



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ**

**ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**



**Φοιτητής: Γιαρίκης Μιχάλης**

**ΑΜ: 48345564**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**ΒΟΚΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

**Diploma Thesis**

**DETAILED STUDY, ENERGY YIELD SIMULATION AND INTERCONNECTION OF AN OFF-SHORE WIND PARK IN GREECE**



**Student: Giarikis Michalis**  
**Registration Number: 48345564**

**Supervisor**  
**VOKAS GEORGIOS**

**ATHENS-EGALEO, OCTOBER 2023**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Βόκας Γεώργιος, Καθηγητής	Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος, Καθηγητής	Καλκάνης Κωνσταντίνος, Επικ. Καθηγητής

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και (Όνοματεπώνυμο Φοιτητή/ήτριας),**

**Μήνας, Έτος**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

#### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος Γιαρίκης Μιχάλης, του Ηλία, με αριθμό μητρώου 48345564 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι την ολοκλήρωση και την παράδοσή της και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών

Γιάρικης Μιχάλης,



ΓΙΑΡΙΚΗΣ ΜΙΧΑΛΙΔΗΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βόκα Γεώργιο, τόσο για τις πολύτιμες συμβουλές του και τη βοήθεια σε βιβλιογραφικές παραπομπές, όσο και για την συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Συνεχίζοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κορακιανίτη Νικόλαο για την άριστη συνεργασία, την καθοδήγηση και τον χρόνο που μου αφιέρωσε για την παροχή κάθε δυνατής βοήθειας που χρειάστηκα προκειμένου να ξεπεραστούν όλες οι δυσκολίες που εμφανίστηκαν κατά την συγγραφή αυτής της εργασίας.

Δεν γίνεται να μην ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συμπαράσταση, την υπομονή και την στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια και ιδιαίτερα τη μητέρα μου που δεν έλειψε από το πλευρό μου ούτε μία φορά.

## Περίληψη

Υπό το βάρος των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται ενέργειες στην κατεύθυνση του ενεργειακού μετασχηματισμού στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης. Υπάρχει επίσης μια τάση αντικατάστασης της χρήσης βαρέων καυσίμων και πετρελαίου με εναλλακτικές μορφές παραγωγής από τον αέρα, την ηλιακή ενέργεια και τη βιομάζα, οι οποίες είναι απαλλαγμένες από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Σύμφωνα με το σχέδιο του νέου ΕΣΕΚ (Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα), το οποίο βρίσκεται υπό Διαβούλευση, προβλέπεται να αυξηθεί η εγκατεστημένη ισχύς σε 28GW, ως το τέλος της τρέχουσας δεκαετίας, σε σχέση με το υφιστάμενο ΕΣΕΚ που είχε ισχύ 19GW, από φωτοβολταϊκά, αιολικά χερσαία, υπεράκτια και υδροηλεκτρικά. Ειδικότερα η αιολική ενέργεια αποτελεί την πιο συμφέρουσα Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας από οικονομικής και τεχνολογικής άποψης, γεγονός το οποίο έχει οδηγήσει σε μεγάλες επενδύσεις τόσο στην Ευρώπη όσο και στον υπόλοιπο κόσμο, με χρήση ποικίλων μορφών ανεμογεννητριών.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να δώσει μια ανάλυση ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στην Ελλάδα, υπό το πρίσμα της περιρρέουσας κατάστασης και των σημερινών τάσεων παραγωγής ενέργειας. Στόχος αυτού του αιολικού πάρκου είναι να μεγιστοποιήσει τις δυνατότητες παραγωγής αιολικής ενέργειας σε σύγκριση με τις πιο παραδοσιακές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για την επίτευξη αυτού του στόχου θα εξεταστούν διάφοροι παράγοντες, όπως ο άνεμος, η μορφολογία του εδάφους και της θάλασσας, οι απαιτήσεις συντήρησης του έργου, η τοποθεσία του αιολικού πάρκου, καθώς και η θεμελίωση και η διασύνδεσή του με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Στο πλαίσιο αυτής της ανάλυσης έγινε προσομοίωση με σχετικό πρόγραμμα (WindFarm Release 4), εφαρμόζοντας ανεμολογικά δεδομένα ενός έτους και λάβαμε σχετικά αποτελέσματα μέσω διαγραμμάτων. Εντοπίσαμε την επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου με τη χρήση ροδο-διαγράμματος, καθώς και μέσω των διαγραμμάτων Weibull βρήκαμε τη μέση ταχύτητα του ανέμου στα διαστήματα που ορίσαμε και εξάγαμε χρήσιμα συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα της αιολικής εγκατάστασης. Τέλος, δημιουργήσαμε ένα αιολικό πάρκο, με την βοήθεια του προγράμματος προσομοίωσης, αποτελούμενο από 15 ανεμογεννήτριες και εφαρμόσαμε 3 διαφορετικά μεταξύ τους μοντέλα ανεμογεννητριών, από τα οποία καταλήξαμε σε συμπεράσματα, ύστερα από την σύγκρισή τους.

## **Λέξεις – κλειδιά**

Αιολική ενέργεια, ανεμογεννήτριες, Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα, Ελλάδα – Ευρώπη, Χωροθέτηση, Διασύνδεση, Θεμελίωση, Βιωσιμότητα, προσομοίωση – WindFarm.



## **Abstract**

Under the weight of the climate change and during the recent years, the biggest part of Europe has taken various actions towards the energy reformation. Furthermore, there is a tendency to replace the use of heavy fuels and oil with alternative production methods, like wind, solar power and biomass; methods that are free of carbon dioxide emissions. According to the new National Energy and Climate Plan (NECP), which is currently under consultation, the installed power from solar, on-shore and off-shore wind and hydroelectric parks is predicted to be increased to 28GW by the end of the current decade, compared to the existing NECP which is at 19GW. Wind power in particular is the most beneficial Renewable Energy Source (RES) from a financial and technological point of view, a fact that has ignited numerous investments around the globe using various forms of wind turbines.

The purpose of this thesis is to provide an in-depth analysis of an Off-shore Wind Park in Greece in the light of the current situation and energy production trends. The aim of said wind park is to maximize the potential of wind energy production comparing to other more traditional electricity production methods. To achieve that, we need to take various aspects into consideration, for instance the wind, the land and sea morphology, the cost and the project maintenance requirements and the location of the wind park, as well as its foundation and connection to the electrical network.

For this analysis, we applied a simulation using the relative program (WindFarm Release 4) applying one year's wind data and obtaining related results through charts. We identified the prevailing direction of the wind using a wind rose graph, and through Weibull diagrams we calculated the average wind speed in the set intervals and we drew useful conclusions about the efficiency of the wind installation. Finally, we created a wind park, with the help of the simulation program, consisting of 15 wind turbines and applied 3 different wind turbine models, from which we reached conclusions, after comparing them.

## **Key-words**

Wind energy, wind generators, Off-shore Wind Park, Greece – Europe, Placement, Interconnection, Foundation, Sustainability, simulation – WindFarm.

## Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	12
Κατάλογος Εικόνων .....	13
Εισαγωγή.....	16
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	17
Σκοπός και στόχοι .....	18
Μεθοδολογία.....	18
Καινοτομία .....	18
Δομή .....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> - ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	21
1.1 Εισαγωγή.....	21
1.2 Αρνητικά και θετικά στοιχεία αιολικών πάρκων.....	26
1.3 Τρόπος λειτουργίας της αιολικής ενέργειας.....	28
1.4 Αιολικά πάρκα.....	30
1.4.1 Χαρακτηριστικά γεννήτριας και σταθερότητα .....	31
1.4.2 Υπεράκτια αιολική ενέργεια.....	32
1.5 Δίκτυο συλλογής και μεταφοράς.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> - ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....	35
2.1 Εισαγωγή.....	35
2.2 Είδη Ανεμογεννητριών .....	37
2.2.1 Οριζόντιου Άξονα.....	38
2.2.2 Κάθετου Άξονα .....	39
2.2.3 Ανεμογεννήτρια χωρίς πτερύγια .....	42
2.3 Δομή Ανεμογεννήτριας .....	43
2.4 Λειτουργία.....	48
2.5 Τρόποι σύνδεσης ανεμογεννήτριας στο δίκτυο.....	49
2.6 Πως φτάνει το ρεύμα από την ανεμογεννήτρια στα σπίτια μας .....	50
2.7 Σύγκριση Επίγειων και Παράκτιων Ανεμογεννητριών .....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> - ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ .....	55
3.1 Ιστορική αναδρομή.....	55
3.2 Δομή ΥΑΠ .....	57
3.2.1 Εξοπλισμός .....	59
3.2.2 Μεταφορά και εγκατάσταση.....	60
3.2.3 Έλεγχος λειτουργίας και συντήρηση .....	60
3.3 Πλεονεκτήματα ΥΑΠ .....	63
3.4 Μειονεκτήματα ΥΑΠ .....	65
3.5 Υπεράκτια Αιολικά πάρκα σε Ευρώπη.....	66
3.5.1 Εταιρίες εγκατάστασης Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων σε Ευρώπη.....	67
3.6 Υπεράκτια Αιολικά πάρκα σε Ελλάδα.....	73
3.6.1 Εταιρίες εγκατάστασης ΥΑΠ στην Ελλάδα.....	76
3.7 Διαδικασία αδειοδότησης.....	78
3.8 Πρόσφατα Δεδομένα .....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> - ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ .....	83
4.1 Εισαγωγή.....	83
4.2 Επιλογή της τοποθεσίας.....	85
4.3 Μελέτη του εδάφους και της θάλασσας.....	85
4.4 Σχεδιασμός του αιολικού πάρκου .....	86
4.5 Αξιολόγηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον.....	86
4.6 Κατασκευή και λειτουργία του αιολικού πάρκου.....	86
4.7 Κόστος εγκατάστασης και διασύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο .....	87
4.8 Συντήρηση και αναβάθμιση .....	87

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° – ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΥΑΠ.....</b>	<b>88</b>
5.1 Τρόποι Θεμελίωσης .....	88
5.2 Σύνδεση.....	92
5.3 Τρόποι Σύνδεσης.....	94
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° - ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΑΠ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....</b>	<b>98</b>
6.1 Εισαγωγή.....	98
6.2 Επιπτώσεις .....	100
6.3 Κριτήρια απόρριψης περιοχών .....	101
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7° : ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....</b>	<b>104</b>
7.1 Ευρωπαϊκό Νομοθετικό Πλαίσιο .....	104
7.2 Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο .....	106
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8° – ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ WINDFARM .....</b>	<b>112</b>
8.1 Διαδικασία προσομοίωσης .....	112
8.2 Χωροθέτηση Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου.....	123
8.3 Σχόλια – Παρατηρήσεις.....	132
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο - ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ .....</b>	<b>135</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10° - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>141</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>145</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά χερσαίας ανεμογεννήτριας Siemens Gamesa 5.X με μοντέλα SG 6.6-155, SG 6.6-170 και SG 7.0-170.

Πίνακας 2.2 Χαρακτηριστικά υπεράκτιας ανεμογεννήτριας SG 11.0-200 DD

Πίνακας 3.1 Αιτηθείσες Άδειες Εταιρειών Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων στην Ελλάδα

Πίνακας 8.1 Ανεμολογικά δεδομένα ενός έτους

Πίνακας 8.2 Wind Rose Data – Wind Farm Release 4

Πίνακας 8.3 Στοιχεία VESTAS V80,2000

Πίνακας 8.4 Στοιχεία SIEMENS GAMESA G80,2000

Πίνακας 8.5 Στοιχεία SIEMENS GAMESA G83,2000

Πίνακας 8.6 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Πίνακας 8.7 Συγκεντρωτικός πίνακας με γράφημα ετήσιας παραγόμενης ενέργειας πριν και μετά την βελτιστοποίηση

## Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα 1.1 Συνολική χωρητικότητα σε MW ανά έτος (ΕΛΕΤΑΕΝ)
- Εικόνα 1.2 Συνολική χωρητικότητα σε MW ανά γεωγραφική περιοχή της Ελλάδος (ΕΛΕΤΑΕΝ)
- Εικόνα 1.3 Ποσοστιαία και γεωγραφική κατανομή της χώρας (ΕΛΕΤΑΕΝ)
- Εικόνα 1.4 Χερσαίο αιολικό πάρκο Gansu
- Εικόνα 1.5 - Hywind project
- Εικόνα 2.1 Στάδια ηλεκτροπαραγωγής από ανεμογεννήτριες (e-mc2.gr)
- Εικόνα 2.2 Τύπος ανεμογεννήτριας σε οριζόντιο άξονα
- Εικόνα 2.3 Τύπος ανεμογεννήτριας σε κάθετο άξονα
- Εικόνα 2.4 Διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών οριζόντιου και κάθετου άξονα (Κορωναίος 2012)
- Εικόνα 2.5 Είδη πτερυγίων ανεμογεννητριών
- Εικόνα 2.6 Ανεμογεννήτριες με Χαλύβδινους και Δικτυωτούς πυλώνες
- Εικόνα 2.7 Ανεμογεννήτρια τύπου Paneromas - Sabonius
- Εικόνα 2.8 Ανεμογεννήτρια ραβδωτού τύπου - Vortex Bladeless
- Εικόνα 2.9 Τα βασικά μέρη μίας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα (ΚΑΠΕ)
- Εικόνα 2.10 Δομή μιας τρίπτερης ανεμογεννήτριας στο εσωτερικό της
- Εικόνα 2.11 Συνδεσμολογία υποσταθμού με γεννήτριες
- Εικόνα 2.12 Siemens Gamesa 5.X με μοντέλο SG 6.6-155
- Εικόνα 2.13 SG 11.0-200 DD
- Εικόνα 3.1 Horns Rev 1
- Εικόνα 3.2 Vestas v80-2.0
- Εικόνα 3.3 Siemens Gamesa SG 8.0-167 DD
- Εικόνα 3.4 Ακτές του Γιorkσάιρ στο Ηνωμένο Βασίλειο - Hornsea project 1 και Hornsea project 2
- Εικόνα 3.5 Αιολικό Πάρκο Lillgrund
- Εικόνα 3.6 Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο στην Βρετάνη της Γαλλίας, το Saint Brieuc
- Εικόνα 3.7 Το πρώτο πλωτό αιολικό πάρκο στην Πορτογαλία - WindFloat Atlantic
- Εικόνα 3.8 Πλωτή αιολική ανεμογεννήτρια - WindFloat Atlantic
- Εικόνα 3.9 Γεωπληροφοριακός χάρτης της ΠΑΕ
- Εικόνα 4.1 Χάρτης με το Αιολικό Δυναμικό της χώρας
- Εικόνα 4.2 Ανεμολογικά δεδομένα μιας συγκεκριμένης περιοχής της Ελλάδας

- Εικόνα 4.3 Ανεμολογικά δεδομένα της ίδιας περιοχής ενός έτους
- Εικόνα 5.1 Θεμελίωση τύπου τρίποδο (tripod)
- Εικόνα 5.2 Θεμελίωση εγκάρσιας σωλήνωσης
- Εικόνα 5.3 Θεμελίωση μονού πυλώνα (monopile)
- Εικόνα 5.4 Θεμελίωση με πλωτή έδραση
- Εικόνα 5.5 Μορφολογία μικρού πάρκου AC
- Εικόνα 5.6 Μορφολογία μεγάλου πάρκου AC
- Εικόνα 5.7 Μορφολογία μικρού πάρκου DC
- Εικόνα 5.8 Μορφολογία μεγάλου πάρκου DC
- Εικόνα 5.9 Μορφολογία αιολικού πάρκου AC/DC
- Εικόνα 8.1 Διαμόρφωση υψόμετρου – Wind Farm Release 4
- Εικόνα 8.2 Διαμόρφωση τραχύτητας – Wind Farm Release 4
- Εικόνα 8.3 Ροδο-διάγραμμα – Wind Farm Release 4
- Εικόνα 8.4 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $-15^{\circ} + 15^{\circ}$
- Εικόνα 8.5 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $15^{\circ} + 45^{\circ}$
- Εικόνα 8.6 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $45^{\circ} + 75^{\circ}$
- Εικόνα 8.7 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $75^{\circ} + 105^{\circ}$
- Εικόνα 8.8 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $105^{\circ} + 135^{\circ}$
- Εικόνα 8.9 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $135^{\circ} + 165^{\circ}$
- Εικόνα 8.10 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $165^{\circ} + 195^{\circ}$
- Εικόνα 8.11 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $195^{\circ} + 225^{\circ}$
- Εικόνα 8.12 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $225^{\circ} + 255^{\circ}$
- Εικόνα 8.13 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $255^{\circ} + 295^{\circ}$
- Εικόνα 8.14 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $295^{\circ} + 315^{\circ}$
- Εικόνα 8.15 Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $315^{\circ} + 345^{\circ}$
- Εικόνα 8.16 Συνολικό ιστόγραμμα και καμπύλη Weibull
- Εικόνα 8.17 Χωροθέτηση και διάταξη ανεμογεννητριών πριν την βελτιστοποίηση
- Εικόνα 8.18 Χωροθέτηση και διάταξη ανεμογεννητριών μετά την βελτιστοποίηση
- Εικόνα 8.19 VESTAS V80, 2000
- Εικόνα 8.20 Διάγραμμα ισχύος VESTAS V80, 2000
- Εικόνα 8.21 SIEMENS GAMESA G80,2000
- Εικόνα 8.22 Διάγραμμα ισχύος SIEMENS GAMESA G80,2000
- Εικόνα 8.23 Διάγραμμα ισχύος SIEMENS GAMESA G83,2000

Εικόνα 9.1 Συνδεσμολογία ΥΑΠ με υποσταθμό

Εικόνα 9.2 Τρόπος σύνδεσης του ΥΑΠ

Εικόνα 9.3 Αναλυτικό μονογραμμικό διάγραμμα

## Εισαγωγή

Η υιοθέτηση των στόχων της πράσινης οικονομίας, σε συνδυασμό με τον ταχύτατα εξελισσόμενο ψηφιακό μετασχηματισμό και τη σύγχρονη τεχνολογία, έχει πυροδοτήσει μια περίοδο σημαντικών αλλαγών όχι μόνο στην παγκόσμια οικονομία, αλλά και στην ελληνική οικονομία. Η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων κυριαρχεί σήμερα στο παγκόσμιο ενεργειακό δίκτυο (πετρέλαιο, ορυκτός άνθρακας κ.λπ.). Είναι ευρέως διαδεδομένη η πεποίθηση ότι τα επόμενα χρόνια τα ευρωπαϊκά κράτη θα τείνουν να αντικαταστήσουν τη χρήση βαρέων καυσίμων, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, στη λειτουργία της βιομηχανίας, με νέες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και εναλλακτικές μορφές παραγωγής όπως, μέσω του ήλιου, του αέρα και γενικά νέα καθαρότερα καύσιμα, ως αποτέλεσμα την μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Στο πλαίσιο αυτό, το 2016 εγκρίθηκε από τα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης η συμφωνία του Παρισιού για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η Συμφωνία επιδιώκει να σταθεροποιήσει την υπερθέρμανση του πλανήτη κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου μακροπρόθεσμα, καθώς με τον τρόπο αυτό θα μειωθούν σημαντικά οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Ο κανονισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ο οποίος κυκλοφόρησε στις 14 Ιουλίου 2021, κινείται προς την ίδια κατεύθυνση περιγράφοντας τις βασικές αρχές της δέσμης πρωτοβουλιών "Fit for 55" για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% έως το 2030.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής είναι απαραίτητη για τη λειτουργία της σύγχρονης κοινωνίας, όπως την ξέρουμε σήμερα. Για την λειτουργία αυτών των εγκαταστάσεων απαιτούνται κατά κύριο λόγο ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, η ανεξέλεγκτη χρήση των ορυκτών καυσίμων έχει οδηγήσει σε περιβαλλοντικές ζημιές και σε πλήθος προβλημάτων, το σημαντικότερο εκ των οποίων είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Για την επίλυση αυτών των ζητημάτων, η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αποτελεί ουσιαστικά μονόδρομο. Η ηλιακή ενέργεια, η βιομάζα, η αιολική ενέργεια και άλλες ΑΠΕ είναι μερικά παραδείγματα. Στην πραγματικότητα, πριν στραφεί στη χρήση ορυκτών καυσίμων, ο άνθρωπος τα χρησιμοποιούσε ως κύρια πηγή ενέργειας. Από τον Μεσαίωνα αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι αξιοποίησης της κίνησης του αέρα για την παραγωγή ενέργειας, όπως οι



ανεμόμυλοι και τα πανιά των ιστιοφόρων. Η θαλάσσια αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει σημαντική πηγή ενέργειας στην παρούσα κατάσταση.

Με βάση τις πληροφορίες που παρέχει η EUROSTAT, η Ελλάδα έχει καταβάλει πρόσφατα αξιοσημείωτη προσπάθεια για την ενίσχυση της διείσδυσης των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα. Προφανώς, απαιτούνται ακόμη σημαντικές προσπάθειες για να αυξηθεί το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ. Όμως, από 7,2% το 2004 σε 31,3% το 2021, η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας έχει αυξηθεί ως ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης, δηλαδή έχει σχεδόν τετραπλασιαστεί τα τελευταία 15 χρόνια. Αντίθετα, στην Ε.Ε. το 2021 οι παρόμοιοι αριθμοί ήταν: Σουηδία 56,4%, Φινλανδία 43,1%, Λετονία 41%, Δανία 37,2% κ.λπ. Από την άλλη πλευρά, τα πιο πρόσφατα στοιχεία της EUROSTAT για το 2022 δείχνουν ότι η Ελλάδα κατατάσσεται στην 14η θέση μεταξύ των 27 Κρατών Μελών. Στην Ε.Ε. το 2021, τα υψηλότερα ποσοστά βρέθηκαν στην Αυστρία (75%), τη Σουηδία (71%), τη Δανία (65%), την Πορτογαλία (54%) και τη Λετονία (53%). Αντίθετα, η Μάλτα (8%), η Κύπρος, το Λουξεμβούργο και η Ουγγαρία (10%) είχαν τα χαμηλότερα ποσοστά.

### Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Παρά το γεγονός ότι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας αντιπροσώπευαν το 81% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας το 2021 (σύμφωνα με στοιχεία του ΔΟΕ), και τα ορυκτά καύσιμα εξακολουθούν να αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας, καταβάλλονται προσπάθειες για την περαιτέρω αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Ως εκ τούτου, στην παρούσα διπλωματική εργασία θα καταβληθεί προσπάθεια να δοθεί έμφαση στη δημιουργική μέθοδο με την οποία το έθνος μας μπορεί να αξιοποιήσει απλόχερα τους αιολικούς του πόρους, όπως ο άνεμος, μία από τις πιο άφθονες πηγές ενέργειας στη Γη.

Με τη χρήση ανεμογεννητριών, μπορούμε να αξιοποιήσουμε την ενέργεια του ανέμου μετατρέποντας την κινητική του ενέργεια σε μηχανική ενέργεια και τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε ύψος 10 μέτρων πάνω από το έδαφος, οι άνεμοι με μέση ετήσια ταχύτητα άνω των 5,5m/s πιστεύεται ότι επηρεάζουν το 25% της επιφάνειας της γης. Το αιολικό δυναμικό στην περιοχή θεωρείται εκμεταλλεύσιμο όταν πνέει με αυτή την ταχύτητα και οι απαραίτητες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά εφικτές για την αξιοποίηση του. Η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει κατάλληλη λύση στο κύριο πρόβλημα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή είναι καθαρή, άφθονη και οικολογική.

## Σκοπός και στόχοι

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εκτιμήσει τις δυνατότητες χρήσης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε όσο το δυνατόν ευρύτερη εφικτή περιοχή και να τονίσει τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας, με έμφαση στο υπεράκτιο αιολικό δυναμικό. Σε σύγκριση με τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα, οι ελάχιστες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και οι περιορισμένες επιπτώσεις στα περιφερειακά οικοσυστήματα συγκαταλέγονται στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα. Δεδομένων των σημαντικών οικονομικών οφελών που μπορεί να αποκομίσει μια περιοχή από την ανάπτυξη του αιολικού τομέα, οι κυβερνήσεις πολλών ευρωπαϊκών κρατών, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας, έχουν επενδύσει πρόσφατα σημαντικά ποσά στην εκμετάλλευση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας με τη δημιουργία Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσουμε, μέσω εξειδικευμένου προγράμματος, την προσομοίωση ενός πλήρως λειτουργικού παράκτιου αιολικού πάρκου στην Ελλάδα και τη σύνδεσή του με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η μορφολογία του εδάφους, τόσο πάνω όσο και κάτω από το νερό, ώστε να είναι σε θέση να στηρίξει το έργο, καθώς και οι πιθανές παράκτιες ναυτιλιακές διαδρομές, ώστε να αποφευχθεί κάθε εμπόδιο στην κίνηση των πλοίων, είναι μερικοί μόνο από τους κρίσιμους παράγοντες που θα διερευνηθούν.

## Μεθοδολογία

Προς επίτευξη του παραπάνω στόχου, αρχικά θα γίνει έρευνα της υφιστάμενης και σχετικής με το θέμα βιβλιογραφίας και ακολούθως θα γίνει η επιδιωκόμενη ανάλυση με εξειδικευμένα προγράμματα προσομοίωσης.

## Καινοτομία

Η καινοτομία της παρούσας εργασίας έγκειται στο κομμάτι της προσομοίωσης. Είναι αλήθεια πως υπάρχουν και άλλες σχετικές μελέτες, όσον αφορά στα ελληνικά δεδομένα, τουλάχιστον που έχουν να κάνουν με το κομμάτι του σχεδιασμού ή της μελέτης περίπτωσης,

όμως θα γίνει μια προσπάθεια παρουσίασης ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στον ελλαδικό χώρο.

## Δομή

Στην πρώτη ενότητα θα γίνει μία σύντομη παρουσίαση των βασικών αρχών που διέπουν την λειτουργία της αιολικής ενέργειας, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση της και πως αυτή έχει αναπτυχθεί στις ευρωπαϊκές χώρες και φυσικά στην Ελλάδα. Επίσης, θα γίνει αναφορά στα αιολικά πάρκα, με τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών που τα αποτελούν.

Στην δεύτερη ενότητα, θα αναπτύξουμε τη δομή, την κατασκευή, τα τμήματα και τον τρόπο λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Θα γίνει μία προσπάθεια να παρουσιαστούν οι διάφοροι τύποι και τα είδη αυτών, καθώς και η απόδοσή τους, τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται, τα βασικά τους μέρη και που αυτές βρίσκουν εφαρμογή.

Στην τρίτη ενότητα παρουσιάζεται ουσιαστικά το θέμα της διπλωματικής μας εργασίας για τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα, στην οποία θα βρούμε ό,τι αφορά την δομή, τον εξοπλισμό και τον έλεγχο λειτουργίας ενός ΥΑΠ, καθώς επίσης θα γίνει αναφορά τόσο στα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα Υπεράκτιων Πάρκων. Επιπλέον, θα αναφερθούμε σε ήδη υπάρχοντα αιολικά πάρκα στην Ευρώπη, καθώς και σε εταιρίες εγκατάστασης ΥΑΠ σε Ευρώπη και Ελλάδα.

Στην τέταρτη ενότητα ασχολούμαστε με τα μέρη που διέπουν ότι αφορά την μελέτη χωροθέτησης ενός ΥΑΠ, δηλαδή την μελέτη εδάφους και θάλασσας, τον σχεδιασμό του αιολικού πάρκου, λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και υπολογίζοντας το σχετικό κόστος εγκατάστασης αλλά και τον τρόπο διασύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Στην πέμπτη ενότητα, θα παρουσιαστούν οι τρόποι θεμελίωσης και διασύνδεσης του παράκτιου αιολικού πάρκου στο δίκτυο διανομής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην έκτη ενότητα αναφερόμαστε στη βιωσιμότητα ενός ΥΑΠ στην Ελλάδα και ό,τι αφορά στις επιπτώσεις που τυχόν υπάρξουν, καθώς και τα κριτήρια απόρριψης περιοχών.

Στην έβδομη ενότητα, παρατίθεται τόσο το ευρωπαϊκό όσο και το ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την αδειοδότηση, την εγκατάσταση και την λειτουργία των ΥΑΠ.

Στην όγδοη ενότητα, περιλαμβάνεται μελέτη ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στην Ελλάδα, με τη βοήθεια προσομοιωτικού προγράμματος (WindFarm), προσδιορίζοντας την ετήσια παραγόμενη ενέργειά του, καθώς και τον συντελεστή χωρητικότητας / αποδοτικότητας (capacity factor) και παρουσιάζοντας σε μορφή διαγραμμάτων τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Στην ένατη ενότητα, αναπτύσσεται η διαδικασία διασύνδεσης ενός ΥΑΠ, τόσο γενικά όσο και ειδικά με βάση τα πρότυπα του ΑΔΜΗΕ.

Τέλος, στην δέκατη ενότητα, αναφέρουμε τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε κατά το πέρας της διπλωματικής, τόσο σε θεωρητικό επίπεδο, όσο και σε πρακτικό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> - ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 1.1 Εισαγωγή

Δεδομένου ότι η κλιματική καταστροφή αποτελεί τη μεγαλύτερη υπαρξιακή απειλή για την ανθρωπότητα, είναι πιο σημαντικό από ποτέ να βρεθούν λύσεις για υποδομές πράσινης και ανανεώσιμης ενέργειας. Πλέον είναι μονόδρομος η μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων, προκειμένου να επιταχυνθεί η ανάπτυξη της ηλεκτροπαραγωγής με βάση τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Εξαιτίας των πρόσφατων αυξήσεων στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου, οι οποίες ώθησαν ορισμένα Κράτη - Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να κατασκευάσουν νέες πυρηνικές εγκαταστάσεις, όπως για παράδειγμα η Γαλλία, η οποία αυξάνει συνεχώς το μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα, οι συζητήσεις για την απεξάρτηση της παραγωγής ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα έχουν φτάσει στο σημείο να υπάρχουν ακόμη και σκέψεις για τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας ως μια πιο πρακτική λύση. Φυσικά, ορισμένα Κράτη, όπως η Γερμανία, υιοθετούν την αντίθετη στάση και κλείνουν όλους τους αντιδραστήρες πυρηνικής ενέργειας, με τα τεχνικά και επιστημονικά δεδομένα να δείχνουν ότι η αιολική ενέργεια είναι πολύ πιθανό να αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος της εγχώριας ενέργειας τους.

Όσον αφορά την χώρα μας, προβλέπεται στο σχέδιο του νέου υπό Διαβούλευση ΕΣΕΚ αύξηση της εγκατεστημένης ισχύς (φωτοβολταϊκά, αιολικά χερσαία και υπεράκτια και υδροηλεκτρικά) σε 28GW στο τέλος της τρέχουσας δεκαετίας [1], ενώ μέχρι το 2050, θα λαμβάνει τουλάχιστον 8 έως 10 και ίσως 16 GW ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα [2].

Η ενέργεια που παράγεται με τη χρήση του ανέμου είναι γνωστή ως αιολική ενέργεια. Το όνομά της μας πάει πίσω στην ελληνική μυθολογία, με την ύπαρξη του θεού Αίολου, ο οποίος ήταν ο θεός του ανέμου. Δεδομένου ότι η αιολική ενέργεια, δεν εκκλύει ατμοσφαιρικούς ρύπους, αναφέρεται ως "ήπιο είδος ενέργειας" και αποτελεί την πιο διαδεδομένη και αρχαιότερη μορφή Ανανεώσιμης Πηγή Ενέργειας, δεδομένου ότι τα πρώτα ιστιοφόρα πλοία και οι ανεμόμυλοι τροφοδοτούνταν από αυτήν.

Ενώ ο άνεμος είναι μια άφθονη και δωρεάν πηγή ενέργειας, δεν είναι μία σταθερή πηγή και χρήζει τον συνδυασμό με μία σειρά ενεργειών, για την αξιοποίηση και αποθήκευσή της.

Ο πιο απλουστευμένος ορισμός της είναι: η κινητική ενέργεια του ανέμου που ασκείται στα πτερύγια μίας ανεμογεννήτριας, μετατρέπεται σε ηλεκτρική και διανέμεται στο δίκτυο.

Σύμφωνα με τις σχετικές δηλώσεις του πρωθυπουργού κ. Κ. Μητσοτάκη, τίθεται για πρώτη φορά στη χώρα μας ο "Εθνικός Κλιματικός Νόμος - Μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή" με τον Ν. 4936/2022 (ΦΕΚ 105/Α/27-05-2022), ο οποίος βασίζεται στον Ευρωπαϊκό Κλιματικό Νόμο για την κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050. Μια σειρά από συγκεκριμένες διατάξεις, μεταξύ των οποίων και ένα ειδικό χωροταξικό πλαίσιο για τον κλιματικό κίνδυνο, περιλαμβάνονται στο ως άνω νέο Εθνικό Κλιματικό Νόμο, ο οποίος θα λειτουργήσει ως "οδικός χάρτης" για την επίτευξη του στόχου της κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050.

Για να επιτευχθούν τα ανωτέρω, τίθενται οι ακόλουθοι μετρήσιμοι στόχοι: [3]

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% έως το 2030 και μείωση κατά 80% έως το 2040.
- Μηδενικές εκπομπές μέχρι το 2050 (γεγονός που σημαίνει ότι οι ρύποι που εκλύονται από ρυπογόνες παραγωγικές δραστηριότητες πρέπει να απορροφηθούν πλήρως).
- Μέχρι το 2035, το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής θα έχει μετασχηματιστεί πλήρως.
- Βελτιώσεις στην ηλεκτροκίνηση.
- Μέτρα για τη μείωση των εκπομπών των επιχειρήσεων.
- Στρατηγικές προσαρμογής για την κλιματική καταστροφή.
- Τερματισμός της εξόρυξης υδρογονανθράκων.

Για την υλοποίηση των προαναφερθέντων στόχων, είναι σημαντικό να:

- Μειωθεί σημαντικά η εξάρτηση της χώρας από τα ορυκτά καύσιμα.
- Αναπτυχθούν ταχύτερα οι υποδομές για ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

- Επιτευχθεί μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας.
- Τηρηθεί η προστασία της φύσης και του περιβάλλοντος και
- Ευαισθητοποιηθούν οι πολίτες.

Υποστηρίζοντας ενεργά την ευρωπαϊκή δέσμευση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, τη διαθεσιμότητα ενός ενεργειακού μείγματος χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την προώθηση νέων τεχνολογιών μηδενικών και χαμηλών εκπομπών, τα Κράτη, οι οργανώσεις (όπως το WWF), οι διάφοροι φορείς, αλλά και οι απλοί πολίτες οφείλουν όλοι να συμβάλουν στην επίτευξη των στόχων της κλιματικής αλλαγής και της πράσινης βιώσιμης ανάπτυξης.

Στο πλαίσιο αυτό, η Ειδική Έκθεση για την Οικονομία που δημοσίευσε ο Σύνδεσμος Επιχειρήσεων και Βιομηχανιών (ΣΕΒ) τον Νοέμβριο του 2021 επικεντρώθηκε ιδιαίτερα στους κινδύνους που συνδέονται κατά την εκροή διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον από την προσπάθεια αλλαγής του βιομηχανικού αποτυπώματος της χώρας. Η προώθηση των αναγκαίων επενδύσεων και ο όγκος αυτών των επενδύσεων που θα απαιτηθούν για την επίτευξη του εθνικού στόχου και τη μείωση των εκπομπών, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα "στοιχήματα" για την επερχόμενη εποχή. Οι μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες έχουν ήδη επενδύσει δισεκατομμύρια ευρώ σε πράσινα έργα και σχεδιάζουν καθημερινά περισσότερα. Στο πλαίσιο αυτό, τα ΕΛΠΕ, η Motor Oil και άλλες βιομηχανικές μονάδες, έχουν ξεκινήσει τη διαδικασία αναδιοργάνωσης και επαναπροσδιορισμού των επιχειρηματικών τους μοντέλων. Είναι λογικό ότι η υλοποίηση των προαναφερθέντων στόχων της πράσινης οικονομίας θα αλλάξει ριζικά όχι μόνο την ελληνική οικονομία, αλλά και ολόκληρη την ευρωπαϊκή οικονομία, η οποία ήδη κινείται προς την κατεύθυνση της αντικατάστασης των βιομηχανιών βαρέων καυσίμων, πετρελαίου και διυλιστηρίων με νέες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας ως αποτέλεσμα των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

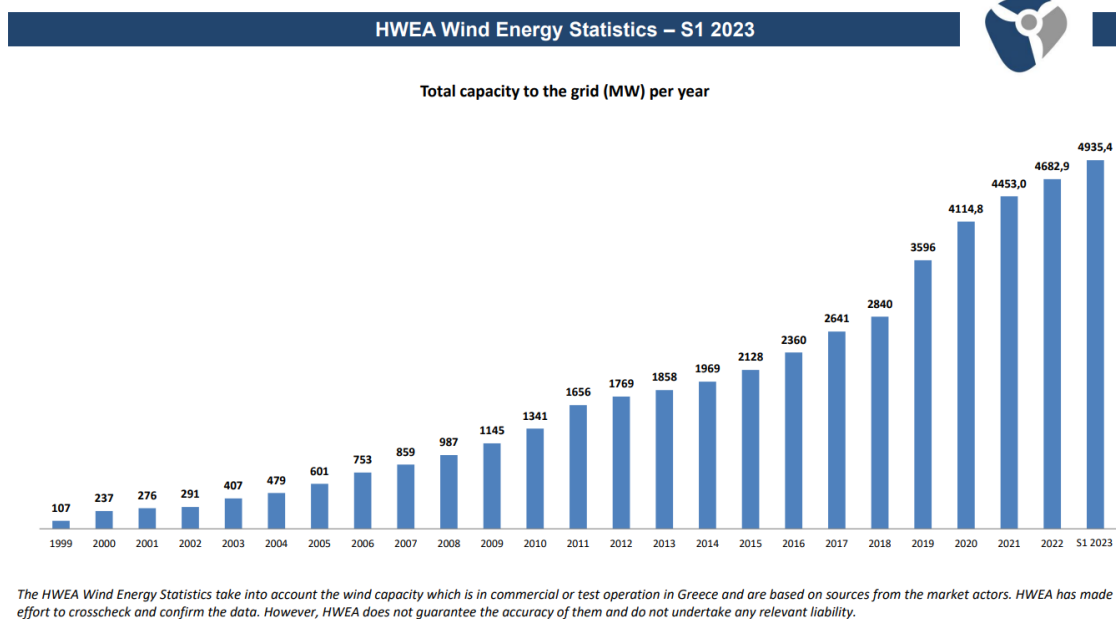
Στο πλαίσιο αυτό αναμένεται η έκδοση "πράσινων ομολόγων", τα οποία αναπτύχθηκαν ειδικά για τη χρηματοδότηση αυτού του είδους των επενδύσεων για όλα τα Κράτη - Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης [4].

Η EDP Renewables, η τέταρτη μεγαλύτερη εταιρεία στον κλάδο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας παγκοσμίως, εγκαινίασε στις 25 Νοεμβρίου 2021 επίσημα το πρώτο της πράσινο

έργο στην Ελλάδα, ένα αιολικό πάρκο 45MW στην περιοχή Λιβιάδι της Στερεάς Ελλάδας. Περισσότερα από 28.000 σπίτια και νοικοκυριά αναμένεται να τροφοδοτηθούν με ηλεκτρική ενέργεια, προερχόμενη από το έργο αυτό. Επιπλέον, η EDPR Greece, η οποία ξεκίνησε τη λειτουργία της στην Ελλάδα το 2018 μετά την επιτυχή συμμετοχή της στους διαγωνισμούς της Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), έχει ως σκοπό να φτάσει τα 150 MW ισχύς το 2023 και να επιτύχει τον στόχο των 500MW εγκατεστημένης ισχύς (αιολική και ηλιακή) έως το 2050, η υλοποίηση των οποίων θα απαιτήσει επενδύσεις συνολικού ύψους άνω των 500 εκατ.ευρώ [5].

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με πλούσια αιολική ενέργεια, λόγω των δυνατών ανέμων που πνέουν σε πολλές περιοχές, τόσο νησιωτικές όσο και ηπειρωτικές. Όπως φαίνεται στον κατωτέρω πίνακα, η Ελλάδα έχει αρχίσει να εκμεταλλεύεται περισσότερο αποδοτικά το αιολικό δυναμικό της την τελευταία πενταετία. Η συνολική χωρητικότητα αιολικής ισχύς στην Ελλάδα πλησίασε, στο τέλος του 2022, περίπου τα 4.500MW, επαληθεύοντας τη στάση της χώρας μας στη προσπάθεια αυτή.

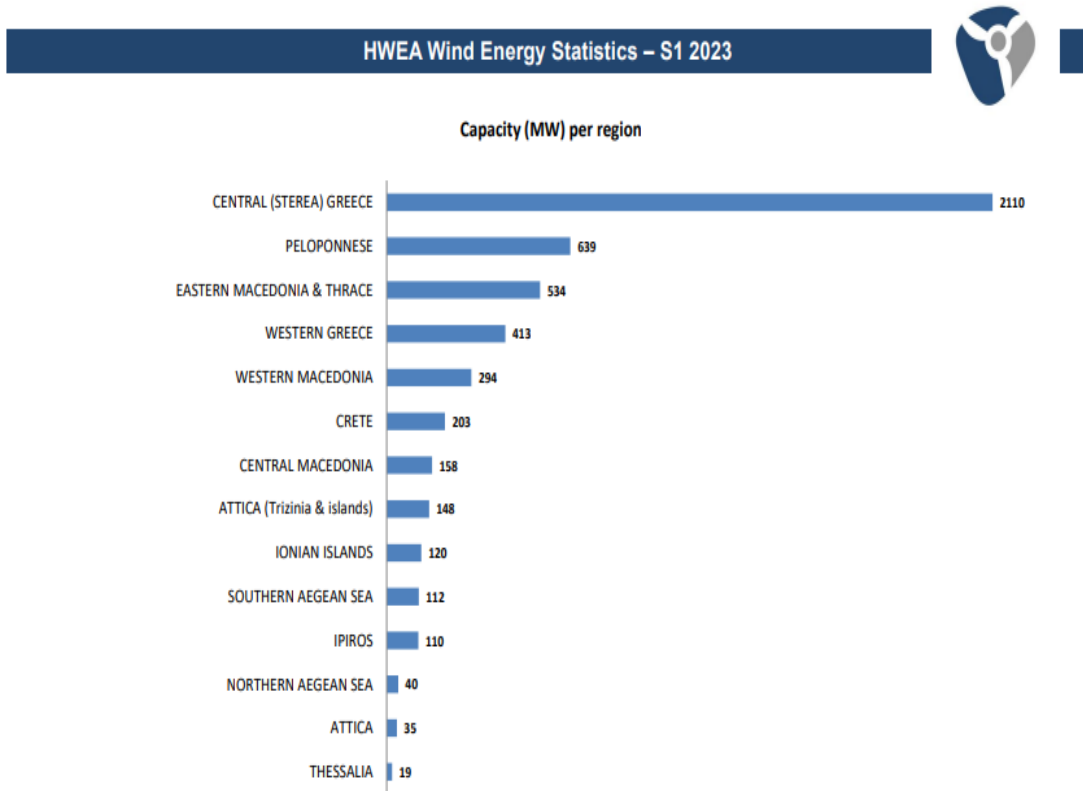
Σημειώθηκαν επενδύσεις συνολικού ύψους άνω των 230 εκατομμυρίων ευρώ, οι οποίες διοχέτευσαν ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο, επιβεβαιώνοντας ότι η χώρα μας αποτελεί ένα από τα πιο γρήγορα αναπτυσσόμενα αιολικά κέντρα της Ευρώπης.



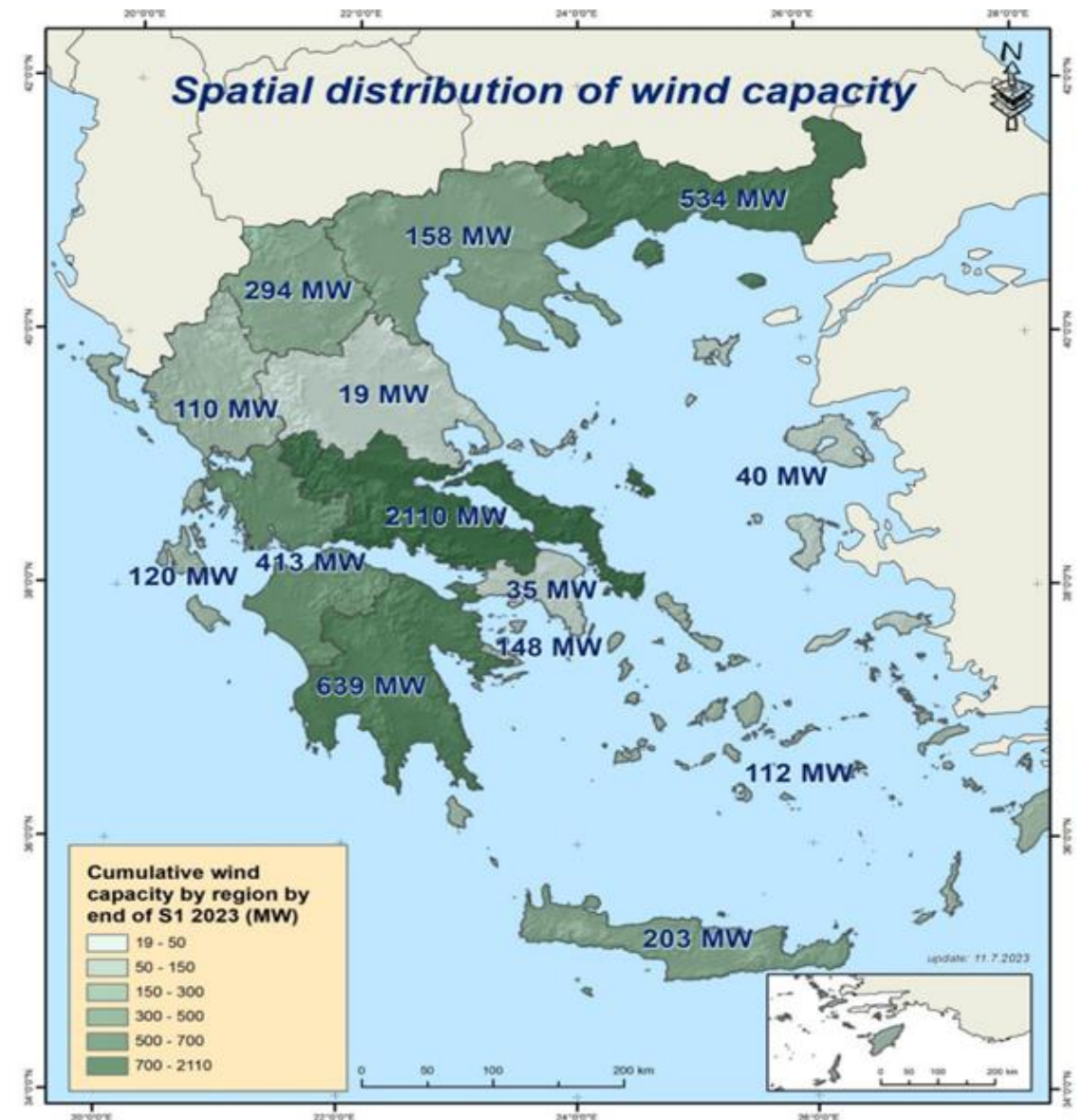
Εικόνα 1.1 – Συνολική χωρητικότητα σε MW ανά έτος (ΕΛΕΤΑΕΝ)



Σε επίπεδο Περιφερειών, η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων, αφού φτάνει τα 1.872MW (40%), στη συνέχεια ακολουθεί η Πελοπόννησος με 639MW (14%) και η Ανατολική Μακεδονία – Θράκη με 534MW (11%), όπως εμφανίζεται στον κατωτέρω πίνακα και τον γεωγραφικό χάρτη. [6]



Εικόνα 1.2 – Συνολική χωρητικότητα σε MW ανά γεωγραφική περιοχή της Ελλάδος (ΕΛΕΤΑΕΝ)



Εικόνα 1.3 – Ποσοστιαία και γεωγραφική κατανομή της χώρας (ΕΛΕΤΑΕΝ)

## 1.2 Αρνητικά και θετικά στοιχεία αιολικών πάρκων

Προκειμένου να σταθμιστούν τα οφέλη και οι κίνδυνοι ενός τέτοιου τεχνοοικονομικού έργου με επιστημονικές μελέτες και να αποφευχθεί η βλάβη ή η υποβάθμιση του οικοσυστήματος, είναι ζωτικής σημασίας να εξεταστούν τόσο οι θετικές όσο και οι αρνητικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων στις περιοχές όπου θα εγκατασταθούν. Θα πρέπει επίσης να προηγηθεί διαβούλευση και συμφωνία με τις Τοπικές Αρχές και με τις αρμόδιες περιβαλλοντικές οργανώσεις. Οποιαδήποτε αντίθεση στα αιολικά πάρκα θα πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά για λόγους προστασίας της βιοποικιλότητας, καθώς και η πλειονότητά της δεν θα πρέπει να επηρεάζεται καθόλου από τις ανεμογεννήτριες. Υπάρχουν περιοχές NATURA 2000 (πανευρωπαϊκό δίκτυο για την προστασία της φύσης

και των ειδών) που έχουν σημαντικό αιολικό δυναμικό και μπορούν να αναπτυχθούν αιολικά πάρκα. [7], [8]

### **Θετικά**

- Θα βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθιστώντας τα αιολικά πάρκα ως την πιο οικονομική επιλογή για ένα καθαρότερο περιβάλλον.
- Θα παράσχει θέσεις εργασίας στην τοπική κοινωνία και όχι μόνο, λόγω της προσφοράς εργασίας που θα απαιτηθεί κατά την εγκατάσταση και τη συντήρηση των αιολικών πάρκων, όπως συνέβη στην νότια Εύβοια που δημιουργήθηκαν 62 θέσεις εργασίας από την τοπική κοινότητα για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων συνολικής ισχύς 218,7MW.
- Θα ενισχυθεί ο επενδυτικός τομέας, καθώς ένα σημαντικό μέρος του σχετικού κόστους που θα απαιτηθεί για την κατασκευή του αιολικού πάρκου, συμπεριλαμβανομένων των δαπανών για τον εξοπλισμό, τις υποδομές και την ηλεκτρολογική σύνδεση με το δίκτυο, θα πραγματοποιηθούν εγχωρίως.
- Θα διανεμηθεί στους οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης για την υλοποίηση αναπτυξιακών προγραμμάτων, ο ειδικός φόρος (3%), ο οποίος αφαιρείται από τα ακαθάριστα έσοδα (κύκλος εργασιών) των αιολικών πάρκων, βάσει της σχετικής νομοθεσίας και με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται η τοπική κοινωνία.
- Θα ωφεληθεί η τοπική κοινωνία, τόσο σε επίπεδο αυτονομίας ηλεκτρικού ρεύματος, όσο και στην τιμή του ρεύματος που θα καταναλώνεται, καθώς το 1/3 του συνολικού κόστους του έργου θα αξιοποιηθεί για τη μείωση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας των οικιακών καταναλωτών στις περιοχές όπου λειτουργούν τα έργα.

