



---

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΟΛΥΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ  
ΘΑΛΑΣΣΩΝ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ.



**ΜΑΝΩΛΗΣ ΜΥΛΩΝΑΚΗΣ** ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΑΠΘ

**ΣΟΥΚΙΣΑΝ ΤΑΚΒΟΡ** ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2023



## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με θέμα: «Πολυπαραμετρική αξιολόγηση περιοχών των ελληνικών θαλασσών για εγκατάσταση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων» εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης του διατμηματικού μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών με τίτλο «Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία και Επιστήμη» και συντονίζουσα τη σχολή των Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.

Στο σημείο αυτό θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Τακβορ Σουκισιάν Διδάκτορα της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών και Διευθυντή Ερευνών του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.) καταρχήν για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και κατ' επέκταση για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του για την ολοκλήρωση της εργασίας σε μια περίοδο ιδιαίτερα απαιτητική και δύσκολη για μένα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την καθηγήτρια της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής Βασιλεία Καραθανάση και τον ομότιμο καθηγητή της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Σπυρίδων Μαυράκο για την προθυμία τους να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της εργασίας μου.

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προκαταρκτική μελέτη για την εύρεση περιοχών των ελληνικών θαλάσσιων κατάλληλων για την ανέγερση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων. Αρχικά παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο, το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής ως υπαρκτό φαινόμενο, οι διάφορες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας από τις θάλασσες και τους ωκεανούς. Ξεχωρίζει από πλευράς τεχνολογικής ωριμότητας η αιολική ενέργεια από τη θάλασσα για την οποία έχει προχωρήσει τόσο η έρευνα όσο και η εμπορική εφαρμογή. Βασικά κριτήρια για την επιλογή των καταλληλότερων περιοχών είναι το συνολικό ανεμολογικό καθεστώς της περιοχής και το βάθος. Συμπληρωματικά για την τελική απόφαση κατασκευής παίζουν ρόλο και άλλοι παράγοντες. Οι κύριοι παράγοντες είναι: οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί, η ελάχιστη απόσταση από την ακτή, η απόσταση από μεγάλο λιμάνι το οποίο θα αποτελέσει διαμετακομιστικό κόμβο για την κατασκευή, η ύπαρξη υφιστάμενου δικτύου υποθαλάσσιων καλωδίων το οποίο θα αξιοποιηθεί και για τη διασύνδεση τη αιολικού πάρκου μειώνοντας αισθητά το κόστος κατασκευής.

Για την εφαρμογή με την οποία ασχολείται η παρούσα εργασία αντλήθηκαν δεδομένα ταχύτητας ανέμου 100m πάνω από τη επιφάνεια της Θάλασσας από τη βάση δεδομένων ERA 5 με τη μορφή χρονοσειράς (μετρήσεις ανά μία ώρα) για την εικοσαετία 2000 -2019 και για γεωγραφικό χώρο [42°-33°B , 19°-30°A]. Η χωρική ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε ήταν 0.25° δημιουργώντας έναν κάνναβο με 37 στοιχεία κατακόρυφα για το γεωγραφικό πλάτος και 45 στοιχεία οριζόντια για το γεωγραφικό μήκος. Για κάθε ένα από τα στοιχεία του καννάβου υπολογίστηκαν με τη χρήση του λογισμικού «MATLAB» η μέση ταχύτητα, το μέσο αιολικό δυναμικό καθώς και η μεταβλητότητα των συγκεκριμένων μεγεθών. Τα παραπάνω στη συνέχεια απεικονίστηκαν με τη βοήθεια της ελεύθερα διαθέσιμης βιβλιοθήκης «m\_map» με τη μορφή χαρτών.

Στη συνέχεια έγινε αναφορά στη βαθυμετρία των ελληνικών θαλασσών και εντοπίστηκαν οι περιοχές με βάθος μέχρι 50m στις οποίες μπορούν να πακτωθούν οι ΑΓ στον πυθμένα με πάσσαλο και οι περιοχές με βάθος μέχρι 300m στις οποίες οι ΑΓ είναι πλωτές και αγκυρώνονται μέσω διαφόρων τεχνικών στον πυθμένα. Τέλος υπολογίστηκε ο περιορισμός της απόστασης από την ακτογραμμή, ότι η ελάχιστη απόσταση του δυνητικού ΑΓ από την ακτή δεν μπορεί να είναι μικρότερη των 3 χλμ και τα θαλάσσια σύνορα ανατολικά.

Με βάση τα παραπάνω προέκυψαν συγκεκριμένες περιοχές που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης. Συνοπτικά πρόκειται για το σύνολο των Κυκλάδων, σημαντικό μέρος του Βόρειου Αιγαίου, την περιοχή μεταξύ Λήμνου και Αγίου Ευστρατίου, Ανατολικά και Δυτικά του Αγίου Ευστρατίου, την περιοχή μεταξύ Ικαρίας – Πάτμου – Λέρου, την περιοχή Νότια της Καρπάθου. Τέλος επιλέχθηκε περιοχή ΝΑ του Αγίου Ευστρατίου στην

οποία έγινε μια πρώτη εκτίμηση της απόδοσης που θα είχε πιθανό αιολικό πάρκο αποτελούμενο από 121 Ανεμογεννήτριες.

Λέξεις κλειδιά: Θαλάσσια Αιολική Ενέργεια, Θαλάσσιο Αιολικό Πάρκο Αιγαίο, Απόδοση Θαλάσσιου Αιολικού Πάρκου σε ορίζοντα εικοσαετίας.

## Abstract

This thesis is a preliminary study to find areas of the Greek seas suitable for the construction of Offshore Wind Farms. Initially the theoretical background is presented. The issue of climate change as a serious and existing threat, the various forms of Renewable energy from the seas and the oceans. Offshore wind energy stands out in terms of technological maturity, for which both research and commercial application have progressed. The main criteria for choosing the most suitable areas are the overall wind regime of the area and the depth. In addition to the final construction decision, other factors also play a role. The main factors are the environmental restrictions, the minimum distance from the coast, the distance from a large port which will be a transit hub for the construction, the existence of an existing network of submarine cables which will also be used for the interconnection of the wind park, significantly reducing the construction cost.

For this paper's application, wind speed data 100m above the sea level were extracted from the "ERA 5" database in the form of a time series (hourly measurements) for twenty years (2000-2019) and for a geographical area [ 42° - 33°, 19° - 30°]. The spatial resolution used was 0.25° creating a canvas with 37 elements vertically for latitude and 45 elements horizontally for longitude. For each element of the canvas, the average speed, the average wind potential and the variability of these quantities were calculated using the "MATLAB" software. The above was then visualized with the help of the freely available library 'm\_map' in the form of maps.

Afterwards reference was made to the bathymetry of the Greek seas and the areas with a depth of up to 50m in which the Wind Turbines (WT) can be fixed to the bottom. These WTs are called monopiles. The other areas of interest are the ones with depth up to 300m in which the WTs are floating and anchored to the bottom using various techniques. Finally, the limitation of the distance from the coastline and the sea borders to the east were taken into consideration. As for the first factor the minimum distance of the potential WT from the coast cannot be less than 3 km.

Based on the above, specific areas emerged that need further investigation. In summary, these areas are: the whole of Cyclades, a significant part of the North Aegean, the area between Lemnos and Agios Efstratios, East and West of Agios Efstratios, the area between Ikaria - Patmos - Leros, the area South of Karpathos. Finally, an area SE of Agios Efstratios was selected, in which a first assessment of the performance that would have a possible wind farm consisting of 121 Wind Turbines was made.

**Keywords:** Offshore Wind Energy, Aegean Offshore Wind Park, Offshore Wind Park Performance over a twenty-year horizon.

## Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
Abstract .....	5
Πίνακας Περιεχομένων.....	6
Κατάλογος Εικόνων .....	8
Κατάλογος Πινάκων .....	10
Κατάλογος Χαρτών .....	11
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>13</b>
1.1 Έναυσμα .....	13
1.2 Αντικείμενο – Σκοπός .....	14
1.3 Διάρθρωση Διπλωματικής.....	14
<b>2 Θεωρητικό Υπόβαθρο.....</b>	<b>15</b>
2.1 Το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής.....	15
2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας από τη Θάλασσα .....	21
2.3 Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα.....	32
2.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	32
2.3.2 Παράγοντες επιλογής θέσης Θ.Α.Π. ....	38
2.3.3 Περιοχή Μελέτης.....	42
2.3.4 Τελευταίες εξελίξεις στην Ευρώπη και Ελλάδα .....	44
<b>3 Προέλευση και περιγραφή διαθέσιμων δεδομένων.....</b>	<b>47</b>
3.1 Ταχύτητα - Διεύθυνση Ανέμου .....	48
3.2 Βάθος Ελληνικών Θαλασσών.....	49
3.3 Θαλάσσια Σύνορα - Ακτογραμμή.....	49
<b>4 Επεξεργασία Δεδομένων .....</b>	<b>50</b>
4.1 Ταχύτητα ανέμου .....	50
4.2 Διεύθυνση ανέμου .....	52
4.3 Αιολικό Δυναμικό .....	52
4.4 Ενεργειακές Απολαβές με τη χρήση ΑΓ αναφοράς.....	54
<b>5 Παρουσίαση ευρημάτων και σχολιασμός.....</b>	<b>58</b>

5.1	Απεικόνιση Ευρημάτων – Δημιουργία χαρτών .....	59
5.2	Ταχύτητες Ανέμου .....	59
5.3	Αιολικό Δυναμικό .....	70
5.4	Γενικοί Περιορισμοί τοποθέτησης ΘΑΠ.....	81
5.4.1	Βάθος .....	81
5.4.2	Ελάχιστη απόσταση από την ακτή.....	84
5.4.3	Θαλάσσια σύνορα .....	85
5.5	Τελικοί Χάρτες .....	86
5.6	Προσεγγιστικός υπολογισμός απόδοσης αιολικού πάρκου .....	88
<b>6</b>	<b>Συμπεράσματα Προτάσεις .....</b>	<b>94</b>
6.1	Συμπεράσματα .....	94
6.2	Προτάσεις.....	96
<b>7</b>	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>98</b>



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2-1 Πορεία συγκέντρωσης CO <sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. (NASA, 2022).....	17
Εικόνα 2-2 Ενεργειακό Ισοζύγιο. (Lindsey, 2009).....	19
Εικόνα 2-3 Βαθμίδες της κλίμακας «TRL» (Tzinis, 2021) .....	22
Εικόνα 2-4 Κυματική Ενέργεια (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016) .....	24
Εικόνα 2-5 Κυριότερες συσκευές εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016) .....	24
Εικόνα 2-6 "Triton" Κωνσταντίνος Χατζηλάκος.....	25
Εικόνα 2-7 1 <sup>η</sup> εικόνα από αριστερα φράγμα «La Rance» Γαλλία, 2 <sup>η</sup> εικόνα πρόταση για κατασκευή τεχνητού κόλπου – λιμνοθάλασσας. ....	26
Εικόνα 2-8 Επικρατέστερες κατασκευαστικές προτάσεις για αξιοποίηση ενέργειας από ρεύματα (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016) .....	27
Εικόνα 2-9 Συσκευή εκμετάλλευσης ενέργειας ωκεάνιων ρευμάτων (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016) .....	27
Εικόνα 2-10 Διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής μέσω της Ώσμωσης (Antonio Santos Sánchez, Ângelo Paggi Matos, 2018).....	29
Εικόνα 2-11 Γεωγραφικά πλάτη εκμετάλλευσης θαλάσσιας θερμικής ενέργειας (Devault, Damien & Péné-Annette, Anne, 2017) .....	29
Εικόνα 2-12 κύκλωμα Ωκεάνιας Θερμικής ενέργειας (Ferreira, n.d.) .....	30
Εικόνα 2-14 ΑΓ Οριζόντιου Άξονα (S. Mathew, G.S. Philip, 2012) .....	33
Εικόνα 2-13 ΑΓ Κατακόρυφου άξονα (Blain, 2022) .....	33
Εικόνα 2-15 Καμπύλη Ισχύος ΑΓ (Vaishali Sohoni, S. C. Gupta, R. K. Nema, 2016).....	37
Εικόνα 2-16 Μεγέθη μεγαλύτερης ΑΓ υπό δοκιμαστική λειτουργία ( <a href="http://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine">www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine</a> , χ.χ.) .....	38
Εικόνα 2-17 Ενδεικτικοί τρόποι εγκατάστασης θαλάσσιας ΑΓ ( <a href="http://www.bsee.gov/what-we-do/renewable-energy/renewable-energy-policy-statement">www.bsee.gov/what-we-do/renewable-energy/renewable-energy-policy-statement</a> , n.d.) .....	41
Εικόνα 4-1 Καμπύλη Ισχύος «DTU_10MW_178_RWT_v1» (Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian;, 2013) .....	56

Εικόνα 4-2 Καμπύλη συντελεστή ισχύος «DTU\_10MW\_178\_RWT\_v1» σε σύγκριση με το όριο του Betz (Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian;, 2013)..... 57

Εικόνα 5-1 Διαφορά Γεωγραφικών Συντεταγμένων. (INTRODUCCIÓN A LA CARTOGRAFÍA, 2022) ..... 92

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1 Διαθέσιμη Υπεράκτια Ενέργεια (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016) .....	23
Πίνακας 2-2 Εξισώσεις υπολογισμού Ενέργειας – Ισχύος (Σουκισιάν, 2021).....	35
Πίνακας 2-3 Μονάδες μέτρησης (Σουκισιάν, 2021).....	35
Πίνακας 2-4 Εξέλιξη Εγκατεστημένης Υπεράκτιας Αιολικής Ισχύος ανά χώρα της ΕΕ. (Lizet Ramirez, Daniel Fraile, Guy Brindley, 2020) .....	45
Πίνακας 2-5 Υφιστάμενη κατάσταση στα Ευρωπαϊκά ΘΑΠ (Lizet Ramirez, Daniel Fraile, Guy Brindley, 2020).....	46
Πίνακας 4-1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά «DTU_10MW_178_RWT_v1» (Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian;, 2013) .....	55
Πίνακας 4-2 Διακριτή μορφή καμπύλης ισχύος «DTU_10MW_178_RWT_v1» (Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian;, 2013).....	58

## Κατάλογος Χαρτών

ΧΑΡΤΗΣ 5-1 ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ .....	60
ΧΑΡΤΗΣ 5-2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ .....	61
ΧΑΡΤΗΣ 5-3 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ .....	61
ΧΑΡΤΗΣ 5-4 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ.....	62
ΧΑΡΤΗΣ 5-5 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΜΑΡΤΙΟΣ .....	63
ΧΑΡΤΗΣ 5-6 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΑΠΡΙΛΙΟΣ .....	63
ΧΑΡΤΗΣ 5-7 ΤΑΧΥΤΗΤΑ /ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΜΑΪΟΣ .....	64
ΧΑΡΤΗΣ 5-8 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΙΟΥΝΙΟΣ .....	65
ΧΑΡΤΗΣ 5-9 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΙΟΥΛΙΟΣ.....	65
ΧΑΡΤΗΣ 5-10 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ .....	66
ΧΑΡΤΗΣ 5-11 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ .....	67
ΧΑΡΤΗΣ 5-12 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ .....	67
ΧΑΡΤΗΣ 5-13 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ.....	68
ΧΑΡΤΗΣ 5-14 ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΕΜΟΥ .....	69
ΧΑΡΤΗΣ 5-15 ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ .....	70
ΧΑΡΤΗΣ 5-16 ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ .....	71
ΧΑΡΤΗΣ 5-17 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ .....	72
ΧΑΡΤΗΣ 5-18 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ .....	73
ΧΑΡΤΗΣ 5-19 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ .....	73
ΧΑΡΤΗΣ 5-20 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΑΡΤΙΟΣ .....	74
ΧΑΡΤΗΣ 5-21 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΠΡΙΛΙΟΣ.....	75
ΧΑΡΤΗΣ 5-22 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΑΪΟΣ .....	75
ΧΑΡΤΗΣ 5-23 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΟΥΝΙΟΣ .....	76
ΧΑΡΤΗΣ 5-24 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΟΥΛΙΟΣ .....	77
ΧΑΡΤΗΣ 5-25 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ .....	77
ΧΑΡΤΗΣ 5-26 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ .....	78
ΧΑΡΤΗΣ 5-27 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ.....	79

ΧΑΡΤΗΣ 5-28 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ .....	79
ΧΑΡΤΗΣ 5-29 ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ .....	80
ΧΑΡΤΗΣ 5-30 ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ .....	81
ΧΑΡΤΗΣ 5-31 ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΕΛΛΑΔΑΣ .....	82
ΧΑΡΤΗΣ 5-32 ΒΑΘΟΣ ΕΩΣ 50m .....	83
ΧΑΡΤΗΣ 5-33 ΒΑΘΟΣ ΕΩΣ 300m .....	84
ΧΑΡΤΗΣ 5-34 ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΑΚΤΗ > 3ΧΛΜ .....	85
ΧΑΡΤΗΣ 5-35 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΣΥΝΟΡΑ .....	86
ΧΑΡΤΗΣ 5-36 ΤΕΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ < 50m ΒΑΘΟΣ.....	87
ΧΑΡΤΗΣ 5-37 ΤΕΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ <300 m .....	88
ΧΑΡΤΗΣ 5-38 ΠΙΘΑΝΗ ΘΕΣΗ ΘΑΠ.....	89
ΧΑΡΤΗΣ 5-39 ΠΙΘΑΝΗ ΘΕΣΗ ΘΑΠ - ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	90

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Έναυσμα

Αφορμή για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε το κομβικό στις μέρες μας ζήτημα της κλιματικής αλλαγής. Μεγάλο μέρος της επιστημονικής έρευνας διεθνώς ασχολείται άμεσα ή έμμεσα με πλευρές για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Σημαντικό στοιχείο ακόμη αποτελεί ότι έχει εκλείψει η αντιπαράθεση στους κόλπους της επιστημονικής κοινότητας για το κατά πόσο τα ασυνήθιστα καιρικά φαινόμενα που παρατηρούνται τις τελευταίες δεκαετίες εντάσσονται στο πάγιο φαινόμενο της κλιματικής μεταβλητότητας, όπου ως κλιματική μεταβλητότητα ορίζεται ως η φυσική διαδικασία βαθμιαίας μεταβολής των κλιματικών συνθηκών. Έχει γίνει δηλαδή ευρέως αποδεκτό από την επιστημονική κοινότητα, την πλειοψηφία των πολιτών και κατ' επέκταση και την πολιτική ηγεσία σε διεθνές επίπεδο ότι πρέπει να μπουν σε άμεση προτεραιότητα μέτρα και πρακτικές που θα αντιμετωπίσουν το ζήτημα έγκαιρα και αποφασιστικά.

Το μεγαλύτερο μέρος της συζήτησης στρέφεται στην απεξάρτηση της παραγωγής ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα καθώς η παραπάνω διαδικασία αποτελεί το βασικό παραγωγό αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται άμεσα με την κλιματική αλλαγή. Η κύρια εναλλακτική λύση για την παραγωγή ενέργειας είναι η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών (ΑΠΕ) οι οποίες επιβαρύνουν ελάχιστα – σε αμελητέο βαθμό σε σχέση με τις παραδοσιακές ενεργειακές πηγές το περιβάλλον. Η στροφή αυτή προς τις ανανεώσιμες πηγές έχει επικρατήσει δημοσιογραφικά αλλά και στην αντίστοιχη βιβλιογραφία να αποκαλείται «πράσινη μετάβαση». Από τις ανανεώσιμες πηγές ξεχωριστή θέση κατέχει η εκμετάλλευση του ανέμου – αιολικής ενέργειας η οποία διαχρονικά αποτελούσε πηγή ενέργειας για την ανθρωπότητα.

Η φιλοσοφία εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι σχετικά απλή: ο άνεμος κινεί πτερύγια προσαρμοσμένα σε ένα ρότορα – εξοπλισμένο με πηνία – γύρω από το σταθερό μέρος το οποίο αποτελείται από μαγνήτες, αξιοποιώντας έτσι το ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο όπου όταν ένα πηνίο περιστρέφεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα στα άκρα του πηνίου. Η παραπάνω μέθοδος μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι η βάση όλων των σύγχρονων ηλεκτρικών γεννητριών και βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής που πρώτος ανακάλυψε ο Άγγλος επιστήμονας Μαικλ Φαραντέυ. Το παραπάνω μηχανικό σύνολο καλείται ανεμογεννήτρια και η συστοιχία τέτοιων κατασκευών αιολικό πάρκο. Τις τελευταίες δεκαετίες διεθνώς αλλά και στη χώρα μας έχουν αναπτυχθεί σε διάφορες χερσαίες περιοχές αιολικά πάρκα με βασικό κριτήριο την ένταση των ανέμων στις εν λόγω περιοχές. Αν και συνεχίζει η έρευνα για νέες χερσαίες περιοχές που θα ήταν πρόσφορη η εγκατάσταση αιολικών πάρκων, αυτές έχουν σε μεγάλο βαθμό κορεστεί από τη μία, ενώ από την άλλη θέτουν περιορισμούς στην

ανάπτυξη – εξέλιξη των ανεμογεννητριών, ζήτημα που θα αναπτυχθεί περαιτέρω παρακάτω.

Σύγχρονη τάση είναι η ανάπτυξη αιολικών πάρκων στη θάλασσα. Τα θαλάσσια αιολικά πάρκα (ΘΑΠ) συγκεντρώνουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών (χερσαίων) και αναμένεται να παίξουν βασικό στην πράσινη μετάβαση. Ήδη τα δείγματα γραφής σε χώρες που έχουν προχωρήσει στην εγκατάσταση τους είναι πολύ θετικά. Όσον αφορά τη χώρα μας έχουν γίνει ήδη εκτενείς μελέτες για τη διαθέσιμη αιολική ενέργεια στις ελληνικές θάλασσες, ενώ έχει ήδη ψηφιστεί και το θεσμικό πλαίσιο από τη πλευρά της πολιτείας (Ιούνιος 2022). Οι στόχοι που έχουν τεθεί μέχρι το 2030 αντιστοιχούν σε 60 και 2GW για Ευρωπαϊκή Ένωση ([energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy_en), n.d.) και Ελλάδα (ΤΟΥΧΤΙΔΟΥ, 2022) αντίστοιχα.

## 1.2 Αντικείμενο – Σκοπός

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο εντοπισμός των βέλτιστων περιοχών στις ελληνικές θάλασσες προς τοποθέτηση θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Η ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί είναι «πρώτου βαθμού» με στόχο να προκύψουν οι ζώνες που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης. Για το λόγο αυτό τα κριτήρια με τα οποία θα γίνει η ανάλυση - εξέταση των περιοχών είναι τα τρία πιο καθοριστικά. Με σειρά βαρύτητας πρόκειται για: 1.) την ένταση του ανέμου 2.) τη βαθυμετρία στην υπό εξέταση περιοχή και 3.) την ελάχιστη απόσταση από την ακτή (3 χλμ.).

Η εργασία φιλοδοξεί από τη μία να επιβεβαιώσει τα ευρήματα προγενέστερων επιστημονικών ερευνών αντίστοιχου περιεχομένου και από την άλλη να επισημάνει νεότερα στοιχεία και λεπτομέρειες που πιθανώς να έχουν διαφύγει από τις προηγούμενες προσπάθειες. Χαρακτηριστικά θα εξεταστούν εξίσου περιοχές ακόμα και με μεγάλα βάθη γιατί οι τεχνικές εξελίξεις γύρω από πλωτές Ανεμογεννήτριες που μπορούν να εγκατασταθούν σε μεγάλα βάθη είναι ραγδαίες. Επισημαίνεται η συγκεκριμένη παράμετρος γιατί μέχρι πρότινος θεωρούνταν απαγορευτική η λύση των πλωτών Ανεμογεννητριών λόγω της τεράστιας αύξησης του κόστους εγκατάστασης, ζήτημα που θα εξεταστεί εκτενώς και στο επόμενο κεφάλαιο.

## 1.3 Διάρθρωση Διπλωματικής

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Στο πρώτο γίνεται αναφορά των εισαγωγικών στοιχείων, του κίνητρου για τη μελέτη του επιλεγμένου θέματος, του αντικείμενου που πραγματεύεται και του σκοπού που επιδιώκει η παρούσα εργασία. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η σοβαρότητα του ζητήματος της κλιματικής αλλαγής,

παρουσιάζονται οι διάφορες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας που μπορούν να προσφέρουν οι θάλασσες και οι ωκεανοί καθώς και οι διάφορες συσκευές που έχουν προταθεί για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας. Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται και εκτενής αναφορά στα θαλάσσια αιολικά πάρκα που αποτελούν και το βασικό αντικείμενο της μελέτης. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και οι πηγές απ' όπου αντλήθηκαν. Στη συνέχεια στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων και στο τέλος του παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία της ΑΓ αναφοράς η οποία θα αξιοποιηθεί στη συνέχεια της εργασίας. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα ευρήματα της στατιστικής επεξεργασίας που προηγήθηκε με τη μορφή χαρτών από τους οποίους προκύπτει ένας προκαταρκτικός καθορισμός των καταλληλότερων περιοχών για εγκατάσταση ΘΑΠ. Στο τέλος του κεφαλαίου επιλέγεται μια περιοχή από τις παραπάνω και γίνεται ένας προσεγγιστικός υπολογισμός της απόδοσης σε βάθος εικοσαετίας που θα είχε ΘΑΠ εγκατεστημένο στην εν λόγω περιοχή. Τέλος στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική παρουσίαση των συμπερασμάτων και διατυπώνονται προτάσεις για την περαιτέρω ανάλυση του αρχικού προβλήματος.

## 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής

Αρχικά με τον όρο κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκοσμίου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή και περισσότερο. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες που έχουν επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών – ΟΗΕ (UN, 2022) η κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια και συνέβαινε από την αρχή της δημιουργίας του πλανήτη μας σύμφωνα και με την επιστήμη της παλαιοντολογίας.

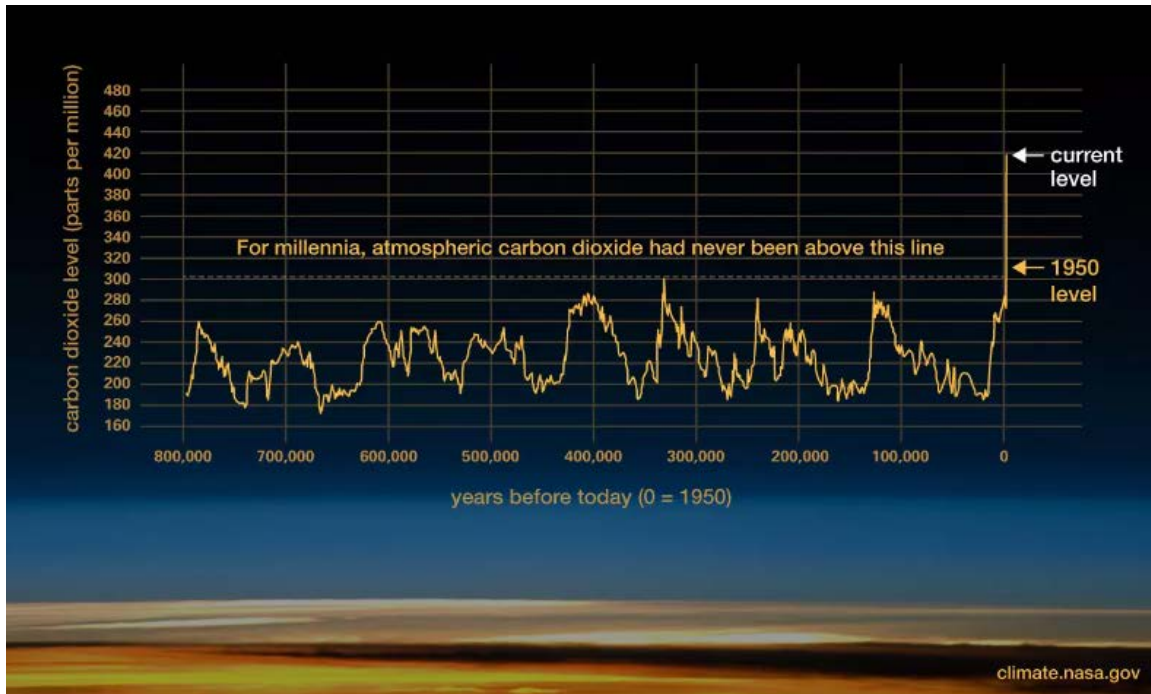
Για να μπορέσουμε να μελετήσουμε την κλιματική αλλαγή είναι απαραίτητο να δώσουμε και έναν συγκεκριμένο και αυστηρό ορισμό για το κλίμα. Κλίμα ονομάζεται η μέση καιρική κατάσταση που προκύπτει από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διάφορων



μετεωρολογικών στοιχείων (θερμοκρασία, άνεμος, πίεση, υγρασία). Το κλίμα επομένως είναι κάτι διαφορετικό από τον καιρό, που χαρακτηρίζεται σαν μια φυσική κατάσταση της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια μιας μικρής χρονικής περιόδου. Όπου καιρός εννοείται η κατάσταση της ατμόσφαιρας της Γης σε συγκεκριμένο τόπο και χρόνο από την άποψη της θερμοκρασίας, της πίεσης της υγρασίας και του υφισταμένου ανέμου (ένταση και διεύθυνση). Με ότι άλλο φαινόμενο συνοδεύει αυτά, τόσο στην ξηρά, όσο και στη θάλασσα ή στον υπερκείμενο αέρα του ίδιου πάντα τόπου. Ο μηχανισμός που «παράγει» τις διάφορες ατμοσφαιρικές καταστάσεις (τον καιρό) και κατά συνέπεια και το κλίμα συνίσταται στην αλληλεπίδραση τριών παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί είναι: 1) ο ήλιος ως πηγή ενέργειας που θερμαίνει βασικά την ατμόσφαιρα, αλλά και τις υγρές και στερεές μάζες στην επιφάνεια της γης, 2) η γη με τις κινήσεις της πέριξ του άξονά της και του άξονα του ήλιου, 3) η Ατμόσφαιρα που ως αέριο κάλυμμα περιβάλλει τη γη και τη διαχωρίζει από το εξώτερο διάστημα. Οι τρεις αυτές «οντότητες» συγκροτούν ένα θερμικό σύστημα που αυτό τελικά καθορίζει την εκάστοτε κατάσταση στην ατμόσφαιρα και πιο συγκεκριμένα στο πιο κοντινό προς τη γη μέρος της, την τροπόσφαιρα.

Από τα τρία αυτά μέρη η ανθρώπινη δραστηριότητα μπορεί να επηρεάσει μόνο το τρίτο, την ατμόσφαιρα καθώς είναι το μόνο που έρχεται σε «απευθείας επαφή» με τις παραγωγικές και λουπές δραστηριότητες της ανθρωπότητας από την ίδια την αρχή της ύπαρξής της. Τις τελευταίες δεκαετίες, με ορόσημο τη λεγόμενη «βιομηχανική επανάσταση» και τη γενίκευση της χρήσης των μηχανών εσωτερικής καύσης στην αλυσίδα της ανθρώπινης παραγωγικής δραστηριότητας έχει μεταβληθεί δραστικά η σύσταση της ατμόσφαιρας. Χρειάζεται να τονιστεί η διαφορά μεταξύ των μικρομεταβολών στη σύσταση της ατμόσφαιρας που παρατηρούνταν από το ξεκίνημα της ζωής στον πλανήτη μας με τις ραγδαίες και απότομες χρονικά μεταβολές που παρατηρούνται τις τελευταίες δεκαετίες. Σύμφωνα μάλιστα με πρόσφατη έρευνα του Εθνικού Πανεπιστημίου της Αυστραλίας η ανθρωπογενής επιρροή της σύστασης της ατμόσφαιρας ξεκίνησε τη δεκαετία του 1830, 80 χρόνια μόλις μετά την ευρέως αποδεκτή χρονολογία της έναρξης της βιομηχανικής επανάστασης στην Αγγλία (Nerilie J. Abram, Helen V. Mcgregor, Jessica E. Tierney, Michael N. Evans, Nicholas P. Mckay, 2016). Οι ραγδαίες αυτές μεταβολές στη σύσταση της ατμόσφαιρας (με βασική την κατακόρυφη αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub>) που προκαλούνται έχουν αλυσιδωτές επιδράσεις στο θερμικό σύστημα Ήλιος–Γη–Ατμόσφαιρα που περιγράφηκε παραπάνω με τελικό αποδέκτη αυτών των μεταβολών το γήινο κλίμα. Παρατίθεται παρακάτω και μια εικόνα από τη NASA – National Aeronautics and Space Administration η οποία απεικονίζει την κατακόρυφη αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> από το 1950 και έπειτα. (NASA, 2022) Για να γίνει κατανοητή η σύνδεση μεταξύ της σύστασης της γήινης ατμόσφαιρας και του γήινου κλίματος που διαμορφώνεται και επικρατεί τελικά, ύστερα από την αλληλεπίδραση των τριών παραγόντων του θερμικού συστήματος είναι απαραίτητο να μελετηθεί ο μηχανισμός και οι διαδικασίες με τις οποίες αλληλοεπιδρούν οι παράγοντες ήλιος, γη, ατμόσφαιρα. Ο πιο καθοριστικός και εύκολα κατανοητός

μηχανισμός αλληλεπίδρασης που παραπάνω θερμικού συστήματος είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου.



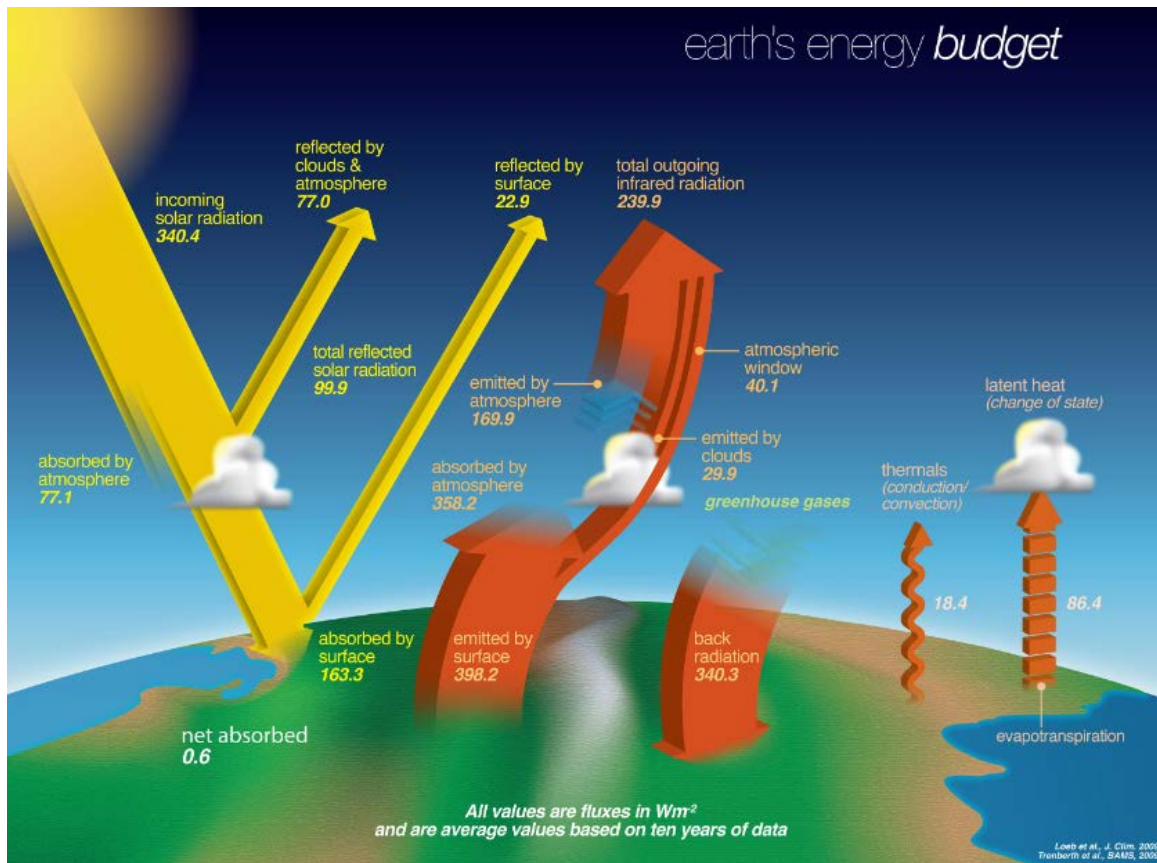
Εικόνα 2-1 Πορεία συγκέντρωσης  $CO_2$  στην ατμόσφαιρα. (NASA, 2022)

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η διαδικασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συγκρατεί θερμότητα προερχόμενη από τον ήλιο και συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειάς του. Το φαινόμενο παρατηρείται σε όλους τους πλανήτες που διαθέτουν ατμόσφαιρα. Ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά από τον Γάλλο μαθηματικό, αστρονόμο και φυσικό Ζοζέφ Φουριέ, το 1838, ενώ διερευνήθηκε συστηματικά από το Σουηδό χημικό Σβάντε Αρρένιους στον οποίο αποδίδεται και η ονομασία του. Παρατηρήθηκε το εξής: η συνεχής ροή θερμικής ενέργειας από τον ήλιο προς τη γη έχει ως αποτέλεσμα την σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας στη γήινη επιφάνεια. Μετά από μια ορισμένη θερμοκρασία όμως αυτή η θερμική ενέργεια που «αποθηκεύεται» στο γήινο φλοιό μετατρέπεται σε υπέρυθρη ακτινοβολία (ακτινοβολία με μεγάλο μήκος κύματος) και στέλνεται πίσω στην ατμόσφαιρα η οποία την επαναπροωθεί στην επιφάνεια.

Πιο αναλυτικά, η γη δέχεται συνολικά ηλιακή ακτινοβολία, που αντιστοιχεί σε ροή περίπου  $340,4 \text{ W/m}^2$  στο όριο της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από το σύστημα γης-ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Περίπου  $99,9 \text{ W/m}^2$  της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται πίσω στο διάστημα με τα 77 εξ αυτών να αντανακλώνται απευθείας από την ατμόσφαιρα και τα υπόλοιπα  $22,9$  από την γήινη επιφάνεια. Τα υπόλοιπα  $240,4 \text{ W/m}^2$  της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφώνται.

