



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Λιμενικών Έργων

**ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΛΙΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ-ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ
ΛΙΜΕΝΑ ΕΥΔΗΛΟΥ ΙΚΑΡΙΑΣ**

**ADAPTING PORTS TO CLIMATE CHANGE-CASE STUDY: EVDILOS PORT, IKARIA,
GREECE**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ολυμπία-Μαρία Σκούρτη

Επιβλέπουσα: Βασιλική Τσουκαλά, Πολιτικός Μηχανικός, Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2019

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ολυμπία-Μαρία Σκούρτη

Επιβλέπουσα: Βασιλική Τσουκαλά, Πολιτικός Μηχανικός, Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2019

Ολυμπία-Μαρία Α. Σκούρτη

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Ολυμπία-Μαρία Α. Σκούρτη, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της συγγραφέως. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Olympia-Maria Skourti, 2019

All rights reserved.

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Ολυμπία-Μαρία Σκούρτη (2019)

Μέθοδοι Προσαρμογής Λιμένων στην Κλιματική Αλλαγή-Εφαρμογή στο Λιμένα Ευδήλου
Ικαρίας

Διπλωματική Εργασία

Εργαστήριο Λιμενικών Έργων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών
Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Olympia-Maria Skourti (2019)

Adapting Ports to Climate Change-Case Study: Evdilos Port, Icaria, Greece

Diploma Thesis

Laboratory of Harbor Works, Department of Water Resources and Environmental Engineering,
School of Civil Engineering, National Technical University of Athens

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την κ. Βασιλική Τσουκαλά, την οποία θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για τη βοήθεια και την καθοδήγησή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλα Μαρτζίκο για τη βοήθεια που μου πρόσφερε στο περιβάλλον της γλώσσας R, καθώς και το συμφοιτητή μου Μανόλη Παπαδάκη, για τη βοήθειά του στην εξοικείωσή μου με το πρόγραμμα Mike Zero.

Ευχαριστίες οφείλω και στην οικογένειά μου, για την υλική και ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχε απλόχερα καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, και η οποία αποτέλεσε τη βάση της προσπάθειας αυτών των χρόνων.



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μέθοδοι Προσαρμογής Λιμένων στην Κλιματική Αλλαγή-Εφαρμογή στο Λιμένα Ευδήλου
Ικαρίας
Ολυμπία-Μαρία Σκούρτη**

Επιβλέπουσα: Βασιλική Τσουκαλά, Πολιτικός Μηχανικός, Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την αύξηση της θερμοκρασίας, η τήξη των πάγων και η θερμική διαστολή της ωκεάνιας μάζας οδηγούν σε αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας με ρυθμό ολοένα αυξανόμενο. Η αύξηση αυτή, σε συνδυασμό με την εμφάνιση εντονότερης μετεωρολογικής παλίρροιας και υψηλότερων κυμάτων κατά τα ακραία καιρικά γεγονότα, δημιουργεί την ανάγκη προσαρμογής των λιμενικών έργων στην αλλαγή του κλίματος.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι οι μέθοδοι προσαρμογής που μπορούν να εφαρμοστούν. Υπάρχουν δραστικότερα μέτρα, όπως είναι η αναβάθμιση των κυματοθραυστών και η τοποθέτηση φραγμάτων για την προστασία του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων που βρίσκονται κοντά στο νερό, αλλά και ηπιότερα μέτρα, όπως είναι η αποστράγγιση των ομβρίων και θαλάσσιων υδάτων που συσσωρεύονται στους χώρους του λιμένα, η διαχείριση της αυξημένης στερεοαπορροής και η εντατική συντήρηση των έργων.

Ως εφαρμογή μελετάται ο λιμένας Ευδήλου Ικαρίας, όπου ο υφιστάμενος κυματοθραύστης με πρηνή υπέστη σοβαρές ζημιές κατά τη θεομηνία που έπληξε την περιοχή τον Ιανουάριο του 2018. Η επάρκειά του ελέγχεται αρχικά με βάση τις συνθήκες σχεδιασμού και κατασκευής του, και κατόπιν με χρονικό ορίζοντα το 2050 και το 2100. Προκύπτει ότι η ευστάθεια θωράκισης και ποδός ικανοποιείται σε κάθε περίπτωση, όμως η μέση παροχή υπερπήδησης ξεπερνά κατά πολύ την επιτρεπόμενη υπό την επίδραση των υψηλότερων κυμάτων και της υψηλότερης στάθμης του 2050 και του 2100. Επομένως, το έργο χρήζει αναβάθμισης. Τα παραπάνω κριτήρια ελέγχονται για καθεμία από τις εναλλακτικές αναβάθμισης που είναι συμβατές και με τα χαρακτηριστικά της υφιστάμενης διατομής, καθώς και για κάθε έναν από τους παραπάνω χρονικούς ορίζοντες. Η τελική επιλογή γίνεται με βάση τις επιδόσεις και το κόστος της κάθε εναλλακτικής.

Λέξεις-Κλειδιά: κλιματική αλλαγή, λιμενικά έργα, μέθοδοι προσαρμογής, επάρκεια κυματοθραύστη, κυματική υπερπήδηση, αναβάθμιση κυματοθραύστη.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF WATER RESOURCES AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING
LABORATORY OF HARBOR WORKS

DIPLOMA THESIS

**Adapting Ports to Climate Change-Case Study: Port of Evdilos, Ikaria, Greece
Olympia-Maria Skourti**

Supervisor: Vassiliki Tsoukala, Civil Engineer, As. Professor N.T.U.A.

ABSTRACT

Along with the unquestionable temperature rise, the ocean thermal expansion and the glacier melting lead the average sea level to change at an ever-increasing rate. This increase, combined with the emergence of more severe storm surges and higher waves during extreme weather events, requires the existing harbor works to be adapted to climate change.

The subject of this diploma thesis are the adaptation methods applied. There are more drastic measures, such as upgrading the breakwaters and setting barriers to protect the near-water equipment and facilities, as well as milder measures, such as draining the storm and sea water accumulating in port areas, managing the increased sediment flow and intensively maintaining the works.

The port of Evdilos, Ikaria, Greece, where the existing breakwater suffered serious damage during the storm that hit the area in January 2018, is examined as a case study. Its sufficiency is initially examined under the construction circumstances, then under the 2050 and 2100 climate change scenarios. It is observed that the armor and foot stability criteria are satisfied in any case, however the mean wave overtopping discharge exceeds the admissible limit when the breakwater is tested under the effects of the higher sea level and the more severe wave action. Therefore, the breakwater needs to be upgraded. The above criteria are tested for each of the upgrade alternatives that are also compatible with the features of the existing cross-section and each of the above time horizons. The final choice is based on the performance and cost of each alternative.

Keywords: climate change, harbor works, adaptation strategies, breakwater sufficiency, wave overtopping, breakwater upgrade.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευρετήριο Εικόνων	iii
Ευρετήριο Πινάκων	v
Ευρετήριο Υπολογισμών	vii
Ευρετήριο Συμβολισμών	ix
1. Εισαγωγή	1
2. Κλιματική Αλλαγή	3
2.1. Βασικοί ορισμοί	3
2.2. Αέρια του θερμοκηπίου και πηγές των εκπομπών	4
2.3. Επιπτώσεις	8
2.4. Πολιτικές Διαχείρισης	10
2.5. Η αντίθετη άποψη	11
3. Κλιματική Αλλαγή, Θάλασσα και Λιμενικά Έργα	13
3.1. Γενικά	13
3.2. Κλιματική αλλαγή και στάθμη της θάλασσας	14
3.2.1. Μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας	14
3.2.2. Μετεωρολογική παλίρροια	15
3.3. Κλιματική αλλαγή και κυματικό κλίμα	17
4. Προσαρμογή Λιμενικών Έργων στην Κλιματική Αλλαγή	19
4.1. Γενικά	19
4.2. Στρατηγικές προσαρμογής	21
4.2.1. Μεθοδολογία αναβάθμισης κυματοθραύστη με πρηνή	21
4.2.2. Μεθοδολογία αναβάθμισης κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο	24
4.2.3. Προσωρινά και ημιμόνιμα φράγματα	28
4.2.4. Μόνιμα φράγματα	32
4.2.5. Υπερύψωση προβλήτα	34
4.2.6. Υπερύψωση ολόκληρου του λιμένα	34
4.3. Στρατηγικές διαχείρισης	35
4.3.1. Αντιμετώπιση της αυξημένης συσσώρευσης υδάτων	35
4.3.2. Αντιμετώπιση της αυξημένης στερεοαπορροής	37
4.3.3. Εντατική συντήρηση	39
4.4. Στρατηγική απομάκρυνσης	39
4.4.1. Μετακίνηση των υποδομών	39
5. Μελέτη Περίπτωσης: Λιμένας Ευδήλου Ικαρίας	41
5.1. Μεθοδολογία προσέγγισης	41

5.2. Γενικές πληροφορίες	41
5.3. Η θεομηνία της 18^{ης} Ιανουαρίου 2018	45
5.4. Διερεύνηση της επάρκειας του υφιστάμενου κυματοθραύστη	48
5.4.1. Κυματισμοί ελέγχου	48
5.4.2. Κριτήρια ελέγχου	57
5.4.3. Εξεταζόμενα σενάρια	62
5.4.4. Αποτελέσματα	62
5.5. Αξιολόγηση των εναλλακτικών τρόπων αναβάθμισης του κυματοθραύστη	63
5.5.1. Προσθήκη στρώσης θωράκισης ή αναβαθμού	63
5.5.2. Εξομάλυνση της κλίσης του πρανούς	63
5.5.3. Αύξηση του πλάτους της στέψης	63
5.5.4. Αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου	64
5.5.5. Συνδυασμός αύξησης του πλάτους της στέψης και του ύψους του τοίχου	65
5.5.6. Ύφαλος κυματοθραύστης ανάντη	66
5.5.7. Τελική επιλογή του τρόπου αναβάθμισης	69
5.6. Άλλες παρεμβάσεις στην τυπική διατομή	71
6. Συμπεράσματα και Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	73
Βιβλιογραφία	75
Παράρτημα Υπολογισμών	79
Παράρτημα Σχεδίων	111

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Μεταβολή της θερμοκρασίας από το 1880 μέχρι σήμερα. (Πηγή: NASA, 2019)	4
Εικόνα 2: Κατανομή παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου το 2004. (Πηγή: ete.cet.edu)	4
Εικόνα 3: Η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από το 1955 μέχρι και το 2019. (Πηγή: NOAA AEarth System Research Laboratory, 2019)	5
Εικόνα 4: Η συγκέντρωση μεθανίου στην ατμόσφαιρα από το 1984 μέχρι το 2002. (Πηγή: Greenhouse Gas Online)	7
Εικόνα 5: Πιθανοί νέοι θαλάσσιοι δρόμοι λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας. (Πηγή: United Nations Environment Programme-Grid Arendal)	13
Εικόνα 6: Έξαλος και ύφαλος κυματοθραύστης. (Πηγή: Koftis, et al., 2015)	21
Εικόνα 7: Αναβάθμιση ύφαλου κυματοθραύστη. (Πηγή: Koftis, et al., 2015)	22
Εικόνα 8: Αναβάθμιση έξαλου κυματοθραύστη. (Πηγή: Koftis, et al., 2015)	23
Εικόνα 9: Χαρακτηριστικά μεγέθη προφυλακτήριου τοίχου	24
Εικόνα 10: Επαναδιαμόρφωση κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο σε διατομή με πρηνή. (Πηγή: Oumeraci, 2001)	24
Εικόνα 11: Προσθήκη προφυλακτήριου τοίχου σε κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο. (Πηγή: Oumeraci, 2001)	25
Εικόνα 12: Καμπύλος προφυλακτήριος τοίχος σε κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο. (Πηγή: www.alamy.com, 2016)	25
Εικόνα 13: Γωνιώδες παραπέτασμα σε κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο. (Πηγή: Coeveld, et al., 2006)	26
Εικόνα 14: Διαμόρφωση κυματοθραύστη με απορροφητικό κατακόρυφο μέτωπο. (Πηγή: Oumeraci, 2001)	26
Εικόνα 15: Τομή κυματοθραύστη από τεχνητούς ογκολίθους Warock. (Πηγή: Ijima, et al., 1976)	27
Εικόνα 16: Τομή και κάτοψη κυματοθραύστη από τεχνητούς ογκολίθους Igloo. (Richard Allen, 1998)	27
Εικόνα 17: Διαμόρφωση απορροφητικού μετώπου με κυλίνδρους. (Πηγή: Kakuno, et al., 1992)	28
Εικόνα 18: Σάκοι με άμμο. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	29
Εικόνα 19: Αυτοδιογκώμενοι σάκοι. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	29
Εικόνα 20: Φράγμα Water-Gate. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	30
Εικόνα 21: Aqua Fence. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	30
Εικόνα 22: Φράγμα φορητών κυλίνδρων. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	31
Εικόνα 23: Tiger Dam. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	31
Εικόνα 24: Metalith. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	32
Εικόνα 25: Αναβαθμός. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	32
Εικόνα 26: Φράγμα από καουτσούκ. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	33
Εικόνα 27: Τοίχος από πασσαλοσανίδες. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	33
Εικόνα 28: Τοιχίο από σκυρόδεμα. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)	34
Εικόνα 29: Υπερύψωση ολόκληρου του λιμένα. (Πηγή: Becker, et al., 2017)	35
Εικόνα 30: Αποχέτευση υδάτων από τους χώρους του λιμένα. (Πηγή: www.aco.co.uk, 2019)	36
Εικόνα 31: Δεξαμενή συγκράτησης ACO StormBrixx®. (Πηγή: www.aco.co.uk, 2019)	36
Εικόνα 32: Τυπικός σχεδιασμός πράσινων στεγών. (Πηγή: www.rooftoplandscapes.co.za)	37
Εικόνα 33: Βυθοκόρηση. (Πηγή: www.canstockphoto.gr, 2018)	38
Εικόνα 34: Παγίδα ιζηματος στο Port Canaveral. (Πηγή: American Association of Port Authorities, 2009)	38
Εικόνα 35: Η νήσος Ικαρία. (Πηγή: Βικιπαίδεια, 2019)	42

Εικόνα 36: Κατάσταση λιμένα πριν την επέκταση του μώλου. (Πηγή: Μελέτη επέκτασης προσήνεμου μώλου λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, 2010)	43
Εικόνα 37: Παρούσα κατάσταση λιμένα. (Πηγή: Μελέτη επέκτασης προσήνεμου μώλου λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, 2010)	44
Εικόνα 38: Το τμήμα της επέκτασης του μώλου. (Πηγή: Μελέτη επέκτασης προσήνεμου μώλου λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, 2010)	44
Εικόνα 39: Τυπική διατομή του κεντρικού τμήματος της επέκτασης του μώλου. (Πηγή: Μελέτη επέκτασης προσήνεμου μώλου λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, 2010)	45
Εικόνα 40: Ο προσήνεμος μώλος μετά τη 18 ^η Ιανουαρίου 2018. (Πηγή: www.ikariaki.gr , 2018)	46
Εικόνα 41: Εντοπισμός των ζημιών λόγω της θεομηνίας της 18ης Ιανουαρίου 2018. (Πηγή: Ε.Λ.Ε. Ε.Μ.Π., 2018)	46
Εικόνα 42: Σταθμοί Ε.Μ.Υ. στην Ικαρία, τη Σάμο και τη Χίο. (Πηγή: Google Earth, 2019)	47
Εικόνα 43: Θέση πλωτήρα του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. ανοιχτά της Μυκόνου. (Πηγή: ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.)	47
Εικόνα 44: Ανεμορόδα με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας	49
Εικόνα 45: Υπολογισμός του αναπτύγματος πελάγους του Ευδήλου μέσω του Navionics Web App	50
Εικόνα 46: Κυματορόδα με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας	51
Εικόνα 47: Θέση πλωτήρα του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. ανοιχτά της Σκύρου. (Πηγή: ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.)	53
Εικόνα 48: Αύξηση του πλάτους της στέψης	64
Εικόνα 49: Αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου	65
Εικόνα 50: Αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου και του ύψους της στέψης	65
Εικόνα 51: Αύξηση του πλάτους της στέψης και του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου	66
Εικόνα 52: Προσθήκη ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη	69

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συνολικά και ειδικά από τη ναυτιλία για τα έτη 2007-2012. (Πηγή: <i>Third IMO GHG Study, 2014</i>)	6
Πίνακας 2: Εκτιμήσεις για την αύξηση της στάθμης της θάλασσας	15
Πίνακας 3: Μέγιστη εκτιμώμενη τιμή μετεωρολογικής παλίρροιας στον ελλαδικό θαλάσσιο χώρο για το διάστημα 1950-2100	17
Πίνακας 4: Σύνοψη των μεθόδων προσαρμογής	20
Πίνακας 5: Ανεμολογικά δεδομένα του σταθμού της Ε.Μ.Υ. στην Ικαρία. (Πηγή: Ε.Μ.Υ., 2018)	49
Πίνακας 6: Ακρότατα του ύψους κύματος με βάση τη Μύκονο	53
Πίνακας 7: Ακρότατα του ύψους κύματος με βάση τη Σκύρο	54
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά πνοής ανέμου υψηλών εντάσεων, περίοδος 1979-2003	55
Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά πνοής ανέμου υψηλών εντάσεων, περίοδος 2004-2017	55
Πίνακας 10: Αιολικά ακρότατα με βάση την Ικαρία	55
Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά των κυμάτων ελέγχου του Βορειοδυτικού τομέα πελάγους	56
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά των κυμάτων ελέγχου του Βορείου τομέα πελάγους	57
Πίνακας 13: Κύματα ελέγχου	57
Πίνακας 14: Επιτρεπόμενα όρια υπερπήδησης. (Πηγή: <i>Eurotop Manual, 2007</i>)	60
Πίνακας 15: Εξεταζόμενα σενάρια μεταβολής της στάθμης της θάλασσας	62
Πίνακας 16: Σύνοψη των επιδόσεων της υφιστάμενης διατομής	62
Πίνακας 17: Σύνοψη των επιδόσεων των επικρατέστερων εναλλακτικών αναβάθμισης	70
Πίνακας 18: Σύνοψη των εναλλακτικών αναβάθμισης	71

Ευρετήριο Υπολογισμών

Πίνακας Υπολογισμών 1: Υπολογισμός του αναπτύγματος πελάγους για Βορειοδυτικό άνεμο	79
Πίνακας Υπολογισμών 2: Υπολογισμός του αναπτύγματος πελάγους για Βόρειο άνεμο	79
Πίνακας Υπολογισμών 3: Υπολογισμός του αναπτύγματος πελάγους για Δυτικό άνεμο	80
Πίνακας Υπολογισμών 4: Υπολογισμός του αναπτύγματος πελάγους για Βορειοανατολικό άνεμο	80
Πίνακας Υπολογισμών 5: Μέθοδος SMB και JONSWAP για Βορειοδυτική διεύθυνση ανέμου	81
Πίνακας Υπολογισμών 6: Μέθοδος SMB και JONSWAP για Βόρεια διεύθυνση ανέμου	82
Πίνακας Υπολογισμών 7: Μέθοδος SMB και JONSWAP για Δυτική διεύθυνση ανέμου	83
Πίνακας Υπολογισμών 8: Μέθοδος SMB και JONSWAP για Βορειοανατολική διεύθυνση ανέμου	84
Πίνακας Υπολογισμών 9: Προσαρμογή της κατανομής Weibull στα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας για Βορειοδυτικό άνεμο	85
Πίνακας Υπολογισμών 10: Προσαρμογή της κατανομής Weibull στα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας για Βόρειο άνεμο	86
Πίνακας Υπολογισμών 11: Προσαρμογή της κατανομής Weibull στα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας για Δυτικό άνεμο	87
Πίνακας Υπολογισμών 12: Προσαρμογή της κατανομής Weibull στα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας για Βορειοανατολικό άνεμο	88
Πίνακας Υπολογισμών 13: Μέθοδος SMB και JONSWAP για απεριόριστη διάρκεια πνοής ανέμου Βορειοδυτικής διεύθυνσης	94
Πίνακας Υπολογισμών 14: Μέθοδος SMB και JONSWAP για απεριόριστη διάρκεια πνοής ανέμου Βόρειας διεύθυνσης	95
Πίνακας Υπολογισμών 15: Μέθοδος SMB και JONSWAP για απεριόριστη διάρκεια πνοής ανέμου Δυτικής διεύθυνσης	96
Πίνακας Υπολογισμών 16: Μέθοδος SMB και JONSWAP για απεριόριστη διάρκεια πνοής ανέμου Βορειοανατολικής διεύθυνσης	97
Πίνακας Υπολογισμών 17: Επιδόσεις του κυματοθραύστη για τα δεδομένα σχεδιασμού	98
Πίνακας Υπολογισμών 18: Επιδόσεις του κυματοθραύστη υπό τις συνθήκες του 2050	99
Πίνακας Υπολογισμών 19: Επιδόσεις του κυματοθραύστη υπό τις συνθήκες του 2100	100
Πίνακας Υπολογισμών 20: Επιδόσεις του κυματοθραύστη με αύξηση του πλάτους στέψης με βάση το 2050	101
Πίνακας Υπολογισμών 21: Επιδόσεις του κυματοθραύστη με αύξηση του πλάτους στέψης με βάση το 2100	102
Πίνακας Υπολογισμών 22: Επιδόσεις του κυματοθραύστη με αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου με βάση το 2050	103
Πίνακας Υπολογισμών 23: Επιδόσεις του κυματοθραύστη με αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου με βάση το 2100	104
Πίνακας Υπολογισμών 24: Επιδόσεις του κυματοθραύστη το 2050 με συνδυασμό αύξησης του πλάτους στέψης και του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου	105
Πίνακας Υπολογισμών 25: Επιδόσεις του κυματοθραύστη το 2100 με συνδυασμό αύξησης του πλάτους στέψης και του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου	106
Πίνακας Υπολογισμών 26: Επιδόσεις του κυματοθραύστη το 2050 με προσθήκη ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη	107
Πίνακας Υπολογισμών 27: Επιδόσεις του κυματοθραύστη το 2100 με προσθήκη ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη	108
Πίνακας Υπολογισμών 28: Υπολογισμός κόστους αύξησης του πλάτους της στέψης	109

Πίνακας Υπολογισμών 29: Υπολογισμός κόστους αύξησης του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου ____	109
Πίνακας Υπολογισμών 31: Υπολογισμός κόστους της κατασκευής ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη ____	110
Πίνακας Υπολογισμών 30: Υπολογισμός κόστους της συνδυαστικής αύξησης του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου και του πλάτους της στέψης _____	110
Εικόνα Υπολογισμών 1: Προσαρμογή της κατανομής <i>Generalised Pareto</i> στις τρίωρες μετρήσεις κύματος στη Μύκονο για Βορειοδυτικό άνεμο _____	89
Εικόνα Υπολογισμών 2: Προσαρμογή της κατανομής <i>Generalised Pareto</i> στις τρίωρες μετρήσεις κύματος στη Μύκονο για Βόρειο άνεμο _____	90
Εικόνα Υπολογισμών 3: Προσαρμογή της κατανομής <i>Generalised Pareto</i> στις τρίωρες μετρήσεις κύματος στη Σκύρο για Βορειοδυτικό άνεμο _____	91
Εικόνα Υπολογισμών 4: Προσαρμογή της κατανομής <i>Generalised Pareto</i> στις τρίωρες μετρήσεις κύματος στη Σκύρο για Βόρειο άνεμο _____	92
Εικόνα Υπολογισμών 5: Προσαρμογή της κατανομής <i>Generalised Pareto</i> στα ωριαία ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας _____	93

Ευρετήριο Συμβολισμών

a	Συντελεστής για τον υπολογισμό του μέγιστου όγκου υπερπήδησης κατά το Eurotop Manual, γωνία-βήμα για τον υπολογισμό του αναπτύγματος	—
A_c	Ελεύθερο περιθώριο της θωράκισης κυματοθραύστη	<i>m</i>
b	Συντελεστής για τον υπολογισμό του μέγιστου όγκου υπερπήδησης κατά το Eurotop Manual, συντελεστής για τον υπολογισμό της κυματικής	—
B	Πλάτος στέψης ύφαλου κυματοθραύστη	<i>m</i>
C_d	Συντελεστής για τον υπολογισμό της ταχύτητας ανέμου στη μέθοδο JONSWAP	—
$\cot\alpha$	Συνεφαπτομένη του πρानούς κυματοθραύστη	°
C_r	Συντελεστής απομείωσης της κυματικής υπερπήδησης λόγω μεγάλου πλάτους θωρακισμένης στέψης	—
C_t	Συντελεστής μετάδοσης κύματος κατάντη ύφαλου κυματοθραύστη	—
D	Διάρκεια πνοής ανέμου (συμβολισμός της μεθόδου SMB)	<i>s</i>
D_n	Ονομαστική διάμετρος ογκολίθων	<i>m</i>
$D_{n, \text{πόδα}}$	Ονομαστική διάμετρος ογκολίθων του πόδα	<i>m</i>
$D_{n, \text{ύφαλου}}$	Ονομαστική διάμετρος ογκολίθων ύφαλου κυματοθραύστη	<i>m</i>
F	Ενεργό ανάπτυγμα πελάγους	<i>m</i>
F_{eq}	Ισοδύναμο ανάπτυγμα πελάγους για τη μέθοδο JONSWAP	<i>m</i>
g	Επιτάχυνση της βαρύτητας	$\frac{m}{s^2}$
G_c	Πλάτος θωράκισης στη στέψη του κυματοθραύστη	<i>m</i>
h	Βάθος υδάτων	<i>m</i>
h'	Επαυξημένο βάθος υδάτων λόγω της τοπικής υπερύψωσης της στάθμης της θάλασσας μεταξύ ύφαλου και έξαλου κυματοθραύστη	<i>m</i>
h_b	Βάθος υδάτων στον πόδα κυματοθραύστη	<i>m</i>
h_c	Ύψος ύφαλου κυματοθραύστη	<i>m</i>
H_{m0}	Χαρακτηριστικό ύψος κύματος από φασματική ανάλυση	<i>m</i>
H_o	Ύψος κύματος στα βαθιά	<i>m</i>
H_s	Χαρακτηριστικό ύψος κύματος στην περιοχή του έργου	<i>m</i>

H_s'	Ύψος κύματος κατάντη ύφαλου κυματοθραύστη	m
h_{wall}	Ύψος προφυλακτήριου τοίχου πάνω από τη στέψη της θωράκισης	m
K_D	Συντελεστής ευστάθειας κατά Hudson	—
k_s	Συντελεστής στρώσης	—
n	Αριθμός ογκολίθων	—
N_{od}	Επίπεδο ζημιών	—
N_s	Αριθμός ευστάθειας	—
N_{s*}	Φασματικός αριθμός ευστάθειας	—
N_w	Αριθμός κυμάτων	—
P_{ov}	Πιθανότητα υπερπήδησης κύματος	%
q_{design}	Παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού	$\frac{l}{s * m}$
q_{mean}	Μέση παροχή υπερπήδησης	$\frac{l}{s * m}$
R_c	Ελεύθερο περιθώριο του κυματοθραύστη	m
$R_{c, \text{ύφαλου}}$	Ελεύθερο περιθώριο του ύφαλου κυματοθραύστη	m
R_c'	Απομειωμένο ελεύθερο περιθώριο του έξαλου κυματοθραύστη λόγω της τοπικής υπερύψωσης της στάθμης της θάλασσας μεταξύ ύφαλου και	m
$R_{u2\% (design)}$	Αναρρίχηση σχεδιασμού	m
$R_{u2\% (mean)}$	Μέση αναρρίχηση	m
s_{op}	Κλίση κύματος στα βαθιά για την περίοδο $T_{p,0}$	—
s_p	Κλίση κύματος στην περιοχή του έργου για την περίοδο T_p	—
t_d	Διάρκεια πνοής ανέμου (συμβολισμός της μεθόδου JONSWAP)	s
T_m	Μέση περίοδος κύματος	s
$T_{m-1,0}$	Φασματική περίοδος κύματος βασισμένη στις φασματικές ροπές -1, 0	s
T_p	Χαρακτηριστική περίοδος κύματος στην περιοχή του έργου	s
$T_{p,0}$	Περίοδος κύματος στα βαθιά	s

u	Ταχύτητα ανέμου	$\frac{m}{s}$
u^*	Προσαρμοσμένη ταχύτητα ανέμου για τη μέθοδο JONSWAP	$\frac{m}{s}$
V	Όγκος ακρόποδου	m^3
V_{max}	Μέγιστος όγκος υπερπήδησης	$\frac{l}{m}$
W	Βάρος τυπικού ογκολίθου ύφαλου κυματοθραύστη	t
$W_{πόδα}$	Βάρος τυπικού ογκολίθου του πόδα	t
β	Γωνία μεταξύ της διεύθυνσης διάδοσης του κύματος και της καθέτου στον άξονα του κυματοθραύστη	$^{\circ}$
γ_b	Συντελεστής αναβαθμού για τον υπολογισμό της παροχής υπερπήδησης	—
γ_f	Συντελεστής τραχύτητας ογκολίθου θωράκισης για τον υπολογισμό της παροχής υπερπήδησης	—
$\gamma_{f,surging}$	Επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας ογκολίθου θωράκισης για τον υπολογισμό της παροχής υπερπήδησης	—
γ_β	Συντελεστής λοξότητας προσπίπτοντος κύματος για τον υπολογισμό της παροχής υπερπήδησης	—
η_{max}	Τοπική υπερύψωση της στάθμης της θάλασσας μεταξύ ύφαλου και έξαλου κυματοθραύστη	m
$\xi_{m-1,0}$	Αριθμός Itibarren που αντιστοιχεί σε κυρτότητα κύματος $S_{m-1,0}$	—
ρ_s	Πυκνότητα ογκολίθου	$\frac{t}{m^3}$
ρ_w	Πυκνότητα θαλασσινού νερού	$\frac{t}{m^3}$
Φ	Συντελεστής αναπτύγματος πελάγους για τη μέθοδο SMB	—
Φ_1	Συντελεστής αναπτύγματος πελάγους για τη μέθοδο SMB, υπολογισμένος από το ανάπτυγμα πελάγους	—
Φ_2	Συντελεστής αναπτύγματος πελάγους για τη μέθοδο SMB, υπολογισμένος από τη διάρκεια πνοής	—

1. Εισαγωγή

Η ρύπανση που προκαλείται τις τελευταίες δεκαετίες στην ατμόσφαιρα από την ανθρώπινη δραστηριότητα, έχει προκαλέσει αστάθεια στο παγκόσμιο κλίμα. Καταιγίδες μεγάλης κλίμακας, πλημμύρες, πυρκαγιές, άνοδος της θερμοκρασίας σε πρωτοφανή επίπεδα, παρατεταμένες περίοδοι ξηρασίας και καύσωνα, άνοδος της στάθμης των ωκεανών είναι κάποια από τα σημάδια που, μέσα από τα καταστροφικά τους αποτελέσματα, καθιστούν σαφή τη διατάραξη της ισορροπίας του περιβάλλοντος και την αλλαγή του κλίματος. Η κλιματική αλλαγή είναι ένα μείζον φαινόμενο, σύνθετο και πολυεπίπεδο, που απασχολεί τόσο την επιστημονική κοινότητα όσο και το μέσο πολίτη κάθε χώρας, καθώς οι επιπτώσεις της είναι ραγδαίες, απρόβλεπτες και αισθητές στην καθημερινή ζωή.

Η υψηλότερη στάθμη της θάλασσας λόγω της τήξης των πάγων και της θερμικής διαστολής των ωκεάνιων μαζών που επιφέρει η αύξηση της θερμοκρασίας, η εντονότερη μετεωρολογική παλίνροια λόγω της χαμηλής πίεσης της θαλάσσιας επιφάνειας και των ισχυρών ανέμων, καθώς και τα υψηλότερα κύματα που συνεπάνονται οι ισχυρότερες καταιγίδες, είναι οι παράμετροι της κλιματικής αλλαγής που επηρεάζουν τα λιμενικά έργα. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι οι μέθοδοι προσαρμογής αυτών ώστε να μπορούν να αντεπεξέλθουν στα νέα δεδομένα.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται γενική αναφορά στην κλιματική αλλαγή, στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που την προκαλούν, στις επιπτώσεις της και στις πολιτικές διαχείρισης που έχουν θεσπιστεί και ακολουθούνται μέχρι σήμερα σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο.

Στο Κεφάλαιο 3 εξετάζονται οι επιδράσεις της ειδικότερα στη θάλασσα και τα λιμενικά έργα. Αρχικά, διερευνώνται οι τρόποι με τους οποίους η αύξηση της στάθμης, η μεταβολή της συχνότητας, της έντασης και της κύριας διεύθυνσης των ανέμων, η ανάπτυξη ισχυρότερων ρευμάτων, η μεταβολή της οξύτητας και της αλατότητας των ωκεανών απειλούν τα λιμενικά έργα. Στη συνέχεια, παρατίθεται η βιβλιογραφική έρευνα που έγινε για την αναμενόμενη εξέλιξη των μεγεθών της στάθμης της θάλασσας, της μετεωρολογικής παλίνροιας και του χαρακτηριστικού κύματος.

Στο Κεφάλαιο 4 παρατίθενται οι στρατηγικές προσαρμογής των λιμενικών έργων στην κλιματική αλλαγή και τα μέτρα που εφαρμόζονται σύμφωνα με καθεμία από αυτές. Η στρατηγική προστασίας συστήνει παρεμβάσεις στο σχεδιασμό των έργων με σκοπό να τα θωρακίσει έναντι κλιματικής αλλαγής, και περιλαμβάνει δραστικότερα μέτρα, όπως είναι η αναβάθμιση των κυματοθραυστών, η προστασία του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων που βρίσκονται κοντά στο νερό θέτοντας φράγματα, η αύξηση του ελεύθερου περιθωρίου της στέψης των προβλητών ή, σε ακραίες περιπτώσεις, η υπερύψωση ολόκλητου του λιμένα. Η στρατηγική διαχείρισης επιτρέπει την έκθεση των έργων στο οξύτερο κυματικό κλίμα και στην αυξημένη στάθμη της θάλασσας, προβλέποντας μέτρα για την διαχείριση αυτών χωρίς παρεμβάσεις στο σχεδιασμό. Τέτοια μέτρα αφορούν την αντιμετώπιση της αυξημένης συσσώρευσης ομβρίων και θαλασσιών υδάτων στους χώρους του λιμένα, και της αυξημένης συσσώρευσης φερτών στη λιμενολεκάνη και στο διάυλο προσέγγισης, καθώς και την εντατική παρακολούθηση και συντήρηση των έργων. Τέλος, η στρατηγική οπισθοχώρησης ακολουθείται σε περιπτώσεις όπου η θέση του λιμένα δεν επιτρέπει πλέον τη λειτουργικότητά του και την ικανοποίηση των αναγκών για τις

οποίες σχεδιάστηκε, και συστήνει τη μετακίνηση των εγκαταστάσεων και των λειτουργιών σε άλλη θέση, σε υψηλότερο έδαφος ή μακρύτερα από το νερό.

Στο Κεφάλαιο 5 μελετάται η περίπτωση του λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, όπου ο υφιστάμενος κυματοθραύστης καταστράφηκε σε μεγάλο μήκος κατά τη θεομηνία της 18^{ης} Ιανουαρίου 2018. Η επάρκεια του έργου εξετάζεται υπό τα δεδομένα σχεδιασμού και κατασκευής του, και με χρονικούς ορίζοντες το 2050 και το 2100. Αφού παρατηρείται ότι η ένταση του παραπάνω γεγονότος δεν αντιστοιχεί στο μέσο ανεμολογικό και κυματικό κλίμα της περιοχής, για τον έλεγχο του έργου λαμβάνονται υπόψιν οι πλήρως αναπτυγμένοι κυματισμοί που αντιστοιχούν στα αιολικά ακρότατα του κάθε χρονικού ορίζοντα. Ως κριτήρια επάρκειας ορίζονται η ευστάθεια θωράκισης και ποδός, η μέση παροχή και ο μέγιστος όγκος υπερπήδησης. Εκτιμήσεις για τη στάθμη της θάλασσας και τη μετεωρολογική παλίρροια στα μελλοντικά σενάρια επιλέγονται από τη βιβλιογραφική αναζήτηση που παρατίθεται στο Κεφάλαιο 3. Αυτό που προκύπτει είναι ότι η ευστάθεια θωράκισης και ποδός, καθώς και ο μέγιστος όγκος κυματικής υπερπήδησης ικανοποιούνται σε κάθε περίπτωση, όμως η μέση παροχή υπερπήδησης ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια στα εξεταζόμενα σενάρια του 2050 και του 2100. Για την αναβάθμιση της διατομής εξετάζονται οι πιθανές εναλλακτικές όπως παρατίθενται στο Κεφάλαιο 4, και επιλέγεται η βέλτιστη εξετάζοντας τις επιδόσεις τους στα κριτήρια που ορίστηκαν και το κόστος. Τέλος, ελέγχεται αν η τυπική διατομή χρειάζεται και κάποιο άλλο από τα μέτρα προσαρμογής που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4.

Η εργασία καταλήγει με τα συμπεράσματα σε σχέση με τη συστηματικότητα της καταγραφής των ανεμολογικών και κυματικών συνθηκών στην Ελλάδα με σκοπό την ανάλυση συμβάντων καταιγίδας, καθώς και την αξιολόγηση της επάρκειας των υφιστάμενων λιμενικών υποδομών. Επίσης, συνοψίζονται οι παρεμβάσεις που πρέπει να γίνουν στον μικρής κλίμακας λιμένα του Ευδήλου Ικαρίας ώστε να είναι βιώσιμος και αποδοτικός υπό τις νέες συνθήκες.

2. Κλιματική Αλλαγή

2.1. Βασικοί ορισμοί

Κλιματική αλλαγή σημαίνει αλλαγή του κλίματος η οποία αποδίδεται ευθέως ή εμμέσως στην ανθρώπινη δραστηριότητα και η οποία μεταβάλλει τη σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας, προστιθέμενης και της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος (UNFCCC, 1992).

Ανεπιθύμητες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σημαίνουν αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον ή στα πλάσματα, που προκύπτουν από την αλλαγή του κλίματος και έχουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στη σύνθεση, την ανθεκτικότητα ή στην παραγωγικότητα των φυσικών και ελεγχόμενων οικοσυστημάτων ή στη λειτουργία των κοινωνικοοικονομικών συστημάτων ή στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία (UNFCCC, 1992).

Κλιματικό σύστημα είναι το σύνολο της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας, της βιόσφαιρας και της γεώσφαιρας και των αλληλεπιδράσεών τους (UNFCCC, 1992).

Εκπομπές είναι η απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα αερίων του θερμοκηπίου ή/και των προδρόμων τους σε μια καθορισμένη περιοχή και χρονική περίοδο (UNFCCC, 1992).

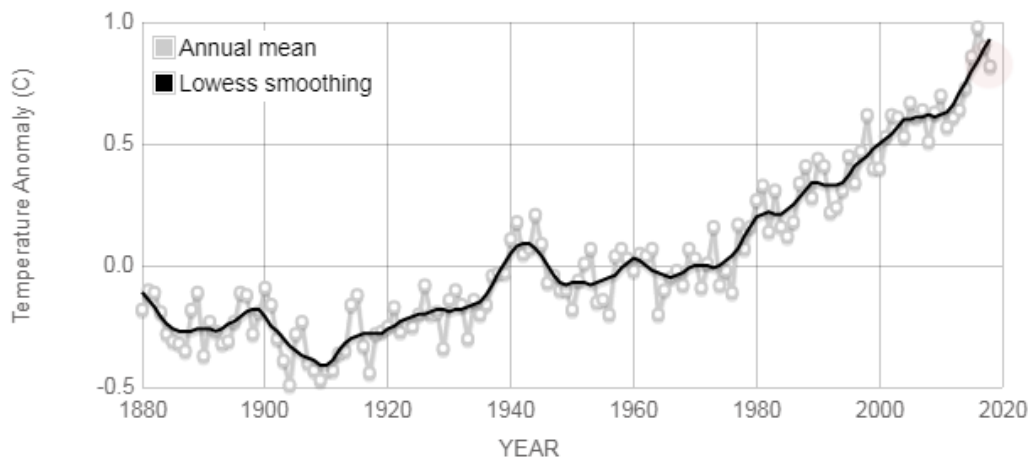
Ως **αέρια του θερμοκηπίου** νοούνται τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας, τόσο φυσικά όσο και ανθρωπογενή, που απορροφούν και επανεκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία (UNFCCC, 1992).

Προσαρμογή λιμένα στην κλιματική αλλαγή (port adaptation to climate change) σημαίνει οποιαδήποτε προσαρμογή των υποδομών, λειτουργιών και θεσμών του λιμένα για την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος, με στόχο να μετριαστούν οι ζημιές και να γίνει εκμετάλλευση των ευκαιριών (Nursey-Bray, et al., 2013).

Ανθεκτικότητα λιμένα στην κλιματική αλλαγή (port resilience to climate change) σημαίνει ικανότητα του λιμένα να διατηρήσει τις σημαντικότερες λειτουργίες του όταν υπόκειται σε διαταραχές λόγω αλλαγής του κλίματος, καθώς και να επιστρέψει στην πλήρη λειτουργικότητά του μετά από αυτές (de Bruijn, 2005).

Εκτιμάται πως η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει προκαλέσει περίπου 1°C αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα, με πιθανό εύρος 0.8°C ως 1.2°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να φτάσει τον 1.5°C ανάμεσα στο 2030 και 2050 αν εξακολουθήσει με τον ίδιο ρυθμό. Η υπερθέρμανση λόγω ανθρωπογενών εκπομπών προφανώς θα συνεχίσει να προκαλεί μακροπρόθεσμες αλλαγές στο κλίμα, αλλά αυτές οι αλλαγές από μόνες τους είναι μάλλον απίθανο να οδηγήσουν σε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1.5°C (IPCC, 2018).

Στην Εικόνα 1, δίνεται η μέση ετήσια θερμοκρασία για το διάστημα 1880-2019 και η τάση της μετά από εξομάλυνση. Δεκαεπτά από τα δεκαοκτώ θερμότερα χρόνια σε διάστημα 136 ετών έχουν καταγραφεί από το 2001 και μετά, με εξαίρεση το 1998. Το έτος 2016 φαίνεται να είναι το θερμότερο στην περίοδο των καταγραφών (NASA, 2019). Από την εικόνα επίσης παρατηρείται ότι η θερμοκρασία έχει ανέβει κατά σχεδόν 1°C σε σχέση με το 1880.

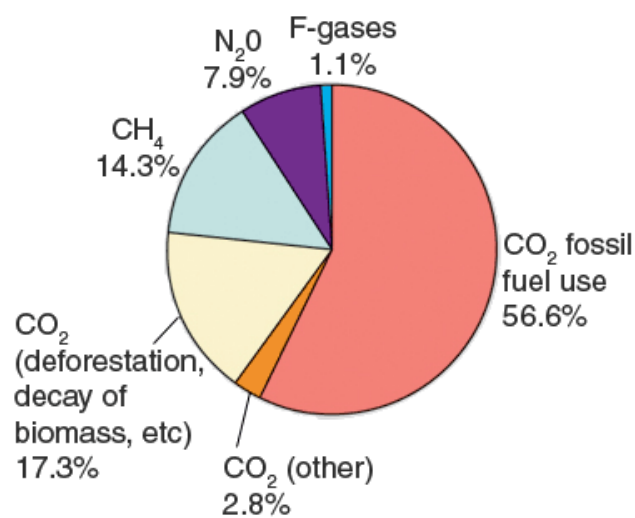


Εικόνα 1: Μεταβολή της θερμοκρασίας από το 1880 μέχρι σήμερα. (Πηγή: NASA, 2019)

2.2. Αέρια του θερμοκηπίου και πηγές των εκπομπών

Πολλά αέρια του θερμοκηπίου, το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), οι υδρατμοί, το όζον (O_3) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) είναι φυσικά παρόντα στην ατμόσφαιρα της Γης. Εάν μάλιστα δεν υπήρχαν, οι θερμοκρασίες στη γη θα ήταν χαμηλότερες από -18°C .

Άλλα αέρια του θερμοκηπίου, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), οι υδροφθοράνθρακες (HFCs), οι υπερφθοράνθρακες (PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6), παράγονται ανθρωπογενώς. Αλλά και οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου αυξάνονται λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων (Enzler, 2018). Στην Εικόνα 2, δίνεται το ποσοστό με το οποίο συμβάλλει κάθε αέριο του θερμοκηπίου στις συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές του 2004.