### **Αρνητικά**

- Οι παρεμβάσεις που θα πραγματοποιηθούν στην περιοχή για την κατασκευή του αιολικού πάρκου θα έχουν επίδραση στην χλωρίδα και πανίδα.
- Οι ανεμογεννήτριες που απαρτίζουν το αιολικό πάρκο θα αλλοιώσουν τη φυσική όψη, προκαλώντας αισθητικά προβλήματα στην περιοχή.
- Θα επηρεάσουν την περιοχή με ηχορύπανση και οπτική όχληση, δεδομένου ότι το ύψος μιας ανεμογεννήτριας κυμαίνεται από 65 έως 105 μέτρα, γεγονός που την καθιστά ορατή από απόσταση 40 χιλιομέτρων. Επίσης, εξαιτίας των επιπέδων του θορύβου που θα προκληθεί, θα επηρεαστεί η τοπική άγρια ζωή αναπόφευκτα.

### 1.3 Τρόπος λειτουργίας της αιολικής ενέργειας

Τα τελευταία 30 χρόνια, η τεχνολογία των ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ανεμογεννητριών, εκτός από την ταχεία αύξηση της χωρητικότητας, έχουν υποστεί γενικά σημαντικές τροποποιήσεις. Τα ηλεκτρονικά ισχύος στις ανεμογεννήτριες χρησιμοποιήθηκαν αρχικά ως ένας απλός εκκινητής για τη σύνδεση μιας επαγωγικής γεννήτριας βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG) με το δίκτυο, όταν η ανεμογεννήτρια άρχισε να παράγει ηλεκτρική ενέργεια τη δεκαετία του 1980. Χρησιμοποιήθηκαν απλές διατάξεις ημιαγωγών ισχύος, καθώς τα ηλεκτρονικά ισχύος δεν χρειαζόταν να μεταφέρουν συνεχώς ρεύμα. Σε αυτή τη λύση, η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας είναι σταθερή. Ως αποτέλεσμα, οι προσαρμογές στην ταχύτητα του ανέμου επηρεάζουν άμεσα τη μηχανική ροπή πριν επηρεάσουν το ρεύμα της γεννήτριας.

Στη δεκαετία του 1990, οι επαγωγικές γεννήτριες τυλιγμένου δρομέα (WRIG) χρησιμοποιούσαν κατά κύριο λόγο τεχνολογία ηλεκτρονικών ισχύος για τον έλεγχο της αντίστασης του δρομέα, ενώ πιο προηγμένα ηλεκτρονικά ισχύος, όπως οι γέφυρες διόδων και οι κόφτες, χρησιμοποιούνταν για τον έλεγχο της αντίστασης του δρομέα της γεννήτριας. Σε αυτό το σύστημα, η ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας μπορεί να μεταβάλλεται μόνο εντός ενός συγκεκριμένου εύρους, ιδίως όταν λειτουργεί στην ονομαστική ισχύ λειτουργίας της (συνήθως 0%-10% πάνω από την σύγχρονη ταχύτητα της γεννήτριας). Ως αποτέλεσμα, η μηχανική καταπόνηση του συστήματος μπορεί να μειωθεί.

Από το 2000 διατίθενται αμφίδρομοι μετατροπείς πηγής τάσης με ακόμη μεγαλύτερη τεχνολογική πολυπλοκότητα. Αρχικά, με μια κλίμακα μερικής ισχύος για επαγωγικές γεννήτριες διπλής τροφοδότησης (DFIG) και αργότερα με μια κλίμακα πλήρους ισχύος για ασύγχρονες ή σύγχρονες γεννήτριες (A/SG), τα ηλεκτρονικά ισχύος άρχισαν να διαχειρίζονται συνεχώς την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχουν οι ανεμογεννήτριες [9].

Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος κατέστησαν δυνατή την πλήρη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της γεννήτριας και την επίτευξη μιας σειράς πλεονεκτημάτων.

Η κινητική ενέργεια στα πτερύγια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απρόσκοπτη μετατροπή των διακυμάνσεων της ταχύτητας του ανέμου σε μηχανική ροπή και ηλεκτρική ισχύ με συγκεκριμένη ποσότητα αδράνειας. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων ανέμου για την ενίσχυση της απόδοσης της ανεμογεννήτριας.

Η αυξημένη ευελιξία του ελέγχου ισχύος των μετατροπέων ισχύος σε ηλεκτρική επιτρέπει επίσης την παροχή ορισμένων βοηθητικών υπηρεσιών για το δίκτυο.

Είναι σαφές ότι, καθώς η κάλυψη της δυναμικότητας έχει αυξηθεί, τα ηλεκτρονικά ισχύος έχουν γίνει πιο εξελιγμένα και έχουν βελτιώσει σημαντικά την απόδοση των ανεμογεννητριών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα λιγότερη μηχανική καταπόνηση και μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, καθώς και την ικανότητα της WTS να λειτουργεί ως ελεγχόμενη γεννήτρια που είναι πολύ πιο κατάλληλη για την ενσωμάτωση στο δίκτυο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο ορισμός της αιολικής ενέργειας είναι η κινητική ενέργεια του κινούμενου αέρα, γνωστή και ως άνεμος. Τη χρονική στιγμή  $t$ , η συνολική ποσότητα της αιολικής ενέργειας που διέρχεται από μια εξιδανικευμένη επιφάνεια εμβαδού  $A$  είναι:

$$E = \frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2} (A u t \rho) u^2 = \frac{1}{2} A t \rho u^3$$

όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα,

$u$  είναι η ταχύτητα του ανέμου,

$A u t$  είναι ο όγκος του αέρα που διέρχεται από το  $A$  (ο οποίος θεωρείται κάθετος προς την κατεύθυνση του ανέμου).

$\frac{1}{2} \rho u^2$  είναι η κινητική ενέργεια του κινούμενου αέρα ανά μονάδα όγκου.

Η ισχύς είναι ενέργεια ανά μονάδα χρόνου, επομένως η αιολική ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια  $A$  είναι:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} A \rho u^3$$

Ως αποτέλεσμα, η ισχύς του ανέμου σε ένα ανοιχτό ρεύμα αέρα είναι αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου, αυξάνοντας οκτώ φορές με διπλασιασμό της ταχύτητας του ανέμου.

Άνεμος είναι ο όρος για την κίνηση του αέρα που σχετίζεται με την πίεση στην επιφάνεια της Γης. Μεταξύ 1979 και 2010, η μέση παγκόσμια κινητική ενέργεια του ανέμου ήταν  $1,50\text{J/m}^2$ , με το βόρειο ημισφαίριο να έχει  $1,31\text{MJ/m}^2$  και το νότιο ημισφαίριο  $1,70\text{MJ/m}^2$ .

Ως θερμική μηχανή, η ατμόσφαιρα απορροφά θερμότητα σε υψηλότερες θερμοκρασίες και την απελευθερώνει σε χαμηλότερες. Ως αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας παράγονται  $2,46\text{W/m}^2$  κινητικής ενέργειας του ανέμου, διατηρώντας την κυκλοφορία της ατμόσφαιρας ενάντια στην αντίσταση [10].

Η εκτίμηση του δυναμικού αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, ανά χώρα ή περιοχή ή για μια συγκεκριμένη τοποθεσία είναι εφικτή μέσω της εκτίμησης των αιολικών πόρων. Το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας σε συνεργασία με την Παγκόσμια Τράπεζα προσφέρει μια εμπειριστατωμένη αξιολόγηση του αιολικού ενεργειακού δυναμικού στο Global Wind Atlas [11].

Εξειδικευμένοι εμπορικοί προμηθευτές μπορούν να παρέχουν πιο ακριβείς, συγκεκριμένες για κάθε τοποθεσία εκτιμήσεις του δυναμικού των αιολικών πόρων, ενώ πολλοί από τους κύριους κατασκευαστές αιολικών διαθέτουν δυνατότητες μοντελοποίησης σε εσωτερικούς χώρους.

Το σύνολο της ποσότητας ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από τον άνεμο είναι σημαντικά περισσότερο από αυτό που χρησιμοποιούν σήμερα οι άνθρωποι σε όλες τις πηγές ενέργειας. Η ισχύς του ανέμου ποικίλλει, επομένως η μέση τιμή μιας τοποθεσίας δεν αντικατοπτρίζει από μόνη της τη δυνητική παραγωγή ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια εκεί. Συχνά εφαρμόζεται μια συνάρτηση κατανομής πιθανότητας στα υπό παρατήρηση δεδομένα ταχύτητας ανέμου για την αξιολόγηση πιθανών θέσεων εγκατάστασης αιολικών πάρκων. Η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή.

## 1.4 Αιολικά πάρκα

Ένας αριθμός ανεμογεννητριών σε μια τοποθεσία αποτελεί ένα αιολικό πάρκο. Ένα μεγάλο αιολικό πάρκο μπορεί να περιλαμβάνει αρκετές εκατοντάδες διαφορετικές ανεμογεννήτριες που κατανέμονται σε μια μεγάλη περιοχή. Ο χώρος μεταξύ των ανεμογεννητριών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γεωργικές ή άλλες δραστηριότητες. Το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο στον κόσμο, το αιολικό πάρκο Gansu, για παράδειγμα, περιλαμβάνει χιλιάδες ανεμογεννήτριες.



Εικόνα 1.4 - Χερσαίο αιολικό πάρκο Gansu

Οι ανεμογεννήτριες σε ένα αιολικό πάρκο συνδέονται με ένα δίκτυο επικοινωνιών και ένα σύστημα συλλογής ενέργειας μέσης τάσης. Σε ένα πλήρως κατασκευασμένο αιολικό πάρκο, μεταξύ κάθε ανεμογεννήτριας δημιουργείται συνήθως απόσταση 7D (7 φορές η διάμετρος του ρότορα της ανεμογεννήτριας). Για τη σύνδεση με το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης, μεσολαβεί ένας μετασχηματιστής σε έναν υποσταθμό ο οποίος αυξάνει την τάση αυτής [12].

#### 1.4.1 Χαρακτηριστικά γεννήτριας και σταθερότητα

Η άεργος ισχύς είναι απαραίτητη για τις επαγωγικές γεννήτριες, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν συχνά σε έργα αιολικής ενέργειας κατά τις δεκαετίες του 1980 και 1990. Έτσι, για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος, περιλαμβάνονται εκτεταμένες συστοιχίες πυκνωτών στους ηλεκτρικούς υποσταθμούς που χρησιμοποιούνται στα συστήματα συλλογής αιολικής ενέργειας. Οι διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς πρέπει να προσομοιώνουν διεξοδικά τα δυναμικά ηλεκτρομηχανικά χαρακτηριστικά ενός νέου αιολικού πάρκου για να εξασφαλίσουν προβλέψιμη, σταθερή συμπεριφορά κατά τη διάρκεια σφαλμάτων του συστήματος, δεδομένου ότι οι διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών ανταποκρίνονται διαφορετικά στις διαταραχές του δικτύου μεταφοράς. Ειδικότερα, σε αντίθεση με τις σύγχρονες γεννήτριες αμμοστροβίλων ή υδροστροβίλων, οι επαγωγικές

γεννήτριες δεν μπορούν να διατηρήσουν την τάση του συστήματος κατά τη διάρκεια μιας βλάβης.

Οι ανεμογεννήτριες δεν χρησιμοποιούν γεννήτριες επαγωγής. Αντ' αυτού, η πλειονότητα των ανεμογεννητριών χρησιμοποιεί γεννήτριες μεταβλητών στροφών, οι οποίες έχουν συνήθως καλύτερα χαρακτηριστικά διασύνδεσης με το δίκτυο και δυνατότητες ανακύκλωσης χαμηλής τάσης, σε συνδυασμό με έναν μετατροπέα ισχύος μερικής ή πλήρους κλίμακας μεταξύ της γεννήτριας, της ανεμογεννήτριας και του συστήματος συλλογής. Οι σύγχρονες τουρμπίνες χρησιμοποιούν είτε επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού είτε σύγχρονες γεννήτριες (τόσο μόνιμα όσο και ηλεκτρικά διεγερμένες) με μετατροπείς πλήρους κλίμακας είτε ηλεκτροκινητήρες διπλής τροφοδοσίας με μετατροπείς μερικής κλίμακας.

Ένας κωδικός δικτύου θα δοθεί σε έναν κατασκευαστή αιολικού πάρκου από τους διαχειριστές του συστήματος μεταφοράς για να υποδείξει τις προϋποθέσεις σύνδεσης με το δίκτυο μεταφοράς. Αυτός θα καλύπτει τον συντελεστή ισχύος των ανεμογεννητριών, τη σταθερότητα της συχνότητας και τη δυναμική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος του συστήματος.

#### 1.4.2 Υπεράκτια αιολική ενέργεια

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια αναφέρεται σε ανεμογεννήτριες που βρίσκονται σε τεράστιες υδάτινες μάζες, συνήθως στη θάλασσα. Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν λιγότερο αισθητικές επιπτώσεις στο τοπίο από ό,τι τα χερσαία έργα και μπορούν να εκμεταλλευτούν τους συχνότερους και ισχυρότερους ανέμους που υπάρχουν σε αυτές τις περιοχές. Ωστόσο, η τιμή κατασκευής και συντήρησης είναι σημαντικά υψηλότερη.

Η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το ανάγλυφο μιας περιοχής καθώς και από τις καιρικές συνθήκες στις εποχές του χρόνου. Για να θεωρηθεί μια τοποθεσία κατάλληλη για αιολική ενέργεια, η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 6-7m/s (μετρούμενη σε ύψος 10m πάνω από το έδαφος).

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ηλιακή, αιολική, υδρογόνο κ.λπ.) κερδίζουν πρόσφατα μερίδιο αγοράς λόγω της αυξανόμενης ανησυχίας για την εξάντληση των συμβατικών πηγών ενέργειας (πετρέλαιο, άνθρακας κ.λπ.) και την περιβαλλοντική τους επιβάρυνση. Ως



αποτέλεσμα, η αιολική ενέργεια έχει γίνει μια από τις σημαντικότερες μεθόδους παραγωγής ενέργειας.

Από τα πρώτα πλωτά αιολικά πάρκα στον κόσμο εγκαταστάθηκε στην Σκωτία από την κατασκευάστρια εταιρία, Statoil, πολυεθνική εταιρία πετρελαίου με έδρα την Νορβηγία όπου επένδυσε 200 εκατ. λίρες για την κατασκευή του «Hywind». Βρίσκεται 25 χιλιόμετρα από την ακτή Peterhead, αποτελούμενο από 5 ανεμογεννήτριες 6MW η κάθε μία, συνολικής ισχύς 30MW καλύπτοντας τις ανάγκες 20.000 σπιτιών.



Εικόνα 1.5 - Hywind project

Οι κορυφαίοι κατασκευαστές ανεμογεννητριών για την υπεράκτια αιολική ενέργεια είναι η Siemens και η Vestas. Οι κορυφαίοι φορείς εκμετάλλευσης υπεράκτιων περιοχών είναι οι Ørsted, Vattenfall και E.ON. Το αιολικό πάρκο Hornsea στο Ηνωμένο Βασίλειο, το οποίο διαθέτει 1.218MW, είναι το μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό πάρκο στον κόσμο από τον Νοέμβριο του 2021.

## 1.5 Δίκτυο συλλογής και μεταφοράς

Οι μεμονωμένες ανεμογεννήτριες σε ένα αιολικό πάρκο συνδέονται με ένα δίκτυο επικοινωνιών και ένα σύστημα συγκέντρωσης ενέργειας μέσης τάσης. Αυτή η ισχύς μέσης τάσης μετατρέπεται σε υψηλή τάση σε έναν υποσταθμό, ώστε να μπορεί να συνδεθεί στο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου να μεταφερθεί η παραγόμενη

ενέργεια στις αγορές, οι οποίες συχνά βρίσκονται μακριά, απαιτείται μια γραμμή μεταφοράς. Αυτό καθιστά αναγκαία τη χρήση υποθαλάσσιου καλωδίου για μια υπεράκτια μονάδα. Επειδή είναι εξαιρετικά δαπανηρή η κατασκευή μιας νέας γραμμής υψηλής τάσης, τα αιολικά πάρκα μπορούν να χρησιμοποιήσουν γραμμές που έχουν ήδη δημιουργηθεί για την υφιστάμενη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Συχνά τα αιολικά πάρκα δεν βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις από κατοικημένες περιοχές και η μεταφορά ενέργειας απαιτείται να γίνεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, η οποία όμως μεταφορά δυσχεραίνει, λόγω της πτώσης τάσης που εμφανίζεται, όσο αυξάνεται το μήκος των γραμμών μεταφοράς ενέργειας.

Τα αιολικά πάρκα αναγκάζονται να παράγουν κάτω από τη μέγιστη δυναμικότητά τους ή να διακόπτουν εντελώς τη λειτουργία τους, όταν η ικανότητα μεταφοράς δεν καλύπτει την ικανότητα παραγωγής, μια διαδικασία γνωστή ως περιορισμός. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η πιθανή συμφόρηση του δικτύου ή ο κίνδυνος για την διακοπή της παροχής, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε υπολειτουργία του συστήματος.

Αποτελεί πρόκληση, για πολλές χώρες, η κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς για τη μεταφορά ενέργειας από τα αιολικά πάρκα που θα συνδέει απομακρυσμένες περιοχές με χαμηλό πληθυσμό, λόγω της διαθεσιμότητας του ανέμου, με τοποθεσίες υψηλού φορτίου οι οποίες βρίσκονται συνήθως στις ακτές όπου η πυκνότητα του πληθυσμού είναι υψηλή.

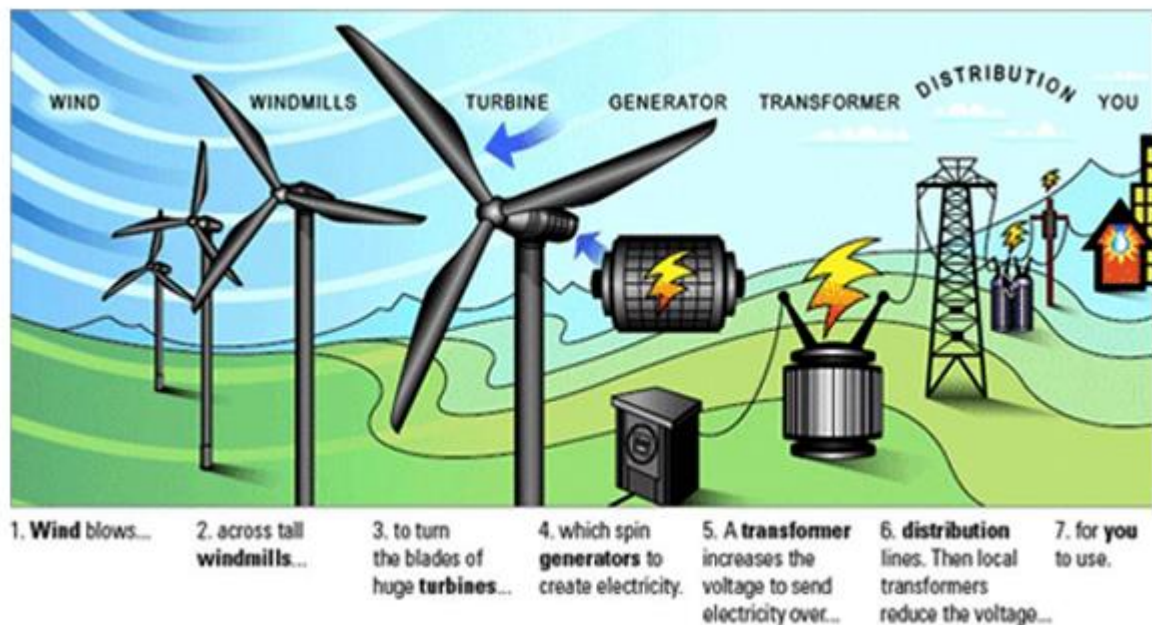
Είναι πιθανό ότι οι όποιες τρέχουσες γραμμές μεταφοράς σε αγροτικές περιοχές δεν προορίζονταν για τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας ενέργειας. Οι μέγιστες ταχύτητες ανέμου και η χερσαία ή υπεράκτια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ενδέχεται να μην συμπίπτουν σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Ένα δίκτυο HVDC θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον για να συνδέσει γεωγραφικές τοποθεσίες που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους [13].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> - ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Ένα παράδειγμα αιολικής μηχανής είναι η ανεμογεννήτρια, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια και στην συνέχεια σε ηλεκτρική. Θα μπορούσε να θεωρηθεί η προηγμένη έκδοση των κλασικών ανεμόμυλων.

Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο της μετατροπής της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνει την περιστροφή του άξονα των πτερυγίων και το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τη μεταφορά της μηχανικής ενέργειας, μέσω γεννήτριας, για τη δημιουργία ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 2.1 - Στάδια ηλεκτροπαραγωγής από ανεμογεννήτριες

Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια του ρότορα των ανεμογεννητριών, τα οποία είναι στερεωμένα σε έναν περιστρεφόμενο άξονα. Αυτός ο άξονας, ο οποίος συνδέεται με έναν μετατροπέα ταχύτητας, ακολουθείται από ένα δισκόφρενο που συνδέεται με έναν άλλο άξονα που χρησιμοποιείται από μια ηλεκτρική γεννήτρια για την παραγωγή ενέργειας. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες μπορούν να παρέχουν από μερικές δεκάδες Watt έως εκατοντάδες MegaWatt ισχύος.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ανεμογεννήτριες αρκούν για να καλύψουν όλες τις ενεργειακές ανάγκες μιας περιοχής, ενώ σε άλλες περιπτώσεις λειτουργούν συνδυαστικά

με άλλες μεθόδους παραγωγής ενέργειας. Εν κατακλείδι, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανεμογεννήτριες μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί τοπικά, είτε να προστεθεί στο δίκτυο για χρήση και συνδυασμό με άλλο.

Ανάλογα με την χρήση και την εφαρμογή τους, οι ανεμογεννήτριες μπορεί να είναι μικρού, μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους. Για παράδειγμα, οι μικρές ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται κυρίως για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε απλές κατοικίες, εξοχικές κατοικίες και σε άλλα παρόμοιας τάξης μεγέθους κτίρια. Μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως εφεδρική πηγή ενέργειας για επιπλέον ενέργεια σε αυτόνομα ηλιακά συστήματα, αλλά μέχρι και σε ολόκληρες κατοικημένες γειτονιές. Μεσαίες ή και μεγάλες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται σε μορφή αιολικού πάρκου, δηλαδή συνδέονται πολλές μαζί σε σειρά ή παράλληλα, προκειμένου να ενισχύσουν το δίκτυο ή μία τοπική κοινωνία.

Το μέγεθος μιας ανεμογεννήτριας, το οποίο είναι αποτέλεσμα των απαιτήσεων που τίθενται σε αυτήν, καθορίζει πόσο αποτελεσματική είναι. Η αποτελεσματικότητα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που την περιβάλλει, όπως για παράδειγμα η ταχύτητα του ανέμου.

Από την άλλη, η απόδοση της ανεμογεννήτριας αυξάνεται με την ταχύτητα του ανέμου, έως ότου επιτύχει τις υψηλότερες ποσότητες ρεύματος που είναι σε θέση να παράγει, ή με άλλα λόγια, την ονομαστική της ισχύ που μπορεί να φτάσει.

Δύο είναι τα στοιχεία που καθορίζουν κυρίως το πόση ισχύ μπορεί να παράγει μια ανεμογεννήτρια:

1. Όσο μεγαλύτερα είναι τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, τόσο μεγαλύτερη ισχύς μπορεί να παραχθεί. Επομένως, ο διπλασιασμός του μήκους οδηγεί σε ανάλογη αύξηση της ισχύος σε οποιαδήποτε δεδομένη ταχύτητα ανέμου.

2. Η ισχύς αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου.

Μια τυπική ανεμογεννήτρια αναμένεται να διαρκέσει 20 έως 25 χρόνια ζωής.

## 2.2 Είδη Ανεμογεννητριών

Από το 1890, όταν ο πρώτος ανεμόμυλος χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ενέργειας στη Δανία, η τεχνολογία για την κατασκευή ανεμογεννητριών εξελίχθηκε γρήγορα, οδηγώντας σε ολοένα και μεγαλύτερες και πιο ισχυρές κατασκευές.

Τα τελευταία χρόνια, η βιομηχανία ανεμογεννητριών είχε μια ισχυρή οικονομική ενίσχυση, προκειμένου να αξιοποιηθεί η αιολική ενέργεια, σαν άλλος τρόπος Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας, έχοντας κατασκευάσει αρκετές ανεμογεννήτριες. Εκτός από τον αριθμό των πτερυγίων, αυτές οι ανεμογεννήτριες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το πόσο κοντά στο έδαφος βρίσκεται ο άξονας περιστροφής, αλλά και με το πού είναι τοποθετημένος αυτός ο άξονας. Ανάλογα με τα θεμελιώδη μηχανικά χαρακτηριστικά τους και την κατεύθυνση του άξονα περιστροφής των πτερυγίων, οι ανεμογεννήτριες ταξινομούνται είτε σε ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είτε σε ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.

Ο πιο διαδεδομένος τύπος ανεμογεννήτριας και δημοφιλή επιλογή για αιολικά πάρκα που συνδέονται με το κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα, η οποία διαθέτει ρότορα τύπου έλικα και άξονα που κινείται συνεχώς παράλληλα με το έδαφος και τη διεύθυνση του ανέμου. Σε αυτές, ο ρότορας μετατρέπει τη γραμμική ταχύτητα του ανέμου σε κυκλική κίνηση.

Τα κύρια μηχανικά μέρη αυτών των ανεμογεννητριών αποτελούνται από πολύ αεροδυναμικά πτερύγια, συνήθως δύο ή τρία, το σύστημα μετάδοσης που απαρτίζεται από τον κύριο άξονα και το κιβώτιο ταχυτήτων, την γεννήτρια και τον πύργο στήριξης στον οποίο είναι τοποθετημένος ο ρότορας. Το σύστημα πέδησης, στο οποίο η ανεμογεννήτρια μπορεί να επιβραδύνει όταν υπερβαίνει ένα όριο ταχύτητας το σύστημα των πτερυγίων για την αποφυγή ζημιών στο μηχανικό μέρος. Τα συστήματα που βοηθάνε στον έλεγχο, τη σύνδεση και την αποθήκευση (συσσωρευτές) της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, είναι το σύστημα προσανατολισμού με βάση τον άνεμο, το οποίο μπορεί να διαχειρίζεται από αισθητήρες ή ένα καθοδηγητικό πτερύγιο γνωστό ως ανεμοπτερύγιο.

## 2.2.1 Οριζόντιου Άξονα

Ακολουθούν τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα:

### Πλεονεκτήματα ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα:

- Λόγω του ύψους του, μπορεί να επωφεληθεί από ισχυρότερους ανέμους.
- Απλή συναρμολόγηση.
- Έχει υψηλό συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης.
- Η απόδοσή της είναι μεγαλύτερη και καλύτερη από εκείνη των ανεμογεννητριών κάθετου άξονα.

### Μειονεκτήματα ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα:

- Ο σχετικός θόρυβος που παράγεται από την ανεμογεννήτρια.
- Λόγω του μεγέθους της, η κατασκευή και η μεταφορά της είναι εξαιρετικά δαπανηρή.
- Προκαλεί προβλήματα στην τοπική χλωρίδα και πανίδα όπου τοποθετείται.



Εικόνα 2.2 - Τύπος ανεμογεννήτριας σε οριζόντιο άξονα

## 2.2.2 Κάθετου Άξονα

Λιγότερο συχνά συναντώνται και είναι λιγότερο παραγωγικές οι ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα που είναι σταθερός και κάθετος στην επιφάνεια του εδάφους και στη διεύθυνση του ανέμου. Στις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα τα πτερύγια είναι στερεωμένα στο πάνω και στο κάτω μέρος ενός κατακόρυφου ρότορα. Η ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus και η ανεμογεννήτρια Savonius είναι τα δύο πιο δημοφιλή είδη ανεμογεννητριών κάθετου άξονα. Η πρώτη πήρε το όνομά της από τον Γάλλο μηχανικό Georges Darrieus, ο οποίος κατοχύρωσε τη συσκευή το 1931. Η ανεμογεννήτρια Savonius είναι λιγότερο αποδοτική από την άλλη, αλλά έχει πιο απλό μηχανισμό εκκίνησης, πέρα από τις ουσιαστικές διαφορές στον σχεδιασμό της. Από την άλλη πλευρά, αν και ξεκινάει πιο αργά, ο τύπος Darrieus είναι πολύ πιο αποτελεσματικός. Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί υβριδικές ανεμογεννήτριες που συνδυάζουν τη γρήγορη εκκίνηση της Savonius με τη μεγαλύτερη απόδοση της Darrieus. Αν και υπάρχουν διάφορες ποικιλίες ανεμογεννητριών κάθετου άξονα, όλες βασίζονται στη λογική του Savonius και του Darrieus.

Βασικό χαρακτηριστικό των ανεμογεννητριών κάθετου άξονα, είναι ότι, ο άνεμος περιστρέφεται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα για να τροφοδοτήσει αυτές τις ανεμογεννήτριες. Ο άνεμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση - όταν η κατεύθυνση του ανέμου αλλάζει, ο ρότορας δεν χρειάζεται να τροποποιηθεί. Η γεννήτρια ισχύος βρίσκεται στο έδαφος και ο κατακόρυφος άξονας επιτρέπει τη μεταφορά του μηχανικού έργου εκεί.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών καθέτου άξονα: [17]

### Πλεονεκτήματα ανεμογεννήτριας κάθετου άξονα :

- Καθώς περιστρέφεται κατά 360 μοίρες, αξιοποιεί τον άνεμο από όλες τις κατευθύνσεις και ως εκ τούτου είναι αποτελεσματική σε τοποθεσίες με κυμαινόμενο άνεμο.
- Η εγκατάσταση και η συντήρηση της γεννήτριας και του κιβωτίου ταχυτήτων διευκολύνεται επειδή είναι τοποθετημένα στη βάση.
- Παράγεται λιγότερος θόρυβος.
- Λόγω του μεγέθους της, μπορεί να τοποθετηθεί σε δυσπρόσιτες τοποθεσίες, όπως πόλεις, και αυτοκινητόδρομους.
- Η κατασκευή της είναι λιγότερο δαπανηρή και απλούστερη.

- Έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

**Μειονεκτήματα ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα:**

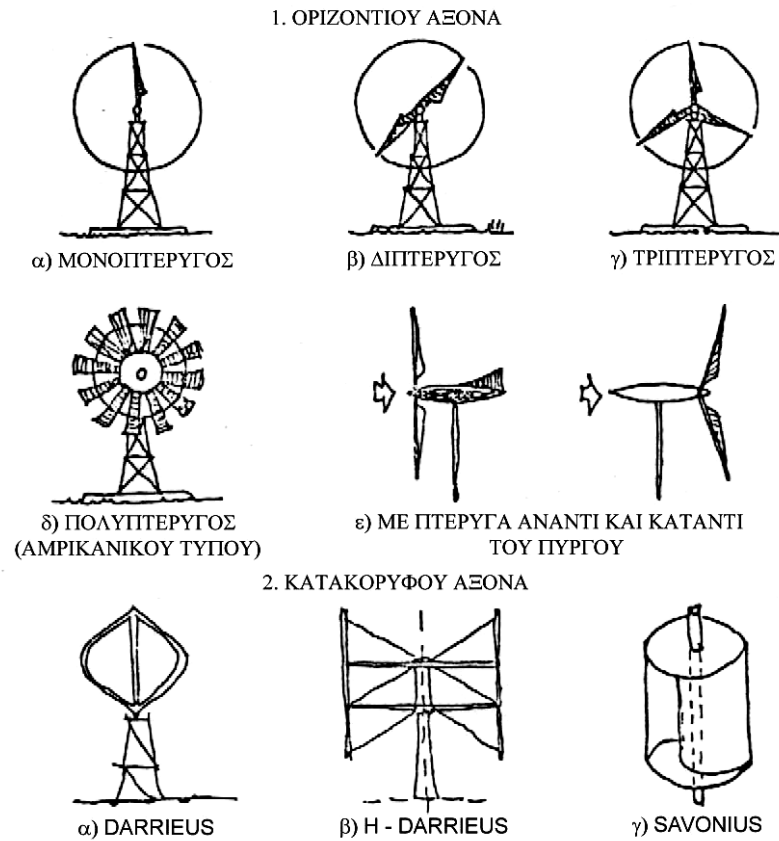
- Έχει χαμηλό βαθμό απόδοσης - ονομαστικής ισχύς.
- Λόγω της ισχυρής ροπής έναρξης, έχει χαμηλή ταχύτητα περιστροφής του ρότορα.
- Το μέτριο μέγεθός της καθιστά δύσκολη την εκμετάλλευση των ισχυρών ανέμων.
- Η αντικατάσταση των ρουλεμάν κύλισης είναι ένα μηχανικό στοιχείο που καθιστά δύσκολη την συντήρηση.
- Λόγω της περιστροφής των πτερυγίων κατά 360 μοίρες, φθείρονται τακτικά.



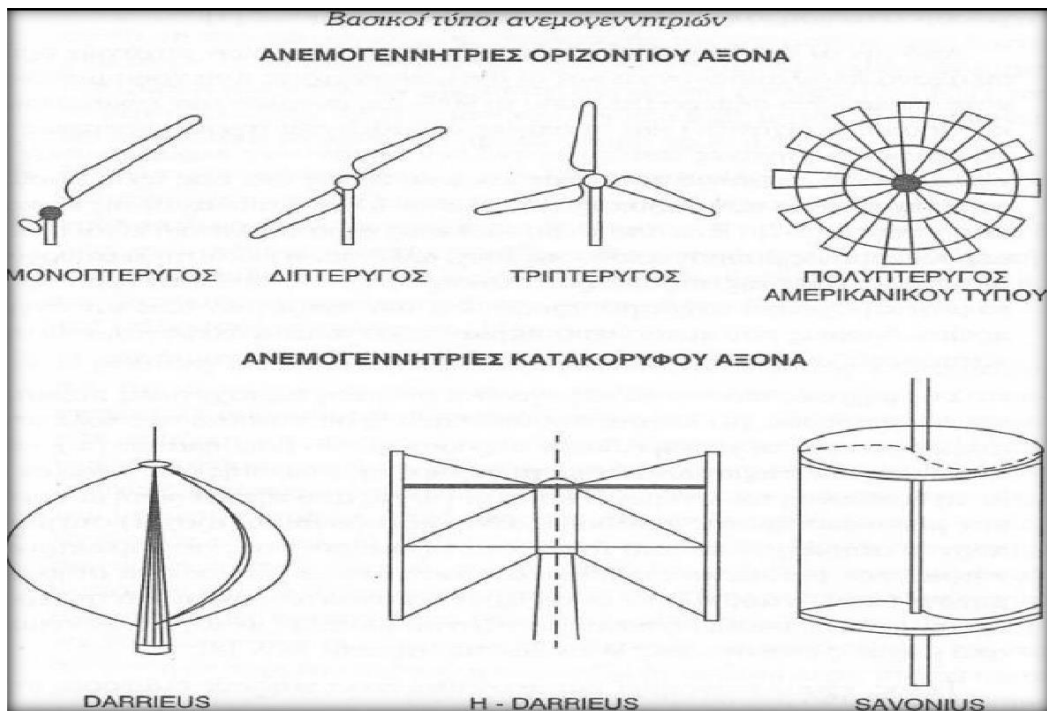
Εικόνα 2.3 - Τύπος ανεμογεννήτριας σε κάθετο άξονα



Κατωτέρω εμφανίζονται διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών οριζόντιου και κάθετου άξονα :



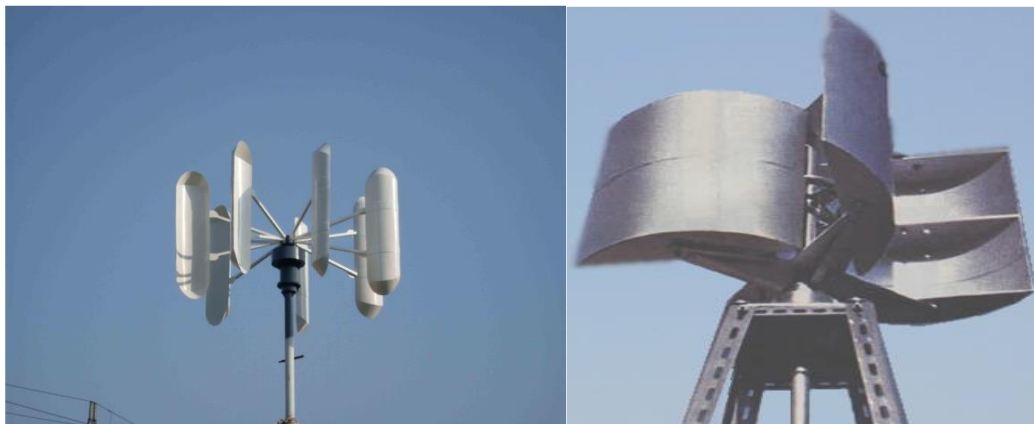
Εικόνα 2.4 - Διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών οριζόντιου και κάθετου άξονα  
(Κορωναίος 2012)



Εικόνα 2.5 - Είδη πτερυγίων ανεμογεννητριών



Εικόνα 2.6 - Ανεμογεννήτριες με Χαλύβδινους και Δικτυωτούς πυλώνες



Εικόνα 2.7 - Ανεμογεννήτρια τύπου Paneromas - Sabonius

### 2.2.3 Ανεμογεννήτρια χωρίς πτερύγια

Σημειώνεται ότι η ισπανική εταιρεία Vortex Bladeless παρουσίασε μια μέθοδο αιχμής για την παραγωγή "πράσινης" ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ανεμογεννητριών χωρίς πτερύγια. Αυτές οι ανεμογεννήτριες διαθέτουν ανεμογεννήτριες σε σχήμα κυλίνδρου με ύψος έως και τρία μέτρα. Η κίνηση του αέρα προκαλεί ταλαντώσεις και δονήσεις σε όλο το μήκος του ιστού, οι οποίες παράγουν ενέργεια. Μια γεννήτρια στη βάση του ιστού κινείται από μια ράβδο από ανθρακονήματα και δεν διαθέτει μηχανικά μέρη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ιστός αποτελείται από πολυεστέρα που έχει ενισχυθεί με ίνες άνθρακα και υαλοβάμβακα για να είναι ευκολότερη η ταλάντωσή του. Η ιδέα αυτή

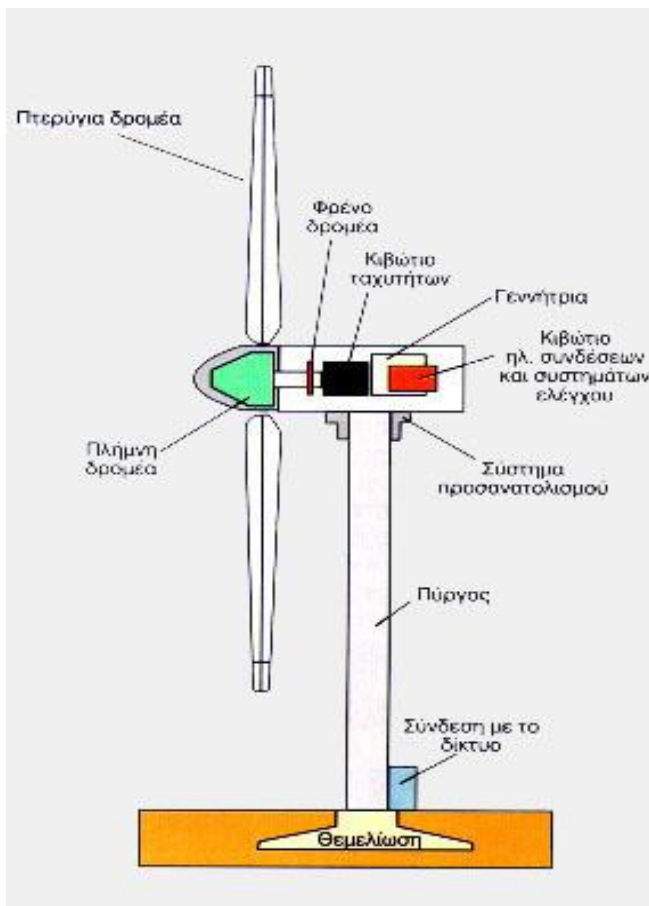
αποσκοπεί στην επίλυση των προβλημάτων των τυπικών ανεμογεννητριών που διαθέτουν πτερύγια, όπως η συντήρηση, η απόσβεση, ο θόρυβος, η επίδραση στην τοπική πανίδα και το περιβάλλον [19].



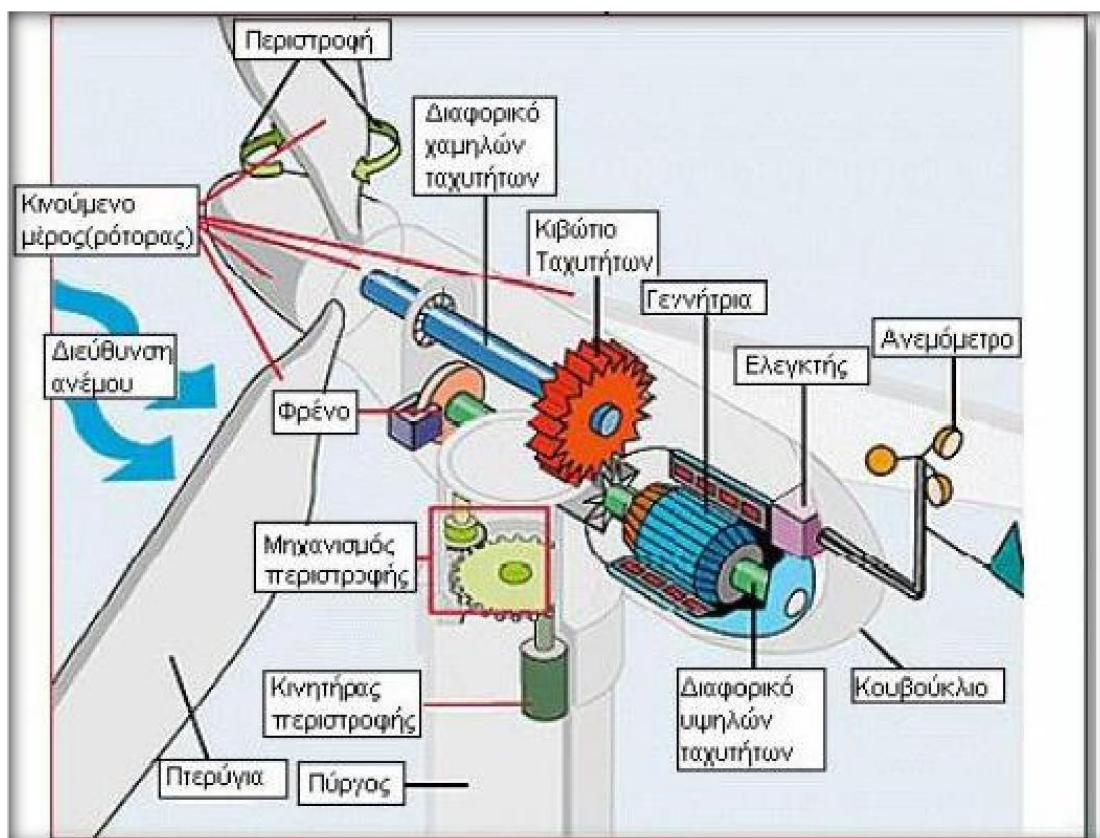
Εικόνα 2.8 - Ανεμογεννήτρια ραβδωτού τύπου - Vortex Bladeless

### 2.3 Δομή Ανεμογεννήτριας

Τα βασικά μέρη μίας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα διακρίνονται στο κατωτέρω σχήμα [18].



Εικόνα 2.9 - Τα βασικά μέρη μίας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα (ΚΑΠΕ)



Εικόνα 2.10 - Δομή μιας τρίπτερης ανεμογεννήτριας στο εσωτερικό της

### Πτερύγια δρομέα ή ρότορα

Η πλειοψηφία των ανεμογεννητριών διαθέτει δύο ή τρία πτερύγια, καθένα από τα οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και διάμετρο 80 μέτρα. Η άνωση που παράγεται από τον άνεμο πάνω στα πτερύγια οδηγεί στη δημιουργία ροπής γύρω από τον άξονα περιστροφής, η οποία οδηγεί στην περιστροφή των πτερυγίων. Τα πτερύγια είναι κατασκευασμένα με υψηλή ακαμψία, υψηλή αντοχή, υψηλή αντίσταση, αλλά χαμηλό βάρος, γεγονός που καθιστά την κατασκευή τους περίπλοκη. Όλα τα εξαρτήματα κατασκευάζονται από ρητίνες, συνήθως πολυεστέρα και ενισχύονται με ίνες γυαλιού και άνθρακα.

