



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΕΛΛΑΔΟΣ

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
<< ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ >>**

**Διερεύνηση για την αξιοποίηση της θαλάσσιας κυματικής ενέργειας.
Εφαρμογή στο Θερμαϊκό κόλπο μέσω κατασκευής παράκτιου τεχνικού
έργου με κατακόρυφα μέτωπα**

Μεταπτυχιακός Φοιτητής : Γεώργιος Δραγανίδης



Σίνδος

Αύγουστος 2020

**Διερεύνηση για την αξιοποίηση της θαλάσσιας κυματικής ενέργειας.
Εφαρμογή στο Θερμαϊκό κόλπο μέσω της κατασκευής παράκτιου
τεχνικού έργου με κατακόρυφα μέτωπα**

Μεταπτυχιακός Φοιτητής : Γεώργιος Δραγανίδης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπων : Ιωάννης Σαββίδης

Μέλος: Ευάγγελος Κεραμάρης

Μέλος : Σοφία Γαληνού - Μητσούδη

Η εικόνα του εξωφύλλου αντλήθηκε από την πηγή :

<https://www.imcbrokers.com/renewable-energy-at-sea-harnessing-wave-energy/>

Σίνδος

Αύγουστος 2020

Copyright notice ©2020 "Georgios Draganidis" All rights reserved

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	i
ΚΑΤΑΛΟΓΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	iv
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	v
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vi
SUMMARY.....	vii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1.1 Γενικά.....	1
1.1.2 Ορισμός του κύματος.....	4
1.1.3 Ορισμός κυματικής ενέργειας και κυματικής ισχύος των θαλάσσιων κυμάτων.....	6
1.1.4 Ιστορική αναδρομή αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας.....	7
1.1.5 Πρωτοβουλίες και προγράμματα για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας στην Ευρώπη.....	10
1.1.6 Εποχιακή και μέση κυματική ισχύς στις ελληνικές θάλασσες.....	13
1.1.7 Πρωτοβουλίες και προγράμματα για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας σε χώρες εκτός Ευρώπης.....	15
1.1.8 Η αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας σε περιοχές της ανατολικής Μεσογείου.....	17
1.1.9 Οι διαφορές των εκμεταλλεύσιμων κυματικών πόρων μεταξύ παράκτιων και υπεράκτιων περιοχών.....	18
1.2 Διατάξεις και συσκευές για εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας.....	19
1.2.1 Διάκριση των διατάξεων - συσκευών με κριτήριο τη μέθοδο εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας.....	19
1.2.2 Διάκριση των διατάξεων - συσκευών με κριτήριο τη τοποθεσία-χωροθέτηση σε σχέση με την ακτή.....	22

1.2.3 Αναλυτική περιγραφή μιας σειράς από συσκευές - διατάξεις για εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας ανάλογα με τη τοποθεσία - χωροθέτηση τους σε σχέση με την ακτή.....	23
1.2.3.1 Συστήματα – διατάξεις ακτογραμμής.....	23
1.2.3.2 Παράκτια συστήματα – διατάξεις	26
1.2.3.3 Υπεράκτια συστήματα – διατάξεις	27
1.3 Λιμενικές – Παράκτιες κατασκευές.....	31
1.3.1 Ενεργειακές Λιμενικές – παράκτιες κατασκευές που έχουν κατασκευαστεί και είναι σε λειτουργία.....	33
1.3.2 Ενεργειακές Λιμενικές – Παράκτιες κατασκευές που έχουν μελετηθεί σε θεωρητικό επίπεδο	35
1.4 Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας.....	42
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....	44
2.1 Συλλογή ανεμολογικών δεδομένων – πηγές.....	45
2.2 Ανεμολογικά στοιχεία – Στατιστική επεξεργασία.....	45
2.3 Μέθοδοι πρόγνωσης κύματος.....	48
2.4 Μοντέλο παραγωγής ενέργειας από κύματα μέσω κατασκευής ενεργειακού κυματοθραύστη ή παράκτιου τοίχου/ κρηπιδοτοίχου.....	51
2.5 Ευρύτερη γεωγραφική περιγραφή της έρευνας.....	57
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	65
3.1 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου ανεμογενών κυματισμών.....	65
3.2 Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου.....	68
3.3 Συζήτηση.....	79
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	82
4.1 Ξένη Βιβλιογραφία.....	82
4.2 Ελληνική Βιβλιογραφία.....	84
4.3 Ηλεκτρονικές Πηγές.....	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. : Χαρακτηριστική μορφή ενός απλού ημιτονοειδούς κύματος(Κουτίτας 1994).....	5
Εικόνα 2 : Μέση ροή κυματικής ισχύος στις ελληνικές θάλασσες : a) Χειμώνας , b) Άνοιξη, c)Καλοκαίρι, d) Φθινόπωρο (Soukissian <i>et al.</i> 2011).....	14
Εικόνα 3 : Η μέση ετήσια κυματική ισχύς στις ελληνικές θάλασσες (Soukissian <i>et al.</i> 2011).....	15
Εικόνα 4 : Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ενέργειας ' hot spots' στη λεκάνη του Λεβάντε (Zodiatis <i>et al.</i> 2014).....	18
Εικόνα 5 : Μετατροπέας Ταλαντευόμενης στήλης (Ζαφειρίου 2012).....	20
Εικόνα 6 : Μετατροπέας Συσκευής υπερχειλίσσης (Ζαφειρίου 2012).....	20
Εικόνα 7 : Μετατροπέας σημειακής απορρόφησης (Ζαφειρίου 2012).....	21
Εικόνα 8 : Μετατροπέας συσκευής ρίψης (Ζαφειρίου 2012).....	21
Εικόνα 9 : Μετατροπέας συσκευής διόγκωσης (Ζαφειρίου 2012).....	22
Εικόνα 10 : Η συσκευή – διάταξη Ευρωπαϊκής Πιλοτικής Μονάδας(Clément <i>et al.</i> 2002).....	24
Εικόνα 11 : Το σύστημα ταλαντευόμενης στήλης νερού LIMPET(Clément <i>et al.</i> 2002).....	24
Εικόνα 12 : Η συσκευή ταλαντευόμενης στήλης νερού Energetech(Clément <i>et al.</i> 2002).....	25
Εικόνα 13 : Η διάταξη – συσκευή εφόρμησης Pendulor(Clément <i>et al.</i> 2002).....	25
Εικόνα 14 : Η διάταξη – συσκευή τύπου υπερχειλίσσης TAPCHAN(Clément <i>et al.</i> 2002).....	26
Εικόνα 15 : Η συσκευή ταλαντευόμενης στήλης νερού OSPREY(Clément <i>et al.</i> 2002).....	26
Εικόνα 16 : Το σύστημα Archimedes Wave Swing (Clément <i>et al.</i> 2002).....	27
Εικόνα 17 : Το Πλωτό Σκάφος - Διάταξη κυματικής ενέργειας (Ζαφειρίου 2012).....	28
Εικόνα 18 : Η αντλία συστήματος McCabe Wave Pump(Clément <i>et al.</i> 2002).....	28
Εικόνα 19 : Η συσκευή ταλαντευόμενης στήλης νερού Mighty Whale (Clément <i>et al.</i> 2002).....	29
Εικόνα 20 : Η διάταξη μετατροπής κυματικής ενέργειας OPT(Διαδίκτυο).....	29
Εικόνα 21 : Η συσκευή Pelamis (Clément <i>et al.</i> 2002).....	30
Εικόνα 22 : Ο Μετατροπέας Σημειακής Απορρόφησης Κυματικής Ενέργειας (Ζαφειρίου 2012).....	30

Εικόνα 23 : Μώλος (Κουτίτας 1994).....	31
Εικόνα 24 : Βραχίονας(Κουτίτας 1994).....	32
Εικόνα 25 : Κυματοθραύστης(Κουτίτας 1994).....	32
Εικόνα 26 : Κρηπιδότοιχος(Κουτίτας 1994).....	33
Εικόνα 27 : Πανοραμική άποψη της κατασκευής αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας Mutriku Energy Plant (Ισπανία) (Διαδίκτυο).....	33
Εικόνα 28 : Η εγκατάσταση κατασκευής για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας Wave Power Plant (Ισραήλ)(Διαδίκτυο).....	34
Εικόνα 29 : Η συσκευή Medusa (Διαδίκτυο).....	34
Εικόνα 30 : Ο ενεργειακός τοίχος του μαθηματικού μοντέλου(Koutitas & Savvidis 2008).....	35
Εικόνα 31 : Σχεδιασμός προστασίας από υπερπήδηση στη δεξαμενή OBREC (Overtopping Breaker for Energy Conversion)(Σισμάνη & Καραμπάς 2015).....	37
Εικόνα 32 : Το σύστημα εκμετάλλευσης κυματισμών ενός κυματοθραύστη/κρηπιδότοιχου(Gravas <i>et al.</i> 2012).....	39
Εικόνα 33 : Η ενέργεια όπως 'συλλαμβάνεται' από έναν σύνθετο κρηπιδότοιχο (Stagonas <i>et.al</i> 2012).....	41
Εικόνα 34 : Απεικόνιση των δύο περιοχών μέσω της εφαρμογής Google Earth.....	43
Εικόνα 35 : Υπολογισμός F_{eff} στο Α (Καραμπάς <i>et al.</i> 2015).....	49
Εικόνα 36 : Η μορφή του ενεργειακού τοίχου ή κυματοθραύστη.....	53
Εικόνα 37 : Στρόβιλος χαμηλού φορτίου (Διαδίκτυο).....	55
Εικόνα 38 : Η περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου με τις υποπεριοχές του.....	58
Εικόνα 39 : Η περιοχή της Νέας Αγαθούπολης - Μεθώνης μέσω της εφαρμογής Google Earth.....	59
Εικόνα 40 : Η περιοχή του Ποσειδίου μέσω της εφαρμογής Google Earth.....	64
Εικόνα 41 : Εφαρμογή πρόγνωσης ανεμογενών κυματισμών στη περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης	65
Εικόνα 42 : Εφαρμογή πρόγνωσης ανεμογενών κυματισμών στη περιοχή του Ποσειδίου.....	67

Εικόνα 43 : Γραφική αναπαράσταση της διακύμανσης της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για $D_o = 0,200m$, $B = 10m$	69
Εικόνα 44 : Γραφική αναπαράσταση της διακύμανσης της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για $D_o = 0,200m$, $B = 5m$	70
Εικόνα 45 : Γραφική αναπαράσταση της διακύμανσης της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για $D_o = 0,400m$, $B = 10m$	72
Εικόνα 46 : Γραφική αναπαράσταση της διακύμανσης της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για $D_o = 0,400m$, $B = 5m$	73
Εικόνα 47 : Διάγραμμα ροής μεταβολής των τιμών της κυματικής ισχύος στη περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης	77
Εικόνα 58 : Διάγραμμα ροής μεταβολής των τιμών της κυματικής ισχύος στη περιοχή του Ποσειδίου.....	78

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συσκευών διατάξεων κυματικής ενέργειας(Clément <i>et al.</i> 2002).....	9
Πίνακας 2 : Τα βασικά συστήματα – διατάξεις με κριτήριο τη τοποθεσία – χωροθέτηση τους.....	23
Πίνακας 3 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας ανεμολογικών δεδομένων από το Σταθμό της Σκοτίνας.....	46
Πίνακας 4 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας ανεμολογικών δεδομένων από το Σταθμό της Ποτίδαιας.....	48

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Ιωάννη Σαββίδη που στάθηκε αρωγός σε αυτή την προσπάθεια και μέσα από τις γνώσεις και εμπειρία του καταφέραμε να επεκτείνουμε το γνωστικό αντικείμενο στο πεδίο της αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας στον ελλαδικό χώρο μέσω της μελέτης κατασκευής ενός παράκτιου τεχνικού έργου με κατακόρυφα μέτωπα. Η παρούσα προσέγγιση, είναι πολλά υποσχόμενη για εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας στην Ελλάδα και μπορεί να αποτελέσει εφιαλτήριο για τη περαιτέρω μελέτη και έρευνα σε διδακτορικό επίπεδο. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω που με βοήθησε να εμβαθύνω τις γνώσεις μου στον τομέα των Υδραυλικών και Παράκτιων Τεχνικών έργων συνδυαστικά με τη Βιώσιμη ανάπτυξη που καθίσταται πιο επιτακτική από ποτέ.

Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Αντωνίου Αλέξανδρο ο οποίος βοήθησε σημαντικά με τις γνώσεις και τη πείρα του στη στατιστική επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων μέσω του προγράμματος Minitab.

Θεσσαλονίκη, Αύγουστος 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών "Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνικών Έργων" του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος στη Θεσσαλονίκη.

Στην εισαγωγή παρατίθενται οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας τόσο σε ευρωπαϊκό αλλά και διεθνές επίπεδο ενώ δίνεται έμφαση στα ποσοστά της κυματικής ισχύος στον ελλαδικό χώρο. Έπειτα, παρατίθενται οι συσκευές – διατάξεις για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας ενώ γίνεται αναλυτική παρουσίαση των συσκευών – διατάξεων με βάση την τοποθεσία - χωροθέτηση τους. Ακολούθως, γίνεται μνεία στις υφιστάμενες ενεργειακές λιμενικές-παράκτιες κατασκευές που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα ενώ γίνεται παρουσίαση των ενεργειακών – παράκτιων κατασκευών που έχουν μελετηθεί σε θεωρητικό επίπεδο.

Η έρευνα επικεντρώνεται στην αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας μέσω κατασκευής ενός παράκτιου τεχνικού έργου με κατακόρυφα μέτωπα σε δύο παράκτιες περιοχές των ανατολικών και δυτικών ακτών του Θερμαϊκού Κόλπου. Η περιοχή που επιλέχθηκε στο δυτικό κομμάτι των ακτών του Θερμαϊκού Κόλπου είναι η Νέα Αγαθούπολη - Μεθώνη που ανήκει στο Δήμο Πύδνας - Κολινδού στο Νομό Πιερίας. Η περιοχή που επιλέχθηκε στο ανατολικό κομμάτι των ακτών του Θερμαϊκού Κόλπου είναι η περιοχή του Ποσειδίου και υπάγεται στο Δήμο Κασσάνδρας του νομού Χαλκιδικής. Έπειτα από τη συλλογή και τη στατιστική επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων από τις δύο ανωτέρω περιοχές, γίνεται εφαρμογή της μεθόδου πρόγνωσης ανεμογενών κυματισμών και ακολουθεί εφαρμογή του μοντέλου παραγωγής ενέργειας από κύματα μέσω κατασκευής ενός ενεργειακού κυματοθραύστη ή παράκτιου τοίχου/ κρηπιδότοιχου. Τέλος, γίνεται παράθεση των ιδιαίτερα σημαντικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου κατά τη διάρκεια εκπόνησης της ερευνητικής αυτής εργασίας.

Λέξεις – κλειδιά : Κυματική ενέργεια, παράκτιο τεχνικό έργο με κατακόρυφα μέτωπα, Θερμαϊκός Κόλπος

SUMMARY

Study of the exploitation of sea wave energy. Application to Thermaikos Gulf, through coastal construction with vertical walls

The present diploma thesis has been conducted during the postgraduate program 'Design and Construction of Civil Engineering Structures' of the Department of Environmental Engineering at the Hellenic University of Greece in Thessaloniki.

Initially, this work presents studies that have been conducted for the exploitation of sea wave energy in Europe and also in different countries throughout the world with emphasis in the wave potential of the Greek seas. Afterwards, the main types of wave energy converters and a wide range of devices that produce energy from the sea waves are presented with basic criterion their location. Then, the energy coastal constructions that produce energy from the sea waves and those that have been studied theoretically are displayed at the end of the Introduction part.

Then, the paper focuses on the application of a coastal construction with vertical walls to exploit wave energy in Thermaikos Gulf. The one site that has been chosen at the west part of Thermaikos Gulf is the region of Nea Agathoupoli – Methoni which belongs at the Municipality of Pydnas - Kolindrou in the Prefecture of Pieria. The other site at the east part of Thermaikos Gulf is the region of Poseidi which belongs at the Municipality of Kassandra in the Prefecture of Chalkidiki. After collecting and analyzing the wind data at the two regions, the model that produces energy from sea waves through coastal construction with vertical construction is applied. Finally, the research which was carried out led to very interesting results, that are analytically presented.

Key – words: sea wave energy, coastal construction with vertical walls, Thermaikos Gulf

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.1 Γενικά

Στη σημερινή εποχή παρατηρείται ολοένα και περισσότερο το ενεργειακό πρόβλημα. Αυτό απαρτίζεται από την ανοδική τάση των τιμών της ενέργειας η οποία δημιουργεί αύξηση του κόστους στο σύνολο των προϊόντων και των υπηρεσιών. Ταυτόχρονα υπάρχει έντονη αβεβαιότητα επάρκειας και σταθερότητας της ενεργειακής τροφοδοσίας ενώ εντείνεται το πρόβλημα της εξάντλησης των ενεργειακών πόρων. Παράλληλα, η ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτινων αποδεκτών εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την αύξηση της κλιματικής αλλαγής αλλά και την παγκόσμια κρίση του νερού. Τέλος, το κύκλωμα διαχείρισης της ενεργειακής ροής χαρακτηρίζεται από μεγάλες απώλειες που ανέρχονται στο 85% της πρωτογενούς ενέργειας (Σκορδάς 2015).

Σύμφωνα με τους Μαμάση & Στεφανάκο (2014), η μέση κατανάλωση (kWh ανά κάτοικο/ανά έτος) στη Ελλάδα το έτος 2005 ήταν 5242 kWh, το 2006 ήταν 5272 kWh ενώ το 2007 ανέρχονταν σε 5628 kWh. Συνοπτικά :

- ◆ Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα εκτιμάται σε περίπου 5.500 kWh/άτομο/έτος, ενώ το 1990 ήταν 3.000 kWh/ άτομο / έτος
- ◆ Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι της τάξης των 50 TWh /έτος
- ◆ Καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια κατά τους μήνες με ακραίες θερμοκρασίες (χειμώνα,καλοκαίρι) και λιγότερη κατά τους μεταβατικούς μήνες (άνοιξη,φθινόπωρο)
- ◆ Καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια τις καθημερινές από ότι τα Σαββατοκύριακα
- ◆ Μέση κατανάλωση νοικοκυριού ανά ημέρα : 27,7 kWh

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα έρευνας που διενήργησε η Ελληνική Στατιστική Αρχή, το χρονικό διάστημα Οκτώβριος 2011 - Σεπτέμβριος 2012, όπου συλλέχθηκαν πληροφορίες αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας και τα επίπεδα κατανάλωσης για διαφορετικές χρήσεις (θέρμανση - ψύξη χώρων, ζεστό νερό χρήσης, μαγείρεμα, φωτισμός κ.ά.) στον οικιακό τομέα, καθώς και οι ποσότητες και τα είδη των χρησιμοποιούμενων καυσίμων, το κάθε νοικοκυριό στην Ελλάδα καταναλώνει κατά μέσο όρο 13.994 kWh για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών <https://energypress.gr/news/sta-13994-kwh-i-mesi-etisia-katanalosi-energeias-ana-noikokyrio>.

Οι περισσότερες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως προέρχονται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως τα ορυκτά καύσιμα. Η αλόγιστη και ακαθόριστη χρήση αυτών των πηγών ενέργειας έχει αποφέρει αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες. Ταυτόχρονα, υπάρχει άμεση και επιτακτική ανάγκη για χρησιμοποίηση πηγών ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον. Η εξαγωγή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε) καθίσταται μια βιώσιμη και τεχνολογικά εφαρμόσιμη λύση (Soukissian *et al.*2011).

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ή ήπιες μορφές ενέργειας ή νέες πηγές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού, κ.ά. Για την εκμετάλλευση τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση για παράδειγμα εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες μορφές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση (Σκορδάς 2015).

Οι κύριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – Α.Π.Ε (Renewable Energy Sources, RES) είναι οι εξής (Savvidis *et al.*2013):

- ✓ αιολική ενέργεια
- ✓ ηλιακή ενέργεια
- ✓ υδροηλεκτρική ενέργεια
- ✓ γεωθερμική ενέργεια
- ✓ ενέργεια από βιομάζα
- ✓ ενέργεια από θαλάσσια κύματα
- ✓ ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τις επόμενες δεκαετίες ενώ παράλληλα η κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση προβλέπεται να αυξηθεί σε ίδιο βαθμό. Τονίζοντας συνεχώς ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι παραγωγής ενέργειας συντελούν σε σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, οι κυβερνήσεις των κρατών μελών θέτουν σαν άμεση προτεραιότητα την παραγωγή ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δοθεί ώθηση για χρήση φιλικών προς το περιβάλλον μεθόδων για παραγωγή ενέργειας. Στο δυναμικό κλίμα για παραγωγή φιλικής προς το περιβάλλον ενέργειας, αναδύθηκε η βιομηχανία που σχετίζεται με την παραγωγή κυματικής ενέργειας.

Παρόλο που η τεχνολογία είναι σχετικά νέα και στην παρούσα φάση όχι και τόσο οικονομικά ανταγωνιστική με άλλες, περισσότερο εξελιγμένες τεχνολογίες όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, το ενδιαφέρον των κυβερνήσεων και των βιομηχανιών αυξάνεται ολοένα και περισσότερο. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των θαλάσσιων κυμάτων είναι η υψηλή τους ενεργειακή πυκνότητα, η οποία βρέθηκε να είναι η υψηλότερη σε σχέση με όλες τις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η πλειοψηφία των μεθόδων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον ωστόσο η ενέργεια που προέρχεται από τα θαλάσσια κύματα θεωρείται λιγότερο επιβλαβής για το περιβάλλον σε σχέση με άλλες μεθόδους παραγωγής ενέργειας που σχετίζονται κυρίως με την εκπομπή αερίων στην ατμόσφαιρα. Οι συσκευές που παράγουν ενέργεια από τα θαλάσσια κύματα δεν δημιουργούν αέριες, υγρές ή στερεές εκπομπές και επομένως η κυματική ενέργεια δεν θεωρείται πηγή μόλυνσης του περιβάλλοντος. Ωστόσο, τα συστήματα για παραγωγή ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης των θαλάσσιων κυμάτων δύναται να έχουν διαφόρων ειδών περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, η λειτουργία των υπεράκτιων πλωτών συσκευών έχει μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον συγκριτικά με συσκευές που βρίσκονται στην ακτή όπου το περιβαλλοντικό φορτίο είναι αυξημένο. Μερικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχετίζονται με την κατασκευή και συντήρηση στον χώρο εφαρμογής τους, τις παράκτιες τουριστικές δραστηριότητες, την ιζηματοπόθεση, τα θέματα ναυσιπλοΐας, τα ψάρια και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς καθώς και με τον θόρυβο και τα είδη υπό εξαφάνιση. Μεσαίας κλίμακας περιβαλλοντικές επιπτώσεις θεωρούνται η διάβρωση στην ακτή και οι ζημιές που προκαλούνται από δραστηριότητες ελλιμενισμού. Εντέλει, δεν παρατηρούνται άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δύναται να είναι σημαντικές. Όσον αφορά τα οικονομικά θέματα που είναι συνυφασμένα με την εκμετάλλευση της θαλάσσιας ενέργειας, αυτά επικεντρώνονται στις μονάδες παραγωγής κυματικής ενέργειας και στην υψηλή επένδυση κατασκευή τους (Clément *et al.* 2002).

Σύμφωνα με τους Savvidis *et al.* (2013), οι τιμές ποικίλλουν καθώς ξεκινούν από 1400 €/MW έως το υψηλότερο που είναι 8 – 10.000 €/MW. Ένα σημαντικό πρόβλημα για την ανάπτυξη τέτοιων μονάδων και κατασκευών για εκμετάλλευση των θαλάσσιων κυματισμών είναι το υψηλό κόστος κατασκευής τους και το κόστος μεταφοράς της ενέργειας μέσω των καλωδίων από τις υπεράκτιες συσκευές στην ακτή.

Ωστόσο, παρόλο το υψηλό κόστος της επένδυσης για εμπορική χρήση, υπολογίζεται ότι το κόστος θα μειωθεί με την βελτίωση της τεχνολογίας καθιστώντας αυτόν τον τρόπο παραγωγής ενέργειας αρκετά ανταγωνιστικό συγκριτικά με άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας (Savvidis *et al.* 2013).

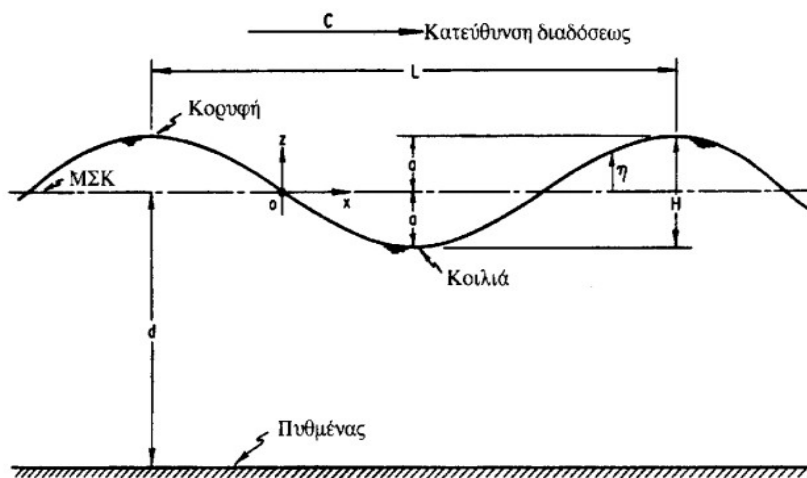
1.1.2 Ορισμός του κύματος

Ως κυματισμός ορίζεται κάθε περιοδική ή μη περιοδική διαταραχή της επιφάνειας της θάλασσας σε ένα πεπερασμένο ή άπειρο πεδίο. Οι κυματισμοί χαρακτηρίζονται χωρικά από το μήκος κύματός τους L (οριζόντιο μήκος στο οποίο επεκτείνεται ή επαναλαμβάνεται η διαταραχή της στάθμης), το ύψος τους H (μέγιστη απόσταση μεταξύ κοιλιάς και κορυφής του κύματος) και χρονικά, στην περίπτωση των περιοδικών κυματισμών, από την περίοδό τους T (Καραμπάς *et al.* 2015).

Το γενεσιουργό αίτιο των κυματισμών, συνοπτικά, είναι η μεταφορά ενέργειας προς την υδάτινη μάζα μέσω μαζικών και οριακών δυνάμεων. Στο όριο της ελεύθερης επιφάνειας π.χ. επιδρά ο άνεμος με εγκάρσιες και διατμητικές τάσεις και προκαλεί κυματισμούς με περίοδο 0,1 έως 150 sec. Οι βαρομετρικές μεταβολές κατά τη διάρκεια καταιγίδων που επιδρούν στο όριο επιφάνειας και οι σεισμικές διαταραχές στο όριο πυθμένα προκαλούν κυματισμούς περιόδου $150 - 10^4$ sec. Η παλίρροια ως μαζική δύναμη προκαλεί κυματισμούς με περίοδο της τάξης 10^5 sec (Καραμπάς *et al.* 2015).

Οι ανεμογενείς κυματισμοί που εμφανίζονται στον παράκτιο χώρο αποτελούν συνισταμένη κυματισμών διαφορετικής προέλευσης με διάφορα χαρακτηριστικά περιόδου T και έχουν τρισδιάστατη μορφή. Για τη διευκόλυνση της αναλυτικής περιγραφής τους γίνεται σε πρώτη φάση η παραδοχή δισδιάστατου κυματισμού. Υποτίθεται ότι τα στοιχεία του κυματισμού διατηρούνται σταθερά κατά την οριζόντια κατεύθυνση y και όλες οι μεταβολές περιορίζονται στο επίπεδο x, z (long crested waves) (Καραμπάς *et al.* 2015).

Στις παράκτιες θαλάσσιες μάζες ιδιαίτερα σημαντικές για τα θαλάσσια τεχνικά έργα είναι οι διαταραχές της επιφάνειας τους που διέπονται από τη δύναμη της βαρύτητας. Είναι γνωστές ως επιφανειακοί θαλάσσιοι κυματισμοί και το μηχανικό ενεργειακό περιεχόμενό τους είναι ο σημαντικότερος παράγων φορτίσεως των τεχνικών έργων που σχεδιάζουν και υπολογίζουν οι πολιτικοί μηχανικοί. Στην απλούστερη περίπτωση του απλού περιοδικού ημιτονοειδούς μορφής κυματισμού που σχηματίζεται στην Εικόνα 1. διακρίνονται τα εξής μορφολογικά και κινηματικά στοιχεία περιγραφής του κυματισμού:



Εικόνα 1 : Χαρακτηριστική μορφή ενός απλού ημιτονοειδούς κύματος (Κουτίτας 1994)

- L είναι το μήκος κύματος (απόσταση μεταξύ διαδοχικών κοιλιών ή κορυφών) [m]
($k = 2 \cdot \pi / L =$ αριθμός κύματος)
- H είναι ύψος ή εύρος κύματος (απόσταση κοιλιάς – κορυφής) [m]
- T είναι η περίοδος κύματος [sec] και εκφράζει την χρονική απόσταση ανάμεσα στην εμφάνιση δύο διαδοχικών κορυφών σε μια θέση.
- f είναι η κυκλική συχνότητα ($= 1/T$) [Hz]
- σ ή ω [rad/sec] είναι η γωνιακή συχνότητα η οποία σχετίζεται με την περίοδο και την κυκλική συχνότητα όπου $\sigma = 2 \cdot \pi / T = 2\pi f$
- C είναι η φασική ταχύτητα, ή ταχύτητα διαδόσεως του κυματισμού [m/sec].

Για κάθε κυματισμό ισχύει η εξίσωση $L = C \cdot T$

Η προέλευση των κυματισμών στη φύση διαφοροποιείται σημαντικά. Η επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας, διαφοροποιήσεις της βαρομετρικής πίεσης από θέση σε θέση, η αστρονομική παλίρροια, οι υποβρύχιες κατολισθήσεις και οι υποθαλάσσιοι σεισμοί, οι διαφοροποιήσεις πυκνότητας των θαλάσσιων μαζών είναι οι κύριες αιτίες γενέσεως επιφανειακών ή εσωτερικών κυματισμών (Κουτίτας 1994).

Επισημαίνονται τα παρακάτω βασικά στοιχεία για τους επιφανειακούς κυματισμούς:

- Τα κύματα επιφάνειας αποτελούνται από τη σύζευξη ημιτονοειδών κυμάτων με διαφορετικό μήκος κύματος, φάση και διεύθυνση

■ Η κίνηση κάθε σωματιδίου νερού είναι κυκλικής ή ελλειπτικής τροχιάς. Η επιφάνεια του κύματος διαδίδεται προς μια κατεύθυνση, όχι όμως και τα σωματίδια του νερού

■ Το νερό που βρίσκεται στην επιφάνεια παραμένει στην επιφάνεια

■ Το πλάτος των κυκλικών κινήσεων των σωματίων νερού μειώνεται εκθετικά με το βάθος. Σε βάθος $L/2\pi$ ο πλάτος μειώνεται στο $1/e$ της τιμής του πλάτους στην επιφάνεια. Σε βάθη μεγαλύτερα του $L/2\pi$ η κίνηση είναι αμελητέα (μικρότερη από 5% σε σχέση με την επιφάνεια)

■ Το πλάτος του κύματος στην επιφάνεια είναι πρακτικά ανεξάρτητο του μήκους κύματος, και εξαρτάται μόνο από την προϊστορία των ανέμων στην επιφάνεια. Το πλάτος σπανίως ξεπερνά το $1/10$ του μήκους κύματος

■ Όταν ένα κύμα 'σπάει' και εμφανίζεται αφρός, τότε καταναλώνεται ενέργεια μειώνοντας τη διαθέσιμη ενέργεια των κυμάτων

1.1.3 Ορισμοί κυματικής ενέργειας και κυματικής ισχύος των θαλάσσιων κυμάτων

Με τον όρο κυματική ισχύ εννοούμε το ποσοστό κατά το οποίο η ενέργεια μεταφέρεται με τη διάδοση του κύματος (η συνηθισμένη μονάδα μέτρησης είναι τα kW/m ανά μήκος κύματος) και μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Soukissian *et al.* 2011).