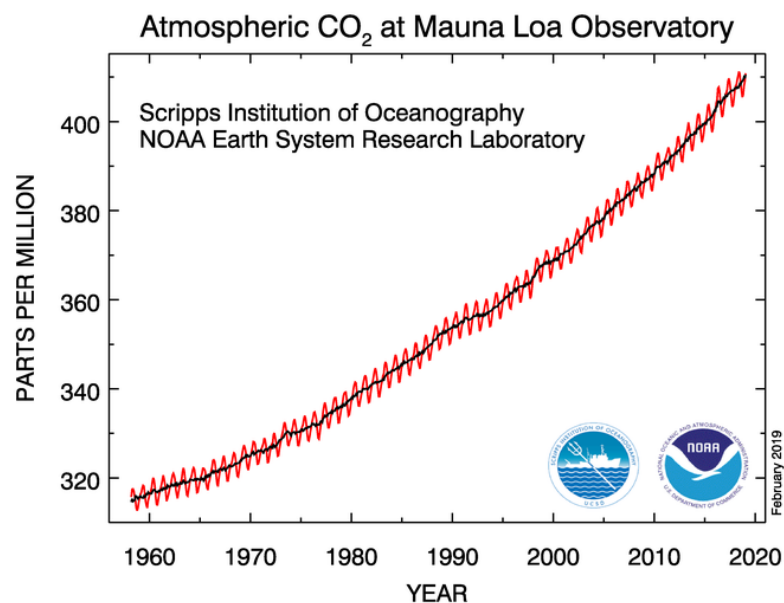
Εικόνα 2: Κατανομή παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου το 2004. (Πηγή: ete.cet.edu)

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου συμβαίνει καθώς η ακτινοβολία του ηλίου φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Καθώς η ενέργεια βραχέων κυμάτων θερμαίνει την επιφάνεια, μεγάλο μέρος της ενέργειας μακρύτερων κυμάτων (45%) επιστρέφει πίσω στην ατμόσφαιρα και στο διάστημα. Τα αέρια του θερμοκηπίου απορροφούν μέρος της ενέργειας και την παγιδεύουν στην χαμηλότερη ατμόσφαιρα. Λιγότερη θερμότητα επιστρέφει στο διάστημα, και η Γη γίνεται θερμότερη (Enzler, 2018).

Μετά τη βιομηχανική επανάσταση του 1700, το φαινόμενο ενισχύθηκε λόγω των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, κυρίως με την καύση ορυκτών καυσίμων (Enzler, 2018).

Το **διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)** είναι το αέριο του θερμοκηπίου που παράγεται συχνότερα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ευθύνεται για το 63% της ανθρωπογενούς υπερθέρμανσης του πλανήτη. Στις βιομηχανικές χώρες, το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί τουλάχιστον το 80% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα είναι σήμερα κατά 30% υψηλότερη σε σχέση με το 1800. Υπό τις παρούσες συνθήκες, η ανθρωπότητα εκπέμπει περίπου 25 δισεκατομμύρια τόννους CO₂ το χρόνο. Το CO₂ παραμένει στην ατμόσφαιρα για 50-200 χρόνια (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011).

Η καμπύλη Keeling (Εικόνα 3) μετρά τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της Γης, στο Παρατηρητήριο Mauna Loa της Χαβάης, με αφετηρία το 1958 (NOAA Earth System Research Laboratory, 2019). Η ισχυρή εποχιακή διακύμανση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να εξηγηθεί με βάση τον κύκλο ανάπτυξης των φυτών. Τα επίπεδα αιχμής εμφανίζονται στα τέλη του χειμώνα. Τα χαμηλότερα επίπεδα εμφανίζονται την άνοιξη και τις αρχές του καλοκαιριού. Η ανάπτυξη των φυτών την άνοιξη και τις αρχές του καλοκαιριού μειώνει το ατμοσφαιρικό CO₂ μέσω της φωτοσύνθεσης. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα τα φυτά δεν έχουν τα ίδια εξομαλυντικά αποτελέσματα και το ατμοσφαιρικό CO₂ αυξάνεται (Βικιπαίδεια, 2017).



Εικόνα 3: Η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από το 1958 μέχρι και το 2019. (Πηγή: NOAA Earth System Research Laboratory, 2019)

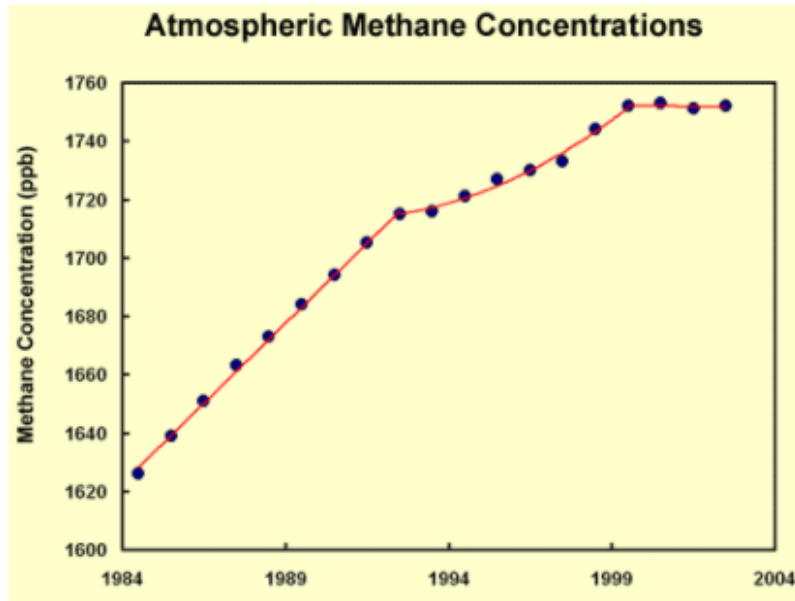
Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι οι θαλάσσιες μεταφορές εκπέμπουν περίπου 1000 εκατομμύρια τόννους διοξείδιο του άνθρακα ετησίως και είναι υπεύθυνες για το 3% περίπου των συνολικών ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, και 15% και 13% των ετήσιων ανθρωπογενών εκπομπών οξειδίων του αζώτου και του θείου αντίστοιχα. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα λόγω των θαλάσσιων μεταφορών αναμένεται να αυξηθούν από 50% μέχρι 250% μέχρι το 2050 (Pereira & Cavalcante, 2016). Στον Πίνακα 1, δίνονται οι ετήσιες εκπομπές CO₂ συνολικά και οι αντίστοιχες λόγω της ναυτιλίας για τα έτη 2007-2012.

	Third IMO GHG Study (million tonnes)					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Global CO₂ Emissions[*]	31,959	32,133	31,822	33,661	34,726	34,968
International Shipping	881	916	858	773	853	805
Domestic Shipping	133	139	75	83	110	87
Fishing	86	80	44	58	58	51
Total Shipping	1,100	1,135	977	914	1,021	942
% of global	3.5%	3.5%	3.1%	2.7%	2.9%	2.6%

Πίνακας 1: Ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συνολικά και ειδικά από τη ναυτιλία για τα έτη 2007-2012. (Πηγή: Third IMO GHG Study, 2014)

Η απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα (CDR) αναφέρεται σε μια σειρά τεχνολογιών, στόχος των οποίων είναι η μαζική απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Η ιδέα αυτή είναι διαφορετική από τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα, καθώς πετυχαίνει στην ουσία αρνητική εκπομπή (Wikipedia, 2018). Μεταξύ αυτών των τεχνολογιών είναι η απευθείας δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα από τον αέρα, η παραγωγή βιοενέργειας από αυτόν τον άνθρακα, η ωκεάνια αλκαλοποίηση, η αποκατάσταση γης και δέσμευση άνθρακα στο έδαφος, η αναδάσωση. Τα σενάρια της IPCC προβλέπουν χρήση των τεχνολογιών CDR της τάξης των 100-1000 Gt CO₂ κατά τον 21^ο αιώνα. Ταυτόχρονα, κάποιες από αυτές τις τεχνολογίες, όπως η δέσμευση άνθρακα στο έδαφος και η αποκατάσταση φυσικών οικοσυστημάτων θα μπορούσαν να επιφέρουν και παράπλευρα πλεονεκτήματα, όπως πιο ισορροπημένη βιοποικιλότητα, καλύτερη ποιότητα εδάφους και ασφάλεια τροφής σε τοπικό επίπεδο. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των τεχνικών αυτών δεν έχει αποδειχθεί σε μεγάλη κλίμακα (IPCC, 2018).

Το **μεθάνιο (CH₄)** απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα τόσο φυσικά όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Απελευθερώνεται σε περιβάλλοντα με χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, όπως βάλτους και χερσαίες εκτάσεις και μέσω των ριζών ορισμένων φυτών. Οι ανθρωπογενείς πηγές έχουν αυξήσει τις εκπομπές μεθανίου μέσω της αυξημένης χρήσης φυσικού αερίου και της εξόρυξης. Από τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης, η ατμοσφαιρική συγκέντρωσή του συνεχώς αυξάνεται (Εικόνα 4). Αποτελεί περίπου το 20% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Το μεθάνιο στην ατμόσφαιρα δεσμεύει θερμότητα 23 φορές πιο αποτελεσματικά από το CO₂, όμως η διάρκεια ζωής του είναι μικρότερη και κυμαίνεται από 10 ως 15 χρόνια (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011).



Εικόνα 4: Η συγκέντρωση μεθανίου στην ατμόσφαιρα από το 1984 μέχρι το 2002. (Πηγή: Greenhouse Gas Online)

Οι **υδρατμοί** είναι το πιο άφθονο αέριο θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της Γης. Ευθύνονται για τα δύο τρίτα περίπου του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου. Στην ατμόσφαιρα, τα μόρια νερού δεσμεύουν τη θερμότητα που εκπέμπει η γη και έπειτα την εκπέμπουν εκ νέου προς όλες τις κατευθύνσεις, θερμαίνοντας έτσι την επιφάνειά της πριν επιστρέψουν στο διάστημα. Οι μεταβολές της συγκέντρωσης υδρατμών στην ατμόσφαιρα δεν αποδίδονται άμεσα στην εκβιομηχάνιση, αλλά στις κλιματικές αλλαγές που σχετίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας, αφού ο θερμότερος αέρας μπορεί να κατακρατήσει πολύ περισσότερη υγρασία (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011).

Το **όζον (O₃)** είναι ένα αέριο που βρίσκεται και στη στρατόσφαιρα και στην τροπόσφαιρα. Το στρατοσφαιρικό όζον παράγεται φυσικά, μέσω της αντίδρασης της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας και του οξυγόνου, και προστατεύει τη ζωή στη Γη από την πρώτη. Το δε τροποσφαιρικό όζον δημιουργείται από χημικές αντιδράσεις μεταξύ των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) παρουσία ηλιακού φωτός. Οι εκπομπές από την εξάτμιση αυτοκινήτων, βιομηχανίες και χημικούς διαλύτες είναι μερικές από τις σημαντικότερες πηγές NO_x και VOC. Το τροποσφαιρικό όζον μολύνει την παρακείμενη ατμόσφαιρα της Γης, δυσκολεύει την αναπνοή και βλάπτει τις καλλιέργειες και τη βλάστηση, ενώ συμβάλλει σημαντικά και στις φωτοχημικές συγκεντρώσεις νέφους σε αστικά κέντρα (United States Environmental Protection Agency, 2014). Το αρνητικό είναι, ότι την ίδια στιγμή που τα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου καταστρέφουν το χρήσιμο στρατοσφαιρικό όζον, οι συγκεντρώσεις τροποσφαιρικού όζοντος έχουν αυξηθεί κατά 30% από τη Βιομηχανική Επανάσταση.

Το **νιτρώδες οξείδιο (N₂O)** παράγεται με βακτηριακές διεργασίες στο έδαφος και στο νερό. Η χρήση λιπασμάτων με άζωτο, η καύση ορυκτών καυσίμων και διάφορες βιομηχανικές χημικές διεργασίες όπως η επεξεργασία λυμάτων συμβάλλουν επίσης στην ατμοσφαιρική του

συγκέντρωση. Στις βιομηχανικές χώρες, αποτελεί το 6% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Είναι 310 φορές πιο αποτελεσματικό από το CO₂ στην απορρόφηση της θερμότητας. Από τις αρχές της βιομηχανικής επανάστασης, οι συγκεντρώσεις του έχουν αυξηθεί κατά περίπου 16% (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011).

Τα **φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου** είναι τα μόνα αέρια θερμοκηπίου που δεν έχουν συντεθεί με φυσικό τρόπο. Το μερίδιό τους στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου είναι περίπου 1.5%, όμως είναι εξαιρετικά ισχυρά. Μπορούν να δεσμεύσουν θερμότητα 22000 φορές πιο αποτελεσματικά από το CO₂ και παραμένουν στην ατμόσφαιρα για χιλιάδες χρόνια. Εκλύονται σε μικρότερες ποσότητες και καταργούνται σταδιακά σύμφωνα με κανονισμό της Ε.Ε.. Περιλαμβάνουν τους υδροφθοράνθρακες, που χρησιμοποιούνται για ψύξη, κατάψυξη και συστήματα κλιματισμού, το εξαφθοριούχο θείο (SF₆), που χρησιμοποιείται στην ηλεκτρονική βιομηχανία, και τους υπερφθοράνθρακες (PFC), που εκπέμπονται κατά την παραγωγή αλουμινίου. Τα πιο γνωστά φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου, οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα, αεροζόλ και διαλύματα καθαρισμού. Μπορούν να καταστρέψουν το στρατοσφαιρικό όζον (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011).

Αν και δεν είναι αέρια θερμοκηπίου, τα **αερολύματα (aerosols)** επηρεάζουν την ατμόσφαιρα. Τα αερολύματα είναι μικρά σωματίδια με διαμέτρους τυπικά μικρότερες του 1 μm, που προέρχονται από την καύση ή άλλες διεργασίες σε εργοστάσια και κινητήρες αυτοκινήτων, την καύση βιομάζας, καλλυντικά, φαρμακευτικά προϊόντα και είδη προσωπικής υγιεινής, παρασιτοκτόνα, απορρυπαντικά, μπογιές και άλλα (European Aerosol Federation, 2018). Τα αερολύματα μπορούν να απορροφήσουν και να διασκορπίσουν την ακτινοβολία. Αυτό προκαλεί είτε θέρμανση είτε ψύξη, ανάλογα με το αεροζόλ. Τα αερολύματα έχουν επίσης την ιδιότητα να σχηματίζουν σύννεφα και μπορούν επομένως να επηρεάσουν τον κύκλο του νερού και την κατακρήμνιση (Science Daily, 2016).

Η συνέχιση εκ μέρους της ανθρωπότητας των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, η οικονομική και άρα και η βιομηχανική ανάπτυξη, η επιμονή του τομέα της ενέργειας στα ορυκτά καύσιμα, η αύξηση του πληθυσμού και η διαχείριση των χρήσεων γης (αύξηση κτηνοτροφίας, αποψίλωση δασικών εκτάσεων) είναι οι παράμετροι που θα καθορίσουν την εξέλιξη της ανθρωπογενούς συνεισφοράς στην κλιματική αλλαγή στο μέλλον.

2.3. Επιπτώσεις

Η παγκόσμια **στάθμη της θάλασσας** αυξάνεται λόγω της τήξης του πολικού πάγου με την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, και λόγω της διόγκωσης της ωκεάνιας μάζας που συνεπάγεται η αύξηση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα την κατάκλυση παράκτιων περιοχών, βάλτων, υδροτόπων και δέλτα ποταμών (IPCC, 2018). Συνεπαγόμενη είναι η ανάγκη μετακίνησης των πληθυσμών που πλήττονται. Έρευνα που έγινε πάνω σε 136 μεγάλες πόλεις πληθυσμού πάνω από ένα εκατομμύριο έδειξε ότι περίπου 40 εκατομμύρια άνθρωποι (0.6% του παγκόσμιου πληθυσμού) είναι ήδη εκτεθειμένοι σε γεγονότα πλημμύρας ακτής με περίοδο επαναφοράς 100 χρόνια (Nicholls, et al., 2008). Επίσης, κινδυνεύουν οι παράκτιες περιοχές με αγροτική αξία,

καθώς και οι ακτογραμμές λόγω διάβρωσης. Ταυτόχρονα, δεν αποκλείεται η καταστροφή υδατικών πόρων λόγω διείσδυσης αλατούχων υδάτων με την αύξηση της ωκεάνιας στάθμης (IPCC, 2018).

Ταυτόχρονα, η κλιματική αλλαγή είναι συνδεδεμένη με πιο **ακραίες καιρικές συνθήκες**. Οι ξηρασίες και τα κύματα καύσωνα προβλέπεται να γίνουν πιο έντονα και τα κρύα κύματα να ατονήσουν. Μέχρι το τέλος του αιώνα, οι ημέρες ακραίας ζέστης (μονοήμερες εκδηλώσεις με περίοδο επαναφοράς 20 χρόνια υπό τις τωρινές συνθήκες) αναμένεται να αρχίσουν να εμφανίζονται κάθε δύο ή τρία χρόνια. Ωστόσο, και ο αριθμός των ημερών έντονων βροχοπτώσεων ανά έτος αναμένεται να αυξηθεί (NASA, 2019). Πιθανές πλημμύρες δύνανται να διαβρώσουν τα αγροτεμάχια, να βλάψουν τις καλλιέργειες και τα εδάφη και τελικά να μειώσουν τη συγκομιδή. Συνεπαγόμενη είναι επίσης και η αύξηση του αριθμού και της σοβαρότητας των τροπικών καταιγίδων και των κυκλώνων. Η ένταση, η συχνότητα και η διάρκεια των τυφώνων του Βόρειου Ατλαντικού, καθώς και η συχνότητα των τυφώνων κατηγορίας 4 και 5, έχουν ήδη αυξηθεί από τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Οι σχετικές συμβολές των ανθρώπινων και φυσικών αιτιών σε αυτές τις αυξήσεις δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί (NASA, 2019).

Η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε εξάτμιση των **υδατικών πόρων**, προκαλώντας έλλειψη πόσιμου νερού και ενδεχομένως ερημοποίηση ξηρών, ημίξηρων και ύφυγων περιοχών.

Σε ό,τι αφορά την **ανθρώπινη υγεία και ευημερία**, σε ορισμένες χώρες έχει σημειωθεί αύξηση του αριθμού των θανάτων που σχετίζονται με τον καύσωνα (IPCC, 2007). Επίσης, παρατηρούνται ήδη αλλαγές στην κατανομή ασθενειών που μεταδίδονται με το νερό, όπως η ελονοσία και ο δάγκειος πυρετός (IPCC, 2018). Ακόμη, οι κοινότητες του αναπτυσσόμενου κόσμου συχνά εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το φυσικό τους περιβάλλον, το οποίο γνωρίζει σήμερα σοβαρές διαταραχές, και διαθέτουν μάλιστα τους λιγότερους πόρους για να αντιμετωπίσουν την κλιματική αλλαγή.

Επιπλέον, οι υλικές ζημιές και οι βλάβες στις υποδομές, καθώς και στην ανθρώπινη υγεία, συνεπάγονται υψηλό κόστος για την κοινωνία και την **οικονομία**. Το διάστημα 1980-2011, οι πλημμύρες έπληξαν περισσότερα από 5.5 εκατομμύρια άτομα και προκάλεσαν άμεσες οικονομικές ζημιές άνω των 90 δισεκατομμυρίων ευρώ (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011). Τομείς που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το επίπεδο της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων, όπως η γεωργία, η δασοκομία, η ενέργεια και ο τουρισμός ήδη πλήττονται σε μεγάλο βαθμό.

Όσον αφορά στην άγρια **χλωρίδα και πανίδα**, η κλιματική αλλαγή επέρχεται εξαιρετικά γρήγορα στα οικοσυστήματα και πολλά είδη φυτών και ζώων αγωνίζονται να αντιμετωπίσουν την κατάσταση. Ήδη παρατηρείται μείωση της σοδειάς καλαμποκιού, σίτου και ρυζιού, ειδικά στην Υποσαχάρια Αφρική, τη Νοτιοανατολική Ασία, την Κεντρική και Νότια Αμερική, καθώς και μεταβολή στη θρεπτική αξία του ρυζιού και του σίτου, η οποία σχετίζεται με το CO₂ (IPCC, 2018). Η τούνδρα υψηλού γεωγραφικού πλάτους και τα βόρεια δάση αντιμετωπίζουν ιδιαίτερο κίνδυνο υποβάθμισης ενόψει της τήξης των πάγων (IPCC, 2018). Ακόμη, πολλά είδη έχουν ήδη μετακινηθεί προς νέες περιοχές. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι από τα 105000 είδη που μελετήθηκαν, 6% των εντόμων, 8% των φυτών και 4% των σπονδυλωτών αναμένεται να χάσουν

πάνω από τη μισή γεωγραφική περιοχή που τους αντιστοιχεί για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1.5°C (IPCC, 2018).

Τέλος, η οξύνιση των ωκεανών και η μείωση του οξυγόνου τους λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης CO₂ θα έχει αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη και την επιβίωση πολλών **θαλασσιών ειδών**, από άλγη μέχρι ψάρια. Σύμφωνα με μοντέλο της IPCC, αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1.5°C θα οδηγούσε σε μείωση της παγκόσμιας αλιείας κατά 1.5 εκατομμύριο τόννους, ενώ αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C θα οδηγούσε σε αντίστοιχη μείωση κατά περισσότερο από 3 εκατομμύρια τόννους (IPCC, 2018).

2.4. Πολιτικές Διαχείρισης

Το **Πρωτόκολλο του Κιότο** της United Nations Framework Convention on Climate Change που υπογράφηκε το 1997 και τέθηκε σε ισχύ το 2005 ήταν ένα πρώτο βήμα προς τη νομική δέσμευση των κρατών που συμμετέχουν να μειώσουν τις εκπομπές τους. Μέχρι σήμερα, έχει επικυρωθεί από 192 χώρες.

Η πρώτη φάση του πρωτοκόλλου, 2008-2012, είχε στόχο τη μείωση των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων κατά 8% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, ενώ το μέγεθος συνεισφοράς κάθε χώρας-μέλους ήταν καθορισμένο με βάση την οικονομική της κατάσταση και τη βιομηχανική της δομή. Μέχρι το 2005 είχε επικυρωθεί από 150 χώρες, συμπεριλαμβανομένου του συνόλου των 25 τότε χωρών της Ε.Ε.. Οι Η.Π.Α. και η Αυστραλία, ωστόσο, αποφάσισαν να μη συμμετάσχουν, και ο Καναδάς αποχώρησε πριν το τέλος της φάσης (Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, 2008).

Η δεύτερη φάση του πρωτοκόλλου, 2013-2020, ορίζεται από την τροπολογία της Ντόχα, σύμφωνα με την οποία οι συμμετέχουσες χώρες πρέπει να μειώσουν τις εκπομπές τους κατά τουλάχιστον 18% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η δε Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δεσμευτεί να τις μειώσει κατά 20%. Στη δεύτερη περίοδο συμμετέχουν 38 αναπτυγμένες χώρες, 28 από τις οποίες ανήκουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το κύριο μειονέκτημα του Πρωτοκόλλου του Κιότο είναι ότι μόνο αναπτυγμένες χώρες καλούνται να λάβουν δράση. Επίσης, λόγω του ότι οι Η.Π.Α., ο Καναδάς, η Ρωσία, η Ιαπωνία και η Νέα Ζηλανδία δεν συμμετέχουν, το Πρωτόκολλο έχει εφαρμογή μόνο στο 14% περίπου των παγκόσμιων εκπομπών. Για παράδειγμα, η Κίνα και άλλες χώρες με μεγάλες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου δεν έχουν δεσμευτικούς στόχους εκπομπών στα πλαίσια του πρωτοκόλλου (UNFCCC, 2018).

Ωστόσο, πάνω από 70 αναπτυσσόμενες και αναπτυγμένες χώρες έχουν υιοθετήσει **μη δεσμευτικά εθνικά προγράμματα** με στόχο τη μείωση των εκπομπών (UNFCCC, 2018). Σε επίπεδο Ε.Ε., τέτοιες πολιτικές και μέτρα περιλαμβάνουν αυξημένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική, ηλιακή, βιομάζα), συνδυασμένες εγκαταστάσεις θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, της βιομηχανίας, των οικιακών συσκευών, μείωση των εκπομπών CO₂ από τα νέα επιβατικά αυτοκίνητα, μέτρα μείωσης των εκπομπών από τη μεταποιητική βιομηχανία και τους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

Στο Συνέδριο για το Κλίμα που διεξήχθη το 2015 στο Παρίσι, συμφωνήθηκε ένα πλάνο δράσης ώστε η αύξηση της θερμοκρασίας να διατηρηθεί κάτω από τους 2° C. Τη **Συμφωνία των Παρισίων** υπέγραψαν περισσότερες από 55 χώρες, εκ των οποίων όλες οι χώρες της Ε.Ε., κάτι που αντιστοιχεί σε περισσότερο από 55% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η Συμφωνία τέθηκε σε ισχύ στα τέλη του 2016 (UNFCCC, 2018).

Οι **Συμφωνίες του Κανκούν** που εγκρίθηκαν κατά τη διάσκεψη του Ο.Η.Ε. για το Κλίμα στο Μεξικό το 2010, περιλαμβάνουν μια ολοκληρωμένη δέσμη στήριξης, χρηματοδότησης και ενίσχυσης της τεχνολογίας και των ικανοτήτων των αναπτυσσόμενων κρατών, ώστε να προσαρμοστούν στην αλλαγή του κλίματος και να υιοθετήσουν βιώσιμες πορείες προς οικονομίες χαμηλών εκπομπών. Οι συμφωνίες προβλέπουν, επίσης, μέτρα και συχνούς ελέγχους με στόχο τη μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη διατήρηση της μέσης παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από τους 2°C (UNFCCC, 2018). Οι συμφωνίες δεσμεύουν τις αναπτυγμένες χώρες να κινητοποιούν 100 δισεκατομμύρια δολάρια Η.Π.Α. ετησίως μέχρι το 2020 για τη χρηματοδότηση της κλιματικής βιωσιμότητας των αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να δημιουργήσουν ένα Πράσινο Ταμείο για το Κλίμα, μέσω του οποίου θα διοχετεύεται η χρηματοδότηση αυτή (European Environment Agency, 2016).

2.5. Η αντίθετη άποψη

Τα ακραία γεγονότα δρουν καθησυχαστικά σχετικά με το εάν το κλίμα αλλάζει. Η στατιστική θεωρία ακροτάτων χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει ότι η συχνότητα ακραίων συμβάντων εξαρτάται περισσότερο από τη μεταβλητότητα του κλίματος σε σχέση με τον μέσο όρο. Επομένως, η μέθοδος ανάλυσης πρέπει να ανιχνεύει την κλιματική μεταβλητότητα και να μην περιορίζεται σε μεταβολές στους μέσους όρους (Katz & Brown, 1992).

Σύμφωνα με αυτή την άποψη, τυχόν αύξηση της θερμοκρασίας, μείωση των βροχοπτώσεων ή μεταβολή του μέσου όρου άλλης κλιματικής παραμέτρου οφείλεται καθαρά στη μεταβλητότητα του κλίματος και δεν είναι ένδειξη κλιματικής αλλαγής.

3. Κλιματική Αλλαγή, Θάλασσα και Λιμενικά Έργα

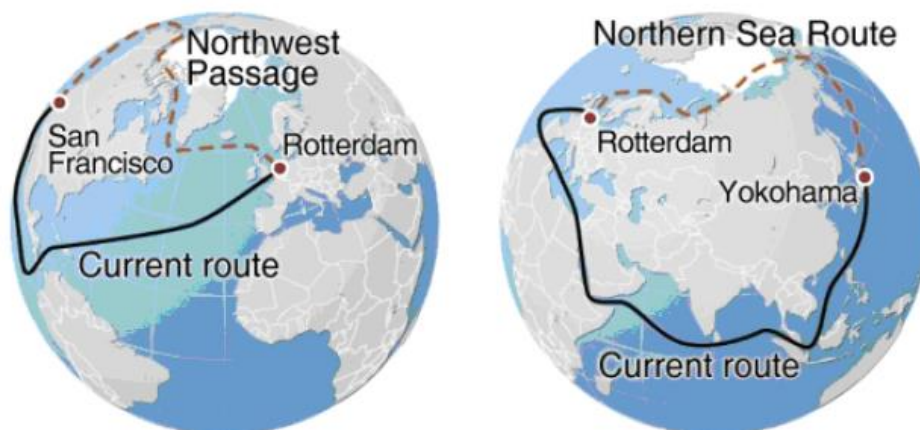
3.1. Γενικά

Η κλιματική αλλαγή επιδρά στα λιμενικά έργα με ποικίλους τρόπους. Η υπερύψωση της μέσης στάθμης της θάλασσας έχει ως αποτέλεσμα τη **μείωση του ελεύθερου περιθωρίου των έργων** και άρα την **αύξηση της κυματικής υπερπήδησής τους**, οδηγώντας σε **μεγαλύτερη μετάδοση ενέργειας εντός της λιμενολεκάνης**. Η μεταβολή της συχνότητας και του μεγέθους των ακραίων αιολικών γεγονότων απειλεί την ευστάθεια των έργων λόγω **πρόσπτωσης υψηλότερων κυμάτων** και **ανάπτυξης ισχυρότερων ρευμάτων**. Ταυτόχρονα, τυχόν **αλλαγές στην κύρια διεύθυνση της πνοής ανέμου** και άρα του χαρακτηριστικού κύματος απειλούν επίσης την ευστάθεια των έργων, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για άλλες συνθήκες.

Εάν τα έργα δεν θωρακιστούν έναντι κλιματικής αλλαγής, είναι εμφανής ο κίνδυνος παρεμπόδισης της λειτουργικότητάς τους. Η πιθανή αστοχία κυματοθραυστών, η θέση σε ανενεργία κρηπιδοτοίχων με ανεπαρκές ελεύθερο περιθώριο, η επιτάχυνση της **συγκέντρωσης φερτών** στο δίαυλο εισόδου και τη λιμενολεκάνη, η **συσσώρευση ομβρίων και θαλάσσιων υδάτων στους χώρους του λιμένα** λόγω ανεπαρκούς αποστράγγισης και η συνεπαγόμενη **έκθεση των φορτίων, του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων σε κίνδυνο**, είναι μόνο μερικές από τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στα λιμενικά έργα. Οι αρνητικές συνέπειες στο εμπόριο, τον τουρισμό, την αλιεία και την υδατοκαλλιέργεια είναι προφανείς.

Ωστόσο, υπάρχουν και έμμεσες επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στα λιμενικά έργα. Η μεταβολή της οξύτητας και της αλατότητας των ωκεανών ενδέχεται να οδηγήσει σε **διάβρωση των έργων**. Ακόμη, **πιθανός αποκλεισμός του λιμένα** κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων, θα προκαλέσει αδυναμία διανομής των αγαθών στο δίκτυο και θα απαιτήσει μεγαλύτερη αποθηκευτικότητα που ίσως δεν υπάρχει, προκαλώντας υποβάθμιση της φήμης του.

Ωστόσο, έχουν σημειωθεί και θετικές συνέπειες της αύξησης της στάθμης της θάλασσας. Όσο οι πάγοι στην Αρκτική λιώνουν, νέοι θαλάσσιοι δρόμοι, διαθέσιμοι να εξυπηρετήσουν την από θάλασσας μεταφορά αγαθών, ανοίγουν (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Πιθανοί νέοι θαλάσσιοι δρόμοι λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας. (Πηγή: United Nations Environment Programme-Grid Arendal)

Το ενδεχόμενο άνοιγμα μιας θαλάσσιας διαδρομής που θα συνδέει τον Ατλαντικό και τον Ειρηνικό Ωκεανό μέσω των βόρειων ακτών της Αλάσκας και του Καναδά θα μπορούσε να λειτουργήσει ως εναλλακτική στην προσφάτως (2016) επεκτεταμένη διώρυγα του Παναμά. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι το 2010 η διώρυγα του Παναμά αποκλείστηκε από την κυκλοφορία λόγω ακραίας καταιγίδας, κάνοντας έτσι φανερή την πρόκληση που δέχεται από την κλιματική αλλαγή. Επίσης, η θαλάσσια διαδρομή ανάμεσα στη Βόρεια Ευρώπη και την Άπω Ανατολή (Ιαπωνία, Κορέα, Βόρεια Κίνα) αναμένεται να μειωθεί κατά 2500 μίλια, δηλαδή κατά 30% (Pereira & Cavalcante, 2016).

3.2. Κλιματική αλλαγή και στάθμη της θάλασσας

Αναβαθμίζοντας ένα έργο ή ελέγχοντας την επάρκειά του, χρειάζεται να μελετηθεί και η μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας, αλλά και η τοπική και προσωρινή λόγω μετεωρολογικών επιδράσεων, η λεγόμενη μετεωρολογική παλίρροια. Ο συνδυασμός των δύο αυτών επιδράσεων μειώνει το ελεύθερο περιθώριο της στέψης των κυματοθραυστών και των κρηπιδοτοίχων και ενδέχεται να οδηγήσει σε αύξηση της κυματικής υπερπήδησης.

3.2.1. Μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας

Η μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας οφείλεται αφενός στην τήξη των πάγων, αφετέρου στη διόγκωση του αλμυρού νερού με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η παγκόσμια μέση τιμή της στάθμης έχει αυξηθεί κατά 178 mm τα τελευταία 100 χρόνια. Ο ρυθμός αύξησής της είναι 3.2 mm ανά χρόνο με βάση τα δεδομένα της περιόδου 1993-2018 (NASA, 2018), ενώ την περίοδο 1901-1990 ήταν μόνο 1.5 mm ανά χρόνο (Gregory, 2014).

Τα περισσότερα σενάρια κλιματικής αλλαγής προβλέπουν την αύξηση της στάθμης με χρονικό ορίζοντα το 2100. Ωστόσο, το φαινόμενο θα εξακολουθήσει, με ρυθμό ανάλογο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (IPCC, 2018).

Η επιτάχυνση της τήξης των πάγων που παρατηρήθηκε την τελευταία δεκαετία μπορεί να οδηγήσει από μόνη της σε περαιτέρω αύξηση της μέσης στάθμης μέχρι το 2100 κατά 0.1 ως 0.25 m (Meier, et al., 2007).

Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1.5°C αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας από 0.26 ως 0.77 m μέχρι το 2100, δηλαδή αύξηση στάθμης μικρότερη κατά 0.1 m σε σχέση με την αντίστοιχη για αύξηση θερμοκρασίας κατά 2°C. Η διαφορά αυτή θα σήμαινε ότι περίπου 10 εκατομμύρια λιγότεροι άνθρωποι θα εκτίθεντο στους σχετικούς κινδύνους, με βάση τον πληθυσμό του 2010 και υποθέτοντας ότι δεν εφαρμόζεται κανένα μέτρο προσαρμογής (IPCC, 2018).

Το πιο χαλαρό σενάριο της IPCC, το RCP 2.6, προβλέπει αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας κατά 0.28–0.61 m μέχρι το 2100. Το RCP 8.5, που είναι και το δυσμενέστερο, προβλέπει αύξηση

κατά 0.53–0.98 m μέχρι το 2100, με ρυθμό που θα αγγίξει τα 8-16 mm ανά χρόνο την περίοδο 2081-2100 (Gregory, 2014).

Ωστόσο, η προσέγγιση της μπανιέρας (bathtub approach), η οποία προτείνει μια ομοιόμορφη αύξηση παντού, είναι μια μάλλον μη ρεαλιστική παραδοχή (Church & Clark, 2013). Το βαρυτικό πεδίο της Γης, η συγκέντρωση ιζημάτων, η τεκτονική κάθε περιοχής, η διαφορά θερμοκρασίας και αλατότητας του νερού σε διαφορετικές περιοχές και τα τοπικά καιρικά φαινόμενα δημιουργούν διαφορές ανάμεσα στην τοπική στάθμη της θάλασσας και στην παγκόσμια μέση τιμή. Επομένως, προκειμένου να αναβαθμιστεί ένα έργο, πρέπει να βρεθούν οι τάσεις μεταβολής της στάθμης στην εν λόγω περιοχή.

Σε ό,τι αφορά συγκεκριμένα τις ελληνικές θάλασσες, οι τάσεις μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης για την περίοδο 2000-2100, έχουν θετικό πρόσημο. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης αναμένεται στο Νότιο Αιγαίο (+4.6mm/yr), ενώ στο Βόρειο είναι ελαφρώς μικρότερος (+4.3mm/yr). Οι τάσεις στο Ιόνιο είναι σημαντικά χαμηλότερες, με τιμές +2.4mm/yr στο Βόρειο και +2.8mm/yr στο Νότιο (Μαμούτος, et al., 2014). Οι τιμές αυτές είναι κοντά στη μέση τάση που εκτιμάται συνολικά για τη Μεσόγειο και είναι ίση με $+3.0 \pm 0.5$ mm το χρόνο (Tsimplis, 2013).

Οι εκτιμήσεις αυτές παρατίθενται συνολικά στον Πίνακα 2.

Εκτίμηση Αύξησης της Στάθμης	Περιοχή Αναφοράς	Πηγή
+3.2 mm/y	μέση παγκόσμια στάθμη	NASA, 2018
+(3.3—7.1) mm/y	μέση παγκόσμια στάθμη	σενάριο RCP 2.6 της IPCC, 2014
+(6.2—11.4) mm/y	μέση παγκόσμια στάθμη	σενάριο RCP 8.5 της IPCC, 2014
$+3.0 \pm 0.5$ mm/y	Μεσόγειος	Tsimplis, 2013
+4.3 mm/yr	Βόρειο Αιγαίο	Μαμούτος, et al., 2014
+4.6 mm/yr	Νότιο Αιγαίο	Μαμούτος, et al., 2014
+2.4 mm/yr	Βόρειο Ιόνιο	Μαμούτος, et al., 2014
+2.8 mm/yr	Νότιο Ιόνιο	Μαμούτος, et al., 2014

Πίνακας 2: Εκτιμήσεις για την αύξηση της στάθμης της θάλασσας

3.2.2. Μετεωρολογική παλίρροια

Οι κύριοι μηχανισμοί πρόκλησης της μετεωρολογικής παλίρροιας είναι η πίεση και ο άνεμος. Η μεταβολή της στάθμης είναι, προφανώς, αντιστρόφως συσχετισμένη με την πίεση και θετικά συσχετισμένη με τον άνεμο. Οι δύο αυτοί παράγοντες είναι που καθορίζουν το παλιρροϊκό γεγονός, με διαφορετική ο καθένας συμβολή ανά περιοχή.

Με το μηχανισμό του αντίστροφου βαρομέτρου, μια τοπική αύξηση της πίεσης του επιφανειακού αέρα πάνω από τον ωκεανό παράγει μια μείωση στην επιφάνειά του κατά 1 cm ανά hPa (1 hPa=1 mbar). Δεδομένου ότι το νερό είναι πρακτικά ασυμπίεστο, αυτή η άσκηση πίεσης δεν γίνεται να οδηγήσει σε αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας συνολικά, αλλά μπορεί να επηρεάσει τις τοπικές τάσεις (Church & Gregory, 2001).

Ταυτόχρονα, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις μεταβολής του κλίματος που σχετίζονται με ακραία μετεωρολογικά γεγονότα υψηλότερης έντασης και συχνότητας ανέμων (Galiatsatou & Prinos, 2015). Οι άνεμοι αυτοί είναι δυνατόν να ευνοήσουν τη συσσώρευση υδάτων κοντά στην ξηρά, ανάλογα με τη διεύθυνσή τους και τον προσανατολισμό της εν λόγω περιοχής (Κρεστενίτης, et al., 2014).

Συγκεκριμένα στις ελληνικές θάλασσες, η μετεωρολογική παλίρροια συνδέεται περισσότερο με την πίεση της ατμόσφαιρας, παρά με την ανεμολογική δίαίτα (Makris, et al., 2015).

Η κλιματική αλλαγή συνδέεται με μείωση της διάρκειας και της χωρικής κάλυψης των ακραίων γεγονότων μετεωρολογικής παλίρροιας. Η τάση του φαινομένου για την περιοχή της Μεσογείου είναι φθίνουσα, με ρυθμό που αυξάνεται τη δεύτερη πεντηκονταετία του 21^{ου} αιώνα. Οι υψηλότερες τιμές διάρκειας εμφανίζονται στο πρώτο μισό, και οι χαμηλότερες από το 2050 και έπειτα. Ωστόσο, αυτό δεν συνεπάγεται μείωση των ακροτάτων. Η επικινδυνότητα του φαινομένου είναι μεγάλη, ιδιαίτερα για παράκτιες περιοχές χαμηλού υψομέτρου (Κρεστενίτης, et al., 2014).

Ο συντελεστής μετεωρολογικής παλίρροιας SSI (Storm Surge Index) χρησιμοποιείται συχνά για την περιγραφή του φαινομένου. Ορίζεται ως ο μέσος όρος των τριών μεγίστων μετεωρολογικών παλιρροιών ανά χρόνο με απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 5 μέρες.

Στην πλειονότητα των ελληνικών περιοχών, ο δείκτης αυτός παρουσιάζει σημαντική αύξηση το διάστημα 2000-2050 σε σχέση με την περίοδο 1950-2000, και στη συνέχεια, το διάστημα 2050-2100, παρουσιάζει μείωση (Πρίνος, 2014).

Για το Βόρειο Αιγαίο, η μέγιστη τιμή του συντελεστή για το διάστημα 1950-2100 προβλέπεται μεγαλύτερη από 40 cm (Krestenitis, et al., 2015). Η αύξησή του για την περιοχή αυτή αγγίζει το 19.7% για περίοδο επαναφοράς 100 ετών, και η μετέπειτα μείωση το 18.6% (Galiatsatou & Prinos, 2015). Συγκεκριμένα στο Θρακικό Πέλαγος, παρατηρείται αύξηση των μεγίστων κατά 15%, και έπειτα μείωση κατά επίσης 15% (Prinos, 2012).

Για το Νότιο Αιγαίο, η μέγιστη τιμή του συντελεστή αναμένεται να μην υπερβεί τα 30 cm (Krestenitis, et al., 2015). Η αύξηση αυτή φτάνει το 9% and 9.2% στις περιοχές των Χανίων και του Ηρακλείου αντίστοιχα, ενώ η μετέπειτα μείωση στις ίδιες περιοχές φτάνει το 12% και το 12.7% (Galiatsatou & Prinos, 2015). Στην Κρητική ακτογραμμή ο δείκτης παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές (Πρίνος, 2014).

Για το Κεντρικό Αιγαίο, ο συντελεστής κυμαίνεται περί τα 35 cm (Krestenitis, et al., 2015).

Στο Ιόνιο, αναμένεται πολύ έντονη μετεωρολογική παλίρροια, με μέγιστη αύξηση της στάθμης της θάλασσας μεγαλύτερη από 60 cm (Krestenitis, et al., 2015). Ωστόσο, παρατηρείται σταθερότητα στις αιχμές του μεγέθους ανάμεσα στις περιόδους 1950-2000 και και 2000-2050, ενώ την περίοδο 2050-2100 παρατηρείται μείωση, που μάλιστα αγγίζει το 16.7% στην περιοχή της Κέρκυρας (Galiatsatou & Prinos, 2015).

Στην Κύπρο αναμένονται υψηλές τιμές του συντελεστή SSI, που ενδέχεται να ξεπεράσουν τον αντίστοιχο μέσο όρο για τη Μεσόγειο, ο οποίος εκτιμάται περί τα 22 cm (Κρεστενίτης, et al., 2014).

Οι μέγιστες εκτιμώμενες τιμές μετεωρολογικής παλίρροιας που αναμένονται στον ελλαδικό θαλάσσιο χώρο για το διάστημα 1950-2100 παρουσιάζονται συνολικά στον Πίνακα 3.

Μέγιστη Εκτιμώμενη Μετεωρολογική Παλίρροια	Περιοχή Αναφοράς	Πηγή
>40 cm	Βόρειο Αιγαίο	Krestenitis, et al., 2015
35 cm	Κεντρικό Αιγαίο	Krestenitis, et al., 2015
≤30 cm	Νότιο Αιγαίο	Krestenitis, et al., 2015
60 cm	Ιόνιο Πέλαγος	Krestenitis, et al., 2015
22 cm	Μεσόγειος	Κρεστενίτης, et al., 2014
>22 cm	Κύπρος	Κρεστενίτης, et al., 2014

Πίνακας 3: Μέγιστη εκτιμώμενη τιμή μετεωρολογικής παλίρροιας στον ελλαδικό θαλάσσιο χώρο για το διάστημα 1950-2100

3.3. Κλιματική αλλαγή και κυματικό κλίμα

Στο Βόρειο Αιγαίο, παρατηρείται αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος για την περίοδο 2000-2050, συγκριτικά με την περίοδο 1950-2000, και έπειτα, την περίοδο 2050-2100, παρατηρείται μείωσή του συγκριτικά με την περίοδο 2000-2050. Ενδεικτικά, στην περιοχή του Θρακικού Πελάγους η εν λόγω αύξηση φτάνει το 14%, ενώ η μετέπειτα μείωση δεν είναι άξια λόγου. Στην περιοχή της Λέσβου, η εν λόγω αύξηση φτάνει το 19%, ενώ η μετέπειτα μείωση το 9%.

Στο Νότιο Αιγαίο, η κλιματική αλλαγή δεν είναι τόσο εμφανής, αν και την πενήκονταετία 2050-2100 παρατηρείται μια ελαφριά αύξηση των αιχμών (Γαλιατσάτου & Πρίνος, 2014).

4. Προσαρμογή Λιμενικών Έργων στην Κλιματική Αλλαγή

4.1. Γενικά

Η προσαρμογή των λιμενικών έργων στην κλιματική αλλαγή περιλαμβάνει κατασκευαστικές και λειτουργικές μεθόδους.

Οι **κατασκευαστικές μέθοδοι** συνεπάγονται μεγάλα έργα που χρειάζονται κεφάλαιο, αυστηρό προγραμματισμό, αναβάθμιση των υφιστάμενων κατασκευών ή σχεδιασμό νέων.

Οι **λειτουργικές μέθοδοι** περιλαμβάνουν σταδιακές αλλαγές που έχουν στόχο να εξακολουθήσει ο λιμένας να ανταποκρίνεται στις λειτουργίες του και στις ανάγκες για τις οποίες σχεδιάστηκε.

Σε αυτές τις δύο κατηγορίες μεθόδων προσαρμογής εμπίπτουν τρεις στρατηγικές:

- ❖ προστασίας του λιμένα από την υψηλότερη στάθμη θάλασσας και τα υψηλότερα κύματα,
- ❖ διαχείρισης των ακραίων καταστάσεων επιτρέποντας όμως στο λιμένα να εκτεθεί σε αυτές,
- ❖ απομάκρυνσης (Mills-Knapp, et al., 2011).