Από την ατμόσφαιρα (συμπεριλαμβανομένου και του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος) απορροφώνται  $77.1 \text{ W/ m}^2$  και το μεγαλύτερο μέρος  $163.3 \text{ W/ m}^2$  από την επιφάνεια και τους ωκεανούς θερμαίνοντάς τους. Λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας της, η γη εκπέμπει επίσης θερμική ακτινοβολία κατά τρόπο ανάλογο με τον Ήλιο – περίπου  $398.2 \text{ W/ m}^2$ . Η ακτινοβολία που εκπέμπει η επιφάνεια της γης χαρακτηρίζεται από μεγάλα μήκη κύματος (υπέρυθρη), σε αντίθεση με την ηλιακή ακτινοβολία την οποία δέχεται, που είναι μικρού μήκους κύματος. Η ατμόσφαιρα της γης όμως διαθέτει μεγάλη αδιαφάνεια στην, μεγάλου μήκους κύματος, γήινη ακτινοβολία. Έχει δηλαδή την ικανότητα να απορροφά μεγάλο μέρος της, ποσοστό περίπου 40% με το υπόλοιπο 60% να διαφεύγει πίσω στο διάστημα. Η ίδια η ατμόσφαιρα κατά συνέπεια επανεκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, μέρος της οποίας απορροφάται από την επιφάνεια της γης, η οποία θερμαίνεται ακόμη περισσότερο. Η γήινη ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται, με τον τρόπο αυτό, ως μία δεύτερη - μαζί με τον ήλιο - πηγή θερμότητας. (Lindsey, 2009). Όλα τα παραπάνω εντάσσονται στη μελέτη του ενεργειακού ισοζυγίου της γης και παρουσιάζονται εποπτικά και στην εικόνα που ακολουθεί και η οποία δείχνει την τάση αύξησης του ποσού της υπέρυθρης ακτινοβολίας που επιστρέφει στη γη. (Denning, 2021 )

Αποτέλεσμα του συνολικού φαινομένου είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που καθιστά τη γη κατοικήσιμη. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν σε παγκόσμια και ετήσια βάση στους  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ , ενώ στην πράξη είναι στους  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Εικόνα 2-2 Ενεργειακό Ισοζύγιο. (Lindsey, 2009)

Η αδιαφάνεια που παρουσιάζει η γήινη ατμόσφαιρα στην υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια οφείλεται σε συγκεκριμένα αέρια που έχει επικρατήσει να ονομάζονται «αέρια του θερμοκηπίου». Αυτά τα αέρια είναι στην ουσία μόρια που μπορούν να απορροφούν και στη συνέχεια να εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία. Αυτό ισχύει για όλα τα αέρια μόρια που περιέχουν τρία ή περισσότερα άτομα, καθώς και για τα αέρια που αποτελούνται από δύο διαφορετικά άτομα. Το σημαντικότερο τέτοιο αέριο είναι οι υδρατμοί, και ακολουθούν κατά σειρά βαρύτητας το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), το μεθάνιο ( $CH_4$ ), το υποξείδιο του αζώτου ( $N_2O$ ) και το όζον ( $O_3$ ). Το τελευταίο έχει ημιδιαφάνεια και στην ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να απορροφά ένα μέρος της – συγκεκριμένα την υπεριώδη ακτινοβολία UV (Ultraviolet) –, συμβάλλοντας ως ένα βαθμό και στην ψύξη της γήινης επιφάνειας.

Γίνεται λοιπόν κατανοητό από τα παραπάνω ότι η σύσταση της ατμόσφαιρας όσον αφορά την απόλυτη ποσότητα αλλά και τη συγκέντρωση ανά μονάδα όγκου των εν λόγω αερίων επηρεάζει καθοριστικά το εύρος και την βαρύτητα με την οποία εκφράζεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Κατ' επέκταση η αύξηση της συνολικής ποσότητας και της

συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου αυξάνει ανάλογα και το συνολικό ποσό της προερχόμενης από τον ήλιο θερμικής ενέργειας που παραμένει εγκλωβισμένη στη γήινη ατμόσφαιρα, με άμεσο τελικά επακόλουθο που επηρεάζει συνολικά πλευρές της ανθρώπινης ζωής και δραστηριότητας, τη γενικευμένη αύξηση της θερμοκρασίας σε όλη την έκταση της γης.

Σε αντίθεση με την κοινή πεποίθηση για την ταυτότητα και τη βαρύτητα που παίζουν στη συνολική εξέλιξη του φαινομένου τα μεμονωμένα αέρια του θερμοκηπίου, το πιο ισχυρό τέτοιο αέριο είναι το νερό σε αέρια μορφή, οι υδρατμοί. Οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα είτε αμιγώς ως υδρατμοί είτε ως σύννεφα απορροφούν το 49 και 25% αντίστοιχα της γήινης εξερχόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας, σε σύγκριση με τα πολύ χαμηλότερα ποσοστά των 20% που απορροφάται από το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και των 1.5% από το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>). (Schmidt, G. A., R. A. Ruedy, R. L. Miller, and A. A. Lacis, 2010)

Παρά το γεγονός ότι οι υδρατμοί έχουν μεγάλη επιρροή στο πόση θερμότητα συγκρατείται στον πλανήτη μας, η επίδρασή τους στο κλίμα οφείλεται στον τρόπο που τα άλλα αέρια του θερμοκηπίου (όπως το CO<sub>2</sub> - διοξείδιο του άνθρακα και το CH<sub>4</sub> - μεθάνιο) επηρεάζουν τη θέρμανση του πλανήτη. Εάν δεν υπήρχαν αυτά τα αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, η μέση τιμή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης θα ήταν πολύ πιο χαμηλή – περίπου -18°C, όπως προαναφέρθηκε – και πολύ μικρότερη ποσότητα νερού θα εξατμιζόταν στην ατμόσφαιρα. Η παρουσία των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα αυξάνει τη θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας, με αποτέλεσμα την εξάτμιση του νερού. Αυτό με τη σειρά του αυξάνει τη θέρμανση, λόγω της επίδρασης των υδρατμών στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ούτω καθεξής.

Όπως προαναφέρθηκε η ανθρώπινη δραστηριότητα των τελευταίων δεκαετιών με σημείο καμπής τη γενίκευση της χρήσης μηχανών εσωτερικής καύσης ως αναπόσπαστο στοιχείο της αύξησης της παραγωγικότητας της εργασίας έχει ως αποτέλεσμα την ολοένα αυξανόμενη παραγωγή άρα και συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα αερίων του θερμοκηπίου. Ειδικά αυτή η σύνδεση αφορά συγκεκριμένα αέρια του θερμοκηπίου όπως το CO<sub>2</sub>, και το N<sub>2</sub>O που αποτελούν άμεσα παράγωγα της καύσης ορυκτών (πετρέλαιο, βενζίνη φυσικό αέριο) που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα στις μηχανές εσωτερικής καύσης.

Από όλα τα παραπάνω μπορεί να γίνει κατανοητό το γιατί το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής στις περισσότερες μελέτες και αναφορές ταυτίζεται απευθείας με την υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω της διεύρυνσης της επιρροής του φαινομένου του θερμοκηπίου. Είναι απαραίτητο σε αυτό το σημείο να γίνει ένας διαχωρισμός γιατί συχνά υπάρχει σύγχυση στο ευρύ κοινό. Το πρόβλημα δεν είναι η ίδια η ύπαρξη του φαινομένου του θερμοκηπίου καθώς εκ των πραγμάτων κρίνεται απαραίτητη για την ίδια την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη αλλά η γιγάντωση του λόγω της κατακόρυφης αύξησης των αερίων που το προκαλούν. Όσον αφορά τα μεμονωμένα αέρια του θερμοκηπίου αποτελεί «κοινό τόπο» στην επιστημονική έρευνα ότι το βασικό αέριο το

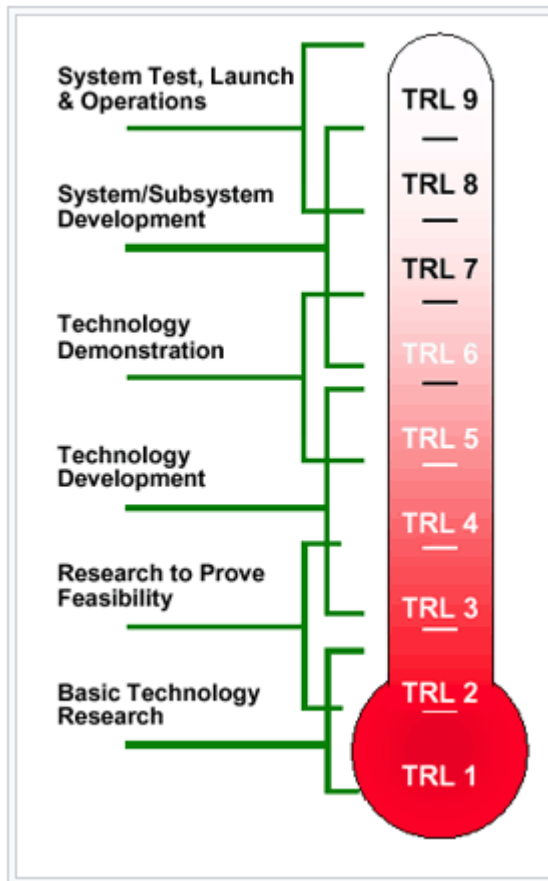
οποίο επηρεάζει η ανθρώπινη δραστηριότητα όσον αφορά την ποσότητα αλλά και τη συγκέντρωση του ανά μονάδα όγκου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Γιατί αποτελεί το μεγαλύτερο όγκο ποσοστιαία από το σύνολο των αερίων του θερμοκηπίου που προκαλεί η ανθρώπινη δραστηριότητα και άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ασφαλής δείκτης για το κατά πόσο η ανθρωπογενής δραστηριότητα επηρεάζει την τελική σύσταση της ατμόσφαιρας άρα και την έκταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Συνεπώς η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ταυτίζεται με τον περιορισμό της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα μέσω της αντικατάστασης της ενέργειας που προέρχεται από την καύση ορυκτών με την ενέργεια από ανανεώσιμες φυσικές πηγές. Τις τελευταίες δεκαετίες εξαιτίας της καθολικότητας του προβλήματος μεγάλο μέρος της επιστημονικής έρευνας διεθνώς και σε αρκετούς τομείς έχει στραφεί στη μελέτη και ανάπτυξη συστημάτων εκμετάλλευσης ΑΠΕ. Με αποτέλεσμα να έχει διερευνηθεί εκτενώς το χερσαίο περιβάλλον και οι δυνατότητες που προσφέρει. Συνεπώς το ερευνητικό ενδιαφέρον να στρέφεται πλέον σε θάλασσες και ωκεανούς με σκοπό να βρεθούν τα μέσα και τα εργαλεία που θα κάνουν τεχνικά και οικονομικά βιώσιμη την εκμετάλλευση των τεράστιων ποσών ενέργειας που υπολογίζεται ότι διαθέτουν. Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται μια σύντομη αναφορά στις τελευταίες εξελίξεις σε σχέση με τις ΑΠΕ από τη θάλασσα και ειδικά γύρω από τα θαλάσσια αιολικά πάρκα που αποτελούν και το βασικό αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

## 2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας από τη Θάλασσα

Σε αντίθεση με το χερσαίο περιβάλλον η αξιοποίηση του οποίου για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας έχει διερευνηθεί εκτενώς, το θαλάσσιο περιβάλλον προσφέρει μεγάλες ανεξερεύνητες δυνατότητες. Βέβαια πρέπει να αναφερθεί ότι με εξαίρεση την αιολική ενέργεια και ίσως λίγο λιγότερο την ηλιακή, η εκμετάλλευση όλων των υπόλοιπων μορφών ενέργειας από τη θάλασσα είναι ακόμη σε πολύ πρώιμο στάδιο τεχνολογικά, ζήτημα που κάνει οικονομικά ασύμφορη την αξιοποίησή τους. Έχει αξία να παραθέσουμε δύο ορισμούς που θα είναι αρκετά χρήσιμοι για την σύγκριση μεταξύ των διάφορων ΑΠΕ από τη θάλασσα. Με τον όρο «ενεργειακό δυναμικό» περιγράφεται η ενέργεια που μπορούν δυνητικά να αποδώσουν τα διάφορα φυσικά φαινόμενα. Στόχος της έρευνας γύρω από την ανάπτυξη συσκευών ανάκτησης της ενέργειας αυτής είναι να βελτιστοποιήσει το βαθμό απόδοσης - το ποσοστό της ενέργειας που «συλλέγεται» τελικά σε σύγκριση με το διαθέσιμο. Για την αξιολόγηση της «ωριμότητας» των διάφορων συσκευών ανάκτησης ανανεώσιμης ενέργειας να ενταχθούν στην εμπορική παραγωγή χρησιμοποιείται ο δείκτης «TRL» (Technology Readiness Level). Ο παραπάνω δείκτης έχει προταθεί από τη NASA (Tzinis, 2021) και χρησιμοποιεί μια κλίμακα για την

κατανομή των υπό διερεύνηση των διάφορων συσκευών. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει τις βαθμίδες της κλίμακας.



Εικόνα 2-3 Βαθμίδες της κλίμακας «TRL» (Tzinis, 2021)

Ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των βασικών ανανεώσιμων μορφών ενέργειας που μπορεί να προσφέρει η θάλασσα και θα παίξουν μεγάλο ρόλο στην πράσινη μετάβαση. Ο παρακάτω πίνακας αντλήθηκε από δεδομένα της πλατφόρμας OES (Ocean Energy Systems) δίνει μια αρχική εκτίμηση για τη διαθέσιμη ενέργεια στις θάλασσες και τους ωκεανούς σε παγκόσμιο επίπεδο (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016). Η πλατφόρμα OES αποτελεί μια διακυβερνητική συνεργασία μεταξύ χωρών η οποία λειτουργεί υπό το πλαίσιο του IEA (International Energy Agency). Το ινστιτούτο IEA συμβάλει με αναλύσεις, δεδομένα και στοιχειοθετημένες οικονομικά προτάσεις με σκοπό την εξασφάλιση ενός ασφαλούς και ενεργειακά βιώσιμου μέλλοντος για όλες τις χώρες. Στον πίνακα που ακολουθεί περιέχεται: η ενέργεια η οποία μπορεί να συλλεχθεί από την υψομετρική διαφορά που δημιουργεί η παλίρροια (tidal range), η ενέργεια από τα κύματα (wave power), η θαλάσσια θερμική ενέργεια (Ocean Thermal Energy) και η ωσμωτική ενέργεια (Salinity Gradient Power). Από τον παρακάτω πίνακα απουσιάζουν και δύο βασικές μορφές ανανεώσιμης ενέργειας από το θαλάσσιο περιβάλλον: Η αιολική και η ηλιακή για τις οποίες θα γίνει μια πιο εκτενής αναφορά με το δεδομένο ότι

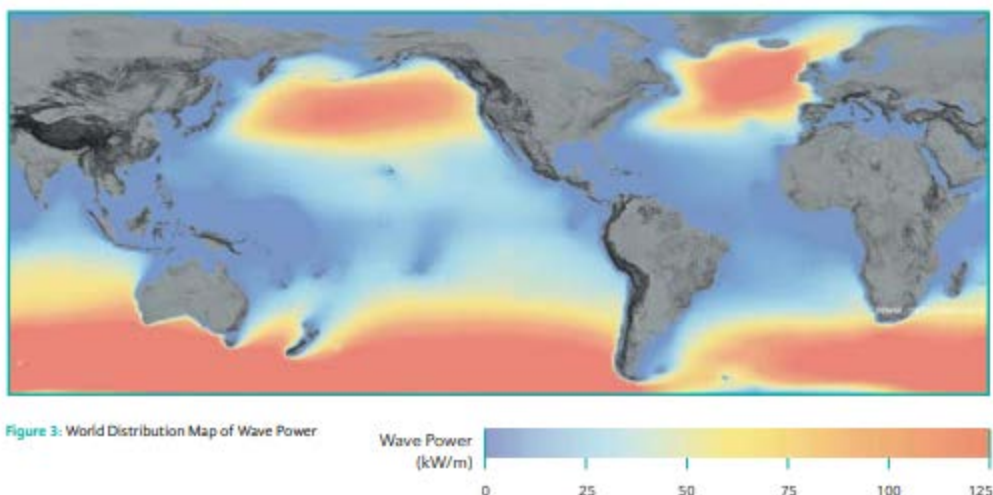
αποτελούν τις πιο πρόσφορες για αξιοποίηση το προσεχές διάστημα. Σημειώνεται ακόμη ότι έχουν προταθεί και υλοποιηθεί πειραματικά διάφορες συσκευές ανάκτησης των μορφών ενέργειας που παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα αλλά καμία δεν προσεγγίζει το επίπεδο 9 στην κλίμακα TRL.

ΜΟΡΦΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ
ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΗ (TIDAL RANGE - CURRENTS)	>1.200 TWH
ΚΥΜΑΤΙΚΗ (WAVE POWER)	>29.500 TWH
ΘΕΡΜΙΚΗ (OCEAN THERMAL ENERGY)	>44.000 TWH
ΩΣΜΩΤΙΚΗ (SALINITY GRADIENT)	>1.650 TWH

Πίνακας 2-1 Διαθέσιμη Υπεράκτια Ενέργεια (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016)

**Κυματική Ενέργεια:** Αφορά στην κινητική ενέργεια των θαλάσσιων κυματισμών. Σημειώνεται ότι θαλάσσιο κύμα ορίζεται η κατακόρυφη ταλάντωση του υδάτινου όγκου. Το καλύτερο κυματικό δυναμικό παρουσιάζεται στην εύκρατη ζώνη (γεωγραφικό πλάτος >40° και στα δύο ημισφαίρια) με κυματική ισχύ μεταξύ 20-70 kW/m μετώπου του κυματισμού ή ακόμα και υψηλότερη όπως φαίνεται και στο χάρτη που ακολουθεί. Το παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό αφού στα γεωγραφικά αυτά πλάτη κυριαρχούν ο Ατλαντικός και ο Ειρηνικός ωκεανός οι οποίοι διαθέτουν τα μεγαλύτερη ελεύθερα μήκη πνοής για την απρόσκοπτη ανάπτυξη των κυματισμών. Το συνολικό ενεργειακό δυναμικό όπως αποτυπώθηκε και στον παραπάνω πίνακα υπολογίζεται στις 29.500 TWH/ έτος σύμφωνα με μελέτη που παρουσιάστηκε στο 29<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο για την υπεράκτια μηχανική στη Σανγκάη της Κίνας. (Mørk, Gunnar & Barstow, Steve & Kabuth, Alina & Pontes, M.Teresa, 2010)





Εικόνα 2-4 Κυματική Ενέργεια (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016)

Έχουν προταθεί διάφορες κατασκευαστικές διατάξεις για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας χωρίς να ξεχωρίζει κάποια σημαντικά από τις υπόλοιπες ως προς την τεχνολογική της ωριμότητα ενώ στην πλειοψηφία τους έχουν μικρή ισχύ της τάξης του 1MW. Εξαιτίας βέβαια της ποικιλομορφίας που παρουσιάζει η κυματική ενέργεια από περιοχή σε περιοχή είναι μάλλον απίθανο ότι θα επικρατήσει μία μόνο συσκευή. Το πιο πιθανό σενάριο είναι ότι ένας μικρός αριθμός συσκευών θα προχωρήσει στο εμπορικό στάδιο προκειμένου να μπορεί να αξιοποιηθεί ένα σημαντικό ποσό της κατά τα άλλα απέραντης κυματικής ενέργειας. Στις εικόνες που παρατίθενται παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές συσκευές που έχουν προταθεί για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας.

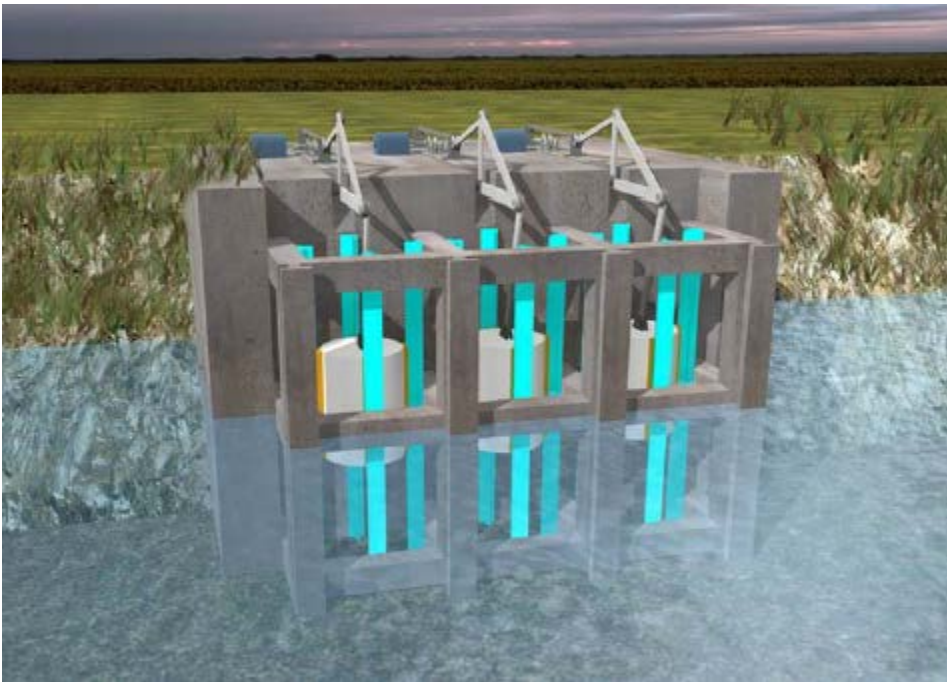


Εικόνα 2-5 Κυριότερες συσκευές εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016)

Στον παραπάνω πίνακα από αριστερά προς τα δεξιά παρουσιάζονται: 1.) «wave attenuator» - «εξασθενητής κυματισμών». 2.) «overtopping device» – «συσκευή υπερχειλίσης». 3.) «oscillating water column» - «παλλόμενη υδάτινη στήλη». 4.)

«oscillating wave surge converter» - «συσκευή οριζόντιας κυματικής παλινδρόμησης».  
5.) «point absorber» - «σημειακός απορροφητής».

Αξίζει να αναφερθεί ότι από το 2016 είναι εγκατεστημένο πιλοτικό σύστημα εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας στο λιμάνι του Ηρακλείου γερμανικής προέλευσης που βασίζεται στην φιλοσοφία του σημειακού απορροφητή – πιστόνι προσαρμοσμένο σε λιμενοβραχίονα. (www.sinnpower.com/post/sinn-power-begins-long-term-tests-of-wave-energy-converter-module-in-heraklion, 2021) Σημειώνεται ακόμη ότι έχει προταθεί και από τον Έλληνα εφευρέτη Κωνσταντίνο Χατζηλάκο διάταξη εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας με το όνομα «Triton» η οποία απεικονίζεται και παρακάτω. Παραθέτοντας από μία συνέντευξη του κ. Χατζηλάκου : «*Βασίστηκα στον συνδυασμό απλούστατων μηχανισμών. Φανταστείτε ένα πλωτό πιστόνι που ανεβοκατεβαίνει με τη στάθμη της θάλασσας. Μέσω μοχλού καταλήγει σε οριζόντια παλινδρομική κίνηση και μέσω ιμάντα σε μονοκατευθυντήρια περιστροφική, που πανεύκολα μετατρέπεται σε ηλεκτροπαραγωγή. Προσθέστε και έναν μηχανισμό ασφαλείας που ακινητοποιεί τον πλωτήρα (για περιπτώσεις μεγάλης τρικυμίας) και έχετε μια απολύτως αξιόπιστη, λειτουργική, αποδοτική και φθηνή κατασκευή, που παράγει 1 MW σε επιφάνεια εδάφους μόλις 65X10 μ.*» (Χατζηλάκος, 2019)



Εικόνα 2-6 "Triton" Κωνσταντίνος Χατζηλάκος

**Ενέργεια από υψομετρική διαφορά παλιρροιακού κύκλου:** Όπου παλίρροια καλείται η μετακίνηση όγκων νερού εξαιτίας της βαρυτικής έλξης της σελήνης η οποία έχει ως αποτέλεσμα την περιοδική άνοδο (πλημμυρίδα) και κάθοδο της στάθμης

(άμπωτη) του νερού η οποία γίνεται ιδιαίτερα έντονη σε μια κλειστή περιοχή. Εξ' ορισμού είναι πολύ συγκεκριμένες οι τοποθεσίες που μπορούν να εγκατασταθούν διατάξεις παραγωγής ενέργειας με βάση την εκμετάλλευση αυτού του φαινομένου. Είναι απαραίτητη δηλαδή η ύπαρξη κλειστού κόλπου στον οποίο κατασκευάζεται φράγμα και εγκαθίστανται υδροστρόβιλοι αμφίδρομης ροής ώστε να μπορούν να παράγουν και στις δύο φάσεις της παλίρροιας. Οι δύο πιο εμβληματικές τέτοιες διατάξεις έχουν κατασκευαστεί στη Γαλλία (La Rance – 240 MW) η οποία λειτουργεί με επιτυχία από το 1967 και στην Νότια Κορέα (Sihwa Lake, Seoul – 254 MW) η οποία κατασκευάστηκε την προηγούμενη δεκαετία. Τα τελευταία χρόνια έχει διατυπωθεί και η πρόταση κατασκευής τεχνητών κόλπων σε σημεία που εμφανίζουν έντονα παλιρροιακά φαινόμενα αλλά η γεωγραφία του τοπίου δεν ευνοεί τη δημιουργία ικανοποιητικής υψομετρικής διαφοράς μεταξύ πλημμυρίδας και άμπωτης. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει επιπλέον η δυνατότητα κατασκευής διάφορων εσωτερικών υποκοιλίσκων ώστε να δημιουργούνται και εσωτερικές υψομετρικές διαφορές και να μπορεί να υπάρχει ηλεκτροπαραγωγή ανεξάρτητα από τον δεδομένο παλιρροιακό κύκλο. Αυτήν την περίοδο βρίσκεται υπό ανάπτυξη ανάλογη κατασκευή τεχνητού κόλπου – λιμνοθάλασσας στον κόλπο «Swansea» της Ουαλίας προκειμένου να εξεταστεί η βιωσιμότητα της παραπάνω πρότασης. Ακολουθούν δύο φωτογραφίες στις οποίες απεικονίζονται οι δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016)



Εικόνα 2-7 1<sup>η</sup> εικόνα από αριστερά φράγμα «La Rance» Γαλλία, 2<sup>η</sup> εικόνα πρόταση για κατασκευή τεχνητού κόλπου – λιμνοθάλασσας.

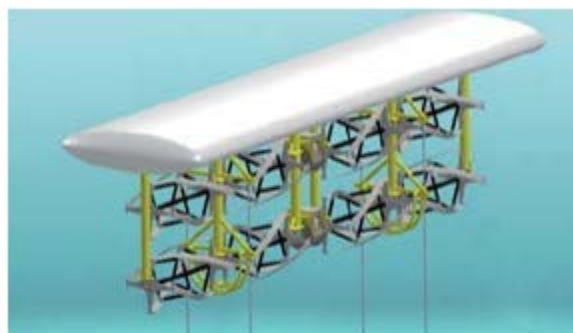
**Ενέργεια από ρεύματα:** Με τον όρο ρεύματα ορίζεται η μετακίνηση θαλάσσιων όγκων. Σε αντιδιαστολή με τα κύματα τα ρεύματα δεν είναι αντιληπτά οπτικά. Τα ρεύματα είναι δύο ειδών: Αυτά που προκαλεί το φαινόμενο της παλίρροιας – παλιρροιακά ρεύματα. Και αυτά που προκύπτουν εξαιτίας διαφορών στη θερμοκρασία, αλατότητα, στη σύνθεση του νερού γενικότερα – ωκεάνια ρεύματα.

Όσον αφορά στα παλιρροιακά ρεύματα οι συσκευές εκμετάλλευσης τους είναι ακόμη σε πρώιμο επίπεδο. Τα ρεύματα αυτά παρουσιάζονται σε κοντινές προς την ακτή αποστάσεις. Η γενική φιλοσοφία με την οποία κατασκευάζονται οι μηχανές εκμετάλλευσης της ενέργειας των θαλάσσιων ρευμάτων προσιδιάζει αυτήν των τυπικών ΑΓ. Συγκεκριμένα ο σκοπός είναι η μετατροπή της κινητικής ενέργειας των ρευμάτων (φτάνουν μέχρι 2m/s σε ταχύτητα) σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της περιστροφικής κίνησης του ρότορα σε σχέση με το στάτορα της γεννήτριας. Έχουν προταθεί διάφορες κατασκευαστικές διατάξεις τα τελευταία χρόνια με βασικά στοιχεία διαφοροποίησης τον τρόπο στερέωσης – ασφάλισης της συσκευής στη θέση της, τον αριθμό των πτερυγίων και τυχόν συστήματα προσαρμογής της κλίσης των πτερυγίων (pitch system – θα γίνει πιο αναλυτική αναφορά σε επόμενο σημείο του κειμένου). Οι μέχρι τώρα συσκευές έχουν μικρή ονομαστική ισχύ (1 MW) και προορίζονται για ανάπτυξη σε συστοιχίες κατά τα πρότυπα των αιολικών πάρκων ώστε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να είναι αξιοποιήσιμη. Ακολουθεί μια εικόνα με τις βασικές προτάσεις για την εκμετάλλευση της ενέργειας από τα ρεύματα. Από αριστερά προς τα δεξιά πρόκειται για: Γεννήτρια οριζώντιου άξονα, Γεννήτρια κατακόρυφου άξονα, Γεννήτρια διασταυρούμενης ροής – κατά τα πρότυπα των νερόμυλων, Γεννήτρια βασισμένη στη σπείρα του Αρχιμήδη.



Εικόνα 2-8 Επικρατέστερες κατασκευαστικές προτάσεις για αξιοποίηση ενέργειας από ρεύματα (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016)

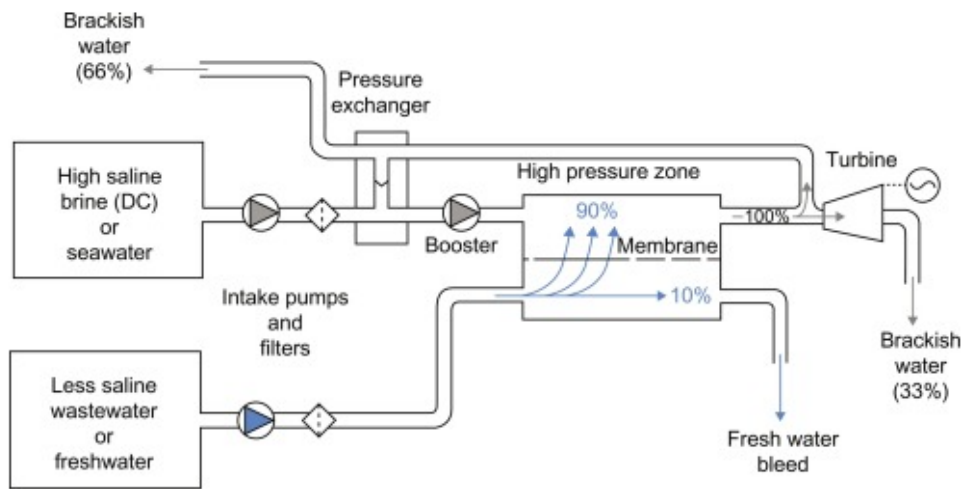
Σχετικά με τα ωκεάνια ρεύματα: Παρουσιάζονται σε μεγαλύτερα βάθη σε σχέση με τα παλιρροιακά, έχουν χαρακτηριστικά εποχικότητας (μεγάλη διακύμανση στην ένταση μεταξύ των εποχών του έτους), μικρότερες ταχύτητες σε σχέση με τα παλιρροιακά (~1m/s) και πολλαπλές κατευθύνσεις. Ακολουθεί μια εικόνα μιας ενδεικτικής συσκευής η οποία αποτελείται ένα πλωτήρα αγκυρωμένο στον πυθμένα στον οποίο είναι προσαρμοσμένοι υδροστρόβιλοι κατακόρυφου άξονα και συνεπώς μπορούν να περιστρέφονται ανεξαρτήτως διεύθυνσης πρόσπτωσης των ρευμάτων.



Εικόνα 2-9 Συσκευή εκμετάλλευσης ενέργειας ωκεάνιων ρευμάτων (Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L, 2016)

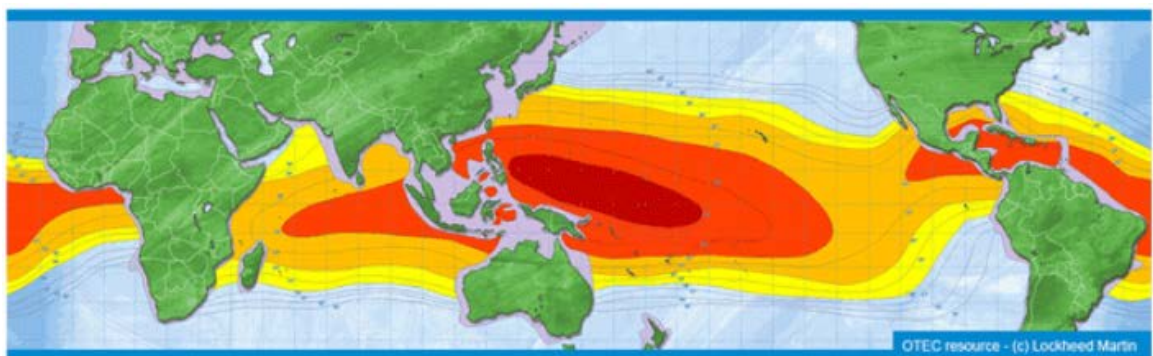
**Ωσμωτική Ενέργεια:** Σε περιοχές με ταυτόχρονη παρουσία θαλασσινού και γλυκού νερού (εκβολές ποταμών σε θαλάσσιες λεκάνες) μπορεί να αξιοποιηθεί το φαινόμενο της ώσμωσης για την παραγωγή ενέργειας. Στις εκβολές των ποταμών η αξιοποίηση του παραπάνω φαινομένου προϋποθέτει το διαχωρισμό του θαλασσινού νερού με το νερό του ποταμού σε γειτονικές Δεξαμενές οι οποίες διαχωρίζονται μέσω ημιπερατής μεμβράνης. Η ώσμωση επιτρέποντας τη ροή μόνο από το γλυκό νερό στο θαλασσινό θα αυξήσει τη στάθμη του θαλασσινού νερού και ταυτόχρονα την υδροστατική πίεση στη δεξαμενή η οποία στη συνέχεια αξιοποιείται για να θέσει σε κίνηση μια συμβατική τουρμπίνα και να παράγει ενέργεια. Από το 2009 στη Νορβηγία ξεκίνησε ο πρώτος πειραματικός σταθμός ωσμωτικής ενέργειας. Η ημιπερατή μεμβράνη είναι 2.000 m<sup>2</sup> και αποδίδει περίπου 1-2 W/ m<sup>2</sup>. Για να μπορέσει να γίνει πλήρης εμπορική εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου θα πρέπει η απόδοση της μεμβράνης να φτάσει περίπου στα 5 W/m<sup>2</sup>. Υπάρχει σε εξέλιξη ερευνητική δραστηριότητα γύρω από τη βελτιστοποίηση των ημιπερατών μεμβρανών ακόμη και με τη χρήση νανοτεχνολογίας.

Με πραγματικά μεγέθη μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής βασισμένη στην ωσμωτική ενέργεια θα καταλάμβανε χώρο ενός γηπέδου ποδοσφαίρου (η μεμβράνη θα είχε έκταση 5 εκατομμύρια m<sup>2</sup>) και θα μπορούσε να εξασφαλίσει την ενεργειακή επάρκεια 30.000 «νοικοκυριών» περίπου. (Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities , 2021) Το μεγάλο θετικό της ωσμωτικής ενέργειας είναι η πλήρης απουσία μεταβλητότητας η οποία χαρακτηρίζει τις περισσότερες μορφές ΑΠΕ και αποτελεί το βασικότερο πρόβλημα της σταθερής ένταξης τους στο ενεργειακό μείγμα. Τα συστήματα ωσμωτικής ενέργειας μπορούν να αποδίδουν σταθερά και προβλεπόμενα ποσά ενέργειας ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών και εξωγενών παραγόντων. Ακολουθεί ένα διάγραμμα ροής που απεικονίζει τη διαδικασία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Antonio Santos Sánchez, Ângelo Paggi Matos, 2018)



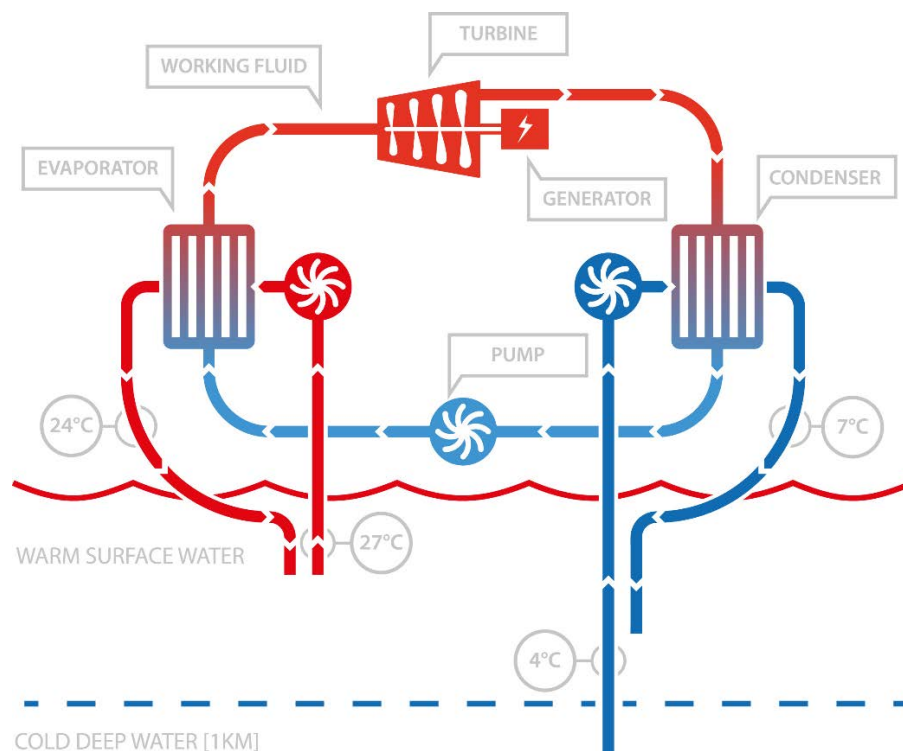
Εικόνα 2-10 Διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής μέσω της Ώσμωσης (Antonio Santos Sánchez, Ângelo Paggi Matos, 2018)

**Θαλάσσια θερμική ενέργεια:** Αφορά την ενέργεια που συσσωρεύεται στους ωκεανούς εξαιτίας των τεράστιων ποσών ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται. Στη διεθνή βιβλιογραφία τα συστήματα εκμετάλλευσης της εν λόγω ενέργειας καλούνται «Ocean Thermal Energy Conversion – OTEC». Τα συστήματα αυτά φιλοδοξούν να αξιοποιήσουν τη μεγάλη θερμική διαβάθμιση (άνω των 20 °C) που παρατηρείτε στους ωκεανούς οι οποίοι βρίσκονται σε γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 0° και 30° όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη (Devault, Damien & Péné-Annette, Anne, 2017). Στο χάρτη με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές στις οποίες η μέση θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των επιφανειακών νερών και των βαθύτερων είναι μικρότερη από 18°C, μεταξύ 18°C και 20°C με κίτρινο, μεταξύ 20°C και 22°C με λίγο πιο έντονο κίτρινο, μεταξύ 22°C και 24°C με πορτοκαλί και τέλος με κόκκινο για διαφορά μεγαλύτερη των 24°C.