Η κυματική ισχύς που συμβολίζεται με τον γράμμα P δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση (Savvidis *et al.* 2013):

$$P = E \cdot n / T \text{ όπου :}$$

E : Η κυματική ενέργεια (J),

T : Η περίοδος του κύματος (s),

n : Η κυματική παράμετρος που δίνεται από τον ακόλουθο τύπο :

$$E = \rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L/8 \text{ και } n = 0.5 (1 + (2 k d / \sinh(2 k d))), \text{ όπου:}$$

ρ = η πυκνότητα του θαλασσινού νερού (kg/m³),

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/sec²),

H = το ύψος του κύματος (m),

L = το μήκος του κύματος (m),

d = το βάθος του νερού (m) και $k = 2\pi/L$

Σύμφωνα με τη κυματική θεωρία, η κυματική ισχύς εξαρτάται από τρεις παράγοντες :

α) Το ύψος του κύματος,

β) την περίοδο του κύματος και

γ) το βάθος του νερού (το βάθος της στήλης ύδατος).

Σε πρώτη προσέγγιση, η κυματική ισχύς σε βαθιά νερά δηλαδή για $d/L > 0.5$, δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$P = \rho \cdot g^2 \cdot T \cdot H^2 / (\beta \cdot \pi)$$

όπου :

P = η κυματική ισχύς ανά μονάδα μήκους κύματος (kW/m)

ρ = η πυκνότητα του θαλασσινού νερού (kg/m^3)

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας ($9,81 \text{ m/sec}^2$)

T : Η περίοδος του κύματος (s),

$\pi = 3,14$

β είναι ένας συντελεστής - σταθερά (64 για μη κανονικά κύματα ή 32 για κανονικά κύματα)

Παίρνοντας υπόψη την πυκνότητα του θαλασσινού νερού $\rho \sim 1025 \text{ kg/m}^3$ και την επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$, για περίπτωση βαθιών νερών (όπου $n = 0,5$) παίρνουμε την ακόλουθη εξίσωση :

$$P = 1000 \cdot H^2 \cdot T \text{ (W/m)} \text{ ή } P = H^2 \cdot T \text{ (kW/m)} \text{ για κανονικά κύματα και}$$

$$P = 500 \cdot H^2 \cdot T \text{ (W/m)} \text{ ή } P = 0,5 \cdot H^2 \cdot T \text{ (kW/m)} \text{ για μη κανονικά (τυχαία) κύματα}$$

1.1.4 Ιστορική αναδρομή αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας

Η ιδέα μετατροπής της ενέργειας των επιφανειακών κυμάτων στους ωκεανούς σε χρήσιμες μορφές ενέργειας δεν είναι καινούργια. Σύμφωνα με τους Clément *et al.* (2002), οι πρώτες τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν χρονολογούνται από το 1799 από τους Girard & Son στη Γαλλία ενώ ακολούθησαν οι Leishman & Scobie (1976) που παρουσίασαν αναλυτικά την εξέλιξη των συσκευών μετατροπής της κυματικής ενέργειας από το έτος 1855 που εφευρέθηκε η πρώτη βρετανική συσκευή μέχρι το έτος 1973 όπου υπήρχαν ήδη 340 συσκευές. Στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν πολλές διατάξεις μετατροπής της κυματικής ενέργειας ενώ κάποιες από αυτές είχαν και πρακτική εφαρμογή στη θάλασσα (Clément *et al.* 2002).

Στην Ευρώπη, η επίμονη έρευνα για μετατροπή της κυματικής ενέργειας ξεκίνησε μετά τη δραματική αύξηση στις τιμές του πετρελαίου το 1973. Διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες με εκμεταλλεύσιμους πόρους κυματικής ενέργειας θεώρησαν ότι αυτό το είδος ενέργειας θα μπορούσε να είναι πιθανή πηγή ενεργειακής προμήθειας και εισήγαγαν μέτρα στήριξης και συναφών προγραμμάτων για τη κυματική ενέργεια. Έκτοτε διάφορα ερευνητικά προγράμματα με κυβερνητική στήριξη ξεκίνησαν κυρίως στο Ηνωμένο Βασίλειο, στη Πορτογαλία, στην Ιρλανδία, στη Νορβηγία, στη Σουηδία και στη Δανία με στόχο την ανάπτυξη βιομηχανικώς εκμεταλλεόμενων τεχνολογιών μετατροπής της κυματικής ενέργειας μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα (Clément *et al.* 2002).

Οι προσπάθειες στην έρευνα και ανάπτυξη της μετατροπής της κυματικής ενέργειας έχουν βρει την στήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής η οποία από το 1986 παρατηρεί την εξέλιξη στον τομέα της κυματικής ενέργειας. Τα ερευνητικά προγράμματα της επιτροπής στην κυματική ενέργεια ξεκίνησαν αποτελεσματικά με το 4th Framework Programme το 1994 ακολουθώντας την επιτυχή αποπεράτωση σχετικών ερευνών και προπαρασκευαστικών τεχνικών εργασιών έρευνας και ανάπτυξης (Ζαφειρίου 2012).

Από το 1993, η επιτροπή υποστήριξε μια σειρά από διεθνή συνέδρια στη κυματική ενέργεια (Εδιμβούργο Μεγάλη Βρετανία 1993, Λισαβόνα Πορτογαλία 1995, Πάτρα Ελλάδα 1998 κ.α), τα οποία συνέβαλαν σημαντικά στη διέγερση και στο συντονισμό των δραστηριοτήτων οι οποίες διενεργήθηκαν σε όλο το μήκος της Ευρώπης μέσα από πανεπιστήμια, εθνικά ερευνητικά κέντρα και τη βιομηχανία (Ζαφειρίου 2012).

Τα τελευταία 50 περίπου χρόνια, η κυματική ενέργεια έχει περάσει μέσα από μια κυκλική διαδικασία με διάφορες φάσεις όπως ενθουσιασμό, απογοήτευση και αναθεώρηση. Ωστόσο, οι επίμονες προσπάθειες της έρευνας και της ανάπτυξης καθώς και η εμπειρία που έχει συσσωρευτεί κατά τα τελευταία χρόνια βελτιώνουν συνεχώς την απόδοση των τεχνικών της κυματικής ενέργειας και σήμερα έχουν οδηγήσει πιο κοντά στην εμπορική εκμετάλλευση από ποτέ άλλοτε (Ζαφειρίου 2012).

Διάφορα συστήματα έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς σε μεγάλη κλίμακα κάτω από δύσκολες λειτουργικές συνθήκες και ένας μεγάλος αριθμός από σχετικές εγκαταστάσεις έχει χτιστεί στην Ευρώπη, στην Αυστραλία, στο Ισραήλ αλλά και αλλού. Άλλες συσκευές βρίσκονται στο τελικό στάδιο της διαδικασίας έρευνας και ανάπτυξης, με ορισμένες προοπτικές για επιτυχή εφαρμογή (Ζαφειρίου 2012).

Παρ' όλα αυτά απαιτούνται συνεχώς εργασίες έρευνας και ανάπτυξης τόσο σε θεμελιώδες επίπεδο όσο και στην εφαρμογή προκειμένου να βελτιωθεί σταθερά η απόδοση των τεχνολογιών μετατροπής της κυματικής ενέργειας και να καθιερωθεί η ανταγωνιστικότητα τους στη παγκόσμια αγορά ενέργειας (Ζαφειρίου 2012).

Είναι προφανές ότι ένας μετατροπέας κυματικής ενέργειας θα πρέπει να είναι σωστά σχεδιασμένος ώστε να καθίσταται αποτελεσματικός και αποδοτικός αλλά ταυτόχρονα να είναι και οικονομικά προσιτός. Όπως όλες οι συσκευές που παράγουν ενέργεια, οι μεταβλητές που πρέπει να εξεταστούν σε αρχικό στάδιο είναι οι διαθέσιμοι πόροι αλλά και διάφορες μεταβλητές στο πεδίο εφαρμογής των συσκευών. Οι συσκευές που υποστηρίζονται σήμερα είναι μέτριας παραγωγής ενέργειας, της τάξης των 1,5 - 2 MW ή μικρότερες αρθρωτές συσκευές που αποδίδουν ενέργεια 5 - 20 kW και δύναται να παράξουν πολλαπλά MW όταν τοποθετηθούν κατά παράταξη (Clément *et al.* 2002).

Η θαλάσσια ενέργεια γενικά θεωρείται μια καθαρής μορφής ενέργεια με ελάχιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, η θαλάσσια ενέργεια είναι μια μεγάλη μορφή ενέργειας που δεν εκπέμπει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα CO₂. Οι Clément *et al.* (2002) συνοψίζουν σύμφωνα με τον Thorpe (1992) τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των τεχνολογιών μετατροπής κυματικής ενέργειας στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συσκευών - διατάξεων κυματικής ενέργειας (Clément *et al.* 2002)

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	Ακτογραμμή	Παράκτια	Υπεράκτια
Χρήση γης	E		
Κατασκευή/συντήρηση	E		
Αναψυχή	E	E	
Διάβρωση των ακτών	E	E - M	E - M
Ιζηματογενής τομέας		E	E
Κίνδυνος στην πλοήγηση		E	E
Ψάρια και θαλάσσιοι οργανισμοί	E	E	E
Ακουστικός θόρυβος	E		
Απώλειες υγρών		E	E
Απειλούμενα είδη	E	E	
Ζημιές που προκύπτουν από την πρόσδεση		E - M	E - M
E: Ελάχιστες; M : Μέτριες			

Τα κύρια εμπόδια της κυματικής ενέργειας πηγάζουν από την ίδια τη θάλασσα. Το μέσο φορτίο που υπάρχει στον θαλάσσιο χώρο είναι πολύ υψηλό αλλά δύσκολο να υπολογιστεί. Για παράδειγμα είναι δύσκολος ο ακριβής προσδιορισμός της περιόδου ενός κύματος σε έναν συγκεκριμένο χώρο – περιοχή για χρονική περίοδο πενήντα ετών όταν η συστηματική καταγραφή των ιδιοτήτων των κυμάτων ξεκίνησε πριν από λίγα χρόνια. Τα αποτελέσματα είναι είτε υποεκτιμημένα είτε υπερεκτιμημένα για τον σχεδιασμό μιας συσκευής. Στην πρώτη περίπτωση, όταν δηλαδή τα αποτελέσματα είναι υποεκτιμημένα, υπάρχει μερική ή ολική ασάφεια των αναμενόμενων αποτελεσμάτων. Ακολούθως, όταν τα αποτελέσματα είναι υπερεκτιμημένα, το υψηλό κόστος κατασκευής και τα υψηλά κόστη παραγωγής καθιστούν την τεχνολογία οικονομικά μη ανταγωνιστική (Clément *et al.*2002).

1.1.5 Πρωτοβουλίες και προγράμματα για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας στην Ευρώπη

Η έρευνα και ανάπτυξη όσον αφορά την κυματική ενέργεια πραγματοποιήθηκε σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες. Σε χώρες όπου παρατηρούνται υψηλά ποσοστά θαλάσσιας ενέργειας, η ενέργεια που προέρχεται από τα κύματα μπορεί να καλύψει μεγάλο τμήμα των ενεργειακών αναγκών των χωρών ή ακόμα και να γίνει η πρωταρχική πηγή ενέργειας.

Σε χώρες με μέτριες δυνατότητες στην αξιοποίηση της θαλάσσιας ενέργειας, η κυματική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά με άλλες διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καλύπτοντας τις εκάστοτε ενεργειακές ανάγκες κάθε χώρας.

Η Δανία, η Ιρλανδία, η Νορβηγία, η Πορτογαλία, η Σουηδία και το Ηνωμένο Βασίλειο συμπεριέλαβαν την κυματική ενέργεια σαν μια εναλλακτική πηγή ενέργειας. Οι προαναφερθείσες χώρες έχουν υψηλά ποσοστά θαλάσσιας ενέργειας και την αξιοποιούν με την αμέριστη υποστήριξη των κυβερνήσεων τους εδώ και πολλά χρόνια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αξιόλογη πρόοδο καθώς και τη συνεχή επιστημονική κατάρτιση στον τομέα της κυματικής ενέργειας.

Η Δανία είναι τοποθετημένη σε μια προστατευόμενη περιοχή στο νότιο κομμάτι της Βόρειας Θάλασσας ωστόσο μόνο οι βορειοδυτικές περιοχές της χώρας έχουν ικανοποιητικά ποσοστά για εκμετάλλευση της θαλάσσιας ενέργειας αλλά και περαιτέρω αξιοποίηση. Οι εκμεταλλεύσιμοι πόροι κυματικής ενέργειας της χώρας έχουν υπολογιστεί σε 30 TWh ενώ η μέση ετήσια κυματική ενέργεια κυμαίνεται από 7 έως 24 kW/m και προέρχεται κυρίως από δυτική διεύθυνση(Clément *et al.*2002).

Η Ιρλανδία έχει αξιόλογες προοπτικές για παραγωγή ηλεκτρισμού από την κυματική ενέργεια. Σύμφωνα με τον Lewis (1999), οι εκμεταλλεύσιμοι πόροι κυματικής ενέργειας υπολογίζονται σε 375 MWh/m ενώ η πιθανή συνολική κυματική ενέργεια υπολογίζεται σε 187,5 TWh.

Η Νορβηγία είναι υπό την επίδραση ενός μεγάλου μήκους ακτογραμμής στην ανατολική πλευρά του Ατλαντικού Ωκεανού με επικρατούντες δυτικούς ανέμους και υψηλούς εκμεταλλεύσιμους πόρους κυματικής ενέργειας που υπολογίζονται στις 400 TWh/έτος. Ολόκληρο το ενεργειακό απόθεμα της Νορβηγίας προέρχονταν παραδοσιακά από την υδροηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, η εντυπωσιακή αύξηση για ζήτηση ενέργειας δε συνοδεύτηκε από τις απαιτούμενες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και αυτό οφειλόταν στην αντίθεση της κοινής γνώμης για υδροηλεκτρικά έργα μεγάλης κλίμακας.

Η Πορτογαλία χαρακτηρίζεται από μέση ετήσια παραγωγή κυματικής ενέργειας που κυμαίνεται από 30 έως 40 kW/m. Το υψηλότερο απόθεμα ενέργειας παρατηρείται στη βορειοδυτική ακτογραμμή της Πορτογαλίας στο αρχιπέλαγος των Αζόρων. Έχει εκτιμηθεί ότι οι συνολικοί εκμεταλλεύσιμοι πόροι στην ηπειρωτική Πορτογαλία είναι 10 GW, οι μισοί εκ των οποίων μπορούν δυνητικά να αξιοποιηθούν. Η Πορτογαλική κυβέρνηση υποστηρίζει την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας, όπως και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μέσω διάφορων οικονομικών μηχανισμών.

Η Σουηδία έχει λίγες αλλά καλές περιοχές για αξιοποίηση της θαλάσσιας ενέργειας οι οποίες βρίσκονται στα βόρεια τμήματα της δυτικής ακτογραμμής και βρέχονται από τη Βόρεια και τη Βαλτική θάλασσα γύρω από τα νησιά Öland και Gotland. Η αξιοποιήσιμη ενέργεια κυμαίνεται περίπου στις 5 -10 TWh ετησίως ενώ η ετήσια ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια είναι 150 TWh.

Το Ηνωμένο Βασίλειο βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Ατλαντικού ωκεανού όπου επικρατούν ευνοϊκοί δυτικοί άνεμοι επομένως η χώρα καθίσταται να είναι περιτριγυρισμένη από θυελλώδη θάλασσα. Οι εκμεταλλεύσιμοι πόροι κυματικής ενέργειας υπολογίζονται σε 120 GW.

Η έρευνα για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας δεν φάνηκε να παρουσιάζει ιδιαίτερη εξέλιξη σε χώρες όπως το Βέλγιο, τη Φιλανδία, τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ιταλία, την Ολλανδία και την Ισπανία και οι λόγοι είναι πολιτικοί ή υπάρχει αδυναμία πόρων ενώ παρατηρείται εστίαση σε άλλες μορφές ενέργειας (Clément *et al.* 2002).

Το Βέλγιο, η Γερμανία και η Ολλανδία χαρακτηρίζονται από περιορισμένο μήκος ακτογραμμών, ρηχά νερά και μεγάλη θαλάσσια κυκλοφορία. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επιδρούν αρνητικά και περιορίζουν το ενδιαφέρον για ουσιαστική ανάπτυξη γύρω από το πεδίο της κυματικής ενέργειας. Παρόλο όλων αυτών των περιοριστικών παραγόντων, έχει πραγματοποιηθεί έρευνα και ανάπτυξη σε διάφορα πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα και ιδιωτικούς οργανισμούς. Σύμφωνα με τους Clément *et al.*(2002), η Ολλανδία σχεδίασε μια πολλά υποσχόμενη συσκευή μετατροπής κυματικής ενέργειας ονομαζόμενη Archimedes Wave Swing. Στη Γερμανία, διάφορες εταιρείες και ερευνητικά ινστιτούτα που προέρχονται από διάφορους τομείς της μηχανικής συσχετιζόμενων με τη διαχείριση της κυματικής ενέργειας, έχουν συμπεριληφθεί στην ευρωπαϊκή πρόοδο που γίνεται για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας.

Η Γαλλία έχει μεγάλο μήκος ακτογραμμών στον Ατλαντικό ωκεανό και στη Μεσόγειο θάλασσα. Η σημαντικότερη πηγή για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας είναι ο Βισκαϊκός κόλπος με μέσα ετήσια ποσοστά ενέργειας που φτάνουν τις 40 kW/m και συνολικούς εκμεταλλεύσιμους πόρους κυματικής ενέργειας στη περιοχή που κυμαίνονται στους 28 GW. Όσον αφορά τις περιοχές της χώρας που βρέχονται από τη Μεσόγειο Θάλασσα το μέσο ετήσιο ποσοστό κυματικής ισχύος κυμαίνεται στις 4 - 5 kW/m.

Η Ιταλία έχει μεγάλο μήκος ακτογραμμών που θα μπορούσε να καταστεί ιδανικό για αξιοποίηση της θαλάσσιας ενέργειας. Οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στη χώρα στο σύνολο της ακτογραμμής έδειξαν ότι ο μέσος όρος κυματικής ενέργειας είναι κάτω από 5 kW/m. Υπάρχουν όμως απομακρυσμένα νησιά καθώς και ειδικές τοποθεσίες όπως η Σικελία και η Σαρδηνία όπου η μέση κυματική ενέργεια είναι σαφώς υψηλότερη και υπολογίζεται στις 10 kW/m (Clément *et al.*2002).

Η Ελλάδα έχει μήκος ακτογραμμής 16.000 χιλιομέτρων στο Αιγαίο και στο Ιόνιο πέλαγος. Σύμφωνα με τους Clément *et al.*(2002), οι μεγάλοι σε ισχύ άνεμοι επάνω από το Αιγαίο τόσο βόρειας αλλά και νότιας κατεύθυνσης προκαλούν έντονους κυματισμούς με ετήσιο ποσοστό κυματικής ισχύος που κυμαίνεται από 4 - 11 kW/m. Έχει παρατηρηθεί ότι δημιουργούνται σημεία στα οποία παρατηρούνται μεγάλα ποσοστά θαλάσσιας ενέργειας τα λεγόμενα ' hot spots' και αυτό οφείλεται στο σύμπλεγμα των νησιών. Οι μονάδες παραγωγής κυματικής ενέργειας είναι κατάλληλες για μεταφορά ηλεκτρισμού σε ένα μεγάλο αριθμό νησιών που τροφοδοτούνται με ενέργεια μέσω πετρελαιοκίνητων σταθμών.

Το μεγάλο κόστος ηλεκτρισμού στα νησιά καθιστά ανταγωνιστική την παραγωγή ενέργειας που προέρχεται από τα θαλάσσια κύματα έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας (Clément *et al.* 2002).

1.1.6 Εποχιακή και μέση ετήσια κυματική ισχύς στις ελληνικές θάλασσες

Οι Soukissian *et al.* (2011) πραγματοποίησαν σημαντική έρευνα ώστε να αξιολογήσουν λεπτομερώς την κυματική ενέργεια στις ελληνικές θάλασσες με τη χρήση διαφόρων κυματικών αριθμητικών μοντέλων σε συνδυασμό με τις επί τόπου μετρήσεις στο θαλάσσιο χώρο. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν είναι υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης και καλύπτουν χρονικό διάστημα 10 ετών (1995 – 2004). Τα αποτελέσματα εξήχθησαν από ένα αριθμητικό κυματικό μοντέλο τύπου WAM - Cycle 4 με χωρική ανάλυση 0.1ο x 0.1ο και χρονική ανάλυση 3 ωρών. Η εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας μπορεί να συνεισφέρει στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Ελλάδας μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

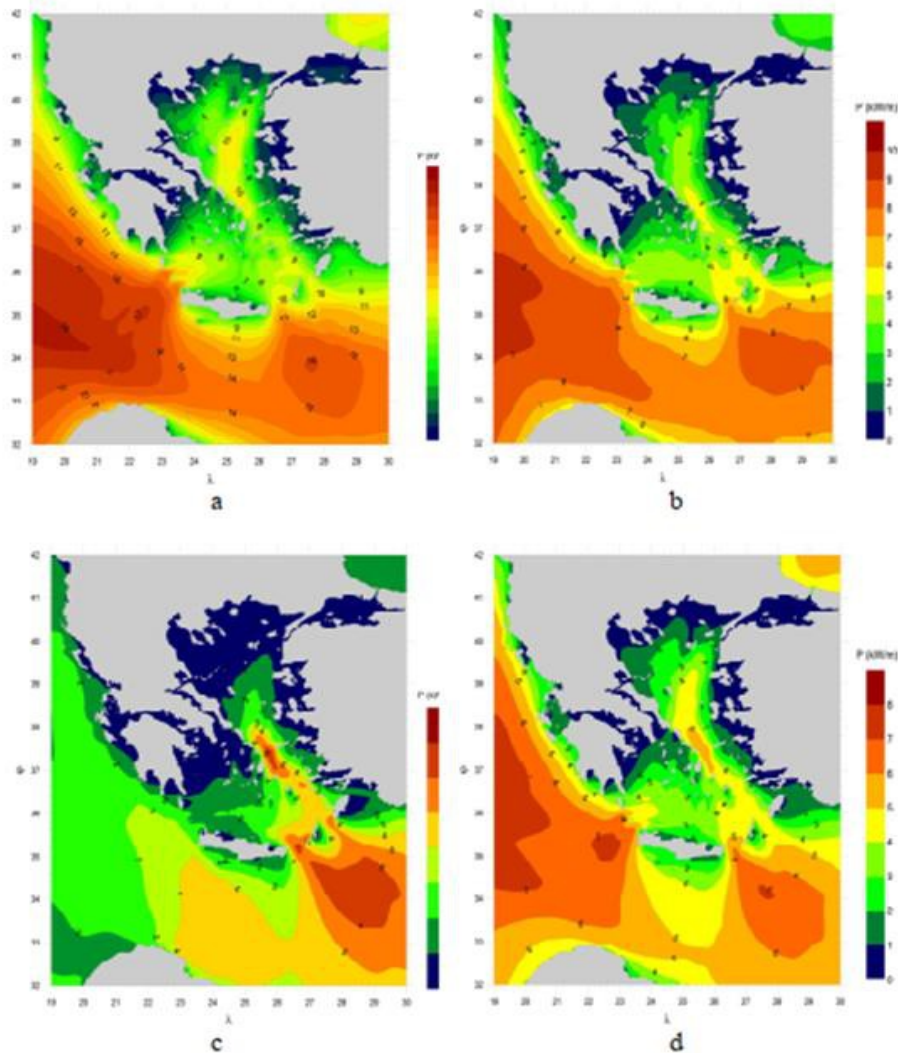
Σε εποχιακή βάση, η μέση κυματική ισχύ φτάνει στις μέγιστες τιμές κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Εικόνα 2a). Στο βόρειο σύμπλεγμα των Κυκλάδων η μέγιστη τιμή της κυματικής ισχύος είναι 10 kW/m ενώ στο νότιο σύμπλεγμα η κυματική ισχύ έχει χαμηλότερες τιμές που κυμαίνονται από 6 - 8 kW/m. Στο νοτιοανατολικό Αιγαίο, μεταξύ των νήσων Κρήτης - Κάσου, οι τιμές της κυματικής ισχύος κυμαίνονται από 10 - 12 kW/m ενώ στο νοτιοδυτικό Αιγαίο οι τιμές κυμαίνονται από 8 - 10 kW/m. Η υψηλότερη ενέργεια στο Αιγαίο που κυμαίνεται από 12 έως 14 kW/m εντοπίζεται μεταξύ των νήσων Κρήτης - Κυθήρων. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα στο Ιόνιο πέλαγος οι τιμές της κυματικής ισχύος είναι υψηλότερες και κυμαίνονται από 9 - 15 kW/m.

Στην διάρκεια της άνοιξης (Εικόνα 2b), στο κεντρο - βόρειο και νότιο Αιγαίο οι τιμές της μέσης κυματικής ισχύος δεν ξεπερνούν τις 5 kW/m. Όσον αφορά τη μέγιστη μέση κυματική ισχύ αυτή υπολογίζεται στις 7 kW/m και εντοπίζεται στα στενά μεταξύ των νήσων Κρήτης - Κυθήρων, Κρήτης - Κάσου και Κάρπαθου - Ρόδου. Η μέγιστη τιμή στο Ιόνιο πέλαγος κατά τη διάρκεια της Άνοιξης είναι επίσης 7 kW/m.

Στη διάρκεια του καλοκαιριού (Εικόνα 2c), οι μέγιστες μέσες τιμές της κυματικής ισχύος στις ελληνικές θάλασσες εντοπίζονται στο κεντρικό Αιγαίο, στο βορειότερο σύμπλεγμα των Κυκλάδων (5 - 6 kW/m) , στο νοτιοανατολικό Αιγαίο μεταξύ Κρήτης - Κάσου (5 - 6 kW/m) και στις νήσους Κάρπαθου – Ρόδου (5 kW/m).

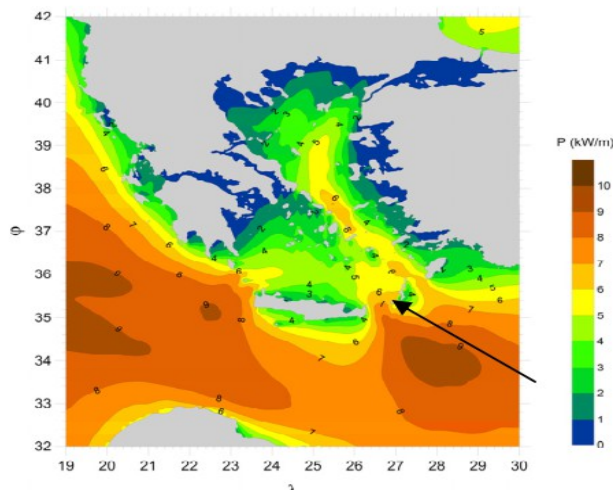
Η μέση τιμή της κυματικής ισχύος μεγιστοποιείται στα στενά του κεντρικού και νοτιοανατολικού Αιγαίου και αυτό οφείλεται στα λεγόμενα 'μελτέμια' δηλαδή άνεμους που προέρχονται από βόρεια-βορειοδυτική προς νότια-νοτιοανατολική κατεύθυνση στο Αιγαίο πέλαγος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (Εικόνα 2d), στο κέντρο - ανατολικό Αιγαίο, η τιμή της κυματικής ισχύος κυμαίνεται στις 4 - 5 kW/m. Στο νοτιοδυτικό Αιγαίο (στα στενά μεταξύ των νήσων Κρήτης - Κυθήρων) και στο νοτιοανατολικό Αιγαίο (στα στενά μεταξύ Κρήτης-Κάσου και Κάρπαθου - Ρόδου), οι τιμές της κυματικής ισχύος κυμαίνονται από 5 - 6 kW/m. Στο Ιόνιο πέλαγος, οι τιμές είναι ελαφρώς χαμηλότερες και κυμαίνονται από 4 - 6 kW/m (Soukissian *et al.*2011)



Εικόνα 2 : Μέση ροή κυματικής ισχύος στις ελληνικές θάλασσες :
a) Χειμώνας , b) Άνοιξη, c) Καλοκαίρι, d) Φθινόπωρο (Soukissian *et al.*2011)

Στο ετήσιο γράφημα (Εικόνα 3), οι τιμές της κυματικής ισχύος στο βόρειο Αιγαίο κυμαίνονται από 3 - 5 kW/m ενώ στο κεντροβόρειο Αιγαίο και στο σύμπλεγμα των Κυκλάδων οι τιμές φτάνουν τις 6 kW/m. Στο νοτιοδυτικό Αιγαίο, οι τιμές της κυματικής ισχύος κυμαίνονται από 4 - 5 kW/m. Σε ετήσια βάση οι υψηλότερες τιμές είναι της τάξεως των 6 - 8 kW/m και εντοπίζονται στα στενά μεταξύ Κρήτης - Κυθήρων και Κρήτης - Κάσου. Στα στενά μεταξύ Κάσου - Κάρπαθου και Κάρπαθου - Ρόδου, η κυματική ισχύς υπολογίζεται στις 6 kW/m. Για το Ιόνιο πέλαγος, οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 4 - 8 kW/m. Στο βέλος στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 3) αναπαρίσταται η περιοχή που παρατηρείται η μέγιστη ετήσια κυματική ισχύς στις ελληνικές θάλασσες και εντοπίζεται στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Κρήτης - Κάσου (Soukissian *et al.* 2011).



**Εικόνα 3 : Η μέση ετήσια κυματική ισχύς στις ελληνικές θάλασσες
(Soukissian *et al.* 2011)**

1.1.7 Πρωτοβουλίες και προγράμματα για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας σε χώρες εκτός Ευρώπης

Έρευνα και ανάπτυξη για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας έχει διενεργηθεί σε πληθώρα χωρών εκτός της Ευρώπης σε χώρες όπως την Αυστραλία, τον Καναδά, την Κίνα, την Ινδονησία, το Ιράν, το Ισραήλ, την Ιαπωνία, την Κορέα, το Μεξικό, τη Ρωσία, τη Σρι Λάνκα, τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής καθώς και σε άλλες.

Η Αυστραλία έχει μεγάλους εκμεταλλεύσιμους πόρους κυματικής ενέργειας της τάξης των 10 GW ωστόσο οι ενεργειακές ανάγκες σε πολλές περιοχές της χώρας είναι πολύ υψηλές σε σχέση με την διαθέσιμη ενέργεια.

Ο Καναδάς, μια χώρα που παραδοσιακά εξάγει καθαρή ενέργεια, δίνει χαμηλή προτεραιότητα στα προγράμματα που σχετίζονται με την έρευνα και ανάπτυξη στο πεδίο της κυματικής ενέργειας. Έρευνες σχετικά με την εκμετάλλευση και αξιολόγηση των πόρων διεξάγεται στο Πανεπιστήμιο British Columbia καθώς και την εταιρία Powertech Labs Inc.

Στην Κίνα, η έρευνα και ανάπτυξη της μετατροπής κυματικής ενέργειας πραγματοποιείται κυρίως στο Ινστιτούτο Guangzhou καθώς και στο Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο της Guangdong σε συνεργασία με άλλα εθνικά ινστιτούτα αλλά και με ινστιτούτα από χώρες όπως η Δανία, η Ινδία, η Ιαπωνία καθώς και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Η Ινδία καινοτόμησε με ένα εθνικό πρόγραμμα στην αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας στο Ινδικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας Madras το έτος 1983. Σύμφωνα με τους Clément *et al.*(2002), τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν από το Εθνικό Ινστιτούτο Θαλάσσιας Τεχνολογίας και δημοσιοποιήθηκαν από την κυβέρνηση και από το Ινδικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας Madras. Το συγκεκριμένο εγχείρημα πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με εθνικά και παγκόσμια ερευνητικά κέντρα.