Οι **στρατηγικές προστασίας** καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα παρεμβάσεων που αποσκοπούν στην αποτροπή της κατάκλυσης των χώρων του λιμένα από τα θαλάσσια ύδατα. Περιλαμβάνουν την αναβάθμιση των κυματοθραυστών, την προστασία του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων που βρίσκονται κοντά στο νερό με τεχνητά φράγματα και την αύξηση της στέψης των κρηπιδοτοίχων και των προβλητών.

Οι **στρατηγικές διαχείρισης** επιτρέπουν την κατάκλυση κάποιας περιοχής του λιμένα, κρατώντας όμως υπό έλεγχο τις ζημιές. Περιλαμβάνουν τη διαχείριση της αυξημένης απορροής ομβρίων και θαλάσσιων υδάτων στους χώρους του λιμένα κατά τη διάρκεια ακραίων μετεωρολογικών συμβάντων, την αντιμετώπιση της αυξημένης συσσώρευσης φερτών στο δίαυλο εισόδου και στη λιμενολεκάνη και την εντατική συντήρηση των υποδομών.

Η **απομάκρυνση**, ως τελευταία διέξοδος, συνεπάγεται την προγραμματισμένη απόσυρση από μια περιοχή όπου ούτε η προστασία ούτε η διαχείριση είναι εφικτή, και τη μετακίνηση των υποδομών και των λειτουργιών του λιμένα σε άλλη θέση, εξίσου κατάλληλη και σε ασφαλή απόσταση από το νερό.

Τα μέτρα που συστήνει καθεμία από τις στρατηγικές προσαρμογής παρουσιάζονται στη συνέχεια συνολικά στον Πίνακα 4, και αναλύονται στα επόμενα υποκεφάλαια.

Στρατηγικές Προστασίας		Στρατηγικές Διαχείρισης		Στρατηγική Απομάκρυνσης
Αναβάθμιση Κυματοθραύστη		Τεχνητά Φράγματα		Υπερύψωση Ολόκληρου του Λιμένα
Αναβάθμιση Κυματοθραύστη με Πρανή	Αναβάθμιση Κυματοθραύστη με κατακόρυφο Μέτωπο	Προσωρινά Φράγματα	Μόνιμα Φράγματα	Υπερύψωση Προβλήτα
Υφάλου	Εφάλου	Επαναδιαμόρφωση σε Διατομή με Πρανή	Ημιμόνιμα Φράγματα	Διαχείριση της Αυξημένης Συσσώρευσης Υδάτων
Αύξηση του Πλάτους	Προσθήκη Στρώσης Θωράκισης	Σάκοι με Άμμο	Tiger Dam	Ενίσχυση Εγκάρσιας κλίσης
Μείωση του ελεύθερου περιθωρίου	Επαναδιαμόρφωση με Απορροφητικό Μέτωπο	Αυτοδογκώμενοι Σάκοι Χωρίς Άμμο	Metalith	Δεξαμενές συγκράτησης
	Προσθήκη αναβαθμού	Αυτοεργονοποιημένο Φράγμα Water-Gate	Φράγμα από Καουτσούκ	Παγίδες (ζημάτων)
	Προσθήκη Υφάλου	Aqma Fence	Τοίχος από Πασσαλοσανίδες	Αντικατάσταση Υλικών
	Προσθήκη Κυματοθραύστη Ανάντη	Φράγμα από Φορητούς Κυλίνδρους	Τοίχιο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Βυθοκόρηση
	Προσθήκη Αύξηση του Πλάτους			Πράσινες Στέγες
	Στέψης			

Πίνακας 4: Σύνοψη των μεθόδων προσαρμογής

4.2. Στρατηγικές προστασίας

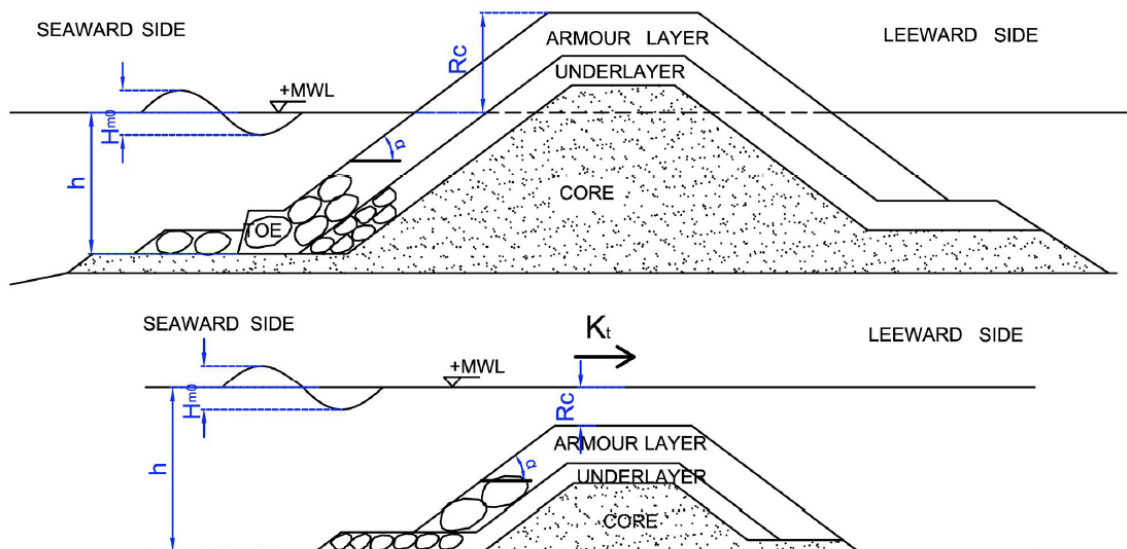
4.2.1. Μεθοδολογία αναβάθμισης κυματοθραύστη με πρανή

Όπως ειπώθηκε ήδη, κατά την αναβάθμιση ενός κυματοθραύστη, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας και η προσωρινή λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας.

Η συνδυασμένη επίδραση της ανόδου της στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής και μετεωρολογικής παλίρροιας είναι μεγαλύτερη, παρά των κυματικών χαρακτηριστικών. Γι' αυτό το λόγο, υπάρχει μεγαλύτερο πρόβλημα σε κυματική υπερπήδηση και κυματική διάδοση στη λιμενολεκάνη παρά σε ευστάθεια (Πρίνος).

Οι κυματοθραύστες με πρανή διακρίνονται σε έξαλους και ύφαλους (Εικόνα 6). Οι έξαλοι κυματοθραύστες απορροφούν ενέργεια μέσω θραύσης στην εμπρόσθια κλίση τους και τυρβώδους ροής στον πυρήνα τους. Στόχος τους είναι η προστασία του εσωτερικού του λιμένα από τους κυματισμούς της ανοιχτής θάλασσας. Οι ύφαλοι κυματοθραύστες λειτουργούν με τμηματική ανάκλαση της κυματικής ενέργειας, μερική απορρόφηση λόγω θραύσης και μερική μετάδοση διαμέσου τους. Χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της διάβρωσης της ακτής παράλληλα με την οποία κατασκευάζονται, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την προστασία ενός κυματοθραύστη στα κατάντη τους. Στα πλαίσια αυτής της χρήσης τους αναφέρονται εδώ και διερευνάται η αναβάθμισή τους.

Οι κυματοθραύστες με πρανή συνήθως είναι τραπεζοειδείς και περιλαμβάνουν, με σειρά από έξω προς τα μέσα, μία ή δύο στρώσεις θωράκισης αποτελούμενες από μονάδες φυσικού βράχου ή σκυροδέματος, υπόστρωμα από βράχο και πυρήνα από λεπτόκοκκο υλικό. Η διάρκεια ζωής τους ορίζεται από 30 ως 70 χρόνια, και σχεδιάζονται για ακραία γεγονότα με περίοδο επαναφοράς 50 ή 100 χρόνια.

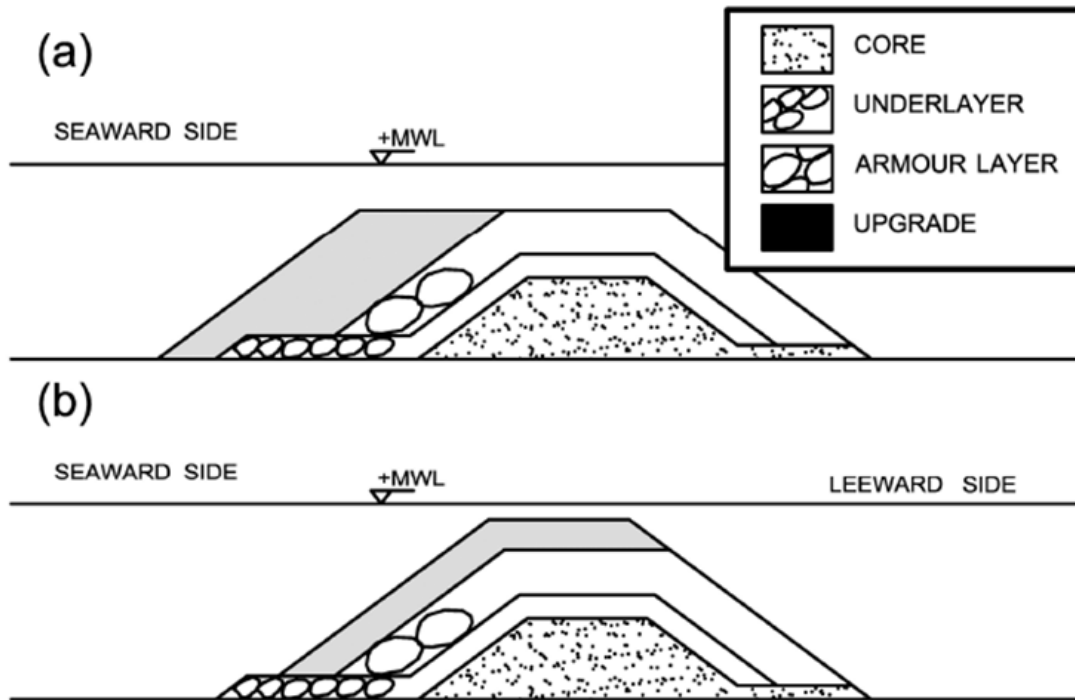


Εικόνα 6: Έξαλος και ύφαλος κυματοθραύστης. (Πηγή: Koftis, et al., 2015)

Τα κριτήρια επίδοσης των έξαλων κυματοθραυστών είναι η ευστάθεια θωράκισης και ποδός, το φορτίο υπερχειλίσης και η μετάδοση κυματισμού (Galiatsatou, et al., 2018). Τα κριτήρια επίδοσης των ύφαλων κυματοθραυστών είναι ο βαθμός ακεραιότητας της θωράκισης και η κυματική διάδοση κατάντη (Koftis, et al., 2015).

Η ιδέα είναι να αναβαθμιστούν οι δύο αυτοί τύποι κατασκευών προσθέτοντας δομικά στοιχεία ή τροποποιώντας τα υπάρχοντα, με στόχο να παραμείνουν λειτουργικές έναντι της αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας, της αυξημένης μετεωρολογικής παλίρροιας και της όξυνσης του κυματικού κλίματος.

Συγκεκριμένα για τους **ύφαλους κυματοθραύστες**, ο περιορισμός είναι μετά την ανακατασκευή τους να παραμένουν ύφαλοι. Η αναβάθμισή τους επιτυγχάνεται είτε με **αύξηση του πλάτους** της κατασκευής αφήνοντας το βύθισμα σταθερό (Εικόνα 7, Σχήμα a) είτε με **προσθήκη στρώσης θωράκισης**, μειώνοντας το ελεύθερο περιθώριο της κατασκευής, εφόσον μπορεί έτσι η κατασκευή να παραμείνει ύφαλη (Εικόνα 7, Σχήμα b).

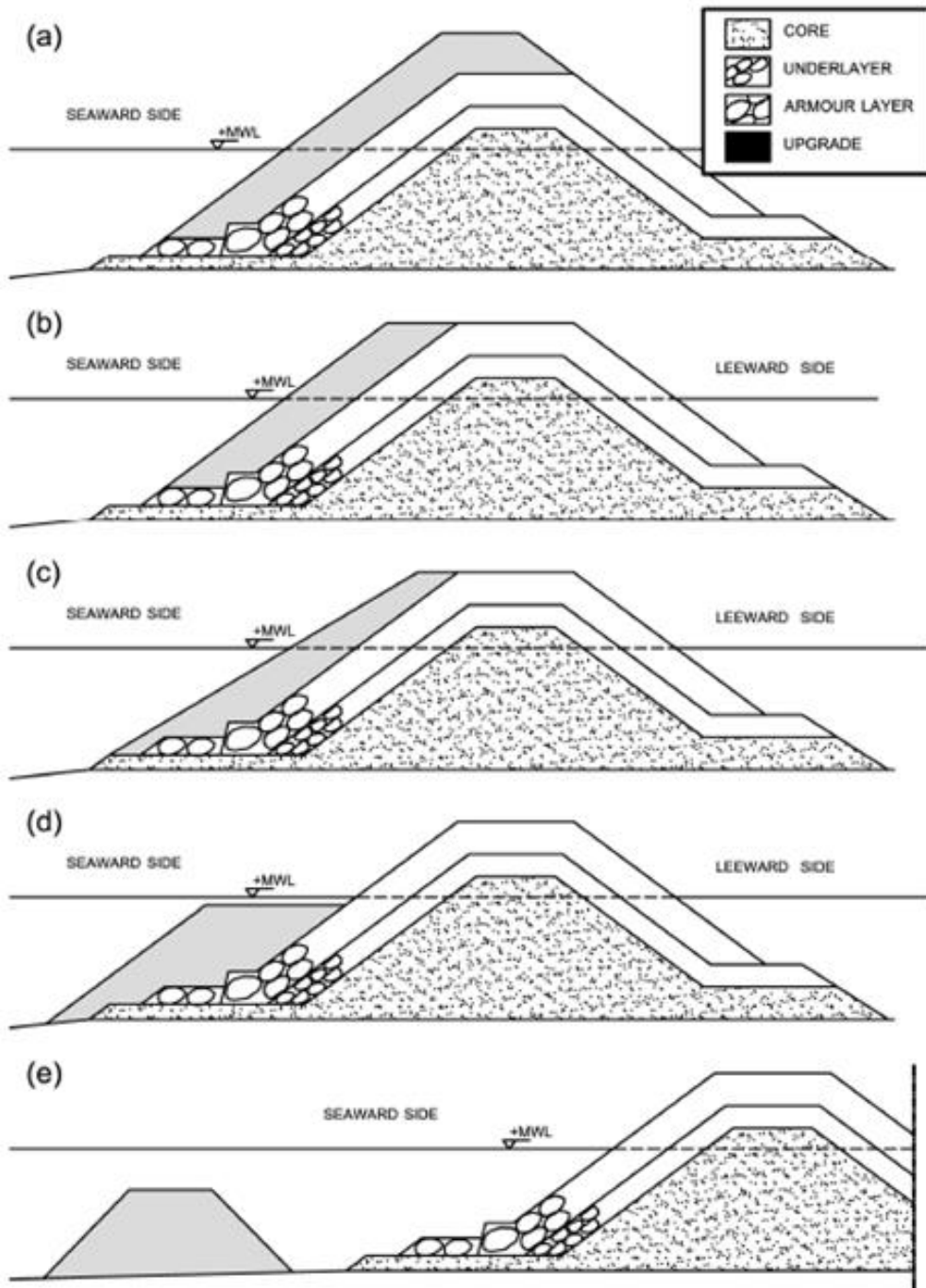


Εικόνα 7: Αναβάθμιση ύφαλου κυματοθραύστη. (Πηγή: Koftis, et al., 2015)

Σε ό,τι αφορά τους **έξαλους κυματοθραύστες**, οι εναλλακτικοί τρόποι αναβάθμισης είναι η **προσθήκη στρώσης θωράκισης**, με ίδια ή ηπιότερη κλίση (Εικόνα 8, Σχήματα a, b, c), η **προσθήκη αναβαθμού** (Εικόνα 8, Σχήμα d), και η κατασκευή ενός **ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη** (Εικόνα 8, Σχήμα e) (Koftis, et al., 2015).

Η προσθήκη νέας στρώσης θωράκισης έχει ήπια επίδραση στην ευστάθεια, και επιπλέον μειώνει τον κίνδυνο από κυματική υπερπήδηση μέσω της διάχυσης της κυματικής ενέργειας, ειδικά αν διαμορφωθεί με ηπιότερη κλίση. Ο αναβαθμός προστατεύει τον πόδα έναντι έκπλυσης και επιπλέον αυξάνει την υδραυλική επίδοση της κατασκευής. Τέλος, μια πρόσθετη κατασκευή

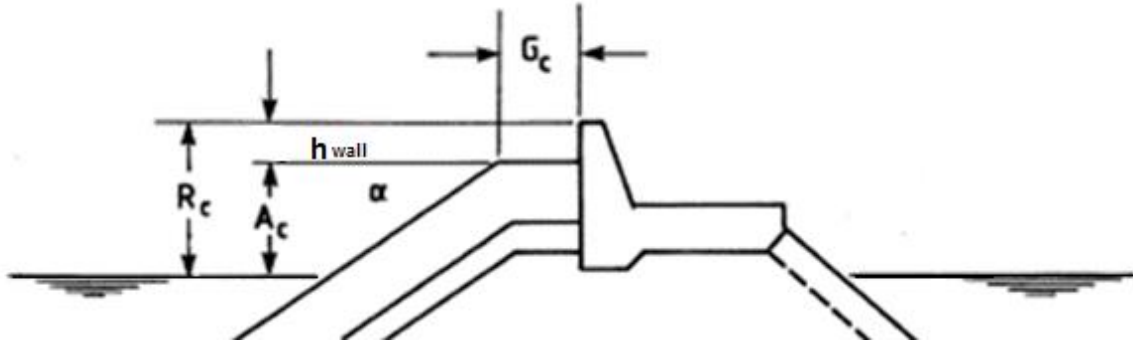
ανάντη τροποποιεί τα χαρακτηριστικά του κύματος που φτάνει στον κυματοθραύστη αυξάνοντας και την ευστάθειά του και την αποτελεσματικότητά του έναντι υπερπήδησης.



Εικόνα 8: Αναβάθμιση έξαλου κυματοθραύστη. (Πηγή: Koftis, et al., 2015)

Σε ό,τι αφορά ειδικά την κυματική υπερπήδηση, θετική επίδραση έχουν ως λύσεις η **προσθήκη προφυλακτήριου τοίχου** ή η αύξηση του ύψους του αν υπάρχει, καθώς και η **αύξηση του πλάτους της θωράκισης της στέψης** του κυματοθραύστη (Εικόνα 9). Η διαμόρφωση του προφυλακτήριου τοίχου ως κοίλου έχει καλύτερη απόδοση σε σχέση με κάθετο προφυλακτήριο τοίχο ίδιου ύψους. Ωστόσο, υπερβολικό ύψος του προφυλακτήριου τοίχου έχει αρνητικές

συνέπειες στην ευστάθεια του έργου κατά τη διάρκεια ακραίων γεγονότων, λόγω των ισχυρών υδροδυναμικών πιέσεων που συνεπάγεται η απευθείας κυματική πρόσκρουση στον τοίχο (Bradbury, et al., 1988).



Εικόνα 9: Χαρακτηριστικά μεγέθη προφυλακτήριου τοίχου

Τέλος, εφόσον περισσότερες από μία επιλογές είναι αποδεκτές και αποτελεσματικές υπό τις νέες συνθήκες, η τελική επιλογή της νέας γεωμετρίας γίνεται με βάση το κόστος.

4.2.2. Μεθοδολογία αναβάθμισης κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο

Σε ό,τι αφορά τους κυματοθραύστες με κατακόρυφο μέτωπο, η μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας, η προσωρινή λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας, καθώς και τα υψηλότερα κύματα κατά τη διάρκεια ακραίων γεγονότων δημιουργούν την ανάγκη για αύξηση της απορροφητικότητας του προσήνεμου μετώπου, του έξαλου ύψους ή συνδυασμό και των δύο. Η πρόκληση είναι η αναβαθμισμένη κατασκευή να είναι ευσταθής έναντι των νέων υψηλότερων κυμάτων, και να επιτρέπει υπερπήδηση εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

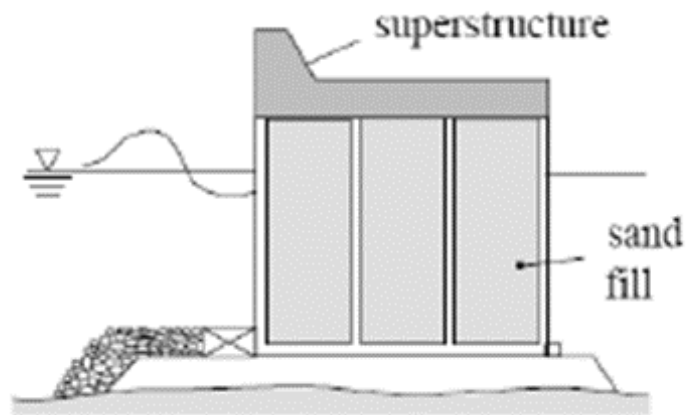
Όπου ο θαλάσσιος χώρος επαρκεί και υπάρχει διαθεσιμότητα των απαραίτητων υλικών, η προσήνεμη μεριά του θαλάσσιου τοίχου θα μπορούσε να **επαναδιαμορφωθεί με πρανή**, αυξάνοντας την απορροφητικότητα και περιορίζοντας την παροχή υπερπήδησης (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Επαναδιαμόρφωση κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο σε διατομή με πρανή.
(Πηγή: Oumeraci, 2001)

Μία άλλη εναλλακτική αναβάθμισης είναι η **προσθήκη προφυλακτήριου τοίχου** στην ανωδομή του κυματοθραύστη, με σκοπό τη μείωση της αναρρίχησης του κύματος πάνω στο κατακόρυφο μέτωπο και της κυματικής υπερπήδησης (Εικόνα 11).

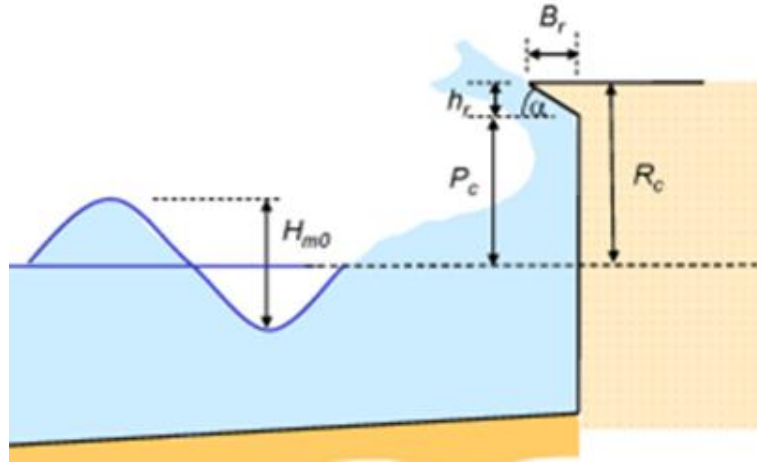
Ο τοίχος μπορεί να κατασκευαστεί **κοίλος** (Εικόνα 12), ή **με γωνιώδες παραπέτασμα** (Εικόνα 13), με στόχο την επιστροφή των κυμάτων στη θάλασσα και την περαιτέρω μείωση της κυματικής υπερπήδησης για ίδιο ύψος τοίχου



Εικόνα 11: Προσθήκη προφυλακτήριου τοίχου σε κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο.
(Πηγή: Oumeraci, 2001)



Εικόνα 12: Καμπύλος προφυλακτήριος τοίχος σε κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο.
(Πηγή: www.alamy.com, 2016)

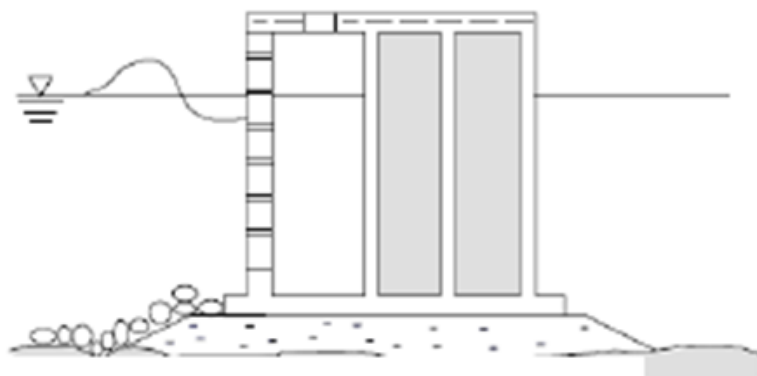


Εικόνα 13: Γωνιώδες παραπέτασμα σε κυματοθραύστη με κατακόρυφο μέτωπο. (Πηγή: Coeveld, et al., 2006)

Η επαναδιαμόρφωση του τοίχου με απορροφητικό μέτωπο εισάγει στο κατακόρυφο μέτωπο τα πλεονεκτήματα μίας διάταξης με πρηνή. Η πρακτική αυτή είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε περιοχές όπου είτε η θαλάσσια έκταση που απαιτεί η διαμόρφωση με πρηνή δεν είναι διαθέσιμη, είτε υπάρχει έλλειψη των απαιτούμενων υλικών.

Μία μορφή απορροφητικού μετώπου αποτελεί ο **διάτρητος κατακόρυφος τοίχος με θάλαμο κυμάτων**, ο οποίος φαίνεται στην Εικόνα 14. Πρόκειται για ένα caisson από οπλισμένο σκυρόδεμα με δύο θαλάμους, έναν ανοικτό στα κύματα μέσω ενός διάτρητου προσήνεμου μετώπου και έναν πληρωμένο με υλικό έρματος, για την αντίσταση της κατασκευής σε ολίσθηση. Το διάτρητο μέτωπο έχει στόχο την απορρόφηση της ενέργειας των στάσιμων κυμάτων που δημιουργούνται, μέσω του διαχωρισμού της ροής που επιτυγχάνεται (Allsop, 2005).

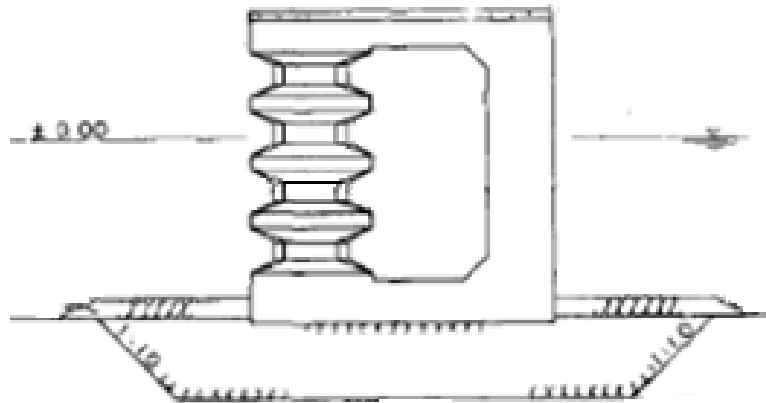
Τα σχήματα και η στοίχισή των διατρήσεων ποικίλουν, και σχεδιάζονται ώστε να επιτυγχάνουν την καλύτερη απορρόφηση ενέργειας υπό διαφορετικές συνθήκες κυματισμών. Υπάρχουν κυκλικές οπές, σε επίπεδο ή με κλίση, κάθετες και οριζόντιες σχισμές/εγκοπές.



Εικόνα 14: Διαμόρφωση κυματοθραύστη με απορροφητικό κατακόρυφο μέτωπο. (Πηγή: Oumeraci, 2001)

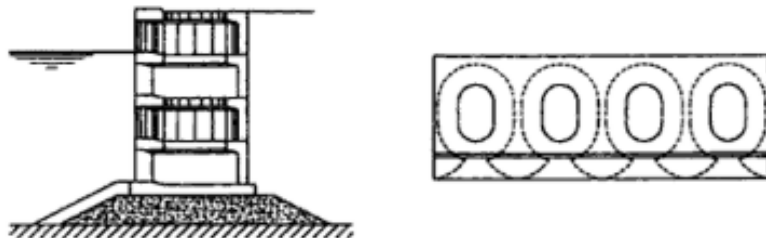
Κάποια από τα χαρακτηριστικά του διάτρητου μετώπου μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση **ειδικών τεχνητών ογκολίθων με κενά**, που παρατεταγμένοι σχηματίζουν έναν κυματοθραύστη. Τέτοιοι ογκόλιθοι είναι το Igloo, το Warock, το Neptune, το Monobar, το Crosshollow και το ARC.

Τα **Warock** είναι μονάδες από σκυρόδεμα που αποτελούνται από μια εξάγωνη κολώνα στο προσήνεμο μέτωπο, συνδεδεμένη με οριζόντια δοκό με έναν κατακόρυφο τοίχο στα κατάντη, σχηματίζοντας έτσι ένα θάλαμο (Εικόνα 15). Παρατάσσοντας αυτές τις μονάδες μέχρι το επιθυμητό ύψος, σχηματίζεται ένας απορροφητικός θαλάσσιος τοίχος. Ωστόσο, αυτός ο τύπος κυματοθραύστη έχει το μειονέκτημα του κόστους, αφού χρειάζεται εξειδικευμένη γνώση. Επίσης, η χρήση του περιορίζεται σε περιοχές όπου το βάθος νερού είναι μικρότερο από περίπου 6 m και η περίοδος κύματος είναι μικρότερη από περίπου 6 sec. Για μεγαλύτερα βάθη και κύματα μεγαλύτερης περιόδου, ο κυματοθραύστης πρέπει να προκατασκευαστεί, και να μεταφερθεί με γερανό στην επιθυμητή τοποθεσία (Ijima, et al., 1976).



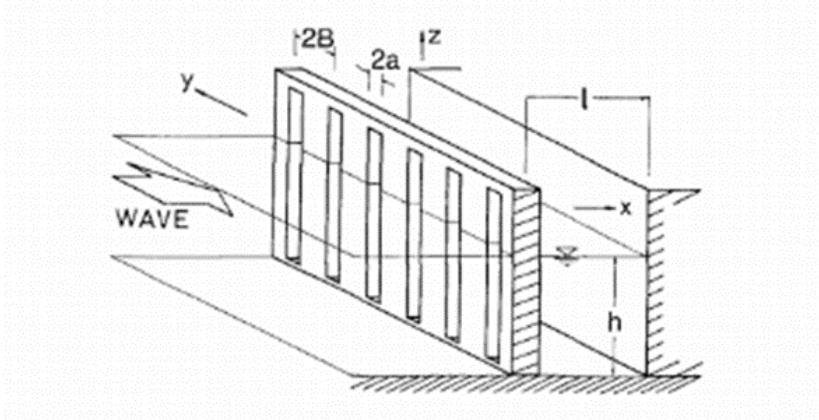
Εικόνα 15: Τομή κυματοθραύστη από τεχνητούς ογκολίθους Warock. (Πηγή: Ijima, et al., 1976)

Τα **Igloo** είναι μονάδες σκυροδέματος οι οποίες παρατεταγμένες δημιουργούν μια κυψελωτή κατασκευή με ανοίγματα (Εικόνα 16). Η αρχή λειτουργίας του κυματοθραύστη που προκύπτει είναι η κατακόρυφη κίνηση των κυμάτων να μετατρέπεται σε οριζόντια ροή μέσα στα οριζόντια κελιά, κι έτσι να απορροφάται η κυματική ενέργεια. Ωστόσο, και αυτός ο τύπος κυματοθραύστη έχει υψηλό κόστος, αφού απαιτεί εξειδικευμένη γνώση. Επίσης, τα Igloo δεν ενδείκνυνται για βάθη μεγαλύτερα από 5 m, και επομένως ενδείκνυνται περισσότερο για κρηπίδωμα, ή για κυματοθραύστη σε περιοχή με περιορισμένη έκθεση (PIANC, 1981).



Εικόνα 16: Τομή και κάτοψη κυματοθραύστη από τεχνητούς ογκολίθους Igloo. (Richard Allen, 1998)

Μία άλλη εναλλακτική αποτελεί το **απορροφητικό μέτωπο με κυλίνδρους** (Εικόνα 17). Αποτελείται από ένα διάτρητο μέτωπο με κατακόρυφες σχισμές και ένα συμπαγές κατακόρυφο μέτωπο κατάντη του. Οι σχισμές προκύπτουν από την αλληλουχία κυλίνδρων ορθογωνικής ή κυκλικής διατομής. Αυτοί οι κύλινδροι, τοποθετημένοι σε κοντινές αποστάσεις προκαλούν διαχωρισμό της ροής και επομένως εκτόνωση της ενέργειας των προσπιπτόντων κυμάτων (Kakuno, et al., 1992).



Εικόνα 17: Διαμόρφωση απορροφητικού μετώπου με κυλίνδρους. (Πηγή: Kakuno, et al., 1992)

4.2.3. Προσωρινά και ημιμόνιμα φράγματα

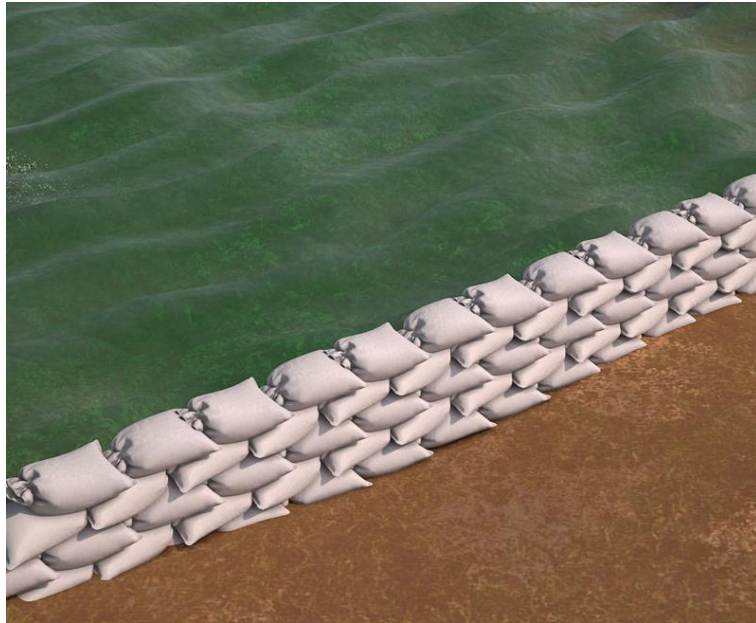
Τα φράγματα αυτά ενδείκνυται για περιοχές του λιμένα που έχουν χαμηλό ελεύθερο περιθώριο και ως αποτέλεσμα είναι ευάλωτες είτε σε μόνιμη κατάκλυση λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας, είτε σε προσωρινή λόγω ενός μεμονωμένου ακραίου καιρικού επεισοδίου. Χρησιμοποιούνται για να προστατεύσουν από το νερό τα κτίρια, τις λειτουργίες, τον εξοπλισμό και τα φορτία. Αποτελούν πιο συντηρητική λύση έναντι των μόνιμων και είναι πιο φθηνά και εύκολα στην εγκατάστασή τους. Ωστόσο, η κατασκευή τους απαιτεί χρόνο, ανθρώπινο δυναμικό και τεχνογνωσία που ίσως να μην είναι διαθέσιμα. Επίσης, απαιτούν συνεχή παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών ώστε να μπουν σε λειτουργία όταν ακριβώς χρειαστεί.

Ταυτόχρονα με την εφαρμογή προσωρινών ή ημιμόνιμων φραγμάτων, απαιτείται ένα σύστημα αποχέτευσης, για την εκτροπή των ομβρίων και θαλάσσιων υδάτων που διαρρέουν διαμέσου τους και των υπογείων υδάτων που τυχόν διηθούνται στο φρεάτιο υδροφορέα που δημιουργείται. Για την περίπτωση που αυτό το σύστημα αστοχήσει, είναι απαραίτητο και ένα σύστημα οργάνων στη στάθμη του νερού, για τη διασφάλιση του εξοπλισμού και του προσωπικού, και την πρόληψη ζημιών του ηλεκτρικού εξοπλισμού (Port of Long Beach & AECOM, 2016).

Τα **προσωρινά** φράγματα περιλαμβάνουν τα εξής (Port of Long Beach & AECOM, 2016):

Σάκοι με άμμο (Εικόνα 18): Το ύψος της δομής φτάνει μέχρι τα 90 cm, με το πλάτος να είναι 3 φορές μεγαλύτερο για λόγους ευστάθειας. Δεν ενδείκνυται για μακροπρόθεσμη κατάκλυση, καθώς ενέχουν την πιθανότητα αστοχίας. Απαιτούν πολύ εργατικό δυναμικό, και μπορεί να

χρειασούν πρόσβαση σε άμμο εάν το υπάρχον υλικό δεν είναι κατάλληλο. Τοποθετούνται όταν αναμένεται ακραίο συμβάν.



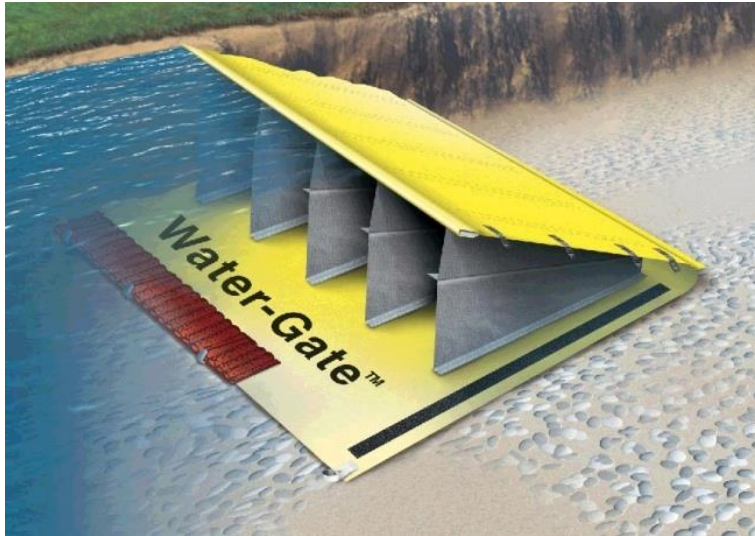
Εικόνα 18: Σάκοι με άμμο. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

Αυτοδιογκώμενοι σάκοι (Εικόνα 19): Το ύψος της κατασκευής είναι μέχρι 90 cm, ενώ το πλάτος της είναι 3 φορές μεγαλύτερο. Κατασκευάζονται από ένα ελαφρύ πολυμερές υλικό που διογκώνεται όταν εκτίθεται στο νερό. Δεν ενδείκνυνται για μακροπρόθεσμη κατάκλυση, καθώς ενέχουν την πιθανότητα αστοχίας. Απαιτούν και αυτά πολύ εργατικό δυναμικό. Τοποθετούνται όταν αναμένεται ακραίο συμβάν.



Εικόνα 19: Αυτοδιογκώμενοι σάκοι. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

Φράγμα Water-Gate (Εικόνα 20): Τοποθετείται επίπεδο, και ενεργοποιούμενο υπό τις υδατικές πιέσεις, δημιουργεί ένα εμπόδιο που συγκρατεί το νερό. Είναι κατασκευασμένο από PVC υψηλής αντοχής με ενσωματωμένο σύστημα έρματος. Το ύψος του κυμαίνεται από 15 cm έως 1.5 m. Έχει εποχιακή χρήση, και επαναχρησιμοποιείται για πολλά χρόνια.



Εικόνα 20: Φράγμα Water-Gate. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

Aqua Fence (Εικόνα 21): Δομή σχεδιασμένη για ταχεία τοποθέτηση. Κατασκευάζεται από πανέλα laminate κατάλληλα για επαφή με το αλμυρό νερό. Το ύψος της δομής κυμαίνεται από 1.2 έως 2.4 m. Έχει εποχιακή χρήση, και επαναχρησιμοποιείται για πολλά χρόνια.



Εικόνα 21: Aqua Fence. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

Φράγμα από φορητούς κυλίνδρους (Εικόνα 22): Αλληλοεμπλεκόμενα πλαστικά βαρέλια γεμάτα με νερό σχηματίζουν ένα επίπεδο που εμποδίζει το νερό. Το ύψος της δομής έχει εύρος από 1.2 έως 3.7 m. Έχει εποχιακή χρήση, και επαναχρησιμοποιείται για πολλά χρόνια.



Εικόνα 22: Φράγμα φορητών κυλίνδρων. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

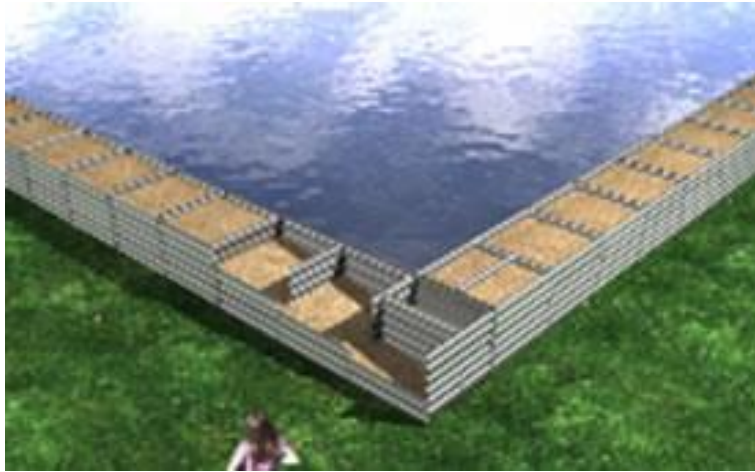
Τα **ημιμόνιμα** φράγματα περιλαμβάνουν τα εξής (Port of Long Beach & AECOM, 2016):

Tiger Dam (Εικόνα 23): Σωλήνες βινυλίου γεμάτοι με νερό ή τσιμεντοκονίαμα. Το ύψος της δομής είναι από 1.2 έως 2.1 m. Ανταποκρίνονται και στη μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Έχουν εποχιακή χρήση, και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν πολλά χρόνια.



Εικόνα 23: Tiger Dam. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

Metalith (Εικόνα 24): Κουτιά αλουμινίου γεμάτα με άμμο ή χώμα. Το ύψος της δομής είναι περίπου 2.1 m. Ανταποκρίνονται και στη μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Έχουν εποχιακή χρήση, και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για πολλά χρόνια.



Εικόνα 24: Metalith. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

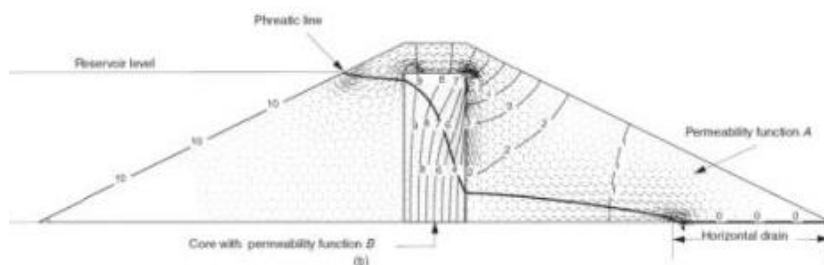
4.2.4. Μόνιμα φράγματα

Μετά από χρόνια, τα προσωρινά και τα ημιμόνιμα φράγματα δεν θα επαρκούν πλέον έναντι της αύξησης της στάθμης της θάλασσας και θα χρειάζεται μια μακροπρόθεσμη λύση. Ένα μόνιμο φράγμα (αναβαθμός, φράγμα από καουτσούκ, τοίχος από πασσαλοσανίδες, ή σπλισμένο τοίχιο από σκυρόδεμα) αποτελεί ιδανική λύση για πολύ χαμηλές αποβάθρες ενός λιμένα.

Όπως και στην περίπτωση των προσωρινών και ημιμόνιμων φραγμάτων, η εφαρμογή ενός μόνιμου φράγματος απαιτεί ένα σύστημα αποχέτευσης των ομβρίων, θαλάσσιων και διηθούμενων υδάτων (Port of Long Beach & AECOM, 2016).

Τα **μόνιμα** φράγματα περιλαμβάνουν τα εξής (Port of Long Beach & AECOM, 2016):

Αναβαθμός (Εικόνα 25): Ο πυρήνας πρέπει να είναι κατασκευασμένος από άργιλο χαμηλής διαπερατότητας. Το μειονέκτημα του αναβαθμού είναι ότι απαιτεί αρκετό χώρο γύρω από την περιοχή που καλείται να προστατεύσει.



Εικόνα 25: Αναβαθμός. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

Φράγμα από καουτσούκ (Εικόνα 26): Αποτελείται από θεμελίωση από σκυρόδεμα, σύστημα αγκύρωσης, έναν φουσκωτό σωλήνα από καουτσούκ και μηχανικά μέρη που φουσκώνουν και ξεφουσκώνουν το φράγμα για τον έλεγχο της ροής του νερού. Η λύση αυτή είναι πιο ακριβή από ένα τοίχιο από σκυρόδεμα και επιπλέον τα μηχανικά μέρη της απαιτούν συντήρηση.