Εικόνα 2-11 Γεωγραφικά πλάτη εκμετάλλευσης θαλάσσιας θερμικής ενέργειας (Devault, Damien & Péné-Annette, Anne, 2017)

Η μεθοδολογία που αξιοποιεί αυτή η μέθοδος είναι σχετικά απλή και παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Με τη χρήση ρευστού με χαμηλό σημείο τήξης – συνήθεστερα αμμωνία - δημιουργείτε ένα κλειστό κύκλωμα το οποίο χρησιμοποιεί το νερό της μεγαλύτερης θερμοκρασία για να παράγει ατμό ο οποίος κινεί έναν ατμοστρόβιλο για να παράγει ενέργεια. Με την έξοδο από τον ατμοστρόβιλο ο ατμός υγροποιείται και πάλι με τη βοήθεια του νερού χαμηλότερης θερμοκρασίας και στη συνέχεια οδηγείται στην έναρξη του κυκλώματος για να γίνει πάλι ατμός και να επαναληφθεί το κύκλωμα. (Ferreira, n.d.) Η έρευνα για την κατασκευή τέτοιων διατάξεων κατευθύνεται στην δημιουργία βιώσιμων θαλάσσιων – πλωτών κατασκευών ή ειδικά διαμορφωμένων πλοίων – εργοστασίων. Η ωκεάνια θερμική ενέργεια παρουσιάζει το ίδιο πλεονέκτημα με την ωσμωτική, μπορεί να παράγει και να αποδίδει σταθερά ποσά ενέργειας στο δίκτυο ανεξαρτήτως εποχής και καιρικών συνθηκών. Σημειώνεται τέλος ότι στη Χαβάη λειτουργεί με επιτυχία από το 2011 εργοστάσιο εκμετάλλευσης της ωκεάνιας θερμικής ενέργειας ισχύος 100kW, ικανής να τροφοδοτήσει 120 νοικοκυριά στη Χαβάη.



Εικόνα 2-12 κύκλωμα Ωκεάνιας Θερμικής ενέργειας (Ferreira, n.d.)

**Ηλιακή ενέργεια από τη θάλασσα:** Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στην ξηρά αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες μορφές ΑΠΕ η οποία έχει πλήρη εμπορική - βιομηχανική εφαρμογή. Η επέκταση της παραπάνω τεχνολογίας στο υπεράκτιο

περιβάλλον συγκεντρώνει μεγάλες ευκαιρίες αλλά και προκλήσεις τόσο τεχνικές όσο και περιβαλλοντικές οι οποίες βρίσκονται υπό επεξεργασία.

Είναι χρήσιμο να γίνει μια συνοπτική αναφορά στα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν την υπεράκτια ηλιακή ενέργεια και ωθούν την έρευνα για την πλήρη – εμπορική αξιοποίηση της τόσο διεθνώς όσο και στη χώρα μας. Η απόδοση των πάνελ είναι εν γέννη ισχυρότερη σε σχέση με την ξηρά λόγω της ψύξης που προσφέρει το υδάτινο περιβάλλον. Ειδικά η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από μεγάλη ηλιοφάνεια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ενώ ειδικά στη Βόρεια Ελλάδα υπάρχουν σε αρκετές περιοχές τεχνητές λίμνες στη θέση παλαιών μεταλλείων οι οποίες αποτελούν ιδανικές τοποθεσίες για την εγκατάσταση υπεράκτιων φωτοβολταϊκών (ΦΒ) πάρκων. Αυτό γιατί τα περιβαλλοντικά φορτία (κυματισμοί – άνεμος) είναι ελάχιστα, η διάβρωση είναι αμελητέα σε σχέση με το θαλάσσιο περιβάλλον ενώ και η περιβαλλοντική όχληση είναι μικρή καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις εξαιτίας της προηγούμενης ύπαρξης των μεταλλείων δεν υπάρχει αξιόλογο οικοσύστημα.

Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ότι το ενδεχόμενο αξιοποίησης των υπεράκτιων ΦΒ στο θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να συνδυαστεί πολύ αποτελεσματικά με την αξιοποίηση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας λόγω της μεγάλης συμπληρωματικότητας που χαρακτηρίζει τις δύο μορφές ενέργειας. Προκρίνεται δηλαδή η εγκατάσταση υβριδικής εγκατάστασης η οποία στον ίδιο χώρο θα διαθέτει συσκευές ανάκτησης της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας καθώς εξαιτίας της συμπληρωματικότητας που χαρακτηρίζει τις δύο παραπάνω μορφές ανανεώσιμης ενέργειας η υβριδική εγκατάσταση θα έχει την ιδιότητα να παρέχει την περισσότερη περίοδο της ημέρας και κατ' επέκταση του χρόνου ένα μέσο ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο προς αξιοποίηση.

Σχετικά με τις τελευταίες εξελίξεις έχει προχωρήσει σημαντικά η ανάπτυξη πλωτών ΦΒ πλήρους εμπορικής κλίμακας. Στα πλαίσια της Ευρώπης την πρωτιά κατέχει η Πορτογαλία στην οποία πρόσφατα ολοκληρώθηκε η κατασκευή πλωτού ΦΒ πάρκου ισχύος 5 MW στην τεχνητή λίμνη «Alqueva» προς το νότο της χώρας ([www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/ape-to-megalitero-ploto-iliako-parko-se-fragmento-stin-evropi-ine-stin-portogalia-ke-aniki-stin-edp/](http://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/ape-to-megalitero-ploto-iliako-parko-se-fragmento-stin-evropi-ine-stin-portogalia-ke-aniki-stin-edp/), 2022). Ενώ το μεγαλύτερο πλωτό ΦΒ πάρκο βρίσκεται στην Κίνα με ισχύ 320 MW στο Dezhou, στην επαρχία Shandong της ανατολικής Κίνας ([www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/to-megalitero-ploto-fotovoltaiko-parko-ston-kosmo-sindethike-sto-diktio/](http://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/to-megalitero-ploto-fotovoltaiko-parko-ston-kosmo-sindethike-sto-diktio/), 2022). Διεθνώς μέχρι και το 2018 είχαν συνολικά εγκατασταθεί 1.1 GW από πλωτά ΦΒ (Francisco Boshell, Roland Roesch, Alessandra Salgado and Judit Hecke, 2020).

**Θαλάσσια Αιολική ενέργεια:** Αποτελεί την υπεράκτια μορφή ενέργειας με τη μεγαλύτερη ετοιμότητα αξιοποίησης και η οποία αποτελεί το βασικό περιεχόμενο της παρούσας εργασίας. Πολλές χώρες της Ευρώπης και όχι μόνο έχουν προχωρήσει με επιτυχία στην κατασκευή θαλάσσιων αιολικών πάρκων που έχουν κανονικά πλήρη εμπορική χρήση και συνεισφορά στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς



σε παγκόσμιο επίπεδο από τις αρχές του 2022 έχει ξεπεράσει τα 50 GW σύμφωνα με την έκθεση του 2022 για την πορεία της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας του υπουργείου ενέργειας των Η.Π.Α. (Walter Musial, Paul Spitsen, Patrick Duffy, Philipp Beiter, Melinda Marquis, Rob Hammond, Matt Shields, 2022)

Συνοπτικά η αιολική ενέργεια προκύπτει εν γένει από την περιστροφική κίνηση της γης και από την ανισόμετρη θέρμανση της επιφάνειας. Ειδικά ο δεύτερος παράγοντας ευνοεί την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στο θαλάσσιο περιβάλλον αφού ο θαλάσσιος όγκος θερμαίνεται με πολύ αργότερο ρυθμό σε σχέση με την ξηρά, γεγονός που έχει ως συνέπεια αέριες μάζες από τη θάλασσα να ταξιδεύουν προς την ξηρά. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας είναι ότι η τραχύτητα και τα εμπόδια που συναντά ο άνεμος στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι αισθητά μικρότερα σε σχέση με το χερσαίο με αποτέλεσμα το υπεράκτια αιολικό φορτίο να είναι σημαντικά μεγαλύτερο. Για τις μεθόδους εκμετάλλευσης της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας θα γίνει αναλυτική αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο.

## 2.3 Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα

### 2.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Η εκμετάλλευση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας γίνεται εφικτή μέσω της εγκατάστασης θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Όπου θαλάσσιο αιολικό πάρκο αφορά περιοχή στην οποία είναι εγκατεστημένη συστοιχία συσκευών εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας – ανεμογεννήτριες, «ΑΓ» στο εξής. Η ιδέα της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή μηχανικού έργου προέρχεται από την αρχαιότητα και η φιλοσοφία παραμένει η ίδια. Στη σύγχρονη εκδοχή ο άνεμος κινεί πτερύγια προσαρμοσμένα σε άξονα γεννήτριας παραγωγής ηλεκτρισμού (ρότορας) μετατρέποντας την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική σύμφωνα με τις αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού.

Οι σύγχρονες ΑΓ διακρίνονται σε δύο βασικούς τύπους ανάλογα με τη διεύθυνση του άξονα στον οποίο είναι προσαρμοσμένα τα πτερύγια. Πρόκειται για ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα. Σε πλήρη εμπορική εφαρμογή έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα. Παρ' όλα αυτά αξίζει να γίνει μια σύντομη αναφορά στα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τον κάθε τύπο. Ενδεικτικά ακολουθούν δύο εικόνες με τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα για κάθε τύπο. Για τη συνέχεια διευκρινίζεται ότι με τον όρο ΑΓ όταν δεν δίνεται κάποιος παραπάνω προσδιορισμός αναφερόμαστε στις ΑΓ οριζόντιου άξονα ενώ όταν γίνεται αναφορά στις κατακόρυφου άξονα θα αναγράφεται συγκεκριμένα.



Εικόνα 2-14 ΑΓ Οριζώντιου Άξονα (S. Mathew, G.S. Philip, 2012)



Εικόνα 2-13 ΑΓ Κατακόρυφου άξονα (Blain, 2022)

Ενδεικτικά για τα προτερήματα και ελαττώματα που έχει ο κάθε τύπος μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

Το βασικό πλεονέκτημα των ΑΓ οριζώντιου άξονα το οποίο έχει επιδράσει και καθοριστικά στην επικράτησή τους είναι ότι η γεωμετρία που διαθέτουν τους επιτρέπει να συλλέγουν μεγαλύτερο ποσό αεροδυναμικού, άρα μπορούν να αποδώσουν και σημαντικά μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ. Για να γίνει βέβαια εφικτή η μέγιστη απόδοση σε όλες τις φάσεις οι σύγχρονες ΑΓ οριζώντιου άξονα είναι εξοπλισμένες με περίπλοκα συστήματα προσανατολισμού της ατράκτου (yaw system) ώστε να παραμένει κάθετη προς τη διεύθυνση του ισχυρότερου κάθε φορά ανέμου. Διαθέτουν ακόμα συστήματα μεταβολής της γωνίας των πτερυγίων (pitch system) ώστε να βελτιστοποιείται η γωνία προσβολής του ανέμου με τα πτερύγια και να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση. Επιπλέον ειδικά σε υπεράκτιες εφαρμογές υπάρχει η τάση να διερευνώνται όλο και μεγαλύτερα μεγέθη ΑΓ για την επίτευξη ακόμα μεγαλύτερης απόδοσης. Τα παραπάνω αυξάνουν σημαντικά το κόστος τόσο για τη συντήρηση όσο και για την ανέγερση – κατασκευή των ΑΓ οριζώντιου άξονα. Η αύξηση του μεγέθους επηρεάζει ταυτόχρονα

προς τα κάτω και τον αριθμό των ΑΓ που είναι εφικτό να τοποθετηθούν σε δοσμένο χώρο καθώς η λειτουργία τους δημιουργεί έντονο στροβιλισμό.

Όλα τα παραπάνω έχουν αναζωπυρώσει το ερευνητικό ενδιαφέρον για τις ΑΓ κατακόρυφου άξονα ακόμη και για υπεράκτια χρήση. Ο συγκεκριμένος τύπος ΑΓ λόγω της συμμετρίας του δεν απαιτεί πολύπλοκα συστήματα προσανατολισμού καθώς λειτουργεί υπό όλες τις διευθύνσεις του ανέμου. Συμπληρωματικά, οι εν λόγω ΑΓ είναι περισσότερο ανθεκτικές και παρουσιάζουν μικρότερες φθορές, ζήτημα που μειώνει σημαντικά και το κόστος συντήρησης. Ταυτόχρονα η λειτουργία τους δεν δημιουργεί φαινόμενα στροβιλισμού οπότε αυξάνεται αισθητά ο αριθμός των ΑΓ που μπορούν να τοποθετηθούν σε δοσμένο χώρο – αιολικό πάρκο. Πέρα από την εμπορική χρήση του παραπάνω τύπου ΑΓ, η οποία βρίσκεται ακόμα σε προκαταρκτικό στάδιο, οι εν λόγω ΑΓ είναι ιδανικές για εφαρμογές μικρότερης κλίμακας – ακόμα και οικιακές.

Κρίνεται αναγκαίο να γίνει αναφορά σε κάποια βασικά λειτουργικά στοιχεία των ΑΓ τα οποία είναι απαραίτητα για τη συνέχεια. Αρχικά οι ΑΓ μπορούν να λειτουργήσουν μόνο υπό συγκεκριμένο εύρος ταχυτήτων ανέμου. Το χαμηλότερο όριο καλείται στη διεθνή βιβλιογραφία «cut in speed» και το υψηλότερο όριο «cut out speed». Όταν ο άνεμος είναι εκτός αυτών των ορίων επεμβαίνει ένας μηχανισμός φρένου της ΑΓ ώστε να εμποδίζει την περιστροφή. Ο μηχανισμός αυτός προστατεύει την ΑΓ είτε από την άσκοπη περιστροφή των πτερυγίων όταν η ταχύτητα είναι πολύ χαμηλή – και μη ικανή να παράγει το ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο - για να παρατείνει τη διάρκεια ζωής είτε από πολύ μεγάλες ταχύτητες που θέτουν σε κίνδυνο την αντοχή της όλης κατασκευής. Ειδικά στη δεύτερη περίπτωση επεμβαίνει και το σύστημα «pitch» που περιστρέφει τα πτερύγια γύρω από τον άξονα τους ώστε να προβάλουν τη λιγότερη δυνατή αντίσταση στον άνεμο. Παρατίθενται παρακάτω (Σουκισιάν, 2021) οι τύποι σύμφωνα με τους οποίους υπολογίζεται η αιολική ενέργεια και ισχύς που διαθέτει γενικά η περιοχή υπό εξέταση καθώς και οι τύποι σύμφωνα με τους οποίους μπορεί να υπολογιστεί η ισχύς που αποδίδει η συσκευή (ΑΓ στην περίπτωση μας) την οποία χρησιμοποιούμε για να συλλέξουμε τη διαθέσιμη ισχύ. Για το πρώτο σκέλος, την ισχύ που ενυπάρχει διαθέσιμη στην περιοχή, όπως φαίνεται και παρακάτω μετά τις απλοποιήσεις, τον σημαίνοντα ρόλο τον παίζει η ταχύτητα του ανέμου και δευτερευόντως επηρεάζουν η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και φυσικά το εμβαδό (διατομή) το οποίο εξετάζουμε.

## Αιολική Ισχύς

- Πυκνότητα =  $\frac{mass}{volume} = \frac{m}{V} = \rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$
- Όγκος =  $area * length = AL \ [m^3]$
- Ταχύτητα =  $\frac{length}{time} = \frac{L}{t} \left[ \frac{m}{s} \right]$
- Ισχύς =  $\frac{energy}{time} \left[ \frac{J}{s} = W \right]$
- Ενέργεια =  $K.E. = \frac{1}{2} mass * (velocity)^2 = \frac{1}{2} mv^2 \ [J]$

Εξίσωση αιολικής ισχύος:

$$Power = \frac{K.E.}{t} = \frac{\frac{1}{2} mv^2}{t} = \frac{\frac{1}{2} (\rho V) v^2}{t} = \frac{\frac{1}{2} (\rho AL) v^2}{t} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Πίνακας 2-2 Εξισώσεις υπολογισμού Ενέργειας – Ισχύος (Σουκισιάν, 2021)

- Έλεγχος μονάδων:

$$P_W = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$\frac{kg}{m^3} \times m^2 \times \left( \frac{m}{s} \right)^3 = \frac{kg \ m^2}{s^3}$$

$$N = \frac{kg \ m}{s^2}$$

$$J = N \ m$$

$$\frac{kg \ m^2}{s^3} = \frac{N \ m}{s} = \frac{J}{s} = Watt$$

Πίνακας 2-3 Μονάδες μέτρησης (Σουκισιάν, 2021)

Στο δεύτερο σκέλος, για τον υπολογισμό της ισχύος που παράγεται τελικά από την ΑΓ, υπεισέρχεται η παράμετρος του συντελεστή ισχύος της ΑΓ ( $C_p$ ) - power coefficient. Όπου συντελεστής ισχύος είναι ο λόγος της ισχύος που εξάγεται από την ΑΓ σε σχέση με τη συνολική ισχύ που περιέχει το αιολικό δυναμικό. Έχει υπολογιστεί θεωρητικά από το Γερμανό φυσικό Albert Betz ότι ο μέγιστος συντελεστής ισχύος ανέρχεται σε 59% (16/27), όριο που καλείται και «Betz Limit». Στον τύπο που ακολουθεί η πυκνότητα «ρ» αντιστοιχεί στην μέση πυκνότητα της ατμόσφαιρας στο επίπεδο της θάλασσας ( $\rho \approx 1,225 \text{ kg/m}^3$ ) και το εμβαδό ( $A_t$ ) αντιστοιχεί στην κυκλική επιφάνεια που δημιουργεί με την περιστροφή της η ΑΓ.

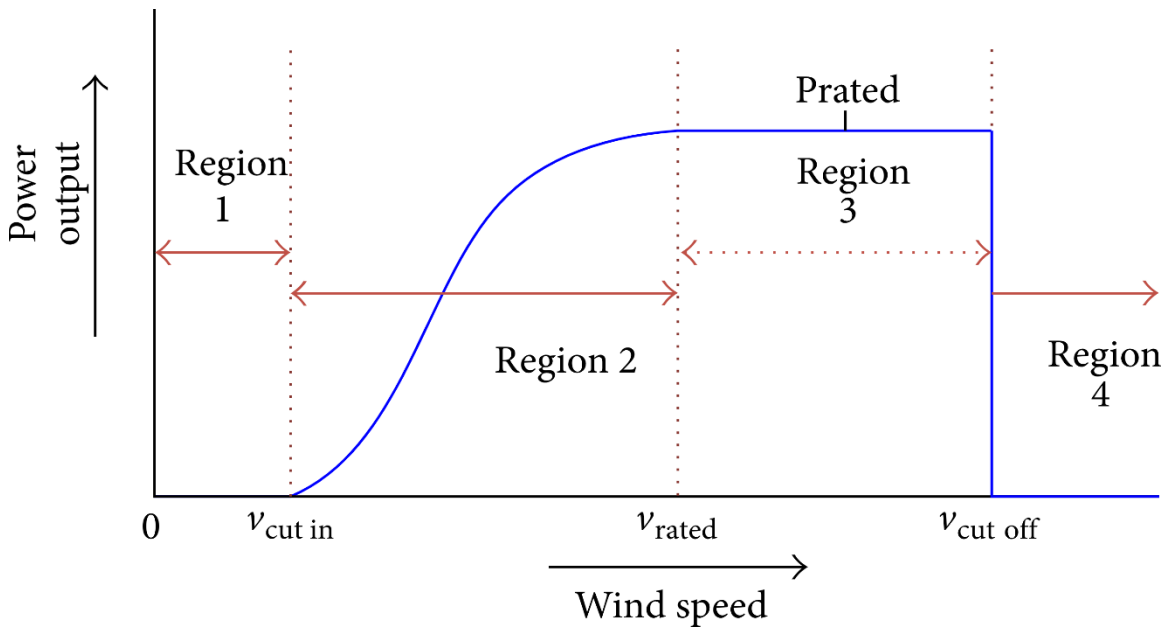
$$C_p = P_t / P_w$$

$$P_t = C_p P_w = C_p \rho A_t v_w^3$$

Στις σύγχρονες εμπορικές ΑΓ ο συντελεστής ισχύος προσεγγίζει τιμές γύρω από το 50%. Η απόδοση μιας ΑΓ δίνεται τις περισσότερες φορές από τον κατασκευαστή μέσω ενός διαγράμματος, της καμπύλης ισχύος – power curve. Ακολουθεί ενδεικτικά μια τέτοια καμπύλη η οποία στον οριζόντιο άξονα έχει τις ταχύτητες του ανέμου και στον κατακόρυφο άξονα έχει την αποδιδόμενη ισχύ από την ΑΓ. Η καμπύλη αποτελείται από τέσσερις περιοχές για διαφορετικά εύρη ταχυτήτων ανέμου. Στην πρώτη περιοχή η ΑΓ δεν λειτουργεί καθώς η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη από την ελάχιστη απαραίτητη ταχύτητα για την έναρξη της λειτουργίας (cut in speed). Στη δεύτερη περιοχή η ΑΓ ξεκινάει τη λειτουργία της μέχρι η ταχύτητα να φτάσει στην μικρότερη τιμή για την οποία η ΑΓ αποδίδει την λεγόμενη ονομαστική ισχύ. Όπου ονομαστική ισχύς αφορά τη μέγιστη ισχύ την οποία μπορεί να αποδώσει η ΑΓ και αποτελεί το βασικό κατασκευαστικό χαρακτηριστικό της. Στην τρίτη περιοχή η ταχύτητα του ανέμου είναι εντός των ορίων για τα οποία η ΑΓ αποδίδει την ονομαστική της ισχύ. Το άνω όριο της τρίτης περιοχής αποτελεί και τη μέγιστη ταχύτητα για την οποία είναι δυνατή η λειτουργία της ΑΓ (cut out/off speed). Στην τέταρτη περιοχή η ταχύτητα ανέμου είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη ταχύτητα για την οποία μπορεί να λειτουργήσει η ΑΓ οπότε η ΑΓ τίθεται εκτός λειτουργίας ομοίως με την πρώτη περιοχή.

Κρίσιμη παράμετρο για τον υπολογισμό της πραγματικής ισχύος που μπορεί να αποδώσει μια ΑΓ στη μονάδα του χρόνου αποτελεί και ο συντελεστής απόδοσης – capacity factor (CF). Ο συγκεκριμένος συντελεστής ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που παράγει η ΑΓ προς την ενέργεια που θα μπορούσε να έχει παραχθεί αν η ΑΓ λειτουργούσε με την ονομαστική της ισχύ καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας της. Το βασικό στοιχείο που επηρεάζει τον συντελεστή απόδοσης είναι η ετήσια μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου, ζήτημα που θα εξεταστεί αναλυτικότερα και παρακάτω. Από

τις εγκατεστημένες ΑΓ προκύπτει ένας μέσος όρος του συντελεστή απόδοσης  $\approx 30\%$ . Η τιμή του παραπάνω συντελεστή συγκαταλέγεται στις αποφασιστικές παραμέτρους για την επιλογή του τύπου των ΑΓ που θα επιλεγθούν για την περιοχή υπό εξέταση.



Εικόνα 2-15 Καμπύλη Ισχύος ΑΓ (Vaishali Sohoni, S. C. Gupta, R. K. Nema, 2016)

Είναι χρήσιμο να γίνει μια σύντομη αναφορά στα στοιχεία που ευνοούν την ανάπτυξη των ΘΑΠ. Αρχικά αναφέρθηκε και παραπάνω ότι το αιολικό δυναμικό των θαλασσών είναι σημαντικά ισχυρότερο σε σχέση με αυτό της ξηράς. Συμπληρωματικά η θάλασσα προσφέρει ακόμα μεγάλη χωροταξική ευελιξία σε σχέση με την ξηρά, καθώς στη δεύτερη είναι σχετικά κορεσμένες οι τοποθεσίες που είναι βιώσιμη η τοποθέτηση αιολικών πάρκων.

Επιπλέον η τάση που υπάρχει για την αύξηση του μεγέθους των ΑΓ κάνει απαραίτητη την επέκταση των αιολικών πάρκων στη θάλασσα. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι οι ισχυρότερες αυτή τη στιγμή ΑΓ προβλέπεται να λειτουργήσουν στο θαλάσσιο περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει διότι τα πτερύγια των ΑΓ κατασκευάζονται από σύνθετα υλικά (ρητίνη με ενισχυτικές ίνες, συνήθως γυαλιού). Στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία τα εν λόγω υλικά αναφέρονται ως FRP (Fiber Reinforced Plastic) ενώ στην συγκεκριμένη περίπτωση των ινών από γυαλί GRP (Glass Reinforced Plastic). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το πτερύγιο να παράγεται ενιαίο σε «μήτρες» - καλούπια. Συνεπώς η μεταφορά του από τον χώρο κατασκευής στο χώρο ανέγερσης των ΑΓ αποτελεί από μόνη της πολύ απαιτητική διαδικασία. Η παράμετρος αυτή είναι και η βασική που θέτει περιορισμούς στην τοποθέτηση όλο και μεγαλύτερων – ισχυρότερων ΑΓ σε χερσαίες περιοχές. Ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω τα μεγέθη της μεγαλύτερης μέχρι στιγμής ΑΓ (GE

Haliade X – 12/13/14 MW) που έχει ήδη εγκατασταθεί πιλοτικά στο λιμάνι του Ρότερνταμ ώστε να εξαχθούν δεδομένα λειτουργίας και να μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί σε πλήρη εφαρμογή. ([www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine](http://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine), n.d.). Γίνεται αντιληπτό ότι πτερύγια μήκους 100m δεν μπορούν να μεταφερθούν οδικώς ενώ ακόμα και η μεταφορά τους μέσω πλωτών μέσων αποτελεί ιδιαίτερα απαιτητική και κοστοβόρα διαδικασία καθώς σε πολλές περιπτώσεις απαιτεί τη ναυπήγηση πλοίων με κατάλληλες δυνατότητες και χαρακτηριστικά για μια τέτοια εργασία.



Εικόνα 2-16 Μεγέθη μεγαλύτερης ΑΓ υπό δοκιμαστική λειτουργία ([www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine](http://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine), χ.χ.)

### 2.3.2 Παράγοντες επιλογής θέσης Θ.Α.Π.

Με βάση τα παραπάνω οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την τοποθεσία εγκατάστασης ΘΑΠ αλλά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να διαθέτει για να έχει τη μέγιστη δυνατή απόδοση αναφέρονται παρακάτω με σειρά βαρύτητας.

1. **Ανεμολογικό καθεστώς:** Η πρώτη παράμετρος που εξετάζεται προκειμένου να προχωρήσει η περεταίρω διερεύνηση για τη βιωσιμότητα εγκατάστασης ΘΑΠ είναι τα συνολικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει η αιολική ενέργεια στη δοσμένη περιοχή. Συγκεκριμένα το βασικότερο που εξετάζεται είναι η ταχύτητα του ανέμου καθώς επηρεάζει αποφασιστικά την διαθέσιμη ισχύ. Πιο αναλυτικά η ταχύτητα εξετάζεται σε ένα μεγάλο χρονικό εύρος για να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα που επικρατεί στην περιοχή. Σε περίπτωση που η μέση ταχύτητα είναι ικανοποιητική εξετάζεται το ιστόγραμμα κατανομής των διάφορων τιμών που λαμβάνει η ταχύτητα σε ένα ικανοποιητικό χρονικό διάστημα με στόχο να

αποφασιστεί ο τύπος της ΑΓ που θα απέδιδε πληρέστερα στη συγκεκριμένη περιοχή. Διερευνάται ακόμη και η ύπαρξη ακραίων τιμών ταχύτητας (ριπές ανέμου) οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν σημαντικές βλάβες, ακόμα και καταστροφή της ΑΓ. Συγκεκριμένα οι ΑΓ διακρίνονται σύμφωνα με τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική επιτροπή (IEC – International Electrotechnical Commission) σε τρεις κλάσεις ανάλογα με τη μέση ταχύτητα ανέμου που πνέει στην υπό εξέταση περιοχή, την ταχύτητα αναφοράς, και τυχόν ριπές ανέμου ([www.renewablesfirst.co.uk/windpower/windpower-learning-centre/what-is-the-wind-class-of-a-wind-turbine/](http://www.renewablesfirst.co.uk/windpower/windpower-learning-centre/what-is-the-wind-class-of-a-wind-turbine/), n.d.). Συνοπτικά η πρώτη κλάση αφορά ισχυρό άνεμο, η δεύτερη άνεμο μεσαίας έντασης και η τρίτη άνεμο χαμηλής έντασης. Οι κλάσεις σύμφωνα με τον IEC παρουσιάζονται και στον πίνακα που ακολουθεί.

	IEC Wind Class		
	1 (High Wind)	2 (Med. Wind)	3 (Low Wind)
Reference Wind Speed	50 m/s	42.5 m/s	7.5 m/s
<b>Annual Average Wind Speed (Max)</b>	<b>10 m/s</b>	<b>8.5 m/s</b>	<b>7.5 m/s</b>
50-year Return Gust	70 m/s	59.5 m/s	52.5 m/s
1-year Return Gust	52.5 m/s	44.6 m/s	39.4 m/s

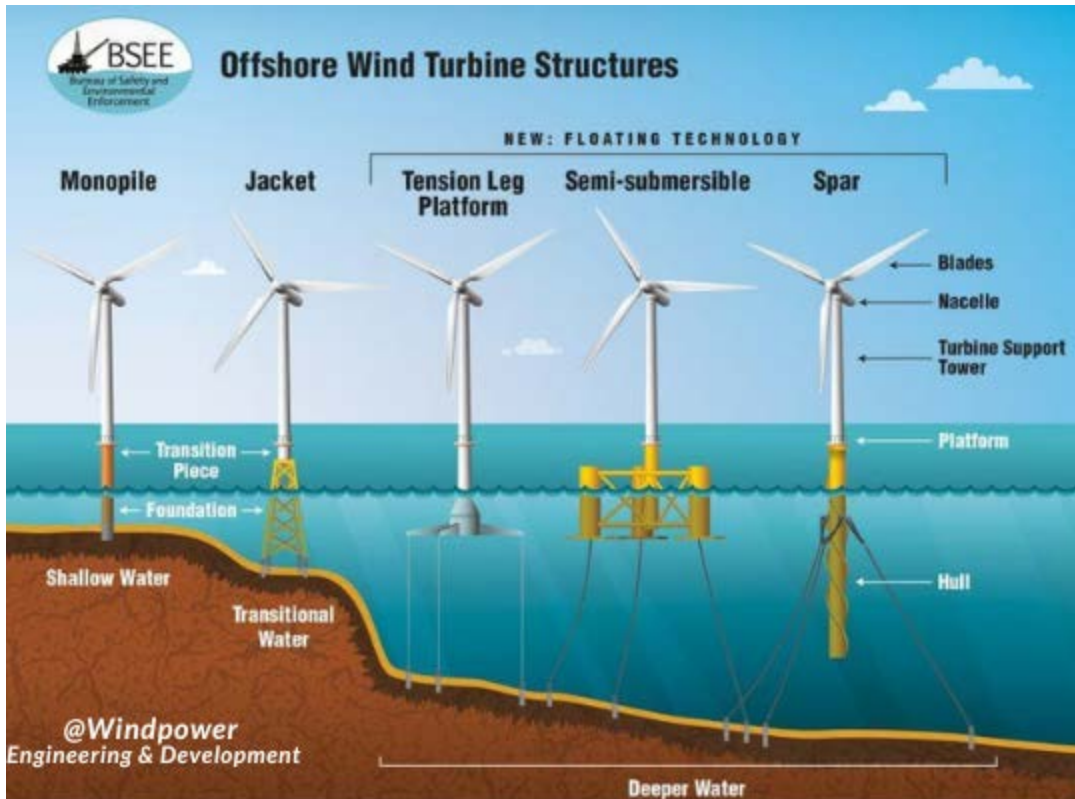
Πίνακας 2-4 Κλάσεις ΑΓ Σύμφωνα με IEC

Η τελευταία παράμετρος της ταχύτητας του ανέμου η οποία εξετάζεται είναι η υπέρ – ετήσια μεταβλητότητα. Η μεταβολή δηλαδή των ταχυτήτων η οποία αναμένετε από χρόνο σε χρόνο με σκοπό να αποφασιστεί αν είναι βιώσιμη η κατασκευή ενός αιολικού πάρκου, λαμβάνοντας υπόψη ως δεδομένο ότι η διάρκεια ζωής ενός αιολικού πάρκου δεν μπορεί να ξεπερνάει τα 20-25 έτη. Εξετάζεται ακόμη η διεύθυνση του ανέμου για τον γενικό – προκαταρκτικό προσανατολισμό με βάση τον οποίο θα τοποθετηθούν οι ΑΓ. Ο προσανατολισμός βέβαια όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μεταβάλλεται μέσω του συστήματος “yaw” που διαθέτουν οι σύγχρονοι τύποι ΑΓ.

2. Το βάθος της περιοχής υπό μελέτη παίζει σημαντικό ρόλο καθώς αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα για την τεχνική δυσκολία της εγκατάστασης των ΑΓ. Κατά συνέπεια επηρεάζει καθοριστικά το κόστος της κατασκευής ενός ΘΑΠ άρα και την τελική απόφαση για την κατασκευή του. Η πιο ώριμη τεχνολογικά λύση είναι η πάκτωση του πυλώνα της ΑΓ στον πυθμένα αλλά κάτι τέτοιο είναι εφικτό σε βάθη μέχρι και τα 50m. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση της πάκτωσης δύο είναι οι επικρατέστερες μέθοδοι. Η πρώτη χρησιμοποιεί έναν πάσσαλο διαμέτρου



μεταξύ 3m και 8m (ανάλογα με το βάθος και τον τύπο της ΑΓ) ο οποίος πακτώνεται στο βυθό και χρησιμοποιείται για βάθη μέχρι 40m περίπου. Στη βιβλιογραφία η παραπάνω μέθοδος αναφέρεται ως «μονοπάσσαλη», και στην ξένη βιβλιογραφία ως «monopile». Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί ένα μεταλλικό δικτύωμα το οποίο προκατασκευάζεται στην ξηρά και τοποθετείται στο σημείο ενδιαφέροντος. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως σε υπεράκτιες πλατφόρμες εξόρυξης «jacket foundation» και μπορεί να φτάσει σε λίγο μεγαλύτερο βάθος από την μονοπάσσαλη, μέχρι τα 60-70m. Για μεγαλύτερα βάθη χρησιμοποιούνται εναλλακτικοί τρόποι έδρασης οι οποίοι βασίζονται σε πλωτές κατασκευές. Οι αντίστοιχες τεχνικές επειδή βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό – πειραματικό επίπεδο ανεβάζουν σημαντικά το κόστος. Σημειώνεται βέβαια ότι μέχρι τα 300m βάθος υπάρχουν μέθοδοι εγκατάστασης των ΑΓ που είναι πλέον οικονομικά βιώσιμες. Η έρευνα επικεντρώνεται γύρω από τρεις επικρατέστερες πλωτές μεθόδους. Η πρώτη αφορά πλατφόρμα η οποία αγκυρώνεται με καλώδια υπό τάση στον πυθμένα. Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε άλλες υπεράκτιες εφαρμογές (tension leg platform) αλλά η χρήση της σε ΘΑΠ είναι ακόμη υπό εξέταση. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι προτάσεις από Έλληνες ερευνητές και επιστήμονες η πλατφόρμα να φιλοξενεί και διατάξεις εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας αξιοποιώντας την μέθοδο της παλλόμενης υδάτινης στήλης (oscillating water column) που αναφέρθηκε και στην αντίστοιχη παράγραφο παραπάνω (Mazarakos, Thomas & Konispoliatis, Dimitrios & Manolas, Dimitris & Voutsinas, S. & Mavrakos, Spyridon., 2015). Η δεύτερη μέθοδος αφορά μια ημι-βυθιζόμενη πλατφόρμα η οποία αγκυρώνεται χωρίς τάση στο βυθό. Η πλατφόρμα είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να αποσβένει τις περιβαλλοντικές φορτίσεις. Η τελευταία μέθοδος χρησιμοποιεί μια ημι-βυθιζόμενη στήλη η οποία αγκυρώνεται και αυτή στο βυθό χωρίς τάση και χρησιμοποιεί ένα μεγάλο βάρος στην βυθισμένη πλευρά προκειμένου να μπορεί να παραμείνει κατακόρυφη απέναντι στα διάφορα περιβαλλοντικά φορτία. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αρκετά πιο απλή στην κατασκευή ανάμεσα στις πλωτές και η έρευνα γύρω από την τελειοποίηση της είναι πολλά υποσχόμενη. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι πιο χαρακτηριστικοί τρόποι έδρασης που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 2-17 Ενδεικτικοί τρόποι εγκατάστασης θαλάσσιας ΑΓ (www.bsee.gov/what-we-do/renewable-energy/renewable-energy-policy-statement, n.d.)

3. Η απόσταση από τα βασικά λιμάνια αποτελεί έναν ακόμη κρίσιμο παράγοντα που επηρεάζει το κόστος εγκατάστασης του πιθανού ΘΑΠ. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η κατασκευή ενός ΘΑΠ αποτελεί ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία και όσον αφορά τη μεταφορά των απαραίτητων υλικών. Αναφέρθηκε και παραπάνω ότι ένας από τους λόγους που κερδίζουν έδαφος τα ΘΑΠ έναντι αυτών στην ξηρά είναι η δυνατότητα να φιλοξενήσουν ακόμα μεγαλύτερες ΑΓ, με βασικό στοιχείο το πτερύγιο το οποίο κατασκευάζεται ενιαία με αποτέλεσμα η μεταφορά του να αποτελεί ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία. Συνεπώς για την ανέγερση ενός ΘΑΠ θα πρέπει πρώτα να κατασκευαστεί εγκατάσταση για τη διαμόρφωση των πτερυγίων η οποία θα μπορεί να εξυπηρετήσει και τις διαδικασίες προκατασκευής των μεταλλικών μερών που τυχόν απαιτηθούν – ανάλογα και τον τρόπο έδρασης που θα επιλεγεί. Η εγκατάσταση αυτή θα πρέπει να τοποθετηθεί όσο πλησιέστερα γίνεται στην τοποθεσία που έχει επιλεγεί για την εγκατάσταση του ΘΑΠ ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα έξοδα μεταφοράς. Συμπληρωματικά η εν λόγω εγκατάσταση είναι βιώσιμο να εγκατασταθεί μόνο σε χώρους πέριξ των μεγάλων λιμανιών. Συνοπτικά είναι ασφαλές να υποθέσουμε ότι για την κατασκευή ενός ΘΑΠ ένα λιμάνι θα λειτουργήσει ως κέντρο για ολόκληρη τη διαδικασία κατασκευής. Άρα η

απόσταση του εν λόγω λιμανιού από το χώρο εγκατάστασης αποτελεί έναν ακόμη βασικό παράγοντα για την απόφαση της κατασκευής.