### Πλήμνη δρομέα

Η πλήμνη του δρομέα βρίσκεται στο κέντρο του άξονα, πάνω στην οποία προσαρμόζονται τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας.

### Φρένο δρομέα

Το φρένο δρομέα της ανεμογεννήτριας αποτελείται από μία διάταξη πέδησης που επεμβαίνει αυτόματα στον άξονά του προκειμένου να επιβραδύνει την περιστροφή του ρότορα. Ουσιαστικά λειτουργεί ως δισκόφρενο που μπορεί να ενεργοποιείται χειροκίνητα, ηλεκτρικά ή και υδραυλικά. Ο βασικός του σκοπός είναι να σταματά τον κινητήρα σε περίπτωση που φτάσει σε υψηλές ταχύτητες ανέμου, όπου μπορεί να προκαλέσει έντονη περιστροφή του ρότορα με υπερβολικά υψηλή ταχύτητα, με αποτέλεσμα να κινδυνεύει να υποστεί ζημιά στο μηχανικό μέρος του. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μορφή φρένου είναι, το μηχανικό δισκόφρενο, το οποίο τροφοδοτείται από υδραυλικά συστήματα.

### Κιβώτιο ταχυτήτων/πολλαπλασιασμού στροφών

Η ταχύτητα περιστροφής του ρότορα ρυθμίζεται από το πλαίσιο. Για την ακρίβεια, τα γρανάζια του κιβωτίου ταχυτήτων που συνδέουν τους άξονες χαμηλής και υψηλής ταχύτητας αυξάνουν την ταχύτητα περιστροφής από 30 έως 60 στροφές ανά λεπτό, σε 1.200 έως 1.500 στροφές ανά λεπτό. Δεδομένου ότι οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να λειτουργούν σε ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από 104.6km/h λόγω του κινδύνου υπερθέρμανσης των γεννητριών τους ή/και θραύσης των πτερυγίων τους, η ταχύτητα περιστροφής διατηρείται σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας της

μηχανής από έναν ελεγκτή. Η μηχανή συνήθως ενεργοποιείται από τον ελεγκτή σε ανέμους 12.8km/h έως 25.7km/h και απενεργοποιείται στα 104.6km/h.

### Γεννήτρια

Η γεννήτρια, η οποία έχει ως ρόλο να μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, στεγάζεται συνήθως στο εσωτερικό του πύργου της ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, είναι σύγχρονη ή επαγωγική, έχει τέσσερις ή έξι πόλους και συνδέεται με την έξοδο του συλλέκτη μέσω ελαστικής ή υδραυλικής σύνδεσης.

### Σύστημα προσανατολισμού.

Μέσω ενός ανεμομέτρου που ανιχνεύει συνεχώς την ταχύτητα του ανέμου και τροφοδοτεί τα δεδομένα του ανέμου σε έναν ελεγκτή, το σύστημα προσανατολισμού εξαναγκάζει τον άξονα περιστροφής του ρότορα να είναι πάντοτε παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου.

### Πύργος.

Ο πύργος, το ύψος του οποίου μπορεί να φτάσει τα 130m, υποστηρίζει ολόκληρο το έργο. Έχει εξωτερικό κέλυφος από χάλυβα, είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και πολύ σπάνια είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, οι ψηλότεροι πύργοι διαθέτουν ανεμογεννήτριες που μπορούν να παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια με τη δέσμευση περισσότερης ενέργειας. Ο πύργος στήριξης πρέπει να είναι σταθερός και ανθεκτικός στις χρονικά μεταβαλλόμενες πιέσεις και τις καιρικές συνθήκες, καθώς και να έχει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα.

### Σύνδεση με το δίκτυο - ηλεκτρονικός πίνακας.

Ένας ηλεκτρονικός πίνακας που βρίσκεται στη βάση του πύργου χρησιμοποιείται για τη σύνδεση της ανεμογεννήτριας με το δίκτυο. Ο πίνακας αυτός περιέχει τον απαραίτητο ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τον συντονισμό όλων των δραστηριοτήτων της ανεμογεννήτριας, εξασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία της.

### Θεμελίωση.

Ιδιαίτερα όταν η θεμελίωση γίνεται σε εδάφη με περιορισμένη σταθερότητα, όπως ο βυθός της θάλασσας, πρέπει να γίνει στατική μελέτη για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας, τόσο για τη θεμελίωσή της όσο και για τη συνολική στήριξη. Η θεμελίωση αποτελεί το 20% του κόστους επένδυσης ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου, καθώς είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την εγκατάσταση και τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Η εξεύρεση καινοτόμων μεθόδων θεμελίωσης και στήριξης του πύργου έχει καταστεί αναγκαία, καθώς τα αιολικά πάρκα πλέον μπορούν και σχεδιάζονται, να ανεγερθούν μακριά από την ακτή και σε μεγάλα βάθη.

Η δομή των ανεμογεννητριών στην ξηρά δεν διαφέρει από τις αντίστοιχες στα παράκτια αιολικά πάρκα, τα οποία αποτελούν και το κυρίως αντικείμενο της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

Οι διαφορές στην τεχνολογία μεταξύ των δύο ειδών πάρκων επικεντρώνονται :

➤ Στο μέγεθος της ανεμογεννήτριας - παραγόμενη ισχύ.

Είναι λογικό ότι, αφού το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης μίας ανεμογεννήτριας στα παράκτια αιολικά πάρκα είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος για εγκατάσταση στην ξηρά, συμφέρει η τοποθέτηση μίας ανεμογεννήτριας, η οποία παράγει μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ.

➤ Στην θεμελίωση.

Είναι προφανές πως η θεμελίωση στα παράκτια πάρκα, σε σχέση με τα αντίστοιχα στην ξηρά, είναι διαφορετική αφού πρέπει να ανταπεξέρχεται σε κυματικά φορτία καθώς και σε θαλάσσια ρεύματα.

➤ Στο ύψος των πύργων.

Στα παράκτια πάρκα συνηθίζεται το ύψος των πύργων να είναι μικρότερο των αντίστοιχων στη στεριά, καθώς η εξάρτηση της ταχύτητας του ανέμου από το ύψος μειώνεται σε σχέση με την ξηρά.

➤ Στις μεθόδους συντήρησης.

Στα παράκτια αιολικά πάρκα, η πρόσβαση στις ανεμογεννήτριες από το προσωπικό συντήρησης διαφέρει και γίνεται ακριβότερη και πολυπλοκότερη, σε σχέση με την αντίστοιχη στην ξηρά. Οι ανεμογεννήτριες για αυτό τον λόγο έχουν συνήθως ένα σημείο καθορισμένο για την ασφαλή αποβίβαση με βάρκες του προσωπικού συντήρησης και επιπλέον είναι δυνατόν να έχουν και ένα διαμορφωμένο χώρο που προσφέρεται για καταφύγιο σε περίπτωση απότομης αλλαγής των καιρικών συνθηκών. Επίσης, οι παράκτιες ανεμογεννήτριες μπορεί να έχουν και ένα σύστημα παρακολούθησης της κατάστασής τους (Condition Monitoring System, CMS) για τον εντοπισμό ηλεκτρολογικών και μηχανολογικών προβλημάτων.

## 2.4 Λειτουργία

Η ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την κινητική ενέργεια του ανέμου. Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα σε έναν άξονα περιστροφής χαμηλής ταχύτητας μέσω μιας πλήμνης. Αυτός ο άξονας πραγματοποιεί 7-12 περιστροφές ανά λεπτό, δηλαδή τον ίδιο ρυθμό με τα πτερύγια. Ωστόσο, οι περισσότερες ανεμογεννήτριες διαθέτουν ένα κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο πολλαπλασιάζει την ταχύτητα περιστροφής του άξονα χαμηλής ταχύτητας έως και 100 φορές περισσότερο, σε έναν άξονα υψηλής ταχύτητας, ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται έως και 1.500 φορές το λεπτό, επειδή απαιτείται σημαντικά υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής για την παραγωγή ισχύος από μια γεννήτρια. Μια γεννήτρια, η οποία συνδέεται με τον άξονα υψηλής ταχύτητας, μετατρέπει την κινητική ενέργεια του άξονα σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι διατάξεις προστασίας, οι μετασχηματιστές και οι γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση της ηλεκτρικής ενέργειας στο κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (απευθείας στους χρήστες ή σε ένα μέσο αποθήκευσης ενέργειας - συσσωρευτές).

Υπάρχουν ανεμογεννήτριες που διατίθενται χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων. Αυτές έχουν απευθείας σύνδεση του άξονα από την πλήμη στη γεννήτρια (αυτό ονομάζεται απευθείας σύνδεση).

Όταν η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται υπερβολικά, η ανεμογεννήτρια διαθέτει ένα φρένο που αποτρέπει τη βλάβη και τη φθορά ελέγχοντας την υπερβολική αύξηση της περιστροφής των πτερυγίων.



Μια συμβατική ανεμογεννήτρια χρειάζεται ταχύτητες ανέμου τουλάχιστον 5m/s για να μπορέσει να παράγει ενέργεια. Επομένως, η ισχύς που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια πρέπει να είναι διακοπτόμενη, καθώς επηρεάζεται από τη ροή του ανέμου. Συνήθως η καθεμία παράγει 50-300KW (100 λαμπτήρες των 100W μπορούν να φωτιστούν με ισχύ 1KW).

Η γεννήτρια περιστρέφεται ενώ παράγει ισχύ στα 25kV. Πριν χρησιμοποιηθεί, η τάση ισχύος αυξάνεται στα 400kV από τον μετασχηματιστή της γεννήτριας. Η τάση που παράγεται σε μεγάλες ανεμογεννήτριες τουλάχιστον 100 έως 150KW είναι συνήθως 690V τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα (AC).

Τρεις μεταβλητές καθορίζουν πόση ενέργεια μπορεί να παράγει μια ανεμογεννήτρια: [6]

1. Η ταχύτητα του ανέμου.

Δυνατότεροι άνεμοι μας επιτρέπουν να παράγουμε περισσότερη ενέργεια. Οι ψηλότερες ανεμογεννήτριες είναι πιο κατάλληλες σε δυνατούς ανέμους. Οι ανεμογεννήτριες παράγουν ηλεκτρισμό σε ταχύτητες του ανέμου 4 – 25m/s.

2. Το μήκος πτερυγίων.

Όσο πιο μεγάλα είναι τα πτερύγια (μεγάλη επιφάνεια σάρωσης αέρα) τόσο περισσότερος ηλεκτρισμός μπορεί να παραχθεί. Ο διπλασιασμός του μήκους των πτερυγίων, μπορεί να συνεπάγεται τον τετραπλασιασμό της παραγωγής ενέργειας.

3. Η πυκνότητα του αέρα.

Ο πυκνός αέρας κινεί πιο εύκολα τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα.

## 2.5 Τρόποι σύνδεσης ανεμογεννήτριας στο δίκτυο

Η ονομαστική ισχύς μιας ανεμογεννήτριας είναι συνήθως έως 2MW, επομένως πρέπει να κατασκευαστεί ένα πάρκο ή μια συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, προκειμένου να παρέχεται αρκετή ενέργεια για την τροφοδοσία μιας ολόκληρης περιοχής.

Υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης των αιολικών πάρκων και μεταφοράς της ενέργειας που παράγεται από αυτή τη συστοιχία στο δίκτυο που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια: [6]

1. Τα καλώδια στο εσωτερικό του πύργου μεταφέρουν το ρεύμα εναλλασσόμενης τάσης που παράγεται από τη γεννήτρια της συστοιχίας, σε έναν υποσταθμό όπου στη συνέχεια αποστέλλονται στο δίκτυο με υπόγεια καλώδια. Η τάση αυξάνεται στον υποσταθμό, ώστε να μπορεί να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και να σταλεί στους καταναλωτές.
2. Με τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας με τάση συνεχούς ρεύματος από το αιολικό πάρκο στο σύστημα διασύνδεσης, όπου μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μετατροπή της τάσης του αιολικού πάρκου σε συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης (HVDC).

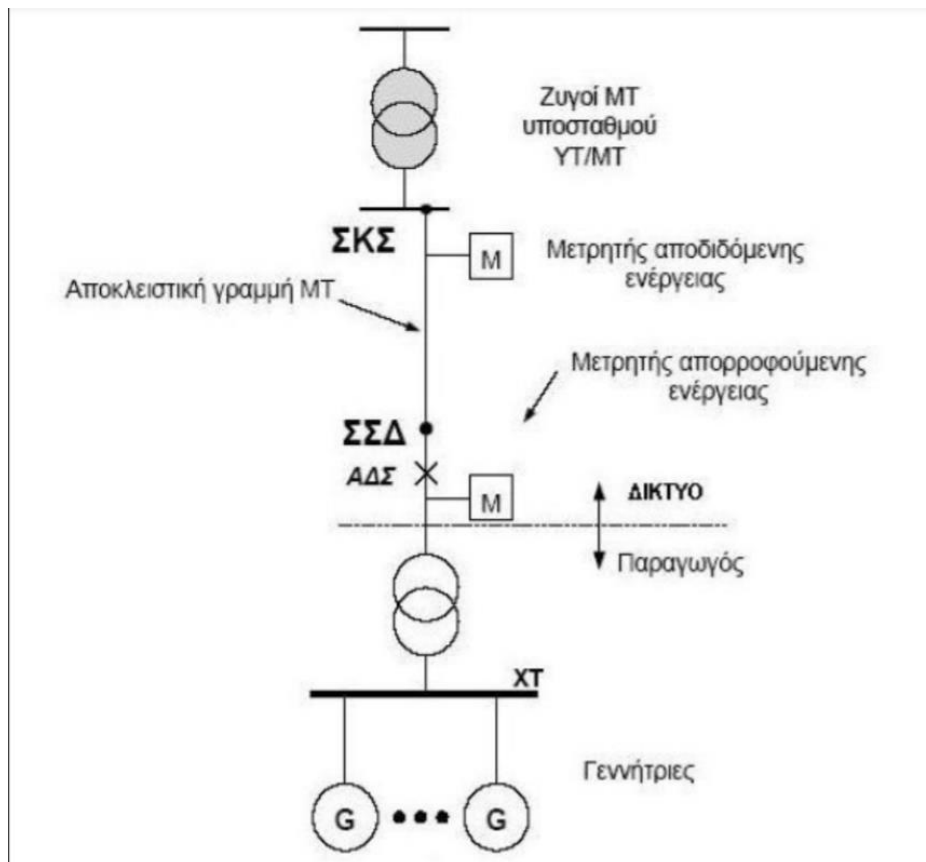
## 2.6 Πως φτάνει το ρεύμα από την ανεμογεννήτρια στα σπίτια μας

Συνήθως, η γεννήτρια της ατράκτου παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα. Το ρεύμα μεταφέρεται σε έναν υποσταθμό ηλεκτρικής ενέργειας με υπόγεια καλώδια, αφού πρώτα ταξιδέψει μέσω καλωδίων στο εσωτερικό του πύργου. Η τάση αυξάνεται στον υποσταθμό, ώστε να μπορεί να τροφοδοτηθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο και να μεταφερθεί στους καταναλωτές. Με αυτόν τον τρόπο η αιολική ενέργεια παράγει ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών στα σπίτια, τους χώρους εργασίας, τα σχολεία και τα νοσοκομεία μας [6].

Οι όροι, σημείο σύνδεσης με το δίκτυο (ΣΣΔ) και σημείο κοινής σύνδεσης (ΣΚΣ), πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν συζητείται η λειτουργία του αιολικού πάρκου που συνδέεται με το δίκτυο. Οι εγκαταστάσεις της γεννήτριας συνδέονται πάντοτε με το δίκτυο ΜΤ ή ΧΤ στην έξοδο, η οποία είναι γνωστή ως σημείο σύνδεσης με το δίκτυο (ΣΣΔ). Το όργανο μέτρησης της ενέργειας που λαμβάνεται από το δίκτυο από τις αιολικές εγκαταστάσεις είναι εγκατεστημένο στον Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς (ΔΣΜ). Ο ΔΣΜ χρησιμοποιείται πάντοτε για τη μεταφορά τόσο της ενέργειας που παρέχουν οι παραγωγοί στο δίκτυο όσο και της ενέργειας που καταναλώνει το δίκτυο ως καταναλωτής. Το πλησιέστερο σημείο του δικτύου στις εγκαταστάσεις του παραγωγού όπου είναι (ή μπορεί να είναι στο μέλλον) συνδεδεμένος άλλος καταναλωτής ή παραγωγός, είναι γνωστό ως σημείο κοινής σύνδεσης.

Το Κοινό Σημείο Σύνδεσης (ΚΣΣ) χρησιμεύει ως πρότυπο για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των έργων αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Τα ΣΚΣ και τα ΣΣΔ μπορεί να είναι

ταυτόσημα ή διαφορετικά, ανάλογα με τις περιστάσεις, όπως όταν οι παραγωγοί συνδέονται σε ειδική γραμμή.



Εικόνα 2.11 - Συνδεσμολογία υποσταθμού με γεννήτριες

Θα πρέπει να τονιστεί, εξετάζοντας την προηγούμενη εικόνα, ότι οι ακροδέκτες των Μ/Σ στην πλευρά της γεννήτριας είναι συνήθως το σημείο όπου πραγματοποιείται ο καταμερισμός των καθηκόντων και της ευθύνης μεταξύ της αρχής παροχής ενέργειας και της γεννήτριας. Ο αυτόματος διακόπτης διασύνδεσης είναι το στοιχείο που επιτρέπει τη σύζευξη ή την απομόνωση των εγκαταστάσεων παραγωγής από το δίκτυο (ΑΔΔ).

## 2.7 Σύγκριση Επίγειων και Παράκτιων Ανεμογεννητριών

### ➤ Onshore wind turbine.

Η Siemens έχει δημιουργήσει μία από τις καλύτερες ανεμογεννήτριες νέας γενιάς που έχει καταφέρει να φτάσει την ονομαστική ισχύ από 5,6MW σε 7,0MW χρησιμοποιώντας

ρότορες των 155 και 170 μέτρων, με αποτέλεσμα την καλύτερη απόδοση σε συνθήκες υψηλού, μεσαίου και χαμηλού ανέμου.

Πρόκειται για την Siemens Gamesa 5.X με τα εξής μοντέλα SG 6.6-155, SG 6.6-170 και SG 7.0-170.

Πίνακας 2.1 - Χαρακτηριστικά χερσαίας ανεμογεννήτριας Siemens Gamesa 5.X με μοντέλα SG 6.6-155, SG 6.6-170 και SG 7.0-170

	SG 6.6-155	SG 6.6-170	SG 7.0-170
<b>General details</b>			
Rated power	6,6MW		7,0MW
IEC class	IIB ( 25 years lifetime), IIA (20 years lifetime), IA ( 25 years lifetime)	S/IIB ( 25 years lifetime), IIIA (20 years lifetime)	IIA ( 25 years lifetime)
Flexible power rating	5.6 MW-6.6 MW	6.0 MW-6.6 MW	Up to 7.0 MW
<b>Rotor</b>			
Diameter	155m	170m	
Swept area	18,869m <sup>2</sup>	22,697m <sup>2</sup>	
<b>Tower</b>			
Height	90, 102.5, 107.5, 122.5, 165 and site-specific	100, 110.5, 115, 135, 145, 150, 155, 165, 185 and site-specific	115, 135, 155, 165, 185 m and site-specific
<b>Technology</b>			
Type	Geared		
<b>First Prototype</b>			
Date	2021		TBD



Εικόνα 2.12 - Siemens Gamesa 5.X με μοντέλο SG 6.6-155

➤ Offshore wind turbine.

Η ανεμογεννήτρια SG 11.0-200 DD με ισχύ 11MW πετυχαίνει τις μέγιστες αποδόσεις της λειτουργίας της χρησιμοποιώντας την βελτιωμένη τεχνολογία Direct Drive (DD), έχοντας αυξήσει το ύψος του ρότορα σε 200m και το μήκος πτερυγίων 97m με αποτέλεσμα να προσφέρει, σε σύγκριση με την προκάτοχο της SG 8.0-167 DD, 40% περισσότερη ετήσια παραγωγή ενέργειας.

Πίνακας 2.2 - Χαρακτηριστικά υπεράκτιας ανεμογεννήτριας SG 11.0-200 DD

SG 11.0-200 DD	
IEC CLASS	I, S
Nonimal Power	11 MW
Rotor diameter	200m
Blade Leght	97m
Swept Area	31,400m <sup>2</sup>
Hub height	Site Specific
Power Regulation	Pitch-regulated, variable speed



Εικόνα 2.13 - SG 11.0-200 DD

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> - ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

### 3.1 Ιστορική αναδρομή

Η Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια έχει τη δυνατότητα να αυξήσει σημαντικά την παγκόσμια ζήτηση για καθαρές, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, εάν αντιμετωπιστεί σωστά. Τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα ήταν διαχρονικά δύσκολο να λειτουργήσουν, λόγω του γεγονότος ότι απαιτούνταν περισσότερη μηχανική ενέργεια σε σχέση με τα χερσαία αιολικά έργα για την κατασκευή και εγκατάσταση υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Ωστόσο, από το 1990 και μετά, τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα έχουν αυξηθεί σημαντικά σε μέγεθος και απόδοση. Οι μηχανικοί έχουν αντιμετωπίσει με επιτυχία σημαντικά ζητήματα, όπως η διάβρωση από το θαλάσσιο περιβάλλον, η ανθεκτικότητα και το βάρος των πτερυγίων χάρη στην ανάπτυξη νέων υλικών, όπως οι ίνες άνθρακα. Πρόκειται για μια σημαντική σχεδιαστική πρόοδο.

Το 1991, στο Vindeby της Δανίας λειτούργησε το πρώτο Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο, το οποίο αποσύρθηκε το 2017 μετά από 25 χρόνια αποτελεσματικής λειτουργίας. Τροφοδοτήθηκε από έντεκα μονάδες παραγωγής ενέργειας 450KW με αυτορρυθμιζόμενα φρένα. Οι πύργοι τους στηρίζονταν σε βάθος δύο έως έξι μέτρων, σε στεγανά κιβωτιοειδή θεμέλια από σκυρόδεμα. Το κόστος κατασκευής (περίπου 10 εκατ. ευρώ) ήταν περίπου διπλάσιο από αυτό που θα ήταν στην ξηρά, παρόλο που η μεγαλύτερη απόσταση από την ακτή αναμενόταν να είναι μόλις περίπου 3 χιλιόμετρα. Οι ανεμογεννήτριες διέθεταν έλικα διαμέτρου 35 μέτρων με πλήρη ύψους 35 μέτρων και στηρίζονταν σε χαλύβδινους πύργους. Η κατασκευή τους ήταν παρόμοια με εκείνη της ξηράς, με τη διαφορά ότι οι πύργοι στήριξης ήταν αεροστεγείς και οι άξονες διέθεταν συστήματα αφύγρανσης. Στα γρανάζια και τις γεννήτριες τοποθετήθηκαν μεταλλικοί ψύκτες και σε κάθε επιφάνεια εφαρμόστηκε αντιδιαβρωτικό βερνίκι. Για τις επισκευές εγκαταστάθηκαν επίσης γερανοί. Η ηλεκτρική ενέργεια που παρήγαγε κάθε γεννήτρια μεταφερόταν ταυτόχρονα στην ξηρά μέσω ενός μετασχηματιστή 10KV/690V στην βάση κάθε πύργου και ενός υποβρύχιου καλωδίου 10KV θαμμένου στον πυθμένα. Το πάρκο αυτό παρήγαγε περίπου 12GWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, δηλαδή 20% περισσότερο από μια πανομοιότυπη χερσαία εγκατάσταση. Τα θεμέλια για την εμπορική εφαρμογή του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου τέθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1990.

Το μεγαλύτερο Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο στον κόσμο εγκαταστάθηκε στο Hornsea One, στις ακτές του Yorkshire του Ηνωμένου Βασιλείου, το 2020. Έχει έκταση 407km<sup>2</sup> και 174 ανεμογεννήτριες ύψους 190 μέτρων και δυναμικότητας 1,2GW, η οποία είναι αρκετή για να τροφοδοτήσει ένα εκατομμύριο σπίτια. Ως ο πιο αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων της υπερθέρμανσης του πλανήτη, των αυξανόμενων συνεπειών των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της εξάντλησης των μη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, οι διεθνείς κυβερνήσεις και οργανισμοί θα πρέπει να αγκαλιάσουν αυτή την πρωτοβουλία. Από αυτή την άποψη, πρωτοβουλίες όπως η Hornsea One θα είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία του απαραίτητου ενεργειακού μετασχηματισμού [17].

Το ταξίδι αυτού του έργου ξεκίνησε το 2010, δέκα χρόνια πριν από την αναμενόμενη ολοκλήρωσή του. Οι χερσαίες κατασκευαστικές εργασίες ξεκίνησαν το 2016 και ολοκληρώθηκαν το 2019. Το έργο αυτό είναι το πρώτο από τα τέσσερα της κλίμακας του που θα κατασκευαστούν στη Βόρεια Θάλασσα στα ανοικτά των ανατολικών ακτών του Ηνωμένου Βασιλείου. Οι ανεμογεννήτριες του έργου θα εγκατασταθούν σε μεγαλύτερη απόσταση από τα προηγούμενα έργα. Αυτές οι πρωτοβουλίες είναι αξιοσημείωτες, επειδή θα φέρουν επανάσταση στην ευρεία χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και θα δείξουν πόσο εκτεταμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αιολική ενέργεια. Θα επηρεάσουν, επίσης, σημαντικά το πόσο ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Όταν το Hornsea Two ολοκληρώθηκε το 2022, παρήγαγε ακόμη περισσότερη ενέργεια από ό,τι το Hornsea One και είναι σε θέση να προμηθεύει περισσότερα από 1,4 εκατομμύρια σπίτια με την ενέργεια που χρειάζονται. Το Hornsea Three θα επεκταθεί ακόμη περισσότερο και τελικά θα είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να τροφοδοτεί πάνω από 3 εκατομμύρια σπίτια. Το Hornsea Four, το οποίο βρίσκεται τώρα σε στάδιο ανάπτυξης, θα ολοκληρώσει το έργο-μαμούθ μετά το 2025. Αναμένεται να έχει μέγιστη δυναμικότητα 6GW [17].

Με μήκος περίπου 900 χιλιομέτρων, το Hornsea One ειδικότερα διαθέτει το μακρύτερο υπεράκτιο καλώδιο εξαγωγής αιολικής ενέργειας (υψηλής τάσης) στον κόσμο για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο. Ένας υποσταθμός, υπόγεια καλώδια και άλλες κατασκευές αποτελούν παραδείγματα χερσαίων χαρακτηριστικών. Επιπλέον, διαθέτει 2 πλατφόρμες απόθεσης, 5 υποσταθμούς HVAC, 3 εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας και έναν υποσταθμό αντιστάθμισης αντιδραστικής HVAC [18].



Πέρυσι, το Ηνωμένο Βασίλειο βίωσε μια σημαντική αλλαγή στα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας. Για πρώτη φορά από την κατασκευή του πρώτου σταθμού παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, το Ηνωμένο Βασίλειο παράγει σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειάς του από ανανεώσιμες πηγές. Λόγω του επικείμενου κλεισίματος όλων των εγκαταστάσεων άνθρακα στο Ηνωμένο Βασίλειο έως το 2025, πρωτοβουλίες όπως η Hornsea One θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην μετάβαση της χώρας από τα ορυκτά καύσιμα. Οι αναλυτές πιστεύουν ότι η ταυτόχρονη δημόσια υποστήριξη θα είναι απαραίτητη, διότι η μετάβαση σε ένα νέο ενεργειακό σύστημα αυτής της κλίμακας θα απαιτήσει σημαντικές δαπάνες [18].

Από τα ανωτέρω είναι κατανοητό ότι χωρίς ριψοκίνδυνα έργα όπως αυτό, το μέγεθος της στροφής προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας δεν θα ήταν αυτή που είχαν κατά νου οι εμπνευστές της ενεργειακής επανάστασης. Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, η κατανάλωση ενέργειας μεγαλώνει και η τεχνολογία εξελίσσεται, η ζήτηση ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί κατακόρυφα τα επόμενα χρόνια. Σύμφωνα με μελέτες, τα αιολικά πάρκα θα βοηθήσουν ουσιαστικά στην πρόοδο της κάθε χώρας προς τον στόχο μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, βοηθώντας τη βιομηχανία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας να επικρατήσει των ορυκτών καυσίμων. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αποτελούν σήμερα πάνω από το 40% της κατανάλωσης ενέργειας σε πολλές χώρες, περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας. Πριν από μια δεκαετία, τα ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή σχεδόν του 80% της ενέργειας που απαιτούνταν [18].

### 3.2 Δομή ΥΑΠ

Τυπικά, τα βασικά συστατικά στοιχεία ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι τα εξής:

- 1) οι ανεμογεννήτριες. Ο αριθμός και το μέγεθος τους καθορίζεται κάθε φορά ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου. Το είδος και το βάθος του πυθμένα, αλλά και οι περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής, προσδιορίζουν τον τρόπο θεμελίωσης και διασύνδεσής τους.
- 2) ο μετεωρολογικός σταθμός, είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των καιρικών συνθηκών στην περιοχή όπου βρίσκεται το πάρκο. Ο σταθμός συνήθως περιλαμβάνει μια σειρά από αισθητήρες που μετρούν την θερμοκρασία, την υγρασία, την

ατμοσφαιρική πίεση, την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου και άλλες καιρικές παραμέτρους.

Η πληροφορία που συλλέγεται από τον μετεωρολογικό σταθμό είναι σημαντική για τους λειτουργούς του αιολικού πάρκου, καθώς τους επιτρέπει να προβλέπουν τις καιρικές συνθήκες και να προσαρμόζουν την λειτουργία του πάρκου ανάλογα με αυτές. Επιπλέον, η πληροφορία που συλλέγεται από τον μετεωρολογικό σταθμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιωθεί η πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας από το αιολικό πάρκο.

3) τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, είναι αυτά που συνδέουν τους αιολικούς σταθμούς μεταξύ τους και με το σταθμό μετατροπής ενέργειας στην ακτή. Αυτά τα καλώδια μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τους αιολικούς σταθμούς στον σταθμό μετατροπής, όπου μετατρέπεται σε μεγαλύτερες τάσεις για να μπορέσει να μεταφερθεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα καλώδια συλλογής πρέπει να είναι σχεδιασμένα για να αντέχουν στις σκληρές καιρικές συνθήκες της θάλασσας, όπως οι ισχυροί άνεμοι και τα κύματα, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος βλάβης στα καλώδια και να αποφευχθούν διακοπές στην παραγωγή ενέργειας.

4) ο υποσταθμός για την ενίσχυση της υπεράκτιας ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είναι ένας σταθμός μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας από χαμηλή τάση σε υψηλή τάση, ώστε να μπορεί να μεταφερθεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ο υποσταθμός είναι σχεδιασμένος για να αντέχει σε σκληρές καιρικές συνθήκες στη θάλασσα και να λειτουργεί με αξιοπιστία και απόδοση για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Ο υποσταθμός λαμβάνει την ηλεκτρική ενέργεια από τους αιολικούς σταθμούς μέσω των καλωδίων συλλογής και την μετατρέπει σε υψηλή τάση, ώστε να μπορεί να μεταφερθεί στην ακτή, μέσω καλωδίων μεγάλης χωρητικότητας, προκειμένου να μην υπάρξει απώλεια τάσης.

Ο υπεράκτιος υποσταθμός, επίσης, ελέγχει την ποιότητα του ρεύματος και διασφαλίζει ότι η ηλεκτρική ενέργεια, που παράγεται από τους αιολικούς σταθμούς, είναι συμβατή με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να μεταφερθεί με ασφάλεια και αποδοτικότητα στους καταναλωτές. Επιπλέον, ο χερσαίος υποσταθμός επιτελεί και άλλες λειτουργίες, όπως ο έλεγχος και η διαχείριση της ισχύος και η παρακολούθηση των παραμέτρων του συστήματος για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας του δικτύου.

5) Οι αιολικοί σταθμοί παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο περνά από τα καλώδια συλλογής και φτάνει στον υπεράκτιο υποσταθμό, όπου μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Αυτό γίνεται με τη χρήση μετασηματιστών, οι οποίοι αυξομειώνουν την τάση του ρεύματος. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται μείωση των απωλειών ισχύος κατά τη μεταφορά της ενέργειας και αύξηση της αποδοτικότητας του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

6) ο χερσαίος υποσταθμός, είναι ένας σημαντικός κρίκος στο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια από τους υποθαλάσσιους υποσταθμούς μετατρέπεται από AC σε DC μέσω των μετασηματιστών και στη συνέχεια στέλνεται στο δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης.

Για τις ανεμογεννήτριες στα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα ισχύουν ορισμένοι όροι που αφορούν στην τοποθέτησή τους σε υδάτινο περιβάλλον, ώστε να λαμβάνεται μέριμνα ότι είναι κατάλληλα κατασκευασμένες. Από τους σημαντικότερους παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν είναι ο εξοπλισμός της τουρμπίνας, το ύψος του πύργου και το εύρος του φορτίου [19].

### 3.2.1 Εξοπλισμός

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες απαιτούν περισσότερο τεχνολογικό εξοπλισμό από αυτές της ξηράς.

Σχεδόν όλα τα δομικά μέρη έχουν πολύ υψηλότερη αντιδιαβρωτική προστασία. [19]

- Άτρακτοι που σφραγίζουν καλύτερα.
- Σύστημα ψύξης γεννήτριας που είναι κλειστό.
- Συστήματα παρακολούθησης και διοίκησης που μπορούν να ελεγχθούν από την ξηρά.
- Η άτρακτος διαθέτει εξειδικευμένο γερανό για να διευκολύνει τη συντήρηση και τις επισκευές.
- Ειδικός εξοπλισμός ανύψωσης για μεγάλα εξαρτήματα και βάρη βρίσκεται στον πύργο και την άτρακτο.
- Πλατφόρμες σύνδεσης με μοναδικές ενισχύσεις πρόσβασης για επισκευαστικά σκάφη σε περίπτωση διαταραχής της θάλασσας.
- Φωτισμός σύμφωνα με τους ναυτιλιακούς κανονισμούς.

### 3.2.2 Μεταφορά και εγκατάσταση

Σε σύγκριση με τις χερσαίες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας, οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν ορισμένες ιδιαίτερες απαιτήσεις και είναι σημαντικά ακριβότερες στη μεταφορά, την κατασκευή και τη λειτουργία. Ο πύργος και ο ρότορας είναι δύσκολο να μετακινηθούν λόγω του τεράστιου μεγέθους τους (σχεδόν 50 μέτρα μήκος) και άλλων περίπλοκων χαρακτηριστικών (όπως η θεμελίωση πολλαπλών πυλώνων) [19].

Προκειμένου να μειωθούν οι δαπανηρές, δύσκολες και χρονοβόρες εργασίες στο θαλάσσιο περιβάλλον, τα διάφορα εξαρτήματα των υπεράκτιων ανεμογεννητριών θα πρέπει να προκατασκευάζονται στην ξηρά. Για παράδειγμα, ένα ισχυρό υδραυλικό σφυρί πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση χαλύβδινων σωλήνων (διαμέτρου 4m) στο νερό σε βάθος περίπου 20m για τη θεμελίωση ενός πυλώνα. Η θεμελίωση τριών πυλώνων μπορεί να συναρμολογηθεί με λιγότερη βοήθεια από βαρύ εξοπλισμό, αλλά η μετακίνηση του προκατασκευασμένου τμήματος της θεμελίωσης είναι πιο δύσκολη. Η συναρμολόγηση δεν μπορεί να γίνει όταν το νερό δεν είναι ήρεμο, επομένως οι τρέχουσες καιρικές συνθήκες αποτελούν σημαντικό παράγοντα. Ο πρωταρχικός καθοριστικός παράγοντας της ήρεμης θάλασσας είναι το ύψος των κυμάτων τη στιγμή της σύνδεσης. Όταν τα κύματα είναι πάνω από ένα μέτρο, όλες οι εργασίες παρεμποδίζονται προσωρινά και αναστέλλονται. Επιπλέον, ως αποτέλεσμα αυτού, το εργατικό κόστος αυξάνεται [19].

Το πιο συνηθισμένο μέσο μεταφοράς στην τοποθεσία είναι μια πλωτή πλατφόρμα και ένα ρυμουλκό. Οι πλατφόρμες διαθέτουν πυλώνες στήριξης που στηρίζονται στο έδαφος για να εξασφαλίζουν αυξημένη σταθερότητα κατά τη συναρμολόγηση. Η προσβασιμότητα αποτελεί σημαντικό μέλημα για τους εργαζόμενους / φροντιστές. Εάν τα κύματα είναι ισχυρά, το πλοίο δεν μπορεί να δέσει. Έτσι, χρησιμοποιώντας ελικόπτερα ή υποβρύχια οχήματα, αντίστοιχα, γίνονται προσπάθειες από αέρος ή υποβρυχίως [19].

### 3.2.3 Έλεγχος λειτουργίας και συντήρηση

Για την εποπτεία και τον έλεγχο των καθημερινών λειτουργιών ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου χρησιμοποιούνται συστήματα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA -supervisor control and data acquisition - συστήματα βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας). Αυτό επιτρέπει στον φορέα εκμετάλλευσης να παρακολουθεί και

να ελέγχει την απόδοση του αιολικού πάρκου συνδέοντας όλα τα στοιχεία - συμπεριλαμβανομένων των κλιματιστικών, των μετεωρολογικών σταθμών και των υποσταθμών - με έναν ενιαίο υπολογιστή (τον κεντρικό σταθμό). Το σύστημα παρέχει και διατηρεί πληροφορίες για τον εντοπισμό βλαβών ή προβλημάτων [20].

Επειδή υπάρχουν παρόμοια εξαρτήματα με τα αντίστοιχα στα χερσαία πάρκα, η συντήρηση των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων απαιτεί παρόμοιες δεξιότητες με τη συντήρηση των χερσαίων ανεμογεννητριών. Τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα έχουν μεγαλύτερα μεγέθη εξαρτημάτων, γεγονός που καθιστά τη λειτουργία και τη συντήρηση πιο δύσκολη και δαπανηρή. Λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν σε υπεράκτιες τοποθεσίες, οι διαδικασίες συναρμολόγησης και προμήθειας είναι δύσκολες. Η προσβασιμότητα για την τακτική επισκευή και συντήρηση του εξοπλισμού καθίσταται επίσης σημαντικό ζήτημα. Κατά τη διάρκεια του σκληρού χειμώνα, ένα αιολικό πάρκο μπορεί να είναι απρόσιτο για αρκετές ημέρες, λόγω καιρικών συνθηκών. Ωστόσο, ακόμη και σε καλές καιρικές συνθήκες, οι εργασίες λειτουργίας και συντήρησης είναι δύσκολες και δαπανηρές λόγω της μεγάλης απόστασης της εγκατάστασης από την ακτή, της έκθεσης του χώρου στις καιρικές συνθήκες, του μεγέθους και της αξιοπιστίας των ανεμογεννητριών, καθώς και της στρατηγικής συντήρησης.

Οι ανεμογεννήτριες έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να χρειάζονται έναν έως τρεις ετήσιους ελέγχους. Διαφορετικές μέθοδοι τακτικής συντήρησης είναι απαραίτητες ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιεί κάθε ανεμογεννήτρια και τις συστάσεις του κατασκευαστή. Η απρογραμμάτιστη συντήρηση μπορεί να αυξήσει σημαντικά την τιμή ανά KWh, ενώ παράλληλα αυξάνει το λειτουργικό και διοικητικό κόστος. Η δυνατότητα προγραμματισμού των επισκευών σε ημέρες με ευνοϊκές καιρικές συνθήκες απαιτεί έγκαιρη διάγνωση βλαβών. Αυτό μπορεί να συμβεί οπουδήποτε στο αιολικό πάρκο. Συνιστάται η μεγιστοποίηση του συντελεστή μέσου χρόνου μεταξύ βλαβών (MBTF - Mean time between failures) [20].

Αναμένεται ότι μία ανεμογεννήτρια θα διαρκέσει κατά μέσο όρο 20 έως 25 χρόνια. Δεδομένου ότι προορίζονται για χρήση σε απομακρυσμένες τοποθεσίες που είναι ευάλωτες σε κακές καιρικές συνθήκες και ισχυρούς ανέμους, η συντήρησή τους είναι συχνά δύσκολη και δαπανηρή. Περιλαμβάνει τακτικές επιτόπιες επιθεωρήσεις των συνδέσεων και των εξαρτημάτων του δικτύου, εντοπισμό βλαβών και αντικατάσταση τυχόν

ελαττωματικών εξαρτημάτων. Οι δονήσεις που δημιουργούνται από τον άνεμο, κυρίως στα πτερύγια αλλά και σε άλλα τμήματα μιας ανεμογεννήτριας, έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην πιθανότητα λειτουργικής βλάβης ή ατυχήματος. Οι δονήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε μετατόπιση εξαρτημάτων, αποκόλληση ορισμένων συνδέσεων, ακόμη και σε μερική ή ολική θραύση πτερυγίων. Ένα άλλο συστατικό που μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία του συστήματος της ανεμογεννήτριας είναι η σκόνη. Τα σωματίδια σκόνης, όπως γύρη, χνούδι, σπόρια, έντομα και άλλα είδη, εμποδίζουν τη ροή του αέρα και μειώνουν την ψύξη. Ως αποτέλεσμα, το κιβώτιο ταχυτήτων και η γεννήτρια ισχύος καθώς και άλλα μηχανικά και ηλεκτρικά μέρη θερμαίνονται [20].

Τα εγχειρίδια και τα σχέδια προληπτικής συντήρησης ποικίλλουν ανάλογα με τον κατασκευαστή της ανεμογεννήτριας. Στο πλαίσιο της ετήσιας προληπτικής συντήρησης, οι ανεμογεννήτριες περνούν από διάφορες λειτουργίες, επιθεωρήσεις και άλλες διαδικασίες. Το κόστος για τη συντήρηση, τις επισκευές και τη διαθεσιμότητα εξαρτώνται η μία από την άλλη. Η προληπτική συντήρηση συνιστάται, προκειμένου να μειώνεται το κόστος επισκευής και της πιθανότητας απροσδόκητων βλαβών [20].

Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές μορφές συντήρησης ανεμογεννήτριας :

- Η προληπτική συντήρηση, είναι ζωτικής σημασίας για την σωστή λειτουργία των ανεμογεννητριών, γιατί αν παραμεληθούν τέτοιας φύσης εργασίες, όπως π.χ. η λίπανση των κινούμενων εξαρτημάτων, μπορεί να δημιουργηθούν δυσλειτουργίες στο σύστημα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.
- Η έγκαιρη συντήρηση αποσκοπεί στην βελτίωση της αξιοπιστίας και στην εξάλειψη μελλοντικών προβλημάτων. Το σημαντικό αυτού του είδους της συντήρησης είναι ο έγκαιρος εντοπισμός τυχών αλλαγών στη λειτουργία της ανεμογεννήτριας την ώρα που συμβαίνουν. Στο πλαίσιο της μηνιαίας συντήρησης, οι ειδικοί συλλέγουν συγκεκριμένα δεδομένα, ώστε να τα εξετάσουν και να τα συγκρίνουν, με αποτέλεσμα να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την λειτουργία.
- Η προαιρετική συντήρηση επικεντρώνεται κυρίως στον εντοπισμό και την επιδιόρθωση των υποκείμενων αιτιών των προβλημάτων τόσο των εξαρτημάτων του συστήματος της ανεμογεννήτριας όσο και της διαδικασίας εγκατάστασης. Επίσης, στην

προαιρετική συντήρηση περιλαμβάνονται οι τυχόν αλλαγές στον σχεδιασμό του συστήματος, οι καλύτερες πρακτικές συντήρησης και η εκπαίδευση του προσωπικού συντήρησης.

➤ Η διορθωτική συντήρηση είναι η εκτέλεση των απαιτούμενων διαδικασιών συντήρησης για την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων, την αντικατάσταση εξαρτημάτων ή την αντιμετώπιση τυχόν σφαλμάτων που διαπιστώθηκε κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε προηγούμενης συντήρησης. Η διορθωτική συντήρηση μπορεί να είναι από πολύ απλή έως αρκετά δύσκολη και χρονοβόρα, ανάλογα με το είδος του προβλήματος που εντοπίζεται.

Σε περίπτωση σοβαρής βλάβης κάποιου εξαρτήματος, μπορεί να χρειαστεί να σταλεί στις εγκαταστάσεις παραγωγής, εάν ορισμένοι ειδικοί έλεγχοι δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν επιτόπου (π.χ. το κιβώτιο ταχυτήτων). Ο ρότορας και τα πτερύγια είναι ιδιαίτερα δύσκολα να συντηρηθούν επειδή πρέπει να έχουν πρόσβαση από μεγάλο ύψος και σε ορισμένες περιπτώσεις, ο κατασκευαστής θα πρέπει να τα αποσυναρμολογήσει και να τα αντικαταστήσει. Οι αναλώσιμες εργασίες, οι επιδιορθώσεις για ελαττώματα που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της υγρασίας, του πάγου, της υπερθέρμανσης και της φυσικής φθοράς ορισμένων μερών του εξοπλισμού (σκουριά και διάβρωση), οι επιδιορθώσεις για ζημιές από κεραυνούς και οι επιδιορθώσεις για ηλεκτρικό εξοπλισμό που έχει υποστεί ζημιές από ανωμαλίες του δικτύου θεωρούνται επισκευές. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών τα τελευταία χρόνια κατέστησε σαφές ότι ο σχεδιασμός του ρότορα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο απλός για να μεγιστοποιηθεί η αξιοπιστία και η αποτελεσματικότητα της συντήρησης.

Για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας ενός αιολικού πάρκου απαιτείται ένα ενδεδειγμένο και σχολαστικό πρόγραμμα συντήρησης. Η καθυστέρηση της συντήρησης μπορεί να οδηγήσει σε λειτουργικά προβλήματα, οδηγώντας σε υλικές ζημιές, που φέρουν και οικονομικές ζημιές, αλλά δεν είναι πάντα εύκολο να αποφευχθεί, καθώς η συντήρηση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες [20].

### 3.3 Πλεονεκτήματα ΥΑΠ

Όπως και οι άλλες τεχνικές παραγωγής ενέργειας, τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αφορά την αποτροπή μόλυνσης του περιβάλλοντος, λόγω της αποφυγής εκπομπών αερίων του

θερμοκηπίου, τοξικών ρύπων και θερμικής ρύπανσης. Επίσης, παράγει περισσότερη και πιο σταθερή ενέργεια, μειώνει τη διακύμανση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και αποφεύγεται η ανάγκη χρήσης γης για την εγκατάστασή τους.

Ορισμένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα είναι τα εξής: [21]

- Υψηλότερη παραγωγή ενέργειας: Τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα μπορούν να παράγουν περισσότερη ενέργεια από τα αντίστοιχα χερσαία αιολικά πάρκα, καθώς οι άνεμοι είναι πιο δυνατοί και σταθεροί στη θάλασσα. Οι παράκτιοι άνεμοι είναι συνήθως ισχυρότεροι και σταθερότεροι σε σχέση με την ενδοχώρα. Κατά συνέπεια, η ανεμογεννήτρια παρέχει μεγαλύτερη ισχύ. Οι ανεμογεννήτριες δημιουργούν 150% περισσότερη ισχύ με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου και το πάρκο παράγει επιπλέον 25-40% περισσότερη ισχύ. Η απόδοση των υπεράκτιων πάρκων θα μπορούσε να είναι 20 έως 40% υψηλότερη από εκείνη των χερσαίων πάρκων.
- Χαμηλότερο κόστος ενέργειας: Τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα μπορούν να εκμεταλλευτούν τους πιο σταθερούς και ισχυρούς ανέμους στη θάλασσα, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τα παραδοσιακά αιολικά πάρκα στην ξηρά.
- Χαμηλότερα επίπεδα θορύβου: Επειδή τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα βρίσκονται σε απόσταση από τις ακτές, ο θόρυβος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες δεν επηρεάζει τους κατοίκους των πόλεων και των παραθεριστικών περιοχών.
- Μη κατάληψη γης: Η έλλειψη επαρκούς γης για τέτοιες εγκαταστάσεις είναι ένα από τα κύρια κίνητρα για την ανάπτυξη Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων, καθώς δεν απαιτείται η αγορά μεγάλων επιφανειών γης για την κατασκευή πάρκων, όπως στην περίπτωση των χερσαίων αιολικών πάρκων. Αυτό μειώνει το κόστος της απόκτησης γης και επιτρέπει στα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα να είναι πιο συμφέροντα οικονομικά. Έτσι, επιτρέπεται η εκμετάλλευση της γης στην ανάπτυξη της γεωργίας και της κτηνοτροφίας. Επιπλέον, η χρήση ανοιχτής θάλασσας αντιμετωπίζει λιγότερα προβλήματα και περιορισμούς από περιβαλλοντικά και κοινωνικά ζητήματα, σε σύγκριση με τα χερσαία αιολικά πάρκα.



- **Οπτική όχληση:** Η τοποθέτηση των ανεμογεννητριών αρκετά μακριά από την παραλία αμβλύνει τα προβλήματα οπτικής όχλησης και θορύβου, διατηρώντας το φυσικό περιβάλλον αναλλοίωτο.
- **Αύξηση της απασχόλησης:** Η λειτουργία των αιολικών πάρκων στην Ελλάδα θεωρείται ότι θα επηρεάσει σημαντικά την αύξηση της απασχόλησης. Κατά την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου με εγκατεστημένη ισχύ 50MW απαιτούνται 600-900 εργαζόμενοι. Εάν τα αιολικά πάρκα αναπτυχθούν σε εθνικό επίπεδο, θα μπορούσαν να έχουν αξιοσημείωτο αντίκτυπο στην αγορά εργασίας και, κατά συνέπεια, στην τοπική και εθνική οικονομία.

### 3.4 Μειονεκτήματα ΥΑΠ

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων, στα οποία αναφερθήκαμε ανωτέρω, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. [21]

- **Υψηλότερο κόστος επένδυσης:** Ένα από τα μειονεκτήματα είναι η υψηλότερη τιμή του κόστους επένδυσης σε σχέση με τις χερσαίες ανεμογεννήτριες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η κατασκευή ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου απαιτεί πολύπλοκα και ακριβά εξοπλιστικά μέσα και τεχνολογίες.
- **Συντήρηση:** Η συντήρηση των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων είναι πιο δύσκολη και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό, καθώς οι ανεμογεννήτριες βρίσκονται σε μεγάλο βάθος και είναι πιο δύσκολα προσβάσιμες.
- **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις:** Δημιουργούνται περιβαλλοντικά ζητήματα που αφορούν στην επίδραση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών με παρενόχληση της θαλάσσιας ζωής και των θαλάσσιων ειδών, καθώς και τον ενδεχόμενο κίνδυνο από ατυχήματα από συγκρούσεις πτηνών.
- **Φθορά:** Οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες που επικρατούν στη θάλασσα, με συνεχείς και ισχυρούς ανέμους και κύματα, καθώς και η αλμύρα, δημιουργούν σοβαρά προβλήματα αλλοίωσης και διάβρωσης του εξοπλισμού των ανεμογεννητριών.

### 3.5 Υπεράκτια Αιολικά πάρκα σε Ευρώπη

Στην έκθεσή της με τίτλο "Στόχοι για την αιολική ενέργεια στην Ευρώπη: 75.000 MW έως το 2010", η Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας (EWEA) αξιολόγησε την προβλεπόμενη επέκταση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος έως το έτος 2030. Σύμφωνα με το βασικό σενάριο, η υπεράκτια αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται αποτελεσματικά σε σχετικά ρηχούς ωκεανούς, κυρίως στη Βόρεια Θάλασσα και τη Βαλτική Θάλασσα και είναι η Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας που επεκτείνεται ταχύτερα.

Σύμφωνα με πρόσφατη αξιολόγηση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, ο τομέας της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας της Ε.Ε. έχει τεχνολογική ικανότητα 30.000TWh/έτος. Σε σύγκριση με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα φθάσει τις 4.400TWh το 2030, είναι προφανές ότι η υπεράκτια αιολική ενέργεια προσφέρει τεράστιες δυνατότητες διεύδυσης στο ευρωπαϊκό ενεργειακό σύστημα και μια εξαιρετική εσωτερική αγορά για τον ευρωπαϊκό τομέα της αιολικής ενέργειας. Σύμφωνα με την EWEA, μέχρι σήμερα έχουν εγκατασταθεί στις ευρωπαϊκές θάλασσες 1.371 υπεράκτιες ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 3.812,6MW. Οι 14TWh ηλεκτρικής ενέργειας που παράγονται ετησίως από αυτές τις ανεμογεννήτριες, οι οποίες είναι διασκορπισμένες σε 53 αιολικά πάρκα σε 10 κράτη, αρκούν για να καλύψουν το 0,4% των συνολικών ενεργειακών αναγκών της Ε.Ε..

Η κατασκευή Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων σε μεγαλύτερη απόσταση από την ακτή και σε βαθύτερα ύδατα φαίνεται να είναι πιο αποδοτική από άποψη κόστους με την εγκατάσταση ανεμογεννητριών υψηλών προδιαγραφών με ισχύ άνω των 10MW. Η ανάπτυξη μεγάλων ανεμογεννητριών αποτελεί κορυφαία προτεραιότητα της κοινής ευρωπαϊκής ενεργειακής τεχνολογικής πολιτικής, όπως περιγράφεται στο σχέδιο SET (Στρατηγικό Σχέδιο Ενεργειακής Τεχνολογίας), το οποίο καθορίζει επίσης τον οδικό χάρτη για την έρευνα, την τεχνολογία και την καινοτομία στον τομέα της αιολικής ενέργειας για τα έτη 2010-2050. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι μόνο μέσω σημαντικών τεχνολογικών εξελίξεων και καινοτομιών μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η σχέση κόστους-οφέλους των μεγάλων ανεμογεννητριών.

Το Ηνωμένο Βασίλειο, το οποίο έχει εγκατεστημένα 2.094MW, είναι μακράν η μεγαλύτερη αγορά στην Ευρώπη και είναι υπεύθυνο για περισσότερο από το ήμισυ της εγκατεστημένης υπεράκτιας αιολικής ισχύος της ηπείρου. Με 857MW (23%) και τη δεύτερη θέση, η Δανία ακολουθείται από τις Κάτω Χώρες (247MW (6%)), τη Γερμανία (200MW (5%)), το Βέλγιο

(195), τη Σουηδία (164, 4%), τη Φινλανδία (26MW σε υπεράκτια έργα), την Ιρλανδία (25MW) και το Βέλγιο. Υπάρχουν επιδείξεις πλωτών ανεμογεννητριών πλήρους κλίμακας στην Πορτογαλία και τη Νορβηγία (2,3MW και 2MW, αντίστοιχα). Λόγω του τεράστιου βάθους της Μεσογείου, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι νότιες περιοχές της Ευρώπης δεν περιλαμβάνονται στον προαναφερθέντα κατάλογο.

Οι τρεις πιο συνηθισμένοι τύποι θεμελίωσης για Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα είναι ο τρίποδας, το χωροδικτύωμα, το οποίο είναι καταλληλότερο για βαθύτερα ύδατα (40+ μέτρα) και ο μονός πάσσαλος (20% των εγκαταστάσεων). Όλα τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιήσει ανεμογεννήτριες αγκυροβολημένες στον πυθμένα χρησιμοποιώντας έναν από αυτούς τους τύπους θεμελίωσης. Από το 2009, η κλίμακα των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων έχει γενικά αυξηθεί.

Οι περισσότερες επιχειρήσεις που παρουσιάζουν νέα μοντέλα έχουν την έδρα τους στην Ευρώπη, η οποία εξακολουθεί να βρίσκεται στην αιχμή της τεχνολογίας. Οι ΗΠΑ (8%), η Κίνα (33%), η Ιαπωνία, η Νότια Κορέα και το Ισραήλ έχουν πολύ σημαντική παρουσία στο τομέα αυτόν. Οι μεγάλες μηχανές με ονομαστική ισχύ άνω των 5MW αποτελούν την πλειονότητα των νέων τύπων. Ένα πρότυπο 6MW κατασκευάζεται από την Alstom, ενώ μια έκδοση 7MW πρόκειται σύντομα να δοκιμαστεί από την Vestas. Η Siemens δοκιμάζει τώρα ένα μοντέλο 6MW στη Δανία.

Επίσης, στην Δανία η Hellenic Cables (που εδρεύει στην Κόρινθο) επιλέχθηκε από την εταιρία ηλεκτρισμού RWE για την παράδοση έργου με την ονομασία Thor, η οποία αναλαμβάνει υποβρύχιο (μήκους περίπου 60 χιλιόμετρα) και χερσαίο καλωδιακό σύστημα μεταφοράς (μήκους περίπου 26 χιλιόμετρα), καθώς και το καλωδιακό σύστημα μεταξύ των ανεμογεννητριών (περίπου 200 χιλιόμετρα συνολικά) στο μεγαλύτερο Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο της Δανίας με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 1.000MW, το οποίο θα κατασκευαστεί στη Βόρεια Θάλασσα της Δανίας. Το έργο προβλέπεται να ολοκληρωθεί στο τέλος του 2027 [22].

### **3.5.1 Εταιρίες εγκατάστασης Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων σε Ευρώπη**

Μεγάλες εταιρίες παραγωγής ενέργειας που δραστηριοποιούνται στον χώρο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, όπως η Ørsted, η Vattenfall, η Iberdrola, η Siemens Gamesa

και η Ε.ΟΝ, έχουν προβεί σε σημαντικές επενδύσεις για δημιουργία Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων σε διάφορες χώρες τις Ευρώπης.

Η **Ørsted** είναι μια πολυεθνική εταιρεία ενέργειας που δραστηριοποιείται στην Δανία, με έδρα στη Fredericia τις Δανίας. Παλαιότερα ήταν γνωστή με την ονομασία DONG Energy. Θεωρείται από την αρχή του 2022 ως η μεγαλύτερη εταιρεία κατασκευής Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων παγκοσμίως, η οποία αυτή τη στιγμή καλύπτει σχεδόν το 30% τις παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύς υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Η Ørsted παράγει το 90% της ενέργειάς από τις ΑΠΕ, το οποίο έχει ως στόχο μέχρι το τέλος του 2023 να ξεπεράσει το 95%, με απώτερο στόχο να φτάσει το 99% έως τα τέλη του 2025.

Το 2002 και όταν η Ørsted ονομαζόταν ακόμη DONG Energy πραγματοποίησε την ολοκλήρωση του πρώτου Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου μεγάλης κλίμακας με συνολική ισχύ 160MW, το Horns Rev 1. Αποτελούνταν από 80 μονάδες Vestas V80-2,0MW που έφταναν συνολικά τα 160MW. Οι τουρμπίνες που εγκαταστάθηκαν ήταν διατεταγμένες ως ένα ορθογώνιο 5km x 3,8 km (8 οριζόντιες και 10 κάθετες σειρές). Η απόσταση μεταξύ των στροβίλων ήταν 560m και τις τις δύο κατευθύνσεις.



Εικόνα 3.1 - Horns Rev 1



Εικόνα 3.2- Vestas v80-2.0

Έκτοτε η Ørsted ανέπτυξε πολύ μεγάλη δραστηριότητα και εγκατέστησε Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, όπως την Ολλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Γερμανία, αυξάνοντας την εγκατεστημένη ισχύ μέχρι και τα 400MW, χρησιμοποιώντας μοντέλα ανεμογεννητριών μεγάλης κλίμακας όπως οι Siemens Gamesa SG 8.0-167 DD και Siemens Gamesa SG 11.0-200 DD, με το τελευταίο να αποδίδει ονομαστική ισχύ 11MW, έχοντας διάμετρο ρότορα 200m, μήκος της εκάστοτε λεπίδας 97m και να παράγει έως και 40% περισσότερο του SG 8.0-167 DD.



Εικόνα 3.3 - Siemens Gamesa SG 8.0-167 DD

Ενώ στα τέλη του 2022 η Ørsted έχει καταφέρει να δημιουργήσει τα δύο από τα μεγαλύτερα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα στον κόσμο στις ακτές του Γιρκσάιρ στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το Hornsea project 1 και το Hornsea project 2. Η χωρητικότητα του πρώτου ανέρχεται σε 1.218MW με έναν στόλο από ανεμογεννήτριες που φτάνει στον αριθμό των 174, χρησιμοποιώντας το Siemens Gamesa SWT-7.0-154 μοντέλο ανεμογεννήτριας, ενώ αντίστοιχα το δεύτερο ανέρχεται σε 1.386MW, με 165 ανεμογεννήτριες των Siemens Gamesa 8.0-167 DD. Μαζί και τα δύο πάρκα είναι σε θέση να τροφοδοτήσουν 2,5 εκατομμύρια σπίτια.



Εικόνα 3.4 - Ακτές του Γιρκσάιρ στο Ηνωμένο Βασίλειο - Hornsea project 1 και Hornsea project 2

Η **Vattenfall** είναι σουηδική πολυεθνική εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας που δραστηριοποιείται εκτός από την Σουηδία, στην Δανία, Φινλανδία, Γερμανία, Ολλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο.

Από την ίδρυσή της ασχολήθηκε σε διάφορους τομείς παραγωγής ενέργειας, όπως υδροηλεκτρική, πυρηνική, αιολική και ηλιακή, φτάνοντας το 2019 να αντιπροσωπεύει το 35% της συνολικής παραγωγικής ικανότητας της εταιρίας. Το αιολικό πάρκο Lillgrund, το οποίο βρίσκεται περίπου 10χλμ από τις ακτές της νότιας Σουηδίας, αποτελεί τον πιο αξιόλογο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Vattenfall με χωρητικότητα 110MW, αποτελούμενη από 48 ανεμογεννήτριες (Siemens SWT-2.3-93) το οποίο σχεδιάστηκε για να

καλύπτει την εγχώρια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για περισσότερα από 60.000 σπίτια. Οι ανεμογεννήτριες Siemens SWT-2.3-93 έχουν διάμετρο ρότορα 93m και συνολικό ύψος 115m

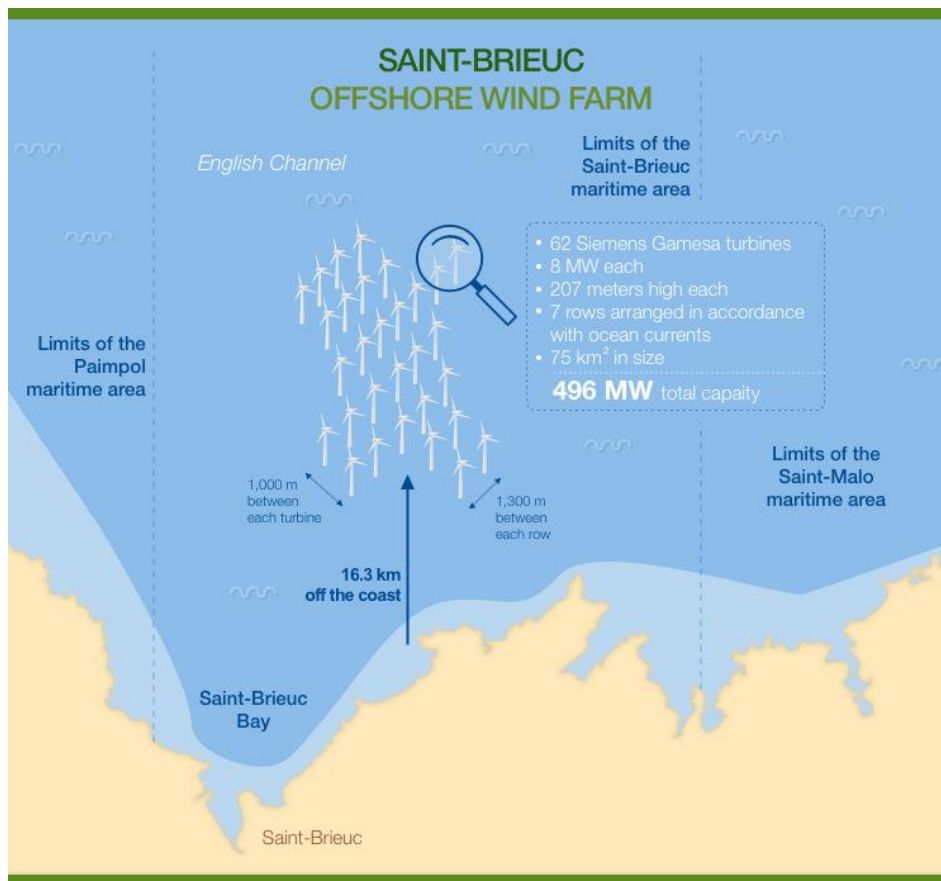


Εικόνα 3.5 - Αιολικό Πάρκο Lillgrund

Η **Iberdrola** είναι ισπανική πολυεθνική εταιρία ηλεκτρισμού, με έδρα το Μπιλμπάο της Ισπανίας. Είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός αιολικής ενέργειας και η δεύτερη εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο με βάση την κεφαλαιοποίηση της αγοράς. Από το 1992 που δημιουργήθηκε, συνεργάστηκε με πολλές εταιρείες ενέργειας στην Ευρώπη αλλά κυρίως στην ΗΠΑ. Συνδυάζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την παροχή φυσικού αερίου φτάνοντας σε εγκατεστημένη ισχύ τα 46.471MW στο τέλος του 2015.

Στο τέλος του 2022 η Iberdrola έφτασε στα 1.258MW ισχύς από Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα τα οποία βρίσκονται σε λειτουργία και 5.500MW υπό κατασκευή με μακροπρόθεσμα συμβόλαια, τα οποία θα τεθούν σε λειτουργία πριν από το 2027 χάρη σε επενδύσεις περίπου 30δισ. ευρώ παγκοσμίως κατά τη διάρκεια αυτής της δεκαετίας.

Το πρώτο μεγάλης κλίμακας έργο υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στην Βρετάνη της Γαλλίας, το Saint Brieuc έχει εγκατεστημένη ισχύ 496MW καλύπτοντας τις ανάγκες σε ενέργεια 835.000 ατόμων. Πρόκειται για μία επένδυση 2,4δισ ευρώ, που παράγει 1.820GWh ετησίως. Αποτελείται από 62 ανεμογεννήτριες κατηγορίας Siemens Gamesa 8MW και τοποθετημένες σε απόσταση του 1km η κάθε μία, ύψους 207m, σε έκταση 75km<sup>2</sup>, με το πάρκο να απέχει από την ακτή 16,3km.

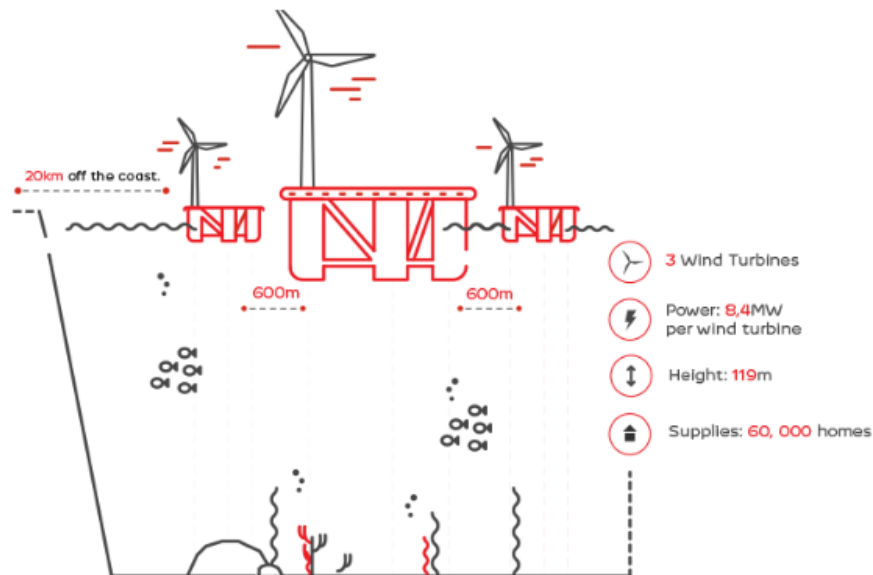


Εικόνα 3.6 - Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο στην Βρετάνη της Γαλλίας, το Saint Brieuc

Η **EDP Renewables (EDPR)** είναι μια εταιρεία Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που βρίσκεται στο Οβιέδο και με έδρα στη Μαδρίτη. Ιδρύθηκε το 2007 και έχει εισαχθεί στον χώρο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από την μητρική εταιρεία Energias de Portugal της μεγαλύτερης εταιρείας της Πορτογαλίας, κατακτώντας την τέταρτη θέση από τις μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής αιολικής ενέργειας παγκοσμίως.

Στα τέλη του 2019 η EDPR δημιούργησε το πρώτο πλωτό αιολικό πάρκο μεγάλης κλίμακας, στην Πορτογαλία, το οποίο θεωρείται ένα από τα μεγαλύτερα πλωτά πάρκα παγκοσμίως. Το project ονομάστηκε WindFloat Atlantic και αναπτύχθηκε 20χλμ από την ακτή της Πορτογαλίας κοντά στο Viana do Castelo, το οποίο προσέφερε τόση ενέργεια ώστε να εφοδιάζονται 60.000 σπίτια. Χρειάστηκαν τρεις ανεμογεννήτριες ύψους 119m και χωρητικότητας 8,4MW, κατηγορίας Vestas V164, σε απόσταση 600m μεταξύ τους.





Εικόνα 3.7 - Το πρώτο πλωτό αιολικό πάρκο στην Πορτογαλία - WindFloat Atlantic



Εικόνα 3.8 - Πλωτή αιολική ανεμογεννήτρια - WindFloat Atlantic

### 3.6 Υπεράκτια Αιολικά πάρκα σε Ελλάδα

Όσον αφορά στην Ελλάδα έχει ωριμάσει η ιδέα για την υλοποίηση των πρώτων Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων, όπως είναι φανερό από τη σύσταση επταμελούς Επιτροπής Συντονισμού Σύνδεσης και Ανάπτυξης Έργων Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων στο Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ) που έχει σαν στόχο να προσφέρει κάθε συνδρομή στους αρμόδιους φορείς που ασχολούνται με το πλαίσιο τέτοιων έργων, π.χ. την Ελληνική Διαχειριστική Εταιρεία Υδρογονανθράκων και Ενεργειακών Πόρων (ΕΔΕΥΕΠ). Με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) προβλέπεται ότι μέχρι το 2030 η πράσινη

ενέργεια θα αυξηθεί κατά 2GW από τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα. Πλέον είναι κοινή πεποίθηση ότι τα χερσαία αιολικά έργα δεν επαρκούν για την επίτευξη ενεργειακών στόχων της χώρας. Επομένως, είναι εντελώς φυσικό στην προσπάθεια εύρεσης νέων τρόπων παραγωγής ενέργειας η Ελλάδα να στραφεί στην αιολική ενέργεια που μπορεί να παρασχεθεί από τη θάλασσα, όπως τα πλωτά μέσα και τα υπεράκτια πάρκα.

Ωστόσο στην χώρα μας υπάρχουν αντικειμενικές δυσκολίες στην κατασκευή Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων, καθώς διαθέτει ορισμένες ιδιαιτερότητες, με κυριότερη το μεγάλο βάθος της θάλασσας, ιδίως όταν αυτή βρίσκεται κοντά στη στεριά, το οποίο μέχρι σήμερα εμπόδιζε την κατασκευή Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων. Παρ' όλα αυτά, η ΡΑΕ έλαβε αρκετές αιτήσεις για άδειες παραγωγής ισχύος μεγαλύτερης των 3GW μέχρι τον Ιούνιο του 2010, όταν ο νόμος 3851/2010 καθιέρωσε ενιαία διαδικασία αδειοδότησης αποκλειστικά για τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα. Εντός των περιορισμών του νέου νόμου, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) ολοκλήρωσε τον Ιούλιο του 2010 την προκαταρκτική διαδικασία χωροθέτησης Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων με ορίζοντα ανάπτυξης το 2012-2017. Αυτή η προκαταρκτική διαδικασία εξέτασε τις μεθόδους επιλογής που χρησιμοποιήθηκαν για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης των αιολικών πάρκων, της θαλάσσιας περιοχής που καταλαμβάνουν και της μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος τους. Στη συνέχεια ολοκληρώθηκε η Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, η οποία εκπονήθηκε από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) και αυτή τη στιγμή βρίσκεται στο στάδιο της μελέτης. Επιπλέον, το Πρόγραμμα Συνεργασίας της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) θα ξεκινήσει σύντομα τη μελέτη με τίτλο "Δημιουργία Εθνικού Προγράμματος Αξιοποίησης του Υπεράκτιου Αιολικού Δυναμικού του Αιγαίου Φάση 1: Προπαρασκευαστικές Ενέργειες", όπου το ΚΑΠΕ, ο Ειδικός Λογαριασμός Κονδυλίων Έρευνας Ενέργειας (ΕΛΚΕΕ) και το ΕΜΠ συνεργάζονται με έξι σημαντικές ενεργειακές εταιρείες για την επίτευξη των ακόλουθων στόχων:

- Διερεύνηση και χαρτογράφηση του αιολικού και κυματικού δυναμικού στο Αιγαίο και σε άλλες ελληνικές θάλασσες. Για την αξιολόγηση του διαθέσιμου δυναμικού και για να αποκτήσουν τα αποτελέσματα την κατάλληλη στατιστική αξιοπιστία, θα χρησιμοποιηθούν μακροχρόνια δεδομένα.
- Η καλύτερη διαμόρφωση των ηλεκτρικών συνδέσεων που θα τροφοδοτούν τόσο τα χερσαία (που βρίσκονται στα νησιά) όσο και τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα, ενώ

παράλληλα θα συνδέουν τα νησιά με το ηπειρωτικό δίκτυο. Επιπλέον, θα προταθούν πιθανές τοποθεσίες για την ανέγερση πλωτών αιολικών πάρκων.

- Θα ερευνηθούν και θα αναπτυχθούν ολοκληρωμένα εργαλεία σχεδιασμού, ιδίως εκείνα για την προσομοίωση της αεροελαστικής-υδροδυναμικής συμπεριφοράς των πλωτών ανεμογεννητριών.
- Εξέταση των υλικοτεχνικών και τεχνολογικών πτυχών των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων κατά το στάδιο του σχεδιασμού, καθώς και καθ' όλη τη διάρκεια της συνεχούς χρήσης και συντήρησής τους.

Με έμφαση στην υψηλή εγχώρια προστιθέμενη αξία, το έργο αυτό θα παράγει κάποιες από τις γνώσεις που απαιτούνται για την ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στη χώρα μας [23].

Επιπλέον, προβλέπεται εντός του πρώτου εξαμήνου του 2023 να ολοκληρωθεί το Εθνικό Σχέδιο Ανάπτυξης Αιολικών Πάρκων, το οποίο θα οριοθετήσει τις θαλάσσιες ζώνες που θα εγκατασταθούν τα πρώτα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα και στο οποίο θα τεθούν οι βασικοί άξονες που θα αφορούν στον σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την χωροθέτηση και εγκατάσταση των πάρκων. Προβλέπεται ότι οι θαλάσσιες περιοχές που θα αναπτυχθούν τέτοια έργα, πρόκειται να είναι στην Κρήτη, στην Θράκη αλλά και στην Αλεξανδρούπολη όπου ήδη από το 2012 κατέχει σχετική άδεια γνωστός όμιλος ενέργειας και ΑΠΕ [24].

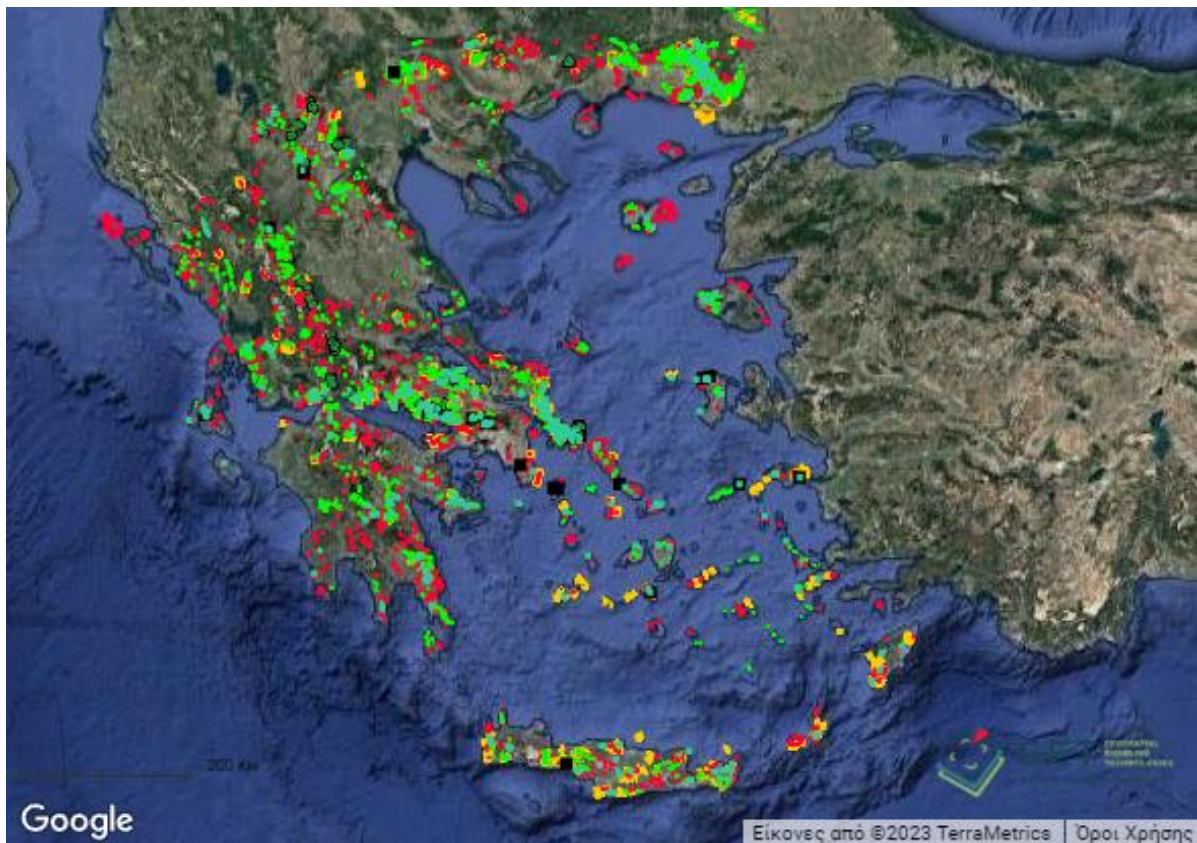
Τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα προσφέρουν μια νέα, δημιουργική λύση στα προβλήματα με τις χερσαίες ανεμογεννήτριες που καλύπτονται στις προηγούμενες προτάσεις. Η νέα τεχνική των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων, η οποία περιλαμβάνει την εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε θαλάσσιες περιοχές, έχει διευρύνει το μέγεθος του επιφανειακού χώρου που είναι κατάλληλος για την κατασκευή αιολικών πάρκων. Δεδομένου ότι η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας είναι συχνά υψηλότερη από ό,τι στην ξηρά, μια ανεμογεννήτρια μπορεί να λειτουργήσει πιο αποτελεσματικά. Τέλος, τα αισθητικά προβλήματα της ορατότητας και του θορύβου αμβλύνονται, επειδή οι χερσαίες ανεμογεννήτριες μπορούν να κατασκευαστούν σε απόσταση από την παραλία.

Τόσο κατά τη φάση ανάπτυξης όσο και κατά τη φάση λειτουργίας αυτής της επένδυσης, το θαλάσσιο περιβάλλον θα επηρεαστεί σίγουρα. Ειδικότερα, με την πάροδο του χρόνου, τα θεμέλια των ανεμογεννητριών μπορεί να λειτουργήσουν ως τεχνητοί ύφαλοι, αυξάνοντας

τον πληθυσμό των ψαριών και άλλων θαλάσσιων ειδών, επειδή θα υπάρχει περισσότερη διαθέσιμη τροφή. Παρόλο που δεν έχουν γίνει επίσημα ευρήματα στη βιβλιογραφία, μια αλλαγή στο περιβάλλον είναι ακόμα πιθανή, επειδή τα υποβρύχια θεμέλια, τα διάφορα συστήματα αγκύρωσης, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για να σταματήσουν τη διάβρωση της ανεμογεννήτριας από το νερό και τα διάφορα υλικά καθαρισμού και συντήρησης μπορούν να μειώσουν το βάθος του θαλάσσιου οικοσυστήματος και να υποβαθμίσουν τα ενδιαίτηματα των θαλάσσιων οργανισμών. Φυσικά, αυτό θα έχει αντίκτυπο σε ολόκληρη την τροφική αλυσίδα του οικοσυστήματος.

### 3.6.1 Εταιρίες εγκατάστασης ΥΑΠ στην Ελλάδα

Παρότι είναι κοινή αποδοχή ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να επιτευχθεί σε ικανοποιητικό βαθμό μόνο από τα χερσαία αιολικά πάρκα και η επέκταση στη δημιουργία Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων είναι μονόδρομος, η πλειονότητα των αδειών από εταιρείες ενδιαφέροντος, που είχαν κατατεθεί μέχρι και τα μέσα του 2022, είχαν απορριφθεί από την ΡΑΕ για διάφορους λόγους, όπως εμφανίζεται στον κατωτέρω πίνακα σύμφωνα με τον γεωπληροφοριακό χάρτη της ΡΑΕ [25].



Εικόνα 3.9 - Γεωπληροφοριακός χάρτης της ΡΑΕ

Πίνακας 3.1 – Αιτηθείσες Άδειες Εταιρειών Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων στην Ελλάδα

Αιτηθείσες άδειες εταιριών Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων στην Ελλάδα				
ΕΙΔΗ ΑΔΕΙΩΝ	ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ (ΘΕΣΗ)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (MW)	ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΑ
ΑΔΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	Θρακική Αιολική 1 Α.Ε.	Αλεξανδρούπολη (Θαλάσσια Περιοχή)	216	-
ΑΠΟΡΡΙΠΤΙΚΕΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ	Ελληνική Ενεργικοντορ ΑΕ	Θάσος ( Πάρτο Λάγος)	156	Ελλιπής- βάση απ.οφ.ΡΑΕ 136/2006
	Πλάκα Αιολική ΕΠΕ	Αλεξανδρούπολη (Πλάκα)	12	-
	Βουλγαράκης Ε. Γεώργιος ΜΕΠΕ	Αλεξανδρούπολη (Θαλάσσια)	50	-
	Ελληνική Ενεργικοντορ ΑΕ	Λήμνος (Θαλάσσιο Πάρκο Ανατολικά Λήμνου)	250	-
	Τζάσπερ Αιολική Ελλάς Α.Ε. & ΣΙΑ Άνδρος Ε.Ε.	Άνδρος (Θαλάσσια Περιοχή Β ΒΑ Ν. Άνδρου)	306	-
	Πλειάδες Αιολική Α.Ε.	Ραφήνας - Πικέρμιου (Κόλπος πεταλιών)	276	Ανάκληση Αίτησης
	Μινωικά Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα Α.Ε.	Κάσος (Θαλ. Περ. Δυτ. Καρπάθου)	350	Ανάκληση Αίτησης
Veneigia Ενεργειακή ΑΕ	Κέρκυρα (Θαλ. Περιοχή Διαποντίων Νήσων)	96	-	
ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	Αιολική Προβάτα Τραϊανουπόλεως Ο.Ε.	Αλεξανδρούπολης (Θρακικό Πέλαγος)	584	-

Παρόλα αυτά, όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, πρόσφατα φαίνεται ότι κάτι αλλάζει στη χώρα μας με τη σύσταση Επιτροπής Συντονισμού Σύνδεσης και Ανάπτυξης Έργων Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων, η οποία πρόκειται να συνδράμει την αρμόδια αρχή Ελληνική Διαχειριστική Εταιρεία Υδρογονανθράκων & Ενεργειακών Πόρων (ΕΔΕΥΕΠ), προκειμένου για τον καλύτερο συντονισμό μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, όπως οι Διαχειριστές του δικτύου, ΡΑΕ και άλλα αρμόδια Υπουργεία και φορείς. Σε αυτό το πλαίσιο έχει κατατεθεί σχετική Δημόσια Διαβούλευση (στο open.gon.gr) με το Εθνικό Σχέδιο Ανάπτυξης Αιολικών Πάρκων, που θα οριοθετήσει τις θαλάσσιες ζώνες ανάπτυξης τους, μέσα στο 2023. Αυτό το σχέδιο θέτει τους βασικούς άξονες για τον σχεδιασμό, ανάπτυξη, χωροθέτηση, εγκατάσταση και εκμετάλλευση των έργων. Μετά την έγκριση του Σχεδίου, θα ακολουθήσει η Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και με Υπουργική Απόφαση θα οριστούν οι περιοχές εντός των οποίων θα αναπτυχθούν Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα.

Πέντε είναι οι περιοχές που πρόκειται να δημιουργηθούν τα πρώτα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα στην Ελλάδα και συγκεκριμένα :

- **Στην Αλεξανδρούπολη**, όπου έχει επιλεγεί για τη δημιουργία πιλοτικών έργων ισχύος 600MW από τον όμιλο Κοπελούζου, ο οποίος έχει διασφαλίσει σχετική άδεια παραγωγής για θαλάσσιο πάρκο ισχύος 216MW από το 2012.
- **Τρεις περιοχές στο κεντρικό Αιγαίο**, οι οποίες στην κάθε μία θα εγκατασταθεί από ένα θαλάσσιο πάρκο ισχύος 300MW έκαστη, φτάνοντας στη συνολική ισχύς 900MW. Οι περιοχές αυτές θα είναι είτε κοντά στην ηπειρωτική Ελλάδα, είτε στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή των Δωδεκανήσων.

- **Στην Κρήτη**, και συγκεκριμένα στη θαλάσσια περιοχή από την Σητεία έως τον Ξερόκαμπο, στις βόρειες και ανατολικές ακτές του νησιού, πρόκειται να αναπτυχθεί θαλάσσιο πάρκο ισχύος 600MW.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, η συνολική ισχύς θα ανέλθει στα 2,1GW.

Η επιλογή των ως άνω περιοχών προέκυψε μετά από την διερεύνηση ορισμένων κριτηρίων που αφορούν περιβαλλοντικά ζητήματα, χωροταξικά, κοινωνικά, οικονομικά και γεωπολιτικά, ενώ καθοριστικό ρόλο έπαιξε το αιολικό δυναμικό, καθώς η ένταση των ανέμων καθορίζει τον βαθμό απόδοσης των πάρκων και της παραγόμενης ενέργειας. Σημαντικό στοιχείο είναι η δυνατότητα απορρόφησης της παραγόμενης συνολικής ενέργειας από το δίκτυο μεταφοράς [26].

Ενόψει των πρώτων παραχωρήσεων που πρόκειται να δοθούν, βάσει του σχετικού σχεδιασμού, το 2027, έχουν ήδη ξεκινήσει να δημιουργούνται οι πρώτες επιχειρηματικές συνεργασίες μεταξύ Ελλήνων και ξένων επενδυτών. Ενδεικτικά αναφέρονται η συμφωνία μεταξύ της γερμανικής RWE με την Helleniq Energy (πρώην ΕΛΠΕ), η ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή με την Ocean Winds (κοινοπραξία της πορτογαλλικής EDPR και της γαλλικής Engie), η Mytilineos με την δανέζικη Copenhagen Offshore Partners, η ΜΟΤΟΡ ΟΙΛ με την Abu Dhabi Future Energy Company και η Ιντρακατ με την Parkwind [27].

Παράλληλα, η διοίκηση του ΑΔΜΗΕΕ (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) με τις διοικήσεις της ΕΔΕΥΕΠ (Ελληνική Διαχειριστική Εταιρεία Υδρογονανθράκων και Ενεργειακών Πόρων Α.Ε) και της ΕΛΕΤΑΕΝ (ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ), σε πρόσφατη συνάντησή τους, έθεσαν τις σημαντικές παραμέτρους που αφορούν τις υποδομές διασυνδέσεων και τη βέλτιστη αξιοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση του πλούσιου αιολικού δυναμικού που προσφέρουν οι ελληνικές θάλασσες [28].

### **3.7 Διαδικασία αδειοδότησης**

Κατόπιν αιτήματος του αρμόδιου παραγωγού, πρέπει να εκδίδονται οι κατάλληλες άδειες και συμβάσεις για την κατασκευή και λειτουργία σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητες οι ενέργειες που αναφέρονται παρακάτω [29] :

1) Έκδοση Άδειας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Υπουργείο Ανάπτυξης & Επενδύσεων).

2) Ταυτόχρονα πρέπει να γίνουν αιτήσεις για:

- Δημιουργία πρότασης (ΑΔΜΗΕ) για το σύστημα ή τη σύνδεση τις μονάδας με το δίκτυο.
- Έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ) ή αίτηση εξαίρεσης από ΕΠΟ (Περιφέρεια).
- Τυχόν απαραίτητες άδειες επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση ή γενικότερα άδειες που απαιτούνται για την εξασφάλιση του δικαιώματος χρήσης του χώρου του έργου (Περιφέρεια).
- Έκδοση Άδειας Εγκατάστασης (Περιφέρεια).
- Έκδοση αδειών δόμησης (Πολεοδομία).
- Υπογραφή Σύμβασης Σύνδεσης με το Σύστημα ή το Δίκτυο (ΑΔΜΗΕ).
- Υπογραφή Σύμβασης Αγοράς και Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΑΠΕΕΠ, πρώην ΛΑΓΗΕ).

3) Δοκιμαστική περίοδος και έκδοση Άδειας Λειτουργίας (Περιφέρεια).

Σύμφωνα με το νέο ΦΕΚ που εκδόθηκε τις 30 Ιουλίου του 2022: «Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη για τη λειτουργία των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων πρέπει να τηρούν τα ακόλουθα πρότυπα: [30]

(α) Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, το οποίο περιγράφει την ενεργειακή πολιτική και τις στόχους τις χώρας (ΕΣΕΚ, ΦΕΚ Β' 4893/2019),

(β) τον εμπεριστατωμένο σχεδιασμό τις χώρας για τη διατήρηση του περιβάλλοντος και τις βιοποικιλότητας,

(γ) το χωροταξικό σχεδιασμό τις χώρας, ο οποίος λαμβάνει υπόψη την Εθνική Χωρική Στρατηγική για τον χερσαίο χώρο, το Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), το άρθρο 13<sup>Α</sup> του ν. 4269/2014 (ΦΕΚ Α'142), την Εθνική Χωροταξική Στρατηγική για τον Θαλάσσιο Χώρο και το Θαλάσσιο Χωροταξικό Πλαίσιο του ν. 4546/2018 (ΦΕΚ Α'101), καθώς και τις βέλτιστες διεθνείς πρακτικές και τα συμπεράσματα τις έκθεσης αξιολόγησης του Ειδικού Χωροταξικού Πλαισίου για τις ΑΠΕ, τις παρ. 4 του άρθρου 4 του ν. 4269/2014 (ΦΕΚ Α'142).

(δ) τις απαιτήσεις για την εθνική ασφάλεια,

(ε) τις πρόσθετες απαιτήσεις, τις η ύπαρξη ιστορικών τόπων και ναυαγίων, θαλάσσιων και υποθαλάσσιων κρίσιμων υποδομών, θαλάσσιων πεδίων που υπόκεινται σε περιορισμούς, η θαλάσσια κυκλοφορία για τη διασφάλιση των όρων και προϋποθέσεων ασφαλούς ναυσιπλοΐας, η ανάπτυξη του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Ε.Σ.Μ.Η.Ε.) και οι απαιτήσεις που αφορούν σε παραγωγικές και αναπτυξιακές δραστηριότητες.

Κατόπιν αίτησης τις τον Φορέα Υ.Α.Π. σύμφωνα με τις όρους τις παρούσας ρήτρας, όσοι έχουν λάβει Άδεια Έρευνας Υ.Α.Π. εξουσιοδοτούνται να διεξάγουν έρευνα και να εκπονούν τις τεχνικές μελέτες και μετρήσεις που είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την εγκατάσταση και τη λειτουργία των Έργων Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων σε κάθε Οργανωμένη Περιοχή Ανάπτυξης (ΠΟΑΥΑΠ) (Φ.Ε.Κ. 150/Α` 30.7.2022».

### 3.8 Πρόσφατα Δεδομένα

Ο τομέας της αιολικής ενέργειας συνέχισε να αναπτύσσεται διεθνώς το 2021. Σε σύγκριση με το 2020, εγκατέστησε υπερτριπλάσιο αριθμό υπεράκτιων αιολικών συστημάτων και έφτασε σε νέες παραλίες και βυθούς. Η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία τον Φεβρουάριο του 2022 έστειλε στα έθνη ένα ακόμη ηχηρό και ξεκάθαρο μήνυμα. Εκτός του ότι είναι επιβλαβής για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, η εξάρτηση από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα αποτελεί σοβαρή απειλή για την γεωπολιτική σταθερότητα και την ενεργειακή ασφάλεια.

Η διασφάλιση ότι η βιομηχανία θα αναπτυχθεί με τρόπο βιώσιμο, δίκαιο και κοινωνικά υπεύθυνο, ενώ παράλληλα θα βασίζεται σε ένα σαφές και βιώσιμο οικονομικό επιχείρημα, θα είναι ζωτικής σημασίας για την ικανότητα της αιολικής ενέργειας να διαδραματίσει ηγετικό ρόλο στην ενεργειακή μετάβαση. Ακόμη και πριν από το 2030, μπορούμε ήδη να πούμε ότι το τοπίο θα είναι δύσκολο. Γεγονότα που εξακολουθούν να εξελίσσονται, όπως οι παγκόσμιες επιπτώσεις της εισβολής της Ρωσίας στην Ουκρανία, θα επηρεάσουν τον τρόπο με τον οποίο θα αναπτυχθεί η αιολική ενέργεια. Το ζήτημα έχει αυξήσει την πίεση σε ορισμένα έθνη να μεταβούν σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και να μειώσουν την εξάρτηση από το φυσικό αέριο, ενώ αναζωπυρώνει τις εκκλήσεις σε άλλα για παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου και πυρηνική ενέργεια. Η ετοιμότητα της βιομηχανίας να αντιμετωπίσει αυτά τα ζητήματα θα καθορίσει τη μακροπρόθεσμη επίδραση που θα έχουν στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας.



