



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ:
ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΙΣΧΥΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ,
ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ
ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ**



Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

**Κωνσταντίνου Κυριακίδη
ΑΜ: 3**

Επιβλέπων

**Γεώργιος Βόκας, Καθηγητής στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών
Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής**

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Γεώργιος Βόκας, Καθηγητής	
Γεώργιος Ιωαννίδης, Καθηγητής	
Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος, Καθηγητής	



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Κωνσταντίνος Κυριακίδης, Φεβρουάριος, 2021

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 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 ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κωνσταντίνος Κυριακίδης του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 3 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής 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 πτυχίου μου.»

Ο Δηλών



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:	«Υπεράκτια αιολικά πάρκα: δομικά στοιχεία, ισχύουσα κατάσταση, μελλοντικές προοπτικές και ενεργειακή μελέτη στον ελλαδικό χώρο»
ΦΟΙΤΗΤΗΣ:	Κωνσταντίνος Κυριακίδης
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:	Γεώργιος Βόκας, Καθηγητής στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:	2020-2021

Σύνοψη

Η διαπίστωση της εξαντλησιμότητας των συμβατικών πηγών ενέργειας οδήγησε τον άνθρωπο στην αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας που προσφέρονται άφθονες στο περιβάλλον. Μία από αυτές είναι η αιολική ενέργεια, η οποία παρότι αξιοποιείται ήδη σε μεγάλο βαθμό σε παγκόσμια κλίμακα, στην Ελλάδα αποτελεί ένα σχετικά πρόσφατο πεδίο έρευνας. Η αιολική ενέργεια δεν προσφέρεται μόνο στα χερσαία τμήματα του πλανήτη μας, αλλά και στα υδάτινα, εμφανίζοντας μάλιστα μεγαλύτερη προοπτική ανάπτυξης λόγω ύπαρξης ισχυρότερων ανέμων. Προκρίνεται επομένως ένα ευρύ πεδίο αξιοποίησης της τεχνολογίας αυτής, εφόσον το μεγαλύτερο μέρος του θαλάσσιου περιβάλλοντος της Γης παραμένει μέχρι και σήμερα αναξιοποίητο. Η τοποθέτηση ανεμογεννητριών στη θάλασσα με σκοπό τη δημιουργία θαλάσσιων αιολικών πάρκων δεν είναι εύκολη ή γρήγορη υπόθεση και πρόκειται για ένα πολυπαραγοντικό ζήτημα λήψης αποφάσεων, τόσο ως προς την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας, όσο και ως προς την επιλογή του ενδεδειγμένου τεχνικού εξοπλισμού. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, τα κόστη εγκατάστασης και ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης συνεχώς βελτιώνονται, όπως τείνει να συμβαίνει με οποιαδήποτε νέα τεχνολογία, για αυτό και προσελκύνονται ολοένα και περισσότεροι επενδυτές. Σύμφωνα με μελέτες, προβλέπεται σημαντική ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής μέσα στις επόμενες δεκαετίες, ικανή να διαμορφώσει ένα διαφορετικό ενεργειακό τοπίο σε παγκόσμια σφαίρα. Στην Ελλάδα, όπου το υδάτινο τοπίο είναι άφθονο, έγινε στο παρελθόν μια προσπάθεια ανάπτυξης των θαλάσσιων αιολικών πάρκων σε προκαθορισμένες περιοχές, όμως μέχρι σήμερα κανένα δεν έχει ξεκινήσει να λειτουργεί. Σχετική ενεργειακή μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε ένα υπό ανάπτυξη έργο των Διαπόντιων Νήσων δείχνει ότι ακόμα και έργα μικρής κλίμακας που έτσι κι αλλιώς δεν μπορούν να καλύψουν εξολοκλήρου τις ενεργειακές ανάγκες των μεγάλων αστικών κέντρων, είναι ικανά να συμβάλλουν στην αύξηση του ποσοστού της εγχώριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών και πιο συγκεκριμένα μέσω του ανέμου, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αποτελούν πανάκεια.

Λέξεις κλειδιά: υπεράκτια αιολικά πάρκα, υπεράκτια αιολική ισχύς, αιολική ενέργεια, αιολικό δυναμικό, ανεμογεννήτριες

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Περίληψη

Στο 1ο κεφάλαιο, που είναι κατά κύριο λόγο εισαγωγικό, αρχικά γίνεται αναφορά στη διάκριση των μορφών ενέργειας. Στη συνέχεια, προσδιορίζεται τι είναι οι ανανεώσιμες πηγές, γιατί παρατηρείται στροφή προς τη χρησιμοποίησή τους, καθώς και ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Τέλος, δίνονται κάποιες καίριες πληροφορίες σχετικά με την αιολική ενέργεια, καθώς και πως διαφοροποιείται αυτή όταν εντοπίζεται στη θάλασσα.

Στο 2ο κεφάλαιο εξηγείται ο φυσικός τρόπος δημιουργίας των ανέμων στη Γη και αναλύονται οι χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου που πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να γίνει σωστή εκτίμηση και μέτρηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής. Επίσης, γίνεται αναφορά στην κλίμακα μποφόρ και στον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται η ένταση του ανέμου με το υψόμετρο.

Στο 3ο κεφάλαιο αναλύονται τα βασικά δομικά και λειτουργικά στοιχεία των αιολικών μηχανών που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας και τη μετατροπή της σε ηλεκτρική, καθώς και ο μαθηματικός υπολογισμός της ισχύος τους. Επιπρόσθετα, παρατίθενται οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις και εξετάζεται το ζήτημα της αποδοχής τους από την κοινωνία.

Το 4ο κεφάλαιο αφορά τα θαλάσσια αιολικά πάρκα. Αρχικά, γίνεται αναφορά στην ιστορική αναδρομή της ανάπτυξης και εξέλιξής τους, παρατίθενται οι ωκεανογραφικές συνθήκες χωροθέτησής τους και επισημαίνονται τα δομικά τους χαρακτηριστικά και οι τεχνικές τους απαιτήσεις. Ακολουθεί παρουσίαση των διαφορετικών τύπων θεμελιώσεων των αιολικών μηχανών στον πυθμένα της θάλασσας, αναφορά στους ανασταλτικούς παράγοντες ανάπτυξης ενός θαλάσσιου αιολικού πάρκου, καθώς και εκτενής ανάλυση των απαιτούμενων ηλεκτρικών υποδομών ενός τέτοιου έργου. Ένα ακόμα ζήτημα που θίγεται στο κεφάλαιο είναι η μεθοδολογία μεταφοράς και εγκατάστασης των αιολικών μηχανών στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επιπρόσθετα, αναλύονται οι κύριοι τρόποι σύνδεσης στο δίκτυο και τα διαθέσιμα συστήματα μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας. Το κεφάλαιο κλείνει με την αναφορά στους τρόπους ελέγχου της λειτουργίας των θαλάσσιων αιολικών πάρκων και της συντήρησής τους και με καταγραφή των πλεονεκτημάτων των πάρκων αυτών έναντι των χερσαίων.

Το 5ο κεφάλαιο ξεκινά με την παροχή πληροφοριών σχετικά με τον οργανισμό της WindEurope και συνεχίζεται με την παράθεση στοιχείων όπως αυτά δημοσιεύτηκαν σε σχετικές μελέτες του οργανισμού. Αυτές, αφορούν την τωρινή κατάσταση της υπεράκτιας αιολικής τεχνολογίας, τα πιθανά σενάρια εξέλιξης της τεχνολογίας αυτής το 2030, καθώς και τις προοπτικές και τους επιδιωκόμενους στόχους μέχρι το 2050.

Στο 6ο κεφάλαιο γίνεται λόγος για τον εθνικό στρατηγικό σχεδιασμό ανάπτυξης των θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Πιο ειδικά, αναλύεται το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο, τα προτεινόμενα κριτήρια απόρριψης περιοχών, η εξέλιξη του σχετικού εθνικού νομοθετικού πλαισίου, καθώς και η πλήρης αδειοδοτική διαδικασία. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τον σχετικό γεωπληροφοριακό χάρτη της ΡΑΕ, καταγράφονται όλα τα θαλάσσια αιολικά πάρκα που είναι σε φάση ανάπτυξης ή εξέτασης στον ελλαδικό χώρο, (εξαιρώντας τα έργα που έχουν απορριφθεί όλον αυτόν τον καιρό), καθώς και μερικά βασικά τους χαρακτηριστικά.

Στο 7ο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται ενεργειακή μελέτη ανάλυσης αιολικού δυναμικού και εκτίμησης ενεργειακής παραγωγής θαλάσσιου αιολικού πάρκου στον ελλαδικό χώρο. Συγκεκριμένα, αφορά θαλάσσιο αιολικό πάρκο ισχύος 30,25 MW στην θέση «Πλατεία» της κοινότητας Μαθρακίου. Το κεφάλαιο κλείνει με την εξαγωγή καίριων συμπερασμάτων.

Στο τέλος, δίνονται η βιβλιογραφία και το παράρτημα της εργασίας.



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

POST-GRADUATE THESIS: **“Offshore wind farms: structural elements, current situation, future perspectives and energy study in Greece”**

STUDENT: **Konstantinos Kyriakidis**

SUPERVISOR: **Georgios Vokas, Professor in the Department of Electrical and Electronics Engineering of University of West Attica**

ACADEMIC YEAR: **2020-2021**

Abstract

The ascertainment of the exhaustion of conventional energy sources has led human to search for new energy sources that are offered in abundance in the environment. One of them is wind energy, which although is already widely used on a global scale, in Greece is a relatively recent field of research. Wind energy is not only offered in the land parts of our planet, but also in the water, showing even greater growth prospects due to the existence of stronger winds. A wide field of utilization of this technology is therefore appeared, since most of the Earth's marine environment remains untapped to this day. Installing wind turbines at sea for the purpose of creating offshore wind farms is not an easy or quick task and it is a multifactorial decision-making issue, both in terms of choosing the right location and in terms of selecting the appropriate technical equipment. With the development of technology, installation costs and payback time of the investments are constantly improving, as is the case with any new technology, which is why more and more investors are attracted. According to studies, this technology is expected to develop significantly in the coming decades, capable of shaping a different energy situation on a global scale. In Greece, where the water landscape is abundant, an attempt has been made in the past to develop offshore wind farms in predetermined areas, but to date no one has started operating. A relevant energy study carried out on a developing project in the Diapontian Islands shows that even small-scale projects that can no longer fully meet the energy needs of large urban centers are able to contribute to increasing the share of domestic electricity production through renewable sources and more specifically through the wind, without this meaning that they are a panacea.

Keywords: offshore wind farms, offshore wind power, wind power, wind energy potential, wind turbines



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Summary

In chapter 1, which is mainly introductory, reference is first made to the distinction of forms of energy. Next, it is identified what renewable sources are, why there is a shift towards their use and what their advantages and disadvantages are. Finally, some key information is given about wind energy, as well as how it differs when located at sea.

In chapter 2 the natural way of winds creation on Earth is explained and the characteristic parameters of the wind that must be taken into account in order to properly assess and measure the wind potential of an area are analyzed. Reference is also made to the Beaufort scale and to the way in which wind intensity changes with altitude.

In chapter 3 the basic structural and functional elements of wind turbines used to utilize wind energy and its conversion into electricity are analyzed, as well as the mathematical calculation of their power. In addition, their environmental impact is presented and the issue of their acceptance by society is examined.

Chapter 4 refers to offshore wind farms. First, reference is made to the historical background of their development and evolution, the oceanographic conditions of their positioning are listed and their structural characteristics and technical requirements are pointed out. The following is an exposition of the different types of wind turbine foundations on the seabed, a reference to the inhibitory factors of an offshore wind farm development, as well as an extensive analysis of the required electrical infrastructure of such a project. Another issue raised in the chapter is the methodology of transport and installation of wind turbines in the marine environment. In addition, the main ways of connection to the network and the available energy transmission systems are analyzed. The chapter closes with a reference to the ways of controlling the operation of the offshore wind farms and their maintenance and by recording their advantages over the onshore wind farms.

Chapter 5 begins with giving information about WindEurope's organization and continues with data as published in relevant studies of the organization. These studies refer to the current state of offshore wind technology, the possible scenarios for the development of this technology in 2030, as well as the prospects and goals pursued until 2050.

In chapter 6 the national strategic development plan for offshore wind farms is discussed. More specifically, the proposed methodological framework, the proposed site rejection criteria, the evolution of the relevant national legislative framework, as well as the full licensing process are analyzed.

In the 7th and last chapter an energy study of wind potential analysis and estimation of energy production of an offshore wind farm in Greece is presented. Specifically, it concerns an offshore wind farm with a capacity of 30,25 MW in the location "Plateia" of the community of Mathraki. The chapter ends with the inference of key conclusions.

In the end, bibliography and appendix of this thesis are given.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που διέθεσαν μέρος του πολύτιμου χρόνου τους, με σκοπό την παροχή καίριων συμβουλών και πληροφοριών σχετικά με το θέμα που πραγματεύεται. Συγκεκριμένα, πρόκειται για τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Γεώργιο Βόκα και τον κύριο Συμεών Βαγενά, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό ΕΜΠ (εκπροσωπώντας την εταιρεία ΕΝΤΕΚΑ). Έπειτα, αισθάνομαι την ανάγκη να απευθύνω τις ευχαριστίες μου και στους υπόλοιπους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος που μας εφοδίασαν με τις κατάλληλες γνώσεις ώστε να βελτιωθούμε σχετικά με την ειδικότητά μας, τόσο στο τεχνικό υπόβαθρο, όσο και στο ζήτημα της κριτικής σκέψης και της λήψης αποφάσεων. Τέλος, δεν μπορώ να μην εκφράσω την ελάχιστη τουλάχιστον ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους όλα τα χρόνια της ζωής μου και για τον αδιάλειπτο τρόπο με τον οποίο στηρίζουν πάντα τις σπουδές μου.



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	13
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	16
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	17
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο - ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	20
1.1 Μορφές ενέργειας.....	20
1.2 Στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).....	21
1.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	22
1.3 Αιολική ενέργεια.....	24
1.3.1 Χρήσεις αιολικής ενέργειας.....	26
1.3.2 Συστήματα αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας.....	27
1.4 Υπεράκτια αιολική ενέργεια (ΥΑΕ).....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο - ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ (Α/Δ)	31
2.1 Πηγή των ανέμων.....	31
2.2 Το κλίμα της Γης και της Ελλάδας.....	33
2.3 Εκτίμηση Α/Δ.....	36
2.4 Χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου.....	36
2.5 Μέτρηση και ανάλυση του Α/Δ μιας περιοχής.....	42
2.5.1 Εκτίμηση Α/Δ από υπάρχοντα ανεμολογικά στοιχεία.....	44
2.5.2 Εκτίμηση του Α/Δ με την κατανομή Weibull.....	44
2.5.3 Κλίμακα μποφόρ.....	48
2.6 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με το ύψος.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο - ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (Α/Γ).....	52
3.1 Γενικά.....	52
3.2 Κατάταξη Α/Γ	52
3.3 Δομή Α/Γ οριζοντίου άξονα.....	57
3.3.1 Δρομέας ή ρότορας.....	58
3.3.2 Πτερύγια.....	59
3.3.3 Πλήμνη.....	60

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

3.3.4 Σύστημα μετάδοσης κίνησης.....	60
3.3.5 Ηλεκτρική γεννήτρια και σύστημα ψύξης.....	61
3.3.6 Σύστημα πέδησης ή φρένο δρομέα.....	62
3.3.7 Σύστημα προσανατολισμού ή εκτροπής.....	62
3.3.8 Σύστημα ελέγχου.....	63
3.3.9 Πύργος στήριξης.....	64
3.3.10 Ηλεκτρικός πίνακας.....	65
3.4 Αντικεραυνική προστασία και γείωση.....	66
3.5 Ισχύς Α/Γ.....	66
3.6 Λειτουργικά χαρακτηριστικά.....	68
3.6.1 Απόδοση ισχύος.....	68
3.6.2 Διαθεσιμότητα.....	70
3.6.3 Υπολογισμός ετήσιας ενέργειας.....	70
3.6.4 Απόδοση συστοιχίας Α/Γ.....	71
3.7 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	71
3.7.1 Οπτικοακουστική όχληση.....	72
3.7.2 Επίδραση στο οικοσύστημα.....	72
3.7.3 Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή.....	73
3.7.4 Θόρυβος.....	73
3.8 Κοινωνική διάσταση.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ (ΥΑΠ).....	76
4.1 Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη.....	76
4.2 Ωκεανογραφικές συνθήκες χωροθέτησης.....	79
4.2.1 Βάθος υδάτων.....	79
4.2.2 Αιολικοί πόροι.....	80
4.2.3 Πυθμένας.....	82
4.3 Δομή ΥΑΠ και τεχνικές απαιτήσεις υπεράκτιων Α/Γ.....	82
4.3.1 Εξοπλισμός τουρμπίνας.....	83
4.3.2 Ύψος πύργου.....	83
4.3.3 Φάσμα φορτίου.....	83
4.4 Θεμελίωση στη θάλασσα.....	84
4.4.1 Θεμελίωση μονού πυλώνα.....	85
4.4.2 Θεμελίωση βαρύτητας.....	86

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

4.4.3 Θεμελίωση δικτύωματος (jacket).....	87
4.4.4 Θεμελίωση τριπόδου.....	87
4.4.5 Πλωτές εξέδρες.....	88
4.5 Ανασταλτικοί παράγοντες.....	90
4.5.1 Πάγος.....	90
4.5.2 Διάβρωση.....	91
4.6 Ηλεκτρικές υποδομές.....	92
4.6.1 Εσωτερικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.....	93
4.6.2 Υπεράκτιος υποσταθμός.....	93
4.6.3 Υποβρύχιο καλώδιο.....	94
4.6.4 Σύνδεση με το διασυνδεδεμένο δίκτυο στη στεριά.....	98
4.7 Μεταφορά και εγκατάσταση υπεράκτιων Α/Γ.....	98
4.8 Τοπολογίες σύνδεσης υπεράκτιων Α/Γ.....	100
4.8.1 AC σύστημα συλλογής ενέργειας.....	101
4.8.2 DC σύστημα συλλογής ενέργειας.....	104
4.9 Συστήματα μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας.....	108
4.10 Έλεγχος λειτουργίας και συντήρηση.....	112
4.11 Πλεονεκτήματα ΥΑΠ.....	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° - ΕΚΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ WINDEUROPE.....	118
5.1 Γενικά για τη WindEurope.....	118
5.2 Τωρινή κατάσταση.....	119
5.2.1 Επισκόπηση.....	119
5.2.2 Σωρευτική εικόνα.....	121
5.2.3 Ονομαστική ισχύς υπεράκτιων Α/Γ.....	122
5.2.4 Μέγεθος ΥΑΠ.....	123
5.2.5 Βάθος νερού και απόσταση από την ακτογραμμή.....	125
5.2.6 Αποτύπωση των μεριδίων της αγοράς.....	126
5.2.7 Επενδυτική δραστηριότητα.....	128
5.3 Σενάρια για το 2030.....	129
5.4 Προοπτικές για το 2050.....	132
5.4.1 Κατανομή ισχύος σε βόρεια και νότια ύδατα.....	134
5.4.2 Επιδιωκόμενοι ρυθμοί και στάδια ανάπτυξης ΥΑΠ.....	136
5.4.3 Προκλήσεις.....	138

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

5.4.4 Εισαγωγή και εξαγωγή ΥΑΙ.....	140
5.4.5 Αναπτυξιακή πολιτική.....	141
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° - ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΥΑΠ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	144
6.1 Στρατηγικός σχεδιασμός.....	144
6.1.1 Μεθοδολογία.....	146
6.1.2 Κριτήρια απόρριψης περιοχών.....	148
6.2 Εξέλιξη του εθνικού νομοθετικού πλαισίου.....	154
6.2.1 Ισχύουσα νομοθεσία.....	155
6.3 Διαδικασία αδειοδότησης.....	157
6.3.1 Άδεια παραγωγής.....	157
6.3.2 Προσφορά σύνδεσης στο σύστημα ή σε δίκτυο.....	158
6.3.3 Έγκριση περιβαλλοντικών όρων.....	160
6.3.4 Άδεια εγκατάστασης.....	161
6.3.5 Συμβάσεις σύνδεσης στο σύστημα και αγοραπωλησίας.....	162
6.3.6 Δοκιμαστική περίοδος και άδεια λειτουργίας.....	162
6.4 Κατάσταση αγοράς ΥΑΠ στην Ελλάδα.....	163
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7° - ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	168
7.1 Βασικά εισαγωγικά στοιχεία.....	168
7.2 Περιγραφή της εξεταζόμενης περιοχής.....	168
7.3 Αξιολόγηση διαθέσιμου Α/Δ.....	169
7.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά ιστού.....	169
7.3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων.....	170
7.4 Ενεργειακοί υπολογισμοί.....	174
7.4.1 Δεδομένα εισόδου.....	175
7.4.2 Ετήσια ενεργειακή παραγωγή.....	177
7.4.3 Υπολογισμός απωλειών.....	178
7.5 Συμπεράσματα.....	179
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	181
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	186

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

ΑΑ	Αριθμός Αίτησης
Α/Α	Αύξων Αριθμός
Α/Γ	Ανεμογεννήτρια
Α/Δ	Αιολικό Δυναμικό
ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΟΖ	Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΑΠΕΕΠ	Διαχειριστής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εγγυήσεων Προέλευσης
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΔΕΣΜΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΕΓΣΑ 87	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΝΤΕΚΑ	Ενεργειακή Τεχνική Κατασκευαστική
ΕΠΟ	Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων
ΕΣΕΚ	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
ΛΑΓΗΕ	Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΓΠ	Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών
ΣΚΕ	Σταθμισμένο κόστος ενέργειας
ΤΕΑ	Τελική Επενδυτική Απόφαση
ΥΑΕ	Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια
ΥΑΙ	Υπεράκτια Αιολική Ισχύς
ΥΑΠ	Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο
ΥΑΤ	Υπεράκτια Αιολική Τεχνολογία
ΥΥΠ	Υβριδικά Υπεράκτια Πάρκα
ΧΑΠ	Χερσαία Αιολικά Πάρκα
WGS 84	World Geodetic System 1984

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Χωρική κατανομή εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στον ελλαδικό χώρο, όπως διαμορφώθηκε το 2020.....	26
Εικόνα 1.2: Πυκνότητα της ΥΑΙ στους ωκεανούς του πλανήτη, τη χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο.....	29
Εικόνα 1.3: Συνολικό πλήθος εγκεκριμένων και μη ΥΑΠ παγκοσμίως ανά χώρα.....	30
Εικόνα 2.1: Ενδεικτικά μεγέθη της ετήσιας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη Γη.....	31
Εικόνα 2.2: Γενικό μοτίβο κυκλοφορίας των ανέμων της Γης.....	32
Εικόνα 2.3: Κλιματική ταξινόμηση του Κέππεν	33
Εικόνα 2.4: Αιολικός χάρτης της Ελλάδας από τη ΡΑΕ.....	35
Εικόνα 2.5: Στρωτή και τυρβώδης κίνηση του ανέμου κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.....	40
Εικόνα 2.6: Τυπικά ανεμόμετρα (κυπελλοφόρο, θερμού νήματος, υπερήχων, ελικοφόρο)	43
Εικόνα 2.7: Ανεμοδείκτες τύπου NRG 200 και W200P/L.....	43
Εικόνα 2.8: Γεωγραφική διανομή παραμέτρου C.....	47
Εικόνα 2.9: Γεωγραφική διανομή παραμέτρου K.....	48
Εικόνα 3.1: Τύποι Α/Γ κατακόρυφου άξονα.....	53
Εικόνα 3.2: Τύποι Α/Γ οριζόντιου άξονα.....	54
Εικόνα 3.3: Σχηματικό διάγραμμα Α/Γ σταθερής ταχύτητας περιστροφής (N-κιβώτιο οδοντωτών τροχών μετάδοσης κίνησης, Α-ασύγχρονη επαγωγική γεννήτρια, SS-εκκινητής soft starter, PFC-διόρθωση συντελεστή ισχύος, Tx-μετασχηματιστής)	55
Εικόνα 3.4: Σχηματικό διάγραμμα Α/Γ για λειτουργία σε μεταβλητές ταχύτητες (N-κιβώτιο ταχυτήτων, S-σύγχρονη γεννήτρια, R-ανορθωτής, I-αντιστροφέας, Tx-μετασχηματιστής).....	56
Εικόνα 3.5: Σκαρίφημα Α/Γ οριζοντίου άξονα	57
Εικόνα 3.6: Φτερωτή Α/Γ ανάντη και κατόντη σε σχέση με τη ροή του ανέμου	58
Εικόνα 3.7: Σκαρίφημα συστήματος μετάδοσης κίνησης (ισχύος) Α/Γ οριζόντιου άξονα.....	61
Εικόνα 3.8: Διάγραμμα λειτουργίας και ελέγχου Α/Γ.....	64
Εικόνα 3.9: Τα 2 βασικά είδη πύργων στήριξης Α/Γ.....	65
Εικόνα 3.10: Ροϊκός σωλήνας δρομέα τυπικής Α/Γ.....	67
Εικόνα 3.11: Επίπεδα θορύβου Α/Γ σε σχέση με την απόσταση παρατηρητή	74
Εικόνα 4.1: ΥΑΠ Vindeby (περιοχή ακτής Lolland) της Δανίας (το 1ο ΥΑΠ στην ιστορία παγκοσμίως).....	77

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Εικόνα 4.2: ΥΑΠ Hornsea One του Ηνωμένου Βασιλείου (το μεγαλύτερο ΥΑΠ σε λειτουργία στον κόσμο την παρούσα στιγμή, με δεδομένη απώλεια όμως των πρωτείων από μελλοντικά έργα).....	79
Εικόνα 4.3: Χάρτης θαλάσσιων αιολικών πόρων της Ευρώπης, βάσει της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 40 m από το έδαφος και αφθονία αυτών (υψηλή, μέση, χαμηλή, πολύ χαμηλή).....	81
Εικόνα 4.4: Βασικά δομικά μέρη ΥΑΠ.....	82
Εικόνα 4.5: Κυριότεροι τύποι θεμελιώσεων υπεράκτιων Α/Γ.....	85
Εικόνα 4.6: Τοποθέτηση μονού πυλώνα στο ΥΑΠ Borkum Riffgrund 1 της Γερμανίας.....	85
Εικόνα 4.7: Θεμελίωση βαρύτητας στο ΥΑΠ Blyth του Ηνωμένου Βασιλείου (αποσύρθηκε το 2019).....	86
Εικόνα 4.8: Τοποθέτηση θεμελίωσης τύπου δικτυώματος στο ΥΑΠ Ormonde της Ιρλανδίας και θεμελιώσεις τριπλού πυλώνα στο ΥΑΠ Bard της Γερμανίας.....	87
Εικόνα 4.9: Τοποθέτηση θεμελίωσης με τρίποδο στο ΥΑΠ Trianel Windpark Borkum (πρώην Borkum West 2) της Γερμανίας.....	88
Εικόνα 4.10: Πλωτό ΥΑΠ Hywind Scotland της Σκωτίας (το 1ο πλωτό ΥΑΠ στην ιστορία) και πλωτό ΥΑΠ WindFloat Atlantic της Πορτογαλίας (το μεγαλύτερο πλωτό ΥΑΠ στον κόσμο την παρούσα στιγμή).....	89
Εικόνα 4.11: Α/Γ καλυμμένη από πάγο.....	91
Εικόνα 4.12: Εμφάνιση του φαινομένου της διάβρωσης σε μονό πυλώνα.....	91
Εικόνα 4.13: Τυπικό σχεδιάγραμμα ηλεκτρικού συστήματος ΥΑΠ.....	93
Εικόνα 4.14: Υποσταθμός του ΥΑΠ Thanet του Ηνωμένου Βασιλείου.....	94
Εικόνα 4.15: Τύποι καλωδίων σύνδεσης ενός ΥΑΠ.....	95
Εικόνα 4.16: Δομικά χαρακτηριστικά τριφασικού υποβρύχιου καλωδίου.....	95
Εικόνα 4.17: Σχηματική απεικόνιση εγκατάστασης υποβρύχιων καλωδίων (μεταφορά με ειδικό πλοίο και εφαρμογή κλίσης και τοποθέτησης στον βυθό μέσω ειδικού μηχανισμού).....	96
Εικόνα 4.18: Ανάπτυξη υποβρύχιου καλωδίου προς τοποθέτηση στο ΥΑΠ SeaMade του Βελγίου.....	97
Εικόνα 4.19: Μεταφορά προσυναρμολογημένου ρότορα (διαμέτρου 70 m) προς τοποθέτηση στο ΥΑΠ Yttre Stengrund της Σουηδίας (δεν βρίσκεται πλέον σε λειτουργία καθότι το 2015 έγινε το 1ο αποσυρθέν ΥΑΠ στον κόσμο).....	99
Εικόνα 4.20: Υπεράκτια Α/Γ με πλατφόρμα υποστήριξης ελικοπτέρου.....	100
Εικόνα 4.21: Ενδεικτική ΑC ακτινική τοπολογία.....	101
Εικόνα 4.22: Ενδεικτική ΑC τοπολογία δακτυλίων μονής συστάδας.....	102
Εικόνα 4.23: Ενδεικτική ΑC τοπολογία δακτυλίων διπλής συστάδας.....	103
Εικόνα 4.24: Ενδεικτική ΑC τοπολογία αστέρων.....	103

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Εικόνα 4.25: Ενδεικτική AC τοπολογία πολλαπλών δακτυλίων.....	104
Εικόνα 4.26: Ενδεικτικές DC τοπολογίες παράλληλης σύνδεσης.....	106
Εικόνα 4.27: Ενδεικτικές DC τοπολογίες εν σειρά σύνδεσης και υβριδικής διάταξης.....	107
Εικόνα 4.28: Παράδειγμα HVAC διασύνδεσης αιολικού πάρκου (600 MW) με το δίκτυο.....	109
Εικόνα 4.29: Παράδειγμα διασύνδεσης αιολικού πάρκου (500 MW) με το δίκτυο, βάσει του συστήματος HVDC-LCC με STATCOM.....	110
Εικόνα 4.30: α) Τυπικό αιολικό πάρκο σύνδεσης HVDC (600 MW) με χρήση 2 VSC και β) Τυπικό αιολικό πάρκο σύνδεσης HVDC (500 MW) με χρήση 1 VSC.....	111
Εικόνα 5.1: Ευρωπαϊκός χάρτης επισκόπησης της τωρινής κατάστασης των ΥΑΠ.....	120
Εικόνα 5.2: Εξέλιξη ισχύος και διαστάσεων τυπικών Α/Γ ανά πενταετία.....	123
Εικόνα 5.3: Μακροοικονομικά οφέλη αιολικής ενέργειας των 3 σεναρίων του 2030.....	130
Εικόνα 5.4: Κατανομή των 450 GW ΥΑΙ που είναι ο στόχος του 2050 στην Ευρώπη.....	133
Εικόνα 5.5: Τυπικό χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης ΥΑΠ.....	137
Εικόνα 5.6: Χάρτης εισαγωγών-εξαγωγών ΥΑΙ σύμφωνα με την προοπτική του 2050.....	141
Εικόνα 6.1: Θεματικοί χάρτες ελληνικού τοπίου (ταχύτητα υπεράκτιων ανέμων, προστατευμένες θαλάσσιες περιοχές, βάθος υδάτων, ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας).....	145
Εικόνα 6.2: Προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για τα ΥΑΠ στην Ελλάδα.....	146
Εικόνα 6.3: α) Γενικός χάρτης αποκλεισμού και β) Γενικός χάρτης καταλληλότητας εγκατάστασης ΥΑΠ στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο (παράβλεψη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας).....	153
Εικόνα 7.1: Χάρτης χωροθέτησης του έργου προς μελέτη.....	169
Εικόνα 7.2: Πρότυπο ανεμολόγιο (στην αγγλική γλώσσα).....	173



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Η κλίμακα Μποφόρ και η περιγραφή συνθηκών σε στεριά και θάλασσα.....	49-50
Πίνακας 3.1: Τα είδη των Α/Γ σύμφωνα με τα 3 βασικά κριτήρια κατηγοριοποίησης.....	52
Πίνακας 4.1: Απόδοση στη μεταφορά ισχύος για ένα τριφασικό θαλάσσιο καλώδιο των 145 KV, ανάλογα με την απόσταση (μήκος καλωδίου).....	98
Πίνακας 5.1: Γενική εικόνα των συνδεδεμένων στο δίκτυο ΥΑΠ κατά το πέρας του 2020 (χώρα, συνολικό πλήθος συνδεδεμένων ΥΑΠ, συνολική ΥΑΙ, συνολικό πλήθος υπεράκτιων Α/Γ, ισχύς που συνδέθηκε το 2020, υπεράκτιες Α/Γ που συνδέθηκαν το 2020).....	121
Πίνακας 5.2: Επενδύσεις που έφτασαν στην ΤΕΑ το 2020 στην Ευρώπη και μερικά στοιχεία αυτών.....	128
Πίνακας 5.3: Εγκατεστημένη ισχύς (σε GW) σύμφωνα με τα 3 σενάρια, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που θα καλύπτεται από την αιολική ενέργεια στην Ευρώπη (οι τιμές αφορούν ΧΑΠ, ΥΑΠ και το σύνολο αυτών των 2).....	131
Πίνακας 5.4: Συνολική ΥΑΙ (σε GW) το 2030 και μερίδιο ανά χώρα, σύμφωνα με τα 3 πιθανά σενάρια.....	132
Πίνακας 5.5: Χαρτογράφηση αναπτυξιακής πολιτικής για την ΥΑΤ.....	142-143
Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά των κριτηρίων απόρριψης σχετικά με την εγκατάσταση ΥΑΠ.....	152
Πίνακας 6.2: Κατηγορίες έργων αιολικών πάρκων ηλεκτροπαραγωγής.....	161
Πίνακας 6.3: Τωρινή εικόνα ενεργών, υπό ανάπτυξη και υπό αξιολόγηση ΥΑΠ στον ελλαδικό χώρο.....	164-167
Πίνακας 7.1: Γενικά χαρακτηριστικά του κοντινότερου ανεμολογικού ιστού.....	170
Πίνακας 7.2: Εξαγόμενα συμπεράσματα από την κατανομή Weibull.....	170
Πίνακας 7.3: Υπολογισμός ταχύτητας ανέμου στο ύψος της πλήμνης.....	173
Πίνακας 7.4: Τιμές συντελεστή α στις κύριες κατευθύνσεις ανέμου.....	174
Πίνακας 7.5: Πρότυπες μετρήσεις εξαγωγής της καμπύλης ισχύος Α/Γ τύπου NM92.....	176
Πίνακας 7.6: Συντεταγμένες των Α/Γ του έργου κατά τα συστήματα ΕΓΣΑ 87 και WGS 84...	177
Πίνακας 7.7: Ενεργειακή παραγωγή του μελετηθέντος ΥΑΠ.....	178
Πίνακας 7.8: Αποτύπωση ενεργειακών απωλειών και ολικής καθαρής ενεργειακής παραγωγής ετησίως.....	179

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς (σε MW) παγκοσμίως με το πέρας των ετών (το 2019 έφτασε στα 650.758 MW).....	25
Σχήμα 1.2: Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς (σε MW) στην Ελλάδα, όπως διαμορφώθηκε στο πέρας των ετών.....	25
Σχήμα 2.1: Ανεμολόγιο με τα ονόματα των ανέμων βάσει της διεύθυνσής τους.....	38
Σχήμα 2.2: Τυπικό ροδόγραμμα Αθήνας (περίοδος 31/12/2007-03/07/2020).....	38
Σχήμα 2.3: Μεταβολή του ύψους του ατμοσφαιρικού στρώματος ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους.....	39
Σχήμα 2.4: Μεταβολή της ταχύτητας ανέμου σε σχέση με το ύψος και την τραχύτητα του εδάφους.....	41
Σχήμα 2.5: Τυπική καμπύλη μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με το ύψος.....	41
Σχήμα 2.6: Κατανομή Weibull για διάφορες τιμές του K και για μέση ταχύτητα 8 m/s.....	46
Σχήμα 2.7: Κατανομή Weibull για διάφορες τιμές του C και με $K = 2$	47
Σχήμα 3.1: Καμπύλη ισχύος ενδεικτικής Α/Γ 200 KW με έλικα αυτοπέδησης.....	69
Σχήμα 4.1: Λογαριθμικά προφίλ της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με το ύψος, για τυπική χερσαία και υπεράκτια Α/Γ.....	81
Σχήμα 4.2: Χαρακτηριστικό διάγραμμα χρήσης συστημάτων υψηλής τάση.....	108
Σχήμα 4.3: Αλληλεπίδραση της αξιοπιστίας, της διαθεσιμότητας και της προσβασιμότητας σε χερσαίες, παράκτιες, υπεράκτιες και απομακρυσμένες υπεράκτιες τοποθεσίες.....	112
Σχήμα 5.1: Ετήσια εγκατάσταση ΥΑΙ ανά χώρα (αριστερά) και συνολική εγκατεστημένη ΥΑΙ (δεξιά).....	119
Σχήμα 5.2: Σωρευτική εγκατεστημένη ΥΑΙ (σε MW), αναγωγή σε ποσοστά και πλήθος Α/Γ ανά χώρα.....	122
Σχήμα 5.3: Σωρευτική εγκατεστημένη ΥΑΙ (σε MW), ανά θαλάσσια περιοχή και αναγωγή σε ποσοστό.....	122
Σχήμα 5.4: Ετήσιος μέσος όρος ονομαστικής ισχύος των νέων κάθε χρόνο υπεράκτιων Α/Γ ...	123
Σχήμα 5.5: Μέσο ετήσιο μέγεθος εμπορικών ΥΑΠ στην Ευρώπη.....	124
Σχήμα 5.6: Μέση ονομαστική ισχύς υπεράκτιων Α/Γ και πλήθος Α/Γ στα ΥΑΠ υπό κατασκευή, βάσει των 6 πιο δραστήριων ευρωπαϊκών χωρών.....	124

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Σχήμα 5.7: Μέσο βάθος νερού και απόσταση από την ακτογραμμή ΥΑΠ υπό κατασκευή, για το 2020, βάσει των 6 πιο δραστήριων ευρωπαϊκών χωρών (το μέγεθος των χρωματισμένων κύκλων υποδεικνύει και το μέγεθος των εγκαταστάσεων).....	125
Σχήμα 5.8: Μέσο βάθος νερού και απόσταση από την ακτογραμμή των ΥΑΠ της Ευρώπης (το μέγεθος των χρωματισμένων κύκλων υποδεικνύει και το μέγεθος των εγκαταστάσεων)....	126
Σχήμα 5.9: Μερίδιο αγοράς των κατασκευαστών υπεράκτιων Α/Γ, σχετικά με τις νέες εγκαταστάσεις μέσα στο 2020 (συνολική ισχύς και πλήθος Α/Γ).....	126
Σχήμα 5.10: Μερίδιο αγοράς των κατασκευαστών υπεράκτιων Α/Γ επί του συνόλου των ΥΑΠ της Ευρώπης.....	127
Σχήμα 5.11: Μερίδιο επενδυτών-ιδιοκτητών επί της νέας προστιθέμενης ΥΑΙ στην Ευρώπη όπως διαμορφώθηκε το 2020 (αριστερά) και επί της συνολικής ΥΑΙ (δεξιά).....	127
Σχήμα 5.12: Συνολικό ποσό επενδύσεων ΥΑΤ και νέα χρηματοδοτούμενη ισχύς ετησίως.....	128
Σχήμα 5.13: Κατανομή των 323 GW (προσεγγιστικά 324 GW) αιολικής ισχύος ανά χώρα.....	131
Σχήμα 5.14: Επιδιωκόμενοι βαθμοί αδειοδότησης τοποθεσιών και εγκατάστασης ΥΑΠ που απαιτούνται για την επίτευξη των 70 GW στα νότια ύδατα μέχρι το 2050.....	136
Σχήμα 5.15: Απαιτούμενος ρυθμός ανάπτυξης ΥΑΠ για καθιέρωση των 450 GW το 2050.....	137
Σχήμα 5.16: Ετήσιοι επιδιωκόμενοι βαθμοί ανάπτυξης δικτύου, μίσθωσης, αδειοδότησης, επενδυτικών συμφωνιών και εγκατάστασης, προς επίτευξη των 450 GW το 2050.....	138
Σχήμα 7.1: Κατανομή Weibull από δεδομένα 10 m.....	171
Σχήμα 7.2: Κατανομή Weibull από δεδομένα 20 m.....	171
Σχήμα 7.3: Ανάπτυγμα ροδογράμματος ανέμου ως προς το χρόνο.....	172
Σχήμα 7.4: Ανάπτυγμα ροδογράμματος ανέμου ως προς την ενέργεια.....	172
Σχήμα 7.5: Καμπύλη ισχύος Α/Γ τύπου NM92.....	176



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι ίσως περίεργο να θεωρούμε τον άνεμο ως εναλλακτική πηγή ενέργειας, ειδικά επειδή η ανθρωπότητα ήδη εκμεταλλευόταν τον άνεμο για χιλιάδες χρόνια με σκοπό την ώθηση σκαφών ανά τον κόσμο χρησιμοποιώντας πανιά. Ωστόσο, στη σύγχρονη εποχή που έχουμε βασιστεί σχεδόν αποκλειστικά στα ορυκτά καύσιμα και στην πυρηνική ενέργεια, η αιολική ενέργεια μόλις πρόσφατα άρχισε να αξιοποιείται ευρέως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ενώ η πρώιμη μορφή των χερσαίων αιολικών μηχανών (ανεμόμυλοι) ήταν ήδη γνωστή από την 3η χιλιετία π.Χ., οι θαλάσσιες εμφανίστηκαν στις αρχές της τελευταίας δεκαετίας του 20ου αιώνα.

Για τους ωκεανούς, υπολογίζεται ότι καλύπτουν τα 2/3 της επιφάνειας της Γης, περιέχουν περισσότερους ενεργειακούς πόρους από ό,τι θα μπορούσε ενδεχομένως να χρησιμοποιήσει ο άνθρωπος και προσφέρουν ελεύθερο τοπίο για την ανάπτυξη νέων ενεργειακών τεχνολογιών σε μεγάλη κλίμακα, χωρίς σημαντική παρέμβαση στο περιβάλλον ή σε φυσιολογικές ανθρώπινες δραστηριότητες. Όσον αφορά στα αιολικά πάρκα, η ταχύτητα του ανέμου στη θάλασσα είναι μεγαλύτερη από την ξηρά (30 έως 40 % υψηλότερη στον ανοιχτό ωκεανό και 15 έως 20 % υψηλότερη πλησίον της ακτογραμμής). Ένα αιολικό πάρκο στη θάλασσα, επομένως, μπορεί να παράγει από 50 έως και 70 % περισσότερη ισχύ και να μειώσει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και με υψηλότερο κόστος εγκατάστασης στο νερό. Για αυτόν τον λόγο, έχουν εγκατασταθεί στην Ευρώπη πολλά τέτοια έργα μεγάλης κλίμακας, ενώ πολλά άλλα τελούν υπό κατασκευή. Οι κυβερνήσεις σε πολλές χώρες της Ευρώπης, της Ασίας και της Αμερικής αξιολογούν συνεχώς νέες προοπτικές ανάπτυξης κάθε χρόνο. Το γεγονός όμως ότι το θαλάσσιο περιβάλλον προσφέρει μεγαλύτερη ευχέρεια στην εύρεση της ιδανικής περιοχής για εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου δεν σημαίνει ότι αυτή η επιλογή μπορεί να γίνει αυθαίρετα, καθότι η εκάστοτε τοποθεσία πρέπει να πληροί ορισμένα βασικά κριτήρια που καθορίζονται από τα διάφορα εθνικά ρυθμιστικά πλαίσια ή άλλους περιβαλλοντικούς-τοπογραφικούς παράγοντες.

Τα έργα υπεράκτιας αιολικής ενέργειας (ΥΑΕ) συχνά κοστίζουν εκατοντάδες εκατομμύρια δολάρια. Για τη μείωση του κόστους ανά MW, οι ηλεκτρικές μηχανές που κατασκευάζονται για υπεράκτια εφαρμογή είναι μεγαλύτερες από τις χερσαίες. Το κόστος κατασκευής μειώνεται καθώς αυξάνεται το μέγεθος στροβίλου, επειδή απαιτείται μικρότερος αριθμός φορτηγών, πλοίων και γερανών μεταφοράς ανά εγκατεστημένο MW. Όσον αφορά στον κύκλο ζωής τους, αυτός υπολογίζεται μεταξύ 20 και 25 ετών, νούμερο που προσελκύει ολοένα και περισσότερους επενδυτές διότι η απόσβεση αναμένεται συνήθως αρκετά νωρίτερα.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο
ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Μορφές ενέργειας

Ως πηγή ενέργειας ορίζεται κάθε ύλη (στάσιμη ή κινούμενη), σύστημα ή διάταξη, απ' όπου μπορεί να αποληφθεί ενέργεια για την τελική προμήθεια θερμότητας, φωτός ή ισχύος. Στη σημερινή εποχή η ανθρωπότητα καταναλώνει με εντατικούς ρυθμούς πηγές ενέργειας που του διαθέτει η φύση και οι οποίες μπορεί να απαιτούν εκατομμύρια ετών για να δημιουργηθούν ξανά (π.χ. το πετρέλαιο, οι λιγνίτες), ή να ξανασηματίζονται άμεσα ώστε να διατίθενται πρακτικά αμείωτες (π.χ. η ενέργεια του ήλιου, των ανέμων). Διακρίνουμε έτσι, σύμφωνα με το σχετικό ρυθμό αναδημιουργίας τους και κατανάλωσής τους, 2 βασικές κατηγορίες πηγών ενέργειας [1]:

- **Ανανεώσιμες (ή μη αναλώσιμες ή ήπιες ή εναλλακτικές)** → Είναι πηγές ενέργειας που ανανεώνονται συνεχώς και ταχέως (συγκρινόμενες π.χ. με τους χρόνους γεωλογικών περιόδων που απαιτούνται για τη δημιουργία άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου) επιτρέποντας έτσι τη σταθερή και αξιόπιστη χρήση τους. Ενδεικτικά αναφέρονται η ενέργεια του ήλιου (ηλιακή), η ενέργεια των ανέμων (αιολική), η θερμότητα που εμπεριέχει και ελευθερώνει η γη (γεωθερμική ενέργεια), η ενέργεια της ζώσας ύλης (βιομάζα), η ενέργεια των υδατοπτώσεων, των κυμάτων, των παλιρροιών.
- **Μη ανανεώσιμες (ή αναλώσιμες ή συμβατικές ή εξαντλήσιμες)** → Κάθε πηγή ενέργειας που δεν μπορεί να υπαχθεί στις ανανεώσιμες. Ενδεικτικά αναφέρονται το πετρέλαιο και τα παράγωγά του (βενζίνες, υγραέρια, ντίζελ κ.τ.λ.), οι άνθρακες (λιγνίτες, λιθάνθρακες κ.τ.λ.), το φυσικό αέριο, τα πυρηνικά καύσιμα κ.α.

Επίσης, ανάλογα με την επεξεργασία που έχουν υποστεί και τη διαθεσιμότητά τους για τελική χρήση, οι πηγές ενέργειας διακρίνονται σε [1]:

- **Πρωτογενείς** → Συμπεριλαμβάνονται όλοι οι τύποι ενέργειας που δημιουργούνται κυρίως από τον ήλιο στον φλοιό της Γης. Είναι δηλαδή η ενέργεια που προέρχεται από τη φύση πριν από οποιοδήποτε μετασχηματισμό.
- **Δευτερογενείς** → Συμπεριλαμβάνονται όλοι οι τύποι ενέργειας που παρασκευάζονται από πρωτογενείς πηγές ενέργειας γενικά με μηχανικά, χημικά, θερμικά μέσα ή πυρηνική αντίδραση, για να μετασχηματισθούν σε χρήσιμη ενέργεια (ορίζονται και ως ενδιάμεσες

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ενέργειες). Είναι δηλαδή η ενέργεια που έχει προέλθει από έναν ή περισσότερους μετασχηματισμούς αλλά δεν έχει φθάσει ακόμα στην τελική μορφή για χρήση της.

- Χρήσιμη ενέργεια → Είναι η ενέργεια με την επιθυμητή μορφή για τον καταναλωτή όπως μηχανικό έργο, θερμότητα, φωτισμός κ.τ.λ.

Η προσπάθεια που γίνεται τα τελευταία χρόνια παγκοσμίως για αειφόρο ανάπτυξη στον τομέα της ενέργειας, βασίζεται στην ικανότητα διαχείρισης και αξιοποίησης όσο το δυνατόν μεγαλύτερου μεριδίου των διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

1.2 Στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Αμέσως μετά τη 2η ενεργειακή κρίση, στις αρχές του 1980, η διεθνής κοινότητα άρχισε να αναγνωρίζει το πεπερασμένο των παγκόσμιων αποθεμάτων των συμβατικών πηγών ενέργειας (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ουράνιο κ.τ.λ.) σε σύγκριση με την ανεξέλεγκτη αύξηση των ρυθμών κατανάλωσης ενέργειας, ιδιαίτερα στις αναπτυγμένες χώρες του πλανήτη μας [2].

Ίσως οι δυσσώονες προβλέψεις της 1ης έκθεσης της Λέσχης της Ρώμης (1970) με τίτλο [«Τα όρια της ανάπτυξης»](#) να μην πραγματοποιήθηκαν στο βαθμό που η έκθεση προέβλεπε, όμως οι αρνητικές επιπτώσεις που συνοδεύουν την αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας εξακολουθούν να ισχύουν και να επανεπιβεβαιώνονται από τα πορίσματα της 2ης έκθεσης [«Πέρα από τα όρια της ανάπτυξης»](#), η οποία συντάχθηκε το 1991, αναφέροντας ότι η μείωση των ενεργειακών αποθεμάτων, η ρύπανση του περιβάλλοντος μαζί με τον υπερπληθυσμό και την εξάντληση των φυσικών πόρων του πλανήτη μας αποτελούν τις 4 πηγές του ανθρώπινου είδους. Δεν πρέπει συνεπώς να λησμονούμε ότι τα βεβαιωμένα αποθέματα των κυριότερων συμβατικών καυσίμων επαρκούν στις καλύτερες περιπτώσεις για τα επόμενα 100 περίπου χρόνια, ενώ ακόμα και αν ανακαλυφθούν στο μέλλον χιλιαπλάσια αποθέματα συμβατικών καυσίμων, με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης ενέργειας, θα παρατείνουν για άλλα 150 μόλις χρόνια την άφιξη του «ενεργειακού χειμώνα» στον πλανήτη μας. Ταυτόχρονα, η επιταχυνόμενη συσσώρευση επικίνδυνων ρυπαντών (τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα) και η αντίστοιχη καταστροφή του περιβάλλοντος οδηγεί στην εμφάνιση σημαντικών προβλημάτων υγείας, υποβαθμίζοντας παράλληλα την ποιότητα ζωής στις περισσότερες μεγαλουπόλεις π.χ. Λονδίνο, Ρώμη, Αθήνα [2].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Η χρήση της πυρηνικής ενέργειας και η προσπάθεια ελέγχου της πυρηνικής σύντηξης έδωσε προσωρινά κάποιες ελπίδες για τη συνέχιση των υφιστάμενων ρυθμών ανάπτυξης. Δυστυχώς, η αναμενόμενη όξυνση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, κυρίως από τη διάθεση των ραδιενεργών καταλοίπων και την πιθανότητα μείζονος ατυχήματος, σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος προστασίας από τη ραδιενέργεια, έθεσε σοβαρά και αναπάντητα ερωτήματα που αφορούν τη βιωσιμότητα αντίστοιχων προσπαθειών [2].

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω προβλήματα που πηγάζουν από τη χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας, αρκετοί ειδικοί πρότειναν την αξιοποίηση των ΑΠΕ. Φυσικά, οι ΑΠΕ από μόνες τους δεν είναι δυνατόν να επιλύσουν το συνολικό ενεργειακό πρόβλημα της ανθρωπότητας. Εάν όμως η αξιοποίησή τους συνδυαστεί με την προσπάθεια εξοικονόμησης των συμβατικών πηγών ενέργειας και με την ορθολογική διαχείριση των υφιστάμενων ενεργειακών πόρων, είναι δυνατή η απομάκρυνση του σεναρίου του «ενεργειακού χειμώνα» [2].

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι οι περισσότερες μορφές ΑΠΕ είναι γνωστές σχεδόν από τη στιγμή της εμφάνισης του ανθρώπου στον πλανήτη μας, ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί με σημαντική επιτυχία και από τον άνθρωπο των ιστορικών χρόνων. Δεν πρέπει να ξεχνάμε, όσον αφορά στην αιολική ενέργεια, ότι μέχρι τον 18ο αιώνα η ναυτιλία στηριζόταν σε ιστιοφόρα πλοία, ενώ στην ξηρά οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση νερού και την άλεση των σιτηρών. Η Ελλάδα έχει μεγάλη παράδοση χρήσης των ανεμόμυλων, λόγω και της ιδιαίτερης γεωγραφικής μορφής της. Ονομαστοί είναι μέχρι και σήμερα οι ανεμόμυλοι της Μυκόνου (κυκλαδίτικος ανεμόμυλος) και αυτοί του οροπεδίου του Λασιθίου [2].

1.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Είναι εξαιρετικά σημαντικό να έχουμε υπόψιν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ΑΠΕ, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Τα κυριότερα από αυτά αναφέρονται παρακάτω.

Πλεονεκτήματα [3]:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους (π.χ. ορυκτά καύσιμα).
- Συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών και σε μικρή κλίμακα εφαρμογών ή σε μεγάλη κλίμακα, αντίστοιχα, ενώ επίσης έχουν σχετικά μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.

Μειονεκτήματα [4]:

- Έχουν μικρή πυκνότητα ενεργειακής ροής, κάτι που δημιουργεί την απαίτηση μεγάλων κατασκευών προς αξιοποίηση τους.
- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30 % ή και χαμηλότερο και έτσι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση τους εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος-μήκος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Λόγω της μεταβαλλόμενης παροχής τους, απαιτείται η επιπλέον κατασκευή συστημάτων αποθήκευσης, η οποία αποδεικνύεται δαπανηρή.
- Το κόστος εξοπλισμού είναι αρκετά υψηλό.
- Συμβάλλουν αρνητικά στην αισθητική του χώρου, ενώ μερικές διατάξεις εκμετάλλευσης τους, προκαλούν πολύ θόρυβο.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

1.3 Αιολική ενέργεια

Η κινητική ενέργεια του ανέμου αποτελεί μια ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, η οποία ονομάζεται «αιολική ενέργεια». Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεδομένου ότι αφενός δεν ρυπαίνει το περιβάλλον (ήπια ως προς το περιβάλλον) και αφετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη (ανανεώνεται συνεχώς) [2].

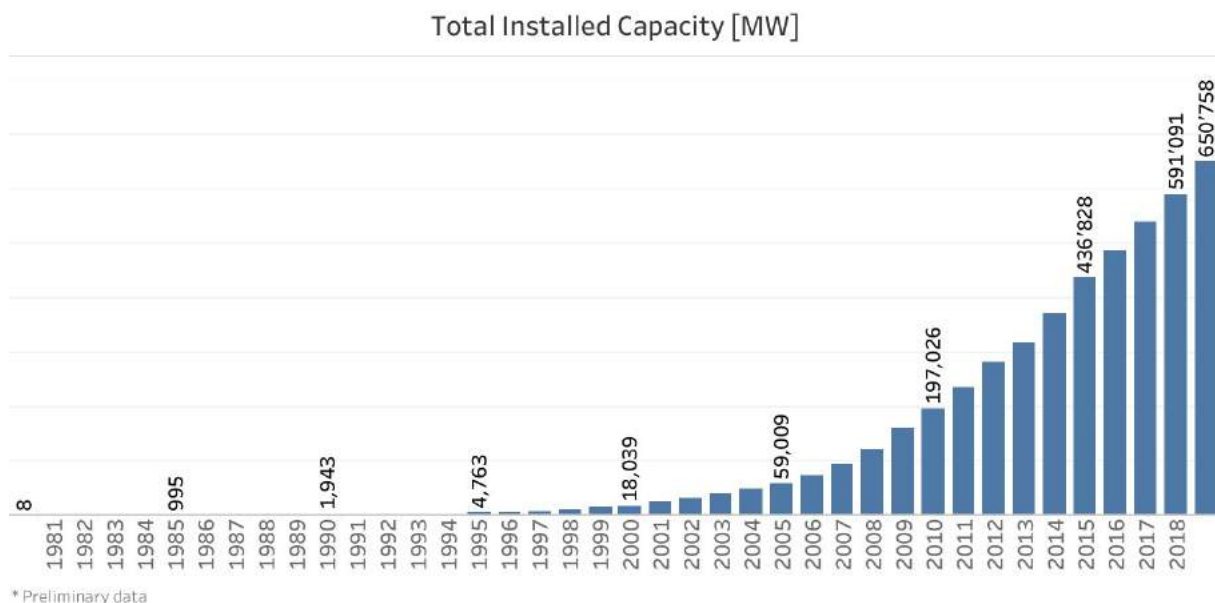
Οι πλέον ευνοημένες περιοχές του πλανήτη μας από πλευράς αιολικής διαθεσιμότητας είναι οι χώρες της πολικής και εύκρατης ζώνης, ιδιαίτερα κοντά στις ακτές. Βέβαια η αξιοποίηση της «δωρεάν» ενέργειας που προσφέρει η φύση στον άνθρωπο προϋποθέτει την ύπαρξη των κατάλληλων μηχανών για τη δέσμευση της αιολικής ενέργειας και τη μετατροπή της στην επιθυμητή μορφή [2].

Τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα μετά τις διαδοχικές ενεργειακές κρίσεις και σε συνδυασμό με τα οξυμένα περιβαλλοντικά προβλήματα, οι άνθρωποι έδειξαν αυξημένο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Τεχνοοικονομικά, η αιολική ενέργεια αποτελεί την πλέον συμφέρουσα, μη επαρκώς αξιοποιήσιμη ΑΠΕ, δεδομένου ότι το κόστος της παραγόμενης αιολικής KWh συναγωνίζεται το κόστος της συμβατικής KWh, χωρίς μάλιστα να συμπεριληφθεί το κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια γίνονται σοβαρές επενδύσεις στον τομέα της αιολικής ενέργειας, τόσο από δημόσιους, όσο και από ιδιωτικούς φορείς, κυρίως στις πιο αναπτυγμένες χώρες του πλανήτη μας [2].

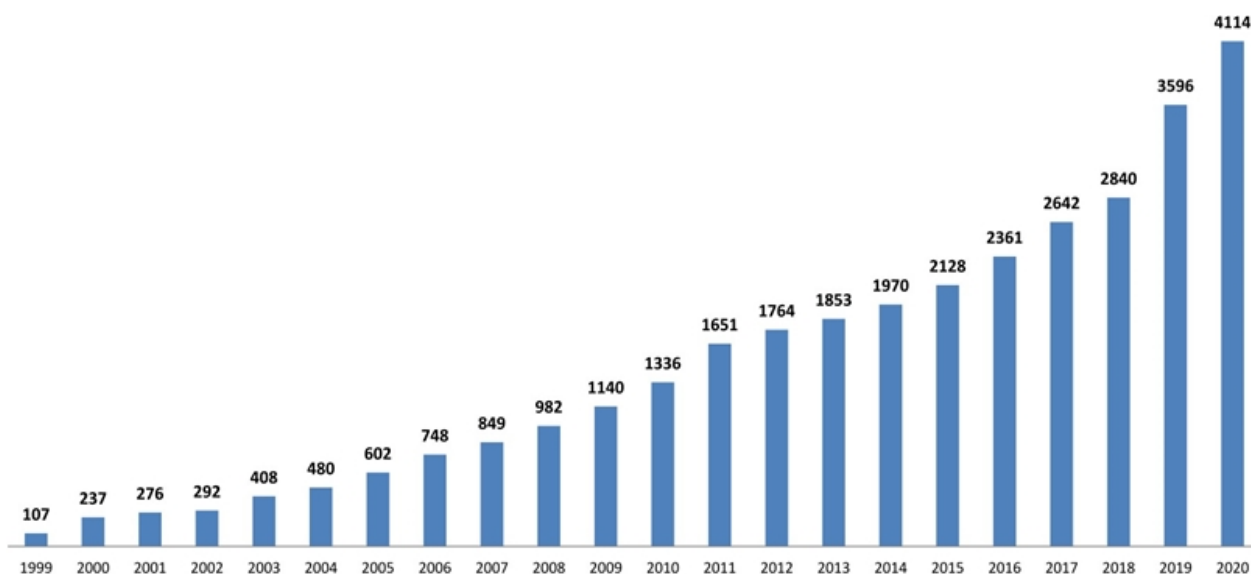
Στον αντίποδα, αντιπαρατίθεται το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια δεν είναι ακριβώς προβλέψιμη, ούτε και συνεχής, ενώ παράλληλα αποτελεί μια μορφή ενέργειας χαμηλής πυκνότητας («αραιή» μορφή ενέργειας), γεγονός που μας υποχρεώνει σε μεγάλες κατασκευές. Αρκετοί επιστήμονες (κυρίως οικονομολόγοι) έχουν υποστηρίξει ότι η κατάλληλη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας μπορεί να λύσει το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα [2], παρόλο που ο παραπάνω ισχυρισμός μοιάζει υπερβολικός δεδομένου ότι ένα μικρό τμήμα των αιολικών πόρων είναι εν τέλει αξιοποιήσιμο.

Είναι όμως ρεαλιστική η εκτίμηση ότι η σωστή αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας θα βελτιώσει την παγκόσμια ενεργειακή ισορροπία, ενώ στην Ελλάδα μπορεί να ανακουφίσει σημαντικά το πλήρως εξαρτώμενο από εισαγόμενα καύσιμα ενεργειακό ισοζύγιο της, χωρίς ταυτόχρονα να επιβαρύνει με πρόσθετους ρύπους το ήδη βεβαρημένο περιβάλλον μας [2].

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

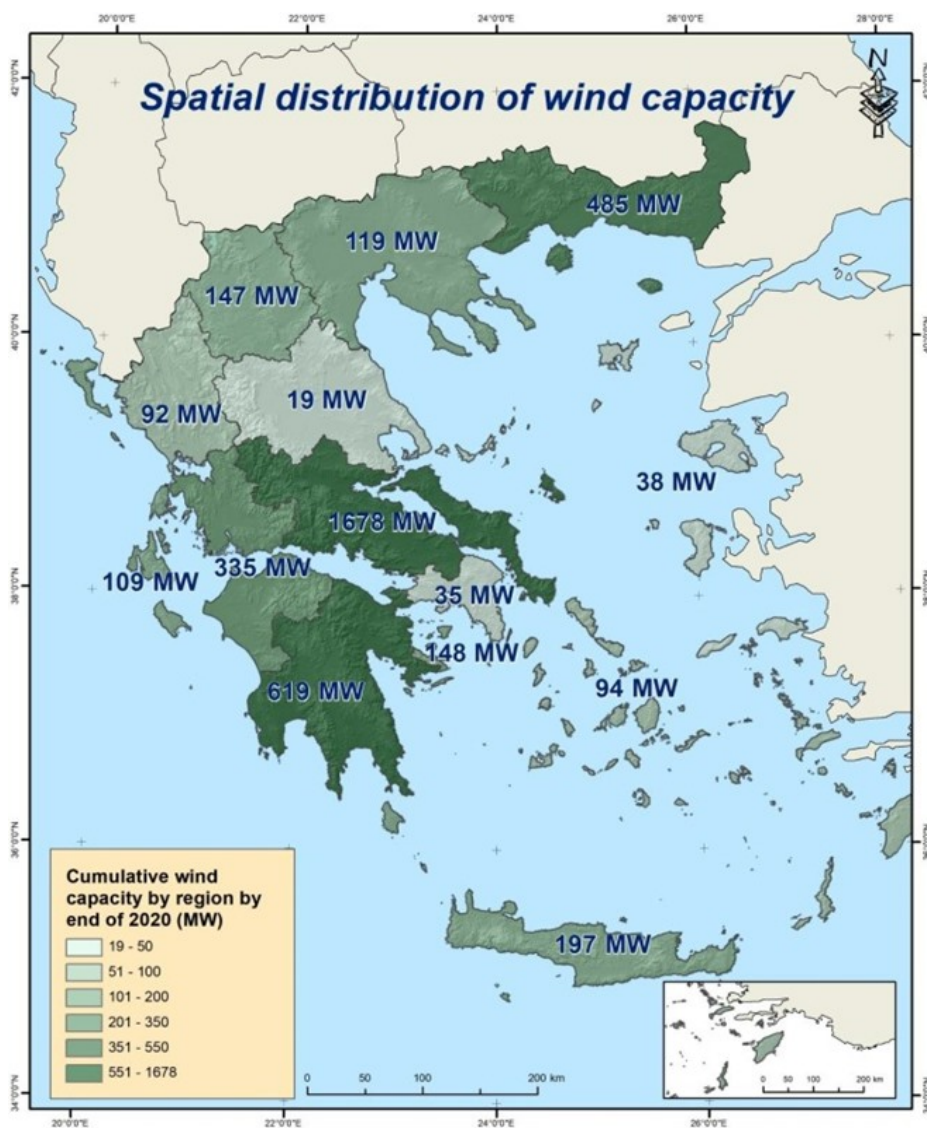


Σχήμα 1.1: Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς (σε MW) παγκοσμίως με το πέρας των ετών (το 2019 έφτασε στα 650.758 MW) [5]



Σχήμα 1.2: Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς (σε MW) στην Ελλάδα, όπως διαμορφώθηκε στο πέρας των ετών [6]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 1.1: Χωρική κατανομή εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στον ελληνικό χώρο, όπως διαμορφώθηκε το 2020 [6]

1.3.1 Χρήσεις αιολικής ενέργειας

Για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις που εκθέτουν έναν δρομέα (φτερωτή τύπου έλικας, με 1 ή περισσότερα πτερύγια) στο ρεύμα του ανέμου, λαμβάνοντας έτσι μέρος της κινητικής ενέργειάς του, με αποτέλεσμα την περιστροφική κίνηση του δρομέα. Οι διατάξεις αυτές λέγονται ανεμοκινητήρες [1].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Με τη χρήση ανεμοκινητήρων η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση του δρομέα του ανεμοκινητήρα και του άξονά του. Η περιστροφική κίνηση μπορεί να αξιοποιείται άμεσα π.χ. για την άντληση νερού από πηγάδι, την άλεση σιτηρών κ.τ.λ. ή να μετατρέπεται με γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται συνηθέστερα [1]:

- Για παραγωγή ηλεκτρισμού σε περιοχές συνδεδεμένες στο δίκτυο είτε για την κάλυψη ιδίων αναγκών (αυτοπαραγωγή ρεύματος) ή για την πώληση του ρεύματος στην εταιρεία εκμετάλλευσης του δικτύου (ανεξάρτητη παραγωγή).
- Για παραγωγή ηλεκτρισμού σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο, για λειτουργία είτε μόνες τους, με συσσωρευτές ή σε συνδυασμό με σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με diesel.
- Για την παραγωγή ύδατος (αφαλάτωση) είτε με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης, οπότε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται για την κίνηση των αντλιών προώθησης του προς αφαλάτωση ύδατος μέσω των ημιπερατών μεμβρανών ή με τη μέθοδο συμπίεσης ατμών, οπότε η περιστροφική κίνηση του δρομέα μπορεί να χρησιμοποιείται άμεσα για την κίνηση του συμπιεστή ατμών.
- Για θέρμανση σε θερμοκήπια με διαδοχική μετατροπή της σε ηλεκτρισμό και ακολούθως σε θερμότητα με τη χρήση ηλεκτρικής αντίστασης ή με την κίνηση αντλιών θερμότητας.
- Σε παραδοσιακές χρήσεις, όπως προαναφέρθηκαν (άλεση, άντληση, άρδευση).

1.3.2 Συστήματα αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας

Όπως είναι γνωστό, το βασικότερο ίσως μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι η ασυνέχεια παραγωγής της, καθώς και η αδυναμία παραγωγής ενέργειας κατά βούληση με σκοπό την κάλυψη της στιγμιαίας ζήτησης. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές μας ανάγκες σε περιόδους άπνοιας ή σε μια προσπάθεια καλύτερης προσαρμογής της ενεργειακής ζήτησης και προσφοράς. Βέβαια, η χρήση συστημάτων αποθήκευσης αυξάνει σημαντικά το κόστος αρχικής εγκατάστασης, επιβαρύνει τη διαδικασία συντήρησης, ενώ προσθέτει και επιπλέον απώλειες μετατροπής [2].

Τα κυριότερα συστήματα αποθήκευσης αιολικής ενέργειας είναι τα εξής [2]:

- Συστοιχίες συσσωρευτών.
- Συστήματα υδροδυναμικής αποθήκευσης ενέργειας.
- Συστήματα παραγωγής υδρογόνου.
- Αποθήκευση ενέργειας σε σφόνδυλο.
- Υδραυλικοπνευματική αποθήκευση ενέργειας μέσω συμπίεσης αερίων.
- Υβριδικά συστήματα.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

1.4 Υπεράκτια αιολική ενέργεια (ΥΑΕ)

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα (ΥΑΠ) αποτελούν στις μέρες μας μια νέα σχετικά παγκόσμια προσπάθεια αύξησης της παραγωγής ενέργειας από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η μέχρι τώρα πρακτική εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο ήταν η δημιουργία αιολικών πάρκων (δηλαδή η εγκατάσταση πολλών Α/Γ σε μία περιοχή) σε διάφορες τοποθεσίες στην ξηρά. Με τη νέα αυτή πρακτική των ΥΑΠ εγκαθίστανται Α/Γ σε θαλάσσιες περιοχές αυξάνοντας έτσι κατά πολύ τις κατάλληλες περιοχές δημιουργίας αιολικών πάρκων. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται και η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας «φιλικής» προς το περιβάλλον από χώρες μικρές όπως η Ελλάδα, όπου οι κατάλληλες περιοχές στη ξηρά για δημιουργία αιολικών πάρκων είναι περιορισμένες, ενώ από την άλλη πλευρά διαθέτει ατελείωτες θαλάσσιες περιοχές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αυτόν το σκοπό. Επίσης, έχει βρεθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτήν στην ξηρά, γεγονός που κάνει αποδοτικότερη τη λειτουργία μιας Α/Γ [7].

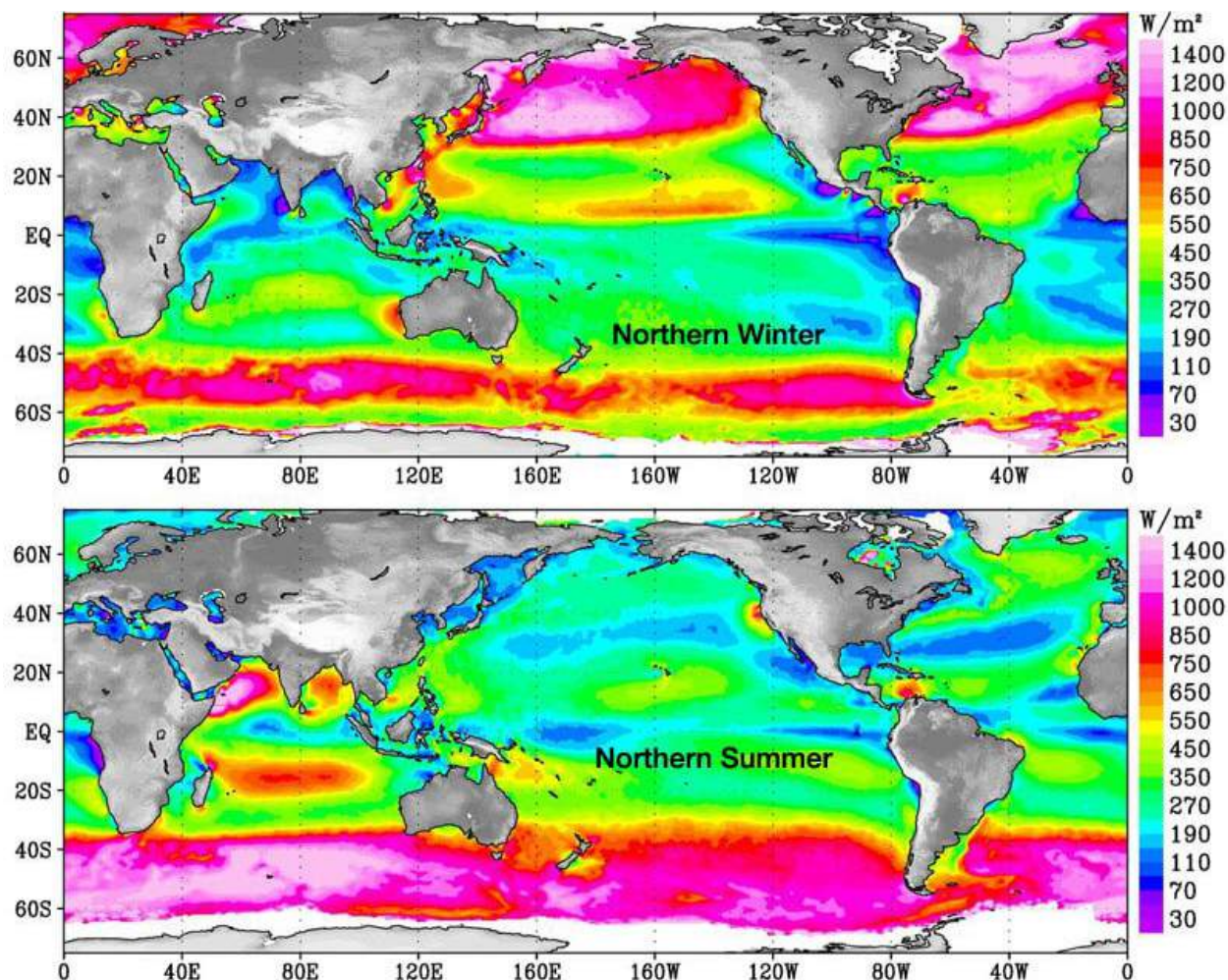
Το ότι το θαλάσσιο περιβάλλον δίνει περισσότερη ελευθερία στην εύρεση κατάλληλης περιοχής για εγκατάσταση αιολικού πάρκου δεν σημαίνει ότι η επιλογή της περιοχής γίνεται αυθαίρετα. Για να επιλεγεί κάποια περιοχή πρέπει να πληροί κάποια βασικά κριτήρια τα οποία τίθενται από την εκάστοτε χώρα. Στην Ελλάδα δεν υπάρχει ακόμα κανένα εγκατεστημένο ΥΑΠ [7].