4. Απόσταση από υφιστάμενο δίκτυο υποθαλάσσιων καλωδίων. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η εγκατάσταση ενός ΘΑΠ δεν μπορεί να ολοκληρωθεί χωρίς τη διασύνδεση του με το υπόλοιπο δίκτυο. Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι στον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός ΘΑΠ λαμβάνεται η απόφαση προς ποια γεωγραφική έκταση θα κατευθυνθεί η ηλεκτρική ενέργεια. Με βάση αυτή την απόφαση γίνεται και η χάραξη της όδευσης που θα ακολουθήσουν οι υποθαλάσσιοι αγωγοί μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντική άρα παράμετρος που επηρεάζει το κόστος της ολοκληρωμένης κατασκευής ενός ΘΑΠ είναι το συνολικό μήκος των αγωγών μεταφοράς ενέργειας που θα χρειαστεί να ποντιστούν για τη μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας. Για τον τελικό προσδιορισμό της θέσης του ΘΑΠ λαμβάνεται άρα υπόψη και το υφιστάμενο δίκτυο υποθαλάσσιων αγωγών στην προσπάθεια να περιοριστεί η ανάγκη για πόντιση νέων αγωγών. Σημειώνεται ακόμη ότι υπάρχει η τάση και στη χώρα μας να εξελίσσεται η υποθαλάσσια διασύνδεση μεταξύ των νησιών και της ηπειρωτικής Ελλάδας.
5. Περιοχές που περιορίζουν την τοποθέτηση ΘΑΠ. Εκτός των παραπάνω παραγόντων οι οποίοι καθορίζουν τις τοποθεσίες των πιθανών ΘΑΠ υπάρχουν και ορισμένοι περιοριστικοί παράγοντες οι οποίοι θα αναφερθούν παρακάτω. Η απόσταση ενός ΘΑΠ από την ακτή δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 3 χλμ εξαιτίας της οπτικής όχλησης – θορύβου που δημιουργεί. Επιπλέον θα ήταν πολύ χρήσιμο να αποκλείονται de facto οι περιοχές NATURA 2000 που βρίσκονται στις ελληνικές θάλασσες. Περιοριστικό όρο αποτελούν και τα θαλάσσια χωρικά ύδατα τα οποία για λόγους οι οποίοι ξεφεύγουν από το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας στο Ιόνιο έχουν διαμορφωθεί στα 12 ναυτικά μίλια ενώ στο Αιγαίο στα 6 ναυτικά μίλια. Ενώ σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και οι αντικρουόμενες οικονομικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο θαλάσσιο περιβάλλον με την αλιεία και τον τουρισμό να αποτελούν τις βασικότερες εξ' αυτών. Πρέπει τέλος να ληφθούν υπόψη και άλλες χρήσεις του θαλάσσιου περιβάλλοντος όπως η στρατιωτική (ασκήσεις – πεδία βολής) ,η έρευνα για υποθαλάσσιες αρχαιότητες, η έρευνα κοιτασμάτων υδρογονάνθρακα κ.α. Τα παραπάνω επιβάλλουν την ανάγκη διαμόρφωσης θαλάσσιου χωροταξικού σχεδιασμού ο οποίος θα ορίζει την ορθολογική διάθεση των θαλάσσιων εκτάσεων σταθμίζοντας όλους τους κοινωνικό – οικονομικούς παράγοντες.

### 2.3.3 Περιοχή Μελέτης

Όσον αφορά τη χώρα μας και τους παράγοντες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο αξίζει να σημειωθεί ότι οι όποιες μέχρι τώρα αναλύσεις έχουν

πραγματοποιηθεί, δείχνουν ότι υπάρχουν όλες οι προϋποθέσεις για ευρεία αξιοποίηση της τεχνολογίας των ΘΑΠ. Αρχικά ο βασικότερος παράγοντας – το αιολικό δυναμικό (όπως αποδεικνύουν όλες οι μέχρι τώρα ερευνητικές προσπάθειες) είναι αρκετά ισχυρό, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και το φαινόμενο των μελτεμιών. Τα μελτέμια αποτελούν ένα ιδιαίτερο και ενδημικό για την Ελλάδα φαινόμενο και αφορούν ισχυρούς καλοκαιρινούς άνεμους με διευθύνσεις Βορειοανατολικές και Βορειοδυτικές οι οποίοι πνέουν κυρίως στο Αιγαίο. Τα μελτέμια συνεισφέρουν σημαντικά στην ενίσχυση του αιολικού δυναμικού των ελληνικών θαλασσών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όπως θα γίνει αντιληπτό και από την εξέταση των ανεμολογικών δεδομένων που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια της εργασίας. Το παραπάνω στοιχείο φέρνει την Ελλάδα σε πλεονεκτική θέση καθώς αντικρούει την τάση που υπάρχει γενικά οι άνεμοι το καλοκαίρι να έχουν μικρότερη ένταση, συνεισφέροντας έτσι στην σταθεροποίηση της απόδοσης καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Όσον αφορά το βάθος των ελληνικών θαλασσών και τη θεμελίωση των θαλάσσιων ΑΓ εκτιμάται ότι για την εκμετάλλευση του μεγαλύτερου ποσοστού του αιολικού δυναμικού θα πρέπει να υιοθετηθούν πλωτές λύσεις. Είναι πολύ περιορισμένες οι περιοχές που δύναται να τοποθετηθούν μονοπάσσαλες – πακτωμένες ΑΓ. Βέβαια η τεχνολογική ωριμότητα των πλωτών ΑΓ αναπτύσσεται ραγδαία και με τη συμβολή Ελλήνων επιστημόνων. Συνεπώς υπάρχει η εκτίμηση ότι τα επόμενα χρόνια το βάθος δεν θα αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην επέκταση των ΘΑΠ σε μεγαλύτερα βάθη. Στην παρούσα εργασία έχουν ερευνηθεί περιοχές μέχρι τα 300m βάθος.

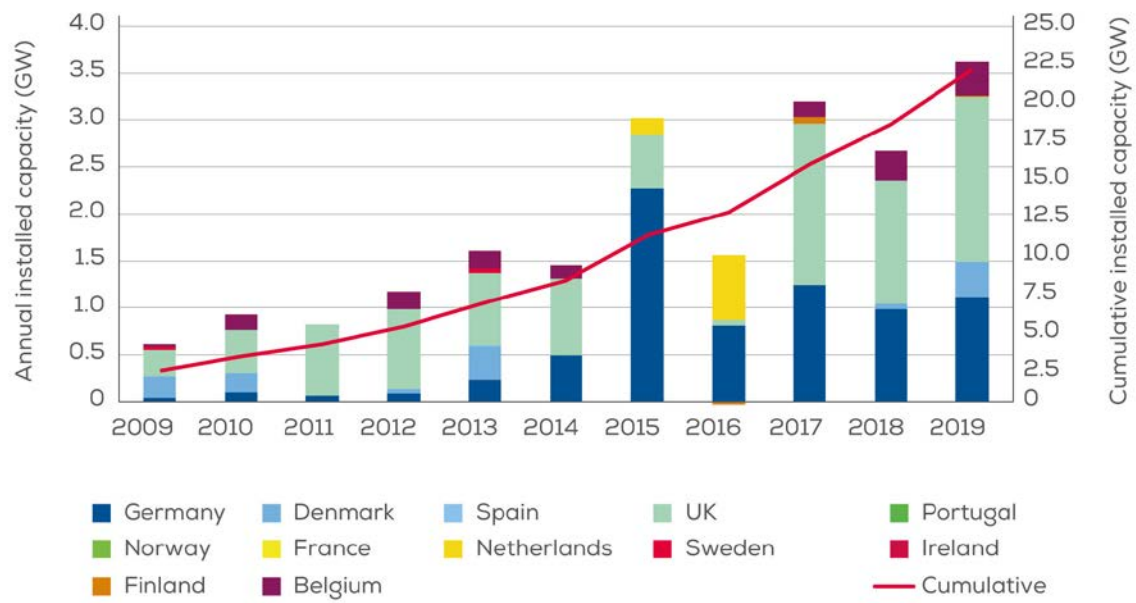
Σχετικά με τους παράγοντες της μεταφοράς – αποθήκευσης – προκατασκευής όλων των απαραίτητων μηχανικών μερών της ΑΓ η Ελλάδα διαθέτει πάνω από 20 εμπορικά λιμάνια τα οποία δυνητικά θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Σημειώνεται ακόμη ότι η Ελλάδα μέχρι το πολύ πρόσφατο παρελθόν διέθετε σημαντική ναυπηγική βιομηχανία (η οποία τα τελευταία χρόνια τείνει να ανακάμψει) και τεχνικό προσωπικό το οποίο θα μπορούσε κάλλιστα να αξιοποιηθεί για τις ανάγκες της νέας αυτής αναδυόμενης βιομηχανίας, καθώς πέρα από τις ανάγκες προκατασκευής, η εγκατάσταση ΘΑΠ απαιτεί κατάλληλα πλωτά μέσα – ειδικά διαμορφωμένα πλοία γερανούς ο αριθμός των οποίων είναι εξαιρετικά περιορισμένος σε παγκόσμιο επίπεδο. Συνεπώς θα ήταν πολύ προσοδοφόρα από πολλές απόψεις η ναυπήγηση τέτοιων πλωτών μέσων στα ελληνικά ναυπηγεία.

Για το υφιστάμενο δίκτυο υποθαλάσσιων καλωδίων αξίζει να αναφερθεί ότι ειδικά τα τελευταία χρόνια έχει προχωρήσει σημαντικά η υποθαλάσσια διασύνδεση διάφορων νησιών τόσο μεταξύ τους όσο και με την ηπειρωτική χώρα. Ξεχωρίζει η διασύνδεση της Κρήτης με την Πελοπόννησο μεγάλο μέρος της οποίας έχει ήδη ολοκληρωθεί από το καλοκαίρι του 2022. Η υποδομή δηλαδή των υποθαλάσσιων καλωδίων παίζει ιδιαίτερα ευεργετικό ρόλο στην τελική απόφαση για την τοποθέτηση ΘΑΠ.

Αναφορικά με τους υπόλοιπους παράγοντες οι οποίοι θέτουν περιοριστικούς όρους στην ανάπτυξη των ΘΑΠ στην Ελλάδα σημαντικό ρόλο θα παίξει η τουριστική βιομηχανία. Σημειώνεται ακόμη ότι προχωράει με ταχείς ρυθμούς η αναθεώρηση του Ειδικού Χωροταξικού Πλαισίου για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΕΧΠ – ΑΠΕ), με στόχο να τεθεί σε ισχύ εντός του πρώτου τετράμηνου του 2023. Από όσα έχουν δοθεί μέχρι στιγμής στη δημοσιότητα σχετικά με τον υπεράκτιο χώρο αναφέρεται: «Θα επιτρέπεται η χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων (θαλάσσια αιολικά πάρκα) σε όλες τις θαλάσσιες περιοχές της χώρας που διαθέτουν τις προϋποθέσεις εκμετάλλευσης, εφόσον αυτές δεν εντάσσονται σε ιδιαίτερο θεσμικό καθεστώς ρητής απαγόρευσης εγκατάστασης ή δεν αποτελούν ζώνη αποκλεισμού, όπως θεσμοθετημένα θαλάσσια ή υποθαλάσσια πάρκα ή βεβαιωμένες γραμμές επιβατικής ναυσιπλοΐας. Θα απαγορεύεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε απόσταση μικρότερη των 1.500 μέτρα από ακτές (όσες περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα παρακολούθησης της ποιότητας υδάτων κολύμβησης του ΥΠΕΝ), σε κλειστούς κόλπους με εύρος ανοίγματος 1.500 μέτρα, σε Περιοχή Οργανωμένης Ανάπτυξης Υδατοκαλλιεργειών (κατ' εξαίρεση εγκατάσταση ύστερα από σύμφωνη γνώμη του φορέα εκμετάλλευσης), σε απόσταση μικρότερη των 500 μ. από μονάδες υδατοκαλλιεργειών κ.λπ.» (Τράτσα, 2022)

#### 2.3.4 Τελευταίες εξελίξεις στην Ευρώπη και Ελλάδα

Η τεχνολογία των ΘΑΠ έχει κάνει αρκετά βήματα στην Ευρωπαϊκή ήπειρο ενώ έχουν μπει και φιλόδοξοι στόχοι για τη συνέχεια. Παρατίθενται ενδεικτικά δύο πίνακες από τον οργανισμό Wind Europe (Lizet Ramirez, Daniel Fraile, Guy Brindley, 2020) οι οποίοι παρουσιάζουν την εξέλιξη της τεχνολογίας των ΘΑΠ στην Ευρώπη αλλά και την παρούσα κατάσταση.



Πίνακας 2-5 Εξέλιξη Εγκατεστημένης Υπεράκτιας Αιολικής Ισχύος ανά χώρα της ΕΕ. (Lizet Ramirez, Daniel Fraile, Guy Brindley, 2020)

COUNTRY	WIND FARM	CAPACITY CONNECTED IN 2019 (MW)	NUMBER OF TURBINES CONNECTED	TURBINE MODEL	TYPE OF FOUNDATION	STATUS <sup>3</sup>
UK	Hornsea 1	1,218.0	174	SWT-7.0-154 (SGRE)	Monopile	●●●●●
	Beatrice 2	315.0	45	SWT-7.0-154 (SGRE)	Jacket	●●●●●
	East Anglia Offshore Wind 1	231.0	33	SWT-7.0-154 (SGRE)	3-Leg Jacket	●●○○○
Germany	EnBW Hohe See	497.0	71	SWT-7.0-154 (SGRE)	Monopile	●●●●●
	Deutsche Bucht	260.4	31	V164-8.4 MW (MHI Vestas)	Monopile	●●●●●
	Merkur Offshore	252.0	42	Haliade 150-6MW (GE)	Monopile	●●●●●
	Trianel Windpark Borkum 2	101.3	16	Senvion 6.2M152	Monopile	●●●○○
Denmark	Horns Rev 3	373.5	45	V164-8.3 MW (MHI Vestas)	Monopile	●●●●●
Belgium	Norther	369.6	44	V164-8.4 MW (MHI Vestas)	Monopile	●●●●●
Portugal	Windfloat Atlantic Phase 1	8.4	1	V164-8.4 MW (MHI Vestas)	Semi-Sub	●●○○○

COUNTRY	WIND FARM	FOUNDATIONS INSTALLED IN 2019	TOTAL NUMBER OF FOUNDATIONS	TURBINE MODEL	TYPE OF FOUNDATION
Germany	EnBW Albatros	16	16	SWT-7.0-154 (SGRE)	Monopile
Netherlands	Borssele 3&4	30	77	V164-9.5 MW (MHI Vestas)	Monopile
Belgium	Northwester 2	23	23	V164-9.5 MW (MHI Vestas)	Monopile
	Mermaid	28	28	SG 8.4-167 DD (SGRE)	Monopile
	Seastar	30	30	SG 8.4-167 DD (SGRE)	Monopile

Πίνακας 2-6 Υφιστάμενη κατάσταση στα Ευρωπαϊκά ΘΑΠ (Lizet Ramirez, Daniel Fraile, Guy Brindley, 2020)

Όσον αφορά στη χώρα μας το καλοκαίρι του 2022 επικαιροποιήθηκε το θεσμικό πλαίσιο σύμφωνα με το οποίο θα προχωρήσει η ανάπτυξη των πρώτων ΘΑΠ. Τα βασικά σημεία που εμπεριέχει το πρόσφατα ψηφισμένο νομοσχέδιο είναι τα εξής (ΥΠΕΝ: Οι ρυθμίσεις για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα – Στη Βουλή το σχέδιο νόμου, 2022):

- Με κοινή απόφαση όλων των εμπλεκόμενων υπουργείων και υπουργών (Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Οικονομικών, Ανάπτυξης, Εξωτερικών, Εθνικής Άμυνας, Πολιτισμού και Αθλητισμού, Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής, Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, και Τουρισμού) θα εγκριθεί το Εθνικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων (ΥΑΠ), που θα αποτυπώνει

σε ποιες θαλάσσιες περιοχές της χώρας είναι δυνατή η ανάπτυξη Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων.

- Με την έκδοση σχετικού Προεδρικού Διατάγματος θα οριοθετηθούν μία ή περισσότερες Περιοχές Οργανωμένης Ανάπτυξης ΥΑΠ – ΠΟΑΥΑΠ, που αποτελούν τμήματα των θαλάσσιων περιοχών που εμπεριέχονται στο Εθνικό Πρόγραμμα, και θα οριστούν οι όροι ανάπτυξης των έργων σε αυτές.
- Με απόφαση του Φορέα ΥΑΠ, η οποία θα εκδοθεί εντός δύο μηνών από την δημοσίευση του προεδρικού διατάγματος οριοθέτησης των Περιοχών Οργανωμένης Ανάπτυξης ΥΑΠ (ΠΟΑΥΑΠ), θα εκκινήσει η διαδικασία χορήγησης Αδειών Έρευνας ΥΑΠ εντός των οριοθετημένων ΠΟΑΥΑΠ.
- Οι κάτοχοι των Άδειών Έρευνας ΥΑΠ θα έχουν τη δυνατότητα να εκπονήσουν όλες τις αναγκαίες μετρήσεις και μελέτες εντός των ΠΟΑΥΑΠ για τις οποίες έλαβαν την σχετική Άδεια Έρευνας ΥΑΠ.
- Μετά την πάροδο περίπου 2,5 ετών από την χορήγηση των Αδειών Έρευνας ΥΑΠ θα οριστούν - με Υπουργική Απόφαση - επιμέρους Περιοχές Εγκατάστασης ΥΑΠ, εντός των ΠΟΑΥΑΠ, καθώς και εκτίμηση της μέγιστης ισχύος Έργων ΥΑΠ που εκτιμάται ότι μπορεί να εγκατασταθεί σε κάθε μία από αυτές.
- Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) ακολούθως θα προκηρύξει διαγωνιστική διαδικασία υποβολής προσφορών για τη χορήγηση λειτουργικής ενίσχυσης στα Έργα ΥΑΠ που θα αναπτυχθούν εντός των Περιοχών Εγκατάστασης ΥΑΠ αυτών.

Συνοπτικά, η κατασκευή των πρώτων ΘΑΠ αν όλα προχωρήσουν σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα, μπορεί να αναμένεται στις αρχές του 2025 ενώ έχει αποτυπωθεί και ο στόχος για 2 GW θαλάσσιας αιολικής ενέργειας έως το 2030. Βέβαια αξίζει να αναφερθεί ότι έχουν εκφραστεί και πιο μετριοπαθείς εκτιμήσεις από άμεσα εμπλεκόμενους – στελέχη κατασκευαστικών εταιριών με σημαντική εμπειρία στην κατασκευή αιολικών πάρκων (στην ηπειρωτική Ελλάδα) ότι τα πρώτα ΘΑΠ στη χώρα μας θα χρειαστούν ορίζοντα δεκαετίας για να ξεκινήσουν.

### 3 Προέλευση και περιγραφή διαθέσιμων δεδομένων.

Σκοπός της παρούσας μελέτης όπως αναφέρθηκε και εισαγωγικά είναι ο εντοπισμός των βέλτιστων τοποθεσιών στις ελληνικές θάλασσες για την εγκατάσταση ΘΑΠ. Παρακάτω θα γίνει αναφορά στις βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και στη στατιστική επεξεργασία που ήταν αναγκαία για ορισμένα από τα παραπάνω δεδομένα. Στη συνέχεια τα επεξεργασμένα δεδομένα αποτυπώθηκαν σε χάρτες για να γίνουν εύκολα αντιληπτά τα αποτελέσματα. Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν εκτείνονται στο γεωγραφικό πλάτος από 33.0° N μέχρι 42.0° N και γεωγραφικό μήκος 19.0° E μέχρι 30.0° E, συντεταγμένες που αντιστοιχούν στην ευρύτερη περιοχή του Ελλαδικού χώρου.



### 3.1 Ταχύτητα - Διεύθυνση Ανέμου

Έγινε αναφορά και παραπάνω ότι η ταχύτητα του ανέμου είναι το βασικό μέγεθος που καθορίζει το μέγεθος της αιολικής ισχύος, κατά συνέπεια και της ισχύος που θα παράξει και η ΑΓ. Συμπληρωματικά ερευνήθηκε και η διεύθυνση του ανέμου προκειμένου να υπάρχει μια γενική εικόνα η οποία θα βοηθήσει και στον προκαταρκτικό προσανατολισμό των ΑΓ. Η βάση δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη είναι η «ERA 5» του Ευρωπαϊκού Κέντρου μεσοπρόθεσμων μετεωρολογικών προγνώσεων. Η ονομασία του στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία είναι ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

Η ERA 5 είναι μία βάση δεδομένων η οποία παρέχει ωριαίες εκτιμήσεις για διάφορες ατμοσφαιρικές μεταβλητές. Τα δεδομένα καλύπτουν τη γήινη επιφάνεια με ένα πλέγμα γεωγραφικών συντεταγμένων με μεγάλο αριθμό διαβαθμίσεων και σε 137 επίπεδα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας φτάνοντας το μέγιστο ύψος των 80 χλμ. Η βάση δεδομένων εμπλουτίζεται με νέα στοιχεία ανά 3 μήνες – σε πραγματικό χρόνο. Ενώ είναι διαθέσιμες και ημερήσιες ενημερώσεις με την πάροδο 5 ημερών σε πραγματικό χρόνο. Η ERA 5 συνδυάζει τις τεράστιες ποσότητες των πραγματικές μετρήσεων του παρελθόντος τις οποίες συμπληρώνει – πυκνώνει χρησιμοποιώντας εξελιγμένα συστήματα μετεωρολογικών προβλέψεων. Η μέθοδος που χρησιμοποιεί η ERA 5 για να κάνει την πύκνωση των μετρήσεων είναι η μέθοδος «reanalysis». Η εν λόγω μέθοδος μιμείται την παραγωγή καθημερινών μετεωρολογικών προγνώσεων οι οποίες χρησιμοποιούν ως αφετηρία μία ανάλυση της τρέχουσας κατάστασης των στοιχείων της ατμόσφαιρας. Γίνεται δηλαδή ένας συνεπής συνδυασμός αληθινών παρατηρήσεων με προβλέψεις μικρής κλίμακας βασισμένες σε προηγούμενες αναλύσεις. Οι επαναληπτικές αναλύσεις παράγονται συνήθως σε χαμηλότερη ανάλυση σε σχέση με τις τρέχουσες μετεωρολογικές προβλέψεις. Πριν από την παραγωγή της νέας ανάλυσης πραγματοποιούνται εργασίες για τη βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων παρατήρησης. Διενεργείται προσεκτικός ποιοτικός έλεγχος των παραγόμενων προβλέψεων και της αξιοπιστίας τους η οποία συγκρίνεται και αξιολογείται με τις αντίστοιχες προβλέψεις άλλων οργανισμών οι οποίοι εφαρμόζουν την ίδια μέθοδο «reanalysis». ([www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5](http://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5), n.d.) Σημειώνεται ακόμη ότι η ERA5 χρησιμοποιείται ευρέως από διεθνής οργανισμούς και ερευνητές, συνεπώς η αξιοπιστία της είναι ελεγμένη και ικανοποιητική για την εφαρμογή που θα ακολουθήσει η παρούσα διπλωματική.

Για την εφαρμογή της παρούσας διπλωματικής θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα από το 2000 μέχρι και το 2019. Διάστημα ικανοποιητικό για να μπορέσει να βγει συμπέρασμα για τα χαρακτηριστικά του αιολικού δυναμικού εν γένει, λαμβάνοντας υπόψη αυτό που αναφέρθηκε και παραπάνω ότι η διάρκεια ζωής ενός αιολικού πάρκου δεν ξεπερνά τα 20-25 έτη. Οι τιμές δίνονται ανά μία ώρα, δηλαδή έχουμε 24 μετρήσεις για κάθε

εικοσιτετράωρο. Συνολικά πρόκειται για 175.320 μετρήσεις που διαμορφώνουν τη χρονοσειρά κάθε σημείου. Όσον αφορά τη γεωγραφική κατανομή τους χρησιμοποιείται η ανάλυση που διαθέτει η ERA 5 ανά 0.25 μοίρες. Ο όγκος των δεδομένων είναι τέτοιος που να είναι εφικτή η επεξεργασία του από συμβατικό υπολογιστή. Δημιουργείται δηλαδή ένας κάρναβος με 37 στοιχεία κατακόρυφα (γεωγραφικό πλάτος) και 45 στοιχεία οριζόντια (γεωγραφικό μήκος), συνολικά 1665 σημεία.

Η βάση δεδομένων εμπεριέχει την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου 100m πάνω από τη Μέση Στάθμη της Θάλασσας (Μ.Σ.Θ.), ύψος αρκετά κοντά στο ύψος μιας μέσης θαλάσσιας ΑΓ που βρίσκεται σε εμπορική χρήση.

Όσον αφορά τη διεύθυνση του ανέμου η ERA 5 για κάθε μία από τις 175.320 μετρήσεις δίνει μια τιμή από 0 έως και 360, όπου η διεύθυνση 0 αντιστοιχεί στο Βορρά και η διεύθυνση 180 στο Νότο. Σημειώνεται ακόμη για να αποφευχθεί μια συνήθης παρανόηση ότι με τον όρο διεύθυνση του ανέμου αναφερόμαστε στην διεύθυνση από την οποία πνέει ο άνεμος και όχι στη διεύθυνση στην οποία καταλήγει.

### 3.2 Βάθος Ελληνικών Θαλασσών

Όσον αφορά στο βάθος πυθμένα αντλήθηκαν δεδομένα από το Εθνικό Κέντρο Διαχείρισης Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των Η.Π.Α. – National Oceanic and Atmospheric Administration, (NOAA). Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε καλείται «e\_topo» και περιέχει δεδομένα βαθυμετρίας με ανάλυση λεπτών της γεωγραφικής μοίρας. Τα λεπτά της μοίρας αφορούν το 1/60 μιας γεωγραφικής μοίρας και χρησιμοποιούνται ως γεωγραφικό μέγεθος στις Η.Π.Α. Η «e\_topo» ενσωματώνει δεδομένα τοπογραφίας, βαθυμετρίας και ακτογραμμών από τοπικά και παγκόσμια σύνολα δεδομένων και αποδίδει ολοκληρωμένες, υψηλής ανάλυσης αποδόσεις των γεωφυσικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης. Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί για διάφορες χρήσεις, μεταξύ άλλων: την πρόβλεψη, τη μοντελοποίηση και την προειδοποίηση για τσουνάμι, τη μοντελοποίηση της κυκλοφορίας των ωκεανών αλλά και την οπτικοποίηση της Γης. Η τρέχουσα έκδοση, ETOPO 2022, είναι διαθέσιμη σε εκδόσεις «Ice Surface» και «Bedrock» που απεικονίζουν είτε το ανώτερο στρώμα των φύλλων πάγου που καλύπτουν τη Γροιλανδία και την Ανταρκτική, είτε τον πυθμένα από κάτω. Στην εφαρμογή που εξετάζει η παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε η δεύτερη έκδοση η οποία αφορά στον πυθμένα. ([www.ncei.noaa.gov/products/etopo-global-relief-model](http://www.ncei.noaa.gov/products/etopo-global-relief-model), n.d.)

### 3.3 Θαλάσσια Σύνορα - Ακτογραμμή

Όσον αφορά στα θαλάσσια σύνορα και στην ακτογραμμή τα δεδομένα αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων «GSHHG» - Global Self-consistent Hierarchical High-resolution

Geography database. Πρόκειται για παγκόσμια βάση γεωγραφικών δεδομένων ελεύθερα διαθέσιμη η οποία ξεκίνησε το 1996 ως συγχώνευση δύο προγενέστερων βάσεων δεδομένων. Τα δεδομένα που περιλαμβάνει έχουν υποστεί εκτεταμένη επεξεργασία και είναι απαλλαγμένα από εσωτερικές ασυνέπειες όπως ακανόνιστα σημεία και συγκρουόμενα τμήματα διέλευσης. Οι ακτογραμμές κατασκευάζονται εξ ολοκλήρου από ιεραρχικά διατεταγμένα κλειστά πολύγωνα. Η εν λόγω βάση δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη των στατιστικών χαρακτηριστικών των ακτών και των χερσαίων μαζών. Το σύνολο δεδομένων είναι ελεύθερα προσβάσιμο ηλεκτρονικά (Wessel, Paul & Smith, Walter, 1996) Η «GSHHG» διορθώνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα τυχόν σφάλματα και ανακρίβειες που παρατηρούνται από τους χρήστες με ανανεωμένες – διορθωμένες εκδόσεις. Η πιο πρόσφατη έκδοση η οποία χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία είναι η 2.3.7 η οποία δημοσιεύθηκε τον Ιούνιο του 2017.

## 4 Επεξεργασία Δεδομένων

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα περιγραφεί αναλυτικά η διαδικασία στατιστικής επεξεργασίας των ανεμολογικών δεδομένων που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Θα αναφερθεί ακόμη η διαδικασία με την οποία τα παραγόμενα δεδομένα απεικονίστηκαν πάνω στο χάρτη. Σημειώνεται εξ αρχής ότι τόσο η επεξεργασία όσο και η οπτική απεικόνιση των δεδομένων και αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια του προγραμματιστικού περιβάλλοντος MATLAB. Χρησιμοποιήθηκαν και ορισμένες ελεύθερα διαθέσιμες βιβλιοθήκες κώδικα στις οποίες θα γίνει αναλυτική αναφορά στα παρακάτω κεφάλαια.

### 4.1 Ταχύτητα ανέμου

Με βάση τη στιγμιαία ωριαία ταχύτητα η οποία λήφθηκε ως δεδομένο από την ERA 5 υπολογίστηκαν οι μέσες ταχύτητες ανέμου για κάθε σημείο από τον κάναβο. Αναφέρθηκε και παραπάνω ότι ένα από τα κριτήρια για την τοποθέτηση ΘΑΠ είναι η μεταβλητότητα του αιολικού δυναμικού. Για αυτό υπολογίστηκε και η μέση ταχύτητα για κάθε μήνα του έτους ώστε να υπάρχει ολοκληρωμένη εικόνα. Θα υπολογιστούν βέβαια και άλλοι στατιστικοί δείκτες οι οποίοι αποτυπώνουν χαρακτηριστικά τα μεγέθη της μεταβλητότητας. Η μέση τιμή των ταχυτήτων τόσο γενικά όσο και για κάθε μήνα υπολογίστηκε με τον βασικό τύπο της μέσης τιμής που ακολουθεί.

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i,$$

όπου  $N$  είναι το σύνολο των μετρήσεων για κάθε σημείο του κανάβου και  $v_i$  η ωριαία ταχύτητα που μας δίνει η ERA 5.

Απαραίτητο μέγεθος για τους υπολογισμούς της ετήσιας και υπερετήσιας μεταβλητότητας που θα ακολουθήσουν αποτελεί η τυπική απόκλιση. Η τυπική απόκλιση συμβολίζεται με  $s$  και αποτελεί έναν στατιστικό δείκτη διασποράς που δείχνει το πόσο διαφοροποιημένες είναι οι τιμές του δείγματος από το κέντρο – τη μέση τιμή. Ακολουθεί ο τύπος με τον οποίο υπολογίζεται :

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2, \quad s = \sqrt{s^2}$$

Με βάση τα παραπάνω θα υπολογιστούν τα μεγέθη της ετήσιας (MAV) και της υπερετήσιας μεταβλητότητας (IAV) των ταχυτήτων του ανέμου. Πρόκειται για δύο πολύ σημαντικούς στατιστικούς δείκτες για την παρούσα εφαρμογή καθώς ποσοτικοποιούν την επίδραση της εποχικότητας και της διαχρονικότητας στο ανεμολογικό καθεστώς αντίστοιχα και επηρεάζουν καθοριστικά το σχεδιασμό των διατάξεων εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας καθώς οι τελευταίες σχεδιάζονται με διάρκεια ζωής 20 ετών περίπου. Τόσα έτη καλύπτουν και τα δεδομένα που έχουν αξιοποιηθεί οπότε οι δύο δείκτες της μεταβλητότητας παρέχουν αρκετά ρεαλιστική εικόνα για την παρούσα εφαρμογή. Ακολουθούν οι υπολογισμοί.

Για τον υπολογισμό της MAV η οποία θα ποσοτικοποιήσει την μεταβολή των ταχυτήτων από εποχή σε εποχή χρειάζεται να υπολογιστεί πρώτα η τυπική απόκλιση κάθε έτους καθώς και η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά έτος για κάθε σημείο του κανάβου. Συγκεκριμένα:

$$MAV = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{s_{v,j}}{\bar{v}_j},$$

όπου  $j, J$  είναι το κάθε έτος και τα έτη συνολικά,  $s_{v,j}$  η τυπική απόκλιση των ταχυτήτων κάθε έτους και  $\bar{v}_j$  η μέση ταχύτητα κάθε έτους.

Για την IAV που ποσοτικοποιεί την μεταβολή των ταχυτήτων ανά έτος ακολουθούν οι υπολογισμοί:

$$IAV = \frac{s_{\bar{v}_j}}{\bar{v}}$$

όπου  $s_{\bar{v}_j}$  είναι η τυπική απόκλιση των μέσων ταχυτήτων του ανέμου για κάθε έτος  $j$ , και  $\bar{v}$  η μέση ταχύτητα συνολικά.

#### 4.2 Διεύθυνση ανέμου

Συγκριτικά με τις ταχύτητες ο υπολογισμός της μέσης διεύθυνσης για κάθε σημείο του κανάβου είναι λίγο πιο περίπλοκη διαδικασία. Μαθηματικά η σχέση που υπολογίζει την μέση διεύθυνση με βάση ένα πλήθος διαφορετικών διευθύνσεων παρατίθενται παρακάτω.

$$\bar{\theta} = \begin{cases} \tan^{-1}(S/C) , S > 0 , C > 0 \\ \tan^{-1}(S/C) + \pi , C < 0 \\ \tan^{-1}\left(\frac{S}{C}\right) + 2\pi , S < 0 , C > 0 \end{cases}$$

Όπου τα  $S$  ,  $C$  αντιστοιχούν στα αθροίσματα των ημιτόνων και των συνημίτονων των γωνιών αντίστοιχα, δηλαδή:

$$S = \sum_{i=1}^N \sin \theta_i , C = \sum_{i=1}^N \cos \theta_i$$

Για την απλοποίηση των παραπάνω υπολογισμών χρησιμοποιήθηκε μια έτοιμη βιβλιοθήκη εντολών. Η βιβλιοθήκη που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται «CircStat» (Berens, 2009) και αποτελεί ένα πακέτο εντολών που έχει μπορεί να υπολογίσει διάφορα στατιστικά μεγέθη γωνιακών δεδομένων.

#### 4.3 Αιολικό Δυναμικό

Έγινε εκτενής αναφορά και σε προηγούμενο κεφάλαιο για το αιολικό δυναμικό ως την ποσότητα της αιολικής ισχύος που υπάρχει διαθέσιμη στο σημείο ενδιαφέροντος. Για τον υπολογισμό του υπολογίστηκε αρχικά η στιγμιαία ωριαία τιμή του με βάση την

στιγμιαία ωριαία ταχύτητα σε κάθε σημείο του κάναβου με βάση τον τύπο που διατυπώθηκε και παραπάνω. Για τον υπολογισμό η πυκνότητα της ατμόσφαιρας θεωρήθηκε σταθερή και ίση με  $1.225 \text{ kg/m}^3$ .

$$P_i = \frac{1}{2} \rho v_i^3$$

Στη συνέχεια ομοίως με τα υπόλοιπα μεγέθη υπολογίστηκε η μέση τιμή του αιολικού δυναμικού για το σύνολο της χρονοσειράς αλλά και η μέση τιμή του αιολικού δυναμικού για κάθε μήνα του έτους. Όπως και με την ταχύτητα του ανέμου υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση ως προϋπόθεση για τον υπολογισμό της ετήσιας και της υπερετήσιας μεταβλητότητας. Ακολουθούν οι σχέσεις για τον υπολογισμό των παραπάνω στατιστικών δεικτών του αιολικού δυναμικού.

Για τη μέση τιμή του αιολικού δυναμικού:

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

Για την τυπική απόκλιση του αιολικού δυναμικού:

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2, \quad s = \sqrt{s^2}$$

Για την μέση ετήσια μεταβλητότητα:

$$MAV = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{s_{P,j}}{\bar{P}_j}$$

Για την υπερετήσια μεταβλητότητα:

$$IAV = \frac{s_{\bar{P}_j}}{\bar{P}}$$

#### 4.4 Ενεργειακές Απολαβές με τη χρήση ΑΓ αναφοράς

Η ΑΓ που επιλέχθηκε για την παρούσα εφαρμογή είναι σχεδιασμένη από το Πολυτεχνείο της Δανίας (Denmark Technical University) για υπεράκτια χρήση – ονομάζεται «DTU\_10MW\_178\_RWT\_v1» και αξιοποιείται ευρέως σε ερευνητικές εφαρμογές. Η εν λόγω ΑΓ ανήκει στην κατηγορία των ΑΓ αναφοράς, στη διεθνή βιβλιογραφία τις συναντάμε ως Reference Wind Turbine (RWT).

Οι ΑΓ αναφοράς είναι θεωρητικά κατασκευασμένα μηχανικά σύνολα τα οποία χρησιμοποιούνται για να ερευνηθούν και να τελειοποιηθούν όλες οι τεχνικές πλευρές πριν προχωρήσει κάποια πειραματική εφαρμογή πραγματικών διαστάσεων. Η παραπάνω μέθοδος έχει συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων και τη μείωση του ρίσκου υλοποίησης όλο και μεγαλύτερων ΑΓ. Επιτρέπουν στην επιστημονική κοινότητα να συνεργάζεται και να μοιράζεται τα αποτελέσματα των ερευνών. Επιτρέπουν ακόμη την αυξημένη συνεργασία μεταξύ της βιομηχανίας και του ακαδημαϊκού κόσμου, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν στους βιομηχανικούς κατασκευαστές να προστατεύουν την πνευματική τους ιδιοκτησία. Η πρώτη σημαντική ΑΓ αναφοράς για υπεράκτια χρήση αναπτύχθηκε το 2005 από τα εργαστήρια του NREL (National Renewable Energy Laboratory) – το Ινστιτούτο ΑΠΕ των ΗΠΑ. Η εν λόγω ΑΓ είναι η «NREL offshore 5-MW baseline» και συνέβαλλε ουσιαστικά στη βελτίωση της δομικής ανάλυσης, της αεροδυναμικής των πτερυγίων και της κατασκευαστικής σχεδίασης συνολικά.