Η αιολική βιομηχανία έχει αποδείξει τα τελευταία δέκα χρόνια ότι μπορεί να μειώσει σημαντικά τα έξοδα διαβίωσης τόσο για την αιολική ενέργεια στην ξηρά όσο και για την υπεράκτια ενέργεια, ενώ παράλληλα ενισχύει τον όγκο παραγωγής και τις εγκαταστάσεις δυναμικότητας. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (International Renewable Energy Agency - IRENA), το σταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (levelized cost of electricity - LCOE) της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας σταθερού πυθμένα έχει μειωθεί σχεδόν στο μισό, στα 0,08 \$/kWh, ενώ το παγκόσμιο σταθμισμένο μέσο LCOE της χερσαίας αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί κατά περίπου 60% κατά τη διάρκεια των τελευταίων δέκα ετών. Η αιολική ενέργεια έχει αναμφισβήτητα αποδείξει ότι είναι πιο αποδοτική από την παραγωγή με βάση τα ορυκτά καύσιμα στην πλειονότητα των παγκόσμιων αγορών και αυτή η σταθερή μείωση του κόστους που επιταχύνεται, αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα για να πειστούν οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στις προσπάθειες απαλλαγής από τον άνθρακα. Όμως, πληθαίνουν οι αποδείξεις ότι ο τομέας της αιολικής ενέργειας έχει πέσει θύμα της ίδιας του της επιτυχίας. Η λανθασμένη πεποίθηση των διεθνών οργανισμών και των υπευθύνων χάραξης πολιτικής είναι ότι η LCOE θα συνεχίσει να μειώνεται σταθερά κατά τις επόμενες δεκαετίες. Ο τομέας αντιμετωπίζει κλιμακούμενες δυσκολίες λόγω των διεθνών εμπορικών περιορισμών και των απαιτήσεων τοπικού περιεχομένου [31].

Μετά το πανδημικό σοκ του 2020, η απότομη ανάκαμψη της βιομηχανικής παραγωγής οδήγησε σε συνεχείς περιορισμούς δυναμικότητας και εφοδιαστικής, καθώς και σε έντονο ανταγωνισμό για πρώτες ύλες μεταξύ των διαφόρων βιομηχανιών. Αυτό είχε σημαντικό αντίκτυπο στην αιολική βιομηχανία, επειδή το μεγαλύτερο μέρος της κεφαλαιουχικής δαπάνης (Capital expenditure – CAPEX) των αιολικών έργων δαπανάται για την απόκτηση, μεταφορά και κατασκευή των πρώτων υλών και των εμπορευμάτων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ανεμογεννητριών, όπως ο χάλυβας, το σκυρόδεμα, ο χαλκός, το νικέλιο και μια μικρή, αλλά πολύτιμη, ποσότητα στοιχείων σπάνιων γαιών. Για τα χερσαία αιολικά έργα, αναμένεται ότι το κόστος κεφαλαίου των στροβίλων αντιπροσωπεύει πάνω από το 70% του συνολικού CAPEX- όταν ο LCOE (Levelized cost of electricity) υπολογίζεται για μια 25ετή διάρκεια ζωής του έργου, το κόστος των στροβίλων αντιπροσωπεύει περίπου το 50% του LCOE. Από το 2015, οι μέσες τιμές δεν βρίσκονται σε αυτά τα επίπεδα. Ως αποτέλεσμα, τα επίπεδα μείωσης του κόστους της απόκτησης του εφοδιασμού έχουν αντιστραφεί. Το υψηλότερο LCOE που προκύπτει θα καταστήσει πιο δύσκολο για την

αιολική και για άλλες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας να αντικαταστήσουν γρήγορα την παραγωγή ορυκτών καυσίμων, γεγονός που δημιουργεί πρόβλημα για την αγορά. Αυτές οι μεταβαλλόμενες δυναμικές συμβαίνουν στο πλαίσιο δύο βασικών τάσεων: πρώτον, της αυξημένης επείγουσας ανάγκης για τη σταδιακή κατάργηση της παραγωγής από ορυκτά καύσιμα, η οποία περιλαμβάνει σχέδια για την κατάλληλη τιμολόγηση του άνθρακα μέσω περιφερειακών αγορών άνθρακα, άρσης των επιδοτήσεων και άλλων πρωτοβουλιών και δεύτερον, της παγκόσμιας αύξησης των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας ως αποτέλεσμα της αστάθειας της προσφοράς φυσικού αερίου και άνθρακα, η οποία συνέχισε να αυξάνεται κατά το πρώτο τρίμηνο του 2020. Όσον αφορά το LCOE, η αιολική ενέργεια είναι ήδη πολύ ανταγωνιστική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα και είναι πιθανό να παραμείνει έτσι.

Η βασική κινητήρια δύναμη για την παγκόσμια εξάπλωση της αιολικής ενέργειας είναι η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, αλλά η τρέχουσα κρίση ανέδειξε επίσης την ανάγκη να υπερβούμε τις πολιτικές επιλογές και τη ρύθμιση της αγοράς με βάση αποκλειστικά το LCOE (Global Wind Energy Council, 2022). Οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο ενθαρρύνουν την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας σε μια προσπάθεια να μειώσουν τις επιβλαβείς εξωτερικές επιδράσεις της συμβατικής παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, όπως οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και τα αέρια του θερμοκηπίου.

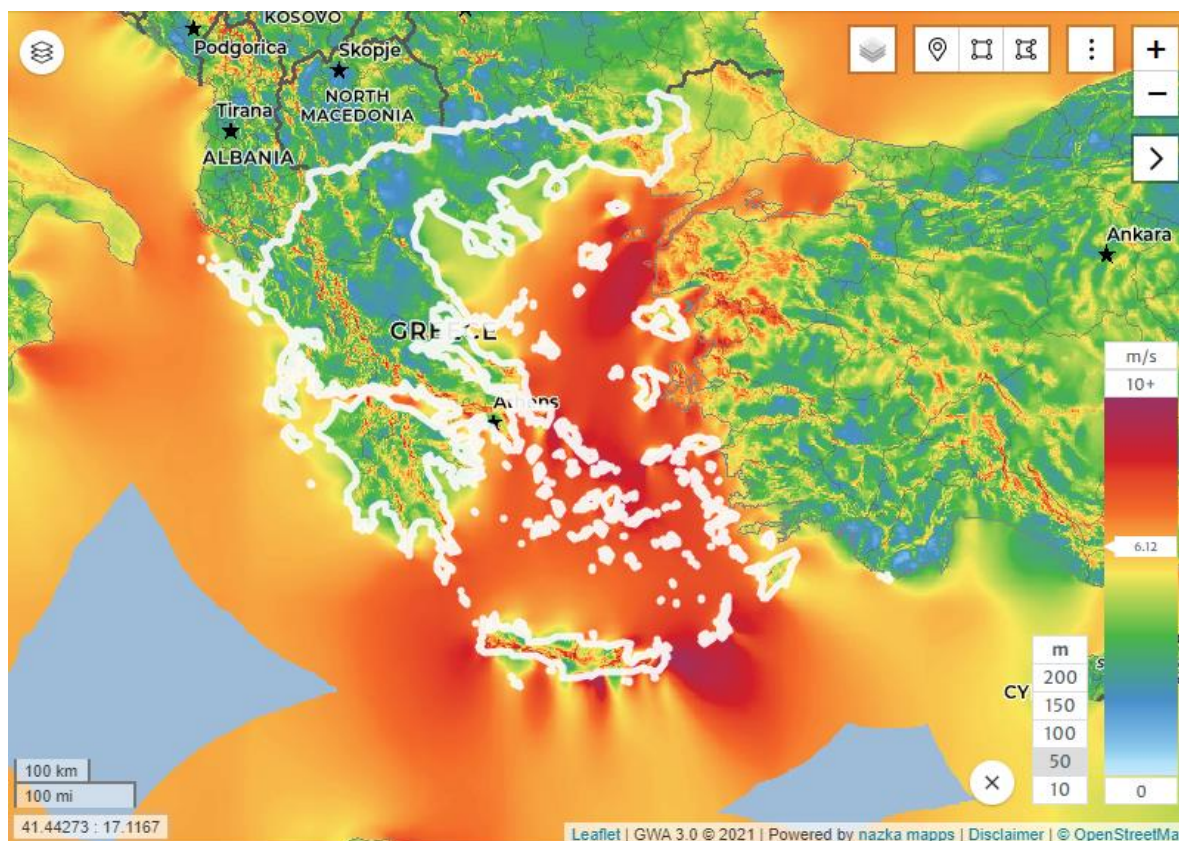
Παρόλο που η αιολική ενέργεια έχει προχωρήσει σημαντικά, ο άνθρακας παραμένει η κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλά βιομηχανικά κράτη. Σε πολλά έθνη, οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα αποτελούν την κύρια πηγή αερίων του θερμοκηπίου (GHG). Οι εγκαταστάσεις αυτές μπορεί να ευθύνονται για το 40% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι κυβερνήσεις όλου του κόσμου έχουν υιοθετήσει πρωτοβουλίες ενεργειακής πολιτικής σε μια προσπάθεια να μειώσουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας έχει τροφοδοτηθεί από περιβαλλοντικές ανησυχίες. Αν και η χρήση αιολικής ενέργειας μπορεί να συμβάλει στη μείωση του CO<sub>2</sub>, σε ορισμένες περιοχές υπάρχουν καλύτεροι τρόποι για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Ο πληθυσμός του κόσμου αυξάνεται γρήγορα και πολλές βιομηχανικές χώρες βιώνουν τεράστια αύξηση του βιοτικού επιπέδου. Από αυτές τις μεταβλητές παράγεται μια αυξανόμενη ανάγκη για ενέργεια, γεγονός που έχει αυξήσει το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας. Ο πληθυσμός γενικά υποστηρίζει την αιολική ενέργεια, ως μια βιώσιμη πηγή ενέργειας. Εκτός από την υποστήριξη της αιολικής ενέργειας, ορισμένοι καταναλωτές είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν περισσότερα για την ενέργεια που παράγεται από αιολικά

πάρκα. Οι άνθρωποι ανησυχούν για το πώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα επηρεάσει την οικονομία τους και μια ποσοτική ανάλυση έδειξε ότι οι άνθρωποι θα ευνοήσουν την αιολική ενέργεια εάν πιστεύουν ότι θα ωφελήσει οικονομικά την κοινωνία τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> - ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

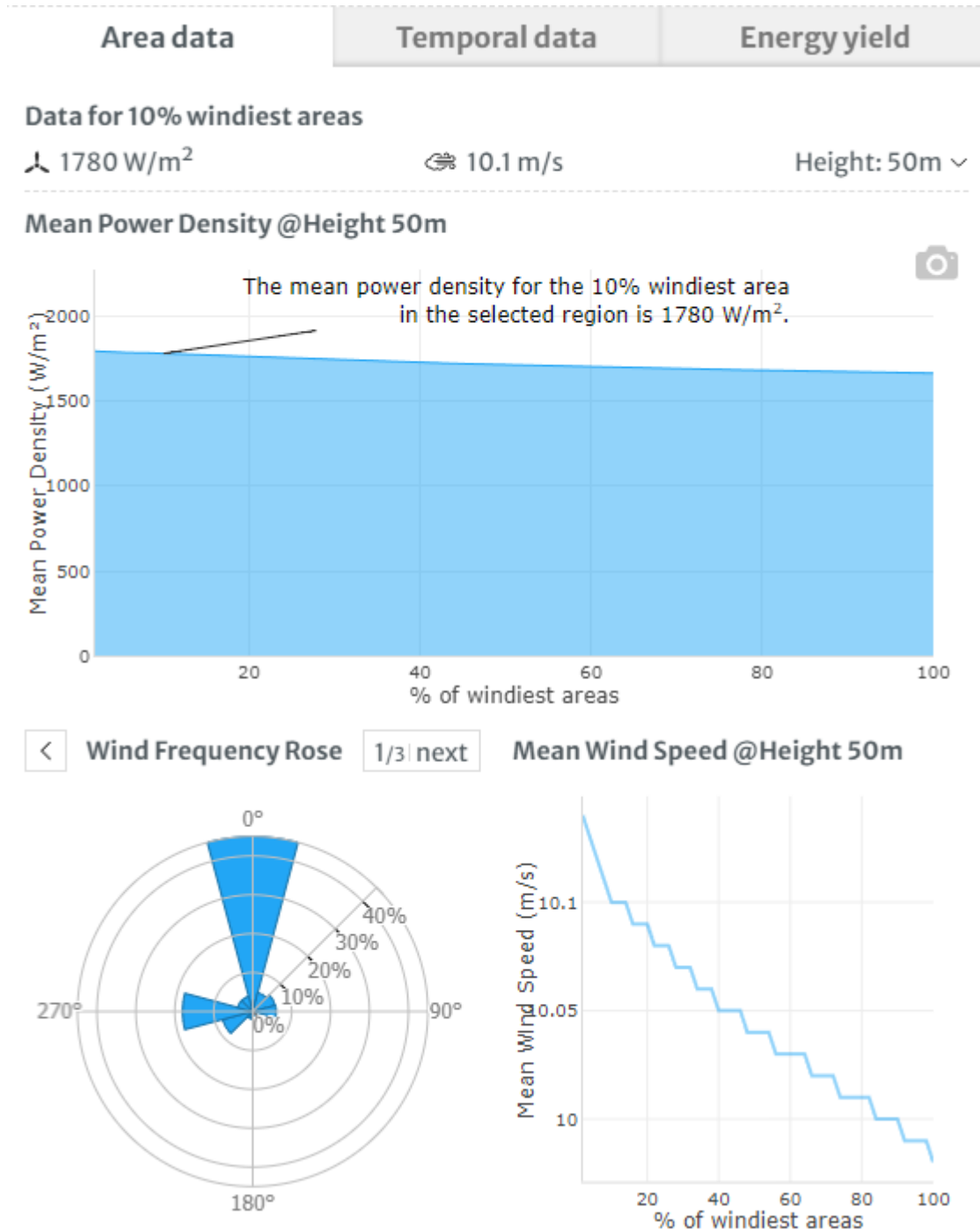
### 4.1 Εισαγωγή

Για την επιλογή της κατάλληλης περιοχής για την κατασκευή ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου σημαντικός παράγοντας είναι η ανάλυση των δεδομένων αιολικής ενέργειας στην περιοχή μελέτης. Το πρώτο μας μέλημα είναι να εξετάσουμε τον αιολικό χάρτη της χώρας, από τον οποίο θα αντλήσουμε χρήσιμες πληροφορίες για τον κατάλληλο χώρο εγκατάστασης του πάρκου, ώστε να επιτύχει υψηλή απόδοση. Επίσης, ένα κριτήριο που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας είναι η εγγύτητα στις ακτές, καθώς οι περιοχές κοντά σε αυτές παρουσιάζουν συνήθως υψηλότερες ταχύτητες ανέμου. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας, βασισμένο σε δεδομένα από το GLOBAL WIND ATLAS και τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου στα 50 μέτρα πάνω από το έδαφος [32].

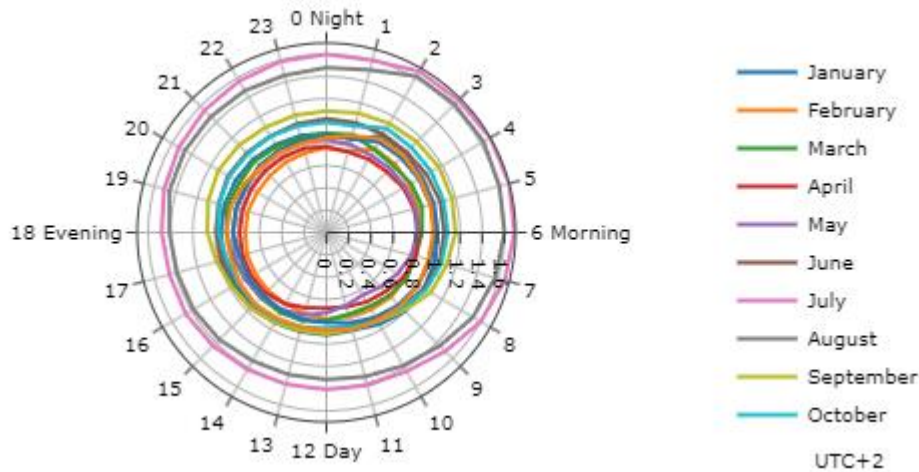


Εικόνα 4.1 - Χάρτης με το Αιολικό Δυναμικό της χώρας

Επιλέγοντας ένα σημείο ή μια οριοθετημένη περιοχή επάνω στον γεωγραφικό χάρτη έχουμε τη δυνατότητα να αντλήσουμε πολύ χρήσιμες πληροφορίες, όπως τη μέση ένταση του ανέμου, τη μέση ταχύτητα του ανέμου, κλπ. Μας παρέχεται η δυνατότητα απεικόνισης των ανωτέρω στοιχείων σε γραφικές παραστάσεις με τη μορφή διαγραμμάτων, βοηθώντας μας να κατανοήσουμε καλύτερα το δυναμικό της περιοχής.



Εικόνα 4.2 - Ανεμολογικά δεδομένα μιας συγκεκριμένης περιοχής της Ελλάδας



Εικόνα 4.3 - Ανεμολογικά δεδομένα της ίδιας περιοχής ενός έτους

## 4.2 Επιλογή της τοποθεσίας

Η περιοχή που θα επιλεγεί για την εγκατάσταση ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή, καθώς εξαρτάται άμεσα η αποδοτική λειτουργία του. Η επιλογή της περιοχής πρέπει να πληροί συγκεκριμένα κριτήρια, όπως το αιολικό δυναμικό, οι υδρογραφικές συνθήκες, το βάθος του πυθμένα, το είδος του πυθμένα, η γεωγραφική τοποθεσία και η απόσταση από την ακτή. Η αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής πρέπει να γίνεται με βάση τα διαθέσιμα αιολικά δεδομένα, ενώ η ανάλυση των υδρογραφικών συνθηκών και του πυθμένα πρέπει να γίνεται με βάση τα κατάλληλα εργαλεία και την τεχνογνωσία. Τέλος, η επιλογή της γεωγραφικής τοποθεσίας και της απόστασης από την ακτή επηρεάζει τόσο το κόστος εγκατάστασης όσο και την απόδοση της λειτουργίας του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου.

## 4.3 Μελέτη του εδάφους και της θάλασσας

Η μελέτη του εδάφους και της θάλασσας επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφόρων εργαλείων, όπως είναι η βυθομέτρηση, η γεωφυσική έρευνα, οι προσομοιώσεις, οι μετρήσεις των κυμάτων και η εξέταση της θαλάσσιας ροής. Η ανάλυση των βυθομετρικών και γεωλογικών αποτελεσμάτων επιτρέπει την κατανόηση των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή που θα τοποθετηθούν οι ανεμογεννήτριες και οι κατασκευές έδρασής τους, ενώ η ανάλυση των χαρακτηριστικών των κυμάτων και του κλίματος της περιοχής βοηθά στην αξιολόγηση της αντοχής του πάρκου σε τυχόν δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Επιπλέον, η μελέτη της θαλάσσιας ροής μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό της ιδανικής

τοποθεσίας των ανεμογεννητριών, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση του πάρκου.

#### **4.4 Σχεδιασμός του αιολικού πάρκου**

Σημαντικός παράγοντας που θα επηρεάσει το σχεδιασμό του αιολικού πάρκου είναι η τοπολογία και η μορφολογία της περιοχής που θα επιλεγεί, καθώς από αυτά θα εξαρτηθεί η διαθέσιμη επιφάνεια για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, με βάση τις συνθήκες του ανέμου που επικρατούν και την προσβασιμότητα στον τόπο κατασκευής. Επομένως, η σωστή μελέτη του σχεδιασμού του αιολικού πάρκου είναι αυτή που θα επηρεάσει την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του.

#### **4.5 Αξιολόγηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον**

Η ενδελεχής μελέτη των επιπτώσεων στο περιβάλλον καθίσταται απαραίτητη, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η κατασκευή και η λειτουργία του αιολικού πάρκου δεν θα προκαλέσει σημαντικές βλάβες στο περιβάλλον και στον ανθρώπινο παράγοντα. Η αξιολόγηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον περιλαμβάνει την ανάλυση του πιθανού επηρεασμού του αιολικού πάρκου στην πανίδα και την χλωρίδα της περιοχής, καθώς και στο θαλάσσιο οικοσύστημα αυτής. Επιπλέον, είναι ουσιώδες να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις της κατασκευής και της λειτουργίας του αιολικού πάρκου στον ανθρώπινο πληθυσμό της περιοχής, προκειμένου να μην επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την καθημερινότητά του, καθώς επίσης να μην υπάρξει αντίκτυπος τόσο οπτικός όσο και σε σχέση με τον θόρυβο. Μια σωστή αξιολόγηση μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των επιπτώσεων και στη λήψη μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος.

#### **4.6 Κατασκευή και λειτουργία του αιολικού πάρκου**

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού και της αξιολόγησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον και στην τοπική κοινωνία, πραγματοποιείται η κατασκευή του αιολικού πάρκου και η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών και του δικτύου σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Μετά την κατασκευή, ακολουθεί η φάση της λειτουργίας του αιολικού πάρκου, κατά τη διάρκεια της οποίας παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες και διανέμεται στο ηλεκτρικό δίκτυο.

#### 4.7 Κόστος εγκατάστασης και διασύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο

Σημαντικός παράγοντας για την κατασκευή ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι η οικονομική μελέτη, τόσο της εγκατάστασης, όσο και της διασύνδεσής του με το ηλεκτρικό δίκτυο σε συνδυασμό με την παραγόμενη ενέργεια στην περιοχή επιλογής μας. Το κόστος εγκατάστασης και διασύνδεσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ισχύς του πάρκου, ο αριθμός των ανεμογεννητριών, η απόσταση από την ακτή, οι κλιματολογικές συνθήκες και το σχετικό θεσμικό πλαίσιο.

Η εγκατάσταση ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και την κατασκευή του εργοταξίου, την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών στη θάλασσα και τη διασύνδεσή τους με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο μέσω υποβρύχιων καλωδίων και υποσταθμών. Επιπλέον, παράγοντες όπως η απόσταση του αιολικού πάρκου από το ηλεκτρικό δίκτυο μπορούν να αυξήσουν το κόστος διασύνδεσης. Για παράδειγμα, όσο πιο μακριά είναι το αιολικό πάρκο από το δίκτυο, τόσο περισσότερο καλώδιο θα χρειαστεί για τη διασύνδεση του πάρκου, γεγονός που προϋποθέτει αυξημένο κόστος.

Το κόστος εγκατάστασης και διασύνδεσης ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι συνήθως αρκετά υψηλό, καθώς περιλαμβάνει τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού και την ανάπτυξη της υποδομής στη θάλασσα και η απόσβεση αυτής της επένδυσης μπορεί να απαιτήσει αρκετό χρόνο. Συνολικά, το κόστος εγκατάστασης και διασύνδεσης είναι σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την οικονομική βιωσιμότητα του έργου.

#### 4.8 Συντήρηση και αναβάθμιση

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του αιολικού πάρκου, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται τακτικά συντηρήσεις και επισκευές στον εξοπλισμό, προκειμένου να διασφαλιστεί η σταθερή και εύρυθμη λειτουργία του πάρκου. Για την ορθή συντήρηση του αιολικού πάρκου απαιτείται η συχνή επιθεώρηση και συντήρηση των ανεμογεννητριών, του δικτύου σύνδεσης και των εξαρτημάτων τους, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφαλής και αποτελεσματική λειτουργία τους. Επίσης, περιλαμβάνει την αντικατάσταση ή έγκαιρη επισκευή οποιουδήποτε εξαρτήματος που έχει φθαρεί ή έχει υποστεί ζημιά. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να διενεργούνται συχνοί έλεγχοι και μετρήσεις της απόδοσης των ανεμογεννητριών και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που ως αποτέλεσμα θα έχει να διασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή απόδοση του αιολικού πάρκου.

Επιπρόσθετα απαραίτητο είναι, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του αιολικού πάρκου, να γίνονται συστηματικές παρακολουθήσεις για τις τυχόν επιπτώσεις του στο περιβάλλον και για τις πιθανές επιδράσεις στο οικοσύστημα και στον ανθρώπινο παράγοντα. Είναι εύλογο ότι σε κάθε περίπτωση που παρατηρηθούν αρνητικές επιπτώσεις, λαμβάνονται άμεσα τα απαιτούμενα μέτρα για την αντιμετώπιση και βελτίωση της βιωσιμότητας του αιολικού πάρκου.

Πολύ καίριο ζήτημα για την απόδοση και τη διασφάλιση της δυναμικότητας του αιολικού πάρκου, εκτός από τη συντήρηση που αναφέρθηκε πιο πάνω, αποτελούν και οι συχνές αναβαθμίσεις του αιολικού πάρκου όσον αφορά στη βελτίωση της απόδοσης των ανεμογεννητριών και των συστημάτων που σχετίζονται με το δίκτυο σύνδεσης, καθώς και στην απαραίτητη αναζήτηση και εφαρμογή νέων τεχνολογιών και καινοτομιών. Οι αναβαθμίσεις μπορούν να περιλαμβάνουν την αύξηση της χωρητικότητας του αιολικού πάρκου και τη βελτίωση του συστήματος ελέγχου και παρακολούθησης της λειτουργίας του αιολικού πάρκου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> – ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΥΑΠ

### 5.1 Τρόποι Θεμελίωσης

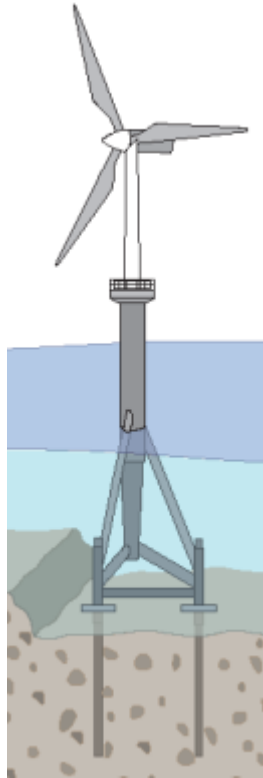
Η θεμελίωση των ανεμογεννητριών ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στον πυθμένα της θάλασσας είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και απαιτεί την εφαρμογή ειδικών τεχνικών και τεχνολογιών. Οι πύργοι των ανεμογεννητριών πρέπει να σχεδιαστούν κατάλληλα για να αντέξουν στις δύσκολες θαλάσσιες συνθήκες, όπως οι θυελλώδεις άνεμοι και τα υψηλά κύματα. Επιπλέον, τα θεμέλια των πύργων πρέπει να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν έτσι ώστε να διασφαλίζεται η σταθερότητά τους στον πυθμένα της θάλασσας.

Σε μεγαλύτερα βάθη υδάτων, η θεμελίωση μπορεί να γίνει με τη χρήση ειδικών εξοπλισμών και τεχνικών, όπως οι αλυσίδες αγκυροβόλου ή οι βάσεις από ατσάλι. Ωστόσο, οι απαιτήσεις αυτές μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένο κόστος και να επηρεάσουν τη συνολική επένδυση. Για αυτό το λόγο, οι μηχανικοί και οι ειδικοί στη σχεδίαση αιολικών πάρκων στη θάλασσα πρέπει να βρίσκουν τις βέλτιστες λύσεις για τη θεμελίωση των ανεμογεννητριών σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση.

Μια από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη θεμελίωση των ανεμογεννητριών στον πυθμένα της θάλασσας είναι οι τριπλοί σωλήνες ή τρίποδο (tripod). Αυτή η τεχνική

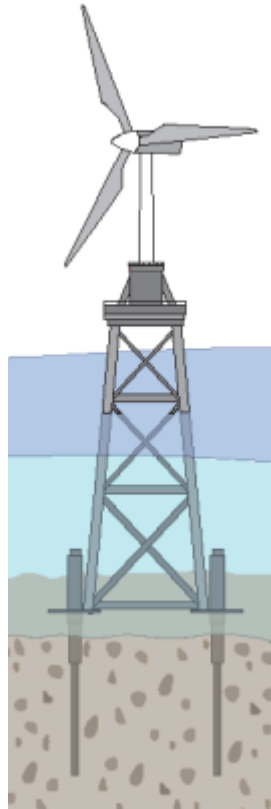


αποτελείται από τρεις μεγάλους σωλήνες που συνδέονται μεταξύ τους στη βάση τους, δημιουργώντας ένα σταθερό πλαίσιο για την τοποθέτηση του πύργου της ανεμογεννήτριας, προσδίδοντας στην κατασκευή μία ακαμψία, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανότητα της κατασκευής στις καιρικές συνθήκες. Αυτή η τεχνική είναι κατάλληλη για τα ρηχά νερά της θάλασσας και είναι σχετικά φθηνή σε σχέση με άλλες τεχνικές.



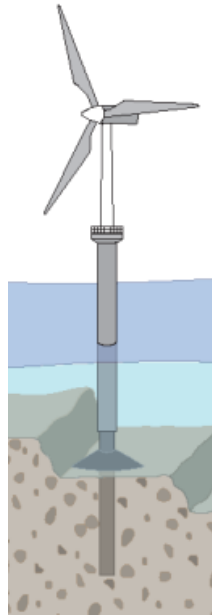
Εικόνα 5.1 - Θεμελίωση τύπου τρίποδο (tripod)

Για τα μεγαλύτερα βάθη υδάτων, μια από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι οι εγκάρσιοι σωλήνες (jacket). Αυτή η τεχνική αποτελείται από μία κατασκευή από ασάλινους σωλήνες, που δημιουργεί ένα σταθερό πλαίσιο για τον πύργο της ανεμογεννήτριας. Αυτή η τεχνική είναι κατάλληλη για βαθύτερα ύδατα και μπορεί να αντέξει σε δυνατούς ανέμους και υψηλά κύματα.



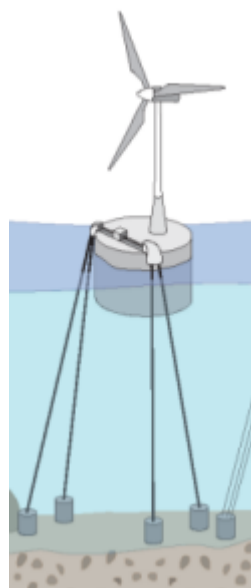
Εικόνα 5.2 - Θεμελίωση εγκάρσιας σωλήνωσης

Επιπλέον, μια άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η μονού πυλώνα (monopile). Αυτή η τεχνική αποτελείται από έναν μεγάλο σωλήνα από ατσάλι που εισχωρεί στον πυθμένα της θάλασσας και στη συνέχεια στερεώνεται στον πυθμένα μέσω συγκολλήσεων ή περιστροφής. Αυτή η τεχνική είναι κατάλληλη για βαθύτερα ύδατα και είναι σχετικά φθηνή σε σχέση με την τεχνική των εγκάρσιων σωλήνων.



Εικόνα 5.3 - Θεμελίωση μονού πυλώνα (monopile)

Η πλωτή έδραση αποτελεί μια εναλλακτική λύση για την τοποθέτηση ανεμογεννητριών σε βαθιά νερά, όπου η θέση στήριξης της ανεμογεννήτριας δεν μπορεί να είναι ο πυθμένας, όπως στις προαναφερθείσες τεχνικές. Η πλωτή έδραση αποτελείται από μια πλατφόρμα που επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας και συνδέεται με την ανεμογεννήτρια μέσω ενός σταθερού συστήματος. Η πλωτή έδραση έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να μειώσει τον αντίκτυπο στο θαλάσσιο οικοσύστημα σε σχέση με τις άλλες τεχνικές που απαιτούν τη θέση στήριξης της ανεμογεννήτριας στον πυθμένα της θάλασσας.



Εικόνα 5.4 - Θεμελίωση με πλωτή έδραση

Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής για τη θεμελίωση των ανεμογεννητριών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το βάθος της θάλασσας, η ισχύς των ανέμων και των κυμάτων, καθώς και οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή. Η επιλογή της σωστής τεχνικής μπορεί να μειώσει το κόστος και να βελτιώσει την απόδοση και την αξιοπιστία της ανεμογεννήτριας.

## 5.2 Σύνδεση

Η διασύνδεση ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι πολύ περισσότερο απαιτητική σε σχέση με ένα αντίστοιχο αιολικό πάρκο στην ξηρά και για τον λόγο αυτό θα πρέπει πάντοτε να λαμβάνονται υπόψη τρεις βασικοί παράμετροι :

(α) η αξιοπιστία των συστημάτων του έργου,

(β) το μεγάλο κόστος που απαιτείται τόσο για τα υλικά όσο και για την εγκατάσταση και

(γ) η απόσταση της σύνδεσης για την μεταφορά της ενέργειας από το αιολικό πάρκο στο χερσαίο τμήμα της εγκατάστασης.

Η σύνδεση του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου με την χερσαία εγκατάσταση μπορεί να επιτευχθεί με τους ακόλουθους τομείς :

➤ Το εσωτερικό σύστημα μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου.

Το εσωτερικό σύστημα μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι υπεύθυνο για την αποτελεσματική μεταφορά και σύνδεση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες προς το σημείο σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Κατέχει εξοπλισμό ελέγχου, που περιλαμβάνει διάφορες συσκευές, όπως διακόπτες και σταθεροποιητές τάσης που επιτρέπουν τον έλεγχο και την ασφάλεια του συστήματος.

➤ Υπεράκτιος Υποσταθμός.

Η ύπαρξη του υπεράκτιου υποσταθμού είναι άμεσα εξαρτώμενη από την απόσταση του αιολικού πάρκου από την στεριά. Εξαιτίας της πτώσης τάσης, που μπορεί να υπάρξει κατά την μεταφορά της ενέργειας που έχει παραχθεί από τις ανεμογεννήτριες, στην ξηρά είναι απαραίτητη η τοποθέτηση ενός υποσταθμού στον οποίο θα καταλήγουν οι συνδέσεις όλων των ανεμογεννητριών, προκειμένου να γίνει η ανύψωση της τάσης από

χαμηλή σε υψηλή και στη συνέχεια να μεταφερθεί η συσσωρευμένη ενέργεια αναλλοίωτη στη στεριά.

Επιπλέον, στον υπεράκτιο υποσταθμό υπάρχει ο Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (ΑΔΔ) ο οποίος αποτελείται από έναν αποζεύκτη και μετασχηματιστές τάσης και έντασης. Όπως επίσης και οι διακόπτες φορτίων για κάθε γραμμή αναχώρησης για κάθε ανεμογεννήτρια.

➤ Καλώδια σύνδεσης θάλασσας με την στεριά.

Το καλώδιο διασύνδεσης με την ξηρά ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες στην ξηρά. Το καλώδιο αυτό συνδέει τις ανεμογεννήτριες με τον χερσαίο υποσταθμό, όπου η ενέργεια που παράγεται μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα για να τροφοδοτήσει το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η μεταφορά εναλλασσόμενου ρεύματος σε μεγάλες αποστάσεις ενδέχεται να παρουσιάσει προβλήματα. Τα καλώδια λειτουργούν σαν πυκνωτής, δηλαδή παρουσιάζουν χωρητικά χαρακτηριστικά. Σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 100χλμ, η άεργος ισχύς φτάνει σε τέτοιο μέγεθος που παρενοχλεί την μεταφορά της ενεργού ισχύος. Για το λόγο αυτό, χρήζεται απαραίτητη η σύνδεση παράλληλων πηνίων για τον εκμηδενισμό της άεργου ισχύος.

➤ Χερσαίος Υποσταθμός.

Ο χερσαίος υποσταθμός είναι ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα της λειτουργίας του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου, καθώς επιτρέπει τη σύνδεση των ανεμογεννητριών με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά. Στον υποσταθμό πραγματοποιείται η μετατροπή της χαμηλής τάσης, που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες, σε υψηλή τάση, ώστε να μπορεί να μεταδοθεί μέσω του δικτύου.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στον υποσταθμό περιλαμβάνει μετασχηματιστές, κυκλώματα διακοπής και προστασίας, συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης και εξοπλισμό για τη σύνδεση των καλωδίων από τις ανεμογεννήτριες με το δίκτυο. Οι μετασχηματιστές αυξάνουν την τάση της ενέργειας που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες, ενώ τα κυκλώματα διακοπής και προστασίας προστατεύουν το δίκτυο από διακοπές και βλάβες. Τα συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης επιτρέπουν στους τεχνικούς να παρακολουθούν την απόδοση του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου και

να προβλέψουν τυχόν δυσλειτουργίες και τυχόν προβλήματα πριν αυτά εμφανιστούν, ενώ ο εξοπλισμός σύνδεσης καλωδίων παρέχει μια ασφαλή σύνδεση μεταξύ των ανεμογεννητριών και του δικτύου [33].

### 5.3 Τρόποι Σύνδεσης

Οι τρόποι σύνδεσης που χρησιμοποιούνται σε Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα για να παράσχουν ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο στη ξηρά, ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος του πάρκου, την απόστασή του από την στεριά, τον αριθμό και την ισχύ των ανεμογεννητριών και τις απαιτήσεις του δικτύου. Σημαντικός παράγοντας, ανεξάρτητα από τον τρόπο διασύνδεσης που επιλεγεί, εξαιτίας των ιδιαιτεροτήτων και των αναγκών των πάρκων, είναι η αξιόπιστη και συνεχής παροχή ενέργειας στο δίκτυο, χωρίς διακοπές και διακυμάνσεις.

Οι βασικοί τρόποι διασύνδεσης των ανεμογεννητριών σε ένα Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο είναι οι εξής: [34]

➤ Απευθείας σύνδεση (Direct Connection):

Η πιο απλή μέθοδος σύνδεσης αφορά τη σύνδεση της ανεμογεννήτριας απευθείας στο δίκτυο, μέσω ενός καλωδίου. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για πάρκα με μικρής κλίμακας ανεμογεννήτριες.

➤ Συλλογική σύνδεση (Collector System):

Στη συλλογική σύνδεση, πολλές ανεμογεννήτριες συνδέονται σε ένα κοινό κύκλωμα συλλογής, το οποίο συνδέεται μετά στο δίκτυο. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για πάρκα με μεγάλες ανεμογεννήτριες.

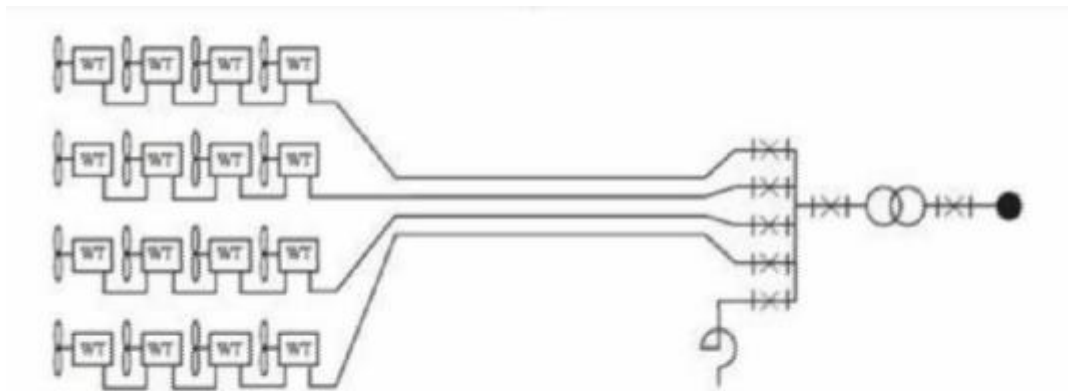
➤ Σύνδεση μέσω Υποθαλάσσιου Καλωδίου (Subsea Cable):

Η σύνδεση των ανεμογεννητριών στο δίκτυο μπορεί να γίνει μέσω ενός υποθαλάσσιου καλωδίου. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για πάρκα που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την ακτή.

➤ Σύστημα Μεταφοράς Ρεύματος Εναλλασσόμενου Ρεύματος (HVAC Offshore Transmission System):

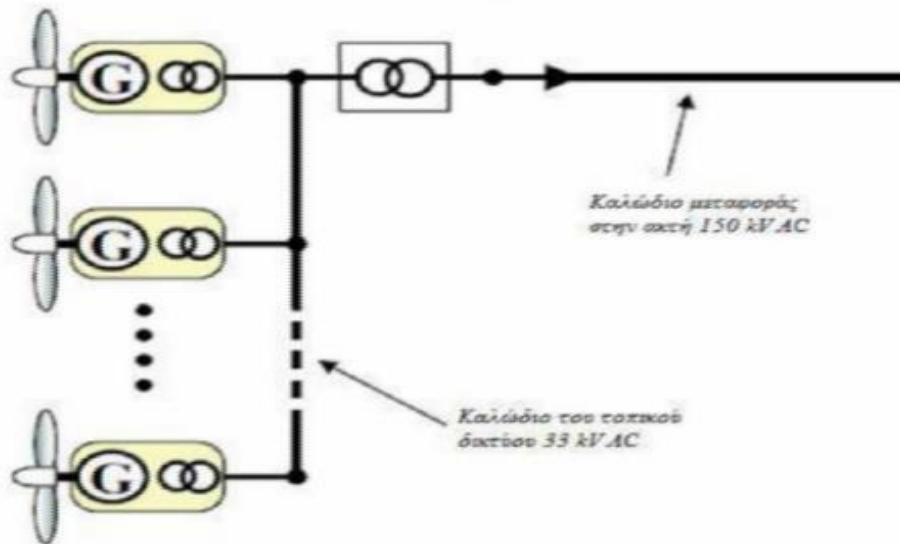
Στη μέθοδο αυτή, το ρεύμα που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες μεταφέρεται σε μετασχηματιστές και στη συνέχεια στο δίκτυο μέσω ενός υποθαλάσσιου καλωδίου. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για πάρκα με μεγάλης κλίμακας ανεμογεννήτριες και μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία στο σύστημα διασύνδεσης. Αυτή είναι η συνηθέστερη μορφή σύνδεσης, την οποία όμως συναντάμε με διαφορετικές μορφές ανάλογα με το μέγεθος της ισχύος του πάρκου ως εξής :

- Σε ένα μικρό πάρκο ανεμογεννητριών χρησιμοποιείται ένα ακτινικό δίκτυο για τη σύνδεση των ανεμογεννητριών μεταξύ τους και με το κύριο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο, ένα καλώδιο τοποθετείται σε σειρά με όλες τις ανεμογεννήτριες και ο κόμβος φθάνει στον μετασχηματιστή. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την ταυτόχρονη σύνδεση των γεννητριών μεταξύ τους και με το δίκτυο και είναι μια συμφέρουσα λύση για μικρά δίκτυα.



Εικόνα 5.5 - Μορφολογία μικρού πάρκου AC

- Σε ένα μεγάλο πάρκο ανεμογεννητριών, κάθε ανεμογεννήτρια συνδέεται σε έναν κόμβο, αλλά κάθε γεννήτρια επικοινωνεί ξεχωριστά. Με αυτό τον τρόπο, υπάρχει ένα εσωτερικό δίκτυο που λειτουργεί με χαμηλότερη τάση μέχρι τον κόμβο και στη συνέχεια χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής για να αυξηθεί η τάση πριν τη σύνδεση με το δίκτυο διανομής.



Εικόνα 5.6 - Μορφολογία μεγάλου πάρκου AC

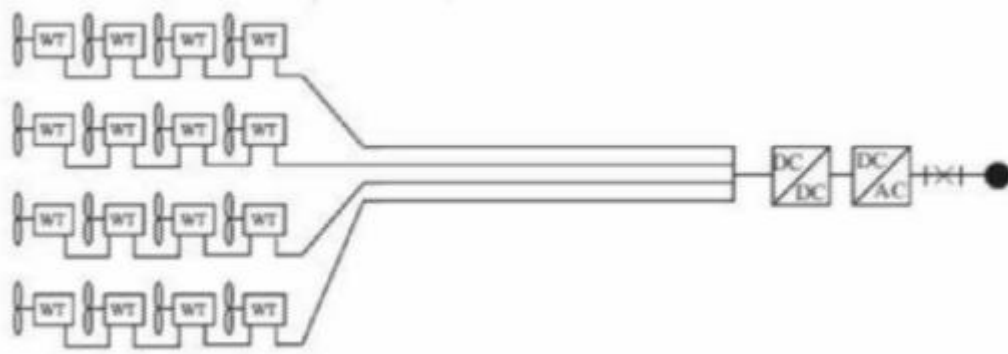
➤ Σύστημα Μεταφοράς Ρεύματος Συνεχούς Ρεύματος (HVDC Offshore Transmission System):

Στη μέθοδο αυτή, το ρεύμα που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες μεταφέρεται σε μετασχηματιστές και στη συνέχεια στο δίκτυο, μέσω ενός υποθαλάσσιου καλωδίου υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για μεγάλης κλίμακας αιολικά πάρκα και μπορεί να επιτρέψει μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ της αιολικής εγκατάστασης και του σημείου διασύνδεσης στο δίκτυο, επιτρέποντας έτσι την εκμετάλλευση περισσότερων περιοχών με καλές συνθήκες ανέμου.

Όπως και στα πάρκα HVAC που αναφέρθηκε ανωτέρω, έτσι και στα HVDC διαφοροποιούνται ανάλογα με το μέγεθος του πάρκου ως εξής :

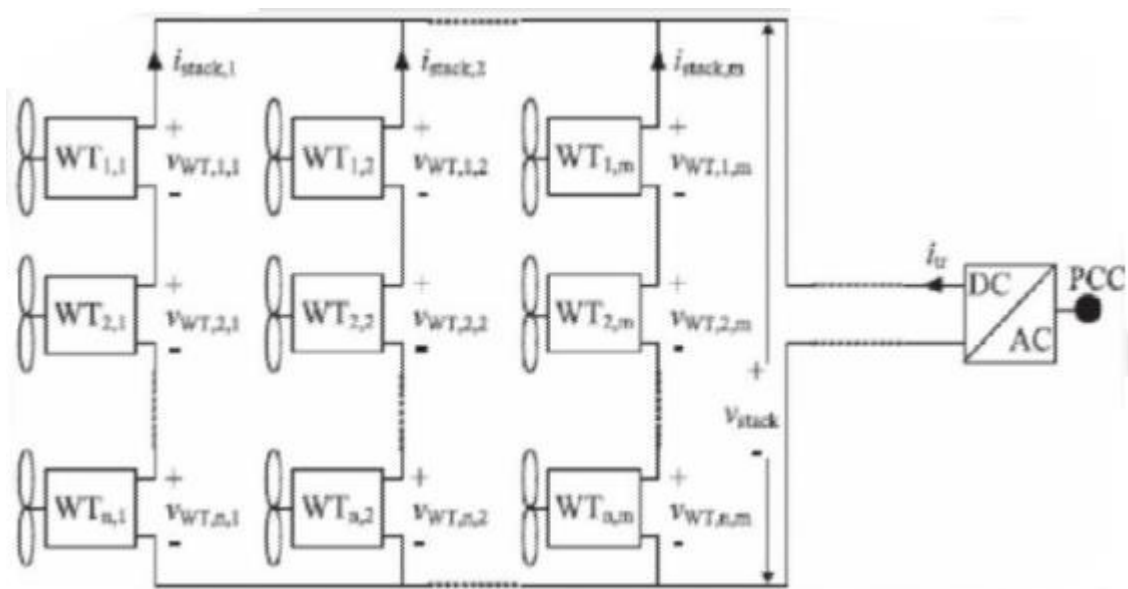
- Σε ένα μικρό πάρκο ανεμογεννητριών η σύνδεση DC είναι ουσιαστικά ίδια με τη σύνδεση AC, αλλά αντί για μετασχηματιστή χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας DC και ένας αντιστροφέας. Ωστόσο, είναι απαραίτητη η χρήση ενός ανορθωτή σε κάθε ανεμογεννήτρια.





Εικόνα 5.7 - Μορφολογία μικρού πάρκου DC

- Σε ένα μεγάλο πάρκο ανεμογεννητριών, η βασική διαφορά μεταξύ της σύνδεσης DC και της αντίστοιχης σύνδεσης AC είναι στις βαθμίδες DC, που απαιτούνται για να φτάσουμε στο τελικό στάδιο του αντιστροφέα. Έτσι, για να συνδεθεί ένας μετατροπέας στον αντιστροφέα απαιτείται να φτάσει τις τιμές των 20-40KV. Σε περιπτώσεις όπου η τάση είναι κοντά στα 5KV, απαιτείται άλλο ένα στάδιο μετατροπής.