Η αιολική ενέργεια από χερσαίες εγκαταστάσεις είναι σήμερα μία από τις φθηνότερες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Ωστόσο, χωρίς κάποια σημαντική αλλαγή στους περιορισμούς σχεδιασμού, η συμβουλευτική Cornwall Insight εκτιμά ότι η ΥΑΕ είναι πιθανό να ξεπεράσει τη χερσαία ως πηγή φθηνής ανανεώσιμης ενέργειας σε λιγότερο από δέκα χρόνια. Ο τομέας της ΥΑΕ έχει σημειώσει σημαντικές καινοτομίες τελευταία, όπως οι υψηλότερες Α/Γ με μακρύτερες λεπίδες, που τις επιτρέπουν να προσλαμβάνουν περισσότερο άνεμο [8].

Η εταιρεία με έδρα τη Μεγάλη Βρετανία εκτιμά ότι η αλλαγή σκυτάλης θα λάβει χώρα το 2028. Οι εκτιμήσεις βασίζονται στο κόστος κεφαλαίου ανά τεχνολογία, το σταθερό και μεταβλητό λειτουργικό κόστος, και τους παράγοντες γεωγραφικής τοποθέτησης, όπως οι απώλειες μετάδοσης και τα τέλη σύνδεσης. «Η αγορά ΑΠΕ βρίσκεται σε διαδικασία μετάβασης με τη χερσαία αιολική να αντιμετωπίζει την πραγματική προοπτική να ξεπεραστεί από την υπεράκτια ως η φθηνότερη πηγή καθαρής ισχύος στο εγγύς μέλλον», δήλωσε ο Τομ Έντουαρντς, αναλυτής της Cornwall Insight. «Οι βελτιώσεις στην υπεράκτια τεχνολογία είναι συνεχόμενες και η αύξηση του μεγέθους των Α/Γ έχει σημαντική επίδραση. Με μοντέλα 8 MW να αναπτύσσονται

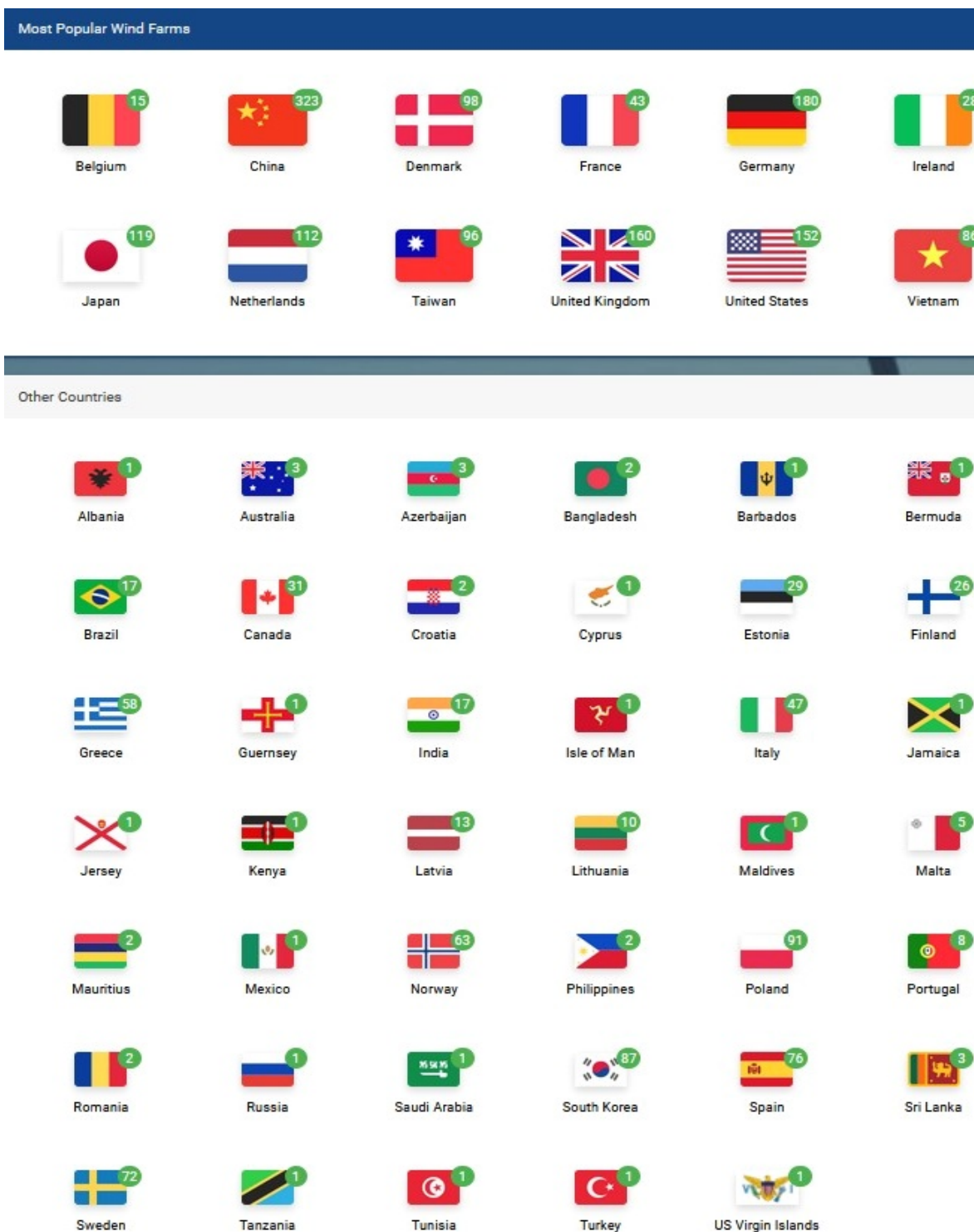
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

επί του παρόντος, καθώς και μεγαλύτερα μοντέλα 10 και 12 MW υπό ανάπτυξη, είναι αναπόφευκτο να μειωθεί περαιτέρω το κόστος», πρόσθεσε. Σύμφωνα με τον Έντουαρντς, για να συμβαδίσει η ανάπτυξη της χερσαίας αιολικής παραγωγής με την υπεράκτια, θα πρέπει να χαλαρώσουν οι περιορισμοί σχεδιασμού και το ρυθμιστικό πλαίσιο στα έργα στην ξηρά. Αυτό θα ωφελήσει τους καταναλωτές με φθηνότερη καθαρότερη ενέργεια και θα βοηθήσει τις κυβερνήσεις στην επίτευξη των στόχων για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, αναφέρει ο αναλυτής [8].



Εικόνα 1.2: Πυκνότητα της ΥΑΙ στους ωκεανούς του πλανήτη, τη χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο [9]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



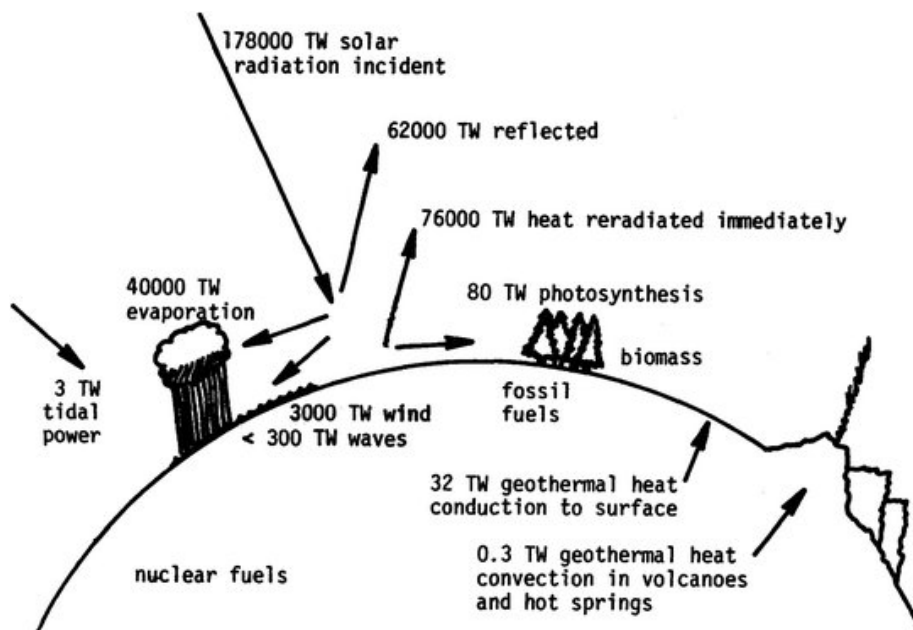
Εικόνα 1.3: Συνολικό πλήθος εγκεκριμένων και μη ΥΑΠ παγκοσμίως ανά χώρα [10]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο
ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ (Α/Δ)

2.1 Πηγή των ανέμων

Οι ΑΠΕ, με εξαίρεση την παλιρροιακή και τη γεωθερμική, οφείλουν την προέλευσή τους στον ήλιο. Ο ήλιος ακτινοβολεί ετησίως στη Γη ισχύ 178.000 TW (ενδεικτικά). Από αυτήν, σχεδόν το 30 % αντανακλάται απευθείας στο διάστημα. Το 50 % απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμότητα που αντανακλάται στο διάστημα, ενώ το υπόλοιπο 20 % δημιουργεί τους ανέμους, δίνει την απαραίτητη ισχύ για τον κύκλο του νερού και ενεργοποιεί τη φωτοσύνθεση [11].

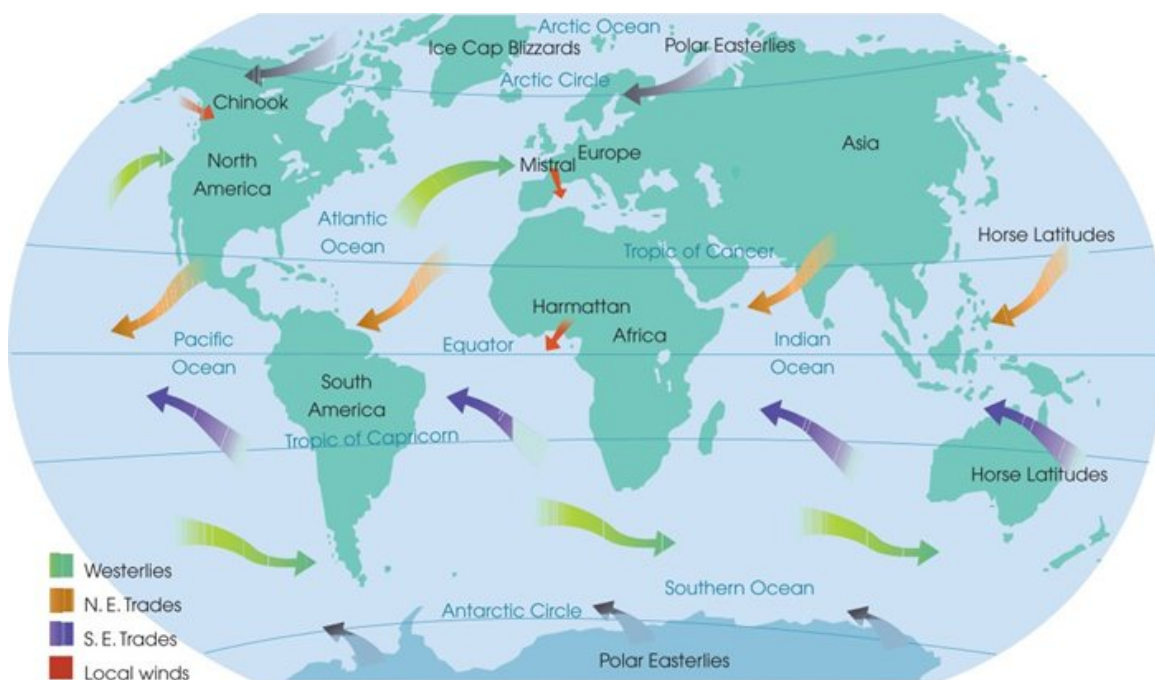


Εικόνα 2.1: Ενδεικτικά μεγέθη της ετήσιας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη Γη [12]

Η κίνηση του ανέμου στην επιφάνεια της Γης παράγεται από την άνιση θερμοκρασία που κατανέμεται στις διάφορες περιοχές από την ηλιακή ακτινοβολία. Έχει υπολογιστεί ότι μόλις το 2 % της ακτινοβολίας αυτής που προσπίπτει στον πλανήτη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Οι ουσιαστικές διαφορές της θερμοκρασίας οι οποίες προκαλούν τις κινήσεις στις αέριες μάζες, είναι αυτές που έχει ο αέρας όταν βρίσκεται πάνω από τις θάλασσες και τη στεριά [13].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ Ισημερινού και πόλων, λόγω της διαφοράς ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αέριων μαζών από τους πόλους στον Ισημερινό και αντίστροφα. Πιο συγκεκριμένα, ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι πνέουν από τους πόλους στον Ισημερινό για να αντικαταστήσουν το θερμό αέρα, που ανυψώνεται λόγω μείωσης της πυκνότητάς του και ο οποίος κινείται δια μέσου της ανώτερης ατμόσφαιρας προς τους πόλους [2].



Εικόνα 2.2: Γενικό μοτίβο κυκλοφορίας των ανέμων της Γης [14]

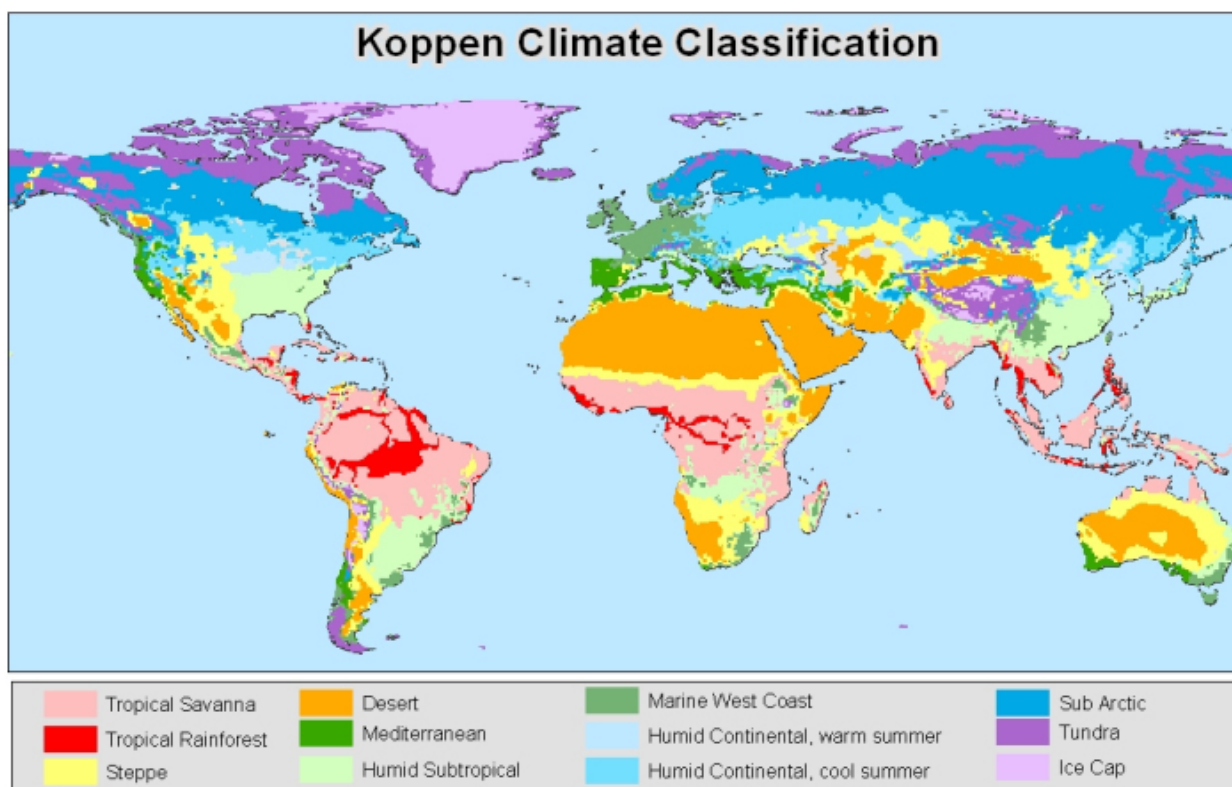
Παράλληλα, η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση ψυχρών αέριων επιφανειακών μαζών προς τα δυτικά, ενώ ο θερμός αέρας μετακινείται σε μεγαλύτερα ύψη και προς τα ανατολικά. Τέλος, πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η ανομοιομορφία της θερμικής συμπεριφοράς θάλασσας και ξηράς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ζωνών διαφορετικής θερμοκρασίας, που οδηγούν σε αντίστοιχα πεδία στατικής πίεσης [2].

Η μεταβολή της κατάστασης της ατμόσφαιρας είναι συνεχής και σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν δημιουργούνται περιοχές υψηλών πιέσεων (αντικυκλώνες) και περιοχές χαμηλών πιέσεων (κυκλώνες). Εν γένει, ο άνεμος έχει μεγαλύτερη ένταση επάνω από τους ωκεανούς παρά επάνω από τη ξηρά [2].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

2.2 Το κλίμα της Γης και της Ελλάδας

Οι κλιματικοί τύποι της Γης αποτελούνται από σταθερά πρότυπα καιρικών συνθηκών. Αυτά υπολογίζονται κατά μέσον όρο κατά τη διάρκεια μακράς χρονικής περιόδου. Οι διαφορετικοί τύποι κλίματος κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με συγκεκριμένους συνδυασμούς θερμοκρασίας και υγρασίας. Οι καιρικές συνθήκες όμως συνίστανται από βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις του ανέμου, της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Οι διαφορετικοί τύποι κλίματος καθορίζονται από το γεωγραφικό πλάτος, την τοπική γεωμορφολογία, το υψόμετρο, τις ανεμολογικές συνθήκες και την κυκλοφορία των ωκεάνιων ρευμάτων [11].



Εικόνα 2.3: Κλιματική ταξινόμηση του Κέππεν [15]

Η Ελλάδα κλιματολογικά ανήκει στη μεσογειακή ζώνη, αλλά το κλίμα διαφοροποιείται λόγω του ποικιλόμορφου αναγλύφου. Η οροσειρά της Πίνδου είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς λειτουργεί ως φράγμα στους ζεστούς νότιους και νοτιοδυτικούς ανέμους εμποδίζοντας τους να περάσουν στην ανατολική Ελλάδα. Αυτοί ανεβαίνουν ψηλά, ψύχονται, υγροποιούνται και

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

φέρνουν τις βροχές. Στην ανατολική Ελλάδα επικρατούν οι βόρειοι και οι βορειοανατολικοί άνεμοι, που το χειμώνα φέρνουν κρύο και παγετούς. Τα δυτικά της χώρας δεν επηρεάζονται από αυτούς λόγω της οροσειράς της Πίνδου [11].

Το κλίμα επηρεάζεται επίσης από το μικρό πλάτος του ηπειρωτικού κορμού της χώρας και το μεγάλο θαλάσσιο διαμελισμό της. Οι ακτές της χώρας έχουν ήπιους χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια, ενώ οι χιονοπτώσεις είναι περιορισμένες. Οι σπουδαιότεροι κλιματικοί τύποι της χώρας είναι οι ακόλουθοι [11]:

- Κλίμα ορεινό → Το συναντάμε σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο και χαρακτηρίζεται από τους δριμείς και ψυχρούς χειμώνες και τα δροσερά καλοκαίρια.
- Κλίμα ηπειρωτικό → Οι ψυχροί χειμώνες και τα ζεστά καλοκαίρια είναι πολύ γνώριμα στη Βόρεια Ελλάδα, στο εσωτερικό της Ηπείρου και στη Θεσσαλία. Οι μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των δύο εποχών είναι το χαρακτηριστικό του ηπειρωτικού κλίματος.
- Κλίμα εύκρατο θαλάσσιο → Στα νησιά του Αιγαίου, την Αττική, την Εύβοια, την Ανατολική Θεσσαλία, τη Χαλκιδική και τη Β. Κρήτη επικρατούν οι ξηροί ήπιοι χειμώνες και τα ζεστά καλοκαίρια.
- Κλίμα μεσογειακό θαλάσσιο → Χαρακτηριστικό του η μεγάλη υγρασία. Ήπιους και βροχερούς χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια συναντάμε στη Βορειοδυτική Πελοπόννησο, Δυτική Ελλάδα και Ιόνια Νησιά.

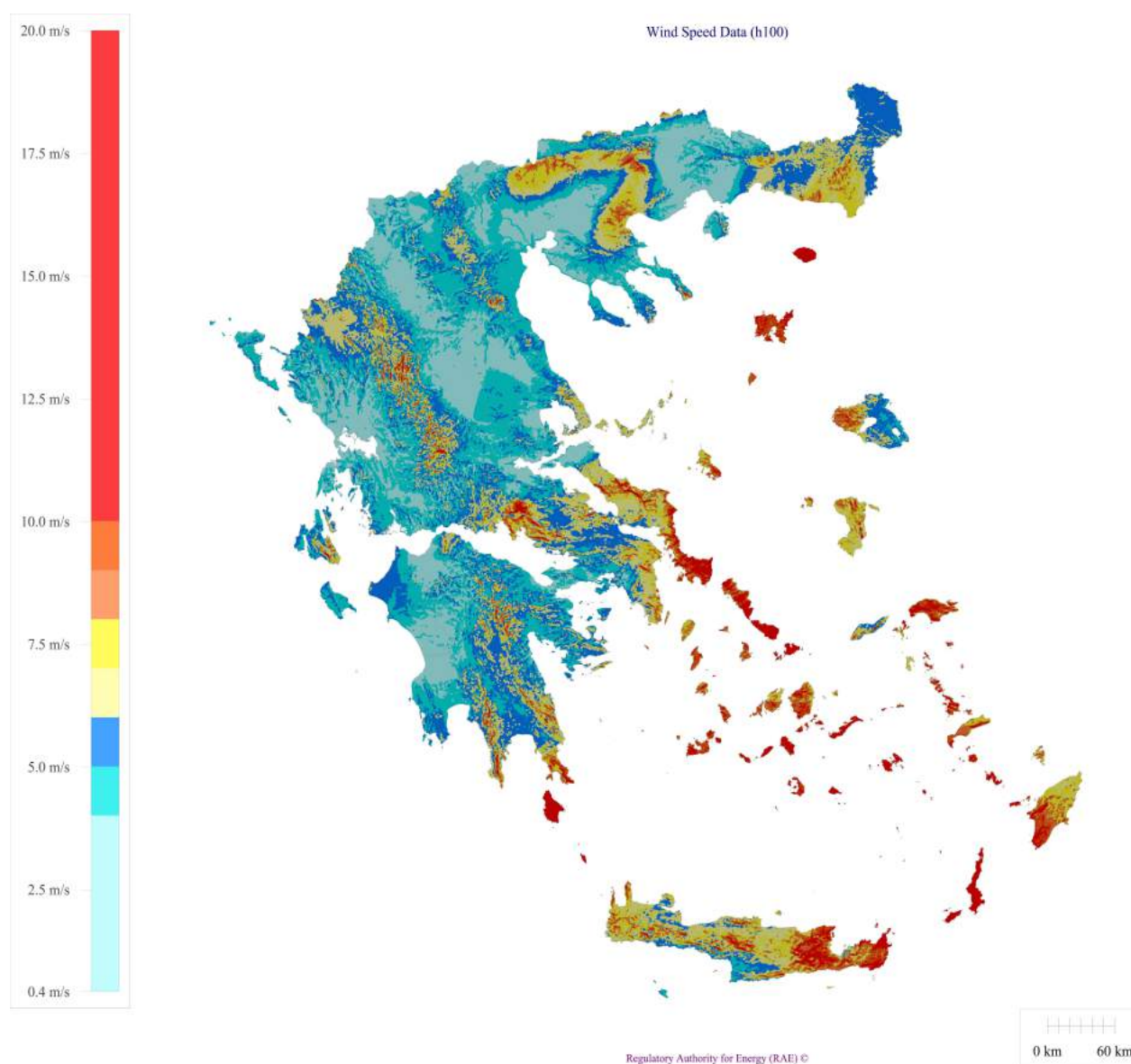
Η θερμοκρασία ποικίλλει από τόπο σε τόπο και παρουσιάζει μεγάλες διαφορές με απόλυτη ελάχιστη τους $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ στα βόρεια και ορεινά και απόλυτη μέγιστη $45,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Θεσσαλικός κάμπος). Οι βροχοπτώσεις σε τμήματα της Πίνδου ξεπερνούν τα 1.600 mm ετησίως, ενώ στο Σαρωνικό κόλπο φτάνουν μόλις τα 301 mm στην Αίγινα και 207 mm στην Ιεράπετρα της Κρήτης. Η υγρασία επίσης είναι αυξημένη στα νησιά του Ιονίου και την Ήπειρο, ενώ οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται σε Κυκλάδες, Αττική, Α. Πελοπόννησο και Κρήτη [11].

Η ένταση και η διεύθυνση των ανέμων διαφοροποιούνται σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Σε γενικές γραμμές οι επικρατέστεροι, συχνότεροι και ισχυρότεροι άνεμοι είναι οι Βόρειοι και Βορειοανατολικοί. Γνωστά σε όλους είναι και τα μελέτμια του καλοκαιριού (μέσα Ιουλίου μέχρι μέσα Αυγούστου) που πνέουν από τα βορειοανατολικά προς τα βορειοδυτικά [11].

Ο πιο σύγχρονος άτλαντας αιολικού δυναμικού για την Ελλάδα είναι αυτός που εκπονήθηκε ο 2001 από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Αυτός βασίστηκε τόσο σε

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

πραγματικά δεδομένα από το πανελλαδικό δίκτυο του κέντρου, όσο και σε υπολογιστικούς αλγορίθμους που ανέπτυξε το ΚΑΠΕ [11]. Σήμερα, αυτόν τον χάρτη τον βελτιώνει συνεχώς η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).



Εικόνα 2.4: Αιολικός χάρτης της Ελλάδας από τη ΡΑΕ [16]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

2.3 Εκτίμηση Α/Δ

Η εκτίμηση του Α/Δ μιας περιοχής αποτελεί το βασικότερο κριτήριο για την επιτυχημένη επιλογή της θέσης εγκατάστασης των Α/Γ. Τα ανεμολογικά στοιχεία της εκάστοτε υπό εξέταση περιοχής, μαζί με τυχούσες μελέτες ή και εφαρμογές, υποδεικνύουν την αξιοποίηση του Α/Δ σαν μία από τις πιο συμφέρουσες διαδικασίες υποκατάστασης συμβατικών ενεργειακών πηγών. Η σωστή εκμετάλλευση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της αιολικής μηχανής που θα χρησιμοποιηθεί και κυρίως από την επιτυχή επιλογή της θέσης εγκατάστασης. Για να είναι κατάλληλη μια περιοχή για την τοποθέτηση Α/Γ θα πρέπει [17]:

- Να εντοπίζονται υψηλές ταχύτητες ανέμου για μεγάλο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του έτους.
- Να είναι εύκολη η πρόσβαση.
- Να υπάρχει διαθέσιμη μεγάλη έκταση για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου.
- Να υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης (σχετικά μικρή απόσταση) με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.
- Να μην έχουμε μεγάλο υψόμετρο για την αποφυγή περιορισμών στη λειτουργία των Α/Γ, λόγω κακών καιρικών συνθηκών.

Για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης των Α/Γ θα πρέπει να είναι γνωστά [17]:

- Η ταχύτητα του ανέμου.
- Η διεύθυνση του ανέμου.
- Οι αναταράξεις που επικρατούν λόγω του ανέμου.
- Οι στροβιλισμοί του ανέμου.
- Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου βάσει του υψόμετρου (κατανομή ανέμου).

2.4 Χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου

Η γνώση των χαρακτηριστικών του ανέμου είναι απαραίτητη για τη σύνταξη μελέτης εκτίμησης κατάλληλης θέσης εγκατάστασης Α/Γ. Τα βασικά χαρακτηριστικά του ανέμου είναι [17]:

Η μέση ταχύτητα

Αποτελεί ένα ιδιαίτερα μεταβλητό μέγεθος με σημαντική εξάρτηση από τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Προσδιορίζεται τυπικά ως η μέση τιμή εντός διαστήματος 10 min.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Η στιγμιαία ταχύτητα

Είναι το άθροισμα της μέσης ταχύτητας και της διακύμανσης γύρω από τη μέση τιμή.

Η μέγιστη ταχύτητα

Εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση της περιοχής και τα χαρακτηριστικά του εδάφους και καθορίζει την αντοχή της αιολικής μηχανής. Με βάση τις μετρήσεις ανά ώρα καθορίζεται η μέγιστη ημερήσια ταχύτητα του ανέμου και στη συνέχεια η μέγιστη μηνιαία, καθώς και η μέγιστη ετήσια ταχύτητα που θα πρέπει να μελετηθεί σε βάθος χρόνου τουλάχιστον μιας δεκαετίας.

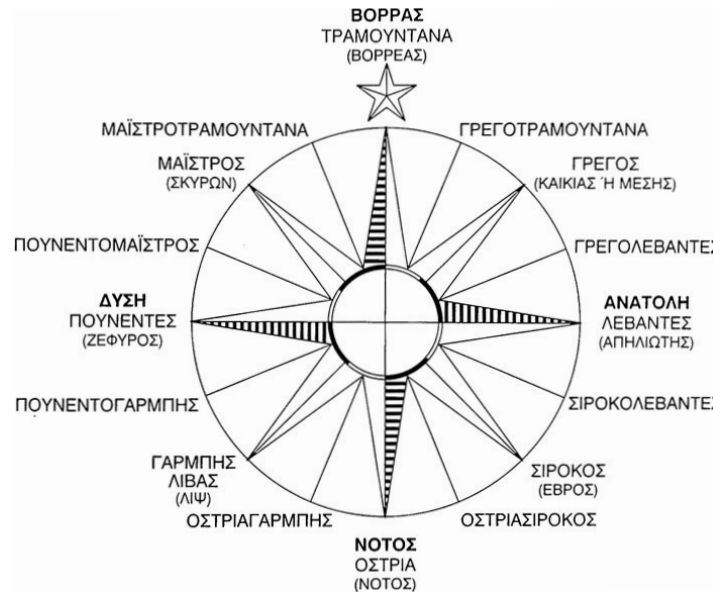
Η ριπή

Είναι η ξαφνική και μικρής διάρκειας (περίπου 20 s) αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Η ταχύτητα του ανέμου, μετά το τέλος της ριπής, επανέρχεται στα προηγούμενα επίπεδα. Συνήθως, ξεπερνάει τα 9 m/s και διαφέρει από τα συνηθισμένα επίπεδα κατά 4-5 m/s. Οι ριπές ανέμου καθορίζουν την κόπωση της αιολικής μηχανής και αν διαρκέσουν περισσότερο από 30 s, θα πρέπει ο μηχανισμός ασφαλείας να θέσει την Α/Γ εκτός λειτουργίας.

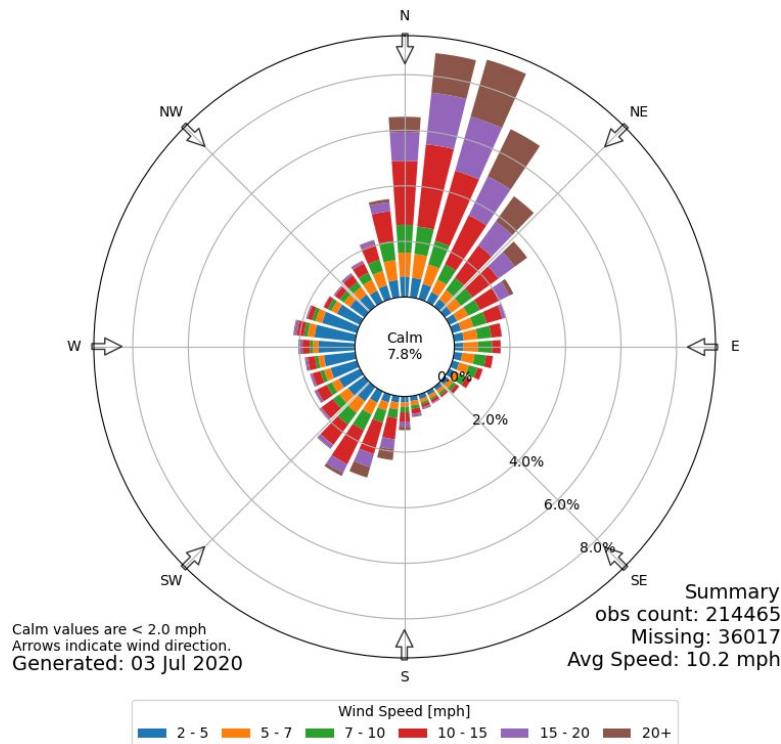
Η διεύθυνση

Η διεύθυνση του ανέμου ορίζεται από το σημείο του ορίζοντα απ' όπου πνέει ο άνεμος σε σχέση με τη θέση που μελετάται. Εμφανίζει γενικά μικρότερες διακυμάνσεις από την ταχύτητα και εξαρτάται από τον προσανατολισμό της τοποθεσίας, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τη βλάστηση της περιοχής. Ως κύρια διεύθυνση του ανέμου ορίζεται η διεύθυνση που συνεισφέρει τουλάχιστον 10 % στη συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Ως επικρατούσες διευθύνσεις ανέμου ορίζονται οι διευθύνσεις που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα στην περιοχή που μελετάται και αλλάζουν με την εποχή. Μια περιοχή χαρακτηρίζεται προσήνεμη (είναι αυτή ανάμεσα στο σημείο του χώρου εγκατάστασης των Α/Γ και το σημείο του ορίζοντα απ' όπου πνέει ο άνεμος) ή υπήνεμη (είναι αυτή που προστατεύεται από τον άνεμο, δηλαδή εκτίθεται σε ανέμους με ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης και συχνά είναι η αντίθετη της προσήνεμης), ενώ η διεύθυνση του ανέμου καθορίζεται με χρήση του ροδογράμματος.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Σχήμα 2.1: Ανεμολόγιο με τα ονόματα των ανέμων βάσει της διεύθυνσής τους [2]



Σχήμα 2.2: Τυπικό ροδόγραμμα Αθήνας (περίοδος 31/12/2007-03/07/2020) [18]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Η τραχύτητα του εδάφους

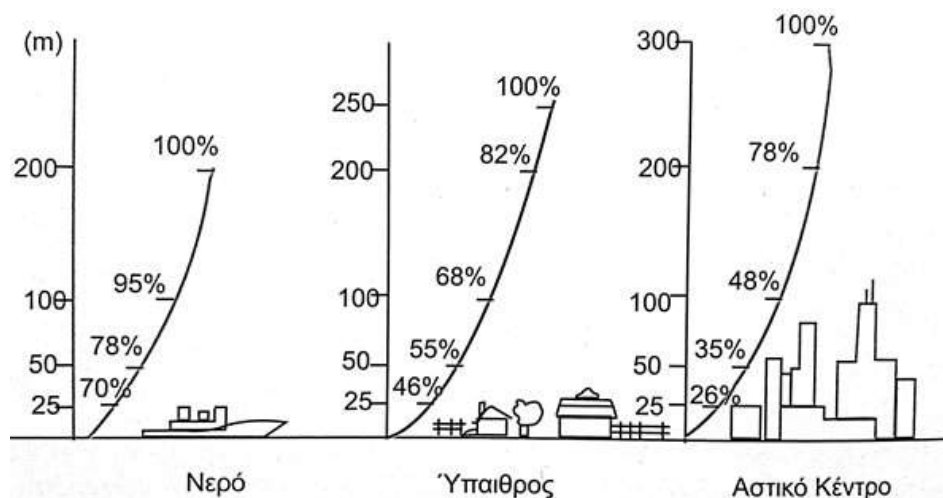
Η τραχύτητα εκφράζει το είδος του εδάφους και εκφράζεται από το μήκος τραχύτητας (Z_o) και από την κλάση (κατηγορία τραχύτητας). Το μήκος τραχύτητας μπορεί να αλλάξει με τις εποχές, ορίζεται για επιφάνειες με ομοιόμορφη κατανομή στοιχείων τραχύτητας και επηρεάζεται από την πυκνότητα των εδαφικών χαρακτηριστικών. Για επίπεδη περιοχή, με τα στοιχεία τραχύτητας να καταλαμβάνουν το 10 έως 20 % το Z_o , συνδέεται με το μέσο ύψος (h) των στοιχείων τραχύτητας με την παρακάτω σχέση:

$$Z_o = 0,15 \cdot h \quad (\text{Σχέση 2.1})$$

$$\text{Αν } Z_o \leq 0,03 \text{ κλάση} = 1,698823 + \frac{\ln(Z_o)}{\ln(150)} \quad (\text{Σχέση 2.2})$$

$$\text{Αν } Z_o > 0,03 \text{ κλάση} = 3,912489 + \frac{\ln(Z_o)}{\ln(3,333)} \quad (\text{Σχέση 2.3})$$

Οι κατηγορίες τραχύτητας είναι η κατηγορία 0 (επίπεδο έδαφος καλυμμένο με πάγο ή χιόνι, ήρεμη θάλασσα, αμμώδες έδαφος), η κατηγορία 1 (ανοιχτές περιοχές χωρίς εμπόδια, έδαφος επίπεδο ή με ελαφριά κλίση με χλόη ή χαμηλή βλάστηση), η κατηγορία 2 (καλλιεργημένη περιοχή με λίγα εμπόδια σε απόσταση μεγαλύτερη από 1.000 m μεταξύ τους και με λίγα σπίτια, ενώ το έδαφος είναι επίπεδο ή κυματώδες) και η κατηγορία 3 (δάσος και καλλιεργημένη περιοχή με πολλά εμπόδια σε προάστια πόλεων, που εντοπίζονται σε απόσταση μικρότερη των 1000 m).



Σχήμα 2.3: Μεταβολή του ύψους του ατμοσφαιρικού στρώματος ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους [17]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Όσο μεγαλύτερη είναι η τραχύτητα του εδάφους, τόσο αυξάνεται το ύψος του ατμοσφαιρικού στρώματος και μειώνεται η απόδοση της Α/Γ. Επίσης, τόσο περισσότερο αλλάζει και η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου.

Η τύρβη

Τύρβη (ανατάραξη) είναι η διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου γύρω από τη μέση τιμή. Η ένταση της ανατάραξης εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και μπορεί να υπολογιστεί με βάση το μήκος της τραχύτητας Z_0 .

Για $Z_0 \leq 0,20$ m έχουμε:
$$I = \frac{1}{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} \quad (\text{Σχέση 2.4})$$

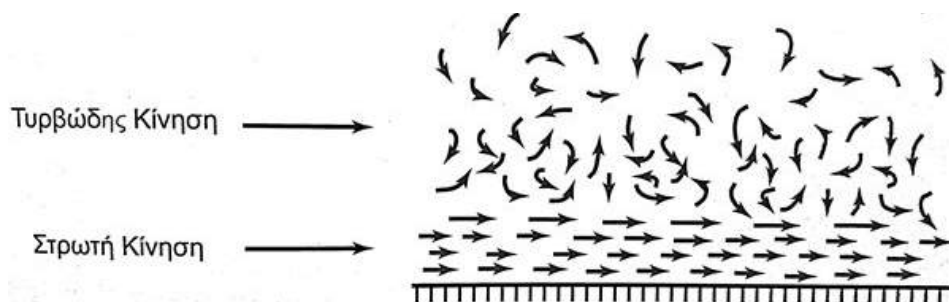
Για $Z_0 > 0,20$ m έχουμε:
$$I = \frac{0,78 - 0,14 \cdot \ln \cdot Z_0}{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} \quad (\text{Σχέση 2.5})$$

όπου: Z_0 η τραχύτητα του εδάφους (m)

Z το ύψος αναφοράς (m)

I η ένταση ανατάραξης ανέμου (καθαρός αριθμός)

Η έντονη τύρβη έχει σημαντική επίδραση και στην ισχύ και στην εγκατάσταση του αιολικού συστήματος.



Εικόνα 2.5: Στρωτή και τυρβώδης κίνηση του ανέμου κοντά στην επιφάνεια του εδάφους [17]

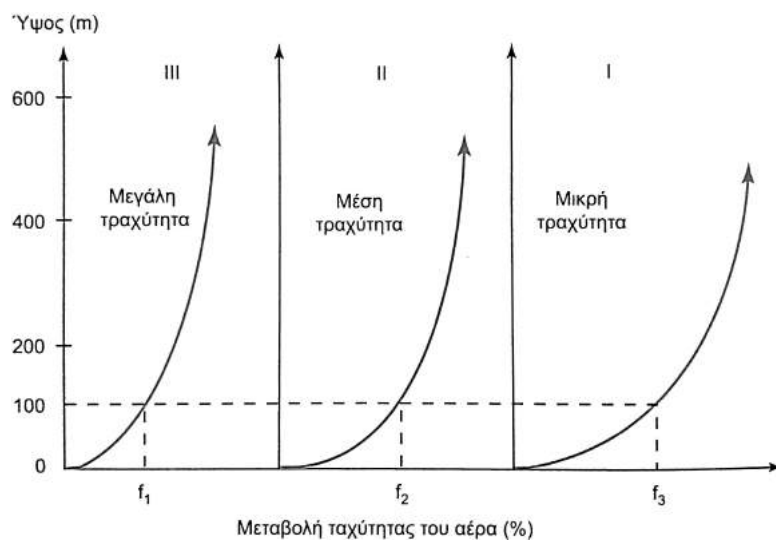
Ο στροβιλισμός

Στροβιλισμός ονομάζεται η δημιουργία ανωμαλιών στη ροή του ανέμου, λόγω της ανατάραξης και των διαφόρων χαρακτηριστικών εμποδίων της επιφάνειας του εδάφους. Τα εμπόδια του εδάφους συχνά δημιουργούν οργανωμένους στροβιλισμούς, οι οποίοι επιδρούν στην ισχύ και στην και στην εγκατάσταση του αιολικού συστήματος.

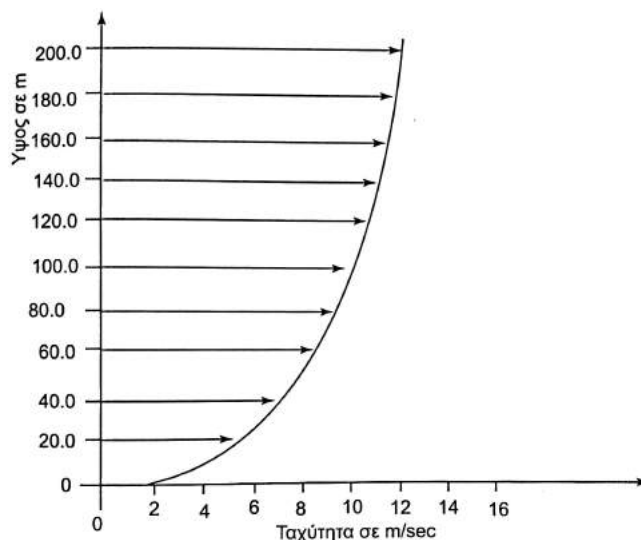
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Η κατανομή

Εκφράζει τις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος. Για τη ίδια τιμή ύψους ($h=100$ m), έχουμε: $f_3 > f_2 > f_1$.



Σχήμα 2.4: Μεταβολή της ταχύτητας ανέμου σε σχέση με το ύψος και την τραχύτητα του εδάφους [17]



Σχήμα 2.5: Τυπική καμπύλη μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με το ύψος [17]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

2.5 Μέτρηση και ανάλυση του A/Δ μιας περιοχής

Οι μετρήσεις A/Δ είναι το πλέον απαραίτητο στοιχείο για το σχεδιασμό και τον καλό προγραμματισμό λειτουργίας ενός αιολικού σταθμού, ειδικά σε χώρες όπως η Ελλάδα όπου επικρατεί έντονο ανάγλυφο. Η εκτίμηση του διαθέσιμου A/Δ μιας περιοχής είναι πολύ ευαίσθητη στις διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου, ενώ η επιλογή της θέσης μέτρησης απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό, καθώς και εμπειρία. Οι μετρήσεις συνήθως περιλαμβάνουν την εγκατάσταση ενός μεταλλικού ιστού δεκάδων μέτρων στον οποίο τοποθετούνται ένα ή περισσότερα ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες. Οι ιστοί μικρού ύψους (έως 10 m) χρησιμοποιούνται συνήθως για τον εντοπισμό της καταλληλότερης θέσης για τη λήψη των μετρήσεων. Όταν εντοπιστεί η καταλληλότερη θέση για τη μέτρηση, ο ιστός των 10 m μπορεί να αντικατασταθεί από έναν με μεγαλύτερο ύψος, για να πλησιάζουμε όσο γίνεται πιο κοντά στο ύψος λειτουργίας των A/Γ που πρόκειται να εγκατασταθούν. Οι μετρήσεις πρέπει να διαρκούν τουλάχιστον ένα έτος, για να μπορέσουν να καλυφθούν όλες οι εποχιακές διακυμάνσεις που παρουσιάζονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Το εργαστήριο δοκιμών A/Γ του ΚΑΠΕ δημιούργησε, μέσα από ένα εθνικό πρόγραμμα, τον αιολικό χάρτη της Ελλάδας, με την εγκατάσταση 100 μετρητικών σταθμών σε όλη τη χώρα, ηπειρωτική και νησιωτική [17].

Ανεμόμετρα

Το μετεωρολογικό όργανο (αισθητήριο) που καταγράφει την ταχύτητα του ανέμου είναι το ανεμόμετρο. Τα όργανα μέτρησης γενικά αντιλαμβάνονται τις μεταβολές στην υπό μελέτη φυσική ποσότητα και παράγουν αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα. Η επεξεργασία του σήματος προϋποθέτει ενίσχυση και αποβολή του «θορύβου», γραμμικοποίηση και ενδεχομένως μετατροπή του από τάση σε ρεύμα ή από τάση σε συχνότητα. Το σήμα μετατρέπεται σε ψηφιακό και καταγράφεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ή καταγραφικό όργανο (data logger) [11].

Ανάλογα με τον τρόπο καταγραφής, τα ανεμόμετρα κατηγοριοποιούνται σε περιστροφικά (κυπελλοφόρα ή ελικοφόρα), υπερήχων, θερμού νήματος, Laser-Doppler, θερμικού πεδίου και σωλήνα πίεσης. Τα πιο διαδεδομένα ανεμόμετρα παγκοσμίως είναι τα κυπελλοφόρα λόγω του μικρού τους μεγέθους, του χαμηλού κόστους, της αξιοπιστίας, της ευκολίας τοποθέτησης και της διασύνδεσης σε μετρητικό σύστημα. Συνήθως έχουν 3 και πιο σπάνια 4 ημισφαιρικά ή κωνοειδή κύπελλα που προσαρμόζονται κάθετα σε κατακόρυφο βραχίονα και βρίσκονται σε ίση απόσταση μεταξύ τους [11].

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**



Εικόνα 2.6: Τυπικά ανεμόμετρα (κυπελλοφόρο, θερμού νήματος, υπερήχων, ελικοφόρο) [19]

Ανεμοδείκτες

Οι ανεμοδείκτες, όπως άλλωστε υποδηλώνει και το όνομά τους, καταγράφουν την κατεύθυνση του ανέμου. Προσανατολίζονται παράλληλα προς τη διεύθυνση του ανέμου και στέλνουν στο καταγραφικό είτε μία συνεχή τάση ανάλογη της διεύθυνσης, είτε ένα διακριτό σήμα που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο του οριζοντα. Ο 1ος τρόπος χρησιμοποιεί καταμετρητή τάσης (ποτενσιόμετρο), ενώ ο 2ος κωδικοποιητή θέσης. Για μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας χρησιμοποιείται το ποτενσιόμετρο. [11]



Εικόνα 2.7: Ανεμοδείκτες τύπου NRG 200 και W200P/L [20]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

2.5.1 Εκτίμηση A/Δ από υπάρχοντα ανεμολογικά στοιχεία

Η εκτίμηση του A/Δ μιας περιοχής μπορεί να γίνει, όταν υπάρχουν ανεμολογικά στοιχεία (πειραματικά στοιχεία από μετρήσεις σε ετήσια βάση και σε ορίζοντα τουλάχιστον δεκαετίας, για τις ταχύτητες του ανέμου, τη συχνότητα εμφάνισης των ταχυτήτων, τη μέση ταχύτητα κ.τ.λ.) από μετρήσεις τοπικών σταθμών με ανεμογράφους που συνήθως τοποθετούνται σε ύψος 10 m από το έδαφος. Όσον αφορά στον υπολογισμό της ηλεκτρικής ισχύος της A/Γ μπορεί να γίνει σύμφωνα με την καμπύλη ισχύος του κατασκευαστή και τον πειραματικό υπολογισμό της συχνότητας εμφάνισης των ταχυτήτων, ενώ ο προσδιορισμός της μέσης ετήσιας ισχύος γίνεται, αν από την καμπύλη του κατασκευαστή πολλαπλασιάσουμε τις αντίστοιχες τιμές ισχύος για κάθε ταχύτητα, με τη συχνότητα εμφάνισης σε ετήσια βάση [17].

2.5.2 Εκτίμηση του A/Δ με την κατανομή Weibull

Προκειμένου να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για την εγκατάσταση A/Γ σε μια συγκεκριμένη περιοχή, χρειάζονται μακροχρόνιες μετρήσεις. Επειδή όμως για τις περισσότερες περιοχές δεν υπάρχουν τέτοιες αναλυτικές μετρήσεις, το κόστος για να διεξαχθούν είναι μεγάλο, καθώς μεγάλη είναι και η καθυστέρηση του έργου, γίνεται εκτίμηση του A/Δ με χρήση ημιεμπειρικών μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να περιγράψουν το A/Δ μιας περιοχής, με τη βοήθεια μικρού αριθμού παραμέτρων, ώστε να εκτιμηθεί η ενέργεια που μπορεί να αναπτυχθεί από την εκμετάλλευση του ανέμου [17].

Η καμπύλη διάρκειας ταχυτήτων ανέμου, ή καμπύλη συχνότητας ταχύτητας ανέμου, μπορεί να περιγραφεί μέσω μιας συνεχούς μαθηματικής συνάρτησης. Η συνάρτηση που φαίνεται να αντιπροσωπεύει καλύτερα τη στατιστική της ταχύτητας του ανέμου είναι η κατανομή Weibull και περιγράφει τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της Ελλάδας (περιοχές της εύκρατης ζώνης) για ύψος περίπου μέχρι 100 m από το έδαφος [17]:

$$P_{(V)} = \frac{K}{C} \cdot \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^K} \quad (\text{Σχέση 2.6})$$

όπου $P_{(V)}$ η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου

C η παράμετρος ταχύτητας κατανομής Weibull (παράμετρος κλίμακας) και είναι ανάλογη της μέσης ταχύτητας του ανέμου V_m (m/s)

K η μορφολογική παράμετρος (καθαρός αριθμός)

V η ταχύτητα του ανέμου (m/s)

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Για την εύρεση της καμπύλης διάρκειας ταχυτήτων του ανέμου πρέπει να προσδιορίσουμε το χρονικό διάστημα για το οποίο η μετρούμενη ταχύτητα είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από κάποια προσδιορισμένη τιμή [17].

Αν ολοκληρώσουμε την εξίσωση κατανομής Weibull, έχουμε:

$$P(V \leq V_x) = \int_0^{V_x} P(v)dv = 1 - e^{-\left(\frac{V_x}{C}\right)^K} \quad (\text{Σχέση 2.7})$$

Λογαριθμίζοντας, έχουμε: $\ln[-\ln(1 - P(V \leq V_x))] = -K \ln C + K \ln V_x$ (Σχέση 2.8)

Θέτουμε $y = \ln[-\ln(1 - P(V \leq V_x))]$ και $x = \ln V_x$ οπότε έχουμε:

$$y = -K \ln C + K \cdot x \quad (\text{Σχέση 2.9})$$

Από τη σχέση (2.9) μπορούμε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων να υπολογίσουμε τους συντελεστές C και K.

$$Y = A + B \cdot x \quad (\text{Σχέση 2.10})$$

$$A = \frac{(\Sigma y) \cdot (\Sigma x^2) - (\Sigma x) \cdot (\Sigma x \cdot y)}{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \quad (\text{Σχέση 2.11})$$

$$B = \frac{n \cdot (\Sigma x \cdot y)}{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \quad (\text{Σχέση 2.12})$$

όπου n ο αριθμός ζευγών σημείων (x, y) - μετρήσεων

Υπολογίζοντας από τις σχέσεις (2.11) και (2.2) τις τιμές των A και B, θα έχουμε:

$$C = e^{-\frac{A}{B}} \quad (\text{Σχέση 2.13})$$

$$K = B \quad (\text{Σχέση 2.14})$$

Η παράμετρος C συνδέεται με τη μέση ταχύτητα V_m με τη σχέση:

$$V_m = C \cdot \Gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{K}\right) \quad (\text{Σχέση 2.15})$$

όπου Γ η μαθηματική συνάρτηση Γάμμα που υπολογίζεται ως εξής:

$$\Gamma_{(x)} = \int_0^{\infty} t^{x-1} \cdot e^{-t} dt \quad (\text{Σχέση 2.16})$$

Για $n > 0$, έχουμε: $\Gamma(n+1) = n \cdot \Gamma(n)$ (Σχέση 2.17)

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Προσεγγιστικά ισχύει ότι: $C = I, I \cdot V_m$ (Σχέση 2.18)

Στην υπό μελέτη περιοχή για την αθροιστική πιθανότητα εμφάνισης ταχύτητας ανέμου μικρότερης από V_0 θα έχουμε:

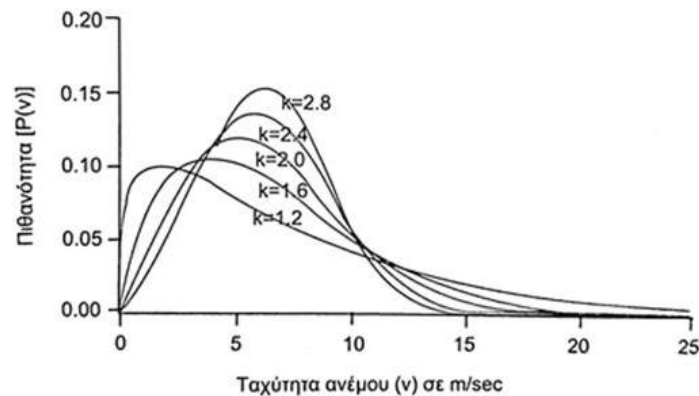
$$P(V \leq V_0) = 1 - e^{[-(\frac{V_0}{c})^K]} \quad (\text{Σχέση 2.19})$$

Ο υπολογισμός της διασποράς της ταχύτητας του ανέμου γίνεται από τη σχέση:

$$\sigma^2 = C^2 \cdot [\Gamma \cdot (1 + \frac{2}{K}) - (\Gamma \cdot (1 + \frac{1}{K}))^2] \quad (\text{Σχέση 2.20})$$

Η παράμετρος K είναι αντιστρόφως ανάλογη της διασποράς σ^2 της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με τη μέση ταχύτητα. Όσο μεγαλώνει η τιμή του K , η διασπορά των ταχυτήτων του ανέμου γίνεται μικρότερη και έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση γύρω από τη μέση τιμή.

Η κατανομή Weibull γίνεται εκθετική για $K = 1$, κατανομή Rayleigh για $K = 2$, ενώ προσεγγίζει την κατανομή Gauss για $K > 3$.

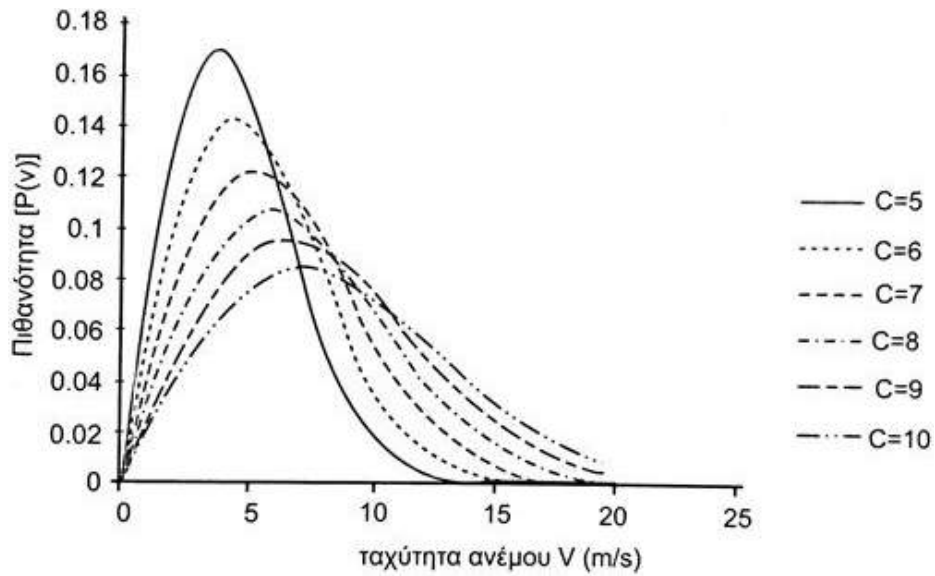


Σχήμα 2.6: Κατανομή Weibull για διάφορες τιμές του K και για μέση ταχύτητα 8 m/s [17]

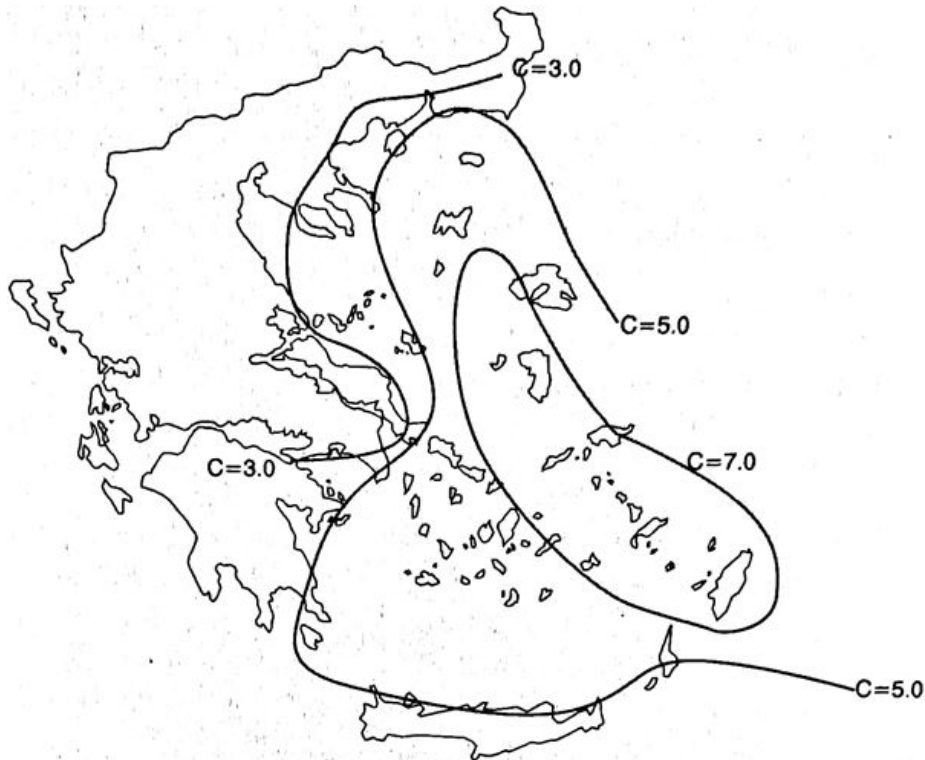
Ισχύουν οι εξής παραδοχές:

- Όταν αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου C , υπάρχει κατανομή σε ένα ευρύτερο φάσμα και η πιθανότητα της μέσης ταχύτητας του ανέμου έχει μεγαλύτερη τιμή.
- Όταν $2 \leq K \leq 3$, η κατανομή γίνεται πιο ασύμμετρη ως προς τις υψηλές ταχύτητες του ανέμου.
- Όταν $1 \leq K \leq 2$, η κατανομή γίνεται πιο ασύμμετρη ως προς τις χαμηλές ταχύτητες του ανέμου.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

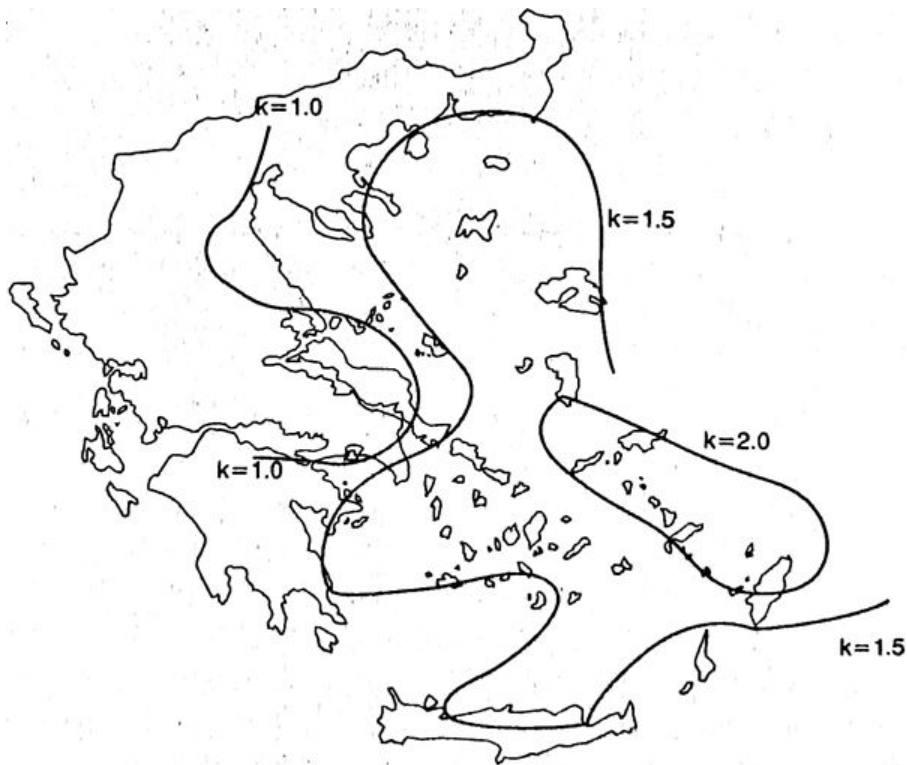


Σχήμα 2.7: Κατανομή Weibull για διάφορες τιμές του C και με $K = 2$ [17]



Εικόνα 2.8: Γεωγραφική διανομή παραμέτρου C [2]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 2.9: Γεωγραφική διανομή παραμέτρου K [2]

Η κατανομή Weibull είναι διαφορετική σε κάθε τόπο και ως προς την κλίμακα και ως προς τη μορφή. Η πιο χαρακτηριστική μορφή της καμπύλης είναι αυτή που περιγράφει μια περιοχή στην οποία η μέση ταχύτητα είναι περίπου 7 m/s και $K = 2$.

2.5.3 Κλίμακα μποφόρ

Η κλίμακα Μποφόρ δημιουργήθηκε από τον Sir Francis Beaufort το 1805. Είναι ένα σύστημα υπολογισμού της έντασης του ανέμου χωρίς τη χρήση μετεωρολογικών οργάνων. Στηρίζεται στην επίδραση που έχει ο άνεμος στο φυσικό περιβάλλον. Εκφράζεται σε ακέραιους αριθμούς από το 0 έως το 18, αλλά συνήθως χρησιμοποιούμε τους πρώτους 12. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η αντιστοιχία μεταξύ των αριθμών της κλίμακας Μποφόρ και των ταχυτήτων σε κόμβους, χιλιόμετρα ανά ώρα και μέτρα ανά δευτερόλεπτο. [11]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Ένταση μποφόρ	Κόμβοι	km/h	m/s	Ονομασία	Περιγραφή συνθηκών σε στεριά και θάλασσα
0	0-1	0-2	0-0,6	Νηνεμία	Ο καπνός ανεβαίνει κατακόρυφα. Η θάλασσα μοιάζει με καθρέφτη.
1	1-3	3-6	0,8-1,7	Υποπνέων	Η διεύθυνση του ανέμου φαίνεται από την πορεία του καπνού αλλά όχι από τους ανεμοδείκτες ή τα όργανα καταγραφής διευθύνσεων. Μέσο ύψος κύματος < 0,1 m.
2	4-6	7-11	1,9-3	Ελαφρός ή ασθενής	Αίσθηση του ανέμου στο πρόσωπο, ακούγεται το θρόισμα των φύλων, οι ανεμοδείκτες μετακινούνται παράλληλα στη φορά του ανέμου. Μέσο ύψος κύματος < 0,2 m.
3	7-10	12-19	3,3-5,3	Ήπιος ή λεπτός	Υπάρχει συνεχής μετακίνηση φυλλωμάτων και μικρών κλαδιών, οι μικρές σημαίες κυματίζουν. Μέσο ύψος κύματος = 0,6 m.
4	11-16	20-28	5,5-7,8	Μέσος ή μέτριος	Σηκώνεται σκόνη καθώς και τα μικρά χαρτιά που υπάρχουν στο έδαφος, μετακινούνται μικρά κλαδιά. Μέσο ύψος κύματος = 1 m.
5	17-21	29-38	8-10,5	Φρέσκος ή λαμπρός	Τα δέντρα χάνουν το φύλλωμα, κυματισμός σε λίμνες. Μέσο ύψος κύματος = 2 m.
6	22-27	39-49	10,8-13,6	Δυνατός ή ισχυρός	Μετακίνηση μεγάλων κλαδιών, ακούγεται το σφύριγμα των τηλεγραφικών καλωδίων, οι ομπρέλες χρησιμοποιούνται με δυσκολία. Μέσο ύψος κύματος = 3 m.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

7	28-33	50-61	13,9-16,9	Σφοδρός	Ολόκληρο το δέντρο βρίσκεται σε κίνηση, το περπάτημα γίνεται με δυσκολία αντίθετα στον άνεμο. Μέσο ύψος κύματος = 4 m.
8	34-40	62-74	17,2-20,5	Θυελλώδης	Σπάνε κλαδιά δέντρων, γενικευμένη δυσκολία εργασιών. Μέσο ύψος κύματος = 5,5 m.
9	41-47	75-88	20,8-24,4	Θύελλα	Μικρές ζημιές σε κτήρια (πτώση καμινάδων και αποκόλληση κεραμιδιών). Μέσο ύψος κύματος = 7 m
10	48-55	89-102	24,7-28,3	Ισχυρή θύελλα	Σπανίως εμφανίζεται στην ξηρά, δέντρα ξεριζώνονται, σημαντικές ζημιές σε κτήρια και κατασκευές. Μέσο ύψος κύματος = 9 m.
11	56-63	103-117	28,6-32,5	Σφοδρή θύελλα	Ιδιαίτερα σπάνιο φαινόμενο που συνοδεύεται από γενικευμένες καταστροφές. Μειωμένη ορατότητα. Μέσο ύψος κύματος = 11,5 m.
12	64-71	118-132	32,8-36,7	Τυφώνας	Μέσω ύψος κύματος > 14 m.

Πίνακας 2.1: Η κλίμακα Μποφόρ και η περιγραφή συνθηκών σε στεριά και θάλασσα [11]

2.6 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με το ύψος

Η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια του εδάφους είναι μηδενική λόγω της τριβής του αέρα με την επιφάνεια, όπως επίσης και σε ύψος περίπου 2 km πάνω από αυτή. Οι μεταβολές της ταχύτητας συναρτήσει του ύψους συνιστούν «το προφίλ της ταχύτητας του ανέμου» που μπορεί να εκφραστεί με διάφορες συναρτήσεις. Η κυριότερη συνάρτηση που έχει βασιστεί σε πειραματικά δεδομένα δίνεται παρακάτω [17]:

$$V_x = V_z \cdot \left(\frac{h_x}{h_z}\right)^\alpha \quad (\text{Σχέση 2.21})$$

όπου V_x η ζητούμενη ταχύτητα του ανέμου στο ύψος h_x (m/s)

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

V_z η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς h_z (m/s)

h_x το ύψος στο οποίο αναπτύσσεται η ζητούμενη ταχύτητα V_x (m)

h_z το ύψος αναφοράς (συνήθως 10 m)

α η παράμετρος εκθετικής κατανομής ταχύτητας που υπολογίζεται από την εξίσωση του

Justus (1978) και συγκεκριμένα
$$\alpha = \frac{0,37 - 0,088 \cdot \ln(V(z))}{1 - 0,088 \cdot \ln(\frac{h_z}{10})} \quad (\text{Σχέση 2.22})$$

Η τιμή της παραμέτρου α κυμαίνεται συνήθως από 0,14 έως 0,25 και αυξάνεται όσο πιο έντονη γίνεται η μορφολογία και η τραχύτητα του εδάφους. Πρακτικά έχουμε:

- $\alpha = 0,10$ για ελεύθερα πεδία ροής του αέρα, όπως είναι η ανοιχτή θάλασσα και α αεροδρόμια.
- Για περιοχές πόλεων με μικρές κατασκευές $\alpha = 0,20$.
- Για περιοχές πόλεων με μεγάλες κατασκευές $\alpha = 0,25$.

Ο συντελεστής α συνδέεται επίσης με την τραχύτητα του εδάφους ως εξής:

$$Z_o = 15,25 \cdot e^{-\left(\frac{1}{\alpha}\right)} \quad \text{άρα} \quad \alpha = - \frac{1}{\ln\left(\frac{Z_o}{15,25}\right)} \quad (\text{Σχέση 2.23})$$

Η τιμή του συντελεστή C σε ύψος διαφορετικό από το ύψος αναφοράς υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{C}{C_o} = \left(\frac{h_x}{h_z}\right)^\alpha \quad \text{άρα} \quad C = C_o \cdot \left(\frac{h_x}{h_z}\right)^\alpha \quad (\text{Σχέση 2.24})$$

Η τιμή του συντελεστή K σε ύψος διαφορετικό από το ύψος αναφοράς υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = K_o \cdot \frac{[1 - 0,088 \ln(\frac{h_z}{10})]}{[1 - 0,088 \ln(\frac{h_x}{10})]} \quad (\text{Σχέση 2.25})$$

Η μέση ταχύτητα σε ύψος διαφορετικό από το ύψος αναφοράς, για τιμές $K \geq 1,2$ μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση και από την εμπειρική σχέση του Lysen (1983):

$$\frac{C}{V_m} = \left(0,568 + \frac{0,433}{K}\right)^{-\frac{1}{K}} \quad \text{άρα} \quad V_m = \frac{C}{\left(0,568 + \frac{0,433}{K}\right)^{-\frac{1}{K}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_m = C \cdot \left(0,568 + \frac{0,433}{K}\right)^{\frac{1}{K}} \quad (\text{Σχέση 2.26})$$

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (Α/Γ)

3.1 Γενικά

Οι ανεμογεννήτριες (Α/Γ) είναι οι ειδικές ηλεκτρομηχανολογικές μηχανές που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, μετατρέποντας την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρισμό, είτε σε απευθείας σύνδεση με το δίκτυο, είτε τροφοδοτώντας κάποιο αυτόνομο σύστημα. Η μετατροπή αυτή επιτυγχάνεται με δύο συστήματα. Το πρώτο σύστημα αποτελείται από τον ανεμοκινητήρα (δρομέας ή ρότορας) όπου έχουμε τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική κινητική ενέργεια, ενώ το δεύτερο αποτελείται από την ηλεκτρογεννήτρια που μετατρέπει τη μηχανική κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η σύνδεση των δύο αυτών συστημάτων επιτυγχάνεται με το σύστημα μετάδοσης κίνησης (άξονας χαμηλής ταχύτητας, κιβώτιο ταχυτήτων, άξονας υψηλής ταχύτητας) [17].