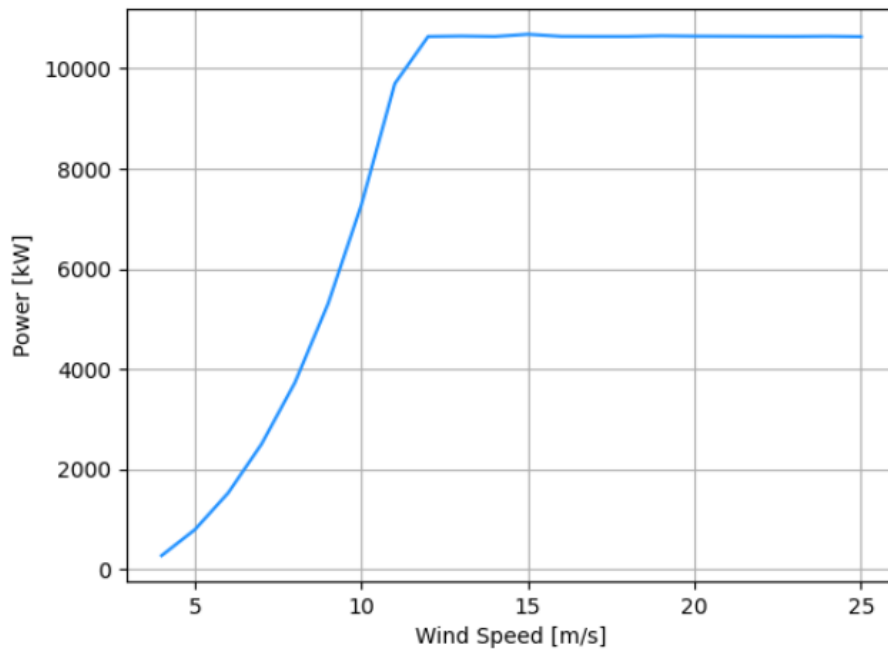
Η ΑΓ που επιλέχθηκε για την παρούσα εφαρμογή δημιουργήθηκε το 2013 (Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian;, 2013) και έκτοτε έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από διάφορους ερευνητές σε παγκόσμια κλίμακα. Ακολουθούν τα τεχνικά της χαρακτηριστικά και η καμπύλη ισχύος της τόσο σε μορφή πίνακα όσο και σε μορφή διαγράμματος. Όπως φαίνεται και παρακάτω το ύψος του πύργου είναι στα 119m οπότε το ύψος για το οποίο έχουμε τις μετρήσεις είναι σχετικά ικανοποιητικό. .

Description	Value
Rating	10MW
Rotor orientation, configuration	Upwind, 3 blades
Control	Variable speed, collective pitch
Drivetrain	Medium speed, Multiple stage gearbox
Rotor, Hub diameter	178.3m, 5.6m
Hub height	119m
Cut-in, Rated, Cut-out wind speed	4m/s, 11.4m/s, 25m/s
Cut-in, Rated rotor speed	6RPM, 9.6RPM
Rated tip speed	90m/s
Overhang, Shaft tilt, Pre-cone	7.07m, 5° , 2.5°
Pre-bend	3m
Rotor mass	229tons (each blade ~41tons)
Nacelle mass	446tons
Tower mass	605tons

Πίνακας 4-1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά «DTU\_10MW\_178\_RWT\_v1» (Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian;, 2013)

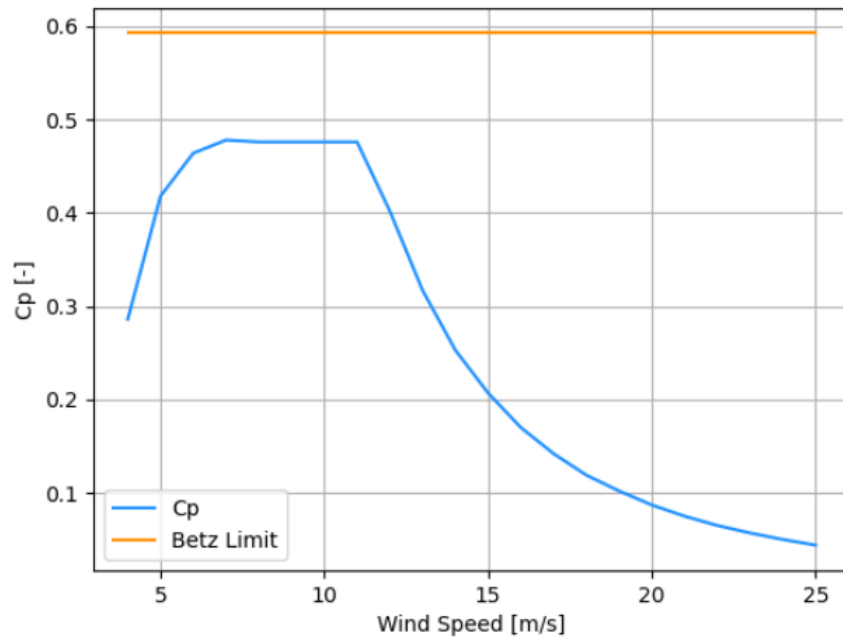
Ακολουθεί η καμπύλη ισχύος της ΑΓ. Σημειώνεται ότι παρά την ονομαστική ισχύ που αναγράφεται, η ΑΓ μπορεί να παράξει μέχρι 10.6 MW.





Εικόνα 4-1 Καμπύλη Ισχύος «DTU\_10MW\_178\_RWT\_v1» (Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian,; 2013)

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η καμπύλη του συντελεστή ισχύος  $C_p$ . Υπενθυμίζεται εδώ ότι ο συντελεστής ισχύος αναφέρεται στο ποσοστό της διαθέσιμης αιολικής ισχύος που μετατρέπει τελικά η ΑΓ σε ηλεκτρική Ισχύ. Προφανώς όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω για όλες τις ταχύτητες ο  $C_p$  είναι μικρότερος από το όριο του «Betz». Φαίνεται ακόμη ότι όταν η ταχύτητα ξεπεράσει την ταχύτητα για την οποία η ΑΓ αποδίδει την ονομαστική της ισχύ (11,4 m/s) ο συντελεστής μειώνεται αφού η ΑΓ δεν μπορεί να αποδώσει περισσότερο από την ονομαστική ισχύ.



Εικόνα 4-2 Καμπύλη συντελεστή ισχύος «DTU\_10MW\_178\_RWT\_v1» σε σύγκριση με το όριο του Betz (Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian,, 2013)

Ακολουθεί η καμπύλη ισχύος σε διακριτή μορφή – πίνακας ο οποίος αξιοποιήθηκε και για τον υπολογισμό των δυνητικών ενεργητικών απολαβών που θα είχε η εγκατάσταση της υπό εξέταση ΑΓ.

Wind Speed [m/s]	Power [kW]	Cp [-]
4	280.2	0.286
5	799.1	0.418
6	1532.7	0.464
7	2506.1	0.478
8	3730.7	0.476
9	5311.8	0.476
10	7286.5	0.476
11	9698.3	0.476
12	10639.1	0.402
13	10648.5	0.317
14	10639.3	0.253
15	10683.7	0.207
16	10642	0.17
17	10640	0.142
18	10639.9	0.119
19	10652.8	0.102
20	10646.2	0.087
21	10644	0.075
22	10641.2	0.065
23	10639.5	0.057
24	10643.6	0.05
25	10635.7	0.044

Πίνακας 4-2 Διακριτή μορφή καμπύλης ισχύος «DTU\_10MW\_178\_RWT\_v1» (Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian;, 2013)

## 5 Παρουσίαση ευρημάτων και σχολιασμός

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων στα οποία έγινε εκτενής αναφορά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αρχικά θα παρουσιαστούν οι ταχύτητες του ανέμου και ειδικότερα η μέση τιμή των ταχυτήτων συνολικά για όλη τη διάρκεια της 20ετίας και στη συνέχεια για κάθε μήνα ξεχωριστά. Θα παρουσιαστούν ακόμη δύο χάρτες με την ετήσια και την υπερετήσια μεταβλητότητα των ταχυτήτων, μεγέθη απαραίτητα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για την τελική απόφαση τοποθέτησης ΘΑΠ.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα ευρήματα για το αιολικό δυναμικό με την ίδια σειρά όπως και στις ταχύτητες. Πρώτα η μέση τιμή συνολικά για όλη τη διάρκεια των μετρήσεων, στη συνέχεια ανά μήνα και τέλος η ετήσια και η υπερετήσια μεταβλητότητα.

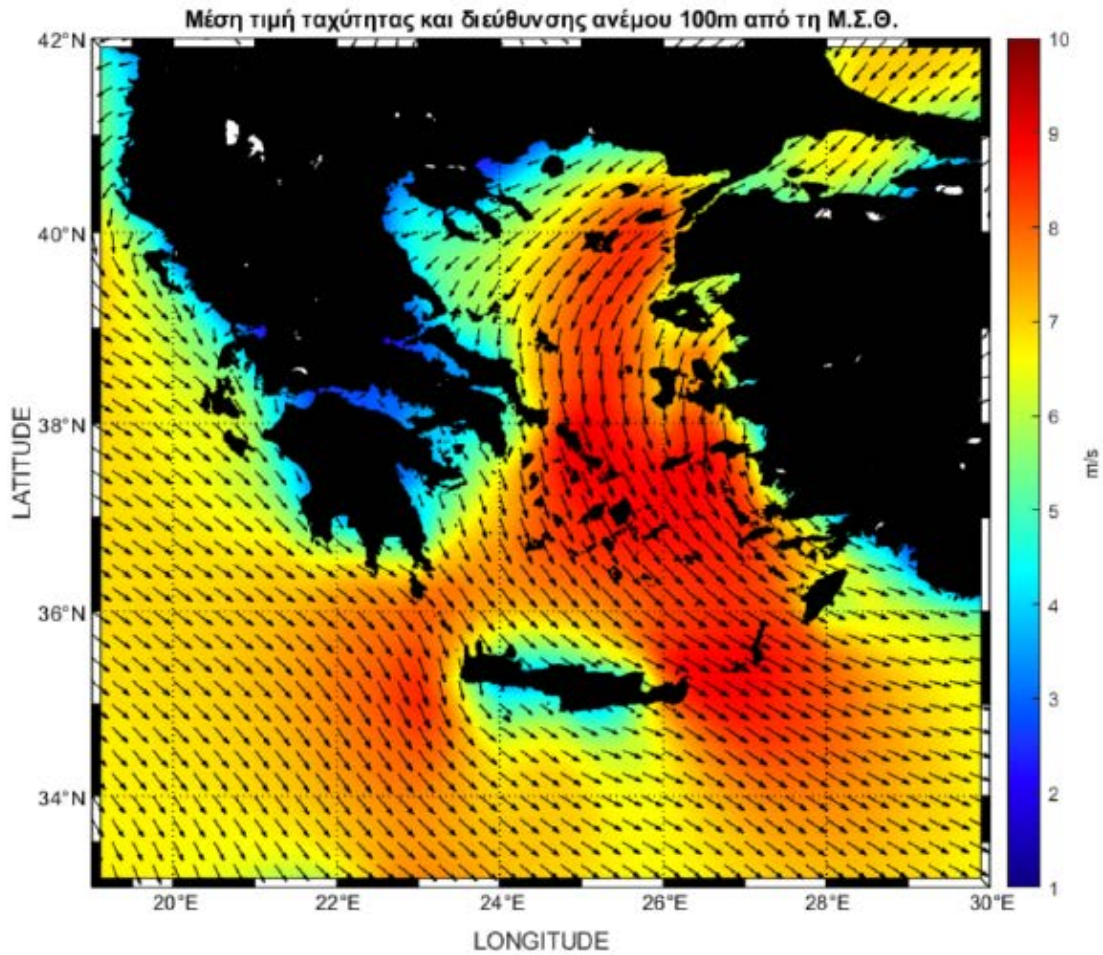
Για να μπορέσει να βγει σαφές συμπέρασμα και ιεράρχηση περιοχών είναι ακόμη απαραίτητο να παρουσιαστούν και οι υπόλοιποι παράγοντες που επηρεάζουν την τοποθέτηση ενός ΘΑΠ. Στην παρούσα εργασία θα εξεταστούν το βάθος, η απόσταση από την ακτή και τα θαλάσσια σύνορα.

### 5.1 Απεικόνιση Ευρημάτων – Δημιουργία χαρτών

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω πέρα από την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια του προγραμματιστικού περιβάλλοντος MATLAB. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η ελεύθερα διαθέσιμη βιβλιοθήκη κώδικα «m\_map» (Rawlowicz, 2020) που έχει αναπτυχθεί από τον καθηγητή Rich Rawlowicz του πανεπιστημίου της Βρετανικής Κολομβίας στο Βανκούβερ του Καναδά (University of British Columbia). Πρόκειται για βιβλιοθήκη κώδικα συμβατή με το MATLAB ιδιαίτερα φιλική προς το χρήστη και εύχρηστη. Διαθέτει μια σειρά λειτουργίες για τη γεωγραφική απεικόνιση διαφόρων τύπων δεδομένων. Στην παρούσα εργασία αξιοποιήθηκε εκτεταμένα για την γεωγραφική παρουσίαση όλων των αποτελεσμάτων.

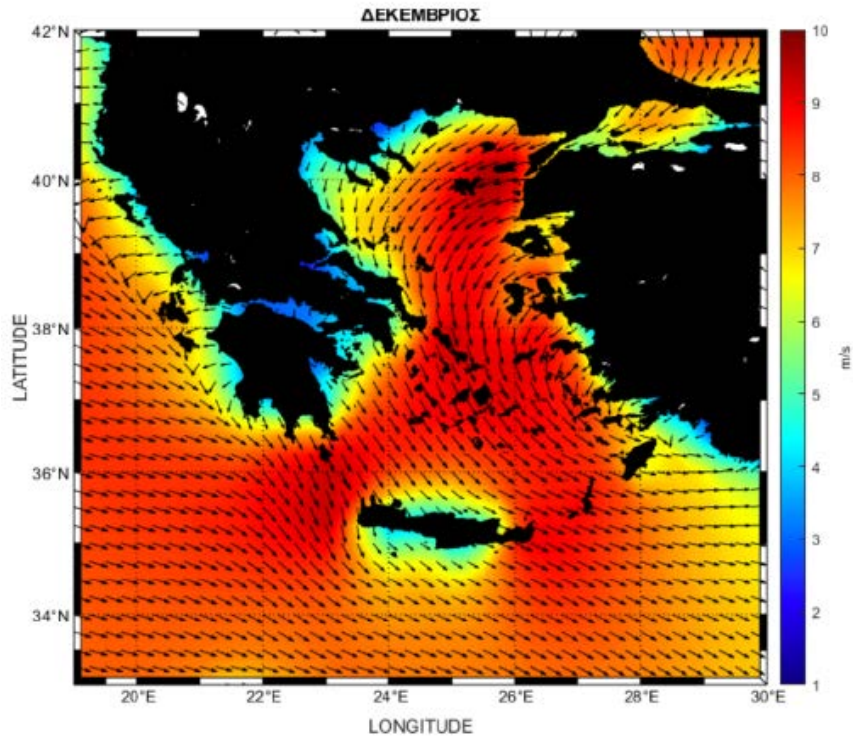
### 5.2 Ταχύτητες Ανέμου

Στον πρώτο χάρτη που ακολουθεί παρουσιάζεται η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου και της διεύθυνσης αυτής 100m πάνω από τη Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ). Όπως απεικονίζεται και στο χάρτη οι περιοχές με τις υψηλότερες μέσες ταχύτητες ανέμου συγκεντρώνονται στο Αιγαίο. Ιδιαίτερα στις περιοχές των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων αλλά και σε μεγάλο κομμάτι του Βόρειου Αιγαίου η μέση ταχύτητα φτάνει μέχρι και τα 9m/s. Αξιόλογα υψηλές ταχύτητες παρουσιάζουν και οι περιοχές Ανατολικά και Δυτικά της Κρήτης καθώς και η περιοχή μεταξύ Κρήτης και Πελοποννήσου.

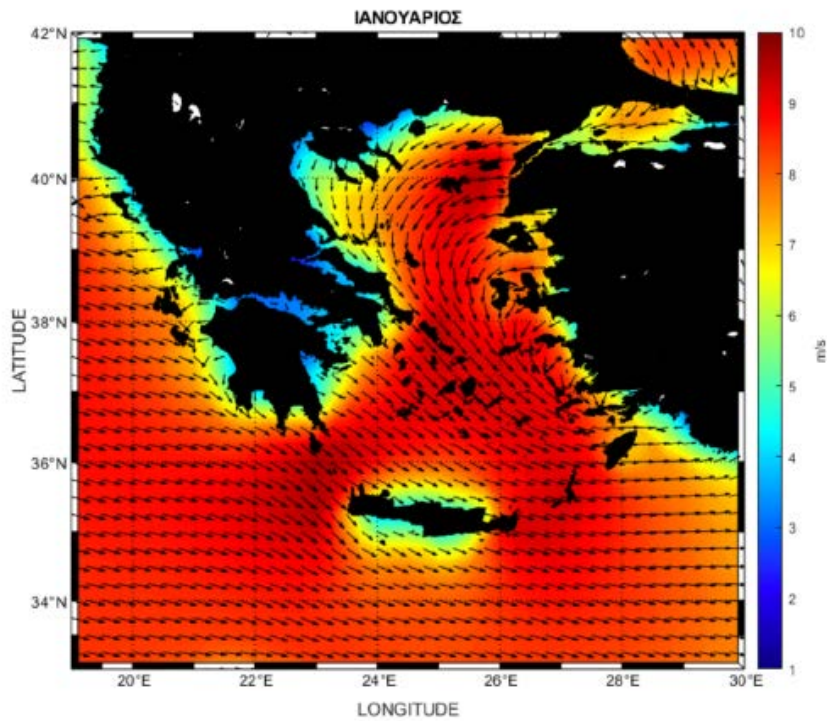


ΧΑΡΤΗΣ 5-1 ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ

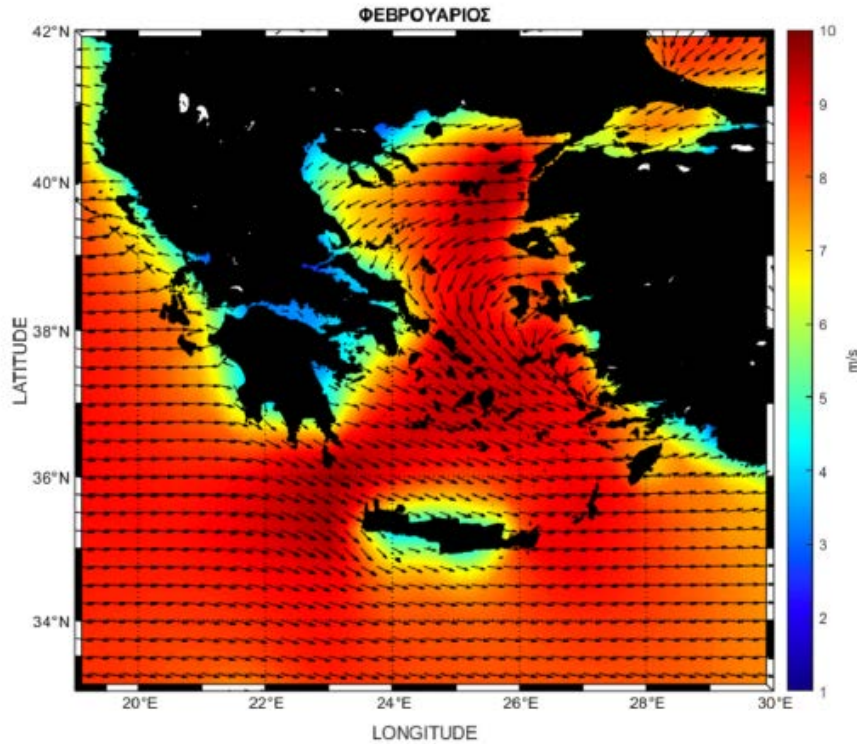
Στους χάρτες που ακολουθούν παρουσιάζεται η μέση ταχύτητα - διεύθυνση ανέμου για κάθε μήνα του έτους στη διάρκεια της 20ετίας που μελετάται. Κατά τα αναμενόμενα, τους χειμερινούς μήνες η ταχύτητα είναι αρκετά υψηλότερη σε σχέση με το καλοκαίρι. Παρατηρούνται τιμές που φτάνουν τα 10m/s. Ειδικά για τους χειμερινούς μήνες ο Φεβρουάριος είναι αυτός που χαρακτηρίζεται από τις υψηλότερες τιμές.



ΧΑΡΤΗΣ 5-2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

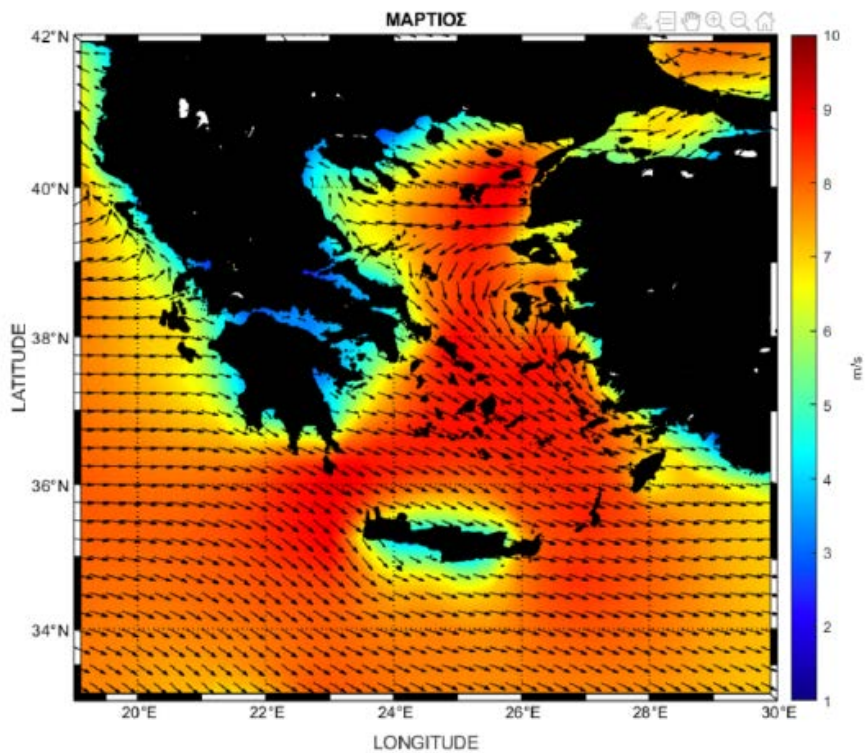


ΧΑΡΤΗΣ 5-3 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

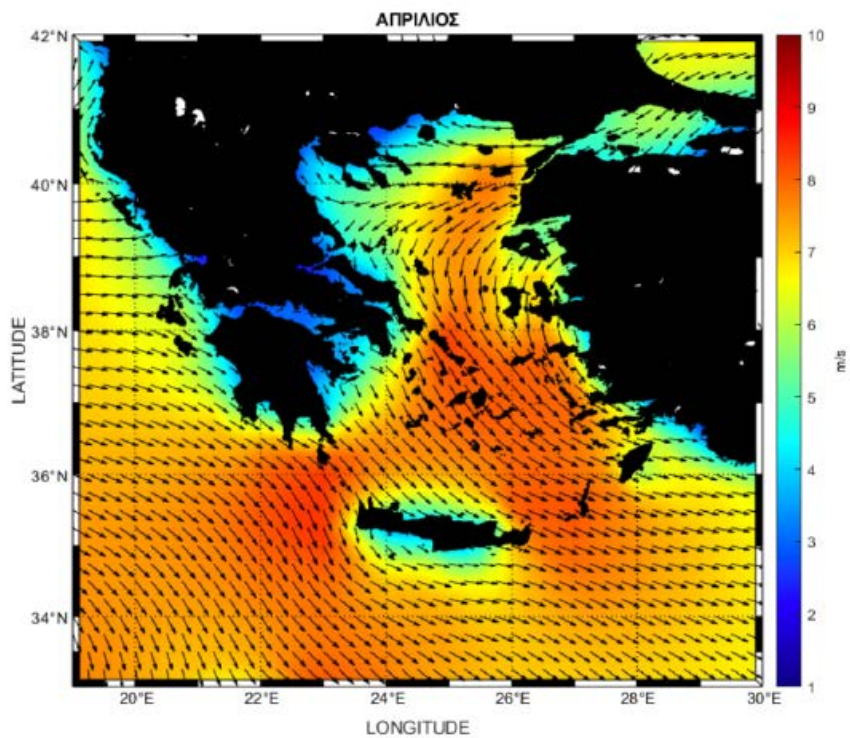


ΧΑΡΤΗΣ 5-4 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

Στους χάρτες που ακολουθούν παρουσιάζεται η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου τους μήνες της άνοιξης. Παρατηρείται ότι υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των μηνών της άνοιξης. Συγκεκριμένα το Μάρτιο παρατηρούνται οι υψηλότερες ταχύτητες κατά τον οποίο υπάρχουν περιοχές στις οποίες η μέση ταχύτητα φτάνει τα 8-9 m/s. Τον Απρίλιο παρουσιάζεται μείωση της μέσης ταχύτητας η οποία κυμαίνεται μεταξύ 7-8 m/s ενώ το Μάιο η μείωση είναι ακόμη εντονότερη με τιμές κάτω από 7 m/s αν και υπάρχουν μεμονωμένες περιοχές στις οποίες η μέση ταχύτητα φτάνει ή και ξεπερνάει αυτήν την τιμή.

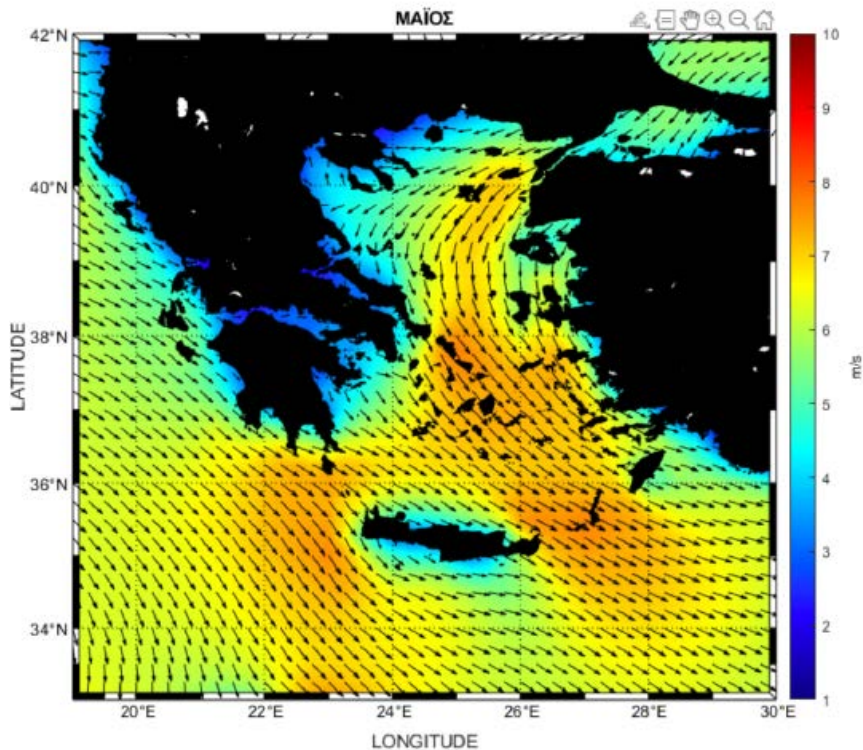


ΧΑΡΤΗΣ 5-5 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΜΑΡΤΙΟΣ



ΧΑΡΤΗΣ 5-6 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΑΠΡΙΛΙΟΣ

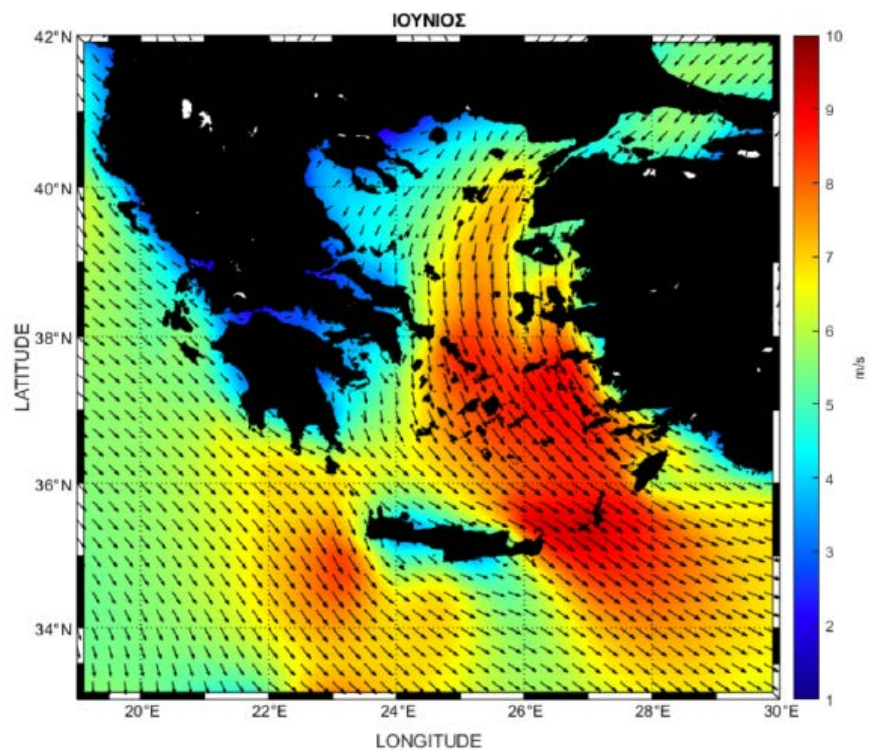




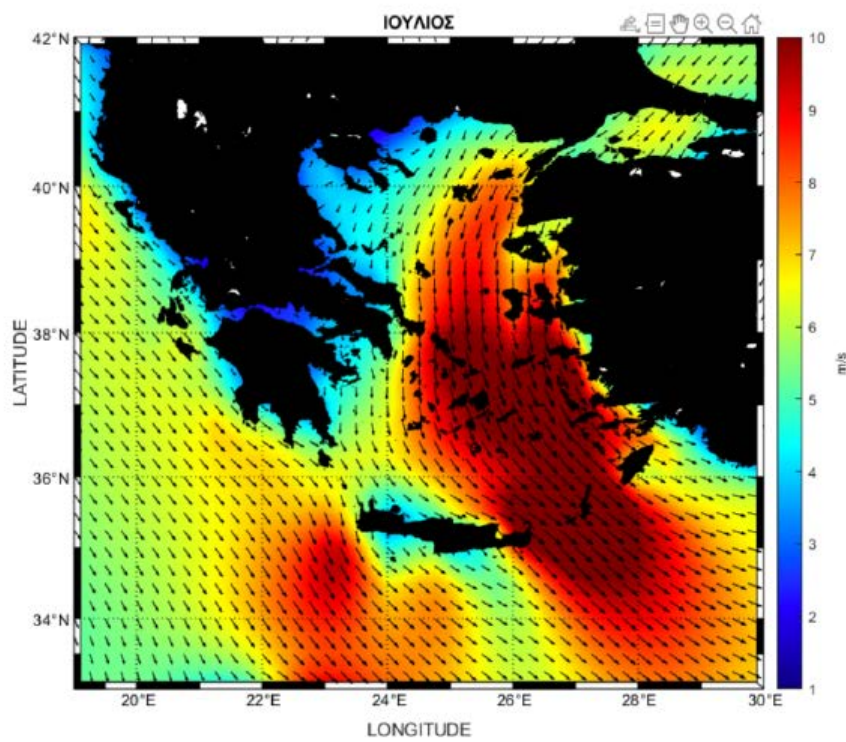
ΧΑΡΤΗΣ 5-7 ΤΑΧΥΤΗΤΑ /ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΜΑΪΟΣ

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες οι ταχύτητες του ανέμου παρουσιάζουν αξιοσημείωτες ταχύτητες στο Αιγαίο λόγω του φαινομένου των μελτεμιών που αναφέρθηκε και παραπάνω. Επιπλέον στους χάρτες που ακολουθούν οι διευθύνσεις του ανέμου είναι κατά βάση βορειανατολικές, συμπίπτουν δηλαδή με την βασική διεύθυνση από την οποία πνέουν και τα μελέτμια επιβεβαιώνοντας έτσι τα ευρήματα από τη στατιστική επεξεργασία.

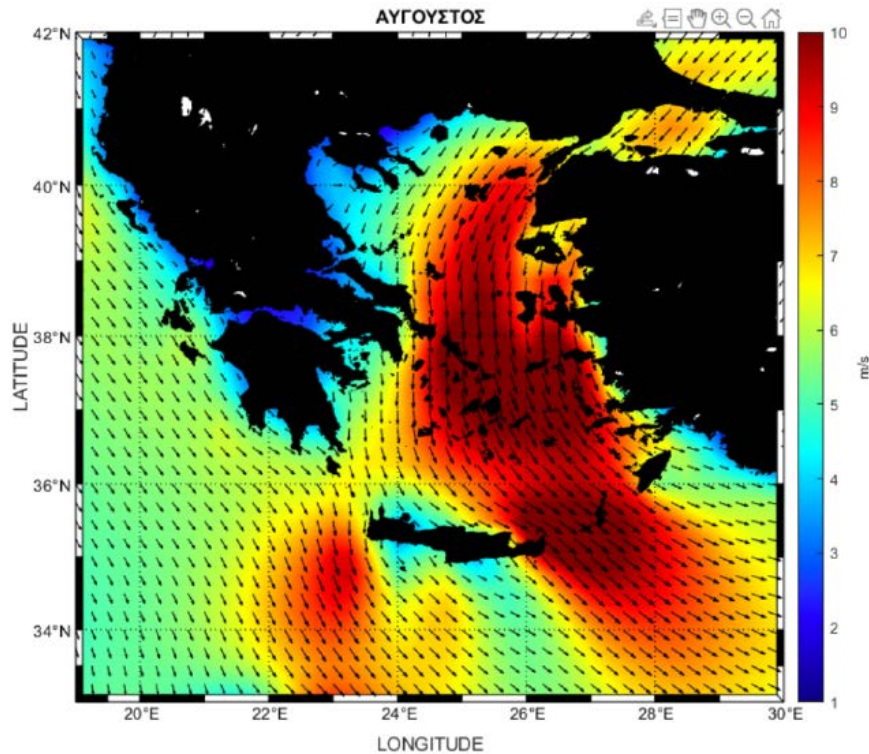
Συγκεκριμένα από τους χάρτες παρατηρούμε γενικά στο Αιγαίο αλλά ιδιαίτερα σε Κυκλάδες, Δωδεκάνησα καθώς και Βορειοανατολικά της Κρήτης τιμές ταχυτήτων που προσεγγίζουν ή και ξεπερνάνε τα 9-10 m/s καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού αλλά ιδιαίτερα τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.



ΧΑΡΤΗΣ 5-8 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΙΟΥΝΙΟΣ

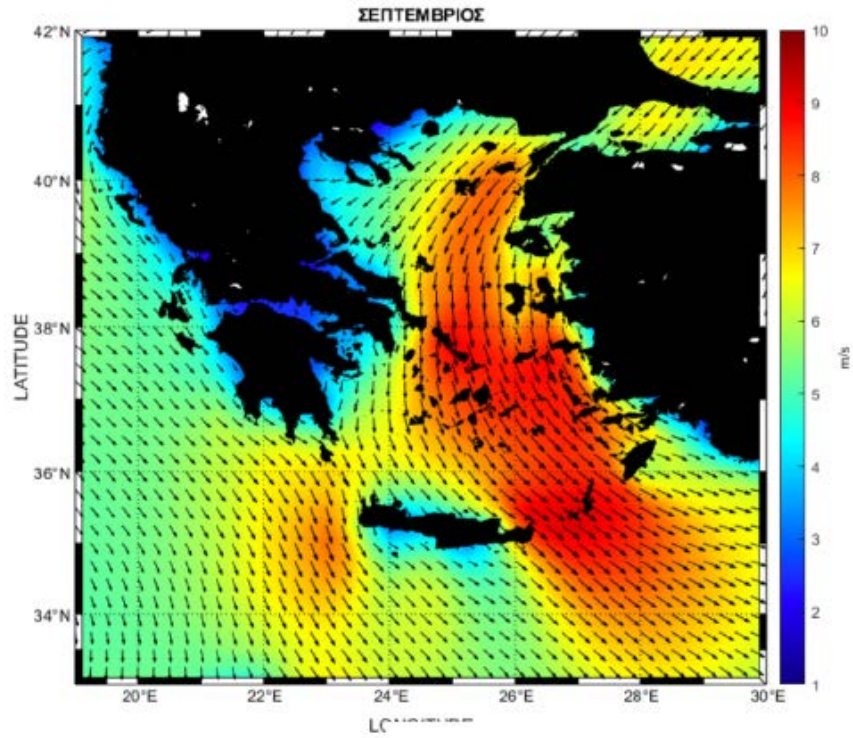


ΧΑΡΤΗΣ 5-9 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΙΟΥΛΙΟΣ

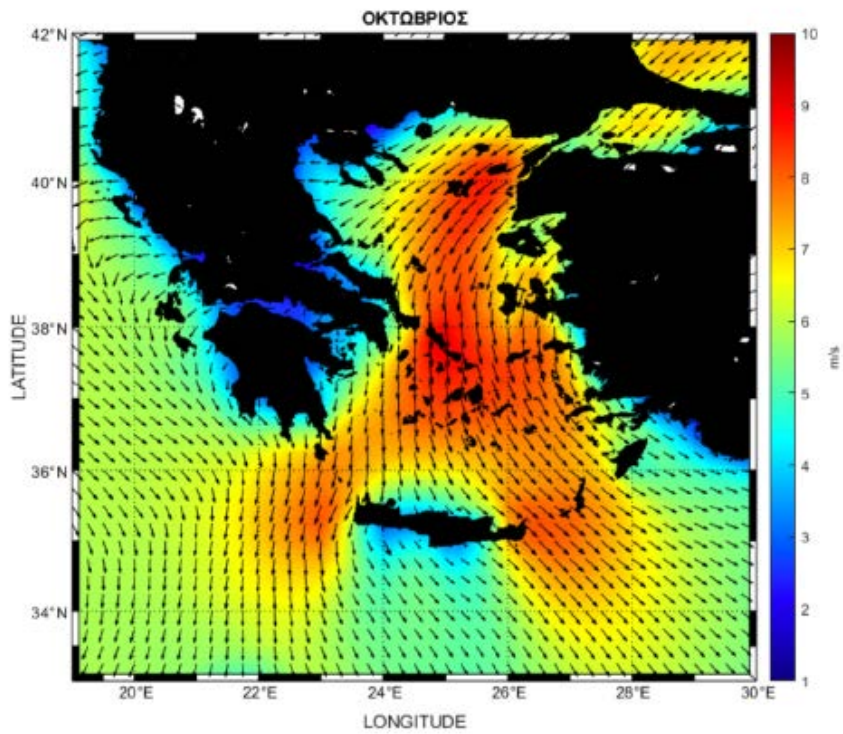


ΧΑΡΤΗΣ 5-10 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

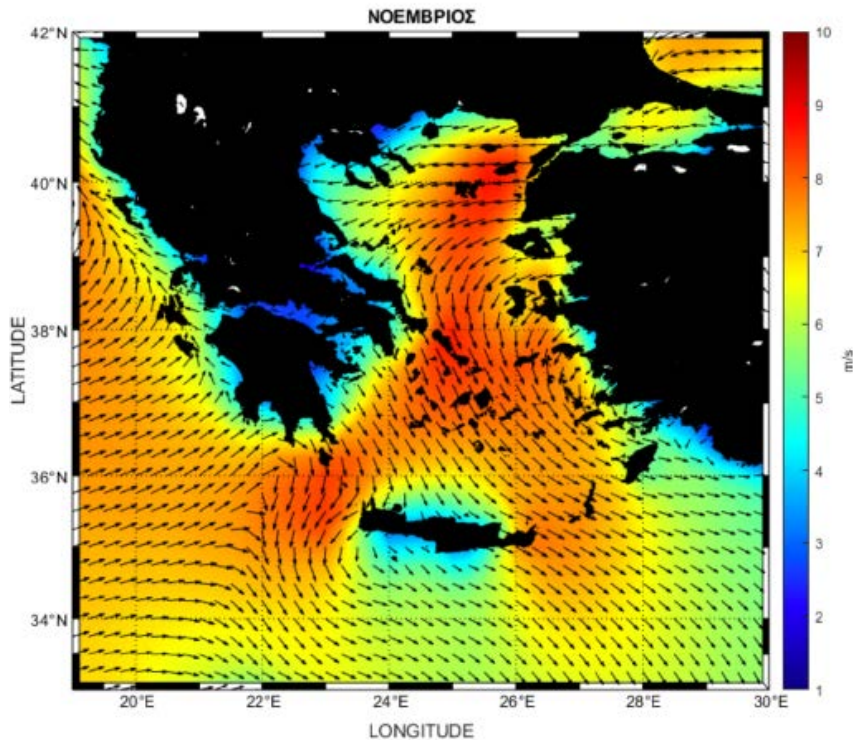
Κατά τη διάρκεια του Φθινοπώρου η χωρική κατανομή της μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες το Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο με εξαίρεση περιοχές Νοτιοανατολικά της Πελοποννήσου και του Βορειοανατολικού Αιγαίου. Τους δύο αυτούς μήνες παρατηρούνται τιμές μεγαλύτερες ή ίσες από 8 m/s στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου. Το Νοέμβριο παρατηρείται μια μεγαλύτερη ομοιομορφία των ταχυτήτων στις Ελληνικές θάλασσες, χαρακτηριστικά τόσο στο Αιγαίο όσο και στο Ιόνιο παρουσιάζονται μέσες ταχύτητες μεταξύ 7-8 m/s.



