



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας και
Εφαρμοσμένων Οικονομικών

Τμήμα Γεωγραφίας

«Δυνητική χωροθέτηση πλωτής συσκευής ανάκτησης κυματικής και υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στο Αιγαίο Πέλαγος»

Κωνσταντάκη Μαρίνα, ΑΜ: 21339



Αθήνα, 2020



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας και
Εφαρμοσμένων Οικονομικών

Τμήμα Γεωγραφίας

**«Δυνητική χωροθέτηση πλωτής συσκευής ανάκτησης
κυματικής και υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στο
Αιγαίο Πέλαγος»**

Επιβλέπων Καθηγητής : Δρ Κατσαφάδος Πέτρος

Τριμελής Επιτροπή : Κ.Λαζαρίδη
Χ.Χρίστος
Π.Κατσαφάδος

Αθήνα, 2020

Ως φοιτήτρια με το όνομα Κωνσταντάκη Μαρίνα,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί αποτέλεσμα της πολύτιμης βοήθειας αρκετών ανθρώπων. Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου, κύριο Κατσαφάδο Πέτρο, καθώς και όλους τους καθηγητές του τμήματος για την αρωγή τους σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου. Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ανδρέα Κόρα και την εταιρεία A2Z Energy Solutions για την πολύτιμη συμβολή του στην εύρεση και επεξεργασία των απαραίτητων δεδομένων για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για τη στήριξή της σε κάθε μου προσπάθεια όλα αυτά τα χρόνια .

Πίνακας περιεχομένων

Abstract	8
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 2: Τύποι διατάξεων ανάκτησης αιολικής και κυματικής ενέργειας	16
2.1 Ιστορική εξέλιξη των αιολικών μηχανών	16
2.2 Τύποι σύγχρονων Ανεμογεννητριών	22
2.3 Πλωτές Ανεμογεννήτριες.....	24
2.4 Διαχρονική σύγκριση παραχθέντος υπεράκτιου αιολικού δυναμικού.....	25
2.5 Μηχανές ανάκτησης μηχανικής ενέργειας (M.A.K.E).....	28
2.5.1 Προέλευση κυματικών φαινομένων και καταγραφή τους.....	28
2.5.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα χρήσης των M.A.K.E	30
2.5.3 Είδη M.A.K.E.	31
2.5.4 Οι M.A.K.E στον ελλαδικό χώρο	33
2.6 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση των πλωτών αιολικών μηχανών ..	34
2.7 Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι για τις πλωτές αιολικές μηχανές	36
Κεφάλαιο 3 Νομοθεσία σχετικά με ΑΠΕ και υλοποίηση πλωτών Ανεμογεννητριών	39
3.1 Νομοθεσίες και Οδηγίες σχετικές με ΑΠΕ.....	39
3.2 Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός	40
3.3 Σημαντικότερα projects πλωτών Α/Γ	44
3.3.1. Η.Π.Α/Πορτογαλία	44
3.3.2. Ασία-Ιαπωνία	44
3.3.4 Σουηδία	46
3.3.5. Ηνωμένο Βασίλειο: The Wanley Extension.....	46
3.4 Η περίπτωση της Ελλάδας	47
3.4.1 Δυνητικές χωροθετήσεις στον ελλαδικό χώρο	47
Κεφάλαιο 4: Χωροθέτηση της σύνθετης υπό μελέτη κατασκευή	49
4.1 Περιγραφή της κατασκευής	49
4.2 Κριτήρια Χωροθέτησης πλωτών ανεμογεννητριών	50
4.2.1 Βασικά μέρη υπεράκτιου αιολικού πάρκου.....	50
4.2.2 Κριτήρια Χωροθέτησης Αιολικού Πάρκου	51
4.3 Δυνητική Χωροθέτηση Υβριδικής Κατασκευής	55
4.3.1 Εύρεση δεδομένων.....	56
4.4 Διαδικασία χωροθέτησης μέσω του λογισμικού Wind Pro και του μοντέλου WAsP.....	60
Συμπεράσματα – Προτάσεις	69
Βιβλιογραφικές Αναφορές	71

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Ανεμόμυλοι από μπαμπού και πάνινα φτερά κινλεζικού ανεμόμυλου.....	16
Εικόνα 2 Αντίγραφο αρχαίου Περσικού ανεμόμυλου.....	17
Εικόνα 3: Αιολική Μηχανή Brush.....	18
Εικόνα 4: Αιολική Μηχανή Halladay.....	18
Εικόνα 5: Κατανομή αιολικών πάρκων στην Ευρώπη (MW) πηγή: http://ikee.lib.auth.gr/	19
Εικόνα 6: Τύπος ελληνικού ανεμόμυλου με οριζόντιο άξονα περιστροφής.....	20
Εικόνα 7: Αιολικό δυναμικό στα 50 μ. για διαφορετικές τοπογραφικές συνθήκες. Πηγή: https://www.slideshare.net/efigota/ss-8140119	21
Εικόνα 8: Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (δύο δεξιά) και οριζοντίου άξονα. Πηγή: goole images.....	22
Εικόνα 9: Ιπτάμενη Α/Γ. Πηγή: http://www.altaaerosenergies.com	23
Εικόνα 10: Α/Γ χωρίς έλικες. Πηγή: http://www.vortexbladeless.com	23
Εικόνα 11: Ανεμογεννήτριες. Πηγή: google Images.....	25
Εικόνα 12. Ετήσια παροχή ρεύματος από πλωτές Α/Γ σε MW (πηγή WindEurope).....	26
Εικόνα 13: Επενδύσεις υπερακτίων κατασκευών και δυναμικότητα σε GW(πηγή WindEurope).....	26
Εικόνα 14. Παραγόμενα MW συναρτήσει των θαλασσών (πηγή WindEurope).....	27
Εικόνα 15. Κατανομή παραγόμενης ισχύος στην Ευρώπη (πηγή WindEurope).....	27
Εικόνα 16: Μεταβολή του μεγέθους των θαλασσιών πάρκων σε συνάρτηση με το χρόνο (πηγή WindEurope).....	28
Εικόνα 17. Γεωγραφική απεικόνιση της θέσης των σταθμών "Ποσειδών". Πηγή: http://www.poseidonhcmr.gr/online_data_gr.php	29
Εικόνα 18: Θαλάσσια δεδομένα από τους σταθμούς "Ποσειδών". Πηγή http://www.poseidon.hcmr.gr/online_data_gr.php	29
Εικόνα 19. Κυματική κατανομή Πηγή : http://oscillapower.com/waveenergy/	30
Εικόνα 20. Είδη Μ.Α.Κ.Ε. . Πηγή : google images.....	32
Εικόνα 21 Μέση ετήσια κατανομή σημαντικού ύψους κύματος. Πηγή: Soukissian T.H. et al., 2006.....	33
Εικόνα 22: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου των εκάστοτε πηγών ενέργειας. Πηγή: www.nrel.gov	34
Εικόνα 23 Project Windfloat. Πηγή : http://www.principlepowerinc.com	45
Εικόνα 24. Κατασκευή Sea Twirl . Πηγή: http://seatwirl.com/technology/technology	46
Εικόνα 25: Αιολικό πάρκο Walney πηγή: https://walneyextension.co.uk/	47
Εικόνα 26 Σύνθετη υπό μελέτη κατασκευή. Πηγή: Χάντζος Ηλίας.....	49
Εικόνα 27: Βασικά μέρη υπεράκτιου αιολικού πάρκου Πηγή : Rodrigues et al. (2016)	50
Εικόνα 28: Τρόπος διασύνδεσης αιολικού πάρκου με τη στεριά . Πηγή: Πολυνείκη Κ.....	52
Εικόνα 29: Περιοχές Natura στο νησί της Σύρου. Πηγή : https://www.arcgis.com/index.html	53
Εικόνα 30: Χάρτης Στρατιωτικών πεδίων βολής στην Ελλάδα Πηγή : Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού.....	54
Εικόνα 31: Θέση μετρητικού ιστού στην περιοχή Μαυροργιός της Σύρου σε κλίμακα 1:50.000 πηγή: ΓΥΣ.....	57
Εικόνα 32: Μετρητικός Ιστός στην περιοχή Μαυροργιός της Σύρου Πηγή: Estia Consulting Engineering.....	58
Εικόνα 33: Θέση μετρητικού ιστού . Πηγή : google Earth.....	58
Εικόνα 34: Μέσα μηνιαία αποτελέσματα για ύψος μέτρησης 20m και 10m από το έδαφος.....	59
Εικόνα 35: Μοντελοποίηση μέσω WindPro και WAsP. Πηγή: Dr.Tom Acker.....	61

<i>Εικόνα 36: Ταχύτητα του ανέμου συναρτήσει της παραγόμενης ισχύος. Πηγή: WindPro</i>	62
<i>Εικόνα 37: Θέση αιολικού πάρκου Πηγή: Google Earth</i>	63
<i>Εικόνα 38: Δυνητική θέση πλωτών υβριδικών ανεμογεννητριών (κόκκινο χρώμα-BA). Χάρτης μέσω του λογισμικού Windpro</i>	64
<i>Εικόνα 39: Δυνητική θέση υβριδικών ανεμογεννητριών</i>	64
<i>Εικόνα 40 Απόσταση αιολικού πάρκου από ένα σημείο της ακτής Πηγή: Google Earth</i>	65
<i>Εικόνα 41 : Απόσταση αιολικού Πάρκου από το μετρητικό Σταθμό Πηγή: Google Earth</i>	65
<i>Εικόνα 42 : Ετήσια παραγόμενη ισχύς των νέων ανεμογεννητριών</i>	66
<i>Εικόνα 43: Χαρακτηριστικά του ρότορα της αιολικής μηχανής . Πηγή : www.en.wind-turbine-models.com</i>	66
<i>Εικόνα 44: Κατεύθυνση ανέμου Πηγή : WindPro</i>	67
<i>Εικόνα 45: Αριθμητικά σημεία μέτρησης του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ πηγή : ΚΑΠΕ</i>	68
<i>Εικόνα 46: Αριθμητικά σημεία και μέση ετήσια ισχύς κυματισμού πηγή: ΚΑΠΕ</i>	68

Περίληψη στα Ελληνικά

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο τη διερεύνηση συνδυαστικού μηχανισμού ανάκτησης ενέργειας μέσω του αέρα και των κυμάτων. Ειδικότερα, στοχεύει στη μελέτη δυνητικής υλοποίησης μιας πλωτής κατασκευής, η οποία θα συναποτελείται από τρεις μηχανισμούς ανάκτησης κυματικής ενέργειας και μια πλωτή ανεμογεννήτρια. Στοχεύει επίσης στα πλεονεκτήματα της θαλάσσιας ενέργειας τα οποία δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί στο έπακρο στον ελλαδικό χώρο. Με βάση πρωτογενή δεδομένα, η έρευνα αυτή εξετάζει επίσης τον τρόπο με τον οποίο οι συγκεκριμένες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν μία από τις καλύτερες δυνατές λύσεις όσον αφορά την εκμετάλλευση της "γαλάζιας ενέργειας".

Η προσομοίωση γίνεται με το ημι-εμπειρικό μοντέλο WASP. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα χρονολογικών σειρών για το θαλάσσιο περιβάλλον, τα αρχικά δεδομένα αφορούν τη νήσο Σύρο, περιοχή Μαυροργιού, για την περίοδο από 8/12/2010 έως 31/1/2012. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με ιδιαίτερη αναφορά σε εκείνες τις οποίες ασχολείται η παρούσα εργασία. Έπειτα, θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά, τα είδη, τα κριτήρια έδρασης και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα των πλωτών ανεμογεννητριών καθώς στα σημαντικότερα παγκοσμίως έργα που αποσκοπούν στη βέλτιστη υλοποίησή τους.

Εν συνεχεία, θα γίνει αναφορά στους μηχανισμούς ανάκτησης κυματικής ενέργειας, στην κατανομή τους, τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματά τους, καθώς και στα ήδη υπάρχοντα και σημαντικότερα κυματικά πάρκα. Κατά την προσπάθεια συνδυασμού των ανωτέρω κατασκευών σε μια ενιαία και θα εξεταστούν παράγοντες και που μπορούν να την επηρεάσουν. Τέλος, θα υπάρξουν ορισμένα συμπεράσματα αναφορικά με τη δυνητική τοποθέτηση της κατασκευής στο Αιγαίο πέλαγος.

Λέξεις κλειδιά: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, υβριδική κατασκευή, Αιγαίο πέλαγος, χωροθέτηση

Abstract

The main purpose of this research is to examine how an hybrid structure, which exploits both wind and wave energy, behaves in the Aegean sea. It aims also in the advantages of the marine energy which has yet to be exploited to the fullest in Greece. Based in primary data this research examines also how such type of combined energy sources represents one of the best possible solutions as far as the exploitation of the “blue energy” is concerned.

The simulation is to being done through the semi-empirical WASP model. Since time series data for the marine environment are not available, the primary data concern the island of Syros, the area of Mavrorgios, in the Aegean sea for the period from 8/12/2010 to 31/1/2012.

In particular, the theoretical background, regarding the renewable energy sources is initially presented in this thesis. The key features, types, criteria and advantages / disadvantages of floating wind turbines are also deployed as well as the most important worldwide projects aimed at their optimal implementation.

Moreover, wave energy recovery mechanisms, their distribution, their advantages / disadvantages, as well as existing and more important wave parks have all taken into consideration.

In addition, reference will be made in the combination of the above structures into a single one, and consider factors where they will may affect it.

This work is finally drawn important conclusions regarding the potential placement of construction over the Aegean Sea.

Key words: renewable energy, hybrid construction, Aegean Sea, potential placement

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Η ενεργειακή επάρκεια και η ενεργειακή ανεξαρτησία, θεωρούνται δύο από τους βασικούς πυλώνες κάθε οργανωμένης κοινωνίας. Αποτελεί αδιαμφισβήτητο γεγονός, το γεγονός ότι τα ορυκτά καύσιμα (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), που στην εποχή μας αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας, κάποια στιγμή θα τελειώσουν και πριν αυτό συμβεί, θα καταστούν πολύ ακριβά, τόσο ώστε η χρήση τους θα είναι ασύμφορη. (Panteleakis A.T,2015) Η μετάβαση ,επομένως, από τη χρήση ορυκτών καυσίμων στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δε θα είναι ομαλή, δεδομένου του γεγονός ότι τα ορυκτά καύσιμα παρέχουν περίπου το 70% της παγκόσμιας ενέργειας ενισχύοντας έτσι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. (IEA,2019).

Πιο συγκεκριμένα, η πλειοψηφία της επιστημονικής κοινότητας, υποστηρίζει ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα(CO₂), που προέρχονται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης για την παγκόσμια υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα ορυκτά καύσιμα δεν μπορούν να θεωρηθούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γιατί χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και έτσι μπορεί να εξαντληθούν σε πολύ μεγαλύτερο ρυθμό από τον ρυθμό με τον οποίο σχηματίζονται(Νικολάου,2015). Σύμφωνα με την τελευταία αναφορά της IEA (International Energy Agency), η οποία δημοσιεύτηκε το Μάρτιο του 2019, η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση, αυξήθηκε κατά 2,3% σε σχέση με το έτος 2018, καθώς σε συγκεκριμένες περιοχές, οι θερμοκρασίες προσέγγισαν ακραίες τιμές οι οποίες συνδέονται είτε με την ανάγκη για περισσότερη θέρμανση είτε για περισσότερη «ψύξη». Τα προαναφερθέντα αποτελούν απόρροια της κλιματικής αλλαγής η οποία μπορεί να επηρεάσει ακόμα και σε επίπεδο παροχής ή υποδομής της ενέργειας, σε περίπτωση ξηρασίας, για παράδειγμα (Andreadou C,2019) .Επιπλέον, τονίζεται ότι το φυσικό αέριο αναδείχθηκε ως το πιο συχνά επιλεγόμενο ορυκτό καύσιμο για το έτος 2018, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 45 % της αύξησης της συνολικής ζήτησης ενέργειας, καθώς αν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξήθηκαν κατά ένα σημαντικό ποσοστό («double-digit») , δεν δύνανται ακόμη να καλύψουν την αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο.

Ως αποτέλεσμα αυτής της υψηλότερης ζήτησης, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που σχετίζονται με την ενέργεια, αυξήθηκαν κατά 1,7%, με μεγαλύτερο πομπό εκπομπής να αποτελεί η καύση του άνθρακα ο οποίος αντιπροσωπεύει και το 30% όλων των εκπομπών CO₂.

Στις μέρες μας, τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα, γίνεται προσπάθεια «στροφής» στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς τα αποτελέσματα της κατάχρησης των ορυκτών καυσίμων, κυρίως στο περιβάλλον αλλά στο εγγύς μέλλον και στην οικονομία, είναι ευρέως γνωστά. Αποθήκευση ενέργειας, υπεράκτια και χερσαία αιολικά πάρκα, χρήση φωτοβολταϊκών, και βιομάζα αποτελούν ενεργειακά έργα στα οποία από δω και στο εξής θα δίνεται μεγαλύτερη έμφαση και χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Επιπλέον, διάφορες εταιρείες δείχνουν τα τελευταία χρόνια μεγάλο ενδιαφέρον για επενδύσεις που σχετίζονται με την πράσινη και τη γαλάζια ενέργεια και κατ' επέκταση με την αειφόρο ανάπτυξη. Πιο συγκεκριμένα, εταιρείες όπως η Motor Oil, και η Quest Holdings αγόρασαν και επέκτειναν φωτοβολταϊκά πάρκα τα οποία παράγουν 47MWh και 26 MWh αντίστοιχα, η εταιρεία Revoil εξετάζει ήδη τις δυνατότητες δημιουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου σε ιδιόκτητη έκταση στην περιοχή της Λάρισας και η εταιρεία Βιοκαρπέντ, ολοκλήρωσε το 2019 φωτοβολταϊκό σταθμό ισχύος 4MWh(Energypress.gr, 2020).

Στην Ελλάδα, οι διαφορετικές πηγές ενέργειας είναι αρκετές: το 66,5% της εγκατεστημένης ενέργειας παραγωγής ηλεκτροδότησης , προέρχεται από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας οι οποίοι χρησιμοποιούν λιγνίτη, υγρά καύσιμα και πετρέλαιο, 19,6% παράγεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς ενώ το 13,9% προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Energy Regulatory Authority of Greece).

Με αφορμή τα αποθέματα λιγνίτη τα οποία επαρκούν για περίπου 35 ακόμη χρόνια, διευρύνεται η χρήση του άνθρακα έτσι ώστε να παραταθεί «το όριο ζωής» του λιγνίτη. Ωστόσο, αυτή η τακτική ενδέχεται να έρθει σε αντίθεση με τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα βάσει της συνθήκης του Κιότο.(Energy Regulatory Authority of Greece).

Ένα καλό παράδειγμα που αποδεικνύει την προσπάθεια της Ελλάδας για στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί το project με όνομα «Ηλιος», το οποίο έλαβε χώρα το έτος 2010 και στόχευε στην κατασκευή ενός τεράστιου φωτοβολταϊκού πάρκου (800MWh), το οποίο θα μπορούσε να εξάγει την παραγόμενη ενέργεια στην κεντρική Ευρώπη και κυρίως τη Γερμανία. Η εν λόγω ιδέα, κατείχε σημαντική θέση στην «ατζέντα» των ενδιαφερόμενων επενδυτών , ωστόσο το έργο «πάγωσε» δεδομένου του υψηλού κόστους που απαιτούσε η μεταφορά της παραχθείσας

ενέργειας.(Ministry of Environment, Energy and Climate Change of the Hellenic Public, 2011).

Παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα έχει ήλιο περίπου τριακόσιες ημέρες το έτος , ακτογραμμή 13.676 χιλιομέτρων και μια πολύ σημαντική γεωπολιτική θέση η παροχή ενέργειας εξακολουθεί να είναι βασισμένη στα ορυκτά καύσιμα. Πιο συγκεκριμένα, σε ορισμένα νησιά και ορεινές περιοχές, η παροχή ηλεκτροδότησης, καθίσταται δυνατή μέσω μικρών θερμοηλεκτρικών σταθμών και της εκτεταμένης χρήσης υγρών καυσίμων(diesel) (Maronidis,2018). Η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τόσο στα νησιά (γαλάζια ενέργεια), όσο και στις ορεινές περιοχές στην Ελλάδα, καθίσταται δυνατή από πλευράς πόρων δεδομένου ότι υπάρχουν 6.000 νησιά (117 κατοικημένα) τα οποία κατέχουν μια από τις υψηλότερες θέσεις όσον αφορά την ηλιοφάνεια, το ύψος των κυμάτων αλλά και το αιολικό δυναμικό.

Τα ελληνικά νησιά δύνανται να παράγουν ενέργεια ικανή να καλύψει ενδεχομένως και το 100 % των τωρινών και επερχόμενων ενεργειακών αναγκών καθώς ευνοούνται από τις κλιματικές συνθήκες. Ζήτημα τίθεται γύρω από το ενδεχόμενο της περισσευούμενης παραχθείσας ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, η οποία ωστόσο μπορεί να αξιοποιηθεί στην αφαλάτωση υδάτων, τη θέρμανση, ή να αποθηκευτεί σε μπαταρίες ή σε άλλα μέσα όπως τα πηνία, μέσω υπεραγωγίσιμης μαγνητικής διεργασίας(Γιαννόπουλος,2014).

Φυσικά όλα τα παραπάνω χρήζουν προσεκτικής και πολύπλευρης ανάλυσης καθώς πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν αρκετοί παράγοντες όπως η εκπόνηση των κατάλληλων περιβαλλοντικών και τεχνικών μελετών,, η υπάρχουσα νομοθεσία, η χρηματοδότηση και η εν γένει έγκριση του εκάστοτε έργου. Πιο συγκεκριμένα, εκτός των προαναφερθέντων, τα εμπόδια συναρτήσκει των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας άπτονται επίσης στη μορφολογία, το κλίμα , στο αν μια περιοχή είναι αρκετά τουριστική, αν είναι αστική ή απομονωμένη καθώς και υποκατηγορίες αυτών(Koutepas,2018). Μια ενδεικτική ομαδοποίηση των εμποδίων θα μπορούσε να είναι η εξής:

- Τεχνολογικά εμπόδια: Είναι σαφές το γεγονός ότι συναρτήσκει της περιοχής, αλλάζουν και οι ανάγκες και τα μέσα παροχή ενέργειας. Ειδικότερα, όταν αναφερόμαστε στην πρωτεύουσα ή στις μεγάλες πόλεις της χώρας , είναι ευκολότερη η παροχή, μεταφορά και εν γένει εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς οι υποδομές και τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτροδότησης είναι σε πολύ καλύτερη κατάσταση σε σχέση με τα

υπάρχοντα δίκτυα των νησιών ή των απομακρυσμένων ορεινών περιοχών τα οποία περιορίζονται στην απορρόφηση και αποθήκευση της παραχθείσας ενέργειας από τα αιολικά πάρκα (Oikonomou et al 2009).Ωστόσο, η ανάγκη για αναβάθμιση των υπαρχόντων δικτύων είναι μια χρονοβόρα και αρκετά δαπανηρή διαδικασία. Τα προβλήματα αυτά εντοπίζονται κυρίως σε περιοχές της Θράκης, της Εύβοιας και της Λακωνίας όπου υπάρχει ένα αρκετά μεγάλο ενδιαφέρον για επενδύσεις λόγω του ευνοϊκού αιολικού δυναμικού (Boemi S.N., Papadopoulos, 2012). Τέλος, η εποχιακή διακύμανση της ζήτησης της ενέργειας ειδικά στα ελληνικά νησιά «υπογραμμίζει» τη δυσκολία συγχρονισμού μεταξύ προσφοράς και ζήτησης της ενέργειας καθώς και την αδυναμία των υπαρχόντων δικτύων. (Papadopoulos et al. 2007).