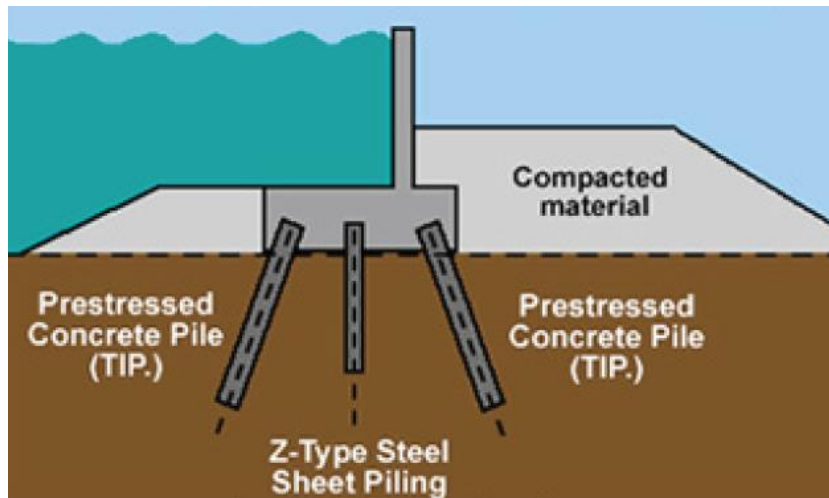
Εικόνα 26: Φράγμα από καουτσούκ. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

Τοίχος από πασσαλοσανίδες (Εικόνα 27): Κατασκευάζεται από φύλλα χάλυβα σε κυματοειδή μορφή που εμπηγνύονται ή τοποθετούνται με δόνηση στο έδαφος. Η αντοχή του εξαρτάται κυρίως από το βάθος έμπηξης και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Από τη μεριά της ξηράς, μπορεί να ενισχυθεί με αντηρίδες ή/και τοίχιο από σκυρόδεμα. Τα μειονεκτήματά του είναι ότι έχει σχετικά υψηλό κόστος, και επίσης ότι είναι ευάλωτος στη σκουριά και είναι πιθανό να χρειαστεί καθοδική προστασία.



Εικόνα 27: Τοίχος από πασσαλοσανίδες. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

Τοιχίο από οπλισμένο σκυρόδεμα (Εικόνα 28): Η αντοχή του προέρχεται κυρίως από το χάλυβα. Μπορεί να προσφέρει προστασία στην περιοχή που τη χρειάζεται για το υπόλοιπο της διάρκειας ζωής της. Είναι η πιο πρακτική και οικονομική επιλογή.



Εικόνα 28: Τοιχίο από σκυρόδεμα. (Πηγή: Port of Long Beach & AECOM, 2016)

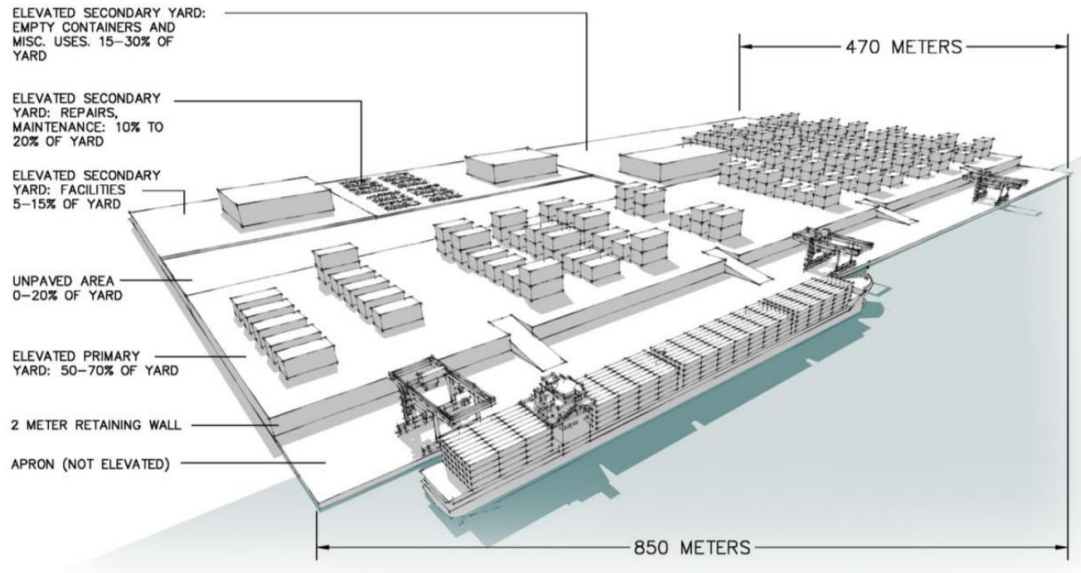
4.2.5. Υπερύψωση προβλήτα

Πρόκειται για υπερύψωση ολόκληρου του προβλήτα και του εξοπλισμού του σε άλλη στάθμη, που δεν επηρεάζεται από την αύξηση της στάθμης των υδάτων και τις κυματικές δράσεις. Απαιτεί προσαρμογή του οδικού και ενδεχομένως σιδηροδρομικού δικτύου ώστε να συνεχίσει να τον εξυπηρετεί. Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιείται αναβαθμός (Port of Long Beach & AECOM, 2016). Η χρήση βυθοκορημένου υλικού για την κατασκευή του αναβαθμού συστήνεται ως πιο οικονομική. Ωστόσο, πολλές φορές η βυθοκόρηση δεν προτείνεται λόγω μη διαθεσιμότητας κατάλληλου υλικού στην περιοχή ή λόγω περιβαλλοντικών περιορισμών. Καταστάσεις όπως μολυσμένο υλικό, βραχώδης πυθμένας που απαιτεί ανατίναξη και άλλες, καθιστούν απαραίτητη τη λήψη υλικού από αλλού.

4.2.6. Υπερύψωση ολόκληρου του λιμένα

Στο λιμένα containers του Gulfport, αφού καταστράφηκε από 9-μετρη υπερύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω του τυφώνα Κατρίνα, εξετάστηκε η επιλογή της ανύψωσης ολόκληρου του λιμένα κατά 2 μέτρα και η πλήρης επαναχωροθέτησή του (Εικόνα 29), ώστε να προστατευτεί από ενδεχόμενο μελλοντικό ανάλογο συμβάν. Μελετήθηκε η υπερύψωση του πρωτεύοντα χώρου (50-70% ολόκληρου του χώρου του λιμένα, όπου τα φορτία και οι εγκαταστάσεις είναι σε πολλούς λιμένες εκτεθειμένα στη μετεωρολογική παλίρροια) και του δευτερεύοντα χώρου (εγκαταστάσεις, γραφεία, πάρκινγκ, άδεια containers, ναυπηγεία, αποθήκες), ενώ η ζώνη αγκυροβόλησης των πλοίων και η ποδιά (ο χώρος δίπλα στα αγκυροβλημένα πλοία, όπου γίνεται η φορτοεκφόρτωση των containers με τους γερανούς) θα έμεναν στην ίδια θέση. Η ποδιά θα ανυψωνόταν σταδιακά, ανάλογα με τις ανάγκες της αύξησης της στάθμης της θάλασσας, και επιτρέποντας πάντα τη φορτοεκφόρτωση. Επίσης, η κλίση της θα ενισχυόταν, ώστε να

διευκολύνεται η αυξημένη πλέον απορροή των ομβρίων. Η υψομετρική διαφορά σχεδιάστηκε να αντιμετωπίζεται με τοίχο αντιστήριξης και σύστημα ραμπών για τη μετακίνηση των φορτίων μεταξύ των δύο περιοχών (Becker, et al., 2017).



Εικόνα 29: Υπερύψωση ολόκληρου του λιμένα. (Πηγή: Becker, et al., 2017)

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο λιμένας του Gulfport είναι η μοναδική περίπτωση που μελετήθηκε η υπερύψωση ολόκληρου του λιμένα. Ωστόσο, υπολογίστηκε το κόστος της υπερύψωσης των 100 μεγαλύτερων εμπορικών λιμένων των Ηνωμένων Πολιτειών κατά 2 μέτρα και βρέθηκε ότι θα κυμαίνονταν ανάμεσα σε 57 και 78 δισεκατομμύρια δολάρια (Becker, et al., 2017). Πρόκειται για μια λύση τεράστιου κόστους, που μάλιστα δεν εξασφαλίζει τους λιμένες στο μέλλον, καθώς η ανάγκη επιπλέον υπερύψωσης λόγω περαιτέρω αύξησης της στάθμης της θάλασσας ενδέχεται να εμφανιστεί και πάλι στο μέλλον.

4.3. Στρατηγικές διαχείρισης

Οι στρατηγικές διαχείρισης επιτρέπουν την εμφάνιση ακραίων καιρικών επεισοδίων χωρίς θωράκιση της υφιστάμενης υποδομής, θέτοντας όμως υπό έλεγχο τις συνέπειές τους.

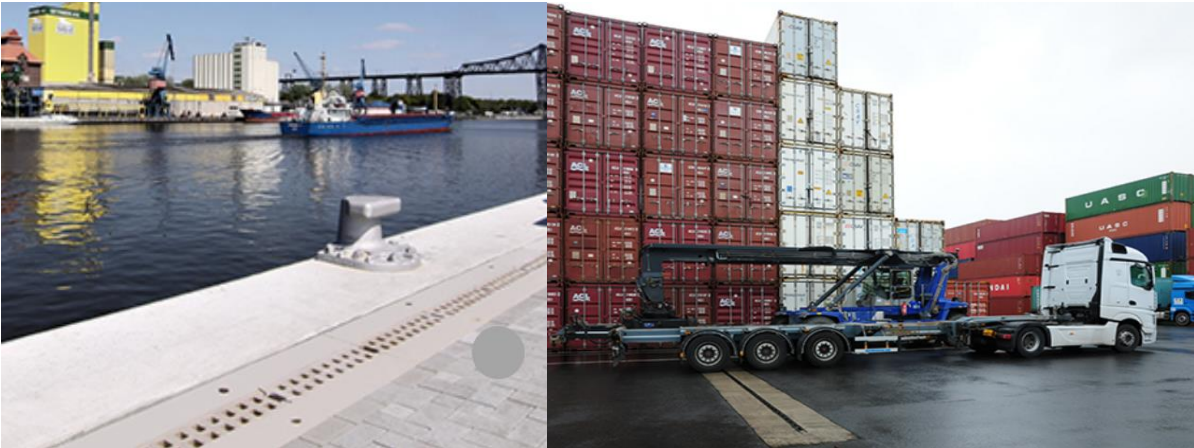
4.3.1. Αντιμετώπιση της αυξημένης συσσώρευσης υδάτων

Λόγω της αυξημένης πλέον κατακρήμνισης κατά τη διάρκεια ακραίων γεγονότων, αλλά και της εισόδου θαλάσσιων υδάτων στους χώρους του λιμένα μέσω αναρρίχησης στους προβλήτες και υπερπήδησης των κυματοθραυστών, τίθεται το ζήτημα της αποχέτευσης των ομβρίων και θαλάσσιων υδάτων από τους χώρους του λιμένα. Στο λιμένα του Manzanillo στο Μεξικό, για παράδειγμα, πολλές φορές το χρόνο χάνεται η σύνδεση του λιμένα με τις χερσαίες μεταφορές, λόγω υπερχειλίσεως του συστήματος αποστράγγισης και κατάκλυσης των εσωτερικών δρόμων με

όμβρια ύδατα, κυρίως κατά τις τροπικές καταιγίδες (Connell & Canevari, 2015).

Όπου το μικρό πλάτος προβλήτα το επιτρέπει, η αποχέτευση των υδάτων γίνεται στη θάλασσα, με τη διαμόρφωση κατάλληλης εγκάρσιας κλίσης. Επομένως, η **ενίσχυση της εγκάρσιας κλίσης** είναι το βασικότερο μέτρο που θα μπορούσε να εφαρμοστεί.

Θα πρέπει, επίσης, να γίνει **έλεγχος της επάρκειας του υφιστάμενου συστήματος αποχέτευσης ομβρίων** (Εικόνα 30), καθώς και η κλίση του εδάφους που οδηγεί σε αυτό.



Εικόνα 30: Αποχέτευση υδάτων από τους χώρους του λιμένα. (Πηγή: www.aco.co.uk, 2019)

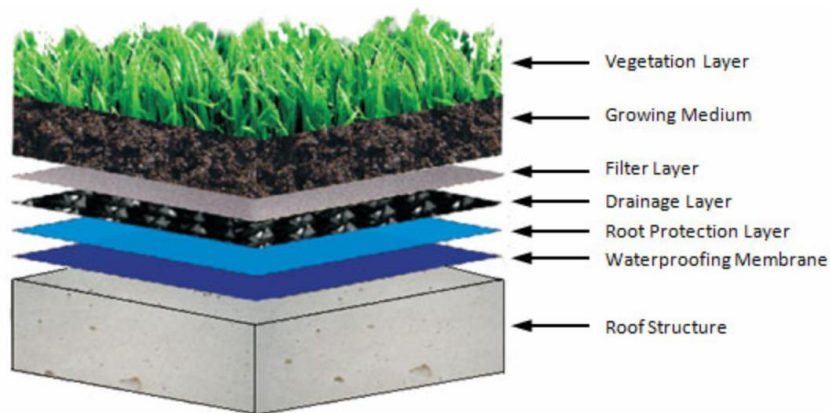
Οι δεξαμενές συγκράτησης και οι πράσινες στέγες αποτελούν πράσινα μέτρα για τη διαχείριση της αυξημένης συσσώρευσης υδάτων στους χώρους του λιμένα.

Οι **δεξαμενές συγκράτησης** χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των πλεοναζόντων υδάτων που δεν απορροφώνται από αδιαπέρατες επιφάνειες, για την απομάκρυνση των οποίων χρησιμοποιούνται αντλίες. Το σύστημα αυτό βοηθά στην καθυστέρηση της επιφανειακής απορροής και μειώνει την τιμή αιχμής της. Ένα παράδειγμα τέτοιας δεξαμενής, κατάλληλο για λιμένες και αποβάθρες, είναι το StormBrixx® της ACO, που δίνεται στην Εικόνα 31. Ωστόσο, οι αντλίες είναι δαπανηρό να λειτουργούν σε ό,τι αφορά τις εκπομπές άνθρακα και την ενέργεια. Επίσης, τα όμβρια ύδατα συχνά περιέχουν ρύπους, επομένως το νερό που συγκρατήθηκε πρέπει να φιλτραριστεί για την απομάκρυνση τυχόν ιζημάτων. Μπορεί, όμως, τελικά να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα γκρίζου νερού, για άρδευση ή πρόληψη πυρκαγιών.



Εικόνα 31: Δεξαμενή συγκράτησης ACO StormBrixx®. (Πηγή: www.aco.co.uk, 2019)

Οι **πράσινες στέγες** είναι μια δομή οροφής, όπου μια αδιάβροχη μεμβράνη φυτεύεται εν μέρει ή πλήρως με βλάστηση (Εικόνα 32). Οι πράσινες στέγες μετριάζουν την απορροή ομβρίων, τα οποία απορροφώνται εν μέρει από το μέσο καλλιέργειας (42 l νερού/m² για κάθε 2.5 cm βάθος φυτού). Υπάρχουν δύο τύποι πράσινων στεγών, οι εκτεταμένες και οι εντατικές. Οι εκτεταμένες πράσινες στέγες έχουν βάθος συνήθως μικρότερο από 15 cm και περιέχουν μικρούς θάμνους και χόρτα. Οι εντατικές είναι πολύ βαθύτερες και μπορούν να αντέξουν βαρύτερη βλάστηση, ακόμα και δέντρα, και είναι βατές. Ωστόσο, οι πράσινες στέγες επηρεάζονται από τους υψηλούς ανέμους, καθώς η μεμβράνη δεν είναι δεμένη με την οροφή, ενώ το μέτρο μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε επίπεδες στέγες. Επίσης, είναι μία ακριβή μέθοδος που απαιτεί συντήρηση και παρακολούθηση, καθώς και χρειάζεται ένα σύστημα εντοπισμού διαρροών (Mills-Knapp, et al., 2011).



Εικόνα 32: Τυπικός σχεδιασμός πράσινων στεγών. (Πηγή: www.rooftoplandscapes.co.za)

4.3.2. Αντιμετώπιση της αυξημένης στερεοαπορροής

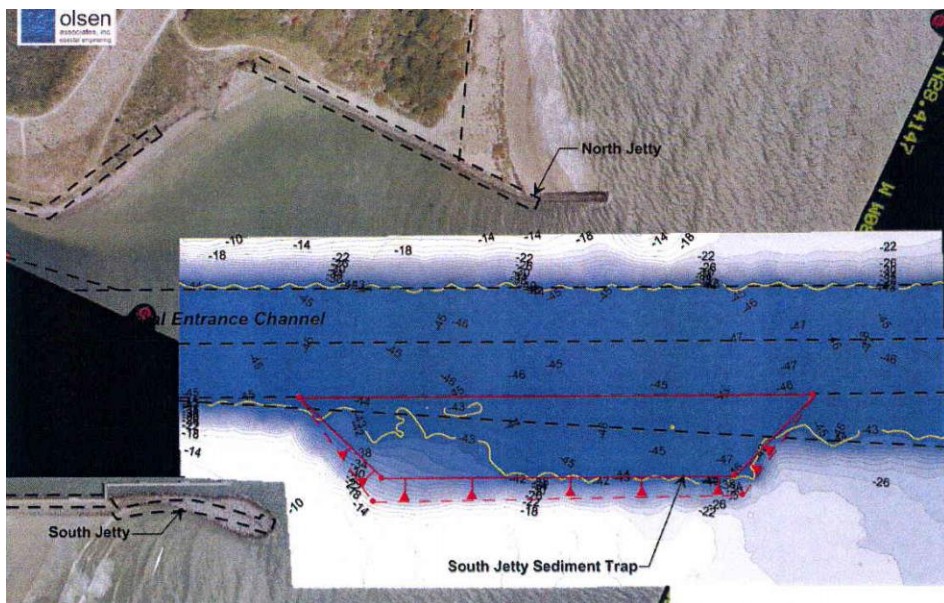
Καθώς τα ακρότατα των αιολικών συνθηκών αυξάνονται και μαζί τους τα θαλάσσια ρεύματα και οι κυματικές δράσεις, η αυξημένη στερεοαπορροή είναι ένα πιθανό αποτέλεσμα.

Η **βυθοκόρηση** είναι μια δραστηριότητα εκσκαφής (Εικόνα 33) που γίνεται με σκοπό την απομάκρυνση από τον πυθμένα ιζημάτων που παρεμποδίζουν την ασφαλή διέλευση από την υδάτινη οδό. Αν και είναι μια ακριβή διαδικασία που απαιτεί ειδικό εξοπλισμό, είναι πιθανό να χρειαστεί βυθοκόρηση για τη διατήρηση των διαύλων εισόδου, του βυθίσματος των κρηπιδωμάτων και της επιφάνειας ελιγμών υπό τις νέες συνθήκες. Το βυθοκορημένο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναπλήρωση άμμου σε παραλίες με πρόβλημα διάβρωσης (Mills-Knapp, et al., 2011).



Εικόνα 33: Βυθοκόρηση. (Πηγή: www.canstockphoto.gr, 2018)

Για την αποφυγή της συγκέντρωσης ιζημάτων είναι δυνατή επίσης η κατασκευή **παγίδας ιζημάτων**. Πρόκειται για μια λεκάνη παράλληλα στο υδάτινο ρεύμα, όπου το ίζημα συγκρατείται επιτρέποντας τη μετέπειτα απομάκρυνσή του. Το 2004, ο λιμένας Canaveral στη Φλόριντα επλήχθη από τρεις τυφώνες που οδήγησαν σε διακοπές λειτουργίας λόγω της συγκέντρωσης ιζημάτων στην είσοδό του. Προτού ο λιμένας επανατεθεί σε λειτουργία, έγιναν βυθοκορήσεις και πραγματοποιήθηκε μελέτη για την πρόληψη επανάληψης της διακοπής αυτής στο μέλλον. Το 2007 κατασκευάστηκε στο κανάλι εισόδου του λιμένα η λεκάνη του South Jetty, μια παγίδα ιζήματος. Η παγίδα έχει αντέξει δύο εκδηλώσεις τυφώνων, συμπεριλαμβανομένου και του 2009, όταν ανέστειλε αποτελεσματικά 76455.5 m³ ιζημάτων χωρίς οι λιμενικές δραστηριότητες να διακοπούν καν. Στη συνέχεια το συλλεγέν ίζημα χρησιμοποιήθηκε ως αναπλήρωση σε παραλίες (Mills-Knapp, et al., 2011). Στην Εικόνα 34 δίνεται η κάτοψη της εισόδου του λιμένα, καθώς και η τομή κατά μήκος της, όπου φαίνεται η διαμόρφωση της λεκάνης συγκράτησης του ιζήματος.



Εικόνα 34: Παγίδα ιζήματος στο Port Canaveral. (Πηγή: *American Association of Port Authorities*, 2009)

Ωστόσο, είναι σημαντικό και πρέπει να σημειωθεί ότι και οι δύο αυτές μέθοδοι παρενοχλούν τα υδάτινα οικοσυστήματα και βλάπτουν τους υδρόβιους οργανισμούς (Mills-Knapp, et al., 2011).

4.3.3. Εντατική συντήρηση

Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας μπορεί να αυξήσει την εκδορά του σκυροδέματος και τη διάβρωση του τυχόν αποκαλυφθέντος οπλισμού των υποδομών ενός λιμένα λόγω του ψεκασμού (spray) αλμυρού νερού από τον ισχυρότερο άνεμο, τα υψηλότερα κύματα και τη διέλευση των σκαφών (Deyle, et al., 2007).

Η εντατική συντήρηση είναι όρος-ομπρέλα που περιλαμβάνει πολλούς τρόπους βελτίωσης της ανθεκτικότητας των υποδομών που δεν είχαν αρχικά κατασκευαστεί με τα δεδομένα της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι στρατηγικές στην ουσία επικεντρώνονται στο να μειώσουν το βαθμό που υποβαθμίζονται οι υποδομές. Σε σχέση με εναλλακτικά μεγάλα έργα, συμφέρουν οικονομικά, ωστόσο δεν αποτελούν μακροπρόθεσμα μέτρα, καθώς μπορούν να είναι αποτελεσματικές μόνο έως ένα συγκεκριμένο βαθμό αλλαγής του κλίματος (Mills-Knapp, et al., 2011).

Η **διαχείριση της μερικής αστοχίας** περιλαμβάνει τον έλεγχο και την αποκατάσταση της θέσης των ογκολίθων κυματοθραύστη με πρανή μετά από ακραία γεγονότα.

Τα **εποξειδικά σφραγιστικά** κλείνουν ρωγμές ή τρύπες στην υποδομή που θα μπορούσαν να αφήσουν υλικά να εκτεθούν σε διάβρωση (Mills-Knapp, et al., 2011).

Η **αντικατάσταση υλικών** αφορά στην κατασκευή των νέων έργων με τύπους σκυροδέματος που αντιστέκονται καλύτερα στις ρωγμές και τις εκδορές, και με εποξειδικό οπλισμό που αντιστέκεται στη διάβρωση (Deyle, et al., 2007).

4.4. Στρατηγική απομάκρυνσης

4.4.1. Μετακίνηση των υποδομών

Πρόκειται για εγκατάλειψη της υφιστάμενης θέσης και μετακίνηση των υποδομών σε υψηλότερο έδαφος ή μακρύτερα από το νερό.

Ως πλεονεκτήματα της μετακίνησης των υποδομών αναφέρονται η αποκατάσταση του οικοσυστήματος στην υφιστάμενη θέση και η ελευθερία προσαρμογής του στη νέα στάθμη, καθώς και το ότι θα μπορούσε, ανάλογα και με την περίπτωση, να συμφέρει οικονομικά έναντι της θωράκισης των έργων ή της τοποθέτησης φράγματος.

Ως μειονεκτήματα αναφέρονται το μεγάλο κόστος από την αποκατάσταση της προηγούμενης θέσης και την απαλλοτρίωση γης στη νέα, καθώς και οι πιθανές καθυστερήσεις και τα νομικά προβλήματα που ενέχει η ανάγκη απαλλοτριώσεων (Mills-Knapp, et al., 2011).

5. Μελέτη Περίπτωσης: Λιμένας Ευδήλου Ικαρίας

5.1. Μεθοδολογία προσέγγισης

Στο Κεφάλαιο 5 μελετάται η περίπτωση του λιμένα Ευδήλου Ικαρίας. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογίας που προτάθηκε στο Κεφάλαιο 4 για την αναβάθμιση του υφιστάμενου κυματοθραύστη με πρανή, ο οποίος αστόχησε σε μεγάλο μήκος κατά τη θεομηνία που έπληξε την περιοχή τον Ιανουάριο του 2018, μόλις δυόμισι χρόνια μετά την ολοκλήρωση της επέκτασής του. Επίσης, εξετάζεται αν ο λιμένας χρειάζεται και άλλες παρεμβάσεις ώστε να παραμείνει λειτουργικός έναντι κλιματικής αλλαγής.

Στο υποκεφάλαιο 5.2. δίνονται γενικές πληροφορίες για την περιοχή του έργου, τις ανάγκες που εξυπηρετεί και την κατάστασή του πριν και μετά την επέκταση του προσήνεμου μώλου το 2015. Στο υποκεφάλαιο 5.3. εξετάζεται η αστοχία του κεντρικού τμήματος του προσήνεμου μώλου μόλις δυόμισι χρόνια μετά την ολοκλήρωσή του, και διερευνώνται οι συνθήκες υπό τις οποίες καταστράφηκε.

Στο υποκεφάλαιο 5.4. ελέγχεται η επάρκεια της διατομής του κυματοθραύστη. Αρχικά, παρατηρείται ότι η ένταση της παραπάνω θεομηνίας δεν αντιστοιχεί στο μέσο ανεμολογικό και κυματικό κλίμα της περιοχής. Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση ακροτάτων των διαθέσιμων κυματικών δεδομένων από τις γειτονικές περιοχές της Μυκόνου και της Σκύρου και των αιολικών δεδομένων της περιοχής, με σκοπό να ληφθούν υπόψιν στον επακόλουθο έλεγχο επάρκειας του έργου οι αιχμές του ανεμολογικού και κυματικού κλίματος. Τρεις τύποι αστοχίας εξετάζονται: η αστοχία της εξωτερικής στρώσης της θωράκισης, η διάβρωση του πόδα και η υπερβολική κυματική υπερπήδηση. Ο έλεγχος γίνεται αρχικά για τα δεδομένα σχεδιασμού και κατασκευής του έργου, και στη συνέχεια με χρονικούς ορίζοντες το 2050 και το 2100. Η μέση παροχή υπερπήδησης προκύπτει το κρίσιμο κριτήριο, γιατί ξεπερνά κατά πολύ το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο υπό τα εξεταζόμενα σενάρια κλιματικής αλλαγής του 2050 και του 2100.

Στο υποκεφάλαιο 5.5. αξιολογούνται οι εναλλακτικοί τρόποι αναβάθμισης: η προσθήκη στρώσης θωράκισης, η εξομάλυνση της κλίσης του πρανούς, η αύξηση του πλάτους της στέψης, η αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου, ο συνδυασμός των δύο τελευταίων και τελικά η κατασκευή ενός ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη. Οι κατασκευαστικές απαιτήσεις των ακρόποδων, οι επιδόσεις των εναλλακτικών στα κριτήρια ελέγχου που ορίστηκαν στο υποκεφάλαιο 5.4., και τελικά το κόστος υλοποίησης είναι τα κριτήρια με τα οποία επιλέγεται η βέλτιστη λύση.

Τέλος, στο υποκεφάλαιο 5.6. εξετάζεται αν χρειάζεται να εφαρμοστεί και κάποιο άλλο από τα μέτρα προσαρμογής στην περίπτωση του λιμένα Ευδήλου Ικαρίας.

5.2. Γενικές πληροφορίες

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στον όρμο του Ευδήλου, ο οποίος βρίσκεται στα βόρεια παράλια της νήσου Ικαρίας (Εικόνα 35). Υπάγεται διοικητικά στο Δήμο Ευδήλου του Νομού Σάμου.

Ο οικισμός του Ευδήλου, μαζί με τους οικισμούς Αγία Κυριακή, Δεκάκια, Δρούτσουλας, Κεραμείον, Κυπαρίσιον, Ξανθή και Φύτεμα αποτελούν το ομώνυμο Δημοτικό διαμέρισμα του Δήμου Ευδήλου. Ο Δήμος αυτός έχει πληθυσμό 2831 κατοίκους, σύμφωνα με απογραφή του 2001 και έκταση 78790 στρέμματα. Έδρα του Δήμου είναι ο Εύδηλος (Βικιπαίδεια, 2018).

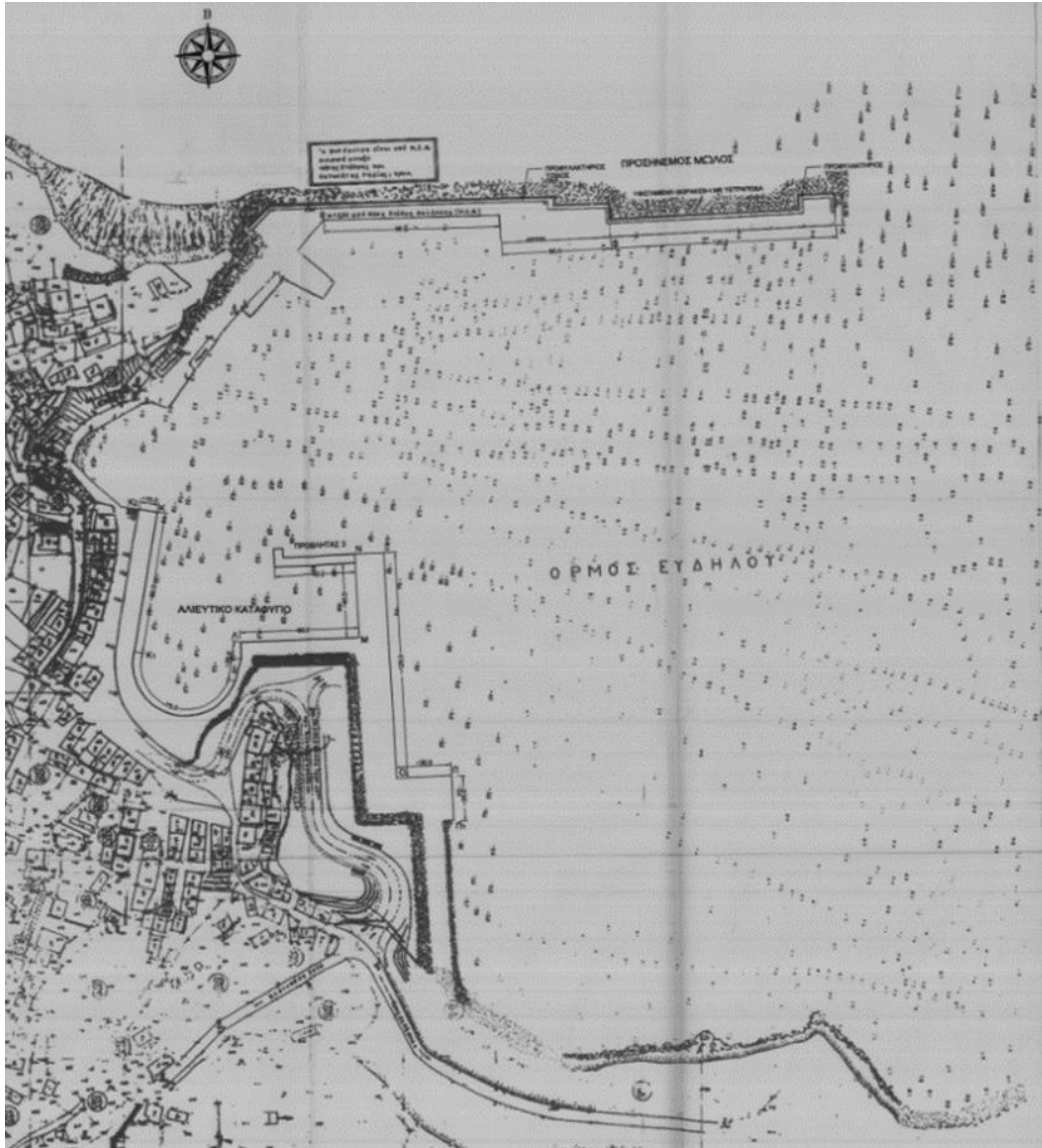


Εικόνα 35: Η νήσος Ικαρία. (Πηγή: Βικιπαίδεια, 2019)

Ο λιμένας Ευδήλου βρίσκεται στα βορειοδυτικά παράλια του ομώνυμου όρμου, μπροστά στον οικισμό του Ευδήλου, ο οποίος αναπτύσσεται αμφιθεατρικά. Αποτελεί το δεύτερο λιμένα της Ικαρίας, με το επίγειο να είναι ο Άγιος Κήρυκος σε απόσταση περίπου 40 χιλιομέτρων, και εξυπηρετεί κυρίως τη βόρεια πλευρά του νησιού. Βρίσκεται στο κέντρο του Ευδήλου με τα καταστήματα, τα καταλύματα και τα εστιατόρια και απέχει περίπου 35 χιλιόμετρα από τον Κρατικό Αερολιμένα Ικαρίας «Ίκαρο».

Ο λιμένας συνδέει το νησί με τους Φούρνους, τη Σάμο, τη Χίο, τη Νάξο, την Πάρο, τη Μύκονο, τη Σύρο, τη Λέσβο, τη Λήμνο, την Καβάλα και δύο φορές την εβδομάδα με τον Πειραιά. Εξυπηρετεί και εμπορικά πλοία. Εσωτερικά του υπάρχει μαρίνα που εξυπηρετεί μικρά σκάφη και βάρκες, καθώς και αλιευτικό καταφύγιο.

Αρχικά, τα λιμενικά έργα περιελάμβαναν τον προσήνεμο μώλο, τα παραλιακά κρηπιδώματα νότια αυτού και τον προβλήτα στο αλιευτικό καταφύγιο (Εικόνα 36). Ο προσήνεμος μώλος έχει συνολικό μήκος περί τα 275 m. Εσωτερικά φέρει κρηπίδωμα και εξωτερικά θωράκιση από φυσικούς και τεχνητούς ογκολίθους τύπου tetrapode. Νότια-νοτιοδυτικά του προσήνεμου μώλου υπάρχει κρηπίδωμα μήκους 138 m. Σε απόσταση 23 m από το πέρας του, έχει κατασκευαστεί προβλήτας τραπεζοειδούς διατομής, με πλάτος 11 m στην κορυφή του και 17.5 m στη βάση του. Στην περιοχή του αλιευτικού καταφυγίου έχουν κατασκευαστεί παραλιακά κρηπιδώματα μήκους 400 m και ένας προβλήτας μήκους 45 m (Φράγκου, 2010).



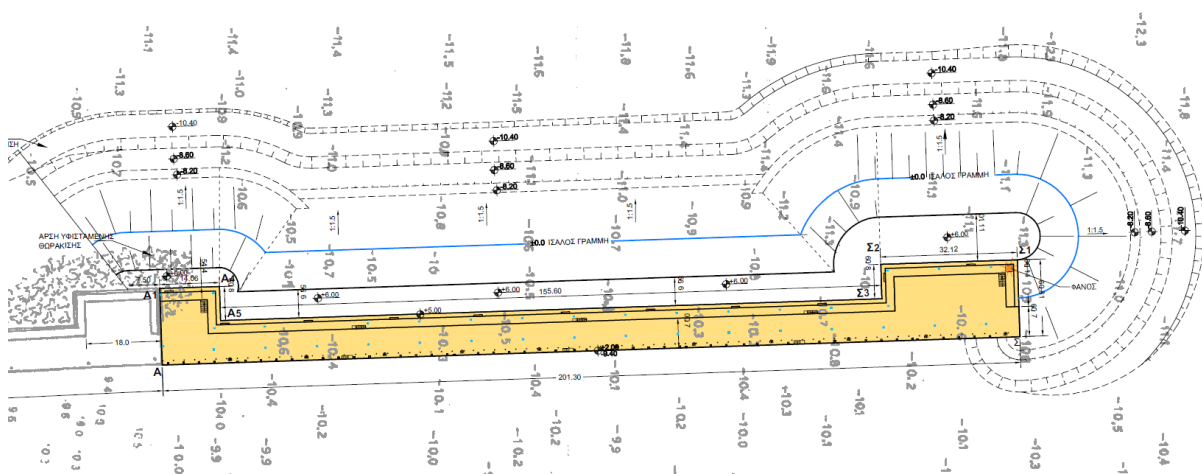
Εικόνα 36: Κατάσταση λιμένα πριν την επέκταση του μώλου. (Πηγή: Μελέτη επέκτασης προσήνεμου μώλου λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, 2010)

Τον Οκτώβριο του 2015 ολοκληρώθηκε το έργο της επέκτασης του προσήνεμου μώλου κατά 201.3 m (Εικόνα 37). Σκοπός της επέκτασης ήταν η προστασία της λιμενολεκάνης από τον εισερχόμενο κυματισμό από το Βόρειο τομέα πελάγους κυρίως, καθώς και η δυνατότητα ελλιμενισμού μεγαλύτερων πλοίων, όπως μικρών κρουαζιεροπλοίων.

Η επέκταση του προσήνεμου μώλου διακρίνεται σε τρία τμήματα (Εικόνα 38): το τμήμα A_1A_4 , μήκους 14 m, το οποίο αποτελεί συναρμογή με το υφιστάμενο ακρομώλιο, το τμήμα $A_5\Sigma_3$, μήκους 155.6 m, το οποίο αποτελεί το κεντρικό τμήμα της επέκτασης, και το τμήμα $\Sigma_2\Sigma_1$, μήκους 32 m, που αποτελεί το καινούργιο ακρομώλιο.



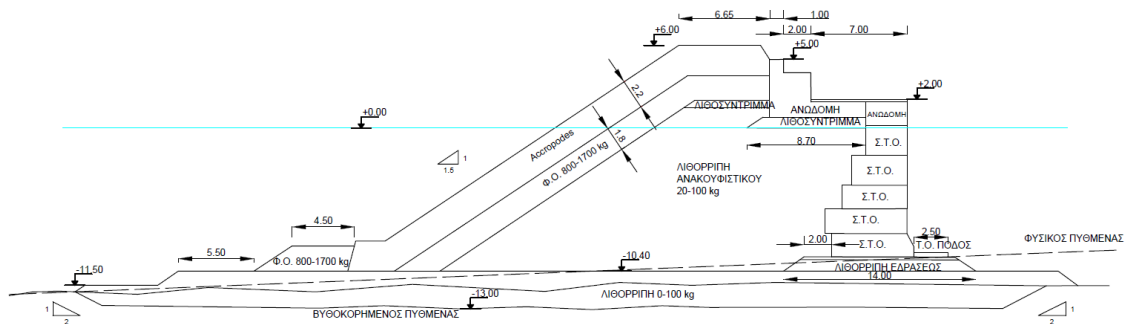
Εικόνα 37: Παρούσα κατάσταση λιμένα. (Πηγή: Μελέτη επέκτασης προσήνεμου μώλου λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, 2010)



Εικόνα 38: Το τμήμα της επέκτασης του μώλου. (Πηγή: Μελέτη επέκτασης προσήνεμου μώλου λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, 2010)

Η επέκταση διαμορφώθηκε ως μικτή διατομή. Εσωτερικά φέρει κρηπίδωμα από τεχνητούς ογκολίθους από σκυρόδεμα C20/25, κυψελωτούς στα τμήματα της συναρμογής και του νέου ακρομωλίου, και συμπαγείς στο κεντρικό τμήμα. Εξωτερικά φέρει θωράκιση από ακρόποδα όγκου 5 m^3 . Η δευτερεύουσα θωράκιση αποτελείται από δύο στρώσεις φυσικών ογκολίθων ατομικού βάρους 800 ως 1700 kg. Το πρανές διαμορφώνεται με κλίση 1:1.5 και η στέψη βρίσκεται σε στάθμη +6 m. Η κατασκευή εδράζεται σε μέσο βάθος 11.5 m, σύμφωνα με βυθομετρήσεις που έγιναν το 2013 στα πλαίσια της μελέτης του έργου (Φράγκου, 2010).

Στην Εικόνα 39, δίνεται η τυπική διατομή του κυματοθραύστη στο κεντρικό τμήμα της επέκτασης.



Εικόνα 39: Τυπική διατομή του κεντρικού τμήματος της επέκτασης του μώλου. (Πηγή: Μελέτη επέκτασης προσήνεμου μώλου λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, 2010)

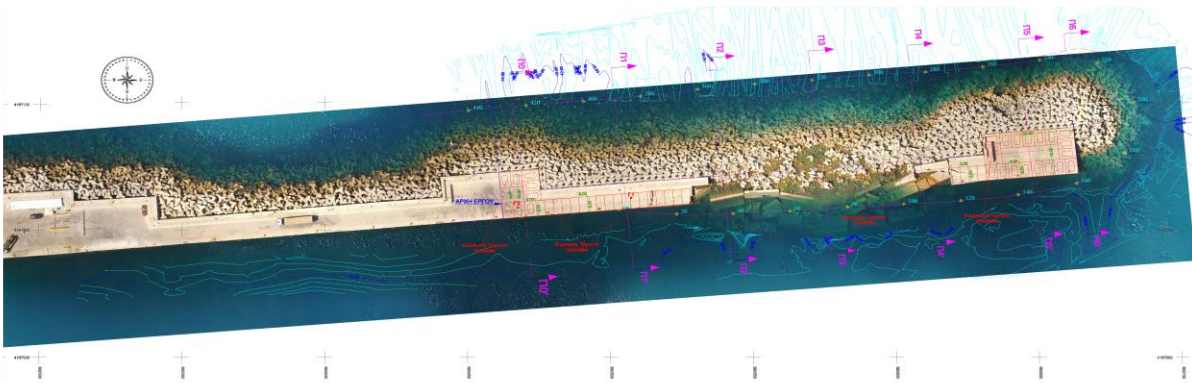
5.3. Η θεομηνία της 18^{ης} Ιανουαρίου 2018

Κατά τη θεομηνία της 18^{ης} Ιανουαρίου 2018, στην περιοχή της Ικαρίας κυριαρχούσαν άνεμοι Βόρειας-Βορειοδυτικής διεύθυνσης και μέγιστης εντάσεως 10.2 Beaufort σύμφωνα με τρίωρες καταγραφές της Ε.Μ.Υ. στο σταθμό του νησιού.

Κατά τη θεομηνία αυτή, ο κυματοθραύστης του λιμένα του Ευδήλου υπέστη σοβαρές ζημιές. Σε μεγάλο μήκος του κεντρικού τμήματος της επέκτασης (Εικόνες 40 και 41), ακρόποδα από τη θωράκιση μετακινήθηκαν επί του έργου και εντός της λιμενολεκάνης, ενώ οι συμπαγείς τεχνητοί ογκόλιθοι της ανωδομής υποχώρησαν και βυθίστηκαν εντός της λιμενολεκάνης.

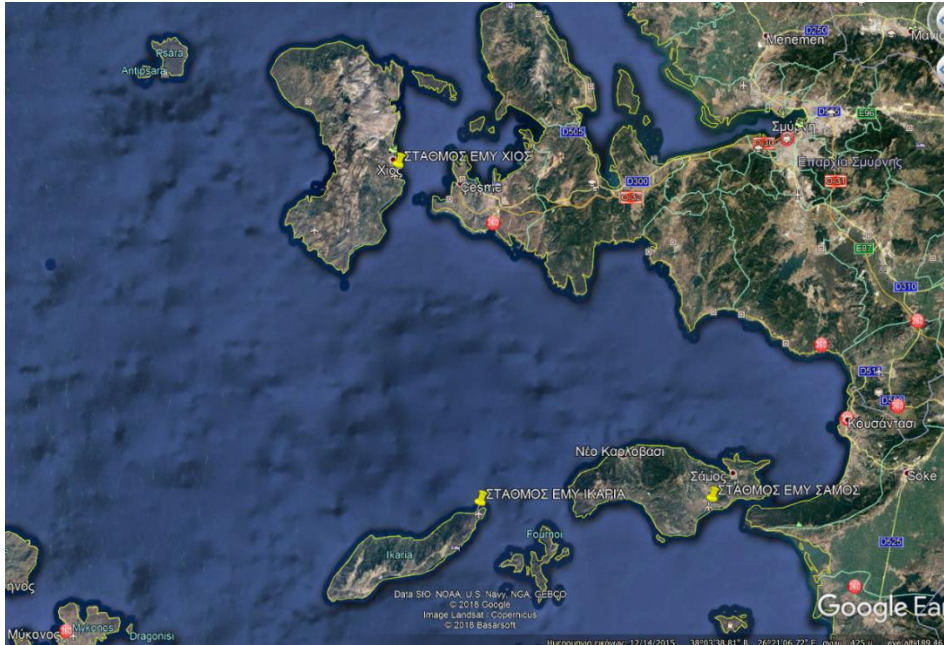


Εικόνα 40: Ο προσήνεμος μώλος μετά τη 18^η Ιανουαρίου 2018. (Πηγή: www.ikariaki.gr, 2018)



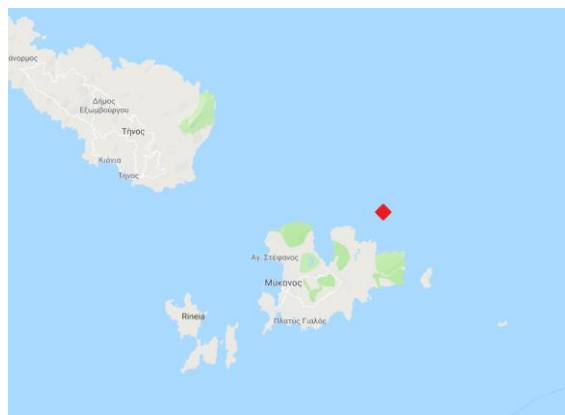
Εικόνα 41: Εντοπισμός των ζημιών λόγω της θεομηνίας της 18ης Ιανουαρίου 2018. (Πηγή: Ε.Λ.Ε. Ε.Μ.Π., 2018)

Η μέγιστη ένταση ανέμου που προέκυψε από τις τρίωρες καταγραφές της Ε.Μ.Υ. στους σταθμούς της Χίου και της Σάμου ήταν 8.6 και 8.2 Beaufort αντίστοιχα, με διεύθυνση Βόρεια-Βορειοδυτική. Οι διαφορές στις μετρήσεις μπορούν να εξηγηθούν με βάση τη θέση των τριών σταθμών, εκ των οποίων αυτός της Ικαρίας είναι ο πλέον εκτεθειμένος σε Βόρειους-Βορειοδυτικούς ανέμους (Εικόνα 42).