3.2 Κατάταξη Α/Γ

Η κατάταξη των Α/Γ συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα [17]:

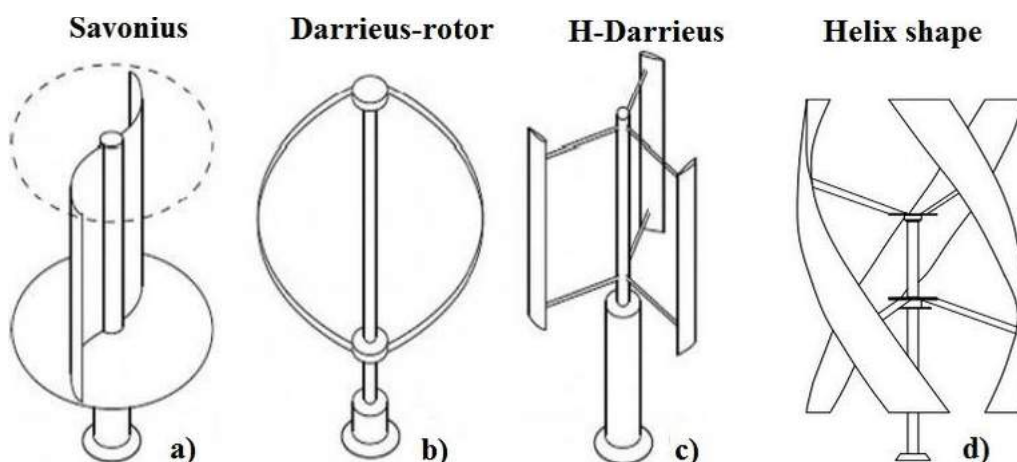
Βάσει της θέσης του άξονα περιστροφής	A/Γ κατακόρυφου άξονα
	A/Γ οριζόντιου άξονα
Βάσει της περιστροφικής ταχύτητας	A/Γ σταθερής ταχύτητας
	A/Γ μεταβλητής ταχύτητας
Βάσει της μεθόδου ελέγχου της αεροδυναμικής ισχύος	A/Γ με έλεγχο της γωνίας βήματος των πτερυγίων
	A/Γ με έλεγχο απώλειας στήριξης

Πίνακας 3.1: Τα είδη των Α/Γ σύμφωνα με τα 3 βασικά κριτήρια κατηγοριοποίησης

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Βάσει της θέσης του άξονα περιστροφής (προσανατολισμός του άξονα σε σχέση με τη ροή του ανέμου)

Κατακόρυφου άξονα → Ο άξονάς τους είναι κάθετος ως προς το έδαφος και κατακόρυφος ως προς τη ροή του ανέμου. Έχουν εφαρμογή σε φωτισμό οδών, σε σχολεία, σε σπίτια, σε καταστήματα, καθώς και σε πύργους τηλεπικοινωνιών.



Εικόνα 3.1: Τύποι Α/Γ κατακόρυφου άξονα [21]

Πλεονεκτήματα [17]:

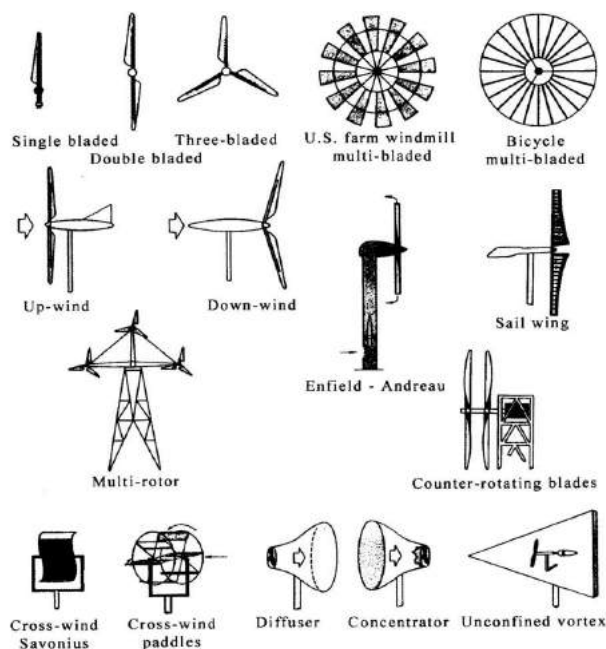
- Έχουν χαμηλό θόρυβο λειτουργίας.
- Μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν όπου δεν υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα χώρου γιατί έχουν κατά βάση μικρό μέγεθος.
- Η κατασκευή τους είναι απλή και οικονομική.
- Γενικά είναι εύκολη η συντήρησή τους διότι η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων βρίσκονται στη βάση τους.
- Η εκμετάλλευση του ανέμου από όλες τις διευθύνσεις λόγω της μορφολογίας των πτερυγίων.

Μειονεκτήματα [17]:

- Λόγω μικρής ισχύος και μεγέθους αδυνατούν να εκμεταλλευτούν ανέμους υψηλών ταχυτήτων.
- Ορισμένα μηχανικά τους τμήματα συντηρούνται δύσκολα (π.χ. τα έδρανα κύλισης).
- Η χαμηλή ταχύτητα περιστροφής και η μικρή απόδοση.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Οριζόντιου άξονα → Ο άξονας περιστροφής είναι οριζόντιος ως προς το έδαφος και σχεδόν παράλληλος στη ροή του ανέμου. Οι Α/Γ αυτού του τύπου αποτελούν το 95 % περίπου των υπαρχόντων συστημάτων αιολικής ενέργειας, επειδή τα πτερύγια τους (2 ή 3 σε μια τέτοια τυπική Α/Γ) έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης. Η συνολική αποδοτικότητά τους βέβαια είναι ανάλογη όχι μόνο του μεγέθους τους, αλλά και της ταχύτητας του ανέμου.



Εικόνα 3.2: Τύποι Α/Γ οριζόντιου άξονα [22]

Πλεονεκτήματα [17]:

- Η συναρμολόγησή τους είναι σχετικά εύκολη υπόθεση.
- Χάρη στο μεγάλο ύψος τους, μπορούν να αξιοποιήσουν ανέμους μεγάλης ταχύτητας.
- Διαθέτουν υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή.
- Προτιμώνται πιο συχνά λόγω μεγαλύτερης απόδοσης από εκείνες με κατακόρυφο άξονα.

Μειονεκτήματα [17]:

- Είναι υψηλό το κόστος κατασκευής και μεταφοράς τους.
- Είναι αρκετός ο θόρυβος που προκαλείται από τη λειτουργία.
- Η εκμετάλλευση του ανέμου από όλες τις κατευθύνσεις επιτυγχάνεται μόνο με χρήση ειδικού μηχανισμού περιστροφής των πτερυγίων.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Βάσει της περιστροφικής ταχύτητας

A/Γ σταθερής ταχύτητας → Οι A/Γ αυτές συνδέονται απευθείας στο δίκτυο με τη βοήθεια ενός μετασχηματιστή της τάσης εξόδου της γεννήτριας στα επίπεδα του δικτύου.

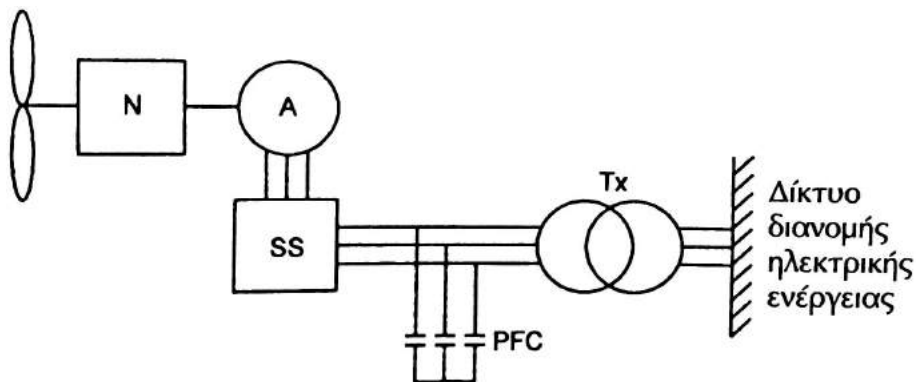
Για μια σύγχρονη ηλεκτρογεννήτρια η ταχύτητα περιστροφής είναι $n_s = \frac{f \cdot 60}{p}$ (Σχέση 3.1)

όπου n_s - η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής σε στροφές/λεπτό
 f - η συχνότητα του παραγόμενου ρεύματος (50 Hz)
 p - αριθμός ζευγών των πόλων της γεννήτριας

Για μια επαγωγική μηχανή έχουμε ταχύτητα περιστροφής $n = n_s \cdot (1-s)$ (Σχέση 3.2)

όπου n_s - η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής σε στροφές/min
 s - η διολίσθηση

Στις A/Γ σταθερής ταχύτητας η ταχύτητα περιστροφής του ανεμοκινητήρα (δρομέα), μέσω του συστήματος προσαρμογής στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων), προσαρμόζεται στην ταχύτητα περιστροφής του άξονα της γεννήτριας (άξονας υψηλής ταχύτητας).

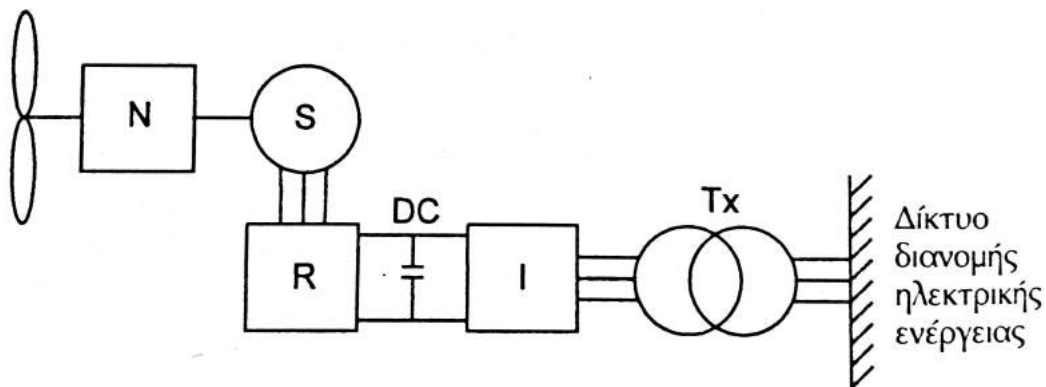


Εικόνα 3.3: Σχηματικό διάγραμμα A/Γ σταθερής ταχύτητας περιστροφής (N-κιβώτιο οδοντωτών τροχών μετάδοσης κίνησης, A-ασύγχρονη επαγωγική γεννήτρια, SS-εκκινητής soft starter, PFC-διόρθωση συντελεστή ισχύος, Tx-μετασχηματιστής) [23]

A/Γ μεταβλητής ταχύτητας → Αυτές οι A/Γ προσαρμόζουν την ταχύτητα περιστροφής τους στα επίπεδα ταχύτητας του ανέμου και συνδέονται με το δίκτυο μέσω ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος. Η είσοδος του ηλεκτρονικού μετατροπέα συνδέεται με την έξοδο της

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ηλεκτρογεννήτριας, η οποία παράγει ρεύμα διαφορετικής συχνότητας από αυτή του δικτύου. Στην έξοδο του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος, που συνδέεται με το δίκτυο, έχουμε ρεύμα συχνότητας ίσης με τη συχνότητα του δικτύου (50 Hz). Με τις Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας έχουμε το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού αλλά και το μειονέκτημα της πολυπλοκότητας του συστήματος, του μεγαλύτερου κόστους αρχικής εγκατάστασης, καθώς και του προβλήματος από την είσοδο ενοχλητικών αρμονικών στο δίκτυο. Στα αιολικά συστήματα όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται πλέον Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας.



Εικόνα 3.4: Σχηματικό διάγραμμα Α/Γ για λειτουργία σε μεταβλητές ταχύτητες (N-κιβώτιο ταχυτήτων, S-σύγχρονη γεννήτρια, R-ανορθωτής, I-αντιστροφέας, Tx-μετασχηματιστής) [23]

Βάσει της μεθόδου ελέγχου της αεροδυναμικής ισχύος

Α/Γ με έλεγχο της γωνίας βήματος των πτερυγίων → Στον έλεγχο της γωνίας βήματος των πτερυγίων έχουμε μέτρηση (από το σύστημα ελέγχου) της ισχύος στην έξοδο της Α/Γ και σε περίπτωση που λόγω υψηλών ταχυτήτων ανέμου ξεπεραστεί η τιμή αναφοράς, μεταβάλλεται κατάλληλα η κλίση των πτερυγίων. Όταν μειώνεται η ταχύτητα του ανέμου, η κλίση των πτερυγίων επανέρχεται στην κατάλληλη τιμή διατηρώντας την ισχύ εξόδου της Α/Γ στη μέγιστη δυνατή τιμή.

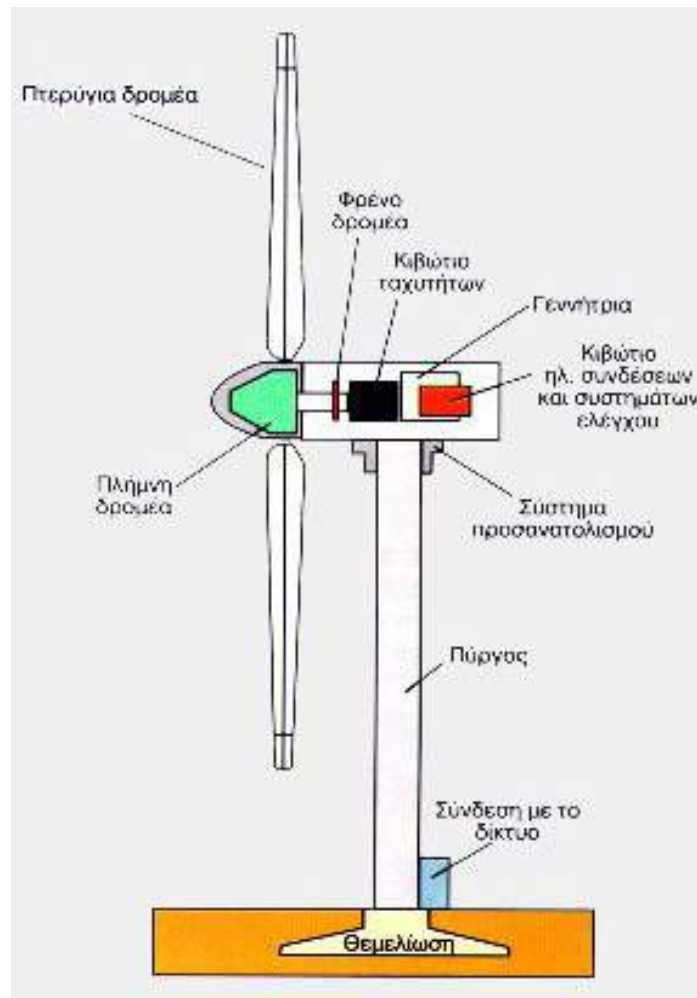
Α/Γ με έλεγχο απώλειας στήριξης → Ο έλεγχος απώλειας στήριξης στηρίζεται στον ειδικό σχεδιασμό και κατασκευή των πτερυγίων, ώστε η Α/Γ να μην υπερβαίνει την ονομαστική ισχύ.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

3.3 Δομή Α/Γ οριζοντίου άξονα

Τα κύρια μέρη μιας Α/Γ οριζόντιου άξονα είναι ο δρομέας (ρότορας) με την πλήμνη και τα πτερύγια, το σύστημα μετάδοσης κίνησης, η ηλεκτρική γεννήτρια, το σύστημα πέδησης (φρένο δρομέα), το σύστημα προσανατολισμού, ο πύργος στήριξης, ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός πίνακας και η βάση στήριξης (θεμελίωση) [17].

Οι Α/Γ των αιολικών πάρκων είναι εξοπλισμένες με συστήματα προσανατολισμού (προσανεμισμού), μετάδοσης κίνησης, πέδησης και ελέγχου λειτουργίας [17].



Εικόνα 3.5: Σκαρίφημα Α/Γ οριζοντίου άξονα [24]

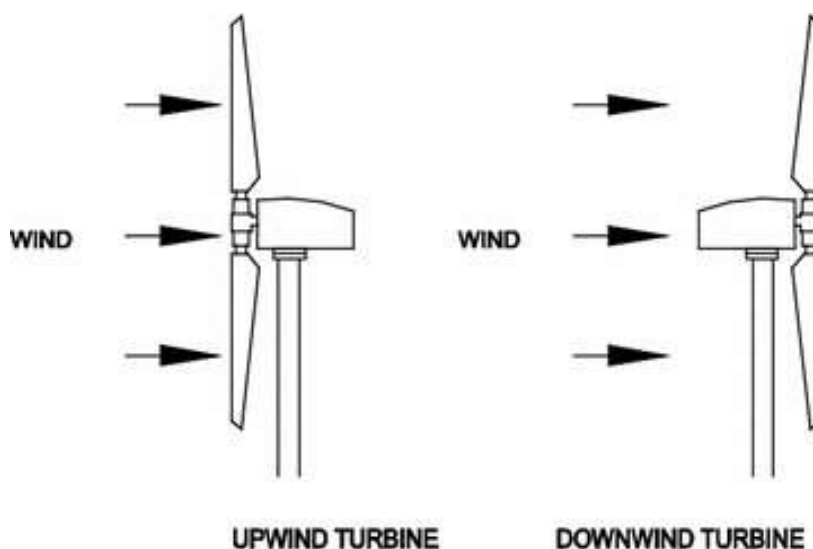
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

3.3.1 Δρομέας ή ρότορας

Ο δρομέας αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια κατασκευασμένα συνήθως από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω στην πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονά της μεταβάλλοντας το βήμα. Οι τρίπτερες Α/Γ κατασκευάζονται και με ρότορες μικρών διαστάσεων και έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς Α/Δ. Οι δίπτερες κατασκευάζονται με ρότορα από 10 m και πάνω, ενώ το κόστος κατασκευής και συντήρησής τους είναι μικρότερο από των τρίπτερων αντίστοιχου μεγέθους. Σημειώνεται ότι η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων έχει σχέση με [17]:

- την αεροδυναμική τους φόρτιση.
- το βαθμό απόδοσής τους.
- το κόστος κατασκευής της Α/Γ.
- θέματα αντοχής και συντονισμού.
- με θέματα μεταβολής της ροπής της μηχανής.

Η φτερωτή τοποθετείται είτε στα ανάντη (στο εμπρόσθιο τμήμα της Α/Γ από την πλευρά του ανέμου), είτε στα κατάντη (στο πίσω τμήμα της Α/Γ από την πλευρά του ανέμου) με τα πτερύγια να καλύπτουν ένα ποσοστό (2 έως 10 % συνήθως) της περιφέρειας που διαγράφουν. Επειδή στη λειτουργία στα κατάντη εντοπίζεται υψηλός θόρυβος, προτιμάται η λειτουργία της Α/Γ στα ανάντη [17].



Εικόνα 3.6: Φτερωτή Α/Γ ανάντη και κατάντη σε σχέση με τη ροή του ανέμου [25]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Για τη βελτίωση της απόδοσης και την προστασία της φτερωτής μιας Α/Γ, χρησιμοποιούνται φτερωτές μεταβλητού βήματος. Η μεταβολή του βήματος της φτερωτής γίνεται με την περιστροφή του πτερυγίου γύρω από τον διαμήκη άξονά του, μεταβάλλοντας τη γωνία προσβολής του από τον αέρα. Με τη διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η διατήρηση σταθερής ταχύτητας περιστροφής της Α/Γ, η αύξηση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων, ο έλεγχος της ισχύος που παράγεται και ο περιορισμός των δυνάμεων που καταπονούν τα πτερύγια [17].

3.3.2 Πτερύγια

Η σύνθεση και η δομή των πτερυγίων του δρομέα των Α/Γ (οριζόντιου άξονα) αποτελούν τον βασικότερο παράγοντα για την απόδοση του συστήματος, την ασφαλή λειτουργία και τον περιορισμό του θορύβου. Τα πτερύγια κατασκευάζονται συνήθως από πλαστικό (πολυεστερική ρητίνη) ενισχυμένο με υαλονήματα, χάλυβα ή αλουμίνιο και επικαλύπτονται με ειδικό υλικό για προστασία από υπερϊώδη ακτινοβολία. Σήμερα γίνεται χρήση ελαφριών υλικών για τον φέροντα σκελετό των πτερυγίων, όπως ειδικά ανθρακονήματα, που τα καθιστά πιο ελαφριά, πιο ανθεκτικά και με μεγαλύτερη ακαμψία από τα πτερύγια που είναι κατασκευασμένα από ίνες γυαλιού. Επιπλέον, τα πτερύγια τελευταίας τεχνολογίας έχουν σύστημα αυτόνομης λίπανσης της λεπίδας, περιορίζοντας αρκετά τον αριθμό των προληπτικών ελέγχων και της συντήρησης [17].

Τα πτερύγια μπορούν να έχουν σταθερό ή μεταβλητό βήμα ή μπορεί να περιστρέφεται το ακροπτερύγιό τους. Στα πτερύγια με σταθερό βήμα η πέδηση στις υψηλές ταχύτητες γίνεται αεροδυναμικά. Στα πτερύγια με μεταβλητό βήμα το πτερύγιο ή το ακροπτερύγιο μπορούν να στρέφονται από 6 έως -90 μοίρες έξω από το επίπεδο του δρομέα. Ο έλεγχος γίνεται από ειδικό σύστημα σύνδεσης με σερβομηχανισμό διατηρώντας σταθερή την ταχύτητα περιστροφής της Α/Γ. Με τον τρόπο αυτό έχουμε έχουμε βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων, έλεγχο της παραγόμενης ισχύος και περιορισμό των δυνάμεων που καταπονούν τα πτερύγια της Α/Γ [17].

Το μέγεθος των πτερυγίων είναι ανάλογο με την ισχύ της Α/Γ. Για Α/Γ ισχύος 50 W έχουμε μήκος πτερυγίων περίπου 0,5 m, για Α/Γ πολύ μεγάλης ισχύος, της τάξης των 3 MW, τα πτερύγια έχουν μήκος πάνω από 50 m. Η ταχύτητα περιστροφής κυμαίνεται από 30 έως 100 m/s (στα αιολικά πάρκα η ταχύτητα περιστροφής κυμαίνεται από 30 έως 70 m/s) [17].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Χαρακτηριστικό μέγεθος σε μια Α/Γ είναι η στερεότητα, που ορίζεται ως το πηλίκο της συνολικής επιφάνειας των πτερυγίων προς την επιφάνεια που σαρώνει κατά την περιστροφική του κίνηση ο δρομέας. Υπολογίζεται από τη σχέση [17]:

$$S = \frac{n \cdot A_{\text{πτ}}}{0,785 \cdot D^2} \quad (\text{Σχέση 3.3})$$

όπου S η στερεότητα (αδιάστατο μέγεθος μικρότερο της μονάδας)

n ο αριθμός των πτερυγίων

$A_{\text{πτ}}$ η επιφάνεια κάθε πτερυγίου (m^2)

D η διάμετρος της φτερωτής του δρομέα (m)

3.3.3 Πλήμνη

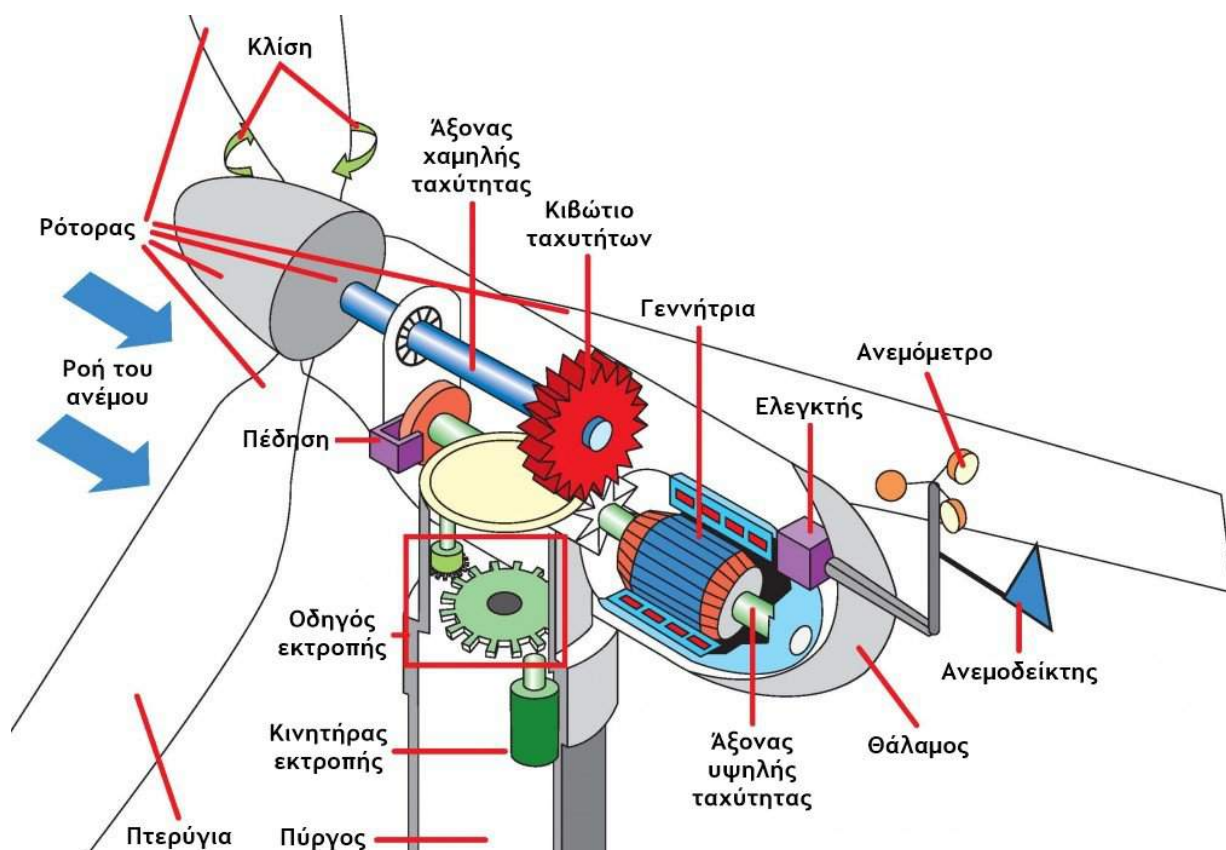
Η πλήμνη κατασκευάζεται συνήθως από χυτό όλκιμο σίδηρο και προσαρμόζεται κατευθείαν στον άξονα του δρομέα. Τα μέτωπα επαφής των πτερυγίων κατασκευάζονται με κοιλώματα και οπές για τις βίδες, που μπορεί να είναι σε μορφή σχισμών ώστε να επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της γωνίας βήματος κατά τη συναρμολόγηση και κατά τις μετέπειτα εργασίες συντήρησης και επισκευής. Στις μεγάλες Α/Γ προβλέπεται η δυνατότητα πρόσβασης στο εσωτερικό της πλήμνης, για την εξέταση και συντήρηση της διασύνδεσης των ακροπτερυγίων και των κοχλίων στήριξης των πτερυγίων [1].

3.3.4 Σύστημα μετάδοσης κίνησης

Το σύστημα μετάδοσης κίνησης αποτελείται από τον κύριο άξονα περιστροφής (άξονας χαμηλής ταχύτητας, άξονας υψηλής ταχύτητας), από τα έδρανα στήριξης και από το κιβώτιο προσαρμογής στροφών [17]:

- Ο άξονας χαμηλής ταχύτητας περιστρέφεται από τον ρότορα της Α/Γ με ταχύτητες περίπου από 30 έως 70 στροφές/min.
- Το κιβώτιο ταχυτήτων (ή προσαρμογής) συνδέει τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας προσαρμόζοντας την ταχύτητα περιστροφής στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας ή στην ονομαστική ταχύτητα λειτουργία της επαγωγικής μηχανής. Η σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας εξαρτάται από τον αριθμό ζευγών των πόλων που έχει και πρέπει να παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια λειτουργίας με μεταβαλλόμενο φορτίο (σταθερή συχνότητα παραγόμενου ρεύματος). Η προσαρμογή αυτή γίνεται στις Α/Γ σταθερής ταχύτητας.
- Ο άξονας υψηλής ταχύτητας οδηγεί τη γεννήτρια.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 3.7: Σκαρίφημα συστήματος μετάδοσης κίνησης (ισχύος) Α/Γ οριζόντιου άξονα [26]

3.3.5 Ηλεκτρική γεννήτρια και σύστημα ψύξης

Για τις Α/Γ μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούνται επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού ή δακτυλιοφόρου δρομέα. Για Α/Γ μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη ή δακτυλιοφόρου δρομέα [17].

Οι επαγωγικές γεννήτριες περιστρέφονται με ταχύτητα λίγο μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα (κατά το ποσοστό της διολίσθησης s), είναι απλές στην κατασκευή τους, έχουν μικρό σχετικά κόστος, αλλά χρειάζονται ρεύμα από το δίκτυο (ρεύμα μαγνήτισης) για τη δημιουργία στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και έχουν το μειονέκτημα να καταναλώνουν άεργο ισχύ [17].

Οι σύγχρονες γεννήτριες περιστρέφονται με ταχύτητα ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα, που για ρεύμα συχνότητας 50 Hz εξαρτάται από τον αριθμό ζευγών των μαγνητικών πόλων [17].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Παράδειγμα, για σύγχρονη γεννήτρια με 10 ζεύγη πόλων, για παραγωγή εναλλασσομένου ρεύματος συχνότητας 50 Hz, θα έχουμε ταχύτητα περιστροφής [17]:

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{50 \cdot 60}{10} = 300 \text{ στροφές/min ή } 5 \text{ στροφές/s}$$

Η θερμοκρασία των τυλιγμάτων της γεννήτριας ελέγχεται με ειδικούς αισθητήρες (τοποθετημένοι στα τυλίγματα) που στέλνουν άμεσα την ανάγνωση της θερμοκρασίας στον ελεγκτή. Σε περίπτωση που η θερμοκρασία ξεπεράσει το ανώτερο επιτρεπτό όριο λειτουργίας (καθορίζεται από τον κατασκευαστή) στέλνεται από τον αισθητήρα σήμα στον ελεγκτή για αυτόματο κλείσιμο της Α/Γ. Η ψύξη της γεννήτριας γίνεται συνήθως με θερμοστατικά ελεγχόμενο ανεμιστήρα που στέλνει τον απαραίτητο αέρα ψύξης στην επιφάνειά της. Ο αέρας διοχετεύεται μέσω αεραγωγών στο εμπρόσθιο τμήμα της γεννήτριας και η απαγωγή του γίνεται από το πίσω μέρος. Τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του αέρα στο στέγαστρο της γεννήτριας υπάρχουν συνήθως ειδικοί ανακλαστήρες για την απορρόφηση του θορύβου [17].

3.3.6 Σύστημα πέδησης ή φρένο δρομέα

Τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας για την προστασία της Α/Γ από τις υψηλές ταχύτητες, για έλεγχο ή και για εργασίες συντήρησης. Το σύστημα πέδησης περιλαμβάνει συνήθως αεροδυναμικό και μηχανικό σύστημα ασφαλείας (αεροπέδη και μηχανικά φρένα) με τα οποία έχουμε μερικό έλεγχο του ανοίγματος πτερυγίου ή μεταπτερυγίου και ένα μηχανικό φρένο με δύο επίπεδα ροπών ρυθμιζόμενα από το σύστημα ελέγχου. Το σύστημα επίσης περιλαμβάνει ελαστικούς συνδέσμους απορρόφησης ταλαντώσεων. Το μηχανικό φρένο μπορεί να τοποθετηθεί στον άξονα υψηλής ταχύτητας περιστροφής, όπου απαιτείται μικρή σχετικά δύναμη ροπής πέδησης ή στον άξονα χαμηλής ταχύτητας περιστροφής (άξονας περιστροφής γεννήτριας) όπου λόγω της μεγάλης ροπής πέδησης απαιτείται φρένο με μεγάλες διαστάσεις, μεγάλο βάρος και υψηλό κόστος. Η τοποθέτηση του μηχανισμού πέδησης στον άξονα χαμηλής περιστροφικής ταχύτητας αποτελεί τη βέλτιστη τεχνικά λύση, επειδή προστατεύεται αποτελεσματικότερα η φτερωτή και το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης (ισχύος) [17].

3.3.7 Σύστημα προσανατολισμού ή εκτροπής

Το σύστημα προσανατολισμού βρίσκεται στην κορυφή του πύργου στήριξης με την άτρακτο να εδράζεται πάνω σε αυτό. Χρησιμοποιείται για τον αυτόματο προσανατολισμό της ατράκτου (κατά τη διάρκεια λειτουργίας της Α/Γ αναγκάζει τον άξονα περιστροφής του ρότορα να βρίσκεται συνεχώς παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου) [17].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Το σύστημα προσανατολισμού ελέγχεται και οδηγείται από τον ελεγκτή της Α/Γ με βάση τις πληροφορίες που στέλνει ο ανεμοδείκτης. Η λειτουργία είναι ηλεκτρική και όλο το σύστημα αποτελείται από το κατάστρωμα (κατασκευής από όλκιμο σίδηρο), τον δακτύλιο περιστροφής που φέρει γρανάζι στο εσωτερικό, τις ηλεκτρικές μονάδες οδήγησης του συστήματος και το ρυθμιζόμενο σύστημα τριβής (απόσβεση περιττών κινήσεων προσανεμισμού). Ολόκληρο το σύστημα εφαρμόζει με ειδικό κυλινδρικό κολάρο στην κορυφή του πύργου στήριξης [17].

Η πλειοψηφία των Α/Γ λειτουργεί με έλεγχο εκτροπής. Γίνεται μέτρηση της κατεύθυνσης του ανέμου και σύγκριση με τη θέση του ρότορα. Αν ο ρότορας δεν είναι κάθετος στην κατεύθυνση του ανέμου, δίνεται εντολή στις ηλεκτρικές μονάδες οδήγησης του συστήματος για περιστροφή του ατρακτιδίου. Όταν η Α/Γ λειτουργεί με τον ρότορα κάθετο προς τη μέση διεύθυνση του ανέμου, έχουμε μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ελαχιστοποίηση των φορτίων καταπόνησης του ρότορα [17].

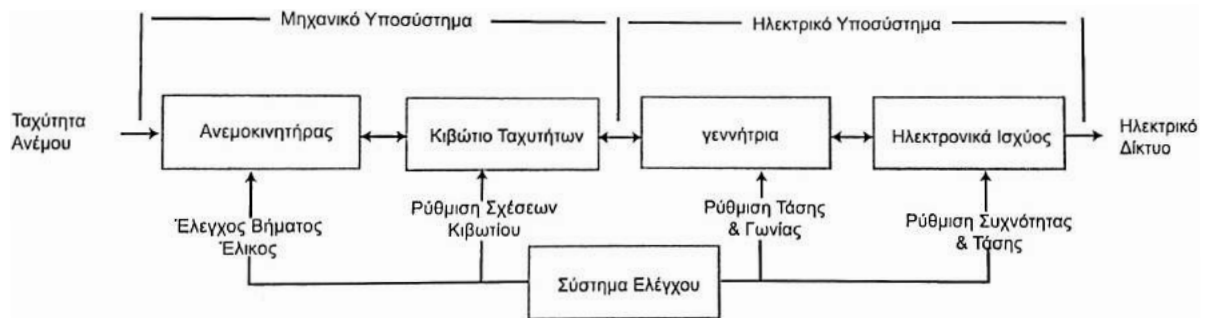
3.3.8 Σύστημα ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου βασίζεται σε πολλούς διασκορπισμένους μικροελεγκτές. Οι πολλαπλοί μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται για καθολική παρακολούθηση και έλεγχο του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμίσεων ισχύος και βήματος, την εφαρμογή πέδησης στον κύριο άξονα και το σύστημα προσανεμισμού, την εφαρμογή τους στους κινητήρες του συστήματος προσανεμισμού και των αντλιών και τέλος στον έλεγχο των συνδέσεων της γεννήτριας. Μπορεί να λειτουργεί σε ιδιαίτερα αντίξοες συνθήκες, όπως σε θερμοκρασίες μεταξύ -25 και 70 °C και υγρασία από 0 έως 100 % σε συμπυκνωμένη ατμόσφαιρα [1].

Η κύρια μονάδα επεξεργασίας επικοινωνεί με περισσότερους μικροελεγκτές, οι οποίοι είναι καταναμημένοι στα διάφορα υποσυστήματα της Α/Γ. Το σύστημα ελέγχου συλλέγει και καταγράφει διάφορες στατιστικές πληροφορίες σχετικές με την απόδοσή της Α/Γ, καταγραφή αστοχιών κ.τ.λ., για αναλύσεις απόδοσης και διαγνώσεις σφαλμάτων. Συνήθως προσφέρει δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων (μέσω interface) από το χειριστή και άμεσης επικοινωνίας με τον κυρίως επεξεργαστή. Μπορεί να υπάρχει πρόβλεψη και για φορητό ασύρματο σύστημα επικοινωνίας και άλλη έξοδος επικοινωνίας για μακρινό εποπτικό έλεγχο και απόκτηση δεδομένων (SCADA). Το σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί έναν εκκινητή χαμηλής τάσεως (soft starter) ο οποίος φέρει βαθμιαία την ασύγχρονη γεννήτρια σε γραμμή με το δίκτυο. Αυτός ο εκκινητής χρησιμοποιεί ανορθωτές υψηλής ισχύος στερεάς καταστάσεως SCR, οι οποίοι εξασφαλίζουν υψηλή απόδοση και χαμηλή ροπή για την κύρια σύνδεση της γεννήτριας [1].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Το υποσύστημα για τη ρύθμιση του μεταβαλλόμενου βήματος και της ισχύος επικοινωνεί με τον κυρίως ελεγκτή μέσω μιας σειριακής θύρας υψηλής ταχύτητας φροντίζοντας για την αναλογική θέση πραγματικού χρόνου και για τη ρύθμιση της ισχύος εξόδου της Α/Γ. Τέλος, ο ελεγκτής έχει διάφορους τύπους λειτουργίας όπως Αυτόματος, Αναμονής, Διακοπής, Διακοπής Επείγουσας Ανάγκης, που μπορούν να προσδιορίζονται από το χειριστή, τον ίδιο τον ελεγκτή, ή μέσα από το σύστημα SCADA [1].



Εικόνα 3.8: Διάγραμμα λειτουργίας και ελέγχου Α/Γ [17]

3.3.9 Πύργος στήριξης

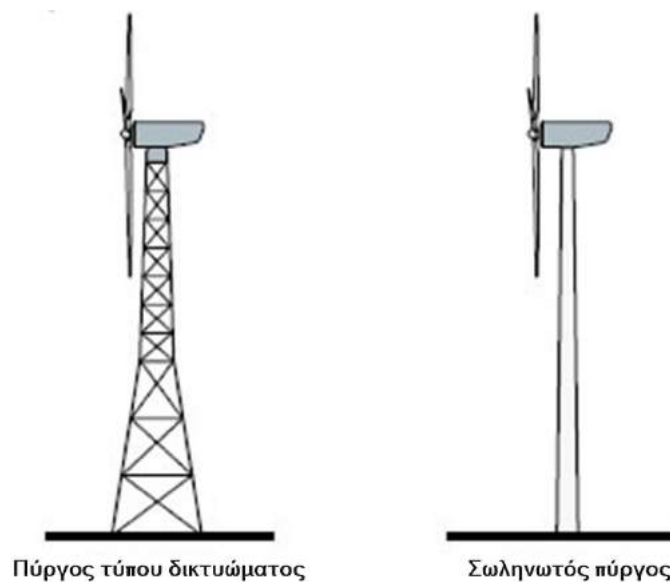
Ο πύργος της Α/Γ στηρίζει την άτρακτο και μπορεί να είναι τύπου δικτυώματος ή σωληνωτός. Η εφαρμογή του τύπου του πύργου στήριξης έχει σχέση με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης και τα οικονομικά κριτήρια. Ο πύργος τύπου δικτυώματος είναι οικονομικότερος από τον σωληνωτό που έχει το πλεονέκτημα της προστασίας των ατόμων που έχουν σχέση με την παρακολούθηση της λειτουργίας της Α/Γ και τη συντήρησή της [17].

Ο πύργος τύπου δικτυώματος κατασκευάζεται από χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ για προστασία από τη διάβρωση, έχει συνήθως τριγωνική διάταξη στήριξης και στο εσωτερικό της διάταξης φέρει κλίμακα που οδηγεί στην κορυφή του πύργου για συντήρηση ή επισκευή των επιμέρους συσκευών και εξαρτημάτων της Α/Γ [17].

Ο σωληνωτός πύργος κατασκευάζεται συνήθως από χαλυβδόφυλλα (σε ορισμένες περιπτώσεις και από τσιμέντο) σε περισσότερα του ενός τμήματα. Η εξωτερική επιφάνεια του πύργου, μετά τη διαδικασία συγκόλλησης, δέχεται επικάλυψη με διαδοχικές στρώσεις από κατάλληλο υλικό για προστασία από τη διάβρωση. Στη βάση του πύργου υπάρχει θύρα ασφαλείας που οδηγεί στο εσωτερικό του, όπου υπάρχει κλίμακα ή ανελκυστήρας που οδηγεί στην κορυφή και στο

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

εσωτερικό του θαλάμου της Α/Γ. Στο εσωτερικό του κάτω τμήματος του σωληνωτού πύργου τοποθετείται ο ηλεκτρικός πίνακας με τα όργανα προστασίας και ζεύξης της γεννήτριας με τον υποσταθμό ή το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας [17].



Εικόνα 3.9: Τα 2 βασικά είδη πύργων στήριξης Α/Γ [27]

Ο πύργος στήριξης απαιτεί ειδική και ισχυρή θεμελίωση που να αντέχει στα φορτία και τις καταπονήσεις της Α/Γ και πρέπει να σχεδιάζεται, ώστε οι ιδιοσυχνότητές του να μη συμπίπτουν με αυτές που επάγονται από τον δρομέα. Το μέγεθος και ο οπλισμός της βάσης στήριξης, στο εσωτερικό της οποίας εγκιβωτίζεται ο κορμός του πύργου, εξαρτάται από τις διαστάσεις, το βάρος και τις συνθήκες φόρτισης της Α/Γ [17].

3.3.10 Ηλεκτρικός πίνακας

Με σκοπό την επίτευξη της βέλτιστης λειτουργίας τους, οι Α/Γ διαθέτουν ένα σύστημα ελέγχου που παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες τους. Το σύστημα αυτό είναι ο ηλεκτρικός πίνακας, ο οποίος τοποθετείται συνήθως στη βάση του πύργου στήριξης. Περιλαμβάνει ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές διατάξεις για την παρακολούθηση και την ασφαλή λειτουργία της γεννήτριας. Στις Α/Γ μεγάλης ισχύος το σύστημα λειτουργίας, ελέγχου και ζεύξης της γεννήτριας περιλαμβάνει μια σειρά από πίνακες τύπου πεδίου που τοποθετούνται συνήθως στο εσωτερικό του κάτω μέρους του πύργου στήριξης [17].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

3.4 Αντικεραυνική προστασία και γείωση

Οι Α/Γ φέρουν αντικεραυνική προστασία που συμπεριλαμβάνει και τα πτερύγια του ρότορα (προστασία και στο υψηλότερο σημείο). Το σύστημα γείωσης των Α/Γ συνδέεται με το σύστημα γείωσης του μετασχηματιστή (IEC 413.1.3.2 και 413.1.3.3) και περιλαμβάνει [17]:

- Την περιμετρική γείωση που τοποθετείται σε απόσταση περίπου ενός μέτρου από τα θεμέλια της Α/Γ.
- Τους ράβδους χαλκού που τοποθετούνται σε αποστάσεις που ορίζονται από τους κανονισμούς (Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384).
- Τον αγωγό σύνδεσης με την Α/Γ (τουλάχιστον σε δύο σημεία). Η διατομή του αγωγού πρέπει να είναι ανάλογη του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

Η συνολική αντίσταση γείωσης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10 Ohm.

3.5 Ισχύς Α/Γ

Η κινητική ενέργεια από κάποια αέρια μάζα m που κινείται με ταχύτητα V_m υπολογίζεται από τη σχέση [17]:

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_m^3 \quad (\text{Σχέση 3.4})$$

Η αέρια μάζα που διαπερνά την επιφάνεια σάρωσης της Α/Γ είναι:

$$m = \rho \cdot A \cdot V_m \quad (\text{Σχέση 3.5})$$

Η ισχύς του ανέμου ορισμένης ταχύτητας που περνάει από την επιφάνεια σάρωσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{av} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot V^3 \quad (\text{Σχέση 3.6})$$

όπου P_{av} = η ισχύς του ανέμου ή η θεωρητική ισχύς (W)

ρ_a = η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3)

A το εμβαδόν του κύκλου από την κίνηση (σάρωση) των πτερυγίων της Α/Γ (m^2)

V η ταχύτητα του ανέμου (m/s)

Εάν η πυκνότητα δεν είναι γνωστή, χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος για τον υπολογισμό της:

$$\rho_a = \frac{P_a}{Rg \cdot T_a} \quad (\text{Σχέση 3.7})$$

όπου P_a η πίεση του περιβάλλοντος (N/m^2)

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

R_g μια σταθερά αερίων ($287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ για τον περιβαλλοντικό αέρα)

T_a η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (K)

Η πυκνότητα του αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας είναι ίση με $1,225 \text{ kg/m}^3$

Επίσης, η επιφάνεια σάρωσης A υπολογίζεται με τη σχέση:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (\text{Σχέση 3.8})$$

όπου D η διάμετρος της φτερωτής της Α/Γ (m)

Στην πράξη, μια Α/Γ είναι αδύνατο να αποδώσει την ισχύ που μπορούμε να υπολογίσουμε μέσω των σχέσεων θεωρητικά. Εάν συνέβαινε αυτό, ο αέρας που θα περνούσε πίσω από την φτερωτή δεν θα απομακρυνόταν και η κινητική ενέργεια στον άξονα θα ήταν μηδέν.

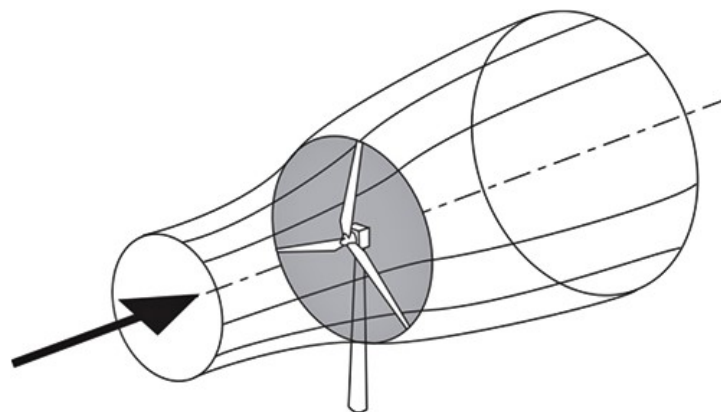
Θεωρείται πως μια ιδανική Α/Γ θα μπορούσε να ελαττώσει την ταχύτητα εισόδου του αέρα στην φτερωτή κατά τα $2/3$ της τιμής της.

Η μηχανική ισχύς που παράγεται από την αξιοποίηση του ανέμου δίνεται από τη σχέση:

$$P_{\text{μηχ}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \quad (\text{Σχέση 3.9})$$

όπου C_p = ο συντελεστής ισχύος (κατά Albert Benz έχει τιμή μέχρι 0,593)

Σύμφωνα με το νόμο του Benz, η μέγιστη μηχανική που μπορούμε να πάρουμε από την αιολική είναι ίση με το 59,3 % αυτής. Πρακτικά, η τιμή του C_p λαμβάνεται συνήθως ίση με το 65 % της μέγιστης τιμής του, οπότε έχουμε: $C_p = 0,65 \cdot 0,593 = 0,385 \approx 0,4$



Εικόνα 3.10: Ροϊκός σωλήνας δρομέα τυπικής Α/Γ [28]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Οι μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες Α/Γ παρέχονται από τους κατασκευαστές (10 % περίπου κατά γενικό κανόνα).

Συμπερασματικά, η ηλεκτρική ισχύς Α/Γ υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{\mu \gamma \epsilon \nu} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\alpha} \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta_{H/M} \quad (\text{Σχέση 3.10})$$

Σημειώνεται επίσης ότι η ροή ενέργειας μιας Α/Γ, ανά m^2 δέσμης αέρος, για ταχύτητες ανέμου μεταξύ V_1 ως V_2 είναι:

$$E\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = \frac{1}{2} \cdot \Delta t \cdot \int_{V_1}^{V_2} \rho \cdot V^3 \cdot f(V) dV \quad (\text{Σχέση 3.11})$$

3.6 Λειτουργικά χαρακτηριστικά

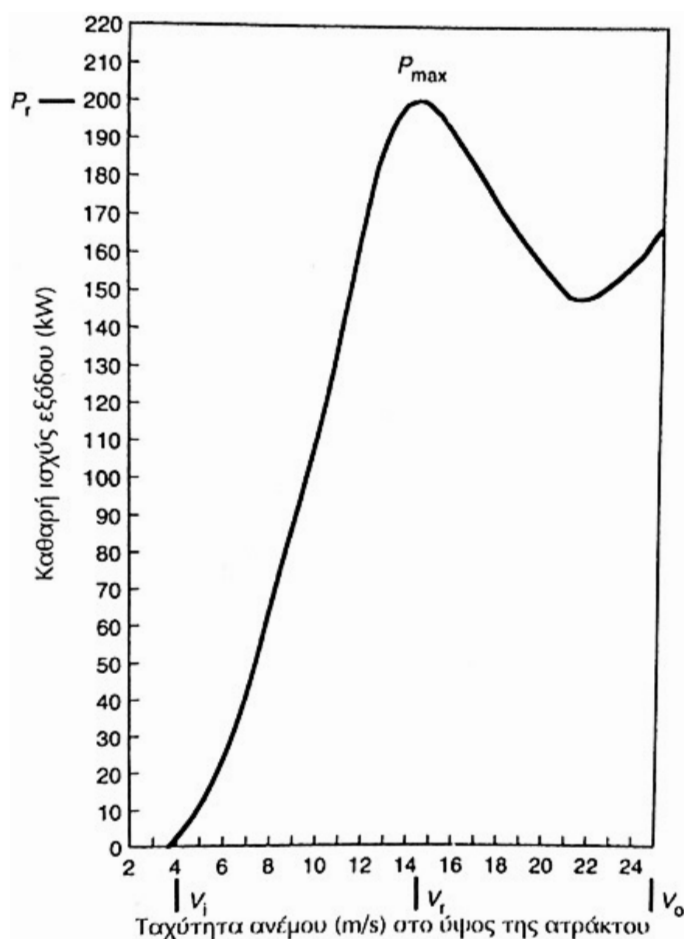
Εκτός από τα δομικά χαρακτηριστικά των Α/Γ, εξίσου σημαντικά είναι και τα λεγόμενα λειτουργικά. Μερικά από αυτά είναι η απόδοση ισχύος, η διαθεσιμότητα, ο ετήσιος υπολογισμός ενέργειας και η απόδοση συστοιχίας Α/Γ.

3.6.1 Απόδοση ισχύος

Η καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ δείχνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί στο ύψος της ατράκτου (στο ύψος της πλήμνης της έλικας). Η καμπύλη αυτή προσδιορίζεται είτε με θεωρητικούς υπολογισμούς, είτε με δοκιμές στην πράξη. Οι δοκιμές αυτές γίνονται σύμφωνα με διεθνείς προδιαγραφές και συστάσεις, όπως αυτές του Διεθνούς Πρακτορείου Ενέργειας (1990). Οι καμπύλες ισχύος που προκύπτουν από αυτές τις δοκιμές καταγράφουν τους μέσους όρους μετρήσεων που λαμβάνονται μέσα σε χρονικά διαστήματα 10 min. Ο μέσος όρος μιας σειράς μετρήσεων ισχύος εξόδου σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου, που λαμβάνονται μέσα σε 10 min δεν θα δείξει ποτέ κάποιο μεταβατικό φαινόμενο που συνέβη ενδεχομένως μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα των 10 min [23].

Η απόδοση μιας Α/Γ ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που μετριέται στην έξοδο της γεννήτριας προς την ενέργεια του ανέμου που σαρώνει το εμβαδόν της κυκλικής επιφάνειας που διαγράφεται από την περιστροφή της έλικας [23].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Σχήμα 3.1: Καμπύλη ισχύος ενδεικτικής Α/Γ 200 KW με έλικα αυτοπέδησης [23]

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ με έλικα αυτορυθμιζόμενης πέδησης (όχι με ρύθμιση γωνίας πρόσπτωσης). Στην καμπύλη αυτή φαίνονται οι εξής παράμετροι [23]:

- Ταχύτητα κατωφλίου εισόδου V_i → Η ταχύτητα του ανέμου που η γεννήτρια αρχίζει να παράγει καθαρή ισχύ. Η ταχύτητα αυτή είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για την εκκίνηση της έλικας.
- Ταχύτητα κατωφλίου εξόδου V_0 → Είναι η ταχύτητα του ανέμου που η γεννήτρια παράγει ισχύ με ελαττωμένο μηχανικό και αεροδυναμικό φορτίο και άνευ ηλεκτρικών απωλειών.
- Εκτιμητέα ισχύς P_r → Η ονομαστική μέγιστη και συνεχής ισχύς εξόδου της γεννήτριας (χωρίς απώλειες).
- Εκτιμητέα ταχύτητα V_r → Η ταχύτητα του ανέμου που παράγει την εκτιμητέα ισχύ.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Στο εν λόγω σχήμα φαίνεται φαίνεται η καθαρή ισχύς εξόδου σε KW που λαμβάνεται στην έξοδο της γεννήτριας, απαλλαγμένη από αεροδυναμικές, μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου υπερνικούνται οι μηχανικές τριβές και τα αεροδυναμικά φορτία που ασκούνται στον άξονα περιστροφής της έλικας, οπότε η ροπή που εφαρμόζεται στον άξονα είναι σταθερή. Σταθερή είναι επίσης και η παραγόμενη ισχύς εξόδου δηλαδή η εκτιμητέα ισχύς και αυτό συμβαίνει μέχρι την V_0 . Το ίδιο συμβαίνει και με έλικες ρύθμισης γωνίας πρόσπτωσης [23].

3.6.2 Διαθεσιμότητα

Σαν διαθεσιμότητα ορίζουμε το μέρος του χρόνου που η Α/Γ μπορεί να παράγει ισχύ. Οι τυπικές διαθεσιμότητες των σύγχρονων Α/Γ κυμαίνονται από 95 - 99 % και είναι καλύτερες και από πετρελαιοκίνητα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη. Το 1 - 5 % του χρόνου που δεν είναι διαθέσιμες οφείλεται είτε σε συντήρηση, είτε σε επισκευή βλάβης [23].

Ωφέλιμη ισχύς παράγεται μεταξύ των ταχυτήτων ανέμου V_i και V_0 και όσο εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες ανέμου, η Α/Γ θα λειτουργεί σε επίπεδο χαμηλότερο απ'ό,τι αυτό της διαθεσιμότητάς της [23].

Άλλο μέτρο αξιοποίησης είναι ο συντελεστής φόρτου ή χρησιμοποίησης και ορίζεται ως το πηλίκον της πραγματικής ενέργειας που παράγεται για ορισμένο χρονικό διάστημα, προς την εκτιμητέα ενέργεια που θα παράγονταν στο ίδιο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα [23]:

$$\text{Συντελεστής εβδομαδιαίου φόρτου} = \frac{\text{Ενέργεια που παράγεται ανά βδομάδα (KWh)}}{\text{Εκτιμητέα ενέργεια Α/Γ (KW) \cdot 24 (h) \cdot 7 (days)}} \quad (\text{Σχέση 3.12})$$

Υπάρχουν παρόμοια μέτρα για την αξιοποίηση ενός σταθμού παραγωγής. Προκειμένου να αποφύγουμε τη σύγχυση όταν συγκρίνουμε την απόδοση ενός αιολικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, οι ακριβείς ορισμοί της διαθεσιμότητας ή του συντελεστή φόρτου πρέπει να έχουν κατανοηθεί. [23]

3.6.3 Υπολογισμός ετήσιας ενέργειας

Ο υπολογισμός της ετήσιας ενέργειας που παράγεται από μια Α/Γ ενέχει ουσιαστική σημασία για την εκτίμηση ενός σταθμού παραγωγής. Η μακροχρόνια κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου σε συνδυασμό με την καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ δίνει την παραγόμενη ενέργεια για κάθε

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ταχύτητα ανέμου και συνεπώς το σύνολο της ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός έτους. Κατά τον υπολογισμό συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται θύλακες του 1 m/s για ταχύτητες ανέμου και αυτό δίνει μια αποδεκτή ακρίβεια. Από τα δεδομένα λειτουργίας Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα λειτουργίας, τα εξαγόμενα αποτελέσματα του υπολογισμού μπορούν να εκφραστούν με μαθηματικό τύπο ως εξής:

$$\text{Ενέργεια} = \sum_{i=1}^{i=n} H(i) \cdot W(i) \quad (\text{Σχέση 3.13})$$

όπου $H(i)$ ο αριθμός των ωρών για ταχύτητα ανέμου του θύλακα i

$W(i)$ η ισχύς εξόδου που αντιστοιχεί στην ταχύτητα ανέμου του θύλακα i

3.6.4 Απόδοση συστοιχίας Α/Γ

Η συνολική ισχύς εξόδου ενός σταθμού παραγωγής (μιας συστοιχίας Α/Γ) είναι μικρότερη από το άθροισμα κάθε μιας μεμονωμένης Α/Γ, διότι όταν μια Α/Γ βρίσκεται στο κατώρευμα της προηγούμενης Α/Γ (αυτή που είναι πίσω από μια άλλη), αποδίδει λιγότερο, επειδή το κατώρευμα έχει μικρότερη ταχύτητα από το ανώρευμα. Επίσης, κατ'αυτόν τον τρόπο η ένταση της τυρβώδους ροής ανέμου αυξάνεται. Πρέπει ακόμα να λάβουμε υπόψιν την κόπωση των εξαρτημάτων και τις συχνές μεταβολές της τιμής της παραγόμενης ισχύος. Ανάλογα με τις περιστάσεις οι συνθήκες που επικρατούν σ'έναν αιολικό σταθμό παραγωγής (αιολικό πάρκο) μπορούν να μειώσουν την ισχύ εξόδου κατά 5 - 15 %. Μπορεί ακόμα να έχουμε απώλειες στους μετασχηματιστές του σταθμού και βέβαια λιγότερες απώλειες στα καλώδια συλλογής της παραγόμενης ισχύος, που μειώνουν ακόμα κατά 1 - 2 % τη συνολική ετήσια παραγόμενη ισχύ εξόδου [23].

3.7 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Τα περιβαλλοντικά οφέλη από την αιολική ενέργεια προέρχονται κυρίως από τη μείωση της χρήσης των πετρελαϊκών καυσίμων, πράγμα που οδηγεί στη μείωση της εκπομπής ρύπων που δημιουργούνται από την καύση (εκπομπή αερίων, ιπτάμενη στάχτη, σκουριά). Ρύποι παράγονται μόνο κατά τη φάση κατασκευής μιας Α/Γ, η οποία διαρκεί πολύ λίγο χρονικό διάστημα, ενώ σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας (1994), η δαπανώμενη ενέργεια για την κατασκευή της αποσβένεται κατά το 1ο έτος λειτουργίας της [23].

Είναι εν γένει γνωστό ότι οι αιολικές μηχανές όπως οι Α/Γ προκαλούν περιορισμένες επιδράσεις στο περιβάλλον. Αυτό γίνεται σαφέστερο αν αναλογιστούμε τις επιδράσεις των αντίστοιχων

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

θερμοηλεκτρικών ή πυρηνικών σταθμών παραγωγής ενέργειας στα οικοσυστήματα μιας περιοχής. Παρ' όλα αυτά σε μεμονωμένες περιπτώσεις αναφέρονται ορισμένες αρνητικές επιπτώσεις των Α/Γ στο περιβάλλον [2].

3.7.1 Οπτικοακουστική όχληση

Η οπτικοακουστική επίδραση είναι κάπως έντονη σε περιπτώσεις εγκατάστασης ανεμοκινητήρων μεγάλων διαστάσεων σε σχετικά κλειστές περιοχές. Αντίθετα, η εγκατάσταση μηχανών ή και ενός αιολικού πάρκου σε ανοικτές εκτάσεις δεν φαίνεται να επηρεάζει την οπτικοαισθητική της περιοχής. Η χρησιμοποίηση απλών σωληνωτών πύργων σε χρωματισμό που συμφωνεί με το περιβάλλον, φαίνεται να παρουσιάζει καλύτερη οπτική αποδοχή από τη χρησιμοποίηση δικτυωτού πύργου. Παράλληλα, η επίτευξη οπτικής ομοιομορφίας έχει αποδειχθεί ότι δεν διαταράσσει ιδιαίτερα την αρμονία της περιοχής. Επίσης, όταν οι Α/Γ περιστρέφονται, το ανθρώπινο μάτι τις θεωρεί χρήσιμες με αποτέλεσμα να γίνονται ευκολότερα οπτικά αποδεκτές, καθώς φαίνεται να εξυπηρετούν κάποιο σκοπό. Αντίθετα, όταν σημαντικός αριθμός Α/Γ δεν δουλεύει ενώ πνέουν άνεμοι, η προσδοκία του παρατηρητή περί της χρησιμότητάς τους κλονίζεται. Α/Γ με 3 πτερύγια δίνουν αισθητικά αρτιότερο αποτέλεσμα, ενώ ο χρωματισμός των πύργων στήριξης και των πτερυγίων διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην ομαλή ενσωμάτωση τους στον περιβάλλοντα χώρο, με επικρατέστερη επιλογή το λευκό χρώμα (εναλλακτική το γκρι) [2].

3.7.2 Επίδραση στο οικοσύστημα

Το μέγεθος της πιθανής διαταραχής της τοπικής οικολογίας που προξενείται κατά την εγκατάσταση και λειτουργία ενός αιολικού σταθμού, προβληματίζει πολλούς ανθρώπους. Πιο συγκεκριμένα, τα πουλιά κινδυνεύουν να πληγωθούν ή να σκοτωθούν αν συγκρουστούν στα πτερύγια ή στον πύργο στήριξης, αλλά ακόμα και να διαταραχθεί η ανάπτυξή τους και οι διατροφικές τους συνήθειες. Ο αριθμός των πτηνών που θυσιάζονται έτσι μπορεί να είναι από 0 έως και πολλές εκατοντάδες ανά Α/Γ στις χειρότερες περιπτώσεις. Ωστόσο, σύμφωνα με μελέτες (ενδεικτικά σε Δανία και Ισπανία), αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο αριθμός αυτός είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο που σχετίζεται με τον θάνατο πτηνών πάνω στις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης ή από αυτόν που σχετίζεται με την κυκλοφορία στους δρόμους (αυτοκίνητα), τη σύγκρουση με κτήρια ή με παράθυρα. Επίσης, φαίνεται πως με την πάροδο του χρόνου, τα πουλιά είναι ικανά να μαθαίνουν να συμβιώνουν και να εξοικειώνονται με τις αιολικές μηχανές [11], [23].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Η διαταραχή της ανάπτυξης των εντόπιων πτηνών δεν είναι τόσο μεγάλη όσο αυτή των αποδημητικών πουλιών. Σύμφωνα με το νόμο λοιπόν, απαγορεύεται η τοποθέτηση αιολικών σταθμών πλησίον των εναέριων οδών των αποδημητικών πτηνών ή εντός προστατευμένων περιοχών. Επίσης, οι Α/Γ μπορούν να σχεδιαστούν πλέον έτσι ώστε τα πουλιά να μην μπορούν να καθίσουν, ούτε να φωλιάζουν επάνω τους. Προσφάτως μάλιστα προτάθηκε στους κατασκευαστές να βάφουν μαύρη τη 1 έλικα της φτερωτής, διότι διαπιστώθηκε πως ενισχύει την αποτροπή των πουλιών από το να τις πλησιάζουν [23], [29].

3.7.3 Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή

Το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης-παρεμβολής δημιουργείται λόγω της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια του δρομέα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση διαταραχών στις τηλεπικοινωνίες (ραδιοφωνία και τηλεόραση). Η παρεμβολή ουσιαστικά προκαλείται από την επιφάνεια που διαγράφεται από την περιστροφή της έλικας, η οποία δρα σαν καθρέπτης και αντανακλά τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα ενός πομπού. Φαίνεται πως η αντικατάσταση των μεταλλικών πτερυγίων από πλαστικά μέρη έχει περιορίσει σημαντικά το πρόβλημα αυτό. Σε κάθε περίπτωση όμως καλό είναι να αποφεύγονται η περιοχές με εγκατεστημένες τηλεπικοινωνιακές κεραιές και αναμεταδότες [2], [23].

3.7.4 Θόρυβος

Σχεδόν το κάθε τι που αποτελείται από κινούμενα μέρη προκαλεί θόρυβο. Η αύξηση του επιπέδου θορύβου πάνω από ορισμένα όρια καθορίζει το βαθμό ενόχλησης και εξαρτάται από τα επίπεδα θορύβου πριν την εισαγωγή της νέας πηγής θορύβου [11].

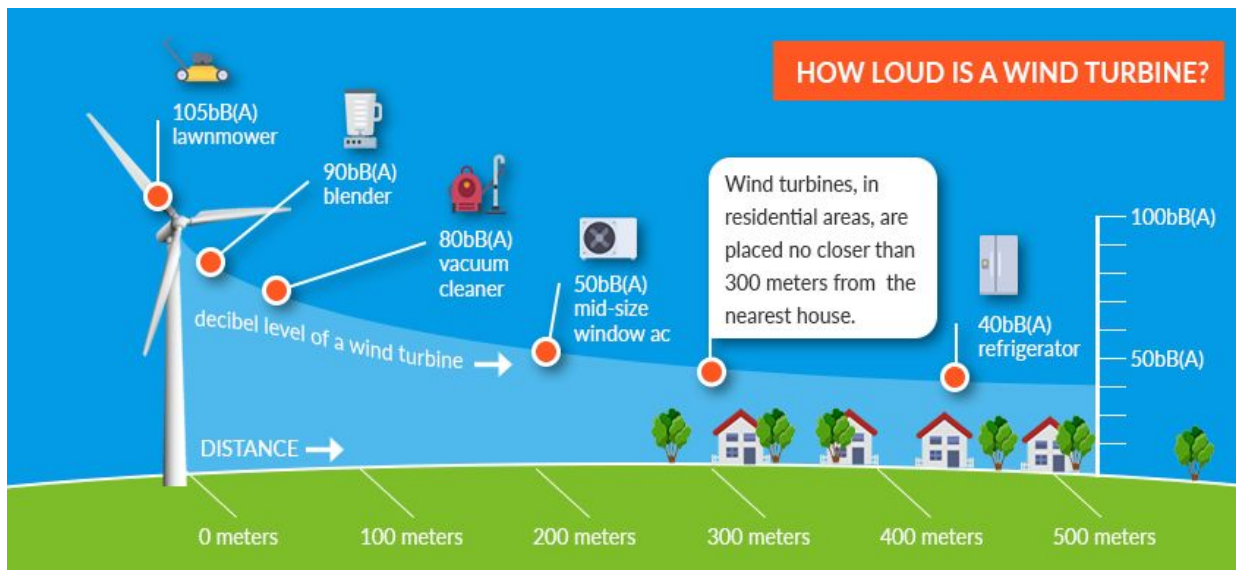
Σε μια Α/Γ, θόρυβο προκαλούν τα πτερύγια (αεροδυναμικός θόρυβος), το κιβώτιο ταχυτήτων και η γεννήτρια. Η σύγχρονη σχεδίαση των πτερυγίων, το σχήμα των Α/Γ, αλλά και ο χαμηλός αριθμός στροφών ελαχιστοποιούν τον θόρυβο. Το κιβώτιο και η γεννήτρια βρίσκονται τοποθετημένα σε κλειστό χώρο, όπου η σωστή σχεδίαση, αλλά και η μόνωση του θαλάμου με κατάλληλα υλικά προσφέρουν κατάλληλη ηχομόνωση [11].

Για την αντιμετώπιση του θορύβου, ιδιαίτερα τις ώρες κοινής ησυχίας, ορισμένοι κατασκευαστές παρέχουν στο χρήστη του αιολικού πάρκου την επιλογή της «νυκτερινής λειτουργίας», με μείωση των στροφών της φτερωτής αλλά και με παράλληλη μείωση της

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ο θόρυβος μιας Α/Γ συχνά καλύπτεται από το γενικό επίπεδο θορύβου του περιβάλλοντος [2].

Γενικά τα επίπεδα θορύβου που προκαλεί μια Α/Γ είναι ασύγκριτα χαμηλότερα από αυτά των αυτοκινητοδρόμων, τρένων, αεροπλάνων ή εργοταξίων. Οι προσπάθειες περιορισμού του όμως όσο το δυνατόν περισσότερο είναι απαραίτητες. Σε γενικά πλαίσια, επιδιώκεται ο θόρυβος να μην υπερβαίνει τα 40 dB τη νύχτα και τα 50 dB τη μέρα. Σημειώνεται ότι το ποσοστό μείωσης των ηχοεκπομπών, ώστε να βρίσκονται στα επιτρεπτά όρια, εξαρτάται ισχυρά και από την απόσταση μεταξύ Α/Γ και παρατηρητή [11].



Εικόνα 3.11: Επίπεδα θορύβου Α/Γ σε σχέση με την απόσταση παρατηρητή [30]

3.8 Κοινωνική διάσταση

Η αιολική τεχνολογία σημειώνει συνεχώς αλματώδη βελτίωση με μηχανές υψηλής αξιοπιστίας, αθόρυβες και με προσεγμένη σχεδίαση ως προς το αισθητικό κομμάτι. Η κοινωνία ωστόσο τείνει να αντιτίθεται σε κάθε τι καινούριο - άγνωστο. Το αν το κοινό δέχεται τους αιολικούς σταθμούς, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό αφενός από την αναγνώριση της ανάγκης διατήρησης των αποθεμάτων πετρελαϊκών καυσίμων που σπανίζουν και αφετέρου της ελάττωσης των εκπομπών βλαβερών αναθυμιάσεων. Χρειάζεται επομένως να γίνει ενημέρωση του κοινού μέσω

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

σεμιναρίων, έτσι ώστε να γίνει γνωστή και αυτή η εναλλακτική πηγή ενέργειας και να προαχθεί περαιτέρω στη γνώμη του κοινού. Σε μια σύγχρονη κοινωνία, η ενημέρωση αυτή ξεκινάει από το σχολείο και συνεχίζεται δια βίου μέσω ειδικών δράσεων περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης, με επισκέψεις σε χώρους εφαρμογών, με προβολή σχετικών ντοκιμαντέρ ή διαφημιστικών μηνυμάτων. Πρέπει επίσης να εμφυσηθεί το αίσθημα της τοπικής ιδιοκτησίας στην κοινή γνώμη, δηλαδή το γεγονός ότι μια συγκεκριμένη τοποθεσία στην οποία γίνεται η χωροθέτηση, έχει έναν δικό της αιολικό σταθμό που δεν μολύνει το περιβάλλον. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας χώρας που έχει πετύχει σ' αυτό το κομμάτι αποτελεί η Δανία, στην οποία η συντριπτική πλειοψηφία των πολιτών ενθαρρύνει τις προσπάθειες μεγιστοποίησης των ΑΠΕ στο εθνικό ενεργειακό τους ισοζύγιο. Εντυπωσιακό είναι το γεγονός ότι το 47 % του ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιήθηκε συνολικά το 2019 στη Δανία, προήλθε μόνο από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας (καταγράφοντας ιστορικό ρεκόρ), ενώ ταυτόχρονα οι στόχοι συνεχώς ανανεώνονται [11], [23], [31].