- Περιβαλλοντικά εμπόδια: Το περιβαλλοντικό κόστος της σημερινής αγοράς της ενέργειας, η οποία είναι βασισμένη στα ορυκτά καύσιμα, δεν αντικατοπτρίζεται επαρκώς στην τιμολόγησή της παρά το γεγονός συνδέονται με περιβαλλοντική υποβάθμιση. Ωστόσο, όταν αναφερόμαστε στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα περιβαλλοντικά εμπόδια συνάδουν με τα οικοσυστήματα, το τοπίο και την αλλαγή χρήσης γης (Stangeland A.,2007)Ειδικότερα, η πανίδα και η χλωρίδα ενδέχεται να επηρεαστούν κατά τη διάρκεια των έργων σχετικών με την κατασκευή ενός αιολικού ή φωτοβολταϊκού πάρκου για παράδειγμα, καθώς μέσω της σκόνης, του θορύβου, των ανοιγμάτων δρόμων για το πέρασμα των απαραίτητων καλωδίων μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος το εκάστοτε οικοσύστημα ενδέχεται να υποστεί περιβαλλοντική υποτίμηση. Για το λόγο αυτό , πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή πριν, μετά και κατά τη διάρκεια του έργου, έτσι ώστε να επανέλθει κατά το δυνατό στην αρχική του περιβαλλοντική κατάσταση (Oikonomou et al. 2009).
- Κοινωνικά εμπόδια: Η κοινωνική αποδοχή αποτελεί έναν πολύ βασικό παράγοντα και σε ορισμένες περιπτώσεις εμπόδιο πραγμάτωσης οποιουδήποτε έργου. Τα τελευταία χρόνια, αρκετά έργα μεγάλης κλίμακας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν δημιουργηθεί σε όλη την Ελλάδα, με την κοινή γνώμη να είναι υπέρ αυτών. Ωστόσο, όσο τα όρια «στενεύουν» και πλησιάζουμε

τοπικά κάποια περιοχή η θετική αντίδραση ενδέχεται να αλλάξει. Μια πιθανή εξήγηση άπτεται στο γεγονός ότι τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γίνονται αντιληπτά μακροσκοπικά (σε εθνικό ή παγκόσμιο επίπεδο) , ωστόσο οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις επηρεάζουν άμεσα μόνο τους κατοίκους. (Walker et al. 2010). Πιο συγκεκριμένα, ένα καινούριο έργο μπορεί να προκαλέσει το φόβο, την υποψία και μια αρνητικά προκείμενη προσμονή για το εκάστοτε αιολικό ή φωτοβολταϊκό πάρκο (Kaldellis et al., 2012).Στις περισσότερες περιπτώσεις οι κάτοικοι επικαλούνται λόγους που έχουν να κάνουν με την οπτική όχληση, τον αντίκτυπο στους πληθυσμούς των πτηνών και τη μετανάστευσή τους, το θόρυβο, καθώς και την αλλαγή χρήσης γης. Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις οι κάτοικοι επικαλούνται προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, είτε λόγω της θέσης τους σε σχέση με ήδη υπάρχοντες σταθμούς τηλεόρασης ή ραδιοφώνου είτε σε πιθανές ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές από τις ίδιες. Αυτό συμβαίνει είτε διότι παρεμβάλλεται ένα εμπόδιο μεταξύ πομπού και δέκτη, είτε λόγω των κινούμενων πτερυγίων τα οποία προκαλούν αυξομείωση του σήματος λόγω αντανάκλασεων. Εντούτοις, στις μέρες μας τα πτερύγια κατασκευάζονται από συνθετικά υλικά τα οποία έχουν αρκετά μικρή επίδραση στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2006)

- Οικονομικά εμπόδια: Τα οικονομικά εμπόδια άπτονται τόσο στην έλλειψη οικονομικών κινήτρων για «στροφή» στην πράσινη και τη γαλάζια ενέργεια, όπως για παράδειγμα η φοροαπαλλαγή σε περίπτωση απόκτησης μικρών οικιακών ανεμογεννητριών ή φωτοβολταϊκών πάνελ (Οικονομού et al. 2009). Καταβάλλονται αρκετές προσπάθειες για τη μείωση του κόστους και για τη δημιουργία και παροχή επιδοτήσεων . Επιπλέον, η ελλιπής ύπαρξη υποδομών καθιστά το εκάστοτε έργο ακόμα πιο δύσκολο, χρονοβόρο και ακριβό, ειδικά στην περίπτωση που δεν έχει ληφθεί κάποια επιδότηση.
- Νομικά εμπόδια: Παρά το γεγονός ότι η πολιτεία τονίζει την αναγκαιότητα για χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μέσω της γραφειοκρατίας η κατάσταση δυσχεραίνεται. Όπως αναφέραμε τα πολύ σημαντικά προβλήματα, άπτονται στην διαδικασία αδειοδότησης και στην αναβάθμιση του δικτύου ηλεκτροδότησης. (V. Vita,M. Peikou, P. Kaltakis, A. Gouti, L.

Ekonomou,2009) Η Ελλάδα βρίσκεται σε μια από τις τελευταίες θέσεις σε ότι αφορά τη χορήγηση αδειών σε σχέση με την Ευρώπη, κάτι που ενδεχομένως είναι απόρροια των παραπάνω εμποδίων. Όσον αφορά για παράδειγμα την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου, η διαδικασία αδειοδότησης μπορεί να κρατήσει έως και τρία με τέσσερα έτη (Boemi S.N., Papadopoulos A.M,2012). Το πρώτο στάδιο, το οποίο διαρκεί 3-6 μήνες, είναι ο σχεδιασμός του εκάστοτε έργου και περιλαμβάνει την επιλογή τοποθεσίας και όλες τις απαιτούμενες μελέτες. Ένα από τα κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κατά τη φάση του σχεδιασμού είναι το δυναμικό της εκάστοτε προς εκμετάλλευση πηγής ενέργειας (αιολικό δυναμικό για παράδειγμα). Άλλες παράμετροι που πρέπει θεωρούνται:

- Η απόσταση από δίκτυα μεταφοράς
- Η απόσταση από παρόμοια εγκατάσταση.
- Η απόσταση από κατοικημένες περιοχές.
- Η απόσταση από τους αρχαιολογικούς χώρους
- Η απόσταση από τα αεροδρόμια και τις προστατευόμενες περιοχές

Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει την έγκριση του το έργο αιολικού πάρκου, το οποίο διαρκεί από 9 έως 18 μήνες, περιλαμβάνει την έγκριση μιας σειράς λεπτομερών μελετών σχετικά με τις εγκαταστάσεις, τις εργασίες κατασκευής και τις ηλεκτρικές συνδέσεις. Τέλος, η κατασκευή του αιολικού πάρκου, η σύνδεση στο δίκτυο και η φάση δοκιμής αποτελούν μέρος του τελευταίου σταδίου εφαρμογής πριν από την τελική λειτουργία της εγκατάστασης(Boemi S.N., Papadopoulos A.M ,2012)

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό να μελετήσει την εκμετάλλευση δύο πολύτιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την ενέργεια του αέρα και των κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στοχεύει στη μελέτη δυνητικής υλοποίησης μιας πλωτής κατασκευής η οποία θα αποτελείται από τρεις μηχανισμούς ανάκτησης κυματικής ενέργειας και μια πλωτή ανεμογεννήτρια.

Στο κεφάλαιο 2, θα αναφερθούν οι τύποι διατάξεων ανάκτησης αιολικής και κυματικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, θα αναλυθεί η ιστορική εξέλιξη των αιολικών μηχανών, οι τύποι ορισμένων σύγχρονων ανεμογεννητριών με ιδιαίτερη έμφαση στις πλωτές ανεμογεννητρίες με τις οποίες θα ασχοληθούμε. Στο εν λόγω

κεφάλαιο θα γίνει επιπλέον ανάλυση στους μηχανισμούς ανάκτησης κυματικής ενέργειας και στα διάφορα είδη που υφίστανται, καθώς και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Έπειτα, θα λάβει χώρα η παράθεση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση πλωτών αιολικών μηχανών καθώς και των περιβαλλοντικών κινδύνων για τις πλωτές αιολικές μηχανές.

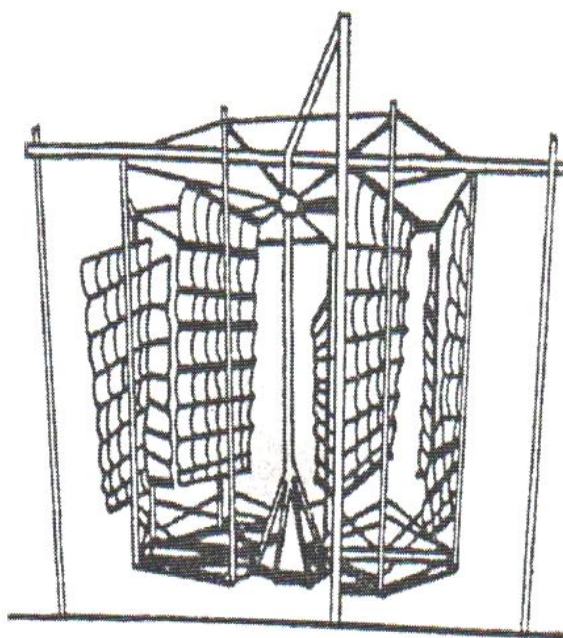
Στο κεφάλαιο 3 θα γίνει αναφορά της ισχύουσας νομοθεσίας συναρτήσει των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και του θαλάσσιου χωροταξικού σχεδιασμού. Επιπρόσθετα θα παρουσιαστούν τα σημαντικότερα projects πλωτών ανεμογεννητριών στα οποία χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι αγκύρωσης.

Στο κεφάλαιο 4 θα γίνει ανάλυση της υπό μελέτη κατασκευής. Αρχικά θα γίνει αναφορά στα κριτήρια χωροθέτησης πλωτών ανεμογεννητριών. Έπειτα, θα γίνει περιγραφή του τρόπου εύρεσης των δεδομένων τα οποία μας οδήγησαν στην χωροθέτηση της υπό μελέτη κατασκευής. Θα ακολουθήσει η διαδικασία χωροθέτησης μέσω του λογισμικού WindPro και του μοντέλου WASP μέσω του οποίου λάβαμε μια ενδεικτική θέση χωροθέτησης πλωτής ανεμογεννήτριας βάσει πρωτογενών ανεμολογικών δεδομένων τα οποία έλαβαν χώρα στην περιοχή Μαυροργιός της Σύρου. Τέλος, ακολουθούν τα συμπεράσματα και οι προτάσεις συναρτήσει της παραπάνω μελέτης.

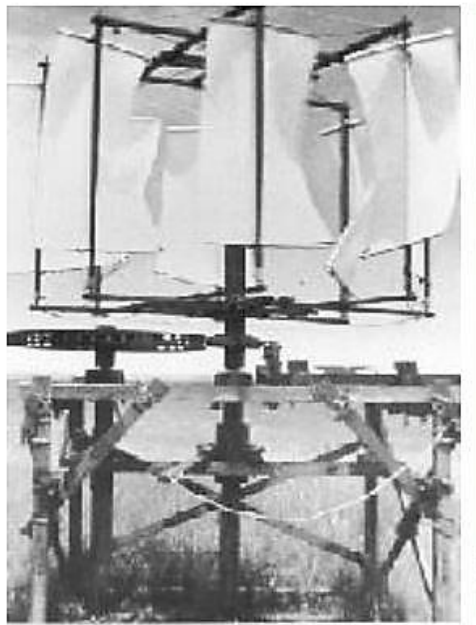
Κεφάλαιο 2: Τύποι διατάξεων ανάκτησης αιολικής και κυματικής ενέργειας

2.1 Ιστορική εξέλιξη των αιολικών μηχανών

Αποτελεί κοινό τόπο το γεγονός ότι το ενδιαφέρον του ανθρώπου είναι και ήταν ανέκαθεν στραμμένο προς την εκμετάλλευση οποιασδήποτε δυνητικής πηγής ενέργειας την οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει προς όφελός του. Στις μέρες μας, ωστόσο, παρατηρείται μια «στροφή» προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (στο εξής ΑΠΕ) τόσο λόγω των όλο και αυξανόμενων ανθρώπινων αναγκών και δραστηριοτήτων όσο και της συνεχούς ρύπανσης της ατμόσφαιρας λόγω της καύσης των συμβατικών καυσίμων. Η εκμετάλλευση τόσο του ανέμου όσο και του νερού, ήταν ιδιαίτερα συνδεδεμένη με τη ζωή των ανθρώπων σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της ανθρώπινης κοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα, η χρονολόγηση ξεκινάει 40000 χρόνια πριν, όταν οι ιθαγενείς της Αυστραλίας ταξίδεψαν μέχρι τα παράλια της νοτιοανατολικής Ασίας με σκάφη τα οποία εκτός των κουπιών, διέθεταν και πανιά (Λιώκη, Ασημακοπούλου 2008). Ωστόσο, βάσει ιστορικών μαρτυριών, οι πρώτοι ανεμόμυλοι εμφανίστηκαν στη Βαβυλωνία από τον 7^ο αιώνα, όπου μέσω ανεμαντλίων χρησιμοποιούντο για την άρδευση της πεδιάδας της Μεσοποταμίας (Εικόνα 1). Τον 3^ο αιώνα κάνουν την εμφάνισή στην Κίνα οι πρώτοι ανεμόμυλοι κατασκευασμένοι από καλάμια μπαμπού και πάνινα φτερά κινούμενα γύρω από κατακόρυφο άξονα (Εικόνα 2) και χρησιμοποιούνταν ομοίως για την άντληση νερού.



Εικόνα 1: Ανεμόμυλοι από μπαμπού και πάνινα φτερά κινεζικού ανεμόμυλου



Εικόνα 2 Αντίγραφο αρχαίου Περσικού ανεμόμυλου

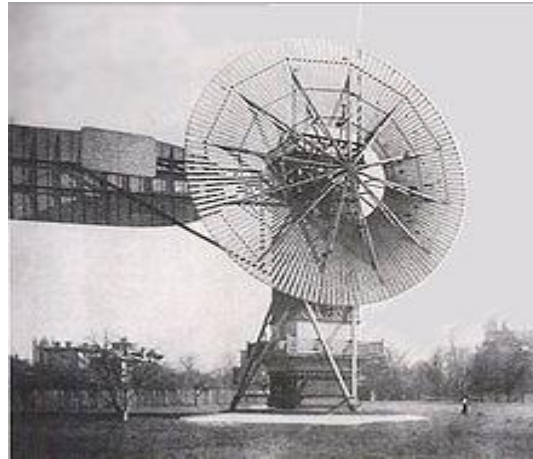
Επιπλέον χρήσεις των ανεμόμυλων εντοπίζουμε αν εστιάσουμε στον τύπο ανεμόμυλου οριζοντίου άξονα περιστροφής που λειτουργούσε με τέσσερα πτερύγια και κύριος σκοπός του ήταν το άλεσμα των σιτηρών, το κόψιμο του φλοιού του ξύλου καθώς και άντληση νερού για την άρδευση και την αποξήρανση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πρώτη αυτορουθμιζόμενη αιολική μηχανή οριζόντιου άξονα περιστροφής επινοήθηκε αρκετά αργότερα από τον Daniel Halladay (Εικόνα 3). Η πρώτη αυτή μηχανή, προσανατολιζονταν μέσω ανεμοδείκτη και δεν χρειάζονταν καμία ανθρώπινη παρέμβαση όσον αφορά τη ρύθμιση των πανιών. Έτσι, μέσω της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας διευκολύνθηκε σε μεγάλο βαθμό τόσο η παροχή νερού –απαραίτητη για την άρδευση- όσο και η συντήρηση των ζωντανών.

Λίγα χρόνια αργότερα, το 1887, ο Charles Francis Brush, κατασκευάζει την πρώτη αυτόματη αιολική μηχανή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θεωρείται ως ο μεγαλύτερος ανεμόμυλος, (Εικόνα 4) καθώς είχε διάμετρο πτερωτής 17 μέτρων, 144 πτερύγια και λειτουργούσε επί 20 χρόνια κατορθώνοντας να φορτίσει μπαταρίες που τροφοδοτούσαν γεννήτρια ισχύος 12 kW.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ο Δανός P. La Cour υποστήριξε ότι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι καλύτερες οι πολύστροφες ολιγόπτερες αιολικές μηχανές. Το 1940 κατασκευάστηκε, στο Vermont των ΗΠΑ, η δίπτερη αιολική μηχανή

οριζόντιου άγωνα περιστροφής που μπορεί να θεωρηθεί ως πρόδρομος των σύγχρονων αιολικών μηχανών.



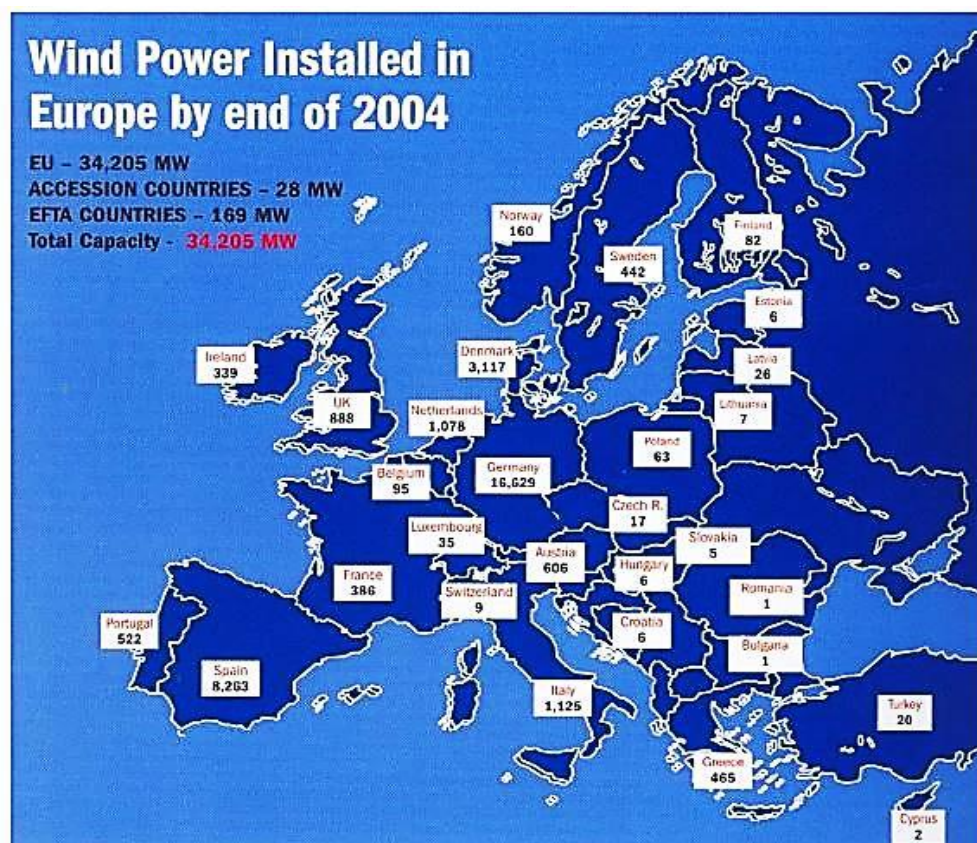
Εικόνα 3: Αιολική Μηχανή Brush



Εικόνα 4: Αιολική Μηχανή Halladay

Το 1942 ο F.L. Smidth εγκατέστησε το νησί Bogø της Δανίας μια τρίπτερη αιολική μηχανή που ήταν μέρος ενός συστήματος αιολο-diesel, που τροφοδοτούσε το νησί με ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης τη δεκαετία 1940-1950 οι Δανοί κατασκεύασαν δίπτερες και τρίπτερες αιολικές μηχανές που παρήγαγαν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Οι γεννήτριες αυτές αντικαταστάθηκαν το 1951 με ασύγχρονες γεννήτριες 35kW για την παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος. Το 1956-57 εγκαταστάθηκε από τον Juul στην ακτή Gedser της Δανίας αιολική μηχανή 200 kW, με ασύγχρονη γεννήτρια, η οποία θεωρείται το πρόδρομο σχέδιο των σύγχρονων αιολικών μηχανών.

Στις αρχές επίσης του 20^{ου} αιώνα ο Γάλλος ακαδημαϊκός Darrieus παρουσίασε τις πρώτες γρήγορες αιολικές μηχανές, οι οποίες σε συνδυασμό με ηλεκτρογεννήτριες μετέτρεπαν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ιδέα όμως της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας εγκαταλείφθηκε μετά το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου, λόγω της μεγάλης τεχνολογικής ανάπτυξης που συνδυαζόταν με συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση σε ενέργεια και της φτηνής τότε ενέργειας από τα συμβατικά καύσιμα.



Εικόνα 5: Κατανομή αιολικών πάρκων στην Ευρώπη (MW) πηγή: <http://ikee.lib.auth.gr/>

Η εκτεταμένη χρήση των αιολικών μηχανών εμφανίστηκε και πάλι τη δεκαετία του 80, λόγω της πετρελαϊκής κρίσης του 1973. Η ελάττωση των παγκοσμίων αποθεμάτων υδρογονανθράκων, η συνεχής αύξηση των απαιτήσεων σε ενέργεια και ο φόβος για βλαβερά περιβαλλοντικά αποτελέσματα, οδήγησε στη χρήση πάλι των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έτσι το 1979 κατασκευάστηκαν και εγκαταστάθηκαν οι πρώτες δύο αιολικές μηχανές ισχύος 630 kW.

Σήμερα σε παγκόσμια κλίμακα υπάρχουν είτε εγκατεστημένες είτε υπό εγκατάσταση ή σε πειραματικό στάδιο, αιολικές μηχανές ισχύος από μερικά kW έως

και περισσότερο από 4000 kW, μεμονωμένες ή σε μεγαλύτερο αριθμό στα λεγόμενα αιολικά πάρκα (εικόνα 5).

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι οικονομικά συμφέρουσα σε μια περιοχή, εφόσον αυτή διαθέτει αξιόλογο αιολικό δυναμικό. Στο σημείο αυτό θα γίνει αναφορά στους ανεμόμυλους που υπήρχαν στην περιοχή του Αιγαίου πελάγους, μια περιοχή από τις πλέον ανεμώδεις της Ευρώπης. Οι Ελληνικοί ανεμόμυλοι είναι συνήθως οι γνωστοί πέτρινοι ιδιόμορφοι ανεμόμυλοι, προσαρμοσμένοι στις ανάγκες και το κλίμα της περιοχής. Αυτοί ήταν πέτρινα κτίσματα με «μύλο» με πάνινα πτερύγια οριζοντίου άξονα περιστροφής (Εικόνα 6). Σε ορισμένες όμως περιοχές λειτούργησαν και ανεμόμυλοι κατακόρυφου άξονα περιστροφής του τύπου « πανεμόνιο». Σαν κύριο σκοπό είχαν το άλεσμα σιτηρών. Η ικανότητα αλέσματος αυτών, ανάλογα με τον προσανατολισμό της πτερωτής και την ταχύτητα του ανέμου, ήταν 20-70 kg σιτηρών/ώρα.

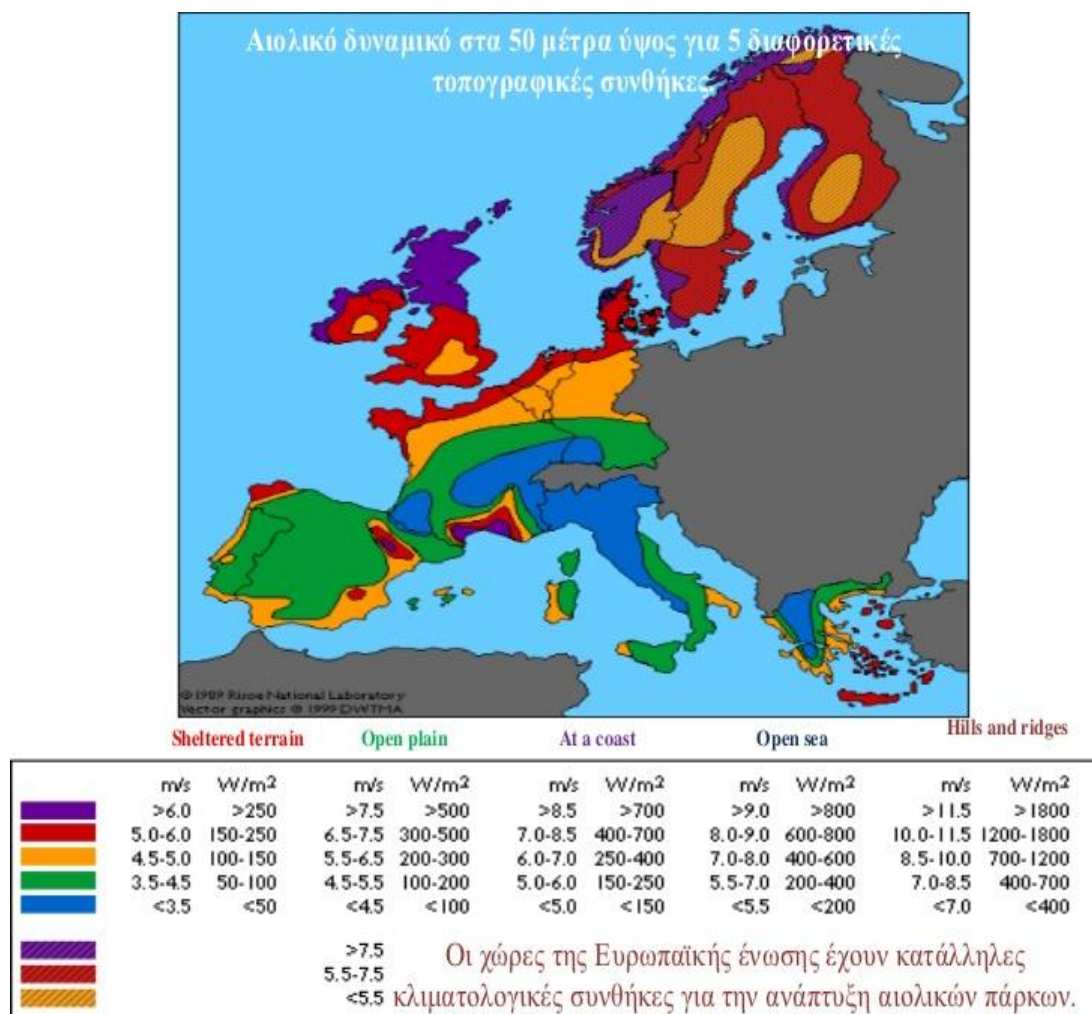


Εικόνα 6:. Τύπος ελληνικού ανεμόμυλου με οριζόντιο άξονα περιστροφής

Στο Βόρειο Αιγαίο και συγκεκριμένα στη Χαλκιδική υπάρχουν μαρτυρίες για την ύπαρξη ανεμόμυλων από το 1549 μ.Χ. Στο Άγιο Όρος το 1654 εκδόθηκε άδεια για την ανέγερση ανεμόμυλου στη Μονή Βατοπεδίου. Οι υπόλοιποι γνωστοί ανεμόμυλοι στη χερσόνησο του Άθω είναι τέσσερις, οι οποίοι κτίστηκαν το 19^ο αιώνα. Στην υπόλοιπη Χαλκιδική μετά την επανάσταση του 1821 κτίστηκαν πολλοί μοναστηριακοί ανεμόμυλοι οι οποίοι λειτούργησαν μέχρι τη δεκαετία του 1930. Στο Βόρειο Αιγαίο συναντώνται επίσης ανεμόμυλοι στη Μυτιλήνη, Λήμνο και Χίο. Στα Δωδεκάνησα ανεμόμυλοι υπήρχαν σχεδόν σε όλα τα νησιά. Στην πόλη της Ρόδου το 1249 κτίστηκε ανεμόμυλος από τους Γενοβέζους αιχμαλώτους με αντάλλαγμα την ελευθερία τους, ενώ την ιπποτική περίοδο στο « μώλο των μύλων» υπήρχαν

τουλάχιστον 13 ανεμόμυλοι. Ανεμόμυλοι υπήρχαν επίσης στη Κω (75 ανεμόμυλοι) στην Κάρπαθο (τέσσερις διαφορετικοί τύποι ανεμόμυλων), στη Λέρο, Νίσυρο, Τήλο, Κάσο(πολύ μεγάλος αριθμός ανεμόμυλων σε σχέση με το μέγεθος του νησιού), Σύμη, Πάτμο, Κάλυμνο, Χάλκη και Αστυπάλαια.