Στο Ισραήλ σχεδιάστηκε μια πρωτοποριακή συσκευή μετατροπής κυματικής ενέργειας πλωτού τύπου η οποία χρησιμοποιεί μια καινοτόμα μέθοδο για να μετατρέπει την κυματική ενέργεια σε υδραυλική και με αυτόν τον τρόπο να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί πληθώρα μοντέλων ενώ θετικά αποτελέσματα προέκυψαν από τη λειτουργία συσκευής που μπορεί να παράξει ενέργεια 40 kW.

Η Ιαπωνία, ένα νησί με συνολικό μήκος ακτογραμμής 35.000 km, το οποίο είναι άρρηκτα συνδεδεμένο από τα εισαγόμενα καύσιμα, συμπεριέλαβε την κυματική ενέργεια ως μια συμπληρωματική μορφή ενέργειας. Η έρευνα και ανάπτυξη σχετικά με την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας πραγματοποιήθηκε σε διάφορα ερευνητικά ινστιτούτα καθώς και σε πλήθος βιομηχανικών εταιριών.

Στη Σρι Λάνκα η έρευνα και ανάπτυξη σχετικά με την μετατροπή της κυματικής και της θερμικής ενέργειας πραγματοποιήθηκε στο National Aquatic Resource Agency στην πρωτεύουσα της χώρας Κολόμπο. Κατασκευάστηκε δοκιμαστική μηχανή που παράγει 150 kW η οποία χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Επιστήμης και Τεχνολογίας της χώρας.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής η έρευνα και η ανάπτυξη ξεκίνησε πολύ νωρίς στις αρχές του έτους 1950. Ωστόσο, το ενδιαφέρον της χώρας για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας είναι περιορισμένο(Clément *et al.*2002).

Παρόλο που τα μέσα ετήσια ποσοστά παραγωγής ενέργειας ξεπερνούν τις 235 kW/m και καταγράφηκαν στις βορειοδυτικές ακτές των Πολιτειών, η ενδεχόμενη συνεισφορά τους στο ενεργειακό απόθεμα της χώρας θεωρείται μικρή.

Σύμφωνα με τους Clément *et al.*(2002), σε άλλες χώρες όπως η Ινδονησία, το Ιράν, η Κορέα, το Μεξικό και η Ρωσία η έρευνα και ανάπτυξη πάνω στην αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας διεξάγεται σε Πανεπιστήμια και ερευνητικά Ινστιτούτα με την υποστήριξη των κυβερνήσεων ενώ συχνά και σε συνεργασία με Ινστιτούτα από την Ευρώπη και την Ασία (Clément *et al.*2002).

1.1.8 Η αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας σε περιοχές της ανατολικής Μεσογείου

Οι Zodiatis *et al.*(2014) μελέτησαν τα ποσοστά κυματικής ενέργειας στην λεκάνη του Λεβάντε, μια περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου όπου το ενδιαφέρον για εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας αυξάνεται όλο και περισσότερο. Συγκεντρώνονται ανεμολογικά και κυματικά δεδομένα που προέρχονται από υπερασύγχρονα μοντέλα υψηλής χωρικής ανάλυσης ($1:60^{\circ}$) τα οποία συγκεντρώθηκαν σε περίοδο δεκαετίας (2001 - 2010) από την περιοχή της Λεβαντιακής λεκάνης. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση των δεδομένων με βάση στατιστικές μετρήσεις και έγινε επεξεργασία των τιμών και μεταβολών τους καθώς και κάθε πιθανή καταγραφή τιμών που εμφανίζονται σπάνια. Τελικά παρουσιάζονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη ενέργεια στην λεκάνη του Λεβάντε είναι οι υπεράκτιες ενώ οι περιοχές με την μεγαλύτερη κυματική ισχύ είναι η δυτική ακτογραμμή της Κύπρου, η θαλάσσια περιοχή γύρω από το Ισραήλ και τον Λίβανο καθώς και η ακτογραμμή της Αλεξάνδρειας στην Αίγυπτο. Οι παραπάνω περιοχές χαρακτηρίζονται από σχετικά χαμηλή κυματική ισχύ που κυμαίνεται στις 2,5 kW/h.
- Για τις ανωτέρω περιοχές, παρατηρούνται σταθερές ετήσιες τιμές κυματικής ισχύος οι οποίες, ωστόσο επηρεάζονται από καταγραφή τιμών που εμφανίζονται σπάνια.
- Οι τιμές του ύψους κύματος στην περιοχή έχουν σημαντική μεταβολή στη δεκαετία.
- Η κυματική περίοδος παραμένει σταθερή.
- Η περιοχή του Ερατοσθένη, μια αξιόλογη περιοχή στη λεκάνη του Λεβάντε, καθίσταται περιοχή εξαιρετικού ενδιαφέροντος με τιμές κυματικής ισχύος που ξεπερνούν έως και 500 % την τιμή του μέσου όρου της λεκάνης του Λεβάντε.

Τα σημεία με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ενέργειας "hot spots" στη λεκάνη του Λεβάντε διακρίνονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4).



Εικόνα 4 : Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ενέργειας ' hot spots' στη λεκάνη του Λεβάντε (Zodiatis et al.2014)

1.1.9 Οι διαφορές των εκμεταλλεύσιμων πόρων κυματικής ενέργειας μεταξύ παράκτιων και υπεράκτιων περιοχών

Σύμφωνα με τους Folley & Whittaker (2009), προγενέστερες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί έδειξαν ότι οι συνολικοί εκμεταλλεύσιμοι πόροι κυματικής ενέργειας στις παράκτιες περιοχές είναι σημαντικά μικρότεροι συγκριτικά με τους εκμεταλλεύσιμους πόρους κυματικής ενέργειας στις υπεράκτιες περιοχές καθιστώντας την εφαρμογή των μετατροπέων κυματικής ενέργειας σε παράκτιες περιοχές μια επιλογή οικονομικά ασύμφορη.

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων οι Folley & Whittaker (2009) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο φασματικών κυμάτων τρίτης γενιάς για μοντελοποίηση της μετάδοσης των κυματισμών από περιοχές με βαθιά νερά σε παράκτιες περιοχές που το μέσο βάθος νερού είναι τα 10 μέτρα. Τα ετήσια κυματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και προέρχονται από τις ακτές την Σκωτίας στον Βόρειο Ατλαντικό έδειξαν ότι ενώ οι συνολικοί εκμεταλλεύσιμοι πόροι κυματικής ενέργειας μειώθηκαν σημαντικά λόγω της μείωσης του βάθους νερού, οι εκμεταλλεύσιμοι πόροι κυματικής ενέργειας μειώθηκαν ελάχιστα.

Η μικρή μείωση των εκμεταλλεύσιμων πόρων κυματικής ενέργειας καταλήγει στο συμπέρασμα ότι πολλές εκτιθέμενες παράκτιες περιοχές προσφέρουν παρόμοιες προοπτικές για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας όπως στις υπεράκτιες περιοχές.

Η ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των υπεράκτιων και των παράκτιων εκμεταλλεύσιμων κυματικών πόρων κατέληξε στα εξής συμπεράσματα :

- Η μεγαλύτερη μείωση των συνολικών εκμεταλλεύσιμων πόρων κυματικής ενέργειας από υπεράκτιες περιοχές (με βάθος νερού τα 50 μέτρα) σε παράκτιες περιοχές (με βάθος νερού τα 10 μέτρα) οφείλονται στα φαινόμενα της διάθλασης και της θραύσης των κυματισμών. Η δημιουργία των παραπάνω φαινομένων συμβάλλει σε μείωση 10% της συνολικής κυματικής ενέργειας από υπεράκτιες σε παράκτιες περιοχές.
- Η διάθλαση δεν επηρεάζει την καθαρή ενέργεια ή την κατεύθυνση των κυματισμών καθώς η κυματική ενέργεια διαδίδεται κάθετα στις ισοβαθείς καμπύλες του πυθμένα της θάλασσας. Συνεπώς, η μείωση της καθαρής κυματικής ενέργειας από υπεράκτιες περιοχές (βάθος νερού = 50 μέτρα) σε παράκτιες περιοχές (βάθος νερού 10 μέτρα) οφείλεται στην τριβή με τον πυθμένα της θάλασσας και στην θραύση των κυματισμών που συμβάλλουν στη μείωση κατά 10% της καθαρής συνολικής κυματικής ενέργειας από υπεράκτιες σε παράκτιες περιοχές.
- Ένα σημαντικό ποσοστό εκμεταλλεύσιμων πόρων κυματικής ενέργειας σε μια υπεράκτια περιοχή κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας καθίσταται μη εκμεταλλεύσιμο. Το φαινόμενο της ρήξης σε μια παράκτια περιοχή φιλτράρει τους μεγάλους κυματισμούς και αυτό δικαιολογεί το μικρότερο ποσοστό εκμεταλλεύσιμης ενέργειας από μια παράκτια συσκευή.

1.2 Διατάξεις και συσκευές για εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας

1.2.1 Διάκριση των διατάξεων – συσκευών με κριτήριο τη μέθοδο εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας

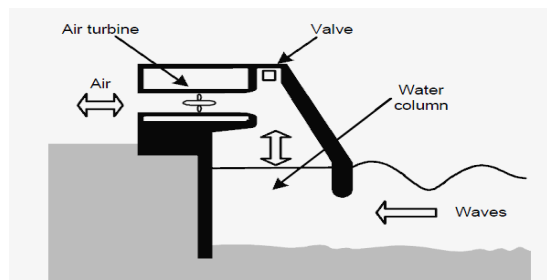
Η ανάπτυξη στο πεδίο της κυματικής ενέργειας αντιμετωπίζει αρκετές δυσκολίες καθώς επηρεάζεται από πληθώρα μεταβλητών. Αυτές είναι τα ακραία καιρικά φαινόμενα, οι τυχηματικές τιμές της ισχύος και οι χαμηλές συχνότητες μετάδοσης.

Για να είναι επομένως ανταγωνιστική μια συσκευή μετατροπής κυματικής ενέργειας, ο σχεδιασμός της θα πρέπει να υπερπηδά τα παραπάνω εμπόδια. Ξεκινώντας σαν μια πρωτοποριακή ιδέα, η εξέλιξη που υπέστη ένας μετατροπέας κυματικής ενέργειας πέρασε από πολλές φάσεις σχεδιασμού. Αφού εδραιώθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο, ακολούθησαν εργαστηριακά πειράματα πριν αρχίσουν οι οριστικές δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες δηλαδή στην ανοιχτή θάλασσα. Η εξέλιξη κάθε συσκευής συχνά επηρεάζεται από τη δύναμη της φύσης που άλλοτε συμπεριφέρεται με φιλικό και άλλοτε με εχθρικό χαρακτήρα.

Τα φορτία μέσα στο θαλάσσιο χώρο δύναται να ξεπεράσουν τις προβλεπόμενες τιμές τους σε πολύ μεγάλο βαθμό συνεπώς καθίσταται δύσκολη η πρόβλεψη τους. Επομένως, ο υψηλός σχεδιασμός ενός μετατροπέα κυματικής ενέργειας παρέχει επαρκή ασφάλεια και λειτουργικότητα σε ακραία καιρικά φαινόμενα αλλά ταυτόχρονα μπορεί να καθίσταται και οικονομικά ανταγωνιστικός (Clément *et al.* 2002).

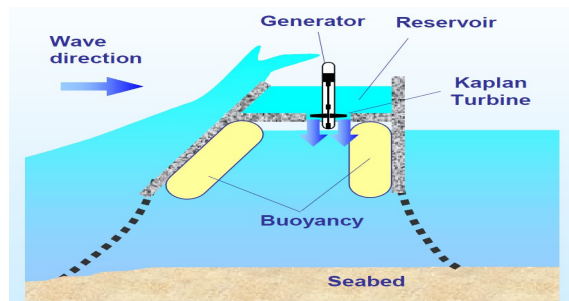
Σε αντίθεση με άλλες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας, η μετατροπή της κυματικής ενέργειας απαρτίζεται από πληθώρα σεναρίων που έχουν ως στόχο την αξιοποίηση της. Στην Ιαπωνία, τη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη έχουν σχεδιαστεί περισσότερο από χίλιοι μετατροπείς κυματικής ενέργειας οι οποίοι παρά τον φαινομενικά μεγάλο αριθμό τους μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη μέθοδο εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας. Οι βασικοί τύποι αυτών των συσκευών/διατάξεων είναι οι εξής :

1. Η ταλαντευόμενη στήλη νερού (Oscillating Water Column, OWC), που αποτελείται από το ένα μέρος του συστήματος μερικώς βυθιζόμενο και μια κοίλη δομή ανοιχτή προς τη θάλασσα κάτω από τη γραμμή του ίσαλου (Εικόνα 5).



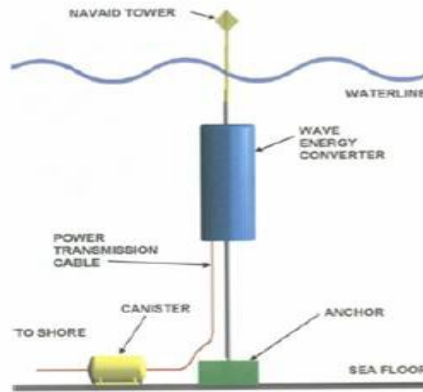
Εικόνα 5 : Μετατροπέας Ταλαντευόμενης στήλης (Ζαφειρίου 2012)

2. Οι συσκευές υπερχείλισης (Overtopping devices), που συλλέγουν το νερό των προσπιπτόντων κυμάτων σε μια υπερυψωμένη δεξαμενή για να κινήσουν μία ή περισσότερες τουρμπίνες χαμηλής πίεσης (Εικόνα 6).



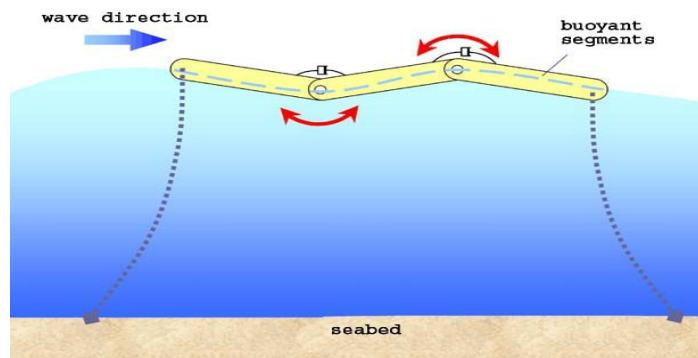
Εικόνα 6 : Μετατροπέας Συσκευής υπερχείλισης (Ζαφειρίου 2012)

3.Σημειακοί απορροφητές ενέργειας (πλωτοί ή τοποθετημένοι στον πυθμένα της θάλασσας) (Point Absorbers), που παρέχει συνήθως μια ταλαντευόμενη κίνηση που μετατρέπεται με μηχανικά ή και υδραυλικά συστήματα σε γραμμική ή περιστροφική κίνηση για την οδήγηση της σε ηλεκτρικές γεννήτριες (Εικόνα 7).



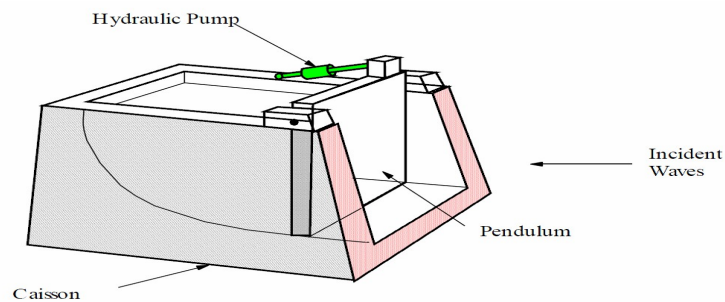
Εικόνα 7 : Μετατροπέας Σημειακής απορρόφησης (Ζαφειρίου 2012)

4. Συσκευές πρόνευσης (Pitching devices), αποτελούνται από ημιβυθισμένες επίπεδες πλάκες ενωμένες μεταξύ τους σε σειρά με εύκαμπτους συνδέσμους και αρθρωτά συνδεδεμένες με τον πυθμένα για μεγάλα συνήθως βάθη νερού. Η κινητική ενέργεια των επίπεδων πλακών κατά την περιστροφική τους κίνηση συλλέγεται μέσω εμβολοφόρου αντλίας (Εικόνα 8).



Εικόνα 8 : Μετατροπέας Συσκευής ρίψης (Ζαφειρίου 2012)

5. Συσκευές εφόρμησης (Surging devices), εκμεταλλεύονται την οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας των μορίων του κύματος για να κινήσουν έναν εκτροπέα που αντικρίζει κατά μέτωπο τα κύματα (Εικόνα 9).



Εικόνα 9 : Μετατροπέας Συσκευής διόγκωσης (Ζαφειρίου 2012)

Σύμφωνα με τους Clément *et al.*(2002), ο Thorpe (2000) υπολόγισε ότι η συνεισφορά από την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας στην παγκόσμια αγορά ενέργειας έχει υπολογιστεί σε 2000 TWh/ έτος δηλαδή στο 10 % της παγκόσμιας ηλεκτρικής κατανάλωσης και με συνολικό επενδυτικό κόστος τα 820 δισεκατομμύρια ευρώ. Το λειτουργικό κόστος παραγωγής ενός μετατροπέα κυματικής ενέργειας κυμαίνεται σε μέση τιμή των 0,08 ευρώ/ kWh και έχει μειωθεί κατά 8% τα τελευταία χρόνια.

Όσον αφορά το λειτουργικό κόστος για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, αυτό κυμαίνεται σε 0,04 ευρώ/ kWh, κόστος αρκετά υψηλό αλλά προβλέπεται να μειωθεί με την πρόοδο της τεχνολογίας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω χρηματοδοτήσεων αλλά και με υποστήριξη της αγοράς όπως με τις τεχνολογίες της αιολικής, της πυρηνικής αλλά και του πετρελαίου (Clément *et al.*2002).

1.2.2 Διάκριση των διατάξεων - συσκευών με κριτήριο τη τοποθεσία - χωροθέτηση σε σχέση με την ακτή

Οι διατάξεις – συσκευές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες με κριτήριο την τοποθεσία – χωροθέτηση τους σε σχέση με την ακτή (Πίνακας 2):

1. Συστήματα – διατάξεις ακτογραμμής (Shoreline devices)
2. Παράκτια συστήματα – διατάξεις (Near – shore devices)
3. Υπεράκτια συστήματα (Offshore devices)

Πίνακας 2 : Τα βασικά συστήματα – διατάξεις με κριτήριο τη τοποθεσία – χωροθέτηση τους

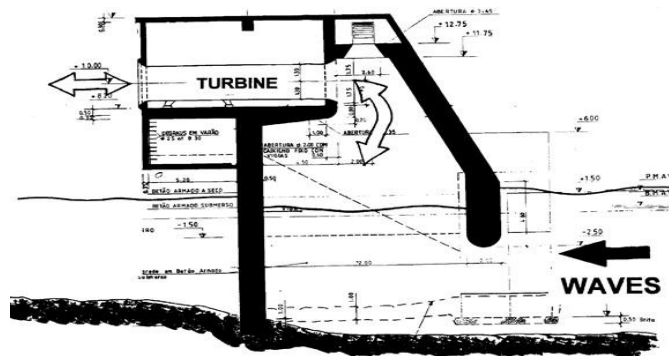
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ
Η διάταξη Πιλοτικής Μονάδας (European Pilot Plant)	Η συσκευή OSPREY	Η συσκευή Archimedes Wave Swing(AWS)
Η διάταξη LIMPET		Πλωτό σκάφος – Διάταξη κυματικής ενέργειας(Floating Wave Power Vessel)
Η διάταξη Energetech		Η αντλία συστήματος McCabe Wave Pump
Η συσκευή Pendulor		Η συσκευή Mighty Whale
Η διάταξη TAPCHAN		Η διάταξη OPT
		Η συσκευή Pelamis
		Ο Μετατροπέας Σημειακής Απορρόφησης(Point Absorber Wave Energy Converter)

1.2.3 Αναλυτική περιγραφή μιας σειράς από συσκευές – διατάξεις για εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας ανάλογα με τη τοποθεσία - χωροθέτηση τους σε σχέση με την ακτή

1.2.3.1 Συστήματα – διατάξεις ακτογραμμής

Οι συσκευές ακτογραμμής είναι στερεωμένες ή ενσωματωμένες στην ακτή. Αυτό έχει το πλεονέκτημα της ευκολότερης εγκατάστασης και εφαρμογής. Επιπλέον, οι συσκευές ακτογραμμής δε θα χρειάζονται ελλιμενισμούς βαθέων υδάτων ή μεγάλα μήκη υποβρύχιων ηλεκτρικών καλωδίων. Ωστόσο, εκμεταλλεύονται ένα λιγότερο ισχυρό σύστημα κύματος. Αυτό θα μπορούσε εν μέρει να αντισταθμιστεί με συγκέντρωση φυσικής ενέργειας ("hot spots"). Επιπλέον, η ανάπτυξη των συστημάτων αυτών θα μπορούσε να περιοριστεί από τις απαιτήσεις για τη γεωλογία ακτής, το παλιρροϊκό εύρος, τη διατήρηση του παράκτιου τοπίου κτλ (Ζαφειρίου 2012).

Η διάταξη **Ευρωπαϊκής Πιλοτικής Μονάδας**(**European Pilot Plant**) (Εικόνα 10) στο νησί Pico στις Αζόρες της Πορτογαλίας είναι ένα σύστημα ταλαντευόμενης στήλης νερού (OWC) 400 kW που αναπτύχθηκε από μια ευρωπαϊκή ομάδα που συντονίζεται από το Instituto Superior Tecnico (Πορτογαλία). Η μονάδα, η οποία σχεδιάστηκε ως πλήρους κλίμακας εγκατάσταση δοκιμών, είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και παρέχει ένα αρκετά μεγάλο μέρος της ενεργειακής ζήτησης του νησιού(Clément *et al.*2002).



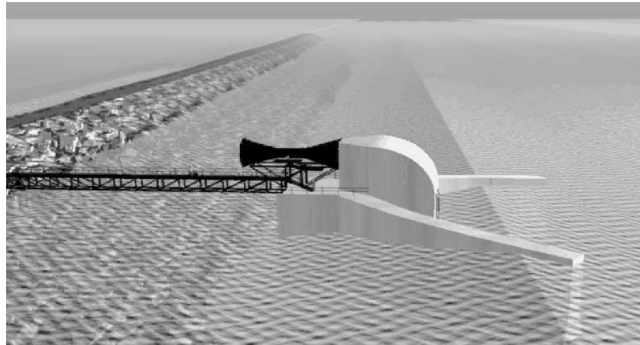
Εικόνα 10 : Η συσκευή - διάταξη Ευρωπαϊκής Πιλοτικής Μονάδας (Clément *et al.*2002)

Το **LIMPET** (Εικόνα 11), είναι ένα σύστημα ταλαντευόμενης στήλης νερού που αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο Queen's στο Belfast και το Wavegen Ltd. στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ένα πρωτότυπο ισχύος 75 kW κατασκευάστηκε στο νησί Islay, στη Σκωτία το 1991. Το LIMPET είναι ο διάδοχος του πρωτοτύπου, ο οποίος προορίζεται για την αντιμετώπιση πολλών από τα ζητήματα που σήμερα εμποδίζουν την πλήρους κλίμακας ανάπτυξη των OWC συσκευών (Clément *et al.*2002).



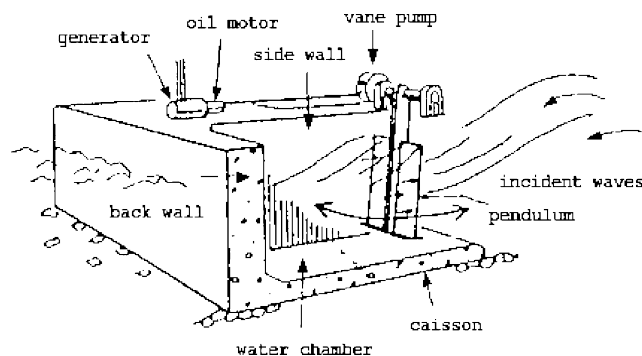
Εικόνα 11 : Το σύστημα ταλαντευόμενης στήλης νερού LIMPET (Clément *et al.*2002)

Η συσκευή ταλαντευόμενης στήλης νερού **Energetech** (Εικόνα 12) σχεδιάστηκε από την Energetech στην Αυστραλία. Η συσκευή χρησιμοποιεί έναν καινοτόμο στρόβιλο που μεταβάλλεται και έναν παραβολικό τοίχο στο πίσω μέρος της συσκευής που οδηγεί τη κυματική ενέργεια στον συλλεκτήρα. Το σύστημα εφαρμόζεται στο λιμάνι Kembla που βρίσκεται ογδόντα χιλιόμετρα νότια του Σίδνεϊ και παράγει ισχύ 500 kW (Clément *et al.* 2002).



Εικόνα 12 : Η συσκευή ταλαντευόμενης στήλης νερού Energetech (Clément *et al.* 2002)

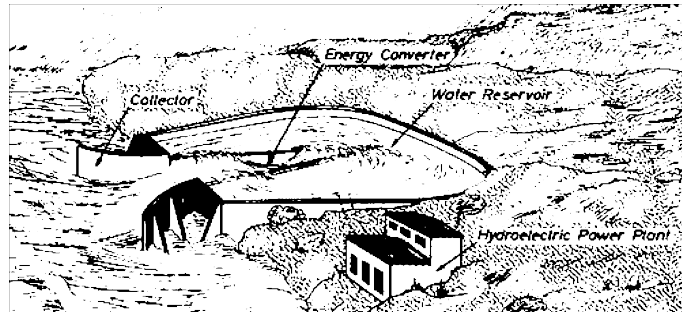
Η διάταξη **Pendolor** (Εικόνα 13) ανήκει στις συσκευές εφόρμησης και αποτελείται από ένα ορθογώνιο κουτί ανοιχτό από τη μία πλευρά προς τη θάλασσα. Πιο ειδικά ένα εκκρεμές περύγιο, στηριζόμενο με εύκαμπτο σύνδεσμο στο πάνω μέρος της πλευράς αυτής, αναγκάζεται σε ταλάντωση από τα κύματα, με αποτέλεσμα την κίνηση μιας υδραυλικής αντλίας και μιας γεννήτριας προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Ζαφειρίου 2012).



Εικόνα 13 : Η διάταξη – συσκευή εφόρμησης Pendolor (Clément *et al.* 2002)

Η διάταξη **TAPCHAN** (Εικόνα 14) είναι μια συσκευή τύπου υπερχειλίσης με εφαρμογή στην ακτογραμμή η οποία σχεδιάστηκε από την εταιρεία Norwave AS. Η συσκευή αποτελείται από ένα κανάλι του οποίου το πλάτος μειώνεται σταδιακά και το ύψος του φτάνει το σημείο πλήρωσης μια τυπικής δεξαμενής (συνήθη ύψη 3 - 7 μέτρα).

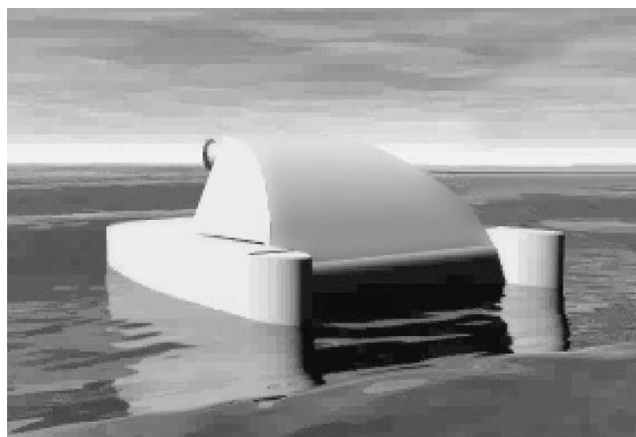
Τα κύματα ενισχύονται καθώς εισέρχονται στο κανάλι μέχρι να έχουμε υπερχειλίση της ποσότητας του νερού στη δεξαμενή. Η συσκευή που κατασκευάστηκε το έτος 1985 στο Toftesfallen της Νορβηγίας υπέστη σοβαρή ζημία το έτος 1991 (Clément *et al.* 2002).



Εικόνα 14 : Η διάταξη - συσκευή τύπου υπερχειλίσης TAPCHAN (Clément *et al.* 2002)

1.2.3.2 Παράκτια συστήματα – διατάξεις

Η κύρια πρωτότυπη συσκευή για μέτριο βάθος νερού(δηλαδή έως 20 μέτρα) είναι το **OSPREY** (Εικόνα 15), που αναπτύχθηκε από τη Wavegen Ltd. στο Ηνωμένο Βασίλειο. Είναι συσκευή τύπου ταλαντευόμενης στήλης νερού και έχει σχεδιαστεί για εγκατάσταση στο βυθό της θάλασσας. Η πρώτη κατασκευή OSPREY I είναι φτιαγμένη από χάλυβα και υπέστη δομικές αστοχίες κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης της στο Dounreay της Σκωτίας το 1996. Η εμπειρία που αποκτήθηκε ήταν πολύτιμη για την ανάπτυξη ενός νέου σχεδίου, του OSPREY II, στο οποίο το μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής είναι από σκυρόδεμα. Η ισχύς της κατασκευής που είναι 2 MW , σε βάθος 15μ. και απόσταση 1 χλμ. από την ακτή (Clément *et al.* 2002).

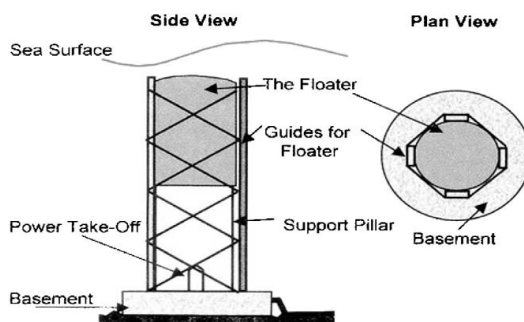


Εικόνα 15 : Η συσκευή ταλαντευόμενης στήλης νερού OSPREY (Clément *et al.* 2002)

1.2.3.3 Υπεράκτια συστήματα - διατάξεις

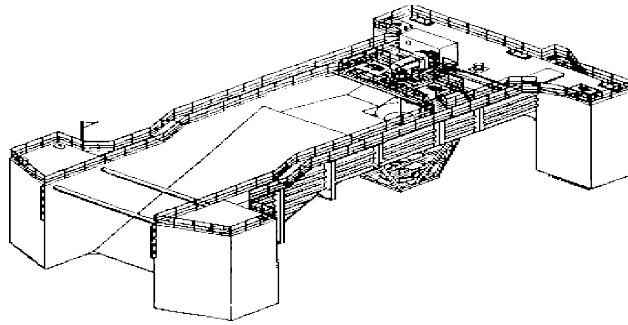
Αυτή η κατηγορία συσκευών εκμεταλλεύεται τα πιο ισχυρά συστήματα κυμάτων τα οποία είναι διαθέσιμα σε βαθιά νερά (> 40 μέτρα βάθος). Πιο πρόσφατα σχέδια για τις υπεράκτιες συσκευές επικεντρώνονται σε μικρές, αρθρωτές συσκευές, παράγοντας υψηλή απόδοση ισχύος, όταν αναπτυχθούν σε συστοιχίες. Μερικές από τις πολλά υποσχόμενες υπεράκτιες συσκευές μετατροπής της κυματικής ενέργειας που έχουν αναπτυχθεί είναι οι ακόλουθες:

Το σύστημα **Archimedes Wave Swing**(AWS)(Εικόνα 16),που αναπτύχθηκε από την ομαδική εργασία Technology BV στην Ολλανδία. Αποτελείται από μια κοίλη, υπό πίεση κατασκευή, το πάνω μέρος του οποίου είναι σχεδιασμένο για παλλόμενες κινήσεις με την περιοδική αλλαγή της υδροστατικής πίεσης κάτω από ένα κύμα. Η ενέργεια που μπορεί να παράγει ένα σύστημα AWS είναι περίπου 12 GWh / έτος και το κόστος / kWh υπολογίζεται περίπου στα 0,07€. Σε σύγκριση με τις άλλες τεχνολογίες κυματικής ενέργειας έχει υψηλή συγκεντρωμένη ενέργεια εξόδου (περίπου 5MW), μεγάλες δυνατότητες τοποθέτησης και είναι λιγότερο ευάλωτο στις καιρικές συνθήκες (Ζαφειρίου 2012).