ΧΑΡΤΗΣ 5-11 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

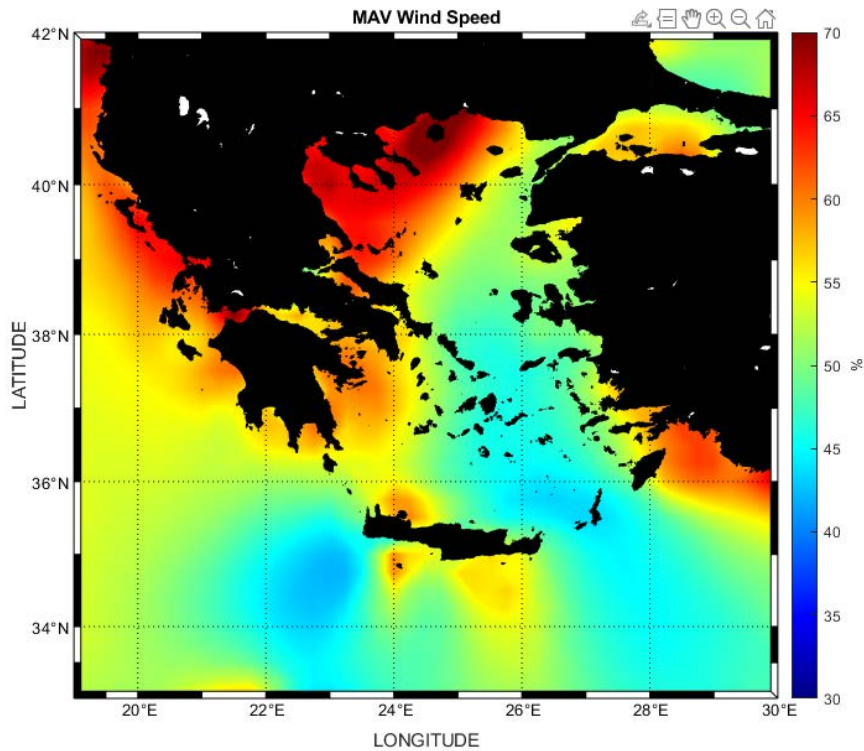


ΧΑΡΤΗΣ 5-12 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



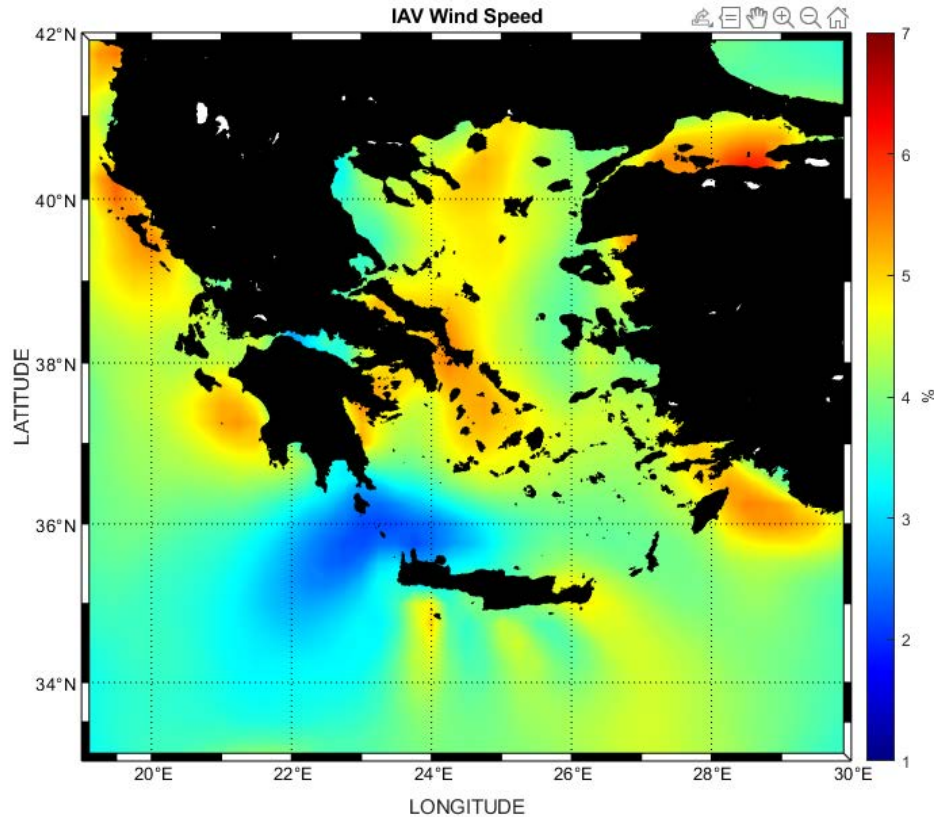
ΧΑΡΤΗΣ 5-13 ΤΑΧΥΤΗΤΑ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ

Ακολουθούν δύο χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν την ετήσια (MAV) και την υπερετήσια (IAV) μεταβλητότητα των ταχυτήτων του ανέμου. Με βάση και τα παραπάνω ευρήματα, οι τιμές που αποτυπώνονται για την ετήσια μεταβλητότητα είναι συνεπής. Στις περιοχές δηλαδή που εμφανίζεται το φαινόμενο των μελεμιών ο δείκτης της ετήσιας μεταβλητότητας είναι μικρός, μεταξύ 40-45% ενώ στις υπόλοιπες περιοχές ο αντίστοιχος δείκτης είναι αισθητά μεγαλύτερος, φτάνοντας μέχρι και 70%.



ΧΑΡΤΗΣ 5-14 ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΕΜΟΥ

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα ευρήματα για την υπερετήσια μεταβλητότητα. Οι τιμές της υπερετήσιας μεταβλητότητας που απεικονίζονται στον χάρτη που ακολουθεί είναι μικρές. Συγκεκριμένα στις ελληνικές θάλασσες δεν ξεπερνάνε το 5%. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν αφορούν περίοδο 20 χρόνων η οποία ταυτίζεται με τη μέση διάρκεια ζωής ενός ΘΑΠ οι τιμές αυτές της υπερετήσιας μεταβλητότητας είναι πολύ ικανοποιητικές καθώς η απόδοση ενός ΘΑΠ δεν θα διαφέρει σημαντικά από χρόνο σε χρόνο, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα της τελικής απόφασης για την κατασκευή του.

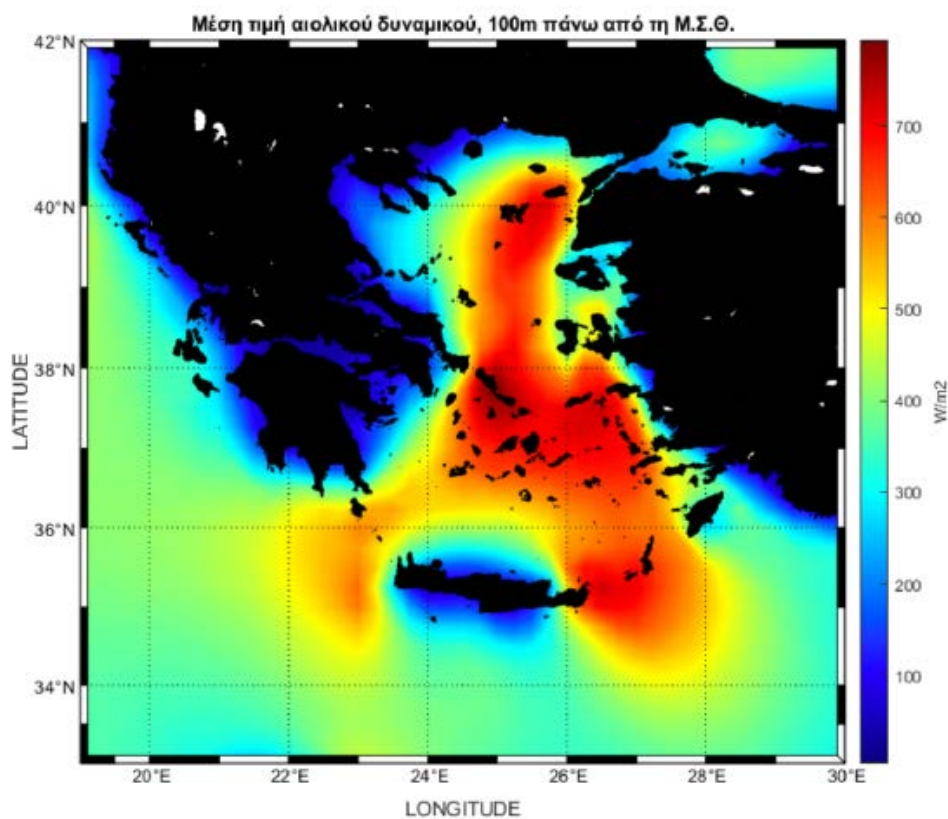


ΧΑΡΤΗΣ 5-15 ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ

### 5.3 Αιολικό Δυναμικό

Το αιολικό δυναμικό όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αποτελεί την ενέργεια στη μονάδα του χρόνου (ισχύς) η οποία εμπεριέχεται στην κίνηση του ανέμου. Η μονάδα μέτρησης του αιολικού δυναμικού αντιστοιχεί σε  $W/m^2$ . Στους χάρτες που ακολουθούν απεικονίζεται αρχικά η μέση τιμή του αιολικού δυναμικού για το σύνολο των μετρήσεων της 20ετίας, στη συνέχεια η μέση τιμή για κάθε μήνα του έτους ξεχωριστά και τέλος η ετήσια και η υπερετήσια μεταβλητότητα.

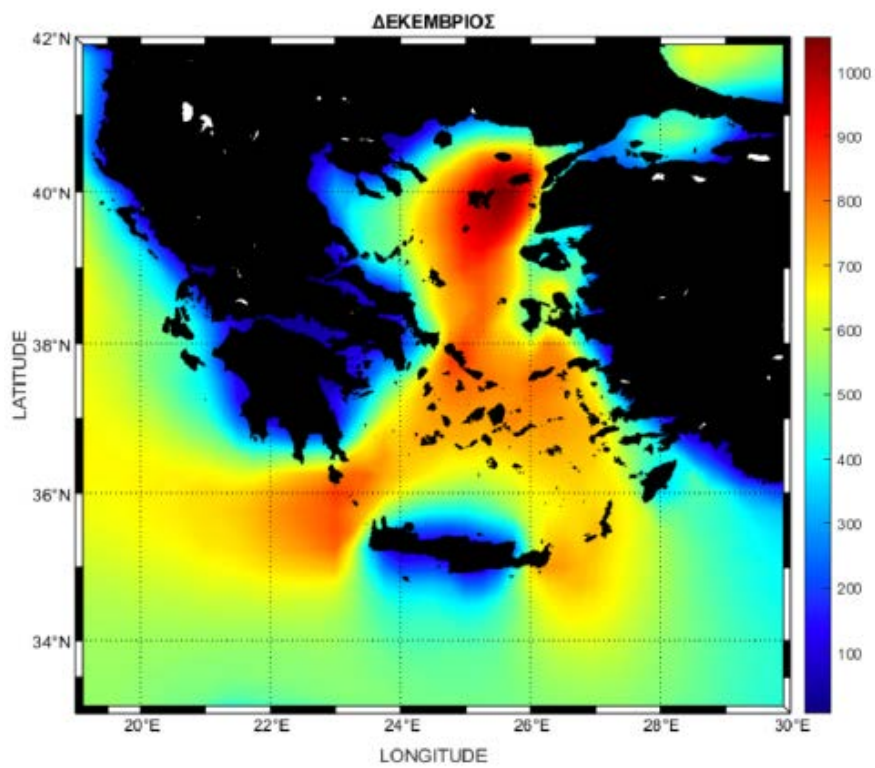
Στον πρώτο χάρτη που ακολουθεί παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές του αιολικού δυναμικού παρουσιάζονται στο κεντρικό Αιγαίο με τιμές που προσεγγίζουν ή και ξεπερνάνε τα  $700 W/m^2$ .



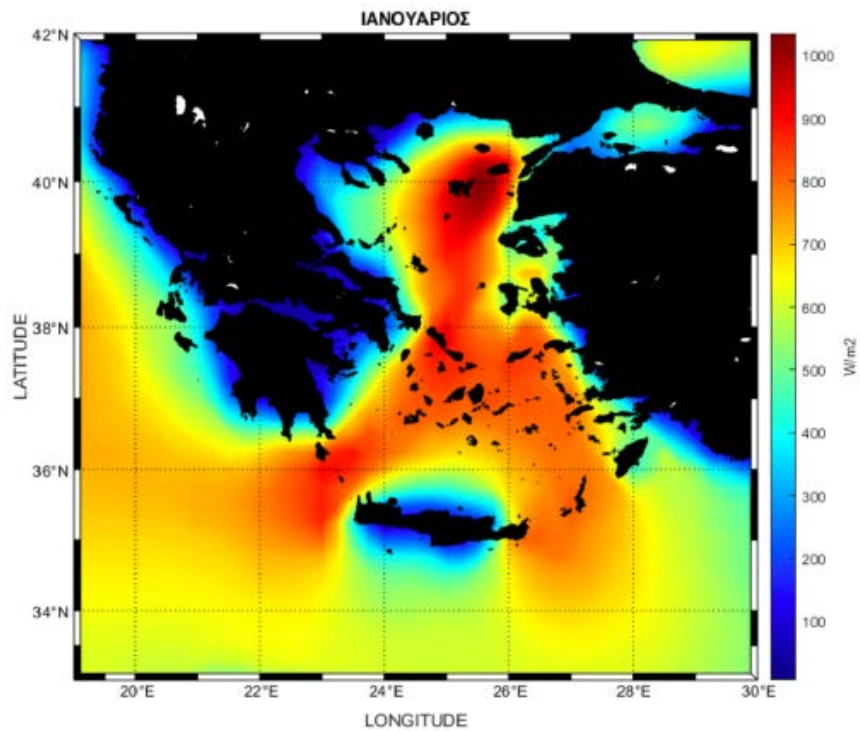
ΧΑΡΤΗΣ 5-16 ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του αιολικού δυναμικού για κάθε έναν από τους μήνες του έτους όπως έγινε και για τις ταχύτητες του ανέμου. Κατά τους χειμερινούς μήνες δεν παρουσιάζεται κάποια σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των μηνών. Οι τιμές του αιολικού δυναμικού είναι αρκετά υψηλές σε ολόκληρο το Αιγαίο Πέλαγος με την υψηλότερη να φτάνει και να ξεπερνά τα 1.000 W/m<sup>2</sup> στο Βορειοανατολικό Αιγαίο.

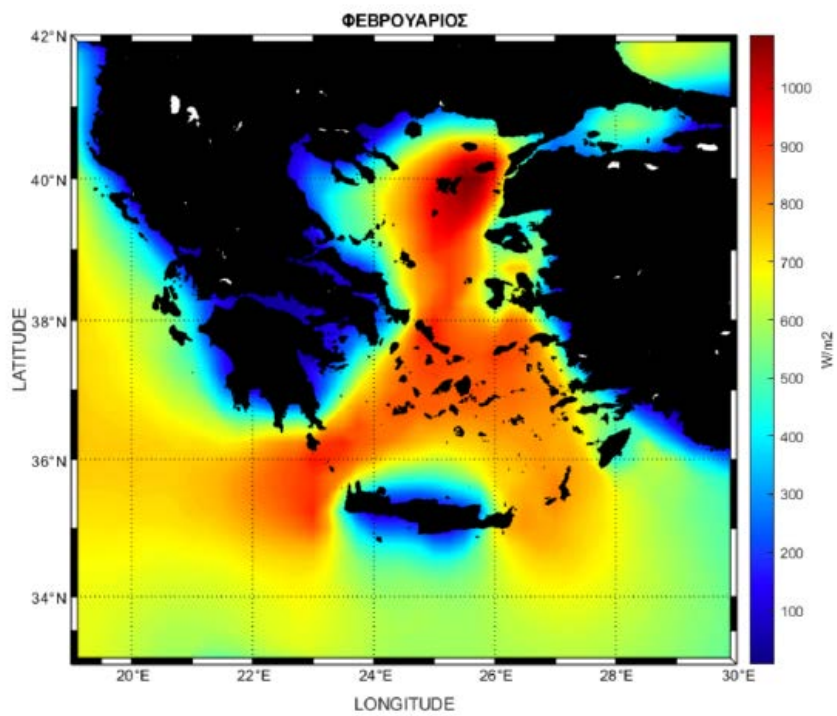




ΧΑΡΤΗΣ 5-17 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

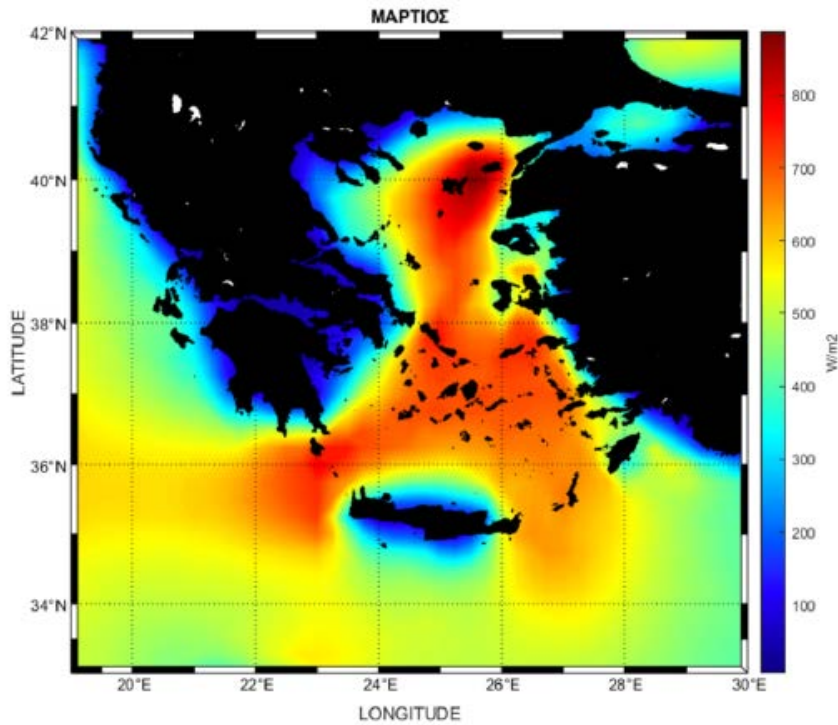


ΧΑΡΤΗΣ 5-18 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

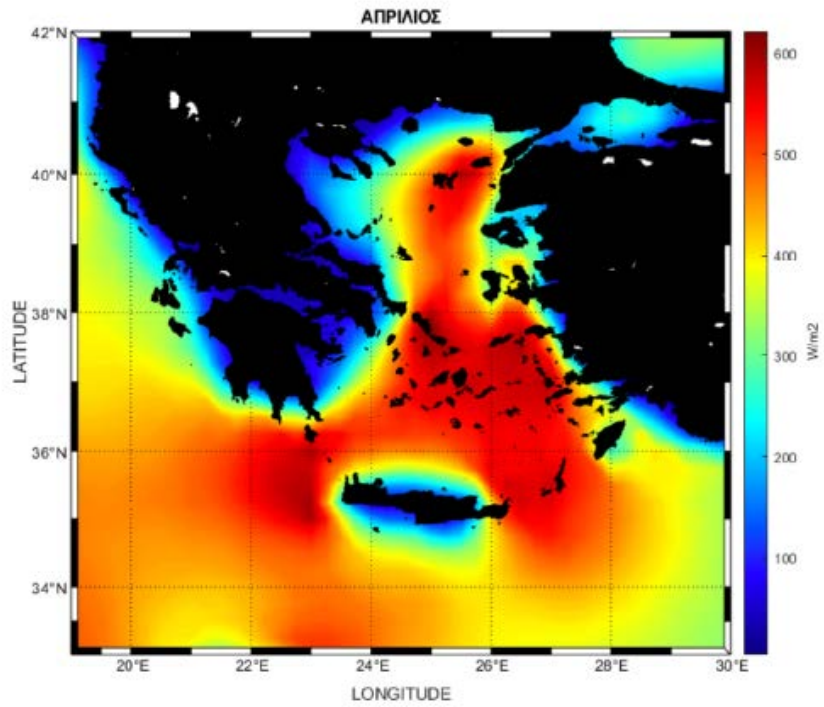


ΧΑΡΤΗΣ 5-19 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

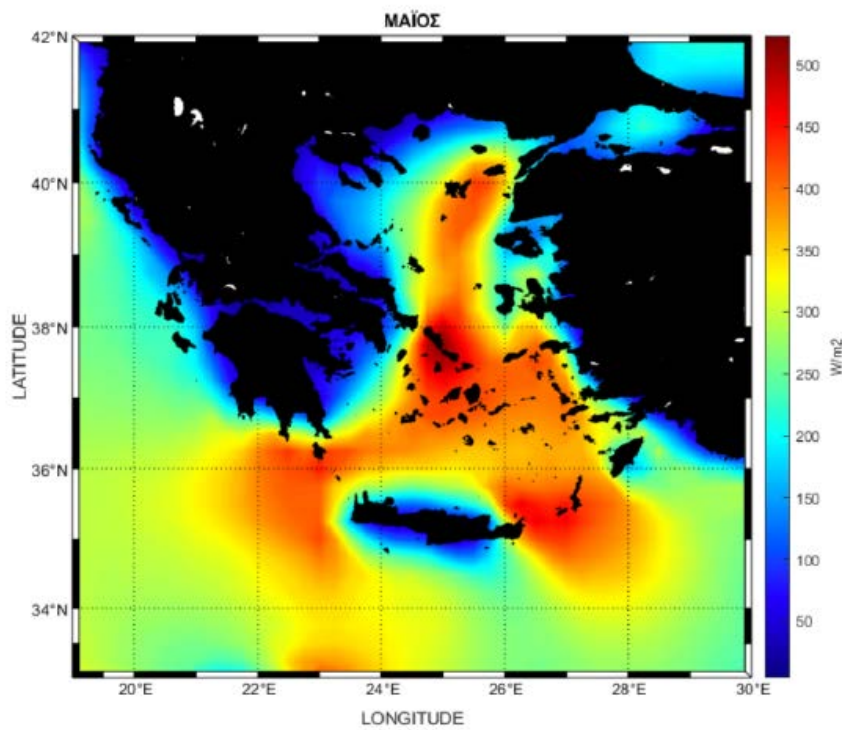
Στους επόμενους χάρτες παρουσιάζεται η μέση τιμή του αιολικού δυναμικού κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Παρατηρείται μια αισθητή πτώση σε σχέση με το χειμώνα ενώ οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται το Μάρτιο με τιμές που προσεγγίζουν ή και ξεπερνάνε τα  $800 \text{ W/m}^2$ . Τον Απρίλιο και το Μάιο οι τιμές είναι ακόμη χαμηλότερες που ξεπερνάνε ελάχιστα τα  $600$  και  $500 \text{ W/m}^2$  αντίστοιχα.



ΧΑΡΤΗΣ 5-20 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΑΡΤΙΟΣ

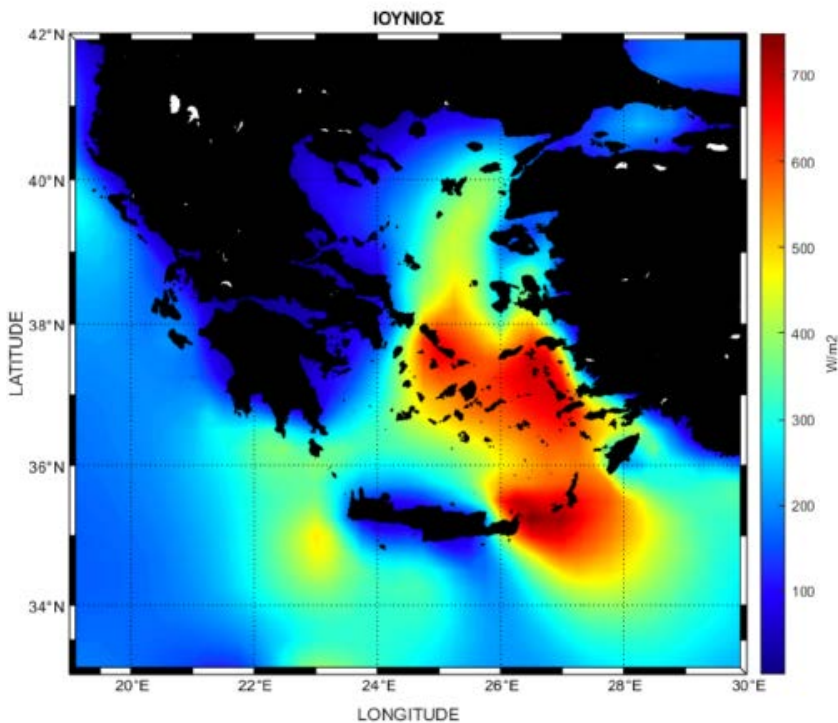


ΧΑΡΤΗΣ 5-21 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΠΡΙΛΙΟΣ

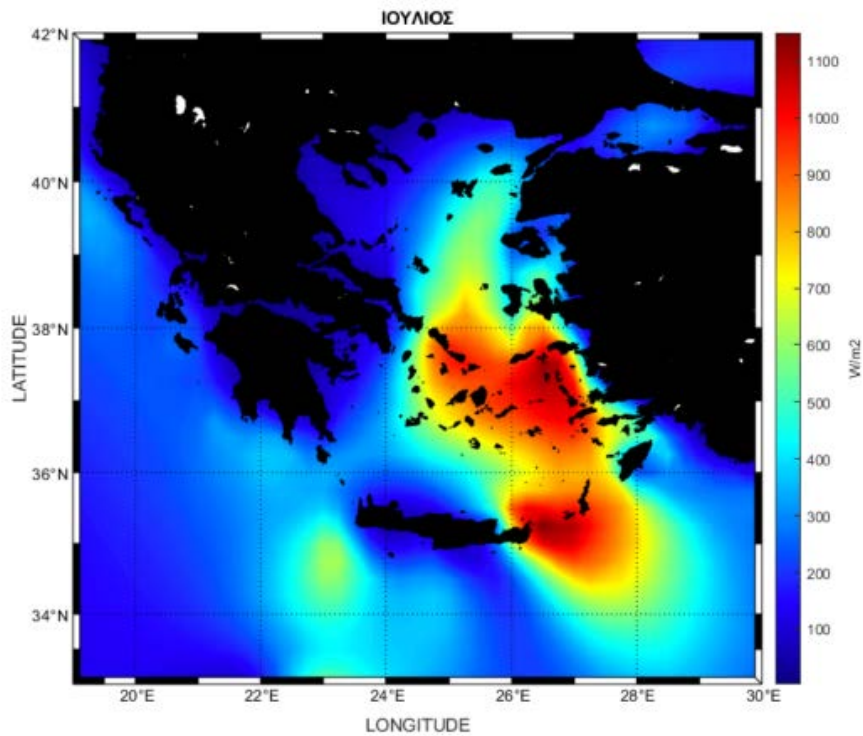


ΧΑΡΤΗΣ 5-22 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΑΪΟΣ

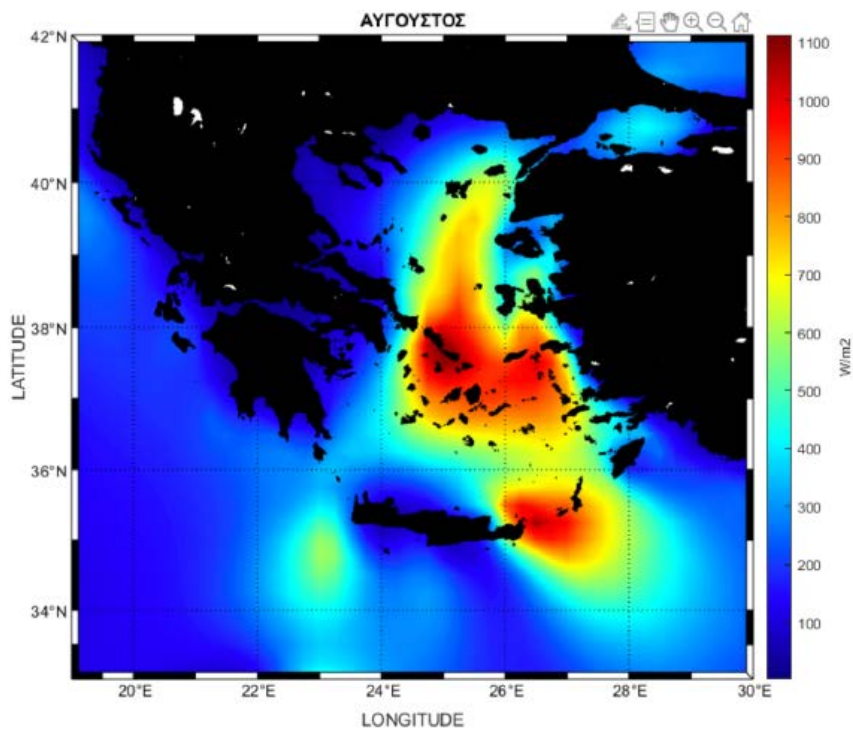
Κατά τους θερινούς μήνες η χωρική κατανομή της μέσης τιμής του αιολικού δυναμικού παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με τις αντίστοιχες τιμές για την αιολική ταχύτητα που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Γίνεται παράλληλα εμφανές και εδώ το φαινόμενο των μετεμίων και φαίνεται αρκετά ξεκάθαρα ο χώρος στον οποίο δημιουργείται. Πιο συγκεκριμένα στο κεντρικό Αιγαίο οι τιμές του αιολικού δυναμικού φτάνουν ή και ξεπερνάνε τα  $1000 \text{ W/m}^2$  ιδιαίτερα τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Στις υπόλοιπες περιοχές στις οποίες δεν εμφανίζονται τα μετέμια το αιολικό δυναμικό είναι σημαντικά χαμηλότερο και δεν ξεπερνά τα  $300 \text{ W/m}^2$ .



ΧΑΡΤΗΣ 5-23 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΟΥΝΙΟΣ

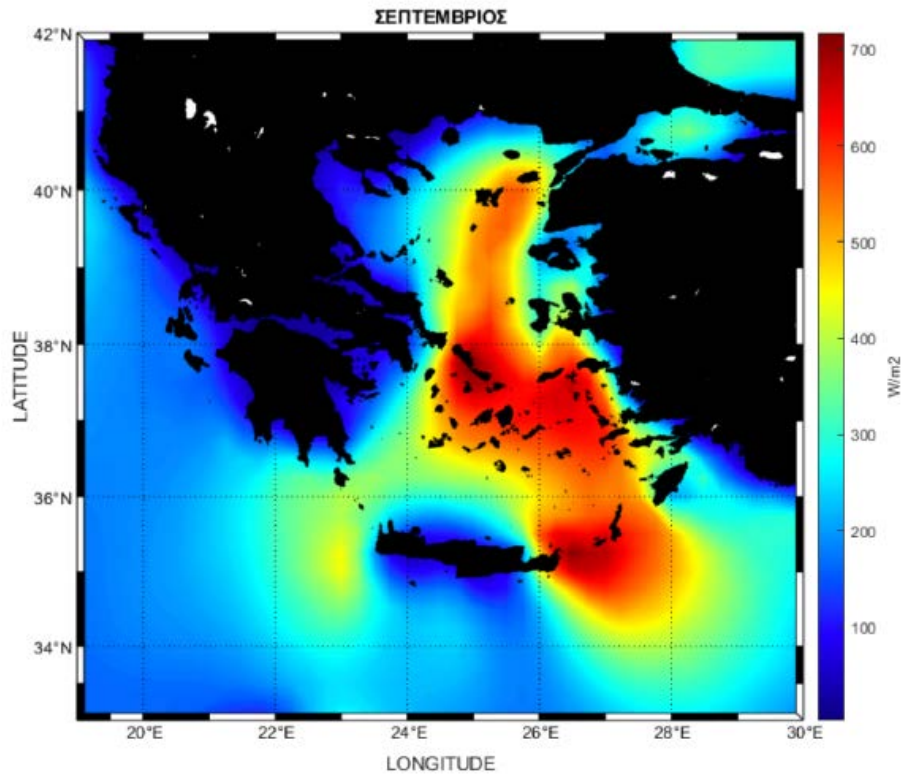


ΧΑΡΤΗΣ 5-24 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΟΥΛΙΟΣ

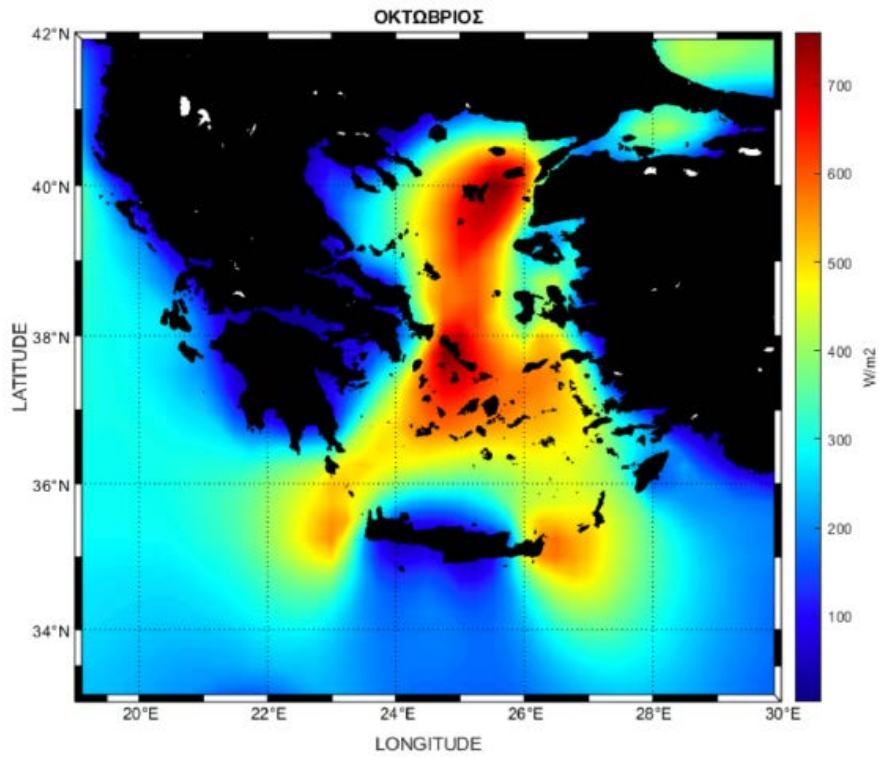


ΧΑΡΤΗΣ 5-25 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

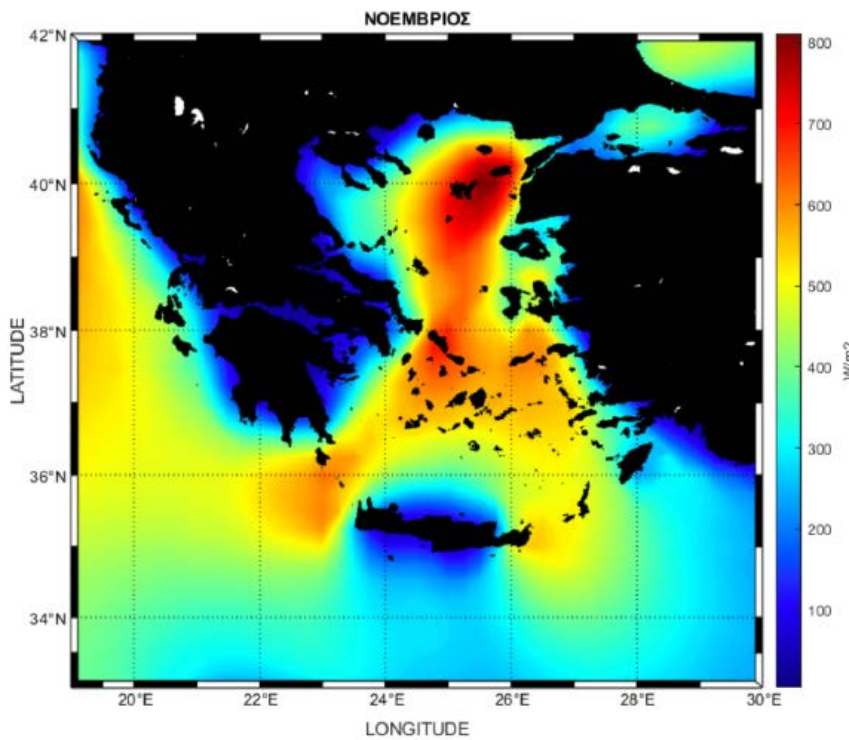
Σχετικά με το Φθινόπωρο οι υψηλότερες τιμές του αιολικού δυναμικού εμφανίζονται το Νοέμβριο όπου οι τιμές προσεγγίζουν τα  $800 \text{ W/m}^2$ . Καθ' όλη τη διάρκεια του Φθινοπώρου βέβαια οι τιμές για το αιολικό δυναμικό ξεπερνάνε τα  $600 \text{ W/m}^2$ .