Το ελληνικό τοπίο αποτελεί πηγή πλούτου με την ευρεία έννοια και σαφώς είναι αγαθό υπό προστασία. Σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό (π.χ. νότια Εύβοια, ανατολική Κρήτη κ.α.), τα αρμόδια υπουργεία αλλά και το ΚΑΠΕ οφείλουν να συντονίζουν τις δράσεις τους, με σκοπό τη διαμόρφωση ενός πλαισίου αξιολόγησης που να βασίζεται στην επιστημονική τεκμηρίωση και στη συμμετοχή των τοπικών κοινωνιών, ώστε να προωθείται η ανάπτυξη των αιολικών σταθμών με γνώμονα το περιβαλλοντικό όφελος και την προστασία της αισθητικής του τοπίου. Με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τη συμμετοχή ιδιωτών στην ηλεκτροπαραγωγή είναι μακροπρόθεσμα προς όφελος των επενδυτών να αναπτυχθούν περαιτέρω τα αιολικά πάρκα, θέτοντας σε προτεραιότητα τη διαμόρφωση ενός ενεργειακού τοπίου που δεν θα αλλοιώνει το φυσικό περιβάλλον, αλλά θα το συμπληρώνει και θα το προστατεύει [11].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο
ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ (ΥΑΠ)

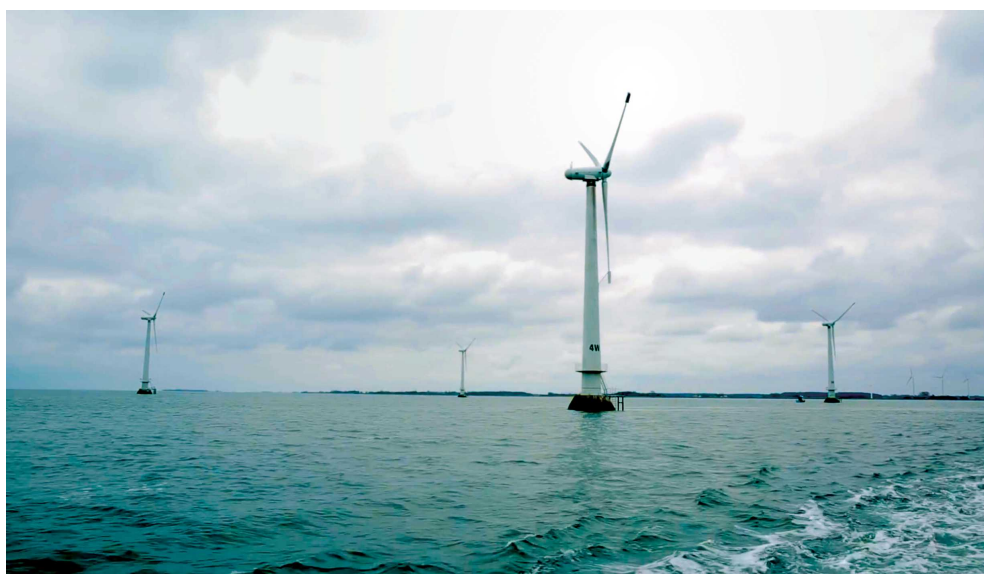
4.1 Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη

Η ΥΑΕ είναι ικανή με ορθή διαχείριση να ικανοποιήσει σε μεγάλο βαθμό τις παγκόσμιες απαιτήσεις περί ανανεώσιμων και μη ρυπογόνων πηγών ενέργειας. Σε σχέση με τα χερσαία αιολικά έργα, απαιτείται εφαρμοσμένη μηχανική για την κατασκευή και εγκατάσταση των υπεράκτιων Α/Γ, κάτι που καθιστούσε τη χρήση τους αρκετά δύσκολη στο παρελθόν. Ωστόσο, από το 1990 και έπειτα, επήλθε σημαντική αύξηση του μεγέθους και της απόδοσης των Α/Γ, που σε συνδυασμό με τα ήδη γνωστά πλεονεκτήματα της ΥΑΕ οδήγησε σε σημαντική μείωση του κόστους ανάθεσης και λειτουργίας των αιολικών πάρκων στη θάλασσα. Σημαντική πρόοδος επίσης υπήρξε και στον σχεδιαστικό τομέα με την εισαγωγή νέων υλικών όπως οι ανθρακοϊνες, τα οποία επέτρεψαν στους μηχανικούς να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά καιρικά ζητήματα όπως τη διάβρωση από το περιβάλλον της θάλασσας ή το μέγεθος, τη στιβαρότητα και το βάρος των πτερυγίων.

Το 1991 στη Δανία (περιοχή Vindeby) τέθηκε σε λειτουργία το πρώτο ΥΑΠ παγκοσμίως (αποσύρθηκε το 2017 μετά από 25ετή αποδοτική λειτουργία). Απαρτιζόταν από 11 Α/Γ των 450 KW (έκαστη), αυτορυθμιζόμενης πέδησης. Οι πύργοι τους βασιζόνταν σε θεμέλια από υδατοστεγή τσιμεντένια κιβώτια, τοποθετημένα σε βάθος 2 - 6 m. Η μέγιστη απόσταση από την ακτογραμμή υπολογιζόταν περίπου στα 3 km, ενώ το κόστος κατασκευής (περίπου 10 εκατομμύρια €) ήταν σχεδόν διπλάσιο συγκριτικά με την αντίστοιχη επένδυση που θα γινόταν σε χερσαίο έδαφος. Οι Α/Γ είχαν διάμετρο έλικας 35 m, με ύψος πλήμνης 35 m και στηρίζονταν σε χαλύβδινους πύργους. Η κατασκευή τους ήταν παρόμοια με αυτή των χερσαίων, με τη διαφορά ότι οι πύργοι στήριξης ήταν αεροστεγείς και οι άτρακτοι ήταν εφοδιασμένες με αφυγραντικό σύστημα. όλες οι επιφάνειες είναι βαμμένες με αντιδιαβρωτικό βερνίκι, ενώ τα κιβώτια ταχυτήτων και οι γεννήτριες είχαν εφοδιαστεί με μεταλλικούς ψύκτες. Επιπλέον, είχαν εγκατασταθεί γερανοί για τη συντήρηση. Στη βάση κάθε πύργου υπήρχε ένας μετασχηματιστής 10 KV/690 V, ενώ ταυτόχρονα ένα υποβρύχιο καλώδιο 10 KV (θαμμένο στον βυθό) μετέφερε στην ξηρά την ισχύ που απέδιδε κάθε Α/Γ. Το πάρκο αυτό παρήγαγε περίπου 12 GWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, νόμμερο που αντιστοιχεί σε 20 % περισσότερη ενέργεια απ' όση παράγει μια παρόμοια χερσαία εγκατάσταση.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Οι πρώτες βάσεις για εμπορική χρήση της ΥΑΤ τέθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '90, οπότε και άρχισαν να κατασκευάζονται Α/Γ της τάξης των MW, που μπορούσαν να τοποθετηθούν σε μεγαλύτερα υδάτινα βάθη.



Εικόνα 4.1: ΥΑΠ Vindeby (περιοχή ακτής Lolland) της Δανίας (το 1ο ΥΑΠ στην ιστορία παγκοσμίως) [32]

Την παρούσα στιγμή (έτος 2020), το μεγαλύτερο ΥΑΠ στον κόσμο είναι το Hornsea One, στο Ηνωμένο Βασίλειο (ακτές του Yorkshire). Καλύπτει συνολική έκταση 407 km² και περιλαμβάνει 174 Α/Γ, ύψους 190 m και συνολικής ισχύς 1,2 GW, ενώ σχεδιάστηκε για να καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, ενός εκατομμυρίου νοικοκυριών. Το έργο αυτό αποτελεί την ιδανική απάντηση των διεθνών κυβερνήσεων-οργανισμών στις ανησυχίες για την υπερθέρμανση του πλανήτη, τον αυξανόμενο αντίκτυπο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και το πρόβλημα που δημιουργεί η εξάντληση των μη ανανεώσιμων πηγών ενεργειακού εφοδιασμού. Υπό αυτή την έννοια, έργα μεγάλης κλίμακας, όπως το Hornsea One θα αποδειχθούν καίριας σημασίας για την επιτυχία της απαραίτητης αλλαγής [33].

Το ταξίδι του συγκεκριμένου έργου ξεκίνησε το 2010, 10 χρόνια πριν την προβλεπόμενη ημερομηνία ολοκλήρωσής του, ενώ έως το 2016 είχαν ξεκινήσει ήδη οι κατασκευαστικές εργασίες στο χερσαίο τμήμα, που ολοκληρώθηκαν το 2019. Αποτελεί το 1ο από τα συνολικά 4 ανάλογα έργα αυτού του βεληνεκού που κατασκευάζονται ανοικτά της ανατολικής ακτής του

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Ηνωμένου Βασιλείου, στη Βόρεια Θάλασσα. Τα έργα θα περιλαμβάνουν Α/Γ σε μεγαλύτερη απόσταση από την ακτογραμμή σε σύγκριση με παλαιότερες εγκαταστάσεις. Η σημασία αυτών των 4 έργων είναι ότι θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ισχύ που παράγεται από ΑΠΕ, καθώς θα προκαλέσει μια αλλαγή στην ευρεία υιοθέτηση τους και θα δείξει πως μπορεί να αξιοποιηθεί η αιολική ενέργεια σε μεγάλη κλίμακα. Το Hornsea Two που ακολουθεί και αναμένεται να έχει ολοκληρωθεί το 2022, θα παράγει ακόμη περισσότερη ισχύ από το Hornsea One, παρέχοντας ικανή ενέργεια για να καλύψει τις ανάγκες περισσότερων του 1,3 εκατομμυρίων νοικοκυριών. Το Hornsea Three θα αποκτήσει ακόμη μεγαλύτερο μέγεθος, σε σημείο ώστε να μπορεί να τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια περισσότερα από 2 εκατομμύρια νοικοκυριά. Τέλος, το Hornsea Four, που βρίσκεται στη φάση της μελέτης, θα ολοκληρώσει το γιγαντιαίο αυτό project μετά το 2025, οπότε και προβλέπεται να διαθέτει συνολική ισχύ της τάξης των 6 GW [33].

Άξιο αναφοράς είναι ότι το Hornsea One χρησιμοποιεί το μακρύτερο καλώδιο εξαγωγής υπεράκτιας αιολικής ενέργειας (υψηλής τάσης) στον πλανήτη, με μήκος άνω των 900 km, ώστε να διοχετεύσει ενέργεια στο εθνικό δίκτυο. Περιλαμβάνει επίσης 3 σταθμούς παραγωγής αιολικής ενέργειας, 2 πλατφόρμες διαμονής, 5 υποσταθμούς HVAC και έναν υποσταθμό αντιδραστικής αντιστάθμισης HVAC, ενώ στην ξηρά, υπάρχει ένας υποσταθμός, υπόγεια καλώδια και άλλα κτιριακά συγκροτήματα [33].

Την προηγούμενη χρονιά, το Ηνωμένο Βασίλειο κατέγραψε μνημειώδη μεταβολή στις συνήθειες κατανάλωσης ενέργειας. Για 1η φορά στη χώρα από τη λειτουργία του 1ου εργοστασίου παραγωγής ενέργειας μέσω ορυκτών καυσίμων (1882), το Ηνωμένο Βασίλειο παράγει το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειάς του από ΑΠΕ (ιστορικό σημείο καμπής στα χρονικά της χρήσης ενέργειας από την ανθρωπότητα). Χωρίς φιλόδοξα έργα όπως αυτά, η μετάβαση στις ΑΠΕ δεν θα έχει το εύρος που οραματίζονται οι εμπνευστές της ενεργειακής μετάβασης. Δεδομένου ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, μαζί με την κατανάλωση ενέργειας, καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, η ενεργειακή ζήτηση προβλέπεται να εκτιναχθεί. Όπως δείχνουν τα στοιχεία, τα νέα αιολικά πάρκα στο Ηνωμένο Βασίλειο συνέβαλαν ώστε οι ΑΠΕ να ξεπεράσουν τα ορυκτά καύσιμα, βοηθώντας τη χώρα να πλησιάσει τον στόχο για μηδενικές εκπομπές άνθρακα. Οι ΑΠΕ αντιπροσωπεύουν σήμερα, ποσοστό πάνω από το 40 % της χρήσης ενέργειας στη χώρα, κατέχοντας το υψηλότερο μερίδιο. Συγκριτικά με μια δεκαετία πριν, περίπου το 80 % της συνολικής ενέργειας στη Βρετανία, παρήχθη από ορυκτά καύσιμα [33].

Με τα εργοστάσια άνθρακα του Ηνωμένου Βασιλείου να έχουν προγραμματιστεί να διακόψουν πλήρως τη λειτουργία τους έως το 2025, έργα όπως το Hornsea One θα συμβάλουν

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

αποφασιστικά στην μετάβαση της χώρας σε ένα μέλλον χωρίς ορυκτά καύσιμα. Σε κάθε περίπτωση μια ενεργειακή μετάβαση αυτής της κλίμακας θα απαιτήσει τεράστιες επενδύσεις και για το λόγο αυτό εμπειρογνώμονες θεωρούν ότι χρειάζονται, παράλληλα, και κρατικές χρηματοδοτήσεις [33].



Εικόνα 4.2: ΥΑΠ Hornsea One του Ηνωμένου Βασιλείου (το μεγαλύτερο ΥΑΠ σε λειτουργία στον κόσμο την παρούσα στιγμή, με δεδομένη απώλεια όμως των πρωτείων από μελλοντικά έργα) [33]

4.2 Ωκεανογραφικές συνθήκες χωροθέτησης

Η χωροθέτηση των υπεράκτιων Α/Γ αρχικά προσδιορίζεται από ωκεανογραφικές και μετεωρολογικές συνθήκες, ενώ η τεχνοοικονομική σκοπιμότητα του έργου εξαρτάται από το μέγεθος της επένδυσης. Οι διαδικασίες αδειοδότησης βασίζονται στα οικολογικά και ανταγωνιστικά οικονομικά συμφέροντα, αλλά υπόκεινται και σε άλλους παράγοντες [34].

4.2.1 Βάθος υδάτων

Το βάθος της θάλασσας και το παλιρροϊκό εύρος αποτελούν τις πλέον σημαντικές ωκεανογραφικές παραμέτρους. Παρόλα αυτά, είναι πιθανό να υπάρχουν ρηχές ακτές που λόγω της λάσπης και για οικολογικούς λόγους δεν μπορούν να τοποθετηθούν Α/Γ. Ως εκ τούτου, σε

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

κάποιες περιοχές (όπως στη Γερμανία) τα μεγάλα έργα μπορούν να εδραιωθούν μόνο σε μεγάλες αποστάσεις από την ακτογραμμή και σε μεγάλο βάθος νερού (20 - 40 m). Στην Ελλάδα δεν εντοπίζονται τέτοια αβαθή ύδατα. Το ύψος των κυμάτων είναι εξίσου σημαντικός παράγοντας με το βάθος του νερού [34].

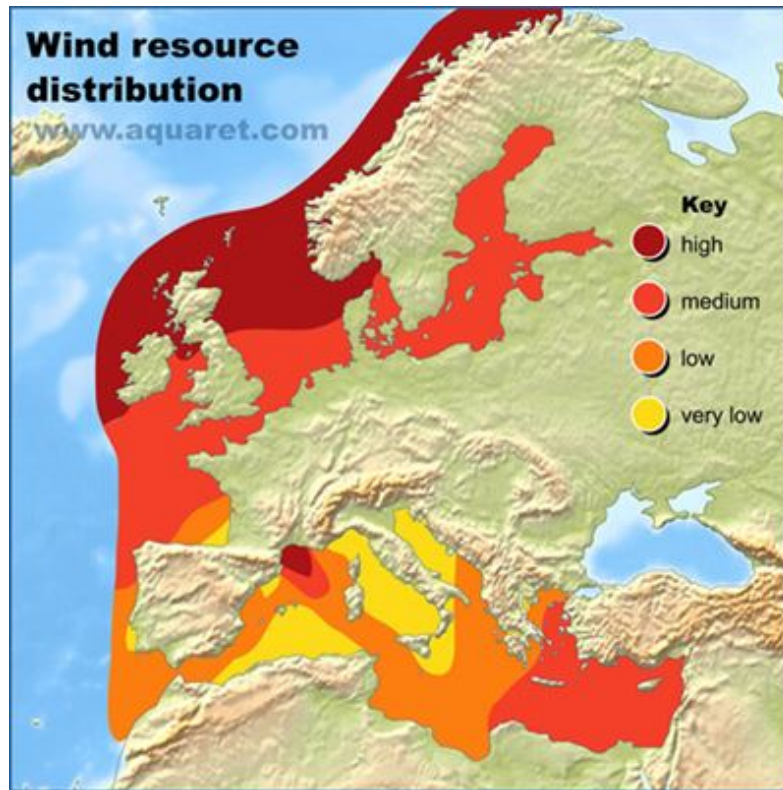
4.2.2 Αιολικοί πόροι

Οι υψηλότερες ταχύτητες ανέμου πάνω από τη θάλασσα και η σχεδόν απεριόριστη διαθεσιμότητα χώρου αποτελούν ουσιώδη κριτήρια για την εγκατάσταση ΥΑΠ. Στην άμεση περιοχή ενδιαφέροντος στα ανοικτά των ακτών σε απόσταση περίπου 10 km μέσα στη θάλασσα απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στις ανεμολογικές συνθήκες. Οι Α/Γ πρέπει να τοποθετούνται σε τέτοια απόσταση από την ακτογραμμή, ώστε να εκμεταλλεύονται αποτελεσματικότερα την ΥΑΕ. Κατ' αυτόν τον τρόπο η απόδοση ενέργειας μπορεί να σημειώσει άνοδο της τάξης των 30 - 40 % συγκριτικά με αντίστοιχη χερσαία τοποθέτηση [34].

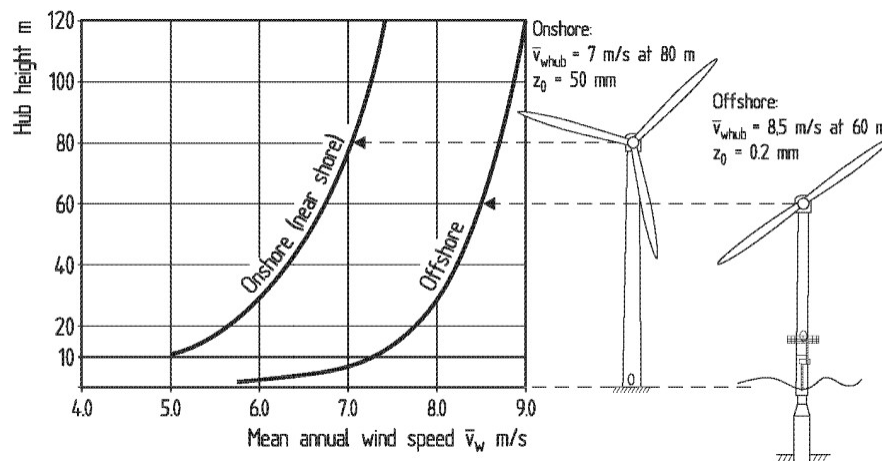
Η κατανομή συχνοτήτων της ταχύτητας του ανέμου μπορεί να περιγραφεί σύμφωνα με την κατανομή Weibull με συντελεστή προσαύξησης του $k = 2 - 2,2$. Ανάλογα με τη θέση, η επικρατούσα κατεύθυνση αιολικής ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ ΝΔ και ΒΔ. Λόγω της τραχύτητας της κάτω επιφάνειας, η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται γρηγορότερα ανάλογα με το ύψος συγκριτικά με τη στεριά. Επομένως, το όφελος ενεργειακής απόδοσης με την αύξηση του ύψους είναι μικρότερο απ' ό,τι στη στεριά, εφόσον το ύψος της υπεράκτιας Α/Γ είναι εν τέλει μικρότερο [34].

Οι αναταράξεις έντασης είναι μία ακόμη σημαντική παράμετρος. Πιο συγκεκριμένα, πάνω από το έδαφος έχουν ένα εύρος 10 - 20 %, ενώ στην ανοιχτή θάλασσα οι αναταράξεις περιορίζονται σε λιγότερο από 10 %. Μια τυπική τιμή είναι γύρω στο 8 % σε ύψος 60 - 70 m. Αποτέλεσμα αυτής της μικρότερης αναταραχής στην ένταση είναι από τη μία η μικρότερη επιβάρυνση της Α/Γ, ωστόσο από την άλλη, πίσω από τον στροφέα υπάρχει πλέον μικρότερη ταχύτητα ανέμου. Εξαιτίας αυτού, οι αποστάσεις μεταξύ των Α/Γ στη θάλασσα πρέπει να είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες χερσαίες εγκαταστάσεις, με σκοπό να επιτευχθεί η ίδια αεροδυναμική απόδοση [34].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 4.3: Χάρτης θαλάσσιων αιολικών πόρων της Ευρώπης, βάσει της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 40 m από το έδαφος και αφθονία αυτών (υψηλή, μέση, χαμηλή, πολύ χαμηλή) [35]



Σχήμα 4.1: Λογαριθμικά προφίλ της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με το ύψος, για τυπική χερσαία και υπεράκτια Α/Γ [34]

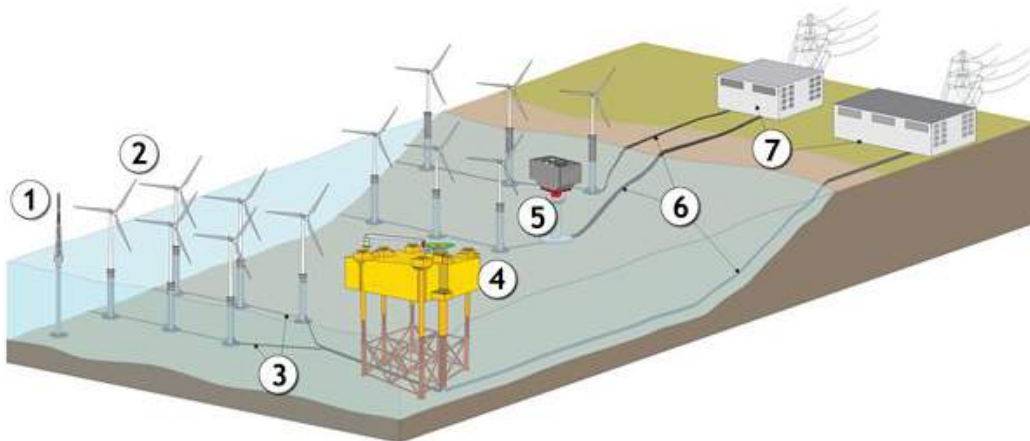
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

4.2.3 Πυθμένας

Η φύση του πυθμένα της θάλασσας είναι σημαντική για τη θεμελίωση μιας Α/Γ. Η αντοχή του εδάφους διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις δονήσεις που υπόκειται η Α/Γ. Ανάλογα με τη φύση του βυθού, τα ωκεάνια ρεύματα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν διότι προκαλούν αξιοσημείωτες μετατοπίσεις υλικού (π.χ. εάν αποτελείται από άμμο ο βυθός). Έτσι, μπορεί να κλονιστεί η σταθερότητα της θεμελίωσης. Για αυτούς τους λόγους καθίσταται αναγκαίος ο ενδελεχής έλεγχος του πυθμένα για την προετοιμασία οποιασδήποτε εγκατάστασης [34].

4.3 Δομή ΥΑΠ και τεχνικές απαιτήσεις υπεράκτιων Α/Γ

Τα βασικά δομικά μέρη ενός ΥΑΠ συνήθως περιλαμβάνουν: 1) τον μετεωρολογικό σταθμό, 2) τις Α/Γ, 3) τα καλώδια συλλογής, 4) τον υπεράκτιο υποσταθμό αύξησης της τάσης της ενέργειας, 5) τον υπεράκτιο υποσταθμό μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, 6) τα υποθαλάσσια καλώδια μεταφοράς της ενέργειας, 7) τον χερσαίο υποσταθμό.



Εικόνα 4.4: Βασικά δομικά μέρη ΥΑΠ [36]

Οι υπεράκτιες Α/Γ υποβάλλονται σε διαφορετικές συνθήκες από εκείνες που τοποθετούνται στη στεριά. Συνεπώς, απαιτείται προσοχή ώστε να εξασφαλιστεί ο κατάλληλος σχεδιασμός και περαιτέρω εξοπλισμός τους πριν την εγκατάστασή τους στο υδάτινο περιβάλλον. Τα βασικά στοιχεία προς διερεύνηση είναι ο εξοπλισμός της τουρμπίνας, το ύψος του πύργου και το εύρος φορτίου [34].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

4.3.1 Εξοπλισμός τουρμπίνας

Σε σχέση με τις Α/Γ στη στεριά, οι υπεράκτιες έχουν πιο πολλές απαιτήσεις όσον αφορά στον τεχνικό εξοπλισμό τους. Συνοπτικά, οι κυριότερες διαφορές τους αφορούν τα παρακάτω χαρακτηριστικά [34]:

- Πολύ μεγαλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία σε όλα σχεδόν τα δομικά στοιχεία.
- Άτρακτοι με καλύτερη σφράγιση.
- Κλειστό σύστημα ψύξης για τη γεννήτρια.
- Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου που μπορούν να επαναπρογραμματιστούν από τη στεριά.
- Ύπαρξη ειδικού γερανού επάνω στην άτρακτο για τη διευκόλυνση της συντήρησης και επισκευής.
- Ειδικά εργαλεία άρσης στην άτρακτο και στον πύργο για τα βαρέα στοιχεία και φορτία.
- Πλατφόρμες σύνδεσης για σκάφη συντήρησης με ειδικές ενισχύσεις πρόσβασης σε περίπτωση θαλασσοταραχής.
- Φωτισμό, σύμφωνα με τους κανόνες στη θάλασσα.

4.3.2 Ύψος πύργου

Οι πύργοι των υπεράκτιων Α/Γ δεν χρειάζεται να είναι το ίδιο ψηλοί όπως οι αντίστοιχοι στη στεριά για να κάνουν χρήση της υψηλής ταχύτητας του ανέμου. Το χαμηλότερο ύψος πύργου επαρκεί για την επίτευξη της βέλτιστης αξιοποίησης των αέριων μαζών. Συν τοις άλλοις, το ύψος καθορίζεται και από τις ωκεανογραφικές συνθήκες σε σχέση με τη διάμετρο του ρότορα. Επίσης, κάποιοι σημαντικοί παράμετροι είναι το βάθος της θάλασσας, το παλιρροϊκό εύρος, το μέγιστο ύψος των κυμάτων, καθώς και επαρκής χώρος για το στροφείο [34].

4.3.3 Φάσμα φορτίου

Τα φορτία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν στον σχεδιασμό μιας υπεράκτιας εγκατάστασης διαφέρουν από εκείνα στα χερσαία αιολικά έργα, ως προς τα εξής [34]:

- Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη.
- Η ένταση της αναταραχής πάνω από την ανοιχτή θάλασσα είναι μικρότερη, αλλά αναμένεται υψηλότερη επαγόμενη αναταραχή ανάλογα με την απόσταση των Α/Γ.
- Η κυματική κίνηση του νερού είναι μία νέα σημαντική επίδραση. Αυτό ισχύει τόσο για τα ακραία φορτία όσο και για τη δυναμική απόκριση των περιόδων κυμάτων.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

- Η κίνηση των πάγων στη θάλασσα μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλά και ακραία φορτία, ιδίως στη Βαλτική. Πρόσθετη επικάθηση πάγου στην Α/Γ πρέπει να ληφθεί υπόψιν.
- Η μεταβολή στο ύψος της στάθμης της θάλασσας εξαιτίας της παλίρροιας μπορεί να έχει επίδραση στο φάσμα του φορτίου.
- Σε ορισμένες θαλάσσιες περιφέρειες, τα ρεύματα μπορεί να είναι τόσο ισχυρά που παίζουν ρόλο στο φάσμα του φορτίου.
- Τα θαλάσσια ρεύματα μπορεί να επηρεάσουν τα θεμέλια της διάταξης.
- Η αυξημένη διάβρωση, αν δεν εμποδίζεται με κατάλληλα προστατευτικά μέτρα, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και μειώνει την αντοχή των συστατικών της διάταξης.

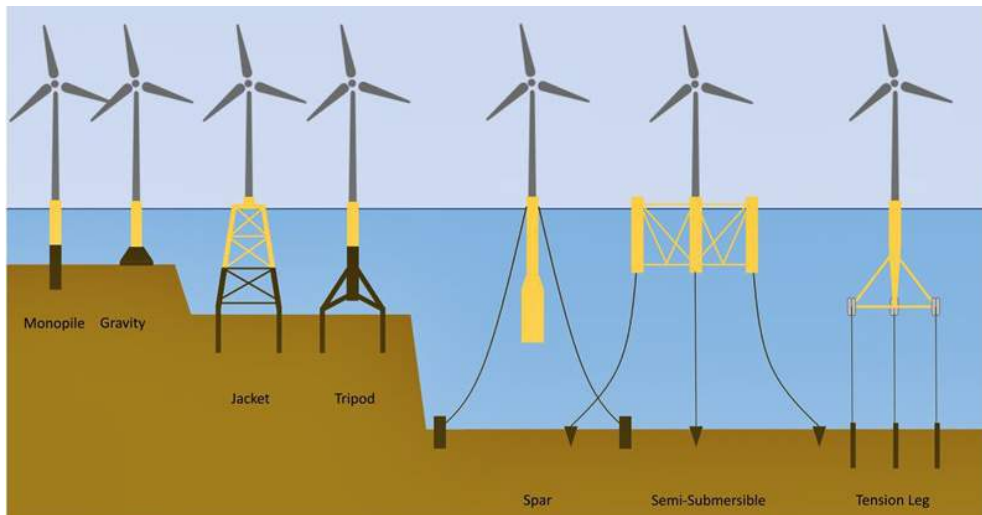
Μια σημαντική πτυχή είναι η υπέρθεση των φορτίων ανέμου και κύματος στο φάσμα του φορτίου, αφού επηρεάζει την αντοχή στη δυναμική σχεδίαση της δομής. Έτσι το φορτίο του κύματος επηρεάζει κυρίως τον πύργο και τα θεμέλια, ενώ το φορτίο του ανέμου το ρότορα και το μηχανικό σύστημα κίνησης. Είναι αξιοσημείωτο ότι η υπέρθεση των φορτίων ανέμου και κύματος επηρεάζει λιγότερο τη δομή από ότι αν τα φορτία ήταν ανεξάρτητα. Ο λόγος έγκειται στην αεροδυναμική απόσβεση του κινούμενου ρότορα λόγω της κίνησης των κυμάτων κάτι παρόμοιο με τον τρόπο που τα πανιά του ιστιοφόρου υγραίνονται από την κίνηση του πλοίου όταν υπάρχουν κύματα [34].

4.4 Θεμελίωση στη θάλασσα

Η σχεδίαση του πύργου και η θεμελίωσή του στον πυθμένα της θάλασσας χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα έναντι της αντίστοιχης διαδικασίας στη στεριά. Όταν πρόκειται να πραγματοποιηθούν οικοδομικές εργασίες σε μεγαλύτερα βάθη υδάτων, ενδέχεται να προκύψουν οικονομικές αποκλίσεις από τον αρχικό προϋπολογισμό της επένδυσης. Η βασική στατική αρχή της θεμελίωσης χαρακτηρίζεται από το κατά πόσο είναι εγγυημένη η σταθερότητα από τη μάζα των θεμελίων ή προκύπτει η ανάγκη τοποθέτησης επιπλέον θεμελίων στον πυθμένα [34].

Ενδεικτικά, τα κυριότερα συστήματα θεμελίωσης είναι η θεμελίωση μονού πυλώνα (έως 30 m), η θεμελίωση βαρύτητας με υδατοστεγές κιβώτιο (έως 40 m), η θεμελίωση δικτυώματος ή αλλιώς τύπου jacket (από 40 m και πάνω), η θεμελίωση τριπόδου (έως 30 m, ενίοτε όμως και περισσότερο) και οι πλωτές εξέδρες διαφόρων τύπων όπως Spar, Semi-Submersible και Tension Leg, οι οποίες συνδέονται με τον πυθμένα της θάλασσας μέσω καλωδίων.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 4.5: Κυριότεροι τύποι θεμελιώσεων υπεράκτιων Α/Γ [37]

4.4.1 Θεμελίωση μονού πυλώνα

Αυτή η σχετικά απλή λύση δεν συνδέεται ουσιαστικά με προετοιμασία του θαλάσσιου βυθού, όμως ο πυθμένας πρέπει να αποτελείται από άμμο ή χαλίκια, ώστε να αποφευχθεί η δαπανηρή διαδικασία της γεώτρησης. Ανάλογα με το υπέδαφος, ο πυλώνας από χάλυβα τοποθετείται μέσα στο έδαφος, συνήθως σε βάθος μεταξύ 10 έως 20 m, με ένα υδραυλικό σφυρί από μία πλατφόρμα. Από πλευράς χαρακτηριστικών δόνησης, η θεμελίωση του μονού πυλώνα είναι σχετικά εύκαμπτη [34]. Έτσι, η έδραση αυτού του τύπου προτείνεται για βάθος υδάτων έως 30 m.



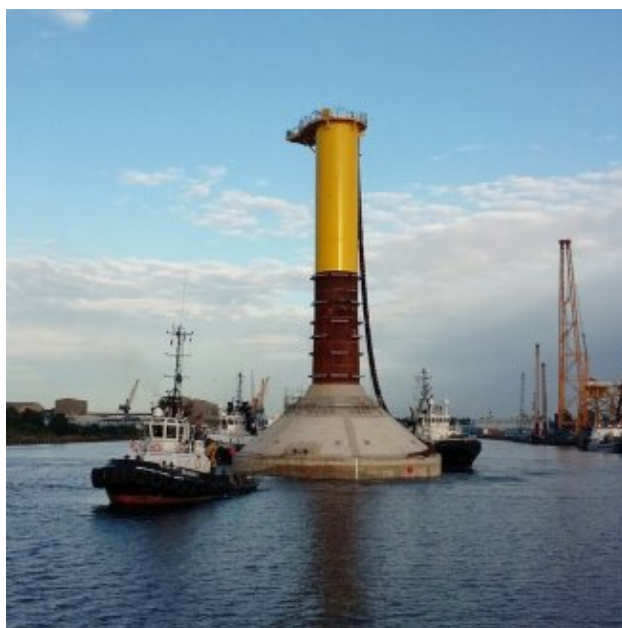
Εικόνα 4.6: Τοποθέτηση μονού πυλώνα στο ΥΑΠ Borkum Riffgrund 1 της Γερμανίας [38]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

4.4.2 Θεμελίωση βαρύτητας

Αυτή η κατασκευή έχει χρησιμοποιηθεί εδώ και χρόνια για ρηγά νερά. Ένα υδατοστεγές κιβώτιο τοποθετείται στη θάλασσα, το οποίο καλύπτεται συνήθως από το νερό και προσαρμόζεται το επιθυμητό βάρος του ανάλογα με το υλικό που το γεμίζουμε (άμμος ή χαλίκι) [34].

Η μάζα του κιβωτίου για μια τυπική Α/Γ της τάξης των 2 MW εκτιμάται περίπου στους 1.500 τόνους, συν τη μάζα του υλικού που τοποθετείται μέσα του. Λόγω του μεγάλου βάρους του σκυροδέματος, είναι περιστασιακή η χρήση των κιβωτίων χάλυβα. Σε θαλάσσιες περιοχές με κίνηση πάγου στην επιφάνεια του νερού όπως η Βαλτική, το προεξέχον τμήμα του πύργου πρέπει να έχει κωνικό σχήμα για καλύτερη αντοχή στην πίεση του πάγου. Τα κιβώτια θεμελίωσης είναι η πιο οικονομική επιλογή για τα ρηγά νερά. Επίσης, σύμφωνα με έναν εμπειρικό κανόνα, ισχύει ότι η μάζα (συνεπώς και το κόστος) αυξάνεται σχεδόν με το τετράγωνο του βάθους του νερού. Για την περάτωση της τοποθέτησης, ο πυθμένας χρειάζεται να ισοπεδωθεί και πιθανώς να ενισχυθεί, δηλαδή απαιτείται εκτεταμένη υποβρύχια εργασία. Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά δόνησης, η θεμελίωση αυτή είναι αρκετά δύσκαμπτη, ενώ σε αντίθεση με τα βαθιά θεμέλια αφαιρείται δίχως σημαντική δυσκολία [34].



Εικόνα 4.7: Θεμελίωση βαρύτητας στο ΥΑΠ Blyth του Ηνωμένου Βασιλείου (αποσύρθηκε το 2019) [39]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

4.4.3 Θεμελίωση δικτυώματος (jacket)

Όπου το νερό είναι πολύ βαθύ, είναι επίσης κατάλληλες οι χαλύβδινες δομές δικτυώματος, γνωστές ως "jackets". Τέτοιες δομές θεμελίωσης χρησιμοποιούνται εδώ και χρόνια για πολλούς άλλους τύπους υπεράκτιων κατασκευών και ήταν ιδιαίτερα επιτυχημένες. Η δομή του δικτυώματος έχει καλή αναλογία δυσκαμψίας προς βάρος και κόστος. Συνεπώς, αποτελεί μια πολύ καλή εναλλακτική λύση για τη θεμελίωση Α/Γ υπό ορισμένες συνθήκες [34] που απαιτείται παραπάνω στιβαρότητα.

Ένας ειδικός τύπος κατασκευής που παρουσιάζει χαρακτηριστικά τόσο του τύπου δικτυώματος, όσο και του τριπόδου, είναι η λεγόμενη θεμελίωση τριπλού πυλώνα (ή αλλιώς τριπάσσαλη) [34].



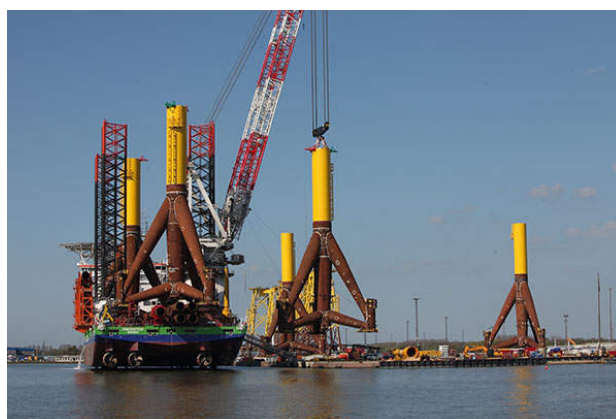
Εικόνα 4.8: Τοποθέτηση θεμελίωσης τύπου δικτυώματος στο ΥΑΠ Ormonde της Ιρλανδίας και θεμελιώσεις τριπλού πυλώνα στο ΥΑΠ Bard της Γερμανίας [40], [41]

4.4.4 Θεμελίωση τριπόδου

Η θεμελίωση τριπόδου αποτελείται από έναν κεντρικό σωλήνα χάλυβα, ο οποίος υποστηρίζεται από 3 πόδια. Πολλές φορές συνοδεύεται από επιπλέον στηρίγματα και ενώ φαινομενικά μπορεί να σχεδιαστεί έχοντας μικρό σχετικά βάρος, η δομή του μπορεί να είναι ταυτόχρονα πολύ στιβαρή. Αυτό σημαίνει ότι ενδείκνυται για μεγάλα βάθη. Τα 3 πόδια κατά κανόνα υποστηρίζονται στον πυθμένα από ενταφιασμένους λεπτότερους σωλήνες χάλυβα (διαμέτρου περίπου 0,9 m). Το βάθος ενταφιασμού μπορεί να φτάνει μέχρι τα 20 m, αλλά αυτό εξαρτάται

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

από το υπέδαφος. Συνεπάγεται επομένως ότι αυτού του τύπου η θεμελίωση προσφέρει υψηλή σταθερότητα, ακόμα και σε ανώμαλο πυθμένα, ενώ επίσης ότι απαιτούνται προπαρασκευαστικές εργασίες. Το τρίποδο μπορεί να διαθέτει στη βάση του θεμελίωση βαρύτητας, ωστόσο αποφεύγεται για οικονομικούς λόγους, καθότι από μόνη της η κατασκευή του τριπόδου (πραγματοποιείται στη στεριά και ακολουθεί μεταφορά του στη θάλασσα) είναι ιδιαίτερος δαπανηρή. Δεν παύει όμως να αποτελεί ιδανική επιλογή για μεγάλα βάθη υδάτων [34].



Εικόνα 4.9: Τοποθέτηση θεμελίωσης με τρίποδο στο ΥΑΠ Trianel Windpark Borkum (πρώην Borkum West 2) της Γερμανίας [42]

4.4.5 Πλωτές εξέδρες

Για την εγκατάσταση υπεράκτιων Α/Γ, προτείνονται περιστασιακά οι πλωτές εξέδρες στην ανοιχτή θάλασσα. Τέτοιες πλατφόρμες είναι αγκυροβολημένες στον πυθμένα της θάλασσας μέσω καλωδίων και η κατασκευή τους συντελεί στη διατήρηση των Α/Γ εντός μιας περιορισμένης περιοχής, προκειμένου να παρέχεται η δυνατότητα ναυσιπλοΐας εντός αυτής και παράλληλα να αποφεύγονται τα ατυχήματα [34].

Υπολογίζεται ότι το 80 % του υπεράκτιου Α/Δ βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 60 m στις ευρωπαϊκές θάλασσες, όπου οι παραδοσιακές σταθερές θεμελιώσεις δεν είναι ελκυστικές από οικονομικής πλευράς. Τα πλωτά ΥΑΠ δύναται κάτω από κατάλληλες συνθήκες να αποτελέσουν ένα αποτελεσματικό κίνητρο υποστήριξης στον τομέα της παραγωγής ενέργειας. Αυτή είναι και η στόχευση της Ευρώπης που επιθυμεί να διατηρήσει τα πρωτεία στην αξιοποίηση του υπεράκτιου ανέμου παγκοσμίως, προσπαθώντας να εκμεταλλευτεί τις τεράστιες δυνατότητες των πλωτών ΥΑΠ [43].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Τα οφέλη των πλωτών ΥΑΠ είναι η δυνατότητα εγκατάστασης Α/Γ σε τοποθεσίες με πολύ υψηλότερες ταχύτητες ανέμου. Ο άνεμος που βρίσκεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τη στεριά εμφανίζει μεγαλύτερη ριπή και πιο σταθερή ροή. Με τη χρήση των πλωτών ΥΑΠ οι κατασκευαστές μπορούν να αξιοποιούν ευρύτερες περιοχές αποφεύγοντας την όχληση από τις κοντινές Α/Γ ή άλλα ΥΑΠ. Επιπρόσθετα, σχεδιάζονται συνεχώς όλο και μεγαλύτερες Α/Γ (της τάξης των 12 - 15 MW), οι οποίες ενδείκνυνται για πλωτά ΥΑΠ. Ο σχεδιασμός μεγαλύτερων Α/Γ με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, καθιστούν τα πλωτά ΥΑΠ εξίσου ελκυστικά και οικονομικώς ανταγωνιστικά με τα αντίστοιχα ΥΑΠ σταθερής θεμελίωσης. Επιπλέον, τα πλωτά αιολικά πάρκα έχουν μικρότερη επίδραση στο τοπικό περιβάλλον, αφού χρησιμοποιούνται σε έργα πιο απομακρυσμένα από την ακτογραμμή. Συνεπώς, η οπτικοακουστική όχληση καθίσταται περιορισμένη. Γενικά διαπιστώνεται πως η Ευρώπη έχει εξαιρετικά υψηλή δυναμική ανάπτυξης πλωτών ΥΑΠ. Σύμφωνα με μελέτες, η δυνατότητα συνολικής εγκατάστασης ισχύος μέσω αυτών υπολογίζεται στα 4 GW. Έτσι, χώρες όπως η Νορβηγία, η Πορτογαλία και η Ισπανία μπορούν να καθιερωθούν με δυναμική παρουσία στη βιομηχανία του υπεράκτιου ανέμου [43].

Σε κάθε περίπτωση, η ανάπτυξη των πλωτών ΥΑΠ είναι ένα καινούριο και συνεχώς αναπτυσσόμενο πεδίο έρευνας της ΥΑΤ, το οποίο είναι βέβαιο ότι θα μας απασχολεί τα επόμενα χρόνια λόγω της επιδίωξης περί αξιοποίησης μεγαλύτερου ποσοστού του Α/Δ στην Ευρώπη, αλλά και στην Ελλάδα.



Εικόνα 4.10: Πλωτό ΥΑΠ Hywind Scotland της Σκωτίας (το 1ο πλωτό ΥΑΠ στην ιστορία) και πλωτό ΥΑΠ WindFloat Atlantic της Πορτογαλίας (το μεγαλύτερο πλωτό ΥΑΠ στον κόσμο την παρούσα στιγμή) [44], [45]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

4.5 Ανασταλτικοί παράγοντες

Με την εγκατάσταση κάποιου ΥΑΠ στο θαλάσσιο περιβάλλον, ελλοχεύουν αυτομάτως 2 σοβαροί κίνδυνοι που ενδέχεται να επηρεάσουν την εγκατάσταση. Πρόκειται για την ανάπτυξη πάγου στις Α/Γ και τη διάβρωση των υλικών.

4.5.1 Πάγος

Σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν ο θαλάσσιος πάγος (μπορεί να μετακινείται ή όχι), ο ατμοσφαιρικός πάγος (λόγω ύπαρξης νερού στην ατμόσφαιρα, χιονοπτώσεων και [sea sprays](#)) και η πιθανότητα να εμποδίζουν την ομαλή λειτουργία της Α/Γ. Η εμφάνιση του πάγου στα πτερύγια του δρομέα της Α/Γ μπορεί να προκαλέσει διάφορα προβλήματα στη σχεδίαση των υπεράκτιων Α/Γ, την προστασία των ομάδων συντήρησης και την οικονομική απόδοση του ΥΑΠ. Η ύπαρξη πάγου στην επιφάνεια της θάλασσας προκαλεί πολλές φορές προβλήματα με επιπλέον μηχανικά φορτία, τα οποία ασκούνται στον πύργο της Α/Γ και ο ατμοσφαιρικός πάγος προκαλεί διάφορα προβλήματα τα οποία συνδέονται και με το ύψος του δρομέα. Επομένως, πρέπει να μελετηθεί το ρίσκο της πιθανής μείωσης του χρόνου ζωής και των υπόλοιπων κινδύνων, ώστε να προκύψει ο κατάλληλος οικονομικός σχεδιασμός για την εξασφάλιση του εξοπλισμού και την αποφυγή των προαναφερθέντων κινδύνων [46].

Επιγραμματικά, τα προβλήματα εξαιτίας της ανάπτυξης πάγου σε μια Α/Γ είναι τα εξής [46]:

- Δυσλειτουργία στις συσκευές μέτρησης του ανέμου.
- Αύξηση της στάθμης του θορύβου.
- Μειωμένη απόδοση συστήματος.
- Εφαρμογή μεγάλων μηχανικών φορτίων στη θεμελίωση.
- Ανάπτυξη μεγάλων δονήσεων.
- Κίνδυνος τραυματισμού των μονάδων συντήρησης λόγω εκσφενδόνισης πάγου.
- Δυσχερής προσβασιμότητα.
- Περιορισμός του διαθέσιμου χρονικού περιθωρίου για την εγκατάσταση του ΥΑΠ.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 4.11: Α/Γ καλυμμένη από πάγο [47]

4.5.2 Διάβρωση

Η διάβρωση των υλικών αποτελεί ένα πρόβλημα που στη θάλασσα οξύνεται και οδηγεί σε κατακόρυφη αύξηση του κόστους συντήρησης των ΥΑΠ σε σχέση με τα χερσαία αιολικά έργα. Η διάβρωση των μετάλλων στη θάλασσα είναι ένα φαινόμενο που προκαλείται εξαιτίας παραγόντων όπως η ποσότητα του άλατος, η συγκέντρωση του οξυγόνου, η θερμοκρασία του νερού κ.α. Τυπικές τιμές διάβρωσης χάλυβα χωρίς κάποια επίστρωση είναι από 0,05 έως 0,07 mm/έτος στον ατμοσφαιρικό αέρα και 0,03 έως 0,09 mm/έτος στο νερό. Η ολική εξάλειψη της διάβρωσης είναι πρακτικώς αδύνατη, όμως με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων μπορεί να αντιμετωπιστεί ικανοποιητικά, με τον περιορισμό της σε αποδεκτά επίπεδα [46].



Εικόνα 4.12: Εμφάνιση του φαινομένου της διάβρωσης σε μονό πυλώνα [48]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Ένας τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου της διάβρωσης είναι το βάψιμο των επιφανειών σε επαφή με το θαλάσσιο περιβάλλον, με επιστρώσεις ψευδαργύρου ή κάποιου παράγωγου πετρελαίου. Σε περίπτωση που έχουμε μεγάλες και λείες επιφάνειες, ενδείκνυται η χρήση εποξειδικής επίστρωσης, εφόσον το πάχος της ελέγχεται με ακρίβεια. Επίσης, με τη χρησιμοποίηση αντιδιαβρωτικών υλικών όπως το ανοξείδωτο ατσάλι, ο χαλκός και το πλαστικό, μπορεί να μειωθεί σημαντικά η διάβρωση [46].

Σχετικά με το εσωτερικό μέρος της ατράκτου, εκεί η θερμοκρασία πρέπει να διατηρείται στους 15 °C και η ατμόσφαιρα σε αυτή ξηρή, με σκοπό την προστασία των ηλεκτρικών συσκευών αλλά και την αποφυγή ξεχωριστού συστήματος θέρμανσης λαδιού. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται συστήματα θέρμανσης και αφύγρανσης της ατμόσφαιρας εντός της ατράκτου. Ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται εντός της ατράκτου μέσω ειδικών φίλτρων σε 2 μονάδες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την αφύγρανση και τη θέρμανση λειτουργώντας παράλληλα. Οι 2 αυτές μικρές μονάδες χρησιμοποιούνται για λόγους εφεδρείας και ευελιξίας, αντί να προτιμηθεί 1 μεγάλη. Σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται σύστημα για το λιώσιμο των πάγων στα πτερύγια, χρησιμοποιούνται ειδικές μονάδες θέρμανσης που μεταφέρουν ζεστό αέρα εντός των πτερυγίων, ο οποίος με τη σειρά του εξατμίζεται μέσω μιας βαλβίδας στην κορυφή τους. Η θέρμανση των ανεμόμετρων και των ανεμοδεικτών πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρικών καλωδίων, ενώ για τα κιβώτια ταχυτήτων, τη γεννήτρια και το μετασχηματιστή υπάρχουν ξεχωριστά συστήματα ψύξης εξωτερικά της ατράκτου [46].

4.6 Ηλεκτρικές υποδομές

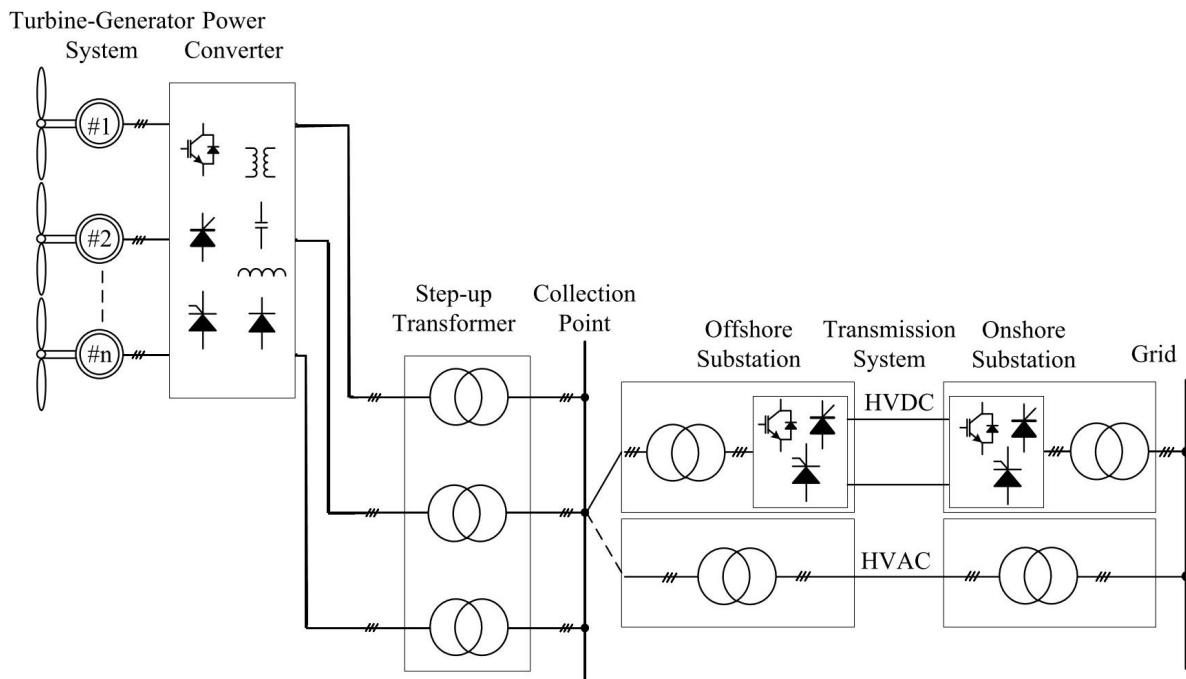
Στα μεγάλα ΥΑΠ, η ηλεκτρική υποδομή αποτελεί ένα ανεξάρτητο και σύνθετο σύστημα από την αντίστοιχη εγκατάσταση σύνδεσης των χερσαίων Α/Γ. 3 είναι οι βασικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Η αξιοπιστία των συστημάτων, το υψηλότερο κόστος των υλικών και της εγκατάστασης στη θάλασσα, καθώς και η κατά πολύ μεγαλύτερη απόσταση με τη στεριά για τη μεταφορά της ενέργειας. Οι ηλεκτρικές υποδομές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 4 βασικούς τομείς [34]:

- Το εσωτερικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου.
- Ο υπεράκτιος σταθμός μετατροπής τάσης.
- Το καλώδιο διασύνδεσης από τη θάλασσα στη στεριά.
- Σύνδεση με το διασυνδεδεμένο δίκτυο στη στεριά.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

4.6.1 Εσωτερικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Η εσωτερική καλωδίωση ενός ΥΑΠ είναι ένα μέσης τάσης τριφασικό σύστημα με εύρος συνήθως 30 έως 40 KV. Τα υποθαλάσσια καλώδια είναι 3-πύρηνα με ενσωματωμένες οπτικές ίνες. Το κόστος των σημερινών πλαστικών καλωδίων με μανδύα στη θάλασσα είναι περίπου 20 έως 40 % υψηλότερο από εκείνων της γης. Επίσης και η τοποθέτησή τους συνοδεύεται από μεγαλύτερο κόστος. Τα καλώδια υψηλής τάσης (110 έως 150 KV) έχουν υπερδιπλάσιο κόστος από εκείνα της μέσης τάσης, συμπεριλαμβανομένης της τοποθέτησης. Τα καλώδια οδηγούνται στον πυθμένα της θάλασσας και ενταφιάζονται σε βάθος τουλάχιστον 1 m ή λίγο περισσότερο [34].



Εικόνα 4.13: Τυπικό σχεδιάγραμμα ηλεκτρικού συστήματος ΥΑΠ [49]

4.6.2 Υπεράκτιος υποσταθμός

Όταν υπάρχουν μεγάλες αποστάσεις από την ηπειρωτική χώρα η μεταφορά της ενέργειας από το θαλάσσιο πάρκο γίνεται σε επίπεδο υψηλής τάσης. Αυτό απαιτεί έναν υποσταθμό μετασχηματισμού στην περιοχή του αιολικού πάρκου. Σε αυτόν τον υποσταθμό καταλήγουν σε ένα κεντρικό σημείο όλες οι γραμμές από τις Α/Γ και εκεί η ενέργεια μετασχηματίζεται σε

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

υψηλής τάσης. Εκτός από αυτό, ο υποσταθμός περιέχει όλους τους απαραίτητους πίνακες μεταγωγής και άλλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, όπως για παράδειγμα συστήματα διόρθωσης του συντελεστή ισχύος. Οι μετασχηματιστές υψηλής τάσης είναι συνήθως ελαιόψυκτοι, ενώ οι πίνακες μεταγωγής πρέπει να έχουν μόνωση αερίου (εξαφθοριούχου θείου) [34].

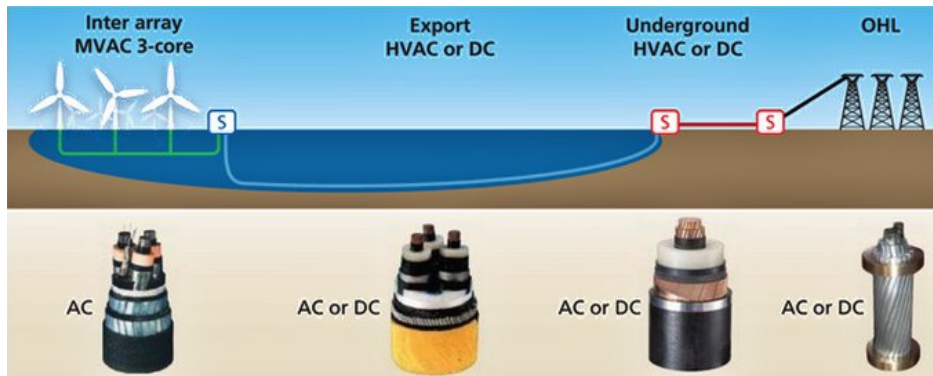


Εικόνα 4.14: Υποσταθμός του ΥΑΠ Thanet του Ηνωμένου Βασιλείου [50]

4.6.3 Υποβρύχιο καλώδιο

Τα υποβρύχια καλώδια (που πρέπει να ακολουθούν το πρότυπο [IEC 60288](#)), έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ειδικά για να τοποθετούνται στον βυθό, λαμβάνοντας υπόψιν ότι αυτός είναι τραχύς και βραχώδης και ότι υπάρχουν στο θαλάσσιο περιβάλλον υδρόβια ζώα που μπορούν να προκαλέσουν φθορές. Είναι επιτακτική ανάγκη τα καλώδια να ανταπεξέρχονται σε κινδύνους που έχουν να κάνουν με την εκδήλωση τσουνάμι ή με την κοντινή ηφαιστειακή δραστηριότητα, καθώς επίσης και με την κίνηση από τις τράτες που χρησιμοποιούν οι ψαράδες (που θεωρείται πιο επικίνδυνη από τα ίδια τα ψάρια) [51].

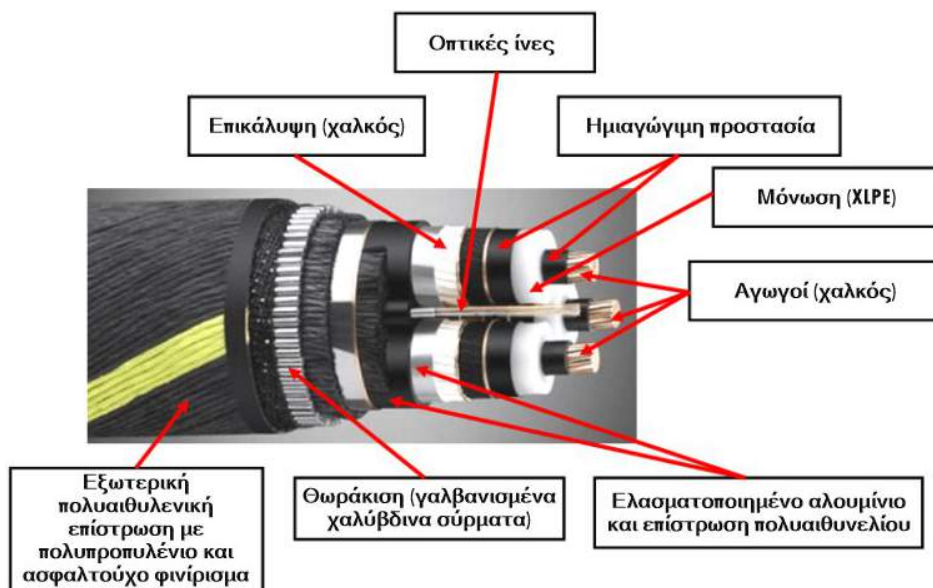
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**



Εικόνα 4.15: Τύποι καλωδίων σύνδεσης ενός ΥΑΠ [52]

Για να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά ενός υποβρυχίου καλωδίου είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες παράμετροι [51]:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος (βυθού και ξηράς).
- Βάθος ενταφιασμού.
- Θερμική αντίσταση βυθού και εδάφους.
- Βάθη νερού.
- Ιδιαίτερες απαιτήσεις ενταφιασμού και προστασίας.
- Αξονική απόσταση καλωδίων.
- Μήκος υποβρυχίου καλωδίου.



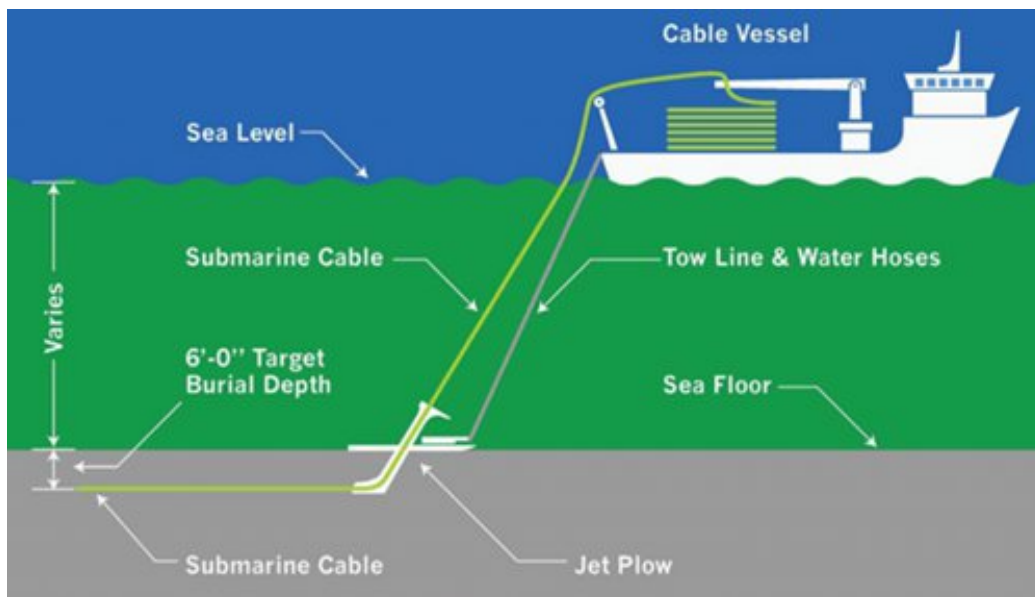
Εικόνα 4.16: Δομικά χαρακτηριστικά τριφασικού υποβρυχίου καλωδίου [51]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Η τοποθέτηση ενός υποβρυχίου καλωδίου είναι μια ιδιαίτερος περίπλοκη, επικίνδυνη και δαπανηρή εργασία. Οι διαδρομές πρέπει να εξεταστούν έτσι ώστε το καλώδιο να τοποθετηθεί χωρίς να χαθεί, να σπάσει ή να υποστεί ζημιά. Συνεπώς, πριν από την εγκατάσταση είναι απαραίτητο να γίνουν ορισμένες ενέργειες όπως [51]:

- Η επιλογή της δρομολόγησης, χρησιμοποιώντας ενημερωμένους ναυτικούς χάρτες.
- Η αξιολόγηση των γεωλογικών συνθηκών της επιλεγμένης δρομολόγησης.
- Η αναγνώριση του βυθού, δηλαδή σε ό, τι αφορά τη βαθυμετρία (βάθος), την κλίση, την ύπαρξη τοπογραφικών συμβάντων, τη λιθολογία (φύση του βυθού), τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η αλμυρότητα, η θερμοκρασία και το pH και οι δυναμικές κινήσεις που μπορεί να υπάρχουν στον βυθό (κύματα, θαλάσσια ρεύματα κ.τ.λ.) ή που μπορεί να τον επηρεάσουν (τσουνάμι, ηφαιστειακή δραστηριότητα, ρεύματα λάσπης κ.τ.λ.).

Μόλις επιλεγεί η δρομολόγηση και ολοκληρωθούν όλες οι μελέτες του βυθού, ακολουθεί η μεταφορά του μέσω πλοίου στο επιθυμητό σημείο εγκατάστασης, η προσεκτική του τοποθέτηση εντός του βυθού μέσω ειδικού μηχανήματος «ενταφιασμού» και η εφαρμογή συστήματος παρακολούθησης της τοποθεσίας του καλωδίου, ώστε να προλαμβάνονται η χαλάρωση του καλωδίου και λοιπές ζημιές [51].



Εικόνα 4.17: Σχηματική απεικόνιση εγκατάστασης υποβρυχίων καλωδίων (μεταφορά με ειδικό πλοίο και εφαρμογή κλίσης και τοποθέτησης στον βυθό μέσω ειδικού μηχανισμού) [51]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 4.18: Ανάπτυξη του υποβρύχιου καλωδίου προς τοποθέτηση στο YAPI SeaMade του Βελγίου [53]

Σε περίπτωση που οι αποστάσεις και η μεταφερόμενη ενέργεια είναι αρκετά μεγάλες, η καλωδίωση μέσης τάσης καθίσταται ανεπαρκής. Η τάση πρέπει να μετατραπεί στο επόμενο υψηλότερο επίπεδο. Υψηλής τάσης τριφασικά καλώδια είναι γενικά διαθέσιμα και η δομή τους δεν διαφέρει από αυτά της μέσης τάσης. Σημειώνεται ότι η τοποθέτηση τέτοιων καλωδίων απαιτεί ειδικό εξοπλισμό. Η μεταφορά όμως εναλλασσόμενου ρεύματος σε μεγάλες αποστάσεις παρουσιάζει πρακτικά προβλήματα. Τα καλώδια δρουν ως ένας μεγάλος πυκνωτής, δηλαδή εμφανίζουν χωρητικά χαρακτηριστικά. Πάνω από μια ορισμένη απόσταση (100 km περίπου), η άεργος ισχύς είναι τέτοιου μεγέθους που πλέον δεν μπορεί να μεταφερθεί ενεργός ισχύς. Για αυτό συνδέονται παράλληλα πηνία που εκμηδενίζουν την επίδραση της αέργου [34].

Δεδομένου ότι η άεργος ισχύς αυξάνεται με το τετράγωνο της τάσης, είναι σκόπιμο να περιοριστεί το επίπεδο της τάσης. Σε περίπτωση μεγάλων τιμών ισχύος, ενδέχεται να καθίσταται αναγκαία η τοποθέτηση ορισμένων γραμμών παράλληλα. Η πτώση τάσης λόγω της απόστασης και οι συνακόλουθες απώλειες στην απόδοση είναι πολύ σημαντικές [34].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Μήκος (km)	Συντελεστής Μεταφοράς
50	0,95
100	0,92
150	0,88

Πίνακας 4.1: Απόδοση στη μεταφορά ισχύος για ένα τριφασικό θαλάσσιο καλώδιο των 145 KV, ανάλογα με την απόσταση (μήκος καλωδίου) [34]

Αυτές οι αρνητικές επιπτώσεις επηρεάζουν σημαντικά την οικονομική επένδυση στη μετάδοση ενός τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος για αποστάσεις μεγαλύτερες των 50 km και προτιμάται εναλλακτικά η DC μετάδοση (HVDC). Το σύστημα HVDC εξαλείφει τα μειονεκτήματα σχετικά με τον συντελεστή ισχύος και τη μειωμένη απόδοση. Σε αυτήν την περίπτωση όμως όλα τα συστήματα και τα κατασκευαστικά στοιχεία (όπως για παράδειγμα οι διακόπτες) είναι κατά πολύ ακριβότερα. Ένα επιπλέον μειονέκτημα έχει να κάνει με το μετασχηματισμού σε άλλο επίπεδο τάσης, που είναι δυνατό μόνο μέσω μιας γενναίας επένδυσης (ανύψωση/υποβιβασμός τάσης). Στα υπάρχοντα συστήματα HVDC, χρησιμοποιούνται θυρίστορ που παρουσιάζουν σημαντικά μειονεκτήματα (όπως αρμονικές κ.α.). Αυτή είναι και η αιτία που με το πέρασ των καιρών τα θυρίστορ αντικαθιστούνται από μετατροπείς IGBT. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται "HVDC light systems" και χρησιμοποιούνται ήδη σε ορισμένες περιπτώσεις [34].

4.6.4 Σύνδεση με το διασυνδεδεμένο δίκτυο στη στεριά

Τα πρώτα ΥΑΠ ισχύος 100 ή 200 MW συνδέονταν με το δίκτυο μέσω συστήματος υψηλής τάσης στη στεριά (150 KV). Μελλοντικά όμως, ΥΑΠ ισχύος 1000 MW και πάνω, άρχισαν να συνδέονται μέσω δικτύου υπερυψηλής τάσης (400 KV) [34].

4.7 Μεταφορά και εγκατάσταση υπεράκτιων Α/Γ

Η μεταφορά, η εγκατάσταση και η λειτουργία των Α/Γ στη θάλασσα έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις και κοστίζουν πολύ περισσότερο από τις χερσαίες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας. Αρχικά, έγκεινται δυσκολίες στη μεταφορά του πύργου και του ρότορα λόγω του μεγάλου τους μεγέθους (ξεπερνούν σε μήκος τα 50 m), όπως επίσης και των υπόλοιπων περίπλοκων δομών (π.χ. τα θεμέλια με πολλαπλούς πυλώνες) [34].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 4.19: Μεταφορά προσυναρμολογημένου ρότορα (διαμέτρου 70 m) προς τοποθέτηση στο ΥΑΠ Yttre Stengrund της Σουηδίας (δεν βρίσκεται πλέον σε λειτουργία καθώς το 2015 έγινε το 1ο αποσυρθέν ΥΑΠ στον κόσμο) [54]

Για λόγους που έχουν να κάνουν με την αποφυγή κοστοβόρων, χρονοβόρων και απαιτητικών εργασιών στο θαλάσσιο περιβάλλον, τα επιμέρους τμήματα των υπεράκτιων Α/Γ θα πρέπει να προκατασκευάζονται στη στεριά. Στη θεμελίωση μονού πυλώνα για παράδειγμα απαιτείται ένα βαρύ υδραυλικό σφυρί που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των σωλήνων από χάλυβα (διαμέτρου 4 m) στη θάλασσα, σε βάθος περίπου 20 m. Η συναρμολόγηση του τρίποδου θεμελίου απαιτεί λιγότερο βαρύ εξοπλισμό, όμως είναι δυσκολότερη η μεταφορά του προκατασκευασμένου τμήματος του θεμελίου. Σημαντικός παράγοντας κινδύνου για τη συναρμολόγηση είναι οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες, καθώς αυτή δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν η θάλασσα δεν είναι ήρεμη. Το σημαντικότερο κριτήριο ηρεμίας της θάλασσας είναι το ύψος που έχουν τα κύματα κατά τη διάρκεια της σύνδεσης. Όταν τα κύματα ξεπερνούν το 1 m, όλες οι εργασίες γίνονται δυσχεραίνονται και διακόπτονται προσωρινά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα και την αύξηση του κόστους εργασιών [34].

Η μεταφορά στο χώρο πραγματοποιείται συνήθως μέσω μιας πλεύουσας πλατφόρμας με τη βοήθεια ενός σκάφους ρυμούλκησης. Οι πλατφόρμες έχουν πυλώνες στήριξης που ακουμπούν στον πυθμένα για την εξασφάλιση μεγαλύτερης σταθερότητας κατά τη συναρμολόγηση. Κατά

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

τη μεταφορά, καθίσταται προφανές ότι οι πυλώνες στήριξης είναι μαζεμένοι. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η προσβασιμότητα των εργατών και των υπευθύνων. Σε περίπτωση μεγάλης θαλασσοταραχής το πλοίο δεν μπορεί να φτάσει στην αποβάθρα. Έτσι, γίνονται προσπάθειες υποβρύχια ή μέσω αέρος, με υποβρύχια οχήματα και ελικόπτερα αντίστοιχα [34].



Εικόνα 4.20: Υπεράκτια Α/Γ με πλατφόρμα υποστήριξης ελικοπτερου [55]

4.8 Τοπολογίες σύνδεσης υπεράκτιων Α/Γ

Όταν συνδέουμε σε ένα σύστημα περισσότερες από μία Α/Γ, η ενέργεια που αποδίδουν πρέπει να συλλέγεται σε κάποιον κόμβο πριν μεταφερθεί στο σταθμό παραγωγής. Για να γίνει αυτό με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ασφάλεια και αποτελεσματικότητα, οι χειριστές αιολικών πάρκων χρειάζονται ένα σύστημα συλλογής μέσης τάσης [56].

Σε ένα ΥΑΠ, γίνεται συλλογή ηλεκτρικής ενέργειας από τις εξόδους κάθε υπεράκτιας Α/Γ, με σκοπό τη μεταφορά της σε μια υπεράκτια πλατφόρμα που περιλαμβάνει έναν υποσταθμό, κατάλληλο διακόπτη προστασίας και μετασχηματιστή ανύψωσης της τάσης στα επίπεδα της υψηλής τάσης, ώστε να επιτευχθεί η τελική μεταφορά της στη στεριά [57].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

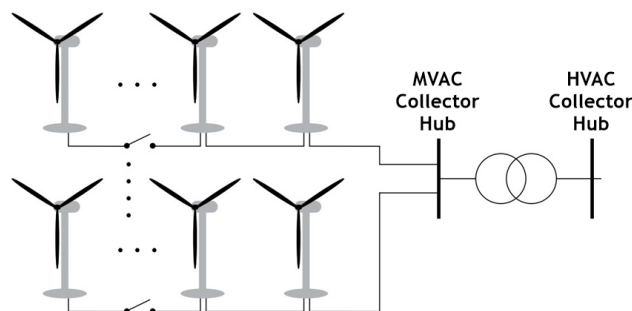
Εξαιτίας των ιδιαιτεροτήτων των περισσότερων πάρκων αλλά και της αναγκαιότητας σύνδεσης ενός παραγωγού στο δίκτυο δίχως αναταραχές και διακυμάνσεις στη λειτουργία του, αναπτύχθηκαν αρκετά είδη συλλογής ενέργειας [57].

4.8.1 AC σύστημα συλλογής ενέργειας

Ο σχεδιασμός του AC συστήματος συλλογής ενέργειας θα πρέπει να αξιολογηθεί προσεκτικά, συμπεριλαμβανομένης και της εφαρμογής ευρυζωνικών μοντέλων του ηλεκτρικού συστήματος. Σε περίπτωση ακατάλληλου συνδυασμού τύπου καλωδίων και μετασχηματιστή, η λειτουργία διακοπής μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές παροδικές υπερτάσεις, προκαλώντας άμεσες φθορές και επιτάχυνση της «γήρανσης» του εξοπλισμού [57].