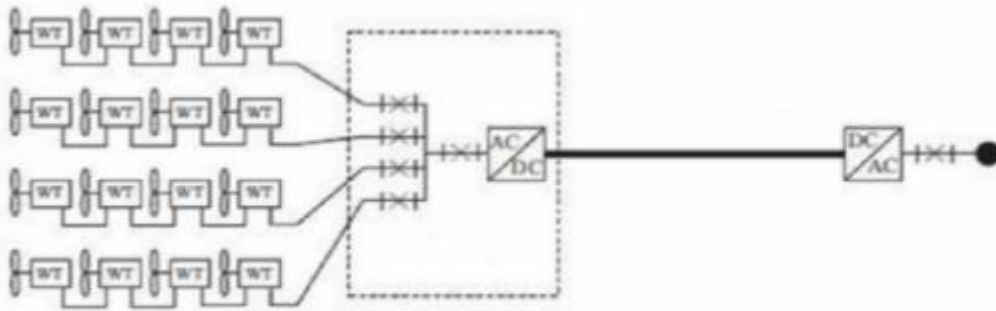


Εικόνα 5.8 - Μορφολογία μεγάλου πάρκου DC

➤ Αιολικά Πάρκα με Σύνδεση AC/ DC:

Η σύνδεση αυτή αφορά κυρίως πάρκα τα οποία μεταφέρουν την ενέργεια τους σε αρκετά απομακρυσμένο σημείο ή αν το τοπικό δίκτυο είναι αδύναμο. Η κυριότερη

διαφοροποίηση, από άλλους τρόπους σύνδεσης, είναι πως το δίκτυο AC σύνδεσης των ανεμογεννητριών είναι ανεξάρτητο από αυτό του δικτύου διανομής. Ανάμεσά τους υπάρχει μια γραμμή DC, δίνοντας τη δυνατότητα ελέγχου στα μεγέθη που μεταφέρονται με αποτέλεσμα την καλύτερη και πιο ποιοτική μεταφορά ισχύος.



Εικόνα 5.9 - Μορφολογία αιολικού πάρκου AC/DC

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> - ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΑΠ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

### 6.1 Εισαγωγή

Η χρήση αιολικής ενέργειας από τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα, αντικαθιστώντας τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα, που ως αποτέλεσμα έχει την μείωση της εξάρτησης της κάθε χώρας από εισαγόμενα καύσιμα, βοηθώντας την διατήρηση των ενεργειακών πόρων.

Η ενεργειακή ανάπτυξη είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη μιας χώρας, προκειμένου να καταστεί ευέλικτη στις παγκόσμιες κρίσεις. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η αιολική ενέργεια αποτελεί μία από τις κυριότερες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας στην Ελλάδα. Η δημιουργία Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων στην Ελλάδα είναι ένα θέμα που απασχολεί την ελληνική κοινωνία τα τελευταία χρόνια, σε αντίθεση με την Ευρώπη που δραστηριοποιείται αρκετό καιρό.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι οι κλιματικές συνθήκες της χώρας. Το δυναμικό αιολικής

ενέργειας της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα καλό, λόγω των ισχυρών ανέμων που πνέουν στην χώρα, κυρίως στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου Πελάγους. Οι υπεράκτιοι αιολικοί σταθμοί μπορούν να εκμεταλλευτούν αυτό το δυναμικό και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλη κλίμακα.

Παρόλα αυτά, η εγκατάσταση ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στην Ελλάδα είναι περίπλοκη διαδικασία και απαιτεί σημαντική προετοιμασία και αξιολόγηση. Πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες, όπως οι κλιματικές συνθήκες, η γεωγραφία της περιοχής, η τοπική οικονομία και κοινωνικοί παράγοντες.

Η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας είναι ζωτικής σημασίας για τη βιωσιμότητα ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου. Στην περιοχή, που θα επιλεγεί για την εγκατάσταση του πάρκου, θα πρέπει να κυριαρχούν ισχυροί άνεμοι, να υπάρχει χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και να μην παρουσιάζονται σοβαρά προβλήματα περιβαλλοντικής ευαισθησίας. Επιπλέον, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για τις επιπτώσεις που τυχόν προκληθούν στην τοπική κοινότητα και την οικονομία της περιοχής.

Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τη βιωσιμότητα ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται και εφαρμόζεται στις ανεμογεννήτριες, με την όσο δυνατόν μικρότερη καταπόνησή τους. Η εξασφάλιση σύγχρονων ανεμογεννητριών μπορούν να παράγουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, με μειωμένη επίδραση στο περιβάλλον και στον τοπικό πληθυσμό.

Η λειτουργία ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στην Ελλάδα εξαρτάται επίσης και από την πολιτική στήριξη του κράτους και το νομοθετικό πλαίσιο. Η κυβέρνηση πρέπει να παρέχει διάφορα κίνητρα, όπως επιδοτήσεις για την ανάπτυξη τέτοιων έργων και για την προώθηση της ανανεώσιμης ενέργειας στην χώρα.

Τέλος, η αποτελεσματική διαχείριση των υπεράκτιων αιολικών σταθμών είναι κρίσιμη για τη διασφάλισή τους μακροπρόθεσμα. Αυτό περιλαμβάνει την αναγκαιότητα ύπαρξης εξειδικευμένου προσωπικού για την συντήρηση των ανεμογεννητριών και της εγκατάστασης, καθώς και συστηματικούς ελέγχους στον εξοπλισμό για την πρόληψη προβλημάτων.

Συνολικά, η βιωσιμότητα ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στην Ελλάδα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και απαιτεί συνεργασία ανάμεσα σε διάφορους φορείς και ειδικούς. Εάν υλοποιηθεί με προσεκτικό σχεδιασμό, ένα Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο μπορεί να παράγει αξιόπιστη και βιώσιμη ενέργεια για τη χώρα, προσφέροντας παράλληλα οικονομικά οφέλη και ευκαιρίες απασχόλησης για την τοπική κοινωνία.

## 6.2 Επιπτώσεις

Πέρα από τα προαναφερθέντα οφέλη, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στο περιβάλλον και την τοπική οικονομία. Για παράδειγμα, οι ανεμογεννήτριες μπορεί να επηρεάσουν τη θέα ή να προκαλέσουν ηχητική όχληση στους κατοίκους των κοντινών περιοχών, ενώ η κατασκευή και λειτουργία του πάρκου μπορεί να επηρεάσει την τοπική αλιεία και την τουριστική βιομηχανία.

Για το λόγο αυτό, πρέπει να υπάρχει διαφάνεια και επικοινωνία με τους κατοίκους της περιοχής και τις τοπικές αρχές, ώστε να έχουν γνώση των επιπτώσεων του έργου αυτού και να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος και των τοπικών κοινοτήτων.

Επιπλέον, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τεχνικές πτυχές που διέπουν την κατασκευή ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου, διότι αυτά είναι συνήθως πιο δαπανηρά και δύσκολα στην κατασκευή και στη συντήρησή τους σε σχέση με τα αιολικά πάρκα στην ξηρά. Η αντιμετώπιση της αλμύρας της θάλασσας, η οποία θα επιδράσει στην ταχύτερη φθορά των υλικών, η απαιτούμενη σε τακτά χρονικά διαστήματα συντήρηση του εξοπλισμού, αλλά και οι δυσκολίες προσβασιμότητας στις ανοικτές θάλασσες, καθώς και η μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες στους υποσταθμούς και τέλος στην ακτή είναι ορισμένοι από τους βασικότερους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Τέλος, πρέπει να δοθεί προσοχή στην επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου, η επιλογή της οποίας μπορεί να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις του πάρκου στο περιβάλλον και την τοπική οικονομία. Η επιλογή περιοχών με υψηλούς δείκτες ταχύτητας ανέμου και σε μεγάλες αποστάσεις από τις ακτές μπορεί να βελτιώσουν την απόδοση του πάρκου και να μειώσει την επίδραση του στα περιβαλλοντικά και κοινωνικά συστήματα της περιοχής.

### 6.3 Κριτήρια απόρριψης περιοχών

Για την βιωσιμότητα ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι σημαντικό να λαμβάνουμε υπόψη μας ότι δεν είναι όλες οι περιοχές της Ελλάδας κατάλληλες για την κατασκευή του. Το γεγονός αυτό καθιστά ζωτικής σημασίας να ληφθούν υπόψη οι πολλοί παράγοντες που αναφέρονται παρακάτω και οι οποίοι καθορίζουν μια τοποθεσία ως ακατάλληλη: [29], [35]

➤ Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ):

Η ΑΟΖ είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την περιοχή τοποθέτησης ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου, καθώς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα γεωπολιτικά θέματα της περιοχής, ώστε να μην δημιουργηθούν δυσαρέσκειες με τις γειτονικές χώρες.

➤ Ταχύτητα του ανέμου:

Ο κυριότερος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την τοποθέτηση και ανάπτυξη ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι η ταχύτητα του ανέμου, διότι επηρεάζει άμεσα την αποδοτικότητα του έργου. Απαιτείται ακριβής και προσεγμένη ανάλυση όλων των δεδομένων που αφορούν τη δυναμικότητα του ανέμου της περιοχής, προκειμένου να αξιολογηθούν οι προοπτικές που θα προσφέρει η προτεινόμενη θέση. Συνιστάται, για τη συλλογή πιο ορθολογικών δεδομένων, να χρησιμοποιούνται ωριαίες μετρήσεις 10 ετών και σε ύψος 80 μέτρων πάνω από τη μέση στάθμη του νερού. Ενώ δεν συνιστάται η εγκατάσταση ΥΑΠ σε θαλάσσιες τοποθεσίες, όπου η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη από 6m/s. Σε σύγκριση με μια αντίστοιχη τοποθεσία στην ξηρά, η ενεργειακή απόδοση μπορεί να ενισχυθεί, καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται ταχύτερα από ό,τι στο έδαφος, λόγω της μηδενικής τραχύτητας της επιφάνειας της θάλασσας.

➤ Βάθος νερού:

Μία από τις κυριότερες προϋποθέσεις για την εγκατάσταση ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι το βάθος του νερού και το εύρος των παλιρροιών, καθώς επηρεάζουν σημαντικά το κόστος που απαιτείται για την ολοκλήρωση του έργου. Συγκεκριμένα, θα επηρεαστούν ανάλογα η επιλογή της δομής των ανεμενογεννητριών, καθώς και οι βάσεις στήριξης (μονόπολο, τρίποδο, κλπ). Ως εκ τούτου, θα υπάρξει αντίστοιχη επιρροή στις κεφαλαιουχικές και λειτουργικές δαπάνες, δεδομένου ότι θα αυξηθούν σημαντικά για βαθύτερα νερά λόγω του κόστους πρόσδεσης, αγκυροβόλησης και καλωδίωσης. Τέλος, το

ύψος των κυμάτων που επικρατούν στην περιοχή είναι εξίσου σημαντικός παράγοντας, όσο και το βάθος του νερού, που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.

➤ Πυθμένας

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την κατασκευή ενός πάρκου, είναι το είδος του υλικού που απαρτίζεται ο πυθμένας για τη θεμελίωση μιας ανεμογεννήτριας. Θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην δομή του βυθού (π.χ. εάν ο πυθμένας είναι αμμώδης), στην πυκνότητα του εδάφους, καθώς και στα ωκεάνια ρεύματα, τα οποία είναι δυνατόν να προκαλέσουν μετατόπιση υλικού. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την σταθερότητα και την στιβαρότητα της θεμελίωσης. Για τους λόγους αυτούς, είναι απαραίτητο να αξιολογούνται διεξοδικά όλα τα ανωτέρω, προκειμένου η αντοχή του εδάφους να απορροφά τις δονήσεις που προκαλεί μια ανεμογεννήτρια κατά τη λειτουργία της.

➤ Σεισμικοί παράγοντες:

Ένας εξωγενής παράγοντας που δεν θα πρέπει να αμεληθεί, κατά την επιλογή μιας τοποθεσίας ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου, είναι η επικινδυνότητα των σεισμών, δεδομένου ότι η Ελλάδα είναι μία σεισμογενής χώρα. Ως συνέπεια αυτού είναι ότι, για την κατασκευή ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου, θα πρέπει, αφενός να ζητηθεί σχετική μελέτη από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο και αφετέρου να απαιτηθεί ειδικός σχεδιασμός για τη δομή των ανεμογεννητριών, επηρεάζοντας όμως το σχετικό κόστος κατασκευής.

➤ Υπάρχοντα υποβρύχια καλώδια:

Πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη τα υφιστάμενα καλώδια του βυθού που χρησιμοποιούνται για τηλεπικοινωνίες ή για τη μεταφορά της ήδη υπάρχουσας ενέργειας στις γύρω περιοχές, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε ζημιά κατά την εγκατάσταση του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου.

➤ Απόσταση από γραμμές ναυσιπλοΐας:

Η διασφάλιση των ναυτιλιακών διαδρομών που συνδέουν τα πολυάριθμα ελληνικά νησιά με την ηπειρωτική χώρα και μεταξύ τους αποτελεί κρίσιμο ζήτημα. Ορίζεται ως ασφαλή απόσταση των ανωτέρω διαδρομών στα περίπου 5 χιλιόμετρα, προκειμένου να

διασφαλιστεί η ασφάλεια της θαλάσσιας κυκλοφορίας, είτε πρόκειται για εμπορική είτε για τουριστική.

➤ Απόσταση από τους λιμένες:

Ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει το κόστος εγκατάστασης, τα έξοδα λειτουργίας και παρακολούθησης, καθώς και το κόστος συντήρησης είναι η απόσταση του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου από τον πλησιέστερο λιμένα, καθορίζοντάς την ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο που θα επηρεάσει τελικά το συνολικό κόστος της επένδυσης. Προτεινόμενη απόσταση ανάπτυξης του ΥΑΠ θεωρείται τα 100 χιλιόμετρα από το πιο κοντινό λιμάνι, ως μέγιστο κριτήριο για την Ελλάδα.

➤ Απόσταση από το Δίκτυο Υψηλής Τάσης:

Η απόσταση ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου από το δίκτυο υψηλής τάσης είναι κρίσιμη, τόσο για τεχνικούς, όσο και για οικονομικούς λόγους, μιας και η σύνδεση με το δίκτυο υψηλής τάσης είναι απαραίτητη, δεδομένου ότι η σύνδεση με τα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη της καλωδίωσης λόγω υπερφόρτωσης. Μελέτες έχουν υποδείξει ως μέγιστη απόσταση, μεταξύ του ΥΑΠ και του δικτύου υψηλής τάσης, τα 200 χιλιόμετρα, ωστόσο όσον αφορά στην Ελλάδα προτείνονται τα 100 χιλιόμετρα.

➤ Απόσταση από θαλάσσιες προστατευόμενες περιοχές:

Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε θαλάσσιες προστατευόμενες περιοχές που χαρακτηρίζονται ως Natura 2000, στα εθνικά θαλάσσια περιβαλλοντικά πάρκα, στα παράκτια ύδατα κολύμβησης που παρακολουθούνται και αξιολογούνται στο πλαίσιο του προγράμματος της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης, σύμφωνα με την οδηγία 2006/7/ΕΚ, καθώς και στις παραλίες κολύμβησης που φέρουν Γαλάζια Σημαία. Προτείνεται ελάχιστη απόσταση 1,5 χιλιομέτρου από τις θαλάσσιες προστατευόμενες αυτές ζώνες.

➤ Απόσταση από τους μεταναστευτικούς διαδρόμους των άγριων ζώων:

Η "Σύμβαση Ραμσάρ" ορίζει τους υγροτόπους και τους μεταναστευτικούς διαδρόμους ως διεθνούς σημασίας. Αυτό το κριτήριο λαμβάνεται υπόψη για να μειωθεί η πιθανότητα να χτυπήσουν τα πουλιά στις ανεμογεννήτριες κατά τη διάρκεια της μεταναστευτικής περιόδου, ως εκ τούτου η εγκατάσταση ενός ΥΑΠ πρέπει να αποφεύγεται σε απόσταση μικρότερη των 3 χιλιομέτρων.

➤ Απόσταση από αστικό οικισμό:

Σύμφωνα με το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο, δεν παρέχεται αδειοδότηση για την κατασκευή Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου σε απόσταση μικρότερη του 1 χιλιομέτρου από το αστικό δίκτυο, καθώς και μικρότερη του 1,5 χιλιομέτρου από παράκτιες κοινότητες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

### 7.1 Ευρωπαϊκό Νομοθετικό Πλαίσιο

Οι διαδικασίες για τη λειτουργία και την εκτέλεση των ΑΠΕ αναπτύχθηκαν από τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την προώθηση των προς εφαρμογή από τα Κράτη Μέλη της Ε.Ε.

Η ανάπτυξη των ήπιων μορφών ενέργειας υποβοηθήθηκε σημαντικά από την ψήφιση της οδηγίας 2001/77/ΕΚ, η οποία ήταν "για την προώθηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας".

Η προώθηση των εναλλακτικών καυσίμων από την Ευρωπαϊκή Ένωση ξεκίνησε το 2003 με την ψήφιση της οδηγίας 2003/30/ΕΚ, η οποία είχε τίτλο "για την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές".

Με το πρόγραμμα δράσης "Ευφυής Ενέργεια - Ευρώπη" (2007 - 2013), η Ευρωπαϊκή Ένωση κατέβαλε προσπάθεια να επιτύχει καλύτερη διαχείριση της εξάρτησής της από τις εισαγωγές ενέργειας, καθώς και να ικανοποιήσει τις δεσμεύσεις της στο πρωτόκολλο του Κιότο για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. [36], [37]

Το 2009, η οδηγία (ΕΕ) 2009/28 έθεσε ως στόχο το 20% της ενεργειακής κατανάλωσης της Ε.Ε. να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές μέχρι το 2020.

Σύμφωνα με την οδηγία (ΕΕ) 2018/2001, το 32% της ενέργειας που χρησιμοποιείται στην Ε.Ε. θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές μέχρι το έτος 2030.

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία εγκρίθηκε από την Ε.Ε. στις 11 Δεκεμβρίου με τον κανονισμό COM 2019/0640. Η Πράσινη Συμφωνία αποσκοπεί στην παροχή καθαρής,



οικονομικά προσιτής και ασφαλούς ενέργειας έως το 2050, καθιστώντας την Ευρώπη μια κλιματικά ουδέτερη ήπειρο.

Τον Ιούλιο του 2021, τέθηκε στους συννομοθέτες μια προσαρμογή του στόχου του 40% έως το 2030, υπό το πρίσμα των νέων κλιματικών φιλοδοξιών της Ε.Ε. Η συζήτηση για το μελλοντικό πλαίσιο πολιτικής για τα έτη μετά το 2030 βρίσκεται τώρα σε εξέλιξη.

Επιπλέον, στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας "Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους", η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εισήγαγε τον μηχανισμό χρηματοδότησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στον κανονισμό 2020/1294.

Ο κύριος στόχος αυτού του μηχανισμού ήταν να βοηθήσει τα κράτη μέλη της Ε.Ε. να επιτύχουν τους στόχους τους για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Οι στόχοι για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όλων των συμμετεχουσών χωρών θα τροποποιηθούν, ώστε να ενσωματώσουν την ενέργεια που παράγεται μέσω αυτού του μηχανισμού χρηματοδότησης, προκειμένου να τηρηθεί η ευρωπαϊκή πράσινη συμφωνία και να επιτευχθεί ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα έως το 2050.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε το "COM(2020)0741", ένα σχέδιο της Ε.Ε. για την αξιοποίηση του δυναμικού των υπεράκτιων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για ένα μέλλον χωρίς υπερθέρμανση του πλανήτη, στις 19 Νοεμβρίου 2020. Η πολιτική αυτή αποσκοπεί στην αύξηση της παραγωγής ενέργειας στην Ε.Ε. από 12GW το 2020 σε περισσότερα από 60GW έως το 2030 και 300GW έως το 2050 με τη βοήθεια των υπεράκτιων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

**Κανονισμός (ΕΕ) 2018/1999** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 11ης Δεκεμβρίου 2018, για τη διακυβέρνηση της Ενεργειακής Ένωσης και της Δράσης για το Κλίμα, για την τροποποίηση των κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 663/2009 και (ΕΚ) αριθ. 715/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, των οδηγιών 94/22/ΕΚ, 98/70/ΕΚ, 2009/31/ΕΚ, 2009/73/ΕΚ, 2010/31/ΕΕ, 2012/27/ΕΕ και 2013/30/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, των οδηγιών 2009/119/ΕΚ και (ΕΕ) 2015/652 του Συμβουλίου και για την κατάργηση του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 525/2013 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.

**Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Δεκεμβρίου 2018 για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

**Οδηγία 2009/28/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 για την προώθηση της χρήσης των ΑΠΕ

## 7.2 Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο

Η χώρα μας έχει υιοθετήσει ένα Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), όπως τροποποιήθηκε και προσαρμόστηκε για την ευθυγράμμιση της ελληνικής νομοθεσίας με τους κανονισμούς και τις οδηγίες της Ε.Ε., στο πλαίσιο της προσπάθειας για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, καθώς και για τη διασφάλιση της σταδιακής μετάβασης προς την επίτευξη του ευρωπαϊκού στόχου της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της επίτευξης κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050, με τον πλέον περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Ο καθορισμός ενός στόχου με την κατάρτιση ενός εθνικού προγράμματος για την ανάπτυξη Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων, με την οριοθέτηση των θαλάσσιων ζωνών για την ανάπτυξη των πάρκων, λαμβάνοντας υπόψη τις όποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τους πιθανούς κινδύνους για ένα προστατευόμενο είδος και την πιθανή παρεμπόδιση των θαλάσσιων μεταφορών, καθώς και, φυσικά, χωρίς να τίθεται θέμα εθνικής άμυνας και ασφάλειας της χώρας, είναι ιδιαίτερα κρίσιμος. Η έκδοση Προεδρικού Διατάγματος που θα περιγράφει τις θέσεις στις οποίες θα κατασκευαστούν τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα, καθώς και η εκπόνηση Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, είναι ζωτικής σημασίας. Η Εθνική Αρχή Διαχείρισης Υδρογονανθράκων είναι η υπεύθυνη υπηρεσία για την εποπτεία των διαδικασιών. [15], [24], [30], [37], [38]

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 5037/2023 - ΦΕΚ 78/Α/28-03-2023 – Άρθρο 164** «*Προώθηση υλοποίησης πιλοτικών έργων Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων – Προσθήκη περ. 32λστ στο άρθρο 2 και στο άρθρο 7<sup>Α</sup> του ν. 4964/2022 - Τροποποίηση άρθρου 174 ν. 4964/2022*», περιλαμβάνονται τροποποιήσεις ως προς το πλαίσιο για την ανάπτυξη και την υλοποίηση πιλοτικών έργων Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων. Συγκεκριμένα προσδιορίζονται με νομοθετικό πλαίσιο οι περιοχές όπου θα εγκατασταθούν παρόμοια έργα, λαμβάνοντας υπόψη τις προστατευόμενες περιοχές «Natura 2000», ενώ η έγκρισή τους θα πραγματοποιείται με Προεδρικό Διάταγμα που θα εκδοθεί - κατόπιν Στρατηγικής Μελέτης

Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων - μετά από σχετική πρόταση του Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας και την σύμφωνη γνώμη του Κεντρικού Συμβουλίου Χωροταξικών Θεμάτων και Αμφισβητήσεων. Με το προαναφερόμενο Προεδρικό Διάταγμα θα ορισθούν οι όροι ανάπτυξης των έργων ΑΠΕ, η κατανομή των περιοχών εγκατάστασης και η μέγιστη ισχύς των έργων σε κάθε περιοχή εγκατάστασης και θα εγκριθούν οι κατευθύνσεις, οι όροι και τα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4964/2022 - ΦΕΚ 150/Α/30-7-2022 – Κεφάλαιο Η' άρθρα 65 - 83**

Διατάξεις για την απλοποίηση της περιβαλλοντικής αδειοδότησης, θέσπιση πλαισίου για την ανάπτυξη των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων, την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης, την προστασία του περιβάλλοντος και λοιπές διατάξεις.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4936 -ΦΕΚ 105/Α/27-05-2022 - Εθνικός Κλιματικός Νόμος** Μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, επείγουσες διατάξεις για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης και την προστασία του περιβάλλοντος.

**Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/123726/5096 (ΦΕΚ Β' 6250/27.12.2021)**

Καθορισμός των τεχνολογιών ή/και κατηγοριών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α που θα ενταχθούν σε καθεστώς στήριξης με τη μορφή λειτουργικής στήριξης μέσω ανταγωνιστικής διαδικασίας υποβολής προσφορών, χαρακτηρισμός των ανταγωνιστικών διαδικασιών υποβολής προσφορών ως τεχνολογικά ουδέτερων ή μη, και καθορισμός της μεθοδολογίας και της διαδικασίας κατανομής ισχύος για τη συμμετοχή στις ανταγωνιστικές διαδικασίες υποβολής προσφορών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. που είναι εγκατεστημένοι σε χώρες εντός της 2 του άρθρου 7 του νόμου.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4839/2021 - ΦΕΚ 181/Α/2-10-2021**

Κύρωση του Έργου VI της από 6.9.2018 Σύμβασης Δωρεάς μεταξύ του "Κοινοφελούς Ιδρύματος Σταύρος Σ. Νιάρχος" και του Ελληνικού Δημοσίου για την ενίσχυση και αναβάθμιση των υποδομών στον τομέα της υγείας, καθώς και των Παραρτημάτων της και άλλες επείγουσες διατάξεις για την αντιμετώπιση της πανδημίας του κοροναϊού COVID-19. Το άρθρο εξήντα ένα για τη δημιουργία Ειδικού Λογαριασμού "Ταμείο Ενεργειακής

Μετάβασης" και την παροχή επιδοτήσεων στους καταναλωτές για τους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος και φυσικού αερίου.

**Υπουργική Απόφαση – ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/20378/759 (ΦΕΚ Β' 901/09.03.2021)**

Τροποποίηση της υπό στοιχεία ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/ 118233/4341/08.12.2020 απόφασης (Β' 5619) με τίτλο: Σύσταση και συγκρότηση Ομάδας Διοίκησης Έργου στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας για την υλοποίηση του έργου εκπόνησης και υποβολής στον ΥΠΕΝ εισήγησης αναφορικά με την «Διαμόρφωση του θεσμικού και ρυθμιστικού πλαισίου για την ανάπτυξη και συμμετοχή μονάδων αποθήκευσης στις Αγορές ηλεκτρικής ενέργειας του ν. 4425/2016 (Α' 185), ως ισχύει και σε μηχανισμούς ισχύος».

**Υπουργική Απόφαση – ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/123370/4527 (ΦΕΚ Β' 5693/23.12.2020)**

Τροποποίηση της ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/28857/1083/17.03.2020 «Καθορισμός ειδικού πλαισίου προτεραιότητας στη χορήγηση οριστικών Προσφορών Σύνδεσης για σταθμούς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ από τον Διαχειριστή του Δικτύου, κατά παρέκκλιση κάθε άλλης γενικής ή ειδικής διάταξης, συμπεριλαμβανομένων των διατάξεων του άρθρου 9 του ν. 3775/2009 (Α' 122), του ν. 3894/2010 (Α' 204), του ν. 4608/2019 (Α' 66) και της παραγράφου 6 του άρθρου 11 του ν. 4513/2018 (Α' 9), καθώς και του πρώτου και τρίτου εδαφίου της παρ. 4 του άρθρου 8 του ν. 3468/2006 (Α' 129), σύμφωνα με το άρθρο 44 του ν. 4643/2019 (Α' 193)» (Β' 940).

**Υπουργική Απόφαση – ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/119064/4379 (ΦΕΚ Β' 5523/17.12.2020)**

Καθορισμός εγκατεστημένης ισχύος, ανά τεχνολογία ή/και κατηγορία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α., δημοπρατούμενης μέσω ανταγωνιστικής διαδικασίας υποβολής προσφορών και ελάχιστου αριθμού ανταγωνιστικών διαδικασιών υποβολής προσφορών για το 2020, ανώτατης επιτρεπόμενης τιμής προσφοράς για κάθε ανταγωνιστική διαδικασία υποβολής προσφορών και τέλους συμμετοχής σε ανταγωνιστική διαδικασία υποβολής προσφορών, με βάση τις παρ. 3 και 6 του άρθρου 7 του ν. 4414/2016.

**Υπουργική Απόφαση – ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/117845/4332 (ΦΕΚ Β' 5447/09.12.2020)**

Τροποποίηση της υπό στοιχεία ΑΠΕΕΚ/Α/Φ1/οικ.184573/13-12-2017 υπουργικής απόφασης «Καθορισμός τεχνολογιών ή και κατηγοριών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. που εντάσσονται σε καθεστώς στήριξης με τη μορφή Λειτουργικής Ενίσχυσης μέσω ανταγωνιστικής διαδικασίας υποβολής προσφορών, χαρακτηρισμός των ανταγωνιστικών διαδικασιών υποβολής προσφορών ως τεχνολογικά

ουδέτερων ή μη και καθορισμός μεθοδολογίας και διαδικασίας επιμερισμού ισχύος για συμμετοχή, στις ανταγωνιστικές διαδικασίες υποβολής προσφορών, σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. που εγκαθίστανται σε χώρες εντός του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου υπό την προϋπόθεση ενεργού Διασυννοριακού Εμπορίου ενέργειας με αυτές, με βάση την παρ. 2 του άρθρου 7 του ν. 4414/2016» (Β' 4488), όπως τροποποιήθηκε με τις υπό στοιχεία ΑΠΕΕΚ/Α/Φ1/οικ.172858/22-03-2018 (Β' 1263), ΑΠΕΕΚ/Α/Φ1/οικ.179988/09-10-2018 (Β' 4850) και ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/18135/511/27-02-2019 (Β' 779) και ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/46810/1974/18-05-2020 (Β' 2062) αποφάσεις και ισχύει.

#### **Υπουργική Απόφαση – ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/114746/4230 (ΦΕΚ Β' 5291/01.12.2020)**

Κανονισμός Βεβαιώσεων Παραγωγού Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και Βεβαιώσεων Παραγωγού Ηλεκτρικής Ενέργειας Ειδικών Έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ).

#### **ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4685/2020 - ΦΕΚ 92/Α/7-5-2020**

Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις για απλοποίηση της περιβαλλοντικής αδειοδότησης. (άρθρο 11 - Βεβαίωση Παραγωγού Ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ).

#### **Υπουργική Απόφαση 4/2019 – ΦΕΚ 4893/Β/31-12-2019**

Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), για τον ενεργειακό σχεδιασμό και τους στόχους της Χώρας.

#### **Κοινή Υπουργική Απόφαση – Αριθμ. ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/48653/1597 (ΦΕΚ Β' 2172 – 07.06.2019)**

Επιμερισμός ειδικού τέλους στους οικιακούς καταναλωτές σε περιοχές όπου λειτουργούν σταθμοί Α.Π.Ε. και Υβριδικοί σταθμοί, σύμφωνα με το άρθρο 25 του ν. 3468/2006, όπως ισχύει.

#### **ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4546/2018 - ΦΕΚ 101/Α/12-6-2018**

Ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία της Οδηγίας 2014/89/ΕΕ «περί θεσπίσεως πλαισίου για το θαλάσσιο χωροταξικό σχεδιασμό» και άλλες διατάξεις», με τον σχεδιασμό της Εθνικής Χωρικής Στρατηγικής για τον Θαλάσσιο Χώρο και τα Θαλάσσια Χωροταξικά Πλαίσια.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4413/2016 - ΦΕΚ 148/Α/8-8-2016**

Ανάθεση και εκτέλεση συμβάσεων παραχώρησης - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2014/23/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 26ης Φεβρουαρίου 2014 σχετικά με την ανάθεση συμβάσεων παραχώρησης (ΕΕ L 94/1/28.3.2014) και άλλες διατάξεις.

Άρθρο 39 Επιλογή και ποιοτική αξιολόγηση των υποψηφίων οικονομικών φορέων που υποβάλλουν αίτηση για έκδοση άδειας έρευνας Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4447/2016 - ΦΕΚ 241/Α/23-12-2016**

Χωρικός σχεδιασμός - Βιώσιμη ανάπτυξη και άλλες διατάξεις, που περιλαμβάνονται οι διεθνείς πρακτικές και τα πορίσματα της έκθεσης αξιολόγησης του Ειδικού Χωροταξικού Πλαισίου για τις ΑΠΕ.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4203/2013 - ΦΕΚ 235/Α/01-11-2013**

Ρυθμίσεις θεμάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και άλλες διατάξεις

**Κοινή Υπουργική Απόφαση – Υ.Α.Π.Ε. /Φ1/οικ.28287/12.12.2011 (ΦΕΚ Β' 3005 – 28.12.2011)**

Ειδικό τέλος και παροχή κινήτρων στους οικιακούς καταναλωτές στις περιοχές όπου εγκαθίστανται Α.Π.Ε.

**Τροποποίηση της ΥΑΠΕ/Φ1/14810/04.10.2011 (ΦΕΚ 2373 Β')**

Κανονισμός Αδειών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και μέσω Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.).

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4014/2011 - ΦΕΚ 209/Α/21-9-2011**

Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4001/2011 - ΦΕΚ 179/Α/22-8-2011**

Λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου.

Ενότητα Β' – Κεφάλαιο Α' άρθρο 145 Σύσταση Ελληνικής Διαχειριστικής Εταιρίας Υδρογονανθράκων Α.Ε.

**Υπουργική Απόφαση – Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.24840 (ΦΕΚ Β 1900/03.12.2010)**

Τήρηση Μητρώου Αδειών και υποβολή στοιχείων και πληροφοριών στην Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε. από κατόχους μονάδων Α.Π.Ε.

**Υπουργική Απόφαση – Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.24839 (ΦΕΚ Β 1901/03.12.2010)**

Εγγυοδοσία για την υπογραφή Συμβάσεων Σύνδεσης στα δίκτυα διανομής σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. που εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3889/2010 - ΦΕΚ 182/Α/14-10-2010**

Χρηματοδότηση Περιβαλλοντικών Παρεμβάσεων, Πράσινο Ταμείο, Κύρωση Δασικών Χαρτών και άλλες διατάξεις.

**Υπουργική Απόφαση – Α.Υ/Φ1/οικ.17149 (ΦΕΚ 1497 Β – 06.09.2010)**

Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και μέσω Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης στο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και στο Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 12 παρ. 3 του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει, πλην ηλιοθερμικών και υβριδικών σταθμών.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3851/2010 - ΦΕΚ 85/Α/4-6-2010 [Law 3851/20100/12-07-2010]**

Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ'ΑΡΙΘ. 3468/2006 - ΦΕΚ 129/Α/27-6-2006**

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις.

**ΝΟΜΟΣ ΥΠ'ΑΡΙΘ. 1650/1986 - ΦΕΚ 160/Α/16-10-1986**

Ρυθμίσεις για την προστασία του περιβάλλοντος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> – ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ WINDFARM

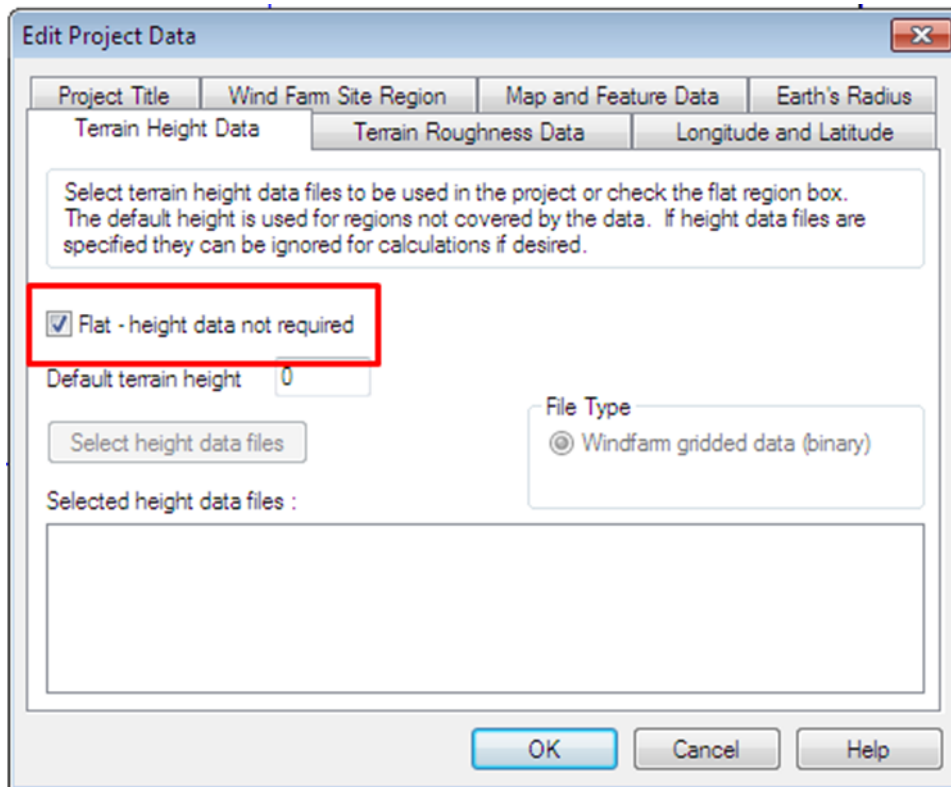
Σε αυτήν την ενότητα θα επιχειρήσουμε προσομοίωση ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στην Ελλάδα με τη βοήθεια του προγράμματος WindFarm Release 4. **Όμως, πρέπει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο πρόγραμμα προσομοίωσης έχει εφαρμογή σε χερσαία αιολικά πάρκα και ως εκ τούτου απαιτήθηκε σχετική προσαρμογή των δεδομένων μας.**

Επιλέξαμε να γίνει μελέτη σε θαλάσσια περιοχή της νότιας Εύβοιας. Ασφαλώς, τα ανεμολογικά δεδομένα είναι ένα απαραίτητο στοιχείο της μελέτης μας, προκειμένου για την επίτευξη αυτής της προσομοίωσης. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από ιστό πλησίον της θαλάσσιας περιοχής και έγινε προσπάθεια αναγωγής αυτών στην υπό μελέτη περιοχή. Αντλήθηκαν δεδομένα ενός έτους και καταχωρήθηκαν στις εξής στήλες : στην πρώτη στήλη την μέση ταχύτητα του ανέμου, στην δεύτερη την διεύθυνση του ανέμου, στην τρίτη την μέγιστη ένταση του ανέμου, στην τέταρτη και πέμπτη την ώρα και την ημερομηνία της μέτρησης.

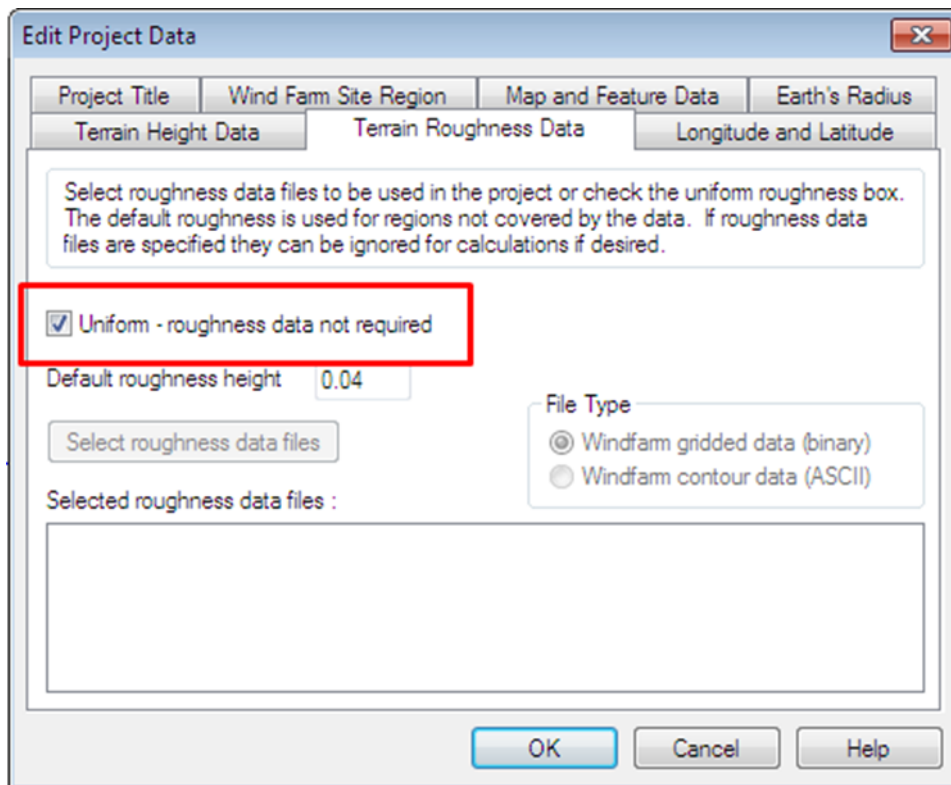
### 8.1 Διαδικασία προσομοίωσης

Ξεκινάμε την προσομοίωση ανοίγοντας το πρόγραμμα WindFarm Release 4 και αφού δημιουργήσουμε New Project από το menu file, στη συνέχεια επιλέγουμε από την γραμμή εργαλείων, στο πάνω μέρος τις οθόνης, το Edit και ακολούθως το Project Data, ώστε να γίνει παραμετροποίηση των βασικών δεδομένων της μελέτης. Έπειτα διαλέγουμε από το παράθυρο που θα ανοίξει, την επιλογή Terrain Height Data, το οποίο περιέχει τις καμπύλες της περιοχής με βάση το ύψος και κάνουμε κλικ το πεδίο Flat – height data not required, προκειμένου με αυτόν τον τρόπο το πρόγραμμα να καταλάβει ότι η προσομοίωση γίνεται στη θάλασσα, που είναι φυσικό ότι δεν υπάρχει υψόμετρο. Την ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθούμε επιλέγοντας το πεδίο Terrain Roughness Data, το οποίο περιέχει στοιχεία που αφορούν στην τραχύτητα της περιοχής και επιλέγουμε το πεδίο Uniform – roughness Data not required, αφού υπάρχει μηδενική τραχύτητα στη θάλασσα.





Εικόνα 8.1 - Διαμόρφωση υψόμετρου – Wind Farm Release 4



Εικόνα 8.2 - Διαμόρφωση τραχύτητας – Wind Farm Release 4

Σε αυτό το σημείο, θα χρειαστεί να γίνει παραμετροποίηση των μετρήσεων, προκειμένου το πρόγραμμα να δώσει το ροδο-διάγραμμα με τις ταχύτητες του ανέμου, καθώς και τα ιστογράμματα και τις καμπύλες Weibull από τις αντίστοιχες ώρες για κάθε διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου.

Πίνακας 8.1 - Ανεμολογικά δεδομένα ενός έτους

U[m/s]	Dir[deg]	Ugust[m/s]	Time	Date
015.57200	045.73000	20.91	00:00:00	11/01/2020
011.69600	034.17000	16.66	00:10:00	11/01/2020
017.10200	047.09000	22.10	00:20:00	11/01/2020
017.05100	054.06000	21.25	00:30:00	11/01/2020
016.96600	047.09000	20.74	00:40:00	11/01/2020
015.50400	040.46000	19.38	00:50:00	11/01/2020
015.58900	032.47000	19.04	01:00:00	11/01/2020
013.80400	038.59000	18.53	01:10:00	11/01/2020
015.84400	063.75000	22.78	01:20:00	11/01/2020
019.24400	045.73000	24.82	01:30:00	11/01/2020
017.51000	041.48000	23.29	01:40:00	11/01/2020
015.38500	048.45000	19.89	01:50:00	11/01/2020
016.01400	042.67000	22.95	02:00:00	11/01/2020
014.14400	034.68000	16.83	02:10:00	11/01/2020
013.71900	030.09000	18.02	02:20:00	11/01/2020
012.05300	018.87000	16.83	02:30:00	11/01/2020
011.01600	037.74000	18.19	02:40:00	11/01/2020
015.04500	071.06000	24.99	02:50:00	11/01/2020
020.53600	056.61000	29.07	03:00:00	11/01/2020
022.57600	051.68000	27.54	03:10:00	11/01/2020
022.01500	051.68000	28.05	03:20:00	11/01/2020
023.20500	051.51000	29.75	03:30:00	11/01/2020
022.76300	051.34000	30.09	03:40:00	11/01/2020
022.45700	051.17000	29.92	03:50:00	11/01/2020
022.42300	048.28000	28.39	04:00:00	11/01/2020
025.48300	045.39000	31.62	04:10:00	11/01/2020
022.38900	043.52000	29.41	04:20:00	11/01/2020
023.69800	047.77000	28.22	04:30:00	11/01/2020
020.34900	045.56000	26.86	04:40:00	11/01/2020
020.84200	052.02000	27.37	04:50:00	11/01/2020
022.27000	050.32000	28.90	05:00:00	11/01/2020
021.35200	043.86000	30.77	05:10:00	11/01/2020
020.80800	044.88000	27.37	05:20:00	11/01/2020
021.84500	042.16000	26.86	05:30:00	11/01/2020
019.89000	048.62000	25.84	05:40:00	11/01/2020
018.32600	049.81000	22.78	05:50:00	11/01/2020

Από το πάνω menu επιλέγουμε Wind Distribution και πατάμε Edit, εμφανίζοντας μας το Wind Rose Data το οποίο μας δείχνει την κατανομή ταχυτήτων του ανέμου.