Εικόνα 42: Σταθμοί Ε.Μ.Υ. στην Ικαρία, τη Σάμο και τη Χίο. (Πηγή: Google Earth, 2019)

Από τις ωριαίες μετρήσεις πλωτήρα του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. ανοιχτά της Μυκόνου (Εικόνα 43), η μέγιστη τιμή του ύψους κύματος κατά τη διάρκεια της θεομηνίας προέκυψε ίση με 5.22 m, ενώ η μέγιστη ένταση ανέμου βρέθηκε ίση με 8.6 Beaufort.



Εικόνα 43: Θέση πλωτήρα του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. ανοιχτά της Μυκόνου. (Πηγή: ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.)

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθούν δύο ακόμη ακραία καιρικά γεγονότα, που συνέβησαν κατά τη φάση κατασκευής της επέκτασης του προσήνεμου μώλου.

Την **28^η Σεπτεμβρίου 2014**, στην Ικαρία επικρατούσαν άνεμοι Βόρειας κυρίως διεύθυνσης και μέγιστης εντάσεως 8.3 Beaufort σύμφωνα με τρίωρες μετρήσεις της Ε.Μ.Υ. Οι αντίστοιχες μετρήσεις της μέγιστης έντασης στους σταθμούς της Ε.Μ.Υ. στη Χίο και στη Σάμο ήταν 9.3 και 8 Beaufort αντίστοιχα. Οι συνεπακόλουθες ακραίες κυματικές συνθήκες είχαν ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση ακρόποδων και φυσικών ογκολίθων θωράκισης και τη διασπορά τους επί της στέψης του έργου στο κεντρικό τμήμα της επέκτασης. Σε ό,τι αφορά το ακρομώλιο, υπήρξε σχετική μετακίνηση κάποιων κυψελωτών ογκολίθων σκυροδέματος, διάβρωση της λιθορριπής

ανακουφιστικού πρίσματος και διασπορά φυσικών ογκολίθων και ακρόποδων μέσα στη λιμενολεκάνη.

Κατά τη θεομηνία της **10^{ης} και 11^{ης} Φεβρουαρίου 2015**, άνεμοι Βόρειας κυρίως διεύθυνσης και μέγιστης εντάσεως 9.6 Beaufort σύμφωνα με μετρήσεις της Ε.Μ.Υ. στο σταθμό της Ικαρίας, προκάλεσαν σοβαρές ζημιές στο έργο. Η αντίστοιχη μέγιστη καταγραφή της έντασης ανέμου από το σταθμό της Σάμου ήταν 8.5 Beaufort, ενώ από το σταθμό της Χίου 9.7 Beaufort. Κατά τη διάρκεια αυτής της θεομηνίας, σε ό,τι αφορά την επέκταση του προσήνεμου μώλου, οι ακραίες καιρικές συνθήκες είχαν ως αποτέλεσμα την παράσυρση λιθορριπών, φυσικών ογκολίθων και ακρόποδων στα ανοιχτά, και τη μετακίνηση τμημάτων ανωδομής και συμπαγών τεχνητών ογκολίθων μέσα στη λιμενολεκάνη. Συγκεκριμένα για το ακρομώλιο, ακρόποδα, φυσικοί ογκολίθοι και λιθορριπές ανακουφιστικού πρίσματος διασκορπίστηκαν γύρω του.

5.4. Διερεύνηση της επάρκειας του υφιστάμενου κυματοθραύστη

Στο παρόν υποκεφάλαιο διερευνάται η επάρκεια του υφιστάμενου κυματοθραύστη στο κεντρικό τμήμα της επέκτασης, όπου και εντοπίζεται η αστοχία (Εικόνα 41). Στην Εικόνα 39, δόθηκε η τυπική διατομή σε αυτό το τμήμα, όπως σχεδιάστηκε κατά τη μελέτη.

Αρχικά, εξετάζονται οι κυματισμοί που επικρατούν στην περιοχή της Ικαρίας, με σκοπό να ληφθούν υπόψιν οι ακραίες τιμές κατά τον έλεγχο του έργου. Στη συνέχεια, παρατίθενται τα κριτήρια με βάση τα οποία γίνεται ο έλεγχος, καθώς και οι συνθήκες της στάθμης που αναμένεται να επικρατούν κατά τους χρονικούς ορίζοντες του 2050 και του 2100.

5.4.1. Κυματισμοί ελέγχου

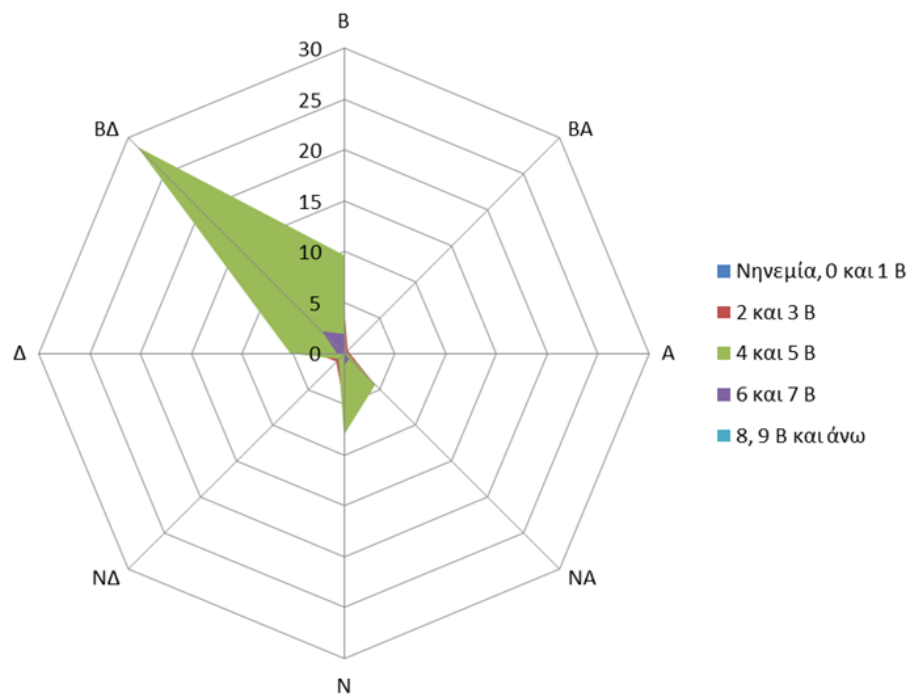
5.4.1.1. Μέσο ανεμολογικό και κυματικό κλίμα

Στον πίνακα 5 δίνονται τα ανεμολογικά δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας για το σταθμό της Ικαρίας στο αεροδρόμιο για την περίοδο 1995-2017, και με βάση αυτά κατασκευάζεται η αντίστοιχη ανεμορόδα (Εικόνα 44).

Παρατηρείται ότι η κύρια διεύθυνση πνοής ανέμου στην Ικαρία είναι με μεγάλη διαφορά η Βορειοδυτική, και ακολουθεί η Βόρεια. Προκύπτει επίσης από τα αναλυτικά μηνιαία δεδομένα ότι κατά τους χειμερινούς μήνες κυριαρχεί ο Βόρειος άνεμος, και ακολουθεί ο Βορειοδυτικός. Καθ' όλους τους υπόλοιπους μήνες ισχύει το αντίστροφο.

ΕΝΤΑΣΗ (Bf)	B	BA	A	NA	N	ΝΔ	Δ	ΒΔ	ΝΗΝΕΜΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ %
0	0.017	0.000	0.005	0.008	0.013	0.011	0.006	0.008	3.865	3.933
1	0.060	0.016	0.073	0.209	0.059	0.053	0.088	0.075	1.059	1.693
2	1.481	0.304	0.262	1.520	1.356	0.458	1.021	2.192	0.603	9.198
3	3.053	0.221	0.330	2.635	3.575	0.645	1.841	7.701	0.009	20.009
4	5.321	0.174	0.275	2.967	4.921	0.521	3.175	17.775	0.000	35.129
5	4.347	0.063	0.096	1.381	3.073	0.240	2.099	10.949	0.000	22.250
6	1.618	0.019	0.008	0.591	1.023	0.034	0.636	2.892	0.000	6.822
7	0.299	0.003	0.003	0.143	0.156	0.000	0.057	0.205	0.000	0.865
8	0.029	0.003	0.003	0.014	0.009	0.000	0.008	0.033	0.000	0.099
≥9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003
ΣΥΝΟΛΟ %	16.225	0.804	1.054	9.470	14.185	1.962	8.931	41.834	5.535	100.000

Πίνακας 5: Ανεμολογικά δεδομένα του σταθμού της Ε.Μ.Υ. στην Ικαρία. (Πηγή: Ε.Μ.Υ., 2018)

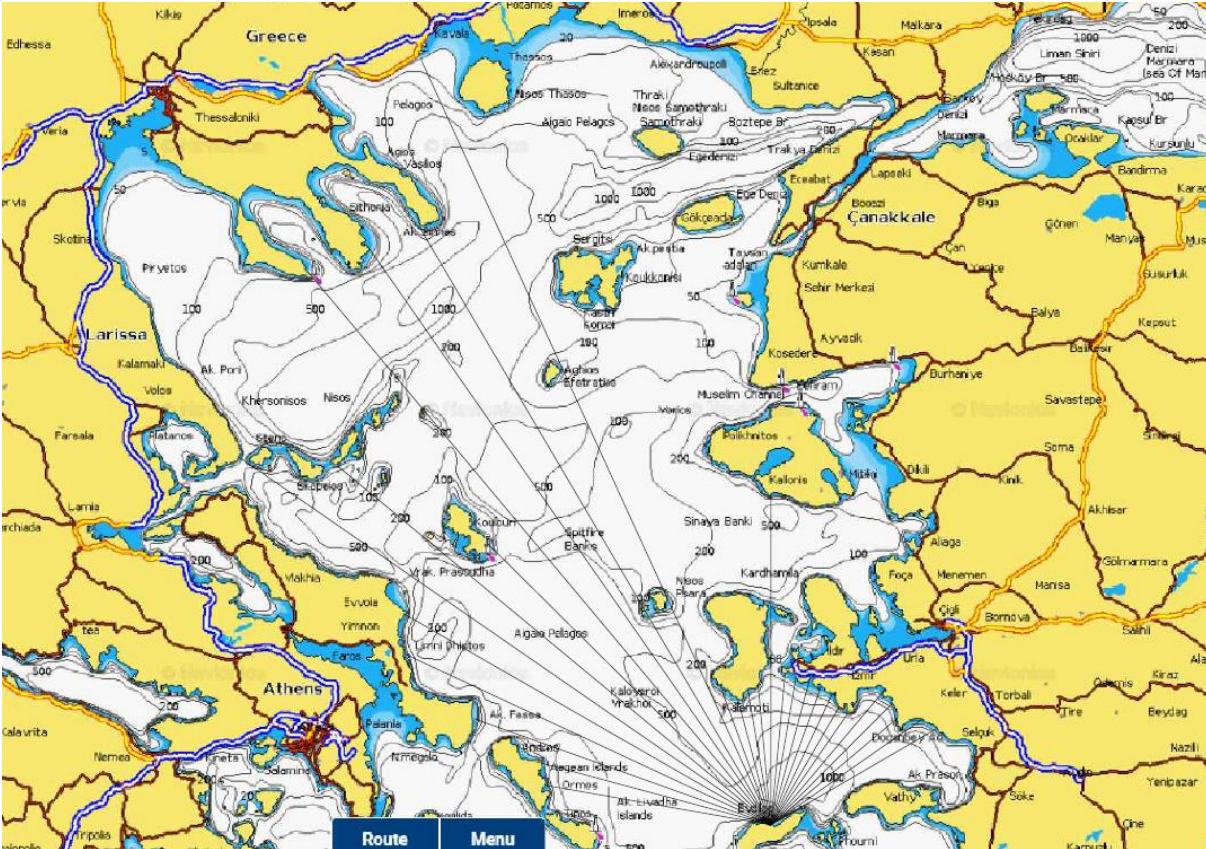


Εικόνα 44: Ανεμορόδα με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας

Από τον προσανατολισμό του λιμένα (Εικόνες 36 και 37), προκύπτει ότι οι διευθύνσεις ανέμου που τον επηρεάζουν είναι η Βορειοδυτική, η Βόρεια, η Δυτική και η Βορειοανατολική. Με τη βοήθεια της διαδικτυακής εφαρμογής του Navionics (Εικόνα 45), υπολογίζονται τα ενεργά αναπτύγματα πελάγους για αυτές τις διευθύνσεις ανέμου, σύμφωνα με τον τύπο:

$$F = \frac{\sum_{a=-45}^{a=+45} [R_i * (\cos a)^2]}{\sum_{a=-45}^{a=+45} \cos a} \quad (\text{Εξίσωση 1})$$

Προκύπτει ότι κρίσιμες διευθύνσεις ανέμου είναι η Βορειοδυτική, με ενεργό ανάπτυγμα πελάγους ίσο με 153.6 km, και η Βόρεια, με ενεργό ανάπτυγμα πελάγους ίσο με 106.52 km. Οι υπολογισμοί δίνονται στους Πίνακες 1, 2, 3 και 4 του Παραρτήματος.



Εικόνα 45: Υπολογισμός του αναπτύγματος πελάγους του Ευδήλου μέσω του Navionics Web App

Στη συνέχεια, με τις μεθόδους SMB και JONSWAP, υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά ύψη κύματος και οι αντίστοιχες περίοδοι για κάθε διεύθυνση πνοής, με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα του Πίνακα 5.

➤ Μέθοδος SMB (Sverdrup & Munk, 1947):

$$H_s = 0.283 \cdot \frac{u^2}{g} \cdot \tanh(0.0125 \cdot \Phi^{0.42}) \quad (\text{Εξίσωση 2})$$

$$T_p = 7.54 \cdot \frac{u}{g} \cdot \tanh(0.077 \cdot \Phi^{0.25}) \quad (\text{Εξίσωση 3})$$

$$\Phi = \min(\Phi_1) \quad (\text{Εξίσωση 4})$$

$$\Phi_1 = g \cdot \frac{F}{u^2} \quad (\text{Εξίσωση 5})$$

Και το Φ_2 προκύπτει μέσω επαναληπτικής διαδικασίας από τη σχέση:

$$g \cdot \frac{D}{u} = 6.588 \cdot \exp\left\{\sqrt{0.0161 \cdot (\ln \Phi_2)^2 - 0.369 \cdot (\ln \Phi_2) + 2.2024} + 0.8798 \cdot (\ln \Phi_2)\right\} \quad (\text{Εξίσωση 6})$$

➤ Μέθοδος JONSWAP (Hasselmann, et al., 1973):

$$F_{eq} = u_*^2 * \frac{0.00523}{g} * \left(g * \frac{t_d}{u_*} \right)^{1.5} \quad (\text{Εξίσωση 7})$$

$$u_* = u * \sqrt{C_d} \quad (\text{Εξίσωση 8})$$

$$C_d = 0.001 * (1.1 + 0.035 * u) \quad (\text{Εξίσωση 9})$$

Για $F > F_{eq}$:

$$H_s = u_*^2 * \frac{0.0413}{g} * \sqrt{g * \frac{F_{eq}}{u_*^2}} \quad (\text{Εξίσωση 10})$$

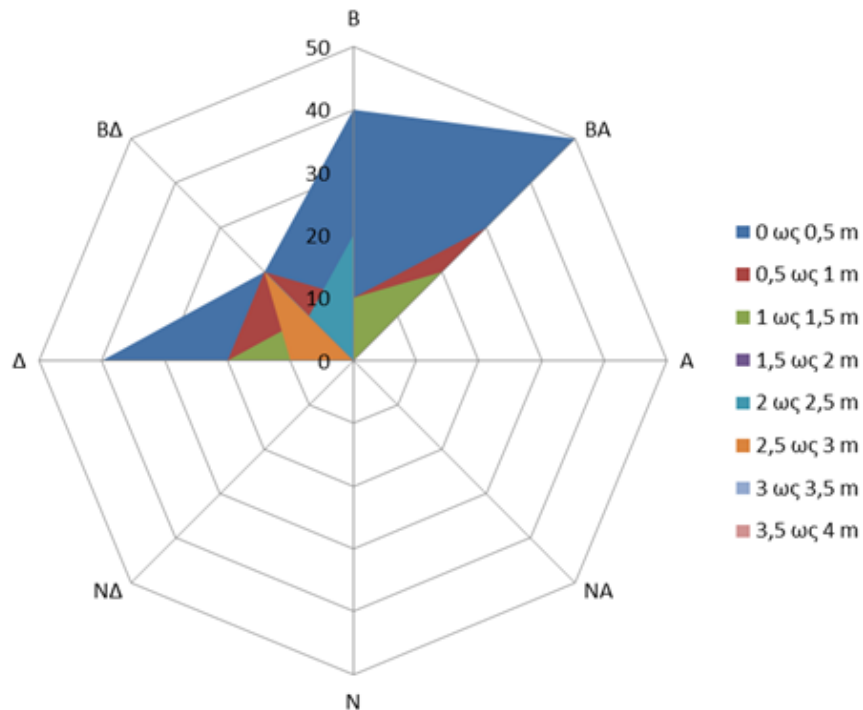
$$T_p = 0.71345 * \frac{u_*}{g} * \left[g * \frac{F_{eq}}{u_*^2} \right]^{0.33} \quad (\text{Εξίσωση 11})$$

Αλλιώς:

$$H_s = u_*^2 * \frac{0.0413}{g} * \sqrt{g * \frac{F_{eq}}{u_*^2}} \quad (\text{Εξίσωση 12})$$

$$T_p = 0.71345 * \frac{u_*}{g} * \left[g * \frac{F_{eq}}{u_*^2} \right]^{0.33} \quad (\text{Εξίσωση 13})$$

Με βάση τη δυσμενέστερη πρόβλεψη ύψους κύματος για κάθε ζεύγος διεύθυνσης και έντασης ανέμου, κατασκευάζεται η κυματορόδα της περιοχής (Εικόνα 46). Σημειώνεται ότι για κάθε ζεύγος η δυσμενέστερη τιμή προκύπτει από διαφορετική μέθοδο.



Εικόνα 46: Κυματορόδα με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας

Τα μέγιστα ύψη κύματος προκύπτουν προφανώς για Βορειοδυτικό και Βόρειο άνεμο, και δεν ξεπερνούν τα 3.64 m και τα 3.12 m αντίστοιχα. Η ένταση πνοής για την οποία εμφανίζονται είναι 7 Beaufort. Οι υπολογισμοί δίνονται στους Πίνακες 5, 6, 7 και 8 του Παραρτήματος.

Στη συνέχεια, στα κύματα που προέκυψαν από τα ανεμολογικά δεδομένα, προσαρμόζεται στο Matlab η κατανομή Weibull ώστε να προκύψουν τα ύψη με περίοδο επαναφοράς 5, 25, 50, 75 και 100 χρόνια.

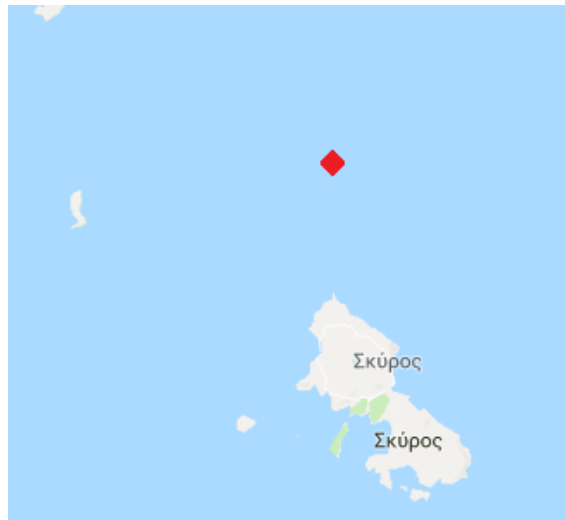
Τα μέγιστα ύψη κύματος που προκύπτουν και πάλι για Βορειοδυτικό και Βόρειο άνεμο. Για περίοδο επαναφοράς 50 έτη, είναι ίσα με 3.83 m και 3.61 m αντίστοιχα. Για περίοδο επαναφοράς 100 έτη, δεν ξεπερνούν τα 4.21 m και τα 4 m αντίστοιχα. Οι υπολογισμοί δίνονται στους Πίνακες 9, 10, 11 και 12 του Παραρτήματος.

Ωστόσο, και οι δύο αυτές μέθοδοι υπολογισμού των κυματισμών βασίζονται στα ανεμολογικά δεδομένα του πίνακα 5, όπου παρατηρείται ότι η πνοή ανέμου εντάσεως τουλάχιστον ίσης με 9 Beaufort παρουσιάζεται με μηδενική συχνότητα. Επομένως, ακραία γεγονότα όπως οι θεομηνίες του Φεβρουαρίου 2015 και του Ιανουαρίου 2018 δεν προβλέπονται από το μέσο ανεμολογικό κλίμα. Αυτό μπορεί είτε να οφείλεται στη σπανιότητά τους, που έχει ως αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται λόγω της μικρής διάρκειάς τους, είτε να αποδοθεί στην κλιματική αλλαγή. Σε κάθε περίπτωση, όμως, η ανάλυση δεν πρέπει να περιοριστεί στο μέσο κυματικό κλίμα, γιατί δεν αποτυπώνει τα αιολικά ακρότατα, και επομένως δεν μπορούν να προκύψουν τα αντίστοιχα κυματικά.

5.4.1.2. Κυματικά ακρότατα

Κατά τη αναζήτηση των ακραίων κυματισμών που εμφανίζονται σε μια δεδομένη περιοχή, πολύ χρήσιμες είναι οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών των κυμάτων στην εν λόγω περιοχή, ή σε κάποια κοντινή θέση με παρόμοιο προσανατολισμό και ανάπτυγμα πελάγους.

Στην προκειμένη περίπτωση, είναι διαθέσιμες οι τρίωρες μετρήσεις των χαρακτηριστικών των κυμάτων ανοιχτά της Μυκόνου και ανοιχτά της Σκύρου από πλωτήρες του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.. Οι θέσεις των πλωτήρων αυτών δίνονται στις Εικόνες 43 και 47 αντίστοιχα. Για τη Μύκονο υπάρχουν καταγραφές από τον Ιούλιο του 1999 μέχρι και το Δεκέμβριο του 2018. Για τη Σκύρο το διάστημα είναι πολύ μικρότερο, από το Σεπτέμβριο του 2007 μέχρι τον Ιούλιο του 2012.



Εικόνα 47: Θέση πλωτήρα του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. ανοιχτά της Σκύρου. (Πηγή: ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.)

Για τον προσδιορισμό των ακραίων κυματισμών σε αυτές τις θέσεις, έγινε ανάλυση ακροτάτων με τη βοήθεια του πακέτου extRemes της γλώσσας R. Πιο συγκεκριμένα, έγινε προσαρμογή της κατανομής Generalised Pareto στις καταγραφές. Η ανάλυση έγινε ξεχωριστά για Βορειοδυτικό και για Βόρειο άνεμο, λαμβάνοντας τιμή κατωφλίου σε κάθε περίπτωση το ύψος κύματος που αντιστοιχεί σε πιθανότητα υπέρβασης 5%. Στην περίπτωση της Μυκόνου, η τιμή αυτή είναι ίση με 2.2 m για το Βορειοδυτικό κυματισμό, και 2.3 m για το Βόρειο κυματισμό. Στην περίπτωση της Σκύρου, η τιμή κατωφλίου είναι ίση με 1.8 m για το Βορειοδυτικό κυματισμό, και 2.3 m για το Βόρειο κυματισμό. Τα αποτελέσματα της προσαρμογής δίνονται στις Εικόνες Υπολογισμών 1, 2, 3 και 4 του Παραρτήματος.

Στον Πίνακες 6 και 7 δίνονται για κάθε περιοχή τα ύψη κύματος με περίοδο επαναφοράς 5, 25, 50, 75 και 100 χρόνια ανά διεύθυνση, όπως προέκυψαν από την ανάλυση ακροτάτων.

ΜΥΚΟΝΟΣ		
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (γ)	ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	ΒΟΡΕΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ
5	4.32	3.96
25	4.62	4.04
50	4.74	4.12
75	4.81	4.14
100	4.86	4.16

Πίνακας 6: Ακρότατα του ύψους κύματος με βάση τη Μύκονο

ΣΚΥΡΟΣ

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (y)	ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	ΒΟΡΕΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ
5	2.29	5.20
25	2.72	5.23
50	2.94	5.24
75	3.08	5.25
100	3.19	5.25

Πίνακας 7: Ακρότατα του ύψους κύματος με βάση τη Σκύρο

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, πρέπει να ληφθεί υπόψιν η θέση κάθε περιοχής ως προς την Ικαρία, καθώς και το μήκος της κάθε χρονοσειράς.

Σε ό,τι αφορά τις θέσεις των μετρήσεων, η θέση του πλωτήρα στη Μύκονο έχει ανάπτυγμα πελάγους 118.9 km για Βορειοδυτικό άνεμο, και 193.5 km για Βόρειο άνεμο. Η θέση του πλωτήρα στη Σκύρο, από την άλλη, έχει ανάπτυγμα πελάγους 82.4 km για Βορειοδυτικό άνεμο, και 128.6 km για Βόρειο άνεμο. Αυτό σημαίνει ότι και οι δύο περιοχές μπορούν θεωρητικά να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για τα χαρακτηριστικά του Βόρειου κυματισμού, αφού τα αντίστοιχα αναπτύγματα πελάγους είναι μεγαλύτερα από του Ευδήλου. Όσον αφορά στη Βορειοδυτική διεύθυνση, όμως, καμία θέση δεν είναι αντιπροσωπευτική, αφού και οι δύο έχουν μικρότερα αναπτύγματα πελάγους. Επίσης, και οι δύο χρονοσειρές έχουν πολύ μικρό μήκος, με πιθανή συνέπεια να υποεκτιμούν τα ακραία ύψη κύματος.

Επομένως, ούτε και στις παραπάνω μετρήσεις υψών κύματος μπορεί να βασιστεί ο προσδιορισμός του ύψους κύματος ελέγχου, λόγω της ανεπαρκούς αντιστοιχίας των θέσεων με τη θέση του Ευδήλου, αλλά και του μικρού μήκους των χρονοσειρών.

5.4.1.3. Αιολικά ακρότατα και πλήρως αναπτυγμένοι κυματισμοί

Αφού τα μέσα ανεμολογικά δεδομένα δεν αποτυπώνουν τις αιχμές, εξετάζονται τα ωριαία ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής της Ικαρίας, διαθέσιμα διαδικτυακά από την DHI για 39 ολόκληρα χρόνια, από το 1979 μέχρι και το 2017.

Σε αντίθεση με τα μέσα ανεμολογικά δεδομένα, με βάση τις αναλυτικές ωριαίες μετρήσεις, προκύπτει ότι κατά το παραπάνω χρονικό διάστημα έχουν καταγραφεί γεγονότα έντασης ανέμου τουλάχιστον ίσης με 9 Beaufort. Μάλιστα, η μέγιστη καταγεγραμμένη ένταση ανέμου είναι ίση με 10.8 Beaufort και αντιστοιχεί στον Ιανουάριο του 2004.

Χωρίζοντας το δείγμα αυτό σε δύο περιόδους 25 και 14 χρόνων, 1979-2003 και 2004-2017, παρατηρείται ότι οι συχνότητες εμφάνισης υψηλών εντάσεων ανέμου, τουλάχιστον ίσων με 8, 9 και 10 Beaufort είναι σημαντικά μεγαλύτερες κατά τη δεύτερη περίοδο, όπως φαίνεται από σύγκριση των Πινάκων 8 και 9. Στους ίδιους πίνακες, δίνεται ο αριθμός καταιγίδων στις οποίες σημειώθηκαν αυτές οι εντάσεις, και η αντίστοιχη μέση και μέγιστη απρόσκοπτη διάρκεια πνοής για καθεμία από τις δύο εξεταζόμενες περιόδους. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι και τα τρία αυτά μεγέθη αυξάνονται κατά τη δεύτερη περίοδο.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1979-2003

ΕΝΤΑΣΗ (Bf)	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %	ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ	ΜΕΣΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	ΜΑΧ ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)
>8	0.2566	109	5.2	22.0
>9	0.0073	0	2.3	5.0
>10	0.0000	0	0.0	0.0

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά πνοής ανέμου υψηλών εντάσεων, περίοδος 1979-2003

ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2004-2017

ΕΝΤΑΣΗ (Bf)	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %	ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ	ΜΕΣΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	ΜΑΧ ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)
>8	0.3265	65	6.6	27.0
>9	0.0419	14	3.9	10.0
>10	0.0023	1	3.0	3.0

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά πνοής ανέμου υψηλών εντάσεων, περίοδος 2004-2017

Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση ακροτάτων των καταγραφών αυτών με τη βοήθεια του πακέτου extRemes της γλώσσας R. Οι διευθύνσεις ανέμου που λαμβάνονται υπόψιν είναι η Βορειοδυτική, η Βόρεια και η Βορειοανατολική, ενώ ως τιμή κατωφλίου για τις εντάσεις λαμβάνονται τα 6.4 Beaufort, τιμή που αντιστοιχεί σε πιθανότητα υπέρβασης 5%. Στα δεδομένα αυτά προσαρμόζεται η κατανομή Generalised Pareto, τα αποτελέσματα της οποίας δίνονται στην Εικόνα Υπολογισμών 5 του Παραρτήματος.

Στον Πίνακα 10, δίνονται οι εντάσεις ανέμου που αντιστοιχούν σε περιόδους επαναφοράς 5, 25, 50, 75 και 100 χρόνια, με βάση την ανάλυση αυτή.

ΙΚΑΡΙΑ	
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (γ)	ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ (Bf)
5	9.66
25	10.08
50	10.24
75	10.33
100	10.4

Πίνακας 10: Αιολικά ακρότατα με βάση την Ικαρία

Λόγω της σημαντικής αύξησης της διάρκειας πνοής ανέμων υψηλών εντάσεων, μπορεί να γίνει η παραδοχή πλήρως αναπτυγμένων κυματισμών. Το έργο στη συνέχεια θα ελεγχθεί για τους πλήρως αναπτυγμένους κυματισμούς των εντάσεων ανέμου που αντιστοιχούν στο 2050 και το 2100 σύμφωνα με την ανάλυση ακροτάτων των αιολικών δεδομένων. Με την παραδοχή απεριόριστης διάρκειας πνοής, υπολογίζονται με τις μεθόδους SMB και JONSWAP τα ύψη των πλήρως αναπτυγμένων κυματισμών:

- Μέθοδος SMB (Sverdrup & Munk, 1947):

$$H_s = 0.283 * \frac{u^2}{g} * \tanh(0.0125 * \Phi^{0.42}) \text{ (Εξίσωση 14)}$$

$$T_p = 7.54 * \frac{u}{g} * \tanh(0.077 * \Phi^{0.25}) \text{ (Εξίσωση 15)}$$

$$\Phi = g * \frac{F}{u^2} \text{ (Εξίσωση 16)}$$

- Μέθοδος JONSWAP (Hasselmann, et al., 1973):

$$H_s = u_*^2 * \frac{0.0413}{g} * [g * \frac{F}{u_*^2}]^{0.5} \text{ (Εξίσωση 17)}$$

$$T_p = 0.71345 * \frac{u_*}{g} * [g * \frac{F}{u_*^2}]^{0.33} \text{ (Εξίσωση 18)}$$

$$u_* = u * \sqrt{C_d} \text{ (Εξίσωση 19)}$$

Οι υπολογισμοί δίνονται στους Πίνακες 13,14,15 και 16 του Παραρτήματος.

Στο Νότιο Αιγαίο, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο κυματικό κλίμα δεν είναι τόσο εμφανείς, ωστόσο την πεντηκονταετία 2050-2100 παρατηρείται μια ελαφριά αύξηση των ακραίων τιμών στην περιοχή (Γαλιατσάτου & Πρίνος, 2014). Επομένως, υπέρ της ασφαλείας, στο ύψος κύματος που αντιστοιχεί στο 2100 θα εφαρμοστεί προσαύξηση της τάξης του 5%.

Τα τελικά χαρακτηριστικά των κυμάτων ελέγχου, τόσο στα βαθιά όσο και στην περιοχή του έργου, δίνονται στους Πίνακες 11 και 12 για Βορειοδυτική και Βόρεια διεύθυνση αντίστοιχα. Τα χαρακτηριστικά των κυμάτων στην περιοχή του έργου βρέθηκαν με το πρόγραμμα Mike Zero.

ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	2050	2100
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ (Bf)	10.2	10.4
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (γ)	33	83
H ₀ (m)	6.96	7.21
T _{p,0} (s)	8.80	8.91
H _{0, επαυξημένο} (m)	6.96	7.57
H _s (m)	5.10	5.38
T _p (s)	7.90	8.00

Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά των κυμάτων ελέγχου του Βορειοδυτικού τομέα πελάγους

ΒΟΡΕΙΟΣ ΑΝΕΜΟΣ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	2050	2100
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ (Bf)	10.2	10.4
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (γ)	33	83
H_0 (m)	5.98	6.19
$T_{p,0}$ (s)	9.58	9.73
$H_{0, \text{επαυξημένο}}$ (m)	5.98	6.50
H_s (m)	5.37	5.63
T_p (s)	8.27	8.50

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά των κυμάτων ελέγχου του Βορείου τομέα πελάγους

Παρατηρείται ότι, παρόλο που τα ύψη κύματος που αντιστοιχούν σε Βορειοδυτικό άνεμο είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα για Βόρειο, στην περιοχή του έργου ισχύει το αντίστροφο, προφανώς λόγω της επίδρασης της διάθλασης. Επίσης, ισχύει ότι η κάθετη πρόσπτωση κυματισμού σε κυματοθραύστη είναι δυσμενέστερη και από άποψη ευστάθειας της θωράκισης, και από άποψη υπερπήδησης, όπως θα ειπωθεί και στο υποκεφάλαιο 5.4.2. Επομένως, για τον έλεγχο επάρκειας του κυματοθραύστη θα χρησιμοποιηθούν οι κυματισμοί του Βορείου τομέα πελάγους.

Για τον έλεγχο υπό τις συνθήκες κατασκευής, θα χρησιμοποιηθεί το κύμα σχεδιασμού που ελήφθη υπόψιν κατά τη μελέτη του έργου, το οποίο είναι ο πλήρως αναπτυγμένος κυματισμός που αντιστοιχεί σε Βόρειο άνεμο εντάσεως 9 Beaufort και ελήφθη αυτούσιος στην περιοχή του έργου, χωρίς να υπολογιστεί η επίδραση της ρήχωσης και της διάθλασης. Τα τελικά κύματα ελέγχου συνοψίζονται στον Πίνακα 13.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	2050	2100
H_s (m)	5.00	5.37	5.63
T_p (s)	8.60	8.27	8.50

Πίνακας 13: Κύματα ελέγχου

5.4.2. Κριτήρια ελέγχου

Η επάρκεια του υφιστάμενου κυματοθραύστη ελέγχεται με τα εξής κριτήρια:

- ✦ την ευστάθεια θωράκισης
- ✦ ✦ την ευστάθεια ποδός
- ✦ ✦ ✦ τη μέση παροχή και το μέγιστο όγκο υπερπήδησης.

Οι επιδόσεις του κυματοθραύστη έναντι των κριτηρίων της ευστάθειας θωράκισης και ποδός, της μέσης παροχής και μέγιστου όγκου υπερπήδησης κρίνονται με βάση τα παρακάτω.

✦ Έλεγχος της ευστάθειας θωράκισης

Ο συντελεστής ευστάθειας κατά Hudson K_D ορίζεται με βάση το ποσοστό ζημιών που θεωρείται αποδεκτό να υποστεί η θωράκιση. Τα δύο αυτά μεγέθη είναι θετικά συσχετισμένα, αφού όσο μεγαλύτερο οριστεί το αποδεκτό ποσοστό ζημιών, τόσο μεγαλύτερος λαμβάνεται ο K_D .

Τα ακρόποδα είναι σχεδιασμένα για συντελεστή ευστάθειας κατά Hudson ίσο με 15, για βάθος μη θραυόμενων κυματισμών (CLI, 2012). Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι τα 11.5 m είναι βάθος μη θραυόμενων κυματισμών, αφού (Μουτζούρης, 2009):

$$\frac{H_s}{h} = \frac{5.2}{11.5} = 0.452 < 0.8 \text{ (Εξίσωση 20)}$$

Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως:

$$K_D = \frac{H_s^3}{\Delta^3 * \cot\alpha * V} < 15 \text{ (Εξίσωση 21)}$$

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \text{ (Εξίσωση 22)}$$

$$\rho_s = 2.35 \frac{t}{m^3}$$

για τεχνητούς ογκολίθους από σκυρόδεμα.

$$\rho_w = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

Εφόσον ο συντελεστής K_D προκύπτει μικρότερος από την τιμή 15, η θωράκιση επαρκεί.

✦ ✦ Έλεγχος της ευστάθειας ποδός

Ο πόδας κυματοθραύστη προστατεύεται συνήθως από έναν αναβαθμό φυσικών ογκολίθων (Εικόνα 39). Η δομή αυτή προστατεύει την κατασκευή έναντι απόπλυσης υλικού από την περιοχή του πόδα. Η αστοχία του πόδα μπορεί να επιταχύνει ή ακόμα και να προκαλέσει την αστοχία της κύριας στρώσης θωράκισης, επομένως πρέπει να εξετάζεται σε κάθε περίπτωση η ευστάθεια του αναβαθμού του.

Στην προκειμένη περίπτωση (Εικόνα 39), η λιθορριπή έδρασης διαμορφώνεται από διαβαθμισμένους φυσικούς ογκολίθους βάρους 100 kg, ενώ στον πόδα της εξωτερικής θωράκισης για τον εγκιβωτισμό των ακρόποδων και την προστασία τους έναντι των κυματισμών, κατασκευάζεται πρίσμα από φυσικούς ογκολίθους ατομικού βάρους 800 έως 1700 kg, με στάθμη στέψης στα -8.6 m (Φράγκου, 2010).

Για τον έλεγχο της ευστάθειας ποδός που αποτελείται από δύο στρώσεις φυσικών ογκολίθων, χρησιμοποιείται η Εξίσωση 23 (USACE, 2011):

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta * D_{n,πόδα}} = (0.24 * \frac{h_b}{D_{n,πόδα}} + 1.6) * N_{od}^{0.15} \text{ (Εξίσωση 23)}$$

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \text{ (Εξίσωση 24)}$$

$$\rho_s = 2.6 \frac{t}{m^3}$$

για φυσικούς ογκολίθους.

$$\rho_w = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$D_{n,πόδα} = \left(\frac{W_{πόδα}}{\rho_s} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.79 \text{ m (Εξίσωση 25)}$$

Από την Εξίσωση 23 υπολογίζεται το επίπεδο ζημιών, N_{od} , και στη συνέχεια ελέγχεται με βάση την Εξίσωση 26.

$$N_{od} = \begin{cases} 0.5 \text{ μηδενική ζημία} \\ 2 \text{ αποδεκτή ζημία (Εξίσωση 26)} \\ 4 \text{ σοβαρή ζημία} \end{cases}$$

Εφόσον το επίπεδο ζημιών προκύπτει μικρότερο του 2, ο πόδας είναι ευσταθής.

✦ ✦ ✦ Έλεγχος της μέσης παροχής και του μέγιστου όγκου υπερπήδησης

Αναρρίχηση κυματισμού σε πρανές είναι η μέγιστη αύξηση της στάθμης των υδάτων πάνω στην κατασκευή, μετρούμενη κάθετα από τη στάθμη ηρεμώσεως θαλάσσης. Υπερπήδηση της κατασκευής συμβαίνει όταν η αναρρίχηση του κυματισμού ξεπερνά τη στέψη του έργου. Η γενική συμπεριφορά της υπερπήδησης κυμάτων περιγράφεται από ένα μεγάλο αριθμό κυματισμών με σχετικά μικρούς όγκους υπερπήδησης και μερικούς με πολύ μεγαλύτερους. Για κάθε μέση κυματική εκτόνωση, δηλαδή, υπάρχουν μόνο λίγα κύματα που δίνουν μεγάλους όγκους υπερπήδησης (Van der Meer, 2012).

Η παροχή υπερπήδησης δεν δίνει πληροφορίες για την ένταση της εκτόνωσης του κάθε υπερπηδόντος κύματος. Ωστόσο, και η πληροφορία αυτή είναι πολύ σημαντική γιατί οι μεγαλύτερες ζημιές προκαλούνται από την υπερπήδηση αυτών των μεμονωμένων κυμάτων (USACE, 2011). Ορίζονται λοιπόν δύο βασικά μεγέθη, η μέση παροχή υπερπήδησης, και ο μέγιστος όγκος υπερπήδησης ανά συμβάν.

Για τους κυματοθραύστες με πρανή, η παροχή υπερπήδησης μπορεί να είναι κρίσιμη για το σχεδιασμό και μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικές αστοχίες, όπου ακόμα και ολόκληρος ο κυματοθραύστης μπορεί να καταρρεύσει. Επομένως, ακόμα και σχετικά μικρή παροχή υπερπήδησης μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή ζημιά στη στέψη του έργου ή την πίσω πλευρά του. Σε κάθε περίπτωση, αν μια κατασκευή σχεδιαστεί ως υπερπηδητή, και η πίσω πλευρά της θα πρέπει προφανώς να είναι σχεδιασμένη γι' αυτό (Pullen, et al., 2007).

Σε ό,τι αφορά τη μέγιστη αποδεκτή τιμή της μέσης παροχής q_{mean} και το μέγιστο αποδεκτό όγκο υπερπήδησης V_{max} , επιλέγονται οι τιμές 5—10 l/s/m και 10000—20000 l/m, αντίστοιχα, δηλαδή το επιτρεπόμενο από το Eurotop διάστημα για υπερπηδητό κυματοθραύστη, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 14.

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V _{max} (l per m)
Rubble mound breakwaters; H _{m0} > 5 m; no damage	1	2,000-3,000
Rubble mound breakwaters; H _{m0} > 5 m; rear side designed for wave overtopping	5-10	10,000-20,000

Πίνακας 14: Επιτρεπόμενα όρια υπερπήδησης. (Πηγή: Eurotop Manual, 2007)

Οι μέσες τιμές της αναρρίχησης κυματισμού και της παροχής υπερπήδησης προκύπτουν από τους τύπους (Pullen, et al., 2007):

$$R_{u2\% (mean)} = \min \left[\begin{array}{l} H_{m0} * 1.65 * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi_{m-1,0} \\ H_{m0} * \gamma_{f,surg} * \left(4 - \frac{1.5}{\gamma_b * \xi_{m-1,0}} \right) \\ 2 * H_{m0} \end{array} \right] \quad (\text{Εξίσωση 27})$$

$$q_{mean} = 0.1035 * \sqrt{g * H_{m0}^3} * \exp \left[-1.35 * \left(\frac{R_c}{H_{m0} * \gamma_f * \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right] < 5 - 10 \quad (\text{Εξίσωση 28})$$

Οι αντίστοιχες τιμές σχεδιασμού υπολογίζονται από τους τύπους:

$$R_{u2\% (design)} = \min \left[\begin{array}{l} H_{m0} * 1.75 * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi_{m-1,0} \\ 1.07 * H_{m0} * \gamma_{f,surg} * \left(4 - \frac{1.5}{\gamma_b * \xi_{m-1,0}} \right) \\ 2.14 * H_{m0} \end{array} \right] \quad (\text{Εξίσωση 29})$$

$$q_{design} = 0.09 * \sqrt{g * H_{m0}^3} * \exp \left[-1.5 * \left(\frac{R_c}{H_{m0} * \gamma_f * \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right] \quad (\text{Εξίσωση 30})$$

$$H_{m0} = 1.05 * H_s \quad (\text{Εξίσωση 31})$$

$$\gamma_b = 1 \quad (\text{Εξίσωση 32})$$

όταν δεν υπάρχει αναβαθμός.