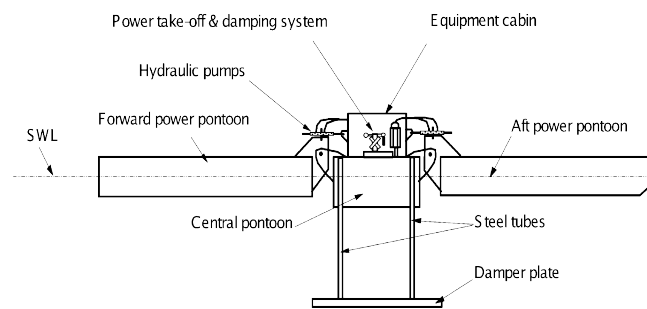
Εικόνα 16 : Το σύστημα Archimedes Wave Swing(AWS)(Clément *et al.*2002)

Το **Πλωτό Σκάφος - Διάταξη Κυματικής Ενέργειας(Floating Wave Power Vessel)** (Εικόνα 17),είναι μία καινοτόμα συσκευή για την υπεράκτια δραστηριότητα που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Sea Power International, της Σουηδίας. Αποτελείται από μία πλωτή λεκάνη η οποία υποστηρίζεται από δεξαμενές έρματος σε τέσσερα τμήματα. Ένα σύστημα πατενταρισμένης άγκυρας επιτρέπει στο σκάφος να προσανατολίζεται στην κατεύθυνση με τα κύματα μεγαλύτερης ενέργειας. Μία πιλοτική μονάδα είχε αναπτυχθεί και εγκατασταθεί τη δεκαετία του 80 κοντά στη Στοκχόλμη, ενώ έχει σχεδιαστεί σκάφος 1,5 MW σε βάθος 50 - 80 μέτρων υπεράκτια του Mess Mu, στο Shetland της Σκωτίας (Ζαφειρίου 2012).



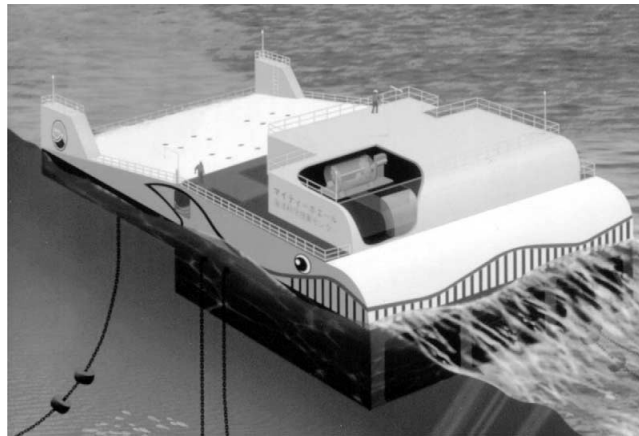
Εικόνα 17 : Το Πλωτό Σκάφος - Διάταξη κυματικής ενέργειας (Ζαφειρίου 2012)

Η αντλία συστήματος **McCabe Wave Pump** (Εικόνα 18) επινοήθηκε από τον Peter McCabe το 1980. Η συσκευή αποτελείται από τρεις ορθογώνιες προβλήτες χάλυβα, οι οποίες είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους. Η πλώρη της σχεδίας είναι χαλαρά αγκυροβολημένη και δύο ακόμα πιο χαλαρά αγκυροβόλια είναι προσδεμένα αρκετά κάτω στην πρύμνη της σχεδίας. Αυτό επιτρέπει την ευθυγράμμιση του συστήματος να ποικίλλει για να κατευθυνθεί προς τα επερχόμενα θαλάσσια κύματα. Ένα πρωτότυπο μήκους 40 μέτρων αναπτύχθηκε το 1996, ανοικτά των ακτών της Kilbaha, στο County Clare στην Ιρλανδία (Ζαφειρίου 2012).



Εικόνα 18 : Η αντλία συστήματος McCabe Wave Pump (Clément et al.2002)

Η συσκευή ταλαντευόμενης στήλης νερού **Mighty Whale** (Εικόνα 19) είναι μια συσκευή για υπεράκτια λειτουργία και σχεδιάστηκε από το Ιαπωνικό Κέντρο Θαλάσσιας Επιστήμης και Τεχνολογίας. Μια μονάδα πρώτυπο 120 kW που αποτελείται από τρεις συσκευές ταλαντούμενης στήλης νερού κατά παράταξη που λειτουργούν από το 1998 σε απόσταση 1,5 χιλιομέτρου από τη πόλη Nansai και σε βάθος 40 μέτρων. Η διάταξη έχει σχεδιαστεί για αντοχή σε συνθήκες ανέμου και κυμάτων περιοδικής εμφάνισης 50 ετών (Clément et al.2002).



Εικόνα 19 : Η συσκευή ταλαντευόμενης στήλης νερού Mighty Whale (Clément et al.2002)

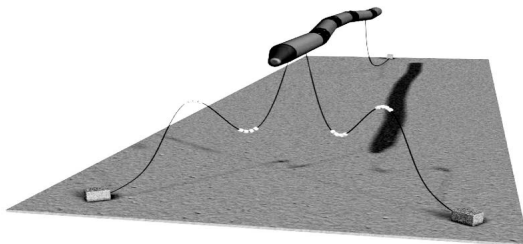
Η διάταξη μετατροπής κυματικής ενέργειας **OPT**(Εικόνα 20) σχεδιάστηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και αποτελείται από μια σημαδούρα κυλινδρικού τύπου που είναι κλειστή στην κορυφή και ανοιχτή στην επίδραση της θάλασσας στο κάτω μέρος. Ένα υδραυλικό έμβολο είναι τοποθετημένο μεταξύ της κορυφής του κελύφους και ενός ασφάλινου πλωτήρα που είναι τοποθετημένος εντός του κελύφους. Η σχετική κίνηση του κελύφους στον πλωτήρα ενεργοποιεί ένα υδραυλικό σύστημα που εκχέει λάδι υψηλής πίεσης σε μια γεννήτρια. Οι μεμονωμένες συσκευές μετατροπής κυματικής ενέργειας παράγουν ενέργεια που κυμαίνεται από 20 έως 50 kW αλλά μπορούν να παράξουν πολλαπλά MW(Mega Watt) όταν χρησιμοποιηθούν σε παράταξη (Clément *et al.*2002).



Εικόνα 20 : Η διάταξη μετατροπής κυματικής ενέργειας OPT

Διαδίκτυο: <https://fortune.com/2016/07/16/ocean-power-technologies-stock-jumps-75-percent/>

Η συσκευή **Pelamis** (Εικόνα 21), είναι μία ημιβυθισμένη αρθρωτή κατασκευή που αποτελείται από κυλινδρικά τμήματα που συνδέονται με στρεφόμενες αρθρώσεις. Η κυματική κίνηση που προκαλείται από αυτές τις αρθρώσεις δέχεται αντίσταση από τα υδραυλικά έμβολα τα οποία αντλούν υψηλής πίεσης λάδι μέσα από υδραυλικούς κινητήρες μέσω συσσωρευτών εξομάλυνσης. Μία συσκευή μήκους 130 μέτρων και διαμέτρου 3,5 μέτρων ισχύος 375 kW κατασκευάστηκε από την Ocean Power Delivery Ltd - OPD και βρίσκεται στη Σκωτία (Ζαφειρίου 2012).



Εικόνα 21 : Η συσκευή Pelamis (Clément et al.2002)

Ο **Μετατροπέας Σημειακής Απορρόφησης Κυματικής Ενέργειας (Point Absorber Wave Energy Converter)** που αναπτύχθηκε από τη Rambøll στη Δανία, αποτελείται από ένα πλωτήρα συνδεδεμένο με την άγκυρα αναρρόφησης κυπέλλου από ένα σχοινί πολυεστέρα (Εικόνα 22). Η σχετική κίνηση μεταξύ των πλωτήρων στην επιφάνεια της θάλασσας και της κατασκευής του βυθού, ενεργοποιεί μία εμβολοφόρο αντλία (κίνησης), η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ του σχοινιού και του πλωτήρα. Ένα μοντέλο κλίμακας 1:10 ελέγχθηκε στη θάλασσα, στο χώρο δοκιμών της Δανίας “Brenning Nissum” κατά τη διάρκεια μίας περιόδου τριών μηνών και ένα μοντέλο κλίμακας 1:4 με διάμετρο 2,5 μέτρα έχει κατασκευαστεί για ανοικτή δοκιμή στη θάλασσα (Ζαφειρίου 2012).



Εικόνα 22 : Ο Μετατροπέας Σημειακής Απορρόφησης Κυματικής Ενέργειας (Ζαφειρίου 2012)

Τέλος, υπάρχουν συσκευές - διατάξεις εκμετάλλευσης της θαλάσσιας ενέργειας που βρίσκονται στο τελικό στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης. Επιπλέον, υπάρχει συνεχής πρόοδος σε χώρες με επαρκής εκμεταλλεύσιμους πόρους κυματικής ενέργειας όπως η Κίνα, η Ινδία και η Ιαπωνία. Πολλές από τις τεχνολογίες μετατροπής της κυματικής ενέργειας βρίσκονται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό μακριά από τη πλήρη εφαρμογή τους στο θαλάσσιο χώρο. Το ενδεχόμενο βελτίωσης της τεχνολογίας στο πεδίο της μετατροπής της κυματικής ενέργειας είναι μεγάλο καθώς χρήζει μελέτης η βιωσιμότητα αλλά και η ανθεκτικότητα πολλών συσκευών κυρίως υπεράκτιας χρήσης. Επομένως απαιτείται συνεχής και ενιαία στρατηγική στο πεδίο της αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας τόσο σε εθνικό αλλά και ευρωπαϊκό επίπεδο (Clément *et al.* 2002).

1.3 Λιμενικές – Παράκτιες κατασκευές

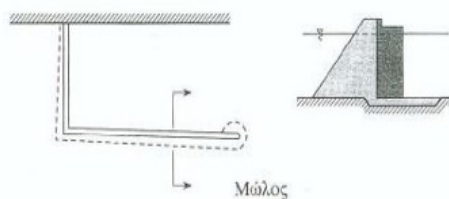
Είναι έργα που έχουν ως στόχο την προστασία μια λιμενολεκάνης και την δημιουργία ασφαλών συνθηκών παραβολής των σκαφών ή την προστασία μιας παράκτιας ζώνης από τις δυσμενείς δράσεις των κυματισμών (Κουτίτας 1994).

Η διάκριση γίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη διάταξη τους ανεξάρτητα της αποστολής:

- τα **εγκάρσια** στην προς την ακτή (μώλοι, βραχίονες)
- τα **παράλληλα** προς την ακτή (κυματοθραύστες, κρηπιδότοιχοι)

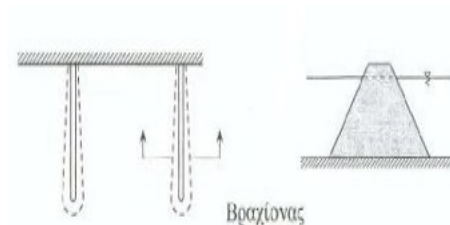
Παρακάτω γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των βασικών λιμενικών – παράκτιων έργων.

ΜΩΛΟΙ. Είναι επιμήκη έργα, με την αφετηρία τους στην ακτή. Η κύρια μορφή έργων για την προστασία από κυματισμούς και τη δημιουργία λεκανών ελλιμενισμού σκαφών (λιμενολεκανών), σε επαφή με την ακτή είναι οι μώλοι (Εικόνα 23).



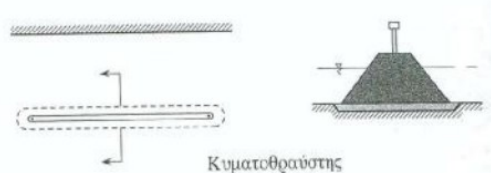
Εικόνα 23 : Μώλος (Κουτίτας 1994)

ΒΡΑΧΙΟΝΕΣ. Έχουν σκοπό την κατακράτηση άμμου και την ενίσχυση αμμωδών ακτών (αμμοκράτες) ή την προστασία στομίων εκβολών ποταμών και χειμάρρων, από προσαμμώσεις, φράξιμο και πρόκληση ανυψώσεως στάθμης ανάντη και πλημμυρών (Εικόνα 24).



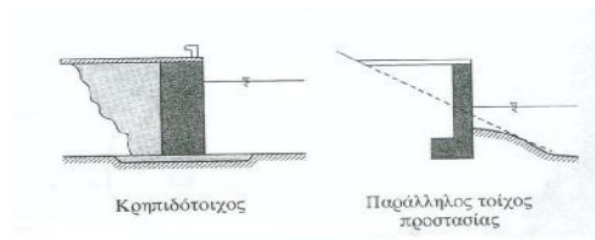
Εικόνα 24 : Βραχίονας (Κουτίτας 1994)

ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΕΣ. Είναι έργα παράλληλα στην ακτή χωρίς σημείο επαφής μ' αυτήν. Όπως και οι μώλοι έχουν αποστολή την προστασία από κυματισμούς των θαλάσσιων εκτάσεων πίσω από αυτούς για τον ελλιμενισμό σκαφών. Εφαρμόζονται, όμως σαν έργα προστασίας διαβρούμενων ακτών (Εικόνα 25).



Εικόνα 25 : Κυματοθραύστης (Κουτίτας 1994)

ΚΡΗΠΙΔΟΤΟΙΧΟΙ. Είναι κατασκευές παράλληλες στην ακτή που επιτρέπουν την πλαγιοδέτηση ή πρυμοδέτηση και φορτοεκφόρτωση πλοίων, γιατί δημιουργούν κατακόρυφα μέτωπα, που εκτείνονται σε βάθος επαρκές για την προσέγγιση πλοίων (Εικόνα 26). Πρόκειται, ουσιαστικά, για τοίχους αντιστηρίξεως, οι οποίοι στη ράχη τους φορτίζονται από γαιώδεις όγκους (ενεργές ωθήσεις) και τις οριζόντιες ωθήσεις που προκύπτουν από τα κατακόρυφα φορτία των κρηπιδωμάτων, στη στέψη τους φορτίζονται από τις ελκτικές δυνάμεις των δεσμών των πλοίων και στην όψη τους δέχονται τα υδροδυναμικά φορτία των κυματισμών, που εισέρχονται στις λιμενολεκάνες (τα υδροστατικά ισορροπούν μπρός και πίσω τους). Στη φάση παραβολής των σκαφών παραλαμβάνουν και τις δυνάμεις προσκρούσεων των πλοίων μεταφέροντάς τις σε παθητικές ωθήσεις εδάφους (Κουτίτας 1994).



Εικόνα 26 : Κρηπιδότοιχος (Κουτίτας 1994)

1.3.1 Ενεργειακές Λιμενικές – Παράκτιες κατασκευές που έχουν κατασκευαστεί και είναι σε λειτουργία

Μια αξιοσημείωτη περίπτωση επικερδούς εκμετάλλευσης του ενεργειακού δυναμικού των θαλάσσιων κυμάτων είναι η κατασκευή και λειτουργία εγκαταστάσεων που με τον κατάλληλο σχεδιασμό είτε α) ενσωματωμένοι σε λιμενικά ή παράκτια έργα όπως κυματοθραύστες, βραχίονες ή κρηπιδότοιχους ή β) συνδυαστικά με μηχανισμούς και τεχνολογίες αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού (αλμυρό νερό) σε πόσιμο νερό. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις τεχνολογιών/κατασκευών με διττή λειτουργία δίνονται παρακάτω.

(1) Mutriku Energy Plant (Ισπανία)

Η μικρή πόλη Mutriku στην περιοχή Basque της Ισπανίας είναι η πρώτη στον κόσμο στην οποία κατασκευάστηκε και λειτούργησε μια εργοστασιακή εγκατάσταση αξιοποίησης της θαλάσσιας κυματικής ενέργειας το 2011 (Εικόνα 27). Πρόκειται για έναν ενεργειακό κυματοθραύστη που αποτελείται από 16 διατάξεις OWC (Oscillating Water Column) η μια μετά την άλλη. Παράγει 300kW που αντιστοιχούν στο 10% των ενεργειακών αναγκών της πόλης (Savvidis *et al.*2013).



Εικόνα 27 : Πανοραμική άποψη της κατασκευής αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας

Mutriku Energy Plant (Ισπανία) Διαδίκτυο : <http://www.soz-etc.com/energien-erneuerbar/wasserkraft/wellenkraftwerke002-ENGL-Mutriku-wave-power-plant.html>

(2) Wave Power plant (Ισραήλ)

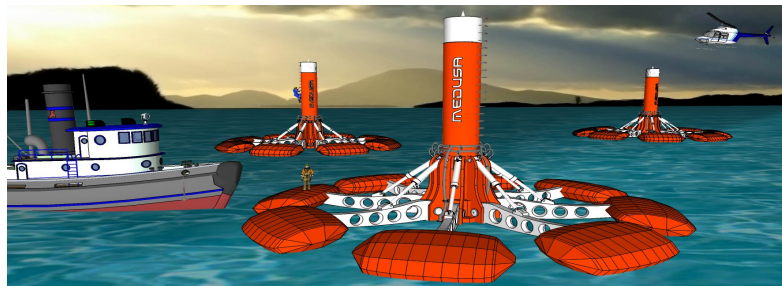
Η Ισραηλινή Εταιρία ενέργειας παλιρροιακών κυμάτων S.D.E είχε ολοκληρώσει την πρώτη <<μεγάλης κλίμακας>> εγκατάσταση κατασκευής για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας το 2010 η οποία ήταν ικανή να παράγει 60 kWh (Εικόνα 28). Επιπλέον, η κατασκευή αυτή έγινε στο αρχαίο λιμάνι της πόλης Jaffa, τμήμα σήμερα της πόλης του Tel Aviv καθιστώντας έναν ακόμα λόγο να επισκεφθεί κάποιος το ιστορικό λιμάνι της πόλης με τη λειτουργία της κατασκευής (Savvidis *et al.* 2013).



Εικόνα 28 : Η εγκατάσταση κατασκευής για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας Wave Power Plant (Ισραήλ) Διαδίκτυο: <https://www.timesofisrael.com/israeli-wave-power-company-to-ring-india-with-power-plants/>

(3) Medusa (Όχι σε εμπορική χρήση)

Είναι ένα σύστημα με οχτώ βραχίονες με ενσωματωμένους πλωτούς σταθμούς (Εικόνα 29). Το θαλασσινό νερό μεταφέρεται υπό πίεση μέσω αγωγών στην ακτή σε ένα ειδικό σύστημα το οποίο μετά από κατάλληλη διαδικασία μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ισχύ παράγοντας ταυτόχρονα πόσιμο νερό που έχει υποστεί αφαλάτωση (Savvidis *et al.* 2013).



Εικόνα 29 : Η συσκευή Medusa

Διαδίκτυο : <http://wavesenergy.blogspot.com/2012/04/medusa.html>

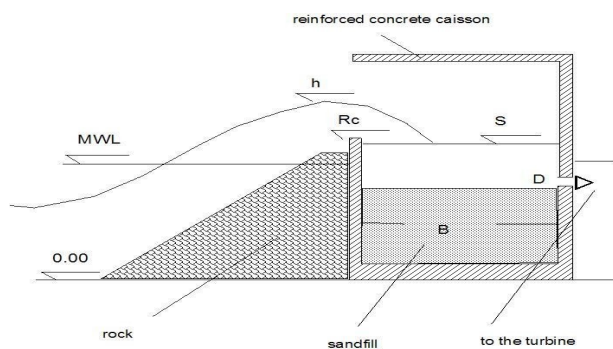
Με κύμα του οποίου το ύψος φτάνει το 1m, η διάταξη αυτή παράγει 800 kW ημερησίως και 200 m³ νερού (Ζαφειρίου 2012).

1.3.2 Ενεργειακές Λιμενικές - Παράκτιες κατασκευές που έχουν μελετηθεί σε θεωρητικό επίπεδο

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα δοθούν παραδείγματα της έρευνας που πραγματοποιείται στον τομέα των ενεργειακών κυματοθραυστών ή κρηπιδότοιχων με εργαλείο την μαθηματική ή την φυσική μοντελοποίηση.

1.Μοντελοποίηση της εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας από έναν Κυματοθραύστη-Modelling of a Wave Energy Harnessing Breakwater (Koutitas & Savvidis 2008). Η παρούσα έρευνα ασχολείται με την παραγωγή κυματικής ενέργειας μέσω ενός κυματοθραύστη και μιας χαμηλού φορτίου τουρμπίνας στην περιοχή ενός λιμένα. Το μοντέλο προσομοιάζει την ευθύγραμμη διάδοση ενός κύματος κατά μήκος ενός καναλιού 1 - D προς το μέρος ενός χαμηλού κυματοθραύστη για περαιτέρω επεξεργασία του κύματος (Εικόνα 30). Ο κυματοθραύστης έχει ανοιχτό μέτωπο προς τη θάλασσα και το ύψος στέψης του είναι σταθερό. Η υπερπηδούμενη ποσότητα νερού κατευθύνεται σε μια δεξαμενή που βρίσκεται στο εσωτερικό του κυματοθραύστη.

Μόλις το νερό εντός της δεξαμενής φτάσει στο μέγιστο ύψος, διοχετεύεται σε μια χαμηλού φορτίου τουρμπίνα που βρίσκεται εντός της λεκάνης του λιμένα. Ο στόχος της έρευνας είναι η μεγιστοποίηση της μηχανικής ενέργειας που εισέρχεται εντός της λεκάνης του λιμένα εκεί όπου είναι τοποθετημένη η χαμηλού φορτίου τουρμπίνα και παράγει ενέργεια κάτω από ένα πιεζομετρικό ύψος της τάξης των 1 - 4m. Ο σχεδιασμός της διάταξης γίνεται με βάση το κυματικό κλίμα της περιοχής εφαρμογής. Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η βελτιστοποίηση της σχέσης των παραμέτρων που επηρεάζουν την παραγόμενη ενέργεια δηλαδή το βέλτιστο ύψος στέψης για το οποίο μεγιστοποιείται η παροχή προς την τουρμπίνα (Koutitas & Savvidis 2008).



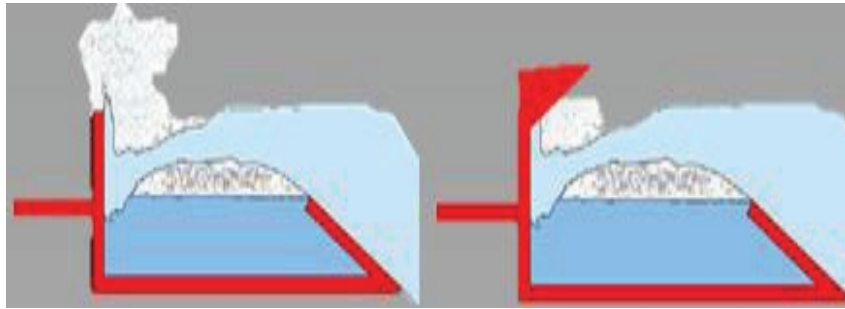
Εικόνα 30 : Ο ενεργειακός τοίχος του μαθηματικού μοντέλου (Koutitas & Savvidis 2008)

Κάποια σημαντικά συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτήν την έρευνα ήταν τα εξής:

1. Ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την εκμεταλλεύσιμη ενέργεια είναι η διάμετρος της οπής που οδηγεί στην τουρμπίνα χαμηλού φορτίου και επιλέγεται με ιδιαίτερη προσοχή.
2. Το πλάτος της δεξαμενής δεν είναι σημαντικός παράγοντας στον προσδιορισμό της εκμεταλλεύσιμης ενέργειας και επιλέγεται με βάση δομικά κριτήρια.
3. Η παρούσα μαθηματική ανάλυση εφαρμόζεται εύκολα σε συνδυασμό με μια σύγχρονη χαμηλού φορτίου τουρμπίνα καθιστώντας την κατασκευή ως μονάδα ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που παράλληλα με την κυματική προστασία παράγει δωρεάν ενέργεια στη περιοχή του λιμένα.

2. Εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας σε παράκτια τεχνικά έργα (Σισμάνη & Καραμπάς 2015). Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της διάταξης υπερπήδησης κυματισμών OBREC στον προσήνεμο μώλο του λιμένα Ρεθύμνου για τη βελτίωση της παρεχόμενης προστασίας και την αξιοποίηση της ενέργειας από τους κυματισμούς. Η πρόταση αυτή αξιολογείται με βασικά κριτήρια την τεχνική εφαρμογή της, τη δαπάνη διαμόρφωσης του κυματοθραύστη και την προβλεπόμενη ενεργειακή απόδοση της διάταξης.

Σύμφωνα με τους Σισμάνη & Καραμπάς (2015), το OBREC (Overtopping Breakwater for Energy Conversion) αποτελείται από μια ειδικά διαμορφωμένη δεξαμενή που κατασκευάζεται στο έξαλο τμήμα του κυματοθραύστη και συγκρατεί το νερό που υπερπηδά το μέτωπο αυτού (Εικόνα 31). Με κατάλληλη διαμόρφωση του πυθμένα της δεξαμενής, το θαλασσινό νερό τροφοδοτεί ένα στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο σχεδιασμός της διάταξης γίνεται με βάση το κυματικό κλίμα της περιοχής εφαρμογής, καθώς η κύρια παράμετρος σχεδιασμού είναι το αναμενόμενο ύψος κύματος. Με βάση αυτό επιλέγεται το βέλτιστο ύψος στέψης, το ύψος δηλαδή για το οποίο μεγιστοποιείται η παροχή υπερπήδησης και άρα η παραγόμενη ενέργεια.



Εικόνα 31 : Σχεδιασμός προστασίας από υπερπήδηση στη δεξαμενή OBREC (Overtopping Breaker for Energy Conversion) (Σισμάνη & Καραμπάς 2015)

Με τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης προκύπτει ότι η ισχύς του OBREC ανά τρέχον μέτρο κυμαίνεται από 4,5 kW/m για Β,ΒΑ και ΒΔ άνεμο εντάσεως 4 Bf, έως 15 kW/m για ΒΑ άνεμο εντάσεως 8 Bf. Σε ετήσια βάση η θεωρητικά αποδιδόμενη ενέργεια της κατασκευής υπολογίζεται σε 43,9 MWh/m.

Επειδή όμως η διάταξη λειτουργεί με συντελεστή απόδοσης της τάξεως 10 – 20 %, η πραγματικά παραγόμενη ενέργεια είναι μικρότερη και εκτιμάται περίπου 4,39 – 8,78 MWh/m αντίστοιχα. Για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά όπως η Κρήτη, η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας από κύματα είναι περίπου 84,6€/ MWh. Έτσι το ετήσιο όφελος υπολογίζεται, με συντελεστή απόδοσης της διάταξης εκμετάλλευσης 10 έως 20%, να φτάσει αντίστοιχα περίπου τα 370€ έως 740€ ανά μέτρο OBREC.

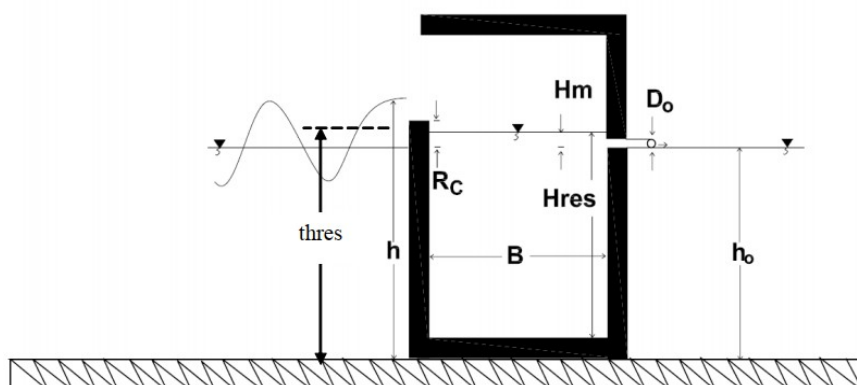
Συνοψίζοντας, η διάταξη OBREC αποτελεί μια απλή και λειτουργική λύση για παραγωγή ενέργειας και προστασία από τη δράση των κυμάτων, με πολύ περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Βασικό πλεονέκτημά της είναι η προσαρμογή σε υφιστάμενα τεχνικά έργα και η εναρμόνιση με το περιβάλλον. Ο σχεδιασμός της διάταξης γίνεται με βάση το τοπικό κυματικό κλίμα της περιοχής εγκατάστασης και εκμετάλλευση ενέργειας πραγματοποιείται για εντάσεις ανέμων μεγαλύτερες από 4 Bf. Η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να φτάσει τις 8,78 Mwh/m ετησίως, προσφέροντας σημαντικό οικονομικό όφελος σε μη διασυνδεδεμένες νησιωτικές περιοχές. Για την περίπτωση κατασκευής νέου κυματοθραύστη, το κόστος εγκατάστασης του OBREC είναι 5% ακριβότερο από την κατασκευή συμβατικής προστασίας. Συνεπώς με ελάχιστο πρόσθετο κόστος είναι εφικτός ο συνδυασμός της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με την παροχή προστασίας.

Το OBREC προτείνεται για περιοχές με υψηλό κυματικό δυναμικό στις οποίες υπάρχει πρόβλεψη κατασκευής κυματοθραύστη.

Η εφαρμογή διάταξης OBREC σε υφιστάμενο κυματοθραύστη είναι περίπου 19% πιο ακριβή από την αντίστοιχη συμβατική κατασκευή προστασίας. Επομένως, για περιπτώσεις τεχνικών έργων που κρίνονται ανεπαρκή ως προς την παρεχόμενη προστασία και είναι αναγκαίος ο επανασχεδιασμός τους, σκόπιμο είναι να μελετηθεί η δυνατότητα εγκατάστασης OBREC. Συμπερασματικά, με κατάλληλο σχεδιασμό και λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, η αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων μπορεί να συνδυαστεί με την προστασία από κυματισμούς και να αποτελέσει ένα εργαλείο ανάπτυξης για τις νησιωτικές περιοχές της χώρας (Σισμάνη & Καραμπάς 2015).

3.Μελέτη μοντελοποίησης αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας στις κατασκευές λιμένα-Modelling study of Wave Energy Harnessing Port Structures (Gravas et.al 2012). Η παρούσα εργασία μελετά την αξιοποίηση των θαλάσσιων κυματισμών που προσκρούουν στις παράκτιες κατασκευές παράλληλα με την λειτουργία τους που είναι η προστασία του λιμένα ή η παράκτια προστασία. Οι παράκτιες κατασκευές μπορεί να είναι είτε κυματοθραύστες ή κρηπιδότοιχοι τύπου Caisson με ανοιχτό μέτωπο στη θάλασσα ώστε τα θαλάσσια κύματα να υπερπηδούν τις κατασκευές. Και οι δύο παραπάνω τύποι κατασκευών είναι σχεδιασμένοι για να εκμεταλλεύονται όσο γίνεται περισσότερο την κυματική ενέργεια. Η παρούσα μελέτη βασίζεται στο σχεδιασμό και εφαρμογή δύο μαθηματικών μοντέλων : ενός μοντέλου 1DV και ενός 2DH (Εικόνα 32).

Η εφαρμογή του μοντέλου 1DV αποκαλύπτει ότι το βέλτιστο ύψος της κατασκευής από τη μέση στάθμη της θάλασσας και η διάμετρος της οπής εκροής εξαρτώνται από το κυματικό κλίμα της περιοχής εφαρμογής. Το πλάτος της κατασκευής καθορίζει κυρίως την παραγόμενη ισχύ. Το μοντέλο 2DH προσομοιάζει την διάδοση του κύματος στην παράκτια περιοχή και επικεντρώνεται στους κυματισμούς σε ένα μικρό κεντρικό τμήμα ενός ευθύγραμμου κυματοθραύστη ο οποίος λειτουργεί σαν μονάδα παραγωγής ενέργειας. Τα τμήματα του κυματοθραύστη αριστερά και δεξιά από το κέντρο του μπορούν να σχεδιαστούν ως πλήρως ανακλούμενα. Το μοντέλο 2DH εφαρμόστηκε για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης των κυματισμών για να διερευνηθεί η μέγιστη παραγόμενη ισχύ.