Ακτινική διάταξη

Η πιο απλή διάταξη είναι η ακτινική, στην οποία ένας αριθμός Α/Γ έχοντας την ίδια τροφοδοσία, συνδέεται σε κοινή γραμμή. Αυτό σημαίνει ότι από οποιαδήποτε ομαδοποιημένη Α/Γ υπάρχει μια μοναδική διαδρομή σύνδεσης προς τον υπεράκτιο υποσταθμό. Ο μέγιστος αριθμός Α/Γ στη γραμμή καθορίζεται από το μέγεθος της ισχύος τους και την ονομαστική τιμή έντασης ρεύματος του υποθαλάσσιου καλωδίου. Τα πλεονεκτήματα της ακτινικής τοπολογίας είναι το χαμηλό κόστος, η ευκολία ελέγχου, το σχετικά μικρό συνολικό μήκος καλωδίου και η απλή διακοπτική ρύθμιση. Το κύριο μειονέκτημά της είναι η έλλειψη εφεδρείας, καθώς ενδεχόμενο σφάλμα-φθορά στο καλώδιο ή στον διακόπτη μπορεί να σταματήσει την εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η τοπολογία αυτή εξακολουθεί να αποτελεί την επικρατούσα επιλογή, ιδίως για έργα μικρής κλίμακας [57].

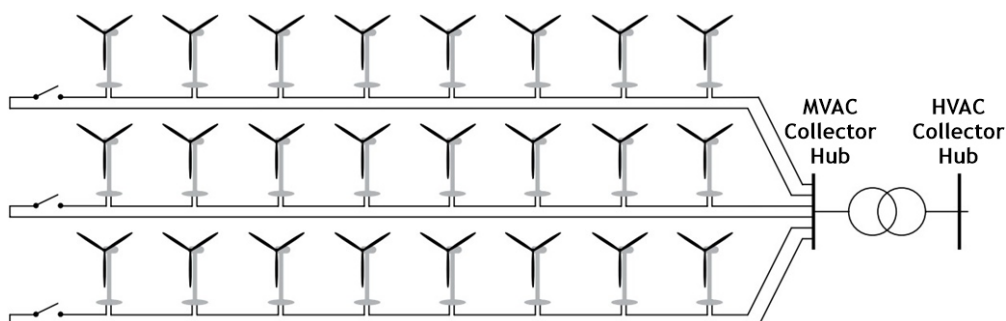


Εικόνα 4.21: Ενδεικτική AC ακτινική τοπολογία [57]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Δακτύλιος μονής συστάδας

Η τοπολογία δακτυλίου μονής συστάδας μπορεί να θεωρηθεί ως μια βελτιωμένη έκδοση της ακτινικής τοπολογίας (όσον αφορά στην αξιοπιστία) επειδή παρέχει ένα επιπλέον καλώδιο από την τελευταία Α/Γ στη σειρά, προς τον κόμβο συλλογής ενέργειας. Αυτό το καλώδιο λειτουργεί ως εφεδρική διαδρομή για τη ροή ισχύος εντός της γραμμής και κατά την ακραία περίπτωση σφάλματος μπορεί να μεταφέρει τη συνολική ισχύ που παράγεται στη γραμμή, στο τμήμα που συνδέει την 1η Α/Γ της συστάδας με τον υποσταθμό. Τα πλεονεκτήματα της τοπολογίας αυτής είναι η αξιοπιστία σχετικά με τη ροή της ισχύος που λείπει από την ακτινική διάταξη, καθώς και οι χαμηλότερες απώλειες σε σύγκριση με άλλες τοπολογίες. Το μοναδικό μειονέκτημα είναι το αυξημένο κόστος. Η εμπειρία της βιομηχανίας αιολικής ενέργειας δείχνει ότι δεν προτιμάται η απαιτούμενη επένδυση για την εφαρμογή του δακτυλίου μονής συστάδας, λόγω της σχετικά μικρής ποσότητας ανακτηθείσας παραγωγής συγκριτικά με το επιπλέον κόστος [57].

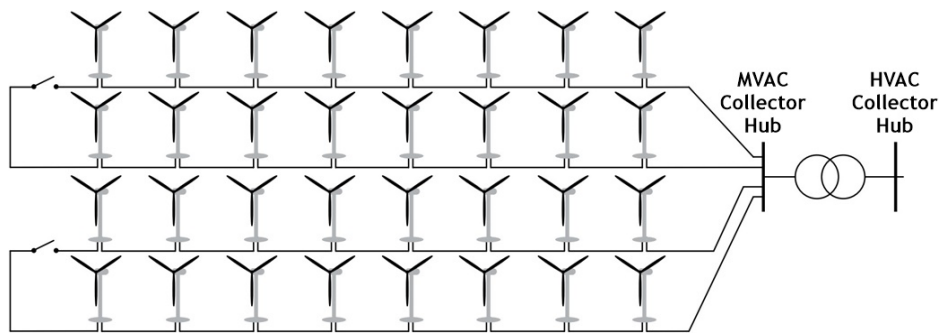


Εικόνα 4.22: Ενδεικτική AC τοπολογία δακτυλίων μονής συστάδας [57]

Δακτύλιος διπλής συστάδας

Στην τοπολογία δακτυλίου διπλής συστάδας, η εφεδρική διαδρομή που παρέχεται από τον δακτύλιο μονής συστάδας, περιλαμβάνει άλλη μία συστάδα Α/Γ. Η τοπολογία αυτή προσπαθεί να ξεπεράσει το μειονέκτημα του αυξημένου κόστους του δακτυλίου μονής συστάδας, χρησιμοποιώντας το καλώδιο της γειτονικής γραμμής ως εφεδρική διαδρομή. Επίσης, θα πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη σχετικά με την επιλογή των καλωδίων ώστε σε περίπτωση σφάλματος να έχει εξασφαλιστεί η δυνατότητα μεταφοράς συνολικής ισχύος δύο γραμμών μόνο από μία, καθότι η άλλη θα έχει τεθεί εκτός λειτουργίας. Τα πλεονεκτήματά της είναι οι λιγότερες απώλειες ισχύος, η μεγαλύτερη αξιοπιστία από την ακτινική διάταξη, οι μικρές καλωδιώσεις και το χαμηλότερο κόστος σε σχέση με την τοπολογία δακτυλίου μονής συστάδας [57].

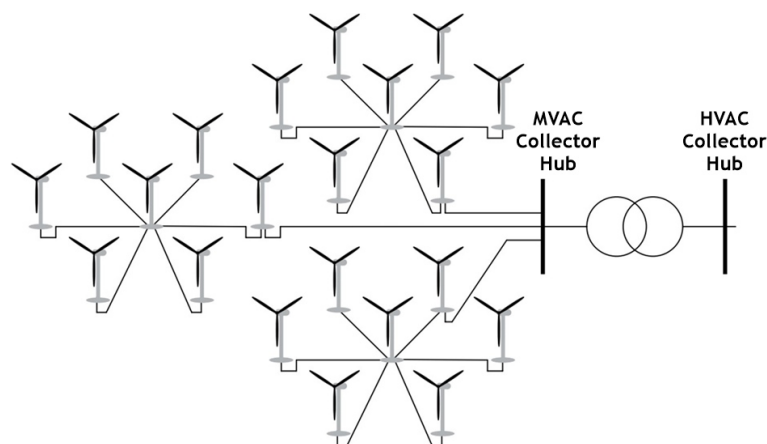
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 4.23: Ενδεικτική AC τοπολογία δακτυλίων διπλής συστάδας [57]

Διάταξη αστέρα

Στην τοπολογία αστέρα, κάθε Α/Γ ανήκει σε μια συστάδα και συνδέεται απευθείας σε έναν κεντρικό κόμβο, αποτελώντας ξεχωριστή γραμμή. Παρέχεται έτσι υψηλό επίπεδο ασφάλειας, καθώς ένα σφάλμα σε οποιαδήποτε Α/Γ του έργου δεν επηρεάζει τη ροή ισχύος των υπόλοιπων (μόνο η αστοχία του καλωδίου που συνδέει τον κεντρικό κόμβο με τον κόμβο συλλογής της συνολικής ενέργειας μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία πολλών Α/Γ). Η δυνατότητα επιλογής καλωδίων μικρότερης βαθμονόμησης μειώνει σημαντικά το κόστος σε σχέση με τις προαναφερθείσες τοπολογίες δακτυλίου. Η τοπολογία είναι απλή, εξαιρετικά ασφαλής και παρέχει αποτελεσματική ρύθμιση της τάσης. Τα μειονεκτήματά της είναι οι υψηλότερες απώλειες καλωδίων από όποια άλλη τοπολογία (λόγω μεγαλύτερων μηκών και της χρήσης χαμηλότερων τιμών τάσης για τη σύνδεση των Α/Γ) και οι σύνθετες διακοπτικές διατάξεις [57].

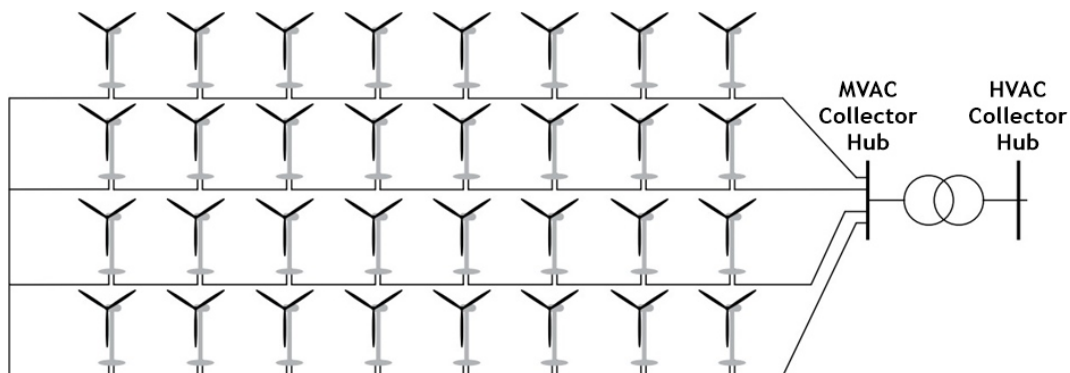


Εικόνα 4.24: Ενδεικτική AC τοπολογία αστέρων [57]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Πολλαπλοί δακτύλιοι

Η τοπολογία πολλαπλών δακτυλίων έχει συνήθως 4 ή περισσότερες γραμμές μονής συστάδας, διασυνδεδεμένες μέσω ενός κοινού καλωδίου. Το πρόσθετο αυτό καλώδιο λειτουργεί σαν εφεδρική διαδρομή για ολόκληρο το σύστημα. Η τοπολογία αυτή σχεδιάστηκε με σκοπό τον καταμερισμό της ισχύος από μια ελαττωματική γραμμή στις υπόλοιπες, έτσι ώστε να μην απαιτείται αναβάθμιση της ισχύος. Τα κύρια πλεονεκτήματα που εντοπίζονται είναι η αυξημένη αξιοπιστία σε σύγκριση με άλλες τοπολογίες δακτυλίου, μειωμένες διακοπτικές απαιτήσεις, βελτιωμένη ρύθμιση της τάσης και χαμηλότερες απώλειες ισχύος σε σύγκριση με την κοινή ακτινική διάταξη. Η ανάγκη για εξασφάλιση καλωδίου υψηλότερης βαθμονόμησης για την εφεδρική διαδρομή είναι το σημαντικότερο μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας [57].



Εικόνα 4.25: Ενδεικτική AC τοπολογία πολλαπλών δακτυλίων [57]

4.8.2 DC σύστημα συλλογής ενέργειας

Το DC σύστημα συλλογής ενέργειας αποτελεί την εναλλακτική λύση στα ΥΑΠ. Όπως και με το αντίστοιχο AC, οι Α/Γ (οι οποίες δεν χρειάζεται να έχουν μετασχηματιστή στη δομή τους) στο DC σύστημα μπορούν να τοποθετηθούν σε ακτινική διάταξη ή σε άλλου είδους διατάξεις που αναλύονται στη συνέχεια [57]. Σε γενικές γραμμές, τα DC συστήματα συλλογής ενέργειας αποτελούνται από συστάδες Α/Γ, οι οποίες συνδέονται είτε παράλληλα, είτε σε σειρά. Δεδομένου ότι η διαφορά μεταξύ της ισχύος εξόδου κάθε Α/Γ και της συνολικής ισχύος που μεταφέρεται από το ΥΑΠ στη στεριά είναι σημαντική, απαιτούνται αρκετά βήματα ανύψωσης της τάσης, κάτι που επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων μετατροπέων DC/DC [58].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Η τεχνολογία DC συλλογής ενέργειας για τα ΥΑΠ αποτελεί ένα πρόσφορο πεδίο έρευνας καθότι ακόμα δεν έχει δοκιμαστεί επαρκώς για εφαρμογές μεγάλου εύρους (εν απουσία στοιχειοθέτησης σχετικών προτύπων).

Παράλληλες διατάξεις I, II, III, IV

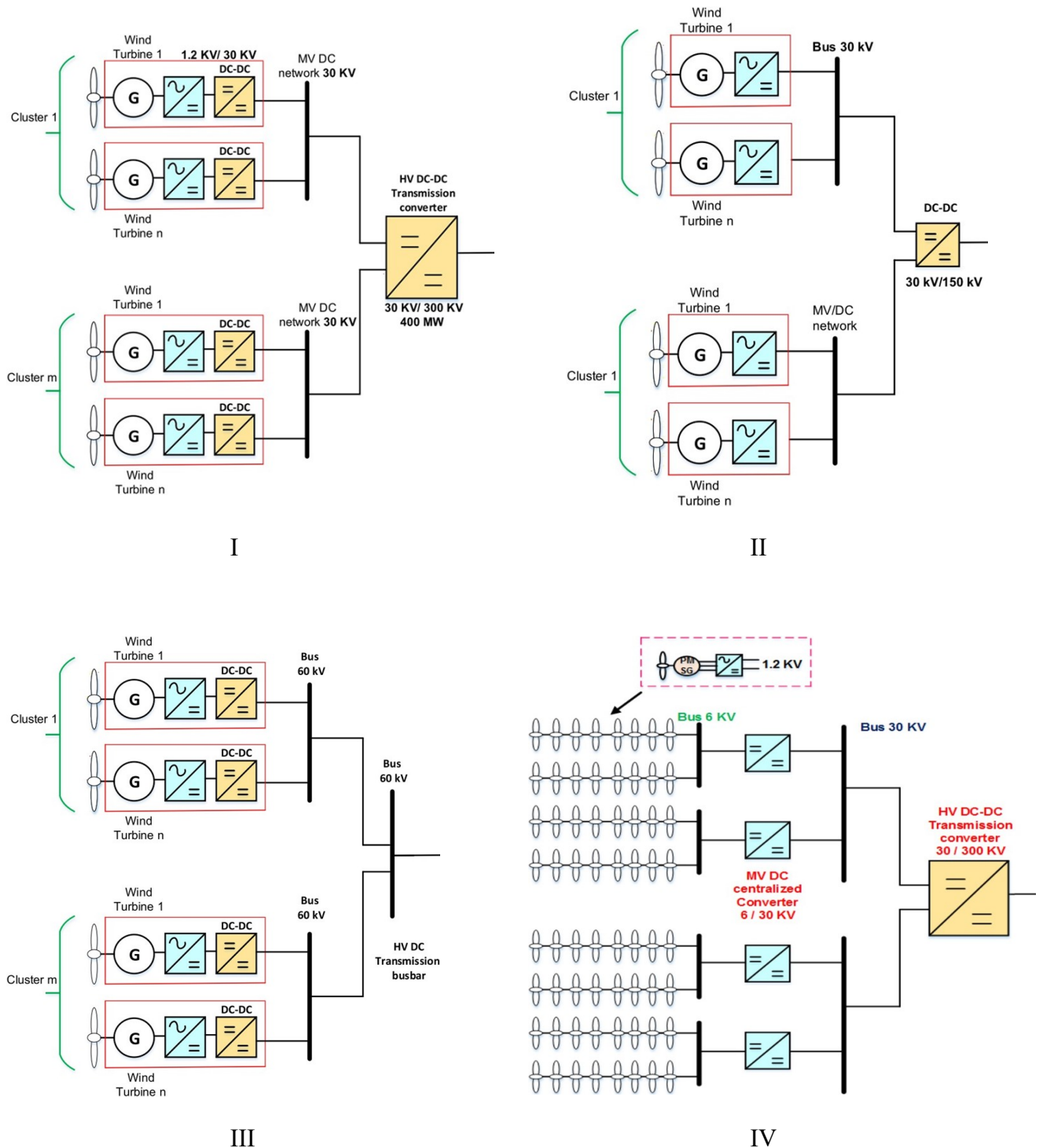
Στην τοπολογία I χρησιμοποιούνται DC/DC μετατροπείς για την ανύψωση της τάσης κάθε A/Γ στα επίπεδα της μέσης τάσης. Η ανυψωμένη τάση συλλέγεται στον κόμβο συλλογής μέσης τάσης και έπειτα οδηγείται με κατάλληλο καλώδιο στον κεντρικό DC/DC μετατροπέα ανύψωσης, ο οποίος αυτήν τη φορά εκτελεί ανύψωση στα επίπεδα της υψηλής τάσης με σκοπό τη μετέπειτα μεταφορά της στη στεριά. Τα πλεονεκτήματα της διάταξης αυτής είναι η άμεση απευθείας ανύψωση της τάσης από τις εξόδους των A/Γ, κάτι που συνεπάγεται μείωση των απωλειών καλωδίων. Επιπρόσθετα, αυτού του είδους η μετατροπή δίνει τη δυνατότητα ελέγχου του συστήματος μετατροπής μεμονωμένα για κάθε έξοδο A/Γ. Η ανάγκη όμως για χρησιμοποίηση περισσότερων μετατροπέων έχει χωροθετικό και οικονομικό κόστος [58].

Στην τοπολογία II η ενέργεια που παράγει κάθε συστάδα A/Γ συλλέγεται στους κόμβους μέσης τάσης. Και σε αυτήν την περίπτωση, υπάρχει στη συνέχεια ένας DC/DC μετατροπέας ανύψωσης της τάσης, στα επίπεδα της υψηλής τάσης. Από τη στιγμή που υπάρχουν λιγότεροι μετατροπείς και εξαλείφονται οι μετασχηματιστές, η διάταξη αυτή οδηγεί σε λιγότερες απώλειες. Ωστόσο, το επίπεδο της διανομής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τάση εξόδου των A/Γ [58].

Η τοπολογία III αποτελείται από επί μέρους μετατροπείς DC/DC, καθένας από τους οποίους συνδέεται απευθείας με μία A/Γ και είναι σχεδιασμένος βάσει της ισχύος τους. Οι εξοδοί των μετατροπέων πρέπει να είναι σχεδιασμένες για διαμόρφωση της τάσης μεταφοράς στο επίπεδο της υψηλής τάσης. Η συγκεκριμένη τοπολογία εμφανίζει γενικά μικρές απώλειες και μειωμένο κόστος, λόγω της απουσίας ενός επιπρόσθετου (κεντρικού) μετατροπέα [58].

Η τοπολογία IV μοιάζει με την I, με τη διαφορά ότι οι DC/DC μετατροπείς ανύψωσης δεν τοποθετούνται αμέσως μετά την έξοδο κάθε A/Γ. Κάθε συστάδα A/Γ (με DC έξοδο) συνδέεται με έναν DC/DC μετατροπέα ανύψωσης στα επίπεδα της μέσης τάσης και εν συνεχεία ακολουθεί ένας κεντρικός DC/DC μετατροπέας ανύψωσης στα επίπεδα της υψηλής τάσης, στον οποίο καταλήγουν όλες οι εξοδοί κάθε συστάδας. Συνεπώς, σε σχέση με την τοπολογία I αφαιρούνται οι μετατροπείς DC/DC που βρίσκονται στην έξοδο κάθε A/Γ ξεχωριστά, κάτι που συνδυάζεται με χωροθετικό και οικονομικό όφελος [58].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 4.26: Ενδεικτικές DC τοπολογίες παράλληλης σύνδεσης [58]

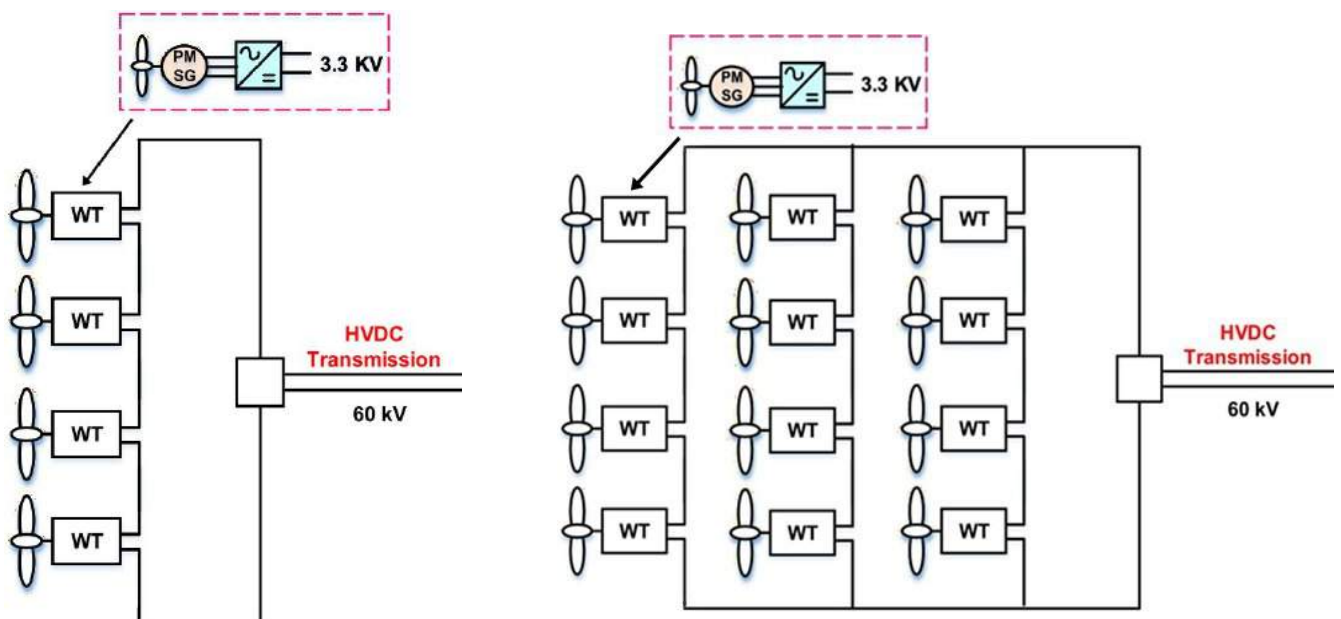
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Εν σειρά διάταξη

Συνδέοντας τις Α/Γ ενός ΥΑΠ σε σειρά, επιτυγχάνεται η πρόσθεση όλων των επιμέρους τάσεων εξόδου των Α/Γ, οπότε η συνολική ενέργεια του συστήματος φθάνει στα επίπεδα της υψηλής τάσης μεταφοράς χωρίς τη χρήση DC/DC μετατροπέα. Συνεπώς, το πλήθος των Α/Γ που απαιτείται για την επίτευξη της απαιτούμενης τάσης μεταφοράς εξαρτάται από τις τάσεις εξόδου των Α/Γ. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι ότι σε περίπτωση βλάβης κάποιας Α/Γ, η DC τάση εξόδου των υπολοίπων πρέπει να αντισταθμίσει την απώλεια, αλλιώς δεν θα επιτευχθεί η μεταφορά της ενέργειας στη στεριά. Επίσης, το αναμενόμενο (λόγω της απουσίας μετατροπέων) υψηλό δυναμικό λειτουργίας των Α/Γ, εγείρει ζητήματα που σχετίζονται με την παρακολούθηση και τη μόνωση του συστήματος [57], [58].

Υβριδική διατάξη

Περιλαμβάνει Α/Γ συνδεδεμένες σε σειρά μεταξύ τους, ενώ ταυτόχρονα οι συστάδες στις οποίες ανήκουν είναι συνδεδεμένες παράλληλα. Ακριβώς όπως στην προηγούμενη περίπτωση, οι εσωτερικοί ελεγκτές των Α/Γ χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της τάσης εξόδου τους. Ωστόσο, η ανάγκη αντιστάθμισης απωλειών είναι λιγότερο έντονη σε σχέση με τη σύνδεση σε σειρά [57].



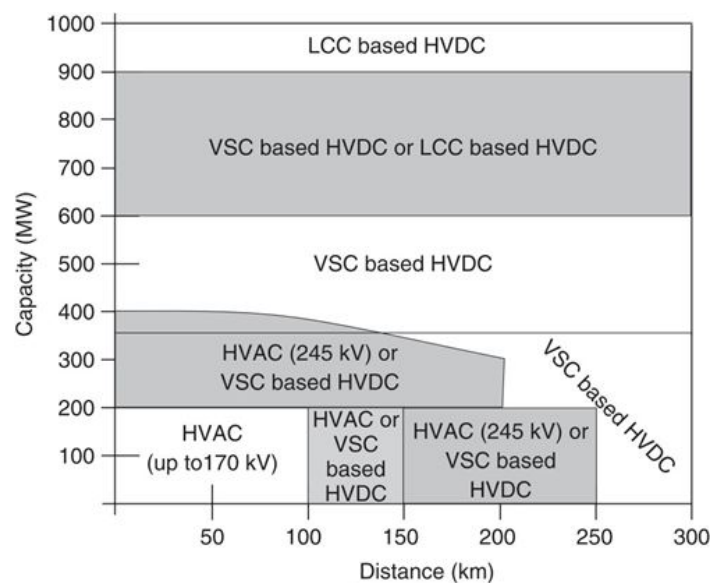
Εικόνα 4.27: Ενδεικτικές DC τοπολογίες εν σειρά σύνδεσης και υβριδικής διάταξης [58]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

4.9 Συστήματα μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας

Ένα σημαντικό ζήτημα στα ΥΑΠ είναι η μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το πλησιέστερο ηπειρωτικό δίκτυο. Πρόκειται για ένα ευέλικτο σύστημα εξαιτίας της αυξομειώσης της μεταφερόμενης ενέργειας, το οποίο ταυτοχρόνως είναι και αξιόπιστο λόγω του μεγέθους του, παρά τη δυσκολία υλοποίησής του (εμπότιση καλωδίων, υποθαλάσσιες συνδέσεις, κ.τ.λ.). Η κατασκευή ενός συστήματος εναλλασσόμενου ρεύματος παρόμοιο με εκείνο του δικτύου αποτελεί μια ενδεχόμενη λύση, όμως κατά την υλοποίησή της προκύπτουν αρκετά αδιέξοδα [59].

Εκτός από την επιλογή ενός υποθαλάσσιου τριφασικού συστήματος AC (κοστοβόρο και ασύμφορο κατασκευαστικώς), ενδείκνυται η επιλογή του συστήματος μεταφοράς DC ρεύματος υψηλής τάσης HVDC. Αυτή η λύση παρέχει εξίσου καλή ποιότητα ισχύος και ευστάθεια στο σύστημα, ενώ επιπλέον από οικονομικής πλευράς δεν δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα. Ενδεικτικά, το κόστος μιας τέτοιας κατασκευής μειώνεται κατά 1/3 αφού πρόκειται για σύστημα μεταφοράς 2 φάσεων και όχι 3 όπως ένα AC. Επιπρόσθετα, παρέχει σημαντικά οφέλη, όπως τον δυναμικό τρόπο απόσβεσης των ταλαντώσεων από τις μετατροπές AC/DC και DC/AC, καθώς και τον συγχρονισμό πολλαπλών και διαφορετικών συχνοτήτων από τις διάφορες πηγές μέσω μίας γραμμής μεταφοράς [59].

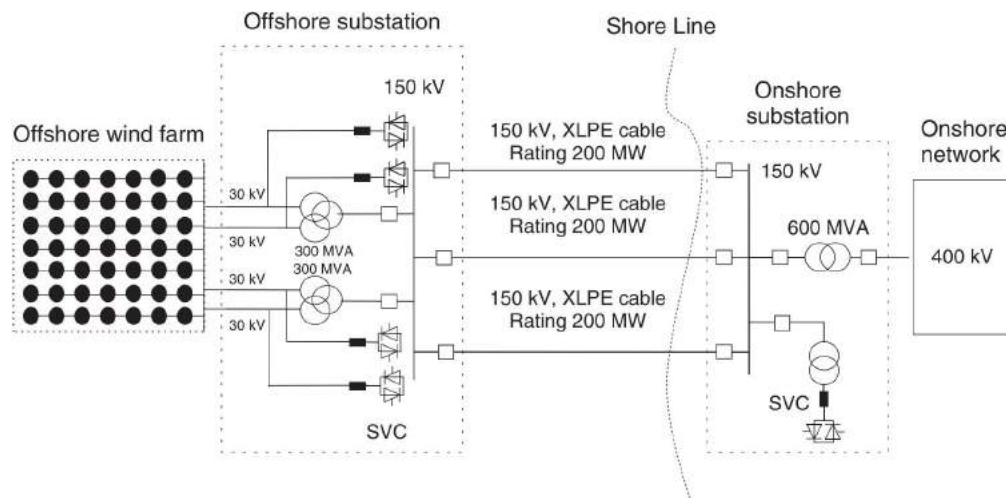


Σχήμα 4.2: Χαρακτηριστικό διάγραμμα χρήσης συστημάτων υψηλής τάσης [59]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

HVAC μεταφορά

Τα συστήματα υψηλής τάσης AC ρεύματος (HVAC) είναι η πιο απλή και οικονομικά προσιτή λύση για ένα αιολικό πάρκο. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλά ΥΑΠ (κυρίως μικρής κλίμακας), όμως έχουν αρκετούς περιορισμούς. Υπάρχει μια άμεση σχέση του μήκους της γραμμής με το ποσό ενέργειας που μεταφέρεται, αλλά και της αέργου ισχύος που αναπτύσσουν τα ίδια τα καλώδια, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της χρήσης σε μικρά πάρκα έως 200 MW. Το συνολικό μήκος της γραμμής επίσης δεν ξεπερνά τα 100 km. Κοντά στην ακτογραμμή, χρησιμοποιούνται αντισταθμιστές αέργου ισχύος που συμβάλλουν στην εξασφάλιση καλύτερης ποιότητας παρεχόμενης ισχύος και εξάλειψη ανώτερων αρμονικών [59].



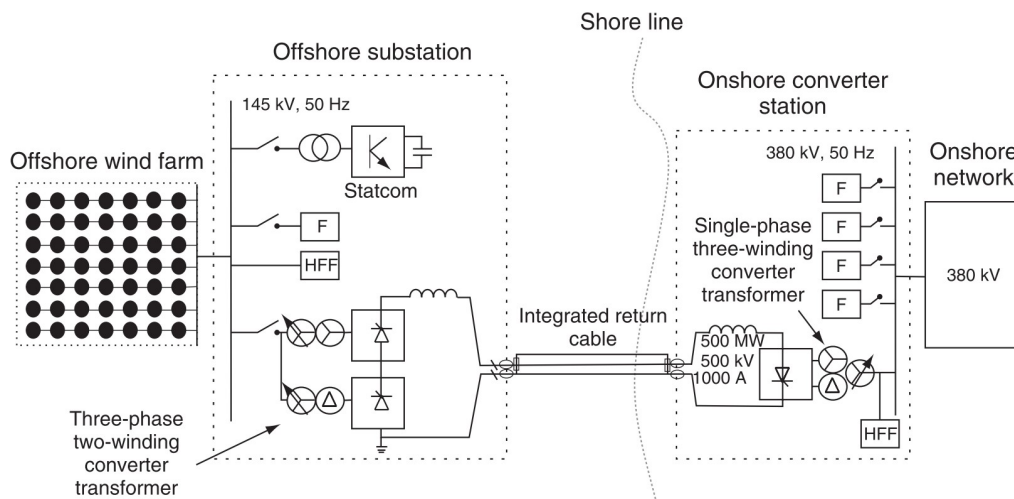
Εικόνα 4.28: Παράδειγμα HVAC διασύνδεσης αιολικού πάρκου (600 MW) με το δίκτυο [59]

HVDC μεταφορά βασισμένη σε LCC

Είναι το κλασικό σύστημα μεταφοράς ενέργειας με χρήση υψηλής τάσης DC ρεύματος (HVDC), το οποίο χρησιμοποιεί μετατροπείς πηγών ρεύματος (LCC). Απαρτίζεται από γέφυρες θυρίστορ, πράγμα που αποτελεί βασικό μειονέκτημα στα συστήματα μεταφοράς ενέργειας μεταξύ 2 δικτύων AC, αφού σε τέτοιες κατασκευές τα θυρίστορ είναι οδηγούμενα από τα δίκτυα και δεν έχουμε τη δυνατότητα ελέγχου της μεταφερόμενης ενεργού και αέργου ισχύος. Ως εκ τούτου, μεταφέρονται ανώτερες αρμονικές στο δίκτυο και καθίσταται απαραίτητη η χρήση πολύ μεγάλων φίλτρων αντισταθμίσσης. Το πρόβλημα αυτό προέρχεται από τη διαδικασία έναυσης και σβέσης των θυρίστορ, που καθυστερούν συγκριτικά με τα IGBT και τα GTO [59].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Μια λύση στο παραπάνω πρόβλημα βρέθηκε με την τοποθέτηση ενός στατικού αντισταθμιστή (STATCOM). Το κέρδος ήταν διπλό, καθότι κατά τη διαρκή και σταθερή λειτουργία του συστήματος, περιορίζεται η άεργος ισχύς που παράγεται από την μετατροπή του AC σε DC και ταυτόχρονα διατηρείται σταθερή η DC τάση μεταφοράς καθόσον το αιολικό πάρκο παρουσιάζει στιγμιαίες βυθίσεις ή μεταβολές [56]. Η χρήση αυτού του συστήματος είναι πολύ διαδεδομένη εδώ και σχεδόν μισό αιώνα, ενώ δεν είναι λίγες οι χώρες που το προτιμούν με σκοπό τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας (χαρακτηριστικό παράδειγμα ο αγωγός Ελλάδας - Ιταλίας). Συνήθως χρησιμοποιείται για τη σύνδεση σταθμών ή πάρκων που απέχουν μεταξύ τους απόσταση άνω των 100 km και αφορά μεταφορά ενέργειας από 600 MW και πάνω [59].



Εικόνα 4.29: Παράδειγμα διασύνδεσης αιολικού πάρκου (500 MW) με το δίκτυο, βάσει του συστήματος HVDC-LCC με STATCOM [59]

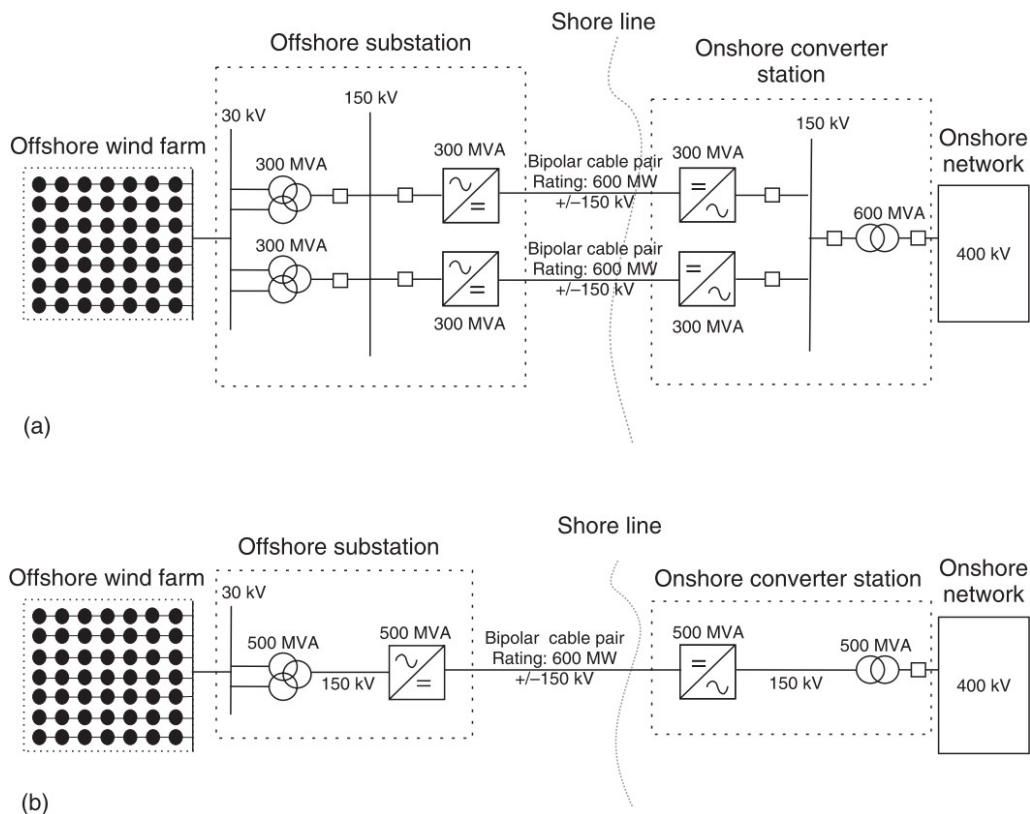
HVDC μεταφορά βασισμένη σε VSC

Αφορά την πιο εξελιγμένη μορφή μεταφοράς ενέργειας υψηλής τάσης DC (HVDC), που κερδίζει όλο και περισσότερο μερίδιο της αγοράς. Η διαφορά της γραμμής HVDC εντοπίζεται στους μετατροπείς πηγών τάσης (VSC). Τη θέση των θυρίστορ εδώ παίρνουν στοιχεία IGBT, με μεγαλύτερες συχνότητες λειτουργίας και πλήρως ελεγχόμενες διακοπτικές διαδικασίες. Έτσι, προκύπτει μια γραμμή που λειτουργεί ανεξάρτητα από τη διαφορά δυναμικότητας των 2 άκρων της, δηλαδή χωρίς να χρειάζεται κάποιος σταθεροποιητής από την πλευρά του πάρκου ή του δικτύου. Αυτήν τη στιγμή υπάρχουν τέτοιες τυποποιημένες διατάξεις στην αγορά, κατασκευής μεγάλων εταιρειών, όπως η "HVDC Light" (ABB) και η "HVDC Plus" (Siemens) [59].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι αρκετά. Αρχικά, επιτυγχάνεται καλύτερος και άμεσος έλεγχος της ενεργού και αέργου ισχύος δίχως την αντισταθμιστές, ενώ παράλληλα σταθεροποιεί το δίκτυο στις ενώσεις με το AC δίκτυο. Επειδή στο σύστημα χρησιμοποιούνται ημιαγωγικά στοιχεία μεγάλης συχνότητας λειτουργίας, επιτυγχάνεται μείωση των αρμονικών που εισάγονται στο δίκτυο, άρα εξαλείφονται τα φίλτρα που θα ήταν αναγκαία υπό διαφορετικές συνθήκες. Ωστόσο, η μεγάλη συχνότητα στη Διαμόρφωση Πλάτους Παλμών (PWM) επιφέρει σημαντικές απώλειες ισχύος, όμως παραμένει μικρότερο το ποσοστό σε σύγκριση με το LCC σύστημα. Το κόστος κατασκευής των VSC είναι μεγαλύτερο σε σχέση με άλλες διατάξεις, αλλά στο σύνολο της κατασκευής είναι τουλάχιστον συγκρίσιμο, ενίοτε και χαμηλότερο [59].

Η διάταξη HVDC με VSC χρησιμοποιείται για κατασκευές πάνω από 100 km και αφορά μεταφορά ισχύος μεταξύ 200 - 900 MW, με την ιδιαιτερότητα της χρησιμοποίησης ακόμα και πέρα αυτών των ενδεδειγμένων ορίων αν το επιτρέπουν οι συνθήκες [59].



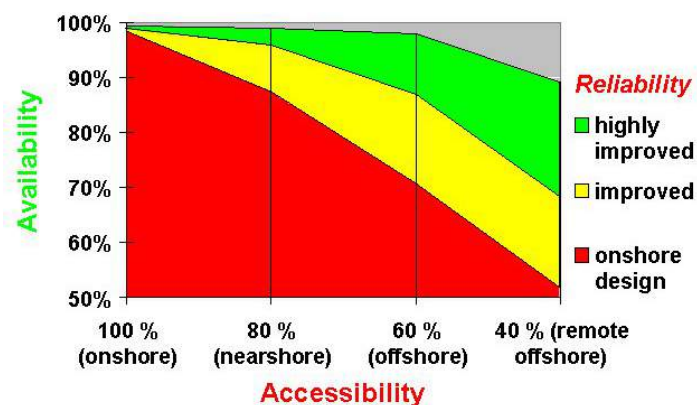
Εικόνα 4.30: α) Τυπικό αιολικό πάρκο σύνδεσης HVDC (600 MW) με χρήση 2 VSC και β) Τυπικό αιολικό πάρκο σύνδεσης HVDC (500 MW) με χρήση 1 VSC [59]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

4.10 Έλεγχος λειτουργίας και συντήρηση

Η καθημερινή λειτουργία ενός αιολικού πάρκου παρακολουθείται και ελέγχεται με τη χρήση ενός συστήματος εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA). Αυτό διασυνδέει όλα τα συστατικά μέρη (Α/Γ, μετεωρολογικούς σταθμούς και υποσταθμούς) του αιολικού πάρκου σε έναν κεντρικό υπολογιστή (Master Station), ο οποίος επιτρέπει στον χειριστή να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία του αιολικού σταθμού. Το σύστημα παρέχει και αποθηκεύει πληροφορίες και έτσι μπορούν να εντοπιστούν αστοχίες ή προβλήματα συγκεκριμένων Α/Γ [60].

Η συντήρηση των υπεράκτιων Α/Γ απαιτεί τεχνογνωσία παρόμοια με αυτή των χερσαίων Α/Γ, επειδή διαθέτουν παρόμοιες συνιστώσες. Οι συνιστώσες βέβαια των ΥΑΠ είναι μεγαλύτερου μεγέθους, επομένως η λειτουργία και η συντήρηση των ΥΑΠ είναι δυσκολότερη και πιο δαπανηρή. Οι συνθήκες των υπεράκτιων περιοχών καθιστούν το έργο της συναρμολόγησης και τις διαδικασίες προμηθειών επαχθείς. Η προσβασιμότητα δε για την καθιερωμένη επισκευή και συντήρηση των μηχανημάτων, καθίσταται μεγάλο ζήτημα. Κατά τη διάρκεια βαρυχειμωνιάς, ένα αιολικό πάρκο ενδεχομένως να μην είναι προσβάσιμο για αρκετές μέρες εξαιτίας των καιρικών συνθηκών. Ακόμα όμως και σε περιόδους με καλές καιρικές συνθήκες, το έργο της λειτουργίας και συντήρησης είναι δυσχερές και δαπανηρό, λόγω της αυξημένης απόστασης από την ακτογραμμή, της έκθεσης της τοποθεσίας, του μέγεθους της εγκατάστασης, της αξιοπιστίας των Α/Γ και της στρατηγική συντήρησης. Όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα, η ύπαρξη αξιόπιστων Α/Γ, ιδίως για τις απομακρυσμένες θαλάσσιες τοποθεσίες, είναι πολύ σημαντική για τη λειτουργία ενός αιολικού πάρκου [60].



Σχήμα 4.3: Αλληλεπίδραση της αξιοπιστίας, της διαθεσιμότητας και της προσβασιμότητας σε χερσαίες, παράκτιες, υπεράκτιες και απομακρυσμένες υπεράκτιες τοποθεσίες [61]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Παρατηρούμε ότι η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία των χερσαίων Α/Γ (κόκκινο χρώμα) μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από τη στεριά και πέφτει στο 50 % όταν εγκαθίστανται σε πολύ απομακρυσμένα από την ακτογραμμή αιολικά πάρκα. Αντίθετα, οι βελτιωμένες τεχνολογίας Α/Γ (κίτρινο χρώμα) και οι ακόμη περισσότερο βελτιωμένες τεχνολογικές Α/Γ (πράσινο χρώμα) είναι πιο αξιόπιστες και έχουν αυξημένα ποσοστά λειτουργικής διαθεσιμότητας και επομένως ένα ΥΑΠ αν και έχει μεγαλύτερο κόστος από ένα χερσαίο, εφόσον λειτουργεί συνεχώς, θα αντισταθμίζει το αρχικό κεφαλαιουχικό κόστος από τα αυξημένα έσοδα ελέω μεγαλύτερης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [60].

Οι Α/Γ σχεδιάζονται έτσι ώστε να απαιτούνται περιοδικοί έλεγχοι 1 - 3 φορές ετησίως. Οι περιοδικοί έλεγχοι συντήρησης διαφέρουν ανάλογα με τις οδηγίες τον κατασκευαστή και την τεχνολογία που χρησιμοποιεί η εκάστοτε Α/Γ. Η μη προγραμματισμένη συντήρηση μπορεί να αυξήσει σημαντικά τις δαπάνες λειτουργίας και διαχείρισης, συνεπώς το κόστος ανά KWh. Εξίσου σημαντική είναι και η έγκαιρη ανίχνευση βλάβης σε οποιοδήποτε σημείο τον αιολικού πάρκου, έτσι ώστε οι εργασίες αποκατάστασης να προγραμματιστούν για τις ημέρες που οι καιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές. Στόχος πρέπει να είναι η μεγιστοποίηση του Μέσου Όρου Χρόνου Μεταξύ των Βλαβών (συντελεστής MBTF) [60].

Ο προσδοκώμενος χρόνος ζωής των Α/Γ είναι γενικά 20 - 25 χρόνια. Καθώς προορίζονται για εγκατάσταση σε απομακρυσμένα μέρη, εκτεθειμένα στον καιρό και σε δυνατούς ανέμους, η συντήρησή τους είναι γενικά δύσκολη και ακριβή. Περιλαμβάνει επιτόπιους ελέγχους των εξαρτημάτων και των συνδέσεων με το δίκτυο σε τακτική βάση, επιδιόρθωση βλαβών και αντικατάσταση των εξαρτημάτων που συμπλήρωσαν τον χρόνο ζωής τους ή αστόχησαν. Οι δονήσεις που δέχονται, κυρίως τα πτερύγια αλλά και άλλα μέρη μιας Α/Γ από τον άνεμο είναι ο παράγοντας που καθορίζει κατά το μέγιστο την πιθανότητα λειτουργικής αστοχίας ή ατυχήματος. Οι δονήσεις μπορούν να προκαλέσουν τη μετατόπιση υλικών, την αποκόλληση κάποιων συνδέσεων ακόμα και το μερικό ή ολικό σπάσιμο των πτερυγίων. Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε πιθανή βλάβη της Α/Γ είναι η σκόνη. Η σκόνη (με τη μορφή γύρης, χνουδιών, σπόρων, εντόμων, κ.τ.λ.) παρεμποδίζει τη ροή τον αέρα και μειώνει την ψύξη. Κατά συνέπεια αυξάνεται η θερμοκρασία των διαφόρων μηχανικών και ηλεκτρικών εξαρτημάτων, όπως είναι η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και το κιβώτιο ταχυτήτων [60].

Κάθε κατασκευαστής Α/Γ παρέχει το δικό του εγχειρίδιο και πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης. Η ετήσια προληπτική συντήρηση περιλαμβάνει διάφορες εργασίες, ελέγχους,

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

καθώς και λοιπές δραστηριότητες στα διάφορα μέρη των Α/Γ. Η συντήρηση, η επισκευή τα έξοδα και η διαθεσιμότητα είναι αλληλοεξαρτώμενα μεγέθη. Με αυξανόμενη την προληπτική συντήρηση, τα έξοδα συντήρησης και τα έξοδα επισκευής ελαττώνονται, όμως δημιουργούνται λιγότερες απρόβλεπτες βλάβες. Δεν μπορεί βέβαια κάποιος να κάνει λόγο για περισσότερη προληπτική συντήρηση, διότι σε τελευταία ανάλυση και για την προληπτική συντήρηση χρειάζεται χρόνος ο οποίος αφαιρείται από τον χρόνο παραγωγής. Για το λόγο αυτό, τα τελευταία 20 χρόνια η προσοχή στρέφεται όλο και περισσότερο στο να έχουν οι μηχανές εκ των προτέρων μεγάλη διαθεσιμότητα και όχι να αποκτούν εκ των υστέρων με μέτρα διαρκούς συντήρησης [60].

Θεωρείται πως υπάρχουν 4 τύποι συντήρησης Α/Γ, η προληπτική, η έγκαιρη, η προαιρετική και η διορθωτική συντήρηση [60]:

- Προληπτική συντήρηση → Είναι σημαντική εκτός των άλλων και για τη βελτίωση της λειτουργίας των Α/Γ. Για παράδειγμα, η λίπανση των κινούμενων μερών που περιλαμβάνεται στην προληπτική συντήρηση εάν δεν εκτελεστεί, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές συνέπειες ακόμα και σε βραχυπρόθεσμες λειτουργίες.
- Έγκαιρη συντήρηση → Οι στόχοι της είναι οι ίδιοι, η βελτίωση δηλαδή της αξιοπιστίας και η εξάλειψη πιθανών δυσλειτουργιών. Αυτού του τύπου η συντήρηση βασίζεται στην ανάλυση συγκεκριμένων στοιχείων για μία έγκαιρη ανίχνευση των μεταβολών στις συνθήκες λειτουργίας. Η συντήρηση αυτή επίσης εκτελείται τακτικά, αναλύοντας ορισμένα δεδομένα, τα οποία οι τεχνικοί καταχωρούν, έχοντας τη δυνατότητα ανάλυσης και σύγκρισής τους. Έτσι προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξη κάποιων μεταβλητών. Η εκτίμηση αυτή επιτρέπει τον προγραμματισμό διορθωτικών εργασιών με την ελάχιστη δυνατή επίδραση στην παραγωγικότητα της εκάστοτε Α/Γ.
- Προαιρετική συντήρηση → Αφορά κυρίως την ανάλυση των υπαρχόντων βλαβών και την προέλευσή τους. Εστιάζει στην αναγνώριση και διόρθωση των αιτιών των βλαβών τόσο στα εξαρτήματα της εκάστοτε Α/Γ όσο και στην διαδικασία εγκατάστασής της. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για την πρόληψη αυτού του είδους των σφαλμάτων. Τροποποιήσεις στο σχεδιασμό, βελτίωση των διαδικασιών συντήρησης, και βελτιώσεις στην εκπαίδευση και την εμπλοκή τον προσωπικού συντήρησης, είναι κάποιοι από αυτούς.
- Διορθωτική συντήρηση → Είναι η εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών συντήρησης με στόχο την διόρθωση πιθανών σφαλμάτων, την αντικατάσταση εξαρτημάτων ή τη διόρθωση οποιασδήποτε ανωμαλίας ανιχνεύθηκε κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε είδους

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

συντήρησης που προηγήθηκε. Η διορθωτική συντήρηση ενδέχεται να είναι αρκετά πολύπλοκη και χρονοβόρα ανάλογα με το είδος βλάβης που εντοπίζεται.

Ορισμένοι ειδικοί έλεγχοι πιθανόν να μην μπορούν να γίνουν επί τόπου, και να χρειάζεται να μεταφερθεί το εξάρτημα στο εργοστάσιο κατασκευής (π.χ. το κιβώτιο ταχυτήτων). Ιδιαίτερα δύσκολη είναι η συντήρηση των ρότορα και των πτερυγίων καθώς απαιτείται πρόσβαση σε μεγάλο ύψος, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αναγκαία η αφαίρεση τους και η επισκευή από τον κατασκευαστή. Στις επισκευές περιλαμβάνονται οι αναλώσιμες εργασίες, οι επιδιορθώσεις βλαβών που οφείλονται σε μετεωρολογικές συνθήκες, όπως υγρασία, πάγος, υπερθέρμανση και σε φυσική φθορά ορισμένων τμημάτων τον εξοπλισμού (σκουριά και διάβρωση) ή σε καταστροφές από πτώσεις κεραυνών, καταστροφές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού από ανωμαλίες δικτύου. Οι διαδοχικοί σχεδιασμοί των Α/Γ τα τελευταία χρόνια εξέλιξής τους, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι μείζονος σημασίας είναι η εξασφάλιση της απλότητας της κατασκευής του ρότορα, ώστε να αυξάνεται η αξιοπιστία και η ευκολία της συντήρησης. Μια γενική διαπίστωση είναι ότι το μεγαλύτερο ποσοστό βλαβών εντοπίζεται στο ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου [60].

Οι κυριότερες αιτίες για μειωμένη παραγωγή προκύπτουν από κακή εκτίμηση και επιλογή της θέσης εγκατάστασης της Α/Γ, αλλά και από την βροχή και την σκόνη που επικάθονται στα πτερύγια και προκαλούν προβλήματα στην καλή ροή τον ανέμου γύρω από αυτά. Ένα πλήρες και λεπτομερές πρόγραμμα συντήρησης απαιτείται για τη βελτίωση της απόδοσης ενός αιολικού πάρκου. Η καθυστέρηση πραγματοποίησης μιας συντήρησης μπορεί να προκαλέσει προβλήματα λειτουργίας, όμως δεν είναι πάντα εύκολο να αποφευχθεί καθώς η συντήρηση εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και το μέγεθος των παρατηρούμενων βλαβών [60].

Πέραν των τεχνικών εργασιών, υπάρχει και η ανάγκη διατήρησης εγγράφων σχετικά με τις διάφορες λειτουργίες και εργασίες στο αιολικό πάρκο. Σχεδόν όλα τα τεχνικά έγγραφα στα αιολικά πάρκα είναι εγχειρίδια συντήρησης, τα οποία περιλαμβάνουν ένα σύνολο εργασιών προληπτικής συντήρησης που πρέπει να εκτελεστούν. Υπάρχουν επίσης έγγραφα και προτεινόμενες διαδικασίες που καθορίζουν τον τρόπο διασφάλισης της ποιότητας, την πρόληψη ατυχημάτων, τη διαχείριση των πιθανών απορριμμάτων και τα ωράρια εργασίας του προσωπικού [60].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Για παράδειγμα, το πρόγραμμα της εταιρείας Vestas περιλαμβάνει τα παρακάτω 4 στάδια στα οποία γίνεται έλεγχος και αντικατάσταση κάποιων υλικών στα ηλεκτρικά και μηχανολογικά μέρη της Α/Γ [60]:

- Τρίμηνη συντήρηση (Γίνεται 3 μήνες μετά την παράδοση της Α/Γ και αφορά έλεγχο στα ηλεκτρικά μέρη και έλεγχο στις βίδες).
- Εξάμηνη συντήρηση (Η πρώτη εξάμηνη συντήρηση γίνεται έξι μήνες μετά την παράδοση της Α/Γ και επαναλαμβάνεται μετά από ένα χρόνο. Αφορά έλεγχο στα ηλεκτρικά μέρη και στα μηχανικά μέρη γρασάρισμα στα ρουλεμάν έλεγχο στην πίεση της υδραυλικής).
- Δωδεκάμηνη (Γίνεται 1 χρόνο μετά την παράδοση της Α/Γ ή 6 μήνες μετά την εξάμηνη συντήρηση. Επαναλαμβάνονται οι εργασίες που γίνονται στην εξάμηνη και επιπλέον γίνεται αλλαγή κάποιων υλικών όπως φίλτρα και ελέγχονται όλοι οι πιεσοστάτες).
- Συντήρηση 4 ετών (Γίνεται 4 χρόνια μετά την παράδοση της Α/Γ και περιλαμβάνει την τρίμηνη και την ετήσια συντήρηση μαζί).

4.11 Πλεονεκτήματα ΥΑΠ

Όπως κάθε μορφή παραγωγής ενέργειας, έτσι και η ΥΑΕ έχει θετικές και αρνητικές επιπτώσεις. Το πιο σημαντικό είναι ότι συνδέεται με θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω της αποφυγής επιβάρυνσης του περιβάλλοντος (αποφυγή εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, τοξικών ρύπων και θερμικής ρύπανσης). Θετική επίδραση έχει επίσης η χρήση των θεμελίων και των εξαρτημάτων αγκυροβόλησης από θαλάσσιους οργανισμούς, καθότι μπορούν υπό ορισμένες συνθήκες να μετατραπούν σε τεχνητούς βιότοπους και να συμβάλλουν στην αύξηση της θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας (κυρίως των ψαριών). Επιπρόσθετα, υποστηρίζεται από πολλούς η άποψη πως τα ΥΑΠ αποτελούν αποτρεπτικό παράγοντα της εμπορικής αλιείας, οπότε συμβάλλουν στην προστασία της άγριας ζωής [62], [63].

Μερικά πλεονεκτήματα των ΥΑΠ είναι τα εξής [62], [63], [64]:

- Υψηλές ταχύτητες ανέμου και σταθερότερος άνεμος → Οι υπεράκτιοι άνεμοι είναι γενικά ισχυρότεροι και πιο σταθεροί από τους υπεράκτιους. Μπορούν και μειώνουν τις φθορές των στροβίλων, εφόσον προβλέπεται ότι έχουν σταθερή ροή. Επίσης, οι στροβίλοι αναμένεται να λειτουργούν περισσότερο από όσο θα λειτουργούσαν στη στεριά. Συνεπώς, το ΥΑΠ παρέχει πιο μεγάλη ισχύ. Η αυξημένη ταχύτητας του ανέμου μεταφράζεται σε αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργεια της τάξης του 150 % για τις Α/Γ και σε αύξηση της ισχύος του πάρκου από 25 έως 40 %. Συγκριτικά με τα

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

χερσαία, τα υπεράκτια πάρκα έχουν προοπτικές υψηλότερης απόδοσης, περίπου 20 έως 40 %.

- Πληθώρα ελεύθερων περιοχών πιθανής εγκατάστασης → Η έλλειψη κατάλληλων χερσαίων περιοχών και η ύπαρξη πυκνοκατοικημένων περιοχών στη στεριά, αποτελεί έναν ακόμα λόγο στροφής στα ΥΑΠ. Αυτή η έλλειψη οφείλεται στην ανάγκη χρήσης της γης για δραστηριότητες όπως η γεωργία. Η τοποθέτηση των αιολικών πάρκων στη θάλασσα συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού ρύπου (εκπομπή θορύβου), η οποία σχετίζεται με την αυξημένη ταχύτητα στροβίλου. Ακόμα, όσο πιο μακριά είναι εγκατεστημένο το ΥΑΠ από την ακτογραμμή, τόσο μικρότερη είναι η οπτική όχληση που προκαλεί. Οι μακρινές αποστάσεις από τη στεριά καθιστούν δυνατή την εγκατάσταση μεγαλύτερων Α/Γ, συμβάλλοντας έτσι σε μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω αποφυγής των περιοριστικών παραγόντων της στεριάς.
- Δυνατότητα επιλογής καλύτερου τύπου Α/Γ → Τα τμήματα που αποτελούν μια Α/Γ μπορούν να μεταφερθούν πιο εύκολα μέσω της θάλασσας και των πλοίων και γι' αυτό είναι μεγαλύτερες από ό,τι στην ξηρά. Η τοποθέτηση Α/Γ αρκετά μακριά από την ακτογραμμή μπορεί να εξαλείψει σχεδόν τα ζητήματα της οπτικής όχλησης και του θορύβου. Αυτό επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών σχεδίων για τους στροβίλους, βελτιώνοντας την αποδοτικότητά τους. Επιπλέον, στη στεριά υπάρχουν περιοριστικοί παράγοντες για το μέγεθος των Α/Γ, έτσι όταν το αιολικό πάρκο πρόκειται να εγκατασταθεί στη θάλασσα, κατά τη μεταφορά και την ανέγερση του, δεν υπάρχει σχεδόν κανένα όριο στο μέγεθος των στροβίλων που μπορούν να εγκατασταθούν, παρά μόνο το όριο της απόστασης μεταξύ των Α/Γ.
- Ραγδαία αύξηση των θέσεων εργασίας → Έχει εκτιμηθεί ότι η λειτουργία των αιολικών πάρκων στην Ελλάδα συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση των θέσεων απασχόλησης. Ενδεικτικά, για εγκατεστημένη ισχύ αιολικών πάρκων 50 MW, απαιτούνται 600 - 900 εργαζόμενοι κατά τη φάση της κατασκευής. Το 30 - 40 % εξ αυτών αφορά εγχώριο εργατικό δυναμικό. Η συμβολή των αιολικών πάρκων στον εργασιακό τομέα και κατ' επέκταση στην οικονομία (τόσο σε τοπικό, όσο και σε εθνικό επίπεδο), μπορεί να γίνει εντυπωσιακή εάν δρομολογηθεί περαιτέρω ανάπτυξή τους ανά την χώρα.

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο
ΕΚΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ WINDEUROPE**

5.1 Γενικά για τη WindEurope

Η WindEurope, πρώην Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας (EWEA), είναι ένας οργανισμός που εδρεύει στις Βρυξέλλες, ο οποίος προωθεί ενεργά τη χρήση αιολικής ενέργειας παγκοσμίως (κυρίως στην Ευρώπη). Στα μέλη της (πάνω από 400 σε περισσότερες από 35 χώρες) συμπεριλαμβάνονται κατασκευαστές Α/Γ με μεγάλο μερίδιο της παγκόσμιας αγοράς αιολικής ενέργειας, προμηθευτές εξαρτημάτων, εγνωσμένα ερευνητικά ινστιτούτα, εθνικές ενώσεις αιολικής και ανανεώσιμης ενέργειας, εργολάβοι, πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας, χρηματοοικονομικές εταιρείες κ.α. [65].

Η WindEurope συντονίζει ενεργά τη διεθνή πολιτική, την έρευνα και την ανάπτυξη. Παρέχει επίσης διάφορες υπηρεσίες υποστήριξης στα μέλη της συμβάλλοντας ανάπτυξή τους και προσφέροντας τους καλύτερες δυνατότητες δικτύωσης και ενημέρωσης στον τομέα τους [65].

Επίσης, αναλύει, διαμορφώνει και καθορίζει βασικές στρατηγικές θέσεις για την αιολική βιομηχανία, συνεργαζόμενη με τη βιομηχανία και τα ερευνητικά ιδρύματα σε διάφορα προγράμματα ανάπτυξης της αγοράς και της τεχνολογικής έρευνας. Επιπλέον, οι δραστηριότητες της και τα θέματα που αναλαμβάνει η WindEurope βοηθούν στη δημιουργία ενός κατάλληλου νομικού πλαισίου, εντός του οποίου τα μέλη της μπορούν να αναπτύξουν επιτυχώς τις επιχειρηματικές τους δραστηριότητες [65].

Εκτός από τα προαναφερόμενα, η WindEurope, παρέχει ποικίλα εργαλεία πληροφόρησης και διαχειρίζεται εκστρατείες με στόχο την ευαισθητοποίηση σχετικά με τα οφέλη του ανέμου και την ενίσχυση της κοινωνικής αποδοχής της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας (κατάρριψη των μύθων και η εύκολη πρόσβαση σε αξιόπιστες πληροφορίες) [65].

Πολλές εκδηλώσεις διοργανώνονται τακτικά υπό την αιγίδα της WindEurope, από συνέδρια, εκθέσεις και εκδηλώσεις έως σεμινάρια και εργαστήρια. Όλα αυτά συμβάλλουν στην ανταλλαγή διεθνούς εμπειρίας σε θέματα πολιτικής, χρηματοδότησης και τεχνικών εξελίξεων και παρέχουν το ιδανικό φόρουμ για την προβολή της σύγχρονης τεχνολογίας [65].

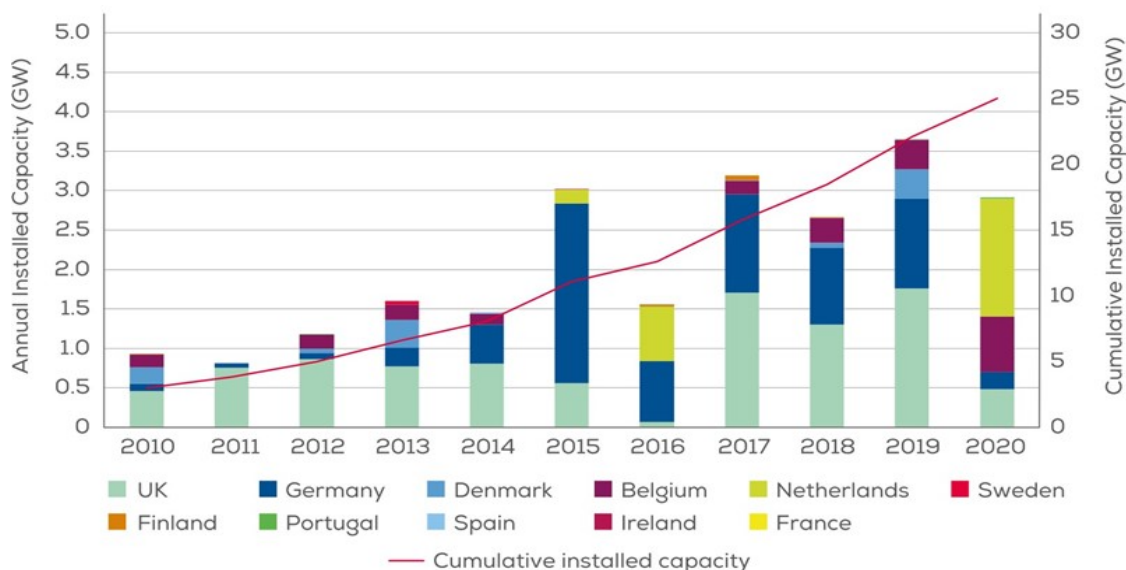
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

5.2 Τωρινή κατάσταση

Τον Φεβρουάριο του 2021 δημοσιεύτηκε η έκθεση για την τωρινή κατάσταση της ΥΑΕ στην Ευρώπη. Οι τάσεις και τα στατιστικά στοιχεία αφορούν στη διάρκεια του περασμένου έτους (2020) και γίνεται σε αρκετά σημεία σύγκριση αυτών με τα αντίστοιχα του παρελθόντος.

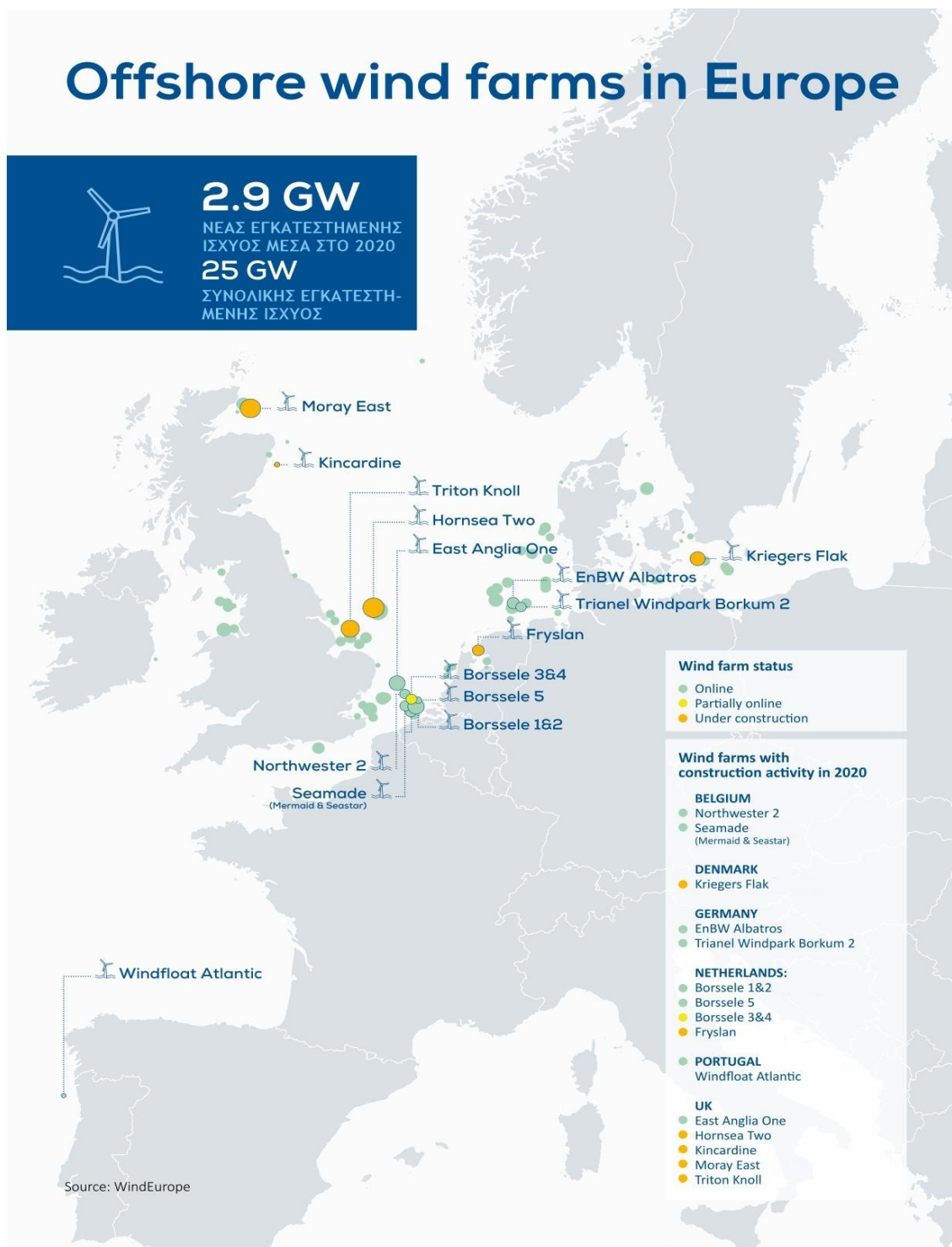
5.2.1 Επισκόπηση

Μέσα στο 2020, η Ευρώπη συνέδεσε στο δίκτυο 2.918 MW ΥΑΙ, που ελέω COVID19 αποτελεί μείωση περίπου κατά 20 % σε σχέση με το ρεκόρ του 2019 (3.623 MW) στην κλίμακα της ετήσιας εγκατάστασης. Στην Ολλανδία αντιστοιχούν 1.493 MW, στο Βέλγιο 706 MW, στο Ηνωμένο Βασίλειο 483 MW, στη Γερμανία 219 MW και στην Πορτογαλία 17 MW. Μάλιστα, για το Βέλγιο το νούμερο αυτό αποτελούν ετήσιο εθνικό ρεκόρ, ενώ χώρες που επλήχθησαν σημαντικά λόγω COVID19 όπως Ηνωμένο Βασίλειο, περιόρισαν αισθητά τη δραστηριότητά τους. Συνολικά, η ΥΑΙ της Ευρώπης έφτασε τα 25.014 MW στο τέλος του 2020, ενώ αυτήν τη στιγμή λειτουργούν 116 ΥΑΠ σε 12 ευρωπαϊκές χώρες, με 5.402 Α/Γ συνδεδεμένες στο δίκτυο [66].



