) ανεμολογικής δίαιτας (αλλαγή μέσης διεύθυνσης και έντασης ανέμων), β) κυματικού κλίματος (αλλαγή μέσης διεύθυνσης και μέσου και μέγιστου ύψους κύματος), γ) Στάθμης Θάλασσας (αλλαγή Μέσης και Μέγιστης Στάθμης) και δ) της Μετεωρολογικής Παλίρροιας (αλλαγή έντασης και συχνότητας εμφάνισης).

### Τοπογραφική και Βυθομετρική Αποτύπωση

Δίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της πρόσφατης τοπογραφικής και βυθομετρική αποτύπωσης συνοδευόμενα από αντίστοιχο σχέδιο όπου απεικονίζονται τα υψομετρικά και βυθομετρικά στοιχεία (χερσαία υψόμετρα, θαλάσσια βάθη, ισοΰψεις και ισοβαθείς καμπύλες) της περιοχής ενδιαφέροντος. Σε περίπτωση που απαιτείται η περιοχή αριθμητικής προσομοίωσης να είναι μεγαλύτερη από την έκταση της βυθομετρικής αποτύπωσης τότε τα υπόλοιπα βυθομετρικά δεδομένα συμπληρώνονται από τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί στο υποκεφάλαιο 0

### Μεθοδολογία Εκπόνησης Αριθμητικών Προσομοιώσεων και Περιγραφή Αριθμητικών Μοντέλων

Στο συγκεκριμένο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που υιοθετείται για την αριθμητική προσομοίωση της κυματικής διαταραχής και δίνεται περιγραφή του αριθμητικού μοντέλου που θα εφαρμοστεί.

Σημειώνεται ότι για την προσομοίωση του κυματικού κλίματος απαιτείται κατάλληλο αριθμητικό μοντέλο ικανό να προσομοιώνει τη χωροχρονική διάδοση των κυματισμών σε λιμενολεκάνες. Το κυματικό μοντέλο πρέπει να βασίζεται σε αριθμητική επίλυση κοινώς αποδεκτών, με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία, μαθηματικών εξισώσεων και να συνοδεύεται από δημοσιεύσεις σε έγκριτα διεθνή περιοδικά ή διεθνή συνέδρια με κρίση στο πλήρες κείμενο.

### Μεθοδολογία Εκπόνησης Αριθμητικών Προσομοιώσεων

Η μεθοδολογία εκπόνησης των αριθμητικών προσομοιώσεων βασίζεται σε δύο στάδια όπου εξετάζεται η μηδενική λύση (υφιστάμενη κατάσταση) και οι εναλλακτικές διατάξεις εσωτερικών και εξωτερικών λιμενικών έργων που προβλέπονται από την Κύρια Μελέτη του Προγραμματικού Σχεδίου (Master Plan) ή των Λιμενικών Έργων.

- Στο πρώτο στάδιο, έχοντας ως βάση τα δεδομένα φυσικού περιβάλλοντος (Υποκεφάλαιο 1.1.3) και την τοπογραφική – βυθομετρική αποτύπωση (Υποκεφάλαιο 1.1.4), γίνεται προσομοίωση της κυματικής διαταραχής για την υφιστάμενη κατάσταση χωρίς την παρουσία των προτεινόμενων έργων. Προσδιορίζεται το κυματικό κλίμα στα ανοιχτά και προσομοιώνεται η διάδοση των κυματισμών εντός της λιμενολεκάνης. Η προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης αποσκοπεί και στη βαθμονόμηση και επαλήθευση του κυματικού μοντέλου είτε από μετρήσεις πεδίου (εφόσον υπάρχουν) είτε από παρατηρήσεις. Συνίσταται η καταγραφή παρατηρήσεων από τακτικούς χρήστες του λιμένα (λιμεναρχείο, αλιείς, καπετάνιους κ.α.). Προσομοιώνονται όλες οι κυματικές καταστάσεις που δύναται να

προκαλέσουν αξιόλογη κυματική διαταραχή εντός της λιμενολεκάνης και υπολογίζεται το ετήσιο ποσοστό μη λειτουργίας των επιλεγμένων θέσεων παραβολής.