Πίνακας 8.2 - Wind Rose Data – Wind Farm Release 4

Wind Rose Data

C:\USERS\ADMINISTRATOR\DESKTOP\OUTPUT DATA\WFR Export... Zoom... Page Setup Print... OK Cancel

### WIND ROSE DATA

Edit the data in the shaded cells. Re-calculate mean wind speeds

**File Information**

Title	OUTPUT DATA
Author	
Comment	

**Wind Rose Specification**

Vertical Profile Type: **Exponential** Hours In Year: **8760**

Wind speed position: **Centre of bin** Censor Wind Speed for Weibull Fit: **4,00** m/s

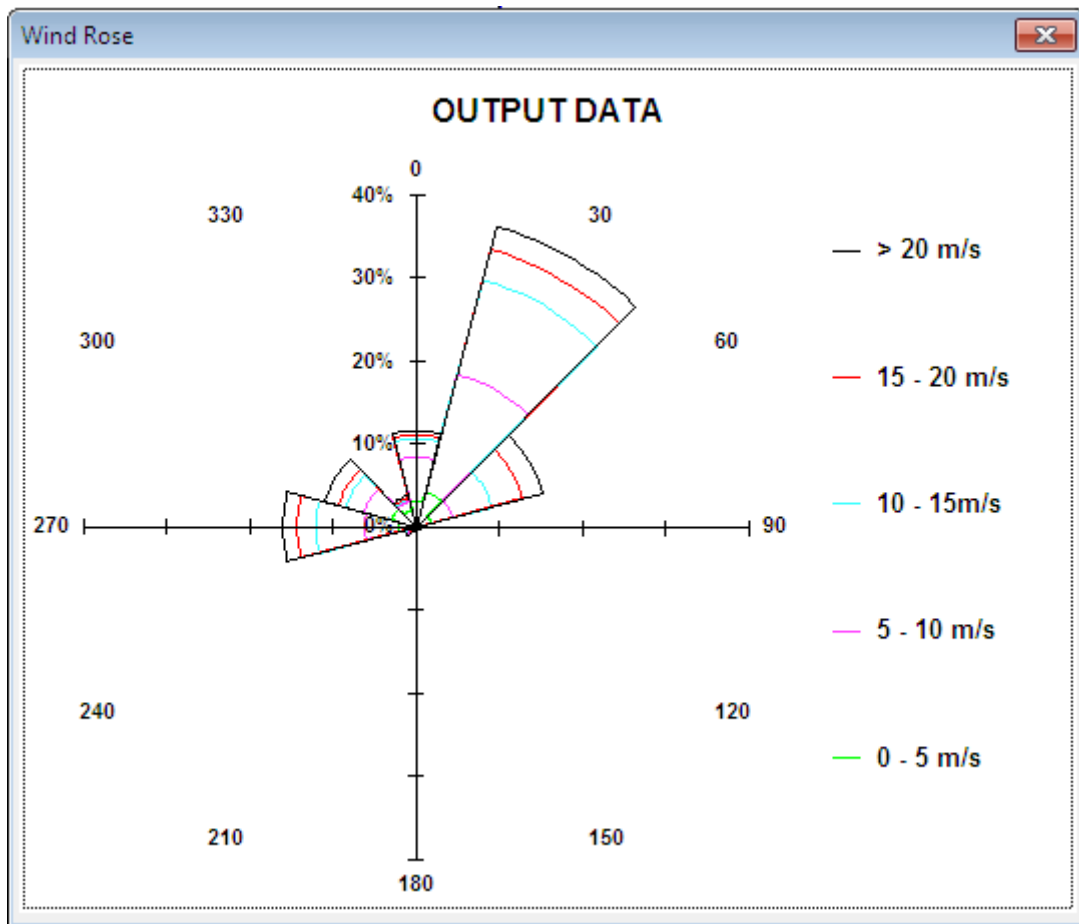
Reference Height	50,00	m
Number of Sectors	12	Max 36
Number of Wind Speeds	50	Max 100

The total of the hours in the table is 8760  
and it must not be greater than 8760  
Mean Wind Speed (m/s) **10,842**

**Sector Data** Enter sector angles in degrees (from grid north)

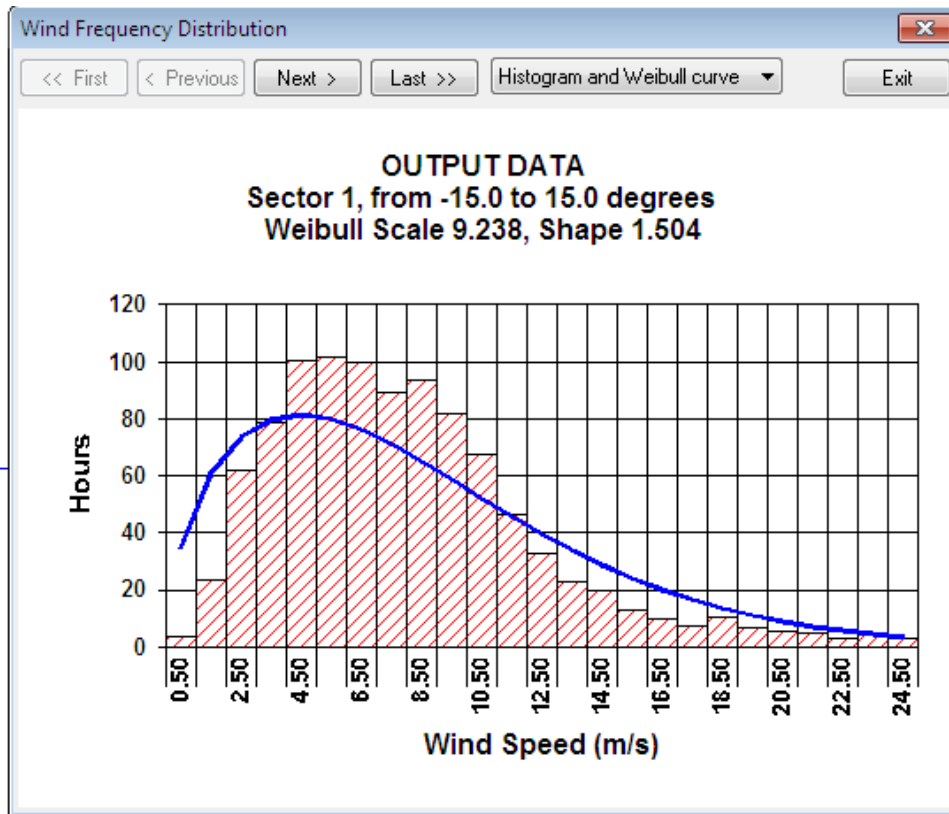
Sector Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sector Start Angle	-15,00	15,00	45,00	75,00	105,00	135,00	165,00	195,00	225,00	255,00	285,00	315,00
Turbulence (%)	133,69	131,75	132,63	160,31	191,55	159,75	172,69	167,45	139,98	133,42	133,21	140,15
Exponent	0,1430	0,1430	0,1430	0,1430	0,1430	0,1430	0,1430	0,1430	0,1430	0,1430	0,1430	0,1430
Frequency (%)	11,52	37,33	15,65	0,77	0,56	0,37	0,35	0,56	1,50	16,10	11,36	3,92
Mean wind speed (m/s)	8,337	10,945	13,804	3,661	2,786	2,364	2,561	2,853	5,687	11,933	11,099	7,415
Weibull Scale	9,238	12,330	15,579	3,661	2,786	2,364	2,756	3,141	5,909	13,459	11,881	7,415
Weibull Shape (nominal)	1,504	1,882	2,023	1,000	1,000	1,000	1,264	1,434	1,108	1,962	1,234	1,000

Πατάμε ξανά στο πάνω menu Wind Distribution και αυτή τη φορά επιλέγουμε View και στο παράθυρο που ανοίγει, Wind Rose, που μας εμφανίζει την απεικόνιση του ροδο-διαγράμματος.

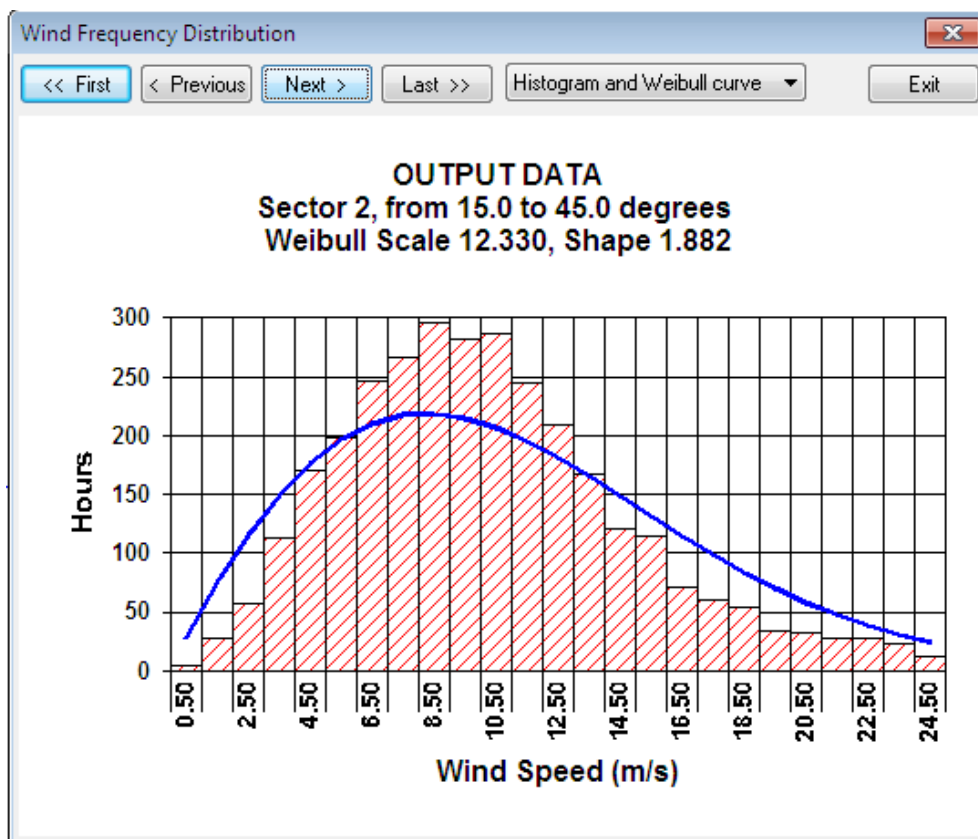


Εικόνα 8.3 - Ροδο-διάγραμμα – Wind Farm Release 4

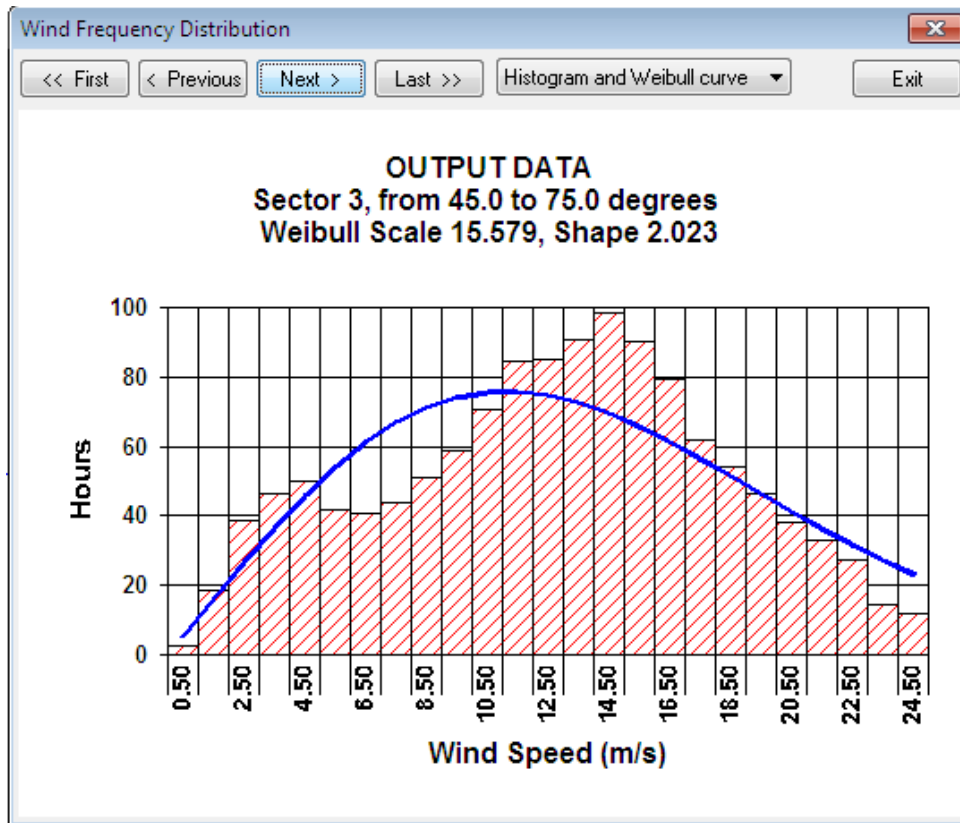
Επιλέγοντας ξανά Wind Distribution, View, όπως κάναμε ακριβώς στο προηγούμενο βήμα, αυτή τη φορά διαλέγουμε το Hours for one sector against wind speed, με το οποίο και θα εμφανίσει τα ιστογράμματα και τις καμπύλες Weibull ανά ώρα διεύθυνσης του ανέμου. Παρακάτω εμφανίζονται τα διαγράμματα Weibull χωρισμένα σε 12 γραφικές παραστάσεις, απεικονίζοντας κάθε φορά τη διεύθυνση του ανέμου.



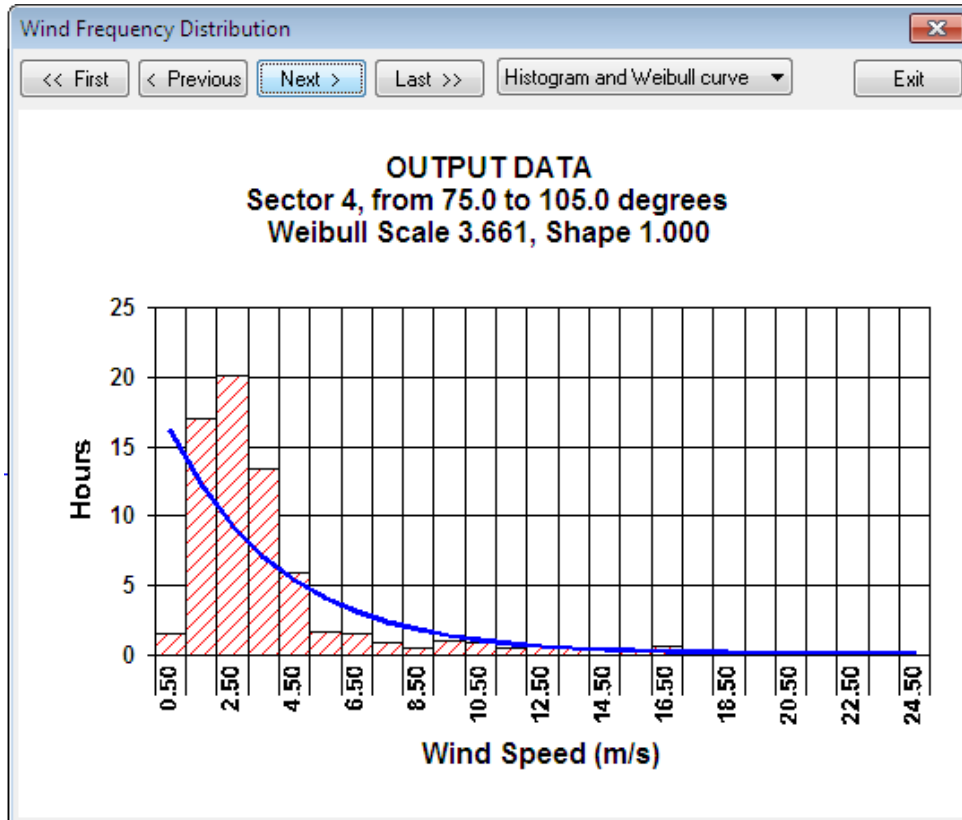
Εικόνα 8.4 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $-15^{\circ} + 15^{\circ}$



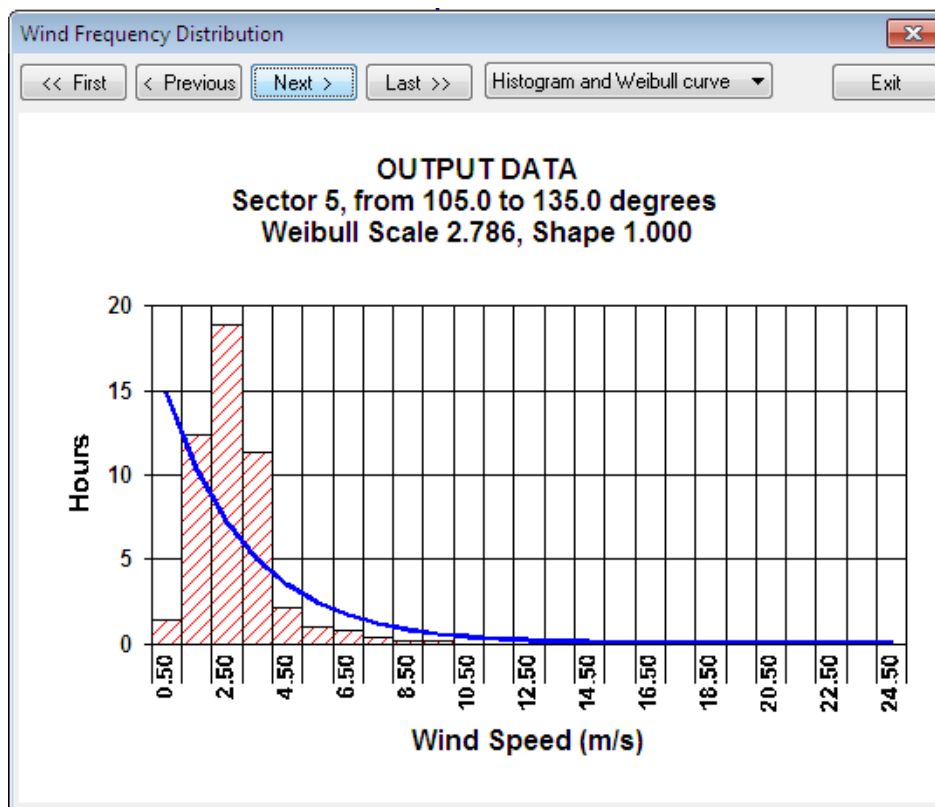
Εικόνα 8.5- Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $15^{\circ} + 45^{\circ}$



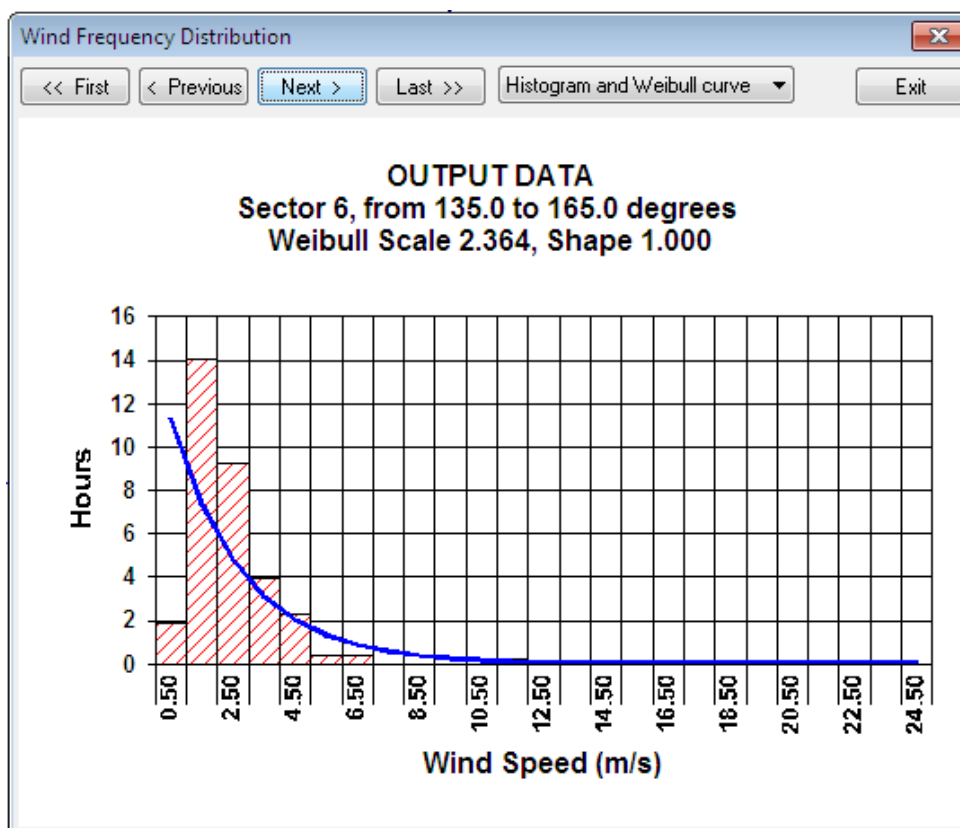
Εικόνα 8.6 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα 45° + 75°



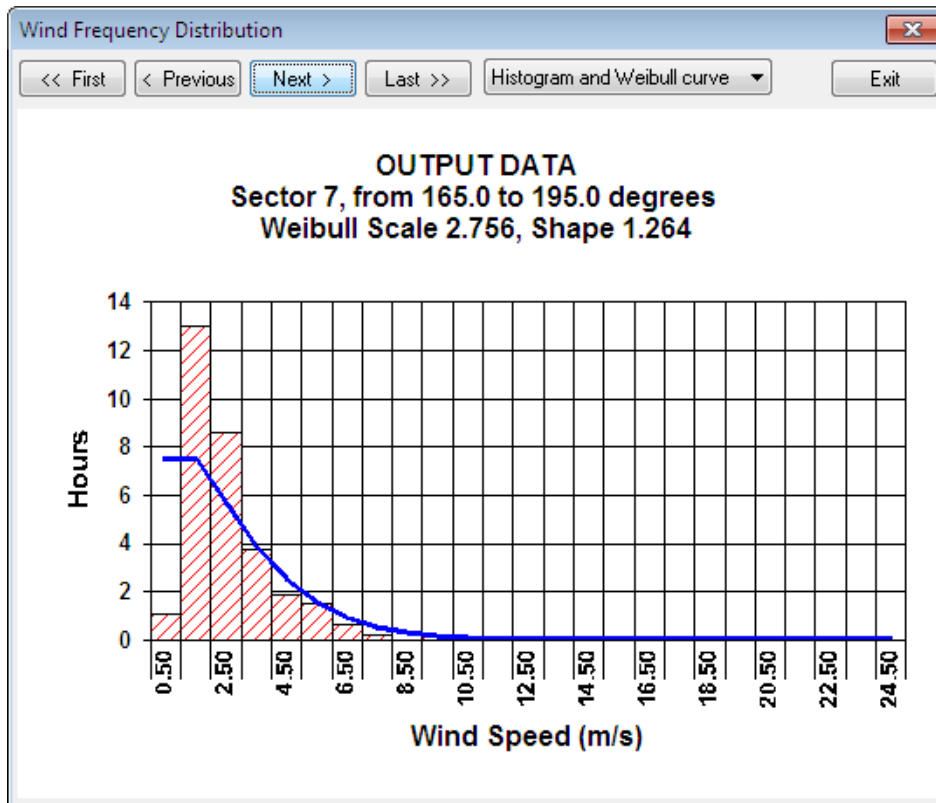
Εικόνα 8.7 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα 75° + 105°



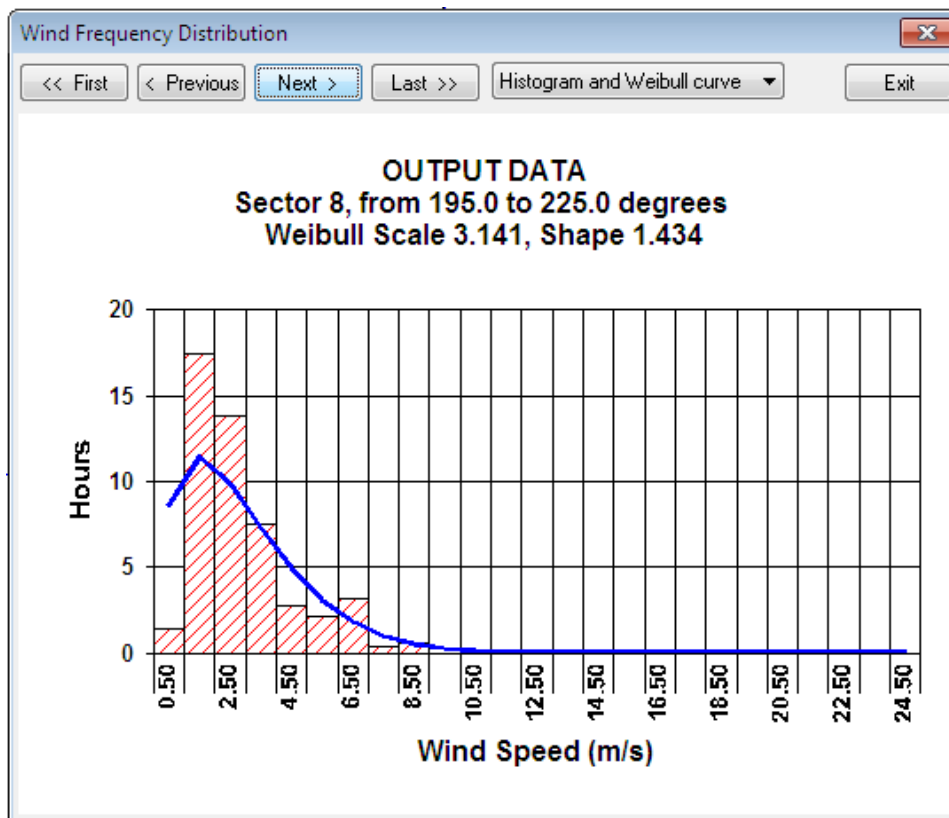
Εικόνα 8.8 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα 105° + 135°



Εικόνα 8.9 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα 135° + 165°

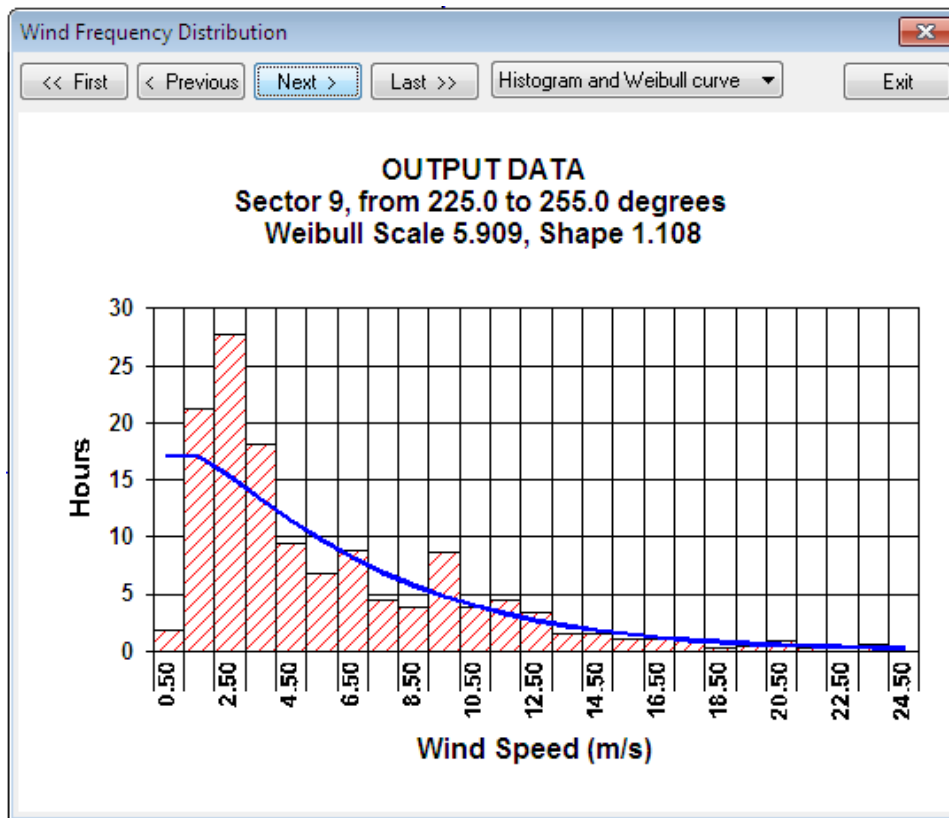


Εικόνα 8.10 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $165^{\circ} + 195^{\circ}$

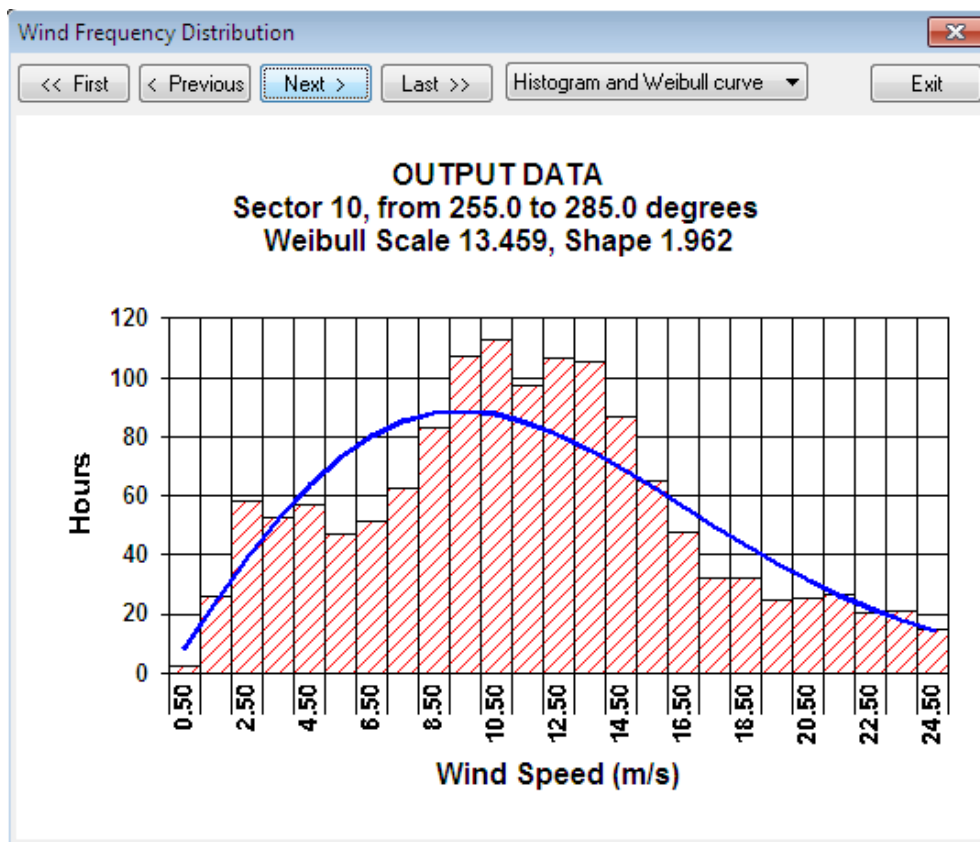


Εικόνα 8.11 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα  $195^{\circ} + 225^{\circ}$

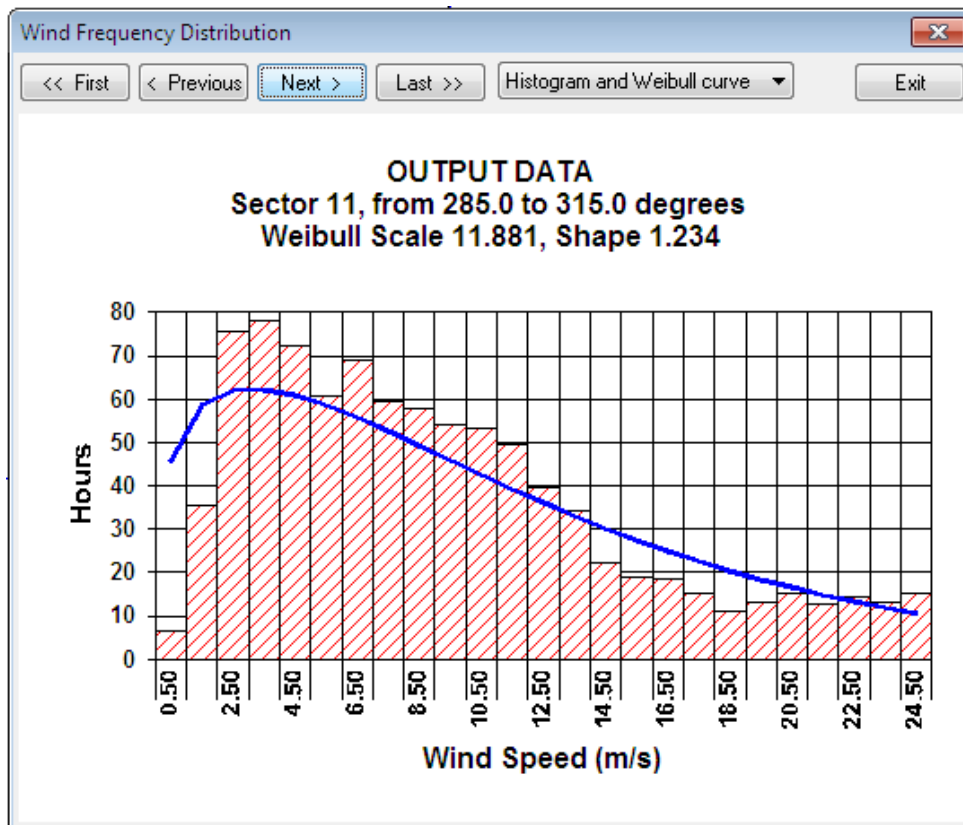




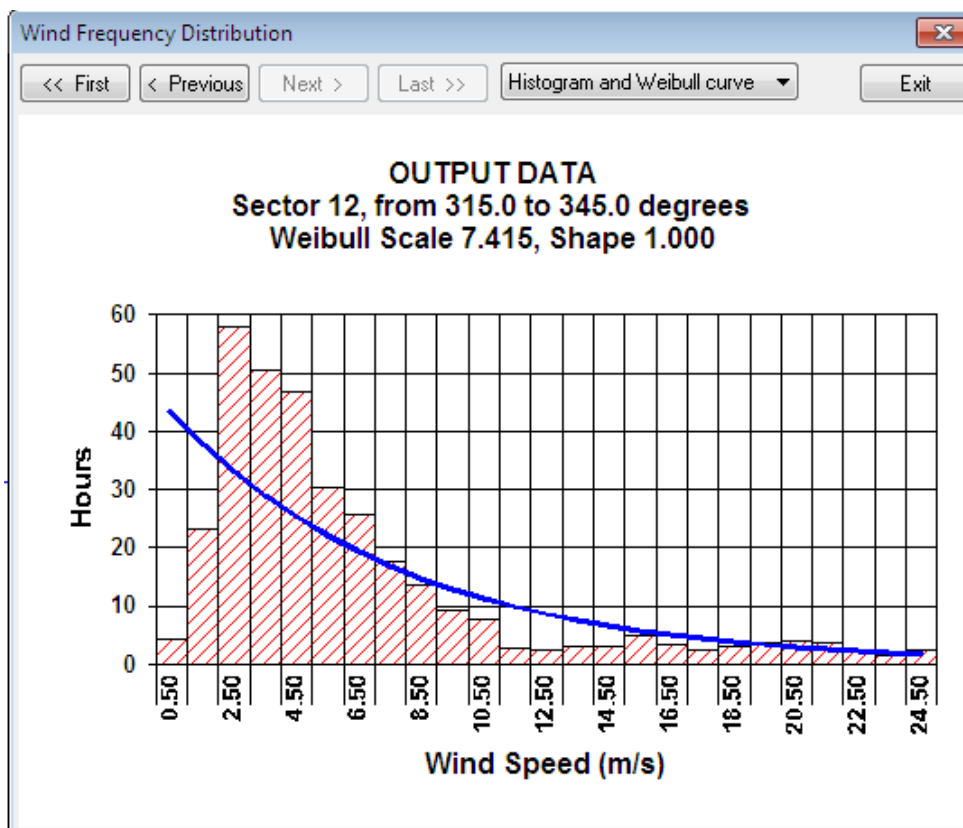
Εικόνα 8.12 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα 225° + 255°



Εικόνα 8.13 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα 255° + 295°

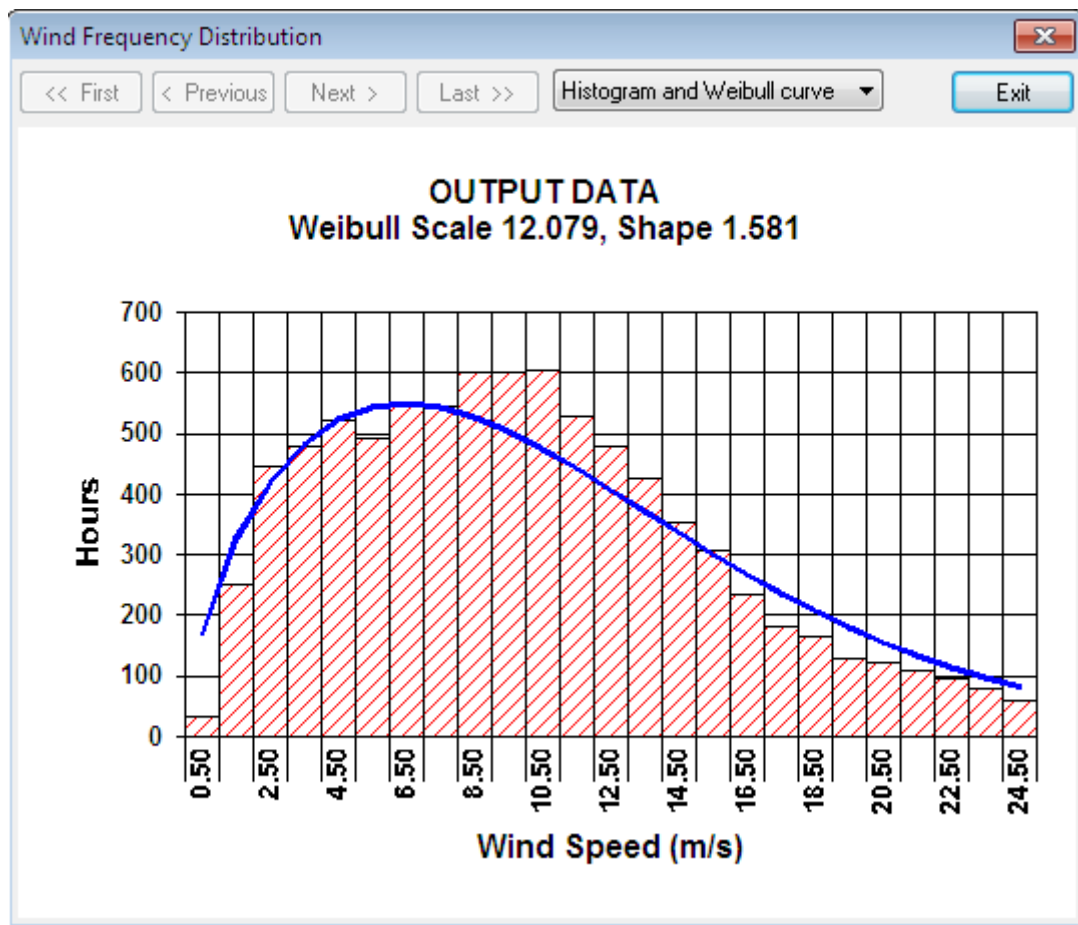


Εικόνα 8.14 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα 295° + 315°



Εικόνα 8.15 - Καμπύλη Weibull, για διάστημα 315° + 345°

Επιλέγουμε για τελευταία φορά από το πάνω menu Wind Distribution -> View, αυτή την φορά την τρίτη επιλογή που εμφανίζεται στο παράθυρό μας την Total hours against wind speed.



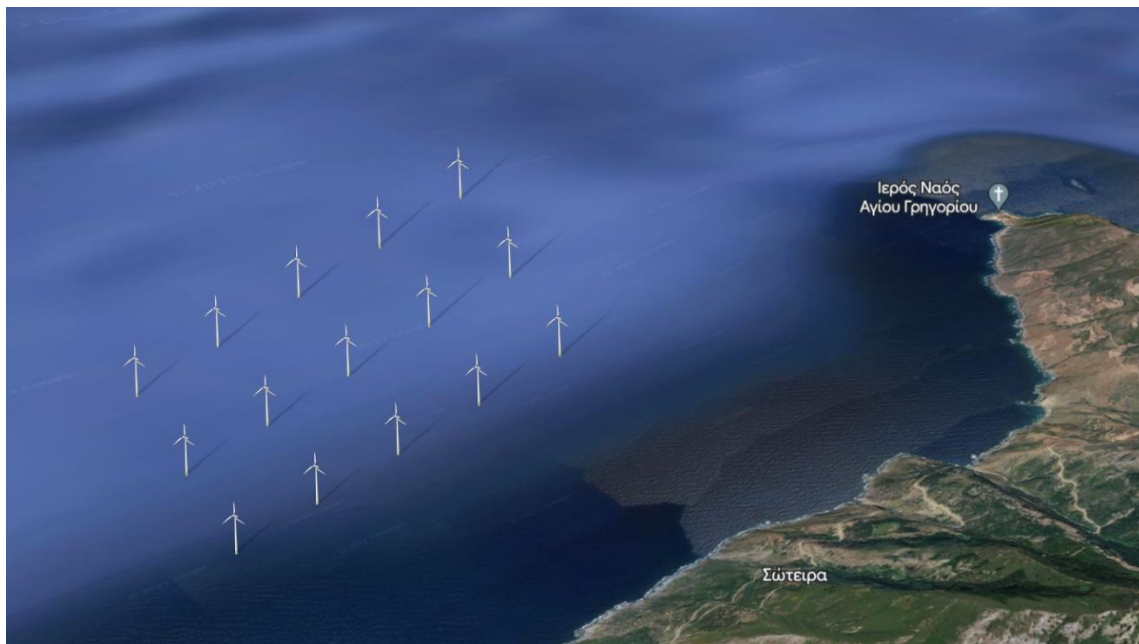
Εικόνα 8.16 - Συνολικό ιστόγραμμα και καμπύλη Weibull

## 8.2 Χωροθέτηση Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου

Στο πλαίσιο της χωροθέτησης του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου θα κατασκευάσουμε στο πρόγραμμα προσομοίωσης ένα πάρκο αποτελούμενο από 15 ανεμογεννήτριες, εφαρμόζοντας τρία διαφορετικά σενάρια / περιπτώσεις, με 3 διαφορετικά μοντέλα ανεμογεννητριών, ούτως ώστε να προβούμε, ύστερα από την σύγκριση αυτών, σε συμπεράσματα όσον αφορά την αποδοτικότητα του πάρκου και κατ' επέκταση τη βιωσιμότητά του. Σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε πως το πρόγραμμα προσομοίωσης μας παρέχει ανεμογεννήτριες μόνο για χερσαίες εγκαταστάσεις, επομένως επιλέξαμε - μέσα από το πρόγραμμα - τα συγκεκριμένα μοντέλα, που υπάρχουν με παρεμφερείς προδιαγραφές σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις.

Στην συνέχεια των υπολογισμών μας, μέσω του προγράμματος, θα εφαρμόσουμε την βελτιστοποίηση θέσης των ανεμογεννητριών, για την αποφυγή σκίασης στο σύνολο της διάταξης τους, καθώς και για την εκμετάλλευση όλων των ανεμολογικών δεδομένων της περιοχής.

Αρχικά δημιουργούμε μία διάταξη ανεμογεννητριών με αποστάσεις ίσες με τέσσερις φορές το μέγεθος της διαμέτρου του ρότορα τους (4D) και αφού επιλέξουμε το μοντέλο της τουρμπίνας που θέλουμε να εξετάσουμε, κάθε φορά, υπολογίζουμε την ετήσια παραγόμενη ενέργεια του πάρκου. Ύστερα, εφαρμόζουμε την βελτιστοποίηση θέσης, όπου το πρόγραμμα με βάση τα δεδομένα που του έχουμε δώσει, αλλάζει και διαμορφώνει την διάταξη των ανεμογεννητριών στην καλύτερη δυνατή θέση και υπολογίζουμε την εκ νέου ετήσια παραγόμενη ενέργεια.



Εικόνα 8.17 - Χωροθέτηση και διάταξη ανεμογεννητριών πριν την βελτιστοποίηση



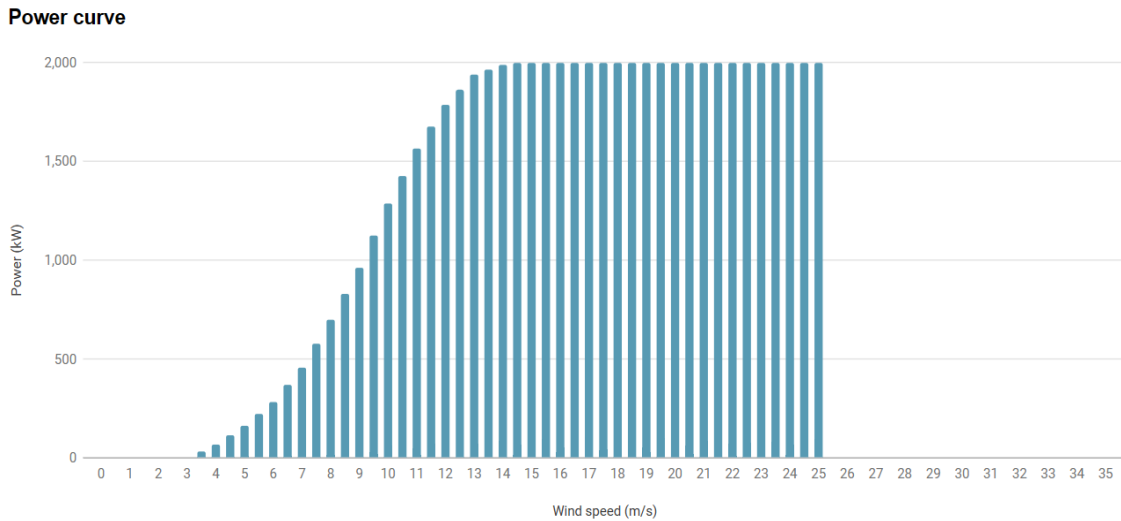
Εικόνα 8.18 - Χωροθέτηση και διάταξη ανεμογεννητριών μετά την βελτιστοποίηση

➤ 1<sup>η</sup> περίπτωση: VESTAS V80, 2000

Πρόκειται για μια ανεμογεννήτρια της εταιρείας VESTAS έχοντας 80m ρότορα και μέγιστης απόδοσης τα 2MW.



Εικόνα 8.19 - VESTAS V80, 2000



Εικόνα 8.20 - Διάγραμμα ισχύος VESTAS V80, 2000

Πίνακας 8.3 - Στοιχεία VESTAS V80,2000

<b>General data</b>	
Manufacturer	Vestas (Danemark)
Model	V80/2000
Rated power	2,000 kW
Rotor diameter	80 m
Wind class	IEC Ia (DIBt III)
Swept area	5,027 m <sup>2</sup>
Specific area	2.52 m <sup>2</sup> /kW
Number of blades	3
<b>Rotor</b>	
Minimum rotor speed	9 rd/min
Maximum rotor speed	19 rd/min

Cut-in wind speed	3,5 m/s
Rated wind speed	14,5 m/s
Cut-off wind speed	25 m/s

Αφού τοποθετήσαμε ποιοτικά την διάταξη των 15 ανεμογεννητριών στην θάλασσα, στην περιοχή μελέτης μας, με τα ανωτέρω χαρακτηριστικά, αντλήσαμε τα πρώτα αποτελέσματα όσον αφορά την ετήσια παραγόμενη ενέργεια σε GWh (116,846 GWh). Στη συνέχεια και προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη θέση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου και κατά συνέπεια να βελτιστοποιηθεί η ετήσια παραγόμενη ενέργεια, προβήκαμε σε ορισμένες τροποποιήσεις του προγράμματος, το οποίο διαμόρφωσε αυτή την φορά μόνο του την διάταξη των 15 ανεμογεννητριών με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα που του δώσαμε. Με την καινούργια διάταξη η ετήσια παραγόμενη ενέργεια του πάρκου ανήλθε σε 117,265GWh.

Συγκρίνοντας τις τιμές που λάβαμε πριν και μετά την βελτιστοποίηση παρατηρούμε μια διαφορά διάταξης της τάξεως των 0,419GWh ή 419MWh, το οποίο αποτελεί ένα μέγεθος που καθιστά την διαδικασία της βελτιστοποίησης απαραίτητη.

Προκειμένου να είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε τη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα του πάρκου, κρίνεται απαραίτητο ο υπολογισμός του δείκτη παράγοντα αποδοτικότητας (capacity factor), ο οποίος στην περίπτωση των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 41%.