Σχήμα 5.1: Ετήσια εγκατάσταση ΥΑΙ ανά χώρα (αριστερά) και συνολική εγκατεστημένη ΥΑΙ (δεξιά) [66]

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**



Εικόνα 5.1: Ευρωπαϊκός χάρτης επισκόπησης της τωρινής κατάστασης των ΥΑΠ [66]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

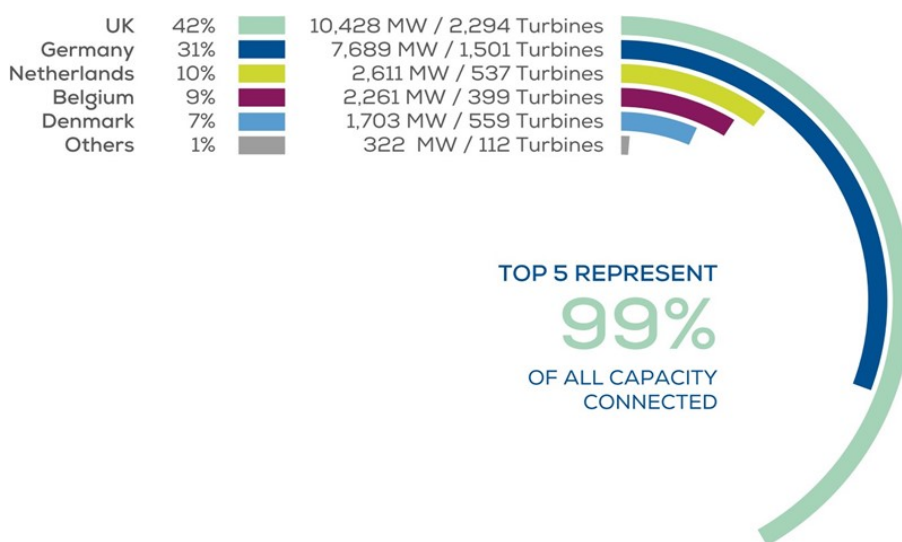
COUNTRY	NUMBER OF WIND FARMS CONNECTED	CUMULATIVE CAPACITY (MW)	NUMBER OF TURBINES CONNECTED	CAPACITY CONNECTED IN 2020 (MW)	NUMBER OF TURBINES CONNECTED IN 2020
UK	40	10,428	2,294	483	69
Germany	29	7,689	1,501	219	32
Netherlands	9	2,611	537	1,493	172
Belgium	11	2,261	399	706	81
Denmark	14	1,703	559	0	0
Sweden	5	192	80	0	0
Finland	3	71	19	0	0
Ireland	1	25	7	0	0
Portugal	1	25	3	17	2
Spain	1	5	1	0	0
Norway	1	2	1	0	0
France	1	2	1	0	0
Total	116	25,014	5,402	2,918	356

Πίνακας 5.1: Γενική εικόνα των συνδεδεμένων στο δίκτυο ΥΑΠ κατά το πέρας του 2020 (χώρα, συνολικό πλήθος συνδεδεμένων ΥΑΠ, συνολική ΥΑΙ, συνολικό πλήθος υπεράκτιων Α/Γ, ισχύς που συνδέθηκε το 2020, υπεράκτιες Α/Γ που συνδέθηκαν το 2020) [66]

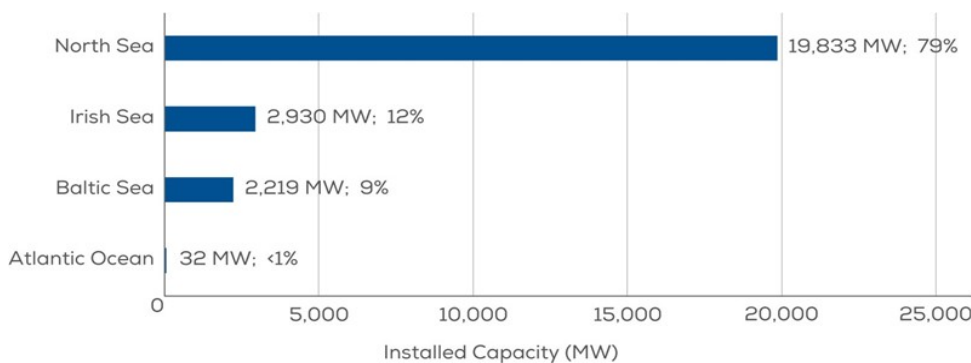
5.2.2 Σωρευτική εικόνα

Σήμερα υπάρχουν 25.014 MW εγκατεστημένης ΥΑΙ στην Ευρώπη, γεγονός που μεταφράζεται σε λειτουργία 5.402 Α/Γ συνδεδεμένων στο δίκτυο, σε 12 χώρες. Το 99 % της ΥΑΙ παράγεται από 5 μόλις χώρες. Τα πρωτεία κατέχει το Ηνωμένο Βασίλειο, διατηρώντας το μεγαλύτερο μερίδιο ΥΑΙ στην Ευρώπη (42 %), δεύτερη έρχεται η Γερμανία (31 %), τρίτη είναι η Ολλανδία (10 %), ενώ ακολουθούν Βέλγιο (9 %) και Δανία (7 %). Οι υπόλοιπες 7 χώρες που συνολικά κατέχουν το υπόλοιπο 1 % της παραγωγής ΥΑΙ στην Ευρώπη είναι η Ισπανία, η Φινλανδία, η Γαλλία, η Σουηδία, η Νορβηγία, η Ιρλανδία και η Πορτογαλία. Σωρευτικά στην Ευρώπη, περίπου το 79 % της ΥΑΙ παράγεται προέρχεται από τη Βόρεια Θάλασσα, το 12 % από την Ιρλανδική Θάλασσα, το 9 % από τη Βαλτική και λιγότερο του 1 % από λοιπά ύδατα του Ατλαντικού [66].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Σχήμα 5.2: Σωρευτική εγκατεστημένη ΥΑΙ (σε MW), αναγωγή σε ποσοστά και πλήθος Α/Γ ανά χώρα [66]

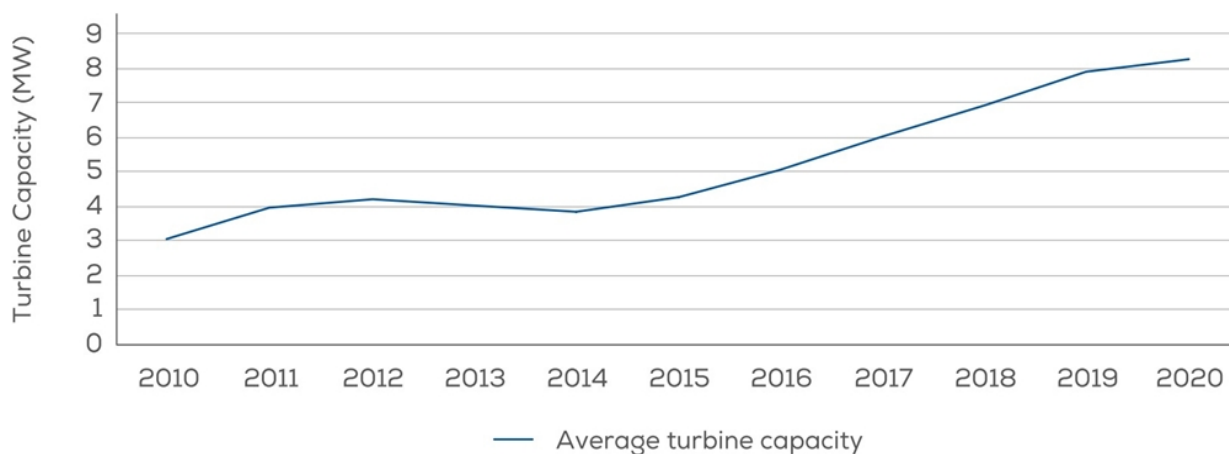


Σχήμα 5.3: Σωρευτική εγκατεστημένη ΥΑΙ (σε MW), ανά θαλάσσια περιοχή και αναγωγή σε ποσοστό [66]

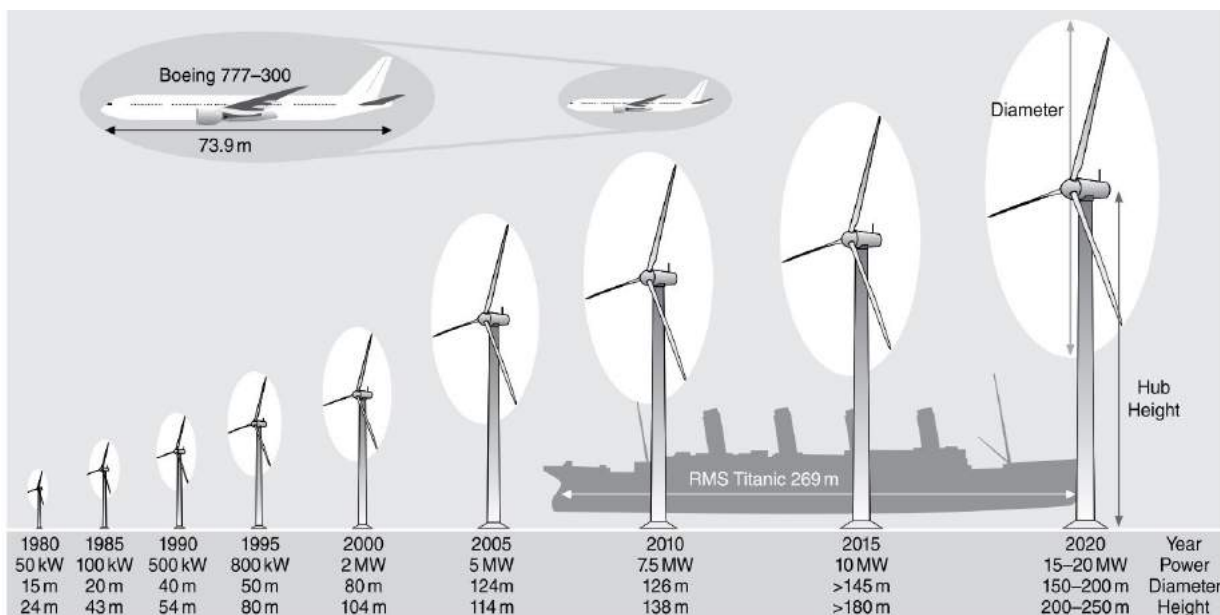
5.2.3 Ονομαστική ισχύς υπεράκτιων Α/Γ

Κατά μέσο όρο, η ισχύς των Α/Γ αυξάνεται κατά 16 % κάθε χρόνο, από το 2015 και έπειτα. Το 2020, η μέση ονομαστική ισχύς των εγκατεστημένων Α/Γ ανέρχεται σε 8,2 MW δηλαδή 5 % μεγαλύτερη σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά (7,8 MW). Οι τύποι Α/Γ που προτιμήθηκαν περισσότερο το 2020 ήταν η SG 8.0-167 DD ισχύος από 8 έως 8,4 MW της Siemens Gamesa και η V164-9,5 MW της Vestas [66].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Σχήμα 5.4: Ετήσιος μέσος όρος ονομαστικής ισχύος των νέων κάθε χρόνο υπεράκτιων Α/Γ [66]



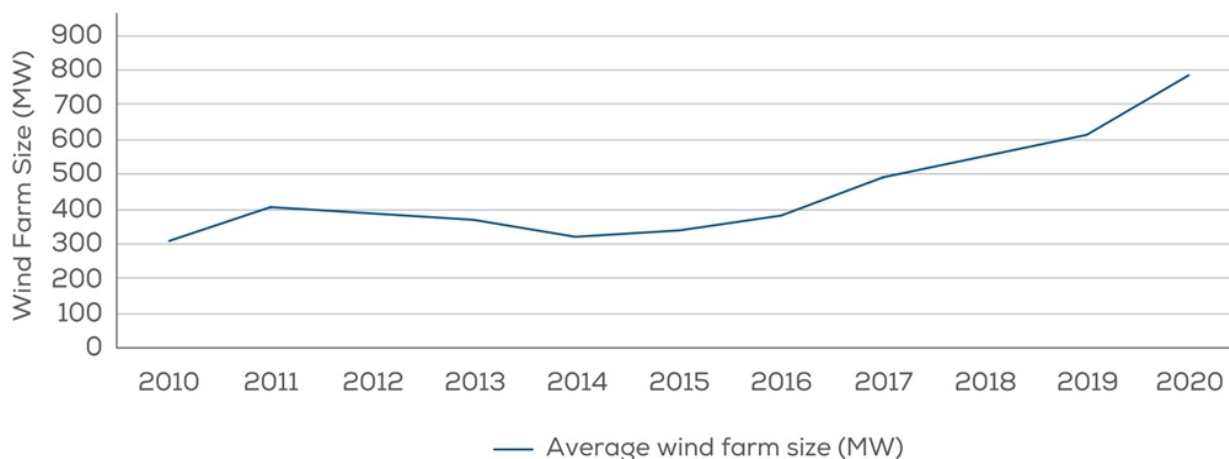
Εικόνα 5.2: Εξέλιξη ισχύος και διαστάσεων τυπικών Α/Γ ανά πενταετία [57]

5.2.4 Μέγεθος ΥΑΠ

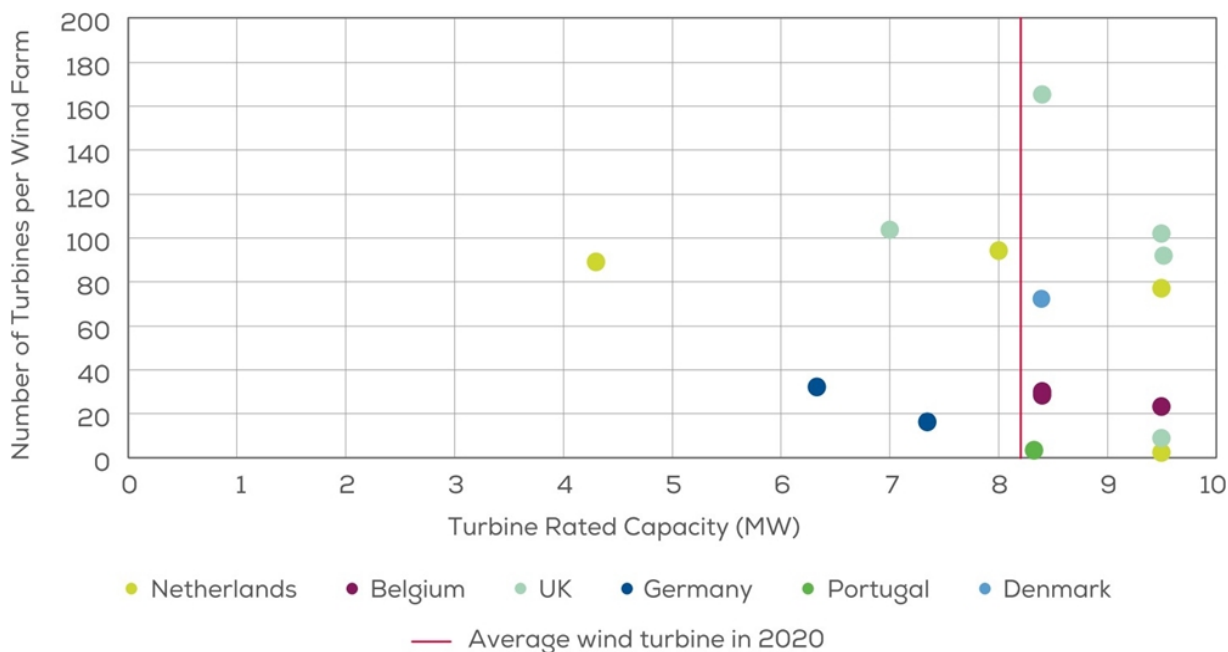
Είναι δεδομένο πλέον πως το συνολικό μέγεθος των ΥΑΠ αυξάνεται συνεχώς. Τα ΥΑΠ της Ευρώπης έφτασαν κατά μέσο όρο το 2020 τα 788 MW, κάτι που μεταφράζεται σε αξιοσημείωτη αύξηση κατά 26 % συγκριτικά με την προηγούμενη χρονιά (621 MW). Το Ηνωμένο Βασίλειο

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

διαθέτει σήμερα 8 από τα 10 μεγαλύτερα ΥΑΠ στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένου και του Hornsea One, το οποίο μέχρι στιγμής είναι και το μεγαλύτερο ΥΑΠ στον κόσμο (1.218 MW).



Σχήμα 5.5: Μέσο ετήσιο μέγεθος εμπορικών ΥΑΠ στην Ευρώπη [66]

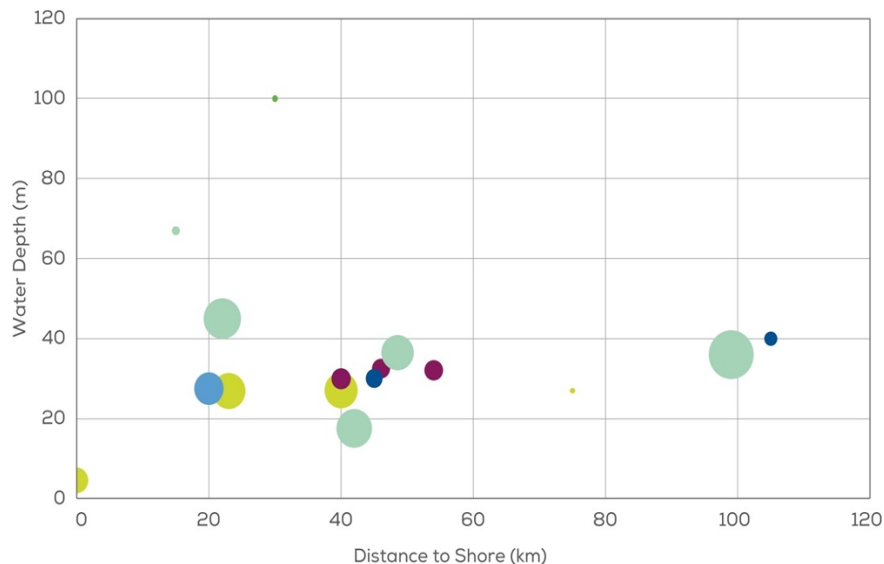


Σχήμα 5.6: Μέση ονομαστική ισχύς υπεράκτιων Α/Γ και πλήθος Α/Γ στα ΥΑΠ υπό κατασκευή, βάσει των 6 πιο δραστήριων ευρωπαϊκών χωρών [66]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

5.2.5 Βάθος νερού και απόσταση από την ακτογραμμή

Η μετακίνηση των ΥΑΠ σε μεγαλύτερες αποστάσεις από την ακτογραμμή συνδέεται με την αξιοποίηση μεγαλύτερων περιοχών, με σταθερότερες ανεμολογικές συνθήκες. Επίσης, μειώνει τις επιπτώσεις σε άλλες οικονομικές δραστηριότητες που τελούνται στις γύρω περιοχές και ελαχιστοποιεί την οπτική όχληση κοντά στην ακτογραμμή. Στον αντίποδα, αυξάνονται τα κόστη μεταφοράς, κατασκευής και λειτουργίας. [66].

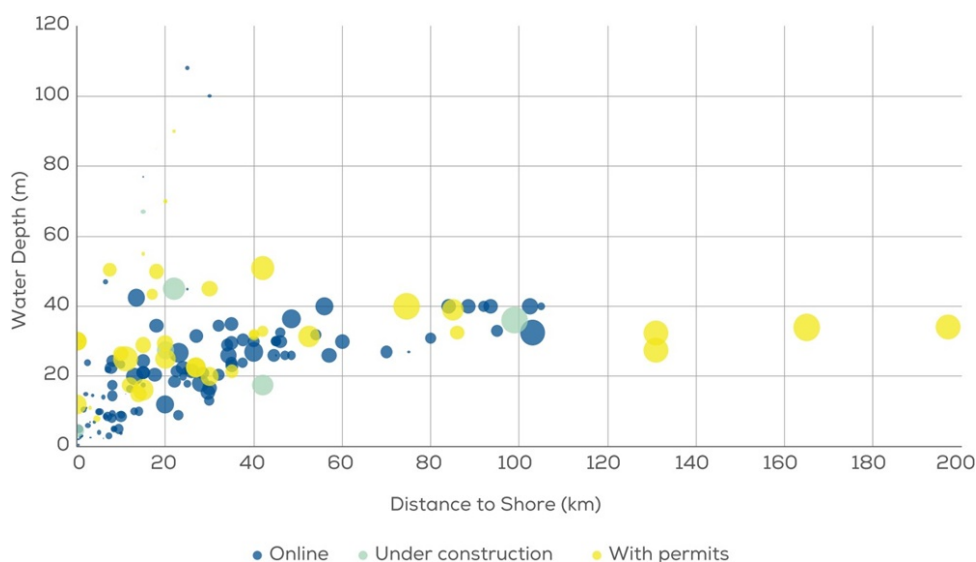


Σχήμα 5.7: Μέσο βάθος νερού και απόσταση από την ακτογραμμή ΥΑΠ υπό κατασκευή, για το 2020, βάσει των 6 πιο δραστήριων ευρωπαϊκών χωρών (το μέγεθος των χρωματισμένων κύκλων υποδεικνύει και το μέγεθος των εγκαταστάσεων) [66]

Το μέσο βάθος νερού των ΥΑΠ υπό κατασκευή στην Ευρώπη για το έτος 2020, είναι 36 m (34 m ήταν για το 2019) [66]. Γενικά όμως, οι εγκαταστάσεις που έχουν τοποθετηθεί μέχρι στιγμής βαθύτερα στο νερό είναι η Hywind Demo (220 m) και η Hywind Scotland (108 m) σε Νορβηγία και Σκωτία αντίστοιχα (αμφότερα είναι έργα της εταιρείας Equinor).

Η μέση απόσταση από την ακτογραμμή των ΥΑΠ υπό κατασκευή για το 2020 ήταν 44 km (μειωμένη συγκριτικά με τα 52 km του προηγούμενου έτους) [66]. Τα έργα Hornsea One στο Ηνωμένο Βασίλειο, EnBW Hohe See και EnBW Albatros στη Γερμανία αποτελούν επί του παρόντος τα ΥΑΠ με τη μεγαλύτερη απόσταση από την ακτογραμμή (πάνω από 100 km).

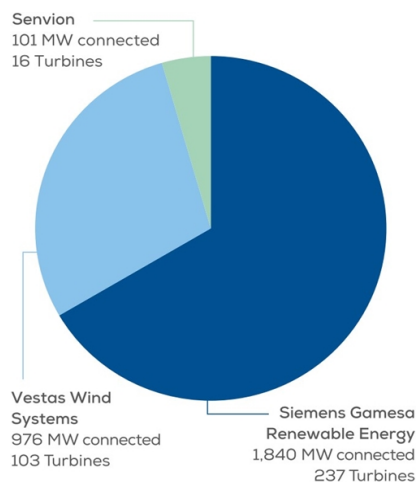
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**



Σχήμα 5.8: Μέσο βάθος νερού και απόσταση από την ακτογραμμή των ΥΑΠ της Ευρώπης (το μέγεθος των χρωματισμένων κύκλων υποδεικνύει και το μέγεθος των εγκαταστάσεων) [66]

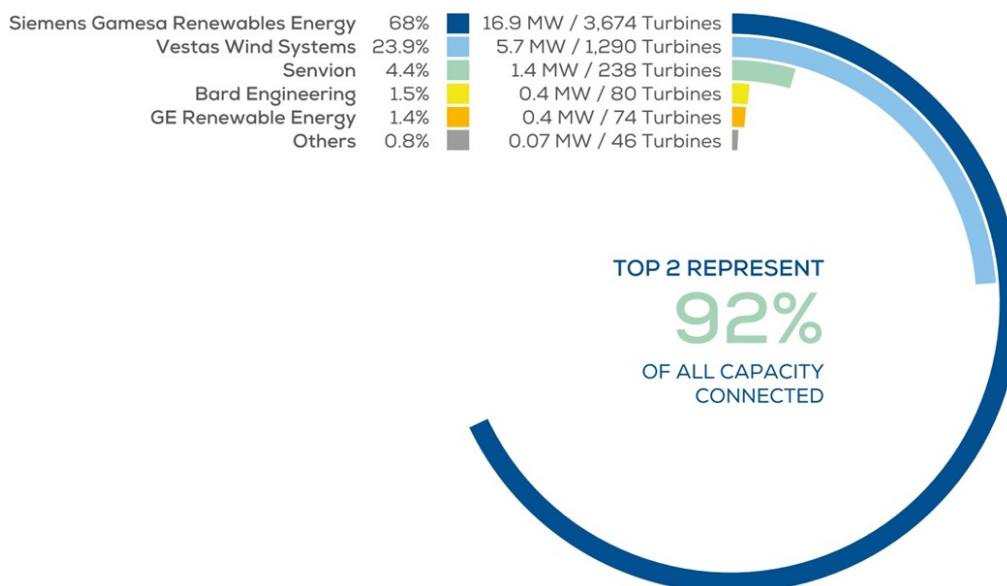
5.2.6 Αποτύπωση των μεριδίων της αγοράς

Στα παρακάτω γραφήματα αποτυπώνονται τα μερίδια της αγοράς, όσον αφορά στους κατασκευαστές των υπεράκτιων Α/Γ και τους επενδυτές-ιδιοκτήτες των ΥΑΠ στην Ευρώπη.

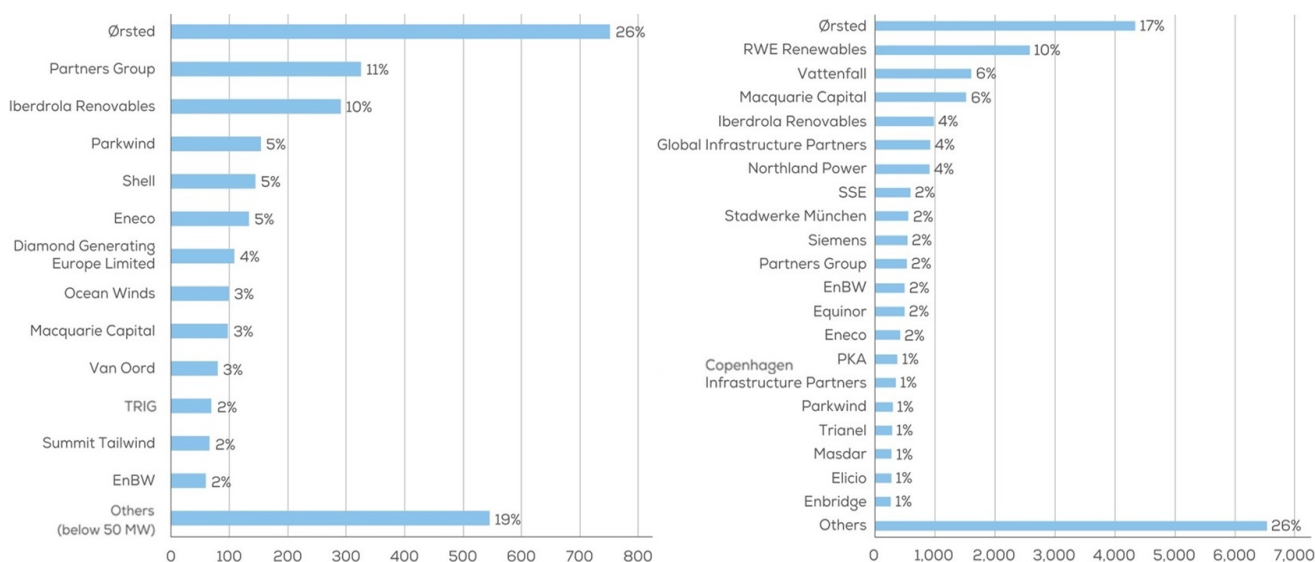


Σχήμα 5.9: Μερίδιο αγοράς των κατασκευαστών υπεράκτιων Α/Γ, σχετικά με τις νέες εγκαταστάσεις μέσα στο 2020 (συνολική ισχύς και πλήθος Α/Γ) [66]

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**



Σχήμα 5.10: Μερίδιο αγοράς των κατασκευαστών υπεράκτιων Α/Γ επί του συνόλου των ΥΑΠ της Ευρώπης [66]

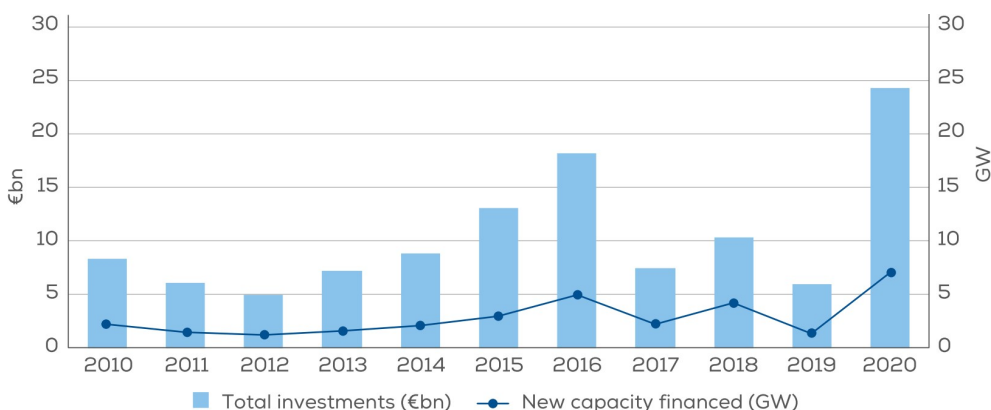


Σχήμα 5.11: Μερίδιο επενδυτών-ιδιοκτητών επί της νέας προστιθέμενης ΥΑΙ στην Ευρώπη όπως διαμορφώθηκε το 2020 (αριστερά) και επί της συνολικής ΥΑΙ (δεξιά) [66]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

5.2.7 Επενδυτική δραστηριότητα

Παρά τον απρόσμενο παράγοντα του COVID19, το 2020 σημειώθηκε το σπουδαίο ρεκόρ των 26,3 δισ. € για επενδυτικές δράσεις ΥΑΕ, συμπεριλαμβανομένων και των υποδομών μεταφοράς (6 δισ. € ήταν το 2019) [66]. Δεδομένου του μικρού αριθμού μεγάλων ΥΑΠ που καταλήγουν στην Τελική Επενδυτική Απόφαση (ΤΕΑ) κάθε χρόνο και της ετερογένειας των εθνικών επενδυτικών πλαισίων, τα οικονομικά στοιχεία μπορεί να είναι ασταθή από χρονιά σε χρονιά.



Σχήμα 5.12: Συνολικό ποσό επενδύσεων ΥΑΤ και νέα χρηματοδοτούμενη ισχύς ετησίως [66]

Συνολικά στην Ευρώπη τα έργα που έφτασαν στην ΤΕΑ αφορούν εγκαταστάσεις στη Γαλλία, στη Γερμανία, στην Ολλανδία και στο Ηνωμένο Βασίλειο, με συνολική ισχύ στα 7,12 GW.

COUNTRY	WIND FARM	CAPACITY (MW)	INVESTMENT (€bn)	COST (€/MW)	EXPECTED COMMISSIONING DATE
France	Fecamp	497	2.4	4.9	2023
	Saint-Brieuc	496	2.3	4.6	2023
Germany	Kaskasi	342	1.4	4.1	2022
Netherlands	Hollandse Kust Noord	759	1.6	2.0	2023
	Hollandse Kust Zuid 1-4	1,500	3.4	2.3	2022/23
UK	Kincardine	50	0.4	8.3	2021
	Dogger Bank (A and B)	2,400	9.4	3.9	2024/25
	Seagreen	1,075	3.3	3.1	2023

Πίνακας 5.2: Επενδύσεις που έφτασαν στην ΤΕΑ το 2020 στην Ευρώπη και μερικά στοιχεία αυτών [66]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Σύμφωνα με την εικόνα της ευρωπαϊκής αγοράς την τελευταία δεκαετία, αυτό που παρατηρείται γενικώς ως προς την κατανομή των επενδύσεων ΥΑΤ είναι πως οι χώρες που τώρα πρωταγωνιστούν όπως το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γερμανία, επειδή ήδη είναι προηγμένες βιομηχανικά και ταυτόχρονα ευνοούνται γεωγραφικά, είναι εξαιρετικά δύσκολο να χάσουν τα πρωτεία όσον αφορά στον ανταγωνισμό.

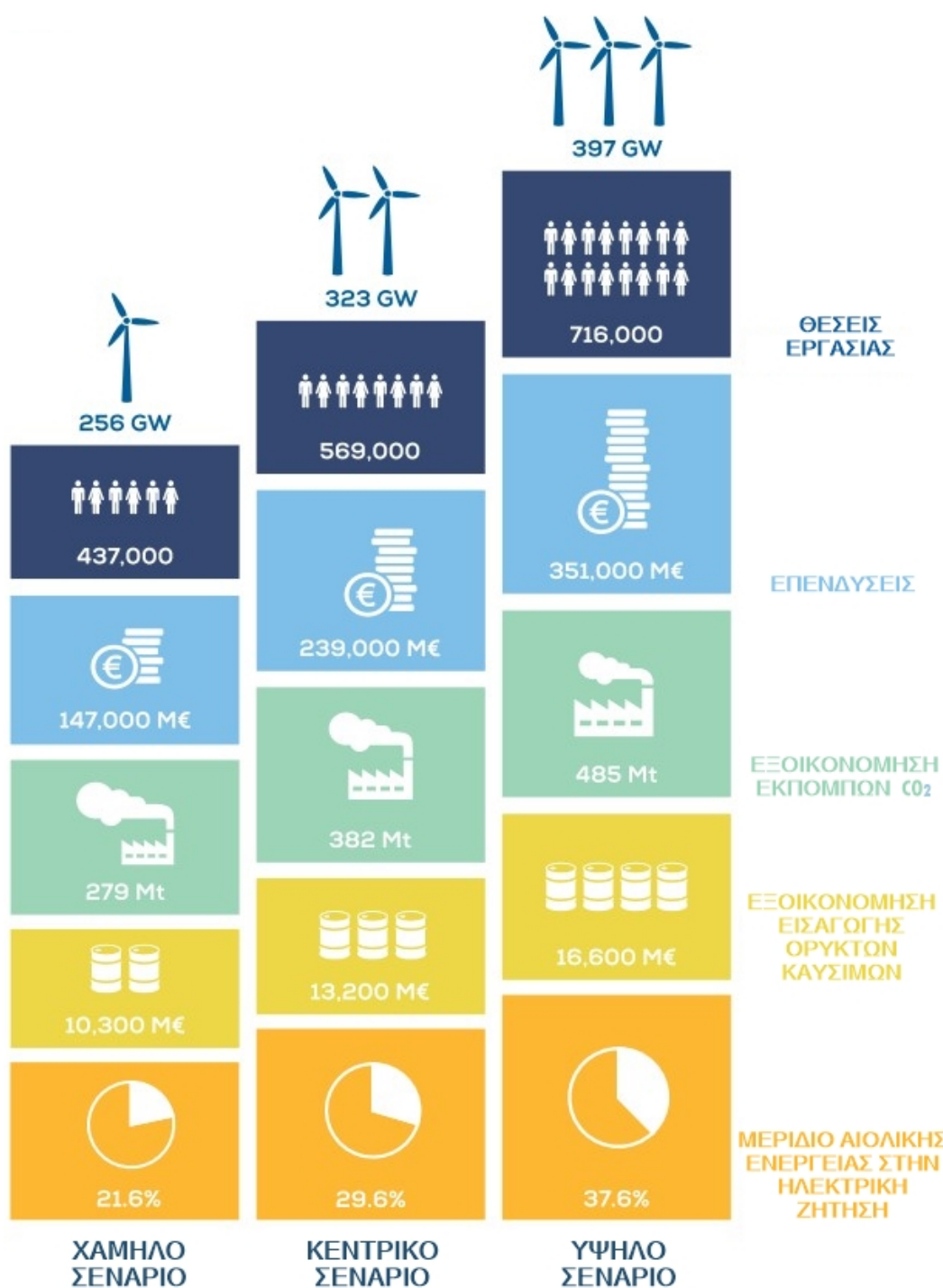
5.3 Σενάρια για το 2030

Σύμφωνα με εμπειριστατωμένη έρευνα εμπειρογνομόνων της βιομηχανίας (μελών της WindEurope), το 2017 δημοσιεύτηκε η έκθεση για τα σενάρια ανάπτυξης της αιολικής τεχνολογίας στην ευρωπαϊκή Ήπειρο. Αυτή η έκθεση περιγράφει τρία διαβαθμισμένα πιθανά σενάρια (το κεντρικό, το χαμηλό και το υψηλό) και αφορούν τόσο χειρσαίες, όσο και υπεράκτιες εγκαταστάσεις [67]. Ωστόσο επισημαίνεται εκ νέου ο αστάθμητος παράγοντας του COVID19 που οπωσδήποτε δυσχαιραίνει την ομαλή λειτουργία των βιομηχανιών και την ελεύθερη μετακίνηση, σίγουρα επηρεάζει αρνητικά τα φιλόδοξα σχέδια που είχαν τεθεί και παρουσιάζονται στις σχετικές εκθέσεις προ πανδημίας.

Όπως αναφέρεται στο κεντρικό σενάριο, έως το 2030 η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ευρώπη θα φτάσει τα 323 GW, 253 GW στην ξηρά και 70 GW στη θάλασσα (υπερδιπλάσιο νούμερο συγκριτικά με τα ήδη εγκατεστημένα 160 GW του 2016). Αξιοποιώντας αυτά τα 323 GW, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται στις 888 TWh, νούμερο περίπου ίσο με το 30 % της συνολικής ζήτησης της ΕΕ. Στο ίδιο σενάριο, η συνολική επένδυση στη βιομηχανία αιολικής ενέργειας ανέρχεται σε 239 δις. ευρώ έως το 2030 και το εργατικό δυναμικό σε 569.000 άτομα. Η αύξηση των θέσεων εργασίας προμηνύει ότι η εφοδιαστική αλυσίδα της ΕΕ θα παραμένει ανταγωνιστική χάριν μιας ισχυρής αγοράς (διπλασιασμός της αιολικής ισχύος στη στεριά, πενταπλάσια αύξηση της ΥΑΙ και διαρκής ενασχόληση της ευρωπαϊκής ηγεσίας στην έρευνα και την καινοτομία) [67].

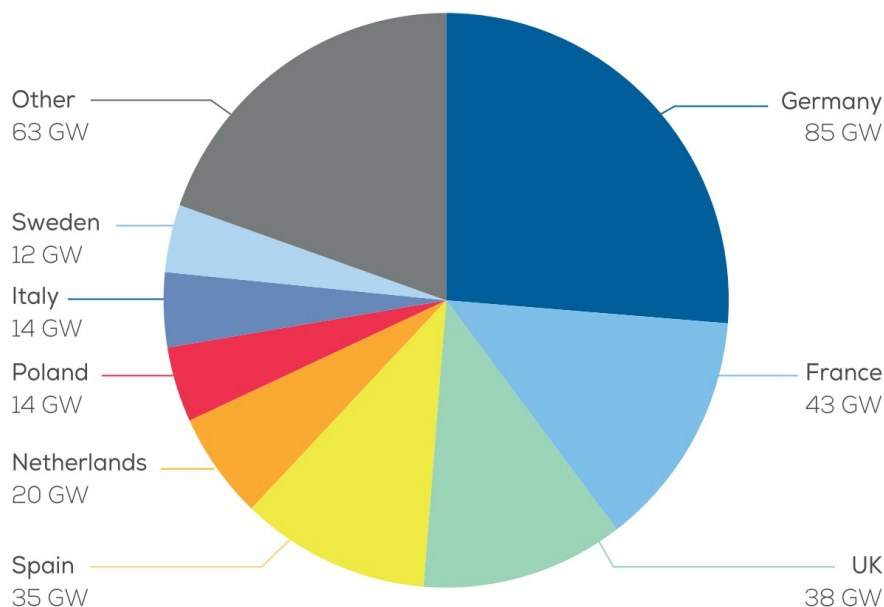
Επίσης, σύμφωνα με το σενάριο αυτό, φαίνεται πως το 2030 η ΕΕ θα είναι σε θέση να πληροί των στόχο της περί ανανεώσιμης ενέργειας μέσω της υιοθέτησης του πακέτου μέτρων [«Καθαρή Ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους»](#) (αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στο 27% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης) [67].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 5.3: Μακροοικονομικά οφέλη αιολικής ενέργειας των 3 πιθανών σεναρίων του 2030 [67]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Σχήμα 5.13: Κατανομή των 323 GW (προσεγγιστικά 324 GW) αιολικής ισχύος ανά χώρα [67]

Από τη συνολική αιολική ισχύ που προτάσσουν τα 3 σενάρια, έχει ενδιαφέρον να διαπιστώσουμε πόση είναι αποκλειστικά η ΥΑΙ, καθώς και πως αυτή καταμερίζεται στις επιμέρους ευρωπαϊκές χώρες [67].

	INSTALLATIONS (GW)			GENERATION (TWh)			EU ELECTRICITY DEMAND MET BY WIND ENERGY (%)		
	ONSHORE	OFFSHORE	TOTAL	ONSHORE	OFFSHORE	TOTAL	ONSHORE	OFFSHORE	TOTAL
CENTRAL SCENARIO	253	70	323	599	290	888	19.9%	9.9%	29.6%
HIGH SCENARIO	299	99	397	706	422	1129	23.5%	13.9%	37.6%
LOW SCENARIO	207	49	256	453	195	648	15.1%	6.5%	21.6%

Πίνακας 5.3: Εγκατεστημένη ισχύς (σε GW) σύμφωνα με τα 3 σενάρια, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που θα καλύπτεται από την αιολική ενέργεια στην Ευρώπη (οι τιμές αφορούν ΧΑΠ, ΥΑΠ και το σύνολο αυτών των 2) [67]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

	LOW	CENTRAL	HIGH
United Kingdom	18,000	22,500	30,000
Germany	14,000	15,000	20,000
Netherlands	4,500	11,500	18,500
France	4,300	7,000	11,100
Denmark	3,400	4,300	6,130
Belgium	1,600	4,000	4,000
Poland	2,200	3,200	6,000
Ireland	1,200	1,800	2,000
Estonia	-	600	1,200
Sweden	300	300	800
Portugal	-	150	175
Italy	-	-	650
TOTAL	49,500	70,200	98,930

Πίνακας 5.4: Συνολική ΥΑΙ (σε GW) το 2030 και μερίδιο ανά χώρα, σύμφωνα με τα 3 πιθανά σενάρια [67]

5.4 Προοπτικές για το 2050

Η Ευρώπη διερευνά εντατικά τα τελευταία χρόνια τον τρόπο με τον οποίο θα πετύχει την ουδετερότητα του ισοζυγίου άνθρακα μέχρι το 2050, συμβάλλοντας δραστικά στον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη μέχρι τα τέλη του αιώνα. Για να το καταφέρει αυτό, θα πρέπει να αντικαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα με ηλεκτρική ενέργεια που θα προκύπτει από την εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών. Στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος για τα επόμενα χρόνια, όπως όλα δείχνουν, θα είναι η ΥΑΕ. Αυτό συμβαίνει διότι η Ευρώπη αποτελεί μία εκ των μεγαλύτερων πηγών αιολικής ενέργειας παγκοσμίως. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, η ΥΑΕ θα μπορούσε να γίνει η νούμερο 1 πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη το 2042. Η ήδη εγκατεστημένη ΥΑΙ καλύπτει κατά μέσο όρο το 1,5 % της ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ αξιοσημείωτο είναι το επενδυτικό ενδιαφέρον την τελευταία δεκαετία με μέσο ετήσιο κεφάλαιο τα 9,4 δισ. €. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ισχυρίζεται πως η Ευρώπη χρειάζεται να έχει εγκατεστημένα μεταξύ 230 και 450 GW ΥΑΙ έως το 2050. Τα 450 GW που προκρίνεται ως επιδιωκόμενος στόχος των εθνικών προσπαθειών αναμένεται να καλύπτουν το 2050 το 30 % της ηλεκτρικής ζήτησης. Καθίσταται επομένως σαφές πως η Ευρώπη χρειάζεται να υιοθετήσει μια προσέγγιση με οραματισμό για την ανάπτυξη αυτής της ποσότητας ΥΑΙ [68].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 5.4: Κατανομή των 450 GW ΥΑΙ που είναι ο στόχος του 2050 στην Ευρώπη [68]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

5.4.1 Κατανομή ισχύος σε βόρεια και νότια ύδατα

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, αναμένεται το 85 % της αξιοποιήσιμης ΥΑΙ το 2050 να έχει αναπτυχθεί στα βόρεια ύδατα (βόρειο τμήμα της Γαλλίας, Ιρλανδική Θάλασσα, Ηνωμένο Βασίλειο, Βόρεια Θάλασσα, Βαλτική) λόγω των ευνοϊκών αιολικών πόρων, της εγγύτητας στη ζήτηση και της αποτελεσματικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό μεταφράζεται σε περίπου 380 GW από το σύνολο των 450 GW του συνολικού στόχου, ενώ τα υπόλοιπα 70 GW αναμένεται να αναπτυχθούν στα ύδατα της νότιας Ευρώπης [68].

Η συνολική έκταση των βορείων υδάτων που απαιτείται για την ανάπτυξη των 380 GW ΥΑΙ υπολογίζεται σε 76.000 km², δηλαδή είναι ενδεικτικά λίγο μικρότερη από το νησί της Ιρλανδίας. Αυτό το νούμερο αντιστοιχεί σε στο 2,8 % της συνολικής έκτασης των βορείων υδάτων, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι ζώνες αποκλεισμού [68].

Σήμερα, εκτιμάται πως είναι αδύνατη η κατασκευή ΥΑΠ στο 60 % τουλάχιστον της συνολικής έκτασης των βορείων υδάτων. Οι ζώνες αποκλεισμού προκύπτουν είτε για περιβαλλοντικούς λόγους, είτε επειδή έχει διαχωριστεί ο διαθέσιμος χώρος αποκλειστικά για ψάρεμα, ναυτιλία και στρατιωτικές δραστηριότητες (βλ. ["Natura 2000"](#)). Περιληπτικά, το δίκτυο Natura 2000 αποτελεί το μεγαλύτερο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών στον κόσμο και είναι ο βασικός πυλώνας της ΕΕ για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Τα κράτη μέλη πρέπει να διασφαλίζουν ότι δεν υφίσταται υποβάθμιση οικοτόπων ή όχληση ειδών σε αυτές τις περιοχές, να θεσπίζουν μέτρα προστασίας και διαχείρισης και να παρακολουθούν την κατάσταση των προστατευόμενων ειδών και οικοτόπων. Στην Ελλάδα, το δίκτυο Natura 2000 αποτελείται από 446 περιοχές, οι οποίες καλύπτουν περίπου το 28 % της χερσαίας και το 20 % της θαλάσσιας έκτασης της χώρας. Ωστόσο, το Natura 2000 δεν είναι απλώς ένα δίκτυο προστατευόμενων περιοχών. Αναγνωρίζει ότι οι άνθρωποι και η φύση αποδίδουν καλύτερα όταν συνεργάζονται. Στόχος του δεν είναι ο αποκλεισμός οικονομικών δραστηριοτήτων, αλλά η διασφάλιση της συμβατότητας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων με την προστασία πολύτιμων ειδών και οικοτόπων [68].

Η μελλοντική κατανομή των περιοχών προς αξιοποίηση θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από το τι θα γίνει τις ζώνες αποκλεισμού. Υπάρχουν 2 εκ διαμέτρου αντίθετα σενάρια για τα επόμενα χρόνια [68].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Σύμφωνα με το 1ο υποθετικό σενάριο, στο οποίο δεν υφίστανται καθόλου ζώνες αποκλεισμού, εκτιμάται ότι μπορούν να αναπτυχθούν 380 GW στις βόρειες θάλασσες ως εξής [68]:

- 248 GW με πολύ χαμηλό Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας (ΣΚΕ), κάτω από 50 €/MWh.
- 130 GW με χαμηλό ΣΚΕ, μεταξύ 50 €/MWh και 65 €/MWh.
- 2 GW με μέτριο ΣΚΕ, μεταξύ 65 €/MWh και 80 €/MWh.

Όπως φαίνεται, δεν χρειάζεται να αναπτυχθεί ποσότητα ισχύος με υψηλό ΣΚΕ, δηλαδή πάνω από 80 €/MWh.

Ωστόσο, εάν διατηρηθούν οι ζώνες αποκλεισμού ως έχουν μέχρι το 2050, τα 380 GW μετατρέπονται κατά τον ακόλουθο τρόπο [68]:

- 112 GW με πολύ χαμηλό ΣΚΕ, κάτω από 50 €/MWh.
- 264 GW με χαμηλό ΣΚΕ, μεταξύ 50 €/MWh και 65 €/MWh.
- 4 GW με μέτριο ΣΚΕ, μεταξύ 65 €/MWh και 80 €/MWh

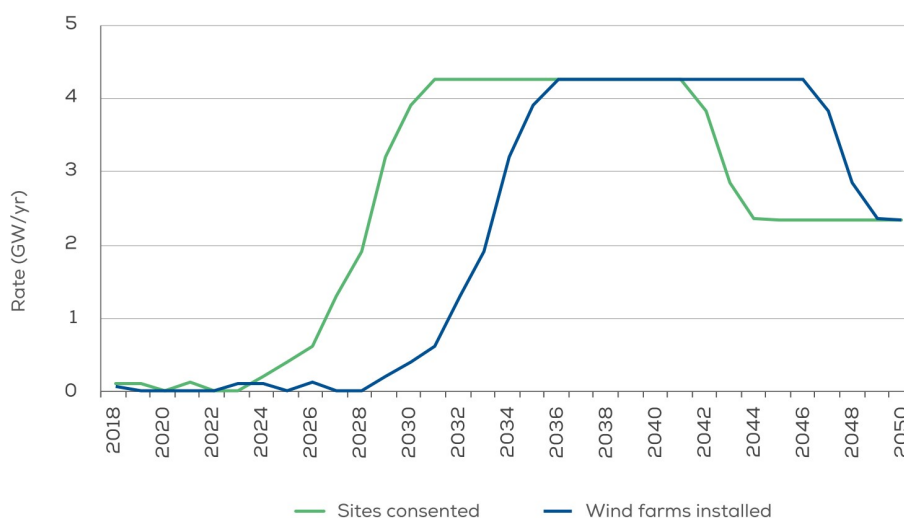
Η αμφισβήτηση της υπάρχουσας κατάστασης του χωροταξικού σχεδιασμού είναι απαραίτητη ώστε να αξιοποιηθεί στο έπακρο η απότομη μείωση κόστους του υπεράκτιου ανέμου τα τελευταία 5 χρόνια. Με τις υπάρχουσες ζώνες αποκλεισμού, σχεδόν τα 3/4 της μελλοντικής ΥΑΙ δεν μπορεί να αναπτυχθεί με πολύ χαμηλό ΣΚΕ στα βόρεια ύδατα. Λαμβάνοντας υπόψιν τις φιλοδοξίες της κοινωνίας για μια οικονομικά αποδοτική ενεργειακή μετάβαση, αυτό μπορεί να είναι μια αφορμή προς αφύπνιση για τους υπεύθυνους σχεδιασμού αναπτυξιακής πολιτικής του θαλάσσιου περιβάλλοντος [68].

Όσον αφορά στα 70 GW των υδάτων στη νότια Ευρώπη, αναμένεται να κατανεμηθούν ως εξής [68]:

- 17,4 GW στη νότια Γαλλία (Μεσόγειος), που αντιστοιχούν στο 30 % της συνολικής ισχύος της χώρας, βάσει πληθυσμού των υποπεριοχών της.
- 9 GW στην Πορτογαλία, βάσει του εκτιμώμενου αιολικού δυναμικού.
- 13 GW στην Ισπανία, βάσει του εκτιμώμενου αιολικού δυναμικού.
- 30,6 GW στην υπόλοιπη Μεσόγειο.

Για οποιαδήποτε χώρα, οι εκτιμήσεις μπορεί να αλλάξουν και οι πρακτικές προκλήσεις που θα προκύψουν ενδέχεται να επηρεάσουν την ικανότητα επίτευξης των στόχων που έχουν τεθεί.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



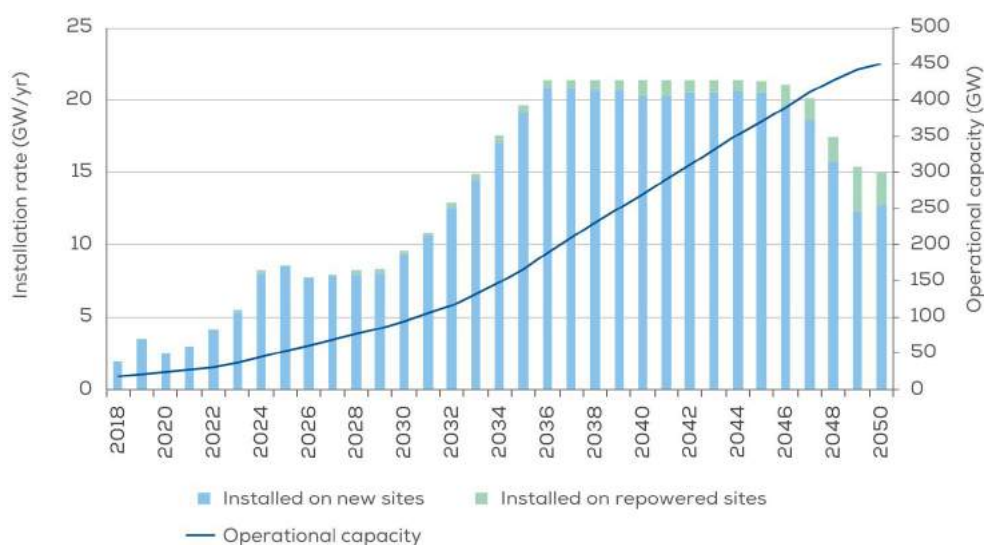
Σχήμα 5.14: Επιδιωκόμενοι βαθμοί αδειοδότησης τοποθεσιών και εγκατάστασης ΥΑΠ που απαιτούνται για την επίτευξη των 70 GW στα νότια ύδατα μέχρι το 2050 [68]

Ο οικονομικότερος και πιο αποδοτικός τρόπος για την ανάπτυξη των 450 GW είναι μέσω της πολλαπλής χρήσης του ίδιου θαλάσσιου χώρου για πολλαπλούς τομείς. Οι κυβερνήσεις πρέπει να διερευνήσουν το πεδίο της συνεκμετάλλευσης του θαλάσσιου χώρου και να εξετάσουν αν όλες οι ζώνες από τις οποίες τα ΥΑΠ είναι τώρα αποκλεισμένα, πρέπει να μείνουν ως έχουν ή να τροποποιηθούν με τρόπο που θα ευνοεί τη μεγιστοποίηση της ποσότητας του ανέμου που μπορεί να αξιοποιηθεί με πολύ χαμηλό ΣΚΕ [68].

5.4.2 Επιδιωκόμενοι ρυθμοί και στάδια ανάπτυξης ΥΑΠ

Σήμερα η Ευρώπη εγκαθιστά κάθε χρόνο περίπου 3 GW ΥΑΠ. Για να επιτευχθεί ο στόχος της δραστηκής μείωσης εκπομπών άνθρακα, θα πρέπει να επιταχυνθεί σημαντικά ο ρυθμός εγκατάστασης ΥΑΠ για μια παρατεταμένη χρονική περίοδο από εδώ και έπειτα. Το 1ο εξάμηνο του 2020 υπήρχαν ενθαρρυντικά στοιχεία που συνηγορούν υπέρ της αύξησης του ρυθμού εγκατάστασης ΥΑΠ σε 7 GW ετησίως έως το 2ο μισό της δεκαετίας. Στα μέσα της δεκαετίας του 2030, στόχος είναι η σημαντική αύξηση αυτού του ρυθμού σε πάνω από 20 GW ετησίως, που αντιστοιχεί σε αξιοποίηση 1.500 km² θαλάσσιας έκτασης ετησίως στο 2ο μισό της επόμενης δεκαετίας και 4.500 km² μετά το 2030 αντίστοιχα. Η βιομηχανία προετοιμάζεται για αυτήν την πρόκληση, αλλά απαιτείται η εξασφάλιση σταθερών ποσοστών παραγωγής και εγκατάστασης, το λιγότερο για 10 χρόνια, ώστε να ληφθούν οι τελικές επενδυτικές αποφάσεις. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί απόσβεση των επενδύσεων σε εύλογο χρονικό διάστημα [68].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



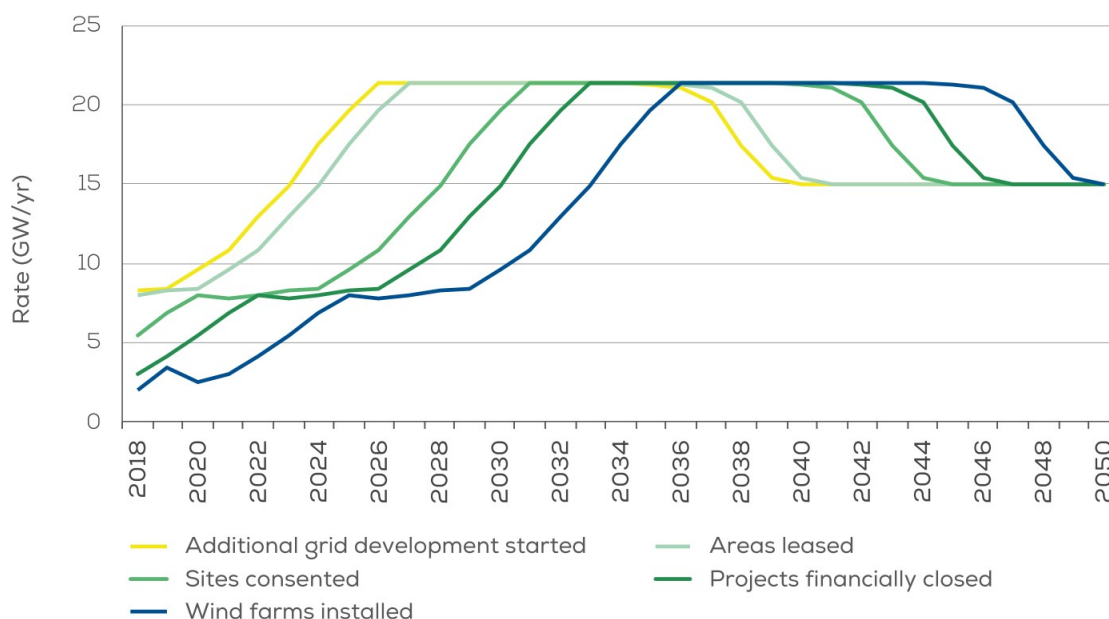
Σχήμα 5.15: Απαιτούμενος ρυθμός ανάπτυξης ΥΑΠ για καθιέρωση των 450 GW το 2050 [68]

Λόγω της απότομης αύξησης των εγκαταστάσεων ΥΑΠ, είναι σημαντικό να υπάρχει ένα τυπικό χρονοδιάγραμμα καταμερισμού της συνολικής διαδικασίας σε επιμέρους φάσεις. Όσο σημαντικό και αν είναι να τηρείται το χρονοδιάγραμμα, δεν παύει να είναι ενδεικτικό, καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Συνεπώς, ενδέχεται να έχει παραλλαγές ανά χώρα ή ανά έργο [68].



Εικόνα 5.5: Τυπικό χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης ΥΑΠ [68]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Σχήμα 5.16: Ετήσιοι επιδιωκόμενοι βαθμοί ανάπτυξης δικτύου, μίσθωσης, αδειοδότησης, επενδυτικών συμφωνιών και εγκατάστασης, προς επίτευξη των 450 GW το 2050 [68]

5.4.3 Προκλήσεις

Οι προκλήσεις που υπάρχουν για την υλοποίηση του στόχου των 450 GW είναι οι εξής [68]:

Αύξηση του ποσοστού των τοποθεσιών προς ανάπτυξη ΥΑΠ

Συνήθως απαιτούνται 11 χρόνια από την αρχή έως την ολοκλήρωση της εγκατάστασης και λειτουργίας ενός ΥΑΠ. Ο ετήσιος βαθμός εγκατάστασης πρέπει να αυξηθεί από 7 GW στα τέλη της δεκαετίας του 2020, σε 20 GW στα τέλη της δεκαετίας του 2030, που συνεπάγεται και εύρεση περισσότερων κατάλληλων τοποθεσιών ανά την Ευρώπη.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Πριν από όλα, σε κοινωνικό και βιομηχανικό επίπεδο, θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι η εγκατάσταση των 450 GW ΥΑΠ είναι σωστή απόφαση για το περιβάλλον. Για να γίνει αυτό απαιτείται η εκτεταμένη συλλογή δεδομένων σχετικά με το υδρόβιο περιβάλλον και των επιδιωκόμενων ωφελειών του εκάστοτε έργου. Γενικά, διαπιστώνεται πως η διαχείριση του

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

υπεράκτιου ανέμου μπορεί να βελτιώσει το υδάτινο περιβάλλον συμβάλλοντας στην ανάπτυξη νέων τεχνητών υφάλων μέσω των διεργασιών καλωδίωσης ή θεμελίωσης των Α/Γ. Η περιβαλλοντική και κοινωνική αποδοχή της ανάπτυξης περισσότερων έργων είναι πολύ σημαντική για την ενεργειακή μετάβαση. Η βιομηχανία ΥΑΠ θα πρέπει συνεπώς να συνεχίσει να συνεργάζεται στενά με τις κυβερνήσεις και τους αρμόδιους μη κυβερνητικούς οργανισμούς.

Εξασφάλιση πολλαπλής δραστηριοποίησης

Η περισσότερη δραστηριοποίηση στα ευρωπαϊκά ύδατα θα οδηγήσει σε αυξημένες χωροθετικές απαιτήσεις και μεγάλο ανταγωνισμό. Είναι στη διακριτική ευχέρεια των αρμόδιων αρχών εάν θα επιτρέπουν την πραγματοποίηση διαφορετικών δραστηριοτήτων εντός ή πέριξ των ΥΑΠ προκειμένου να αυξηθεί η λειτουργικότητα της θάλασσας.

Κατασκευή του υπεράκτιου και χερσαίου δικτύου

Η υποδομή του ηλεκτρικού δικτύου στην Ευρώπη πρέπει να αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό. Αυτό περιλαμβάνει την επέκταση των υπεράκτιων δικτύων και την ενίσχυση των χερσαίων. Οι κυβερνήσεις πρέπει να προωθούν εφεξής τα Υβριδικά Υπεράκτια Πάρκα (ΥΥΠ) με διασύνδεση περισσότερων από 1 χώρα, με σκοπό την καλύτερη συνεκμετάλλευση και την αποτελεσματικότερη διαχείριση του υπεράκτιου χώρου, καθώς και την ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ των διαφορετικών χωρών.

Ανάπτυξη ΥΥΠ και νομικό πλαίσιο

Σχετικά με τα διασυνδεδεμένα ΥΥΠ σε περισσότερες από 1 χώρα, προκύπτουν ορισμένα νομικά ζητήματα στα οποία προς το παρόν δεν υπάρχει σαφής απάντηση. Η καθιέρωση ενός ρυθμιστικού πλαισίου για τα ΥΥΠ της ΕΕ, θα βοηθούσε στην αποσαφήνιση του επιχειρηματικού ρίσκου, του κόστους και των ωφελειών των επενδύσεων και θα δημιουργούσε έναν μηχανισμό ουσιαστικής συνεργασίας μεταξύ των χωρών.

Διευκόλυνση ενσωμάτωσης στο σύστημα

Το 2050 αναμένεται το ηλεκτρικό δίκτυο να είναι ένα σύστημα βασισμένο εξολοκλήρου στους μετατροπείς, με ελάχιστη αδράνεια στο σύστημα. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει στη σταθερότητα του δικτύου και στην εξισορρόπηση των προκλήσεων, οι οποίες μπορούν να

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

υπερκεραστούν από ήδη υπάρχουσες λύσεις. Οι διαχειριστές της βιομηχανίας και του συστήματος μεταφοράς, θα πρέπει να συνεργάζονται και να συντονίζονται για την εφαρμογή τέτοιων λύσεων.

Ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης

Όλη η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από τη λειτουργία των ΥΑΠ δεν καταναλώνεται απευθείας από το δίκτυο. Είναι πιθανό ότι τουλάχιστον το 5 % και πιθανώς έως και το 25 % της ενέργειας αυτής ηλεκτρικού ρεύματος θα μετατρέπεται σε άλλη μορφή.

Επέκταση της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η εφοδιαστική αλυσίδα ΥΑΙ χρειάζεται προοπτική σταθερών ρυθμών εγκατάστασης για τουλάχιστον 10 χρόνια, με σκοπό τη λήψη Τελικών Επενδυτικών Αποφάσεων (TEA) νέων έργων. Αυτό επιτρέπει στις αλυσίδες εφοδιασμού εξαρτημάτων, πλοίων, λιμενικών υπηρεσιών και υπηρεσιών λειτουργίας και συντήρησης, να προσφέρουν απόσβεση των επενδύσεων σε εύλογο χρονικό διάστημα.

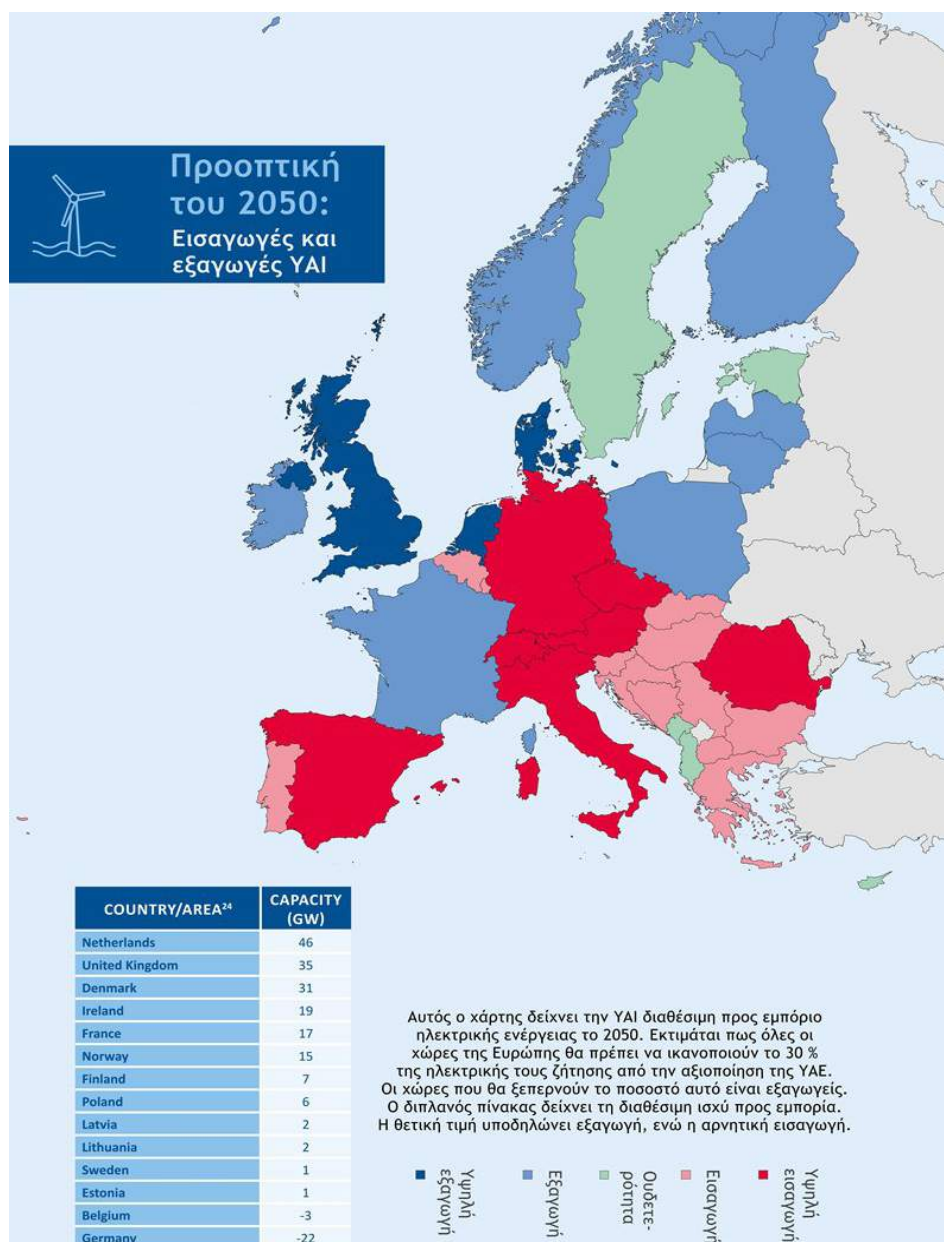
Ενθάρρυνση επενδύσεων

Εκτιμάται ότι χρειάζεται τριπλάσια αύξηση στις κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) για ΥΑΠ και δίκτυα μεταφοράς, από περίπου 6 δισ. € ετησίως το 2020, σε περισσότερα από 21 δισ. € ετησίως το 2025. Μέχρι το 2030, οι επενδυτικές ανάγκες θα είναι περίπου 45 δισ. € ετησίως. Επιπλέον, οι ενισχύσεις του χερσαίου δικτύου θα μπορούσαν να κυμαίνονται μεταξύ 10 έως 50 δισ. € ανά έτος. Συνολικά, οι επενδύσεις θα υπερβαίνουν το 10 % των τωρινών ετήσιων δαπανών υποδομής σε ολόκληρη την Ευρώπη.

5.4.4 Εισαγωγή και εξαγωγή ΥΑΙ

Οι χώρες που έχουν τη δυνατότητα να παράγουν περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια, διαθέτουν ένα μέρος αυτής όχι για κάλυψη των δικών τους αναγκών, αλλά προς εμπορευματοποίηση. Αυτό σημαίνει ότι συνδιαλέγονται με τις χώρες εκείνες που δεν παράγουν αντίστοιχα μεγάλα ποσά ενέργειας και στρέφονται στην αγορά, άρα και προμήθεια «περισσευούμενης» ενέργειας [68].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 5.6: Χάρτης εισαγωγών-εξαγωγών ΥΑΙ σύμφωνα με την προοπτική του 2050 [68]

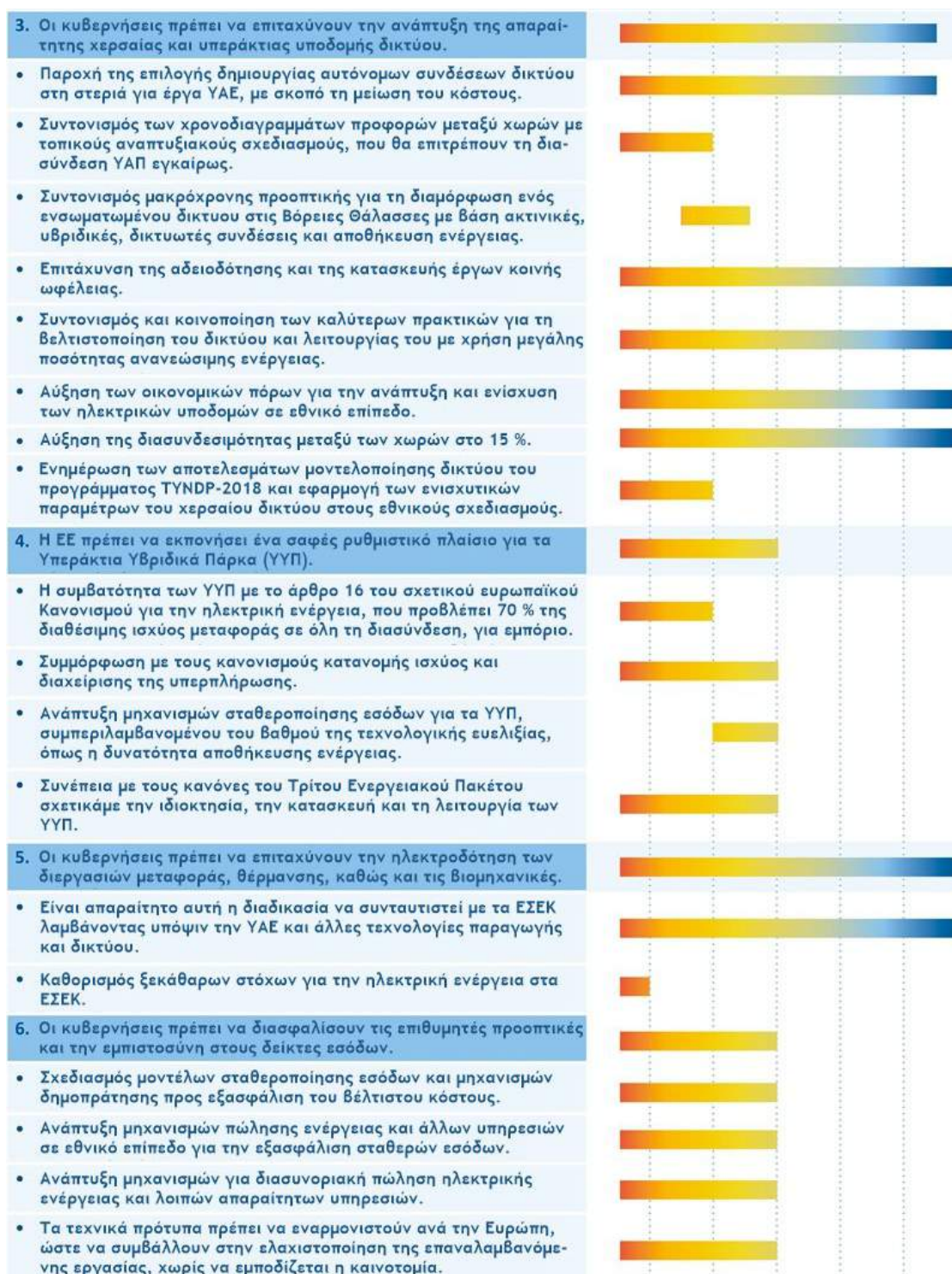
5.4.5 Αναπτυξιακή πολιτική

Οι ειδικοί μελετητές της WindEurope προτείνουν μια ρεαλιστική και δομημένη χαρτογράφηση με τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν εν καιρώ ώστε να επιτευχθεί ο στόχος των 450 GW [68]:

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ	ΣΗΜΕΡΑ	2020-2021	2022-2025	2026-2028	2028-2030	ΜΕΤΑ ΤΟ 2030
1. Οι κυβερνήσεις πρέπει να θέσουν φιλόδοξα χωροταξικά πλάνα στη θάλασσα για την επίτευξη του στόχου των 450 GW το 2050.						
• Προσδιορισμός φιλόδοξων στόχων για τις ΑΠΕ στα Εθνικά Σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) έως το 2030 και μετέπειτα.						
• Καθορισμός λεπτομερών πολιτικών για την επίτευξη των στόχων, συμπεριλαμβανομένου του χρονοδιαγράμματος προσφορών και των εφαρμόσιμων μηχανισμών υποστήριξης.						
• Συντονισμός για τη διασφάλιση ότι οι συνολικοί εθνικοί στόχοι είναι αρκετά ισχυροί για να ανοίξει ο δρόμος προς τα 450 GW.						
• Συντονισμός των ΕΣΕΚ με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχετικά με την έγκαιρη διαθεσιμότητα των τοποθεσιών προς αξιοποίηση σύμφωνα με τον Θαλάσσιο Χωροταξικό Σχεδιασμό κάθε χώρας.						
• Οι εθνικοί Θαλάσσιοι Χωροταξικοί Σχεδιασμοί πρέπει βραχυπρόθεσμα να συμβαδίζουν με τους στόχους των ΕΣΕΚ και πρέπει να δημοσιευτούν πριν τον Μάρτη του 2021.						
• Διεθνής συντονισμός και κοινοποίηση εθνικών σχεδίων για την βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσης του θαλάσσιου χώρου.						
• Δημιουργία τοπικών forums που θα εξυπηρετούν συζητήσεις περί θαλάσσιου χωρικού σχεδιασμού με τους πολίτες.						
• Σχεδιασμός ενός ρυθμιστικού πλαισίου για την συνεκμετάλλευση του χώρου των ΥΑΠ με σκοπό κι άλλες ενέργειες (υδατοκαλλιέργεια, ψάρεμα, άλλη ενεργειακή εκμετάλλευση, άμυνα κτλ)						
• Εξερεύνηση και προώθηση της συνύπαρξης ΥΑΠ και φυσικών προστατευμένων περιοχών, αξιοποιώντας το αιολικό δυναμικό με στόχο την αποκατάσταση και τη συντήρηση του τοπίου.						
• Αύξηση του εύρους μίσθωσης για την ΥΑΕ ώστε να είναι εφικτή η πραγματοποίηση της προοπτικής του 2050.						
• Επιτάχυνση της εφαρμογής των Στρατηγικών Περιβαλλοντικών Εκτιμήσεων (ΣΠΕ).						
• Καθιέρωση του στόχου της εγκατάστασης των 450 GW ΥΑΙ στις Διεθνείς ΣΠΕ και διενεργώντας εφεξής βάσει αυτού.						
• Εναρμόνιση μεθοδολογιών για την διεξαγωγή μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ).						
• Δημιουργία ενός αποθετηρίου ανοιχτού κώδικα για την διατήρηση δεδομένων και πληροφοριών από τις ΜΠΕ.						
2. Οι κυβερνήσεις πρέπει να διασφαλίσουν ότι οι αρμόδιες αρχές αδειοδότησης έχουν την απαραίτητη τεχνογνωσία και τους πόρους ώστε να συναινούν για αρκετές τοποθεσίες.						
• Προετοιμασία για αύξηση του φόρτου εργασίας, που αφορά την εξασφάλιση πόρων και τον καθορισμό των απαιτούμενων δεξιοτήτων με σκοπό τις προσλήψεις και την κατάρτιση.						
• Επανεφαρμογή των καλύτερων πρακτικών από άλλες αγορές και κοινοποίηση πληροφοριών μεταξύ των αρχών.						
• Δημιουργία μονοαπευθυντικών υπηρεσιών για συγκατάθεση έργων και στόχευση στην απλοποίηση των διαδικασιών όπως διατυπώνεται στη σχετική οδηγία του ΕΚ για τις ΑΠΕ.						
• Εξέταση ανοιχτών διαδικασιών συγκατάθεσης τοποθεσιών, με η βιομηχανία να συμμετέχει στο αρχικό αναπτυξιακό έργο.						