Στις Κυκλάδες οι παλαιότερες μαρτυρίες για την ύπαρξη ανεμόμυλων τοποθετούνται το 15^ο και 16^ο αιώνα στη Νάξο και στη Μύκονο, Τήνο και Ιο, το 17^ο αιώνα στη Σύρο, Μήλο, Σίφνο, Πάρο και Κίμωλο, ενώ από το 18^ο αιώνα και μετά συναντώνται ανεμόμυλοι σε όλες τις Κυκλάδες. Η παρακμή των ανεμόμυλων στις Κυκλάδες ξεκίνησε μετά το τέλος του Α΄ Παγκοσμίου πολέμου, οπότε παρατηρήθηκε αλλαγή στο τρόπο ζωής των κατοίκων. Μια περίοδος ανάκαμψης παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου, οπότε παρατηρήθηκε αύξηση του πληθυσμού και της καλλιέργειας δημητριακών, ενώ οριστική ήταν η παρακμή τους μετά το τέλος της Γερμανικής κατοχής.



Εικόνα 7: Αιολικό δυναμικό στα 50 μ. για διαφορετικές τοπογραφικές συνθήκες. Πηγή: <https://www.slideshare.net/efigota/ss-8140119>

Τέλος ομαδική χρήση σιδερένιων ανεμόμυλων, με πτερωτή από πάνινα πανιά παρατηρήθηκε στο οροπέδιο του Λασιθίου στην Κρήτη, για την άρδευση της περιοχής. Πριν από το 1940 υπήρχαν 6000 ανεμόμυλοι που ο καθένας αντλούσε 35-50 m³ νερό κατά τη διάρκεια 9-10 ωρών λειτουργίας.

Ολοκληρώνοντας αυτή τη σύντομη ιστορική αναδρομή στις αιολικές μηχανές σαν συνάρτηση της ενέργειας τους και του τρόπου χρήσης τους, θεωρείται σκόπιμο να γίνει αναφορά στο αιολικό δυναμικό στην Ευρώπη (Λιώκη, Ασημακοπούλου 2008). Οι πρώτες εκτιμήσεις του αιολικού δυναμικού ορισμένων περιοχών της Ευρώπης έγιναν στα τέλη της δεκαετίας του 1980 από τις χώρες μέλη της τότε Ευρωπαϊκής ένωσης. Οι εκτιμήσεις αυτές αναφέρονται σε ύψος 50m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και η διαθέσιμη ισχύς του ανέμου για διάφορες ταχύτητες του εδάφους φαίνονται στην εικόνα 7. Όπως προέκυψε από τις εκτιμήσεις που έγιναν από τις χώρες που συμμετείχαν στη μελέτη αυτή, η συνολική εδαφική έκταση σε αυτές με αιολική ισχύ μεγαλύτερη από 250, 400, και 600 W/m² είναι αντίστοιχα 34. 10⁴, 24.10⁴ και 9 10⁴ Km² που μπορεί να δώσει ετησίως 8400 TWh ηλεκτρικής ενέργειας.

2.2 Τύποι σύγχρονων Ανεμογεννητριών



Εικόνα 8: Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (δύο δεξιά) και οριζοντίου άξονα. Πηγή: goole images

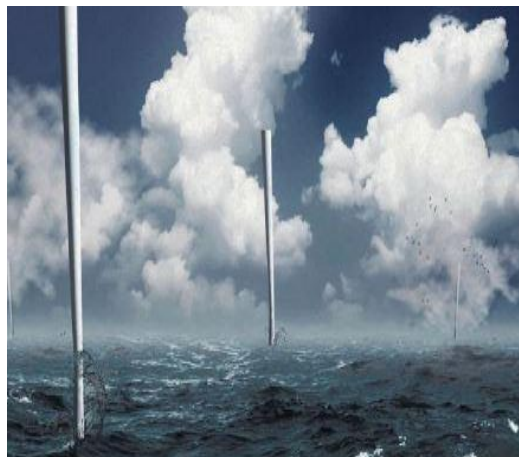
Ως ανεμογεννήτρια, ορίζεται η αιολική μηχανή η οποία μετατρέπει την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Υπάρχουν δύο τύποι Α/Γ: Κάθετου και οριζοντίου άξονα. Α/Γ οριζοντίου άξονα, ονομάζονται εκείνες στις οποίες ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος με το οριζόντιο επίπεδο και την κατεύθυνση του ανέμου. Είναι

περισσότερο θορυβώδεις από τις κατακόρυφους άξονα, αλλά αρκετά πιο αποδοτικές. Α/Γ κατακόρυφους άξονα, ονομάζονται εκείνες στις οποίες ο άξονας περιστροφής είναι κατακόρυφος με το οριζόντιο επίπεδο. Οι Α/Γ κατακόρυφους άξονα μπορούν να εγκατασταθούν κοντά στο έδαφος (όπως σε σκεπές κτιριακών εγκαταστάσεων) και συμπεριφέρονται καλύτερα στις αλλαγές διεύθυνσης ανέμου.

Επιπλέον τύποι Α/Γ, αποτελούν αυτές των εταιρειών Altaeros και Vortex. Η πρώτη εταιρεία έχει σχεδιάσει την ιπτάμενη Α/Γ στην οποία η τουρμπίνα περικλείεται από ένα φουσκωτό κέλυφος (από υλικά κατασκευής αερόστατων), γεμάτο με ήλιο ώστε να υπερίπταται. Η εν λόγω κατασκευή έχει δοκιμαστεί σε ύψος 100 μέτρων και πιθανότατα στο μέλλον να αποτελεί μια καλή λύση για περιοχές όπου οι σταθερές Α/Γ θα είναι δύσκολο να εγκατασταθούν. Η δεύτερη εταιρεία (Vortex) , σχεδίασε ανεμοτουρμπίνα χωρίς έλικες. Πρόκειται ουσιαστικά, για πυλώνα μονής λεπίδας ο οποίος χάριν της δυναμικής του ανέμου δονείται. Αυτή η δόνηση μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο πυλώνας αυτός έχει στην βάση του μαγνήτες ώστε να δονείται ακόμη και αν το ανεμολογικό δυναμικό είναι χαμηλό.



Εικόνα 9: Ιπτάμενη Α/Γ. Πηγή: <http://www.altaerosenergies.com>



Εικόνα 10. Α/Γ χωρίς έλικες. Πηγή: <http://www.vortexbladeless.com>

2.3 Πλωτές Ανεμογεννήτριες

Ως πλωτές κατασκευές ορίζονται αυτές που τη στήριξή τους αναλαμβάνει το νερό. (Αθανασιάδης Γ.Γ, 2015) Όσον αφορά τις πλωτές ανεμογεννήτριες, η διατήρηση της κατασκευής στην επιφάνεια της θάλασσας εξασφαλίζεται λόγω άνωσης καθώς τοποθετούνται σε πλωτήρες. Η σύνδεσή τους με τον πυθμένα, εξασφαλίζεται μέσω των κατάλληλων γραμμών αγκύρωσης.

Οι πλωτές ανεμογεννήτριες άρχισαν να υφίστανται σαν ιδέα από το 1972, από τον καθηγητή του M.I.T. William E. Heronemus. Τα πλεονεκτήματα αυτού τους είδους ανεμογεννητριών παρουσιάζονται παρακάτω :

- Το πρόβλημα που αφορά την οπτική όχληση, δύναται να ξεπεραστεί καθώς μπορούν να τοποθετηθούν σε αρκετά μεγάλα βάθη μακριά από την ακρογραμμή.
- Μεγαλύτερη αξιοποίηση των ανέμων που πνέουν στις ανοικτές θάλασσες, λόγω έλλειψης τοπογραφικών εμποδίων.
- Έχουν μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα αφού δεν επηρεάζουν τον πυθμένα σημαντικά κατά την εγκατάστασή τους.
- Έχουν μικρότερο κόστος συναρμολόγησης/εγκατάστασης. Η συναρμολόγηση γίνεται στην ξηρά και ακολούθως ρυμουλκούνται στο σημείο πόντισης.
- Δεν επηρεάζουν τον κλάδο της αλιείας αρνητικά όπως η σταθερής έδρασης. Έχοντας μικρότερη επιρροή στον υποθαλάσσιο κόσμο αφού δεν προστίθενται στον πυθμένα βαριές και ογκώδεις κατασκευές ώστε να τον αλλάξουν, δεν μειώνουν τη θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα της γύρω περιοχής.

Οι βασικότερες κατηγορίες πλωτών Α/Γ είναι οι εξής :

TLP (Tension-Leg platform) : Είναι συνδεδεμένες με τις άγκυρες στον βυθό, μέσω προεντεταμένων καλωδίων που προσφέρουν ευστάθεια στην κατασκευή.

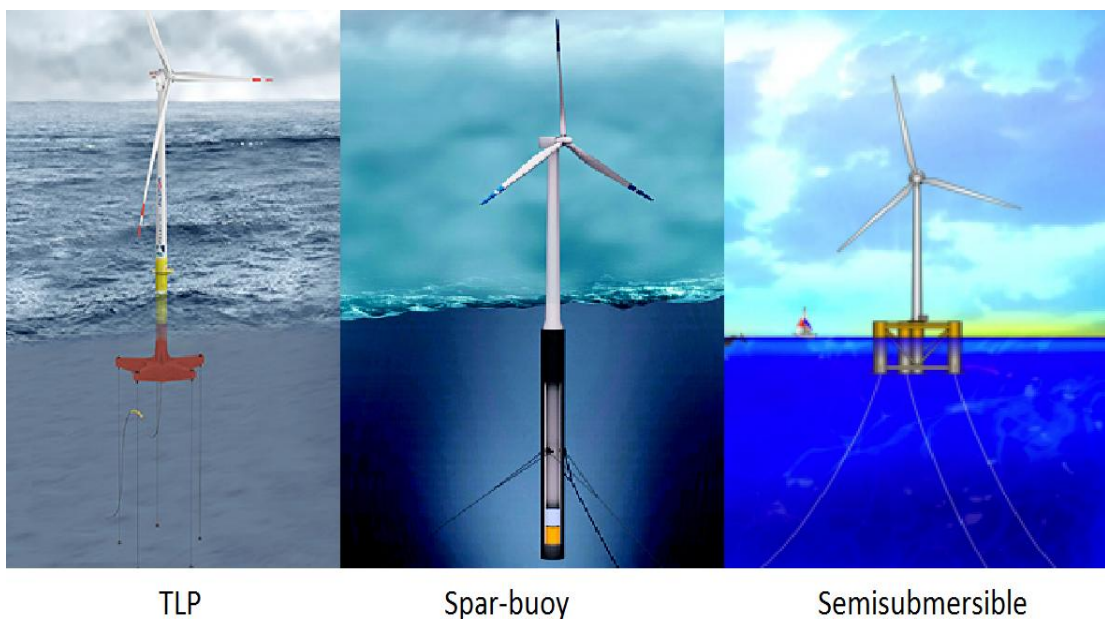
Spar-buoy: Αποτελούνται από έναν κατακόρυφο πυλώνα ο οποίος διαθέτει έρμα στη βάση του και στην κορυφή του είναι κενός υλικού (κούφιος) και εσωκλείει μεγάλες ποσότητες αέρα ώστε να επιπλέει. Μειονέκτημά της αποτελεί πως υπάρχει δυσκολία στη διαδικασία της εγκατάστασης/συναρμολόγησής της σε περίπτωση που γίνεται σε μη προστατευμένες περιοχές βαθιών νερών.

Semisubmersible: Οι πλωτές Α/Γ τύπου Barge αποτελούν ημιβυθισμένες πλατφόρμες. Είναι λιγότερο σταθερές από τις δύο προηγούμενες. Σημαντικό τους

προτέρημα είναι πως κατασκευάζονται πλήρως εκτός θάλασσας και απλώς με ρυμούλκηση εγκαθίστανται στον χώρο που μας ενδιαφέρει.

Τα κριτήρια έδρασης πλωτών ανεμογεννητριών είναι τα παρακάτω:

- Το αιολικό δυναμικό της περιοχής.
- Η ευκολία πόντισης και συντήρησης της κατασκευής.
- Το βάθος και η μορφολογία του βυθού.
- Η ενδεχόμενη ακουστική και ηχητική όχληση.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η αποφυγή κάλυψης περιοχών διαφορετικής χρήσης (όπως αλιείας).

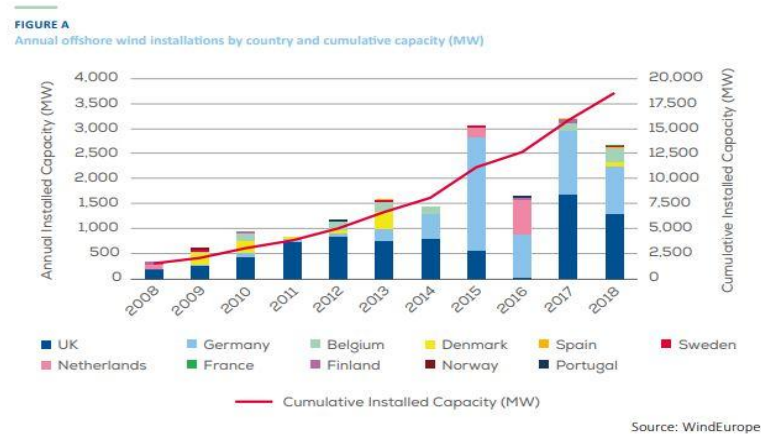


Εικόνα 11: Ανεμογεννήτριες. Πηγή: google Images

2.4 Διαχρονική σύγκριση παραχθέντος υπεράκτιου αιολικού δυναμικού

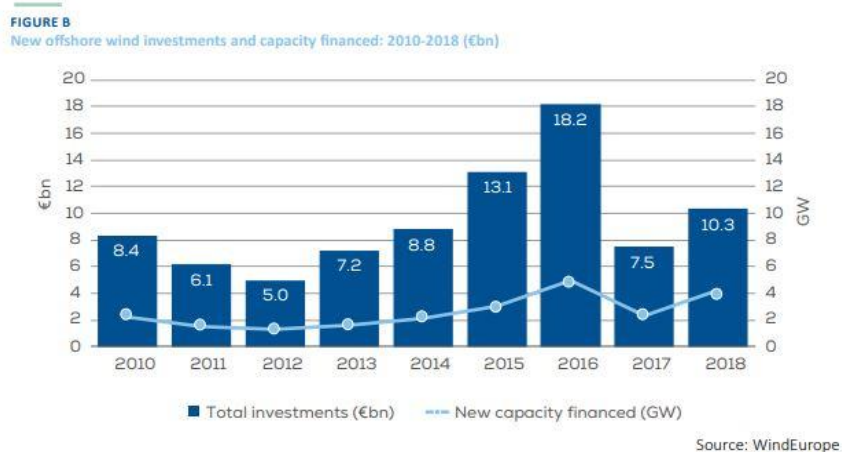
Όπως αναφέραμε, τα τελευταία χρόνια οι υπεράκτιες κατασκευές έχουν αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό, γεγονός που επιβεβαιώνει ο οργανισμός «WindEurope». Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα, Το 2018 η Ευρώπη συνέδεσε 409 νέες υπεράκτιες ανεμογεννήτριες στο δίκτυο μέσα από 18 έργα. Αυτό έφερε 2.649MW καθαρού επιπλέον δυναμικού. Η Ευρώπη ως το τέλος του 2018, διέθετε συνολικά εγκατεστημένο αιολικό δυναμικό που αντιστοιχεί σε 18.499 MW. Συμπεριλαμβανομένων των τοποθεσιών με μερική σύνδεση στο δίκτυο, υπάρχουν τώρα 105 υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις σε 11 ευρωπαϊκές χώρες με τη

Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο να ξεχωρίζουν στο παραγόμενο δυναμικό (Εικόνα 12).



Εικόνα 12. Ετήσια παροχή ρεύματος από πλωτές Α/Γ σε MW (πηγή WindEurope)

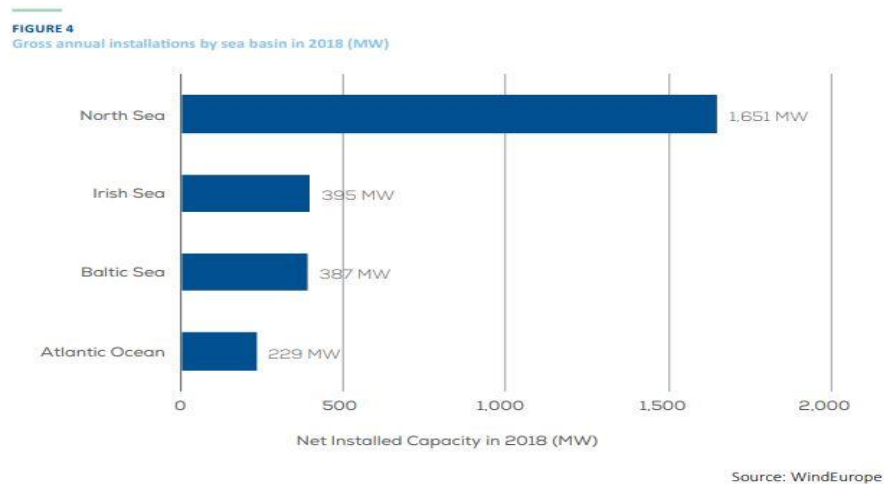
Επιπλέον, δώδεκα νέα project υπεράκτιων κατασκευών εγκρίθηκαν, κερδίζοντας τελική απόφαση επένδυσης το 2018 η οποία ανήλθε σε ύψος 10,3 δισ. ευρώ. Ως αποτέλεσμα προστέθηκαν 4,2 GW δυναμικότητας, η οποία θα τεθεί σε λειτουργία τα επόμενα δυο χρόνια. Παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα γίνεται σαφής μια σημαντική αύξηση των επενδύσεων στη γαλάζια ενέργεια μέσω υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Πιο συγκεκριμένα, διακρίνουμε μια κορύφωση στα 18,2 δισ. ευρώ καθώς και αρκετά «σκαμπανεύσματα» τόσο τα προηγούμενα όσο και τα επόμενα έτη. Ο μέσος όρος των συνολικών επενδύσεων στην υπεράκτια αιολική ενέργεια ανέρχεται σε ύψος 9,4 δισ. ευρώ. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως σημειώθηκε μια αύξηση κατά 37% των επενδύσεων, συναρτήσει του 2017 (Εικόνα 13).



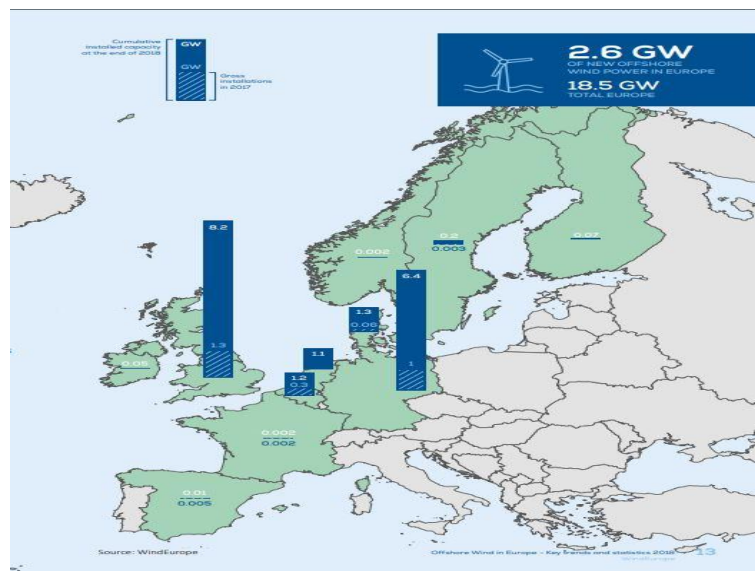
Εικόνα 13: Επενδύσεις υπερακτίων κατασκευών και δυναμικότητα σε GW(πηγή WindEurope)

Το παρακάτω διάγραμμα μας δείχνει τα παραγόμενα MW συναρτήσει των θαλασσών στις οποίες είναι εγκατεστημένα τα θαλάσσια πάρκα. Με την πρώτη ματιά μπορούμε να διακρίνουμε πως η βόρεια θάλασσα υπεριχθεί σε σημαντικό βαθμό καθώς αποτελεί το σημείο εκείνο στο οποίο υπάρχουν τα θαλάσσια αιολικά πάρκα του Ηνωμένου Βασιλείου, της Γερμανίας και της Νορβηγίας. Ωστόσο αξιοσημείωτες είναι και οι παροχές σε MW των υπόλοιπων θαλασσών και ωκεανού (Ιρλανδική, Βαλτική και Ατλαντικού). (Εικόνα 14)

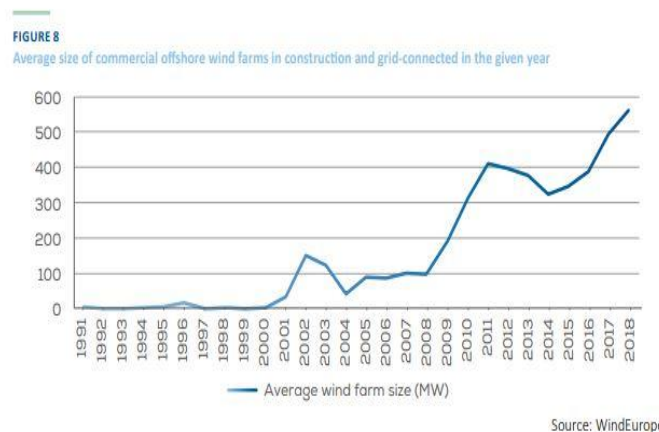
Παρακάτω, φαίνονται οι δύο χώρες που ξεχωρίζουν στην παραγόμενη τελική ισχύ οι οποίες δεν είναι άλλες από τη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Έπειτα όσον αφορά το μέγεθος του εκάστοτε θαλάσσιου αιολικού πάρκου γίνεται σαφές ότι με την πάροδο του χρόνου, με εξαιρέσεις τα διαστήματα 2004-2008 και 2013-2015 , το μέγεθός τους αυξάνεται συναρτήσει της χρονικής κλίμακας.(Εικόνα 15,16)



Εικόνα 14. Παραγόμενα MW συναρτήσει των θαλασσών (πηγή WindEurope)



Εικόνα 15. Κατανομή παραγόμενης ισχύος στην Ευρώπη (πηγή WindEurope)



Εικόνα 16: Μεταβολή του μεγέθους των θαλασσίων πάρκων σε συνάρτηση με το χρόνο (πηγή WindEurope)

2.5 Μηχανές ανάκτησης μηχανικής ενέργειας (Μ.Α.Κ.Ε)

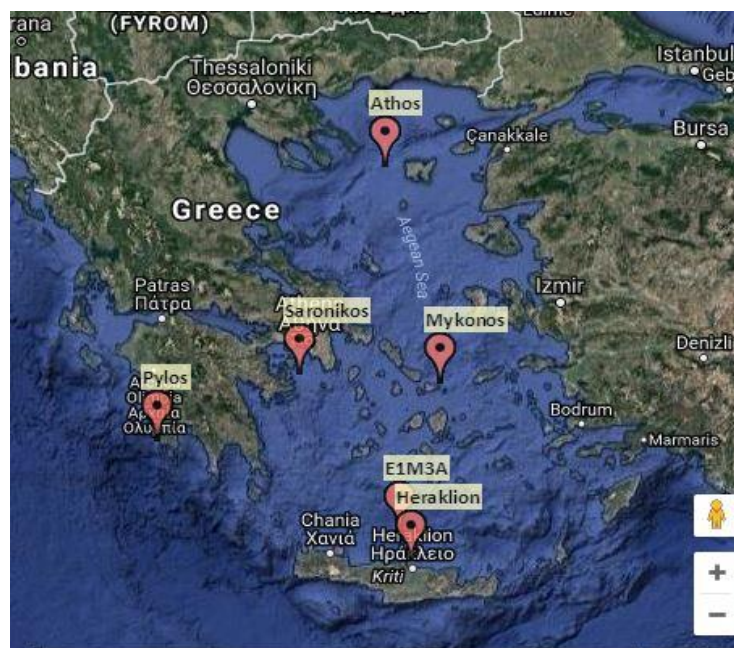
2.5.1 Προέλευση κυματικών φαινομένων και καταγραφή τους

Τα κυματικά φαινόμενα οφείλονται σε ποικιλία δυνάμεων που είτε επενεργούν μεμονωμένα, είτε συνήθως σε συνδυασμό στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι δυνάμεις αυτές χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: α) γεωλογικής προέλευσης, όπως σεισμικά φαινόμενα και τσουνάμι β) αστρονομικής προέλευσης, όπως παλιρροιακά φαινόμενα και γ) μετεωρολογικής προέλευσης, δηλαδή ανεμογενούς προέλευσης. Τα τελευταία θεωρούνται και τα σημαντικότερα προς αξιοποίηση από τους Μηχανές Ανάκτησης .Κυματικής. Ενέργειας. (Μ.Α.Κ.Ε). Τα κυματικά φαινόμενα καταγράφονται με τους παρακάτω τρόπους:

- ✓ Από δορυφόρους (σκεδασιόμετρα και αλτίμετρα) που προσδίδουν συνεχή παροχή δεδομένων σχετικά με τη θαλάσσιο περιβάλλον έχοντας μόνο μειονέκτημα ότι η θέση τους συνεχώς αλλάζει .
- ✓ Από επιτόπιες μετρήσεις οι οποίες παρέχουν συνεχή ενημέρωση. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πως το υπάρχον δίκτυο είναι μικρό .
- ✓ Μέσω επιχειρησιακών μοντέλων προσομοίωσης τα οποία χρησιμοποιούν μοντέλα του παρελθόντος ή συνδυασμό των δύο ανωτέρω.