Σημειώνεται ότι σε περίπτωση που η Κύρια Μελέτη (και κατ' επέκταση και η παρούσα υποστηρικτική Μελέτη Κυματικής Διαταραχής) δεν αντιμετωπίζει την επέκταση υφιστάμενων λιμενικών υποδομών αλλά την κατασκευή νέων έργων σε μια περιοχή όπου δεν υφίστανται λιμενικές υποδομές, προτείνεται η παράλειψη της αριθμητικής προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης.

- Στο δεύτερο στάδιο εκπονείται νέος κύκλος αριθμητικών προσομοιώσεων για τις εναλλακτικές διατάξεις έργων με στόχο τη διερεύνηση της συμπεριφοράς αυτών στην εξασφάλιση της απαραίτητης, με βάση τα ανεκτά όρια των εξεταζόμενων πλοίων σχεδιασμού, ηρεμίας στις εκάστοτε θέσεις παραβολής και την επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής.

Η προσομοίωση της κυματικής διαταραχής περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Καθορισμός σεναρίων κυματικών χαρακτηριστικών (ύψος, περίοδος, διεύθυνση και συχνότητα εμφάνισης) προς προσομοίωση έξω από το λιμένα.
2. Κατασκευή πλέγματος ή καννάβου βαθυμετρίας που αντιπροσωπεύει πιστά τη βαθυμετρία της περιοχής μελέτης και τα στερεά όρια (λιμενικά έργα και ακτογραμμή) και επιλογή των περιοχών (θέσεις παραβολής) που θα γίνει ο έλεγχος υπέρβασης ή μη των ορίων.
3. Προσομοίωση της κυματικής διείδυσης εντός της λιμενολεκάνης για κάθε σενάριο προσπίπτοντος κυματισμού και υπολογισμός των υψών κύματος στις θέσεις παραβολής.
4. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης (ύψη κυματισμών), για κάθε σενάριο, με προκαθορισμένα ανεκτά όρια κίνησης των σκαφών στις επιλεγμένες θέσεις παραβολής. Τα ανεκτά όρια κίνησης ορίζονται σύμφωνα με το τρόπο φορτοεκφόρτωσης και το είδος των μηχανικών μέσων που χρησιμοποιούνται για κάθε τύπο και μέγεθος του πλοίου σχεδιασμού (π.χ. εμπορικό ή επιβατηγό) όπως δίνονται από διεθνείς και έγκυρες βιβλιογραφικές πηγές.
5. Υπολογίζεται το άθροισμα των μέσων ετήσιων συχνοτήτων εμφάνισης που αντιστοιχούν στους κυματισμούς εκείνους που προκαλούν διαταραχή στις επιλεγμένες θέσεις παραβολής μεγαλύτερη της ανεκτής, αποδίδοντας τελικά το μέσο ετήσιο ποσοστό μη λειτουργίας.

Τα βήματα 2 έως 5 επαναλαμβάνονται για κάθε εναλλακτική διάταξη έργων.

#### *Περιγραφή Μοντέλου Κυματικής Διάδοσης*

Δίνεται περιγραφή του αριθμητικού μοντέλου που επιλέγει ο Μελετητής για την προσομοίωση της διάδοσης των κυματισμών. Συγκεκριμένα περιγράφονται τα ακόλουθα:

**Περιοχές εφαρμογής και φαινόμενα προσομοίωσης.** Το αριθμητικό μοντέλο θα πρέπει να είναι κατάλληλο για την προσομοίωση κατ' ελάχιστο των ακόλουθων φυσικών φαινομένων:

- Περίθλαση
- Ανάκλαση

- Ρήχωση
- Διάθλαση
- Θραύση λόγω ρήχωσης
- Διάχυση ενέργειας λόγω τριβής πυθμένα

Προτείνεται επίσης η προσομοίωση της κυματικής υπερπήδησης των εξωτερικών λιμενικών έργων ή/και της διάθλασης κύματος λόγω ρεύματος σε συγκεκριμένες περιπτώσεις που κρίνει ο Μελετητής ότι αυτά συμβάλουν σημαντικά και συχνά μέσα στο έτος στη διαταραχή της λιμενολεκάνης.