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Πίνακας 5.5: Χαρτογράφηση αναπτυξιακής πολιτικής για την ΥΑΤ [68]

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

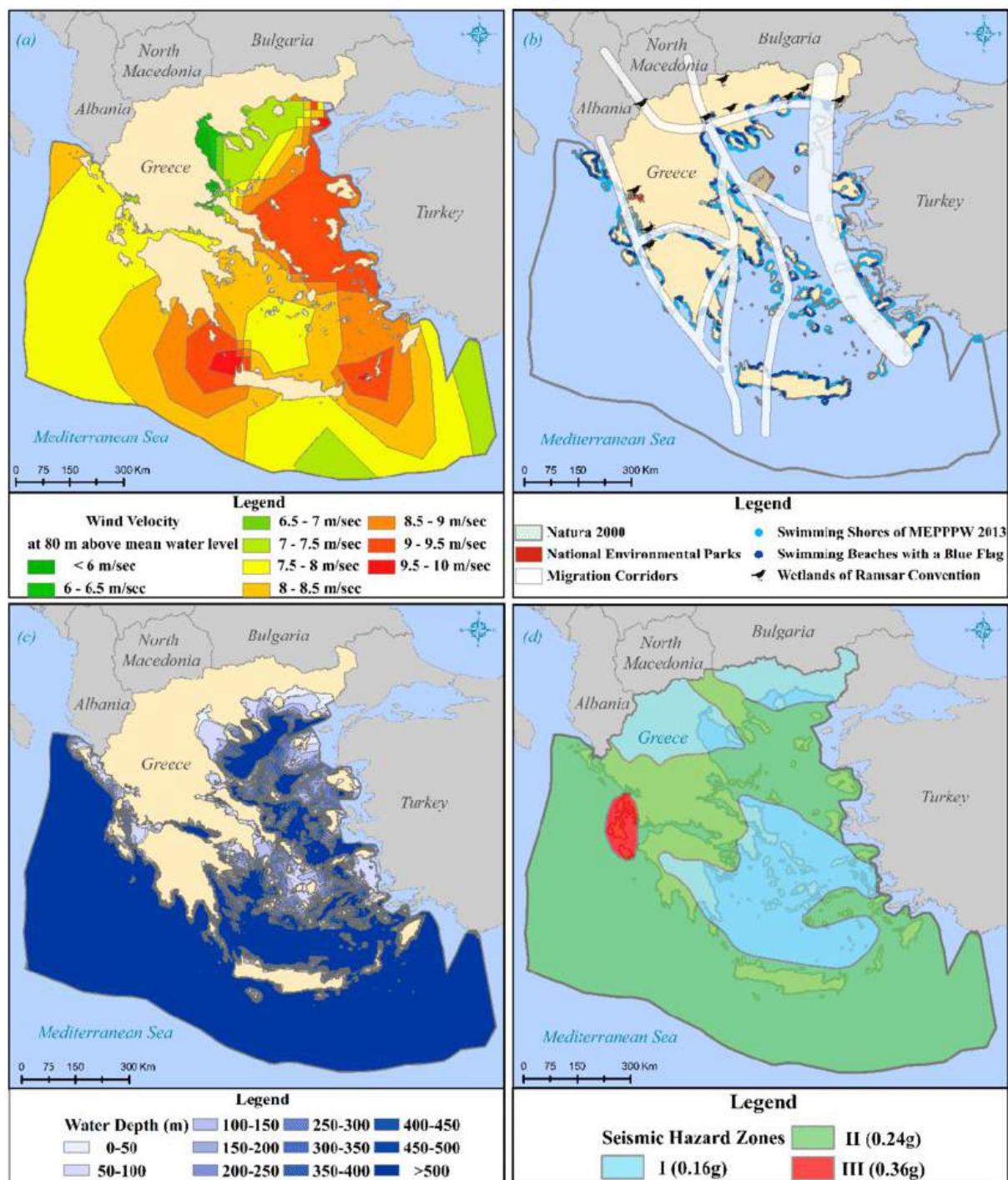
**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο
ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΥΑΠ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

6.1 Στρατηγικός σχεδιασμός

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την εγκατάσταση ΥΑΠ, λόγω των πολλαπλών πλεονεκτημάτων από την τοποθέτηση και τη λειτουργία των υπεράκτιων Α/Γ. Πρόκειται για την ύπαρξη ισχυρότερων ανέμων διαρκείας, η διαθεσιμότητα εκτενούς ελεύθερου χώρου, καθώς και η μείωση ή/και η αποφυγή του θορύβου και των οπτικών διαταραχών που προκαλούνται στο φυσικό τοπίο. Η σημαντικότερη διεργασία είναι ο προσδιορισμός των κατάλληλων περιοχών για την εγκατάσταση ενός ΥΑΠ. Η επιλογή της τελικής τοποθεσίας ανέγερσης του έργου όμως αποτελεί ένα πολυδιάστατο ζήτημα λήψης αποφάσεων [69].

«Η Ελλάδα πρέπει να δημιουργήσει ένα σταθερό και αποτελεσματικό ρυθμιστικό πλαίσιο για τα έργα αιολικής ενέργειας». Αυτό ήταν το βασικό μήνυμα του Ivan Pineda, Διευθυντή Δημοσίων Σχέσεων της WindEurope, στη 2η Διεθνή Ακαδημία για τους Μελλοντικούς Ηγέτες της Ενεργειακής Ένωσης στη Θεσσαλονίκη. Η εκδήλωση διοργανώθηκε από το Ελληνικό Φόρουμ Ενέργειας, με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, το διάστημα 12-14 Απριλίου 2019. Μιλώντας στην Energypress, ο Pineda τόνισε ότι η Ελλάδα έχει την ευκαιρία να εξασφαλίσει οικονομικά προσιτή και καθαρή ενέργεια εντατικοποιώντας τις προσπάθειές της για ανάπτυξη των ΑΠΕ. Επίσης, υποστήριξε ότι η ΥΑΕ έχει αξιοσημείωτες προοπτικές στην Ελλάδα και ότι όλες οι ελληνικές περιοχές θα μπορούσαν να επωφεληθούν εάν δημιουργηθούν οι απαραίτητες υποδομές. Χαρακτηριστικό παραδείγματα αποτελεί η Ισπανία, στην οποία κατασκευάστηκαν οι πλωτές υπεράκτιες κατασκευές που εγκαταστάθηκαν στη Σκωτία από την Equinor, παρόλο που δεν υπάρχει στο εσωτερικό της κάποιο ΥΑΠ σε λειτουργία. Ο Pineda συνεχάρη επίσης την Ελλάδα για τους φιλόδοξους εθνικούς στόχους ανάπτυξης και διαχείρισης των ΑΠΕ, ιδίως για την αιολική ενέργεια. Ωστόσο, υπογράμμισε ότι χωρίς σταθερό εθνικό ενεργειακό σχεδιασμό, υπάρχει σημαντικός κίνδυνος να μην επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι και να «χαθεί» άλλη μια δεκαετία. Τόσο η ΡΑΕ πρέπει να απλοποιήσουν τις διαδικασίες αδειοδότησης. Για την ανάπτυξη και την εποπτεία των έργων αιολικής ενέργειας, συνέστησε τη ανάληψη ευθύνης ενός και μοναδικού φορέα από την αρχή ως το τέλος της διαδικασίας. Αυτό όχι μόνο θα μετριάσει τυχούσες καθυστερήσεις και εμπόδια, αλλά θα διαμορφώσει ένα ασφαλές και αποτελεσματικό επενδυτικό περιβάλλον για την ενθάρρυνση ανάλογων επενδυτικών κινήσεων [70].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

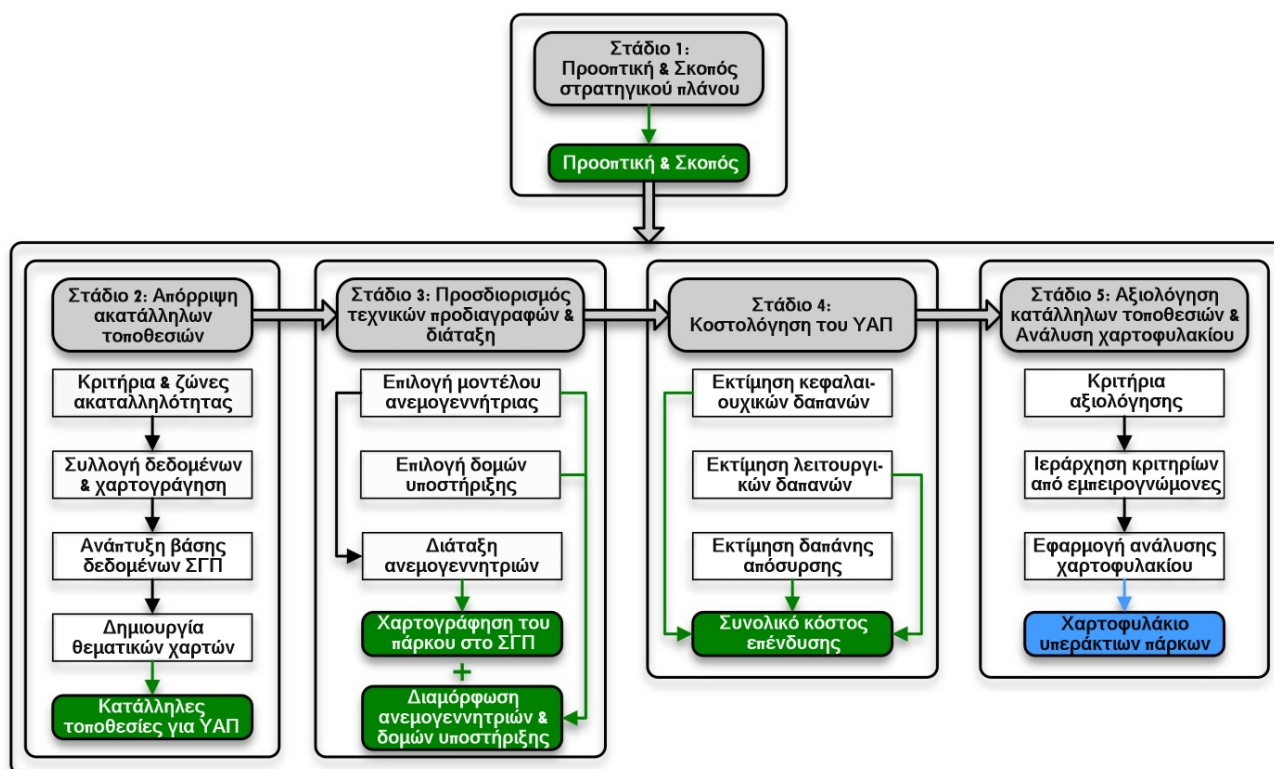


Εικόνα 6.1: Θεματικοί χάρτες ελληνικού τοπίου (ταχύτητα υπεράκτιων ανέμων, προστατευμένες θαλάσσιες περιοχές, βάθος υδάτων, ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας) [69]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

6.1.1 Μεθοδολογία

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι κατάλληλες, βιώσιμες και τεχνοοικονομικά καλύτερες λύσεις για την εγκατάσταση ΥΑΠ στην Ελλάδα, προτείνεται το παρακάτω μεθοδολογικό πλαίσιο αποτελούμενο από 5 στάδια [69]:



Εικόνα 6.2: Προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για τα ΥΑΠ στην Ελλάδα [69]

Στάδιο 1

Στο 1ο στάδιο καθορίζεται η προοπτική και ο σκοπός του στρατηγικού πλάνου, λαμβάνοντας υπόψιν την τρέχουσα κατάσταση της εξεταζόμενης χώρας σχετικά με τα ζητήματα της ενεργειακής αυτονομίας και τη μελλοντική απαίτηση παραγωγής ενέργειας, τόσο για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στο εσωτερικό της χώρας, όσο και για την εξαγωγή ενέργειας με σκοπό την ωφέλεια της εθνικής οικονομίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα μέχρι τα τέλη του Ιουνίου του 2018, η συνολική ενέργεια που προέκυψε από τη λειτουργία των χερσαίων Α/Γ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ήταν 2.690,5 MW. Ο αριθμός αυτός είναι αυξημένος κατά 1,5 % (39,2 MW) συγκριτικά με το τέλος του 2017. Το άφθονο Α/Δ στο ελληνικό θαλάσσιο περιβάλλον παραμένει ακόμα ανεκμετάλλευτο. Επιπλέον, η εθνική προσπάθεια μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εστιάζεται στον ενεργειακό τομέα. Το σχετικό πλάνο της Ελλάδας [«Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός: Οδικός χάρτης για το 2050»](#) δημοσιεύτηκε το 2012 από το τότε Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Βασική επιδίωξη είναι η μείωση 60-70 % των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τον ενεργειακό τομέα μέχρι το 2050, συγκριτικά με το 2005, με 85-100 % της ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από ΑΠΕ.

Στάδιο 2

Αυτό το στάδιο σχετίζεται με την απόρριψη ακατάλληλων τοποθεσιών, βάσει των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Τα ΣΓΠ είναι επί της ουσίας ολοκληρωμένα συστήματα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης χωρικών δεδομένων, τα οποία υποστηρίζουν τη διαδικασία του σχεδιασμού έργων, παρέχοντας τη δυνατότητα στον εκάστοτε χρήστη να αναλύει γεωγραφικές πληροφορίες. Αυτή η επεξεργασία και ανάλυση χωρικών δεδομένων ή περιγραφικών χαρακτηριστικών, έχει τελικό σκοπό την εξαγωγή χαρτογραφικού προϊόντος. Η ποιότητα και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων καθορίζεται από την αντίστοιχη ποιότητα και ακρίβεια των δεδομένων που εισάγονται. Το εργαλείο αυτό με τα πολλαπλά κριτήρια απόρριψης, ουσιαστικά συμβάλλει στον προσδιορισμό των κατάλληλων περιοχών τοποθέτησης ΥΑΠ σε εθνικό επίπεδο. Τα κριτήρια απόρριψης καθορίζονται βάσει των ειδικών χαρακτηριστικών της εξεταζόμενης περιοχής, λαμβάνοντας επίσης υπόψιν τις σχετικές διατάξεις του [«Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας»](#).

Επισημαίνεται πως τα ΣΓΠ έχουν πλήθος εφαρμογών στην επίλυση χωρικών ζητημάτων στους τομείς της έρευνας, της δημόσια διοίκησης, των συγκοινωνιών, των μεταφορών, των επιχειρήσεων, του περιβάλλοντος και της διαχείρισης φυσικών πόρων.

Στάδιο 3

Αυτό το στάδιο αφορά τα τεχνικά ζητήματα των έργων, όπως η επιλογή του μοντέλου Α/Γ, η επιλογή των καταλληλότερων βοηθητικών δομών κ.τ.λ. Οι απαιτούμενες τεχνικές προδιαγραφές καθορίζονται από τα ακόλουθα στοιχεία: α) τα ειδικά χαρακτηριστικά των προτιμώμενων τοποθεσιών, δηλαδή η ταχύτητα του ανέμου, το βάθος του νερού και η διαθέσιμη επιφάνεια,

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

β) τη μελέτη παρόμοιων έργων που έχουν ολοκληρωθεί και βρίσκονται σε πλήρη ή μερική λειτουργία. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας το ΣΓΠ, τα ΥΑΠ τοποθετούνται εντός των κατάλληλων τοποθεσιών που προσδιορίζονται στο προηγούμενο στάδιο.

Στάδιο 4

Κατά το 4ο στάδιο γίνεται εκτίμηση όλων των ειδών οι δαπάνες, λαμβάνοντας υπόψιν τα διαθέσιμα δεδομένα παρόμοιων ολοκληρωμένων έργων που εξακολουθούν να λειτουργούν.

Στάδιο 5

Στο τελικό στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας, συντάσσεται το χαρτοφυλάκιο του έργου και ακολουθεί η ανάλυσή του. Η ανάλυση συνδυάζει πολλά άλλα κριτήρια αξιολόγησης και μαθηματικά εργαλεία βελτιστοποίησης.

6.1.2 Κριτήρια απόρριψης περιοχών

Πρέπει να γίνεται σαφές πως όλες οι περιοχές της Ελλάδας δεν ενδείκνυνται για εγκατάσταση ΥΑΠ. Για αυτόν το λόγο, είναι σημαντική η ανάλυση των διαφόρων παραγόντων που καθιστούν μια περιοχή ακατάλληλη, η οποία παρατίθεται στη συνέχεια [69], [71]:

Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ)

Η περιοχή προς μελέτη καθορίζεται από την ΑΟΖ της Ελλάδας και οποιαδήποτε περιοχή έξω από αυτήν αποκλείεται δια νόμου. Η ΑΟΖ μιας χώρας ή αλλιώς τα Εθνικά Χωρικά Ύδατα, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, λαμβάνεται επισήμως υπόψιν ως κριτήριο χωροθέτησης.

Ταχύτητα του ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα σημαντικό κριτήριο για την επιλογή τοποθεσίας ενός ΥΑΠ, καθώς συνδέεται άμεσα με την οικονομική υπόσταση του έργου. Ως εκ τούτου, μια ακριβής και λεπτομερής ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για μια πιθανή αξιολόγηση της εκάστοτε προτεινόμενης τοποθεσίας. Ενδείκνυται τα δεδομένα για την ταχύτητα του ανέμου να προκύπτουν από μετρήσεις που έγιναν σε ύψος 80 m σε ωριαία βάση, επί μια δεκαετία. Επί της παρούσας ανάλυσης (καταλληλότητας), θαλάσσιες περιοχές στις οποίες η

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ετήσια μέση ταχύτητα ανέμου είναι μικρότερη από 6 m/s σε ύψος 80 m πάνω από το μέσο επίπεδο του νερού, θεωρούνται ακατάλληλες για την εγκατάσταση ΥΑΠ.

Βάθος νερού

Το βάθος του νερού είναι ένα από τα βασικά κριτήρια για την εγκατάσταση ενός ΥΑΠ, αφού συμβάλλει σημαντικά στον προσδιορισμό του επενδυτικού κόστους τέτοιων έργων. Συγκεκριμένα, επηρεάζει την επιλογή της υποστηρικτικής δομής της Α/Γ, όπως επίσης επηρεάζει τις κεφαλαιουχικές και τις λειτουργικές δαπάνες (αυξάνονται σημαντικά για βαθύτερα ύδατα λόγω του κόστους πρόσδεσης, αγκυροβόλησης και καλωδίωσης).

Προτείνεται το βάθος του νερού να μην ξεπερνάει τα 500 m, όμως σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες τεχνικές προδιαγραφές, το μέγιστο βάθος για εγκατάσταση πλωτών Α/Γ καθορίζεται στα 700 m.

Στρατιωτικές ζώνες

Αυτές οι θαλάσσιες περιοχές χρησιμοποιούνται από τον Ελληνικό Στρατό για εκπαιδευτικούς ή πολεμικούς σκοπούς και απαγορεύεται να ληφθούν υπόψιν για οποιαδήποτε άλλη χρήση.

Σεισμογενείς ζώνες

Ο κίνδυνος σεισμού προτείνεται να μην αμελείται στη διαδικασία επιλογής τοποθεσίας ΥΑΠ, καθότι η Ελλάδα είναι μια από τις πιο ενεργείς σεισμολογικά χώρες παγκοσμίως. Στην περίπτωση των ΥΑΠ, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ειδικό σχεδιασμό της υποστηρικτικής δομής των Α/Γ και ως εκ τούτου σε μεγαλύτερο κατασκευαστικό κόστος. Έτσι, οι περιοχές που ανήκουν στη λεγόμενη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας ΙΙΙ (0,36g) στην Ελλάδα απορρίπτονται. Το κριτήριο αυτό πάντως παγκοσμίως, δεν συνηθίζεται να λαμβάνεται υπόψιν παρά μόνο σε μελέτες στη Νότια Κορέα. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν αποτυπώνεται (ακόμα) στους τυπικούς χάρτες καταλληλότητας εγκατάστασης ΥΑΠ.

Υπάρχοντα υποβρύχια καλώδια

Το συγκεκριμένο κριτήριο απόρριψης αναφέρεται στα ήδη υπάρχοντα καλώδια του πυθμένα της θάλασσας και εξυπηρετούν είτε τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας ή υπάρχουν για

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς. Είναι σημαντικό να εξετάζονται οι υποβρύχιες διαδρομές των καλωδίων αυτών, προκειμένου να αποφευχθούν τυχούσες ζημιές κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης του ΥΑΠ.

Απόσταση από τους λιμένες

Η απόσταση ενός ΥΑΠ από τον κοντινότερο λιμένα αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει το συνολικό επενδυτικό κόστος, αφού έχει αντίκτυπο στο κόστος εγκατάστασης, στα κόστη λειτουργίας και παρακολούθησης, αλλά και στο κόστος απόσυρσης. Πιο συγκεκριμένα, το συνολικό επενδυτικό κόστος μειώνεται όσο η τοποθεσία ενός ΥΑΠ είναι κοντινότερη σε λιμένα, ενώ το μέγιστο προβλεπόμενο όριο για την Ελλάδα προτείνεται να είναι τα 100 km.

Απόσταση από το Δίκτυο Υψηλής Τάσης

Η απόσταση ενός ΥΑΠ από το δίκτυο υψηλής τάσης είναι σημαντική για τεχνικοοικονομικούς λόγους. Η σύνδεση στο δίκτυο υψηλής τάσης είναι επιτακτική γιατί σε κάθε άλλη περίπτωση (σύνδεση σε μέση και χαμηλή τάση), υπάρχει το ρίσκο καταστροφής της καλωδίωσης λόγω υπερφόρτωσης. Σύμφωνα με μελέτες, το όριο της απόστασης του ΥΑΠ από το ηλεκτρικό δίκτυο υψηλής τάσης εκτιμάται σε 200 km, όμως για την Ελλάδα προτείνονται τα 100 km.

Προστασία τοπίου - Απόσταση από μνημεία Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της Unesco

Ιδανικά,, ιδίως όταν έχουμε να κάνουμε με έργα μεγάλης κλίμακας όπως αυτά που εγκαθίστανται στα βόρεια ευρωπαϊκά ύδατα, οποιεσδήποτε οπτικοακουστικές οχλήσεις του έργου εξαλείφονται με μια απόσταση περι τις 130 φορές του συνολικού ύψους της επιλεγμένης Α/Γ. Πρακτικά κάτι τέτοιο δεν μπορεί να τηρηθεί στον ελλαδικό χώρο.

Όσον αφορά στην προτεινόμενη απόσταση από την ακτογραμμή για εγκατάσταση ΥΑΠ, αυτή έχει να κάνει με τον αποκλεισμό περιοχών που απέχουν απόσταση μικρότερη των 500 m από λατομικές ζώνες και μικρότερη των 3 km από μνημεία του [Καταλόγου Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της Unesco](#).

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Απόσταση από γραμμές ναυσιπλοΐας

Η ύπαρξη ασφαλών διαδρομών ναυσιπλοΐας που συνδέουν την πληθώρα των ελληνικών νησιών με την ηπειρωτική χώρα, είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό ζήτημα. Προκειμένου να διασφαλιστεί η προστασία της ναυτιλιακής κίνησης, είτε για εμπόριο είτε για τουρισμό, επιλέγεται απόσταση ασφαλείας περίπου 5 km (3 μίλια) από τις αναφερόμενες διαδρομές.

Απόσταση από θαλάσσιες προστατευόμενες περιοχές

Οι θαλάσσιες προστατευόμενες περιοχές αντιστοιχούν σε τοποθεσίες μείζονος σημασίας του Natura 2000, εθνικά θαλάσσια περιβαλλοντικά πάρκα, παράκτια ύδατα κολύμβησης που παρακολουθούνται και αξιολογούνται στο πλαίσιο του προγράμματος παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης σύμφωνα με τις διατάξεις της οδηγίας 2006/7/EK και τις παραλίες κολύμβησης που απέκτησαν [Γαλάζια Σημαία](#). Η ελάχιστη απόσταση από θαλάσσιες προστατευόμενες περιοχές προτείνεται στα 1,5 km.

Απόσταση από τους μεταναστευτικούς διαδρόμους των άγριων ζώων

Το συγκεκριμένο κριτήριο περιλαμβάνει τους διαδρόμους μετανάστευσης και τους υγρότοπους διεθνούς σημασίας, όπως ορίζεται σύμφωνα με τη [«Σύμβαση Ραμσάρ»](#). Το συγκεκριμένο κριτήριο εξετάζεται προκειμένου να μειωθεί ο πιθανός κίνδυνος σύγκρουσης των πτηνών στις Α/Γ κατά τη μεταναστευτική περίοδο. Η εγκατάσταση ΥΑΠ θα πρέπει να αποφεύγεται εντός των ορίων των περιοχών που υπόκεινται σε ποικιλία πτηνών. Το όριο ελάχιστης απόστασης είναι τα 3 km.

Απόσταση από αστικό οικισμό

Σύμφωνα με το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο, κανένα ΥΑΠ δεν θα πρέπει να αδειοδοτείται με απόσταση μικρότερη του 1 km από αστικό δίκτυο και μικρότερη από 1,5 km από [παραδοσιακούς οικισμούς](#).

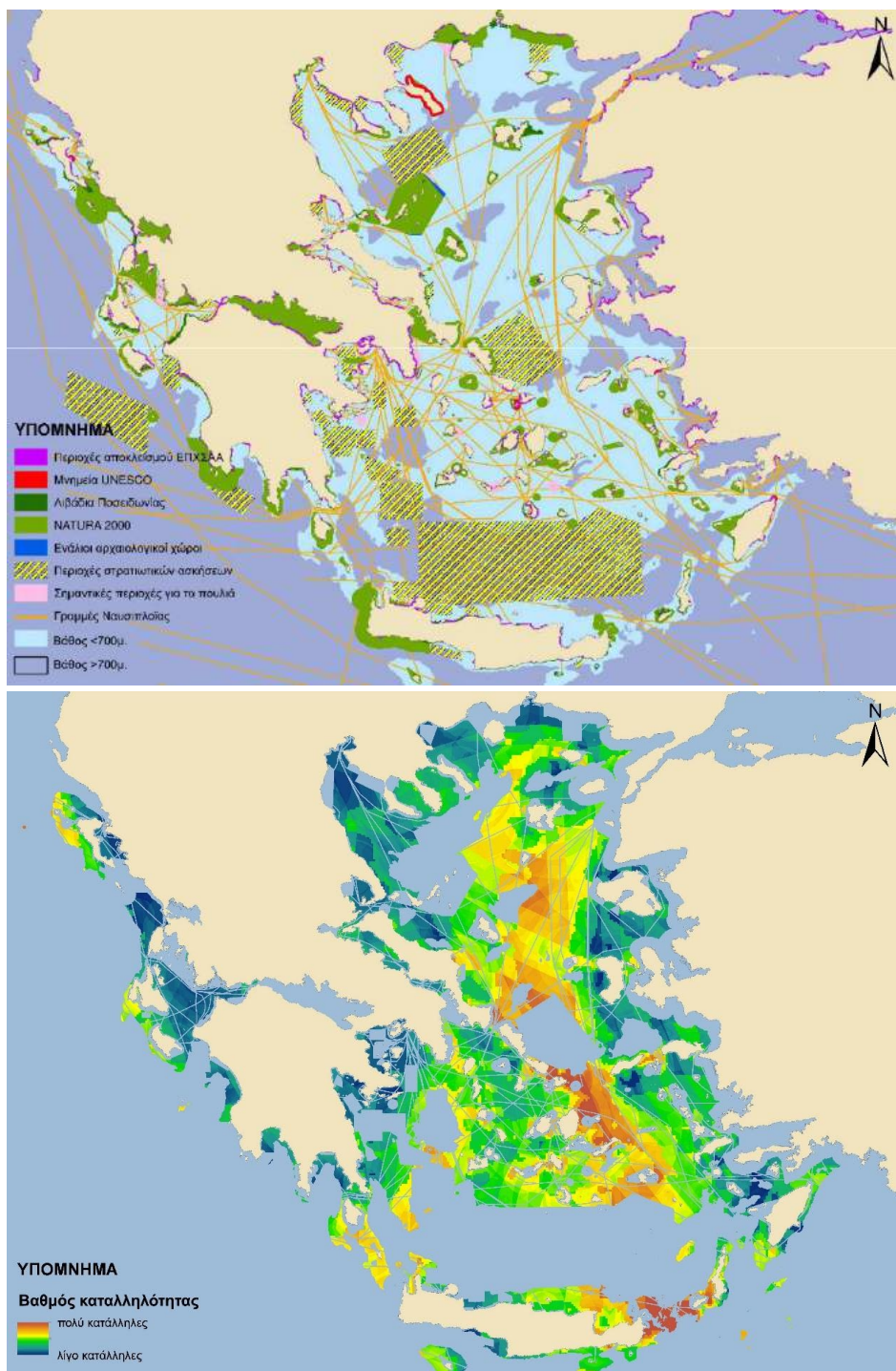
Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, διαμορφώνεται ο συνοπτικός συμβουλευτικός πίνακας των κριτηρίων απόρριψης εγκατάστασης και ακατάλληλων ζωνών για την εγκατάσταση ΥΑΠ:

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Α/Α	ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ	ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΠΕΡΙΟΧΗ
1	ΑΟΖ	Νομικός	Έξω από τα καθορισμένο όρια του χάρτη
2	Ταχύτητα του ανέμου	Τεχνικός/Οικονομικός	< 6 m/s σε ύψος 80 m
3	Βάθος νερού	Τεχνικός/Οικονομικός	> 700 m
4	Στρατιωτικές ζώνες	Πολιτικός/ Περιοριστικός	Όλες οι ζώνες
5	Σεισμογενείς ζώνες	Προστατευτικός/ Περιοριστικός	Ζώνη ΙΙΙ (0,36g)
6	Υπάρχοντα υποβρύχια καλώδια	Προστατευτικός Τεχνικός/Περιοριστικός	Όλες οι περιοχές
7	Απόσταση από τους λιμένες	Τεχνικός/Οικονομικός	> 100 km
8	Απόσταση από το Δίκτυο Υψηλής Τάσης	Τεχνικός/Οικονομικός	> 100 km
9	Προστασία τοπίου - Απόσταση από μνημεία Unesco	Κοινωνικός/Πολιτικός/ Προστατευτικός	< 500 m (λατομικές ζώνες) < 3 km (μνημεία Unesco)
10	Απόσταση από γραμμές ναυσιπλοΐας	Κοινωνικός/Πολιτικός/ Προστατευτικός	≤ 5 km
11	Απόσταση από θαλάσσιες προστατευόμενες περιοχές	Περιβαλλοντικός/ Προστατευτικός	≤ 1,5 km
12	Απόσταση από τους μεταναστευτικούς διαδρόμους των άγριων ζώων	Περιβαλλοντικός/ Προστατευτικός	≤ 3 km
13	Απόσταση από αστικό οικισμό	Νομικός/Κοινωνικός/ Προστατευτικός	≤ 1 km (μη παραδοσιακοί οικισμοί) ≤ 1,5 km (παραδοσιακοί οικισμοί)

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά των κριτηρίων απόρριψης σχετικά με την εγκατάσταση ΥΑΠ [69]

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**



Εικόνα 6.3: α) Γενικός χάρτης αποκλεισμού και β) Γενικός χάρτης καταλληλότητας εγκατάστασης ΥΑΠ στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο (παράβλεψη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας) [71]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

6.2 Εξέλιξη του εθνικού νομοθετικού πλαισίου

Η Ελλάδα, ούσα μέλος της ΕΕ από το 1981, συμμετέχει σε όλες τις οδηγίες που αφορούν τη διαχείριση των ΑΠΕ. Πριν φθάσουμε στην ισχύουσα νομοθεσία περί ΥΑΠ, το ελληνικό θεσμικό πλαίσιο έχει τροποποιηθεί ουκ ολίγες φορές, ώστε να προσαρμόζεται η χώρα στις συνθήκες και στις απαιτήσεις της εκάστοτε εποχής.

Απαρχή της εισόδου των ΑΠΕ στην Ελλάδα υπήρξε ο νόμος [Ν. 1559/1985](#) «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις». Με το νόμο αυτό έγινε μια πρώτη χαρτογράφηση και οριοθέτηση του ελληνικού τοπίου, ενώ η ΔΕΗ (κατέχοντας ακόμα το μονοπώλιο της αγοράς) δεν καθιέρωσε υψηλή τιμή πώλησης στην παραγόμενη από ΑΠΕ ηλεκτρική ενέργεια.

Ο επόμενος νόμος που θεσμοθετήθηκε ήταν ο [Ν. 2244/1994](#) «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις», με τον οποίο καθορίστηκε σταθερή τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (περίπου το 90 % του γενικού τιμολογίου στη Μέση Τάση). Ο νόμος αυτός συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη των ΑΠΕ που έκτοτε άρχισαν να αποτελούν βασική προτεραιότητα της ΔΕΗ.

Λόγω της οδηγίας [96/92](#) από την ΕΕ το ελληνικό θεσμικό πλαίσιο έπρεπε να τροποποιηθεί εκ νέου. Αυτό οδήγησε στη θεσμοθέτηση του νόμου [Ν. 2773/1999](#) «Απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας - Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις». Το σχετικό νομοσχέδιο ουσιαστικά απελευθέρωνε την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (όπως είχε ήδη αρχίσει να συμβαίνει άλλα κράτη-μέλη της ΕΕ). Χαρακτηριστικά στοιχεία του νέου πλαισίου που εφαρμόστηκε ήταν η δημιουργία της ΡΑΕ, καθώς και του Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ). Το ευνοϊκό τιμολογιακό καθεστώς και η προτεραιότητα στην εξέλιξη των ΑΠΕ διατηρήθηκαν.

Η μέχρι τότε πολυπλοκότητα των αδειοδοτικών διαδικασιών εξαλείφθηκε με το νόμο [Ν. 2941/2001](#) «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ και άλλες διατάξεις». Σύμφωνα με το νόμο αυτό, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και τα έργα που τους συνοδεύουν, θα συμπεριλαμβάνονταν εφεξής στις εξαιρέσεις του νόμου [Ν. 2773/1999](#) περί μεγάλων έργων υποδομής σε δασικές εκτάσεις. Επιπρόσθετα, η άδεια εγκατάστασης Α/Γ αντικαταστάθηκε από σχετική θεώρηση της αρμόδιας πολεοδομίας (πλην των έργων πολιτικού μηχανικού).

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Με το νόμο [Ν. 3017/2002](#) «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση - πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» επικυρώθηκε στη Βουλή το πλαίσιο των περιβαλλοντικών δεσμεύσεων που έλαβε η Ελλάδα (όπως και όλα τα μέλη της ΕΕ), με την υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1998. Το Πρωτόκολλο στόχευε σε παγκόσμια μείωση των εκπομπών 6 αερίων του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, υδροφθοράνθρακες, πλήρως φθοριομενοί υδρογονάνθρακες και εξαφθοριούχο θείο) κατά 5,2 % στο διάστημα 2008-2012, συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990. Ο καταμερισμός ευθυνών για τα κράτη μέλη της ΕΕ μπορεί να ήταν διαφορετικός, ωστόσο ο κοινός στόχος για την Ευρώπη είχε καθοριστεί σε 8 % συνολικής μείωσης των εκπομπών για το διάστημα 2008-2012. Η ανάγκη για χρήση «καθαρών» πηγών ενέργειας έγινε πλέον επιτακτική και η στρόφη στην αιολική ενέργεια ήταν αναπόφευκτη στην Ευρώπη. Σήμερα, η συνθήκη του Κιότο έχει επεκταθεί μέχρι και το τέλος του 2020, με τη σύμφωνη γνώμη περίπου 200 κρατών. Αξιοσημείωτες αποχωρήσεις από τη συμφωνία ήταν της Ρωσίας, της Ιαπωνίας και του Καναδά.

Ουσιαστικό εφαλτήριο για την ανάπτυξη της αιολικής και ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα αποτέλεσε ο νόμος [Ν. 3468/2006](#) «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις». Με το νόμο αυτό, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κάθε μορφής, εισήχθη σε ένα μερικώς διαφοροποιημένο τιμολογιακό πρότυπο, ανάλογα με το αν απορροφάται στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα ή τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Καθιερώθηκε έκτοτε η τιμολογιακή πολιτική "feed-in tariff" βάσει της οποίας θεσπίστηκαν υψηλές μεν, σταθερές δε τιμές πώλησης.

6.2.1 Ισχύουσα νομοθεσία

Το 2010 άλλαξε εντελώς το νομοθετικό πλαίσιο για την ανάπτυξη ΥΑΠ, με τη θέσπιση του νόμου [Ν. 3851/2010](#) «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» (πρόβλεψη διαγωνιστικής διαδικασίας). Σύμφωνα με το νέο νόμο, μέσω των ειδικών σχεδίων που υποβάλλονται σε διαδικασία στρατηγικής περιβαλλοντικής εκτίμησης, καθορίζεται η ακριβής θέση των ΥΑΠ, η έκτασή τους και η μέγιστη εγκατεστημένη ηλεκτρική τους ισχύς. Ο νόμος αυτός επέτρεψε την δημιουργία αιολικών πάρκων εντός του εθνικού θαλάσσιου χώρου και εγκαινίασε μια καινούργια κεντρική διαδικασία για την αδειοδότηση τους. Το 1ο βήμα της διαδικασίας ήταν η εκπόνηση στρατηγικών μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων για διάφορες πιθανές περιοχές. Οι πιθανές αυτές περιοχές επιλέχθηκαν βάσει μιας προκαταρκτικής χωροθέτησης

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

και παρουσιάστηκαν σε σχετική εκδήλωση του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Στη συνέχεια οι αναλυτικές αυτές μελέτες υποβλήθηκαν σε μια διαδικασία στρατηγικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και έτσι καθορίστηκαν οι ακριβείς θέσεις, η θαλάσσια έκταση που καταλαμβάνουν και η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς των πιθανών ΥΑΠ, που θα μπορούσαν να έχουν κατασκευαστεί από το 2012 έως το 2017 (1η φάση). Η εξέταση της τεχνολογίας των πλωτών Α/Γ δεν λήφθηκε υπόψιν γιατί θεωρήθηκε πως δεν είχε μελετηθεί επαρκώς και μετατέθηκε για το διάστημα 2017-2025 (2η φάση) [72].

Τα κριτήρια για την επιλογή των θαλάσσιων περιοχών που τέθηκαν στην προκαταρκτική χωροθέτηση ήταν [72]:

- Το αιολικό δυναμικό της περιοχής (μόνο ως κριτήριο αξιολόγησης και όχι απόρριψης).
- Η συμβατότητα των αιολικών πάρκων με άλλες χρήσεις της συγκεκριμένης περιοχής εντός των 6 ναυτικών μιλίων.
- Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Η υπάρχουσα τεχνολογία.
- Η δυνατότητα σύνδεσης με το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Η οπτική όχληση.

Όσον αναφορά στις επιπτώσεις στο περιβάλλον, απορρίφθηκαν εξ αρχής όλες οι περιοχές του δικτύου NATURA. Για την οπτική όχληση και την αποφυγή συγκέντρωσης μεγάλου αριθμού Α/Γ κοντά σε ακτές τέθηκαν κριτήρια καθορισμού της μέγιστης συγκέντρωσης σε συνάρτηση με το μέγεθος τους και την απόσταση από την ακτογραμμή. Οι αποστάσεις που οφείλουν να τηρηθούν από τις ακτές για πάρκα μεγάλης ισχύος είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες στο εξωτερικό επειδή στην Ελλάδα οι περιοχές με αβαθή νερά είναι πολύ λίγες και δεν υπήρχε η δυνατότητα απόρριψης περισσότερων περιοχών.

Μέσω ρύθμισης, το αρμόδιο υπουργείο άρχισε να παρέχει ισχυρά κίνητρα υλοποίησης των ΥΑΠ, αφού οριζόταν ως τιμή αγοράς της ενέργειας από το σύστημα τα 108,3 € ανά MWh, η οποία μπορεί να προσυζητάται έως και 30 % της τιμής βάσης σε περιπτώσεις έργων με σημαντικές τεχνοοικονομικές ιδιαιτερότητες, όπως τα μεγαλύτερα θαλάσσια βάθη, ο βραχώδης πυθμένας κ.τ.λ. Τέλος, στο νόμο [Ν. 4414/2016](#) «*Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης - Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις*» ορίστηκε ότι η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 122,5 €/MWh (1,25 × τιμή αναφοράς - 98 €/MWh) ενώ τα ΥΑΠ τίθενται εκτός διαγωνιστικών διαδικασιών [72].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

6.3 Διαδικασία αδειοδότησης

Για την κατασκευή και λειτουργία ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, απαιτείται η έκδοση ειδικών αδειών και συμβάσεων κατόπιν αιτήσεως του ενδιαφερόμενου παραγωγού. Απαιτούνται συνεπώς τα εξής βήματα [73]:

- 1) Έκδοση Άδειας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Υπουργείο Ανάπτυξης).
- 2) Ταυτόχρονα πρέπει να γίνουν αιτήσεις για:
 - Διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης του σταθμού στο Σύστημα ή σε Δίκτυο (ΑΔΜΗΕ).
 - Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) ή για απαλλαγή από ΕΠΟ (Περιφέρεια).
 - Άδεια Επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση εφόσον απαιτείται, ή ευρύτερα των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου (Περιφέρεια).
 - Έκδοση Άδειας Εγκατάστασης (Περιφέρεια).
 - Έκδοση Οικοδομικών Αδειών (Πολεοδομία).
 - Υπογραφή Σύμβασης Σύνδεσης στο Σύστημα ή σε Δίκτυο (ΑΔΜΗΕ).
 - Υπογραφή Σύμβασης Αγοραπωλησίας Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΑΠΕΕΠ, πρώην ΛΑΓΗΕ).
- 3) Δοκιμαστική περίοδος και έκδοση Άδειας Λειτουργίας (Περιφέρεια).

6.3.1 Άδεια παραγωγής

Για την περίπτωση ΥΑΠ, χορηγείται άδεια παραγωγής σύμφωνα με τον Ν. 3468/2006 από το Υπουργείο Ανάπτυξης, λαμβάνοντας πρώτα την έγκριση της ΡΑΕ. Η άδεια παραγωγής διαρκεί έως 25 έτη και μπορεί να ανανεωθεί για ίσο χρόνο. Σύμφωνα με το υπάρχον νομικό πλαίσιο, κατά τη φάση της έκδοσης της άδειας πρέπει να γίνει υποβολή σχετικής αίτησης προς την ΡΑΕ συνοδευόμενη, σε περιπτώσεις που απαιτείται, από την προμελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σύμφωνα με την απόφαση της ΡΑΕ υπ' αριθμόν 54/2012 «Οδηγός Αξιολόγησης Αιτήσεων για χορήγηση άδειας παραγωγής σε υπεράκτιους αιολικούς σταθμούς ως προς το κριτήριο της ενεργειακής αποδοτικότητας και οικονομικής βιωσιμότητας» η άδεια παραγωγής χορηγείται με βάση την ενεργειακή απόδοση του και την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Όσον αφορά το αιολικό δυναμικό, οι μετρήσεις θα πρέπει να εκτελούνται από πιστοποιημένους φορείς σύμφωνα με το πρότυπο DIN-EN ISO/17025/2000. Επίσης, σύμφωνα με την ίδια απόφαση δεδομένα που εκτιμώνται κατά την αξιολόγηση είναι [73]:

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

- Η τεκμηρίωση του αιολικού δυναμικού → Στα ΥΑΠ δεν ισχύει ο περιορισμός της μέγιστης απόστασης των μετρήσεων του αιολικού δυναμικού, όπως στα αντίστοιχα χερσαία (7 km). Επίσης, μετρήσεις επιτρέπεται να γίνουν ακόμα και στην ακτή πλησίον του προτεινόμενου θαλάσσιου χώρου με όσο το δυνατόν περισσότερο επίπεδη τοπογραφία. Φυσικά τότε θα πρέπει να συμπεριληφθούν στη μελέτη και τα απαραίτητα στοιχεία για την μεταφορά των μετρήσεων στον θαλάσσιο χώρο.
- Η οικονομική βιωσιμότητα των έργων → Ισχύει το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης με ελάχιστο επίπεδο απόδοσης που έχει οριακή τιμή 4 %. Για τους υπολογισμούς της οικονομικής βιωσιμότητας το κόστος της επένδυσης προσδιορίζεται κατά περίπτωση, το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου λαμβάνεται ως 3,2 % του κόστους επένδυσης και η τιμή πώλησης της ενέργειας προσδιορίζεται στα 98 €/MWh.
- Εκτίμηση του κόστους επένδυσης → Για τον υπολογισμό του μοναδιαίου κόστους εγκατάστασης συναρτήσει του βάθους εγκατάστασης, χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$KI = 0,45 \cdot B^2 - 2,5 \cdot B + 1700 \quad (\text{Σχέση 6.1})$$

όπου KI το μοναδιαίο κόστος Α/Γ σε €/kW

B το βάθος της εγκατάστασης

Επιπροσθέτως, ο αιτών οφείλει να υποβάλει επαρκή τεχνική περιγραφή της διασύνδεσης του σταθμού, με συνοπτική αναφορά των ορισμένων τεχνικών χαρακτηριστικών των επιμέρους στοιχείων της, ώστε να γίνεται δυνατή η εκτίμηση του κόστους. Το ίδιο πρέπει να γίνει και για την εσωτερική διασύνδεση μεταξύ των επιμέρους στοιχείων εντός τους πάρκου. Τέλος, ο αιτών άδειας πρέπει να διαμορφώσει την προτεινόμενη διασύνδεση με το δίκτυο, ώστε να συνάδει με τον Στρατηγικό Σχεδιασμό Διασυνδέσεων Νησιών, όπως αναφέρεται στον Ν. 3851/2010.

Από την ΡΑΕ επίσης συνιστάται οι αποστάσεις μεταξύ των Α/Γ να μην είναι πολύ μικρές λόγω της έλλειψης ακριβών ανεμολογικών μετρήσεων και των ελιγμών που χρειάζεται να εκτελούνται από τα σκάφη που συμμετέχουν στην δημιουργία του πάρκου [73].

6.3.2 Προσφορά σύνδεσης στο σύστημα ή σε δίκτυο

Αρμόδιος διαχειριστής για για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι ο ΑΔΜΗΕ. Για να συνταχθεί η προσφορά αυτή, ο κάτοχος της Άδειας Παραγωγής πρέπει να υποβάλλει τη σχετική αίτηση στον αρμόδιο διαχειριστή ο οποίος την χορηγεί εντός 4 μηνών.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Στην περίπτωση των ΥΑΠ η προσφορά η ισχύει για 4 έτη και μπορεί να ανανεωθεί από τον διαχειριστή. [73]

Η αίτηση για προσφορά σύνδεσης πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα [73]:

- Περιγραφή της επιδιωκόμενης σύνδεσης.
- Την επιθυμητή ημερομηνία σύνδεσης και ημερομηνία λειτουργίας του προτεινόμενου έργου ανάπτυξης.
- Αντίγραφο αποδεικτικού καταβολής στον τραπεζικό λογαριασμό του ΑΔΜΗΕ του προβλεπόμενου τιμήματος για την εκπόνηση των βασικών μελετών σύνδεσης.
- Τα στοιχεία που καθορίζονται στο Κεφάλαιο 56 του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας:
 - Απαιτούμενη αξιοπιστία της σύνδεσης με βάση σχετικά πρότυπα ασφάλειας και αξιοπιστίας Συστήματος.
 - Χάρτης υπό κλίμακα 1:50.000 με σημειωμένη τη θέση της εγκατάστασης και τις συντεταγμένες του υποσταθμού σύνδεσης.
 - Χάρτης γεωγραφικής υπηρεσίας σταυρού με σημειωμένες τις γεωγραφικές συντεταγμένες της τοποθεσίας του υποσταθμού σύνδεσης.
 - Σχέδιο σε έντυπη ή ψηφιακή μορφή του χώρου 1:200 ή 1:500 των προτεινόμενων εγκαταστάσεων, με υπόδειξη της θέσης του υποσταθμού, της θέσης του σημείου σύνδεσης, των μετασχηματιστών, των κτιρίων ελέγχου και κάθε άλλου αναγκαίου στοιχείου.
 - Ηλεκτρικό μονογραμμικό έντυπο διάγραμμα ή σε ψηφιακή μορφή της προτεινόμενης εγκατάστασης που να δείχνει λεπτομερώς τον σημαντικό εξοπλισμό της εγκατάστασης.

Βάσει των στοιχείων της αίτησης, ο ΑΔΜΗΕ εκπονεί τις απαραίτητες μελέτες ώστε να αποφασίσει για τον βέλτιστο τεchnοοικονομικά τρόπο σύνδεσης. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζει αν οι συνθήκες που επικρατούν στα πιθανά σημεία σύνδεσης των εγκαταστάσεων του αιτούντος με το Σύστημα (διαθέσιμη ισχύς στα σημεία παροχής, ισχύς βραχυκυκλώσεως, αξιοπιστία, κ.τ.λ.) είναι επαρκείς. Η λειτουργία του νέου σταθμού παραγωγής θα πρέπει να γίνεται χωρίς να προκαλεί σημαντικές διαταραχές (π.χ. αρμονικές), τόσο στο ίδιο το σύστημα, όσο και στη μεταφορά ισχύος από ή προς το Σύστημα στα σημεία σύνδεσης άλλων χρηστών. Για την εκπόνηση των μελετών σύνδεσης ο αιτών καταβάλλει στον ΑΔΜΗΕ το τίμημα του οποίου το ύψος προσδιορίζεται βάσει του εκάστοτε ισχύοντος τιμολογίου σύνδεσης [73].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Στην προσφορά σύνδεσης υπάρχουν οι απαιτήσεις που αφορούν στο πλήθος και το είδος των γραμμών μεταφοράς για τη σύνδεση από τον υποσταθμό του παραγωγού μέχρι το σημείο του συστήματος στο οποίο πραγματοποιείται η σύνδεση, στο πλήθος των ζυγών του υποσταθμού, στο πλήθος και τον τύπο των πυλών των γραμμών μεταφοράς, καθώς και στη σύνθεση του υποσταθμού κατά το τμήμα του που αποτελεί μέρος του συστήματος μεταφοράς. Στην προσφορά σύνδεσης περιλαμβάνονται τα ακόλουθα [73]:

- Περιγραφή του τρόπου της σύνδεσης.
- Γενική περιγραφή του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στη σύνδεση.
- Εκτίμηση των δαπανών για την υλοποίηση των έργων επέκτασης της προτεινόμενης σύνδεσης.
- Την προθεσμία αποδοχής της προσφοράς σύνδεσης.
- Το χρόνο ισχύος της προσφοράς σύνδεσης.
- Ενδεικτική εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου υλοποίησης της σύνδεσης.

6.3.3 Έγκριση περιβαλλοντικών όρων

Για την έκδοση της Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ), ο κάτοχος πλέον της Άδειας Παραγωγής υποβάλλει αίτηση στην αρμόδια αρχή της οικείας Περιφέρειας. Αυτή η αρχή εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα προτεινόμενα μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης και οφείλει να αποφανθεί για τη χορήγηση ή μη απόφασης μέσα σε 4 μήνες από τη στιγμή που ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης. Η έγκριση ισχύει για 10 χρόνια και ανανεώνεται μέσω αίτησης, η οποία υποβάλλεται 6 μήνες πριν από την προκαθορισμένη λήξη της έγκρισης, για μία ή περισσότερες φορές και για ίσο χρονικό διάστημα κάθε φορά [73].

Ειδικά για την περίπτωση ΥΑΠ, σύμφωνα με το Ν. 2971/2001 όπως τροποποιήθηκε από το Ν. 3468/2006, επιτρέπεται η παραχώρηση θαλάσσιου χώρου, όμως ο ενδιαφερόμενος πρέπει να υποβάλλει αίτηση προς την αρμόδια Κτηματική Υπηρεσία την οποία κοινοποιεί στον Υπουργό Ανάπτυξης [73].

Τα συμπληρωματικά έγγραφα που απαιτούνται για την έκδοση της ΕΠΟ διαφοροποιούνται και ανάλογα με την κατηγορία του έργου. Οι κατηγορίες έργων όσο αναφορά στα έργα για αιολικά πάρκα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα [73]:

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΟΥ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α'		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Β'
	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α1	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α2	
Ηλεκτροπαραγωγή από Αιολική Ενέργεια	$P \geq 60 \text{ MW}$ ή $P > 30 \text{ MW}$ και εντός περιοχών δικτύου Natura 2000 ή $L \geq 20 \text{ km}$	$5 < P < 60 \text{ MW}$ και $L < 20 \text{ km}$	$0,02 < P < 5 \text{ MW}$ ή $P < 0,02 \text{ MW}$ και ισχύει η εξαίρεση Ξ

Πίνακας 6.2: Κατηγορίες έργων αιολικών πάρκων ηλεκτροπαραγωγής

P είναι η εγκατεστημένη ισχύς, L το μήκος της γραμμής υψηλής τάσης και Ξ η εξαίρεση σύμφωνα με την παράγραφο 13, άρθρο 8, Ν. 3468/2006, όπως τροποποιήθηκε από το άρθρο 3 του Ν. 3851/2010. Η εξαίρεση αυτή αφορά έργα τα οποία εγκαθίστανται σε χώρο που βρίσκεται σε περιοχή του δικτύου Natura 2000 ή σε υπεράκτια θέση που απέχει λιγότερο από 100 m από την οριογραμμή του αιγιαλού εκτός βραχονησίδων, καθώς και έργα τα οποία γειτνιάζουν, σε απόσταση μικρότερη των 150 m, με σταθμό ΑΠΕ της ίδιας τεχνολογίας που είναι εγκατεστημένος σε άλλη τοποθεσία και έχει εκδοθεί γι' αυτόν άδεια παραγωγής ή απόφαση ΕΠΟ ή προσφορά σύνδεσης, η δε συνολική ισχύς των σταθμών υπερβαίνει τα 20 KW (για αιολικούς σταθμούς).

6.3.4 Άδεια εγκατάστασης

Η έκδοση Άδειας Εγκατάστασης σύμφωνα με το Ν. 3468/2006 άρθρο 7,8 προϋποθέτει την κατοχή της Άδειας Παραγωγής και της απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ). Χορηγείται μετά από αίτηση προς την Περιφέρεια στα όρια της οποίας εγκαθίσταται ο σταθμός. Η αίτηση πρέπει να συνοδεύεται από μια σειρά δικαιολογητικών [73]:

- ΕΠΟ.
- Προσφορά Σύνδεσης του σταθμού στο Σύστημα ή σε Δίκτυο.
- Στην περίπτωση ΥΑΠ, έγκριση επέμβασης είτε παραχώρηση του δικαιώματος χρήσης του θαλάσσιου χώρου.
- Παραστατικά πληρωμής τελών, κρατήσεων και φόρων.

Η Άδεια Εγκατάστασης εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της Περιφέρειας για όλα τα έργα που κατατάσσονται στις υποκατηγορίες Α2, Β3, Β4 εντός προθεσμίας 15 εργάσιμων ημερών,

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ενώ για την υποκατηγορία Α1 εκδίδεται με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης εντός προθεσμίας 30 ημερών. Η συγκεκριμένη άδεια έχει ισχύ 2 ετών και μπορεί να παρατείνεται για άλλα 2 χρόνια το πολύ, υπό συγκεκριμένους περιορισμούς και έπειτα από σχετική αίτηση του κατόχου της.

6.3.5 Συμβάσεις σύνδεσης στο σύστημα και αγοραπωλησίας

Εφόσον καταστεί δεσμευτική η προσφορά σύνδεσης, ο δικαιούχος μπορεί να υποβάλλει αίτηση στον αρμόδιο διαχειριστή για σύναψη Σύμβασης Σύνδεσης. Η Σύμβαση Σύνδεσης υπογράφεται και ισχύει από τη χορήγηση της Άδειας Εγκατάστασης. Έπειτα ο ενδιαφερόμενος μπορεί να εκκινήσει τις διαδικασίες υλοποίησης των έργων σύνδεσης [73].

Η σύμβαση αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας συνάπτεται μεταξύ του διαχειριστή και του ενδιαφερόμενου. Ισχύει για 20 χρόνια και μπορεί να επεκτείνεται σύμφωνα με τους όρους της άδειας αυτής, από τη στιγμή που είναι σε ισχύ η σχετική άδεια παραγωγής [73].

6.3.6 Δοκιμαστική περίοδος και άδεια λειτουργίας

Η προσωρινή σύνδεση και δοκιμαστική λειτουργία είναι εφικτή μετά τη σύναψη των συμβάσεων Αγοραπωλησίας και Σύνδεσης και αφού έχουν ολοκληρωθεί τα έργα της εγκατάστασης. Ο κάτοχος της Άδειας Εγκατάστασης υποχρεούται να υποβάλλει στον αρμόδιο διαχειριστή αίτηση για προσωρινή σύνδεση του σταθμού, προκειμένου να υλοποιηθούν οι δοκιμές που απαιτούνται. Αφότου γίνει ηλεκτρίση του σταθμού για 15 μέρες, διενεργούνται έλεγχοι της λειτουργίας τόσο από τον διαχειριστή, όσο και από τον επενδυτή. Σε περίπτωση που δεν εντοπιστεί κάποιο πρόβλημα, δίνεται στον παραγωγό βεβαίωση πιστοποίησης επιτυχούς περάτωσης της δοκιμαστικής φάσης λειτουργίας του σταθμού [73].

Η άδεια λειτουργίας δίνεται μετά από απόφαση της ίδιας αρχής που χορήγησε μετά από αίτηση την άδεια εγκατάστασης. Απαιτείται αυτοψία από τα αρμόδια όργανα σχετικά με την τήρηση της Άδειας Εγκατάστασης και έλεγχος από το ΚΑΠΕ. Με το πέρας των ελέγχων, η άδεια χορηγείται μέσα σε 15 μέρες. Η διάρκειά της είναι 20 έτη και μπορεί να ανανεώνεται για ίσο χρονικό διάστημα. Ο κάτοχός της υποχρεούται εντός του 1ου διμήνου κάθε ημερολογιακού έτους να ενημερώνει το Υπουργείο Ανάπτυξης και τη ΡΑΕ για τα ακόλουθα στοιχεία που αφορούν το προηγούμενο έτος [73]:

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

- Την ετήσια παραγωγή ενέργειας και τη μέγιστη ισχύ παραγωγής του σταθμού που καταγράφηκε κατά το διάστημα αυτό.
- Το ετήσιο ποσοστό μη διαθεσιμότητας του σταθμού και τους λόγους στους οποίους οφείλεται αυτό.
- Τυχόν προβλήματα λειτουργίας του σταθμού που οφείλονται στο σύστημα ή το δίκτυο.

6.4 Κατάσταση αγοράς ΥΑΠ στην Ελλάδα

Το επενδυτικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη ΥΑΠ ξεκίνησε σχετικά πρώιμα το 2001 με αιτήσεις για λήψη αδειών παραγωγής από την εταιρεία Ελληνική Energiekontor ΑΕ, (θυγατρικής της γερμανικής Energiekontor AG) και συνεχίστηκε το 2004 από αιτήσεις ελληνικών και ξένων εταιρειών, αλλά και την περίοδο 2007-2009 και εντάθηκε μερικώς μήνες και ημέρες πριν τη ψήφιση του νόμου Ν. 3851/2010. Το πρώτο εξάμηνο του 2010 υπήρξε πληθώρα αιτήσεων για τη λήψη αδειών παραγωγής από ΥΑΠ, κυρίως σε περιοχές που παλαιότερα είχαν κατατεθεί αιτήσεις και υπήρξαν αρνητικές γνωμοδοτήσεις, αλλά και σε νέες περιοχές, στα πλαίσια της επικείμενης αλλαγής του νομοθετικού πλαισίου. Υπήρχαν μάλιστα προτάσεις για διασυνδέσεις νησιών του Αιγαίου στα οποία συμπεριλαμβάνονται ΥΑΠ [72].

Τον Ιούλιο του 2010 υπήρχαν αιτήσεις λήψης αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΥΑΠ συνολικής ισχύος περίπου 7 GW και από αυτές τα 6,5 GW βρίσκονταν σε φάση αξιολόγησης. Σε φάση προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και αξιολόγησης βρισκόταν μόνο μία αίτηση ισχύος 450 Μ στο Κόλπο των Πεταλιών, ανατολικά του Μαραθώνα [72].

Συνοπτικά το επενδυτικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη ΥΑΠ επικεντρώθηκε στις ακόλουθες περιοχές: Θρακικό Πέλαγος, Νήσος Λήμνος και Νήσος Αγ. Ευστράτιος, Θαλάσσια περιοχή Β & ΒΔ της Ν. Κέρκυρας - Διαπόντιοι Νήσοι, Θαλάσσια περιοχή Β & ΒΑ της Ν. Ανδρου, Στενό του Καφηρέα, Κόλπος Πεταλιών - Κόλπος Κύμης, Όρμος Καλυδώνος - Αιτωλοακαρνανία, Κάσος - Κάρπαθος και Κως. Συνολικά, ως το Νοέμβριο του 2011 υπήρχαν 36 αιτήσεις για ΥΑΠ στην Ελλάδα ισχύος 5,5 GW [72].

Βολιδοσκοπώντας την τωρινή κατάσταση και συμβολούμενοι τον σχετικό γεωπληροφοριακό χάρτη της ΡΑΕ (εξαιρώντας τα έργα που έχουν απορριφθεί όλον αυτόν τον καιρό) μπορούμε να καταγράψουμε σε πίνακα όλα ΥΑΠ τα οποία είναι σε φάση ανάπτυξης ή εξέτασης στον ελλαδικό χώρο, καθώς και μερικά βασικά τους χαρακτηριστικά:

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ (ΑΑ: Γ-02871)			
Περιοχή	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ - ΕΒΡΟΥ - ΑΝΑΤΟΛ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ & ΘΡΑΚΗΣ		
Έκταση	28,3 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	1,1 km
Ισχύς	216 MW	Α/Γ	60 SIEMENS SWT 3.6-120
Ύψος	90 m	Διάμετρος	120 m
Κατάσταση	ΑΔΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ		
ΘΡΑΚΙΚΟ ΠΕΛΑΓΟΣ (ΑΑ: Γ-02653)			
Περιοχή	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ - ΕΒΡΟΥ - ΑΝΑΤΟΛ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ & ΘΡΑΚΗΣ		
Έκταση	86,78 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	3 km
Ισχύς	584,25 MW	Α/Γ	95 REPOWER 6M
Ύψος	95 m	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΔΙΚΕΛΛΑ (ΑΑ: Γ-04442)			
Περιοχή	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ - ΕΒΡΟΥ - ΑΝΑΤΟΛ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ & ΘΡΑΚΗΣ		
Έκταση	5,83 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	3 km
Ισχύς	50 MW	Α/Γ	10 AREVA MULTIBRID M5000
Ύψος	90 m	Διάμετρος	116 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΠΛΑΚΑ (ΑΑ: Γ-04158)			
Περιοχή	ΛΗΜΝΟΥ - ΜΟΥΔΡΟΥ - ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ		
Έκταση	60,96 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	1,5 km
Ισχύς	498,15 MW	Α/Γ	81 REPOWER 6M
Ύψος	90 m	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΔΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ		
ΑΗ-ΣΤΡΑΤΗΣ (ΑΑ: Γ-04380)			
Περιοχή	ΑΓΙΟΥ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΥ - ΛΗΜΝΟΥ - ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ		
Έκταση	-	Απόσταση από την ακτογραμμή	0,5 km
Ισχύς	35 MW	Α/Γ	7 REPOWER 5M
Ύψος	90 m	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΒΒΑ Ν. ΑΓ. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΥ (ΑΑ: Γ-04381)			
Περιοχή	ΑΓΙΟΥ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΥ - ΛΗΜΝΟΥ - ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ		

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Έκταση	35,32 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	0,8 km
Ισχύς	445 MW	Α/Γ	89 REPOWER 5M
Ύψος	95 m	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΠΛΑΚΑ - ΚΕΡΟΣ - ΑΓ. ΕΙΡΗΝΗ (ΑΑ: Γ-04372)			
Περιοχή	ΛΗΜΝΟΥ - ΜΟΥΔΡΟΥ - ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ		
Έκταση	72,99 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	1,2 km
Ισχύς	486 MW	Α/Γ	135 SIEMENS-SWT-3.6-107
Ύψος	80 m	Διάμετρος	107 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΜΕΘΩΝΕΣ - ΚΕΡΟΣ (ΑΑ: Γ-04271)			
Περιοχή	ΛΗΜΝΟΥ - ΜΟΥΔΡΟΥ - ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ		
Έκταση	17,37 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	-
Ισχύς	209,1 MW	Α/Γ	34 REPOWER 6M
Ύψος	95 m	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΘΑΛΑΣΣΙΟΣ ΧΩΡΟΣ ΚΥΜΗΣ (ΑΑ: Γ-03254)			
Περιοχή	ΚΥΜΗΣ - ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ - ΕΥΒΟΙΑΣ - ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ		
Έκταση	17,2 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	2,4 km
Ισχύς	300 MW	Α/Γ	60 NORDEX 5.0
Ύψος	-	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΘΑΛΑΣΣΙΟΣ ΧΩΡΟΣ ΣΤΕΝΟΥ ΚΑΦΗΡΕΑ (ΑΑ: Γ-04107)			
Περιοχή	ΚΑΡΥΣΤΟΥ & ΚΑΦΥΡΕΩΣ - ΕΥΒΟΙΑΣ - ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ		
Έκταση	16,6 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	0,02 km
Ισχύς	150 MW	Α/Γ	50 VESTAS V90-3.0
Ύψος	-	Διάμετρος	90 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΟΡΜΟΣ ΚΑΛΥΔΥΩΝΟΣ (ΑΑ: Γ-03080)			
Περιοχή	ΧΑΛΚΕΙΑΣ - ΝΑΥΠΑΚΤΙΑΣ - ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ - ΔΥΤ. ΕΛΛΑΔΑΣ		
Έκταση	9,13 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	0,1 km
Ισχύς	141 MW	Α/Γ	47 VESTAS V90-3.0
Ύψος	120 m	Διάμετρος	90 m

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΘΑΛΑΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΒΒΑ Ν. ΑΝΔΡΟΥ (ΑΑ: Γ-04374)			
Περιοχή	ΑΝΔΡΟΥ - ΥΔΡΟΥΣΑΣ - ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ		
Έκταση	41,24 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	1,3 km
Ισχύς	306 MW	Α/Γ	85 SIEMENS-SWT-3.6-107
Ύψος	90 m	Διάμετρος	107 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΚΟΛΠΟΣ ΠΕΤΑΛΙΩΝ (ΑΑ: Γ-01858)			
Περιοχή	ΡΑΦΗΝΑΣ - ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ - ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ		
Έκταση	21,99 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	2,5 km
Ισχύς	276,75 MW	Α/Γ	45 REPOWER 6M
Ύψος	95 m	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΘΑΛ. ΠΕΡ. ΔΥΤ ΚΑΡΠΑΘΟΥ ΒΟΡ. ΚΑΣΟΥ (ΑΑ: Γ-04378)			
Περιοχή	ΚΑΣΟΥ - ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ - ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ		
Έκταση	17,1 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	-
Ισχύς	350 MW	Α/Γ	56 REPOWER 6M
Ύψος	95 m	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
Β. ΙΟΝΙΟ - ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΑ Ν. ΚΕΡΚΥΡΑΣ (ΑΑ: Γ-03552)			
Περιοχή	ΚΕΡΚΥΡΑΣ & ΔΙΑΠΟΝΤΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΑΘΡΑΚΙΟΥ - ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ		
Έκταση	18,86 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	1,1 km
Ισχύς	162 MW	Α/Γ	45 SIEMENS-SWT-3.6-107
Ύψος	80 m	Διάμετρος	107
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΠΛΑΤΕΙΑ (ΑΑ: Γ-00751)			
Περιοχή	ΚΕΡΚΥΡΑΣ & ΔΙΑΠΟΝΤΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΑΘΡΑΚΙΟΥ - ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ		
Έκταση	7,97 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	0,5 km
Ισχύς	30,25 MW	Α/Γ	11 NEG MICON NM92
Ύψος	77,6 m	Διάμετρος	92 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
Θ. ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΠΟΝΤΙΩΝ ΝΗΣΩΝ 1 ΕΩΣ 9			
(ΑΑ: Γ-03735, Γ-03736, Γ-03742, Γ-03741, Γ-03737, Γ-03739, Γ-03744, Γ-03743, Γ-03738)			
Περιοχή	ΚΕΡΚΥΡΑΣ - ΟΘΩΝΩΝ - ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ		

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Έκταση	0,58 - 11,86 km ² Συνολικά 31,64 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	0,3 - 3 km
Ισχύς	5 - 30 MW Συνολικά 165 MW	Α/Γ	Συνολικά 33 REPOWER 5M
Ύψος	-	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΘΑΛ. ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΠΟΝΤΙΩΝ ΝΗΣΩΝ (ΑΑ: Γ-03862)			
Περιοχή	ΚΕΡΚΥΡΑΣ - ΕΡΕΙΚΟΥΣΣΗΣ - ΟΘΩΝΩΝ - ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ		
Έκταση	71,49 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	1,8 km
Ισχύς	96 MW	Α/Γ	32 VESTAS V90-3.0
Ύψος	-	Διάμετρος	90 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡ. ΒΟΡΕΙΑ Ν. ΜΑΘΡΑΚΙΟΥ (ΑΑ: Γ-04121)			
Περιοχή	ΚΕΡΚΥΡΑΣ - ΜΑΘΡΑΚΙΟΥ - ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ		
Έκταση	26,24 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	1,5 km
Ισχύς	275 MW	Α/Γ	55 REPOWER 5M
Ύψος	90 m	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡ. ΒΑ ΝΗΣΟΥ ΟΘΩΝΟΙ (ΑΑ: Γ-04122)			
Περιοχή	ΚΕΡΚΥΡΑΣ - ΟΘΩΝΩΝ - ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ		
Έκταση	16,17 km ²	Απόσταση από την ακτογραμμή	0,01 km
Ισχύς	220 MW	Α/Γ	44 REPOWER 5M
Ύψος	90 m	Διάμετρος	126 m
Κατάσταση	ΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ		

Πίνακας 6.3: Τορινή εικόνα ενεργών, υπό ανάπτυξη και υπό αξιολόγηση ΥΑΠ στον ελλαδικό χώρο [74], [75]

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

7.1 Βασικά εισαγωγικά στοιχεία

Στη μελέτη που ακολουθεί, γίνεται εκτίμηση και αξιολόγηση του Α/Δ στην περιοχή «ΠΛΑΤΕΙΑ» (κοινότητα Μαθρακίου, δήμος Κερκύρας). Στην περιοχή αυτή βρίσκεται υπό ανάπτυξη ΥΑΠ ισχύος 30,25 MW. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι επιτόπιες μετρήσεις Α/Δ της περιοχής, βάσει των οποίων γίνεται εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής ενέργειας. Το έργο αποτελείται από 11 Α/Γ NEG Micon ονομαστικής ισχύος 2,75 KW.