Στον ελλαδικό θαλάσσιο χώρο σημαντικό σύστημα παρακολούθησης και πρόγνωσης των κυματισμών αποτελεί το “Ποσειδών” του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας του

Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (Εικόνα 17). Το σύστημα αποτελείται από πλωτήρες Sea Watch όπου μέσω αυτών μετράται το ύψος και η κατεύθυνση των κυματισμών. Στους πλωτήρες είναι εγκατεστημένοι και αισθητήρες για την μέτρηση: α) της ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου, β) της θερμοκρασίας και της πίεσης της ατμόσφαιρας, γ) του σημαντικού ύψους, της κατεύθυνσης και της περιόδου του κύματος, δ) της επιφανειακής θερμοκρασίας και αλατότητας και ε) της ταχύτητας και της κατεύθυνσης των ρευμάτων. Τα παραπάνω δεδομένα (Εικόνα 18) συλλέγονται και επεξεργάζονται καταλλήλως καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και εν συνεχεία αποστέλλονται κάθε 3 ώρες δορυφορικά στο Ε.Λ.ΚΕ.Θ.Ε. προς περαιτέρω επεξεργασία και εισαγωγή τους στα προγνωστικά του μοντέλα.

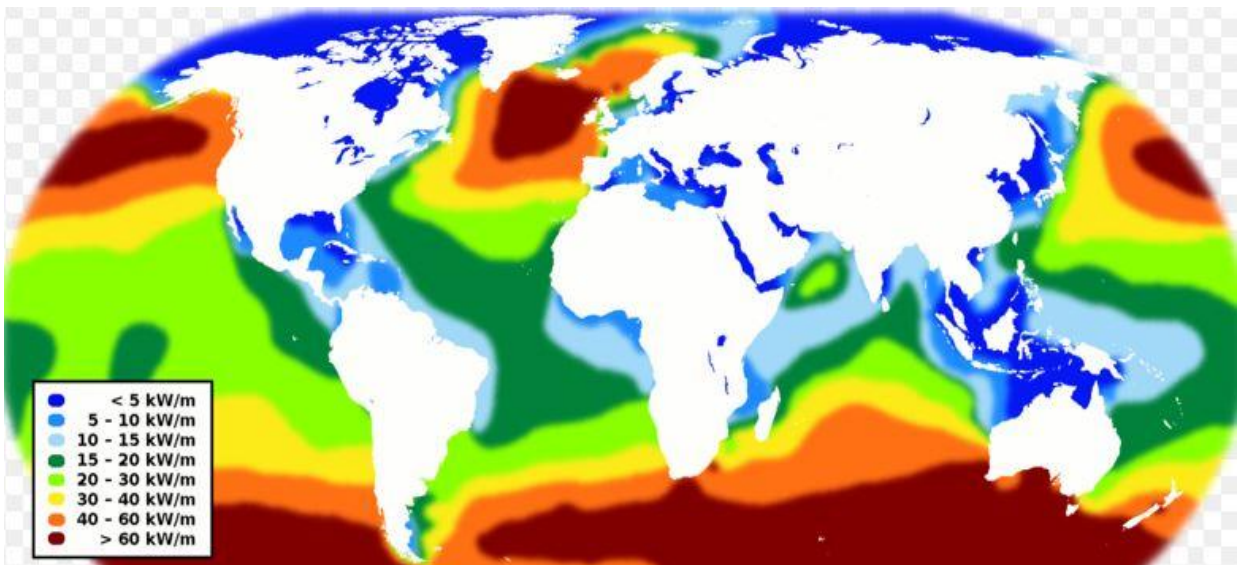


Εικόνα 17. Γεωγραφική απεικόνιση της θέσης των σταθμών "Ποσειδών". Πηγή: http://www.poseidonhcmr.gr/online_data_ar.php

Θαλάσσια Δεδομένα						
	Δεδομένα κυκλοφορίας		Κυματικά δεδομένα			
	Διεύθυνση (μοίρες)	Ταχύτητα (εκ./δευ.)	Σημαντικό ύψος (μέτρα)	Μέγιστο ύψος (μέτρα)	Κύρια διεύθυνση (μοίρες)	Θερμοκρασία επιφάνειας (°C)
Άθως	123.40	8.20	0.12	N/A	278.44	21.97
E1M3A	182.91	23.63	0.39	0.48	17.85	22.68
Μύκονος	147.66	25.78	0.31	0.39	281.25	20.43
Σαρωνικός	109.34	N/A	0.25	N/A	145.37	N/A
Πύλος	95.98	23.73	0.47	0.63	174.38	N/A
Ηράκλειο	189.50	23.02	0.37	0.42	283.81	22.57
Η ένδειξη N/A δηλώνει την απουσία μέτρησης κάποιας παραμέτρου						

Εικόνα 18: Θαλάσσια δεδομένα από τους σταθμούς "Ποσειδών". Πηγή http://www.poseidon.hcmr.gr/online_data_gr.php

Στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 19) φαίνεται πώς είναι κατανομημένο το κυματικό δυναμικό. Τα κύματα του ωκεανού αποτελούν τον τελευταίο αναξιοποίητο πόρο ανανεώσιμης ενέργειας μεγάλης κλίμακας του πλανήτη μας. Πάνω από το 70% της επιφάνειας της γης καλύπτεται με νερό. Η ενέργεια που περιέχεται στα κύματα έχει τη δυνατότητα να παράγει μέχρι και 80.000 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως - επαρκής για να καλύψει την παγκόσμια ζήτηση ενέργειας μας πέντε φορές. Η κυματική ενέργεια είναι ανισομερώς κατανομημένη παγκοσμίως. Στην εύκρατη ζώνη δηλαδή σε γεωγραφικά ύψη μεταξύ 30° και 60° το δυναμικό των κυματισμών είναι υψηλότερο, με τις τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 20-70 GW/m κυματικού μετώπου. Υπολογίζεται πως το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό των χωρών της Ε.Ε. είναι 150-230 TWh/y , εκ των οποίων τα 4-11 TWh/y αντιστοιχούν στις ελληνικές θάλασσες.



Εικόνα 19. Κυματική κατανομή Πηγή : <http://oscillapower.com/waveenergy/>

2.5.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα χρήσης των Μ.Α.Κ.Ε

Οι Μ.Α.Κ.Ε. αποτελούν κατασκευές οι οποίες μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια των κυμάτων (κινητική και δυναμική), σε ηλεκτρική. Παρακάτω ακολουθούν τα πλεονεκτήματα χρήσης μηχανισμών ανάκτησης κυματικής ενέργειας.

- Διαθέτουν την μεγαλύτερη πυκνότητα και διαθεσιμότητα ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας σε σχέση με τις άλλες Α.Π.Ε..
- Δημιουργούν ελάχιστη οπτική όχληση και μηδαμινή ηχητική.

- Ποντίζονται κοντά στην ακτογραμμή, οπότε επιτυγχάνεται ευκολότερη προσβασιμότητα συντήρησης και μικρότερο κόστος καλωδιώσεως μεταφοράς της ενέργειας προς την ακτή.
- Η απαραίτητη χωρική τους ανάγκη είναι αμελητέα και δεν παρεμποδίζουν άλλες χρήσεις της περιοχής (όπως την αλιεία).

Ακολουθούν τα μειονεκτήματα της χρήσης μηχανισμών ανάκτησης κυματικής ενέργειας.

- Οι εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες στις οποίες οι συσκευές αυτές και η αγκύρωσή τους υποβάλλονται λόγω των κυματισμών.
- Το ακαθόριστο και η ανομοιομορφία των κυματισμών.
- Η μετατροπή της ενέργειας των κυματισμών ακανόνιστης και μικρής συχνότητας στην απαιτούμενη σταθερή συχνότητα ηλεκτρισμού.
- Η ποικιλομορφία των συσκευών.
- Η δυσκολία αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας

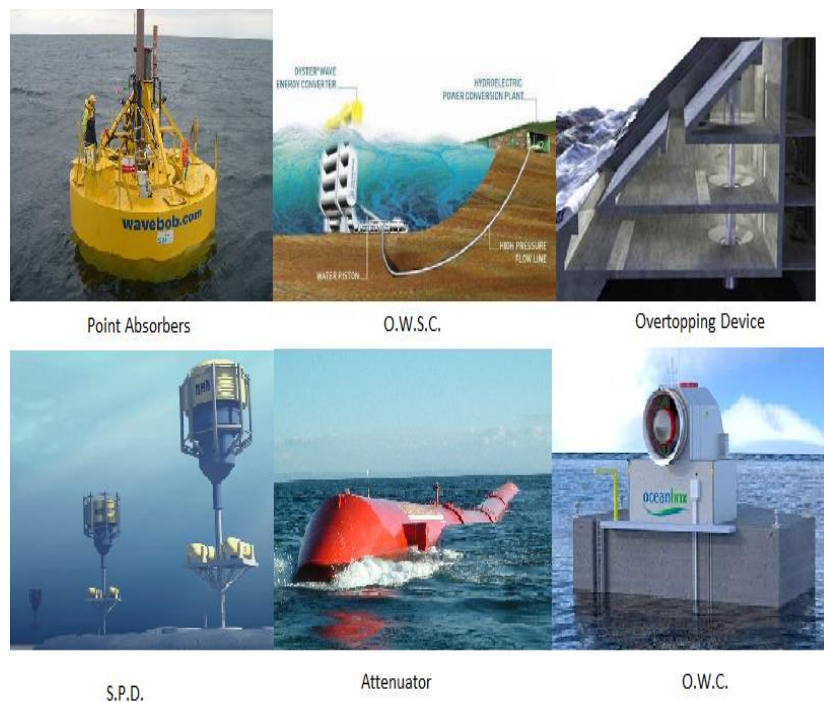
2.5.3 Είδη Μ.Α.Κ.Ε.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 20) ακολουθούν τα υφιστάμενα είδη μηχανισμών ανάκτησης κυματικής ενέργειας :

Αναλυτικότερα τα είδη διακρίνονται στα εξής :

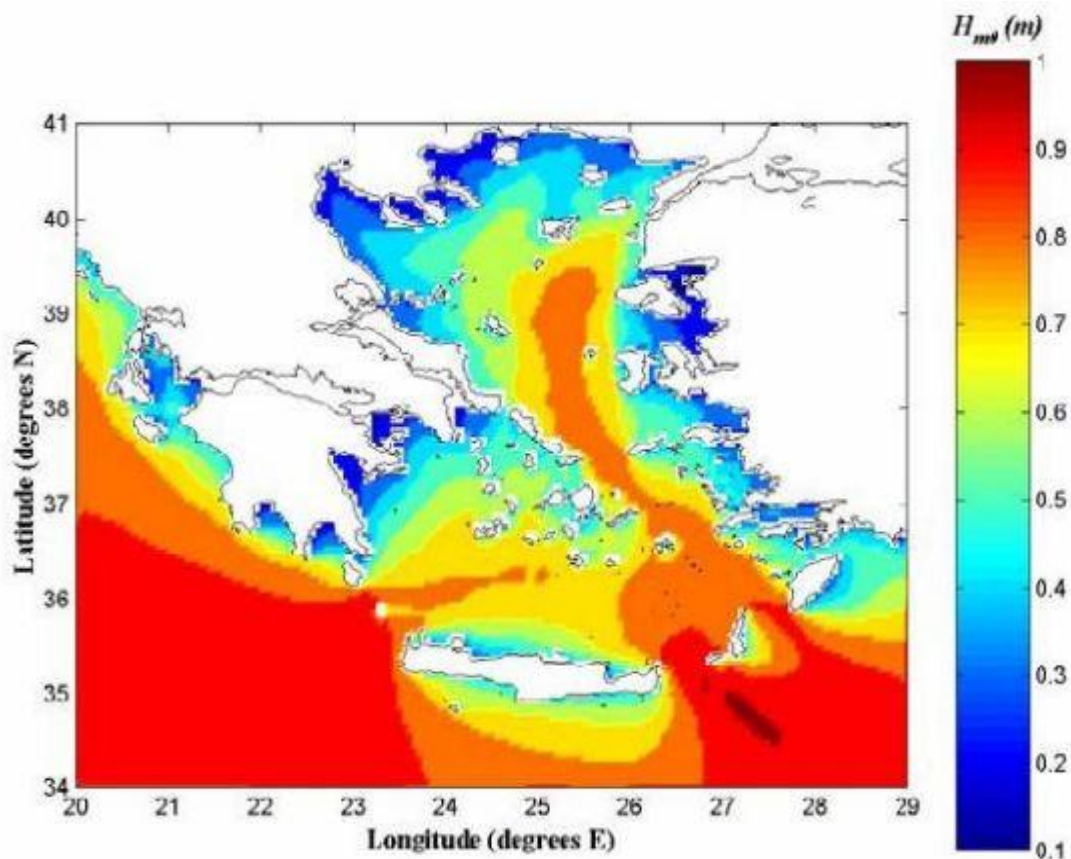
- Σημειακοί απορροφητές ενέργειας (Point Absorbers) : Πλωτές συσκευές, οι οποίες απορροφούν ενέργεια από κάθε κατεύθυνση λόγω της μετακίνησης στην οποία υπόκεινται από τα κύματα στην ίσαλο γραμμή ή κοντά σε αυτήν.
- Συσκευές υπερπήδησης του νερού (Overtopping Device) : Αποτελούνται από ανοικτές δεξαμενές των οποίων το χείλος βρίσκεται πάνω από τη συνήθη στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας. Το νερό που ξεπερνά το ύψος της δεξαμενής συλλέγεται σε αυτή και επαναφέρεται στη θάλασσα μέσω ενός συμβατικού υδροστροβίλου, όπου μέσω γεννήτριας παράγεται ηλεκτρική ενέργεια
- Συσκευές μακρόστενης ροής (Attenuator): Αποτελούν πλωτές επιμήκεις σπονδυλωτές κατασκευές με μικρή μετωπική επιφάνεια προς το κύμα. Οι συσκευές αυτές ακολουθούν κατά μήκος τις κινήσεις του κύματος και μέσω υδραυλικών μηχανισμών μεταξύ των αρθρωτών τμημάτων μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική

- Βυθισμένες συσκευές διαφοράς πίεσης (Submerged Pressure Differential): Οι συσκευές αυτές βρίσκονται συνήθως παράκτια και εδράζονται σταθερά στον πυθμένα της θάλασσας. Ο κυματισμός διαφοροποιεί την υποκείμενη πίεση η οποία μεταφέρεται καταλλήλως στον μηχανισμό κινητικής ενέργειας.
- Συσκευές οριζόντιας κυματικής παλινδρόμησης-πρόνευσης (Oscillating Wave Surge Converter): Αποτελούν κατασκευές ημιβυθισμένες, ούσες κενές εσωτερικά σε μορφή θαλάμου. Είναι ανοιχτές στο κατώτερο μέρος τους, όπου το ανώτερο σημείο αυτού του ανοίγματος εντοπίζεται κάτωθεν της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας. Πάνω από την επιφάνεια του νερού ο θάλαμος περιέχει αέρα. Λόγω της παλινδρομικής κίνησης του νερού, η στήλη αέρα συμπιέζεται και αποσυμπιέζεται. Μέσω αυτής της κίνησής του ενεργοποιείται μια γεννήτρια προς παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, εκμεταλλευόμενη την κινητική ενέργειά του.
- Παλινδρομούσα στήλη νερού (Oscillating Water Column): . Αποτελούνται από μια περιστρεφόμενη άτρακτο και έναν βραχίονα εδραζόμενο πάνω σε αυτήν που παλινδρομεί εξαιτίας της οριζόντιας κατεύθυνσης των κυματισμών. (Bouali,Larbi, 2013) Με τον τρόπο αυτό, γίνεται εκμετάλλευση της ενέργειας των οριζόντιων κυματισμών.



Εικόνα 20. Είδη Μ.Α.Κ.Ε. . . Πηγή : google images

2.5.4 Οι Μ.Α.Κ.Ε στον ελλαδικό χώρο



Εικόνα 21 Μέση ετήσια κατανομή σημαντικού ύψους κύματος. Πηγή: Soukissian T.H. et al., 2006

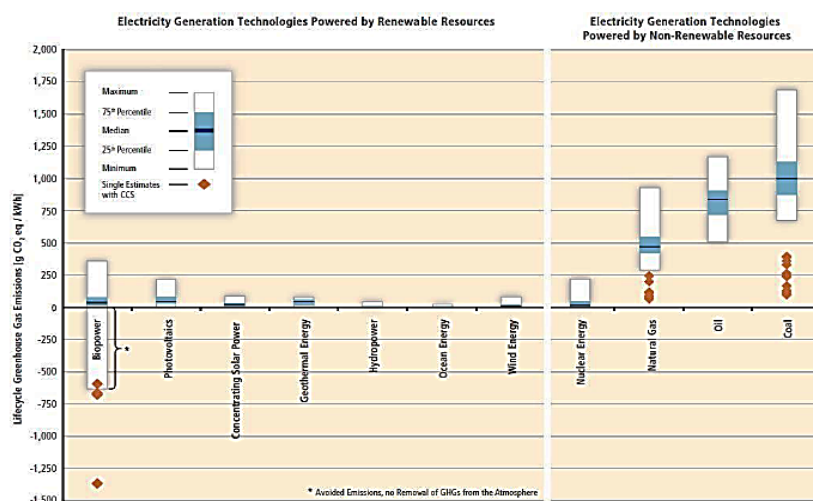
Για την Ελλάδα, η οποία διαθέτει μεγάλη ακτογραμμή, μήκους περίπου 16.000 Km, το υψηλό αιολικό δυναμικό πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος έχει σχετικά έντονη κυματική δραστηριότητα στην περιοχή, με μέσες ετήσιες τιμές κυματικής ισχύος ανά μέτρο μετώπου κύματος της τάξης των 4-11 kW/m (Εικόνα 21). Εντοπίζονται επίσης θαλάσσιες περιοχές «εστιασμού» κυματικής ενέργειας (“hot spots”), λόγω φαινομένων ανάκλασης και περίθλασης των κυμάτων. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο θαλάσσιο κυματικό δυναμικό της Ελλάδας θεωρείται το υψηλότερο της Μεσογείου, της τάξης των 5-9 TWh σε ετήσια βάση. Το δυναμικό αυτό θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στην ηλεκτροδότηση μεγάλου αριθμού νησιών στο Αιγαίο. Στον παρακάτω χάρτη βλέπουμε την κατανομή του κυματικού δυναμικού στον ελλαδικό χώρο:

- Οι περιοχές υψηλότερου κυματικού και αιολικού δυναμικού, όπως αυτές προσδιορίζονται από το μοντέλο, βρίσκονται στο Νότιο Αιγαίο και ειδικότερα στα στενά μεταξύ: Κάσου - Κρήτης - Κρήτης - Κυθήρων - Ρόδου - Καρπάθου.

- Δυστυχώς στην Ελλάδα δεν έχει υπάρξει κάποια ενεργή δράση που να αποσκοπεί στην εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας παρά το γεγονός ότι ειδικά στο Αιγαίο οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για ένα τέτοιο εγχείρημα. Το Μάιο 2016,ωστόσο, στο βόρειο λιμενοβραχίονα του Λιμένα Ηρακλείου, πραγματοποιήθηκε η επίσημη έναρξη της ετήσιας δοκιμαστικής λειτουργίας του πιλοτικού συστήματος μετατροπής κυματικής ενέργειας της γερμανικής εταιρείας “SINN Power”, σε συνεργασία με τον Οργανισμό Λιμένος Ηρακλείου Α.Ε, ώστε η εταιρεία να αξιολογήσει την λειτουργικότητα, αποδοτικότητα καθώς και την αντοχή της συγκεκριμένης νέας τεχνολογίας με απώτερο στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ενέργεια των κυμάτων για τη μελλοντική χρήση αυτής προς εξυπηρέτηση των ενεργειακών αναγκών του λιμανιού.

2.6 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση των πλωτών αιολικών μηχανών

Όπως γίνεται αντιληπτό η αντικατάσταση του πετρελαίου από τον άνεμο για την παραγωγή ενέργειας, έχει σαν επακόλουθο την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την προστασία του περιβάλλοντος από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επομένως η χρήση των ΑΠΕ έχει θετική συμβολή στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο ζει ο άνθρωπος.



Εικόνα 22: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου των εκάστοτε πηγών ενέργειας. Πηγή: www.nrel.gov

Συγχρόνως όμως υποστηρίζεται ότι υπάρχουν και αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη χρήση αιολικών μηχανών και ειδικότερα από τη χρήση πλωτών αιολικών μηχανών με τις οποίες θα ασχοληθούμε στην εργασία αυτή. Αυτές αν δεχθεί κανείς ότι υπάρχουν, είναι σχετικά πολύ μικρές και τελικά το όφελος είναι μεγαλύτερο από τη βλάβη. Οι κυριότερες από τις επιδράσεις αυτές είναι: (Λιώκη, Ασημακοπούλου 2008)

- **Αλληλεπίδραση των αιολικών μηχανών.** Στα υπήνεμα των αιολικών μηχανών παρατηρείται ελάττωση της ταχύτητας του ανέμου, λόγω των αναταράξεων που οφείλονται στον πύργο στήριξης της αιολικής μηχανής. Η αποκατάσταση της κατατομής του ανέμου γίνεται σε μια απόσταση στα υπήνεμα η οποία εξαρτάται από τη γεωμετρία της αιολικής μηχανής, την τοπογραφία της περιοχής και την ευστάθεια της ατμόσφαιρας. Η συνολική απόδοση ενός αριθμού ενός αριθμού αιολικών μηχανών διατεταγμένων σε ευθεία γραμμή προς τη συνολική απόδοση τους αν δεν υπήρχε αλληλεπίδραση μεταξύ των μηχανών, ορίζει την ικανότητα της σειράς των αιολικών μηχανών και εξαρτάται από

α) από την μεταξύ τους απόσταση

β) από τον προσανατολισμό τους

γ) από την κατανομή ταχυτήτων του αέρα

δ) από την τοπογραφία της περιοχής

Από θεωρητικές και πειραματικές μελέτες έχει προκύψει ότι η αλληλεπίδραση αυξάνει γρήγορα όταν η μεταξύ τους απόσταση είναι μικρότερη από $20R$ (R η ακτίνα της πτερωτής της αιολικής μηχανής). Για ένα απεριόριστο αριθμό αιολικών μηχανών σε γραμμική διάταξη η ικανότητα της σειράς είναι γύρω στο 60%.

- **Αλλοίωση της αισθητικής του περιβάλλοντος χώρου.** Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί μόνο στην περίπτωση που θα γίνει εγκατάσταση μια μεγάλης αιολικής μηχανής σε μια μη ανοικτή περιοχή, γεγονός που δε θα συμβεί γιατί η παρεχόμενη ισχύ σε μια τέτοια θέση δεν θα ήταν ικανοποιητική. Επίσης υπάρχει νομοθεσία που απαγορεύει την εγκατάσταση αιολικών μηχανών στη γειτονία ιστορικών μνημείων.
- **Κλιματολογικές αλλοιώσεις.** Υποστηρίζεται χωρίς αυτό να είναι εξακριβωμένο, ότι οι αιολικές μηχανές που έχουν τοποθετηθεί κατά μήκος των

ακτών πιθανόν να μειώνουν τους υδρατμούς στο εσωτερικό της περιοχής. Αυτό όμως αμφισβητείται γιατί η αιολική μηχανή δεσμεύει ένα μικρό μόνο μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου.

- **Επίδραση στην πανίδα.** Χωρίς να έχει αποδειχθεί ότι συμβαίνουν συγκρούσεις πουλιών πάνω στα πτερύγια των αιολικών μηχανών, τουλάχιστον στην Ελλάδα που είναι πέρασμα αποδημητικών πουλιών, θα πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση αιολικών μηχανών σε σημεία τα οποία χαρακτηρίζονται ως νυχτερινά περάσματα πουλιών. Όσον αφορά την παρουσία τοπικών πληθυσμών πουλιών κοντά σε αιολικά πάρκα, από μελέτη στην Ολλανδία σε αιολικό πάρκο εγκατεστημένης ισχύος 7.5MW, προέκυψε ότι ο κίνδυνος να σκοτωθούν πουλιά λόγω πρόσκρουσης πάνω στα πτερύγια, είναι μικρότερος από αυτόν που μπορεί να συμβεί από την παρουσία του πυλώνα μιας γραμμής υψηλής τάσης ηλεκτρικού ρεύματος.
- **Ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις.** Είναι δυνατόν να παρατηρηθεί διαταραχή στη λήψη σημάτων του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης στη γειτονία αιολικών μηχανών, λόγω της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα πτερύγια της πτερωτής. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με την εγκατάσταση των αιολικών μηχανών μακριά από οικισμούς, είτε με την επιλογή κατάλληλων υλικών κατασκευής των πτερυγίων. Το πρόβλημα φαίνεται να είναι σοβαρότερο στην εγκατάσταση μεγάλων αιολικών μηχανών στη γειτονία αεροδρομίων, γιατί μπορεί πράγματι να είναι σοβαρή η επίδραση στις τηλεπικοινωνίες με τον πύργο ελέγχου και τα ραδιοβοηθήματα.