Στην περίπτωση όπου το αριθμητικό μοντέλο κυματικής διάδοσης αξιοποιείται για να προσομοιώσει τη γένεση και διάδοση των κυματισμών λόγω δράσης του ανέμου, πρόσθετα των παραπάνω φαινομένων θα πρέπει να είναι κατάλληλο για την προσομοίωση κατ' ελάχιστο και των ακόλουθων φυσικών φαινομένων:

- Γένεση και ανάπτυξη κυματισμών λόγω δράσης του ανέμου
- Θραύση στα βαθιά

**Μαθηματικές εξισώσεις και αριθμητικό σχήμα επίλυσης.** Δίνονται οι εξισώσεις που διέπουν το αριθμητικό μοντέλο περιγράφοντας τις βασικές μεταβλητές και παραμέτρους. Επίσης δίνεται περιγραφή του αριθμητικού σχήματος επίλυσης, μέθοδος χωρικής και χρονικής διακριτοποίησης, περιγραφή οριακών συνθηκών (π.χ. γένεση κυματισμών στο εσωτερικό του πεδίου, απόσβεση ενέργειας εξερχόμενης του αριθμητικού πεδίου κ.α.) και επιβεβαίωση αριθμητικής σύγκλισης.

**Δεδομένα εισόδου και εξόδου.** Περιγράφονται τα δεδομένα εισόδου που απαιτεί το μοντέλο για να εφαρμοστεί και τα δεδομένα εξόδου που μπορεί να προσφέρει.

#### Θαλάσσιες και Ανεμολογικές Συνθήκες προς Αριθμητική Προσομοίωση

Παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου που εισάγονται στο αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης της κυματικής διαταραχής όπως επιλέγονται από τον Μελετητή με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν και σχετίζονται με τις κατηγορίες:

- κυματικού κλίματος (ύψος, περίοδος και διεύθυνση),
- στάθμης θάλασσας (π.χ. ΜΣΘ, ΜΠ ή άλλη) και
- ανεμολογικές συνθήκες (ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου)

Σε περίπτωση που κρίνεται απαραίτητο λαμβάνεται επιπλέον υπόψη η εξέλιξη των παραπάνω παραμέτρων τις επόμενες δεκαετίες λόγω κλιματικής διακύμανσης και αλλαγής.

Στα ακόλουθα Υποκεφάλαια τεκμηριώνεται η επιλογή των συγκεκριμένων δεδομένων από κάθε κατηγορία και στο τέλος του Κεφαλαίου δίνεται συγκεντρωτικός πίνακας που παρουσιάζει τα επιλεγθέντα προς προσομοίωση σενάρια.

#### Δεδομένα Κυματικού Κλίματος

Προσδιορίζονται τα κυματικά χαρακτηριστικά στην ανοιχτή θάλασσα (βαθιά νερά) της περιοχής μελέτης καθώς και οι μέσες ετήσιες συχνότητες εμφάνισης αυτών. Σε περίπτωση που η συλλογή

σχετικών στοιχείων (όπως παρουσιάζεται στο Υποκεφάλαιο 0) δεν προσφέρει με αξιοπιστία το μέσο ετήσιο κυματικό κλίμα, για μια διάρκεια ίση ή μεγαλύτερη των τελευταίων 10 ετών, δύναται να

(α) εκπονηθούν αριθμητικές προσομοιώσεις, αξιοποιώντας αριθμητικά μοντέλα ικανά να προσομοιώσουν τη γένεση και διάδοση των κυματισμών (π.χ. κυματικά φασματικά μοντέλα),

ή

(β) να γίνει εκτίμηση με εφαρμογή κατάλληλων μαθηματικών εξισώσεων της θαλάσσιας υδραυλικής που λαμβάνουν υπόψη το ανάπτυσμα πελάγους και τα χαρακτηριστικά του ανέμου, δηλαδή ταχύτητα, διεύθυνση και διάρκεια πνοής.