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0063 * |\beta| \quad (\text{Εξίσωση 33})$$

$$\gamma_f = 0.46 \quad (\text{Εξίσωση 34})$$

για τα ακρόποδα.

$$\gamma_{f,surg} = \gamma_f + (\xi_{m-1,0} - 1.8) * \frac{1-\gamma_f}{8.2} \quad (\text{Εξίσωση 35})$$

$$\xi_{m-1,0} = \frac{(cota)^{-1}}{\sqrt{g * \frac{(T_{m-1,0})^2}{2\pi}}} \quad (\text{Εξίσωση 36})$$

Για προφυλακτήριο τοίχο χαμηλότερο από τη στέψη της θωράκισης, ως ελεύθερο περιθώριο του κυματοθραύστη R_c λαμβάνεται αυτό της στέψης της θωράκισης, A_c:

$$R_c = A_c \text{ (Εξίσωση 37)}$$

Αντίθετα, για προφυλακτήριο τοίχο ψηλότερο από τη στέψη της θωράκισης, στο ελεύθερο περιθώριο του κυματοθραύστη περιλαμβάνεται το ύψος του τοίχου, h_{wall} (Pullen, et al., 2007):

$$R_c = A_c + h_{wall} \text{ (Εξίσωση 38)}$$

Από την τιμή σχεδιασμού της παροχής υπερπήδησης προκύπτει το ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων, καθώς και ο μέγιστος όγκος υπερπήδησης. Η διάρκεια καταιγίδας επιλέγεται ίση με 6 ώρες. Αν και το μέγεθος αυτό μεταβάλλει προφανώς τον αριθμό των υπερπηδόντων κυμάτων, η μεταβολή του δεν έχει σημαντική επίδραση στο μέγιστο όγκο υπερπήδησης.

$$P_{ov} = \exp \left[- \left(\sqrt{-\ln 0.02} * \frac{R_c}{R_{u2\% (design)}} \right)^2 \right] \text{ (Εξίσωση 39)}$$

$$V_{max} = a * [\ln(N_{ow})]^{\frac{1}{b}} < 10000 - 20000 \text{ (Εξίσωση 40)}$$

$$N_{ow} = N_w * P_{ov} \text{ (Εξίσωση 41)}$$

$$N_w = \frac{\text{διάρκεια καταιγίδας}}{T_m} \text{ (Εξίσωση 42)}$$

$$T_m = \frac{T_p}{1.2} \text{ (Εξίσωση 43)}$$

$$a = q_{design} * \frac{T_m}{P_{ov}} * \frac{1}{\text{gamma}(1 + \frac{1}{b})} \text{ (Εξίσωση 44)}$$

$$b = 0.85 + 1500 * \left[\frac{q_{design}}{g * H_{m0} * T_{m-1,0}} \right]^{1.3} \text{ (Εξίσωση 45)}$$

$$T_{m-1,0} = \frac{T_p}{1.1} \text{ (Εξίσωση 46)}$$

Για πλάτος θωράκισης στη στέψη μεγαλύτερο από τρεις ονομαστικές διαμέτρους ογκολίθων, το Eurotop προβλέπει απομείωση της μέσης τιμής και της τιμής σχεδιασμού της παροχής υπερπήδησης κατά τον συντελεστή C_r :

$$C_r = \min \left[\frac{3.06 * \exp \left(-1.5 * \frac{G_c}{H_{m0}} \right)}{1} \right] \text{ (Εξίσωση 47)}$$

Η εφαρμογή της απομείωσης αυτής στην παροχή υπερπήδησης έχει εμμέσως, μέσω των συντελεστών a και b , μειωτική επίδραση και στο μέγιστο όγκο υπερπήδησης. Εξάλλου, είναι αναμενόμενο η αύξηση του πλάτους της θωρακισμένης στέψης να έχει μειωτική επίδραση στον όγκο των υδάτων που υπερπηδούν την κατασκευή.

Συνοψίζοντας, εφόσον οι τιμές της μέσης παροχής υπερπήδησης q_{mean} και του μέγιστου όγκου υπερπήδησης V_{max} προκύπτουν μεταξύ 5—10 l/s/m και 10000—20000 l/m αντίστοιχα, η διατομή επαρκεί έναντι υπερπήδησης.

5.4.3. Εξεταζόμενα σενάρια

Αρχικά, οι επιδόσεις του κυματοθραύστη στα κριτήρια ελέγχου εξετάζονται με βάση τις συνθήκες σχεδιασμού και κατασκευής του έργου, χωρίς να ληφθεί υπόψιν η επίδραση της αύξησης της στάθμης της θάλασσας και της μετεωρολογικής παλίρροιας. Στη συνέχεια, τα ίδια μεγέθη υπολογίζονται με χρονικό ορίζοντα το 2050 και το 2100, για αύξηση της στάθμης της θάλασσας λόγω κλιματικής αλλαγής κατά +4.6 mm/yr (Μαμούτος, et al., 2014) και λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας κατά +35 cm (Krestenitis, et al., 2015).

Με βάση την παραδοχή αύξησης κατά 4.6 mm/yr, η στάθμη της θάλασσας το **2050** θα είναι υψηλότερη κατά $\frac{4.6}{1000} * 37 \text{ m} = 0.17 \text{ m}$ σε σχέση με τη στάθμη για την οποία μελετήθηκε το έργο και η οποία προέκυψε από βυθομετρήσεις το 2013. Αθροιστικά με τα 35 cm της μετεωρολογικής παλίρροιας, η συνολική αύξηση θα φτάσει τα 0.52 m.

Με την ίδια παραδοχή, η στάθμη της θάλασσας το **2100** θα είναι υψηλότερη κατά $\frac{4.6}{1000} * 87 \text{ m} = 0.4 \text{ m}$ σε σχέση με αυτή του 2013. Αθροιστικά με τα 35 cm της μετεωρολογικής παλίρροιας, η συνολική αύξηση της στάθμης θα φτάσει τα 0.75 m.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ	ΠΑΡΑΔΟΧΗ	ΣΕΝΑΡΙΟ 2050	ΣΕΝΑΡΙΟ 2100
τήξη πάγων & διαστολή ωκεάνιας μάζας	+0.0046 m/yr	0.17	0.40
μετεωρολογική παλίρροια	+0.35 m σε κάθε περίπτωση	0.35	0.35
συνολικά (m)		0.52	0.75

Πίνακας 15: Εξεταζόμενα σενάρια μεταβολής της στάθμης της θάλασσας

5.4.4. Αποτελέσματα

Οι υπολογισμοί της ευστάθειας θωράκισης και ποδός, μέσης παροχής και μέγιστου όγκου υπερπήδησης δίνονται στους Πίνακες 17, 18 και 19 του Παραρτήματος. Οι επιδόσεις του κυματοθραύστη στα κριτήρια ελέγχου συνοψίζονται στον Πίνακα 16.

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΝΑΡΙΟ 2050	ΣΕΝΑΡΙΟ 2100
q_{mean} (l/s/m)	5—10	5.61	20.28	39.95
V_{max} (l/m)	10000—20000	587.34	1125.51	1663.04
Συντελ. Ευστάθειας Hudson K_D	≤ 15	7.72	9.56	11.02
Επίπεδο Ζημιών Πόδα N_{od}	≤ 2	0.86	1.09	1.34

Πίνακας 16: Σύνοψη των επιδόσεων της υφιστάμενης διατομής

Από άποψη ευστάθειας θωράκισης και ποδός, παρατηρείται ότι η διατομή επαρκεί σε κάθε περίπτωση. Ο μέγιστος όγκος υπερπήδησης βρίσκεται επίσης εντός των αποδεκτών ορίων. Αντίθετα, η μέση παροχή υπερπήδησης, αν και ικανοποιείται για τα δεδομένα κατασκευής, ξεπερνά κατά πολύ το όριο των 5—10 l/s/m στα σενάρια του 2050 και του 2100. Αυτό σημαίνει ότι η διατομή επαρκεί έναντι όλων των κριτηρίων για το κύμα και το ελεύθερο περιθώριο για τα

οποία σχεδιάστηκε. Όταν, όμως, ελεγχθεί υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη στάθμη της θάλασσας, στην ένταση του ανέμου και στα ύψη των κυμάτων, δεν επαρκεί έναντι υπερπήδησης.

Συνεπώς, προκύπτει η ανάγκη αναβάθμισης της τυπικής διατομής του κυματοθραύστη στο κεντρικό τμήμα της επέκτασης, ώστε να περιοριστεί η υπερπήδηση που επιτρέπει.

5.5. Αξιολόγηση των εναλλακτικών τρόπων αναβάθμισης του κυματοθραύστη
Στο παρόν υποκεφάλαιο εξετάζονται συγκεκριμένα για την περίπτωση του Ευδήλου Ικαρίας οι δυνατοί τρόποι αναβάθμισης κυματοθραύστη με πρηνή, όπως αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4, και υπολογίζονται οι επιδόσεις του καθενός στα κριτήρια υπερπήδησης και ευστάθειας.

5.5.1. Προσθήκη στρώσης θωράκισης ή αναβαθμού

Τα ακρόποδα λειτουργούν ως μία στρώση. Η τοποθέτησή τους είναι πολύ αυστηρή, και η αλληλοεμπλοκή τους είναι κρίσιμη για τη λειτουργία της στρώσης. Κάθε μονάδα πρέπει να βρίσκεται σε ποσοστό τουλάχιστον 33% εκτός στρώσης και ταυτόχρονα σε επαφή με την από κάτω στρώση (CLI, 2015). Επομένως, η προσθήκη στρώσης θωράκισης απορρίπτεται στην προκειμένη περίπτωση. Η προσθήκη αναβαθμού απορρίπτεται επίσης, καθώς υπόκειται στους ίδιους περιορισμούς, και έχει το επιπλέον μειονέκτημα ότι η μετάβαση από διπλή σε μονή στρώση στη μέση της κλίσης θα μπορούσε να είναι κρίσιμη για την ευστάθεια των μονάδων θωράκισης (Gutierrez A., Technical Advisor at CLI, προσωπική επικοινωνία, Ιανουάριος 2019).

5.5.2. Εξομάλυνση της κλίσης του πρηνούς

Η εξομάλυνση της κλίσης του κυματοθραύστη έχει θετική επίδραση στην υπερπήδηση. Όσο πιο απότομη η κλίση, τόσο μικρότερη η απορροφητικότητα της διατομής και άρα μεγαλύτερη η υπερπήδηση που επιτρέπει. Ωστόσο, στις μονές στρώσεις θωράκισης, η βαρύτητα παίζει καθοριστικό ρόλο στην αλληλοεμπλοκή των μονάδων και την ευστάθεια της στρώσης. Οι κλίσεις που υποδεικνύονται για τα ακρόποδα από την κατασκευαστική εταιρεία είναι 1:1.5 και 1:1.33. Κλίσεις ομαλότερες από 1:1.5 είναι δυσμενείς για την ευστάθεια και δεν προτείνονται. Άρα στην προκειμένη περίπτωση, ο κυματοθραύστης είναι κατασκευασμένος με την ηπιότερη δυνατή κλίση (CLI, 2012).

5.5.3. Αύξηση του πλάτους της στέψης

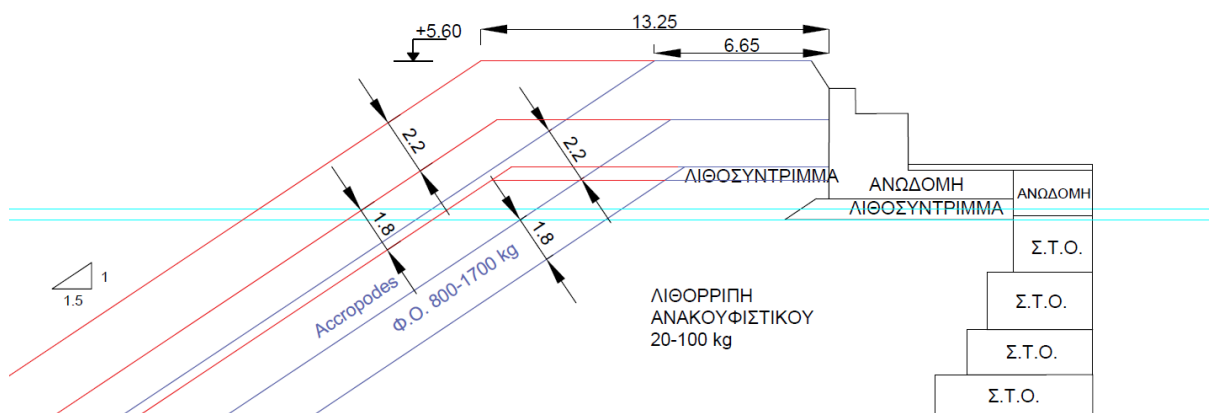
Η λύση αυτή ενισχύει τη διατομή επιμηκύνοντάς την προς την ανοιχτή θάλασσα. Αυξάνει μόνο το πλάτος της στέψης και διατηρεί ίδια τα πάχη των στρώσεων. Όπως ειπώθηκε ήδη, για πλάτος θωράκισης της στέψης μεγαλύτερο από τρεις ονομαστικές διαμέτρους τεχνητών ογκολίθων, επιτυγχάνεται διάχυση περισσότερης ενέργειας και είναι δυνατόν η παροχή υπερπήδησης που προκύπτει από τις Εξισώσεις 28 και 30 να πολλαπλασιαστεί με το μειωτικό συντελεστή:

$$C_r = \min \left[\frac{3.06 * \exp \left(-1.5 * \frac{G_c}{H_{mo}} \right)}{1} \right] \text{ (Εξίσωση 40)}$$

Προκειμένου να αντεπεξέρχεται η διατομή στο όριο μέσης παροχής υπερπήδησης των 7.5 l/s/m με χρονικό ορίζοντα το 2050, χρειάζεται αύξηση του πλάτους στέψης κατά 3.74 m, ενώ με χρονικό ορίζοντα το 2100, κατά 6.6 m.

Οι υπολογισμοί δίνονται στους Πίνακες 20 και 21 του Παραρτήματος.

Επομένως, για να επαρκεί η διατομή με χρονικό ορίζοντα το 2100, το συνολικό πλάτος της στέψης θα πρέπει να αγγίζει τα 13.25 m, απαιτώντας κατάληψη πολύ μεγάλης θαλάσσιας επιφάνειας και καθιστώντας τη λύση αυτή απαγορευτική.



Εικόνα 48: Αύξηση του πλάτους της στέψης

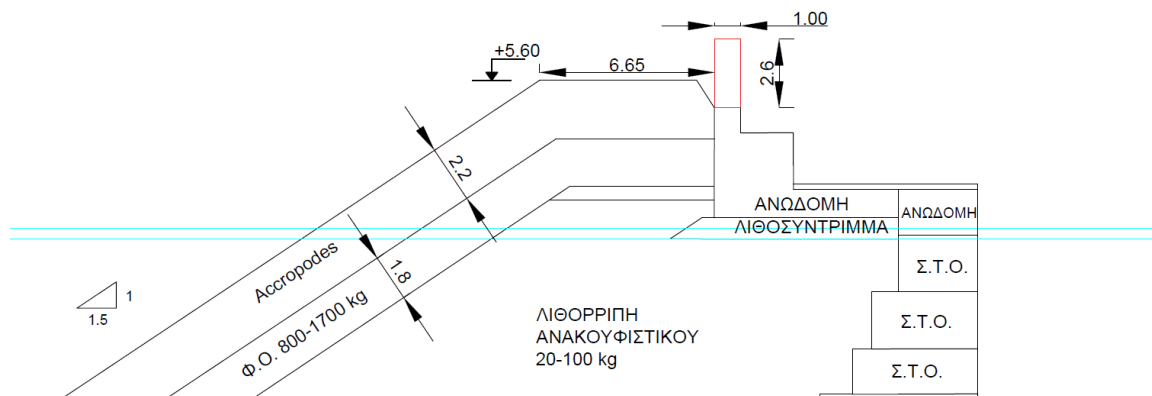
5.5.4. Αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου

Ο προφυλακτήριος τοίχος είναι απαραίτητος, και η απουσία του θα οδηγούσε σε αύξηση του όγκου υπερπήδησης, γιατί έτσι μέρος των υπερπηδόντων κυμάτων θα διείσδυε κατόντη μέσω της θωράκισης. Στο σχεδιασμό, ωστόσο, δεν προτείνεται προφυλακτήριος τοίχος πολύ ψηλότερος από τη στέψη της θωράκισης, λόγω του ότι οι πιέσεις των κυμάτων που δέχεται θα αυξηθούν δραστικά αν του ασκηθούν απευθείας και όχι μέσω της θωράκισης.

Ο υφιστάμενος προφυλακτήριος τοίχος φτάνει 1 m χαμηλότερα από τη στέψη της θωράκισης. Για να ανταποκριθεί η υπάρχουσα διατομή στο όριο μέσης υπερπήδησης 7.5 l/s/m, χρειάζεται, με χρονικό ορίζοντα το 2050, αύξηση του προφυλακτήριου τοίχου κατά 1.9 m, ενώ με χρονικό ορίζοντα το 2100, κατά 2.6 m.

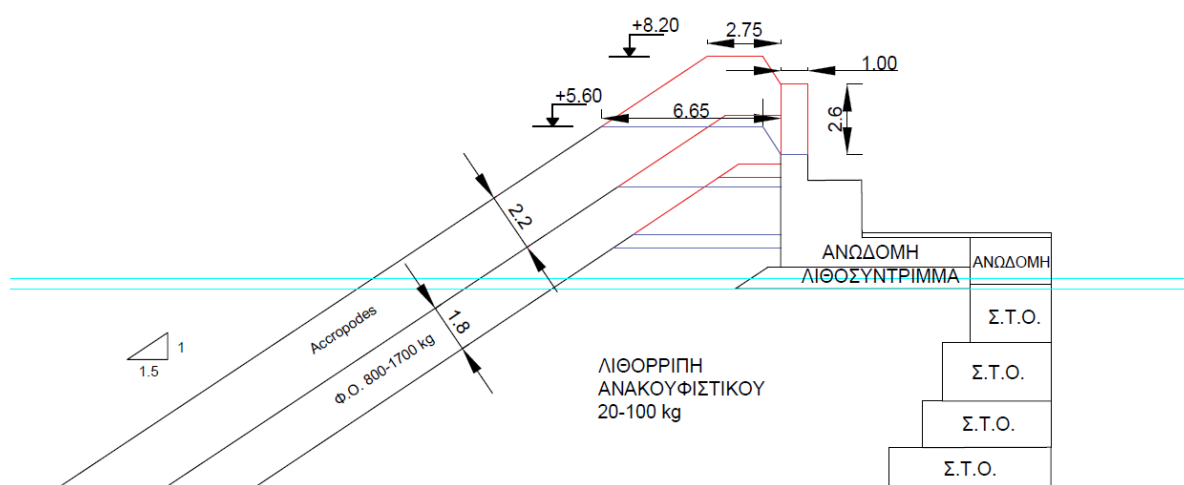
Οι υπολογισμοί δίνονται στους Πίνακες Υπολογισμών 22 και 23 του Παραρτήματος.

Αυτή η λύση θέτει σε σοβαρό κίνδυνο την ευστάθεια της διατομής, γιατί αφήνει σημαντικό ύψος τοίχου (1.6 m) εκτεθειμένο σε απευθείας κυματική πρόσκρουση.



Εικόνα 49: Αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου

Για την αποφυγή της απευθείας κυματικής πρόσκρουσης, θα μπορούσε να αυξηθεί και το ύψος της στέψης κατά την ίδια τιμή, ώστε να τον προστατεύει από την κυματική δράση (Εικόνα 50). Ωστόσο, αυτή η επιλογή θα μείωνε το πλάτος της στέψης στα 2.75 m, έχοντας πολύ δυσμενείς συνέπειες στην υπερπήδηση, που απαιτεί τουλάχιστον τρία ακρόποδα κατά το πλάτος της στέψης.



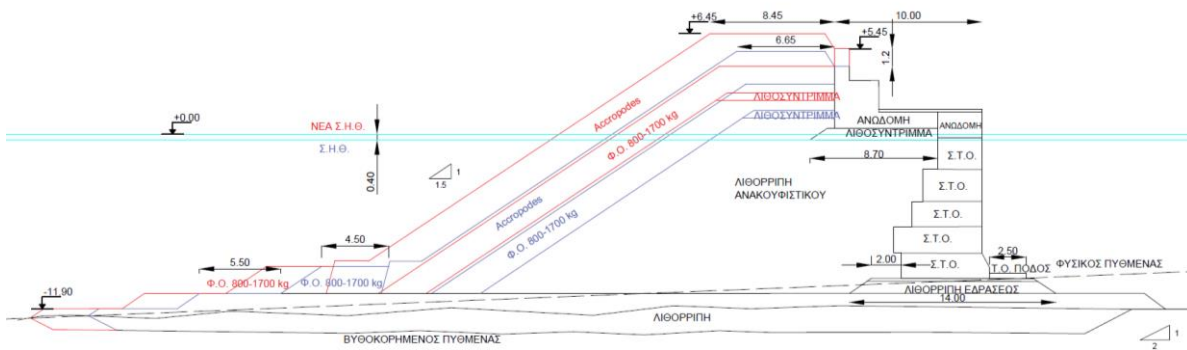
Εικόνα 50: Αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου και του ύψους της στέψης

5.5.5. Συνδυασμός αύξησης του πλάτους της στέψης και του ύψους του τοίχου
Διατηρώντας ίδια την προσήνεμη κλίση 1:1.5 και επεκτείνοντας τη διατομή καθ' ύψος και προς τη θάλασσα, είναι δυνατό να αυξηθεί και το ελεύθερο περιθώριο της θωράκισης και το πλάτος της στέψης. Με αυτό τον τρόπο, ο προφυλακτήριος τοίχος δεν θα είναι εκτεθειμένος σε απευθείας κυματική πρόσκρουση, ενώ θα απαιτείται και μικρότερη αύξηση του πλάτους στέψης από ό,τι αν η λύση αυτή εφαρμοζόταν μόνη της.

Για να μειωθεί η μέση παροχή υπερπήδησης στα 7.5 l/s/m με χρονικό ορίζοντα το 2050, χρειάζεται αύξηση του ύψους της διατομής κατά 0.66 m και του πλάτους της στέψης κατά 1 m. Για το 2100, που είναι και ο κρίσιμος χρονικός ορίζοντας ελέγχου, χρειάζεται αύξηση κατά 1.2 m και 1.8 m αντίστοιχα. Οι υπολογισμοί για την αναβάθμιση αυτή για το 2050 και το 2100 δίνονται στους Πίνακες 24 και 25 του Παραρτήματος.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο προφυλακτήριος τοίχος απαιτεί πολύ μικρότερη αύξηση ύψους, ενώ ταυτόχρονα προστατεύεται από τις υδροδυναμικές πιέσεις μέσω της θωράκισης. Επίσης, περιορίζεται κατά πολύ και η απαίτηση αύξησης του εύρους στέψης.

Το αντίστοιχο σχέδιο δίνεται με λεπτομέρεια στο Παράρτημα Σχεδίων.



Εικόνα 51: Αύξηση του πλάτους της στέψης και του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου

5.5.6. Ύφαλος κυματοθραύστης ανάντη

Όπως ειπώθηκε ήδη, η προσθήκη ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη μεταβάλλει το ύψος του κύματος που προσπίπτει στον έξαλο, και άρα μειώνει την υπερπήδηση που επιτρέπει. Το πορώδες, το εύρος στέψης και το ελεύθερο περιθώριο του ύφαλου κυματοθραύστη επηρεάζουν αντιστρόφως ανάλογα το συντελεστή μετάδοσης (Chen, et al., 2007).

Για την εύρεση των χαρακτηριστικών του ύφαλου κυματοθραύστη, και εφόσον για το κύμα ισχύει η Εξίσωση 48, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία.

$$0.01 < s_{op} = \frac{H_o}{L_o} < 0.05 \text{ (Εξίσωση 48)}$$

Το ύψος του ύφαλου κυματοθραύστη ορίζεται από τον περιορισμό (USACE, 2011):

$$-2 < \frac{R_{c, \text{ύφαλου}}}{D_{n, \text{ύφαλου}}} < 6 \text{ (Εξίσωση 49)}$$

Ταυτόχρονα, η εκτίμηση των απαιτούμενων διαστάσεων των λίθων θωράκισης μπορεί να γίνει με την παρακάτω έκφραση (Van der Meer) για μηδενικό ποσοστό ζημιών (Μέμος, 2013):

$$\frac{h_c}{h} = 2.1 * \exp(-0.14 * N_{s*}) \text{ (Εξίσωση 50)}$$

$$N_{S*} = \frac{H_s}{\Delta * D_{n,\acute{\upsilon}\varphi\alpha\lambda\omicron\nu} * s_p^{\frac{1}{3}}} \quad (\text{Εξίσωση 51})$$

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \quad (\text{Εξίσωση 52})$$

$$\rho_s = 2.6 \frac{t}{m^3}$$

για φυσικούς ογκολίθους.

$$\rho_w = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$s_p = \frac{H_s}{\frac{g * T_p^2}{2\pi}} \quad (\text{Εξίσωση 53})$$

Για τους ύφαλους κυματοθραύστες ισχύει ότι, για να είναι πιο αποτελεσματικοί, η στέψη τους πρέπει να βρίσκεται όσο γίνεται πιο κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια. Αυτό, όμως, συνεπάγεται μεγάλους όγκους υλικών και υψηλά κόστη κατασκευής, ειδικά σε περιοχές μεγάλου βάθους, όπως στην προκειμένη περίπτωση (Μέμος, 2013).

Επομένως, το ύψος της κατασκευής και η ονομαστική διάμετρος των ογκολίθων θωράκισης βρίσκονται συνδυαστικά, με την παραδοχή του μεγαλύτερου δυνατού ελεύθερου περιθωρίου, όπως ορίζεται από την Εξίσωση 54:

$$\frac{R_{c,\acute{\upsilon}\varphi\alpha\lambda\omicron\nu}}{D_{n,\acute{\upsilon}\varphi\alpha\lambda\omicron\nu}} = -2 \quad (\text{Εξίσωση 54})$$

Οι τιμές που προκύπτουν από τις εξισώσεις 50 και 54 για το 2050 είναι ύψος έργου 11.6 m και ονομαστική διάμετρος ογκολίθων 1.4 m, ενώ για το 2100 είναι ύψος έργου 11.7 m και 1.45 m αντίστοιχα .

Στην τιμή που προκύπτει για την ονομαστική διάμετρο ογκολίθων του ύφαλου κυματοθραύστη πρέπει να ελεγχθεί ο περιορισμός της Εξίσωσης 55.

$$1 < \frac{H_s}{D_{n,\acute{\upsilon}\varphi\alpha\lambda\omicron\nu}} < 6 \quad (\text{Εξίσωση 55})$$

Επομένως, επιλέγεται κατασκευή ύψους 11.7 m και ονομαστικής διαμέτρου ογκολίθων 1.5 m, δηλαδή βάρους $W=8.78$ t, όπως προκύπτει για ειδικό βάρος φυσικών $2.6 \frac{t}{m^3}$ από τον τύπο (Μέμος, 2013):

$$W = 2.6 * D_{n,\acute{\upsilon}\varphi\alpha\lambda\omicron\nu}^3 \quad (\text{Εξίσωση 56})$$

Το πλάτος της στέψης προκύπτει ίσο με 4.5 m και βρίσκεται από την Εξίσωση 57 για $n = 3$ ογκολίθους κατά μήκος της στέψης και $k_s = 1$ συντελεστή στρώσης για τραχείς φυσικούς ογκολίθους (Μουτζούρης, 2005):

$$B = \min \left[n * k_s * D_{n,\acute{\upsilon}\varphi\alpha\lambda\omicron\nu} \right] \quad (\text{Εξίσωση 57})$$

Ο ύφαλος κυματοθραύστης με τα χαρακτηριστικά αυτά μειώνει το κύμα που προσπίπτει στον κατάντη του έξαλο κατά 39% για το 2050 και 38% για το 2100. Ο συντελεστής μετάδοσης δίνεται από τον τύπο (USACE, 2011):

$$C_t = \left(0.031 * \frac{H_s}{D_{n, \text{ύφαλου}}} - 0.24 \right) * \frac{R_{c, \text{ύφαλου}}}{D_{n, \text{ύφαλου}}} + b \quad (\text{Εξίσωση 58})$$

Και έχει μέγιστη τιμή το 0.75 και ελάχιστη το 0.075.

$$b = -5.42 * s_{op} + 0.0323 * \frac{H_s}{D_{n, \text{ύφαλου}}} - 0.0017 * \left(\frac{B}{D_{n, \text{ύφαλου}}} \right)^{1.84} + 0.51 \quad (\text{Εξίσωση 59})$$

Το ύψος του κύματος που μεταδίδεται κατάντη έχει ύψος:

$$H_s' = C_t * H_s \quad (\text{Εξίσωση 60})$$

Σε ό,τι αφορά το συνδυασμό ύφαλου και έξαλου κυματοθραύστη, τίθεται το ζήτημα της συσσώρευσης νερού, δηλαδή της τοπικής υπερύψωσης της στάθμης της θάλασσας μεταξύ των δύο κατασκευών. Αυτή η συσσώρευση νερού συμβαίνει λόγω της αλληλεπίδρασης των μεταδιδόμενων κατάντη του ύφαλου κυμάτων και των ανακλώμενων από τον έξαλο κυμάτων. Η τιμή του μεγέθους αυτού μεταξύ των δύο κατασκευών ποικίλλει χωρικά, και η μέγιστη τιμή εμφανίζεται περίπου στη μέση. Η μέγιστη αυτή τιμή λαμβάνεται από τον τύπο (Chen, et al., 2007):

$$\eta_{max} = H_o * 1.29 * \exp \left[- \left(1.28 + \frac{R_{c, \text{ύφαλου}}}{H_o} \right)^2 \right] \quad (\text{Εξίσωση 61})$$

Το μέγεθος αυτό προκύπτει για το 2050 ίσο με 40 cm, και για το 2100 ίσο με 43 cm.

Υπερ της ασφαλείας, στους υπολογισμούς της αναρρίχησης και υπερπήδησης κύματος, καθώς και της ευστάθειας του πόδα, χρησιμοποιείται αυτό το επαυξημένο βάθος, γιατί πρέπει να ληφθεί υπόψιν η περαιτέρω μείωση του ελεύθερου περιθωρίου της στέψης του κυματοθραύστη. Επομένως, στις Εξισώσεις 23-47 χρησιμοποιείται το ύψος κύματος H_s' , όπως δίνεται από την Εξίσωση 60, το επαυξημένο βάθος h' , όπως δίνεται από την Εξίσωση 62, και το μειωμένο ελεύθερο περιθώριο του έξαλου κυματοθραύστη R_c' , σύμφωνα με την Εξίσωση 63:

$$h' = h + \eta_{max} \quad (\text{Εξίσωση 62})$$

$$R_c' = R_c - \eta_{max} \quad (\text{Εξίσωση 63})$$

Η μέση παροχή υπερπήδησης του έξαλου κυματοθραύστη μειώνεται στα 0.12 l/s/m για το 2050, και 0.46 l/s/m για το 2100. Αυτό σημαίνει ότι η μέση παροχή υπερπήδησης είναι σε κάθε περίπτωση μικρότερη από 1 l/s/m και άρα η κατασκευή θεωρείται πλέον μη υπερπηδητή (Πίνακας 16). Ταυτόχρονα, η ευστάθεια θωράκισης και ποδός ικανοποιούνται, αφού το ύψος του κύματος που προσπίπτει στην κατασκευή είναι πολύ μικρότερο.

Οι υπολογισμοί δίνονται στους Πίνακες Υπολογισμών 26 και 27 του Παραρτήματος.

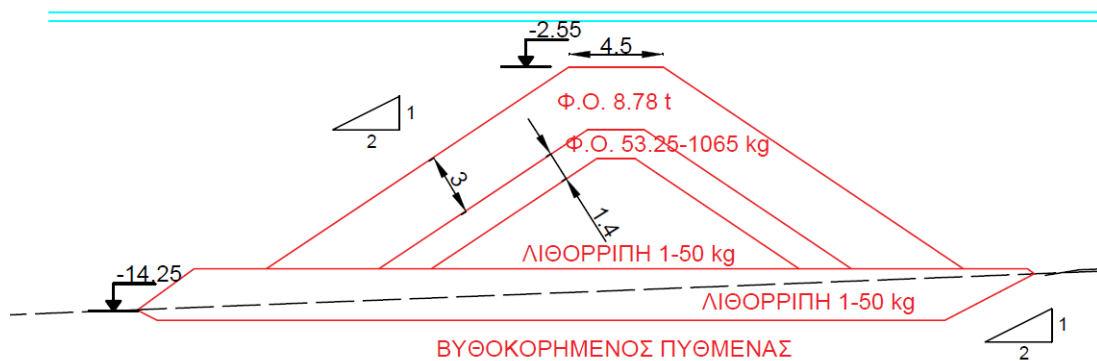
Εφόσον η κλίση του πρανούς του ύφαλου κυματοθραύστη δεν υπεισέρχεται στη μείωση του ύψους του κύματος που φτάνει στον έξαλο, επιλέγεται κλίση 1:1.5, με στόχο τον περιορισμό του όγκου των απαιτούμενων υλικών και άρα του κόστους. Εσωτερικά, επιλέγονται μία στιβάδα με υλικό βάρους W/10 μέχρι W/200, δηλαδή από 0.88 t μέχρι 43.9 kg. Σε ό,τι αφορά τον πυρήνα,

επιλέγεται υλικό βάρους W/200 ως W/6000, δηλαδή από 43.9 kg ως 1.46 kg περίπου (Μουτζούρης, 2005).

Το πάχος της εξωτερικής στρώσης προκύπτει από την ίδια σχέση που υπολογίστηκε το πλάτος της στέψης, για $n=2$, ίσο με 3 m. Το πάχος της εσωτερικής στρώσης υπολογίζεται ίσο με 1.4 m (Μουτζούρης, 2005).

Τέλος, για την έδραση της κατασκευής προβλέπεται σκάφη εδράσεως από λιθορριπή υλικού βάρους 1-50 kg, με σκοπό την εξυγίανση του πυθμένα και την ομαλότερη κατανομή των φορτίων σε αυτόν (Μουτζούρης, 2005).

Το αντίστοιχο σχέδιο δίνεται με λεπτομέρεια στο Παράρτημα Σχεδίων.



Εικόνα 52: Προσθήκη ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη

5.5.7. Τελική επιλογή του τρόπου αναβάθμισης

Η τελική επιλογή της νέας γεωμετρίας θα γίνει ανάμεσα στο συνδυασμό αύξησης πλάτους στέψης και προφυλακτήριου τοίχου, και στην προσθήκη ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη. Οι δύο αυτές εναλλακτικές είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή των ακρόποδων και ταυτόχρονα έχουν ικανοποιητικές επιδόσεις σε ό,τι αφορά την υπερπήδηση και την ευστάθεια.

Για να ληφθεί υπόψιν στην τελική επιλογή και το κόστος, έγινε τιμολόγηση των δύο αυτών εναλλακτικών (ΦΕΚ 363/Β, 19-2-2013). Ο υπολογισμός του κόστους δίνεται στους Πίνακες 28 και 29 του Παραρτήματος. Σημειώνεται ότι δεν έχουν περιληφθεί οι μεταφορές και η εργασία.

Στον Πίνακα 17 συνοψίζονται οι επιδόσεις καθεμίας από τις δύο εναλλακτικές.

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ & ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΗΣ ΣΤΕΨΗΣ		ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΥΦΑΛΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΑΝΑΝΤΗ	
		ΣΕΝΑΡΙΟ 2050	ΣΕΝΑΡΙΟ 2100	ΣΕΝΑΡΙΟ 2050	ΣΕΝΑΡΙΟ 2100
q_{mean} (l/s/m)	5—10	3.30	7.30	0.12	0.46
V_{max} (l/m)	10000—20000	505.29	685.27	132.79	152.43
K_D	≤ 15	9.56	11.02	2.21	2.61
N_{od}	≤ 2	1.09	1.34	0.04	0.05
Κόστος / m		5 707.67 €		4 515.21 €	

Πίνακας 17: Σύνοψη των επιδόσεων των επικρατέστερων εναλλακτικών αναβάθμισης

Παρόλο η κατασκευή ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη προκύπτει να έχει μικρότερο κόστος, ως βέλτιστη λύση επιλέγεται η **συνδυαστική αύξηση του πλάτους της στέψης και του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου**. Αυτή η εναλλακτική θεωρείται προτιμότερη, επειδή η κατασκευή ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη απαιτεί την κατάληψη μεγάλου θαλάσσιου χώρου, αποτελώντας ταυτόχρονα κίνδυνο για τη ναυσιπλοΐα.

Στον Πίνακα 18, παρουσιάζονται συνολικά οι εναλλακτικοί τρόποι αναβάθμισης της διατομής, το κόστος και η αξιολόγηση καθενός από αυτούς.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ CII	ΚΟΣΤΟΣ/m	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
1	Προσθήκη Στρώσης Θωράκισης	✗		
2	Προσθήκη Αναβαθμού	✗		
3	Εξομάλυνση της Κλίσης του Πρανούς	✗		
4	Αύξηση του Πλάτους της Στέψης κατά 6.6 m	✓	5 021.99 €	κατάληψη μεγάλης θαλάσσιας επιφάνειας
5	Αύξηση του Ύψους του Προφυλακτήριου Τοίχου κατά 2.6 m	✓	260.00 €	1.6 m εκτεθειμένα σε απευθείας κυματική δράση
6	Αύξηση του Πλάτους της Στέψης & του Ύψους του Προφυλακτήριου Τοίχου κατά 1.8 m & 1.2 m αντίστοιχα	✓	5 707.67 €	✓
7	Ύψαλος Κυματοθραύστης Ελεύθερου Περιθωρίου 2.55 m Ανάντη	✓	4 515.21 €	κατάληψη μεγάλου θαλάσσιου χώρου & κίνδυνος για τη ναυσιπλοΐα

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΧΡΩΜΑΤΩΝ	
	ΚΑΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ
	ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ
	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Πίνακας 18: Σύνοψη των εναλλακτικών αναβάθμισης

5.6. Άλλες παρεμβάσεις στην τυπική διατομή

Ανατρέχοντας στις στρατηγικές προσαρτήσεις και διαχείρισης που παρατέθηκαν στο Κεφάλαιο 4, στην περίπτωση του λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, επιπρόσθετα της αναβάθμισης της τυπικής διατομής του κυματοθραύστη στο κεντρικό τμήμα του, πρέπει να διερευνηθούν ακόμα δύο ζητήματα: αυτό της συσσώρευσης ομβρίων και θαλάσσιων υδάτων στο κρηπίδωμα της υπήνεμης πλευράς, λόγω των εντονότερων καταιγίδων και της αυξημένης κυματικής υπερπήδησης αντίστοιχα, και αυτό της μείωσης του ελεύθερου περιθωρίου του κρηπιδοτοίχου λόγω της υψηλότερης στάθμης.

Σχετικά με τη συσσώρευση θαλάσσιων και ομβρίων υδάτων στο κρηπίδωμα, η ενίσχυση της εγκάρσιας κλίσης της ανωδομής από το υφιστάμενο 1% θα διευκόλυνε την αποχέτευσή τους στη θάλασσα κατά τη διάρκεια ακραίων γεγονότων. Ωστόσο, από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι η αναβάθμιση της τυπικής διατομής μειώνει κατά πολύ την παροχή και τον όγκο υπερπήδησης, καθιστώντας την ενίσχυση της εγκάρσιας κλίσης περιττή.

Όσον αφορά στο ελεύθερο περιθώριο του κρηπιδοτοίχου, το οποίο υπό τις συνθήκες κατασκευής ήταν ίσο με 2 m, η επάρκειά του πρέπει να ελεγχθεί υπό τη συνδυασμένη επίδραση της μόνιμης αύξησης της στάθμης της θάλασσας και της μετεωρολογικής παλίρροιας. Το 2050, η τιμή του θα έχει μειωθεί κατά τη μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας, 0.17 m, και κατά το μέγεθος της μετεωρολογικής παλίρροιας, 0.35 m και θα είναι τελικά ίσο με:

$$2 - 0.17 - 0.35 = 1.48 \text{ m (Εξίσωση 64)}$$

Το 2100, η τιμή του θα έχει μειωθεί κατά τη μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας, 0.4 m, και κατά το μέγεθος της μετεωρολογικής παλίρροιας, 0.35 m και θα είναι τελικά ίσο με:

$$2 - 0.4 - 0.35 = 1.25 \text{ m (Εξίσωση 65)}$$

Επομένως, το ελεύθερο περιθώριο του κρηπιδοτοίχου επαρκεί και στα δύο εξεταζόμενα μελλοντικά σενάρια και άρα δεν κρίνονται απαραίτητες άλλες παρεμβάσεις στην τυπική διατομή.

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελούν οι μέθοδοι που έχουν ακολουθηθεί ή θα μπορούσαν να ακολουθηθούν προκειμένου ένας υφιστάμενος λιμένας να προσαρμοστεί από όλες τις απόψεις στο ενδεχόμενο κλιματικής αλλαγής, διατηρώντας τη λειτουργικότητά του και συνεχίζοντας να ικανοποιεί τις ανάγκες για τις οποίες σχεδιάστηκε. Στη συνέχεια, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε για την περίπτωση του λιμένα Ευδήλου Ικαρίας.

Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν αφορούν τη διερεύνηση της συστηματικότητας της καταγραφής των ανεμολογικών και κυματικών συνθηκών στην Ελλάδα με σκοπό την ανάλυση συμβάντων καταιγίδας, καθώς και την αξιολόγηση της επάρκειας των υφιστάμενων λιμενικών υποδομών.

Σε ό,τι αφορά τα ανεμολογικά και κυματικά δεδομένα, προέκυψε ότι είναι πολύ σημαντικό κατά τη διαδικασία ελέγχου των έργων, να δίνεται έμφαση στις ακραίες τιμές της έντασης ανέμου και του ύψους κύματος. Το μέσο κυματικό κλίμα δεν αναδεικνύει τις αιχμές, λόγω της μικρής συχνότητας της αντίστοιχης έντασης πνοής ανέμου, όμως αυτές ακριβώς αποτυπώνουν τη μεταβολή του κλίματος και είναι κρίσιμες για τα έργα. Οι ακραίες τιμές του ύψους κύματος μπορούν είτε να βρεθούν απευθείας από την τρίωρη ή και ωριαία καταγραφή του σε παγκόσμιες βάσεις δεδομένων, είτε να προσδιοριστούν εμμέσως από αντίστοιχη καταγραφή των χαρακτηριστικών της πνοής ανέμου.

Κατά τη μελέτη της περίπτωσης του λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, δεν βρέθηκαν αναλυτικά ανεμολογικά ή κυματικά δεδομένα συγκεκριμένα για την περιοχή της Ικαρίας. Αντ'αυτού, βρέθηκαν από το ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ. αναλυτικές μετρήσεις του ύψους κύματος για τα κοντινά νησιά της Μυκόνου και της Σκύρου. Ωστόσο, η ανεπαρκής αντιστοιχία των θέσεων αυτών με τη θέση του Ευδήλου, το μικρό μήκος των χρονοσειρών και η αχρήστευση τμήματος της μίας χρονοσειράς λόγω βλαβών του μετρητή οδήγησε στην εγκατάλειψη των δεδομένων αυτών. Στη συνέχεια, αξιοποιήθηκε ένα γενικευμένο διάνυσμα των ανεμολογικών συνθηκών της DHI για το Αιγαίο, μετά από βελτίωση της ακρίβειάς του για την περιοχή της Ικαρίας. Προκύπτει, λοιπόν, πως η καταγραφή των ανεμολογικών και κυματικών συνθηκών θα πρέπει στο μέλλον να γίνεται πιο συστηματικά και από περισσότερους σταθμούς, καθώς και η παρακολούθηση των μετρητικών συστημάτων να είναι πιο ενδεδειγμένη.

Σε ό,τι αφορά την επάρκεια των υφιστάμενων υποδομών, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι λιμένες δεν είχαν αρχικά σχεδιαστεί για τις νέες συνθήκες που ορίζει η κλιματική αλλαγή. Η υψηλότερη στάθμη θάλασσας και οι υψηλότεροι κυματισμοί απειλούν τα λιμενικά έργα. Οι κύριες παράμετροι που δέχονται πρόκληση είναι η ευστάθεια και η κυματική υπερπήδηση των κυματοθραυστών, η επάρκεια του ελεύθερου περιθωρίου των κρηπιδοτοιχών, η συσσώρευση ομβρίων και θαλάσσιων υδάτων στους χερσαίους χώρους του λιμένα και η αυξημένη στερεοαπορροή στη λιμενολεκάνη. Επομένως, ο έλεγχος των υφιστάμενων λιμένων κρίνεται απαραίτητος, ώστε να διαπιστωθεί τυχόν ανάγκη ενίσχυσης ή και αναβάθμισης. Ταυτόχρονα, όμως, και ο σχεδιασμός νέων λιμένων θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν τα νέα δεδομένα.

Συγκεκριμένα για την περίπτωση του λιμένα Ευδήλου Ικαρίας, η αναβάθμιση του κυματοθραύστη στο κεντρικό τμήμα του κρίθηκε απαραίτητη. Κατά το σχεδιασμό του έργου,

είχαν χρησιμοποιηθεί τα μέσα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής, ενώ δεν είχε ληφθεί υπόψη η μετεωρολογική παλίρροια, ούτε η αναμενόμενη μόνιμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Παρόλο που για τα δεδομένα αυτά η τυπική διατομή επαρκεί, δεν ισχύει το ίδιο στην περίπτωση ανόδου της στάθμης της θάλασσας και αύξησης της έντασης των ανεμολογικών και κυματικών συνθηκών με χρονικό ορίζοντα το 2050 και το 2100.

Για την αναβάθμιση της τυπικής διατομής, εξετάστηκε η προσθήκη στρώσης θωράκισης, η εξομάλυνση της κλίσης του πρανού, η αύξηση του πλάτους της στέψης, η αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου, ο συνδυασμός των δύο τελευταίων και τελικά η κατασκευή ενός ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη. Ως βέλτιστη λύση επιλέχθηκε η διατήρηση της γεωμετρίας της διατομής και η επέκτασή της προς τη θάλασσα κατά 1.8 m κατά το πλάτος της στέψης και 1.2 m καθ' ύψος.

Τέλος, ελέγχθηκε η επάρκεια του νέου, μειωμένου βυθίσματος του κρηπιδώματος στην υπήνεμη πλευρά του κυματοθραύστη, καθώς και της εγκάρσιας κλίσης της αποβάθρας, χωρίς να κριθεί απαραίτητη κάποια παρέμβαση.