Εικόνα 32 : Το σύστημα εκμετάλλευσης κυματισμών ενός κυματοθραύστη/κρηπιδότοιχου(Gravas *et al.*2012)

Συμπεράσματα:

- Από την εφαρμογή του μοντέλου 1D προέκυψε ότι το βέλτιστο ύψος της κατασκευής επάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας και της διαμέτρου εκροής από την οπή (που κατευθύνει το νερό στην τουρμπίνα) εξαρτώνται από το ύψος του προσπίπτοντος κύματος.
- Για ύψος κύματος $H = 1,5 \text{ m}$ το βέλτιστο ύψος του κυματοθραύστη είναι $0,6 \text{ m}$ ($= 0,4 H$) επάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας και η βέλτιστη διάμετρος της οπής είναι $D_o = 0,5 \text{ m}$.
- Στο μοντέλο 2D πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών και διάφορα πλευρικά όρια που σχετίζονται με την απορροφούμενη κυματική ενέργεια απ' όπου και αναδείχθηκε ότι η θεωρητικά συνολική παραγόμενη ισχύς μειώνεται με την αύξηση της γωνίας πρόσπτωσης των κυματισμών όταν τα πλευρικά όρια είναι απορροφητικά, ενώ θεωρητικά υψηλές τιμές παραγόμενης ισχύος ενέργειας παρατηρούνται για διαφορετικούς συνδυασμούς γωνίας διάδοσης του κύματος και διαμόρφωσης πλευρικών ορίων (ανακλαστικών ή απορροφητικών).

4.Βέλτιστος σχεδιασμός ενός συστήματος υπερπήδησης κυματισμών OBREC σε κυματοθραύστη με τη χρήση Αρμονικού Αλγόριθμου – Optimal Design of Overtopping Breakwater for Energy Conversion (OBREC) Systems Using the Harmony Search Algorithm (Kralli *et al.*2019). Η εργασία ασχολείται με την εκμετάλλευση της παράκτιας ενέργειας και επικεντρώνεται στον βέλτιστο σχεδιασμό μιας διάταξης υπερπήδησης κυματισμών OBREC (Overtopping Breakwater for Energy Conversion) με τη χρήση ενός Αρμονικού Αλγόριθμου.

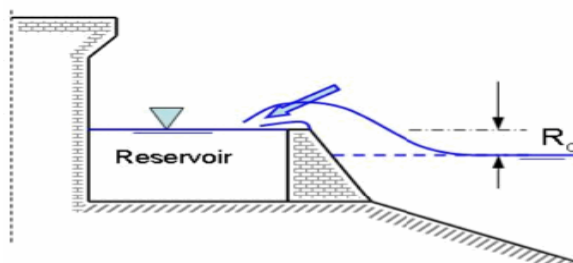
Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται στη διάδοση των κυματισμών με πεδίο εφαρμογής δίπλα στις παράκτιες κατασκευές, εκεί όπου τα κύματα επηρεάζονται από πολλαπλά φαινόμενα όπως ρήγωση, διάθλαση, περίθλαση και ανάκλαση - ολική ή μερική - καθώς και θραύση. Ο βελτιστοποιημένος αλγόριθμος αποσκοπεί στην εξεύρεση των βέλτιστων διαστάσεων της δεξαμενής OBREC. Προκειμένου να εξετασθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου επιλέχθηκε σαν χώρος εφαρμογής ο λιμένας του Ηρακλείου στο νησί της Κρήτης στην Ελλάδα.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής είναι ιδιαιτέρως ενθαρρυντικά ενώ παρουσιάζεται ο σχεδιασμός συστημάτων OBREC που αποτελεί μια καινούργια μεθοδολογία.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, το βέλτιστο σενάριο μπορεί να τροφοδοτήσει τις ανάγκες 687 νοικοκυριών. Επίσης, λόγω της ύπαρξης φουσκοθαλασσιάς που δύναται να δημιουργηθεί στη περιοχή η υπολογιζόμενη απόδοση του συστήματος OBREC μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω κατά 20%. Τελικώς, παρατηρήθηκε ότι σε περιπτώσεις που κυριαρχούν Β και ΒΔ άνεμοι δηλαδή άνεμοι με τη μεγαλύτερη συχνότητα στη περιοχή του Ηρακλείου, η απόδοση του συστήματος OBREC βελτιστοποιείται για κάθε σενάριο επιβεβαιώνοντας ότι η περιοχή του Ηρακλείου είναι κατάλληλη για εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας.

5.Σύνθετοι κρηπιδότοιχοι για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας: 2D πειραματικά αποτελέσματα – Composite seawalls for wave energy conversion: 2D experimental results (Stagonas et al.2010). Η αποδοτική και οικονομικά προσιτή χρήση της κυματικής ενέργειας στην ακτογραμμή παραμένει ένα χρόνιο πρόβλημα. Διατάξεις υπέρβασης – υπερχειλίσης με ειδικά διαμορφωμένες δεξαμενές και κεκλιμένους μπροστινούς τοίχους έχουν προταθεί αλλά η πολύπλοκη κατασκευή τους και η ειδική κατασκευή των τουρμπίνων Karlan επηρεάζουν σημαντικά το κόστος κατασκευής. Οι ονομαζόμενοι σύνθετοι κρηπιδότοιχοι έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί στην Ιαπωνία και η εφαρμογή τους απέδειξε ότι μειώνουν την κυματική ισχύ καθώς τα κύματα κατακερματίζονται και διασκορπίζεται η ενέργεια τους (Εικόνα 33). Στο Πανεπιστήμιο Southampton, η μέθοδος διαφοροποιήθηκε τοποθετώντας μια κεκλιμένη ράμπα στο μπροστινό τμήμα του κρηπιδότοιχου. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια δεξαμενή μεταξύ του τοίχου και της ράμπας επάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργαστηριακή μέθοδο του μοντέλου 2D είναι ότι για μέσο όρο ύψους κυματισμών και ύψους κατασκευής ενός μέτρου η κυματική ισχύς υπολογίζεται σε 1,5 kW/m ανά μέτρο τοίχου.

Η θεωρητική εφαρμογή ενός μετατροπέα κυματικής ενέργειας σε έναν ήδη υπάρχον κρηπιδότοιχο θα μπορούσε να παράξει ετήσια ενέργεια 13 MWh / έτος για τμήμα έξαλο ενός μέτρου πάνω από την ήρεμη επιφάνεια της θάλασσας σε συνθήκες νηνεμίας (Stagonas *et al.*2010).



Εικόνα 33 : Η ενέργεια όπως 'συλλαμβάνεται' από έναν σύνθετο κρηπιδότοιχο (Stagonas *et al.*2010)

Από τη συγκεκριμένη πιλοτική έρευνα που πραγματοποιήθηκε προκειμένου να αξιολογηθεί η εκτίμηση του δυναμικού ενός τύπου κρηπιδότοιχου για παραγωγή χαμηλού φορτίου κυματικής ισχύος (διαφορά φορτίου που κυμαίνεται μεταξύ 0,5m – 1,5m) προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- ◆ Με κυματική ισχύ 1,5 kW ανά μέτρο κρηπιδότοιχου και ύψος κύματος ενός μέτρου, επιβεβαιώθηκαν τα αρχικά συμπεράσματα για παραγωγή ενέργειας σε σύνθετο κρηπιδότοιχο και είναι ενθαρρυντικά.
- ◆ Η συνολική πιθανή παραγόμενη ενέργεια από έναν σύνθετο κρηπιδότοιχο μπορεί να συγκριθεί με άλλους, περισσότερο πολύπλοκους μετατροπείς κυματικής ενέργειας όπως πχ τον SSG (Sea Slot – cone Generator).
- ◆ Η εκάστοτε κατασκευή πρέπει να είναι σωστά σχεδιασμένη σε κάθε περιοχή εφαρμογής από τη στιγμή που υπάρχει βέλτιστο έξαλο τμήμα που καθορίζει το ύψος των κυματισμών αλλά και την περιοδική εμφάνισή τους. Γενικώς, μικρά τμήματα φαίνεται να είναι τα πιο αποτελεσματικά.
- ◆ Η εφαρμογή ενός σύνθετου κρηπιδότοιχου σε πραγματικές συνθήκες εφαρμογής είναι εφικτή από οικονομική άποψη.
- ◆ Τα αποτελέσματα από τα διάφορα μοντέλα έδειξαν ότι οι κρηπιδότοιχοι μειώνουν το κυματικό φορτίο.

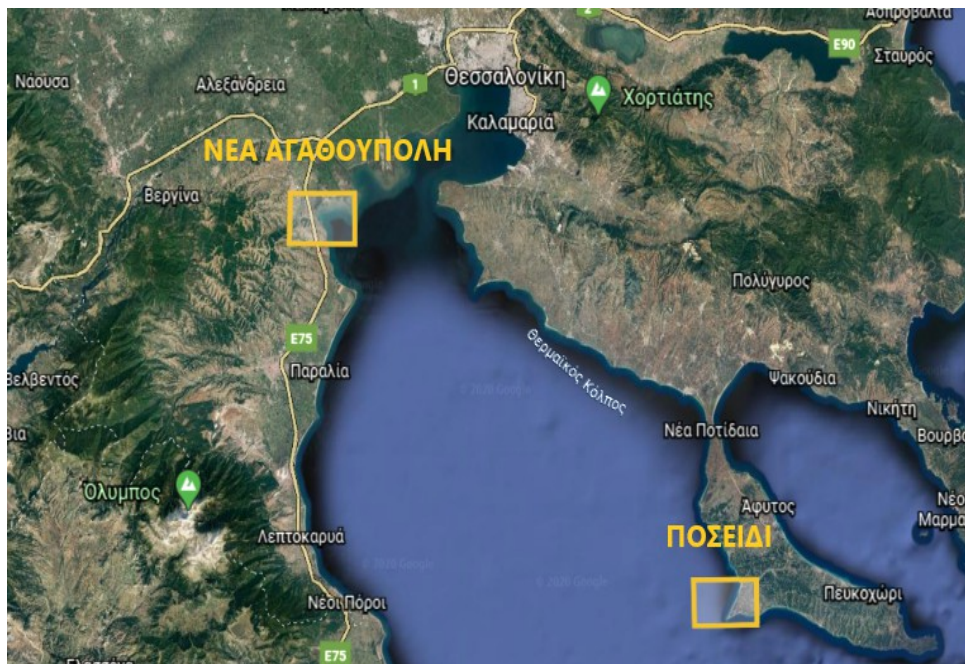
6.Έρευνες για αξιοποίηση και παραγωγή ενέργειας μέσω πλωτού κυματοθραύστη. Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι εδώ και αρκετά χρόνια γίνονται ερευνητικές εργασίες πάνω στην αξιοποίηση και παραγωγή ενέργειας μέσω της λειτουργίας πλωτού κυματοθραύστη (Michailides & Angelides 2012; Koutitas & Gousidou - Koutita 2019).

1.4 Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας

Ο τελικός ερευνητικός στόχος της εργασίας επικεντρώνεται στην αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας μέσω κατασκευής κατακόρυφου παράκτιου μετώπου (κρηπιδότοιχου ή κυματοθραύστη) σε δύο παράκτιες περιοχές των ανατολικών και δυτικών ακτών του Θερμαϊκού Κόλπου. Η περιοχή που επιλέχθηκε στο δυτικό κομμάτι των ακτών του Θερμαϊκού Κόλπου είναι η Νέα Αγαθούπολη - Μεθώνη που ανήκει στο Δήμο Πύδνας - Κολινδού στο Νομό Πιερίας. Η περιοχή που επιλέχθηκε στο ανατολικό κομμάτι των ακτών του Θερμαϊκού Κόλπου είναι η περιοχή του Ποσειδίου και υπάγεται στο Δήμο Κασσάνδρας του νομού Χαλκιδικής (Εικόνα 34).

Η επιλογή των θέσεων βασίστηκε αφενός μεν στο μεγαλύτερο δυνατό μήκος ανάπτυξης των κυματισμών που προωθούνται στις αντίστοιχες τοποθεσίες του Θερμαϊκού Κόλπου (σε σχέση με άλλες θέσεις, αλλά και σε σχέση με τις επικρατούσες ανεμολογικές συνθήκες της περιοχής) και αφετέρου σε ήδη υπάρχουσα μελέτη κατασκευής συμβατικού τοίχου στην μία από τις δύο περιοχές, και συγκεκριμένα στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης - Μεθώνης. Επίσης επισημαίνεται ότι οι δύο αυτές περιοχές αντιστοιχούν στις δύο πιο αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις ανεμολογικού καθεστώτος στην ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου, δηλαδή στην επικράτηση των βορειοδυτικών ανέμων κατά την περίοδο του χειμώνα αλλά και γενικότερα κατά τη διάρκεια του έτους και από την άλλη πλευρά τη σημαντική εμφάνιση των νοτιοανατολικών ανέμων κατά την περίοδο του καλοκαιριού.

Τέλος είναι σημαντικό να τονιστεί και πάλι ότι η ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού είναι περιοχή χαμηλού κυματικού ενεργειακού δυναμικού (κυματικής ισχύος) και για το λόγο αυτό η προσπάθεια εστιάστηκε στην επιλογή των καταλληλότερων θέσεων που θα μπορούσαν να δώσουν κάποιο ικανό μέγεθος κυματικής ισχύος προς αξιοποίηση.



Εικόνα 34 : Απεικόνιση των δυο περιοχών μέσω της εφαρμογής Google Earth

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Όπως ήδη αναφέρθηκε ο βασικός στόχος της εργασίας επικεντρώνεται στην αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας μέσω της κατασκευής κατακόρυφου παράκτιου μετώπου τύπου caisson (κρηπιδότοιχου ή κυματοθραύστη). Η προτεινόμενη κατασκευή του τοίχου, βασίζεται στις εργασίες των Koutitas & Savvidis (2008) και Gravas *et al.* (2012) και η περιγραφή του έχει ήδη δοθεί στην Εικόνα 30 και Εικόνα 32 ενώ δίνεται πιο ειδικά παρακάτω στην ενότητα όπου παρουσιάζεται το μαθηματικό μοντέλο παραγωγής ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα, στην Εικόνα 39. Ειδικότερα, η εν' λόγω κατασκευή μπορεί να αναφέρεται είτε σε έναν κρηπιδότοιχο π.χ. σε βάθος νερού δύο μέτρων ή σε έναν κυματοθραύστη με κατακόρυφα μέτωπα π.χ. σε βάθος τεσσάρων μέτρων, είτε ακόμη και σε κυματοθραύστη μικτής καθ' ύψος διατομής, δηλαδή με κεκλιμένα πρηνή στο κάτω τμήμα της κατασκευής και με κατακόρυφα μέτωπα στο άνω τμήμα της κατασκευής. Για την υπολογιστική διαδικασία ήταν απαραίτητες γνώσεις θαλάσσιας κυματομηχανικής και υδραυλικής ανοιχτών αγωγών. Η εφαρμογή γίνεται σε δύο παράκτιες περιοχές των ανατολικών και δυτικών ακτών του Θερμαϊκού Κόλπου.

Η μεθοδολογία, η οποία υιοθετείται στην παρούσα εργασία και στοχεύει στον υπολογισμό της τελικής αξιοποιήσιμης κυματικής ισχύος, συνίσταται στα παρακάτω βήματα:

- 1.Εύρεση - Υπολογισμός των μέσων αντιπροσωπευτικών ανεμολογικών δεδομένων.
- 2.Εύρεση - Υπολογισμός με εφαρμογή πρόγνωσης ανεμογενών κυματισμών των κυματικών στοιχείων (ύψους κύματος H και περίοδος κύματος T) βάσει της πληροφορίας των ανεμολογικών δεδομένων που έχουν υπολογισθεί από το πρώτο βήμα.
3. Εύρεση - Υπολογισμός με εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου της εκμεταλλεύσιμης κυματικής ισχύος μέσω κατασκευής ενεργειακού κυματοθραύστη ή παράκτιου τοίχου/κρηπιδότοιχου, βάσει των δεδομένων κύματος που έχουν υπολογισθεί από το δεύτερο βήμα.

Η αναλυτική παρουσίαση των παραπάνω βημάτων δίνεται στις ενότητες που ακολουθούν.

2.1 Συλλογή ανεμολογικών δεδομένων – Πηγές

Για την περαιτέρω διαδικασία εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας και για την εφαρμογή της μεθόδου πρόγνωσης ανεμογενών κυματισμών, συλλέχθηκαν ανεμολογικά δεδομένα που προέρχονται από τις δύο περιοχές μελέτης εφαρμογής που επιλέχθηκαν για αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας μέσω κατασκευής συμβατικού τοίχου. Τα δεδομένα παραχωρήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ) και αφορούν τον μετεωρολογικό σταθμό στην περιοχή της Σκοτίνας στις δυτικές ακτές του Θερμαϊκού κόλπου (ο πιο κοντινός σταθμός στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης) και τον μετεωρολογικό σταθμό στη περιοχή της Ποτίδαιας στις ανατολικές ακτές του Θερμαϊκού κόλπου (ο πιο κοντινός σταθμός στην περιοχή του Ποσειδίου).

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό της Σκοτίνας αφορούν χρονικό διάστημα από το έτος 1983 έως το έτος 2002. Όσον αφορά τον μετεωρολογικό σταθμό στη περιοχή της Ποτίδαιας, τα δεδομένα αφορούν για χρονικό διάστημα από το έτος 1978 έως το έτος 2002. Στην παρούσα χρονική περίοδο, επίσης υπεισέρχονται διαστήματα με αδυναμία καταγραφής μετρήσεων. Παρόλα αυτά, τα συμπεράσματα και αποτελέσματα και από τους δύο μετεωρολογικούς σταθμούς κρίνονται αξιοποιήσιμα για τη χρήση τους στους υπολογισμούς της μεθόδου πρόγνωσης ανεμογενών κυματισμών.

2.2 Ανεμολογικά στοιχεία - Στατιστική Επεξεργασία

ΓΙΑ ΣΚΟΤΙΝΑ

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον σταθμό της Σκοτίνας αφορούν χρονικό διάστημα από το έτος 1983 έως το 2002. Οι ώρες καταγραφής των μετρήσεων από τον σταθμό είναι από τις 03:00 το πρωί έως τις 18:00 το απόγευμα. Για την επεξεργασία των ανεμολογικών στοιχείων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Minitab. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων από το σταθμό της Σκοτίνας προέκυψε ότι ο βόρειος άνεμος στην περιοχή είναι γενικά ασθενικός.

Οι άνεμοι που έχουν κάποια ικανή ένταση ταχύτητας και δίνουν κάποια υπολογίσιμα μήκη ανάπτυξης είναι ο ανατολικός (E), ο βορειοδυτικός (NW), κυρίως ο νοτιοανατολικός (SE) και ο νότιος (S) άνεμος.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3) βλέπουμε τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προέρχονται από την στατιστική επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων για Ανατολικό (E), Βόρειο (N), Βορειοανατολικό (NE), Βορειοδυτικό (NW), Νότιο (S), Νοτιοανατολικό (SE), Νοτιοδυτικό (SW) και Δυτικό (W) άνεμο από το σταθμό της Σκοτίνας. Από τα ακόλουθα αποτελέσματα λαμβάνουμε υπόψη τη μέση ταχύτητα/δευτερόλεπτο (Mean) που είναι η πιο αντιπροσωπευτική τιμή για τη περαιτέρω υπολογιστική διαδικασία. Για τη περιοχή μελέτης αλλά και για την εφαρμογή της μεθόδου της πρόγνωσης των ανεμογενών κυματισμών μας ενδιαφέρει η μέση ταχύτητα ανέμου που προέρχεται από νοτιοανατολική κατεύθυνση (SE). Επομένως η τιμή της ταχύτητας που χρησιμοποιούμε για την εφαρμογή της μεθόδου πρόγνωσης των ανεμογενών κυματισμών στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης (διακρίνεται με κόκκινο χρώμα) είναι η ταχύτητα $U = 4,36 \text{ m/sec}$ ή αλλιώς $U_{10} = 4,36 \text{ m/sec}$ δηλαδή η ταχύτητα του ανέμου μετρημένη σε απόσταση 10 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Τέλος, από την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων προέκυψε ότι η μέση διάρκεια πνοής του ανέμου που προέρχεται από μια μεγάλη χρονική περίοδο μετρήσεων στη περιοχή είναι (3) ώρες επομένως η τιμή t_D στη μέθοδο πρόγνωσης των ανεμογενών κυματισμών θα ισούται με $t_D = 3$ ώρες (h).

Πίνακας 3 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας ανεμολογικών δεδομένων από το σταθμό της Σκοτίνας

M/SEC	SKOTINA	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
		*	*	*	*	*	*
	E	3.5887	0.0491	2.0485	1.0289	3.0867	20.5778
	N	0.2379	0.00782	1.0416	0.00000	0.0000	12.8611
	NE	3.3144	0.0449	1.6232	1.0289	3.0867	18.0056
	NW	3.7131	0.0654	1.6866	1.0289	3.0867	12.8611
	S	3.6774	0.0734	1.8387	1.0289	3.0867	12.8611
	SE	4.3668	0.0544	2.2523	1.0289	4.1156	17.4911
	SW	3.5293	0.0916	1.6995	1.0289	3.0867	11.3178
	W	3.5103	0.0666	2.0847	1.0289	3.0867	20.5778

ΓΙΑ ΠΟΤΙΔΑΙΑ

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον σταθμό της Ποτίδαιας αφορούν χρονικό διάστημα από το έτος 1978 έως το 2002. Οι ώρες καταγραφής των μετρήσεων από τον σταθμό είναι από τις 01:00 το πρωί έως τις 18:00 το απόγευμα. Για την επεξεργασία των ανεμολογικών στοιχείων χρησιμοποιήθηκε, όπως και στη περιοχή της Σκοτίνας, το πρόγραμμα Minitab. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων από το σταθμό της Ποτίδαιας προέκυψε ότι ο βόρειος άνεμος στη περιοχή είναι πολύ ασθενικός. Οι άνεμοι που έχουν κάποια ικανή ένταση ταχύτητας και δίνουν κάποια υπολογίσιμα μήκη ανάπτυξης των κυματισμών είναι ο βορειοδυτικός (NW), ο ανατολικός (E) και ο βορειοανατολικός (NE) άνεμος.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4) βλέπουμε τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προέρχονται από την στατιστική επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων για Ανατολικό (E), Βόρειο (N), Βορειοανατολικό (NE), Βορειοδυτικό (NW), Νότιο (S), Νοτιοανατολικό (SE), Νοτιοδυτικό (SW) και Δυτικό (W) άνεμο από το σταθμό της Ποτίδαιας. Από τα ακόλουθα αποτελέσματα λαμβάνουμε υπόψη τη μέση ταχύτητα/δευτερόλεπτο (Mean) που είναι η πιο αντιπροσωπευτική τιμή για τη περαιτέρω υπολογιστική διαδικασία. Για τη περιοχή μελέτης αλλά και για την εφαρμογή της μεθόδου της πρόγνωσης των ανεμογενών κυματισμών μας ενδιαφέρει η μέση ταχύτητα ανέμου που προέρχεται από βορειοδυτική κατεύθυνση (NW).

Επομένως η τιμή της ταχύτητας που χρησιμοποιούμε για την εφαρμογή της μεθόδου πρόγνωσης των ανεμογενών κυματισμών στην περιοχή του Ποσειδίου (διακρίνεται με κόκκινο χρώμα) είναι η ταχύτητα $U = 4,923 \text{ m/sec}$ ή αλλιώς $U_{10} = 4,923 \text{ m/sec}$ δηλαδή η ταχύτητα του ανέμου μετρημένη σε απόσταση 10 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Τέλος, από την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων προέκυψε ότι η μέση διάρκεια πνοής του ανέμου που προέρχεται από μια μεγάλη χρονική περίοδο μετρήσεων στη περιοχή είναι (3) ώρες επομένως η τιμή t_D στη μέθοδο πρόγνωσης των ανεμογενών κυματισμών θα ισούται με $t_D = 3 \text{ ώρες (h)}$.

Πίνακας 4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας ανεμολογικών δεδομένων από το σταθμό της Ποτίδαιας

M/SEC	POTIDAIA	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
		3.60	1.03	1.46	2.57	3.60	4.63
	E	6.2952	0.0719	3.4270	1.0289	5.6589	41.1556
	N	1.1326	0.0277	2.3788	0.0000	0.0000	50.4156
	NE	6.292	0.128	3.788	1.543	5.144	31.381
	NW	4.923	0.101	3.084	0.000	4.116	21.607
	S	4.0131	0.0591	2.1941	0.0000	3.6011	30.8667
	SE	4.5931	0.0908	2.7124	1.0289	4.1156	33.4389
	SW	4.4077	0.0792	2.0528	0.0000	4.1156	22.1211

2.3 Μέθοδοι Πρόγνωσης Κύματος

Οι κυματισμοί που αποτελούν τον κύριο παράγοντα φορτίσεως των θαλάσσιων έργων έχουν ανεμογενή προέλευση και σε ελάχιστες περιπτώσεις προσεγγίζουν μορφολογικά τους μονοχρωματικούς δισδιάστατους κυματισμούς. Έχουν τυχαία (στοχαστική) μορφή που μπορεί να περιγραφεί σαν άθροισμα αρμονικών συνιστωσών (των οποίων όμως η εξέλιξη στο χώρο και το χρόνο είναι μη γραμμική και εξαρτάται από μεταξύ τους μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις). Σαν στοχαστικά μεγέθη ακολουθούν συγκεκριμένους πιθανολογικούς νόμους κατανομής και καθορίζονται με την περιγραφή βασικών μεγεθών. Το επιχειρησιακό, τέλος, πρόβλημα είναι η διάγνωση της συσχέτισεως των μεγεθών περιγραφής τους με τα μετεωρολογικά και υδρογραφικά στοιχεία και η << πρόγνωση >> της εξελίξεώς τους με βάση την μετεωρολογική πρόγνωση.

Ο κύριος παράγων ανεμοκυματογένεσης είναι το πέρασμα ενέργειας από τα κινούμενα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα στις επιφανειακές θαλάσσιες μάζες. Τα τριχοειδή αρχικά κύματα (capillary waves) εξελίσσονται σε διαταραχές της επιφάνειας μήκους πολλών μέτρων, που δέχονται τις διακυμαινόμενες, λόγω τύρβης, διατμητικές και εγκάρσιες (πιέσεις) δυνάμεις του αέρα. Η τροφοδοσία σε μηχανική ενέργεια από την ατμόσφαιρα αρχικά αυξάνει εκθετικά και σε συνέχεια βαίνει φθίνουσα καθώς οι κυματισμοί αυξάνονται σε περίοδο και μήκος, ώστε η φασική τους ταχύτητα να προσεγγίζει την ταχύτητα του ανέμου.

Διάφορες θεωρίες με υπερέχουσα την θεωρία των Phillips (1957) και Miles (1960) προσπάθησαν να ερμηνεύσουν τη γένεση των ανεμογενών κυματισμών. Σύμφωνα με την επικρατούσα θεωρία, η κυματογένεση ξεκινά με γραμμική αύξηση του κύματος λόγω συντονισμού με τις τυρβώδεις διαταραχές πίεσεως και τριβής στην επιφάνεια, και συνεχίζει με εκθετικό ρυθμό αναπτύξεως λόγω υδροδυναμικής αστάθειας (Κουτίτας 1994).

Η επίδραση του ανέμου μιας συγκεκριμένης κατεύθυνσεως διαπιστώθηκε ότι προκαλεί κυματογένεση σε έναν τομέα $\pm 45^\circ$ εκατέρωθεν της διεύθυνσεως του ανέμου, με αποτέλεσμα να διαμορφώνεται ένα πεδίο τρισδιάστατων κυματισμών (Κουτίτας 1994).

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά μεγέθη των ανεμογενών κυματισμών είναι συναρτήσεις των εξής ανεξάρτητων μεταβλητών (Κουτίτας 1994) :

F_{eff} = Μήκος αναπτύγματος. Είναι η χαρακτηριστική γραμμική διάσταση του θαλάσσιου πεδίου από ακτή σε ακτή κατά μήκος της οποίας δρα ο κυματισμός. Με βάση την αναφερθείσα επίδραση του ανέμου σε τομέα $\pm 45^\circ$ στην περίπτωση πολύπλοκης τοπογραφίας ακτών και πλευρικού περιορισμού του πεδίου αναπτύξεως κυματισμών, το ισοδύναμο (effective) μήκος αναπτύξεως (Εικόνα 35) ορίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο :

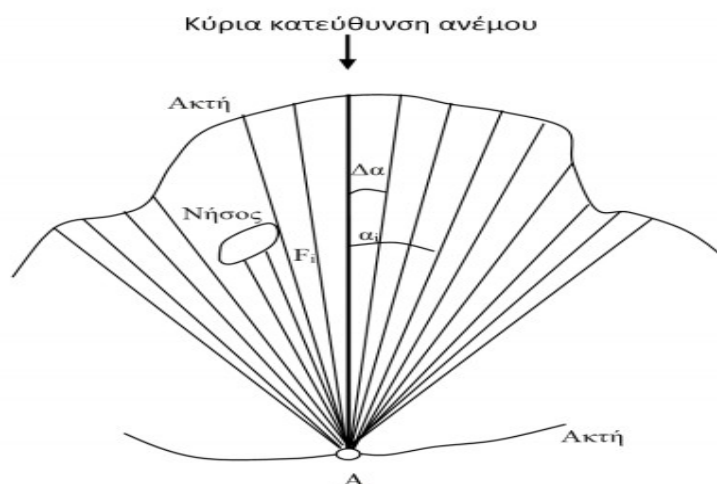
$$F_{eff} = \Sigma F_i (\cos \alpha_i)^2 / \Sigma \cos \alpha_i$$

όπου :

- F_i το μήκος ανάπτυξης κατά την κατεύθυνση που σχηματίζει γωνία
- α_i με την κατεύθυνση του ανέμου

Τα στοιχεία του κυματισμού H , T , είναι συναρτήσεις των :

- $t_D = \eta$ διάρκεια πνοής του ανέμου
- U_{10} = η χαρακτηριστική ταχύτητα του ανέμου αναφερόμενη σε ύψος 10m πάνω από την επιφάνεια



Εικόνα 35 : Υπολογισμός F_{eff} στο A (Καραμπάς *et al.* 2015)

Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις (ως προς την ανάπτυξη του κυματισμού) :

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

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι συσχέτισης των φυσικών συνθηκών (ταχύτητα ανέμου, μήκος ανάπτυξης, διάρκειας πνοής) με τα στοιχεία κύματος (συσχέτιση του σημαντικού ύψους κύματος H_s και της περιόδου μέγιστης ενεργειακής πυκνότητας T_p με τα F_{eff} , t_D και U_{10}). Παρακάτω δίνονται οι ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι **JONSWAP (Carter)** και **PM (Pierson-Moskovitz)** ανάλογα με τις συνθήκες ανάπτυξης του κυματισμού.