Πιο συγκεκριμένα, ο καθορισμός των κυματικών σεναρίων προς αριθμητική προσομοίωση (ύψος, περίοδος, διεύθυνση και συχνότητα εμφάνισης) δύναται να πραγματοποιείται ως εξής: α) σε περίπτωση που το κυματικό κλίμα στην ανοιχτή θάλασσα προκύπτει από αξιόπιστες βάσεις κυματικών δεδομένων προτείνεται η κατηγοριοποίηση σε ομάδες υψών κύματος ανά 0.5 m για κάθε διεύθυνση ανέμου, β) σε περίπτωση που το κυματικό κλίμα στην ανοιχτή θάλασσα έχει προκύψει από ανεμολογικά δεδομένα προτείνεται η κατηγοριοποίηση των υψών κύματος ανά ένταση ανέμου (Bf) για κάθε διεύθυνση ανέμου.

Να σημειωθεί ότι σε περιοχές με πολύπλοκη γεωμορφολογία (όπου π.χ. ο λιμένας βρίσκεται στο μυχό ενός κόλπου) προτείνεται να εφαρμόζεται κατάλληλο αριθμητικό μοντέλο (π.χ. φασματικό) προσομοίωσης της κυματικής ανάπτυξης και διάδοσης για τη μεταφορά των χαρακτηριστικών του κυματικού κλίματος από την ανοιχτή θάλασσα (σε απόσταση από τα στερεά όρια της ευρύτερης περιοχής μελέτης) μέχρι πλησίον της εισόδου του λιμένα.

#### *Δεδομένα Στάθμης Θάλασσας*

Σε περίπτωση που το εύρος μεταβολής της Στάθμης Θάλασσας (π.χ. λόγω παλίρροιας) κρίνεται από τον Μελετητή ότι επηρεάζει σημαντικά τις συνθήκες εντός της λιμενολεκάνης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να αποτελεί δεδομένο εισόδου στις αριθμητικές προσομοιώσεις σύμφωνα με τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί στο Υποκεφάλαιο 0.

#### *Ανεμολογικό Κλίμα*

Σε περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητο από τον Μελετητή δίνονται ως δεδομένα εισόδου η ταχύτητα και η διεύθυνση ανέμου.

#### *Σενάρια προς Προσομοίωση*

Δίνεται συγκεντρωτικός πίνακας που παρουσιάζει τα επιλεχθέντα σενάρια προς προσομοίωση όπου αναγράφονται κατ' ελάχιστον το ύψος, η περίοδος, η διεύθυνση διάδοσης (γωνία ως προς το βορρά) και η μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης των κυματισμών και η/οι στάθμη/ες θάλασσας.

Διερεύνηση Κυματικής Διαταραχής Υφιστάμενης Κατάστασης με Αριθμητική Προσομοίωση  
Πραγματοποιείται αριθμητική προσομοίωση της κυματικής διαταραχής της υφιστάμενης κατάστασης (Do Nothing) παρουσιάζοντας και σχολιάζοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Σε περίπτωση που η Κύρια Μελέτη (και κατ' επέκταση και η παρούσα υποστηρικτική Μελέτη Κυματικής Διαταραχής) δεν αντιμετωπίζει την επέκταση υφιστάμενων λιμενικών υποδομών αλλά την κατασκευή νέων έργων σε μια περιοχή όπου δεν υφίστανται λιμενικές υποδομές, προτείνεται η παράλειψη της αριθμητικής προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης και του παρόντος Κεφαλαίου.



### *Δεδομένα Εισόδου*

Πέραν των θαλάσσιων και ανεμολογικών (εάν απαιτείται) συνθηκών που δίνονται ως δεδομένα εισόδου στο κυματικό μοντέλο, παρουσιάζονται εδώ και στοιχεία της μορφολογίας της περιοχής προσομοίωσης που επίσης δίνονται ως δεδομένα εισόδου.