Βιβλιογραφία

- Allsop, N. H., 2005. *Low Reflection Walls for Harbours: Development of New Structures and Application in Hong Kong*. London, UK, Thomas Telford, pp. 58-69.
- Becker, A., Hippe, A. & Mclean, E., 2017. Cost and Materials Required to Retrofit US Seaports in Response to Sea Level Rise: A Thought Exercise for Climate Response. *Journal of Marine Science and Engineering*, 5(3), pp. 44-65.
- Bradbury, A. P., Allsop, N. H. & Stephens, R. V., 1988. *Hydraulic Performance of Breakwater Crown Walls*, Wallingford, Oxfordshire, UK: United Kingdom.
- Chen, H.-B., Tsai, C.-P. & Jeng, C.-C., 2007. *Wave Transformation between Submerged Breakwater and Seawall*. Australia, Journal of Coastal Research, pp. 1069-1074.
- Church, J. A. & Clark, P. U., 2013. Sea Level Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 1148-1149.
- Church, J. A. & Gregory, J. M., 2001. *Changes in Sea Level*, s.l.: IPCC.
- CLI, 2012. *ACCROPODE™ Design Guide Table*. [Online] Available at: www.concretelayer.com/sites/default/files/ACCROPODE%E2%84%A2_Design_Table_2012_0.pdf
- CLI, 2015. *ACCROPODE™ Basic Specifications*. [Online] Available at: www.concretelayer.com/sites/default/files/ACCROPODE%E2%84%A2_Basic%20Specifications_Version%20D_0.pdf
- Connell, R. & Canevari, L., 2015. *Port of Manzanillo: Climate Risk Management Executive Summary*. Manzanillo: Inter-American Development Bank.
- de Bruijn, K. M., 2005. *Resilience strategies for flood risk management of lowland rivers (PhD Thesis)*. Delft: Delft University Press.
- Deyle, R. . E., Bailey, K. C. & Matheny, A., 2007. *Adaptive Response Planning to Sea Level Rise in Florida and Implications for Comprehensive and Public-Facilities Planning*. Tallahassee: Florida State University.
- Enzler, S. M., 2018. *The greenhouse effect mechanism*. [Ηλεκτρονικό] Available at: www.lenntech.com/greenhouse-effect/greenhouse-effect-mechanism.htm
- European Aerosol Federation, 2018. *Uses and Benefits*. [Ηλεκτρονικό] Available at: www.aerosol.org/about-aerosols/uses-benefits/
- European Environment Agency, 2016. *Climate change policies*. [Online] Available at: www.eea.europa.eu/themes/climate/policy-context
- Galiatsatou, P. & Prinos, P., 2015. *Estimating the Effects of Climate Change on Storm Surge Extremes in the Greek Seas*. The Hague, the Netherlands, 36th IAHR World Congress.
- Galiatsatou, P., Prinos, P. & Makris, C., 2018. Optimised Reliability-Based Upgrading of Rubble Mound Breakwaters in a Changing Climate. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(3), pp. 92-112.
- Gregory, J., 2014. *Projections of sea level rise*. [Online] Available at: www.ipcc.ch/pdf/unfccc/cop19/3_gregory13sbsta.pdf

- Hasselmann, K. et al., 1973. *Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*, s.l.: Deutsches Hydrographisches Institut.
- Ijima, T., Tanaka, E. & Okuzono, H., 1976. *Permeable Seawall with Reservoir and the Use of Warock*. Honolulu, Hawaii, 15th Conference on Coastal Engineering, pp. 2623-2642.
- IPCC, 2007. *Observed effects of climate change*. [Online] Available at: www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/mains1-2.html
- IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5°C, Summary for Policymakers-48th Session of the IPCC, Incheon, Republic of Korea*, s.l.: IPCC.
- Kakuno, S., Oda, K. & Liu, P. L., 1992. *Scattering of Water Waves by Vertical Cylinders with a Backwall*. Venice, Italy, 23rd Conference on Coastal Engineering, pp. 1258-1271.
- Katz, R. W. & Brown, B. G., 1992. Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. *Climatic Change*, 21(3), p. 289–302.
- Koftis, T., Prinos, P., Galiatsatou, P. & Karambas, T., 2015. *An Integrated Methodological Approach for the Upgrading of Coastal Structures due to Climate Change Effects*. The Hague, the Netherlands, 36th IAHR World Congress.
- Krestenitis, Y. et al., 2015. *Evolution of storm surge extreme events in Greek Seas under climate change scenario*. Lesvos, Greece, 11th Panhellenic Symposium on Oceanography and Fisheries, pp. 848-851.
- Makris, C. V. et al., 2015. *Numerical Modelling of Storm Surges in the Mediterranean Sea Under Climate Change*. The Hague, the Netherlands, 36th IAHR World Congress.
- Meier, M. F. et al., 2007. Glaciers Dominate Eustatic Sea-Level Rise in the 21st Century. *Science*, 317(5841), pp. 1064-1067.
- Mills-Knapp, S. et al., 2011. *Climate Change Adaptation and Sustainable Design at the Port Authority of New York & New Jersey*. s.l.:Port Authority of New York & New Jersey.
- NASA, 2018. *Sea Level*. [Ηλεκτρονικό] Available at: climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/
- NASA, 2019. *Global Temperature*. [Online] Available at: climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/
- NASA, 2019. *How climate is changing*. [Online] Available at: climate.nasa.gov/effects/
- Nicholls, R. J. et al., 2008. *Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes: Exposure Estimates*, Paris: OECD Publishing.
- NOAA Earth System Research Laboratory, 2019. *Full Mauna Loa CO2 record*. [Online] Available at: www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/monthly.html
- Nursey-Bray, M. et al., 2013. Vulnerabilities and adaptation of ports to climate change. *Journal of Environmental Planning and Management*. 56 (7), pp. 1021-1045.
- Pereira, M. & Cavalcante, U., 2016. *Maritime Transport and the Climate Change*. [Online] Available at: https://globalmaritimehub.com/wp-content/uploads/attach_654.pdf
- PIANC, 1981. *Design of Breakwaters for yacht harbours with particular reference to the following*. Brussels: General Secretariat of PIANC.
- Port of Long Beach & AECOM, 2016. *Port of Long Beach: Climate Adaptation and Coastal Resiliency Plan*. Long Beach, California: California State Lands Commission.

Prinos, P., 2012. *Climate Change Effects on the Vulnerability of Greek Coastal Regions to flooding and the functionality of coastal structures*. [Online] Available at:

www.ecoshaz.eu/site/wp-content/uploads/Prinos_ECOHAZ_Final.pdf

Pullen, T. et al., 2007. *Eurotop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures, second edition*. Heide i. Holstein: Boyens Medien GmbH& Co.

Science Daily, 2016. *What are aerosols?*. [Ηλεκτρονικό] Available at:

www.sciencedaily.com/releases/2016/04/160401145037.htm

Sverdrup, H. U. & Munk, W. H., 1947. *Wind, sea and swell: Theory of relations for forecasting*, Washington, D.C.: U.S. Navy Department, Hydrographic Office.

Tsimplis, M. N., 2013. The effect of the NAO on sea level and on mass changes in the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(2), pp. 944-952.

UNFCCC, 1992. *United Nations Framework Convention on Climate Change*. [Online] Available at:

unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf

UNFCCC, 2018. *International agreements on climate action*. [Online] Available at:

www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-change/international-agreements-climate-action/

UNFCCC, 2018. *Intro to Cancun Agreements*. [Online] Available at:

unfccc.int/process/conferences/the-big-picture/milestones/the-cancun-agreements

United States Environmental Protection Agency, 2014. *Good Up High Bad Nearby - What is Ozone?*. [Online] Available at: cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=gooduphigh.index

USACE, 2011. CEM PART VI Chapter 5: Fundamentals of Design. In: *Coastal Engineering Manual (CEM)*. Washington, DC: USACE, pp. 22-38.

Van der Meer, J., 2012. *Design aspects of breakwaters and sea defences*, Aachen: Shaker Verlag GmbH, Germany.

Wikipedia, 2018. *Carbon Dioxide Removal*. [Online] Available at:

en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide_removal

Βικιπαίδεια, 2017. *Διοξείδιο του Άνθρακα*. [Ηλεκτρονικό] Available at:

el.wikipedia.org/wiki/Διοξείδιο_του_άνθρακα

Βικιπαίδεια, 2018. *Δήμος Ευδήλου*. [Ηλεκτρονικό] Available at: el.wikipedia.org/wiki/Δήμος_Ευδήλου

Γαλιατσάτου, Π. & Πρίνος, Π., 2014. *Μελέτη των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής στις Ακραίες Τιμές του Κυματικού Κλίματος στο Αιγαίο*. Αθήνα, Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο-Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, pp. 365-373.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011. *Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής*. [Ηλεκτρονικό] Available at: ec.europa.eu/clima/change/consequences_el

Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011. *Κατανοώντας τα αέρια του θερμοκηπίου*. [Ηλεκτρονικό] Available at: ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_el.pdf

Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, 2008. *Το φαινόμενο του θερμοκηπίου*. [Ηλεκτρονικό] Available at: www.kee.gr/perivallontiki/teacher6_4.html

Κρεστενίτης, Γ. Ν. και συν., 2014. *Ακραίες Τιμές Μετεωρολογικής Παλίρροιας στη Μεσόγειο Θάλασσα λόγω Κλιματικής Αλλαγής*. Αθήνα, Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο-Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, pp. 357-363.

Μαμούτος, Ι., Τράγου, Ε. & Κακαγιάννης, Γ., 2014. *Εκτιμήσεις Ανόδου της Μέσης Στάθμης των Ελληνικών Θαλασσών*. Αθήνα, Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο-Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, pp. 335-344.

Μέμος, Κ., 2013. *Εισαγωγή στα Λιμενικά Έργα*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

Μουτζούρης, Κ. Ι., 2009. *Θαλάσσια Υδραυλική*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π..

Μουτζούρης, Κ. Ι., 2005. *Εισαγωγή στην Ακτομηχανική*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π..

Πρίνος, Π., 2014. *Η επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής στις Ελληνικές Θάλασσες και Παράκτιες Περιοχές-το Πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ-CCSEAWAVS*. Αθήνα, Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο-Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, pp. 315-324.

ΦΕΚ 363/Β, 19-2-2013. *Εφημερίς της Κυβερνήσεως*. σ.Ι.:Ελληνική Δημοκρατία.

Φράγκου, Μ., 2010. *Οριστική Μελέτη Έργου "Επέκταση Προσήνεμου Μώλου Λιμένα Ευδήλου Ικαρίας"*. Πειραιάς, Αθήνα: Ελληνική Δημοκρατία, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Σάμου, Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών.

Παράρτημα Υπολογισμών

ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΣ						
γωνία α °	γωνία α σε rad	cosa	cos ² a	R (km)	R (m)	R*cos ² a
-45	-0.785	0.707	0.500	3.03	3030	1515.00
-40	-0.698	0.766	0.587	3.16	3160	1854.36
-35	-0.611	0.819	0.671	108.88	108880	73059.58
-30	-0.524	0.866	0.750	112.63	112630	84472.50
-25	-0.436	0.906	0.821	150.85	150850	123907.26
-20	-0.349	0.940	0.883	191.00	191000	168657.24
-15	-0.262	0.966	0.933	207.00	207000	193133.63
-10	-0.175	0.985	0.970	290.00	290000	281255.43
-5	-0.087	0.996	0.992	208.00	208000	206420.01
0	0.000	1.000	1.000	185.00	185000	185000.00
5	0.087	0.996	0.992	251.00	251000	249093.37
10	0.175	0.985	0.970	326.00	326000	316169.90
15	0.262	0.966	0.933	115.26	115260	107539.04
20	0.349	0.940	0.883	389.00	389000	343495.64
25	0.436	0.906	0.821	65.91	65910	54138.07
30	0.524	0.866	0.750	59.00	59000	44250.00
35	0.611	0.819	0.671	64.39	64390	43206.34
40	0.698	0.766	0.587	72.50	72500	42544.75
45	0.785	0.707	0.500	153.00	153000	76500.00
Σύνολο		16.903				2596212.12
F (m)	F (km)					
153599.12	153.60					

Πίνακας Υπολογισμών 1: Υπολογισμός του αναπτύγματος πελάγους για Βορειοδυτικό άνεμο

ΒΟΡΕΙΟΣ						
γωνία α °	γωνία α σε rad	cosa	cos ² a	R (km)	R (m)	R*cos ² a
-45	-0.785	0.707	0.500	200.00	200000	100000.00
-40	-0.698	0.766	0.587	331.00	331000	194238.77
-35	-0.611	0.819	0.671	324.00	324000	217407.26
-30	-0.524	0.866	0.750	116.00	116000	87000.00
-25	-0.436	0.906	0.821	388.00	388000	318700.80
-20	-0.349	0.940	0.883	66.09	66090	58358.94
-15	-0.262	0.966	0.933	60.06	60060	56036.74
-10	-0.175	0.985	0.970	64.38	64380	62438.71
-5	-0.087	0.996	0.992	66.65	66650	66143.72
0	0.000	1.000	1.000	153.12	153120	153120.00
5	0.087	0.996	0.992	70.75	70750	70212.57
10	0.175	0.985	0.970	67.44	67440	65406.44
15	0.262	0.966	0.933	67.61	67610	63080.99
20	0.349	0.940	0.883	66.38	66380	58615.02
25	0.436	0.906	0.821	66.23	66230	54400.91
30	0.524	0.866	0.750	62.33	62330	46747.50
35	0.611	0.819	0.671	63.59	63590	42669.53
40	0.698	0.766	0.587	78.97	78970	46341.50
45	0.785	0.707	0.500	79.21	79210	39605.00
Σύνολο		16.903				1800524.39
F (m)	F (km)					
106524.02	106.52					

Πίνακας Υπολογισμών 2: Υπολογισμός του αναπτύγματος πελάγους για Βόρειο άνεμο

ΔΥΤΙΚΟΣ

γωνια α °	γωνια α σε rad	cosa	cos ² a	R (km)	R (m)	R*cos ² a
-45	-0.785	0.707	0.500	0.00	0	0.00
-40	-0.698	0.766	0.587	0.00	0	0.00
-35	-0.611	0.819	0.671	0.00	0	0.00
-30	-0.524	0.866	0.750	0.00	0	0.00
-25	-0.436	0.906	0.821	0.00	0	0.00
-20	-0.349	0.940	0.883	0.00	0	0.00
-15	-0.262	0.966	0.933	0.00	0	0.00
-10	-0.175	0.985	0.970	0.00	0	0.00
-5	-0.087	0.996	0.992	2.70	2700	2679.49
0	0.000	1.000	1.000	3.06	3060	3060.00
5	0.087	0.996	0.992	3.21	3210	3185.62
10	0.175	0.985	0.970	108.42	108420	105150.74
15	0.262	0.966	0.933	112.35	112350	104823.98
20	0.349	0.940	0.883	150.46	150460	132859.52
25	0.436	0.906	0.821	191.00	191000	156886.22
30	0.524	0.866	0.750	198.00	198000	148500.00
35	0.611	0.819	0.671	290.00	290000	194592.92
40	0.698	0.766	0.587	208.00	208000	122059.41
45	0.785	0.707	0.500	185.00	185000	92500.00
Σύνολο		16.903				1066297.89
F (m)	F (km)					
63085.14	63.09					

Πίνακας Υπολογισμών 3: Υπολογισμός του αναπτύγματος πελάγους για Δυτικό άνεμο

ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ

γωνια α °	γωνια α σε rad	cosa	cos ² a	R (km)	R (m)	R*cos ² a
-45	-0.785	0.707	0.500	153.00	153000	76500.00
-40	-0.698	0.766	0.587	70.78	70780	41535.41
-35	-0.611	0.819	0.671	67.24	67240	45118.72
-30	-0.524	0.866	0.750	67.72	67720	50790.00
-25	-0.436	0.906	0.821	67.18	67180	55181.24
-20	-0.349	0.940	0.883	67.29	67290	59418.57
-15	-0.262	0.966	0.933	62.54	62540	58350.61
-10	-0.175	0.985	0.970	78.12	78120	75764.39
-5	-0.087	0.996	0.992	79.53	79530	78925.88
0	0.000	1.000	1.000	79.26	79260	79260.00
5	0.087	0.996	0.992	75.84	75840	75263.91
10	0.175	0.985	0.970	85.57	85570	82989.75
15	0.262	0.966	0.933	89.02	89020	83056.79
20	0.349	0.940	0.883	91.56	91560	80849.51
25	0.436	0.906	0.821	5.45	5450	4476.60
30	0.524	0.866	0.750	4.41	4410	3307.50
35	0.611	0.819	0.671	3.62	3620	2429.06
40	0.698	0.766	0.587	3.09	3090	1813.29
45	0.785	0.707	0.500	2.50	2500	1250.00
Σύνολο		16.903				956281.22
F (m)	F (km)					
56576.25	56.58					

Πίνακας Υπολογισμών 4: Υπολογισμός του αναπτύγματος πελάγους για Βορειοανατολικό άνεμο

SMB												
Beaufort	Ταχύτητα u (m/s)	Συχνότητα %	Διάρκεια D (s)	Φ1	Φ2	g*D/u	min Φ	χαρακτηρισμός	Ho (m)	Τρ,ο (s)		
0	0.2	0.01	2536.55	37670183.05	51145.93	124417.56	51145.93	DL	0.00	0.13		
1	1.5	0.08	23699.83	669692.14	66158.01	154996.89	66158.01	DL	0.06	0.97		
2	3.3	2.19	691413.92	138366.15	1079873.75	2055385.03	138366.15	FL	0.30	2.29		
3	5.4	7.70	2428709.30	51673.78	2359621.05	4412155.23	51673.78	FL	0.70	3.41		
4	7.9	17.78	5605651.72	24143.68	3749126.03	6960942.20	24143.68	FL	1.26	4.52		
5	10.7	10.95	3453001.47	13161.04	1681857.77	3165789.20	13161.04	FL	1.94	5.57		
6	13.8	2.89	911925.72	7912.24	323371.71	648260.24	7912.24	FL	2.72	6.58		
7	17.1	0.21	64651.43	5153.06	11644.67	37089.50	5153.06	FL	3.58	7.53		
8	20.7	0.03	10314.11	3516.55	857.86	4887.99	857.86	DL	2.60	6.27		
≥9	24.4	0.00	873.02	2530.92	26.94	351.00	26.94	DL	0.86	3.26		
JONSWAP												
Beaufort	Ταχύτητα u (m/s)	Συχνότητα %	Διάρκεια D (s)	CD	u* (m/sec)	Feq (m)	χαρακτηρισμός	Fetch (m)	Ho (m)	Τρ,ο (s)	Ho, max (m)	
0	0.2	0.01	2536.55	0.00	0.01	170.71	DL	170.71	0.00	0.15	0.00	
1	1.5	0.08	23699.83	0.00	0.05	13486.83	DL	13486.83	0.08	1.29	0.08	
2	3.3	2.19	691413.92	0.00	0.12	3194398.43	FL	153599.12	0.59	3.81	0.59	
3	5.4	7.70	2428709.30	0.00	0.19	27299808.80	FL	153599.12	1.00	4.55	1.00	
4	7.9	17.78	5605651.72	0.00	0.29	117701760.69	FL	153599.12	1.51	5.24	1.51	
5	10.7	10.95	3453001.47	0.00	0.41	67372772.63	FL	153599.12	2.12	5.88	2.12	
6	13.8	2.89	911925.72	0.00	0.55	10570247.69	FL	153599.12	2.84	6.49	2.84	
7	17.1	0.21	64651.43	0.00	0.70	226056.93	FL	153599.12	3.64	7.06	3.64	
8	20.7	0.03	10314.11	0.00	0.88	16134.48	DL	16134.48	1.48	3.63	2.60	
≥9	24.4	0.00	873.02	0.00	1.08	438.83	DL	438.83	0.30	1.18	0.86	

Πίνακας Υπολογισμών 5: Μέθοδος SMB και JONSWAP για Βορειοδυτική διεύθυνση ανέμου

SMB												
Beaufort	Ταχύτητα u (m/s)	Συχνότητα %	Διάρκεια D (s)	Φ1	Φ2	g*D/u	min Φ	χαρακτηρισμός	Ho (m)	Τρ.ο (s)		
0	0.2	0.01	2536.55	26125024.27	117749.75	256827.13	117749.75	DL	0.00	0.14		
1	1.5	0.08	23699.83	464444.88	51033.39	124185.54	51033.39	DL	0.05	0.95		
2	3.3	2.19	691413.92	95959.69	719853.09	1388450.55	95959.69	FL	0.29	2.22		
3	5.4	7.70	2428709.30	35836.80	914225.21	1748897.83	35836.80	FL	0.65	3.26		
4	7.9	17.78	5605651.72	16744.13	1095102.86	2083536.47	16744.13	FL	1.14	4.28		
5	10.7	10.95	3453001.47	9127.44	649109.05	1256975.12	9127.44	FL	1.72	5.24		
6	13.8	2.89	911925.72	5487.30	172711.74	362763.50	5487.30	FL	2.39	6.15		
7	17.1	0.21	64651.43	3573.75	18662.33	54114.85	3573.75	FL	3.12	7.01		
8	20.7	0.03	10314.11	2438.80	739.80	4364.03	739.80	DL	2.44	6.07		
≥9	24.4	0.00	873.02	1755.24	0.00	0.00	0.00	DL	0.00	0.03		
JONSWAP												
Beaufort	Ταχύτητα u (m/s)	Συχνότητα %	Διάρκεια D (s)	CD	u* (m/sec)	Feq (m)	χαρακτηρισμός	Fetch (m)	Ho (m)	Τρ.ο (s)	Ho, max (m)	
0	0.2	0.01	2536.55	0.00	0.01	506.28	DL	506.28	0.00	0.22	0.00	
1	1.5	0.08	23699.83	0.00	0.05	9672.35	DL	9672.35	0.07	1.16	0.07	
2	3.3	2.19	691413.92	0.00	0.12	1773556.09	FL	106524.05	0.50	3.38	0.50	
3	5.4	7.70	2428709.30	0.00	0.19	6812869.82	FL	106524.05	0.83	4.03	0.83	
4	7.9	17.78	5605651.72	0.00	0.29	19274475.90	FL	106524.05	1.26	4.64	1.26	
5	10.7	10.95	3453001.47	0.00	0.41	16855880.92	FL	106524.05	1.77	5.21	1.77	
6	13.8	2.89	911925.72	0.00	0.55	4424828.62	FL	106524.05	2.36	5.75	2.39	
7	17.1	0.21	64651.43	0.00	0.70	398396.96	FL	106524.05	3.03	6.26	3.12	
8	20.7	0.03	10314.11	0.00	0.88	13595.90	DL	13595.90	1.36	3.43	2.44	
≥9	24.4	0.00	873.02	0.00	1.08	0.00	DL	0.00	0.00	0.00	0.00	

Πίνακας Υπολογισμών 6: Μέθοδος SMB και JONSWAP για Βόρεια διεύθυνση ανέμου

SMB												
Beaufort	Ταχύτητα u (m/s)	Συχνότητα %	Διάρκεια D (s)	Φ1	Φ2	g*D/u	min Φ	χαρακτηρισμός	Ho (m)	Τρ.ο (s)		
0	0.2	0.01	2536.55	15471636.17	35714.06	92049.92	35714.06	DL	0.00	0.12		
1	1.5	0.08	23699.83	275051.31	79623.18	181949.73	79623.18	DL	0.06	0.99		
2	3.3	2.19	691413.92	56828.78	488228.29	957190.56	56828.78	FL	0.27	2.11		
3	5.4	7.70	2428709.30	21223.09	540356.38	1054467.05	21223.09	FL	0.57	3.03		
4	7.9	17.78	5605651.72	9916.13	641703.88	1243202.15	9916.13	FL	0.96	3.92		
5	10.7	10.95	3453001.47	5405.41	301442.20	606960.81	5405.41	FL	1.43	4.76		
6	13.8	2.89	911925.72	3249.66	59985.99	142505.51	3249.66	FL	1.96	5.55		
7	17.1	0.21	64651.43	2116.43	2267.55	10321.47	2116.43	FL	2.55	6.30		
8	20.7	0.03	10314.11	1444.29	141.67	1237.22	141.67	DL	1.23	4.13		
≥9	24.4	0.00	873.02	1039.48	0.00	0.00	0.00	DL	0.00	0.05		
JONSWAP												
Beaufort	Ταχύτητα u (m/s)	Συχνότητα %	Διάρκεια D (s)	CD	u* (m/sec)	Feq (m)	χαρακτηρισμός	Fetch (m)	Ho (m)	Τρ.ο (s)	Ho, max (m)	
0	0.2	0.01	2536.55	0.00	0.01	108.63	DL	108.63	0.00	0.13	0.00	
1	1.5	0.08	23699.83	0.00	0.05	17153.49	DL	17153.49	0.09	1.40	0.09	
2	3.3	2.19	691413.92	0.00	0.12	1015189.01	FL	63085.16	0.38	2.84	0.38	
3	5.4	7.70	2428709.30	0.00	0.19	3189575.97	FL	63085.16	0.64	3.39	0.64	
4	7.9	17.78	5605651.72	0.00	0.29	8883693.11	FL	63085.16	0.97	3.91	0.97	
5	10.7	10.95	3453001.47	0.00	0.41	5655908.97	FL	63085.16	1.36	4.38	1.43	
6	13.8	2.89	911925.72	0.00	0.55	1089453.18	FL	63085.16	1.82	4.83	1.96	
7	17.1	0.21	64651.43	0.00	0.70	33185.89	DL	33185.89	1.69	4.26	2.55	
8	20.7	0.03	10314.11	0.00	0.88	2054.62	DL	2054.62	0.53	1.84	1.23	
≥9	24.4	0.00	873.02	0.00	1.08	0.00	DL	0.00	0.00	0.00	0.00	

Πίνακας Υπολογισμών 7: Μέθοδος SMB και JONSWAP για Δυτική διεύθυνση ανέμου

SMB											
Beaufort	Ταχύτητα u (m/s)	Συχνότητα %	Διάρκεια D (s)	Φ1	Φ2	g*D/u	min Φ	χαρακτηρισμός	Ho (m)	Τρ.ο (s)	
0	0.2	0.01	2536.55	13875329.97	0.00	0.00	0.00	DL	0.00	0.00	
1	1.5	0.08	23699.83	246672.53	10414.91	33944.56	10414.91	DL	0.04	0.75	
2	3.3	2.19	691413.92	50965.40	132295.95	285033.54	50965.40	FL	0.26	2.08	
3	5.4	7.70	2428709.30	19033.37	52270.31	126733.05	19033.37	FL	0.55	2.98	
4	7.9	17.78	5605651.72	8893.02	24771.78	68104.07	8893.02	FL	0.93	3.85	
5	10.7	10.95	3453001.47	4847.70	4757.89	18341.39	4757.89	DL	1.36	4.64	
6	13.8	2.89	911925.72	2914.37	734.97	4342.18	734.97	DL	1.08	4.04	
7	17.1	0.21	64651.43	1898.07	40.53	478.37	40.53	DL	0.50	2.52	
8	20.7	0.03	10314.11	1295.28	34.67	424.95	34.67	DL	0.68	2.94	
≥9	24.4	0.00	873.02	932.23	0.00	0.00	0.00	DL	0.00	0.05	
JONSWAP											
Beaufort	Ταχύτητα u (m/s)	Συχνότητα %	Διάρκεια D (s)	CD	u* (m/sec)	Freq (m)	χαρακτηρισμός	Fetch (m)	Ho (m)	Τρ.ο (s)	Ho, max (m)
0	0.2	0.01	2536.55	0.00	0.01	0.00	DL	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1.5	0.08	23699.83	0.00	0.05	1382.23	DL	1382.23	0.02	0.61	0.04
2	3.3	2.19	691413.92	0.00	0.12	164965.55	FL	56576.27	0.36	2.74	0.36
3	5.4	7.70	2428709.30	0.00	0.19	132897.94	FL	56576.27	0.61	3.27	0.61
4	7.9	17.78	5605651.72	0.00	0.29	113904.41	FL	56576.27	0.92	3.77	0.93
5	10.7	10.95	3453001.47	0.00	0.41	29710.48	DL	29710.48	0.93	3.42	1.36
6	13.8	2.89	911925.72	0.00	0.55	5794.58	DL	5794.58	0.55	2.20	1.08
7	17.1	0.21	64651.43	0.00	0.70	331.13	DL	331.13	0.17	0.93	0.50
8	20.7	0.03	10314.11	0.00	0.88	413.58	DL	413.58	0.24	1.08	0.68
≥9	24.4	0.00	873.02	0.00	1.08	0.00	DL	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας Υπολογισμών 8: Μέθοδος SMB και JONSWAP για Βορειοανατολική διεύθυνση ανέμου

SMB

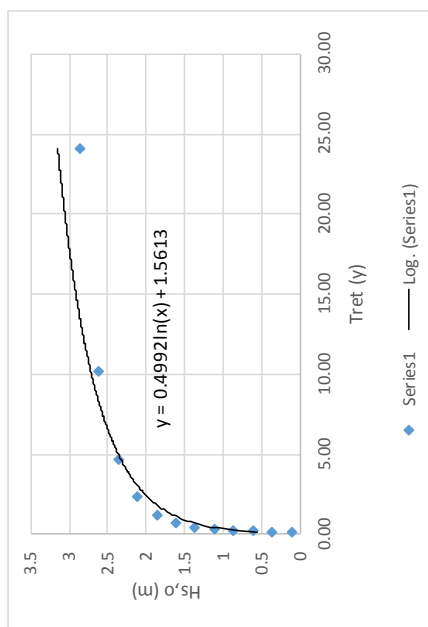
H central	CDF με Weibull	Tret (y)
0.125	0.0098	0.14
0.375	0.0849	0.15
0.625	0.2182	0.17
0.875	0.3824	0.22
1.125	0.5489	0.30
1.375	0.6953	0.44
1.625	0.8097	0.71
1.875	0.8901	1.23
2.125	0.9413	2.30
2.375	0.9710	4.65
2.625	0.9867	10.18
2.875	0.9944	24.09
3.125	0.9978	61.62
3.375	0.9992	170.43
3.625	0.9997	509.63

έτη παρατηρήσεων
22

αικράια γεγονότα (H>1.75 m)
163

πιθ. υπέρβασης %
16.3

Tret (y)	Ho (m)
5	2.34
25	3.14
50	3.49
75	3.69
100	3.83



JONSWAP

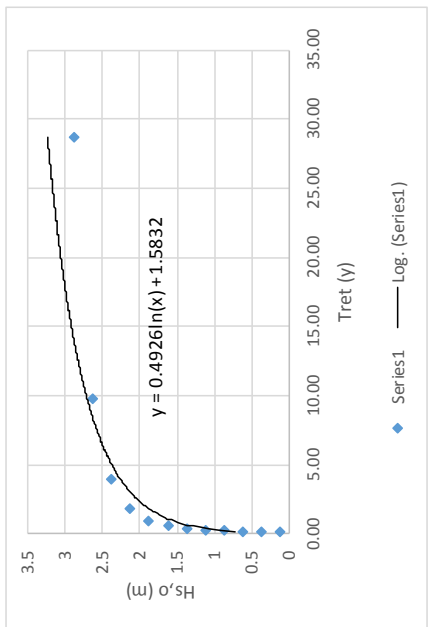
H central	CDF με Weibull	Tret (y)
0.125	0.0015	0.17
0.375	0.0256	0.18
0.625	0.0930	0.19
0.875	0.2084	0.22
1.125	0.3614	0.27
1.375	0.5298	0.37
1.625	0.6877	0.55
1.875	0.8149	0.94
2.125	0.9031	1.79
2.375	0.9556	3.90
2.625	0.9824	9.82
2.875	0.9940	28.75
3.125	0.9982	98.77
3.375	0.9996	401.29
3.625	0.9999	1943.69

έτη παρατηρήσεων
22

αικράια γεγονότα (H>2 m)
127

πιθ. υπέρβασης %
13.0

Tret (y)	Ho (m)
5	2.40
25	3.20
50	3.54
75	3.74
100	3.88

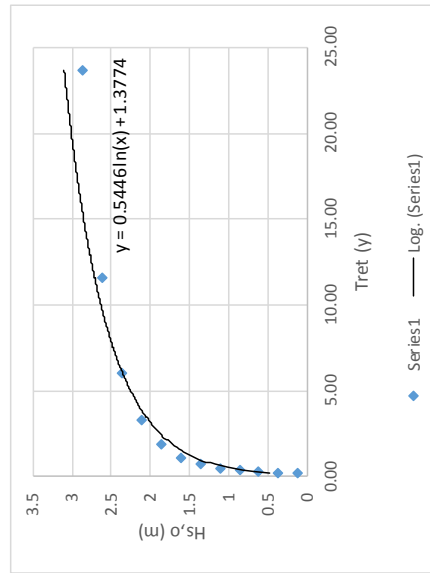


Πίνακας Υπολογισμών 9: Προσαρμογή της κατανομής Weibull στα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας για Βορειοδυτικό άνεμο

SMB

H central	CDF με Weibull	Tret (y)
0.125	0.0198	0.19
0.375	0.1277	0.22
0.625	0.2839	0.26
0.875	0.4522	0.35
1.125	0.6071	0.48
1.375	0.7348	0.72
1.625	0.8310	1.12
1.875	0.8981	1.86
2.125	0.9417	3.26
2.375	0.9684	6.00
2.625	0.9837	11.61
2.875	0.9920	23.62
3.125	0.9962	50.40

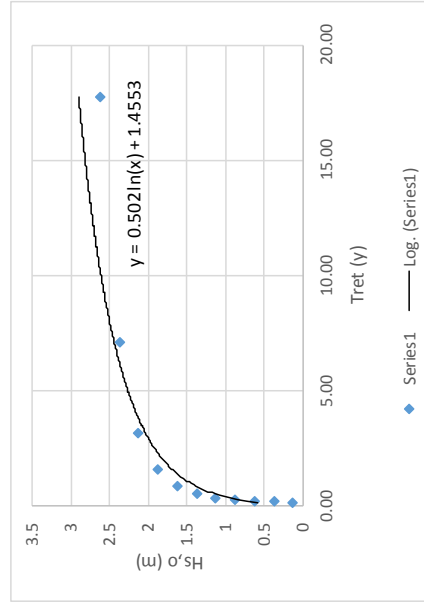
έτη παρατηρήσεων	22
ακραία γεγονότα (H>1.75 m)	116
πιθ. υπέρβασης %	11.6
Tret (y)	Ho (m)
5	2.23
25	3.11
50	3.48
75	3.70
100	3.86



JONSWAP

H central	CDF με Weibull	Tret (y)
0.125	0.0057	0.17
0.375	0.0620	0.18
0.625	0.1788	0.21
0.875	0.3384	0.26
1.125	0.5124	0.35
1.375	0.6728	0.53
1.625	0.8009	0.86
1.875	0.8904	1.57
2.125	0.9457	3.16
2.375	0.9758	7.10
2.625	0.9903	17.75
2.875	0.9965	49.64
3.125	0.9989	155.44

έτη παρατηρήσεων	22
ακραία γεγονότα (H>1.75 m)	128
πιθ. υπέρβασης %	12.8
Tret (y)	Ho (m)
5	2.25
25	3.06
50	3.41
75	3.61
100	3.76



Πίνακας Υπολογισμών 10: Προσαρμογή της κατανομής Weibull στα ανεμελογικά δεδομένα της Ικαρίας για Βόρειο άνεμο

SMB

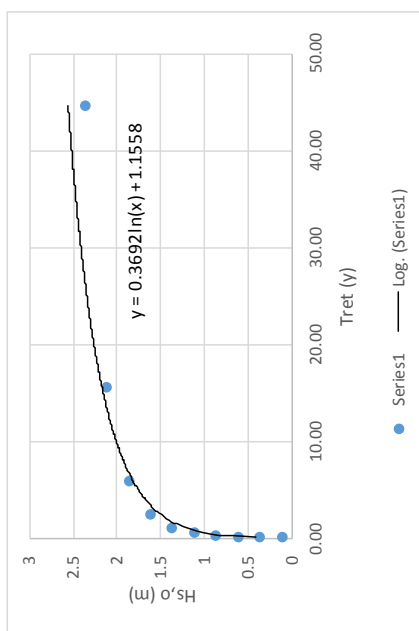
H central	CDF με Weibull	Tret (y)
0.125	0.0287	0.14
0.375	0.1897	0.16
0.625	0.4097	0.22
0.875	0.6193	0.35
1.125	0.7808	0.60
1.375	0.8867	1.17
1.625	0.9472	2.51
1.875	0.9777	5.95
2.125	0.9915	15.57
2.375	0.9970	44.74
2.625	0.9991	141.11

έτη παρατηρήσεων
22

ακραία γεγονότα (H>1.25 m)
166

πιθ. υπέρβασης %
16.6

Tret (y)	Ho (m)
5	1.77
25	2.36
50	2.62
75	2.77
100	2.87



JONSWAP

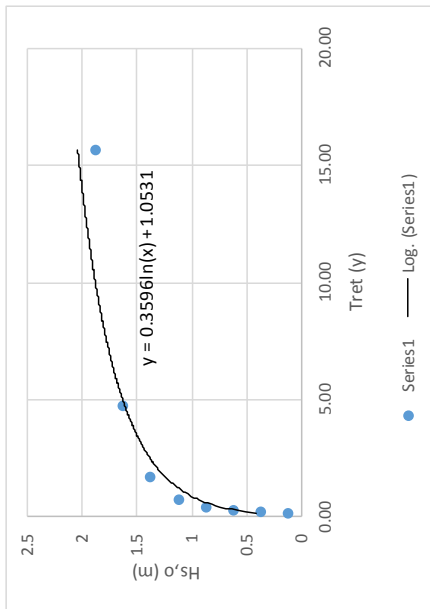
H central	CDF με Weibull	Tret (y)
0.125	0.0138	0.17
0.375	0.1356	0.19
0.625	0.3525	0.25
0.875	0.5904	0.40
1.125	0.7830	0.76
1.375	0.9043	1.72
1.625	0.9651	4.70
1.875	0.9895	15.64

έτη παρατηρήσεων
22

ακραία γεγονότα (H>1.25 m)
134

πιθ. υπέρβασης %
13.4

Tret (y)	Ho (m)
5	1.67
25	2.25
50	2.50
75	2.65
100	2.75

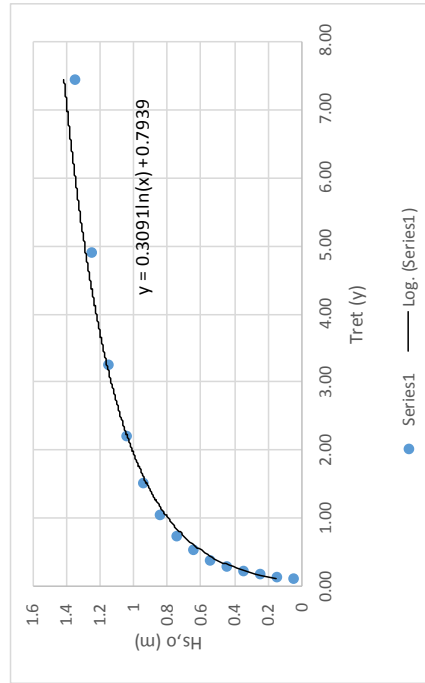


Πίνακας Υπολογισμών 11: Προσαρμογή της κατανομής Weibull στα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας για Δυτικό άνεμο

SMB

H central	CDF με Weibull	Tret (y)
0.05	0.0422	0.12
0.15	0.1789	0.15
0.25	0.3296	0.18
0.35	0.4712	0.23
0.45	0.5943	0.29
0.55	0.6961	0.39
0.65	0.7771	0.54
0.75	0.8396	0.75
0.85	0.8865	1.05
0.95	0.9210	1.51
1.05	0.9458	2.21
1.15	0.9634	3.27
1.25	0.9756	4.89
1.35	0.9839	7.43

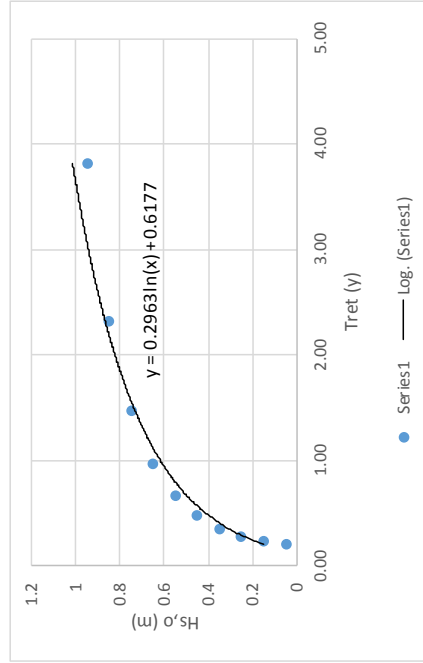
έτη παρατηρήσεων	22
ακραία γεγονός (H>0.8 m)	184
πιθ. υπέρβασης %	18.4
Tret (y)	Ho (m)
5	1.27
25	1.77
50	1.98
75	2.11
100	2.20



JONSWAP

H central	CDF με Weibull	Tret (y)
0.05	0.0212	0.21
0.15	0.1257	0.23
0.25	0.2704	0.28
0.35	0.4248	0.35
0.45	0.5689	0.47
0.55	0.6916	0.66
0.65	0.7888	0.96
0.75	0.8612	1.47
0.85	0.9123	2.32
0.95	0.9467	3.82

έτη παρατηρήσεων	22
ακραία γεγονός (H>0.8 m)	108
πιθ. υπέρβασης %	10.8
Tret (y)	Ho (m)
5	1.13
25	1.61
50	1.81
75	1.93
100	2.02



Πίνακας Υπολογισμών 12: Προσαρμογή της κατανομής Weibull στα ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας για Βορειοανατολικό άνεμο

```

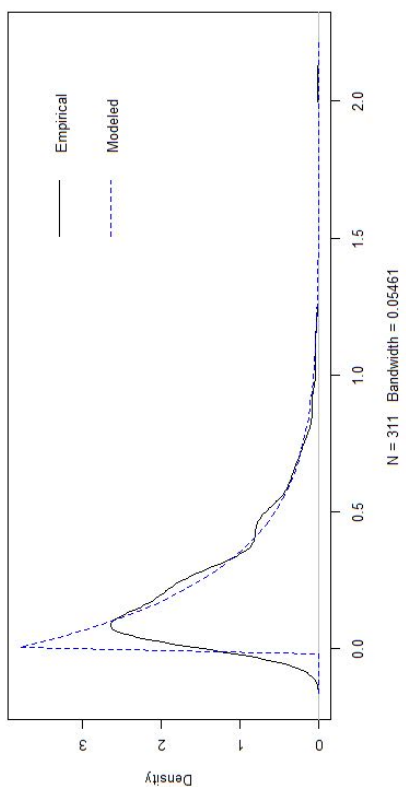
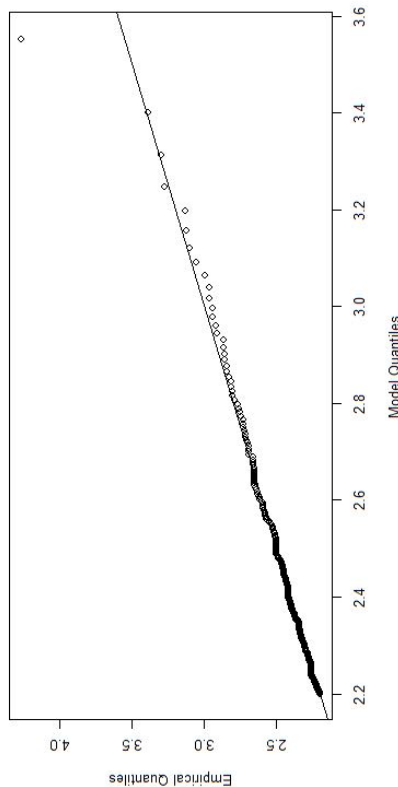
> #
> quantile(x1$hs, probs = c(0.90, 0.935, 0.95))
90% 93.5% 95%
1.919562 2.057417 2.163960
> fit_POT_hsl <- fevd(excess_hsl, type = "GP", span = 12, threshold = 2.2, units = "m", time.units = "2920/year", period.basis = "year")
> fit_POT_hsl
fevd(x = excess_hsl, threshold = 2.2, type = "GP", span = 12,
units = "m", time.units = "2920/year", period.basis = "year")
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: -119.77769

Estimated parameters:
scale shape
0.25873152 -0.03317049

Standard Error Estimates:
scale shape
0.01835697 0.04268873

Estimated parameter covariance matrix.
scale shape
scale 0.0003369783 -0.0004981676
shape -0.0004981676 0.0018223275
AIC = -235.5539
BIC = -228.0743
> plot(fit_POT_hsl)
> return.level(x = fit_POT_hsl, return.period = c(5, 25, 50, 75, 100))
fevd(x = excess_hsl, threshold = 2.2, type = "GP", span = 12,
units = "m", time.units = "2920/year", period.basis = "year")
get(paste("return.level.fevd.", newid, sep = ""))(x = x,
return.period = return.period)
[1] "GP model fitted to excess_hsl (m)"
Data are assumed to be stationary
[1] "Return Levels for period units in years"
5-year level 25-year level 50-year level 75-year level 100-year level
4.325078 4.620096 4.742381 4.812621 4.861887