ΧΑΡΤΗΣ 5-26 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ



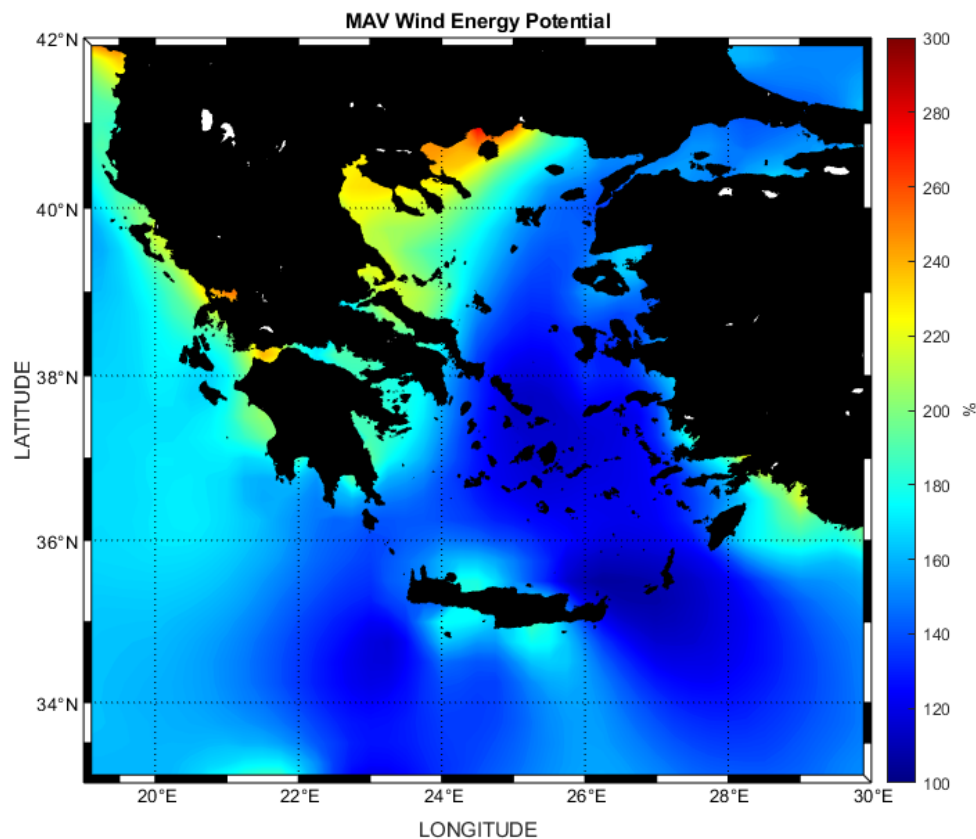
ΧΑΡΤΗΣ 5-27 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



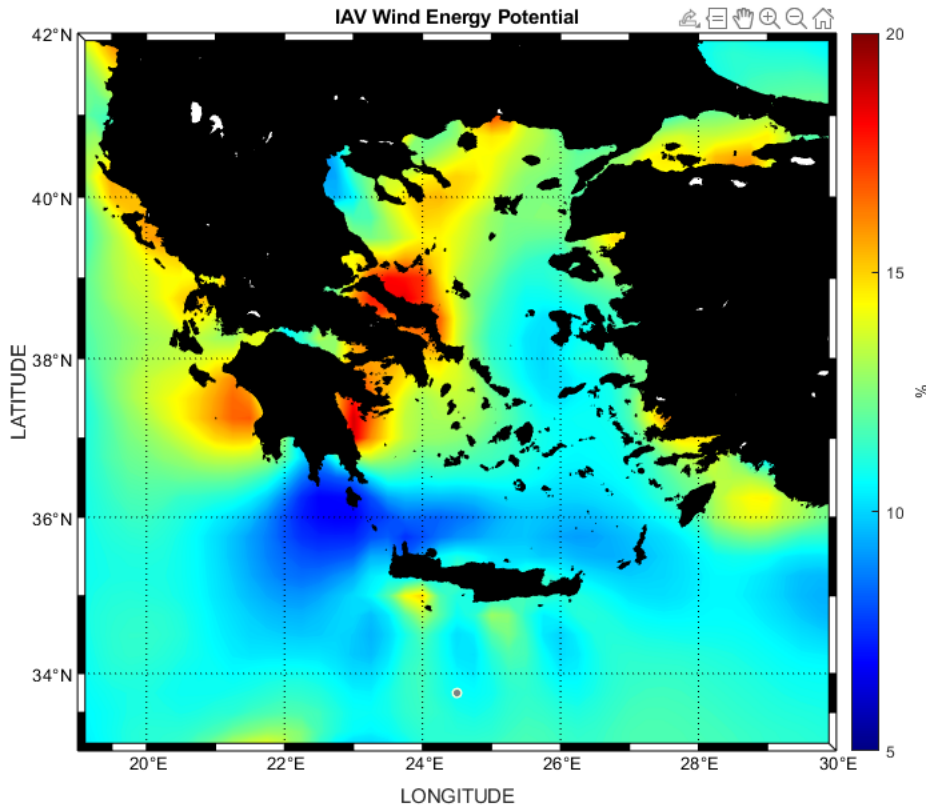
ΧΑΡΤΗΣ 5-28 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ



Οι δύο χάρτες που ακολουθούν απεικονίζουν την ετήσια (MAV) και την υπερετήσια μεταβλητότητα (IAV) του αιολικού δυναμικού. Όπως και με τις ταχύτητες του ανέμου οι δείκτες μεταβλητότητας του αιολικού δυναμικού επιβεβαιώνουν τα ευρήματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Ο δείκτης της ετήσιας μεταβλητότητας παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές του (100%) στη γεωγραφική έκταση που εμφανίζεται το φαινόμενο των μελτεμιών. Ενώ για την υπερετήσια μεταβλητότητα τα ευρήματα είναι αρκετά ενθαρρυντικά καθώς οι τιμές της δεν ξεπερνάνε στις περιοχές ενδιαφέροντος το 5% ενώ ιδιαίτερα ανατολικά της Κρήτης και μεταξύ Κρήτης Πελοποννήσου οι τιμές είναι ακόμη μικρότερες φτάνοντας μέχρι και 2%. Συνεπώς η μεταβολή του αιολικού δυναμικού από χρόνο σε χρόνο είναι τέτοια που δικαιολογεί την ανάπτυξη ΘΑΠ καθώς η απόδοση τους δεν θα μεταβάλλεται σημαντικά καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους.



ΧΑΡΤΗΣ 5-29 ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ



ΧΑΡΤΗΣ 5-30 ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

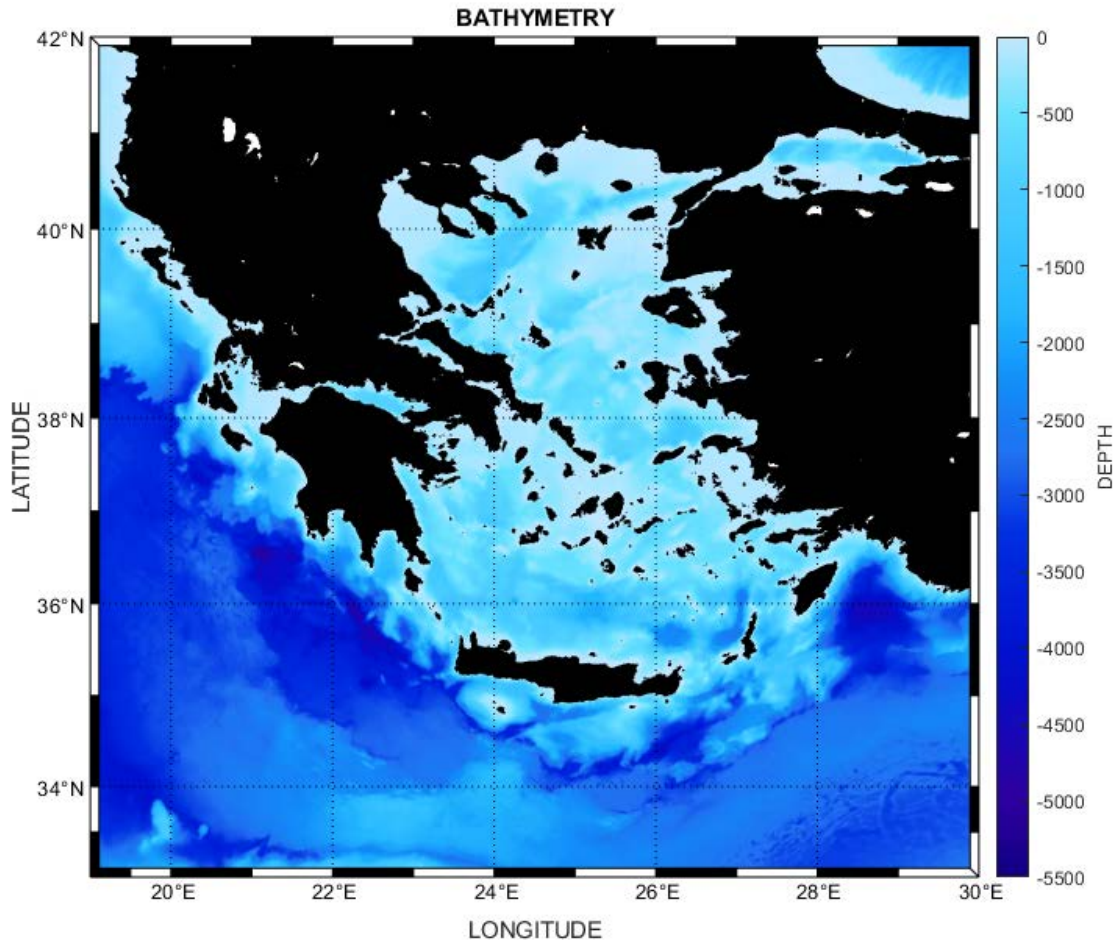
## 5.4 Γενικοί Περιορισμοί τοποθέτησης ΘΑΠ

Όπως έχει αναφερθεί και εισαγωγικά για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας θα εξεταστούν οι βασικότεροι από τους περιοριστικούς παράγοντες για την εγκατάσταση ΘΑΠ. Συγκεκριμένα εξετάστηκε η παράμετρος του βάθους, η παράμετρος της ελάχιστης απόστασης από την ακτή και η παράμετρος των θαλάσσιων συνόρων τα οποία στο ανατολικό Αιγαίο δεν ξεπερνάνε τα 6 ναυτικά μίλια.

### 5.4.1 Βάθος

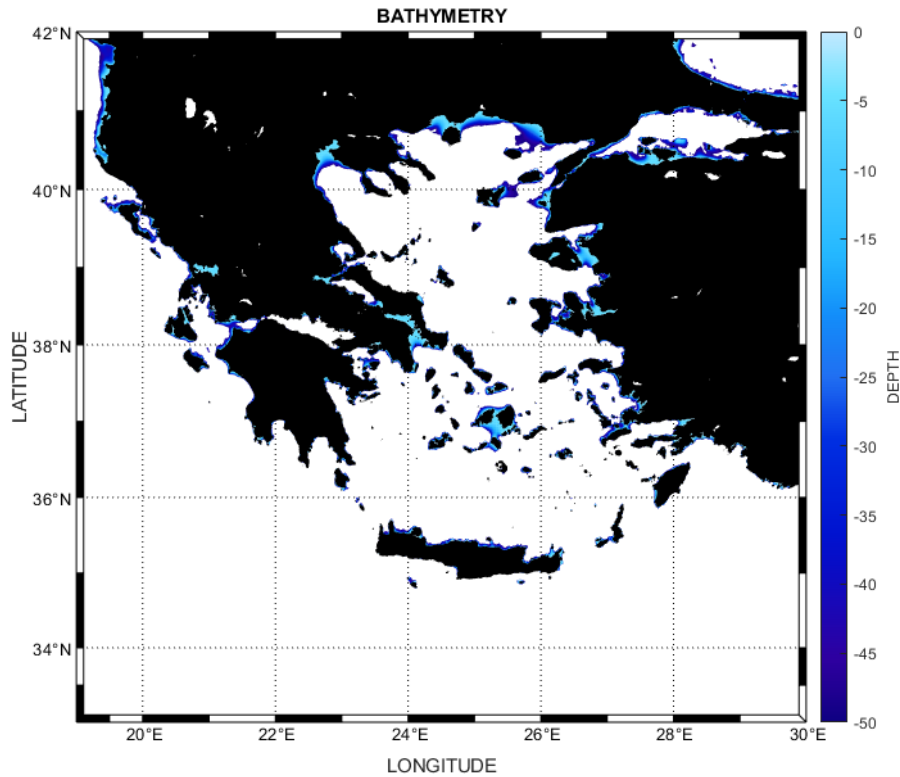
Με βάση όσα αναφέρθηκαν και παραπάνω το βάθος στο οποίο είναι εφικτή τεχνικά η εγκατάσταση μιας θαλάσσιας ΑΓ έχει δύο κατηγορίες. Η πρώτη αντιστοιχεί σε πακτωμένη στον πυθμένα ΑΓ η οποία μπορεί να εγκατασταθεί σε περιοχές όπου το

βάθος δεν ξεπερνά τα 50m και η δεύτερη αντιστοιχεί σε πλωτές ΑΓ οι οποίες αγκυρώνονται στον πυθμένα και μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές μέχρι 300m βάθος. Στον χάρτη που ακολουθεί παρουσιάζεται η βαθυμετρία γενικά των Ελληνικών θαλασσών και γίνεται εμφανές ότι μεγάλα βάθη αναπτύσσονται σε μικρές σχετικά αποστάσεις από την ακτή.



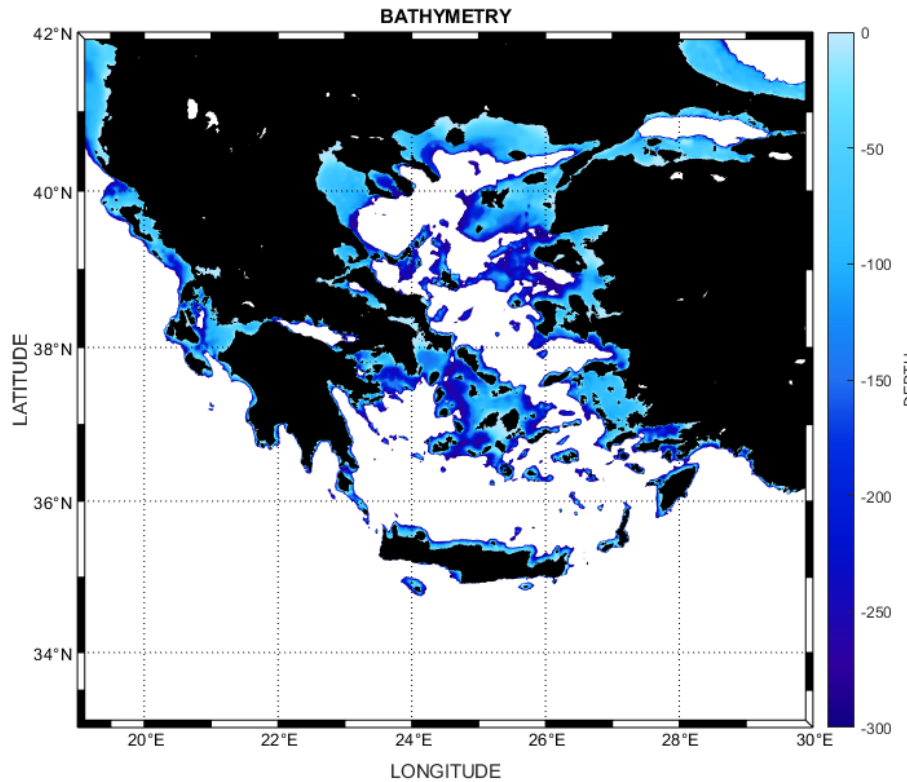
ΧΑΡΤΗΣ 5-31 ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΕΛΛΑΔΑΣ

Ακολουθεί ο χάρτης στον οποίο απεικονίζονται μόνο όσες περιοχές έχουν βάθος μικρότερο ή ίσο των 50m. Οι εν λόγω περιοχές είναι εξαιρετικά περιορισμένες σε κοντινές αποστάσεις σε σχέση με την ακτή. Επιβεβαιώνεται δηλαδή το συμπέρασμα και προηγούμενων αντίστοιχων ερευνών ότι για την ανάπτυξη ΘΑΠ στην Ελλάδα θα πρέπει να υιοθετηθεί η λύση των πλωτών ΑΓ.



ΧΑΡΤΗΣ 5-32 ΒΑΘΟΣ ΕΩΣ 50m

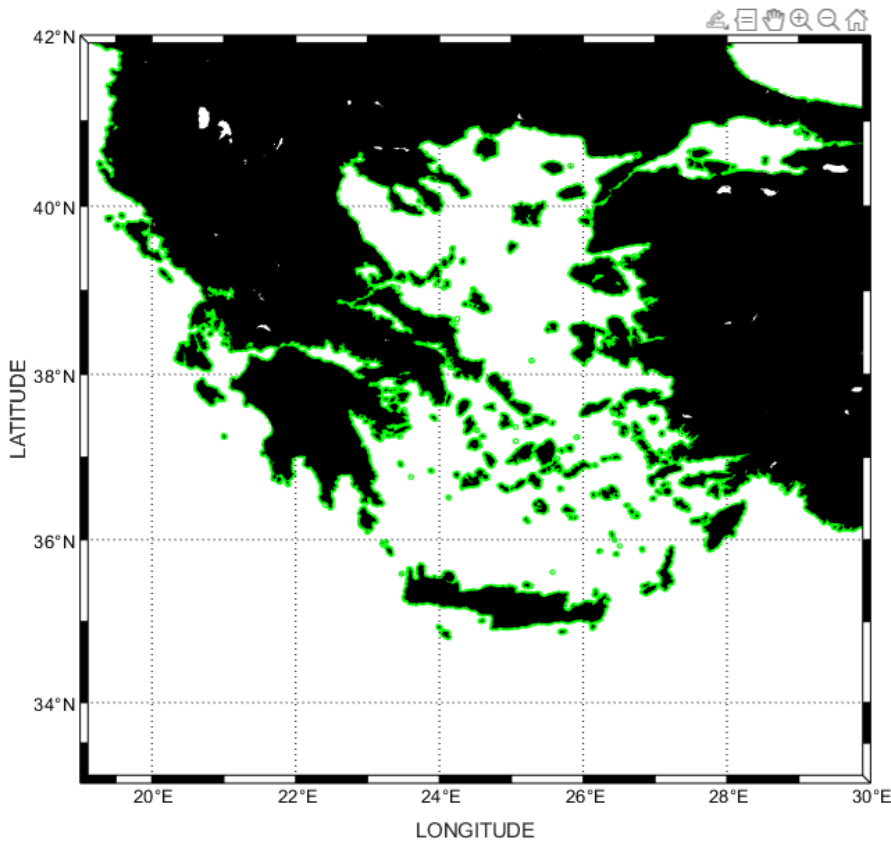
Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζονται μόνο όσες περιοχές έχουν βάθος μικρότερο ή ίσο των 300m. Η κατάσταση είναι αισθητά βελτιωμένη σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση των 50m. Υπάρχουν εκτεταμένες περιοχές και σε σχετικά μεγαλύτερες από την ακτή αποστάσεις οπότε και οι πιθανότητες να εντοπιστεί περιοχή που συγκεντρώνει και άλλα πλεονεκτήματα για την τοποθέτηση πλωτού ΘΑΠ είναι αρκετά περισσότερες. Σημειώνεται ακόμη ότι για το συγκεκριμένο βάθος υπάρχουν τεχνικές αγκύρωσης των ΑΓ σε πολύ ώριμο στάδιο εμπορικά.



ΧΑΡΤΗΣ 5-33 ΒΑΘΟΣ ΕΩΣ 300m

#### 5.4.2 Ελάχιστη απόσταση από την ακτή

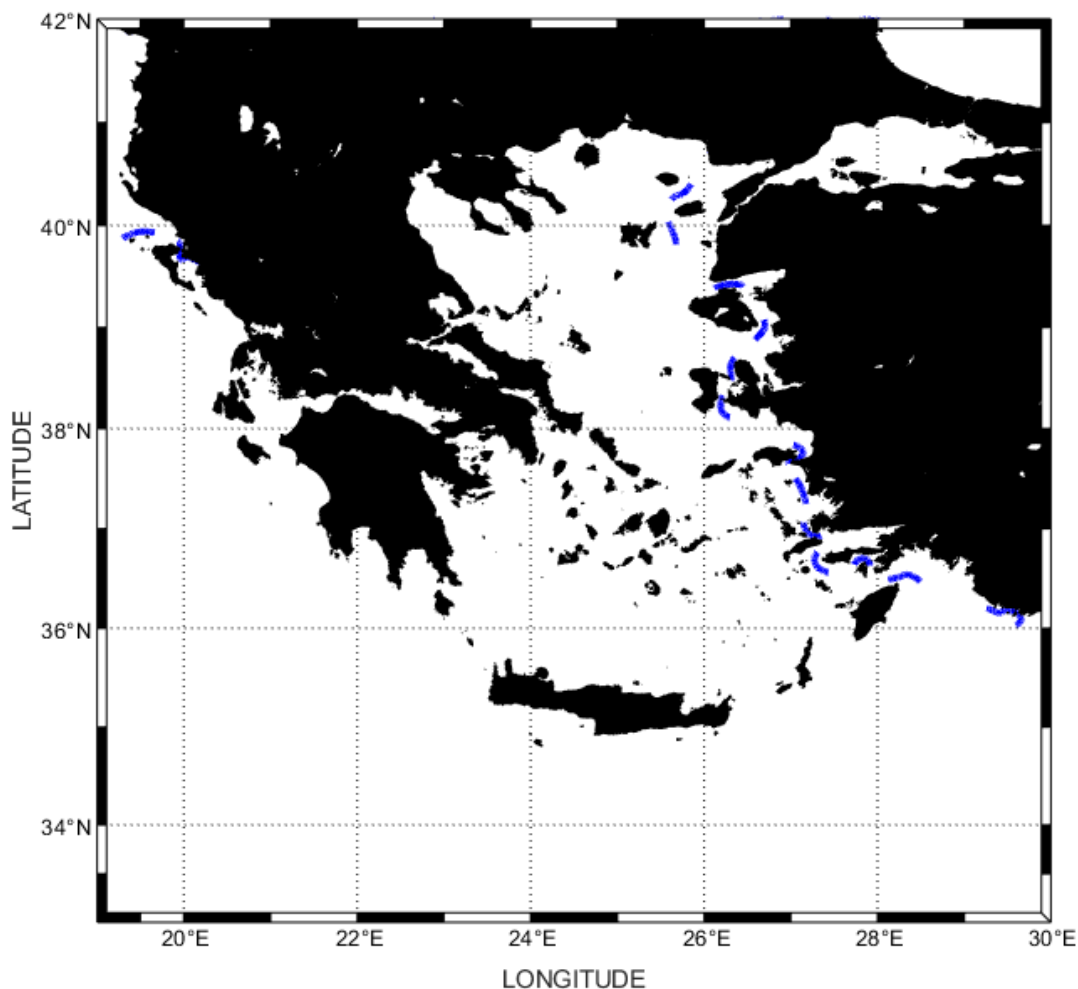
Αναφέρθηκε και σε προηγούμενα σημεία της διπλωματικής ότι είναι αδύνατη η τοποθέτηση ΘΑΠ σε απόσταση μικρότερη των 3 χλμ από την ακτή για τους προφανείς λόγους της οπτικής όχλησης και του θορύβου. Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκαν κύκλοι με πράσινο χρώμα σε κάθε σημείο που χρησιμοποιεί ο κώδικας για να σχεδιάσει την ακτογραμμή. Ακολουθεί το αποτέλεσμα.



ΧΑΡΤΗΣ 5-34 ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΑΚΤΗ > 3ΧΛΜ

#### 5.4.3 Θαλάσσια σύνορα

Όσον αφορά στα θαλάσσια σύνορα αποτυπώνεται με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια που διέθετε η βάση δεδομένων η οποία χρησιμοποιήθηκε με διακεκομμένη μπλε τεθλασμένη γραμμή η γραμμή των συνόρων Ανατολικά με την Τουρκία και σε μεμονωμένο σημείο Δυτικά με την Αλβανία. Ακολουθεί ο χάρτης στον οποίο υπάρχουν σημεία που η συνοριογραμμή διακόπτεται για μεγάλη απόσταση. Για το λόγο αυτό δεν θα ερευνηθούν οι εν λόγω περιοχές.

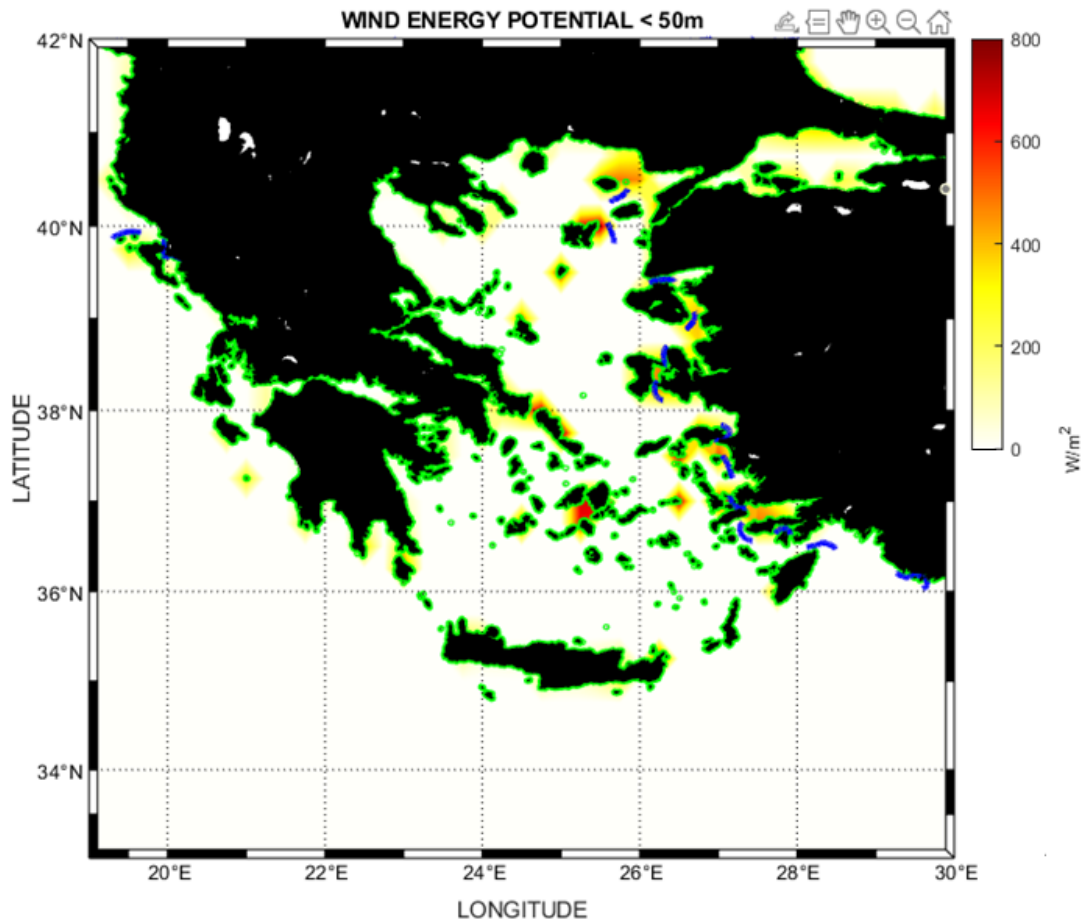


ΧΑΡΤΗΣ 5-35 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΣΥΝΟΡΑ

## 5.5 Τελικοί Χάρτες

Με βάση όλα τα παραπάνω προέκυψαν δύο χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν το αιολικό δυναμικό μόνο στις περιοχές που εξαιρούνται των παραπάνω περιορισμών. Ο πρώτος χάρτης απεικονίζει το αιολικό δυναμικό μόνο στις περιοχές με βάθος μικρότερο των 50m ενώ ταυτόχρονα απεικονίζονται οι αποκλεισμοί της απόστασης από την ακτή (πράσινο) και των συνόρων (μπλε). Οι περιοχές που προκύπτουν έπειτα από τους παραπάνω περιορισμούς είναι πολύ συγκεκριμένες, δηλαδή: Βόρεια της Σαμοθράκης Ανατολικά της Λήμνου, στενό του Καφηρέα μεταξύ Εύβοιας και Άνδρου και Ανατολικά της Άνδρου, η κοιλάδα που σχηματίζεται μεταξύ Πάρου, Αντιπάρου, Ίου και Σίκινου στις οποίες υπάρχει αξιόλογο αιολικό δυναμικό της τάξης των  $600 \text{ W/m}^2$ . Ενώ υπάρχουν και οι περιοχές: Περιμετρικά του Αγίου Ευστρατίου, Βόρεια – Βορειοανατολικά της Σκύρου,

μεταξύ Κυθήρων και Πελοποννήσου οι οποίες πληρούν τους περιορισμούς αλλά το αιολικό δυναμικό είναι χαμηλότερο, της τάξης των 300 W/m<sup>2</sup>.

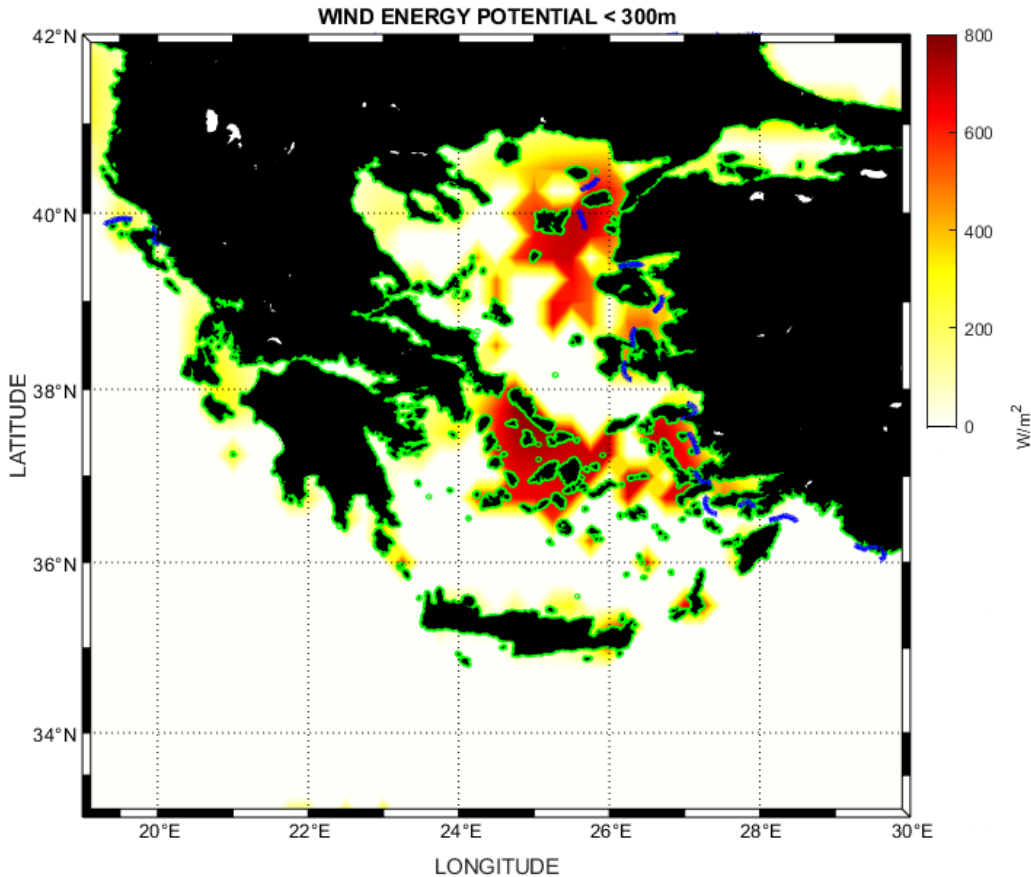


ΧΑΡΤΗΣ 5-36 ΤΕΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ < 50m ΒΑΘΟΣ

Για τη δεύτερη περίπτωση όπου εξετάζονται οι περιοχές με βάθος μέχρι 300m υπό τους περιορισμούς που εξετάστηκαν και παραπάνω. Οι περιοχές που προκύπτουν όπως απεικονίζονται και στον χάρτη που ακολουθεί αφορούν: το σύνολο των Κυκλάδων, σημαντικό μέρος του Βόρειου Αιγαίου, την περιοχή μεταξύ Λήμνου και Αγίου Ευστρατίου, Ανατολικά και Δυτικά του Αγίου Ευστρατίου, την περιοχή μεταξύ Ικαρίας – Πάτμου – Λέρου, την περιοχή μεταξύ Σάμου και Καλύμνου την περιοχή Νότια της Καρπάθου. Στις παραπάνω περιοχές το αιολικό δυναμικό παρουσιάζει σημαντικές τιμές φτάνοντας και τα 800 W/m<sup>2</sup> σε ορισμένες από αυτές. Θα γίνει εκτενής αναφορά και εξέταση στη συνέχεια της διπλωματικής για την περιοχή ανατολικά του Αγίου Ευστρατίου η οποία συγκεντρώνει αρκετές προϋποθέσεις για την πιθανή εγκατάσταση ΘΑΠ. Πέρα από το αρκετά ισχυρό μέσο αιολικό δυναμικό παίζουν σημαντικό ρόλο και οι



τιμές της μεταβλητότητας της ταχύτητας του ανέμου. Η ετήσια μεταβλητότητα κυμαίνεται μεταξύ 50 – 55% και η υπερετήσια μεταξύ 4-5%.

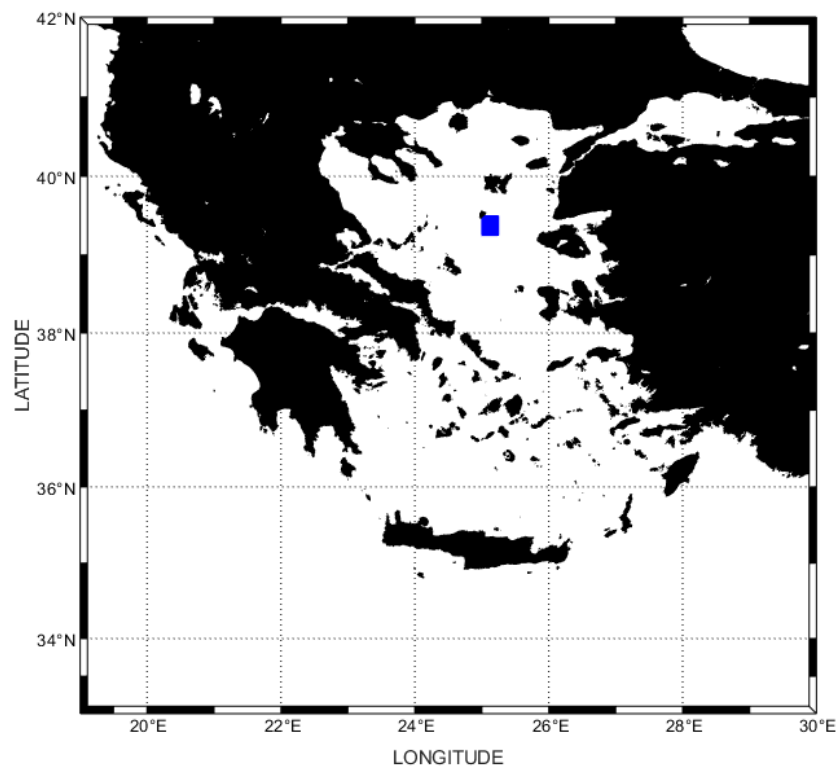


ΧΑΡΤΗΣ 5-37 ΤΕΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ <300 m

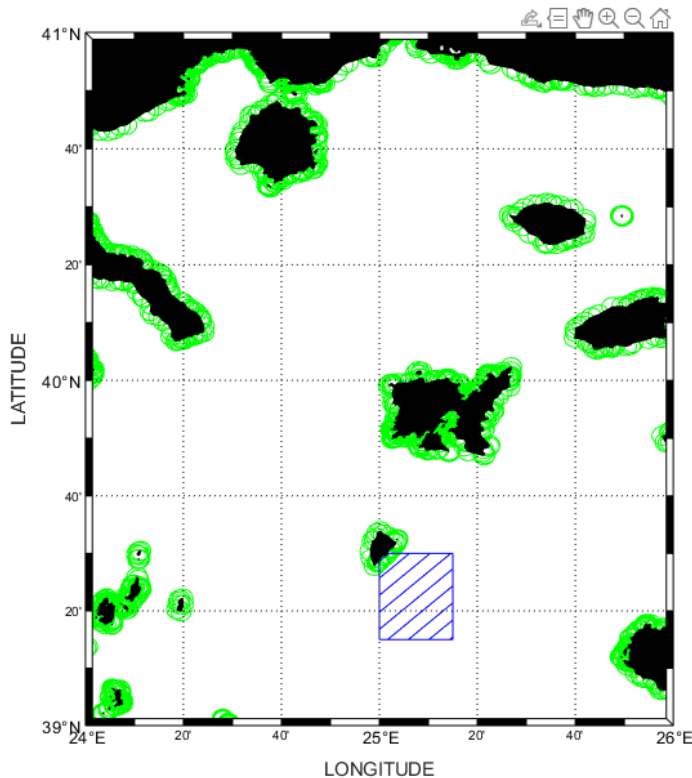
## 5.6 Προσεγγιστικός υπολογισμός απόδοσης αιολικού πάρκου

Με βάση τα παραπάνω θα υπολογιστεί προσεγγιστικά η απόδοση που θα μπορούσε να έχει ένα ΘΑΠ αποτελούμενο από τις ΑΓ αναφορές (RWT) οι οποίες παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.4 της παρούσας εργασίας. Η τοποθεσία που επιλέχθηκε είναι ΝΑ του Αγίου Ευστρατίου. Στην περιοχή αυτή όπως φαίνεται και στους χάρτες από το προηγούμενο εδάφιο της εργασίας αφενός το αιολικό δυναμικό είναι αρκετά έντονο (χάρτης 5.37). Αναφέρθηκε ακόμη ότι η μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου στη συγκεκριμένη περιοχή έχει αρκετά χαμηλές τιμές, ζήτημα που επηρεάζει θετικά την τοποθέτηση ΘΑΠ στη συγκεκριμένη περιοχή. Τα άκρα της θαλάσσιας έκτασης του δυνητικού ΘΑΠ θα είναι ξεκινώντας από το ΝΔ άκρο και ακολουθώντας δεξιόστροφη – ωρολογιακή φορά [39.25°-25°] , [39.50°-25°] , [39.50°-25.25°] , [39.25°-25.25°]. Τα άκρα της παραπάνω έκτασης

απεικονίζονται και στους δύο χάρτες που ακολουθούν. Στον πρώτο χάρτη φαίνεται η γενική τοποθεσία και στο δεύτερο μια περισσότερο λεπτομερής προσέγγιση.