2.7 Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι για τις πλωτές αιολικές μηχανές

Για την εγκατάσταση των αιολικών μηχανών, δεν απαιτείται μόνο η επιλογή κατάλληλης θέσης, ώστε να βελτιστοποιείται η σχέση παραγόμενης ισχύος-κόστους. Θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι φυσικοί κίνδυνοι που μπορούν να ελαττώσουν την απόδοση μιας αιολικής μηχανής ή ακόμα και να δημιουργήσουν μερική ή ολική καταστροφή της. Για το λόγο αυτό συγχρόνως με την επιλογή της κατάλληλης θέσης από ανεμολογικής απόψεως, θα πρέπει να αναζητηθούν θέσεις όπου το σύνολο των πιθανών κινδύνων ή των αρνητικών επιδράσεων να είναι τέτοιας τάξης μεγέθους που να επιτρέπει μια οικονομικά συμφέρουσα εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Οι κυριότερες ατμοσφαιρικές παράμετροι που μπορούν να έχουν

αρνητικές επιπτώσεις στις πλωτές κυρίως αιολικές μηχανές είναι: (Λιώκη, Ασημακοπούλου 2008)

- **Μέγιστες ταχύτητες του ανέμου.** Οι μέγιστες ταχύτητες του ανέμου μπορούν να καταστρέψουν τα φτερά μια αιολικής μηχανής και ακόμα ν επηρεάσουν τον πύργο στήριξης. Προβλέποντας τις μέγιστες ταχύτητες του ανέμου και εκτιμώντας στη συνέχεια την πιθανότητα εμφάνισής τους, ορίζεται και ο χρόνος επανεμφάνισής τους ο οποίος στη συνέχεια συγκρίνεται με το χρόνο ζωής της αιολικής μηχανής. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να βελτιστοποιηθεί η σχέση κόστους- αντοχής της αιολικής μηχανής στους ακραίους ανέμους. Επίσης σε θέσεις εμφάνισης πολύ υψηλών ταχυτήτων του ανέμου, μπορεί να επιλεγεί η εγκατάσταση αιολικής μηχανής η οποία για πολύ υψηλές ταχύτητες του ανέμου να διακόπτει αυτόματα τη λειτουργία της ή να ελαττώνει την επιφάνεια σάρωσης.
- **Κатаιγίδες.** Οι καταιγίδες συχνά συνοδεύονται από ισχυρούς ανέμους, δυνατή βροχή, κεραυνούς, χαλάζι και σε σπάνιες περιπτώσεις από σίφωνες. Από τις υπάρχουσες αναφορές έχει προκύψει ότι στις μικρές αιολικές μηχανές, οι οποίες δε φέρουν αλεξικέραυνο, υπάρχει κίνδυνος μερικής ή ολικής καταστροφής τους από τους κεραυνούς. Το χαλάζι επίσης μπορεί να προκαλέσει ζημιές, τόσο στην αιολική μηχανή, όσο και στον πύργο στήριξης. Για τους λόγους αυτούς θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η συχνότητα εμφάνισης και η ένταση των καταιγίδων, σε περιοχές όπου πρόκειται να εγκατασταθούν κυρίως μικρές αιολικές μηχανές.
- **Ακραίες θερμοκρασίες του αέρα.** Οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα συνήθως παγώνουν τα λιπαντικά των αιολικών μηχανών με αποτέλεσμα τη γρήγορη φθορά των κινητών μερών των συστημάτων. Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες του αέρα επηρεάζουν επίσης τόσο τα λιπαντικά, όσο και τις προστατευτικές βαφές των αιολικών μηχανών, μειώνοντας το χρόνο ζωής τους. Μελέτη για την πιθανότητα εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών, μέσα στο χρόνο ζωής μιας αιολικής μηχανής, μπορεί να γίνει με τις ίδιες στατιστικές μεθόδους που αναφέρονται στη μελέτη των ακραίων ταχυτήτων του ανέμου, ώστε ν χρησιμοποιηθούν κατάλληλα υλικά που δεν επηρεάζονται από τις αναμενόμενες να εμφανιστούν ακραίες θερμοκρασίες.

- **Αλάτι και σκόνη.** Τόσο το αλάτι όσο και η σκόνη, μπορούν να δημιουργήσουν ζημιές στις αιολικές μηχανές, εκτός αν έχει προβλεφθεί κατάλληλη κάλυψή τους. Εναπόθεση αλατιού παρατηρείται στις περιπτώσεις εγκατάστασης αιολικών μηχανών κοντά ή μέσα στη θάλασσα. Οι διαβρωτικές ιδιότητες του αλατιού παύουν να υφίστανται σε αποστάσεις μεγαλύτερων των 15Km από τη θάλασσα. Όσον αφορά τη σκόνη η οποία είναι γενικά χαρακτηριστικό ξηρών περιοχών, με υψηλές ταχύτητες ανέμου (πολλές περιοχές στην Ελλάδα), αυτή μπορεί να εισχωρήσει στα κινητά μέρη των αιολικών μηχανών, όπως π.χ. οι οδοντωτοί τροχοί και οι περιστρεφόμενοι άξονες και να δημιουργήσει ζημιές.

Κεφάλαιο 3 Νομοθεσία σχετικά με ΑΠΕ και υλοποίηση πλωτών Ανεμογεννητριών

3.1 Νομοθεσίες και Οδηγίες σχετικές με ΑΠΕ

Ξεκινώντας χρονολογικά από τις αρχές ανάπτυξης των ΑΠΕ, σηματοδοτικός ήταν ο Ν. 2244/94. Ακολούθησαν και άλλοι νόμοι όπως ο Ν. 2773/99 και ο Ν. 1512/85 που αφορούν βεβαιώσεις, δικαιολογητικά και περιορισμούς για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις (Βόκας και Πρωτογερόπουλος, 2005). Γενικά όμως, η κατάσταση της Ελλάδας σχετικά με τα Φ/Β μπορεί να ευνοηθεί από τα ΜΜΕ λόγω επενδύσεων από βιομηχανίες και εμπορικές δραστηριότητες, αλλά πιο ειδικά με βάση τους Βόκα και Πρωτογερόπουλο (2005) έχει ως εξής:

«(...) νόμοι και ένα πλήθος από υπουργικές αποφάσεις, κοινές υπουργικές αποφάσεις και σχετικές εγκύκλιοι έχουν καταστήσει μια απλή εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών σε έναν γραφειοκρατικό λαβύρινθο με χάσιμο χρόνου και χρήματος αλλά και με αβέβαιο τέλος.»

Με βάση τον Ν. 3426/2005, επενδύσεις μεγάλης κλίμακας στην ηλεκτροπαραγωγή ενθαρρύνονται, καθώς από αυτές ωφελούνται καταναλωτές αλλά υπάρχει και δημιουργία θέσεων εργασίας (ΚΑΠΕ). Η οδηγία 2009/29/ΕΚ στοχεύει στη μείωση των εκπομπών ρύπων επικίνδυνων για το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 20% μέχρι το 2020 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (ΥΠΕΚΑ, 2015α). Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας θα πρέπει μέχρι το 2020 να αποτελούν το 20% της ακαθάριστης εσωτερικής κατανάλωσης ενέργειας (ΚΑΠΕ, ΥΠΕΚΑ, 2015α). Ένας στόχος επίσης είναι η μείωση κατά 20% της πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης (ΥΠΕΚΑ, 2015α). Πιο ειδικά, η ευρωπαϊκή πολιτική για την Ελλάδα, έχει ως στόχο τη μείωση σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 των ρύπων του θερμοκηπίου κατά 4% σε όλους τους τομείς εκτός του εμπορίου, όπως και οι ΑΠΕ να αποτελούν το 18% στην ακαθάριστη κατανάλωση ενέργειας (ΥΠΕΚΑ, 2015α). Μία απόφαση η οποία επίσης σχετίζεται με τη μείωση της κατανάλωσης είναι η 406/2009/ΕΚ. Αλλά με βάση τον Ν. 3851/2010 το 20% της ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας και το 40% της παραγωγής ηλεκτρισμού πρέπει να προέρχεται από ΑΠΕ μέχρι το 2020 (ΥΠΕΚΑ, 2015α). Ο συνδυασμός της οδηγίας 2009/29/ΕΚ, 2009/28/ΕΚ και του στόχου της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας αποτελούν τη νομοθεσία γνωστή ως «δέσμη για το κλίμα και την ενέργεια», η οποία

αναφέρεται στην υλοποίηση των στόχων 20-20-20. Η νομοθεσία αυτή προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Ιανουάριο του 2008 (ΥΠΕΚΑ, 2015α).

3.2 Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός

Με τον όρο Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός εννοείται : *η διαδικασία ανάλυσης και σχεδιασμού της χωροχρονικής κατανομής των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις θαλάσσιες περιοχές, για την επίτευξη οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών στόχων*(Αρβανίτης Α. & Γιαννακοπούλου Σ. (2016)). Η δημιουργία θαλάσσιου χωροταξικού σχεδιασμού κρίνεται απαραίτητη δεδομένου του γεγονότος ότι το θαλάσσιο περιβάλλον δύναται να προσφέρει σημαντικά σε τομείς όπως η ναυτιλία, η αλιεία, η εκμετάλλευση θαλάσσιων κοιτασμάτων, οι υποθαλάσσιες διασυνδέσεις και κυρίως στην αξιοποίηση της γαλάζιας ενέργειας. Επομένως, η θέσπιση ορισμένων ορίων αποτελεί βασικό πυλώνα της αποφυγής της διατάραξης του θαλάσσιου περιβάλλοντος και στην καλύτερη δυνατή εκμετάλλευσή του χωρίς μοιραίο οικολογικό αποτύπωμα.

Στα πλαίσια της προσπάθειας αυτής, η Ευρώπη έχει υιοθετήσει μια ολιστική προσέγγιση όλων των πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αφορούν τη θάλασσα. Η Ολοκληρωμένη Θαλάσσια Πολιτική (στο εξής ΟΘΠ), *«καλύπτει διάφορους τομείς όπως η αλιεία και η υδατοκαλλιέργεια, η ναυτιλία και οι θαλάσσιοι λιμένες, το θαλάσσιο περιβάλλον, η θαλάσσια έρευνα, η υπεράκτια παραγωγή ενέργειας, η ναυπηγική βιομηχανία και οι κλάδοι της βιομηχανίας που σχετίζονται με τη θάλασσα, η θαλάσσια επιτήρηση, ο θαλάσσιος και ο παράκτιος τουρισμός, η απασχόληση, η ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών, καθώς και οι εξωτερικές σχέσεις στις θαλάσσιες υποθέσεις»*. Η προσπάθεια αυτή περιλαμβάνει ορισμένους στόχους που αφορούν τη :

- τη ναυτιλία: βελτίωση της αποτελεσματικότητας των θαλάσσιων μεταφορών στην Ευρώπη και εξασφάλιση της μακροπρόθεσμης ανταγωνιστικότητάς της, μέσω της δημιουργίας ενός ευρωπαϊκού χώρου θαλάσσιων μεταφορών χωρίς σύνορα, και μιας στρατηγικής θαλάσσιων μεταφορών για την περίοδο 2008-2018,
- τους θαλάσσιους λιμένες: έκδοση κατευθυντήριων γραμμών για την εφαρμογή περιβαλλοντικής νομοθεσίας που αφορά τους λιμένες, και υποβολή πρότασης για μια νέα πολιτική για τους λιμένες,

- τη ναυπηγική βιομηχανία: προώθηση της τεχνολογικής καινοτομίας και ενός ευρωπαϊκού δικτύου θαλάσσιων πολυτομεακών συνεργατικών σχηματισμών,
- τις θέσεις εργασίας στη θάλασσα: ενίσχυση επαγγελματικών προσόντων με σκοπό την προσφορά καλύτερων προοπτικών σταδιοδρομίας στον τομέα,
- το περιβάλλον: μείωση των επιπτώσεων και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή στις παράκτιες ζώνες, καθώς και μείωση της ρύπανσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία,
- τη διαχείριση της αλιείας: εξάλειψη των απορρίψεων, των καταστροφικών αλιευτικών πρακτικών (π.χ. η αλιεία με τράτες βυθού σε ευαίσθητους τομείς) και της παράνομης, λαθραίας και άναρχης αλιείας, καθώς και προώθηση περιβαλλοντικά ασφαλούς υδατοκαλλιέργειας·
- τη δόμηση μιας βάσης γνώσεων και καινοτομίας για τη θαλάσσια πολιτική, μέσω:
 - ✓ μιας ολοκληρωμένης ευρωπαϊκής στρατηγικής για τη θαλάσσια και τη ναυτιλιακή έρευνα (οδηγία πλαίσιο για τη θαλάσσια στρατηγική (2008/56/EK))· το έβδομο πρόγραμμα πλαίσιο για την έρευνα συνέβαλε στην εφαρμογή της μέσω καινοτομίας που προέκυψε από την έρευνα για μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στις θαλάσσιες υποθέσεις (2007-2013),
 - ✓ κοινών, διατομεακών προσκλήσεων υποβολής προτάσεων και ευκαιριών για καινοτομία στη γαλάζια οικονομία στο πλαίσιο του «Ορίζοντα 2020», του προγράμματος πλαισίου για την έρευνα και την τεχνολογική ανάπτυξη (2014-2020),
 - ✓ της υποστήριξης της έρευνας για την κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της στις ναυτιλιακές δραστηριότητες, το περιβάλλον, τις παράκτιες ζώνες και τα νησιά,
 - ✓ μιας ευρωπαϊκής εταιρικής σχέσης για τη θαλάσσια επιστήμη με στόχο τη θέσπιση ενός διαλόγου μεταξύ της επιστημονικής κοινότητας, της βιομηχανίας και των φορέων χάραξης πολιτικής·
- τη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις παράκτιες περιοχές, με:
 - ✓ την ενθάρρυνση του παράκτιου και του θαλάσσιου τουρισμού,
 - ✓ την προετοιμασία μιας βάσης δεδομένων που αφορά την κοινοτική χρηματοδότηση για τα θαλάσσια προγράμματα και τις παράκτιες περιφέρειες,

- ✓ τη δημιουργία μιας κοινοτικής στρατηγικής για την πρόληψη των καταστροφών,
- ✓ την ανάπτυξη του θαλάσσιου δυναμικού των εξόχως απόκεντρων περιοχών και των νησιών της ΕΕ·
- την ενίσχυση του ηγετικού ρόλου της ΕΕ στον διεθνή θαλάσσιο τομέα, μέσω:
 - ✓ της συνεργασίας στις θαλάσσιες υποθέσεις στο πλαίσιο της πολιτικής για τη διεύρυνση και της ευρωπαϊκής πολιτικής γειτονίας καθώς και στο πλαίσιο της Βόρειας Διάστασης, με σκοπό την κάλυψη θεμάτων θαλάσσιας πολιτικής και διαχείρισης κοινών θαλασσών,
 - ✓ της προώθησης της Θαλάσσιας Πολιτικής της ΕΕ μέσα από διαρθρωμένο διάλογο με τους βασικούς εταίρους·
- τη βελτίωση της προβολής της θαλάσσιας Ευρώπης, μέσω:
 - ✓ της δρομολόγησης του Ευρωπαϊκού Άτλαντα των Θαλασσών, ως μέσου ανάδειξης της κοινής ευρωπαϊκής κληρονομιάς στη θάλασσα,
 - ✓ του ετήσιου εορτασμού της Ευρωπαϊκής Ημέρας για τη Θάλασσα, στις 20 Μαΐου κάθε χρόνο·
 - ✓ τη δημιουργία εσωτερικών συντονιστικών δομών για τις θαλάσσιες υποθέσεις και τον καθορισμό των ευθυνών και αρμοδιοτήτων των παράκτιων περιοχών.

Βάσει αυτών των στόχων έχουν προκύψει και ορισμένα επιτεύγματα τα οποία αφορούν :

- την ανακοίνωση της Επιτροπής σχετικά με την υπεράκτια αιολική ενέργεια έτσι ώστε να αξιοποιηθεί στο έπακρο και να βρεθούν τεχνολογικές λύσεις οι οποίες εστιάζουν στην αξιοποίηση του ευρωπαϊκού δυναμικού για υπεράκτια αιολική ενέργεια καθώς και στην ανάγκη για καλύτερες βιομηχανίες και τεχνολογικές λύσεις , για εφαρμογή της περιβαλλοντικής νομοθεσίας της ΕΕ επί τη βάσει μιας ρεαλιστικής εκτίμησης του αντίκτυπου των αιολικών πάρκων, καθώς και για βελτιωμένα ηλεκτρικά δίκτυα, ικανά να εξισορροπήσουν την παραγωγή και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και να μεταφέρουν την ενέργεια στα κέντρα κατανάλωσης.
- Την ανακοίνωση σχετικά με τους στρατηγικούς στόχους σχετικά με τις θαλάσσιες μεταφορές βάσει της οποίας επιχειρείται η προώθηση της ασφαλούς ναυτιλίας

καθώς επίσης και η ανακοίνωση για τη δημιουργία θαλάσσιων μεταφορών χωρίς σύνορα σε συνδυασμό με διατυπώσεις υποβολής δηλώσεων για τα πλοία κατά τον κατάπλου ή απόπλου από λιμένες κρατών μελών έτσι ώστε να επέλθει μείωση της γραφειοκρατικής διαδικασίας μεταξύ των λιμανιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

- Την ανακοίνωση της Επιτροπής για την καλύτερη δυνατή διακυβέρνηση στη Μεσόγειο, που ως στόχο έχει να συμπληρώσει τις διάφορες τομεακές δράσεις που προωθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση στη Μεσόγειο.
- ανακοίνωση της Επιτροπής σχετικά με τη διεθνή διάσταση της ΟΘΠ με την οποία συμπληρώνονται προηγούμενες περιφερειακές πρωτοβουλίες και διερευνώνται οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να επεκταθεί η ΟΘΠ στον ευρύτερο διεθνή χώρο· επιπλέον, προβλέπεται η δημιουργία ευρωπαϊκού πλαισίου ώστε να προσεγγίζονται τα θαλάσσια ζητήματα σε διεθνή κλίμακα, ενισχύοντας έτσι τον ρόλο της ΕΕ στους διεθνείς οργανισμούς·
- ανακοίνωση της Επιτροπής σχετικά με τις γνώσεις για τη θάλασσα 2020 η οποία αποσκοπεί στη βελτίωση της χρήσης των επιστημονικών γνώσεων σχετικά με τις θάλασσες και τους ωκεανούς της Ευρώπης, μέσω μιας συντονισμένης προσέγγισης στη συλλογή και συγκέντρωση των στοιχείων
- ανακοίνωση της Επιτροπής σχετικά με την ανάπτυξη μιας θαλάσσιας στρατηγικής για την περιοχή του Ατλαντικού Ωκεανού (η οποία αποσκοπεί στη δημιουργία θέσεων εργασίας και την ανάπτυξη στην περιοχή του Ατλαντικού μέσω της ενίσχυσης του θαλάσσιου δυναμικού του. Το Φόρουμ για τον Ατλαντικό ενέκρινε σχέδιο δράσης στις 13 Μαΐου 2013, με το οποίο προσδιορίζονται ορισμένες δράσεις προτεραιότητας, με στόχο να καταστεί δυνατή η στρατηγική χρήση της διαρθρωτικής χρηματοδότησης της ΕΕ για τη στήριξη της θαλάσσιας ανάπτυξης για την περίοδο 2014-2020·
- ανακοίνωση της Επιτροπής σχετικά με τη γαλάζια ανάπτυξη με την οποία δρομολογείται από κοινού με τα κράτη μέλη, τις περιφέρειες και όλους τους οικείους ενδιαφερόμενους φορείς μια πρωτοβουλία για την αποδέσμευση του δυναμικού της γαλάζιας οικονομίας·
- Οδηγία περί θεσπίσεως πλαισίου για τον θαλάσσιο χωροταξικό σχεδιασμό, με στόχο την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης των θαλάσσιων οικονομιών και της χρήσης των θαλάσσιων πόρων, εξασφαλίζοντας ότι ο κατάλληλος σχεδιασμός

αποτελεί τη βάση όλων των θαλάσσιων δραστηριοτήτων, ώστε να επιτυγχάνονται μεγαλύτερες συνέργειες μεταξύ των διαφόρων θαλάσσιων δραστηριοτήτων·

- ανακοίνωση της Επιτροπής σχετικά με το κοινό περιβάλλον ανταλλαγής πληροφοριών η οποία αποσκοπεί στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας της θαλάσσιας επιτήρησης μέσω της διευκόλυνσης της κατάλληλης, ασφαλούς και αποδοτικής ανταλλαγής δεδομένων σε διατομεακό και διασυνοριακό επίπεδο σε ολόκληρη την ΕΕ. Στο πλαίσιο αυτό περιλαμβάνονται οι ακτοφυλακές και οι αρμόδιες αρχές για την κυκλοφορία των πλοίων, την παρακολούθηση του περιβάλλοντος, την πρόληψη της ρύπανσης, την αλιεία, τον έλεγχο των συνόρων, τη φορολογία και την επιβολή του νόμου εν γένει, καθώς και οι αρχές του πολεμικού ναυτικού των κρατών·
- κοινή ανακοίνωση για μια ολοκληρωμένη πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Αρκτική η οποία εστιάζει στην προώθηση της διεθνούς συνεργασίας ως απάντηση στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καθώς και στην προώθηση και τη συμβολή στη βιώσιμη ανάπτυξη, ιδίως στο ευρωπαϊκό τμήμα της Αρκτικής·
- στρατηγική της ΕΕ για την περιφέρεια Αδριατικής-Ιονίου ,η οποία παρέχει ένα πλαίσιο για μια συνεκτική μακροπεριφερειακή στρατηγική και ένα σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση των σχετικών προκλήσεων και ευκαιριών μέσω της συνεργασίας των συμμετεχουσών χωρών.

3.3 Σημαντικότερα projects πλωτών Α/Γ

3.3.1. Η.Π.Α/Πορτογαλία

Η εταιρεία Principle Power είναι μια εταιρεία με έδρα το Seattle. Η πρότασή της για κατασκευή πλωτής Α/Γ είναι το Windfloat. Η έδρασή της γίνεται σε ημιβυθισμένη πλατφόρμα, αποτελούμενη από τρεις πυλώνες. Στους πυλώνες αυτούς γίνεται χρήση έρματος, ώστε μέσω αυτής της πατενταρισμένης τεχνολογίας να αμβλυνθεί η επιρροή των κυματισμών στην κατασκευή (Εικόνα 23).

3.3.2. Ασία-Ιαπωνία

Έπειτα από τις καταστροφικές επιπτώσεις του πυρηνικού ατυχήματος στη Fukushima τον Μάρτιο του 2011, η Ιαπωνία, έστρεψε το ενδιαφέρον της στην κατασκευή του μεγαλύτερου υπεράκτιου πλωτού αιολικού πάρκου 16 χιλιόμετρα ανοιχτά της Φουκουσίμα



Εικόνα 23 Project Windfloat. Πηγή : <http://www.principlepowerinc.com>

Προδιαγραφές:

Ονομαστική ισχύς $\approx 3.0-10\text{MW}$

Διάμετρος προπέλας $\approx 120-170\text{m}$

Ύψος έδρασης της τουρμπίνας $\approx 80-90\text{ m}$

Βάρος της ατράκτου $\approx 225 - 315$ τόνους

Βάρος πυλώνα ≈ 180 έως 315 τόνους

Βάθος βύθισης $\approx 20\text{ m}$

Επιχειρησιακό βάθος νερού $> 50\text{ m}$

Στόχος της Ιαπωνικής κυβέρνησης είναι η να ικανοποιεί τις ενεργειακές της ανάγκες αποκλειστικά από ΑΠΕ έως το 2030. Το πρώτο σκέλος χωρίζεται σε δυο φάσεις. Η μεν πρώτη ολοκληρώθηκε στα τέλη του 2013 και συμπεριελάμβανε την κατασκευή/λειτουργία ενός πλωτού υποσταθμού advanced-spar 25MVA, ενός υποθαλάσσιου καλωδίου 66kV σύνδεσης με την ξηρά και μιας 4 πυλώνων ημιβυθισμένης ανεμογεννήτριας απόδοσης 2MW. Η δε δεύτερη φάση περιέχει την λειτουργία δυο ανεμογεννητριών ισχύος 7MW, εκ των οποίων η μια θα είναι 3 πυλώνων ημιβυθισμένη και η άλλη advanced-spar.

Προδιαγραφές :

Βάθος νερού: 100-200m

Ετήσια μέση τιμή ανέμου: 7m / s (στο ύψος του κέντρου του ρότορα)

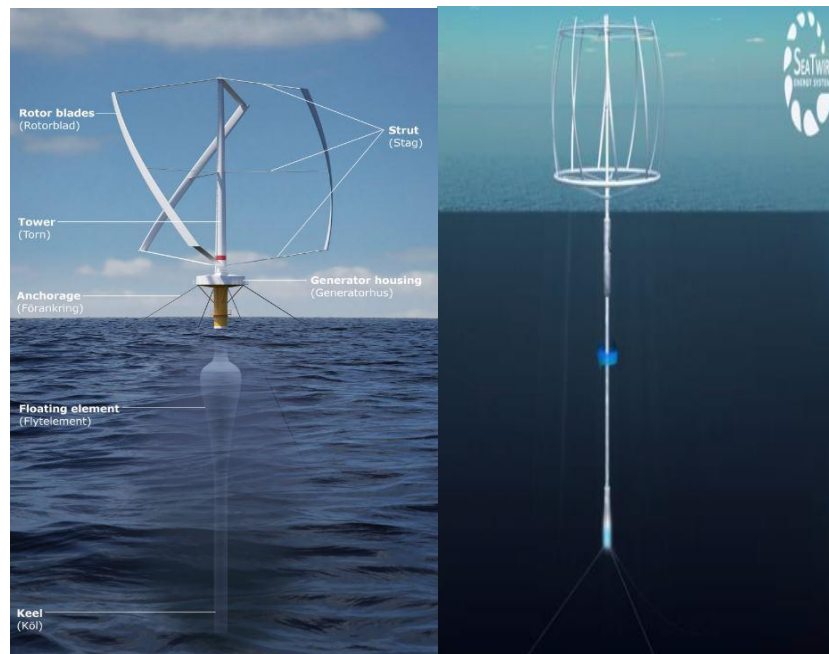
Μέγιστο σημαντικό ύψος κύματος: 7-14m

Απόσταση από την ακτογραμμή: περίπου 20km

Συνολική ισχύς έως τα τέλη του 2015: 16MW

Περιοχή πόντισης: $37^{\circ}46'N$ $140^{\circ}28'E$

3.3.4 Σουηδία



Εικόνα 24. Κατασκευή Sea Twirl. Πηγή: <http://seatwirl.com/technology/technology>

Το Sea Twirl είναι μια πλωτή κατασκευή Spar A/Γ κατακόρυφου άξονα (Εικόνα 24) η οποία συμπεριλαμβάνει τεχνολογία αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας μέσω της χρήσης σφονδύλου στη βάση της. Όταν περιστρέφεται ο άξονας της A/Γ λόγω του ανέμου, αποθηκεύεται δυναμική ενέργεια μέσω του νερού που συγκεντρώνεται στη βάση του. Όταν σταματά να υπάρχει ισχυρό ανεμικό δυναμικό στην περιοχή, εκτονώνει την αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια του νερού στον σφόνδυλο και συνεχίζει να περιστρέφεται παράγοντας κινητική ενέργεια που μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Στην πρώτη εικόνα φαίνεται η ανεμογεννήτρια η οποία θα λειτουργήσει το 2017 και είναι σε εξέλιξη. Η εταιρεία στοχεύει μέχρι το 2025 να έχει κατασκευάσει ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο με ανεμογεννήτριες τέτοιου τύπου.