■ **JONSWAP** (κυματισμοί υπό περιορισμό ανάπτυξης) $g \cdot t_D / U_A > 68,8(g \cdot F / U_A^2)^{0,66}$

Με βάση τη μέθοδο JONSWAP, ελέγχεται η ανισότητα και στη συνέχεια υπολογίζονται τα H_s και T_p ως εξής:

$$g \cdot H_s / U^2 = 0,0016 \cdot (g \cdot x / U^2)^{0,5} \Rightarrow H_s = (U^2 / g) \cdot 0,0016 \cdot (g \cdot x / U^2)^{0,5}$$

$$g \cdot T_p / U_A = 0,2860 \cdot (g \cdot x / U^2)^{0,33} \Rightarrow T_p = (U_A / g) \cdot 0,2860 \cdot (g \cdot x / U^2)^{0,33}$$

όπου αν ισχύει

$g \cdot t_D / U_A > 68,8(g \cdot F / U_A^2)^{0,66}$ (επαρκής διάρκεια, περιορισμός μήκους) τότε $x = F_{eff}$

ενώ αν ισχύει $g \cdot t_D / U_A < 68,8(g \cdot F / U_A^2)^{0,66}$ (επαρκές μήκος, περιορισμός διάρκειας)

τότε στο x τίθεται η λύση της εξίσωσης $g \cdot t_D / U_A = 68,8(g \cdot x / U^2)^{0,66}$

$$x = ((g \cdot t_D / U_A) / 68,8)^{3/2} \cdot U_A^2 / g$$

■ **Pierson-Moskovitz** ή **PM** (κυματισμοί πλήρως αναπτυγμένοι - FDS),

Με βάση τη μέθοδο PM, η οποία ισχύει για $gF/U^2 > 22800$ υπολογίζονται τα H και T από τις παρακάτω σχέσεις:

$$g \cdot H_s / U^2 = 0,243 \rightarrow H_s = 0,243 \cdot U^2 / g$$

$$g \cdot T_p / U_A = 8,130 \rightarrow T_p = 8,13 \cdot U_A / g$$

2.4 Μοντέλο Παραγωγής ενέργειας από κύματα μέσω κατασκευής ενεργειακού κυματοθραύστη ή παράκτιου τοίχου/κρηπιδότοιχου

Το WAVEN είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον ομότιμο πλέον καθηγητή Λιμενικών Έργων του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ κ. Χριστόφορο Κουτίτα, στα μέσα της δεκαετίας του 2000. Το μοντέλο εφαρμόστηκε επιτυχώς και τα σχετικά αποτελέσματα δημοσιεύθηκαν λίγο αργότερα (Koutitas & Savvidis 2008).

Πρόκειται για ένα μοντέλο 1D (μίας διάστασης) για την περιγραφή της διάδοσης ενός γραμμικού μακρού κυματισμού κατά μήκος ενός καναλιού με βάθος d που καταλήγει σε έναν ειδικό τύπο παράκτιου τεχνικού έργου (κυματοθραύστη ή κρηπιδότοιχο τύπου caisson) για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αργότερα, με βάση την ανάπτυξη του εν' λόγω μοντέλου μίας διάστασης, έγινε επέκταση του μοντέλου για την περιγραφή του φαινομένου της διάδοσης του κυματισμού σε δύο διαστάσεις και αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας με εφαρμογή παρόμοιας προτεινόμενης κατασκευής (Gravas *et al.* 2012).

Ειδικότερα, το εν λόγω μοντέλο (Koutitas & Savvidis 2008) προσομοιώνει τη διάδοση ενός μακρού γραμμικού κύματος κατά μήκος ενός διαύλου - καναλιού 1D από ένα αριστερό όριο πρόσπτωσης και ακτινοβολίας προς τα δεξιά όπου βρίσκεται ένας τοίχος τύπου caisson (είτε κυματοθραύστη είτε κρηπιδότοιχου) που απορροφά το κύμα. Ταυτόχρονα γεμίζει η δεξαμενή στο εσωτερικό της κατασκευής με νερό, ενώ ακολουθεί εκκένωση του ρεζερβουάρ (δεξαμενής) με απαγωγή του νερού στην πλευρά του λιμένα ή της παράκτιας ζώνης πίσω από τον τοίχο - κυματοθραύστη μέσω ενός ανοίγματος (όπου και τοποθετείται ένας αγωγός).

Οι βασικές εξισώσεις διατήρησης της ορμής (εξίσωση ισορροπίας των δυνάμεων) και διατήρησης της μάζας (εξίσωση συνέχειας) που περιγράφουν την διάδοση του κύματος είναι οι εξής :

$$dQ/dt + g*h*(d\zeta/dx)=0$$

$$d\zeta/dt + dQ/dx=0$$

όπου

- ζ είναι η διακύμανση της επιφάνειας της θάλασσας από το επίπεδο της μέσης στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας
- q ή Q είναι η ειδική παροχή
- h το βάθος του νερού – υδάτινης στήλης

- t είναι ο χρόνος και
- x είναι η απόσταση από την θέση γέννησης του κύματος στο αριστερό άκρο του καναλιού

Οι παραπάνω διαφορικές εξισώσεις διατήρησης της ορμής και διατήρησης της μάζας προσεγγίζονται με αλγεβρικές εξισώσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών, οι οποίες στη συνέχεια κωδικοποιούνται στο πρόγραμμα για Η/Υ (ηλεκτρονικό υπολογιστή) με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN.

Επιλέγεται ένα μήκος L του καναλιού (από την είσοδο ως και το μέτωπο της κατασκευής) με $L = i_m \cdot \Delta x$ όπου Δx το χωρικό βήμα και i_m ο συνολικός αριθμός των χωρικών βημάτων στο μήκος του καναλιού L και ένας συνολικός χρόνος T_{tot} εξέτασης του φαινομένου με $T_{tot} = n_m \cdot \Delta t$ όπου Δt το χρονικό βήμα και n_m ο αριθμός των χρονικών βημάτων.

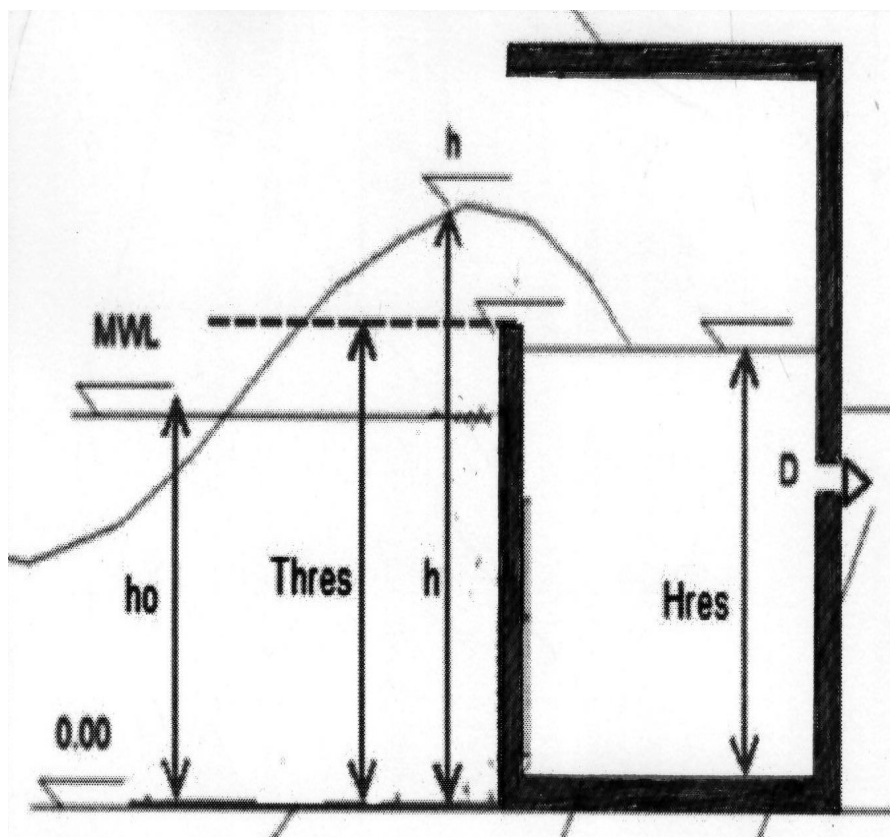
Στην είσοδο του καναλιού εισάγεται ένα κύμα ημιτονοειδούς μορφής σύμφωνα με την παρακάτω σχέση ,

$$\zeta_i = H_w / 2 \sin(\omega t)$$

όπου H_w το εισερχόμενο ύψος του εισερχόμενου κύματος (το οποίο λαμβάνεται στην προκειμένη περίπτωση, με ικανοποιητική προσέγγιση, από την εφαρμογή της μεθόδου πρόγνωσης των ανεμογενών κυματισμών) και ω είναι η γωνιακή συχνότητα είναι ίση με $2\pi/T$ (T η περίοδος του κύματος, η οποία λαμβάνεται επίσης από την εφαρμογή της μεθόδου πρόγνωσης των ανεμογενών κυματισμών).

Παρακάτω δίνεται σε σκαρίφημα (Εικόνα 36) η μορφή του ενεργειακού τοίχου ή κυματοθραύστη. Τα σύμβολα είναι ως εξής:

- D_o : η διάμετρος του αγωγού που αποτελεί το στόμιο εκκένωσης από το caisson που τελικά φορτίζει τον στρόβιλο χαμηλού φορτίου
- h_o : το βάθος του νερού (ύψος υδάτινης στήλης από τη ΜΣΘ ως τον πυθμένα),
- h : το στιγμιαίο βάθος νερού μπροστά από την είσοδο του τεχνικού λεργού (caisson)
- B : το πλάτος της δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής
- H_{res} : το βάθος του νερού στην εσωτερική δεξαμενή της κατασκευής (caisson),
- $Thres$: το υψόμετρο του κατωφλίου του ανοίγματος στο μπροστινό μέτωπο της κατασκευής από τον πυθμένα
- Δh_1 : το φορτίο που δημιουργείται από την παροχή υπερχείλισης [$h - Thres$]
- Δh_2 : το διαθέσιμο πιεζομετρικό φορτίο [$H_{res} - h_o$],



Εικόνα 36 : Η μορφή του ενεργειακού τοίχου ή κυματοθραύστη

Ειδικότερα, σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, ο τοίχος έχει ένα άνοιγμα στο μέτωπο προς στη θάλασσα. Το άνοιγμα έχει ένα κατώφλι σε υψόμετρο υψηλότερο από τη μέση στάθμη της θάλασσας (MSL) κατά ένα απόκομμα ίσο με Δh_1 όπου $\Delta h_1 = (h - Thres)$ και $Thres$ το υψόμετρο που αντιστοιχεί στο κατώφλι του μετώπου (στο κάτω όριο του ανοίγματος). Ο κυματοθραύστης έχει πλάτος bb ή "BB" και μπορεί να γεμίσει με νερό που μεταφέρεται από τα κύματα και υπερχειλίζει από (ή υπερπηδά) τη στάθμη όπου βρίσκεται το κατώφλι του ανοίγματος.

Ταυτόχρονα γεμίζει η δεξαμενή του και εκκενώνεται επίσης νερό στην κατάντη πλευρά του κυματοθραύστη (ή κρηπιδότοιχου) προς το λιμένα (ή την παράκτια ζώνη) μέσω ενός ανοίγματος.

Η παροχή υπερχειλίσης Q_{in} (εισερχόμενη παροχή) πάνω από το όριο του κυματοθραύστη προς τη δεξαμενή περιγράφεται από τον τύπο Weir, όπως δίνεται παρακάτω (Koutitas & Savvidis 2008 ; Gravas *et al.* 2012) :

$$Q_{in} = \mu \cdot b \cdot \Delta h_1^{1.5} = DISHC1 \cdot \Delta h_1^{1.5} \quad (\text{όπου } DISHC1 = \mu \cdot b)$$

όπου :

- μ είναι ένας συντελεστής παροχής υπερχειλίσης, κυμαινόμενος μεταξύ 1,6 και 2,3 (εδώ $\mu=1,8$),
- b είναι το πλάτος του μετώπου της κατασκευής (εδώ $b=1$) (όχι το πλάτος στο εσωτερικό του τοίχου) και
- Δh_1 η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στη στάθμη h της επιφάνειας του νερού μπροστά στο μέτωπο του τοίχου (στάθμη της επιφάνειας $h = h_0 + z$ από τον πυθμένα) και το κατώφλι threshold δηλαδή $\Delta h_1 = h - \text{threshold}$

Η παροχή εκροής Q_{out} (εξερχόμενη παροχή) από το εσωτερικό του τοίχου - κυματοθραύστη προς την πλευρά του λιμένα ή της παράκτιας ζώνης περιγράφεται από τη ροή μέσω μίας οπής που δίνει η σχέση Torricelli όπως δίνεται παρακάτω (Koutitas & Savvidis 2008; Gravas *et al.* 2012):

$$Q_{out} = c \cdot A \cdot (2g \cdot \Delta h_2)^{0.5} = DISCH2 (20 \Delta h_2)^{0.5} \quad (\text{όπου } DISCH2 = c \cdot A)$$

όπου :

- c είναι ένας συντελεστής παροχής κυμαινόμενος από 0,6 ως 0,68 (εδώ $c=0,6$)
- A το εμβαδόν της διατομής του αγωγού - ανοίγματος προς το εσωτερικό του λιμένα ή της παράκτιας ζώνης, όπου εδώ το απόκομμα
- Δh_2 δίνεται από τη σχέση $\Delta h_2 = (H_{res} - h_0)$ δηλαδή διαφορά στάθμης του νερού ανάμεσα στην επιφάνεια της εσωτερικής δεξαμενής νερού και τη στάθμη h_0 (το βάθος του νερού της υδάτινης στήλης).

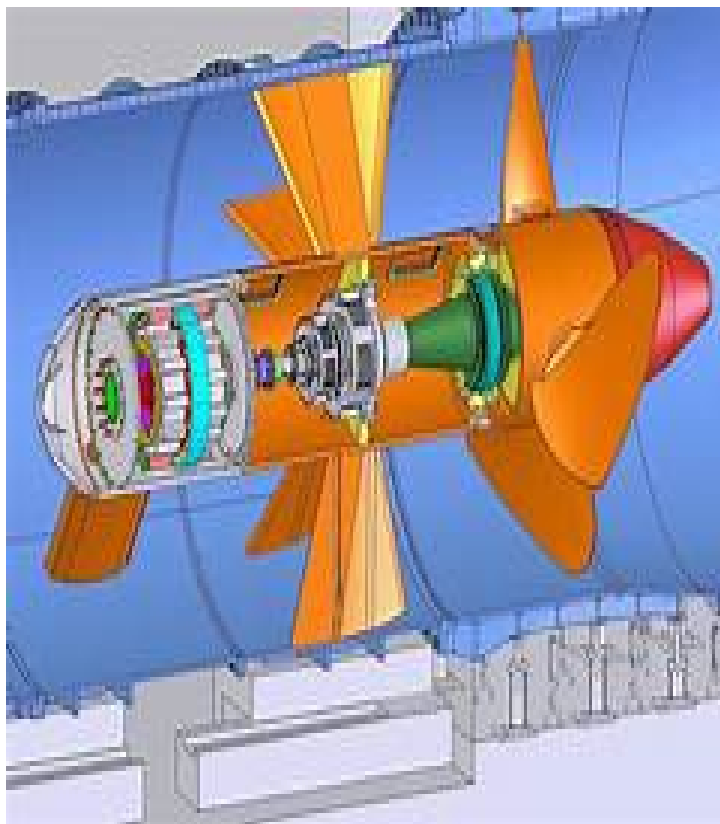
Το μέγεθος H_{res} δηλαδή η στάθμη του νερού στην επιφάνεια της εσωτερικής δεξαμενής νερού υπολογίζεται από τη σχέση :

$$H_{res} = H_{res} + (Q_{in} - Q_{out}) \cdot \Delta t / A$$

όπου :

H_{res} , Q_{in} , Q_{out} και A όπως ορίσθηκαν παραπάνω και Δt το χρονικό βήμα (με $A = b \cdot bb$ με b το πλάτος του μετώπου της κατασκευής και bb το πλάτος του τοίχου)

Βασικός στόχος είναι η μεγιστοποίηση της εκμεταλλεύσιμης μηχανικής ισχύος των κυμάτων που διαδίδονται προς την παράκτια ζώνη και προσπίπτουν στο τεχνικό έργο του ενεργειακού τοίχου - κυματοθραύστη όπου μπορεί να τοποθετηθεί ένας στρόβιλος χαμηλού φορτίου (Εικόνα 37) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από ένα πιεζομετρικό φορτίο της τάξης του 1 m (ή ακόμη και μερικών δεκάδων cm), ανάλογα πάντοτε με το κυματικό κλίμα στην περιοχή.



Εικόνα 37 : Στρόβιλος χαμηλού φορτίου <https://images.search.yahoo.com/search/images?p=mini+hydro+turbine&fr=mcafee&imgurl=https%3A%2F%2Fshiftmagazinenet.files.wordpress.com%2F2015%2F11%2Fmicro-hydro-turgo-turbine.jpg#id=0&iurl=https%3A%2F%2Fshiftmagazinenet.files.wordpress.com%2F2015%2F11%2Fmicro-hydro-turgo-turbine.jpg&action=click>

Τελικά η εκμεταλλεύσιμη κυματική ισχύς P η οποία αφαιρείται από το υγρό και “οδηγείται” προς τον υδροστρόβιλο (τουρμπίνα) δίνεται από την ακόλουθη σχέση (Gravas *et al.* 2012, Λιακόπουλος 2014):

$$P = \rho \cdot g \cdot Q_{out} \cdot H_m \quad (W)$$

όπου

- Q_{out} όπως ορίστηκε παραπάνω,
- $H_m = \Delta h_2$ όπως ορίστηκε παραπάνω ($= H_{res} - h_o$) με τα H_{res} και h_o σε m,
 ρ η πυκνότητα του θαλασσινού νερού με μέση τιμή 1025 kg/m^3 ,
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (οπότε και $\rho \cdot g \approx 10000 \text{ N/m}^3$)

Η ισχύς αυτή σε kW είναι τελικά:

$$P = 10 \cdot Q_{out} \cdot H_m \quad (kW)$$

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την εξέλιξη τόσο του φορτίου όσο και της παροχής εκροής, δηλ. την παραγόμενη ισχύ είναι το ύψος κύματος H_w (m) και η περίοδος T (sec) (ή καλύτερα το μήκος κύματος L καθώς μπορεί να εξαρτάται από το βάθος νερού), το ύψος που βρίσκεται το κατώφλι του ανοίγματος, το πλάτος του τοίχου bb ή BB (m), το εμβαδόν της διατομής του αγωγού που απάγει το νερό προς τη λιμενολεκάνη ή γενικά στην περιοχή πίσω από τον τοίχο και η τουρμπίνα - στρόβιλος που περιγράφεται από την παράμετρο $DISCH2$ (m^2) Καθοριστικό είναι να ρυθμιστούν αυτές οι παράμετροι προκειμένου να διατηρηθεί η όσο το δυνατό πιο συνεχής ροή από το άνοιγμα στο μπροστινό μέτωπο του τοίχου προς τον στρόβιλο (στο πίσω μέρος του τοίχου) ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τη ροή επιστροφής από τον τοίχο/κυματοθραύστη στη θάλασσα (υπερχείλιση), όταν η δεξαμενή είναι πλήρης.

Η ισχύς βέβαια που αποδίδεται προς τελική μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια είναι μειωμένη λόγω των απωλειών ενέργειας εντός του υδροστροβίλου και κατά συνέπεια η τελική ισχύς θα είναι:

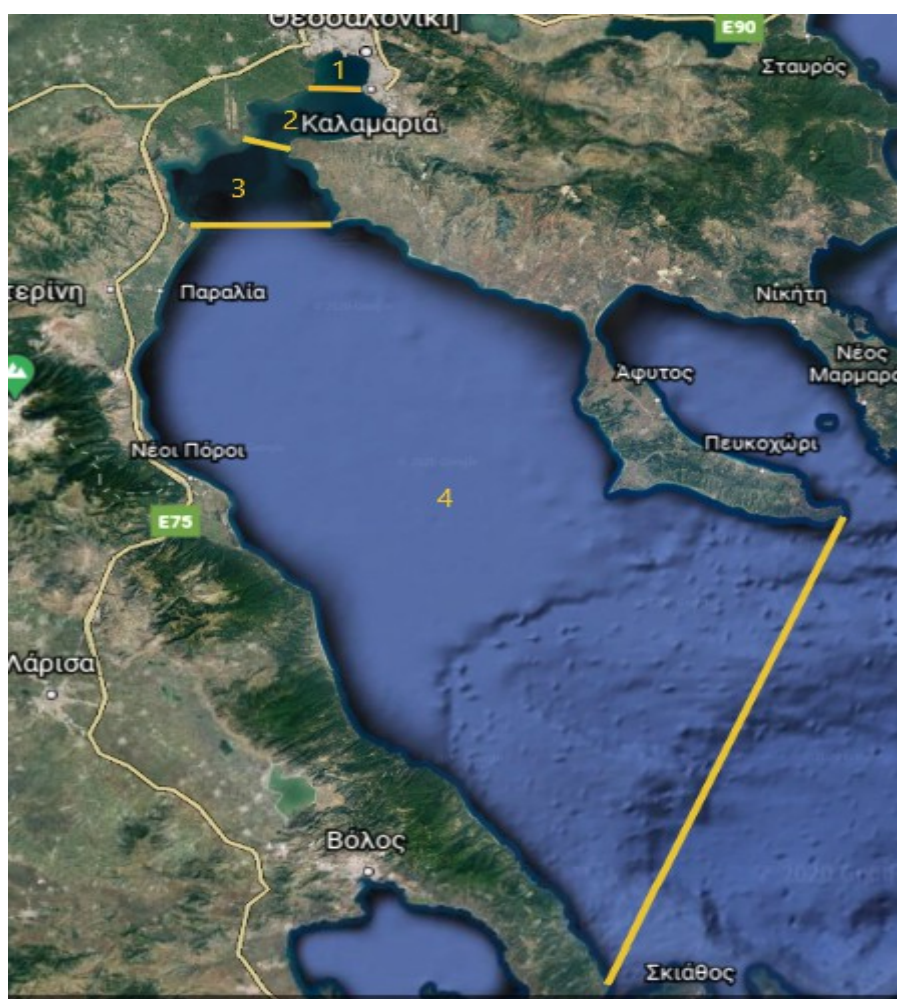
$$P_{\text{τελ}} = n \cdot P$$

όπου n ο βαθμός απόδοσης του στροβίλου

2.5 Ευρύτερη γεωγραφική περιοχή της έρευνας

Η παραπάνω μεθοδολογία όπως αναφέρθηκε στην τελευταία ενότητα του προηγούμενου κεφαλαίου για τον στόχο της εργασίας, εφαρμόστηκε σε δύο περιοχές του Θερμαϊκού Κόλπου. Ο Θερμαϊκός είναι μία περίπτωση ημίκλειστης θαλάσσιας λεκάνης, με μέγιστο βάθος περίπου 100 m. Εκτείνεται από την πόλη της Θεσσαλονίκης μέχρι την ιδεατή ευθεία που ενώνει τα ακρωτήρια Ποσειδί και Πλαταμώννα. Η γραμμή αυτή, μήκους 55 Km αποτελεί το άνοιγμα επικοινωνίας του Θερμαϊκού με το Βόρειο Αιγαίο. Από Βορρά προς Νότο(Εικόνα 38) διακρίνουμε (Μαμτσαδέλη 2020) :

- Τον όρμο της Θεσσαλονίκης (1), όπου έχει κτιστεί η πόλη της Θεσσαλονίκης και εκτείνεται μέχρι την ιδεατή ευθεία Ακρωτήριο Παλιομάνα – Ακρωτήριο Μικρό Έμβολο και είναι μέσου βάθους 17 m και έκτασης 27 Km².
- Τον Κόλπο της Θεσσαλονίκης (2), ο οποίος συνορεύει με τον όρμο και έχει όρια τα ακρωτήρια Μεγάλο Έμβολο και Βαρδάρη, στις εκβολές του Αξιού μέσου βάθους 25,5m και έκτασης 136 Km².
- Τον κεντρικό Θερμαϊκό Κόλπο(3), με όρια τα ακρωτήρια Επανομής – Αθερίδας ή Αχεράδας, μέσου βάθους 31 m και έκτασης 310 Km².
- Σε ότι αφορά στον Θερμαϊκό Κόλπο, αυτός ορίζεται περιγραφικά στην Έκδοση της Υδρογραφικής Υπηρεσίας (ΥΥ) «ΠΛΟΗΓΟΣ ΤΟΜΟΣ Γ'», με νοτιοανατολικό όριο την γραμμή που ενώνει την Άκρα Σηπιά με την Άκρα Παλιούρι(4).



Εικόνα 38 : Η περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου με τις υποπεριοχές του

Σύντομη περιγραφή για την κάθε μία από αυτές τις περιοχές εφαρμογής δίνεται στις ενότητες που ακολουθούν.

Περιοχή Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης

Ο Δήμος Μεθώνης βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Ν. Πιερίας σε απόσταση 23 χιλιομέτρων από την πρωτεύουσα του νομού Κατερίνη. Ο Δήμος βρίσκεται σε πεδινή περιοχή και βρέχεται από το Θερμαϊκό Κόλπο(Εικόνα 39)(Υδροακτοτεχνική – Χριστόπουλος και Συνεργάτες, 2001).



Εικόνα 39 : Η περιοχή της Νέας Αγαθούπολης - Μεθώνης μέσω της εφαρμογής Google Earth

Γεωτεχνικές συνθήκες. Για τις γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής λαμβάνονται υπόψη η έρευνα και η αξιολόγηση, που έγινε στα πλαίσια της μελέτης <<Κατασκευή αλιευτικού καταφυγίου και έργα προστασίας ακτών Ν. Αγαθούπολης Όρμου Μεθώνης. Γεωτεχνική έρευνα και μελέτης αξιολόγησης >>, που εκπονήθηκε από τη ΓΕΩΓΝΩΣΗ ΑΕ, το Νοέμβριο του 2001.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης, που βασίσθηκε σε γεωτρήσεις που έγιναν παλαιότερα καθώς και σε πεντρομετρήσεις στην περιοχή του έργου υπάρχουν τα ακόλουθα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά :

Το υπέδαφος κατά μήκος του κρηπιδότοιχου συνίσταται από πολύ μαλακά υλικά μέχρι βάθους 3,3 μέτρων περίπου , ενώ βαθύτερα και μέχρι το βάθος των 6,0 μέτρων βρίσκονται ιλυοαμμώδη γεωυλικά. Βαθύτερα των 6,0 μέτρων συναντώνται αργιλώδη στρώματα ικανοποιητικής αντοχής και περιορισμένης συμπιεστότητας.

Υφιστάμενα Έργα –Υποδομές. Υπάρχουν δίκτυα ύδρευσης, οδικής επικοινωνίας, ηλεκτρισμού και τηλεπικοινωνιών, ενώ δεν υπάρχει δίκτυο αποχέτευσης. Πιο συγκεκριμένα :

- Η οδική πρόσβαση στην ακτή γίνεται μέσω του παραλιακού δρόμου. Αυτός ο δρόμος μέσω του κοινοτικού οδικού δικτύου συνδέεται με την εθνική οδό Θεσσαλονίκης - Αθηνών.
- Η ηλεκτροδότηση της παραλιακής ζώνης γενικότερα γίνεται από το δίκτυο της Δ.Ε.Η, ενώ η επικοινωνία εξασφαλίζεται από το δίκτυο του Ο.Τ.Ε.

Μελέτη κατασκευής παράκτιου έργου στην ακτή της Νέας Αγαθούπολης. Το 2001 εκπονήθηκε μελέτη για την κατασκευή κρηπιδοτοίχου προστασίας της παράκτιας ζώνης. Σκοπός του έργου ήταν η αύξηση των βαθών στην παράκτια ζώνη της Αγαθούπολης που θα έχει σαν κύριο στόχο την εξάλειψη της νεκρής βιομάζας της θαλάσσιας χλωρίδας και τη βελτίωση της ποιότητας του νερού (Υδροακτοτεχνική – Χριστόπουλος και Συνεργάτες, 2001).

Τεχνική περιγραφή των έργων. Το προτεινόμενο έργο συνίσταται από :

1. Τη βυθοκόρηση στην παραλιακή ζώνη της Αγαθούπολης

Η βυθοκόρηση θα γίνεται με μηχανική ή υδραυλική βυθοκόρο που θα αφαιρέσει υλικό πυθμένα σε έκταση 10.1175,00 m² κατά μήκος της ακτής της Αγαθούπολης.

2. Τον κρηπιδότοιχο προστασίας ακτών

Αυτός θα κατασκευαστεί από την περιοχή της εκβολής του ρέματος στη διασταύρωση του παραλιακού δρόμου με την είσοδο στο Δημοτικό Διαμέρισμα Νέας Αγαθούπολης ως την περιοχή των γηπέδων σε μήκος 400 μέτρων. Ο κρηπιδότοιχος από χυτό σκυρόδεμα θα έχει ύψος 2,50 μέτρων και πλάτος 1,3 μέτρων με βάση τη λιθορριπή πάχους 3 μέτρων.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε πως αν και έχει πραγματοποιηθεί η μελέτη κατασκευής του κρηπιδότοιχου προστασίας των ακτών στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης-Μεθώνης, το έργο δεν έχει υλοποιηθεί μέχρι σήμερα. Η πρόταση που προτείνεται στη παρούσα διπλωματική εργασία είναι η διεύρυνση της υφιστάμενης μελέτης του τοίχου προστασίας με μία νέα πρόσθετη κατασκευή (σε συνέχεια της υφιστάμενης προηγούμενης κατασκευής) βόρεια - βορειοανατολικά του τοίχου της υφιστάμενης μελέτης η οποία έχει τη δυνατότητα αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας στην περιοχή.

Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό με την κατασκευή μίας νέας μορφής τοίχου τύπου caisson (δηλαδή ανοιχτής κατασκευής στο εσωτερικό του τοίχου, με πλήρωση με νερό) και κατασκευή – τοποθέτηση ενός στελέχους στο μέτωπο του κρηπιδότοιχου το οποίο θα έχει τη δυνατότητα μετακίνησης έτσι ώστε το άνοιγμα στο μέτωπο του τοίχου να κλείνει ή να ανοίγει ανάλογα με την υφιστάμενη κυματική κατάσταση στην περιοχή δηλαδή είτε να ανακλά (όπως άλλωστε είναι και ο πρωταρχικός στόχος της αρχικής μελέτης εκπόνησης του έργου) είτε να απορροφά την ενέργεια των κυματισμών προς αξιοποίηση της ενέργεια στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης.

Περιοχή Ποσειδίου

Η Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας είναι η μεγαλύτερη σε έκταση και δεύτερη σε πληθυσμό περιφέρεια της Ελλάδας. Διοικητικά αποτελεί δευτεροβάθμιο οργανισμό τοπικής αυτοδιοίκησης και γεωγραφικά καλύπτει το κεντρικό κομμάτι της Μακεδονίας, με εξαίρεση τη χερσόνησο του Αγίου Όρους που διέπεται από ειδικό καθεστώς. Η περιφέρεια καταλαμβάνει έκταση 18.811 τ.χμ. και ο πληθυσμός της ανέρχεται σε 1.874.214 κατοίκους <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>.

Ο Δήμος Κασσάνδρας του προγράμματος Καποδίστριας ήταν δήμος που λειτούργησε την περίοδο 1999 - 2010. Συστάθηκε με το πρόγραμμα Καποδίστριας από τη συνένωση παλαιότερων κοινοτήτων της περιοχής, που αποτέλεσαν στη συνέχεια τα δημοτικά διαμερίσματα του δήμου. Πλέον αποτελείται από τις δημοτικές κοινότητες Κασσανδρείας, Νέας Φώκαιας και τις Τοπικές Κοινότητες Αγίας Παρασκευής, Άφυτου, Καλάνδρας, Καλλιθέας, Κασσανδρινού, Κρυσσηγής, Νέας Σκιώνης, Παλιουριού, Πευκοχωρίου, Πολύχρονου, Φούρκας, Χανιώτης και τους Οικισμούς Λουτρών, Μόλα Καλύβας, Ποσειδίου, Σκάλα Φούρκας και Σίβηρης.

Ο Δήμος καταλαμβάνει έκταση 333,68 τ.χλμ, και βρέχεται από τις τρεις του πλευρές από θάλασσα, ενώ από βορρά συνορεύει με τον Δήμο Νέας Προποντίδας <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>.