Ο τρόπος υπολογισμού του capacity factor γίνεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$CF = \frac{E_{Ave}}{E_{Real} * 8761} * \frac{MWh}{MW * h} \geq 41\%$$

Εφαρμόζοντας τον ανωτέρω τύπο στα αποτελέσματα που μας έδωσε το πρόγραμμα προσομοίωσης, υπολογίζουμε το capacity factor πριν και μετά την βελτιστοποίηση.

$$CF_{\pi\rho\iota\nu} = \frac{116.846MWh}{15 * 2MW * 8761h} = \frac{116.846}{262.830} = 0,4446 \text{ ή } 44,46\%$$

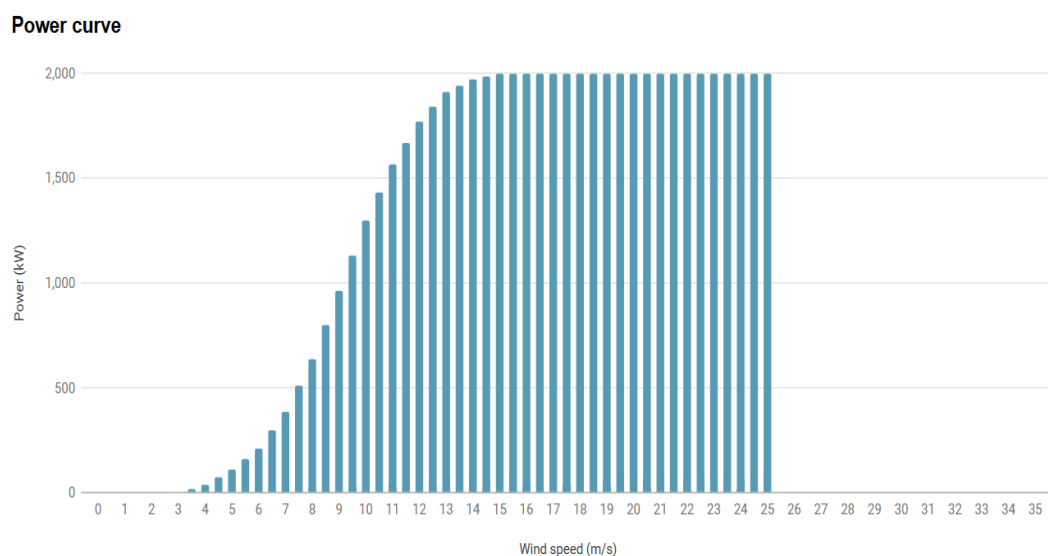
$$CF_{\text{μετά}} = \frac{117.265 \text{ MWh}}{15 * 2 \text{ MW} * 8761 \text{ h}} = \frac{117.265}{262.830} = 0,4462 \text{ ή } 44,62\%$$

➤ 2<sup>η</sup> περίπτωση: SIEMENS GAMESA G80, 2000

Πρόκειται για μια ανεμογεννήτρια ίδιας εταιρείας SIEMENS, με ίδιες διαστάσεις ρότορα (80m) και ίδια μέγιστη απόδοση (2MW) σε σχέση με την προηγούμενη VESTAS.



Εικόνα 8.21 - SIEMENS GAMESA G80,2000



Εικόνα 8.22 - Διάγραμμα ισχύος SIEMENS GAMESA G80,2000



Πίνακας 8.4 - Στοιχεία SIEMENS GAMESA G80,2000

<b>General data</b>	
Manufacturer	Gamesa (Espagne)
Model	G80/2000
Rated power	2,000 kW
Rotor diameter	80 m
Wind class	IEC Ia/IIa
Swept area	5,027 m <sup>2</sup>
Specific area	2.52 m <sup>2</sup> /kW
Number of blades	3
<b>Rotor</b>	
Minimum rotor speed	9 rd/min
Maximum rotor speed	19 rd/min
Cut-in wind speed	3,5 m/s
Rated wind speed	15 m/s
Cut-off wind speed	25 m/s

Ακολουθώντας την προηγούμενη διαδικασία μπορούμε να υπολογίσουμε την ετήσια παραγόμενη ενέργεια πριν (116,912GWh) και μετά την βελτιστοποίηση θέσης διάταξης των ανεμογεννητριών (117,505GWh).

Σημειώνεται διαφορά διάταξης 0,593 GWh ή 593 MWh.

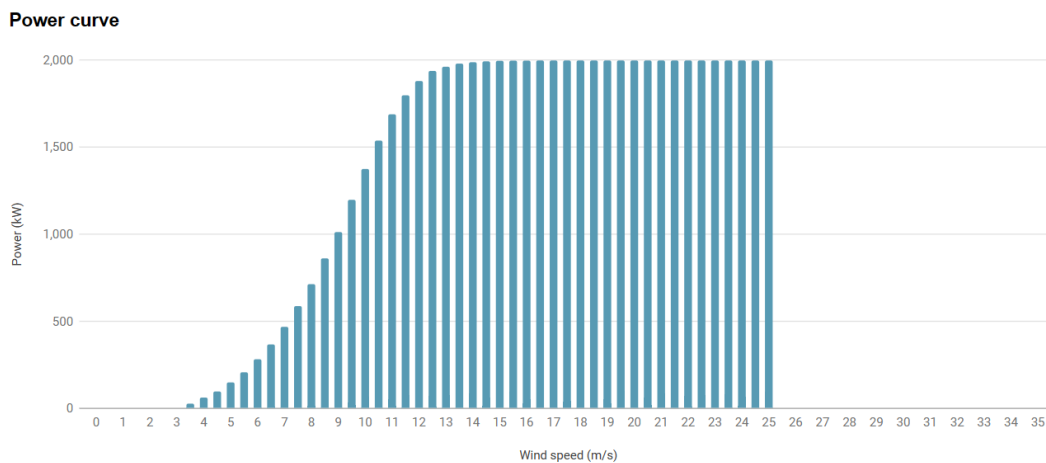
Ως εκ τούτου, το capacity factor διαμορφώνεται ως εξής:

$$CF_{\text{πρην}} = \frac{116.912 \text{ MWh}}{15 * 2 \text{ MW} * 8761 \text{ h}} = \frac{116.912}{262.830} = 0,4448 \text{ ή } 44,48\%$$

$$CF_{\text{μετά}} = \frac{117.505 \text{ MWh}}{15 * 2 \text{ MW} * 8761 \text{ h}} = \frac{117.505}{262.830} = 0,4470 \text{ ή } 44,7\%$$

➤ 3<sup>η</sup> περίπτωση: SIEMENS GAMESA G83, 2000

Πρόκειται για μια ανεμογεννήτρια της εταιρείας SIEMENS, με διαφορά πως αυτή έχει λίγο μεγαλύτερη διάμετρο ρότορα (83m) σε σύγκριση με την προηγούμενη (80m) και ίδια μέγιστη απόδοση (2MW).



Εικόνα 8.23 - Διάγραμμα ισχύος SIEMENS GAMESA G83,2000

Πίνακας 8.5 - Στοιχεία SIEMENS GAMESA G83,2000

<b>General data</b>	
Manufacturer	Gamesa (Espagne)
Model	G83/2000
Rated power	2,000 kW
Rotor diameter	83 m
Wind class	IEC IIA
Swept area	5,411 m <sup>2</sup>
Specific area	2.71 m <sup>2</sup> /kW
Number of blades	3

<b>Rotor</b>	
Minimum rotor speed	9 rd/min
Maximum rotor speed	19 rd/min
Cut-in wind speed	3,5 m/s
Rated wind speed	16,5 m/s
Cut-off wind speed	25 m/s

Τέλος για την τρίτη και τελευταία περίπτωση υπολογίζουμε την ετήσια παραγόμενη ενέργεια πριν την βελτιστοποίηση (119,677GWh) και μετά (120,290GWh), με διαφορά διάταξης 0,613GWh ή 613MWh.

Ο υπολογισμός του δείκτη παράγοντα αποδοτικότητας (capacity factor) είναι:

$$CF_{\text{πριν}} = \frac{119.677MWh}{15 * 2MW * 8761h} = \frac{119.677}{262.830} = 0,4553 \text{ ή } 45,53\%$$

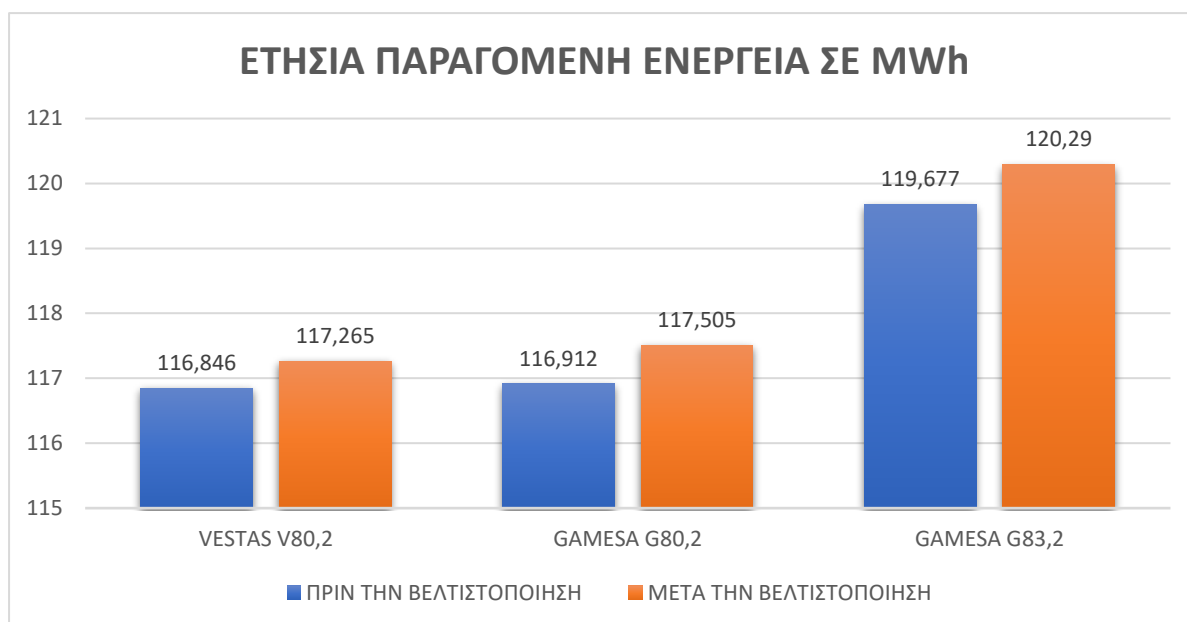
$$CF_{\text{μετά}} = \frac{120.290MWh}{15 * 2MW * 8761h} = \frac{120.290}{262.830} = 0,4577 \text{ ή } 45,77\%$$

Πίνακας 8.6 - Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

	<b>Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια (ΠΡΙΝ) [GWh]</b>	<b>Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια (ΜΕΤΑ) [GWh]</b>	<b>Διαφορά Διάταξης [GWh]</b>	<b><math>CF_{\text{ΠΡΙΝ}}</math></b>	<b><math>CF_{\text{ΜΕΤΑ}}</math></b>
<b>VESTAS V80, 2000</b>	116,846	117,265	0,419	44,46%	44,62%

<b>SIEMENS GAMESA G80, 2000</b>	116,912	117,505	0,593	44,48%	44,70%
<b>SIEMENS GAMESA G83, 2000</b>	119,677	120,290	0,613	45,53%	45,77%

Πίνακας 8.7 - Συγκεντρωτικός πίνακας με γράφημα ετήσιας παραγόμενης ενέργειας πριν και μετά την βελτιστοποίηση



### 8.3 Σχόλια – Παρατηρήσεις

Υπενθυμίζεται ότι το πρόγραμμα προσομοίωσης που χρησιμοποιήσαμε (WindFarm Release 4) έχει εφαρμογή σε χερσαία αιολικά πάρκα και ως εκ τούτου έγινε προσπάθεια σχετικής προσαρμογής των δεδομένων μας, τόσο των ανεμολογικών (π.χ. υψόμετρο, τραχύτητα), όσο και της επιλογής των συγκεκριμένων μοντέλων ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκαν για την προσομοίωση και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Παρατηρώντας τα γραφικά αποτελέσματα από την προσομοίωση που κάναμε μπορούμε να καταλήξουμε στα κατωτέρω σχόλια και παρατηρήσεις:

1. Κοιτάζοντας το ροδο-διάγραμμα, της εικόνας 1.42, το πρώτο πράγμα που παρατηρούμε είναι την έντονη κατανομή του γραφήματος στο 1ο τεταρτημόριο και με την βοήθεια του χρωματικού κώδικα διακρίνουμε την μέση ταχύτητα του ανέμου για εκείνο το διάστημα, όπου κατά μέσο όρο έχουμε ανέμους των 10-15m/s. Επίσης παρατηρούμε και τη διεύθυνση του ανέμου η οποία συγκεντρώνεται βορειοανατολικά. Από την άλλη, κοιτάζοντας το ροδο-διάγραμμα συνολικά, μας είναι εύκολο να διακρίνουμε την κατανομή και την κατεύθυνση του ανέμου για όλο το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε, οι οποίες συγκεντρώνονται κυρίως στα 2 πρώτα τεταρτημόρια, γεγονός που σημαίνει ότι εκτείνεται από βορειοανατολικά έως βορειοδυτικά.
  
2. Όσον αφορά τα διαγράμματα Weibull, έχουμε χωρίσει το χρονικό της προσομοίωσης σε 12 τμήματα, ανά 30 μοίρες κάθε φορά και σε ένα συγκεντρωτικό, γεγονός που μας επιτρέπει να βγάλουμε πιο αναλυτικά συμπεράσματα για τη διεύθυνση του ανέμου, καθώς και για την διάρκεια αυτού, σε σύγκριση με το ροδο-διάγραμμα. Μελετώντας τα 12 διαγράμματα, αρχικά παρατηρούμε πως στα πρώτα τρία υπάρχει υψηλή ταχύτητα του ανέμου, φτάνοντας μέχρι και 12m/s κατά μέσο όρο για συνολικά 300 ώρες, σε σύγκριση με τα επόμενα έξι διαγράμματα που παρατηρείται μία συγκέντρωση ανέμου με πτώση ταχύτητας στα 2,5m/s, αλλά για μικρό χρονικό διάστημα των 18 ωρών. Ενώ για τα εναπομείναντα διαγράμματα, φαίνεται ότι η αύξηση του ανέμου επανέρχεται στα 10m/s για μεγάλα χρονικά διαστήματα των 80 ωρών κατά μέσο όρο. Τέλος, μελετώντας το τελικό / συγκεντρωτικό διάγραμμα Weibull, βλέπουμε τη συγκέντρωση του ιστοδιαγράμματος να επικεντρώνεται σε μέση ταχύτητα ανέμου από 7m/s έως 14 m/s για μέσο όρο χρόνου τις 450 ώρες.

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι, παρατηρώντας τη συγκεντρωμένη κατανομή του ανέμου, τόσο από το ροδο-διάγραμμα όσο και από τα διαγράμματα Weibull, αυτή αποτελεί ένα από τα στοιχεία τα οποία θα μας οδηγήσουν στην επιλογή της θέσης του πάρκου και των ανεμογεννητριών που θα είναι πιο αποδοτικά, προκειμένου να πετύχουμε υψηλή ενεργειακή απόδοση, το οποίο θα καταστήσει οικονομικά βιώσιμη την εν λόγω επένδυση.

Σημειώνεται ότι, για να είμαστε σε θέση να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα, θα έπρεπε να είχαν πραγματοποιηθεί αναλυτικοί και μακροχρόνιοι υπολογισμοί του ανέμου στην περιοχή μελέτης, καθώς για να υπολογιστεί το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής, δεν επαρκούν μόνο στοιχεία μέσης ταχύτητας του ανέμου, αλλά απαιτούνται επιπλέον πληροφορίες που αφορούν τόσο την κατανομή της πιθανότητας ανέμων με διαφορετική ταχύτητα όσο και τη γνώση για τα διαστήματα νηνεμίας και των ριπών ανέμου της περιοχής. Δηλαδή με λίγα λόγια, είναι απαραίτητες μετρήσεις στο σημείο υλοποίησης του αιολικού πάρκου και για χρονικό διάστημα 1-2 έτη.

Σε ό,τι αφορά την χωροθέτηση του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου δημιουργήσαμε διάταξη από 15 ανεμογεννήτριες αποτελούμενη από μία συστοιχία 3 σειρών με 5 ανεμογεννήτριες η κάθε μία (Εικόνα 1.56), ούτως ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε, μέσω του προγράμματος WindFarm, την ετήσια παραγόμενη ενέργεια του πάρκου και κατά συνέπεια τον συντελεστή αποδοτικότητας (capacity factor) με τον οποίο κρίνεται η αποδοτικότητα του πάρκου. Στη συνέχεια, εφαρμόσαμε την μέθοδο της βελτιστοποίησης θέσης των ανεμογεννητριών, του προγράμματος WindFarm, προκειμένου το πρόγραμμα να εκμεταλλευτεί όλα τα ανεμολογικά δεδομένα που έχουμε δώσει και για να αποτραπεί η πιθανή σκίαση των ανεμογεννητριών, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοσή τους. Προκειμένου να προβούμε σε όσο πιο ασφαλή συμπεράσματα για την αποδοτικότητα και κατ' επέκταση τη βιωσιμότητα του πάρκου, χρησιμοποιήσαμε 3 διαφορετικά είδη μοντέλων ανεμογεννητριών - με μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους - αναφορικά με εταιρείες κατασκευής και την διάμετρο του ρότορα.

Πιο αναλυτικά, αρχικά χρησιμοποιήθηκε η ανεμογεννήτρια VESTAS V80,2000 αποτελούμενη από μήκος διαμέτρου ρότορα 80m και μέγιστης παραγόμενης ισχύς τα 2MW, η οποία συγκρίθηκε με ανεμογεννήτρια ίδιων χαρακτηριστικών (80m, 2MW) αλλά διαφορετικής εταιρείας Siemens GAMESA G80,2000. Από την σύγκριση παρατηρήσαμε ότι δεν υπήρξε ουσιαστική διαφοροποίηση μεταξύ των 2 εταιρειών τόσο στην ετήσια παραγόμενη ενέργεια, με την πρώτη να σημειώνει 117,265GWh και τη δεύτερη 117,505GWh όσο και στη διαφορά του capacity factor ύψους 0,08%, με την πρώτη να σημειώνει CF = 44,62% και την δεύτερη CF = 44,70%.

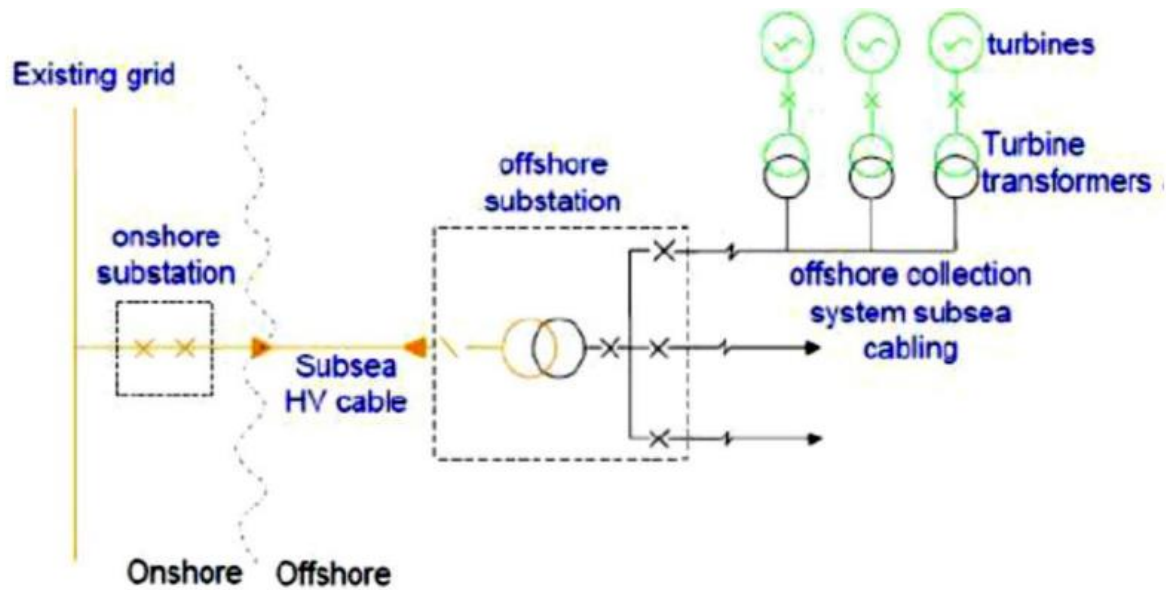
Στη συνέχεια, έγινε σύγκριση μεταξύ της Siemens GAMESA G80,2000 με Siemens GAMESA G83,2000, με την πρώτη ανεμογεννήτρια να προσφέρει 117,505GWh και capacity factor CF = 44,70%, ενώ την δεύτερη 120,290GWh και capacity factor CF = 45,77%. Επισημαίνεται ότι η διαφορά των δύο αυτών ανεμογεννητριών αφορά στο μήκος της διαμέτρου του ρότορα κατά τρία (3)m. Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι αυτή η μικρή διαφορά του μήκους της διαμέτρου του ρότορα, θα επιφέρει διαφορά στην ετήσια παραγόμενη ενέργεια ύψους 2,785GWh και capacity factor ύψους CF =1,07%. Επομένως, θα μπορούσαμε να σχολιάσουμε ότι τελικά η διαφορά του κόστους της επένδυσης του μεγαλύτερου ρότορα θα καλυφθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα από την μεγαλύτερη προσφερόμενη παραγόμενη ενέργεια και όπως είναι φυσικό θα αποφέρει μεγαλύτερο κέρδος στον παραγωγό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο - ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

Σημαντικό κομμάτι για την ολοκλήρωση ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου είναι η μελέτη μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το κοντινότερο ηλεκτρικό δίκτυο διανομής. Αυτό θα μπορούσε να χωριστεί σε δύο βασικά σκέλη :

- Στην εσωτερική σύνδεση του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου, με την οποία και αφού γίνει ο διαχωρισμός των ανεμογεννητριών σε συστάδες, η κάθε συστάδα συνδέεται με τον χερσαίο υποσταθμό (και σε περίπτωση που το Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από την ακτή, θα μεσολαβήσει και υπεράκτιος υποσταθμός).
- Στη σύνδεση του ανωτέρω με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Είναι απαραίτητο οι προαναφερόμενες συνδέσεις να είναι σε Υψηλή Τάση, για την αποφυγή απωλειών κατά την μετάδοση της ισχύς, επειδή οι ανεμογεννήτριες, οι υποσταθμοί και το δίκτυο βρίσκονται συνήθως σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Για αυτή την μορφή σύνδεσης ενδείκνυται η επιλογή του συστήματος μεταφοράς συνεχούς ρεύματος Υψηλής Τάσης, η οποία μας εξασφαλίζει ευστάθεια στο σύστημα, καλύτερη ποιότητα ισχύος και αποφυγή σφαλμάτων. Δεδομένου ότι οι ανεμογεννήτριες βγάζουν χαμηλή τάση, μεγέθους έως 3kV, που δεν αρκεί για την μεταξύ τους σύνδεση, είναι αναγκαία η ύπαρξη μετασχηματιστή, ο ρόλος του οποίου είναι να ανυψώσει το επίπεδο της τάσης. Συνήθως τοποθετείται στην άτρακτο ή στον πύργο της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 9.1 - Συνδεσμολογία ΥΑΠ με υποσταθμό

Επιτακτική ανάγκη για την καλή και ασφαλή λειτουργία και σύνδεση του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου με το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας, είναι η δημιουργία συγκεκριμένων κανονισμών λειτουργίας οι οποίοι θα επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό το ποσό της ενέργειας που θα διοχετευθεί στο δίκτυο και αφορούν στα κατωτέρω :

- Να καθορίζεται κάθε φορά ποια μονάδα παραγωγής θα βρίσκεται σε λειτουργία, ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλότητα και η ασφάλεια του συστήματος.
- Να καθορίζεται ο βαθμός της μέγιστης επιτρεπόμενης ισχύς.

Τα τυχόν προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν αφορούν τις μεταβολές που παρουσιάζει η τάση τόσο κατά το στάδιο της σύνδεσης, όσο και της αποσύνδεσης των ανεμογεννητριών στο δίκτυο, καθώς επίσης και της διακύμανσης στην παραγωγή ενέργειας, εξαιτίας των διακυμάνσεων της ταχύτητας του ανέμου. Οι καταναλωτές, οι οποίοι βρίσκονται σχετικά σε κοντινή απόσταση από τα σημεία σύνδεσης, είναι αυτοί που κυρίως θα αντιμετωπίσουν αυτά τα προβλήματα. Με την σωστή επιλογή του τρόπου σύνδεσης και του κατάλληλου εξοπλισμού, θα αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα και θα επηρεάσουν ανάλογα το κόστος σύνδεσης.

Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου μας και τον υπολογισμό της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας του πάρκου, το επόμενο στάδιο σε ό,τι αφορά τη διασύνδεση του πάρκου με το ηλεκτρικό δίκτυο της περιοχής είναι η κάλυψη των



γραφειοκρατικών υποχρεώσεων που απορρέουν από την κείμενη νομοθεσία και των απαιτούμενων αδειών και εγκρίσεων από τις αρμόδιες Αρχές.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη διασύνδεση είναι η σχετική υπογραφή σύμβασης σύνδεσης του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου με τον Διαχειριστή, τον ΑΔΜΗΕ, προκειμένου να προσδιοριστούν οι ελάχιστες προδιαγραφές που αφορούν στην μέθοδο σύνδεσης, των έργων που θα απαιτηθούν να πραγματοποιηθούν για τη σύνδεση και γενικά για τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας στο σημείο σύνδεσης. Επίσης, θα πρέπει να καθοριστούν οι όροι και οι προϋποθέσεις που αφορούν τον τρόπο σύνδεσης, την ευθύνη σχεδιασμού, αδειοδότησης, μελέτης, κατασκευής, διαχείρισης, ασφαλούς λειτουργίας και συντήρησης του έργου, καθώς και την κυριότητα των έργων σύνδεσης από το Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο μέχρι τον ζυγό Μ.Τ. του Υποσταθμού. Επιπλέον, στη σύμβαση θα προβλεφθεί το σχετικό κόστος όλων των αναγκαίων ως άνω έργων, καθώς επίσης και των παρελκόμενων συστημάτων ζεύξης και προστασίας του υποσταθμού.

Θα πρέπει, επίσης, να γίνει πρόβλεψη για τυχόν έργα επέκτασης του συστήματος, για την κάλυψη περίπτωσης μελλοντικής προσθήκης στον υποσταθμό από άλλο παρεμφερές αναπτυξιακό έργο στην περιοχή εγκατάστασης. Ακόμα είναι αναγκαίο να καθοριστούν οι ελάχιστες προδιαγραφές σχετικά με :

- Τη μέθοδο σύνδεσης στο σύστημα και τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του συστήματος στο σημείο σύνδεσης.
- Το είδος των σημάτων και ενδείξεων που είναι απαραίτητο να παρέχονται στον ΑΔΜΗΕ από τον Παραγωγό.
- Την ορολογία και την ονοματολογία για τις εγκαταστάσεις που συνδέονται στο σύστημα.

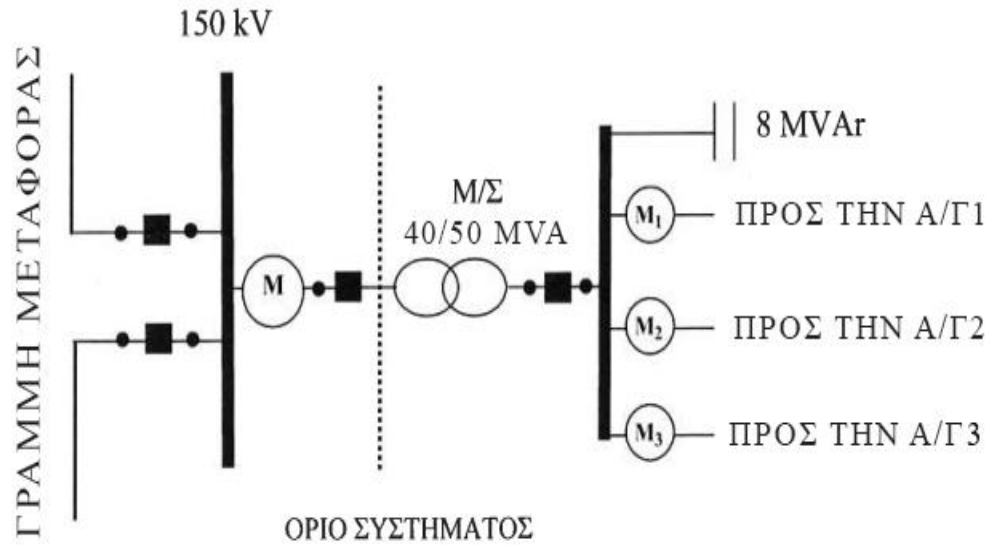
Για την διασύνδεση θα χρειαστεί καλώδιο Μ.Τ., το οποίο θα καταλήγει σε χερσαίο Υποσταθμό και από εκεί θα συνδέεται στο δίκτυο Υ.Τ. Πρόκειται για ένα διπολικό καλώδιο, δηλ. διαθέτει έναν αγωγό με θετική και έναν με αρνητική πολικότητα. Αποτελείται από πολυμερές μονωτικό υλικό, γεγονός που του προσφέρει ανθεκτικότητα στις περιβαλλοντικές και υδάτινες συνθήκες, αντοχή στην μεταφορά Υ.Τ. και ευκολία κατά την μεταφορά του αφού είναι πιο ελαφρύ από αγωγό εναλλασσόμενου ρεύματος. Επιπλέον είναι φιλικό προς το περιβάλλον, γιατί δεν χρησιμοποιούνται λάδια ή οποιουδήποτε είδους χημικού στοιχείου και με ικανότητα ανακύκλωσης.

Στην περιοχή μελέτης μας και ανάπτυξης του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου, υφίσταται ήδη – σε πολύ κοντινή απόσταση των 4χιλ.- δίκτυο Υ.Τ. και διαθέσιμος χώρος για δημιουργία χερσαίου Υποσταθμού.

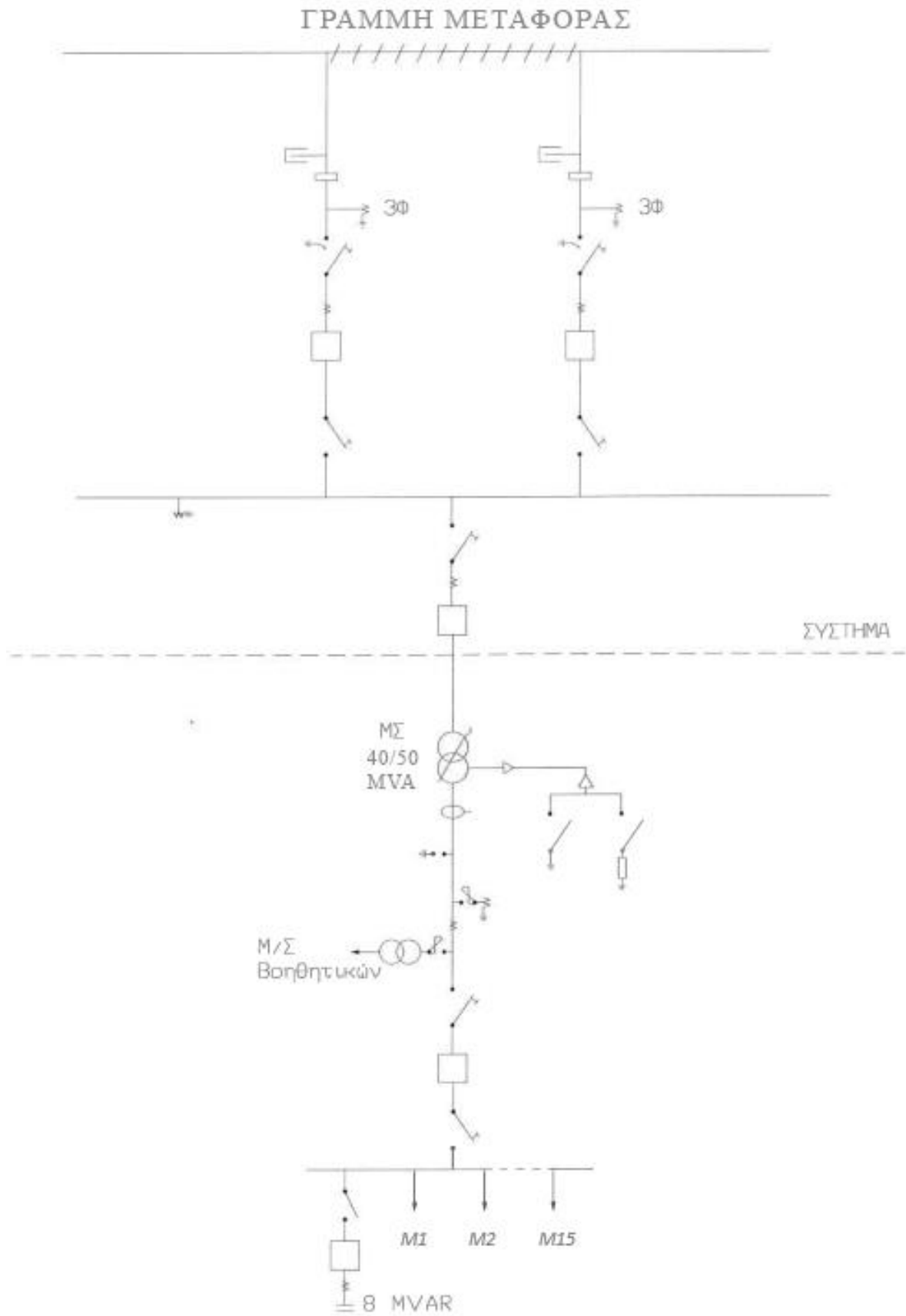
Ο Υποσταθμός θα περιλαμβάνει :

- Διάταξη ζυγών 150kV.
- Ένα (1) Μ/Σ 20/150kV ικανότητας 40/50MVA.
- Δύο (2) πλήρεις πύλες Γραμμής Μεταφοράς 150kV (με αποζεύκτη, διακόπτη ισχύος, γειωτή, κυματοπαγίδα, πυκνωτές ζεύξης, 3 Μ/Σ τάσης και 3 Μ/Σ έντασης).
- Μία (1) κυψέλη (ΚΨ) Υ.Τ. Μ/Σ για τον Μ/Σ.
- Μία (1) κυψέλη (ΚΨ) Μ.Τ. Μ/Σ για τον Μ/Σ.
- Πύλες αναχωρήσεως Γραμμών Μ.Τ. για τη σύνδεση των γραμμών Μ.Τ. από το Υ/Σ μέχρι το Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο.
- Πυκνωτή αντιστάθμισης αέργου ισχύος, ονομαστικής ισχύς 8MVar (στα 20kV) σε συστοιχίες των 4MVar συνδεδεμένους στην πλευρά 20kV του Μ/Σ με πλήρη πύλη Μ.Τ.

Για να είναι δυνατός ο καταμερισμός της εγχεόμενης ενέργειας μεταξύ των ανεμογεννητριών του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου θα εγκατασταθούν μετρητές τόσο στην πλευρά της Υ.Τ. του Μ/Σ (σημείο  $M_t$ ), όσο και στην άφιξη των δικτύων Μ.Τ. που θα συνδεθεί σε κάθε ανεμογεννήτρια (σημείο  $M_1, M_2, \dots, M_{15}$ ), σύμφωνα με την εικόνα 1.63.



Εικόνα 9.2 - Τρόπος σύνδεσης του ΥΑΠ



Εικόνα 9.3 - Αναλυτικό μονογραμμικό διάγραμμα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup> - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξαιτίας της αύξησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκλήθηκε από τη χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας, η χρήση αιολικής ενέργειας θα συμβάλλει ουσιαστικά στην αντιμετώπιση αυτών των περιβαλλοντικών ζητημάτων. Η αιολική ενέργεια θεωρείται ως η πιο συμφέρουσα Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας τόσο από οικονομικής, όσο και από τεχνολογικής άποψης. Λόγω αυτού, έχουν γίνει πρόσφατα σημαντικές επενδύσεις στον κλάδο της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη και στην χώρα μας. Η εξέλιξη της τεχνολογίας σταδιακά επέτρεψε τη δημιουργία εγκαταστάσεων αιολικών πάρκων σε μεγαλύτερη απόσταση από την ξηρά, δημιουργώντας όλο και πιο αποδοτικά αιολικά πάρκα.

Αν και τα παλαιότερα χρόνια αποτελούσε αρνητικό παράγοντα η δημιουργία Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων, με την γνώση που αποκτήθηκε από την χρήση των πλωτών ανεμογεννητριών, που έχουν αρχίσει να εμφανίζονται στην αγορά της αιολικής ενέργειας, παρέχεται πλέον η δυνατότητα να εξεταστεί η εγκατάστασή τους.

Τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα αποτελούν μία πρωτοποριακή ιδέα δίνοντας μια απάντηση στα προβλήματα με τα χερσαία αιολικά πάρκα. Η νέα τεχνολογία των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων εξαλείφει μειονεκτήματα, όπως είναι ο θόρυβος και η προφανής διατάραξη του τοπίου που προκαλείται από τα έργα. Η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για την κατασκευή ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου επηρεάζεται από πολλές μεταβλητές οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη, ώστε μια τοποθεσία να θεωρηθεί ότι είναι κατάλληλη για το έργο. Τα κριτήρια αυτά θα μπορούσαν να ταξινομηθούν ως τεχνικά, φυσικά ή ρυθμιστικά, ανάλογα με τη μορφή τους. Για παράδειγμα, η απόσταση του έργου από την ηπειρωτική χώρα και οι ιδιαιτερότητες του βυθού αποτελούν εμπόδια για την κατασκευή του πάρκου. Ωστόσο, επειδή το αιολικό και το δυναμικό που προέρχεται από τα κύματα κάθε περιοχής είναι ξεχωριστό και αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών, πρέπει να διερευνηθεί και να αναλυθούν προσεκτικά. Η τοποθέτηση ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου πρέπει να λαμβάνει υπόψη τους κανονισμούς χωροθέτησης, τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς, τις ζώνες οικονομικής ανάπτυξης και τους διαύλους ναυσιπλοΐας, οι οποίοι αποτελούν νομικές απαιτήσεις. Μελέτες έχουν δείξει ότι το κόστος επένδυσης ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου σχετίζεται με το βάθος της θεμελίωσης και την απόστασή του από την ακτή. Το βάθος του πυθμένα της θάλασσας καθορίζει τον τρόπο κατασκευής ενός πυλώνα ανεμογεννήτριας και το κόστος αυξάνεται όσο αυξάνεται το

βάθος. Η απόσταση εγκατάστασης από την ξηρά έχει αντίκτυπο στον χρόνο κατασκευής του έργου και στο κόστος. Επιπλέον, αποδείχθηκε ότι η διασπορά των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου έχει σημαντικό αντίκτυπο στο σημείο επιλογής που πρόκειται να τοποθετηθεί η εγκατάσταση. Ωστόσο, οι ακραίες καιρικές συνθήκες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση του πυλώνα, διότι αποτελούν σημαντική αιτία αποτυχίας του έργου. Στην πραγματικότητα, μια υπεράκτια ανεμογεννήτρια χρειάζεται ταχύτητα ανέμου όχι μεγαλύτερη από 6-7m/s για να λειτουργήσει σωστά. Ωστόσο, η συνέπεια της ταχύτητας του ανέμου αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποδοτικότητα της ανεμογεννήτριας και την παραγωγή ενέργειας. Σε περιοχές όπου η πλειονότητα των παρατηρήσεων ταχύτητας συγκεντρώνεται κάτω από τη μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας, οι ανεμογεννήτριες υψηλής ονομαστικής ισχύος (όπως τα 5MW) λειτουργούν με σημαντικά χαμηλότερο από τον τυπικό συντελεστή λειτουργίας, υστερώντας έναντι των ανεμογεννητριών χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος, κυρίως από άποψη κόστους.

Όσον αφορά την προσομοίωση που διενεργήσαμε στην παρούσα διπλωματική, εφαρμόσαμε ανεμολογικές μετρήσεις ενός έτους, οι οποίες περιείχαν τη μέση ταχύτητα, την ένταση, καθώς και τη διεύθυνση του ανέμου σε μία συγκεκριμένη περιοχή στην χώρα μας, σε προσομοιωτικό πρόγραμμα (WindFarm Release 4).

**Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι το πρόγραμμα προσομοίωσης που χρησιμοποιήσαμε έχει εφαρμογή σε χερσαία αιολικά πάρκα και ως εκ τούτου έγινε προσπάθεια σχετικής προσαρμογής των ως άνω δεδομένων μας, τόσο των ανεμολογικών (π.χ. υψόμετρο, τραχύτητα), όσο και της επιλογής των συγκεκριμένων μοντέλων ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκαν για την προσομοίωση και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.**

Με τη βοήθεια του προγράμματος πήραμε αποτελέσματα, ούτως ώστε να είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε την καταλληλότητα του σημείου για δημιουργία ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου. Λάβαμε δύο ειδών αποτελέσματα από την προσομοίωση σε μορφή διαγραμμάτων :

- το ένα με την μορφή ροδο-διαγράμματος, στο οποίο εμφανίζεται η μέση ταχύτητα ανέμου, καθώς και η επικρατούσα διεύθυνση, από τα αποτελέσματα των οποίων διευκρινίζεται η ταχύτητα και η φορά του ανέμου, και
- το άλλο με το διάγραμμα Weibull, στο οποίο εμφανίζονται οι κατανομές πυκνότητας πιθανότητας συναρτήσεως του χρόνου και της ταχύτητας του ανέμου, καταλήγοντας σε

συγκεκριμένα συμπεράσματα για ό,τι αφορά στα ανεμολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Πιο αναλυτικά, παρατηρώντας το ροδο-διάγραμμα, παρουσιάζεται στο πρώτο τεταρτημόριο η επικρατούσα διεύθυνση, δηλ. η διεύθυνση του ανέμου με την μεγαλύτερη συχνότητα, η οποία φτάνει σε μέση ταχύτητα ανέμου τα 10-15m/s, με κατεύθυνση βορειοανατολική. Σημειώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές της μέσης ταχύτητας του ανέμου εμφανίστηκαν κατά τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο) ξεκινώντας από 9,27m/s και φτάνοντας έως και 17,3m/s. Αντίστοιχα το διάγραμμα Weibull χωρίστηκε σε 12 τμήματα των 30° εμφανίζοντας την κατανομή της μέσης ταχύτητας ανά τον χρόνο διάρκειας των ανέμων, τα οποία είναι άμεσα εξαρτώμενα με το ροδο-διάγραμμα. Στα πρώτα τμήματα εμφανίζεται η υψηλότερη μέση τιμή του ανέμου φτάνοντας μέχρι και τα 14,5m/s, στη συνέχεια υπάρχει μια ύφεση της μέσης ταχύτητας του ανέμου που αντιστοιχούν στην θερινή περίοδο του χρόνου, ενώ στα τελευταία τμήματα επανέρχεται σε υψηλότερες τιμές κατά την έναρξη της χειμερινής περιόδου. Τέλος, στο συγκεντρωτικό διάγραμμα Weibull, λαμβάνουμε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την μέση ταχύτητα του ανέμου καθ'όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Όσον αφορά την χωροθέτηση του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου δημιουργήθηκε αρχικά μία συστοιχία αποτελούμενη από 15 ανεμογεννήτριες, η διάταξη των οποίων αναδιαμορφώθηκε μετά από την επιλογή της βελτιστοποίησης θέσης του προγράμματος προσομοίωσης WindFarm προσφέροντας βελτιωμένα αποτελέσματα στην ετήσια παραγόμενη ενέργεια. Έγινε σύγκριση με 3 διαφορετικά είδη μοντέλων ανεμογεννητριών, ώστε, μέσα από μικρές διαφορές που σημειώνονταν μεταξύ τους, να παρατηρήσουμε τις ανάλογες διαφοροποιήσεις στα τελικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, συγκρίνοντας το πρώτο μοντέλο ανεμογεννήτριας (VESTAS V80,2) με το δεύτερο (SIEMENS GAMESA G80,2), που η διαφορά τους επικεντρώνεται στην διαφορετική εταιρεία, παρατηρούμε ότι δεν σημειώνεται ουσιαστική διαφοροποίηση στα τελικά αποτελέσματα, ενώ με την σύγκριση του δεύτερου (SIEMENS GAMESA G80,2) με του τρίτου (SIEMENS GAMESA G83,2), που η διαφορά βρίσκεται στο μήκος διαμέτρου του ρότορα κατά μόνο 3m, βλέπουμε πως η διαφορά στα αποτελέσματα είναι σημαντική, τόσο στην ετήσια παραγόμενη ενέργεια, όσο και κατά συνέπεια στον συντελεστή αποδοτικότητας του πάρκου.

Παρότι στην Ελλάδα το 2027 θα δημιουργηθεί το πρώτο Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο, είναι εμφανές ότι οι περισσότερες χώρες στρέφονται προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέμα το οποίο θα απασχολήσει ακόμα και την Διεθνή Σύνοδο του ΟΗΕ τον Νοέμβριο 2023.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- [1] Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ - Η ελληνική οικονομική εφημερίδα, άρθρο από τις 17/01/23, <https://www.naftemporiki.gr/>
- [2] ΤΟ ΒΗΜΑ – Έντυπος τύπος, άρθρο από τις 13/02/22, <https://www.tovima.gr/>
- [3] Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ - Η ελληνική οικονομική εφημερίδα, άρθρο από τις 19/11/21, <https://www.naftemporiki.gr/>
- [4] ΤΟ ΒΗΜΑ Έντυπος Τύπος, άρθρο από τις 09/05/21, <https://www.tovima.gr/>
- [5] ΜΠΟΥΣΙΑΣ εκδόσεις
- [6] ΕΛΕΤΑΕΝ, <https://eletaen.gr/>
- [7] ΕΛΕΤΑΕΝ – Η έκδοση ask4wind, <https://eletaen.gr/i-ekdosi-ask4wind/>
- [8] wind-watch.org, <https://wind-watch.org/>
- [9] A. D. Hansen, F. Iov, F. Blaabjerg, and L. H. Hansen, “Review of contemporary wind turbine concepts and their market penetration,” J. Wind Eng., vol. 28, no. 3, pp. 247–263, 2004.
- [10] A. Q. Huang, M. L. Crow, G. T. Heydt, J. P. Zheng, and S. J. Dale, “The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: The energy Internet,” Proc. IEEE, vol. 99, no. 1, pp. 133–148, Jan. 2011.
- [11] I. Staffell, St. Pfenninger, Energy, 114 C “ Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output” pp. 1224–1239 20/06/23
- [12] J. Meyers, C. Meneveau, Wind Energy 15.2 Optimal turbine spacing in fully developed wind farm boundary layers, pp 305-317, 14/04/2011
- [13] Wald, 2018, rewi.org – Wind Turbine Interactions
- [14] Χρηστοφής Ι. Κορωναίος – ΕΜΠ, Μάρτιος 2012
- [15] ΚΑΠΕ – Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας <http://www.cres.gr>
- [16] <https://vortexbladeless.com>
- [17] [www.energia.gr](http://www.energia.gr)
- [18] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi, “Wind Energy Handbook”, Wiley Publications, 2001
- [19] E. Hau, “Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics”, 2nd Edition, Springer Publications, 2006
- [20] Α.Α. Κασίρος, «Τεχνολογία και Ανάπτυξη Παράκτιων Αιολικών Πάρκων και Τρόποι Διασύνδεσής τους στο Δίκτυο της ΔΕΗ», Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Σεπτέμβριος 2013

- [21] B. Snyder, M.J. Kaiser, “Ecological and Economic Cost-Benefit Analysis of Offshore Wind Energy” (Renewable Energy, Volume 34, Issue 6, pages 1567-1578), Elsevier, June 2009
- [22] iefimerida.gr, άρθρο από τις 25/04/23
- [23] Χαβιαρόπουλος, Π. Κ. (2016). Θαλάσσια αιολικά πάρκα, οι Ευρωπαϊκές εξελίξεις και οι Ελληνικές προοπτικές.
- [24] <https://ypodomos.com/>
- [25] ΡΑΕ – Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, <https://www.rae.gr/>
- [26] ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ, Έντυπος Τύπος, άρθρο energy press 2023
- [27] <http://www.capital.gr/>
- [28] Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ
- [29] S. Spyridonidou, D.G. Vagiona, E. Loukogeorgaki, “Strategic Planning of Offshore Wind Farms in Greece”, MDPI, January 2020
- [30] ΕΛΙΝΥΑΕ - ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
- [31] Global Wind Energy Council
- [32] GLOBAL WIND ATLAS - [https://globalwindatlas.info/en\\_US](https://globalwindatlas.info/en_US)
- [33] Πτυχιακή εργασία - Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα – Καλογεροπούλου Τζαννέτα (2010)
- [34] Πτυχιακή εργασία - Παράκτια Αιολικά Πάρκα - Σιάχος Ιωάννης και Μπίστας Νικόλαος (2019)
- [35] E. Hau, “Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics”, 2nd Edition, Springer Publications, 2006
- [36] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο)
- [37] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας – ΥΠΕΝ
- [38] «Διαύγεια»