3.3.5. Ηνωμένο Βασίλειο: The Wanley Extension

Στις 6 Σεπτεμβρίου 2018, το αιολικό πάρκο Walney (Εικόνα 25) πήρε τον τίτλο του μεγαλύτερου υπεράκτιου αιολικού πάρκου στον κόσμο, καλύπτοντας 145 τετραγωνικά χιλιόμετρα με 87 τουρμπίνες από το MHI Vestas και τη Siemens

Gamesa. Το αιολικό πάρκο βρίσκεται στη Θάλασσα της Ιρλανδίας που βρίσκεται κοντά στο νησί Walney της Cumbria. Με τη λειτουργία του Waley Extension, το Ηνωμένο Βασίλειο μπορεί να παράγει 659 mW ενέργειας, αρκετά δηλαδή για να τροφοδοτήσει 600.000 σπίτια στο Ηνωμένο Βασίλειο. Με την επίτευξη αυτού του γιγαντιαίου έργου, το Ηνωμένο Βασίλειο έχει κατακτήσει τον τίτλο του μεγαλύτερου πρωτοπόρου σε υπεράκτια αιολική ενέργεια στον κόσμο. Το συμβόλαιο του Walney Extension υπογράφηκε το 2014 και 3 μεγάλες ιδιοκτησίες ενώθηκαν. Το έργο ανήκει από κοινού στην Orsted (50%), στην PFA και στην PKA. Η απόσταση του τεράστιου αυτού πάρκου από την ακτή αγγίζει τα 15 χιλιόμετρα και η ονομαστική ισχύς είναι 1026 MW.



Εικόνα 25: Αιολικό πάρκο Walney πηγή: <https://walneyextension.co.uk/>

3.4 Η περίπτωση της Ελλάδας

3.4.1 Δυνητικές χωροθετήσεις στον ελλαδικό χώρο

Οι ελληνικές θάλασσες δεν έχουν, μέχρι στιγμής, φιλοξενήσει υπεράκτια αιολικά πάρκα καθώς το βάθος τόσο του Ιονίου όσο και του Αιγαίου πελάγους ξεπερνάει τα 60 μέτρα όπου αποτελεί το επιτρεπόμενο όριο για εδραιωμένες στο βυθό ανεμογεννήτριες, πάντα σε απόσταση επιτρεπτή από την ακτή. Ωστόσο, το ενδιαφέρον στρέφεται στις πλωτές ανεμογεννήτριες οι οποίες δεν είναι εδραιωμένες στο βυθό αλλά «επιπλέουν» μέσω είτε προεντεταμένων καλωδίων ή αγκυρών έτσι

ώστε να αποφευχθεί και το αρκετά υψηλό κόστος κατασκευής του πυλώνα και να επηρεαστεί όσο το δυνατόν λιγότερο η θαλάσσια πανίδα.

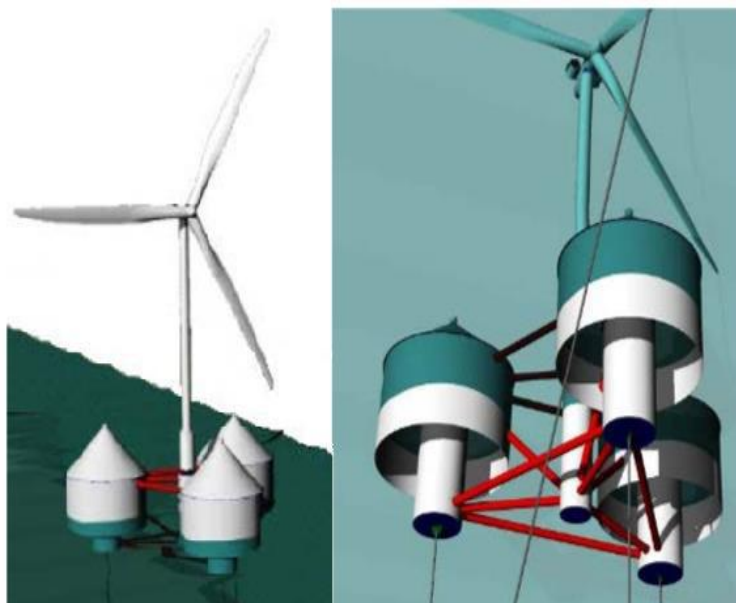
Η νορβηγική εταιρεία Equinor (πρώην Statoil) δείχνει μεγάλο ενδιαφέρον προς τις ελληνικές θάλασσες καθώς η τεχνολογία έχει προχωρήσει τόσο ώστε οι πλωτές ανεμογεννήτριες είναι πλέον κατάλληλες και για τα ελληνικά ύδατα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι από το 2020 προγραμματίζεται ο πρώτος πιλοτικός διαγωνισμός που αφορά την εγκατάσταση των πρώτων αιολικών πάρκων σε ελληνικά ύδατα. Βασικός στόχος είναι στη δυνητική περιοχή να παρέχεται ήδη η ύπαρξη υποβρύχιου καλωδίου έτσι ώστε οι τιμές να προσεγγίσουν αυτές των χερσαίων αιολικών πάρκων, δηλαδή 90 ευρώ ανά Mw.

Κεφάλαιο 4: Χωροθέτηση της σύνθετης υπό μελέτη κατασκευής

4.1 Περιγραφή της κατασκευής

Συνδυάζοντας τα παραπάνω, προκύπτει το συμπέρασμα πως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δύνανται να προσφέρουν μεμονωμένα σημαντικά ποσά ενέργειας καθώς το δυναμικό είναι επαρκές. Ωστόσο, όπως αναφέραμε, μέσω της εξέλιξης της τεχνολογίας, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζεται για την συνδυαστική εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μια επιλογή δυνητικής υβριδικής κατασκευής, αφορά ο συνδυασμός μηχανισμών ανάκτησης κυματικής ενέργειας και πλωτής ανεμογεννήτριας. Αντί να υφίσταται απλά ο πλωτήρας, στη βάση θα μπορούσαν να εγκατασταθούν μηχανισμοί ανάκτησης κυματικής ενέργειας όπου θα εκμεταλλεύονται την κυματική ενέργεια ταυτόχρονα με την εκμετάλλευση του ανέμου μέσω της ανεμογεννήτριας. Το εν λόγω μοντέλο υφίσταται μόνο σε θεωρητικό επίπεδο, ωστόσο η υλοποίηση του χαίρει σημασίας. Πιο συγκεκριμένα, η υβριδική αυτή κατασκευή η οποία σχεδιάστηκε σε θεωρητικό επίπεδο, αποτελείται από τρεις όμοιους μηχανισμούς ανάκτησης κυματικής ενέργειας (OWC) οι οποίες τοποθετούνται στη γωνία ενός τριγωνικού πλωτήρα (Χάντζος, 2015). Ο πλωτήρας, υποστηρίζει μια ανεμογεννήτρια ισχύος 5mW. Η πλωτή αυτή κατασκευή μπορεί να τοποθετηθεί ακόμα και σε βάθος 120 μ. μέσω TLP αγκύρωσης (σε κάθε γωνία της συσκευής μέσω προεντεταμένων τενόντων) και η ανεμογεννήτρια τίθεται σε λειτουργία σε ταχύτητα ανέμου 3 m/s και σταματάει σε ταχύτητες ανέμου 11.4 m/s και 25 m/s.

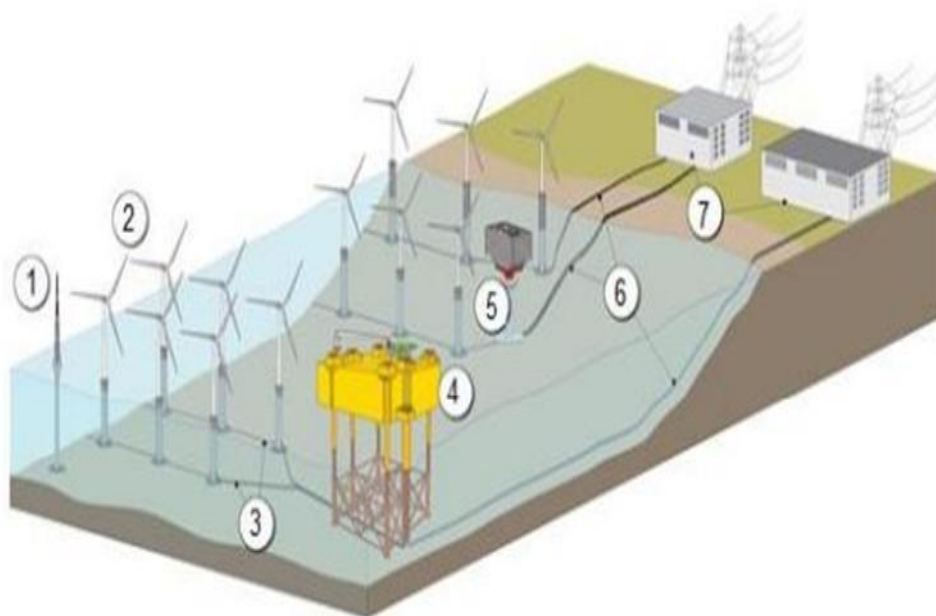


Εικόνα 26 Σύνθετη υπό μελέτη κατασκευή. Πηγή: Χάντζος Ηλίας

4.2. Κριτήρια Χωροθέτησης πλωτών ανεμογεννητριών

4.2.1 Βασικά μέρη υπεράκτιου αιολικού πάρκου

Τα βασικά μέρη ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου (Εικόνα 27) συνήθως περιλαμβάνουν τον μετεωρολογικό σταθμό, τις ανεμογεννήτριες, τα καλώδια συλλογής, τον υπεράκτιο υποσταθμό αύξησης της τάσης της ενέργειας, τον υπεράκτιο υποσταθμό μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, τα υποθαλάσσια καλώδια μεταφοράς της ενέργειας και τον χερσαίο υποσταθμό (Rodrigues, et al., 2016) Η μεταφορά της παραχθείσας ενέργειας του υπεράκτιου αιολικού πάρκου, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στάδια σχεδιάσής του. Συνήθως, η μεταφορά επιτυγχάνεται μέσω ενός συστήματος υποθαλάσσιων καλωδίων, όπου μεταφέρεται στον υπεράκτιο υποσταθμό αύξησης της τάσης της ενέργειας έτσι ώστε να μην υπάρχουν απώλειες κατά τη μεταφορά της. Στην συνέχεια πραγματοποιείται η μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές και αυτό μεταφέρεται μέσω υποθαλάσσιων καλωδίων στον χερσαίο υποσταθμό, όπου στη συνέχεια γίνεται η διασύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρισμού. Εντούτοις, οι πλωτές κατασκευές στηρίζουν τις ανεμογεννήτριες μέσω καλωδίων τα οποία συνδέονται στον πυθμένα της θάλασσας (Tempel et al., 2010).

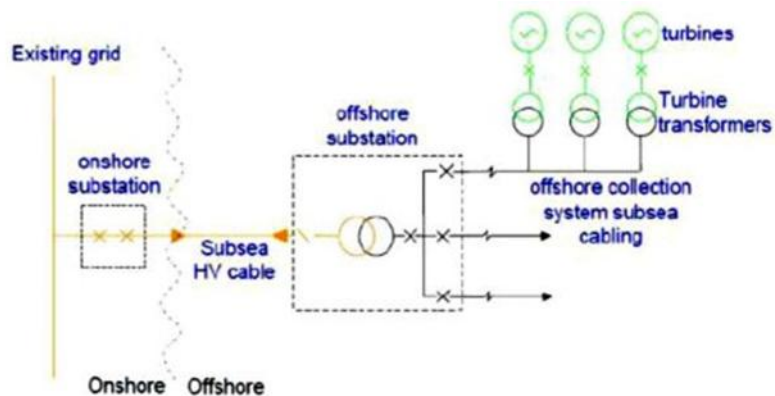


Εικόνα 27: Βασικά μέρη υπεράκτιου αιολικού πάρκου Πηγή : Rodrigues et al. (2016)

4.2.2 Κριτήρια Χωροθέτησης Αιολικού Πάρκου

- *Συνδεσμολογία*

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μεταφορά της παραχθείσας ενέργειας αποτελεί μείζον ζήτημα στην περίπτωση κατασκευής ενός αιολικού πάρκου. Η μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας στην ακτή γίνεται συνήθως με υπόγεια καλώδια με την χρήση της τεχνολογίας υψηλής συνεχούς τάση . Οι ανεμογεννήτριες συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια υπό τάση 11kV. Το ηλεκτρικό σύστημα ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου και η σύνδεσή του με το δίκτυο χωρίζεται σε τρία μέρη. Στην εσωτερική σύνδεση του πάρκου όπου αφού χωρισθούν οι ανεμογεννήτριες σε συστάδες συνδέεται κάθε συστάδα με τον υπεράκτιο υποσταθμό, στην σύνδεση του υπεράκτιου υποσταθμού (εάν υπάρχει) με τον χερσαίο υποσταθμό και στην σύνδεση του τελευταίου με το δίκτυο. Επειδή τα υπεράκτια αιολικά πάρκα τείνουν να έχουν μεγάλη ισχύ και οι αποστάσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών, των υποσταθμών και του δικτύου να είναι μεγάλες είναι απαραίτητο όλες οι συνδέσεις τους να είναι σε υψηλό επίπεδο τάσης για την μείωση των απωλειών. Οι ανεμογεννήτριες στην έξοδο τους έχουν χαμηλή τάση από 0.69-3 kV, η οποία δεν είναι αρκετή για την μεταξύ τους σύνδεση. Έπομένως, είναι απαραίτητο για κάθε ανεμογεννήτρια να διαθέτει έναν μετασχηματιστή, ο οποίος ανεβάζει το επίπεδο της τάσης της (Πολυνείκη Κ.,2016). Στην εικόνα 28, φαίνεται το διάγραμμα συναρτήσεως του οποίου μπορεί να γίνει η επιλογή του τρόπου σύνδεσης με την στεριά .Για την επιλογή αυτή λαμβάνεται υπ' όψιν το μέγεθος της ισχύος που θα μεταφέρεται καθώς και η απόσταση από την στεριά. Αναλυτικότερα η επιλογή του τρόπου σύνδεσης με την στεριά καθορίζεται από τεχνικούς (απώλειες, μέγεθος πάρκου, επίδραση στο δίκτυο), οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους).Όσον αναφορά το περιβάλλον προτιμητέα είναι η επιλογή που οδηγεί σε μικρότερο αριθμό καλωδίων και σε χαμηλότερο μαγνητικό πεδίο.(Thomas Ackermann,2012)..

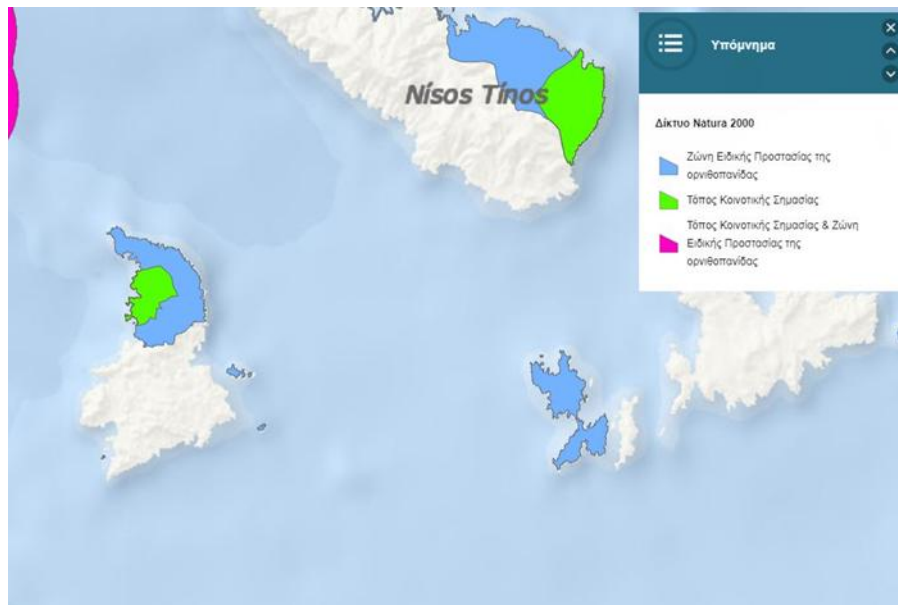


Εικόνα 28: Τρόπος διασύνδεσης αιολικού πάρκου με τη στεριά . Πηγή: Πολυνείκη Κ

- *Περιοχές Natura*

Ως περιοχές Natura, νοούνται οι προστατευόμενες περιοχές. Το κριτήριο των προστατευόμενων περιοχών σχετίζεται με τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου καθώς και της υποβάθμισης του τοπίου. (Τσιρόπουλος, 2018). Το δίκτυο Natura 2000 εγκαινιάστηκε το 1979, όταν η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε το πρώτο βασικό νομοθέτημά της για την προστασία της φύσης, την οδηγία για τα πτηνά. Η συγκεκριμένη οδηγία προστατεύει το σύνολο των άγριων πτηνών στην ΕΕ, καλύπτοντας περίπου 500 είδη. Οι χώρες της ΕΕ αναγνωρίζουν και προστατεύουν περιοχές που είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τα άγρια πτηνά. Μέχρι σήμερα έχουν δημιουργηθεί περίπου 5.300 "ζώνες ειδικής προστασίας", οι οποίες προστατεύουν τους οικοτόπους των απειλούμενων ειδών φυτών και ζώων. Οι προστατευόμενες περιοχές είναι γνωστές ως «ειδικές ζώνες διατήρησης». Η οδηγία περί οικοτόπων καλύπτει γύρω στα 1.500 σπάνια και απειλούμενα φυτά και ζώα και περίπου 230 τύπους οικοτόπων. Οι περιοχές που προστατεύονται δυνάμει των δύο αυτών οδηγιών συγκροτούν το δίκτυο Natura 2000. Στόχος του δικτύου είναι να προστατευθούν όλοι οι βασικοί τύποι των ευρωπαϊκών οικοτόπων και τα απειλούμενα είδη. Το δίκτυο Natura 2000 είναι πλέον σχεδόν πλήρες. Περισσότεροι από 26.000 τόποι έχουν ήδη περιληφθεί σε αυτό, καθιστώντας το το μεγαλύτερο συντονισμένο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών στον κόσμο. Το Natura 2000 καλύπτει το 18 % της ξηράς επιφάνειας της ΕΕ και σημαντικά τμήματα των θαλασσών που την περιβάλλουν (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).

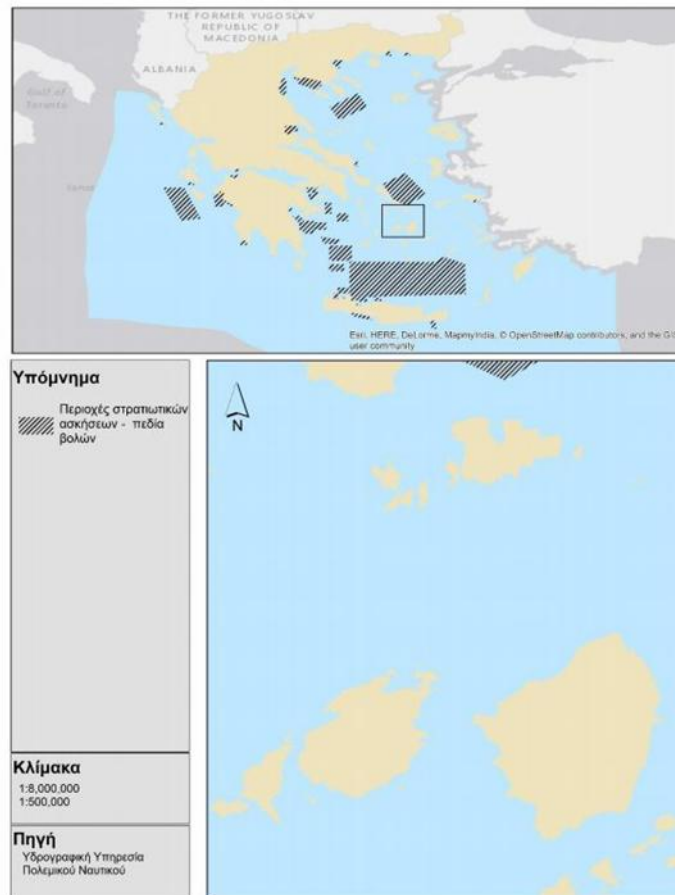
Στην εικόνα 29 , όπως γίνεται σαφές, δεν υφίστανται περιοχές Natura στο θαλάσσιο περιβάλλον, παρά μόνο στο βόρειο μέρος του νησιού. Επομένως, το εν λόγω κριτήριο δε δρα ως κριτήριο αποκλεισμού της περιοχής για τη δημιουργία υπεράκτιου αιολικού πάρκου.



Εικόνα 29: Περιοχές Natura στο νησί της Σύρου. Πηγή : <https://www.arcgis.com/index.html>

- *Πεδία Βολής*

Ο όρος πεδίο βολής είναι στρατιωτικός όρος και με αυτόν τον όρο νοείται εδαφική έκταση, που περιλαμβάνει και σε ορισμένες περιπτώσεις και εγκαταστάσεις (στρατωνισμού, αποθηκών, στόχων κ.α.), εντός της οποίας διεξάγονται βολές από στρατεύματα, με όπλα ή οπλικά συστήματα. Για την εκτέλεση συγκεκριμένων ειδών βολής, είναι δυνατόν να περιλαμβάνεται εναέριος χώρος ή και θαλάσσιες περιοχές (Τσιρόπουλος, 2018) . Αναλόγως του μεγέθους της εδαφικής έκτασης επιτρέπονται ασκήσεις με πραγματικά πυρά. Τα πεδία βολών διαφέρουν μεταξύ τους κατά μέγεθος, διάταξη και δύναται να είναι μονίμως ενεργοποιούμενα ή ενεργοποιούμενα κατά καιρούς. πρόσκαιρα ή μόνιμα και να ενεργοποιούνται περιοδικά ή έκτακτα (Υδρογραφική υπηρεσία ΠΝ, 2016). . Βάσει της εικόνας 30, φαίνεται, ότι εν γένει τα περισσότερα νησιά των Κυκλάδων (συμπεριλαμβανομένης της Σύρου) δεν αποτελούν μέρος στρατιωτικών ασκήσεων.



Εικόνα 30: Χάρτης Στρατιωτικών πεδίων βολής στην Ελλάδα Πηγή : Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού

- **Βαθυμετρία και αιολικό δυναμικό**

Η βαθυμετρία μαζί με την ταχύτητα ανέμου αποτελούν τα σημαντικότερα κριτήρια χωροθέτησης ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου. Η βαθυμετρία αποτελεί ένα τεχνικόοικονομικό κριτήριο το οποίο σχετίζεται με τον τύπο εγκατάστασης του υπεράκτιου αιολικού πάρκου. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με το θαλάσσιο βάθος στο οποίο χωροθετείται ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο καθορίζεται είτε ο τύπος θεμελίωσής του είτε ο τύπος των πλωτών ανεμογεννητριών. Αναφορικά με τη βαθυμετρία επικρατούν διάφορες απόψεις συναρτήσει του τύπου των ανεμογεννητριών, της απόστασης από την ακτή, τη συνδεσμολογία, καθώς και τη μεταφορά των μηχανών. Αξίζει να αναφερθεί, ότι στα θετικά των πλωτών ανεμογεννητριών ανήκει το γεγονός ότι, υπάρχει η δυνατότητα συναρμολόγησής τους από την ακτή. Κατά αυτόν τον τρόπο το κόστος μειώνεται άμεσα.

Σχετικά με την Ελλάδα, μια επιτρεπτή τιμή είναι τα 30 μέτρα (Vagiona and Karanikolas 2012) στην Ελλάδα τα 30 μέτρα. Λόγω της απότομης

βαθυμετρίας των ελληνικών θαλασσών, ακόμα και σε μελέτες από την ίδια χώρα εμφανίζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις σχετικά με τις τιμές της βαθυμετρίας .

- *Χωροταξικός Σχεδιασμός-Νομοθεσία*

Βασικό στοιχείο αποτελεί η διαδικασία αδειοδότησης του αιολικού πάρκου.

Πιο συγκεκριμένα στην Ελλάδα, τα κριτήρια για την χωροθέτηση των θαλάσσιων πάρκων για την 1^η φάση είναι:

- ✓ Το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό,
- ✓ Η συμβατότητα της ανάπτυξης των πάρκων με άλλες χρήσεις του συγκεκριμένου χώρου,
- ✓ Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις,
- ✓ Η τεχνική δυνατότητα εγκατάστασης στην συγκεκριμένη θέση,
- ✓ Η ευκολία σύνδεσης με το δίκτυο (και τις μελετώμενες επεκτάσεις του), και
- ✓ Η οπτική όχληση.

4.3 Δυνητική Χωροθέτηση Υβριδικής Κατασκευής

Η διττή εκμετάλλευση αέρα και κυμάτων φαίνεται να μπορεί να ωφελήσει αρκετά νησιά και παραθαλάσσιες περιοχές χωρίς να υπάρχει οπτική ή ακουστική όχληση και φυσικά αποφεύγοντας οποιαδήποτε αλλοίωση του φυσικού τοπίου. Το κύριο πρόβλημα των δύο αυτών μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αέρας, θαλάσσιο κύμα) φαίνεται να έγκειται στην τυχαία μεταβλητότητα τους συναρτήσει του χρόνου. Στην παρούσα μελέτη εξετάζουμε την περίπτωση μιας πλωτής ημιβυθισμένης ανεμογεννήτριας όπου στηρίζεται σε τρεις όμοιους μηχανισμούς ανάκτησης κυματικής ενέργειας έτσι ώστε να ελαττωθεί ή να αποφευχθεί το παραπάνω πρόβλημα καθώς πια στηριζόμαστε σε δύο μηχανισμούς.