```



Εικόνα Υπολογισμών 1: Προσαρμογή της κατανομής Generalised Pareto στις τριώρες μετρήσεις κύματος στη Μύκονο για Βορειοδυτικό άνεμο

```

> #
> quantile(x2$hs, probs = c(0.90, 0.935, 0.95))
90% 93.5% 95%
2.087124 2.246925 2.338870
> fit_POT_hs2 <- fevd(excess_hs2, type = "GP", span = 12, threshold = 2.3, units = "m", time.units = "2920/year", period.basis = "year")
> fit_POT_hs2

fevd(x = excess_hs2, threshold = 2.3, type = "GP", span = 12,
      units = "m", time.units = "2920/year", period.basis = "year")
[1] "Estimation Method used: MLE"

Negative Log-Likelihood Value: -233.4463

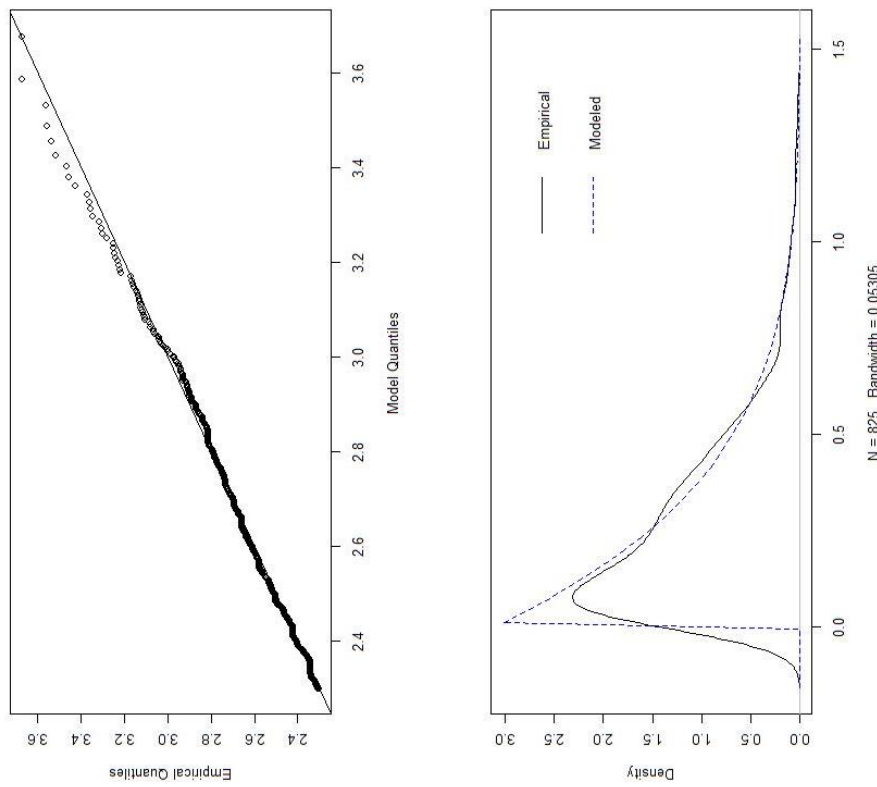
Estimated parameters:
scale shape
0.3201448 -0.1439832

Standard Error Estimates:
scale shape
0.01470588 0.03038306

Estimated parameter covariance matrix.
scale shape
scale 0.0002162628 -0.0003433619
shape -0.0003433619 0.0009231302

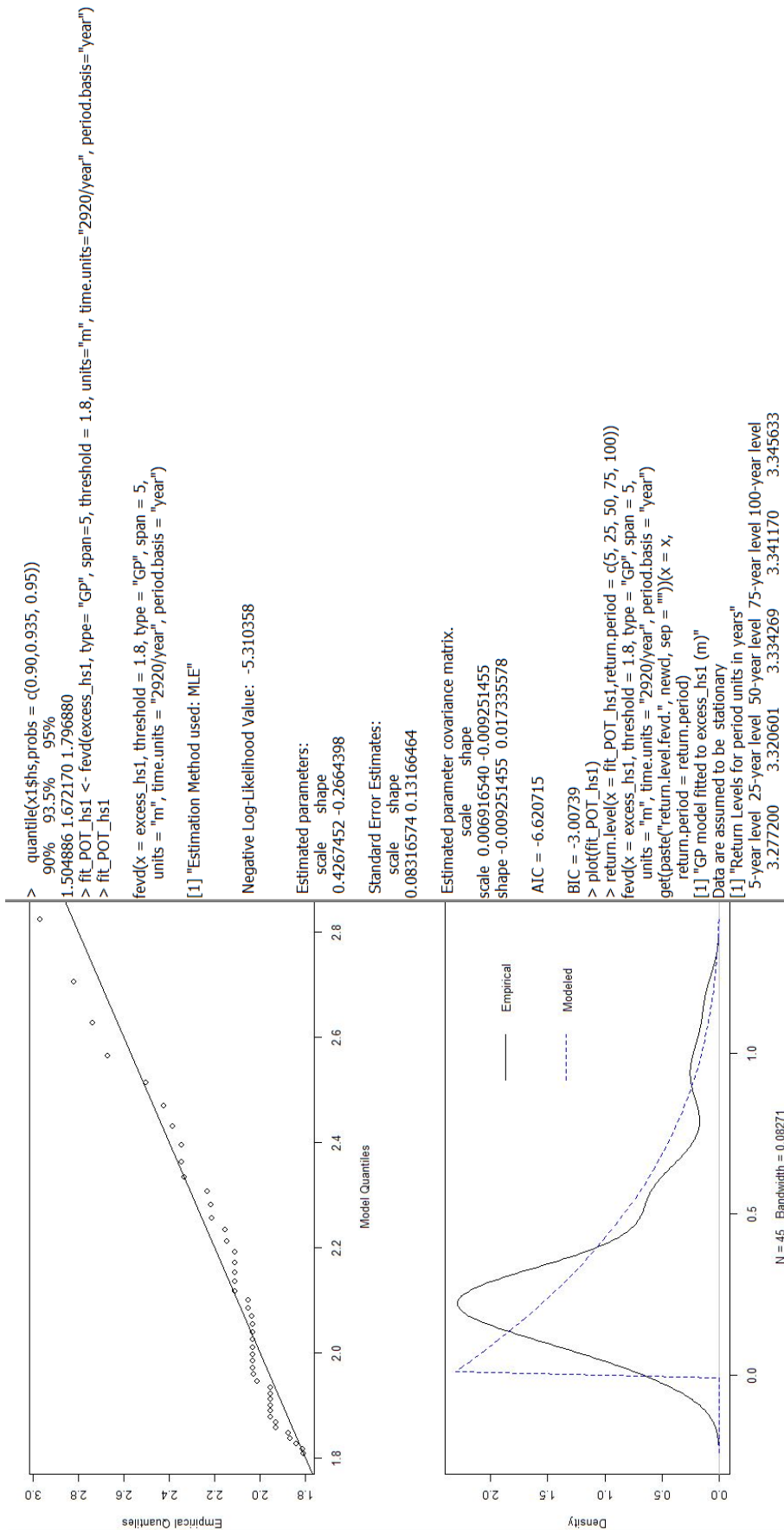
AIC = -462.8926
BIC = -453.4618
> plot(fit_POT_hs2)
> return.level(x = fit_POT_hs2, return.period = c(5, 25, 50, 75, 100))
fevd(x = excess_hs2, threshold = 2.3, type = "GP", span = 12,
      units = "m", time.units = "2920/year", period.basis = "year")
get(paste("return.level.fevd.", newwd, sep = ""))(x = x,
return.period = return.period)
[1] "GP model fitted to excess_hs2 (m)"
Data are assumed to be stationary
[1] "Return Levels for period units in years"
5-year level 25-year level 50-year level 75-year level 100-year level
3.964454 4.080085 4.122200 4.144957 4.160316

```



[06]

Εικόνα Υπολογισμών 2: Προσαρμογή της κατανομής Generalised Pareto στις τριώρες μετρήσεις κύματος στη Μύκονο για Βόρειο άνεμο



Εικόνα Υπολογισμών 3: Προσαρμογή της κατανομής Generalised Pareto στις τριώρες μετρήσεις κύματος στη Σκύρο για Βορειοδυτικό άνεμο

```

> #
> quantile(x2$hs.probs = c(0.90,0.935, 0.95))
90% 93.5% 95%
1.827147 2.109380 2.332765
> fit_POT_hsz <- fevd(excess_hsz, type = "GP", span=5, threshold = 2.3, units="m", time.units="2920/year", period.basis="year")
> fit_POT_hsz

fevd(x = excess_hsz, threshold = 2.3, type = "GP", span = 5,
      units = "m", time.units = "2920/year", period.basis = "year")
[1] "Estimation Method used: MLE"

Negative Log-Likelihood Value: 91.61656

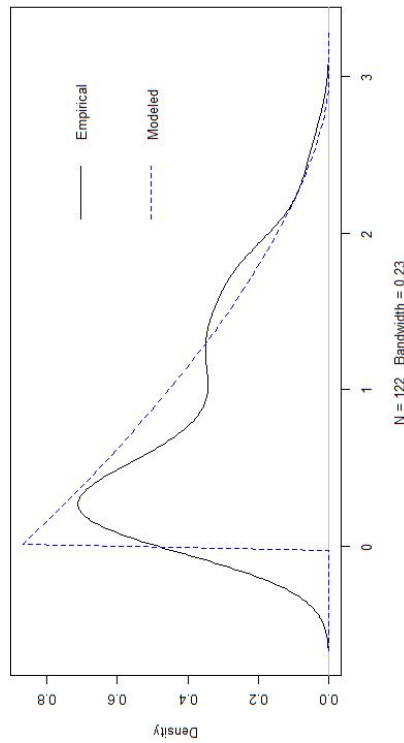
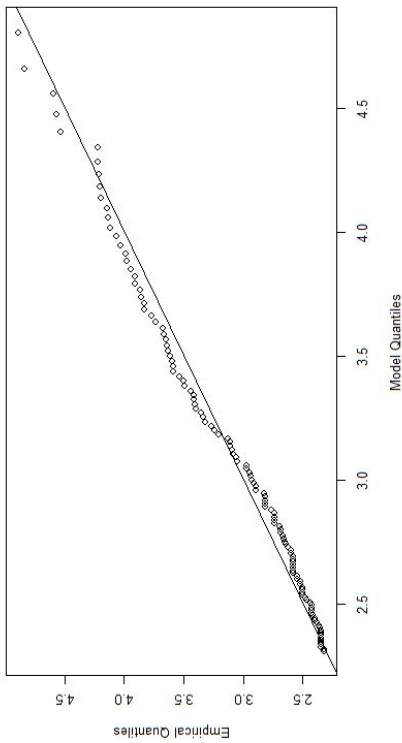
Estimated parameters:
scale shape
1.1462488 -0.3855394

Standard Error Estimates:
scale shape
0.13752283 0.08611691

Estimated parameter covariance matrix.
scale shape
scale 0.01891253 -0.010726275
shape -0.01072628 0.007416123

AIC = 187.2331
BIC = 192.8412
> plot(fit_POT_hsz)
> return.level(x = fit_POT_hsz$return.period, period = c(5, 25, 50, 75, 100))
fevd(x = excess_hsz, threshold = 2.3, type = "GP", span = 5,
      units = "m", time.units = "2920/year", period.basis = "year")
get(paste("return.level.fevd.", newid, sep = ""))(x = x,
      return.period = return.period)
[1] "GP model fitted to excess_hsz (m)"
Data are assumed to be stationary
[1] "Return Levels for period units in years"
5-year level 25-year level 50-year level 75-year level 100-year level
5.199367 5.233458 5.242755 5.247147 5.249872

```



[62]

Εικόνα Υπολογισμών 4: Προσαρμογή της κατανομής Generalised Pareto στις τριώρες μετρήσεις κύματος στη Σκύρο για Βόρειο άνεμο

```

fevd(x = excess_Bf, threshold = 6.4, type = "GP", span = 38,
      units = "m/s", time.units = "365/year", period.basis =
      "year")
[1] "Estimation Method used: MLE"

Negative Log-Likelihood Value: 7748.841

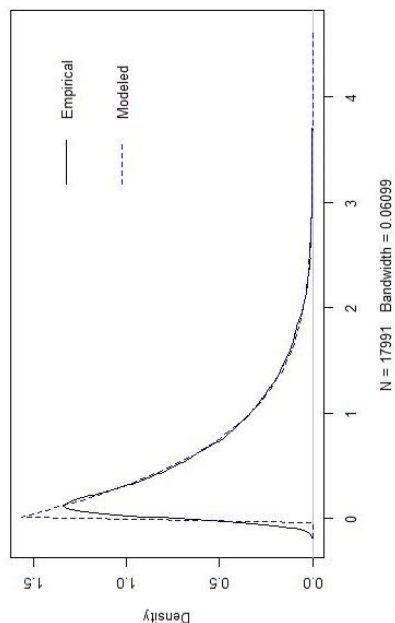
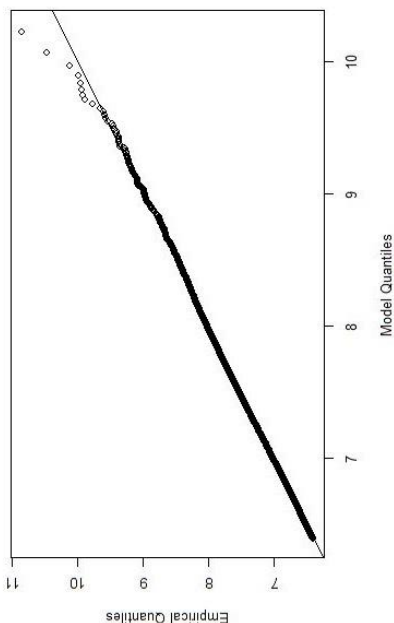
Estimated parameters:
scale shape
0.6290526 -0.1057518

Standard Error Estimates:
scale shape
0.006215136 0.006531197

Estimated parameter covariance matrix.
scale shape
3.862791e-05 -3.013965e-05
shape -3.013965e-05 4.265653e-05

AIC = 15501.68
BIC = 15517.28
> plot(fit_POT3)
> return.level(x = fit_POT3, return.period = c(5, 25, 50, 75,
100))
fevd(x = excess_Bf, threshold = 6.4, type = "GP", span = 38,
      units = "m/s", time.units = "365/year", period.basis =
      "year")
get(paste("return.level.fevd.", newcl, sep = ""))(x = x,
      return.period = return.period)
[1] "GP model fitted to excess Bf (m/s)"
Data are assumed to be stationary
[1] "Return Levels for period units in years"
5-year level 25-year level 50-year level 75-year level 100-
year level
9.659857 10.080624 10.240909 10.329364
10.389864

```



Εικόνα Υπολογισμών 5: Προσαρμογή της κατανομής Generalised Pareto στα ωριαία
ανεμολογικά δεδομένα της Ικαρίας

SMB

Beaufort	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Φ	H_0 (m)	$T_{p,0}$ (s)
0	0.2	37670400.00	0.00	0.15
1	1.5	669696.00	0.06	1.13
2	3.3	138366.94	0.30	2.29
3	5.4	51674.07	0.70	3.41
4	7.9	24143.82	1.26	4.52
5	10.7	13161.11	1.94	5.57
6	13.8	7912.29	2.72	6.58
7	17.1	5153.09	3.58	7.53
8	20.7	3516.57	4.54	8.46
9	24.4	2530.93	5.56	9.33
9.5	27.2	2036.67	6.12	9.77
10	28.4	1868.19	6.69	10.19
10.2	29.24	1762.39	6.93	10.37
10.4	30.08	1665.34	7.17	10.54

JONSWAP

Beaufort	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	u^* (m/s)	H_0 (m)	$T_{p,0}$ (s)	H_0, \max (m)
0	0.2	0.01	0.03	1.45	0.03
1	1.5	0.05	0.26	2.89	0.26
2	3.3	0.12	0.59	3.81	0.59
3	5.4	0.19	1.00	4.55	1.00
4	7.9	0.29	1.51	5.24	1.51
5	10.7	0.41	2.12	5.88	2.12
6	13.8	0.55	2.84	6.49	2.84
7	17.1	0.70	3.64	7.06	3.64
8	20.7	0.88	4.57	7.63	4.57
9	24.4	1.08	5.57	8.16	5.57
9.5	27.2	1.23	6.14	8.43	6.14
10	28.4	1.30	6.72	8.69	6.72
10.2	29.24	1.35	6.96	8.80	6.96
10.4	30.08	1.40	7.21	8.91	7.21

Πίνακας Υπολογισμών 13: Μέθοδος SMB και JONSWAP για απεριόριστη διάρκεια πνοής ανέμου Βορειοδυτικής διεύθυνσης

SMB

Beaufort	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Φ	H_0 (m)	$T_{p,0}$ (s)
0	0.2	26125024.27	0.00	0.15
1	1.5	464444.88	0.06	1.11
2	3.3	95959.69	0.29	2.22
3	5.4	35836.80	0.65	3.26
4	7.9	16744.13	1.14	4.28
5	10.7	9127.44	1.72	5.24
6	13.8	5487.30	2.39	6.15
7	17.1	3573.75	3.12	7.01
8	20.7	2438.80	3.95	7.86
9	24.4	1755.24	4.82	8.64
9.5	27.2	1412.47	5.29	9.04
10	28.4	1295.63	5.78	9.42
10.2	29.24	1222.26	5.98	9.58
10.4	30.08	1154.94	6.19	9.73

JONSWAP

Beaufort	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	u^* (m/s)	H_0 (m)	$T_{p,0}$ (s)	H_0, \max (m)
0	0.2	0.01	0.03	1.28	0.03
1	1.5	0.05	0.22	2.56	0.22
2	3.3	0.12	0.50	3.38	0.50
3	5.4	0.19	0.83	4.03	0.83
4	7.9	0.29	1.26	4.64	1.26
5	10.7	0.41	1.77	5.21	1.77
6	13.8	0.55	2.36	5.75	2.39
7	17.1	0.70	3.03	6.26	3.12
8	20.7	0.88	3.81	6.76	3.95
9	24.4	1.08	4.64	7.23	4.82
9.5	27.2	1.23	5.11	7.47	5.29
10	28.4	1.30	5.59	7.70	5.78
10.2	29.24	1.35	5.80	7.80	5.98
10.4	30.08	1.40	6.01	7.89	6.19

Πίνακας Υπολογισμών 14: Μέθοδος SMB και JONSWAP για απεριόριστη διάρκεια πνοής ανέμου Βόρειας διεύθυνσης

SMB

Beaufort	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Φ	H_o (m)	$T_{p,o}$ (s)
0	0.2	15471636.17	0.00	0.15
1	1.5	275051.31	0.06	1.09
2	3.3	56828.78	0.27	2.11
3	5.4	21223.09	0.57	3.03
4	7.9	9916.13	0.96	3.92
5	10.7	5405.41	1.43	4.76
6	13.8	3249.66	1.96	5.55
7	17.1	2116.43	2.55	6.30
8	20.7	1444.29	3.21	7.03
9	24.4	1039.48	3.90	7.71
10	28.4	767.29	4.67	8.39

JONSWAP

Beaufort	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	u^* (m/s)	H_o (m)	$T_{p,o}$ (s)	H_o, \max (m)
0	0.2	0.01	0.02	1.08	1.08
1	1.5	0.05	0.17	2.15	2.15
2	3.3	0.12	0.38	2.84	2.84
3	5.4	0.19	0.64	3.39	3.39
4	7.9	0.29	0.97	3.91	3.91
5	10.7	0.41	1.36	4.38	4.38
6	13.8	0.55	1.82	4.83	4.83
7	17.1	0.70	2.33	5.26	5.26
8	20.7	0.88	2.93	5.69	5.69
9	24.4	1.08	3.57	6.08	6.08
10	28.4	1.30	4.30	6.48	6.48

Πίνακας Υπολογισμών 15: Μέθοδος SMB και JONSWAP για απεριόριστη διάρκεια πνοής ανέμου Δυτικής διεύθυνσης

SMB

Beaufort	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Φ	H ₀ (m)	T _{p,0} (s)
0	0.2	13875329.97	0.00	0.15
1	1.5	246672.53	0.06	1.08
2	3.3	50965.40	0.26	2.08
3	5.4	19033.37	0.55	2.98
4	7.9	8893.02	0.93	3.85
5	10.7	4847.70	1.37	4.66
6	13.8	2914.37	1.88	5.43
7	17.1	1898.07	2.44	6.16
8	20.7	1295.28	3.07	6.87
9	24.4	932.23	3.73	7.53
10	28.4	688.12	4.47	8.19

JONSWAP

Beaufort	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	u* (m/s)	H ₀ (m)	T _{p,0} (s)	H _{0, max} (m)
0	0.2	0.01	0.02	1.04	1.04
1	1.5	0.05	0.16	2.08	2.08
2	3.3	0.12	0.36	2.74	2.74
3	5.4	0.19	0.61	3.27	3.27
4	7.9	0.29	0.92	3.77	3.77
5	10.7	0.41	1.29	4.23	4.23
6	13.8	0.55	1.72	4.66	4.66
7	17.1	0.70	2.21	5.08	5.08
8	20.7	0.88	2.77	5.48	5.48
9	24.4	1.08	3.38	5.87	5.87
10	28.4	1.30	4.08	6.25	6.25

Πίνακας Υπολογισμών 16: Μέθοδος SMB και JONSWAP για απεριόριστη διάρκεια πνοής ανέμου Βορειοανατολικής διεύθυνσης

Δεδομένα	
ελεύθερο περιθώριο R_c (m)	6
Υπερπήδηση κατά Eurotop	
Hs=Ho (m)	5
Hm0 (m)	5.25
$T_p=T_{p,0}$ (s)	8.6
$T_{m-1,0}$ (s)	7.82
T_m (s)	7.17
$\xi_{m-1,0}$	2.842
β (°)	2
μέση αναρρίχηση Ru2% mean (m)	8.52
αναρρίχηση σχεδιασμού Ru2% design (m)	9.12
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	14.39
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	18.39
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	5.61
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	13.26
μέγιστος όγκος υπερπήδησης V_{max} (l/m)	587.34
a	531.72
b	18.59
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων Nw	3134
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων Now	576
συντελεστής τραχύτητας γ_f	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας $\gamma_f, surging$	0.53
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης Cr	0.46
συντελεστής αναβαθμού γ_b	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γ_β	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη Gc (m)	6.65
Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson Kd	7.72
$\Delta=\rho_s/\rho_w-1$	1.29
όγκος ακρόποδου V (m ³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn (m)	1.71
cota	1.5
Ευστάθεια ποδός	
$\Delta=\rho_s/\rho_w-1$	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn, πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας Ns	4.12
βάθος στον πόδα (m)	8.60
επίπεδο ζημιών Nod	0.86

Πίνακας Υπολογισμών 17: Επιδόσεις του κυματοθραύστη για τα δεδομένα σχεδιασμού

Δεδομένα	
Ho (m)	6
Tr,o (s)	9.58
Lo (m)	143.29
ελεύθερο περιθώριο Rc (m)	5.5
Υπερπήδηση κατά Eurotop	
Hs (m)	5.37
Hm0 (m)	5.64
Tr (s)	8.27
Tm-1,0 (s)	7.52
Tm (s)	6.89
ξ m-1,0	2.637
β (°)	2
μέση αναρρίχηση Ru2% mean (m)	8.82
αναρρίχηση σχεδιασμού Ru2% design (m)	9.44
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	21.87
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	26.51
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	20.28
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	41.89
μέγιστος όγκος υπερπήδησης Vmax (l/m)	1125.51
a	1097.17
b	76.75
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων Nw	3134.220073
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων Now	1188
συντελεστής τραχύτητας γf	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας γf,surging	0.52
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης Cr	0.52
συντελεστής αναβαθμού γb	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γβ	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη Gc (m)	6.65
Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson Kd	9.56
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.29
όγκος ακρόποδου V (m ³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn (m)	1.71
cota	1.5
Ευστάθεια ποδός	
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn,πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας Ns	4.42
βάθος στον πόδα (m)	9.10
επίπεδο ζημιών Nod	1.09

Πίνακας Υπολογισμών 18: Επιδόσεις του κυματοθραύστη υπό τις συνθήκες του 2050

Δεδομένα	
Ho (m)	6.5
Tr,o (s)	9.73
Lo (m)	147.81
ελεύθερο περιθώριο Rc (m)	5.25
Υπερπήδηση κατά Eurotop	
Hs (m)	5.63
Hm0 (m)	5.91
Tr (s)	8.5
Tm-1,0 (s)	7.73
Tm (s)	7.08
ξ m-1,0	2.647
β (°)	2
μέση αναρρίχηση Ru2% mean (m)	9.27
αναρρίχηση σχεδιασμού Ru2% design (m)	9.92
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	28.50
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	33.40
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	39.95
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	77.15
μέγιστος όγκος υπερπήδησης Vmax (l/m)	1663.04
a	1642.16
b	153.19
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων Nw	3049
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων Now	1018
συντελεστής τραχύτητας γf	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας γf,surging	0.52
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης Cr	0.57
συντελεστής αναβαθμού γb	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γβ	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη Gc (m)	6.65
Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson Kd	11.02
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.29
όγκος ακρόποδου V (m ³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn (m)	1.71
cota	1.5
Ευστάθεια ποδός	
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn,πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας Ns	4.64
βάθος στον πόδα (m)	9.35
επίπεδο ζημιών Nod	1.34

Πίνακας Υπολογισμών 19: Επιδόσεις του κυματοθραύστη υπό τις συνθήκες του 2100

Δεδομένα	
Ho (m)	6
Tr,o (s)	9.58
Lo (m)	143.29
ελεύθερο περιθώριο Rc (m)	5.5
Υπερπήδηση κατά Eurotop	
Hs (m)	5.37
Hm0 (m)	5.64
Tr (s)	8.27
Tm-1,0 (s)	7.52
Tm (s)	6.89
ξ m-1,0	2.637
β (°)	2
μέση αναρρίχηση Ru2% mean (m)	8.82
αναρρίχηση σχεδιασμού Ru2% design (m)	9.44
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	21.87
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	26.51
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	7.50
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	15.49
μέγιστος όγκος υπερπήδησης Vmax (l/m)	450.86
a	412.92
b	21.68
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων Nw	3134
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων Now	831
συντελεστής τραχύτητας γf	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας γf,surging	0.52
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης Cr	0.19
συντελεστής αναβαθμού γb	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γβ	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη Gc (m)	10.39
απαιτούμενη αύξηση του πλάτους στέψης Gc (m)	3.74
Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson Kd	9.55840779
$\Delta=\rho_s/\rho_w-1$	1.29268293
όγκος ακρόποδου V (m ³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn (m)	1.70997595
cota	1.5
Ευστάθεια πόδος	
$\Delta=\rho_s/\rho_w-1$	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn,πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας Ns	4.42
βάθος στον πόδα (m)	9.10
επίπεδο ζημιών Nod	1.09

Πίνακας Υπολογισμών 20: Επιδόσεις του κυματοθραύστη με αύξηση του πλάτους στέψης με βάση το 2050

Δεδομένα	
Ho (m)	6.5
Tr,o (s)	9.73
Lo (m)	147.81
ελεύθερο περιθώριο Rc (m)	5.25
Υπερπήδηση κατά Eurotop	
Hs (m)	5.63
Hm0 (m)	5.91
Tr (s)	8.5
Tm-1,0 (s)	7.73
Tm (s)	7.08
ξ m-1,0	2.647
β (°)	2
μέση αναρρίχηση Ru2% mean (m)	9.27
αναρρίχηση σχεδιασμού Ru2% design (m)	9.92
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	28.50
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	33.40
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	7.50
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	14.49
μέγιστος όγκος υπερπήδησης Vmax (l/m)	351.87
a	316.32
b	18.17
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων Nw	3049
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων Now	1018
συντελεστής τραχύτητας γf	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας γf,surging	0.52
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης Cr	0.11
συντελεστής αναβαθμού γb	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γβ	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη Gc (m)	13.24
απαιτούμενη αύξηση του πλάτους στέψης Gc (m)	6.59
Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson Kd	11.0150858
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.29268293
όγκος ακρόποδου V (m ³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn (m)	1.70997595
cota	1.5
Ευστάθεια ποδός	
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn,πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας Ns	4.64
βάθος στον πόδα (m)	9.35
επίπεδο ζημιών Nod	1.34

Πίνακας Υπολογισμών 21: Επιδόσεις του κυματοθραύστη με αύξηση του πλάτους στέψης με βάση το 2100

Δεδομένα	
Ho (m)	6
Tr,o (s)	9.58
Lo (m)	143.29
ελεύθερο περιθώριο Rc (m)	6.40
απαιτούμενη αύξηση του ύψους του τοίχου (m)	1.90
Υπερπήδηση κατά Eurotop	
Hs (m)	5.37
Hm0 (m)	5.64
Tr (s)	8.27
Tm-1,0 (s)	7.52
Tm (s)	6.89
$\xi_{m-1,0}$	2.637
β (°)	2
μέση αναρρίχηση Ru2% mean (m)	8.82
αναρρίχηση σχεδιασμού Ru2% design (m)	9.44
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	12.78
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	16.58
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	7.50
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	17.60
μέγιστος όγκος υπερπήδησης Vmax (l/m)	803.12
a	747.26
b	25.43
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων Nw	3134
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων Now	520
συντελεστής τραχύτητας γf	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας γf,surging	0.52
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης Cr	0.52
συντελεστής αναβαθμού γb	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γβ	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη Gc (m)	6.65
Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson Kd	9.56
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.29
όγκος ακρόποδου V (m ³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn (m)	1.71
cota	1.5
Ευστάθεια ποδός	
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn,πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας Ns	4.42
βάθος στον πόδα (m)	9.10
επίπεδο ζημιών Nod	1.09

Πίνακας Υπολογισμών 22: Επιδόσεις του κυματοθραύστη με αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου με βάση το 2050

Δεδομένα	
Ho (m)	6.5
Tr,o (s)	9.73
Lo (m)	147.81
ελεύθερο περιθώριο Rc (m)	6.85
απαιτούμενη αύξηση του ύψους του τοίχου (m)	2.60
Υπερπήδηση κατά Eurotop	
Hs (m)	5.63
Hm0 (m)	5.91
Tr (s)	8.5
Tm-1,0 (s)	7.73
Tm (s)	7.08
ξ m-1,0	2.647
β (°)	2
μέση αναρρίχηση Ru2% mean (m)	9.27
αναρρίχηση σχεδιασμού Ru2% design (m)	9.92
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	11.80
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	15.47
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	7.50
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	17.94
μέγιστος όγκος υπερπήδησης Vmax (l/m)	907.64
a	840.71
b	23.73
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων Nw	3049
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων Now	472
συντελεστής τραχύτητας γf	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας γf,surging	0.52
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης Cr	0.57
συντελεστής αναβαθμού γb	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γβ	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη Gc (m)	6.65
Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson Kd	11.02
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.29
όγκος ακρόποδου V (m ³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn (m)	1.71
cota	1.5
Ευστάθεια ποδός	
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn,πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας Ns	4.64
βάθος στον πόδα (m)	9.35
επίπεδο ζημιών Nod	1.34

Πίνακας Υπολογισμών 23: Επιδόσεις του κυματοθραύστη με αύξηση του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου με βάση το 2100

Δεδομένα	
Ho (m)	6
Tr,o (s)	9.58
Lo (m)	143.29
ελεύθερο περιθώριο Rc (m)	6.70
απαιτούμενη αύξηση του ύψους του τοίχου (m)	1.20
Υπερπήδηση κατά Eurotop	
Hs (m)	5.37
Hm0 (m)	5.64
Tr (s)	8.27
Tm-1,0 (s)	7.52
Tm (s)	6.89
ξ m-1,0	2.637
β (°)	2
μέση αναρρίχηση Ru2% mean (m)	8.82
αναρρίχηση σχεδιασμού Ru2% design (m)	9.44
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	10.48
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	13.94
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	3.30
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	8.08
μέγιστος όγκος υπερπήδησης Vmax (l/m)	505.29
a	420.16
b	9.78
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων Nw	3134
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων Now	437
συντελεστής τραχύτητας γf	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας γf,surging	0.52
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης Cr	0.32
συντελεστής αναβαθμού γb	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γβ	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη Gc (m)	8.45
απαιτούμενη αύξηση του πλάτους στέψης (m)	1.80
Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson Kd	9.56
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.29
όγκος ακρόποδου V (m ³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn (m)	1.71
cota	1.5
Ευστάθεια ποδός	
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn,πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας Ns	4.42
βάθος στον πόδα (m)	9.10
επίπεδο ζημιών Nod	1.09

Πίνακας Υπολογισμών 24: Επιδόσεις του κυματοθραύστη το 2050 με συνδυασμό αύξησης του πλάτους στέψης και του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου

Δεδομένα	
Ho (m)	6.5
Tr,o (s)	9.73
Lo (m)	147.81
ελεύθερο περιθώριο Rc (m)	6.45
απαιτούμενη αύξηση του ύψους του τοίχου (m)	1.20
Υπερπήδηση κατά Eurotop	
Hs (m)	5.63
Hm0 (m)	5.91
Tr (s)	8.5
Tm-1,0 (s)	7.73
Tm (s)	7.08
ξ m-1,0	2.647
β (°)	2
μέση αναρρίχηση Ru2% mean (m)	9.27
αναρρίχηση σχεδιασμού Ru2% design (m)	9.92
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	15.03
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	19.11
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	7.30
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	16.53
μέγιστος όγκος υπερπήδησης Vmax (l/m)	685.27
a	628.51
b	21.41
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων Nw	3049
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων Now	583
συντελεστής τραχύτητας γf	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας γf,surging	0.52
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης Cr	0.36
συντελεστής αναβαθμού γb	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γβ	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη Gc (m)	8.45
απαιτούμενη αύξηση του πλάτους στέψης (m)	1.80
Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson Kd	11.02
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.29
όγκος ακρόποδου V (m ³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn (m)	1.71
cota	1.5
Ευστάθεια ποδός	
$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn,πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας Ns	4.64
βάθος στον πόδα (m)	9.35
επίπεδο ζημιών Nod	1.34

Πίνακας Υπολογισμών 25: Επιδόσεις του κυματοθραύστη το 2100 με συνδυασμό αύξησης του πλάτους στέψης και του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου

Δεδομένα	
Ho (m)	6
Tr,o (s)	9.58
Lo (m)	143.29
Hs ανάντη του ύφαλου κυματοθραύστη (m)	5.37
Tr (s)	8.27
βάθος h (m)	14.35
επαυξημένο βάθος h' (m)	14.75
συσσώρευση υδάτων ηmax (m)	0.40
ελεύθερο περιθώριο Rc' (m)	5.10

Χαρακτηριστικά ύφαλου κυματοθραύστη	
0,01<σop<0,05	0.042
Ns*	6.31
Δ	1.54
sp	0.050
ελεύθερο περιθώριο Rc, ύφαλου (m)	-2.65
ύψος ύφαλου κυματοθραύστη hc (m)	11.70
ονομαστική διάμετρος ογκολίθων Dn, ύφαλου (m)	1.50
έλεγχος 1<Hs/Dn, ύφαλου<6	3.58
έλεγχος -2<Rc, ύφαλου/Dn, ύφαλου<6	-1.77
βάρος ογκολίθων W (t)	8.78
συντελεστής στρώσης ks	1
πλάτος στέψης B (m)	4.50
συντελεστής μετάδοσης κύματος Ct	0.61
b	0.386

Υπερπήδηση κατά Eurotop	
Hs' κατάντη του ύφαλου κυματοθραύστη (m)	3.30
Hm0 (m)	3.46
Tm-1,0 (s)	7.52
Tm (s)	6.89
ξ m-1,0	3.366
β (°)	2
μέση αναρρίχηση Ru2% mean (m)	6.12
αναρρίχηση σχεδιασμού Ru2% design (m)	6.55
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	6.63
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	9.35
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	0.12
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	0.39
μέγιστος όγκος υπερπήδησης Vmax (l/m)	132.79
a	30.35
b	1.18
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων Nw	3134
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων Now	293
συντελεστής τραχύτητας γf	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας γf, surging	0.56
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης Cr	0.17
συντελεστής αναβαθμού γb	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γβ	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη Gc (m)	6.65

Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson Kd	2.21
Δ=ρs/ρw-1	1.29
όγκος ακρόποδου V (m³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn (m)	1.71
cota	1.5

Ευστάθεια ποδός	
Δ=ρs/ρw-1	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου Dn, πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας Ns	2.72
βάθος στον πόδα (m)	9.50
επίπεδο ζημιών Nod	0.04

Πίνακας Υπολογισμών 26: Επιδόσεις του κυματοθραύστη το 2050 με προσθήκη ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη

Δεδομένα	
H ₀ (m)	6.5
T _{p,0} (s)	9.73
L ₀ (m)	147.81
H _s ανάντη του ύφαλου κυματοθραύστη (m)	5.63
T _p (s)	8.5
βάθος h (m)	14.6
επαυξημένο βάθος h' (m)	15.03
συσσώρευση υδάτων η _{max} (m)	0.43
ελεύθερο περιθώριο R_c' (m)	4.82

Χαρακτηριστικά ύφαλου κυματοθραύστη	
0,01<σ _{op} <0,05	0.044
N _s *	6.63
Δ	1.54
σ _p	0.050
ελεύθερο περιθώριο R _c , ύφαλου (m)	-2.90
ύψος ύφαλου κυματοθραύστη h_c (m)	11.70
ονομαστική διάμετρος ογκολίθων D _n , ύφαλου (m)	1.50
έλεγχος 1<H _s /D _n , ύφαλου<6	3.75
έλεγχος -2<R _c , ύφαλου/D _n , ύφαλου<6	-1.93
βάρος ογκολίθων W (t)	8.78
συντελεστής στρώσης k _s	1
πλάτος στέψης B (m)	4.50
συντελεστής μετάδοσης κύματος C _t	0.62
b	0.380

Υπερπήδηση κατά Eurotop	
H _s ' κατάντη του ύφαλου κυματοθραύστη (m)	3.49
H _{m0} (m)	3.66
T _m -1,0 (s)	7.73
T _m (s)	7.08
ξ _m -1,0	3.365
β (°)	2
μέση αναρρίχηση R _{u2%} mean (m)	6.47
αναρρίχηση σχεδιασμού R _{u2%} design (m)	6.93
μέσο ποσοστό υπερπηδόντων κυμάτων %	11.40
ποσοστό σχεδιασμού υπερπηδόντων κυμάτων %	15.01
μέση παροχή υπερπήδησης q (l/s/m)	0.46
παροχή υπερπήδησης σχεδιασμού q (l/s/m)	1.25
μέγιστος όγκος υπερπήδησης V_{max} (l/m)	152.43
a	66.36
b	2.18
διάρκεια καταιγίδας (s)	21600
αριθμός κυμάτων N _w	3049
αριθμός υπερπηδόντων κυμάτων N _{ow}	458
συντελεστής τραχύτητας γ _f	0.46
επαυξημένος συντελεστής τραχύτητας γ _f , surging	0.56
συντελεστής πλάτους θωράκισης στέψης C _r	0.20
συντελεστής αναβαθμού γ _b	1
συντελεστής λοξότητας κυμάτων γ _β	0.987
πλάτος θωράκισης στη στέψη G _c (m)	6.65

Ευστάθεια θωράκισης	
συντελεστής ευστάθειας Hudson K_d	2.61
Δ=ρ _s /ρ _w -1	1.29
όγκος ακρόποδου V (m ³)	5
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου D _n (m)	1.71
cota	1.5

Ευστάθεια ποδός	
Δ=ρ _s /ρ _w -1	1.54
ονομαστική διάμετρος ακρόποδου D _n , πόδα (m)	0.79
αριθμός ευστάθειας N _s	2.87
βάθος στον πόδα (m)	9.78
επίπεδο ζημιών N_{od}	0.05

Πίνακας Υπολογισμών 27: Επιδόσεις του κυματοθραύστη το 2100 με προσθήκη ύφαλου κυματοθραύστη ανάντη

ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΗΣ ΣΤΕΨΗΣ						
ΟΜΑΔΑ 1	Αρθρο Αναθεώρ.	Μονάδα	Τιμή Μονάδος	Επιφάνεια σε m ²	Τιμή ανά m μήκους	
ΚΑΘΑΙΡΕΣΕΙΣ						
Αρθρο						
4.01	ΛΙΜ 1112	m ³	16.00	98.68	1 578.88 €	
ΒΥΘΟΚΟΡΗΣΕΙΣ						
ΟΜΑΔΑ 2						
Αρθρο						
2.03.02	ΛΙΜ 1230	m ³	10.50	6.19	65.00 €	
ΛΙΘΟΡΡΙΠΕΣ- ΦΥΣΙΚΟΙ ΟΓΚΟΛΙΘΟΙ-ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ-ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ						
ΟΜΑΔΑ 4						
Αρθρο						
4.01	Διάστρωση λιθασυντριμματος 5-10 kg	m ³	11.00	3.20	35.20 €	
4.02	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 0.5 ως 100 kg	m ³	12.00	10.82	129.84 €	
4.07	Λιθορριπές ανακουφιστικού τριβήματος ατομικού βάρους 20-100 kg	m ³	11.50	79.31	912.07 €	
4.12.01	Κατασκευές με φυσ. ογκολίθους εξ ανελεύσεως ατομικού βάρους 200-1500 kg	m ³	8.50	62.56	531.76 €	
ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΟΓΚΟΛΙΘΟΙ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ- ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΚΙΒΩΤΙΑ						
ΟΜΑΔΑ 5						
Αρθρο						
5.08	Άρση και επανατοποθέτηση ειδικών τεχνητών ογκολίθων θωράκισης	m ³	25.00	70.77	1 769.25 €	
				Σύνολο	5 021.99 €	

Πίνακας Υπολογισμών 28: Υπολογισμός κόστους αύξησης του πλάτους της στέψης

ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΤΟΥ ΠΡΟΦΥΛΑΚΤΗΡΙΟΥ ΤΟΙΧΟΥ						
ΟΜΑΔΑ 8	Αρθρο Αναθεώρ.	Μονάδα	Τιμή Μονάδος	Επιφάνεια σε m ²	Τιμή ανά m μήκους	
ΕΞΑΛΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ-ΔΑΠΕΔΑ						
Αρθρο						
8.02.01	ΛΙΜ 4240	m ³	100.00	2.60	260.00 €	
				Σύνολο	260.00 €	

Πίνακας Υπολογισμών 29: Υπολογισμός κόστους αύξησης του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου

ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΤΟΥ ΠΡΟΦΥΛΑΚΤΗΡΙΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΗΣ ΣΤΕΨΗΣ						
ΚΑΘΑΙΡΕΣΕΙΣ						
ΟΜΑΔΑ 1	Άρθρο	Μονάδα	Τιμή Μονάδος	Επιφάνεια σε m ²	Τιμή ανά m μήκους	
4.01	Ύφραλες καθαυρέσεις τμημάτων λιμενικών έργων χωρίς τη χρήση εκρηκτικών υλών	m ³	16.00	138.69	2 219.04 €	
ΒΥΘΟΚΟΡΗΣΕΙΣ						
2.03.02	Εκακαφή σε εδάφη κατηγορίας Γ με χρήση φράγας με κοπτική κεφαλή	m ³	10.50	3.06	32.13 €	
ΛΙΘΟΡΡΙΠΕΣ- ΦΥΣΙΚΟΙ ΟΓΚΟΛΙΘΟΙ-ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ-ΓΕΩΦΑΣΜΑΤΑ						
ΟΜΑΔΑ 4						
Άρθρο						
4.01	Διάστρωση λιθουστρώματος 5-10 kg	m ³	11.00	3.74	41.14 €	
4.02	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 0.5 ως 100 kg	m ³	12.00	5.03	60.36 €	
4.07	Λιθορριπές ανακουφιστικού πρισματος ατομικού βάρους 20-100 kg	m ³	11.50	46.39	533.49 €	
4.12.01	Κατασκευές με φυσ. ογκολίθους ες ανελεύσεως ατομικού βάρους 200-1500 kg	m ³	8.50	70.09	595.77 €	
ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΟΓΚΟΛΙΘΟΙ ΛΙΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ- ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΚΙΒΩΤΙΑ						
ΟΜΑΔΑ 5						
Άρθρο						
5.08	Άρση και επανατοποθέτηση ειδικών τεχνητών ογκολίθων θωράκισης	m ³	25.00	84.23	2 105.75 €	
ΕΞΑΛΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ-ΔΑΠΕΔΑ						
ΟΜΑΔΑ 8						
Άρθρο						
8.02.01	Ανωδομές λιμενικών έργων από σπλισμένο, έγχυτο επί τόπου σκυρόδεμα C20/25	m ³	100.00	1.20	120.00 €	
				Σύνολο	5 707.67 €	

Πίνακας Υπολογισμών 31: Υπολογισμός κόστους της συνδυαστικής αύξησης του ύψους του προφυλακτήριου τοίχου και του πλάτους της στέψης

ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΥΦ ΑΛΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΣΤΗ ΑΝΑΠΤΗ						
ΒΥΘΟΚΟΡΗΣΕΙΣ						
ΟΜΑΔΑ 2	Άρθρο	Μονάδα	Τιμή Μονάδος	Επιφάνεια σε m ²	Τιμή ανά m μήκους	
2.03.02	Εκακαφή σε εδάφη κατηγορίας Γ με χρήση φράγας με κοπτική κεφαλή	m ³	10.50	54.44	571.62 €	
ΛΙΘΟΡΡΙΠΕΣ- ΦΥΣΙΚΟΙ ΟΓΚΟΛΙΘΟΙ-ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ-ΓΕΩΦΑΣΜΑΤΑ						
ΟΜΑΔΑ 4						
Άρθρο						
4.02	Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 0.5 ως 100 kg	m ³	12.00	150.09	1 801.08 €	
4.08.01	Θωράκιση με φυσικούς ογκολίθους προέλευσης λατομείου βάρους 200-1500 kg	m ³	13.00	33.36	433.68 €	
4.08.05	Θωράκιση με φυσικούς ογκολίθους προέλευσης λατομείου βάρους 6000-10000 kg	m ³	23.00	99.15	2 280.45 €	
				Σύνολο	4 515.21 €	

Πίνακας Υπολογισμών 30: Υπολογισμός κόστους της κατασκευής ύφραλου κυματοθραύστη

Παράρτημα Σχεδίων