ΧΑΡΤΗΣ 5-38 ΠΙΘΑΝΗ ΘΕΣΗ ΘΑΠ



ΧΑΡΤΗΣ 5-39 ΠΙΘΑΝΗ ΘΕΣΗ ΘΑΠ - ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Φαίνεται ότι το ΒΑ άκρο της έκτασης που επιλέχθηκε είναι πολύ κοντά στις ακτές του Αγίου Ευστρατίου εντός της ζώνης των 3 χλμ, ζήτημα που δεν είναι επιτρεπτό και θα σχολιαστεί στη συνέχεια. Το επόμενο βήμα στον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας που θα απέδιδε η εγκατάσταση ΘΑΠ στην παραπάνω περιοχή είναι η εύρεση του αριθμού των ΑΓ που μπορούν να τοποθετηθούν στη συγκεκριμένη έκταση.

Αρχικά θα πρέπει να υπολογιστεί το εμβαδό της έκτασης η οποία αναφέρεται παραπάνω. Είναι χρήσιμο για τους υπολογισμούς που θα γίνουν παρακάτω να αναφερθεί ότι στα ζεύγη γεωγραφικών συντεταγμένων ο πρώτος όρος είναι το γεωγραφικό πλάτος και ο δεύτερος το γεωγραφικό μήκος. Συνεπώς για την έκταση που μελετάμε οι διαστάσεις της με όρους γεωγραφικών συντεταγμένων είναι  $[0.25^\circ \times 0.25^\circ]$ , όπου  $0.25^\circ$  είναι οι μοίρες γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους. Για να μετατραπεί αυτή τη διαφορά γεωγραφικών συντεταγμένων σε μήκος, χρησιμοποιούμε τον τύπο του μήκους κυκλικού τόξου ακτίνας  $1^\circ$  που ακολουθεί:

$$\mu = \frac{\pi}{180^\circ} R$$

Για τη διαφορά γεωγραφικού πλάτους μίας μοίρας αρκεί να αντικατασταθεί η τιμή της ακτίνας της Γης αφού τα δύο γεωγραφικά πλάτη βρίσκονται πάνω στον ίδιο μεσημβρινό

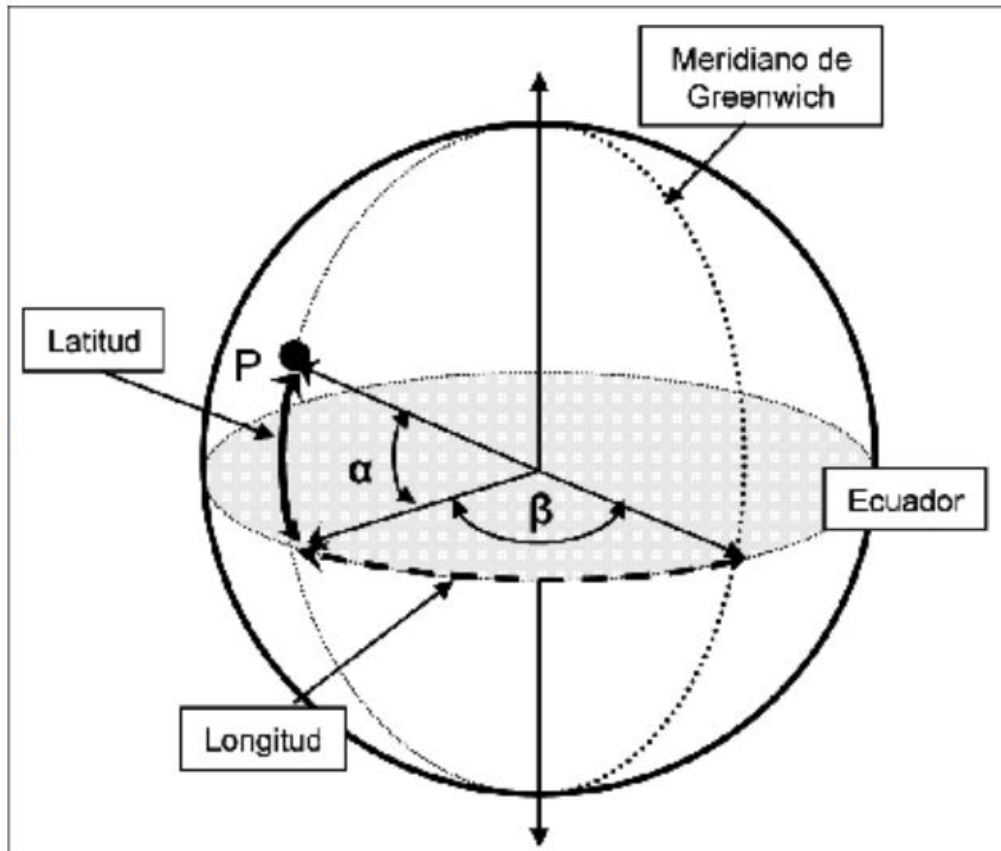
ο οποίος θεωρείται κύκλος, ακτίνας ίσης με την ακτίνα της Γης, σύμφωνα με τις αρχικές παραδοχές. Αντικαθιστώντας την ακτίνα της Γης (6.371 χλμ) προκύπτει ότι το μήκος για διαφορά πλάτους  $1^\circ$  ισούται με 111.2 χλμ. Στην περίπτωση που εξετάζουμε όπου η διαφορά πλάτους είναι  $0.25^\circ$  προκύπτει μήκος : 27.8 χλμ.

Για τη διαφορά γεωγραφικού μήκους παίζει ρόλο και το γεωγραφικό πλάτος που εξετάζεται αφού τα δύο μήκη βρίσκονται πάνω στον ίδιο παράλληλο ο οποίος όμως διαφέρει ανάλογα με πλάτος. Συνεπώς για να βρεθεί το μήκος του κυκλικού τόξου που αντιστοιχεί σε δεδομένη διαφορά γεωγραφικού μήκους θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε και με το συνημίτονο του γεωγραφικού πλάτους. Δηλαδή για την περίπτωση διαφοράς γεωγραφικού μήκους ισχύει:

$$\mu = \frac{\pi}{180^\circ} R \cos \varphi$$

Όπου  $\varphi$  το γεωγραφικό πλάτος. Για την περίπτωση που εξετάζουμε θα κάνουμε την παραδοχή ότι το γεωγραφικό πλάτος και στις δύο οριζόντιες πλευρές του θαλάσσιου οικοπέδου είναι ίσο με τον μέσο όρο των γεωγραφικών πλατών των δύο πλευρών. Δηλαδή θα πάρουμε γεωγραφικό πλάτος ίσο με  $39.375^\circ$ . Άρα η απόσταση για διαφορά γεωγραφικού μήκους μίας μοίρας θα είναι 85.95 χλμ. Στην περίπτωση που μελετάμε στην οποία η διαφορά γεωγραφικού μήκους είναι  $0.25^\circ$  η απόσταση θα είναι 21.49 χλμ.

Τα παραπάνω αποτυπώνονται και στον χάρτη που ακολουθεί (INTRODUCCIÓN A LA CARTOGRAFÍA, 2022):



Εικόνα 5-1 Διαφορά Γεωγραφικών Συντεταγμένων. (INTRODUCCIÓN A LA CARTOGRAFÍA, 2022)

Συμπερασματικά η έκταση η οποία θα εξεταστεί στην κατακόρυφη της διάσταση (γεωγραφικό πλάτος) έχει 27.8 χλμ μήκος και στην οριζόντια της διάσταση (γεωγραφικό πλάτος) έχει 21.49 χλμ μήκος. Χάρην απλοποίησης των υπολογισμών και για να απομακρυνθεί το θαλάσσιο οικόπεδο από την ακτή του Αγίου Ευστρατίου την οποία προσεγγίζει όπως φαίνεται στο χάρτη 5.39 θα θεωρήσουμε τις διαστάσεις του οικοπέδου 20x20 χλμ, οπότε προκύπτει εμβαδό 400 χλμ<sup>2</sup>.

Σχολιάστηκε και παραπάνω στο κεφάλαιο 2.3 ότι οι ΑΓ οριζόντιου άξονα δημιουργούν έντονο στροβιλισμό ο οποίος επιδρά καθοριστικά στην ελάχιστη απόσταση που μπορούν να έχουν οι ΑΓ μεταξύ τους εντός του ίδιου αιολικού πάρκου. Το βασικότερο από τα χαρακτηριστικά της ΑΓ αναφοράς (τα οποία παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.4.) που καθορίζει την ελάχιστη απόσταση που μπορούν να έχουν μεταξύ τους δύο ΑΓ συνεπώς και το μέγιστο πλήθος που δύναται να εγκατασταθεί σε δοσμένη έκταση είναι η διάμετρος του ρότορα η οποία στην περίπτωση που εξετάζεται αντιστοιχεί σε 178.3m. Υπάρχει ολόκληρο πεδίο έρευνας που μελετά τη βελτιστοποίηση της τοποθέτησης των ΑΓ με στόχο των μέγιστη δυνατή απόδοση ενός αιολικού πάρκου. Δεν υπάρχει δηλαδή κάποια συγκεκριμένη φόρμουλα που ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις. Στην πράξη συνήθως η τοποθέτηση - διάρθρωση των ΑΓ γίνεται ανά περίπτωση. Παρόλ' αυτά

υπάρχει ένας εμπειρικός κανόνας που επιβεβαιώνεται στις περισσότερες των περιπτώσεων και ορίζει ότι οι ΑΓ απέχουν μεταξύ τους 8-12 φορές το μέγεθος της διαμέτρου τους. (Hou, P., Zhu, J., MA, K. et al., 2019)

Για την περίπτωση που εξετάζουμε θα θεωρήσουμε ότι οι ΑΓ θα απέχουν μεταξύ τους απόσταση ίση με 10 φορές τη διάμετρο τους δηλαδή 1.783m. Χάριν απλοποίησης και με δεδομένο ότι σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να κάνει μια πρώτη προσέγγιση της παραγόμενης ενέργειας θεωρώ ότι η απόσταση μεταξύ δύο ΑΓ θα είναι 2χλ. Δημιουργώντας έναν τετραγωνικό κánaβο με πλευρά 20χλμ και διαμέριση 2 χλμ και στις δύο πλευρές προκύπτει ότι ο αριθμός των ΑΓ που θα μπορούσε να τοποθετηθεί αντιστοιχεί σε 121 ΑΓ.

Με βάση τα παραπάνω και με δεδομένη την καμπύλη ισχύος της ΑΓ αναφοράς θα υπολογιστεί η παραγόμενη ενέργεια του πιθανού ΘΑΠ. Με βάση τις τιμές των ταχυτήτων ανέμου της εικοσαετίας 2000 -2019 θα υπολογιστεί η μέση ενεργειακή απόδοση ανά χρόνο αλλά και η συνολική απόδοση στο βάθος της εικοσαετίας η οποία ταυτίζεται και με τη διάρκεια ζωής του πιθανού ΘΑΠ.

Για να γίνει ο παραπάνω υπολογισμός θα βρεθούν οι τιμές των ταχυτήτων της εικοσαετίας 2000-2019 σε κεντρικό σημείο του θαλάσσιου οικοπέδου ώστε να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός για μια πρώτη προσέγγιση της παραγόμενης ενέργειας από το σύνολο των ΑΓ που δύναται να εγκατασταθούν. Το σημείο που επιλέχθηκε είναι το [39.40°, 25.30°] το οποίο είναι στο μέσο περίπου του θαλάσσιου οικοπέδου προς εξέταση. Οι τιμές των ταχυτήτων ανακτήθηκαν εκ νέου από τη βάση δεδομένων ERA5 καθώς ο αρχικός κánaβος με τη διαμέριση των 0.25° δεν περιείχε το ζητούμενο σημείο. Έγινε ακόμη η παραδοχή ότι η απόδοση της ΑΓ που θα τοποθετηθεί κοντά στο κεντρικό σημείο ταυτίζεται με την απόδοση όλων των ΑΓ που θα τοποθετηθούν συνολικά (αγνοούνται δηλαδή απώλειες λόγω στροβιλισμών). Συνεπώς θα βρεθεί η απόδοση μίας ΑΓ η οποία θα πολλαπλασιαστεί με το πλήθος των ΑΓ για να υπολογιστεί η συνολική απόδοση του αιολικού πάρκου.

Στη συνέχεια αξιοποιήθηκε η καμπύλη ισχύος της ΑΓ αναφοράς από το κεφάλαιο 4.4. ώστε να αντιστοιχηθεί κάθε τιμή της ωριαίας ταχύτητας του κεντρικού σημείου με την αποδιδόμενη ισχύ της ΑΓ. Η δοσμένη καμπύλη ισχύος της ΑΓ δίνει τιμές αποδιδόμενης ισχύος μόνο για ακέραιες ταχύτητες ανέμου. Για να μπορέσει να υπολογιστεί η παραγόμενη ενέργεια έγινε πύκνωση των τιμών της καμπύλης ισχύος ώστε να δίδονται τιμές ισχύος για ταχύτητες ανέμου που περιέχουν έως δύο δεκαδικά ψηφία. Η πύκνωση των τιμών έγινε με τη μέθοδο της πολυωνυμικής παρεμβολής τρίτου βαθμού για ταχύτητες ανέμου από 4 m/s έως και 20 m/s και με γραμμική παρεμβολή για ταχύτητες μεγαλύτερες των 20 m/s έως και τα 25 m/s όπου και σταματάει η λειτουργία της ΑΓ. Θεωρήθηκε ακόμη ότι οι τιμές της ωριαίας ταχύτητας παραμένουν αμετάβλητες για τη διάρκεια της μίας ώρας έως την επόμενη μέτρηση. Συμπερασματικά για να υπολογιστεί η παραγόμενη ενέργεια αρκεί να αθροιστούν οι τιμές της αποδιδόμενης ισχύος που

αντιστοιχούν στις ωριαίες ταχύτητες. Με το δεδομένο που αναφέρθηκε και παραπάνω ότι οι ωριαίες ταχύτητες παραμένουν αμετάβλητες για χρονική διάρκεια μίας ώρας η αποδιδόμενη ισχύς από την καμπύλη ισχύος της ΑΓ η οποία δίνεται σε KW αντιστοιχεί σε παραγόμενη ενέργεια με μονάδες μέτρησης KWh.

Με βάση όλα τα παραπάνω και τους υπολογισμούς που έγιναν προκύπτει ότι η απόδοση ΑΓ τοποθετημένης στο κέντρο του θαλάσσιου οικοπέδου θα απέδιδε  $8,6907 \times 10^8$  kWh στη διάρκεια της εικοσαετίας. Για το σύνολο του αιολικού πάρκου (121 ΑΓ) προκύπτει παραγόμενη ενέργεια ίση με  $1.051,57 \times 10^8$  kWh ή  $105 \times 10^3$  GWh σε όλη τη διάρκεια ζωής του. Η μέση τιμή της αποδιδόμενης ενέργειας στη διάρκεια ενός χρόνου θα είναι ίση με  $5,25 \times 10^3$  GWh. Σημειώνεται ακόμη ότι το αιολικό πάρκο θα λειτουργεί το 81% του συνολικού χρόνου της εικοσαετίας. Δηλαδή το 81% των ταχυτήτων της χρονοσειράς βρίσκεται μεταξύ 4 – 25 m/s που είναι και οι οριακές τιμές για τις οποίες λειτουργεί η ΑΓ αναφοράς.

## 6 Συμπεράσματα Προτάσεις

### 6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη έγινε στατιστική ανάλυση του ανεμολογικού καθεστώτος στις Ελληνικές θάλασσες για την εικοσαετία 2000 – 2019 με σκοπό να προσδιοριστούν οι βέλτιστες τοποθεσίες για την κατασκευή ΘΑΠ. Το βασικό δεδομένο που εξετάστηκε ήταν οι ταχύτητες του ανέμου στο γεωγραφικό χώρο με άκρα:  $[42^\circ - 33^\circ]$  γεωγραφικό πλάτος και  $[19^\circ - 30^\circ]$  γεωγραφικό μήκος ο οποίος περικλείει ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο. Οι χρονοσειρές των ταχυτήτων αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων ERA 5 του οργανισμού ECMWF στην πυκνότερη διαθέσιμη χρονική και χωρική ανάλυση. Το χρονικό βήμα είναι μία ώρα και το χωρικό  $0.25^\circ$  γεωγραφικές μοίρες. Πέρα από την ταχύτητα του ανέμου η οποία αντλήθηκε απευθείας από τη βάση δεδομένων υπολογίστηκε και η ισχύς που προκύπτει από δοσμένη ταχύτητα (αιολικό δυναμικό). Για να ολοκληρωθεί η εικόνα του ανεμολογικού καθεστώτος υπολογίστηκαν ακόμη η μέση τιμή των δύο μεγεθών (ταχύτητα και αιολικό δυναμικό) όπως επίσης και η ετήσια και υπερετήσια μεταβλητότητα που τα χαρακτηρίζει. Τα δύο τελευταία είναι μεγέθη που παίζουν αποφασιστικό ρόλο στην τελική απόφαση για την κατασκευή ΘΑΠ και ειδικά με βάση τη διάρκεια ζωής του αιολικού πάρκου (εικοσαετία) η οποία ταυτίζεται με τη διάρκεια των μετρήσεων.

Συνυπολογίστηκαν ακόμη και οι γενικοί περιορισμοί για την τοποθέτηση του πιθανού ΘΑΠ. Για το βάθος έγινε κατηγοριοποίηση δύο ειδών. Τις περιοχές που έχουν βάθος μέχρι 50m και στις οποίες είναι εφικτό να τοποθετηθούν μονοπάσσαλες ΑΓ οι οποίες πακτώνονται στο θαλάσσιο πυθμένα και τις περιοχές με βάθος έως και τα 300m στις

οποίες μπορούν να τοποθετηθούν πλωτές ΑΓ οι οποίες αγκυρώνονται στον πυθμένα. Λήφθηκε ακόμη υπ' όψη η απόσταση από την ακτή η οποία δεν μπορεί να είναι μικρότερη των 3 χλμ. Τέλος έγινε αναφορά και στα θαλάσσια σύνορα ειδικά στο Ανατολικό Αιγαίο στο οποίο αυτή τη στιγμή είναι στα 6 νμ.

Με βάση τα παραπάνω σχεδιάστηκαν οι χάρτες με τη χρήση του λογισμικού «MATLAB» και με τη βοήθεια της ελεύθερα προσβάσιμης βιβλιοθήκης «m\_map» (Pawlowicz, 2020). Οι δύο τελικοί χάρτες απεικονίζουν όλους τους παραπάνω περιορισμούς και το αιολικό δυναμικό μόνο στις περιοχές εξαιρούνται των περιορισμών. Οι χάρτες αυτοί είναι δύο, ο πρώτος για τα μικρότερη βάθη και ο δεύτερος για τα μεγαλύτερα. Για την πρώτη περίπτωση προέκυψαν οι περιοχές: 1.) Βόρεια της Σαμοθράκης 2.) Ανατολικά της Λήμνου 3.) Μεταξύ Εύβοιας και Άνδρου (στενό του Καφηρέα) 4.) Ανατολικά της Άνδρου 5.) Κοιλότητα μεταξύ Πάρου Αντιπάρου Ίου και Σίκινου στις οποίες υπάρχει σημαντικό δυναμικό της τάξης των 600-800 W/m<sup>2</sup>.

Για τη δεύτερη περίπτωση προέκυψαν οι περιοχές: 1.) Συνολικά οι Κυκλάδες 2.) Σημαντικό μέρος του Βόρειου Αιγαίου 3.) Μεταξύ Λήμνου και Αγίου Ευστρατίου, περιμετρικά της Λήμνου 4.) Ανατολικά και Δυτικά του Αγίου Ευστρατίου 5.) Το σύμπλεγμα Ικαρίας Πάτμου και Λέρου 6.) Μεταξύ Σάμου και Καλύμνου 7.) Νότια της Καρπάθου. Στις περιοχές αυτές υπάρχει ισχυρό αιολικό δυναμικό της τάξης των 600-800 W/m<sup>2</sup> όπως και στην πρώτη περίπτωση. Από τις περιοχές αυτές ξεχωρίζουν οι Κυκλάδες (1), η περιοχή ανατολικά της Λέσβου στο Βόρειο Αιγαίο (2) και η περιοχή Ανατολικά και Δυτικά του Αγίου Ευστρατίου (4) για τα χαμηλότερα επίπεδα μεταβλητότητας που τις χαρακτηρίζουν.

Με βάση τα παραπάνω ευρήματα επιλέχθηκε η περιοχή ΝΑ του Αγίου Ευστρατίου η οποία χαρακτηρίζεται από ισχυρό αιολικό δυναμικό και ικανοποιητικές τιμές μεταβλητότητας για να γίνει περεταίρω ανάλυση για το ποσό της ενέργειας που θα μπορούσε να παραχθεί από την τοποθέτηση ΘΑΠ στην εν λόγω περιοχή. Επιλέχθηκαν οι ακριβείς συντεταγμένες των άκρων του θαλάσσιου οικοπέδου: [39.25° 25°], [39.50° 25°], [39.50° 25.25°], [39.25° 25.25°]. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το εμβαδόν του και στρογγυλοποιήθηκε προς τα κάτω ώστε να απομακρυνθούν τα άκρα του από τις ακτές του Αγίου Ευστρατίου που προσέγγιζε. Το τελικό εμβαδό που προέκυψε είναι 400 χλμ<sup>2</sup>. Η ΑΓ που επιλέχθηκε για την παρούσα έρευνα είναι η «DTU\_10MW\_178\_RWT\_v1» (Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian, 2013) της οποίας τα χαρακτηριστικά αναφέρονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.4. Με βάση το μέγεθος της καθορίστηκε και ο μέγιστος αριθμός ΑΓ που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν στο αιολικό πάρκο – 121 ΑΓ.

Στη συνέχεια για να υπολογιστεί η απόδοση του αιολικού πάρκου ανακτήθηκε από την ίδια βάση δεδομένων η χρονοσειρά των ταχυτήτων ανέμου σε κεντρικό σημείο του θαλάσσιου οικοπέδου. Θεωρήθηκε χάριν απλοποίησης του προβλήματος (καθώς σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να γίνει μια προκαταρκτική έρευνα) ότι η ταχύτητα



του ανέμου αφενός παραμένει αμετάβλητη στη διάρκεια της μίας ώρας μέχρι την επόμενη μέτρηση και αφετέρου ότι είναι κοινή για όλα τα σημεία του θαλάσσιου οικοπέδου. Επομένως για τον υπολογισμό της απόδοσης του αιολικού πάρκου συνολικά υπολογίστηκε η απόδοση μεμονωμένης ΑΓ η οποία στη συνέχεια πολλαπλασιάστηκε με το πλήθος των ΑΓ του αιολικού πάρκου. Με βάση τους υπολογισμούς αυτούς προέκυψε ότι το αιολικό πάρκο θα αποδίδει  $5,25 \times 10^3$  GWH ανά έτος κατά μέσο όρο. Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) τα οποία δημοσιεύτηκαν σε δελτίο τύπου το 2013 η μέση ετήσια κατανάλωση ενός ελληνικού νοικοκυριού κυμαίνεται σε 10.244 KWH θερμικής ενέργειας και 3.750 KWH ηλεκτρικής ενέργειας. (ΕΛΣΤΑΤ, 2013). Θεωρώντας τη δυσμενή περίπτωση στην οποία η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει από το άθροισμα που είναι περίπου ίσο με 14.000 KWH ανά έτος το αιολικό πάρκο θα μπορούσε να παρέχει ενέργεια σε περισσότερα από 350.000 νοικοκυριά.

## 6.2 Προτάσεις

Με δεδομένα όλα τα παραπάνω, με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση του αρχικού προβλήματος, θα ήταν δόκιμη η έρευνα γύρω από δύο άξονες:

Ο πρώτος αφορά τους γενικούς περιορισμούς για την κατασκευή των ΘΑΠ. Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες παράμετροι οι οποίες δεν λαμβάνονται υπόψη στην παρούσα εργασία αλλά σε επόμενο στάδιο της μελέτης θα πρέπει να συνυπολογιστούν:

- Περιβαλλοντικοί περιορισμοί. Είναι απαραίτητο σε επόμενη φάση της μελέτης να ληφθούν υπόψη οι περιοχές οι οποίες αποκλείονται εξ αρχής λόγω της ένταξης τους σε προστατευόμενες ζώνες με βασικότερη τη NATURA 2000.
- Θαλάσσιος χωροταξικός σχεδιασμός. Είναι ζήτημα που απασχολεί κύρια την πολιτεία αλλά είναι απαραίτητο να λυθεί πριν την οποιαδήποτε τελική απόφαση για την τοποθεσία κατασκευής ενός ΘΑΠ. Καθώς δεν αρκεί να υπάρχουν οι τεχνικές προϋποθέσεις: άνεμος, βάθος αλλά είναι απαραίτητο να θεσμοθετηθεί από την πολιτεία το ποιες θαλάσσιες εκτάσεις θα διατεθούν για την ανάπτυξη ΘΑΠ και ποιες για τις υπόλοιπες χρήσεις με βασικότερες τον τουρισμό και την αλιεία. Βέβαια υπάρχουν και εξαιρέσεις στις οποίες οι χρήσεις αυτές θα μπορούσαν να συνυπάρξουν αλλά στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι αντικρουόμενες.
- Κοινωνική αποδοχή. Για την ομαλή εξέλιξη οποιουδήποτε σχεδίου κατασκευής είναι επίσης απαραίτητη η ζύμωση της πολιτείας και του κατασκευαστή με τους κοινωνικούς φορείς της περιοχής και η ουσιαστική επικοινωνία μεταξύ των δύο μερών. Με σκοπό την αφενός την ενσωμάτωση από τον κατασκευαστή ειδικών προβλέψεων και προτάσεων των τοπικών κοινωνιών και αφετέρου την

ενημέρωση των κοινωνικών φορέων για τα οφέλη και την επίδραση που θα έχουν τα κατασκευαστικά σχέδια στην κοινωνία και στην περιοχή.

Ο δεύτερος αφορά τα ειδικά πεδία που είναι απαραίτητο να εξεταστούν ακόμη προκειμένου να γίνει πιο ολοκληρωμένη η πρόταση κατασκευής ΘΑΠ στο θαλάσσιο οικοπέδο που ερευνά η παρούσα εργασία (ΝΑ Αγίου Ευστρατίου).

- Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακτοπλοϊκές γραμμές που συνδέουν την εν λόγω περιοχή προκειμένου αποφευχθεί η τοποθέτηση ΑΓ σε σημεία που θα εμποδίζουν τη διέλευση των οχηματαγωγών – επιβατηγών πλοίων.
- Σημαντική παράμετρο ακόμη αποτελεί και η τυχόν ύπαρξη υποθαλάσσιων καλωδίων άρα και το συνολικό μήκος καλωδίων που θα απαιτηθεί να ποντιστούν για τη διασύνδεση του ΘΑΠ.
- Είναι ακόμη απαραίτητο να διερευνηθεί η διαδικασία με την οποία θα γίνει η ανέγερση – κατασκευή του ΘΑΠ. Με βασικό στόχο να αποφασιστεί το λιμάνι που θα χρησιμοποιηθεί ως βασικός σταθμός μεταφόρτωσης. Τα πιο πιθανά σενάρια θα ήταν να χρησιμοποιηθεί το λιμάνι της Θεσσαλονίκης ή της Καβάλας που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.
- Με βάση και τα παραπάνω το τελικό στάδιο της μελέτης θα μπορούσε να είναι η συγκεκριμένη χωροθέτηση των ΑΓ εντός του αιολικού πάρκου. Αρχικά θα πρέπει η κάθε ΑΓ να αντιμετωπιστεί ξεχωριστά καθώς η ταχύτητα του ανέμου διαφέρει από σημείο σε σημείο τοποθέτησης των ΑΓ σε αντίθεση με τη γενίκευση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ότι η ταχύτητα ανέμου είναι κοινή σε όλη την έκταση του οικοπέδου. Θα πρέπει ακόμη να ερευνηθεί και η αλληλεπίδραση που θα έχουν οι ΑΓ μεταξύ τους και το μικρόκλιμα που θα δημιουργηθεί εντός του ΘΑΠ.

## 7 Βιβλιογραφία

- (2021). Στο N. E. Bassam, & N. E. Bassam (Επιμ.), *Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities* ((Second Edition) εκδ., σσ. 435-442). Elsevier.
- Antonio Santos Sánchez, Ângelo Paggi Matos. (2018). Στο V. G. Gude (Επιμ.), *Sustainable Desalination Handbook* (σσ. 351-399). Butterworth-Heinemann.
- Bak, Christian; Zahle, Frederik; Bitsche, Robert; Kim, Taeseong; Yde, Anders; Henriksen, Lars Christian;. (2013). *The DTU 10-MW Reference Wind Turbine*. DTU Wind Energy, Technical University of Denmark.
- Berens, P. (2009). CircStat: A MATLAB Toolbox for Circular Statistics. *Journal of Statistical Software*, 1-21.
- Blain, L. (2022, September 12). *newatlas.com/energy/seatwirl-vawt-norway/*. Ανάκτηση December 4, 2022, από newatlas.com: <https://newatlas.com/energy/seatwirl-vawt-norway/>
- climate.ec.europa.eu*. (χ.χ.). Ανάκτηση November 20, 2022, από [climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_el](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_el): [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_el](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_el)
- Denning, S. (2021 , August 9). Earth's energy budget is out of balance – here's how that's warming the climate. *The Conversation*.
- Devault, Damien & Péné-Annette, Anne. (2017). nalysis of the environmental issues concerning the deployment of an OTEC power plant in Martinique. *Environmental Science and Pollution Research*.
- energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy\_en*. (χ.χ.). Ανάκτηση November 2020, 2022, από [energy.ec.europa.eu](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy_en): [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy_en)
- Ferreira, D. C. (χ.χ.). <https://www.tudelft.nl>. Ανάκτηση November 24, 2022, από <https://www.tudelft.nl/oceanenergy/research/thermal-gradient-otec>: <https://www.tudelft.nl/oceanenergy/research/thermal-gradient-otec>
- Francisco Boshell, Roland Roesch, Alessandra Salgado and Judit Hecke. (2020, June 3). Unlocking the potential of Ocean Energy: from megawatts to gigawatts. *energypost.eu*.
- GRAY, R. (2020, November 4). Q&A: Why clouds are still 'one of the biggest uncertainties' in climate change. *Horizon*.

- Hou, P., Zhu, J., MA, K. et al. (2019). A review of offshore wind farm layout optimization and electrical system design methods. . *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 975-986.
- Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. and Finlay, L. (2016). *An International Vision for Ocean Energy. Version III*. Lisbon: Ocean Energy Systems Technology Collaboration Programme: [www.ocean-energy-systems.org](http://www.ocean-energy-systems.org).
- INTRODUCCIÓN A LA CARTOGRAFÍA. (2022). Στο P. Andrés.
- Lewis, S. (2007). When the cows harm the environment. *The Times*.
- Lindsey, R. (2009, January 14). *nasa.gov*. Ανάκτηση από [earthobservatory.nasa.gov](http://earthobservatory.nasa.gov): <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page1.php>
- Lizet Ramirez, Daniel Fraile, Guy Brindley. (2020). *Offshore Wind in Europe - Key Trends and Statistics 2019*. Brussels, Belgium: [windeurope.org](http://windeurope.org).
- Mazarakos, Thomas & Konispoliatis, Dimitrios & Manolas, Dimitris & Voutsinas, S. & Mavrakos, Spyridon. (2015). Modelling of an Offshore Multi – Purpose Floating Structure Supporting a Wind Turbine Including Second – Order Wave Loads. *11th European Wave and Tidal Energy Conference Series* . Nantes, France.
- Mørk, Gunnar & Barstow, Steve & Kabuth, Alina & Pontes, M.Teresa. (2010). Assessing the Global Wave Energy Potential. *29th International Conference on ocean, offshore and Arctic Engineering*.
- NASA. (2022, November 20). *climate.nasa.gov/evidence/*. Ανάκτηση από [climate.nasa.gov](https://climate.nasa.gov/evidence/): <https://climate.nasa.gov/evidence/>
- Nerilie J. Abram, Helen V. Mcgregor, Jessica E. Tierney, Michael N. Evans, Nicholas P. Mckay. (2016, August 24). Early onset of industrial-era warming across the oceans and continents. *Nature - Nature Publishing*.
- Pawlowicz, R. (2020). M\_Map: A mapping package for MATLAB. *Computer software, version 1.4m*. Ανάκτηση από [www.eoas.ubc.ca/~rich/map.html](http://www.eoas.ubc.ca/~rich/map.html)
- S. Mathew, G.S. Philip. (2012). Wind Turbines: Evolution, Basic Principles, and Classifications. Στο *Comprehensive Renewable Energy (Second Edition)* (σσ. 104-123). Elsevier.
- Schmidt, G. A., R. A. Ruedy, R. L. Miller, and A. A. Lacis (. (2010). Attribution of the present-day total greenhouse effect. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 115.
- Tzinis, I. (2021, April 2). *www.nasa.gov*. Ανάκτηση από [www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology\\_readiness\\_level](http://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level):

- [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology\\_readiness\\_level](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level)
- UN. (2022, November 20). *un.org*. Ανάκτηση από [climatechange/what-is-climate-change](https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change): <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>
- Vaishali Sohoni, S. C. Gupta, R. K. Nema. (2016). A Critical Review on Wind Turbine Power Curve Modelling Techniques and Their Applications in Wind Based Energy Systems. *Journal of Energy*.
- Walter Musial, Paul Spitsen, Patrick Duffy, Philipp Beiter, Melinda Marquis, Rob Hammond, Matt Shields. (2022). *Offshore Wind Market Report: 2022 Edition*. U.S. Department of Energy (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy).
- Wessel, Paul & Smith, Walter. (1996). A global self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*.
- [www.bsee.gov/what-we-do/renewable-energy/renewable-energy-policy-statement](https://www.bsee.gov/what-we-do/renewable-energy/renewable-energy-policy-statement). (χ.χ.). Ανάκτηση December 4, 2022, από [www.bsee.gov](https://www.bsee.gov/what-we-do/renewable-energy/renewable-energy-policy-statement): <https://www.bsee.gov/what-we-do/renewable-energy/renewable-energy-policy-statement>
- [www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5](https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5). (χ.χ.). Ανάκτηση December 4, 2022, από [www.ecmwf.int](https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5): <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>
- [www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine](https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine). (χ.χ.). Ανάκτηση December 4, 2022, από [www.ge.com](https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine): <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine>
- [www.ncei.noaa.gov/products/etopo-global-relief-model](https://www.ncei.noaa.gov/products/etopo-global-relief-model). (χ.χ.). Ανάκτηση December 4, 2022, από [www.ncei.noaa.gov](https://www.ncei.noaa.gov/products/etopo-global-relief-model): <https://www.ncei.noaa.gov/products/etopo-global-relief-model>
- [www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/ape-to-megalitero-ploto-iliako-parko-se-fragmenta-stin-evropi-ine-stin-portogalia-ke-aniki-stin-edp/](https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/ape-to-megalitero-ploto-iliako-parko-se-fragmenta-stin-evropi-ine-stin-portogalia-ke-aniki-stin-edp/). (2022, July 19). Ανάκτηση 11 26, 2022, από [www.newmoney.gr](https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/ape-to-megalitero-ploto-iliako-parko-se-fragmenta-stin-evropi-ine-stin-portogalia-ke-aniki-stin-edp/): <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/ape-to-megalitero-ploto-iliako-parko-se-fragmenta-stin-evropi-ine-stin-portogalia-ke-aniki-stin-edp/>
- [www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/to-megalitero-ploto-fotovoltaiko-parko-ston-kosmo-sindethike-sto-diktio/](https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/to-megalitero-ploto-fotovoltaiko-parko-ston-kosmo-sindethike-sto-diktio/). (2022, January 5). Ανάκτηση November 26, 2022, από [www.newmoney.gr](https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/to-megalitero-ploto-fotovoltaiko-parko-ston-kosmo-sindethike-sto-diktio/): <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/to-megalitero-ploto-fotovoltaiko-parko-ston-kosmo-sindethike-sto-diktio/>

oikonomias/energeia/to-megalitero-ploto-fotovoltaiko-parko-ston-kosmo-sindethike-sto-diktio/

[www.planete-energies.com/en/medias/close/microalgae-biomass-conversion](https://www.planete-energies.com/en/medias/close/microalgae-biomass-conversion). (26, August 2016). Ανάκτηση από [www.planete-energies.com](https://www.planete-energies.com/en/medias/close/microalgae-biomass-conversion): <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/microalgae-biomass-conversion>

[www.sinnpower.com/post/sinn-power-begins-long-term-tests-of-wave-energy-converter-module-in-heraklion](https://www.sinnpower.com/post/sinn-power-begins-long-term-tests-of-wave-energy-converter-module-in-heraklion). (2021, January 2019). Ανάκτηση από [www.sinnpower.com](https://www.sinnpower.com/post/sinn-power-begins-long-term-tests-of-wave-energy-converter-module-in-heraklion): <https://www.sinnpower.com/post/sinn-power-begins-long-term-tests-of-wave-energy-converter-module-in-heraklion>

ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ, Γ. (2018). *Ο ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΤΟΥ ΔΕΡΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ. ΓΝΩΣΕΙΣ, ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ*. ΠΑΤΡΑ: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ - ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ - ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ.

ΕΛΣΤΑΤ. (2013). *ΔΕΛΤΙΟ ΤΥΠΟΥ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΑ*. ΠΕΙΡΑΙΑΣ: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ.

Σουκισιάν, Τ. (2021, March). Διάλεξη: "Εισαγωγή στις Ανεμογεννήτριες". *Α.Π.Ε. από τη Θάλασσα - ΔΠΜΣ Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία*.

ΤΟΥΧΤΙΔΟΥ, Σ. (2022, September 13). [www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia](https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia). Ανάκτηση November 20, 2022, από [www.newmoney.gr](https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/iperaktia-eoliki-energia-megali-proodos-stin-evropi-giati-i-ellada-echi-mini-piso/): <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/iperaktia-eoliki-energia-megali-proodos-stin-evropi-giati-i-ellada-echi-mini-piso/>

Τράτσα, Μ. (2022, July 11). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Το νέο Χωροταξικό για τα αιολικά πάρκα – Ολο το σχέδιο. Οικονομικός Ταχυδρόμος*.

ΥΠΕΝ: Οι ρυθμίσεις για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα – Στη Βουλή το σχέδιο νόμου. (2022). *Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ*.

Χατζηλάκος, Κ. (2019, March 2014). Κώστας Χατζηλάκος: Πατέντα από 94χρονο Έλληνα: Ρεύμα από τα κύματα της θάλασσας.