Ως ιδανική τοποθέτησή της θα μπορούσε να θεωρηθεί το σημείο εκείνο το οποίο δεν αντιμετωπίζει ακραία καιρικά φαινόμενα. Πιο συγκεκριμένα, τόσο ο πολύ δυνατός άνεμος ή ο σχεδόν μηδαμινός (άπνοια) θα διακόψουν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ή θα φθείρουν τη μηχανή. Το ίδιο ισχύει και για τα κύματα. Φυσικά οι παράμετροι είναι πολύ περισσότεροι και σε αυτές τις περιπτώσεις μελετάμε τον ιδανικό συνδυασμό τους.

Δεδομένου το γεγονός ότι στον ελλαδικό χώρο δεν έχει εφαρμοσθεί κάποιου παρόμοιου τύπου υβριδική κατασκευή, προσπαθήσαμε να την χωροθετήσουμε δυνητικά και να λάβουμε ορισμένα αποτελέσματα που έγκεινται στο ποσοστό κάλυψης των αναγκών μια συγκεκριμένης περιοχής.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα WindPro το οποίο αποτελεί ένα λογισμικό το οποίο δύναται να :

- Υπολογίσει την ενεργειακή απόδοσης για μεμονωμένες ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα
- Υπολογίσει την αποδοτικότητα των αιολικών πάρκων
- Τοποθετήσει δυνητικά ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα
- Υπολογίσει τις συνθήκες ανέμου για εκτίμηση θέσης όπως ,μέση ταχύτητα ανέμου, διάτμηση ανέμου κλίσης ροής και αναταραχή περιβάλλοντος για μεμονωμένες ανεμογεννήτριες.

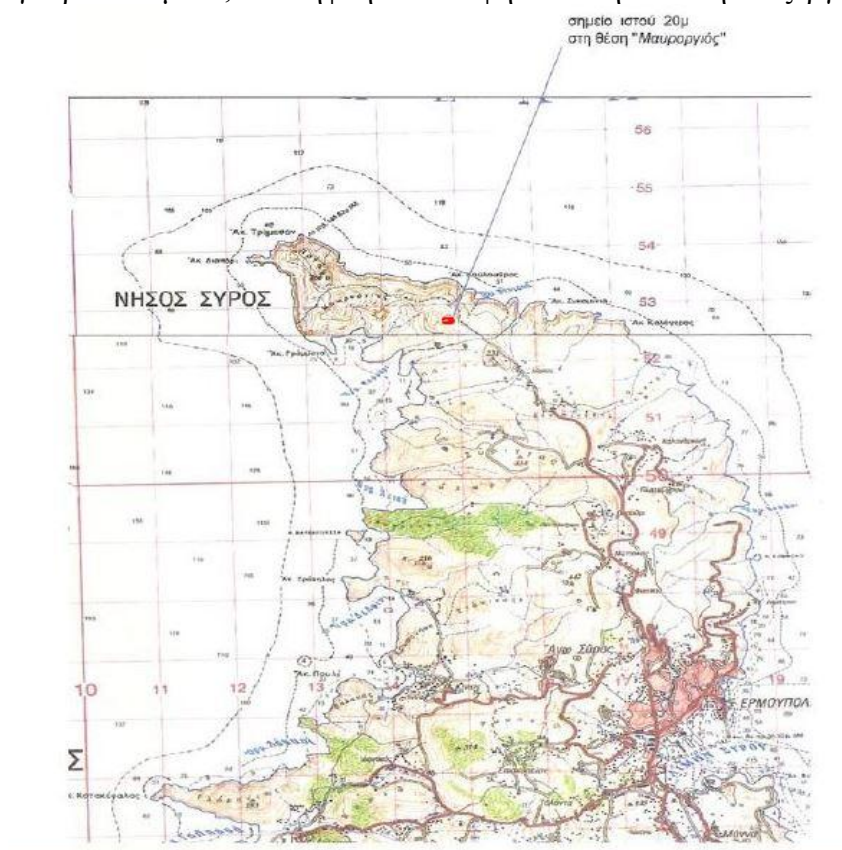
4.3.1 Εύρεση δεδομένων

Δεδομένου του γεγονότος ότι η συσκευή μας θα χωροθετηθεί στο θαλάσσιο περιβάλλον χρειάστηκαν δεδομένα που αφορούν τόσο τον αέρα όσο και το κύμα. Όσον αφορά τις μετρήσεις του ανέμου, χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις 14 μηνών που έλαβαν χώρα στην περιοχή Μαυροργιός της Σύρου καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμες ανεμολογικές μετρήσεις για το Αιγαίο ή το Ιόνιο. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις έλαβαν χώρα κατά τη χρονική περίοδο 8/12/2010 έως 31/1/2012. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από την «Estia Consulting Engineering S.A..

Το έργο περιελάμβανε την εγκατάσταση ενός μετρητικού ιστού για τη μέτρηση και τον υπολογισμό της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου στα μετρητικά ύψη των 20 μέτρων και 10 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Το υψόμετρο της θέσης του ιστού ήταν στα 208 μέτρα και οι γεωγραφικές συντεταγμένες με $\varphi = 37^{\circ}30'18.4''N$ και $\lambda = 24^{\circ}54'19.1''E$ (εικόνα 31,33)

Γύρω από τον ιστό δεν υπάρχουν δέντρα, αλλά κυρίως πέτρες και χώμα με χαμηλή βλάστηση. Οι ιστός που τοποθετήθηκε, ήταν σωληνωτός, ύψους 20 μέτρων, σε μεταλλική βάση (Εικόνα 32). Συνδεδεμένα στον ιστό ήταν τρία κυπελλοφόρα ανεμόμετρα και δύο δείκτες κατεύθυνσης ανέμου. Τα αποθηκευμένα δεδομένα συλλέγονται μέσω απομακρυσμένης σύνδεσης GSM κάθε εβδομάδα από υπολογιστή του Εργαστηρίου. Ταυτόχρονα τα δεδομένα καταγράφονται σε μία

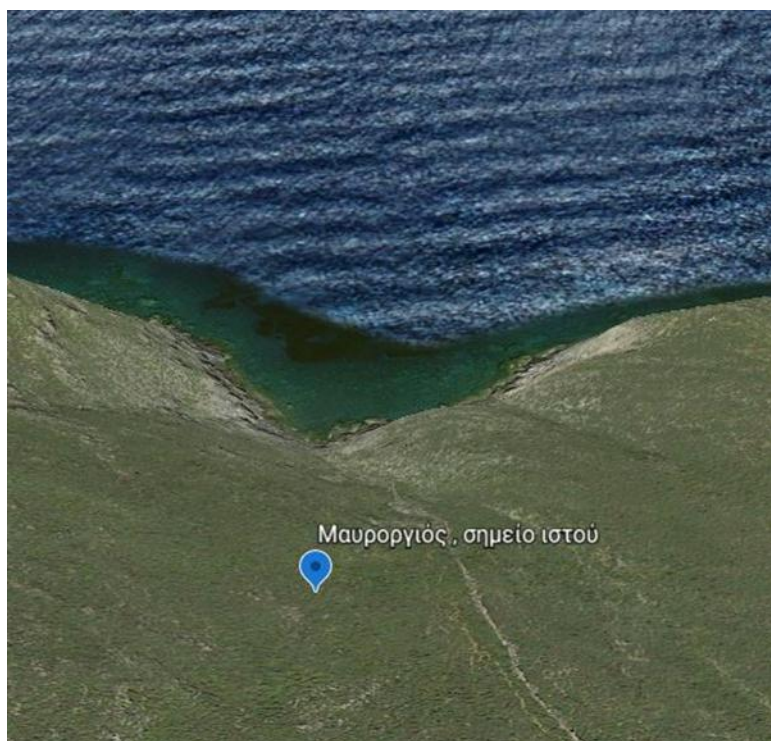
flash card, η οποία είναι συνδεδεμένη στο καταγραφικό, στη θέση των μετρήσεων. Τα αρχεία που προκύπτουν είναι τύπου ASCII (txt) και περιλαμβάνουν τη βασική πληροφορία για τα κανάλια και τις ρυθμίσεις και τη στατιστική ανάλυση για όλα τα σήματα για κάθε 10λεπτη περίοδο ολοκλήρωσης (ελάχιστη, μέγιστη, μέση τιμή και τυπική απόκλιση). Η επεξεργασία των δεδομένων, έγινε μέσω του λογισμικού Wind Rose. Στην εικόνα 34, φαίνεται η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου, καθώς και η διαθεσιμότητα για τα ύψη των μετρήσεων(ανά μήνα) στα 10 και τα 20 μέτρα από το έδαφος, για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η μέση ταχύτητα του ανέμου για τη συνολική περίοδο αναφοράς στα 20 μέτρα, ήταν 9,7 m/s. Οι κυρίαρχοι τομείς της κατεύθυνσης του ανέμου στα 20m είναι BBA (Βόρεια-Βορειοανατολικά), B (Βόρεια) όσον αφορά την ενέργεια και BBA (Βόρεια-Βορειοανατολικά), BA (Βορειοανατολικά) όσον αφορά την παράμετρο του χρόνου. Η μέση τιμή της τύρβης (ένταση) για ταχύτητα ανέμου 10m/s είναι 9,5% στα 20m. Τα μη έγκυρα δεδομένα αντιστοιχούν σε περιόδους βλαβών και παγώματος των μετρητικών οργάνων λόγω χαμηλών θερμοκρασιών σε συνδυασμό με έντονη υγρασία καθώς και σε συντηρήσεις του μετρητικού συστήματος. Τα απολεσθέντα και μη έγκυρα δεδομένα, δεν λήφθηκαν υπόψη κατά την τελική επεξεργασία.



Εικόνα 31: Θέση μετρητικού ιστού στην περιοχή Μαυροργιός της Σύρου σε κλίμακα



Εικόνα 32: Μετρητικός Ιστός στην περιοχή Μαυροργιάς της Σύρου *Πηγή: Estia Consulting Engineering*



Εικόνα 33: Θέση μετρητικού ιστού . *Πηγή : google Earth*

	20 m ύψος από το έδαφος		10 m ύψος από το έδαφος	
Περίοδος αναφοράς μετρήσεων: 8/12/2010-31/1/2012	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/sec)	Διαθεσιμότητα μετρήσεων (%)	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/sec)	Διαθεσιμότητα μετρήσεων (%)
Δεκέμβριος 10 (8/12-31/12)	11,1	75,3	10,8	75,3
Ιανουάριος 11	9,2	100	8,9	100
Φεβρουάριος 11	10,5	100	10	100
Μάρτιος 11	11,5	23,0	9,8	100
Απρίλιος 11	11,0	85,1	10,4	99,8
Μάιος 11	7,3	100	6,9	100
Ιούνιος 11	6,2	100	5,9	100
Ιούλιος 11	6,2	100	5,8	100
Αύγουστος 11	9,7	100	8,9	100
Σεπτέμβριος 11	9,2	100	8,5	100
Οκτώβριος 11	11,3	100	10,7	100
Νοέμβριος 11	13,3	100	12,5	100
Δεκέμβριος 11	9,9	100	9,5	100
Ιανουάριος 12 (1/1-31/1)	11,5	96,1	10,5	96,1
Συνολική Περίοδος Αναφοράς	9,7	92,8	9,1	99,5

Πίνακας 5: Μέσα μηνιαία αποτελέσματα για ύψος μέτρησης 20m και 10m από το έδαφος.

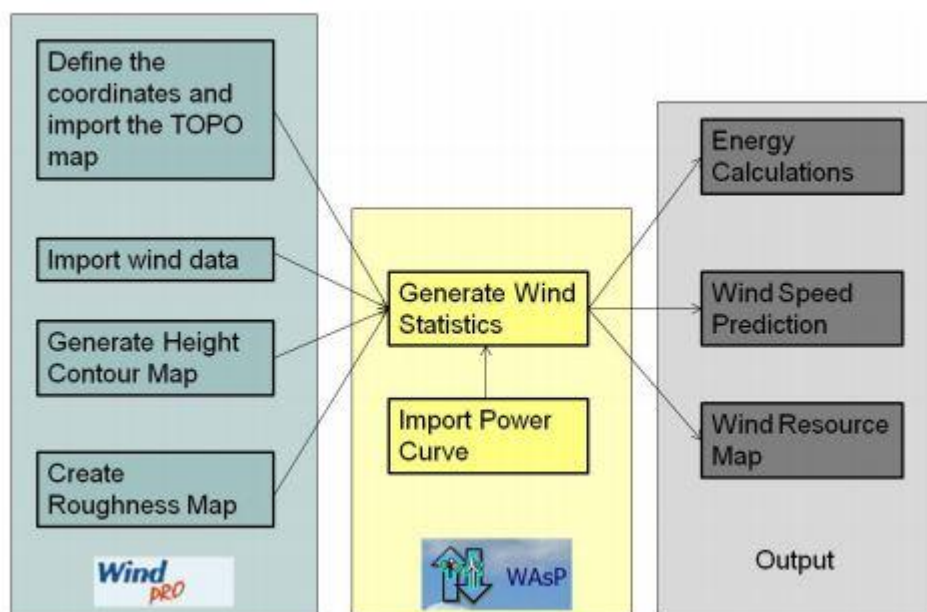
Εικόνα 34: Μέσα μηνιαία αποτελέσματα για ύψος μέτρησης 20m και 10m από το έδαφος

4.4 Διαδικασία χωροθέτησης μέσω του λογισμικού Wind Pro και του μοντέλου WASP

Προκειμένου να βρούμε την πιθανή θέση τοποθέτησης του υπεράκτιου αιολικού πάρκου, απαραίτητη κρίνεται η χρήση ενός software. Στην προκειμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό WindPro (2.4.0.6.1 2004) μέσω του μοντέλου WASP. Το εν λόγω εργαλείο, μας βοηθάει στην ανάλυση των ανέμων, στους υπολογισμούς της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως στην τοποθέτηση ανεμογεννητριών. Πιο συγκεκριμένα, το WindPRO είναι ένα λογισμικό αιολικής μοντελοποίησης που δημιουργήθηκε από την Δανέζικη εταιρεία EMD International. Το λογισμικό αυτό, αποτελείται από διαφορετικά τμήματα μεταξύ των οποίων επιλέγει ο χρήστης ποια θα χρησιμοποιήσει. Το WASP περιλαμβάνεται μεταξύ αυτών των τμημάτων. Το WindPRO χρησιμοποιείται ως βάση για την εισαγωγή όλων των δεδομένων στο πρόγραμμα και το WASP είναι «υπεύθυνο» για την προσομοίωση της αιολικής ενέργειας και της δημιουργίας χαρτών σχετικούς με την δυνητική παραχθείσα ενέργεια συναρτήσει των ανεμολογικών δεδομένων. Το WASP χρησιμοποιεί το γραμμικό ατμοσφαιρικό μοντέλο για την παρεκβολή (extrapolate) των δεδομένων για τη θερμοκρασία του ανέμου μέσα σε μια περιοχή λαμβάνοντας υπόψη την ορογραφία και την τραχύτητα. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιεί τις εξισώσεις του Navier-Stokes για την επίλυση της ταχύτητας του ανέμου σε διαφορετικές θέσεις.

Στην προκειμένη εργασία, χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές δεκαλέπτων μετρήσεων του ανέμου για την περιοχή Μαυροργιός της Σύρου, καθώς το λογισμικό δύναται να «διαβάσει» raw data (χρονοσειρές 10λέπτων), τα οποία δεν υφίστανται, ακόμη, για το θαλάσσιο περιβάλλον της Ελλάδας. Δεδομένου ότι τα δεδομένα μας δεν αφορούν το θαλάσσιο περιβάλλον αλλά βρίσκονται πολύ κοντά σε θάλασσα, με ήπια ορογραφία, καθίσταται δυνατό να υπολογισθεί η πιθανή θέση και η παραγόμενη ισχύς συναρτήσει της υπεράκτιας θέσης του θαλάσσιου πάρκου. Δεδομένου ότι ο αέρας βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος, αυτό που κρίνεται σημαντικό είναι τόσο η πυκνότητά του όσο και η επιρροή που θα δεχθεί από πιθανή τραχύτητα του εδάφους. Για το λόγο αυτό ως δυνητικό επίπεδο χωροθέτησης ορίσθηκε εκείνο το οποίο «έχει ύψος» 0 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας, δηλαδή το θαλάσσιο περιβάλλον. Σε συνδυασμό με τα πρωτογενή ανεμολογικά δεδομένα των οποίων οι

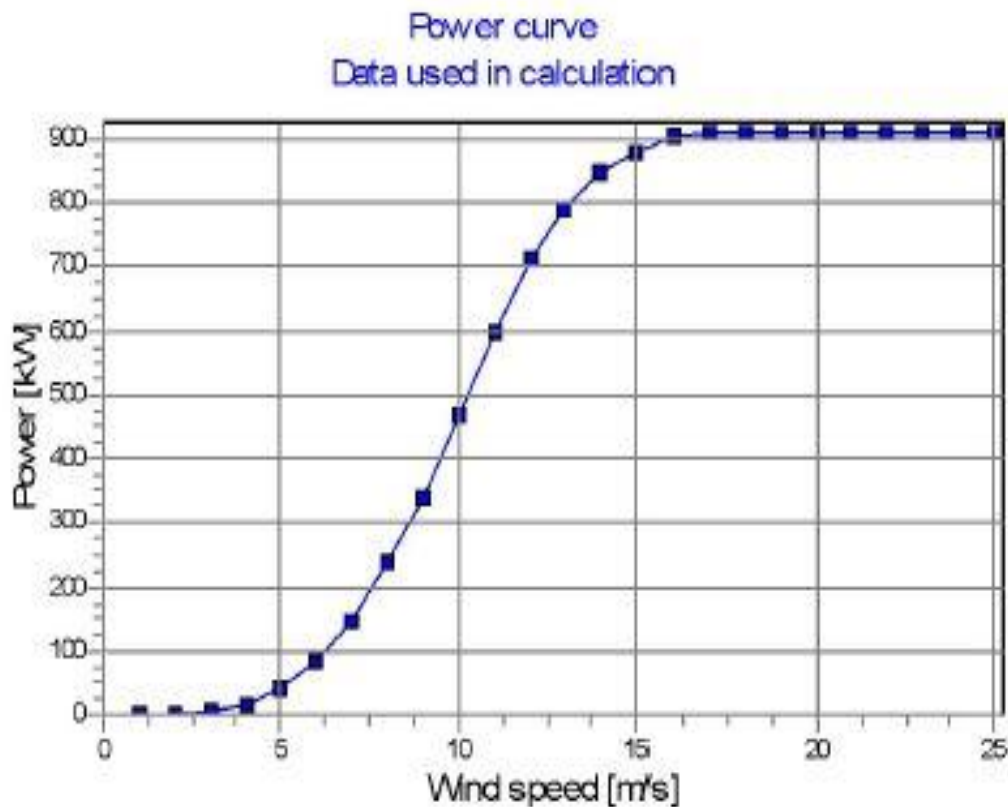
μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί εκ των προτέρων σε ήπια ορογραφία , η παρεκβολή(extrapolation) δύναται να γίνει ακόμα και σε μακρινή θαλάσσια περιοχή. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά του τοπογραφικού χάρτη του νησιού της Σύρου ,οι ακριβείς συντεταγμένες του νησιού καθώς και το shape file με τις ισοϋψείς καμπύλες (ανά 20 μέτρα) έτσι ώστε να ληφθεί υπ' όψιν το μέγεθος τραχύτητας του εδάφους, στοιχείο που σχετίζεται άμεσα με την τύρβη, η οποία επηρεάζεται συναρτήσει της αλλαγής της τραχύτητας . Η απόκλιση της γεωαναφοράς ήταν σε επιτρεπτό ποσοστό (1,19%). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των συντεταγμένων του μετρητικού σταθμού από τον οποίο αντλήθηκαν τα ανεμολογικά δεδομένα.καθώς και το ύψος του (20 μέτρα). Έπειτα, ακολούθησε η εισαγωγή των ανεμολογικών δεδομένων σε μορφή που υποστηρίζει το πρόγραμμα, δηλαδή σε μορφή χρονοσειρών δεκαλέπτων (raw data). Παρά το γεγονός ότι η χρησιμοποιηθείσα έκδοση του λογισμικού είναι αρκετά πιο παλιά εν συγκρίσει με τις σημερινές εκδόσεις, η διαδικασία που ακολουθείται είναι αρκετά παρόμοια Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 35), φαίνεται η διαδικασία με την οποία λειτουργεί το WindPro συναρτήσει του WAsP . Πιο συγκεκριμένα, γίνεται σαφές ότι το WasP είναι ο «διαμεσολαβητής» προκειμένου να λάβουμε τα αποτελέσματα.



Εικόνα 35: Μοντελοποίηση μέσω WindPro και WAsP. Πηγή: Dr.Tom Acker

Προκειμένου να δημιουργηθούν στατιστικά στοιχεία σχετικά με την αιολική ενέργεια για μια τοποθεσία με άγνωστα στοιχεία για τον άνεμο, το WAsP χρησιμοποιεί ορισμένα στατιστικά μοντέλα (προσομοιώσεις) έτσι ώστε το αιολικό δυναμικό ή η παραγόμενη ισχύς να προκύψει βάσει των υπαρχόντων μετρήσεων, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις αλλαγές του ύψους και τραχύτητας, την πυκνότητα του ανέμου καθώς και τη διαφορετική ορογραφία. Όσο πλησιέστερα βρίσκεται η τοποθεσία με τα γνωστά ανεμολογικά δεδομένα, τόσο λιγότερα σφάλματα θα ληφθούν στο τέλος της διαδικασίας.

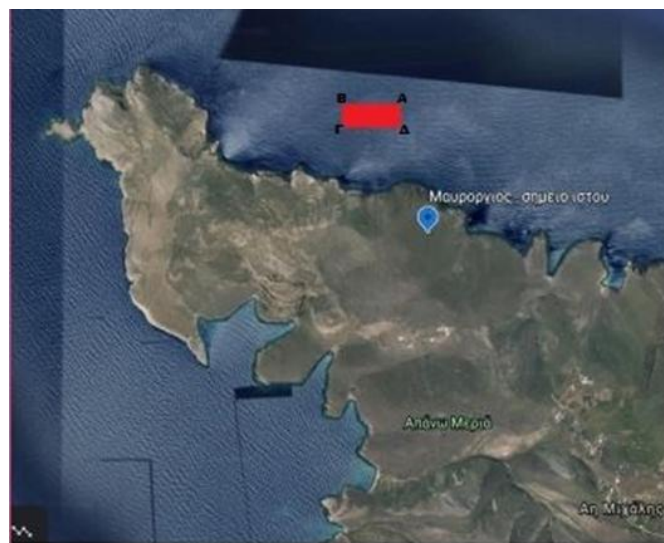
Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 36), φαίνεται η ταχύτητα του ανέμου(m/s) συναρτήσει των παραγόμενων kW. Πιο συγκεκριμένα, για τη δημιουργία της συγκεκριμένης καμπύλης έχει ληφθεί ως δεδομένο ότι η πυκνότητα του αέρα είναι $1,225 \text{ kg-m}^3$ και το ύψος της ανεμογεννήτριας 55 μέτρα. Τα 25 m/s αποτελούν σημείο ορίου για την συγκεκριμένη αιολική μηχανή , ωστόσο γίνεται σαφές ότι από τα περίπου 16 m/s υπάρχει μια σταθεροποίηση όσον αφορά την παραγόμενη ισχύ.



Εικόνα 36: Ταχύτητα του ανέμου συναρτήσει της παραγόμενης ισχύος. Πηγή: WindPro

Η ταχύτητα του ανέμου δεν είναι απόλυτα ανάλογη της παραγόμενης ισχύς (ειδικά δεδομένης της τελικής σταθεροποίησης) , ωστόσο γίνεται αντιληπτό ότι η παραγόμενη ενέργεια παρουσιάζει ανοδική πορεία συναρτήσει της ταχύτητες ανέμου για τιμές από 10 έως 15 m/s.

Στην εικόνα 38, με μπλε χρώμα πραγματοποιείται η απεικόνιση των μετρήσεων του χερσαίου αιολικού πάρκου. Βορειοανατολικά φαίνεται η δυνητική θέση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου αφού θέσαμε ως επιθυμητό επίπεδο αυτό της θάλασσας. Συγκεκριμένα, το δυνητικό πάρκο ορίζεται από τα σημεία A= 37°30'42.4"N 24°54'05.1"E, B=37°30'44.8"N 24°54'01.3"E Γ=37°30'43.7"N 24°53'59.1"E Δ=37°30'41.2"N 24°54'02.4"E.