Πιο συγκεκριμένα, δημιουργείται βυθομετρικός κάρναβος ή πλέγμα που αναπαριστά την περιοχή μελέτης σύμφωνα με τα δεδομένα της τοπογραφικής και βυθομετρικής αποτύπωσης (Υποκεφάλαιο 1.1.4) τα οποία εμπλουτίζονται (εφόσον απαιτείται) με τα δεδομένα του Υποκεφαλαίου 0. Το χωρικό βήμα επιλέγεται μικρό ώστε να υπολογιστούν τα αποτελέσματα με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια χωρίς να αυξάνεται σημαντικά ο υπολογιστικός χρόνος αλλά και τα αποτελέσματα των αριθμητικών προσομοιώσεων να είναι πρακτικά ανεξάρτητα σε περαιτέρω πύκνωση του αριθμητικού πλέγματος.

Επίσης παρουσιάζονται δεδομένα σχετικά με την τραχύτητα του πυθμένα και τους αντίστοιχους συντελεστές τριβής και δεδομένα σχετικά με συντελεστές ανάκλασης (ανάλογα το είδος του μετώπου, π.χ. κατακόρυφο μέτωπο, έργο με πρηνή από φυσικούς ή τεχνητούς ογκόλιθους, ακτή κτλ.) που αποτελούν δεδομένα εισόδου των αριθμητικών προσομοιώσεων.

### *Αποτελέσματα Προσομοίωσης Κυματικής Διαταραχής*

Για καθένα από τα εξεταζόμενα κυματικά σενάρια που έχουν επιλεγεί, πραγματοποιείται αριθμητική προσομοίωση της διάδοσης των κυματισμών από τα βαθιά νερά έως τις θέσεις παραβολής και προσδιορίζονται τα ύψη κύματος.

Δίνεται πίνακας όπου αναφέρεται το ύψος, η διεύθυνση και η συχνότητα εμφάνισης κάθε σεναρίου (προσπίπτουσας κυματικής συνθήκης) και ταυτόχρονα το αντίστοιχο ύψος που προέκυψε από την προσομοίωση σε κάθε εξεταζόμενη θέση παραβολής.

Δίνεται το συνολικό ετήσιο ποσοστό λειτουργίας (ή διακοπής) της κάθε εξεταζόμενης θέσης παραβολής.

Δίνεται αναλυτικός σχολιασμός των αποτελεσμάτων του κυματικού μοντέλου και συγκρίνονται τα ύψη των κυμάτων που προκύπτουν από τις αριθμητικές προσομοιώσεις με τα επιλεγμένα ανεκτά όρια σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις παραβολής.

### *Περιγραφή Εναλλακτικών Διατάξεων*

Δίνεται σύντομη περιγραφή των προτεινόμενων έργων όπως προβλέπονται για κάθε εναλλακτική διάταξη που εξετάζει η Κύρια Μελέτη (Προγραμματικού Σχεδίου Λιμένα (Master Plan) ή Μελέτη Λιμενικών Έργων), όπου παρουσιάζονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά των έργων που είναι απαραίτητα για τις αριθμητικές προσομοιώσεις (π.χ. μήκη και πλάτη στέψης κυματοθραυστών, κλίσεις πρηνών, βάθος στον πόδα των έργων κ.α.). Κάθε εναλλακτική συνοδεύεται από σχέδιο διάταξης των προτεινόμενων έργων και σχέδια τυπικών διατομών σε προκαταρκτικό επίπεδο.

### *Διερεύνηση Κυματικής Διαταραχής Εναλλακτικών Διατάξεων με Αριθμητική Προσομοίωση*

Πραγματοποιείται αριθμητική προσομοίωση της κυματικής διαταραχής της κάθε εναλλακτικής διάταξης με στόχο τη διερεύνηση της συμπεριφοράς αυτών ως προς την εξασφάλιση της απαραίτητης, με βάση τα ανεκτά όρια, κυματικής ηρεμίας στις εκάστοτε θέσεις παραβολής των πλοίων και την μετέπειτα επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής ώστε να εξασφαλίζεται, κατά το δυνατόν, η λειτουργία του λιμένα τις περισσότερες ημέρες του έτους.