Ο Δήμος Κασσάνδρας προέκυψε από τον Ν.3852/2010: << Σχέδιο Καλλικράτης >>, με συνένωση των παλαιών (Καποδιστριακών) Δήμων Κασσάνδρας και Παλλήνης, καλύπτει δε το σύνολο της γεωγραφικής έκτασης της χερσονήσου Κασσάνδρας της Περιφερειακής Ενότητας Χαλκιδικής, της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>.

Έδρα του Δήμου ορίστηκε η Κασσάνδρεια. Η Κασσάνδρεια (και Κασσανδρεία) είναι κωμόπολη και έδρα του Δήμου Κασσάνδρας στην Περιφερειακή Ενότητα Χαλκιδικής. Αποτελεί ταυτόχρονα το οικονομικό, πνευματικό και πολιτιστικό κέντρο της περιοχής. Ο πληθυσμός της δημοτικής ενότητας Κασσάνδρας είναι 10.053 άνθρωποι με βάση τα στοιχεία του 2011 και της Παλλήνης 5.404. Η τοπική κοινότητα Καλάνδρας που ανήκει το Ποσειδί συγκεντρώνει 674 κατοίκους <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>.

Η ιστορία του Ποσειδίου ξεκινάει το 1920 με την ίδρυση του οικισμού << Φάρος Καλάνδρας>>. Η ονομασία του οικισμού καταργήθηκε τελικώς το 1928 και έπειτα από το 1971 αναγνωρίζεται για πρώτη φορά ως οικισμός με την ονομασία Ποσειδί, μαζί με άλλους οικισμούς της περιοχής, στην κοινότητα Καλάνδρας του νομού Χαλκιδικής. Το 1981 καταργείται ο οικισμός Αλμωπά (που χωροθετείται νότια του Ποσειδίου) και ενσωματώνεται στον οικισμό Ποσειδί. Το 1997 με το σχέδιο Καποδίστριας, ο οικισμός Ποσειδί αποσπάται από την κοινότητα Καλάνδρας, η οποία καταργείται, και εντάσσεται ως οικισμός του τοπικού διαμερίσματος Καλάνδρας στο δήμο Κασσάνδρας. Με το σχέδιο Καλλικράτης το 2010 η διοικητική υπαγωγή του Ποσειδίου δε δέχεται κάποια μεταβολή <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>.

Στην παρούσα κατάσταση οι δημοτικές ενότητες πλησίον της περιοχής του Ποσειδίου εμφανίζουν γενικά ρυθμούς αύξησης του πληθυσμού και κοινωνικο-οικονομικές τάσεις, ανάλογες με τη κωμόπολη της Κασσάνδρας. Ο οικισμός του Ποσειδίου σύμφωνα με την απογραφή του 2011 διαθέτει 84 μόνιμους κατοίκους και η Μπουλαμάτσια, παραλιακός οικισμός ανατολικά του Ποσειδίου, 5 μόνιμους κατοίκους ενώ ο οικισμός Φούρκας 565 κατοίκους (η τοπική κοινότητα Φούρκας συγκεντρώνει 1.110 κατοίκους). Γενικά παρατηρείται ότι οι δήμοι της χερσονήσους Χαλκιδικής παρουσιάζουν αύξηση του πληθυσμού τους, γεγονός το οποίο οφείλεται κυρίως στη διαρκώς αναπτυσσόμενη τουριστική δραστηριότητα <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>.

Χαρακτηριστική είναι η περιμετρική οικιστική ανάπτυξη, όπου βρίσκονται τα περισσότερα χωριά του και πολυάριθμες, εύκολα προσπελάσιμες, ακρογιαλιές που πλαισιώνουν πανέμορφα πευκοδάση που καλύπτουν όλη την ημιορεινή περιοχή. Η υφιστάμενη πληθυσμιακή κατάσταση του Δήμου Κασσάνδρας σύμφωνα με την απογραφή του 2011 παρουσιάζει πληθυσμό 15.457 κατοίκους.

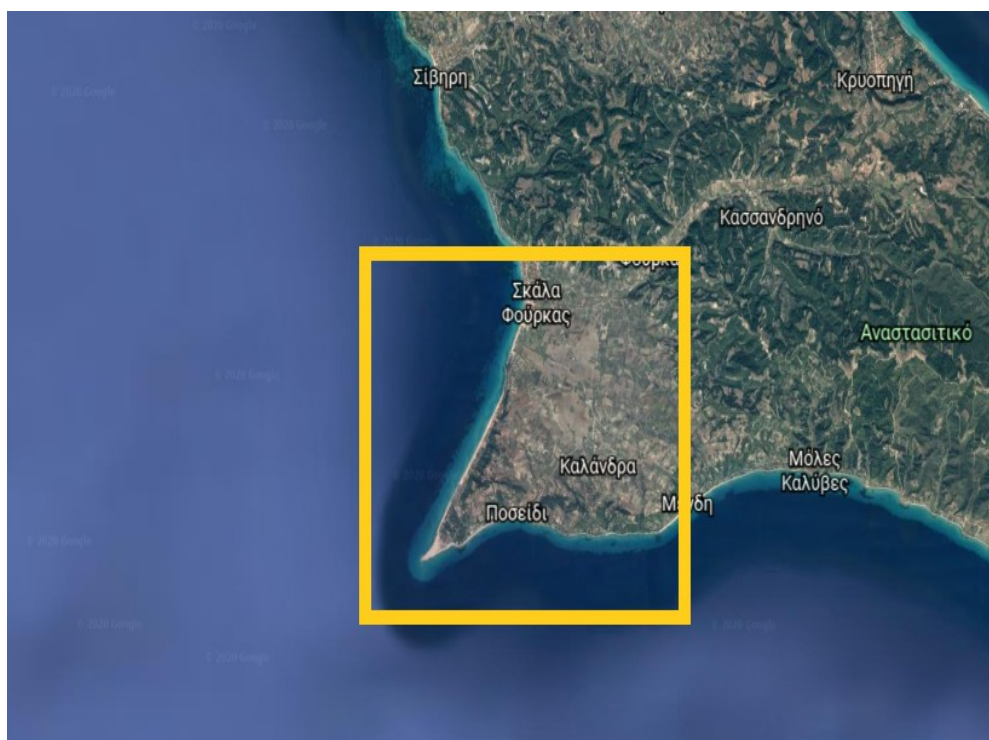
Ο Δήμος χαρακτηρίζεται κυρίως από πεδινές και ημιορεινές εκτάσεις <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>.

Γεωλογία – Μορφολογία εδάφους. Η παράκτια ζώνη του Ποσειδίου δημιουργήθηκε από προσχώσεις παρουσιάζοντας μεσόκοκκες άμμους στην ενδοχώρα και λεπτόκοκκες άμμους, κυρίως στο παραλιακό μέτωπο. Η μορφολογία της περιοχής ποικίλλει: Μεταβάλλεται από οριζόντια και επίπεδη χωρίς ιδιαίτερες κλίσεις, μόνο όσον αφορά στην έκταση δυτικά της κοινόχρηστης οδού Καλάνδρας – Αιγαιοπελαγίτικα. Ανατολικά της προαναφερθείσης οδού έχει ιδιαίτερα έντονη κλίση που σε ορισμένα σημεία η υψομετρική του διαφορά από το επίπεδο της οδού ξεπερνάει ακόμη και τα 10 m. Η επιφάνεια των υπόλοιπων εκτάσεων είναι πρακτικά οριζόντια και επίπεδη χωρίς ιδιαίτερες κλίσεις <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>.

Οι παράλιες μεταβολές αποτελούν εν δυνάμει γεωλογικό κίνδυνο. Για να προσδιοριστούν θα πρέπει να διερευνηθούν οι φυσικές συνιστώσες (όπως το κυματικό καθεστώς, η παράκτια στερεομεταφορά, ο τεκτονισμός, το δυναμικό των ανέμων) αλλά και η ανθρώπινη παρέμβαση που επηρεάζουν το ιζηματολογικό ισοζύγιο, το οποίο σχετίζεται με την εξέλιξη της ακτογραμμής. Χαρακτηριστικό για το ακρωτήριο του Ποσειδίου, σχετικά με τα θαλάσσια ρεύματα που κινούνται κατά μήκος της ακτής, είναι ότι μακροπρόθεσμα μπορούν να αλλάξουν τη μορφολογία της ακτής <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>.

Η άμμος που αποσπάται από κάποιο σημείο της ακτής μπορεί να αποτεθεί λίγο αργότερα σε κάποιο άλλο σημείο, δημιουργώντας τροποποιήσεις στο φυσικό βραχίονα με φορά και διεύθυνση που καθορίζεται από τη διεύθυνση του ρεύματος. Στην περίπτωση του Ποσειδίου τα θαλάσσια ρεύματα έχουν δημιουργήσει την υφιστάμενη μορφή σχηματισμού αμμώδους τόξου. Η παράμετρος των παράλιων μεταβολών θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη, αν πρόκειται να προγραμματιστούν μηχανικά ή τουριστικά έργα <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 40) διακρίνεται η περιοχή του Ποσειδίου μέσω της εφαρμογής Google Earth.



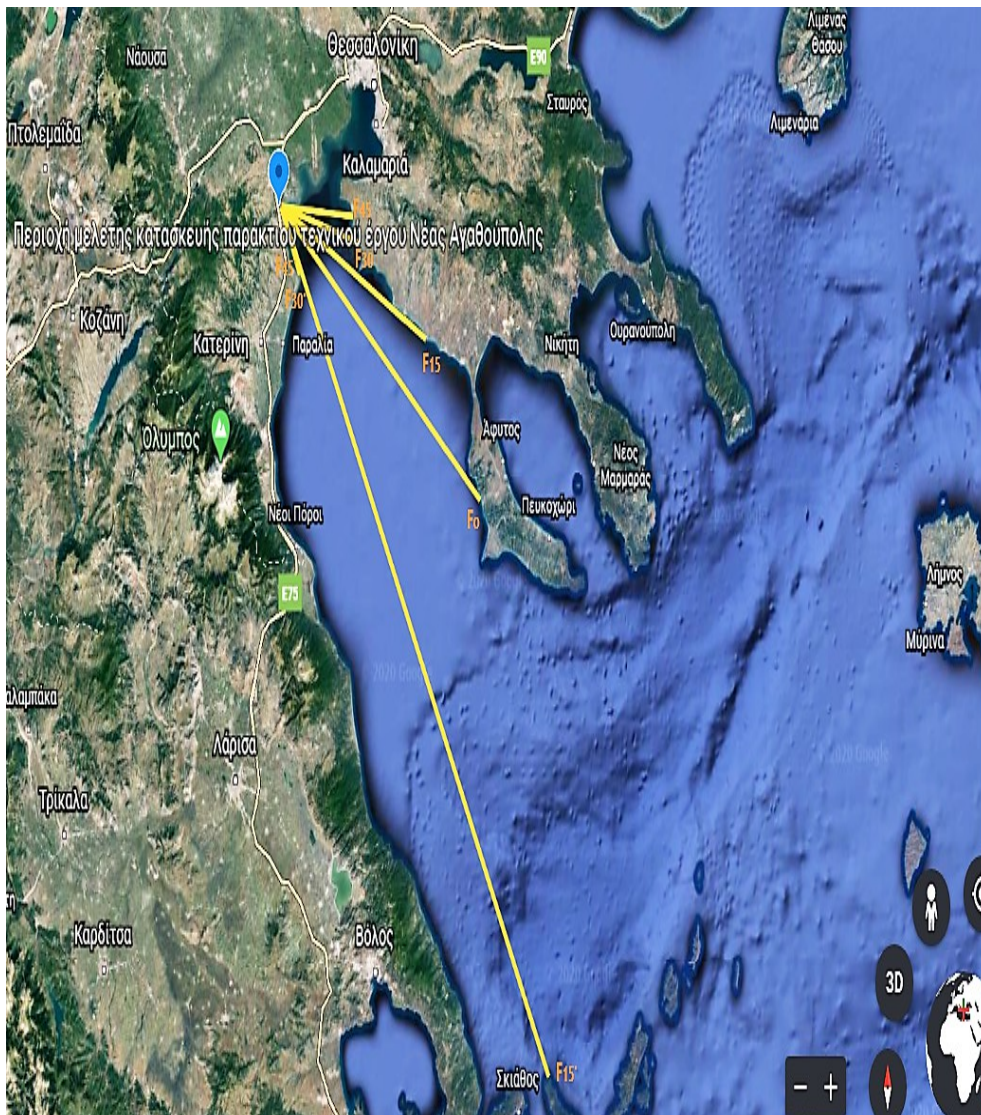
Εικόνα 40 : Η περιοχή του Ποσειδίου μέσω της εφαρμογής Google Earth

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου ανεμογενών κυματισμών

Περιοχή Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης

Έπειτα από τη συλλογή και επεξεργασία και την εφαρμογή την πρόγνωσης των ανεμογενών κυματισμών παρατίθενται παρακάτω τα αποτελέσματα των ανεμολογικών στοιχείων. Όσον αφορά την περιοχή της Αγαθούπολης στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 41) παρατίθεται σχεδιαστικά η διαδικασία εύρεσης του αποτελεσματικού μήκους ανάπτυξης των κυματισμών για την εφαρμογή της πρόγνωσης ανεμογενών κυματισμών.



Εικόνα 41: Εφαρμογή μεθόδου πρόγνωσης ανεμογενών κυματισμών στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης

Τα μήκη ανάπτυξης έχουν ως εξής :

$$F_{45} = 19 \text{ km}$$

$$F_{30} = 23,5 \text{ km}$$

$$F_{15} = 40 \text{ km}$$

$$F_0 = 82 \text{ Km}$$

$$F_{15}' = 163 \text{ km}$$

$$F_{30}' = 11 \text{ km}$$

$$F_{45}' = 1,5 \text{ km}$$

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία το αποτελεσματικό μήκος ανάπτυξης για την περιοχή της Αγαθούπολης υπολογίζεται σε $F_{\text{eff}} = 50,43 \text{ km}$ ή $F_{\text{eff}} = 50.433 \text{ m}$.

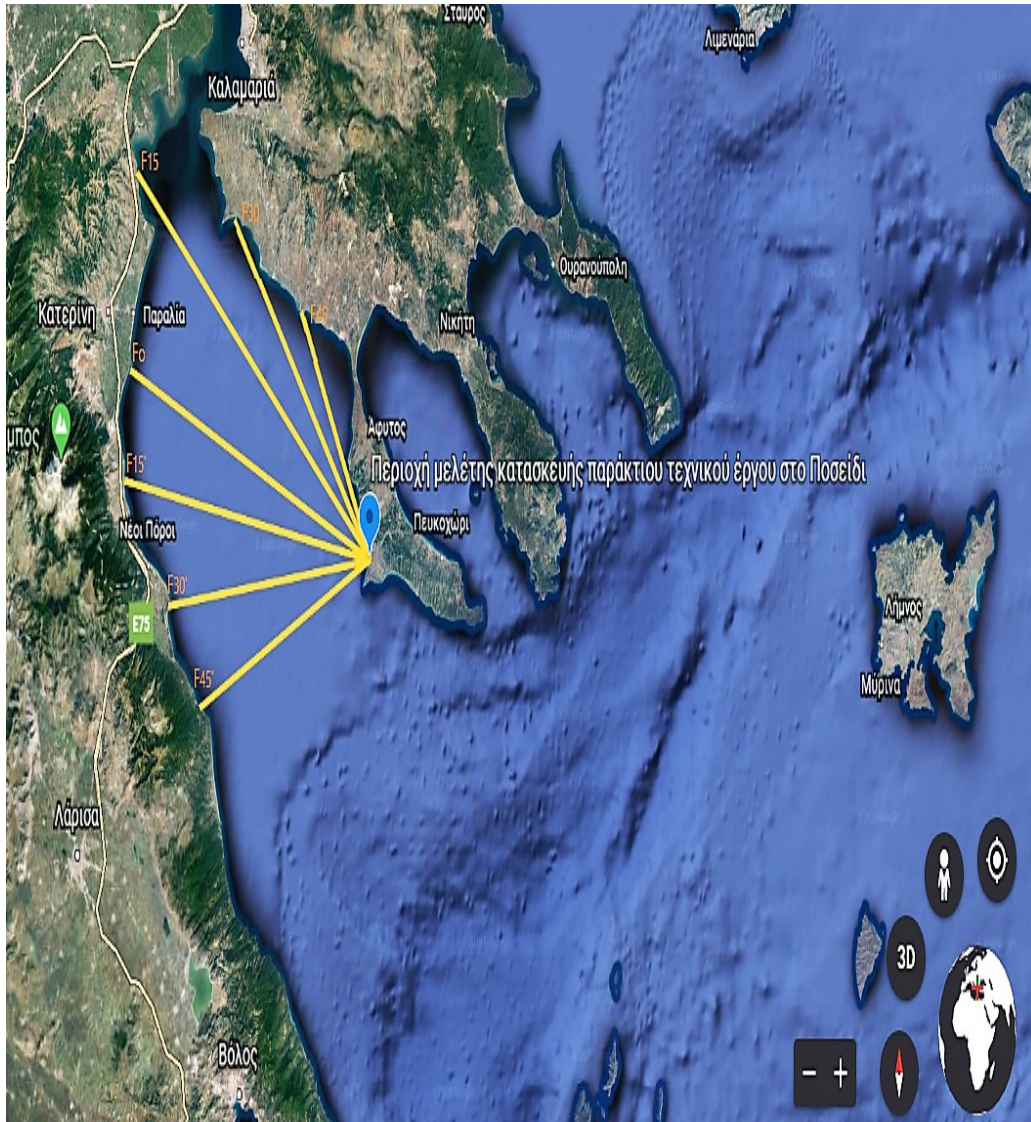
Γνωρίζοντας ότι το U_{10} δηλαδή η ταχύτητα της πνοής του ανέμου είναι $U_{10} = 4,3668 \text{ m/sec}$ και το t_D δηλαδή η μέση διάρκεια πνοής του ανέμου είναι $t_D = 3$ ώρες (δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων), υπολογίζουμε ακολούθως την μη γραμμική μορφή της σχέσης ταχύτητας του ανέμου και διατμητικής τάσης που ασκείται στην επιφάνεια της θάλασσας η οποία επιβάλλει την αντικατάσταση της παραμέτρου U_{10} με τη ρυθμισμένη ταχύτητα του ανέμου $U_A = 0,71 \cdot U_{10}^{1,23}$, οπότε $U_A = 4,351 \text{ m/sec}$.

Εφόσον $g \cdot F/U^2 > 22800$, εφαρμόζουμε την μέθοδο **Pierson-Moskovitz** ή **PM** (Κυματισμοί πλήρως ανεπτυγμένοι – PMS).

Ακολούθως υπολογίζονται το σημαντικό ύψος H του κύματος στα ανοιχτά μπροστά στο μέτωπο της κατασκευής καθώς και η περίοδος του κύματος T . Έπειτα από τους κατάλληλους υπολογισμούς προκύπτει ότι : $H = 0,46\text{m}$ και $T = 3,6 \text{ sec}$. Τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή του μοντέλου και την εξαγωγή των απαραίτητων αποτελεσμάτων.

Περιοχή Ποσειδίου

Έπειτα από τη συλλογή και επεξεργασία και την εφαρμογή την πρόγνωσης των ανεμογενών κυματισμών παρατίθενται παρακάτω τα αποτελέσματα των ανεμολογικών στοιχείων. Όσον αφορά την περιοχή του Ποσειδίου στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 42) παρατίθεται σχεδιαστικά η εφαρμογή της πρόγνωσης ανεμογενών κυματισμών.



**Εικόνα 42 : Εφαρμογή μεθόδου πρόγνωσης ανεμογενών κυματισμών
στη περιοχή του Ποσειδίου**

Τα μήκη ανάπτυξης έχουν ως εξής:

$$F_{45} = 50 \text{ km}$$

$$F_{30} = 59 \text{ km}$$

$$F_{15} = 82 \text{ km}$$

$$F_0 = 73 \text{ Km}$$

$$F_{15}' = 72 \text{ km}$$

$$F_{30}' = 61,0 \text{ km}$$

$$F_{45}' = 55,50 \text{ km}$$

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία το αποτελεσματικό μήκος ανάπτυξης για την περιοχή του Ποσειδίου υπολογίζεται σε $F_{eff} = 57,60 \text{ km}$ ή $F_{eff} = 57.600 \text{ m}$

Γνωρίζοντας ότι το U_{10} δηλαδή η ταχύτητα της πνοής του ανέμου είναι $U_{10} = 4,923 \text{ m/sec}$ και το t_D δηλαδή η μέση διάρκεια πνοής του ανέμου είναι $t_D = 3$ ώρες (δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων), υπολογίζουμε ακολούθως την μη γραμμική μορφή της σχέσης ταχύτητας του ανέμου και διατμητικής τάσης που ασκείται στην επιφάνεια της θάλασσας η οποία επιβάλλει την αντικατάσταση της παραμέτρου U_{10} με τη ρυθμισμένη ταχύτητα του ανέμου $U_A = 0,71 \cdot U_{10}^{1,23}$, οπότε $U_A = 5,043 \text{ m/sec}$.

Εφόσον $g \cdot F/U^2 < 22800$ εφαρμόζουμε την μέθοδο **JONSWAP** (Κυματισμοί υπό περιορισμό ανάπτυξης).

Ακολούθως υπολογίζονται το σημαντικό ύψος H του κύματος στα ανοιχτά μπροστά στο μέτωπο της κατασκευής καθώς και η περίοδος του κύματος T . Έπειτα από τους κατάλληλους υπολογισμούς προκύπτει ότι : $H = 0,62 \text{ m}$ και $T = 3,6 \text{ sec}$. Τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή του μοντέλου και την εξαγωγή των απαραίτητων αποτελεσμάτων.

3.2 Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου

Περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης. Τα δεδομένα βάσει των οποίων έγιναν οι αριθμητικές προσομοιώσεις για κατασκευή τοίχου στη περιοχή της Νέας Αγαθούπολης - Μεθώνης δίνονται παρακάτω:

$$\Delta t = 1 \text{ sec}$$

$$\Delta x = 2 \text{ m}$$

$$h_0 = 2 \text{ m}$$

$$T = 3,6 \text{ sec}$$

$$H = 0,47 \text{ m } (\alpha = 0,235)$$

$$im = 200 \text{ κελιά (χωρικά βήματα)}$$

$$nm = 6000 \text{ (χρονικά βήματα)}$$

$$Thres = 2,15 \text{ m}$$

$$disch1 = 1,8 \text{ m}^2$$

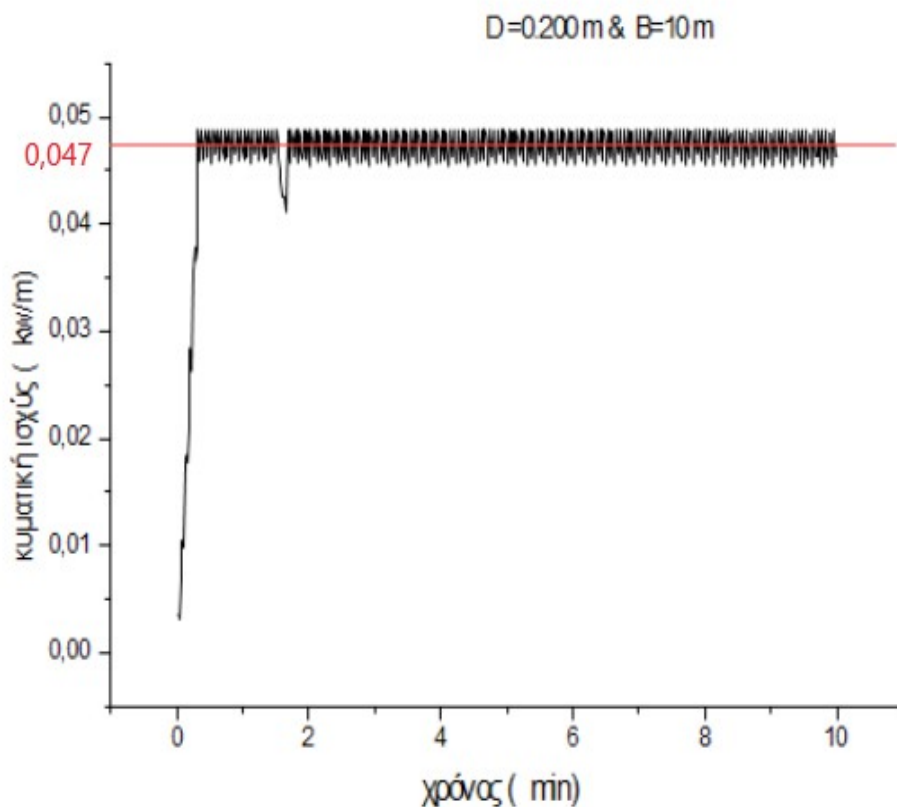
$$D = 0,2 \text{ m } \rightarrow disch2 = \pi D^2/4$$

$$B = 10 \text{ m ή } 5 \text{ m}$$

Με κόκκινο είναι οι τιμές των κυματικών παραμέτρων που προέκυψαν από την εφαρμογή πρόγνωσης των κυματισμών και χρησιμοποιούνται ως δεδομένα για την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου.

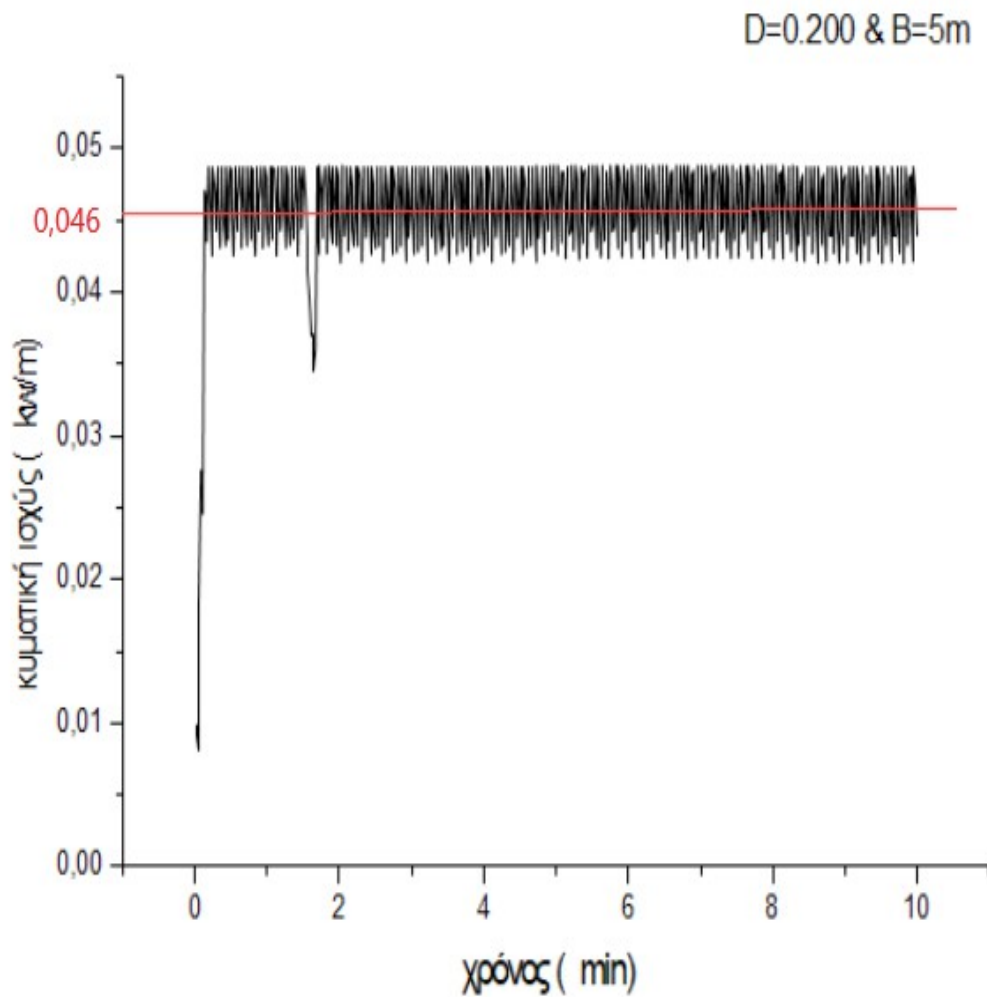
Επισημαίνεται ότι από αλληπάλληλες δοκιμές βρέθηκε ότι η βέλτιστη διάμετρος του αγωγού για την απόδοση της μεγαλύτερης ισχύος ήταν 200 mm. Επίσης για $D = 0,2$ m έγιναν δοκιμές για πλάτος του τοίχου 10 m και 5 m.

Στα παρακάτω Γραφήματα (Εικόνα 43, Εικόνα 44) διακρίνονται τα αποτελέσματα της διακύμανσης της κυματικής ισχύος (KW/m) σε σχέση με τον χρόνο (sec) για τη περιοχή της Νέας Αγαθούπολης - Μεθώνης.



Εικόνα 43 : Γραφική αναπαράσταση της διακύμανσης της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για $D_0 = 0,200m$, $B = 10m$

Στο παραπάνω γράφημα διακρίνουμε τη διακύμανση της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για διάμετρο εκκένωσης $D_o = 0,200\text{m}$ από το Caisson που τοπικά φορτίζει το στρόβιλο χαμηλού φορτίου και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 10\text{m}$. Με τη κόκκινη γραμμή διακρίνεται η αντιπροσωπευτική (μέση τιμή) της κυματικής ισχύος, ίση με $P = 0,047 \text{ kW/m}$.



Εικόνα 44: Γραφική αναπαράσταση της διακύμανσης της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για $D_o = 0,200\text{m}$, $B = 5\text{m}$

Στο παραπάνω γράφημα διακρίνουμε τη διακύμανση της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για διάμετρο εκκένωσης $D_0 = 0,200\text{m}$ από το Caisson που τοπικά φορτίζει το στρόβιλο χαμηλού φορτίου και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 5\text{m}$. Με τη κόκκινη γραμμή διακρίνεται η αντιπροσωπευτική (μέση τιμή) της κυματικής ισχύος, ίση με $P = 0,046\text{ kW/m}$.

Περιοχή του Ποσειδίου. Τα δεδομένα βάσει των οποίων έγιναν οι αριθμητικές προσομοιώσεις για κατασκευή τοίχου στην περιοχή του Ποσειδίου δίνονται παρακάτω:

$$\Delta t = 1 \text{ sec}$$

$$\Delta x = 2 \text{ m}$$

$$h_0 = 2 \text{ m}$$

$$T = 3,6 \text{ sec}$$

$$H = 0,62 \text{ m } (\alpha = 0,31 \text{ m})$$

$$im = 200 \text{ κελιά (χωρικά βήματα)}$$

$$nm = 6000 \text{ (χρονικά βήματα)}$$

$$Thres = 2,15 \text{ m}$$

$$disch1 = 1,8 \text{ m}^2$$

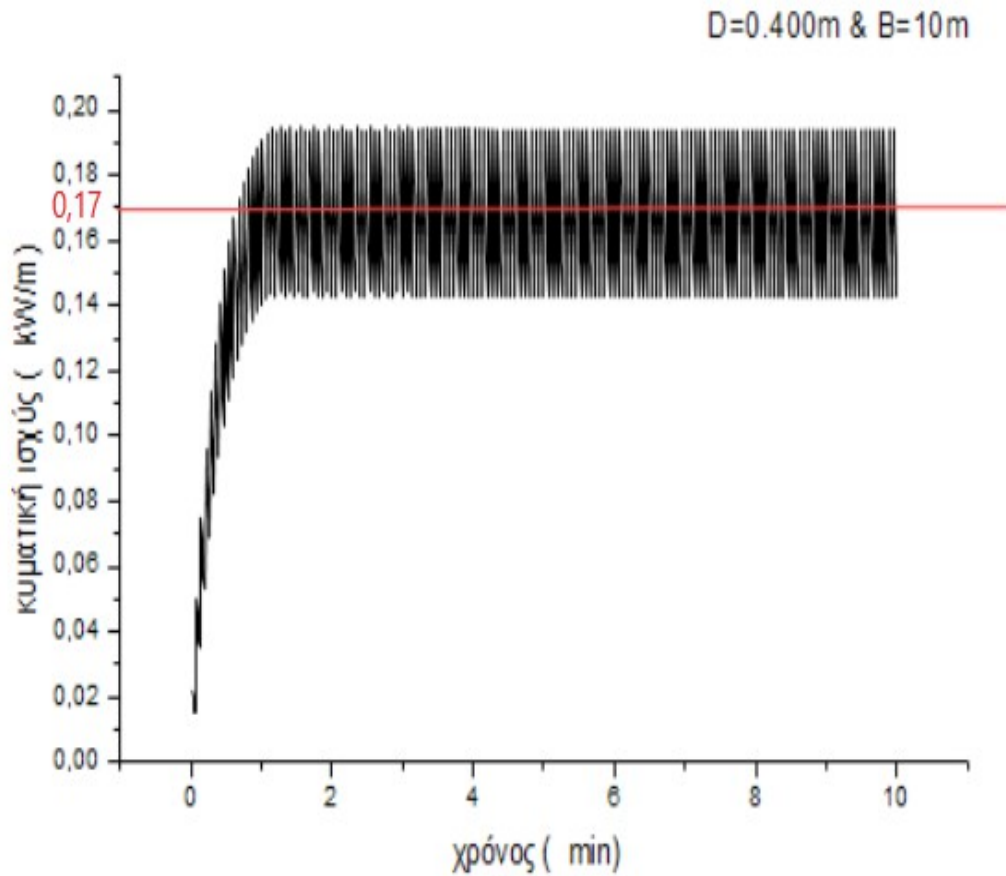
$$D = 0,4 \text{ m} \rightarrow disch2 = \pi D^2 / 4$$

$$B = 10 \text{ m} / 5 \text{ m}$$

Με κόκκινο είναι οι τιμές των κυματικών παραμέτρων που προέκυψαν από την εφαρμογή πρόγνωσης των κυματισμών και χρησιμοποιούνται ως δεδομένα για την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου.