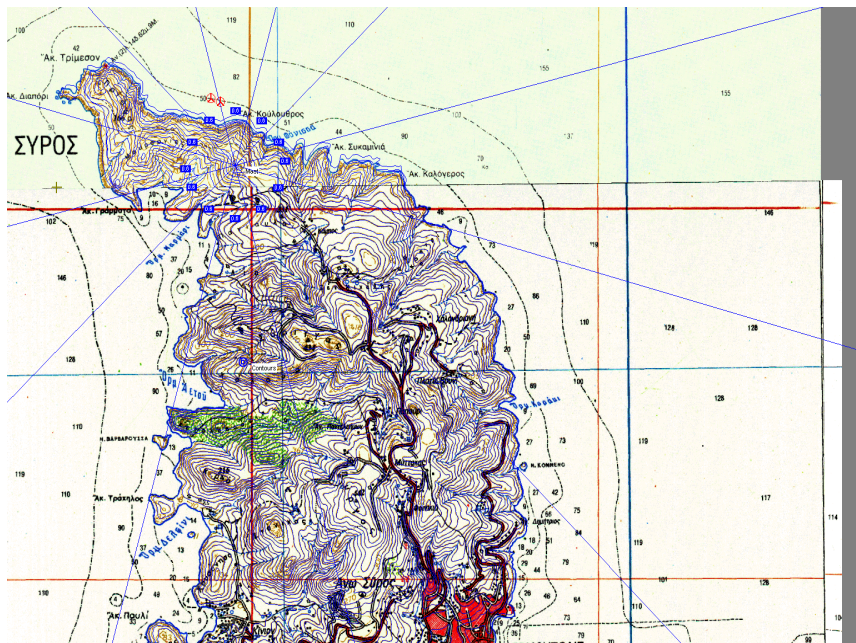


Εικόνα 38: Θέση αιολικού πάρκου Πηγή: Google Earth

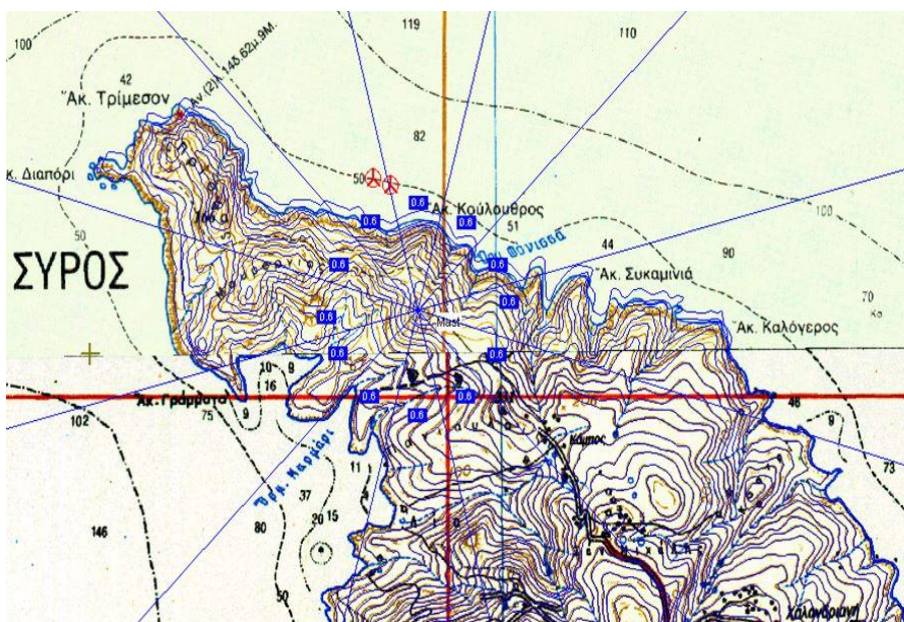
Όπως φαίνεται καλύτερα στην εικόνα 38, οι ανεμογεννήτριες είναι αρκετά κοντά στην ξηρά, σε βάθος νερού ίσο με 50 μέτρα, γεγονός που θα διευκόλυνε τη δυνητική χωροθέτησή τους , καθώς παρά το γεγονός ότι μιλάμε για πλωτές ανεμογεννήτριες, το κόστος είναι ανάλογο του βάθους είτε έδρασης είτε αγκύρωσης της εκάστοτε ανεμογεννήτριας.

Επιπλέον, η μεταφορά των μηχανών και του εξοπλισμού εν γένει, φαίνεται να διευκολύνεται εφόσον το αιολικό πάρκο δεν απέχει μεγάλη απόσταση από την ακτή. Σημαντική κρίνεται επίσης η διαδικασία της καλωδίωσης έτσι ώστε η παραγόμενη ισχύς να είναι εκμεταλλεύσιμη στο έπακρο, στο οποίο δείχνει να βοηθάει και η βαθυμετρία αλλά και η απόσταση από την ακτογραμμή. . Η απόσταση του αιολικού

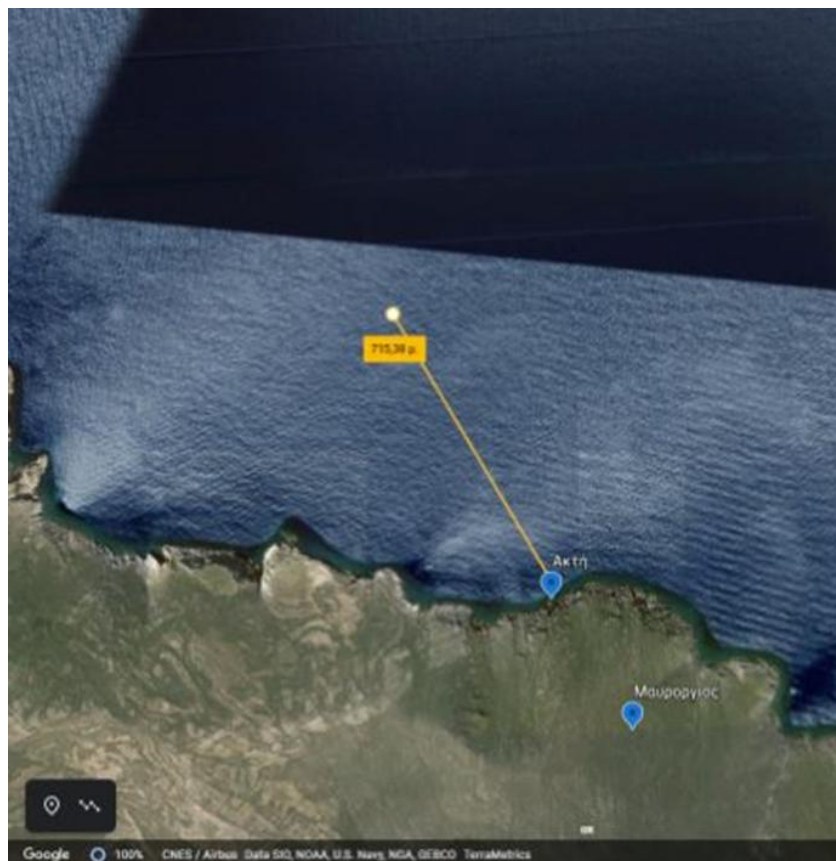
πάρκου από την ακτή προσεγγίζει το ένα χιλιόμετρο(εικόνα 40). Οι αποστάσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών, οφείλουν να είναι αυτές που ορίζονται από το Ειδικό πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης. Σύμφωνα με το ΕΠΧΣΑΑ η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας μεταξύ των ανεμογεννητριών είναι 2.5 φορές το μήκος της διαμέτρου του ρότορα της ανεμογεννήτριας.Επι τω προκειμένω, η απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών θα πρέπει να είναι περίπου 109 μέτρα εφόσον η διάμετρος του ρότορα είναι 43,7 μέτρα (Τσιρόπουλος,2018).



Εικόνα 38:Δυνητική θέση πλωτών υβριδικών ανεμογεννητριών (κόκκινο χρώμα-ΒΑ). Χάρτης μέσω του λογισμικού Windpro
Πηγή πρωτογενούς χάρτη: Α.Κόρρας



Εικόνα 39:Δυνητική θέση υβριδικών ανεμογεννητριών. Χάρτης που δημιουργήθηκε από το λογισμικό Wind PRO
Πηγή πρωτογενούς χάρτη: Α. Κόρρας



Εικόνα 40 Απόσταση αιολικού πάρκου από ένα σημείο της ακτής Πηγή: Google Earth



Εικόνα 41 :Απόσταση αιολικού Πάρκου από το μετρητικό Σταθμό Πηγή: Google Earth

Στην παρακάτω εικόνα, φαίνεται ότι ο τύπος μηχανής που επιλέξαμε (Wind Type Generation-WTG) είναι ENECRO9N E 44 900 και κατηγορίας ΙΑ, δηλαδή είναι αρκετά σκληρή μηχανή η οποία αντέχει στους υψηλούς ανέμους οι οποίοι θα είναι αρκετά συχνό φαινόμενο στο Αιγαίο πέλαγος. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μηχανή σταματάει τη λειτουργία της σε ταχύτητες ανέμου που αγγίζουν τα 25 m/s . Η παραγόμενη ισχύς για ταχύτητα ανέμου 8,5 m/s φαίνεται να είναι περίπου 3 MW , μια ταχύτητα ανέμου στην οποία η αιολική μηχανή είναι αποτελεσματική σε ένα ποσοστό 99,4%. Ο προσανατολισμός του πάρκου, θα πρέπει να είναι βόρεια-βορειοανατολικά, καθώς βάσει του διαγράμματος της εικόνας 44 , η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλότερη σε αυτές τις κατευθύνσεις.

Calculated Annual Energy for new WTG's

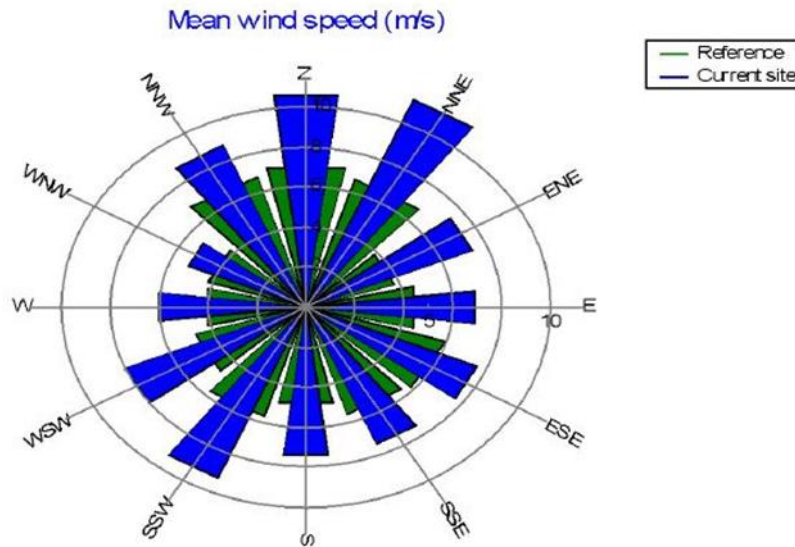
WTG type			Power curve								Annual Energy		Park	
Terrain	Valid	Manufact.	Type	Power	Diam.	Height	Circle radius	Circle radius	Creator	Name	Result	Result-10%	Efficiency	Mean wind speed
				[kW]	[m]	[m]	[m]	[m]			[MWh]	[MWh]	[%]	[m/s]
1 A	Yes	ENERCON	E-44	900	44.0	55.0	66.0	66.0	EMD	Level 0 - guaranteed* -- 06/2005	3,048.2	2,743	99.4	8.5
2 A	Yes	ENERCON	E-44	900	44.0	55.0	66.0	66.0	EMD	Level 0 - guaranteed* -- 06/2005	2,660.5	2,394	99.7	7.9

Εικόνα 42 :Ετήσια παραγόμενη ισχύς των νέων ανεμογεννητριών

Rotor

Diameter:	43.7 m
Swept area:	1,521.0 m²
Number of blades:	3
Rotor speed, max:	34.0 U/min
Tipspeed:	78 m/s
Type:	AERO E-40
Material:	GFK
Manufacturer:	Enercon
Power density 1:	394.5 W/m²
Power density 2:	2.5 m²/kW

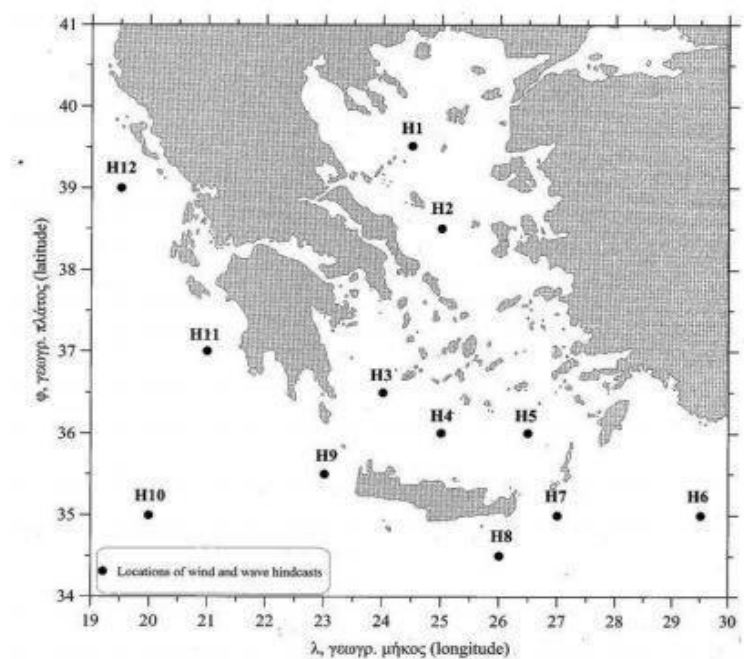
Εικόνα43: Χαρακτηριστικά του ρότορα της αιολικής μηχανής . Πηγή : www.en.wind-turbine-models.com



Εικόνα 43: Κατεύθυνση ανέμου Πηγή : WindPro

Όσον αφορά τα ύψη των κυμάτων στην περιοχή ενδιαφέροντος, συμπεράσματα προκύπτουν από τους χάρτες πρόβλεψης κυμάτων από τα δεκαετή κυματικά δεδομένα του συστήματος Ποσειδών, που δημοσιεύονται στον «Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών». Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα δίκτυο πλωτήρων που συλλέγουν και επεξεργάζονται δεδομένα ανά τρεις ώρες. Οι θέσεις των πλωτήρων παρουσιάζονται στην εικόνα 45.

Η μέση ετήσια ισχύς των κυματισμών συναρτήσει των μετρητικών σταθμών, παρατίθεται στην εικόνα 46 και όπως γίνεται σαφές, τα μέσα ύψη κυμάτων στο Αιγαίο είναι ικανά να ενεργοποιήσουν τους μηχανισμούς ανάκτησης κυματικής ενέργειας και να παράγουν μέχρι και 3,5 kw/m . Σε συνδυασμό με την παραχθείσα ισχύ μέσω του αιολικού δυναμικού, γίνεται αντιληπτό ότι το κυματικό δυναμικό του Αιγαίου δύναται να συνεισφέρει πολύ σημαντικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά του.



Εικόνα 44: Αριθμητικά σημεία μέτρησης του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ πηγή : ΚΑΠΕ

Μέση Ετήσια Ισχύς Κυματισμού (kW/m)	
Σημεία Αριθμητικής Επεξεργασίας	
H1	3.08
H2	3.96
H3	3.52
H4	3.83
H5	4.59
H6	6.08
H7	6.46
H8	4.63
H9	6.92
H10	7.72
H11	5.45
H12	5.31

Εικόνα 46: Αριθμητικά σημεία και μέση ετήσια ισχύς κυματισμού πηγή: ΚΑΠΕ

Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η θέση της Ελλάδας στον παγκόσμιο χάρτη, έχει διττή σημασία καθώς η πληθώρα νησιών και η τεράστια ακτογραμμή της ενδείκνυνται για ενεργειακή εκμετάλλευση, ωστόσο η απότομη μορφολογία καθώς και η ελλιπής ύπαρξη δικτύων δυσκολεύουν την εκμετάλλευση των πολύτιμων πόρων της.

Η εκμετάλλευση του αιολικού και κυματικού δυναμικού της Ελλάδας αποτελεί σημαντικό στοιχείο καινοτομίας που μπορεί να αποδώσει πολλαπλά οφέλη. Ο συνδυασμός των δύο πηγών, όχι μόνο προσφέρει περισσότερη ενέργεια, αλλά δύναται να λειτουργεί «εναλλάξ» σε περίπτωση που το εκάστοτε δυναμικό δεν επαρκεί για να θέσει έναν από τους δύο μηχανισμούς σε λειτουργία. Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό να μελετήσει την εκμετάλλευση δύο πολύτιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την ενέργεια του αέρα και των κυμάτων στοχεύοντας στη μελέτη δυνητικής υλοποίησης μιας πλωτής κατασκευής η οποία θα αποτελείται από τρεις μηχανισμούς ανάκτησης κυματικής ενέργειας και μια πλωτή ανεμογεννήτρια.

Λόγω έλλειψης κυματικών δεδομένων, η μελέτη στηρίχθηκε σε πρωτογενή ανεμολογικά δεδομένα στη θέση Μαυροργιός ,στο νησί της Σύρου. Ωστόσο, η δυνητική θέση που προέκυψε μέσω του λογισμικού WindPro βρίσκεται σε βάθος 50 μέτρων και σε απόσταση περίπου 1 χιλιομέτρου από την ακτογραμμή (μέτρηση αντιδιαμετρικά του ιστού μέτρησης), όριο νομικά επιτρεπτό. Η δυνητική θέση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου, ορίζεται από τέσσερα σημεία τα οποία πληρούν τα ανεμολογικά και κυματικά κριτήρια, τη βαθυμετρία, δεν αποτελούν προστατευόμενη περιοχή και δεν είναι μέρος στρατιωτικών εκπαιδεύσεων. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν συνδυασμός αρκετών παραμέτρων οι οποίες λόγω έλλειψης δεδομένων έπρεπε να αντιμετωπισθούν με τρόπο ώστε να μη λάβουμε αποτελέσματα με αρκετά σφάλματα. Ένας τέτοιος τρόπος ήταν το να τεθεί το δυνητικό επίπεδο τοποθέτησης του πάρκου ως το μηδενικό επίπεδο, δηλαδή το θαλάσσιο περιβάλλον. Εντούτοις, αν και οι δυνητικές θέσεις δεν ορίστηκαν επακριβώς λόγω α) έλλειψης χρονοσειρών δεκαλέπτων στο θαλάσσιο περιβάλλον και β) λόγω μη ύπαρξης του εν λόγω υβριδικού μοντέλου στην αγορά , εξασφαλίζουν μια εικόνα, σχετικά με την παραγόμενη ισχύ, το βάθος και το είδος της μηχανής.

Σημαντική θα ήταν η περεταίρω μελέτη σε αρκετά σημεία των ελληνικών θαλασσών έτσι ώστε , σε συνδυασμό και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να

καταφέρουμε να εκμεταλλευτούμε την άπλετη γαλάζια ενέργεια και τις ήπιες μορφές ενέργειας.

Σαφώς, η εν λόγω εργασία αποτελεί ένα μικρό βήμα σε όλη αυτή την προσπάθεια η οποία χρήζει έρευνας και μελέτης τόσο σχετικά με την διττή χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όσο και με τη χωροθέτηση αυτών έτσι ώστε να καταφέρουμε να τη γεωγραφική μας θέση και τις πηγές ενέργειας που μας χαρίζει το περιβάλλον.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Andreadou C «*Cost Benefit Analysis and Environmental Impact Assessment on PPC's Power Plants Transition from Fossil Fuels to Renewable Resources*», School of Economics, Business Administration and Legal Studies, Thessaloniki 2019.
2. Antonio Pegalajar-Jurado¹ , Anders M. Hansen¹ , Robert Laugesen¹ , Robert F. Mikkelsen¹ , Michael Borg¹ , Taeseong Kim¹ , Nicolai F. Heilskov² and Henrik Bredmose ,«*Experimental and numerical study of a 10MW TLP wind turbine in waves and wind*» , Journal of Physics: Conference Series 753, 2016
3. B. BOUALI, S.LARBI,«*Contribution to the Geometry Optimization of an Oscillating Water Column Wave Energy Converter*»,2013
4. Boemi S.N., Papadopoulos A.M. ,«*Barriers on the propagation of renewable energy sources in Greece*», Laboratory of Heat Transfer and Environmental Engineering School of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Aristotle University of Thessaloniki,2012
5. Estia Consulting and Engineering S.A., Test Report, Δράμα 2012
6. Kaldellis, J.K. , Kapsali, M., Katsanou Ev.,. «Renewable energy applications in Greece—What is the public attitude?», 2012
7. Koutepas A, «*Challenges on the utilization and circularity of renewable energy: the case of small islands in Greece*», University of Twente,Holland 2018
8. Maronidis A ,«*Analysis of Greek Electricity System and evaluation of the impact of the flexibility options for future energy scenarios*», School of Science and Technology, Thessaloniki,2018.
9. Oikonomou, V., Becchis, F., Steg, L., Russolillo ,«*Energy saving and energy efficiency concepts for policy making*», 2009a.
10. Panteleakis A.T ,«*Promoting Renewable Energy Sources in Greece*»,., Delft University of Technology, Delft,2015
11. Papadopoulos, A.M. and Karteris, «An assessment of the Greek incentives scheme for photovoltaics», 2009.
12. Papadopoulos, A.M., Glinou, G.L., Papachristos, D. “*Development in the utilisation of wind energy in Greece*”. *Renewable Energy*,2007
13. Rodrigues, S., Restrepo, C., Katsouris, G., Pinto, R., Soleimanzadeh, M., Bosman, P., & Bauer, P. «*A multi-objective optimization framework for offshore wind farm layouts and electric infrastructures*»,2016
14. Stangeland A. , Commission staff working document ,«*The potential and barriers for Renewable Energy, The Bellona Foundation, The Renewable Energy Progress Report*», , Brussels, 2007
15. Tempel, J., Diepeveen, N., Salzmann, D., & De Vries, W.,«*Design of support structures for offshore wind turbines. In W. Tong, Wind Power Generation and Wind Turbine Design*». WIT Press, 2010

16. Thomas Ackermann ,«*Wind Power in Power Systems*», , Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden,2012
17. Tom Acker ,*Wind Modeling using WindPro and WAsP Software*, Arshiya Hoseyni Chime Sustainable Energy Solution lab, Mechanical Engineering Department Northern Arizona University,July, 2011
18. V. Vita, M. Peikou, P. Kaltakis, A. Gouti, L. Ekonomou ,«*Sustainable energy production and consumption in Greece: A review*» , , School of Pedagogical and Technological Education, Athens , 2009
19. Vagiona, D., & Karanikolas, N.. «*A multicriteria approach to evaluate offshore wind farms siting in Greece*». Global Nest,2012
20. Walker, G.P., Hunter, S., Devine-Wright, P., Evans, B., High, H. «*Trust and community: exploring the meanings, contexts and dynamics of community renewable energy* », 2010.
21. WindEurope (2019), «*Wind Energy in Europe : Trends and Statistics*»,2018
22. Αθανασιάδης Γ.Γ.,«*Ανάλυση πλωτών ανεμογεννητριών*», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2015
23. Αναστάσιος Τσιρόπουλος, «*Χωροθέτηση υπεράκτιου αιολικού πάρκου στις Κυκλάδες με τη χρήση της μεθόδου VIKOR*», Μηχανικός Χωροταξίας και Ανάπτυξης Θεσσαλονίκη,Δεκέμβριος 2018
24. Αρβανίτης Α., Γιαννακοπούλου Σ «*Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός-Θαλάσσιο Κτηματολόγιο: μια αναγκαία αμφίδρομη σχέση για την Ελλάδα*», εκδόσεις Θεσσαλίας, 2016.
25. Βόκας Γ. Α. και Πρωτογερόπουλος Χ., Φωτοβολταϊκά Συστήματα στην Ελλάδα: Παρούσα Κατάσταση και Προοπτικές, 10ο Εθνικό Συνέδριο «Ενέργεια και Ανάπτυξη 2005» - Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης,2005.
26. Γιαννόπουλος Ε., «*Μεθοδολογία αποθήκευσης περίσσειας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Η ελληνική διάσταση*», Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2014.
27. Ε. Μπινόπουλος, Π. Χαβιαρόπουλος, ‘*Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων*’, ‘*Μύθοι και πραγματικότητα*’, ΚΑΠΕ ,2006
28. Λιώκη-Λειβαδά Η. και Ασημακοπούλου Μ. «*Αιολική και άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας: βιομάζα, γεωθερμία,υδατοπτώσεις*», Αθήνα, Συμμετρία 2008.
29. Νικολάου Ε. ,«*Ενέργεια μέσω θαλάσσιων κυμάτων*», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2015.
30. Πολυνείκη Κανέλα, «*Μελέτη Εγκατάστασης Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου 240MW στον κόλπο της Αλεξανδρούπολης*»,Θεσσαλονίκη,2016
31. Σουκισιάν Τ., Χατζηνάκη Μ., Κορρές Γ., Παπαδόπουλος Α., Κάλλος Γ., Αναδρανιστάκης Ε., Άτλας Ανέμου Κύματος και Ελληνικών Θαλασσών, Αθήνα, Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών,2007

32. Υδρογραφική υπηρεσία ΠΝ. *Ετήσιες (μόνιμες) αγγελίες για του ναυτιλομένους*, 2016
33. Χάντζος Η., «Διερεύνηση της Δυναμικής Συμπεριφοράς σε Κυματισμούς, Πλωτής Συσκευής Ανάκτησης Κυματικής και Υπεράκτιας Αιολικής Ενέργειας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο», 2015

Βιβλιογραφία Διαδικτύου

1. ΥΠΕΚΑ 2015, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Πρόσβαση στις 15 Νοεμβρίου 2019 στην ιστοσελίδα <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446>
2. B2Green, πρόσβαση στις 10 Νοεμβρίου 2019 στην ιστοσελίδα <https://www.b2green.gr/el/post/52437/>
3. Σύστημα Ποσειδών, Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών, πρόσβαση στις 22 Νοεμβρίου 2019 στην ιστοσελίδα http://www.poseidon.hcmr.gr/weather_forecast_gr.php?area_id=gr
4. 4Offshore, πρόσβαση στις 10 Οκτωβρίου 2019 στην ιστοσελίδα <https://www.4coffshore.com/https://energypress.gr/news/ananeosimes-phges>
5. Regulatory Authority for Energy (RAE), www.rae.gr Πρόσβαση στο site [2/2/20]
6. *Energypedia*, https://energypedia.info/wiki/Greece_Energy_Situation πρόσβαση στο site [3/1/2020]
7. <http://seatwirl.com/technology/technology> πρόσβαση στο site στις [10/10/2019]
8. http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/14-15/Wave_Energy/point-absorber.html πρόσβαση στο site στις [10/10/2019]
9. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=107b5e3695bd4712b8f02536a19de4dc> πρόσβαση στις 15/2/20
10. <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/68-enercon-e-40-6.44> πρόσβαση στις 15/2/20
11. <http://www.altaeros.com/> πρόσβαση στο site στις [20/10/2019]
12. <https://vortexbladeless.com/> πρόσβαση στο site στις [20/10/2019]
13. <https://windeurope.org> [πρόσβαση στις 11/10/2019]
14. <http://www.ypeka.gr/?tabid=513> πρόσβαση στις 15/2/20
15. <https://energypress.gr/>, πρόσβαση στο site στις [10/2/2020]
16. <http://www.cres.gr/cres/index.html> πρόσβαση στο site στις [15/10/2019]
17. : <http://www.principlepowerinc.com> πρόσβαση στο site στις [15/10/2019]