### *Δεδομένα Εισόδου*

Πέραν των θαλάσσιων και ανεμολογικών συνθηκών που δίνονται ως δεδομένα εισόδου στο κυματικό μοντέλο, παρουσιάζονται εδώ στοιχεία μορφολογίας (τοπογραφικά – βυθομετρικά στοιχεία και προτεινόμενες διατάξεις έργων) και δεδομένα σχετικά με την τραχύτητα του πυθμένα και τους αντίστοιχους συντελεστές τριβής και δεδομένα σχετικά με τους συντελεστές ανάκλασης κατ' αντιστοιχία με το Υποκεφάλαιο 0.

### *Αποτελέσματα Προσομοίωσης Κυματικής Διαταραχής*

Για καθένα από τα εξεταζόμενα κυματικά σενάρια που έχουν επιλεγεί, πραγματοποιείται αριθμητική προσομοίωση της διάδοσης των κυματισμών από τα βαθιά νερά έως τις θέσεις παραβολής και προσδιορίζονται τα ύψη κύματος.

Δίνεται το ετήσιο ποσοστό λειτουργίας (ή διακοπής) της κάθε θέσης παραβολής για κάθε εναλλακτική.

Δίνεται αναλυτικός σχολιασμός των αποτελεσμάτων του κυματικού μοντέλου και συγκρίνονται τα ύψη των κυμάτων που προκύπτουν από τις αριθμητικές προσομοιώσεις με τα επιλεγμένα ανεκτά όρια σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις παραβολής κατ' αντιστοιχία με το Υποκεφάλαιο 0.

Δίνεται πίνακας όπου αναφέρεται το ύψος, η διεύθυνση και η συχνότητα εμφάνισης κάθε σεναρίου (προσπίπτουσας κυματικής συνθήκης) και ταυτόχρονα το αντίστοιχο ύψος που προέκυψε από την προσομοίωση σε κάθε εξεταζόμενη θέση παραβολής.

Συγκρίνονται τα αποτελέσματα των εναλλακτικών μεταξύ τους και με την υφιστάμενη κατάσταση.

Δίνεται συγκεντρωτικός πίνακας που παρουσιάζει το ετήσιο ποσοστό λειτουργίας (ή διακοπής) ανά εναλλακτική διάταξη.

### *Συμπεράσματα – Βέλτιστη Διάταξη*

Δίνονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τη Μελέτη Κυματικής Διαταραχής για την κάθε εναλλακτική διάταξη, συμπεριλαμβανομένης και της υφιστάμενης κατάστασης. Αναφέρεται η αποδοτικότερη διάταξη που εξασφαλίζει το μεγαλύτερο ποσοστό ηρεμίας στο έτος. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της παρούσας Μελέτης Κυματικής Διαταραχής τροφοδοτούν την Κύρια Μελέτη, στο πλαίσιο της οποίας επιλέγεται τελικώς η βέλτιστη διάταξη, λαμβάνοντας υπόψη και την οικονομική σκοπιά.

### *Βιβλιογραφικές Αναφορές*

Δίνεται αλφαβητικά η λίστα με τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν και εμπεριέχονται στο παρόν τεύχος και περιλαμβάνουν κατ' ελάχιστον τους συγγραφείς, τον τίτλο της αναφοράς, τη χρονολογία και το βιβλίο/περιοδικό/συνέδριο που αυτές δημοσιεύθηκαν ώστε να επιτρέπεται στον αναγνώστη να τις αναζητήσει.

### *Παραρτήματα*

#### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αριθμητικών προσομοιώσεων του κυματικού μοντέλου σε κατάλληλα σχήματα όπου θα περιλαμβάνουν κατ' ελάχιστον α) το όνομα του αριθμητικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε, β) τον αριθμό του σεναρίου, της εναλλακτικής διάταξης και τα

δεδομένα εισόδου (π.χ. ύψος κύματος, περίοδος και διεύθυνση κυματισμών) και γ) έγχρωμες εικόνες ισοϋψών με κατάλληλη διαβάθμιση των τιμών της απεικονιζόμενης μεταβλητής (πχ. ύψη κύματος).





# LHW-NTUA