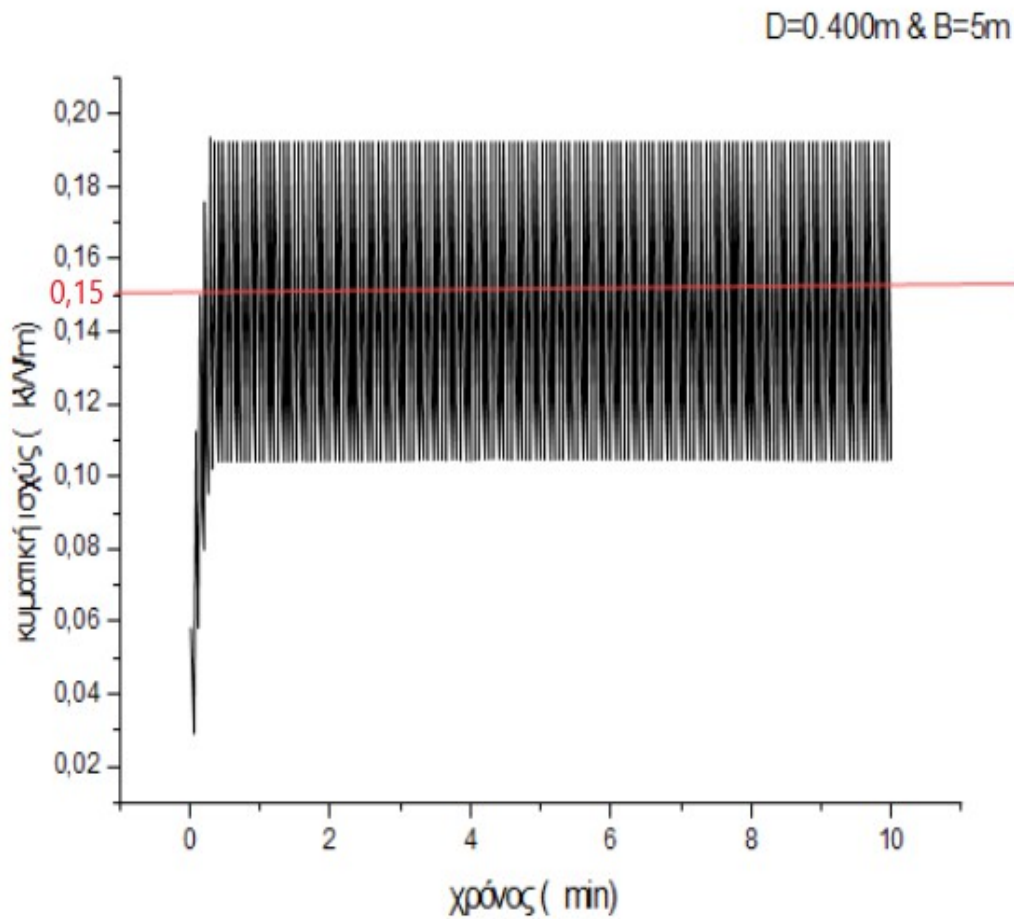
Επισημαίνεται επίσης ότι από αλληπάλληλες δοκιμές βρέθηκε ότι η βέλτιστη διάμετρος του αγωγού για την απόδοση της μεγαλύτερης ισχύος ήταν 400 mm. Επίσης για $D = 0,4 \text{ m}$ έγιναν δοκιμές για πλάτος του τοίχου 10 m και 5 m.

Στα παρακάτω Γραφήματα (Εικόνα 45 , Εικόνα 46) διακρίνονται τα αποτελέσματα της διακύμανσης της κυματικής ισχύος (KW/m) σε σχέση με τον χρόνο (sec) για τη περιοχή του Ποσειδίου.



Εικόνα 45 : Γραφική αναπαράσταση της διακύμανσης της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για $D_o = 0,400m$, $B = 10m$

Στο παραπάνω γράφημα διακρίνουμε τη διακύμανση της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για διάμετρο εκκένωσης $D_o = 0,400m$ από το Caisson που τοπικά φορτίζει το στρόβιλο χαμηλού φορτίου και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 10m$. Με τη κόκκινη γραμμή διακρίνεται η αντιπροσωπευτική (μέση τιμή) της κυματικής ισχύος, ίση με $P = 0,17 \text{ kW/m}$.



Εικόνα 46 : Γραφική αναπαράσταση της διακύμανσης της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για $D_0 = 0,400m$, $B = 5m$

Στο παραπάνω γράφημα διακρίνουμε τη διακύμανση της κυματικής ισχύος με τη πάροδο του χρόνου για διάμετρο εκκένωσης $D_0 = 0,400m$ από το Caisson που τοπικά φορτίζει το στρόβιλο χαμηλού φορτίου και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 5m$. Με τη κόκκινη γραμμή διακρίνεται η αντιπροσωπευτική (μέση τιμή) της κυματικής ισχύος, ίση με $P = 0,15 \text{ kW/m}$.

Συγκεντρωτικά παρουσιάζονται παρακάτω οι τιμές της κυματικής ισχύος μέσα από τις τέσσερις διαδοχικές φάσεις μέχρι να επέλθει η τελική αξιοποίηση τιμή της κυματικής ισχύος τόσο στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης - Μεθώνης και του Ποσειδίου.

Φάση 1

Η αρχική κυματική ισχύς των κυματισμών υπολογίζεται ως εξής :

Νέα Αγαθούπολη – Μεθώνη

$$P = H^2 \cdot T = 0,47^2 \cdot 3,6 \Rightarrow P = 0,795 \text{ kW/m} \quad (\text{Για κανονικά κύματα})$$

$$P = 0,5 \cdot H^2 \cdot T = 0,5 \cdot 0,47^2 \cdot 3,6 \Rightarrow P = 0,397 \text{ kW/m} \quad (\text{Για μη κανονικά κύματα})$$

Ποσειδί

$$P = H^2 \cdot T = 0,62^2 \cdot 3,6 \Rightarrow P = 1,383 \text{ kW/m} \quad (\text{Για κανονικά κύματα})$$

$$P = 0,5 \cdot H^2 \cdot T = 0,5 \cdot 0,62^2 \cdot 3,6 \Rightarrow P = 0,691 \text{ kW/m} \quad (\text{Για μη κανονικά κύματα})$$

Φάση 2

Οι τιμές της εκμεταλλεύσιμης κυματικής ισχύος από την κατασκευή, υπολογίζονται, μέσω του μοντέλου, για κάθετη διάδοση, δηλαδή για αρχική γωνία διάδοσης - προώθησης του κύματος προς την ακτή ίση με 0° (η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση διάδοσης του κύματος και στην κάθετη στην ευθεία της ακτογραμμής). Ειδικότερα, από την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου προκύπτουν τα ακόλουθα:

Στη περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης , για διάμετρο εκκένωσης $D_o = 0,200\text{m}$ από το Caisson που τοπικά φορτίζει το στρόβιλο χαμηλού φορτίου και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 10\text{m}$, η κυματική ισχύς είναι ίση με $P = 0,047 \text{ kW/m}$, ενώ για διάμετρο εκκένωσης $D_o = 0,200 \text{ m}$ και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 5 \text{ m}$, η κυματική ισχύς είναι ίση με $P = 0,046 \text{ kW/m}$.

Στη περιοχή του Ποσειδίου, για διάμετρο εκκένωσης $D_0 = 0,400\text{m}$ από το Caisson που τοπικά φορτίζει το στρόβιλο χαμηλού φορτίου και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 10\text{ m}$, η κυματική ισχύς είναι ίση με $P = 0,17\text{ kW/m}$, ενώ για διάμετρο εκκένωσης $D_0 = 0,400\text{ m}$ και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 5\text{ m}$, η κυματική ισχύς είναι ίση με $P = 0,15\text{ kW /m}$.

Φάση 3

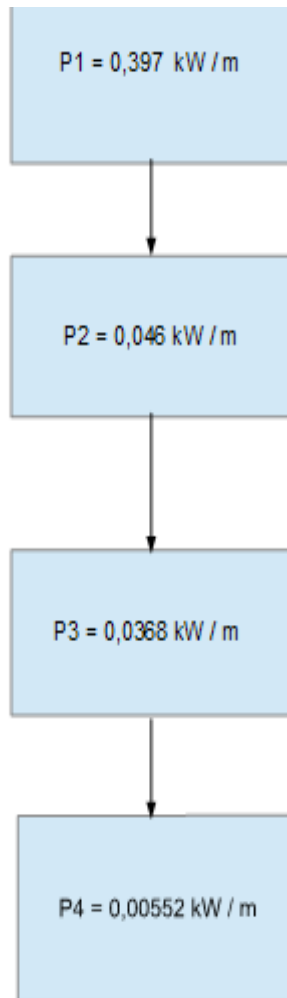
Επειδή η γωνία διάδοσης του κύματος καθορίζεται από την κατεύθυνση του ανέμου σε σχέση βέβαια με τον προσανατολισμό της ακτής, πρέπει να επισημανθεί ότι η πρόσπτωση του κύματος στην κατασκευή διαμορφώνεται τελικά σε σχέση με την αρχική γωνία διάδοσης του κύματος, η οποία και στις δύο περιπτώσεις που μελετήθηκαν δεν είναι μηδέν αλλά περίπου 15° (η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση διάδοσης του κύματος και στην κάθετη στην ευθεία της ακτογραμμής) ή ακόμη μεγαλύτερη ανάλογα με την ακριβή τοποθεσία της κατασκευής πάνω σε στην ακτογραμμή της οποίας ο προσανατολισμός μεταβάλλεται πολύ έντονα. Άρα λοιπόν, η διεύθυνση διάδοσης του κύματος δεν είναι κάθετη προς την κατασκευή της εν λόγω μελέτης ενώ η εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου έγινε για κάθετη διάδοση του κύματος. Συνεπώς η τελική κυματική ισχύς που προκύπτει από μία αρχική γωνία πρόσπτωσης του κύματος διάφορη του μηδενός, θα είναι διαφοροποιημένη και ειδικότερα ελαφρώς μειωμένη αφού όπως φάνηκε από την εργασία των *Gravas et al.* (2012) η τελική παραγόμενη ισχύς είναι μεγαλύτερη για γωνία διάδοσης κύματος 0 (κάθετη πρόσπτωση του κύματος στην κατασκευή) ενώ μειώνεται όσο αυξάνεται η γωνία για την περίπτωση των εκατέρωθεν της κατασκευής απορροφητικών μετώπων (είτε αυτά τα μέτωπα είναι κεκλιμένα πρηνή από λιθορριπή σε κυματοθραύστες είτε αμμώδεις ακτές με ήπια κλίση που δεν είναι απόκρημνες και βραχώδεις, είτε κεκλιμένα μέτωπα λιθορριπής προστασίας της ακτής).

Αναλυτικότερα από την έρευνα των Gravas *et al* .(2012) προκύπτει ότι για αρχική γωνία διάδοσης - προώθησης του κύματος προς την ακτή ίσης με 15° η τελική κυματική ισχύς που παράγεται μέσω της προτεινόμενης κατασκευής τοίχου τύπου caisson μειώνεται στο 80 % της παραγόμενης ισχύος για αρχική κάθετη πρόσπτωση του κύματος, δηλ. για αρχική γωνία διάδοσης 0 μοίρες (πηλίκιο ισχύος για αρχική γωνία διάδοσης του κύματος 15° προς ισχύ για αρχική γωνία διάδοσης του κύματος 0°). Με βάση τα παραπάνω η παραγόμενη μέση ισχύς για την περίπτωση της κατασκευής ενεργειακού τοίχου με πλάτος 5 m στη Νέα Αγαθούπολη - Μεθώνη θα είναι $0,046 \cdot 0,80 = 0,0368$ kW/m ενώ για την περίπτωση του Ποσειδίου θα είναι $0,15 \cdot 0,80 = 0,12$ kW /m.

Φάση 4

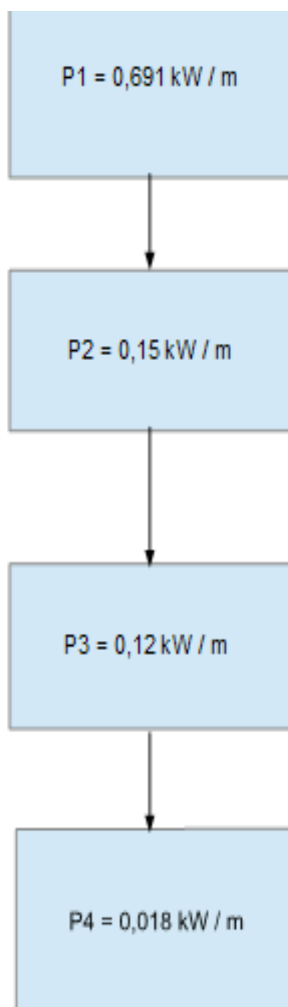
Τέλος, αν λάβουμε υπόψη έναν συντελεστή απόδοσης της του στροβίλου 10 έως 20% (Σισμάνη & Καραμπάς, 2015), έστω 15%, στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης - Μεθώνης η τελική παραγόμενη ισχύς θα είναι $P = 0,0368 \cdot 0,15 = \mathbf{0,00552}$ kW / m ενώ στην περιοχή του Ποσειδίου η αξιοποιήσιμη κυματικής ισχύς θα είναι από $P = 0,12 \cdot 0,15 = \mathbf{0,018}$ kW/m.

Ακολούθως βλέπουμε τα διαγράμματα ροής (Εικόνα 47, Εικόνα 48) με τις μεταβολές των τιμών κυματικής ισχύος στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης και του Ποσειδίου.



Εικόνα 47 : Διάγραμμα ροής μεταβολής των τιμών της κυματικής ισχύος στη περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης

Για να αναλογιστούμε τη διαφορά της αρχικής κυματικής ενέργειας αναλογικά με την τελική αξιοποιήσιμη κυματική ισχύ διαιρούμε την τελική με την αρχική κυματική ισχύ. Επομένως προκύπτει ότι μόνο το 1,4% ($=0,00552/0,397$) της αρχικής κυματικής ενέργειας αξιοποιείται καθώς το 98 % της αρχικής κυματικής ενέργειας 'χάνεται' λόγω όλων των παραγόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 48 : Διάγραμμα ροής μεταβολής των τιμών της κυματικής ισχύος στη περιοχή του Ποσειδίου

Για να αναλογιστούμε τη διαφορά της αρχικής κυματικής ενέργειας αναλογικά με την τελική αξιοποιήσιμη κυματική ισχύ διαιρούμε την τελική με την αρχική κυματική ισχύ. Επομένως προκύπτει ότι μόνο το 2,6 % ($=0,018/0,691$) της αρχικής κυματικής ενέργειας αξιοποιείται καθώς το 97,4 % της αρχικής κυματικής ενέργειας 'χάνεται' λόγω όλων των παραπάνω μεταβλητών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

3.3 Συζήτηση

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα παρακάτω σημαντικά ευρήματα και θέματα προς συζήτηση από την παρούσα ερευνητική εργασία τόσο στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης - Μεθώνης αλλά και του Ποσειδίου τα οποία συνοψίζονται ως εξής :

- Όπως εξαρχής έγινε αναφορά στη εργασία της Soukissian *et.al* (2011), η ετήσια κυματική ισχύς στη περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου κυμαίνεται στις 0 – 1 kW/m ή και ελαφρώς λίγο παραπάνω και επιβεβαιώνεται με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πρώτο στάδιο της ερευνητικής διαδικασίας που αφορά την εύρεση των κυματικών χαρακτηριστικών όπου όπως υπολογίστηκε η μηχανική ισχύς του κύματος είναι 0,795 kW/m για την περίπτωση κανονικών κυμάτων ή αντίστοιχα 0,397 kW/m για την περίπτωση μη κανονικών κυμάτων για την περιοχή της Νέας Αγαθούπολης - Μεθώνης και 1,383 kW/m για την περίπτωση κανονικών κυμάτων ή αντίστοιχα 0,691 kW/m για την περίπτωση μη κανονικών κυμάτων για την περιοχή του Ποσειδίου. Συνεπώς είναι η υπολογισμένη αρχική κυματική ισχύς είναι σε κάθε περίπτωση μικρότερη ή ελαφρώς μεγαλύτερη από 1 kW/m.
- Στη περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης , για διάμετρο εκκένωσης $D_o = 0,200\text{m}$ από το Caisson που τοπικά φορτίζει το στρόβιλο χαμηλού φορτίου και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 10\text{m}$, η κυματική ισχύς είναι ίση με $P = 0,047\text{ kW/m}$, ενώ για διάμετρο εκκένωσης $D_o = 0,200\text{m}$ και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 5\text{ m}$, η κυματική ισχύς είναι ίση με $P = 0,046\text{ kW/m}$.
- Στη περιοχή του Ποσειδίου, για διάμετρο εκκένωσης $D_o = 0,400\text{m}$ από το Caisson που τοπικά φορτίζει το στρόβιλο χαμηλού φορτίου και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 10\text{ m}$, η κυματική ισχύς είναι ίση με $P = 0,17\text{ kW/m}$, ενώ για διάμετρο εκκένωσης $D_o = 0,400\text{m}$ και πλάτος δεξαμενής στο εσωτερικό της κατασκευής $B = 5\text{ m}$, η κυματική ισχύς είναι ίση με $P = 0,15\text{ kW/m}$.
- Είναι προφανές ότι οι τιμές της κυματικής ισχύος είναι μεγαλύτερες στο Ποσειδί από ότι στη Νέα Αγαθούπολη – Μεθώνη.

- Το πλάτος της δεξαμενής B στο εσωτερικό της κατασκευής ελάχιστα επηρεάζει την παραγόμενη ισχύ καθώς και στις δύο περιοχές μελέτης για διαφορετικό πλάτος δεξαμενής, η παραγόμενη ισχύ παραμένει σχεδόν ίδια.
- Η διάμετρος εκκένωσης D_0 από το Caisson επηρεάζει σημαντικά την παραγόμενη ισχύ και συνεπώς πρέπει να γίνεται προσεκτικά η επιλογή της.
- Από την υπολογιστική μελέτη προέκυψε ότι η αρχική γωνία διάδοσης - προώθησης του κύματος προς την ακτή είναι ίση με 15° (η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση διάδοσης του κύματος και στην κάθετη στην ευθεία της ακτογραμμής) και στη περιοχή της Νέας Αγαθούπολης – Μεθώνης και της Ποσειδίου. Επομένως, η τελική κυματική ισχύς που παράγεται μέσω της προτεινόμενης κατασκευής τοίχου τύπου caisson μειώνεται στο 80 % της παραγόμενης ισχύος για αρχική κάθετη πρόσπτωση του κύματος (γωνία διάδοσης 0 μοίρες). Με βάση τα παραπάνω η παραγόμενη μέση ισχύς για την περίπτωση της κατασκευής (με πλάτος τοίχου 5 m) στη Νέα Αγαθούπολη – Μεθώνη (για μη κανονικά κύματα) θα είναι $0,046 \cdot 0,80 = 0,0368$ kW/m ενώ για την περίπτωση του Ποσειδίου θα είναι $0,15 \cdot 0,80 = 0,12$ kW / m.
- Λαμβάνοντας υπόψη έναν συντελεστή απόδοσης του στροβίλου 15%, στην περιοχή της Νέας Αγαθούπολης η τελική παραγόμενη ισχύς θα είναι $P = 0,368 \cdot 0,15 = 0,00552$ kW / m ενώ στην περιοχή του Ποσειδίου η αξιοποιήσιμη κυματικής ισχύς θα είναι $P = 0,12 \cdot 0,15 = 0,018$ kW/m.
- Μπορεί οι ανωτέρω τιμές να είναι πρακτικά πολύ μικρές αλλά αν αναλογιστούμε ότι η εν λόγω προτεινόμενη κατασκευή δύναται να εκτείνεται σε μήκος παράκτιας ζώνης 500 m τότε η παραγόμενη διαμορφώνεται ανάλογα σε **P = 2,76 kW** ($0,00552 \cdot 500$) για τη περιοχή της Νέας Αγαθούπολης - Μεθώνης ενώ για τη περιοχή του Ποσειδίου σε **P = 9,00 kW** ($0,018 \cdot 500$), τιμές ικανές να καλύψουν ενεργειακές ανάγκες είτε νοικοκυριών, είτε φωτισμού λιμενικής ή παράκτιας ζώνης.
- Τέλος, είναι προφανές ότι η κατασκευή του ενεργειακού τοίχου σε παράκτιες περιοχές κάποιων νησιών των Κυκλάδων ή των Δωδεκανήσων ή της Κρήτης θα είναι ιδιαίτερα επιτυχής και αποδοτική αφού οι εν λόγω περιοχές έχουν το υψηλότερο κυματικό δυναμικό στην παράκτια και θαλάσσια ελληνική επικράτεια.

α) Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή, σύμφωνα με τους Μαμάση & Στεφανάκο (2014) η μέση κατανάλωση νοικοκυριού ανά ημέρα υπολογίζεται σε 27,7 kWh (ή 1,15 kWh ανά ώρα). Κατά συνέπεια, η παραγόμενη ισχύς μέσω της προτεινόμενης κατασκευής της παρούσας μελέτης, μπορεί να καλύψει μερικώς ή συνολικά τις ενεργειακές ανάγκες ενός μικρού αριθμού νοικοκυριών.

β) Από έρευνα που πραγματοποιήθηκε για τη μέση ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (σε 8ωρη βάση) από τον εξοπλισμό ενός γραφείου (http://cea.org.cy/TOPICS/EnergyEfficient/Energy_Saving_Offices_compressed.pdf)

προκύπτει τα παρακάτω στοιχεία κατανάλωσης :

Φορητός υπολογιστής : 80 W

Οθόνη LCD 20" : 49 W

Οθόνη LCD 14" : 18 W

Laser Print : 800 W

Ηχεία : 20 W

Λαμπτήρας εξοικονόμησης (φθορισμού ή LED) 20 W : 20 W

Λαμπτήρας πυρακτώσεως 100W : 100 W

Φωτοτυπικό : 1600 W

Κλιματιστικό : 3500 W

Αν γίνει άθροιση όλων των παραπάνω τιμών, προκύπτει ότι η απαιτούμενη ισχύς ενός γραφείου (σε όρους μέγιστης συνεχούς κατανάλωσης) είναι στα 6187W ή 6,187 kW και συνεπώς η παραγόμενη ισχύς μέσω της προτεινόμενης κατασκευής μπορεί να καλύψει μερικώς ή συνολικά τις ενεργειακές ανάγκες ενός μικρού αριθμού γραφείων.

γ) Όσον αφορά τον φωτισμό μια λιμενικής η παράκτιας ζώνης, ένας μεταλλικός ιστός, ύψους 7 μέτρων με λαμπτήρα 250W καταναλώνει ισχύ 250 W https://www.portvolos.gr/ftp/objects/LED_Texnikes-Prodiagrafes.pdf.

Επομένως, η τελικά παραγόμενη ισχύς μέσω της προτεινόμενης παράκτιας κατασκευής μπορεί να τροφοδοτήσει ημερησίως με ρεύμα 36 μεταλλικούς ιστούς.

Όλοι οι υπολογισμοί που αφορούν την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών είτε νοικοκυριών, είτε φωτισμού λιμενικής ή παράκτιας ζώνης είναι ενδεικτικοί. Τα αποτελέσματα μπορούν να αποτελέσουν εφαλτήριο για τη περαιτέρω μελέτη και έρευνα και σε άλλους τομείς της επιστήμης.

4.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

4.1 ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Clément Alain,McCullen Pat,Falcão Antonio,Fiorentino Antonio,Gardner Fred, Hammarlund Karin,Lemonis George,Lewis Tony,Nielsen Kim,Petroncini Simona,Pontes M.-Teresa,Schild Phillipe,SjöstömBengt-Olov,Sørensen Hans Christian,Thorpe Tom, 2002.*Wave energy in Europe: current status and perspectives*. Reneable and Sustainable Energy Reviews 6, 405- 431
- Folley M.,Whittaker T.J.T, 2009.*Analysis of the nearshore wave energy recourse*.Reneable Energy 34,1709-1715
- Gravas Athanasios, Savvidis Yiannis and Koutitas Christopher,2012. “*MODELLING STUDY ON WAVE ENERGY HARNESSING PORT STRUCTURES*”, Fresenius Environmental Bulletin, vol. 21, No 8, pp. 3069 – 3076
- Koutitas C.G & Savvidis Y.G.,2008. *Modelling of a Wave Energy Harnessing Breakwater*.Department of Civil Engineering,Aristotle University of Thessaloniki,Thessaloniki,Greece
- Koutitas C.,Gousidou-Koutita M.,2019. *A Numerical Model of Wave Energy Harnessing by Floating Breakwaters*, In book: Recent Progress in Computational Sciences and Engineering (Ed. By Theodore Simos)
- Kralli Vasiliki – Eleni,Theodossiou Nicolaos and Karambas Theophanis,2019. *Optimal Design of Overtopping Breakwater for Energy Conversion (OBREC) Systems Using the Harmony Search Algorithm*.Front.Energ Res.7:80.doi:10.3389/fenrg.00080
- Lewis, T.,1999." *A strategic review of the wave enery resource in Ireland*","Wave Energy – Moving towards commercial viability, IMECHE Seminar, London , UK
- Leishman JM,Scobie G.,1976.*The development of wave power – a techno economical study*, Deptarture of Industry, NEL Report, EAU M25
- Michailides C. and Angelides DC. , 2012. “*Modeling of energy extraction and behavior of a Flexible Floating Breakwater*” Applied Ocean Research, 35, 77– 94
- SAVVIDIS Y.G,ZAFIRIOU S.V, KERAMARIS E.,2013.*ENERGY PRODUCTION FROM SEA WAVES AND CURRENTS.A GENERAL REVIEW*. Journal of Environmental Protection and Ecology 14,No 3,922 – 932

- Soukissian T.,Gizari N. & Chatzinaki M.,2011. *Wave Potential of the Greek seas, Energy and Sustainability III* 203. Διαθέσιμο σε <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/ESUS11/ESUS11018FU1.pdf>
- Stagonas D.,Müller G.,Maravelakis N.,Magagna D. and Warkbrick D., 2010.*Composite seawalls for wave energy conversion : 2D experimental results*.3rd Internartional Conference on Ocean Energy,6 October,Bilbao
- Thorpe TW,1992. *A review of wave energy*.ETSU – R – 72
- Thorpe TW,2000. *The wave energy programme in the UK and the European Wave Energy Network*.4th EWEC,Aalborg,Denmark
- Zodiatis George,Galanis George,Nikolaidis Andreas,Kalogeri Christina,Hayes Dan, C.Georgiou Georgios,C.Chu Peter,Kallos George,2014. *Wave energy potential in the Eastern Mediterranean Levantine Basin. An integrated 10-year study*. Reneable Energy 69,311-323.

4.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Υδρογραφική Υπηρεσία(ΥΥ),«ΠΛΟΗΓΟΣ ΤΟΜΟΣ Γ΄» , 5η έκδοση 2016
- Ζαφειρίου Σ., 2012 Πτυχιακή Εργασία: “Παραγωγή ενέργειας από θαλάσσια κύματα και ρεύματα” Πτυχιακή Εργασία στο τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών του ΑΤΕΙΘ, Νέα Μουδανιά
- Καραμπάς Θεοφάνης,Κρεστενίτης Γιάννης,Κουτίτας Χριστόφορος, 2015. *Ακτομηχανική – Έργα Προστασίας Ακτών*, ΣΕΑΒ. Διαθέσιμο σε : file:///C:/Users/User/Downloads/00_master_document.pdf
- Κουτίτας Γ.Χριστόφορος,1994.*Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- Λιακόπουλος Αντώνιος,2014. *Υδραυλική*, Εκδόσεις Τζιόλα
- Μαμάσης Νίκος και Στεφανάκος Γιάννης,2014.*Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία,Εισαγωγή στην ηλεκτρική ενέργεια,Τομέας Υδάτινων πόρων και Περιβάλλοντος*,Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο,Αθήνα.Διαθέσιμο σε:https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL114/ene_eisatel_14.pdf
- Μαμτσαδέλη Σεβαστή,2020. *Υδροδυναμική κυκλοφορία και ανανέωση υδάτων σε λιμένα – Η περίπτωση του αλιευτικού καταφυγίου Νέας Κρήνης*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, ΠΜΣ «Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνικών Έργων», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδας
- Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Σκορδάς Γεώργιος.<< *Ήπιες και νέες μορφές ενέργειας*>>. Έκδοση : 1.0. Κοζάνη, 2015. Διαθέσιμο σε : <https://eclass.uowm.gr/courses/MECH244/>
- Σισμάνη Γ. & Καραμπάς Θ, 2015. *Εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας σε παράκτια τεχνικά έργα*. 11^ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας. Μυτιλήνη, Λέσβος, Ελλάδα
- Χριστόπουλος και Συνεργάτες - Υδροακτοτεχνική, 2001. Κρηπιδότοιχος προστασίας ακτών Ν. Αγαθούπολης όρμου Μεθώνης, Οριστική Μελέτη, Τεχνική έκθεση, Δεκέμβριος 2001,Θεσσαλονίκη

4.3 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Θέματα – Σημειώσεις τμήματος Φυσικής ΑΠΘ. Διαθέσιμο σε :<https://www.okoutris.gr/%CE%98%CE%AD%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%20-%20%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%20%CE%95%CF%80%CE%B9%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AE%CF%82/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82%20%CE%A0%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82%20%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82/Slides/r%29%20Energeia%20apo%20Kymata.pdf>
- Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Σ.Μ.Π.Ε) – ΕΣΧΑΔΑ <Ακτή και Κάμπινγκ Ποσειδίου Καλάνδρας>, ΤΑΙΠΕΔ, ΔΕΚΑΘΛΟΝ ΑΕ, Ιούνιος 2014). Διαθέσιμο σε: <https://www.hradf.com/storage/files/uploads/f0fb05ecc8917addb250f88022dda54f.pdf>
- (Διαδικτυακή πηγή 1)
<https://energypress.gr/news/sta-13994-kwh-i-mesi-etisia-katanalosi-energeias-ana-noikokyrio>
- (Διαδικτυακή πηγή 2)
http://cea.org.cy/TOPICS/EnergyEfficient/Energy_Saving_Offices_compressed.pdf
- (Διαδικτυακή πηγή 3)
https://www.port-volos.gr/ftp/objects/LED_Texnikes-Prodiagrafes.pdf