Για τους ενεργειακούς υπολογισμούς και την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά WindFarm® της RESOFT και WindRose του ΚΑΠΕ. Τα λογισμικά αυτά καλούνται να αντιμετωπίσουν και να προσομοιάσουν ένα σύνολο πολύπλοκων παραμέτρων όπως την τραχύτητα του εδάφους, πιθανά εμπόδια από τη μορφολογία, να ανάγουν τις μετρήσεις από το σημείο πραγματοποίησής τους στις θέσεις των Α/Γ, να προσεγγίσουν την καθ' ύψος μεταβολή της ταχύτητας, να λάβουν υπόψιν την κατευθυντικότητα του ανέμου κ.τ.λ. Τα ανεμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από μετρήσεις ιστού 20 m εγκατεστημένου στην βραχονησίδα του Διάπλου.

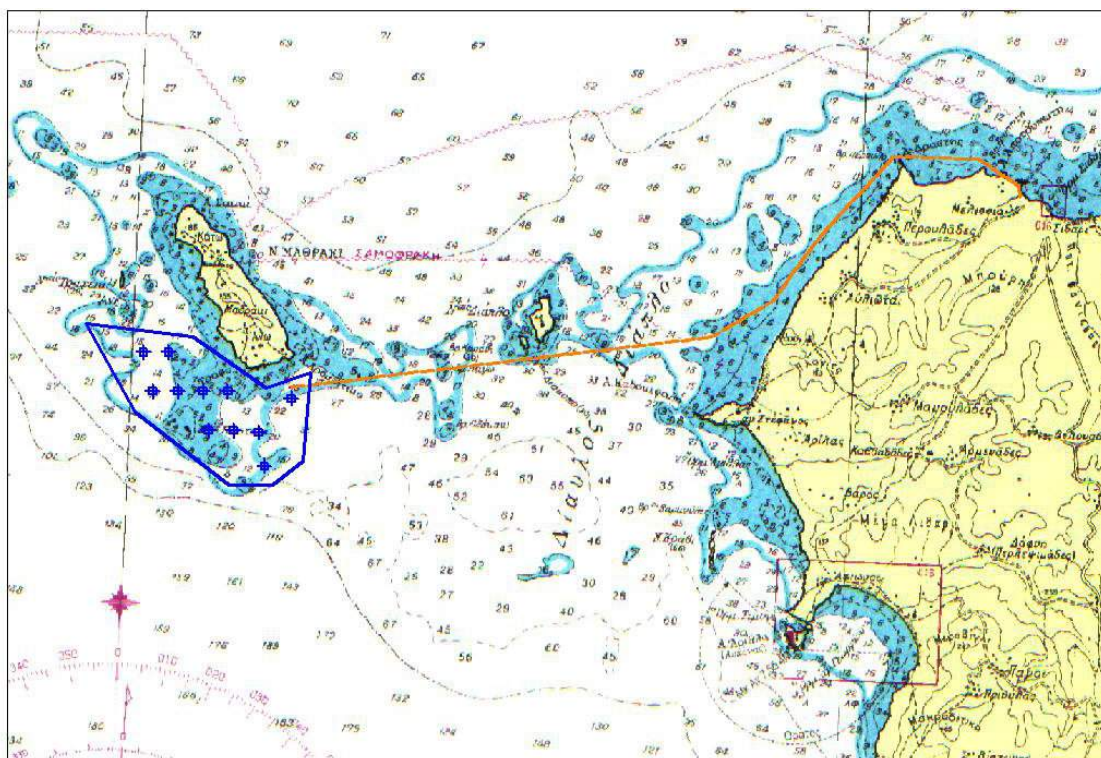
Η εγκατάσταση του ιστού και η συλλογή των δεδομένων έγινε από την Ενεργειακή Τεχνική Κατασκευαστική (ΕΝΤΕΚΑ), εταιρεία διαπιστευμένη κατά ISO/EN 17025 για την πραγματοποίηση μετρήσεων Α/Δ.

7.2 Περιγραφή της εξεταζόμενης περιοχής

Το συγκεκριμένο έργο αναμένεται να υλοποιηθεί στη θαλάσσια περιοχή νοτίως του νησιού Μαθράκι, βορειοδυτικά της Κέρκυρας. Τα αβαθή νερά της περιοχής, όπως φαίνεται και στον επόμενο χάρτη, διαμορφώνουν ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη ΥΑΠ.

Στο χάρτη φαίνεται η περιοχή του πάρκου, καθώς και η προτεινόμενη θέση των αιολικών μηχανών.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Εικόνα 7.1: Χάρτης χωροθέτησης του έργου προς μελέτη

7.3 Αξιολόγηση διαθέσιμου Α/Δ

Με σκοπό την αξιολόγηση του Α/Δ κοντά στην περιοχή του πάρκου, εγκαταστάθηκε ένας μετρητικός ιστός 20 m. Στη συνέχεια παρατίθενται και αναλύονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά του ιστού, καθώς και τα αποτελέσματα των σχετικών μετρήσεων.

7.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά ιστού

Η εγκατάσταση του ιστού εντός του χώρου του ΥΑΠ είναι δύσκολη υπόθεση επειδή βρίσκεται εξολοκλήρου μέσα στη θάλασσα. Αυτός είναι ο λόγος που ο ιστός εγκαταστάθηκε σε μια κοντινή βραχονησίδα (Διάπλο). Εξαιτίας της δυσκολίας πρόσβασης στην περιοχή και των τεχνικών προβλημάτων, τα δεδομένα του ιστού θεωρήθηκαν αναξιόπιστα μέχρις ότου έγινε επίσκεψη στον ιστό, επισκευή και αντικατάσταση των οργάνων του. Τα γενικά χαρακτηριστικά του ιστού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Όνομασία ιστού	Πληρότητα μετρήσεων	Υψόμετρο θέσης	Υψόμετρο μετρήσεων	Συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87	
				X	Y
Διάπλος	86,1 %	29 m	10 m / 20 m	122245	4411310

Πίνακας 7.1: Γενικά χαρακτηριστικά του κοντινότερου ανεμολογικού ιστού

7.3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Παρακάτω παρατίθενται τα κύρια αποτελέσματα των μετρήσεων (αναλυτικά αποτελέσματα βρίσκονται στο παράρτημα):

Κατανομή Weibull

Υπενθυμίζεται πως η κατανομή Weibull αποτελεί μια στατιστική κατανομή που περιγράφει την πιθανότητα να καταγραφούν συγκεκριμένες τιμές ταχύτητας ανέμου. Από την κατανομή αυτή μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την πιθανότητα μέγιστων τιμών, καθώς και για την συνολική μέση τιμή των μετρούμενων τιμών. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Weibull δίνεται από την παρακάτω σχέση (Σχέση 2.6):

$$P_{(V)} = \frac{K}{C} \cdot \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^K}$$

όπου $P_{(V)}$ η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου

C η παράμετρος ταχύτητας κατανομής Weibull (παράμετρος κλίμακας), ανάλογη της μέσης ταχύτητας του ανέμου V_m (m/s)

K η μορφολογική παράμετρος (καθαρός αριθμός)

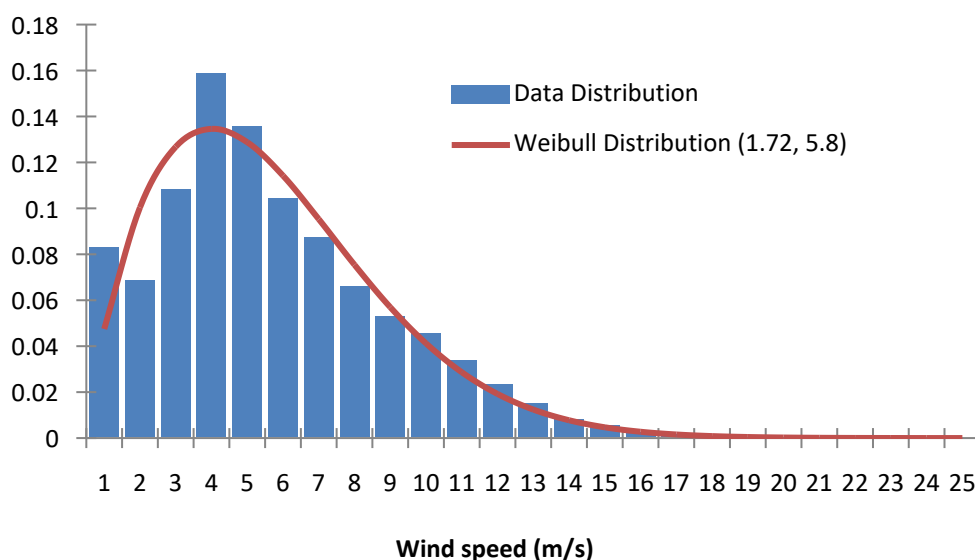
V η ταχύτητα του ανέμου (m/s)

Με βάση τα δεδομένα από τα 10 και 20 m, υπολογίστηκαν οι κατανομές Weibull ως εξής:

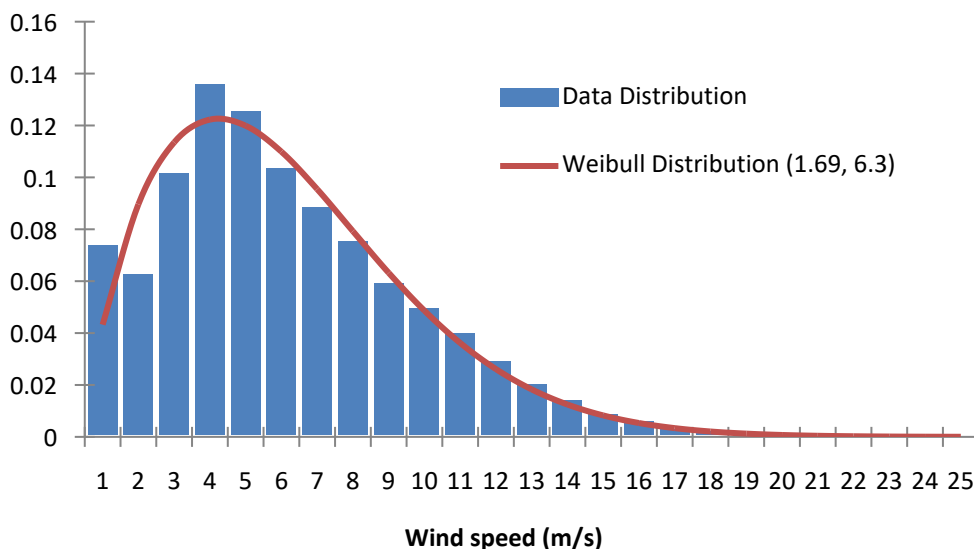
Ύψος μέτρησης	Μέση ταχύτητα 10λέπτου	Μέγιστη μέση ταχύτητα	Μέση τιμή τύρβης στα 10 m/s	Weibull shape (K)	Weibull scale (C)
10 m	5,15 m/s	19,3 m/s	12,6 %	1,72	5,8 m/s
20 m	5,61 m/s	21,1 m/s	10,7 %	1,69	6,3 m/s

Πίνακας 7.2: Εξαγόμενα συμπεράσματα από την κατανομή Weibull

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**



Σχήμα 7.1: Κατανομή Weibull από δεδομένα 10 m

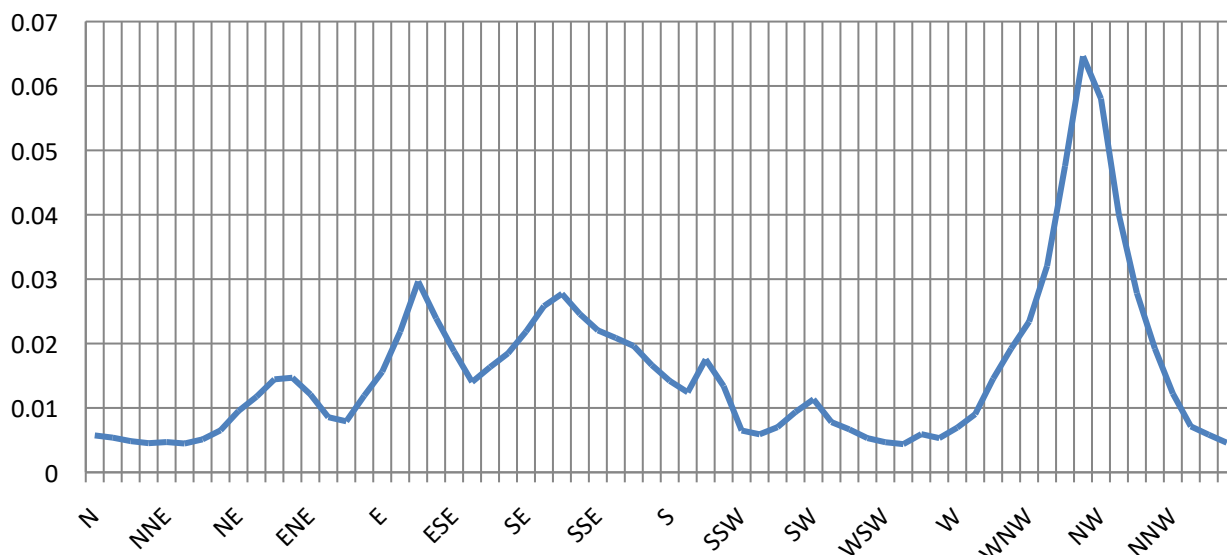


Σχήμα 7.2: Κατανομή Weibull από δεδομένα 20 m

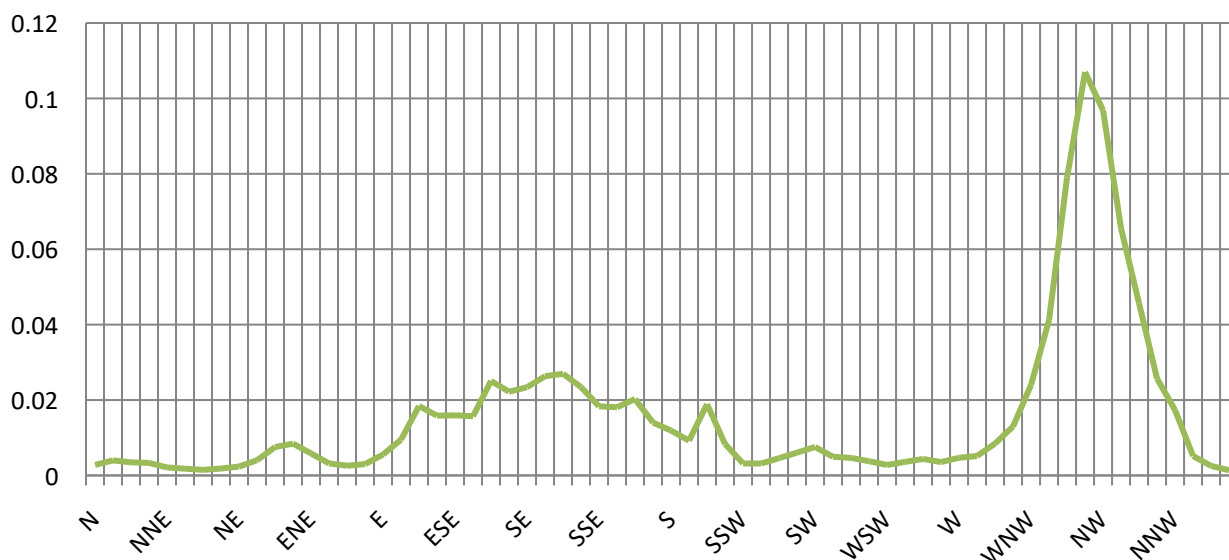
Ανάπτυγμα ροδογράμματος ανέμου

Η μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου γίνεται μόνο στο ύψος των 20 m, οπότε προκύπτει μόνο ένα ανάπτυγμα ροδογράμματος ανέμου από τις μετρήσεις:

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Σχήμα 7.3: Ανάπτυγμα ροδογράμματος ανέμου ως προς το χρόνο



Σχήμα 7.4: Ανάπτυγμα ροδογράμματος ανέμου ως προς την ενέργεια

Κατακόρυφο προφίλ ανέμου

Το κατακόρυφο προφίλ της ταχύτητας του ανέμου αφορά τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου σε διαφορετικά ύψη. Η σχέση που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα WindRose, είναι αυτή του εκθετικού νόμου (Σχέση 2.21): $V_x = V_z \cdot \left(\frac{hx}{hz}\right)^\alpha$

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

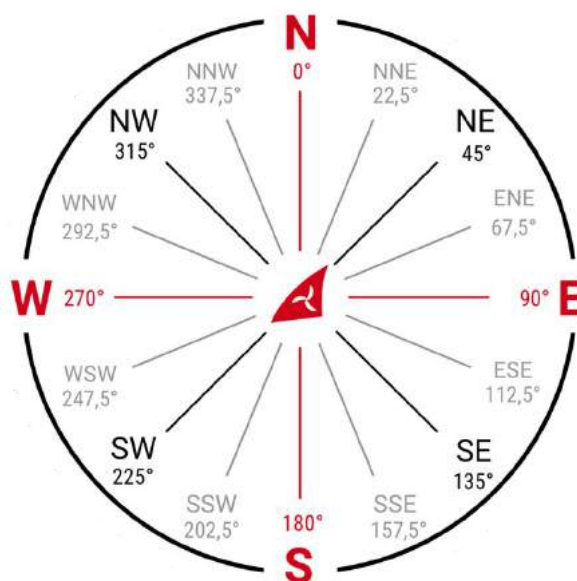
- όπου V_x η ζητούμενη ταχύτητα του ανέμου στο ύψος h_x (m/s)
- V_z η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς h_z (m/s)
- h_x το ύψος στο οποίο αναπτύσσεται η ζητούμενη ταχύτητα V_x (m)
- h_z το ύψος αναφοράς (m)
- α η παράμετρος εκθετικής κατανομής ταχύτητας (καθαρός αριθμός)

Με βάση τις μετρήσεις που έγιναν στα 10 και 20 m, προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα για την κατακόρυφη μεταβολή του ανέμου:

Ύψος	Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου	Μέγιστη τιμή 10λέπτου ταχύτητας ανέμου	Μέγιστη ριπή
10 m	5,2 m/s	19,3 m/s	30,2 m/s
20 m	5,6 m/s	21,1 m/s	42,4 m/s
77,6 m	6,9 m/s	34,8 m/s	-

Πίνακας 7.3: Υπολογισμός ταχύτητας ανέμου στο ύψος της πλήμνης

Για την καταγραφή της κατεύθυνσης του ανέμου συμβουλευόμαστε ένα πρότυπο ανεμολόγιο:



Εικόνα 7.2: Πρότυπο ανεμολόγιο (στην αγγλική γλώσσα) [76]

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

NNE	0,028	SSW	0,124
NE	0,062	SW	0,005
ENE	0,062	WSW	-0,043
E	0,190	W	-0,001
ESE	0,165	WNW	0,081
SE	0,272	NW	0,109
SSE	0,203	NNW	0,185
S	0,173	N	0,056
Συνολική τιμή		0,137	

Πίνακας 7.4: Τιμές συντελεστή α στις κύριες κατευθύνσεις ανέμου

7.4 Ενεργειακοί υπολογισμοί

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του πάρκου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα WindFarm®. Το πρόγραμμα αυτό υπολογίζει την ενέργεια συνυπολογίζοντας ταυτόχρονα την τοπογραφία και τις απώλειες ομόρου. Τελικά τα αποτελέσματα εξάγονται με βάση δεδομένα από 4 διαφορετικές πηγές:

- Διακύμανση του ανέμου λόγω της τοπογραφίας → Οι υψομετρικές διακυμάνσεις καθώς και η τραχύτητα του εδάφους επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου κατά μήκος του αεροδυναμικού πάρκου. Για τον λόγο αυτό, οι υπολογισμοί γίνονται με βάση την ορογραφία του εδάφους, οπότε και υπολογίζεται η ροή του ανέμου σε ολόκληρη την περιοχή υπό εξέταση.
- Χαρακτηριστικά A/G → Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να χρησιμοποιήσει διαφορετικά μοντέλα A/G και να τα τροποποιήσει ανάλογα με τις απαιτήσεις του υπό ανάπτυξη πάρκου. Τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα αφορούν την γεωμετρία της A/G , τις καμπύλες ισχύος και συντελεστή ώθησης καθώς και τις ταχύτητες Cut-in και Cut-out.
- Ανεμολογικά δεδομένα → Η διακύμανση του ανέμου υπολογίζεται για κάθε μία από τις διευθύνσεις. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση την κατανομή Weibull.
- Αναπαράσταση ομόρου → Για τον υπολογισμό της αλληλεπίδρασης μεταξύ των A/G έχει αναπτυχθεί ένα ειδικό μοντέλο που βασίζεται στον συντελεστή ώθησης (C_p) της A/G .

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

7.4.1 Δεδομένα εισόδου

Με βάση την μεθοδολογία που αναλύθηκε παραπάνω τα δεδομένα που χρειάστηκαν για την εκπόνηση της μελέτης αυτής αναλύονται παρακάτω:

Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους με ευκρίνεια 90 m και έκταση 10 km.

Τραχύτητα εδάφους

Βάσει του γεγονότος ότι η περιοχή του πάρκου βρίσκεται στην θάλασσα, η τραχύτητα του εδάφους θεωρήθηκε ομοιογενής και ο συντελεστής $Z_0 = 0,0002$. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός του κατακόρυφου προφίλ του ανέμου, έχει ήδη πραγματοποιηθεί προηγουμένως με βάση τις μετρήσεις στα 10 και 20 m. Η χρήση του μεγέθους αυτού είναι καθαρά για τον υπολογισμό της διακύμανσης του αέρα σε οριζόντιο επίπεδο στην περιοχή του πάρκου.

Ανεμολογικά δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ήδη παρουσιαστεί σε προηγούμενη ενότητα.

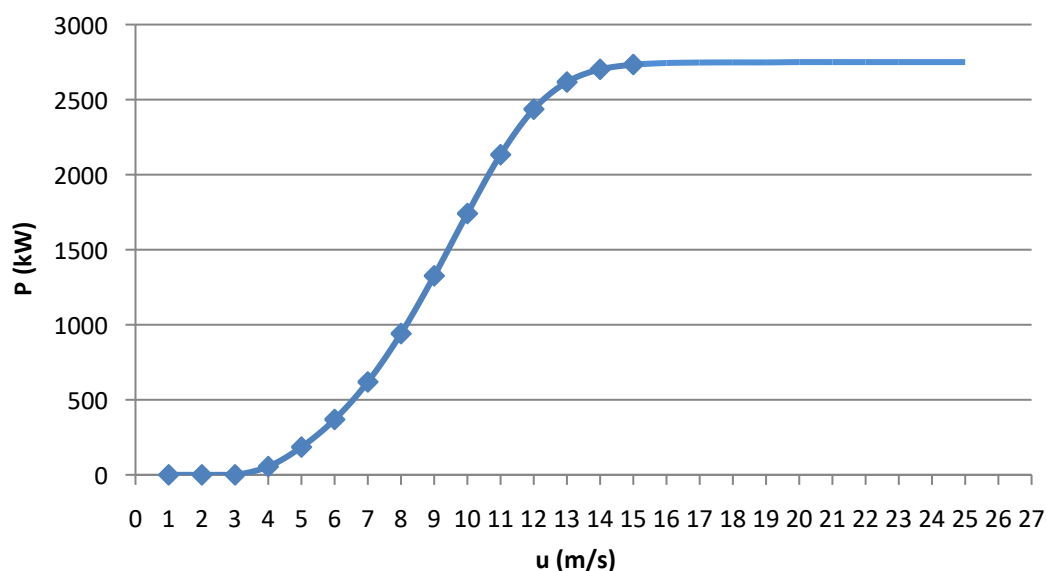
Πυκνότητα ανέμου

Η πυκνότητα του ανέμου εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το υψόμετρο. Το αιολικό πάρκο βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας, οπότε το υψόμετρο είναι μηδενικό και η πυκνότητα θεωρήθηκε $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Α/Γ

Η Α/Γ που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη αυτή είναι η NM92 της κατασκευάστριας εταιρείας NEG Micon (η οποία έχει εξαγοραστεί από την Vestas), με ύψος πυλώνα στα 77,6 m και διάμετρο πτερυγίων 92 m. Η καμπύλη ισχύος της μηχανής αυτής για πυκνότητα αέρα $1,225 \text{ kg/m}^3$ φαίνεται στο ακόλουθο σχετικό διάγραμμα:

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Σχήμα 7.5: Καμπύλη ισχύος Α/Γ τύπου NM92

U (m/s)	P (KW)	U (m/s)	P (KW)
1	0	14	2702
2	0	15	2734
3	0	16	2744
4	55	17	2747
5	185	18	2748
6	369	19	2748
7	619	20	2750
8	941	21	2750
9	1326	22	2750
10	1741	23	2750
11	2133	24	2750
12	2436	25	2750
13	2617		

Πίνακας 7.5: Πρότυπες μετρήσεις εξαγωγής της καμπύλης ισχύος Α/Γ τύπου NM92

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

Θέσεις Α/Γ

Οι ακριβείς συντεταγμένες των 11 Α/Γ του έργου κατά τα συστήματα ΕΓΣΑ 87 και WGS 84 παρατίθενται παρακάτω:

Α/Γ	ΕΓΣΑ 87		WGS 84	
	X	Y	Longitude (Γεωγραφικό μήκος)	Latitude (Γεωγραφικό πλάτος)
1	114291	4410577	19.49968013	39.76043817
2	114791	4410577	19.5054993	39.76066409
3	114471	4409798	19.5022311	39.75352232
4	114971	4409798	19.50804972	39.75374808
5	115471	4409798	19.5138684	39.75397356
6	115971	4409798	19.51968714	39.75419875
7	117234	4409655	19.53446869	39.75348174
8	115582	4409016	19.51561653	39.74699927
9	116082	4409016	19.5214347	39.74722434
10	116582	4408975	19.5272768	39.74708083
11	116700	4408308	19.52903791	39.74114239

Πίνακας 7.6: Συντεταγμένες των Α/Γ του έργου κατά τα συστήματα ΕΓΣΑ 87 και WGS 84

Μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων με το λογισμικό πρόγραμμα WindFarm®, τα αποτελέσματα που εξάγονται αφορούν τη διακύμανση της ροής του ανέμου στην υπό εξέταση περιοχή και για διάφορα υψόμετρα από την επιφάνεια του εδάφους, καθώς και την ενεργειακή παραγωγή του πάρκου.

7.4.2 Ετήσια ενεργειακή παραγωγή

Με βάση τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε προηγουμένως, υπολογίστηκε η ετήσια παραγωγή ενέργειας του πάρκου.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Α/Γ	Μέση ταχύτητα	Επίδραση τοπογραφίας	Απώλειες ομόρου	Ενεργειακή παραγωγή (KWh/έτος)	Συντελεστής φόρτου ή χρησιμοποίησης
1	6,79 m/s	6,92	-3,06	7.256.400	30,12 %
2	6,2 m/s	-9,61	-3,50	6.106.200	25,35 %
3	6,46 m/s	-3,47	-2,24	6.606.300	27,42 %
4	6,23 m/s	-6,87	-5,07	6.189.400	25,69 %
5	6,33 m/s	-4,00	-5,88	6.325.600	26,26 %
6	6,45 m/s	-2,78	-3,57	6.563.400	27,25 %
7	6,48 m/s	-3,97	-0,90	6.662.600	27,66 %
8	6,37 m/s	-3,46	-5,21	6.406.300	26,59 %
9	6,37 m/s	-2,67	-6,57	6.366.000	26,43 %
10	6,4 m/s	-2,45	-5,56	6.449.600	26,77 %
11	6,42 m/s	-2,16	-5,08	6.501.100	26,99 %
Σύνολο	6,41 m/s (Μέσος όρος)	-3,14 (Μέσος όρος)	-4,24 (Μέσος όρος)	71.432.900 (Άθροισμα)	26,96 % (Μέσος όρος)

Πίνακας 7.7: Ενεργειακή παραγωγή του μελετηθέντος ΥΑΠ

7.4.3 Υπολογισμός απωλειών

Η συνολική ετήσια παραγωγή του πάρκου υπολογίστηκε στις 71.432.900 KWh. Για τον υπολογισμό της ενέργειας που θα διοχετεύεται από το πάρκο στον διαχειριστή του συστήματος, πρέπει να ληφθούν υπόψιν πρόσθετες απώλειες. Για τη συγκεκριμένη μελέτη συνυπολογίστηκαν οι ακόλουθες παράμετροι:

- Διαθεσιμότητα Α/Γ → Η κατασκευάστρια εταιρεία των μηχανών, εγγυάται 95 % διαθεσιμότητα των Α/Γ της, υπό την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι κανόνες του συμβολαίου για το εκάστοτε αιολικό πάρκο. Σε περίπτωση που δεν επιτυγχάνεται η διασημότητα αυτή, καταβάλλεται αποζημίωση.
- Απώλειες μεταφοράς ηλεκτρικού φορτίου → Βάσει της μελέτης ηλεκτρικής διασύνδεσης για το συγκεκριμένο πάρκο η διασύνδεση του πάρκου με τον υποσταθμό, ο οποίος θα βρίσκεται στην Κέρκυρα, θα γίνει με γραμμή μέσης τάσης (20 KV). Στη συνέχεια ο υποσταθμός θα συνδέεται με το δίκτυο μέσω γραμμής 150 KV. Οι ενεργειακές απώλειες

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

συμπεριλαμβάνουν απώλειες γραμμών μεταφοράς και υποσταθμού και υπολογίστηκαν στο 5 %.

- Απώλειες δικτύου → Υπό τον όρο «απώλειες δικτύου» συμπεριλαμβάνονται οι διακοπές λειτουργίας λόγω συντήρησης του δικτύου, διακοπές ρεύματος, καθώς και οποιοδήποτε εξωτερικοί παράγοντες που έχουν σαν αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας. Ο συνολικός χρόνος που το δίκτυο θα είναι εκτός λειτουργίας, δεν υπάρχει τρόπος να υπολογιστεί. Βασιζόμενοι στην εμπειρία και στο γεγονός ότι πιθανές διακοπές στην συγκεκριμένη γραμμή θα επηρεάσουν ολόκληρο το νησί της Κέρκυρας, οι απώλειες θεωρήθηκαν 1,5 %.
- Καθυστέρηση επαναλειτουργίας Α/Γ → Για τον συγκεκριμένο τύπο Α/Γ, η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας είναι 25 m/s, ενώ για την επαναλειτουργία της μηχανής η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να πέσει κάτω από 22 m/s. Η διαφορά αυτή δημιουργεί απώλειες ενέργειας της τάξης του 1,8 %.

Μικτή παραγόμενη ενέργεια (KWh/έτος)	71.432.900
Απώλειες λόγω διαθεσιμότητας Α/Γ (KWh/έτος)	3.571.645
Απώλειες μεταφοράς ηλεκτρικού φορτίου (KWh/έτος)	3.571.645
Απώλειες λόγω διακοπών δικτύου (KWh/έτος)	1.071.493,5
Απώλειες λόγω καθυστέρησης επανεκκίνησης (KWh/έτος)	1.285.792,2
Καθαρή παραγόμενη ενέργεια (KWh/έτος)	61.932.324,3
Συντελεστής φόρτου ή χρησιμοποίησης	23,37 %

Πίνακας 7.8: Αποτύπωση ενεργειακών απωλειών και ολικής καθαρής ενεργειακής παραγωγής ετησίως

7.5 Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάστηκε το Α/Δ της περιοχής του υπό ανάπτυξη ΥΑΠ και η εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής του. Οι κυριότερες παρατηρήσεις είναι οι εξής:

- Παρουσιάστηκαν δεδομένα ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου για μια περίοδο ενός έτους. Η μέση ταχύτητα στο ύψος της πλήμνης (77,6 m) υπολογίστηκε στα 6,9 m/s και με κύρια διεύθυνση τη βορειοδυτική (NW).
- Η μέση τιμή της τύρβης για ταχύτητα ανέμου 10 m/s και για ύψος 20 m υπολογίστηκε στα 10,7 %.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

- Με βάση τις μετρήσεις στα 10 και 20 m, υπολογίστηκε το κατακόρυφο προφίλ του ανέμου με εκθετικό συντελεστή $\alpha = 0,137$.
- Η καθαρή συνολική παραγωγή του πάρκου εκτιμάται στις 61.932.324,3 KWh/έτος, με συνολικό συντελεστή φόρτου-χρησιμοποίησης 23,37 %.
- Συμβουλευόμενοι [σχετική μελέτη](#) της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ), σύμφωνα με την οποία η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά νοικοκυριό ανέρχεται στα 3.750 KWh, υπολογίζεται ότι η λειτουργία του έργου μπορεί κατά προσέγγιση να εξυπηρετήσει ετησίως $\frac{61.932.324,3 \text{ KWh}}{3.750 \text{ KWh}} = 16.515$ νοικοκυριά.

Υπενθυμίζεται ότι παρατίθενται αναλυτικότερα στοιχεία στο σχετικό παράρτημα.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ι.Ι. Γελεγένης, Π.Ι. Αζαόπουλος, «Πηγές Ενέργειας: Συμβατικές και Ανανεώσιμες». Σύγχρονη Εκδοτική, 2005
- [2] Ι.Κ. Καλδέλλης, «Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας». Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, 2η έκδοση, 2005
- [3] <http://www.hellasres.gr/Greek/giati-ape/giati-ape.htm>
- [4] https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82_%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82
- [5] <https://library.wwindea.org/global-statistics/>
- [6] <https://eletaen.gr/hwea-wind-statistics/>
- [7] <https://www.helmepacadets.gr/files/YperaktiaAiolikaParka.pdf>
- [8] <https://m.naftemporiki.gr/story/1443809/i-uperaktia-aioliki-energeia-tha-ginei-pio-antagonistiki-apo-ti-xersaia>
- [9] <https://www.nasa.gov/topics/earth/features/quikscat-20080709.html>
- [10] <https://www.4coffshore.com/windfarms/>
- [11] Δ.Β. Κανελλόπουλος, «Αιολική Ενέργεια: Σχεδιάζοντας στις Αυλές των Ανέμων», Εκδόσεις Ίων, 2008
- [12] T.J. Dolan, “Magnetic Fusion Technology”, Springer Publication, 2014
- [13] Α.Σ. Αλεξιάκης, «Αιολική Ενέργεια: Φύση και Πολιτισμός», Εκδόσεις Μιχάλη Σιδέρη, 2001
- [14] P.A. Lynn, “Onshore and Offshore Wind Energy: An Introduction”, Wiley Publications, 2011
- [15] <https://sites.google.com/site/imm1bbarbara20172018/home/geografia/unit-2/cross-curricular-project-1>
- [16] <http://www.rae.gr/geo/?tab=panel-1386>

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

- [17] Β.Δ. Μπιζιώνης, Δ.Β. Μπιζιώνης, «Ηλιακή & Αιολική Ενέργεια: Θεωρία & Εφαρμογές», Εκδόσεις Τζιόλα, 2015
- [18] https://mesonet.agron.iastate.edu/sites/windrose.phtml?network=GR__ASOS&station=L GAV
- [19] <https://scarlet-tech.com/know-how-pick-a-perfect-anemometer/>
- [20] http://www.istos-lab.gr/measuring_equipmentb.aspx
- [21] F. Castellani, D. Astolfi, M. Peppoloni, F. Natili, D. Butta, A. Hirschl “Experimental Vibration Analysis of a Small Scale Vertical Wind Energy System for Residential Use”, MDPI, May 2019
- [22] J.F. Manwell, J.G. McGowan, A.L. Rodgers, «Wind Energy Explained: Theory, Design, and Application”, 2nd Edition, Wiley Publications, 2002
- [23] J.F. Walker, N. Jenkins, (μετάφραση Η. Μακρή, επιμέλεια Ι. Βελαώρας), «Αιολική Ενέργεια και Ανεμογεννήτριες», Εκδόσεις Ίων, 2007
- [24] http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm
- [25] H.J. Wagner, J. Mathur, “Introduction to Wind Energy Systems: Basics, Technology and Operation”, Springer Publications, 2nd Edition, 2013
- [26] <https://sites.lafayette.edu/egrs352-sp14-wind/technology/>
- [27] <http://www.cleanenergybrands.com/shoppingcart/knowledgemanager/questions/157/101+renewable+-+small+wind+turbines>
- [28] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi, “Wind Energy Handbook”, Wiley Publications, 2001
- [29] <https://www.bbc.com/news/science-environment-53909825>
- [30] <https://www.letsgosolar.com/consumer-education/solar-power-wind-power/>
- [31] <https://www.reuters.com/article/us-climate-change-denmark-windpower/denmark-sources-record-47-of-power-from-wind-in-2019-idUSKBN1Z10KE>
- [32] <https://mip.pmi.org/vindeby-offshore-wind-farm>
- [33] <https://www.energia.gr/article/166840/hornsea-one-to-hn-vasileio-deihnei-to-dromo-gia-thn-apanthrakopoihsh-ths-hlektroparagogs->

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

- [34] E. Hau, "Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics", 2nd Edition, Springer Publications, 2006
- [35] http://www.aquaret.com/indexc903.html?option=com_content&view=article&id=160&Itemid=303&lang=en
- [36] S. Rodrigues, C. Restrepo, G. Katsouris, R.T. Pinto, M. Soleimanzadeh, P. Bosman, P. Bauer, "A Multi-Objective Optimization Framework for Offshore Wind Farm Layouts and Electric Infrastructures", MDPI, 18 March 2016
- [37] E. Dornhelm, H. Seyr, M. Muskulus, "Vindby-A Serious Offshore Wind Farm Design Game", MDPI, April 2019
- [38] <https://www.offshorewind.biz/2014/08/07/video-installation-of-borkum-riffgrund-foundations>
- [39] <https://www.smulders.com/en/blyth>
- [40] <http://www.foundocean.com/en/media-centre/news/foundocean-mobilises-to-ormonde-offshore-windfarm/>
- [41] https://www.nwzonline.de/wirtschaft/bard-gruppe-plant-entlassungen_a_8,3,360921180.html
- [42] <https://www.power-technology.com/projects/borkum-farm/attachment/borkum-farm1/>
- [43] "Floating Offshore Wind Vision Statement", WindEurope, June 2017
- [44] <https://www.equinor.com/en/news/worlds-first-floating-wind-farm-started-production.html>
- [45] <https://www.powermag.com/floating-platforms-are-an-offshore-wind-gamechanger/>
- [46] Θ. Συρίδου, «Μελέτη Εγκατάστασης Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στην Αλεξανδρούπολη», Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Απρίλιος 2018
- [47] http://www.icewind.dtu.dk/section/wp_1
- [48] <https://www.abfad.co.uk/project/monopile/>
- [49] Q. Wei, B. Wu, D. Xu, N.R. Zargari, "Overview of Offshore Wind Farm Configurations" (IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 93, 2017 International Conference on New Energy and Future Energy System), IOP Publishing, 22-25 September 2017

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

- [50] https://uk.ramboll.com/projects/re/thanet_offshore_wind_farm
- [51] <https://www.electricaltechnology.org/2018/02/submarine-cables-subsea-power-cables.html>
- [52] <http://renewableenergyfederation.blogspot.com/2014/02/subsea-cables-bring-offshore-wind-power.html>
- [53] <https://ocean-energyresources.com/2020/05/21/seamade-export-cables-ready-to-deliver/>
- [54] <http://www.windpowerphotos.com/webb-ys-w/yssid/029.htm>
- [55] <http://www.aero-news.net/index.cfm?do=main.textpost&id=7e6ee410-51a8-4a1f-94fc-43bc068cc7f0>
- [56] <https://www.se.com/gr/el/work/solutions/for-business/electric-utilities/power-generation/wind-power.jsp>
- [57] O. Anaya-Lara, J.O. Tande, K. Uhlen, K. Merz, "Offshore Wind Energy Technology", Wiley Publications, 2018
- [58] S.M.A. Alagab, "DC-DC Converter for Power Collection in Wind Farms", Staffordshire University, September 2019
- [59] T. Ackermann, "Wind Power in Power Systems", Wiley Publications, 2005
- [60] Α.Α. Κατσίρος, «Τεχνολογία και Ανάπτυξη Παράκτιων Αιολικών Πάρκων και Τρόποι Διασύνδεσής τους στο Δίκτυο της ΔΕΗ», Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Σεπτέμβριος 2013
- [61] https://www.offshorewindenergy.org/CA-OWEE/expert_guides/Technology_of_OWE.html
- [62] 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
- [63] M.D. Esteban, J.J. Diez, J.S. Lopez, V. Negro, "Why Offshore Wind Energy?" (Renewable Energy, Volume 36, Issue 2, pages 444-450), Elsevier, February 2011
- [64] Κ. Χατζημίρος, «Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα στην Προοπτική του 2050» (6ο Πανελλήνιο Συνέδριο: Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών), ΕΜΠ, 24-27 Νοεμβρίου 2014
- [65] <https://windeurope.org/about-us/>

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

- [66] L. Ramirez, D. Fraile, G. Brindley, R. O’Sullivan, L. Miro, L. Van de Velde “Offshore Wind in Europe: Key trends and Statistics 2020”, WindEurope, February 2021
- [67] A. Nghiem, I. Pineda, P. Tardieu, L. Van de Velde, “Wind Energy in Europe: Scenarios for 2030”, WindEurope, September 2017
- [68] K. Freeman, C. Frost, G. Hundleby, A. Roberts, B. Valpy, H. Holtinen, L. Ramirez, I. Pineda, C. Walsh, L. Van de Velde, “Our Energy, Our Future: How Offshore Wind Will Help Europe Go Carbon-Neutral”, WindEurope, November 2019
- [69] S. Spyridonidou, D.G. Vagiona, E. Loukogeorgaki, “Strategic Planning of Offshore Wind Farms in Greece”, MDPI, January 2020
- [70] <https://energypress.gr/news/synenteyxi-pineda-windeurope-stin-ellada-prepei-na-aplopoiithe-i-adeiodotisi-ton-ape-gia-na>
- [71] <https://energypress.gr/news/horothetisi-thalassion-aiolikon-parkon-ston-elliniko-horomia-proseggisi-me-vasi-tin-tehnologia>
- [72] Ι. Κρητικός, Κ. Γκαράκης, «Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα στην Ελλάδα: Υπάρχουν Προοπτικές», 11ο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας (Θεσσαλονίκη), 14-16 Μαρτίου 2018
- [73] <http://www.lagie.gr/systema-eggyimenon-timon/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/aiolika-stin-xira/aiolika-parka-sti-thalassa/>
- [74] <https://geo.rae.gr/>
- [75] <https://www.4coffshore.com/windfarms/greece/>
- [76] <https://www.windfinder.com/wind/windspeed.htm>

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

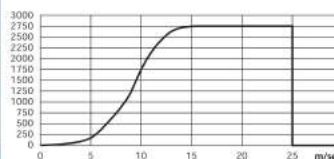
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Α/Γ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΙΣΤΟΥ (10 και 20 m)



Technical data

Operating data	NM92
Nominal output	2750 kW
Output regulation	PRVS
Nominal wind speed	14 m/sec
Cut-in at	4 m/sec
Cut-out at	25 m/sec
Rotor	
Rotor diameter	92 m
Swept area	6648 m ²
Number of blades	3
Rotor revolutions	15.6 rpm
Brake system	
Blade brakes	Each blade can be pitched individually, and each has its own back-up system
Disc brakes	One unit mounted on the high-speed shaft
Drive train	
Gear type	3 step planetary/helical hybrid
Gear ratio	1:70.65
Main shaft	Forged shaft and flange
Main bearing	Spherical roller bearing
Cooling	Oil cooling with pump
Generator	
Type	Double-fed asynchronous generator
Voltage - stator	960 V
Voltage - rotor	690 V
Nominal frequency	50 Hz
Rated power	2750 kW
Cooling	Water
Yaw system	
Type	Double ball race with internal gearing
Yaw brakes	5 hydraulic brake callipers
Yaw motor/gears	5 electrically driven planetary gears
Tower	
Type	Conical steel tower, painted
Hub height	70 m or depending on location
Control	
Type	Computer controlled
Cut-in system	Soft with frequency converters
Remote monitoring	Modem
Lightning protection	
	Superstructure to most recent international norms.

Power curve
kW NM92/2750



Note that the power curve has been given at standard atmosphere in accordance with DIN ISO 2533. Note that rotor and hub heights have been approved for selected countries and wind classes - please call us to obtain further information. NEG Micon A/S reserves the right to alter specifications and change components without previous notice. Any new components will at all times be of the same high quality and standard as those indicated above.



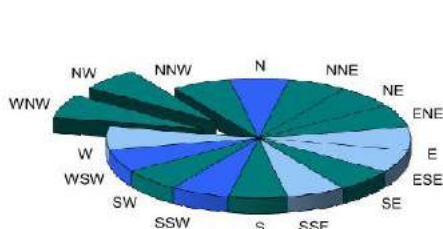
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Result Diaplos Kerkura 10 m

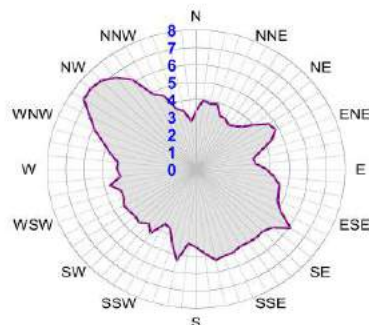
Measurements Period : from 01/06/2007 to 13/06/2008

Mean Annual Wind Speed (at 10m height)	5.15 m/s	(general mean= 5.2 m/s)
Mean Turbulence Intensity (at 10m/s)	12.6 %	
Max. 10min Average Wind Speed	19.3 m/s	(14/11/2007 08:20)
Maximum Gust	30.2 m/s	(26/09/2007 04:40)
Uncertainty of Wind Speed measurement	0.2 m/s	
Mean Wind Power	195.4 Watt/m ²	
Total Wind Energy	1530.0 kWh/m ²	
Weibull Distribution constants		
shape factor (k)	1.72	
scale factor (C)	5.8 m/s	
Total number of valid data	46977	
Included number of calms (<2m/s)	7110	
Missing data	7599 (13.9%)	
Expected W.T. energy production	6,537,204.5 kWh	(NM 92)
W.T. Capacity Factor	30.4 %	($\rho_{ave}=1.220\text{kg/m}^3$)
Calc. Annual Mean Wind Speed at 77.6m height	6.8 m/s	(general m€ 6.9 m/s)
WT Annual Energy Production & cap. factor		
calculated from data distribution	7,287,438.5 kWh	30.23 %
calculated from Weibull distribution	7,168,393.5 kWh	29.74 %
Best Sector in Energy contain	NW	35.83 %
2nd best Sector in Energy contain	WNW	12.96 %
Best Sector in Time distribution	NW	20.51 %
2nd best Sector in Time distribution	WNW	10.56 %

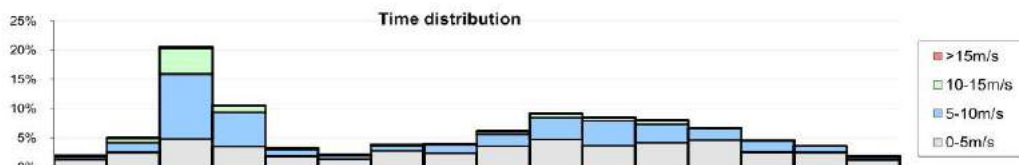
Main Directions



Mean Wind Speed variation

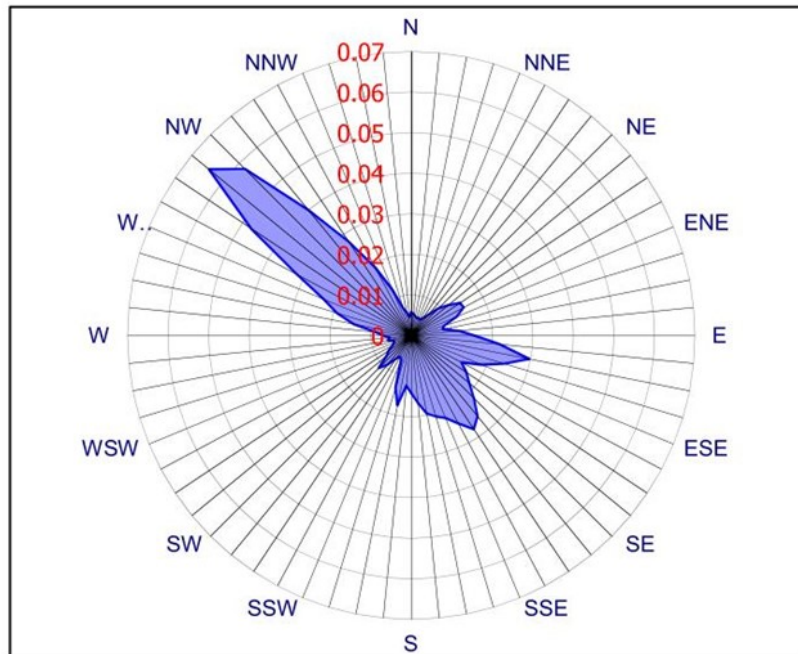


Time distribution

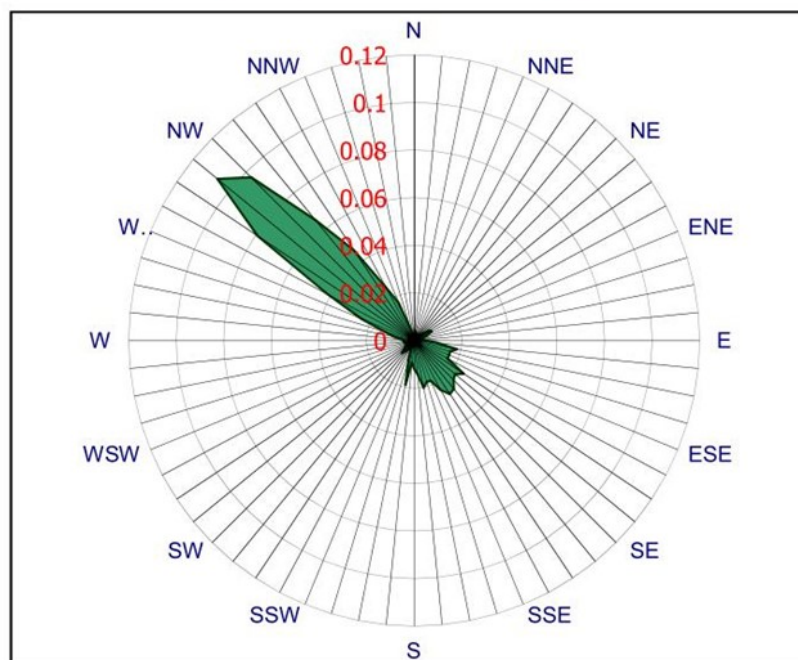


ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Wind Rose based on Time

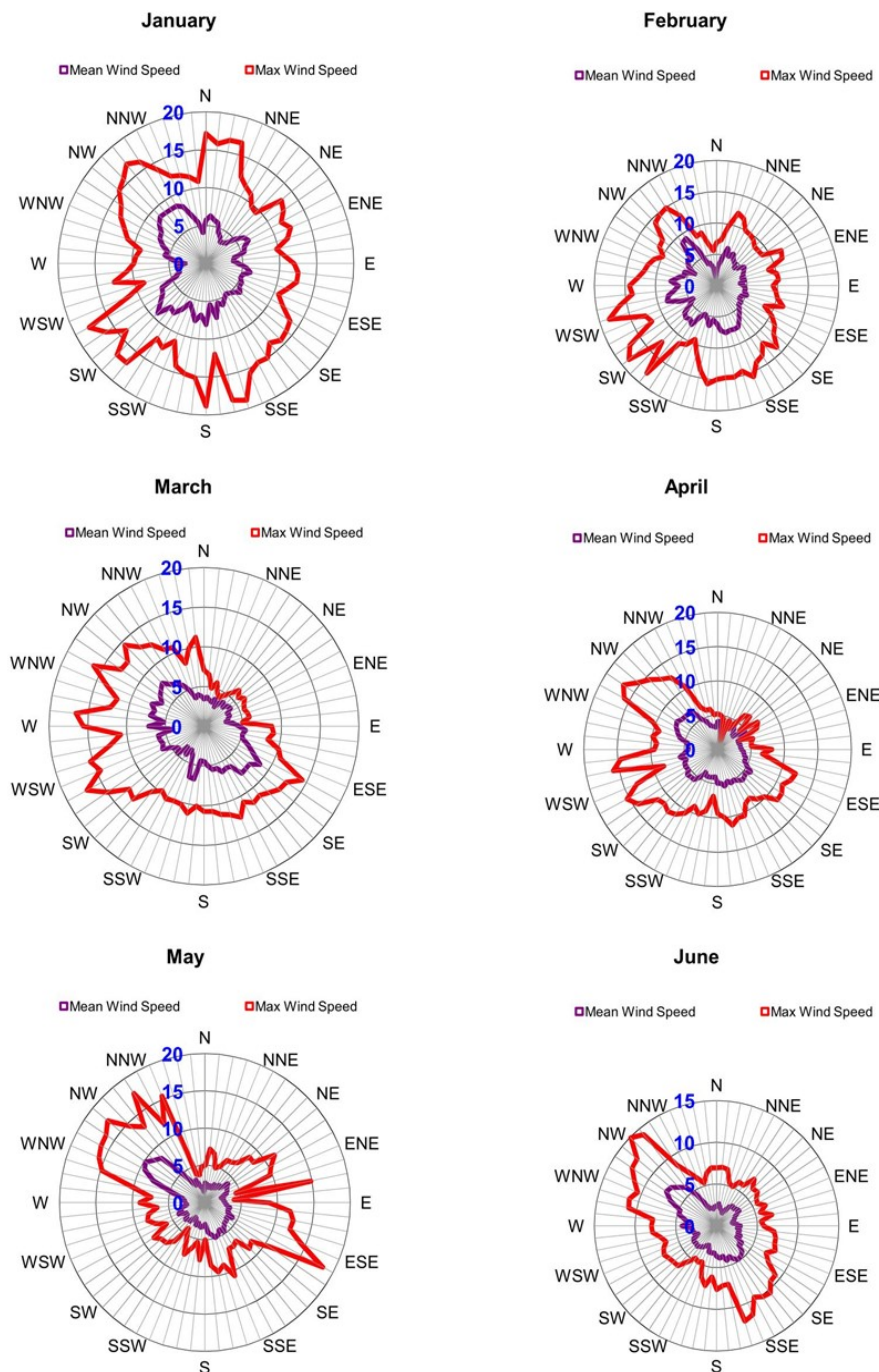


Wind Rose based on Energy



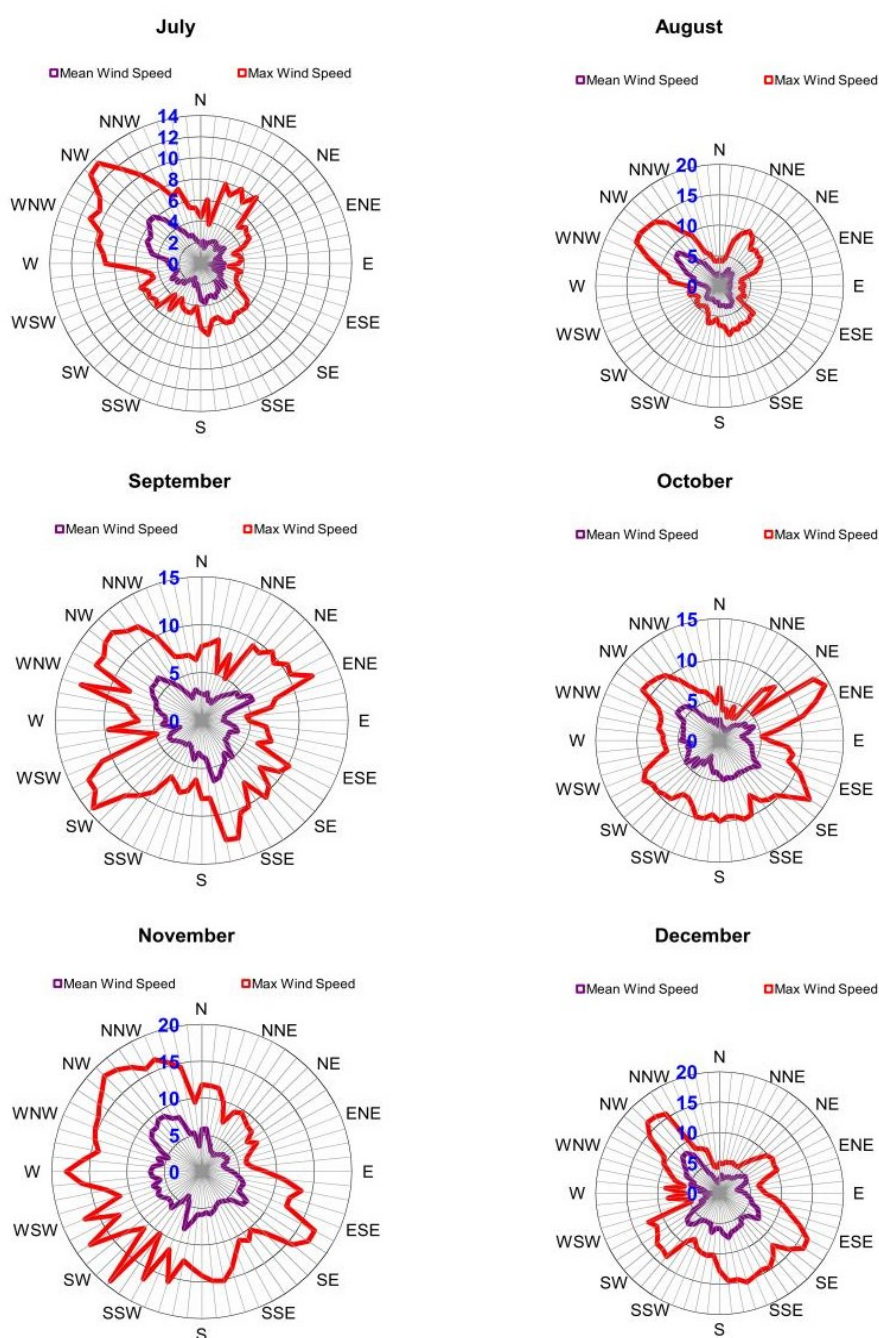
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Mean & max (10min) wind speed per direction



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Mean & max (10min) wind speed per direction



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Turbulence Intensity (%) vs Wind Speed & Wind Direction

m/s	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
5-6	15	13	12	15	17	20	19	17	21	16	12	13	11	11	18	17
6-7	17	12	11	15	17	20	18	17	21	16	14	12	10	11	17	16
7-8	15	11	10	14	17	20	19	18	21	16	12	11	10	10	17	15
8-9	13	11	10	15	17	20	19	19	20	16	14	12	10	10	16	15
9-10	11	10	9	14	17	20	19	19	21	17	11	13	9	10	16	14
10-11	11	9	9	16	17	19	18	18	20	15	14	12	9	10	15	12
11-12	10	10	9	16	16	20	19	18	20	15	11	13	9	10	15	13
12-13	9	11	11	14	16	20	19	19	21	12	11	12	10	10	15	9
13-14		7	9	14	16	20	19	18	19	13	11	12	9	11	15	10
14-15			11		17	20	18	19	19	19	10	13	9	11	15	10
15-16	9					19	16	20	19	16	9	14	10	11	15	10
16-17	9				17	20	19	20	21	16	9	17	10	11	14	
17-18					14	16	16	19		13	9	10		12		10
18-19					13		16	19		14	11	11		10		
19-20										20						
20-21																
21-22																
22-23																
23-24																
24-25																
25-																

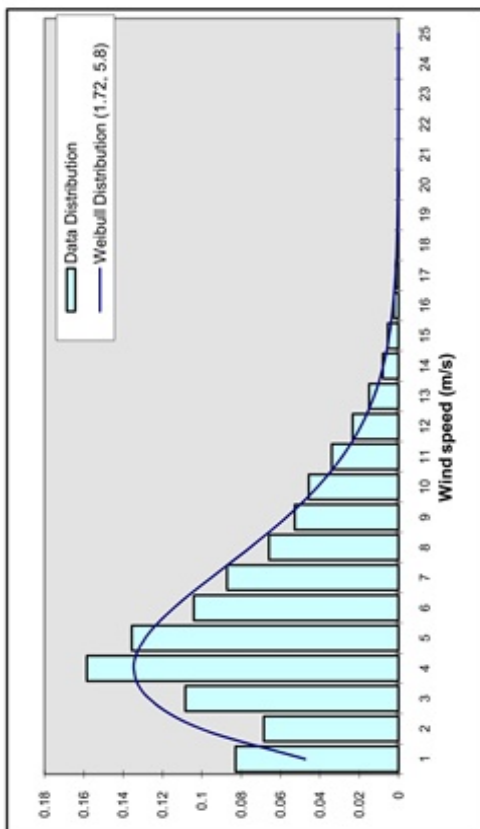
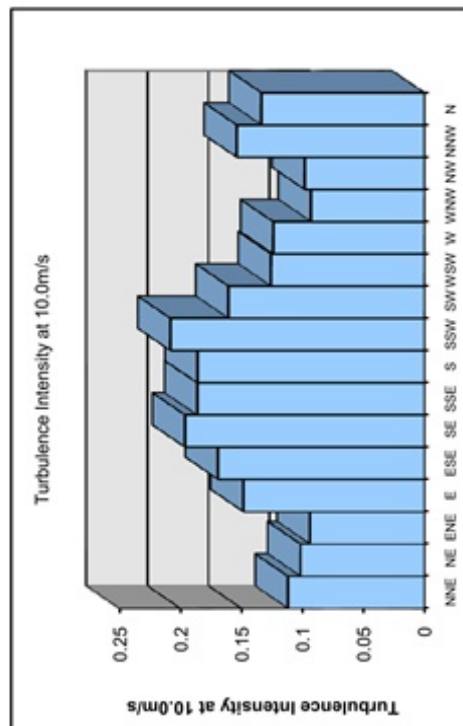
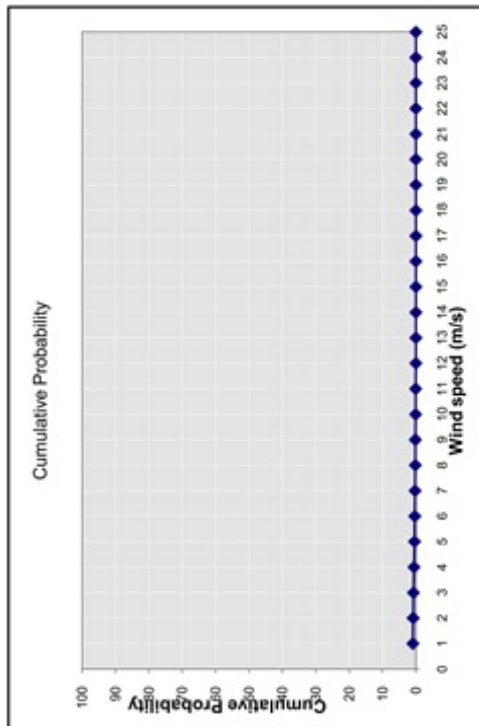
Data distribution vs Wind Speed & Wind Direction

m/s	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	totals
0-1	209	216	259	305	313	261	171	179	195	173	145	217	303	314	369	264	3893
1-2	165	193	179	241	216	264	194	209	218	171	118	168	152	249	300	180	3217
2-3	210	273	288	478	418	335	371	334	329	345	146	196	301	466	403	200	5093
3-4	184	430	390	788	686	504	697	563	383	530	216	293	538	699	359	188	7448
4-5	117	286	323	585	567	615	808	507	228	233	182	246	551	745	239	138	6370
5-6	51	175	275	346	463	523	613	358	150	84	109	144	541	817	191	53	4893
6-7	28	109	209	244	351	492	442	218	109	64	40	115	550	931	152	43	4097
7-8	27	75	172	97	159	340	231	106	121	68	42	86	433	995	101	44	3097
8-9	35	51	87	60	129	196	135	84	146	45	35	58	401	877	107	35	2481
9-10	41	23	47	30	142	146	78	77	63	58	20	43	414	823	112	26	2143
10-11	24	6	30	17	108	103	92	69	48	47	18	39	186	676	109	19	1591
11-12	11	3	15	16	100	66	66	61	12	28	18	28	116	466	78	14	1098
12-13	5	2	5	4	42	40	63	48	7	20	30	18	78	294	44	5	705
13-14		1	1	1	14	17	39	15	4	10	7	8	40	170	42	3	372
14-15			2		10	16	18	9	3	7	4	3	29	129	28	2	260
15-16	2					3	5	3	1	4	3	3	26	40	15	4	109
16-17	2				2	2	1	3	1	4	4	2	7	35	3		66
17-18					1	1	3	2		3	6	1		12		1	30
18-19					1		4	2		2	1	1		2			13
19-20										1							1
20-21																	
21-22																	
22-23																	
23-24																	
24-25																	
25-																	
totals	1111	1843	2282	3212	3722	3924	4031	2847	2018	1897	1144	1669	4666	8740	2652	1219	46977

Max. successive wind vane rotations

counter-clockwise (E-N-W) 0.4
clockwise (W-N-E) 43.3

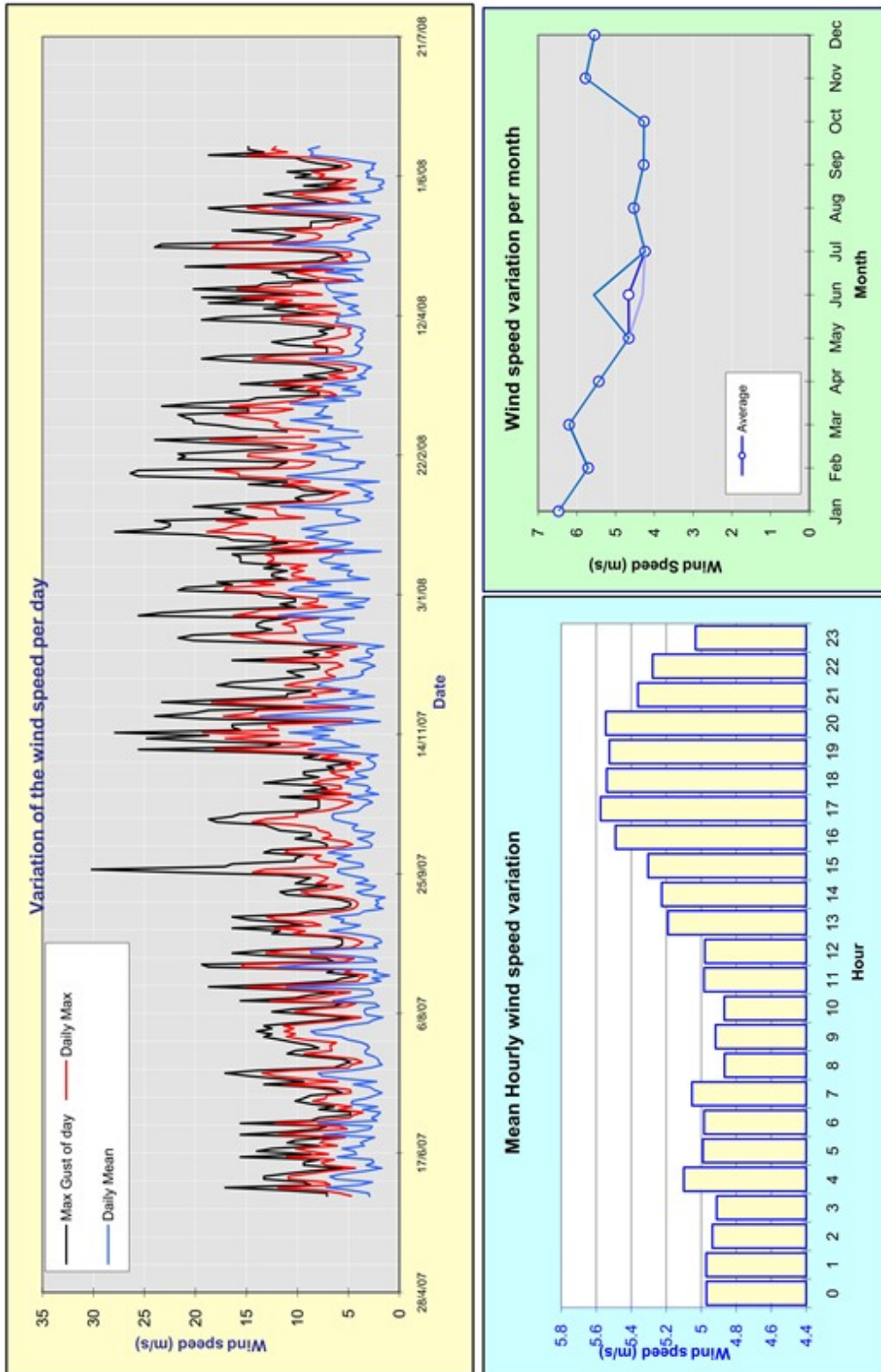
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Direction	Angles (deg)	Weibull shape	Weibull scale	Data Distrib	Mean Wind Speed (m/s)	T.I. at 10m/s
NNE	11.25 - 33.75	1.27	3.75	2.36%	3.5	11.2
NE	33.75 - 56.25	1.78	4.17	3.92%	3.7	10.1
ENE	56.25 - 78.75	1.94	5.00	4.86%	4.3	9.4
E	78.75 - 101.25	1.81	4.26	6.84%	3.9	14.8
ESE	101.25 - 123.75	1.78	5.46	7.92%	4.9	16.9
SE	123.75 - 146.25	1.99	5.98	8.35%	5.2	19.6
SSE	146.25 - 168.75	1.77	5.67	8.58%	5.1	18.6
S	168.75 - 191.25	1.58	5.17	6.06%	4.8	18.6
SSW	191.25 - 213.75	1.69	4.88	4.30%	4.3	20.8
SW	213.75 - 236.25	1.16	3.96	4.04%	4.2	16.0
WSW	236.25 - 258.75	1.20	4.43	2.44%	4.4	12.6
W	258.75 - 281.25	1.49	4.83	3.55%	4.4	12.4
WNW	281.25 - 303.75	2.13	6.94	9.93%	6.1	9.3
NW	303.75 - 326.25	2.34	8.09	18.60%	7.1	9.8
NNW	326.25 - 348.75	1.44	5.34	5.65%	4.7	15.4
N	348.75 - 11.25	1.24	3.70	2.59%	3.4	13.3

® WindRose, Registered to EN.TE.KA A.E.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



© WindRose, Registered to EN.TE.KA A.E.

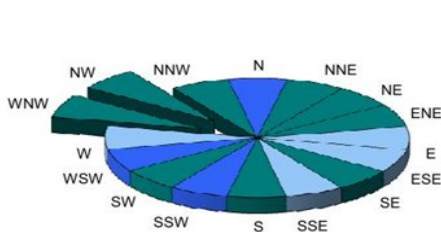
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Result Diaplos Kerkura 20 m

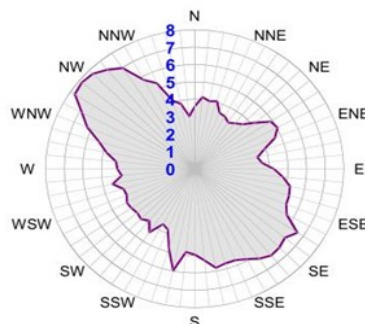
Measurements Period : from 01/06/2007 to 13/06/2008

Mean <u>Annual</u> Wind Speed (at 20m height)	5.61 m/s	(general mean= 5.6 m/s)
Mean Turbulence Intensity (at 10m/s)	10.7 %	
Max. 10min Average Wind Speed	21.1 m/s	(25/01/2008 23:10)
Maximum Gust	42.4 m/s	(16/02/2008 00:10)
Uncertainty of Wind Speed measurement	0.2 m/s	
Mean Wind Power	254.1 Watt/m²	
Total Wind Energy	1989.2 kWh/m²	
Weibull Distribution constants		
shape factor (k)	1.69	
scale factor (C)	6.3 m/s	
Total number of valid data	46974	
Included number of calms (<2m/s)	6407	
Missing data	7602 (13.9%)	
Expected W.T. energy production	6,569,724.5 kWh	(NM 92)
W.T. Capacity Factor	30.5 %	($\rho_{ave}=1.220\text{kg/m}^3$)
Calc. <u>Annual</u> Mean Wind Speed at 77.6m height	6.9 m/s	(general mε 6.9 m/s)
WT <u>Annual</u> Energy Production & cap. factor		
calculated from data distribution	7,325,642.0 kWh	30.39 %
calculated from Weibull distribution	7,234,596.5 kWh	30.01 %
Best Sector in Energy contain	NW 34.26 %	
2nd best Sector in Energy contain	WNW 11.69 %	
Best Sector in Time distribution	NW 20.43 %	
2nd best Sector in Time distribution	WNW 10.44 %	

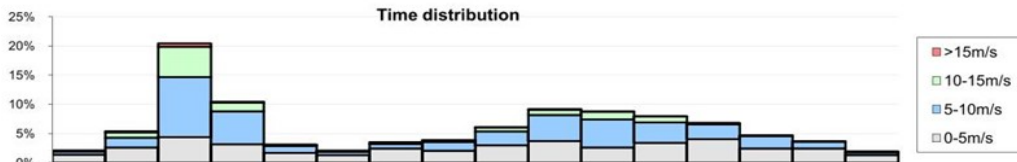
Main Directions



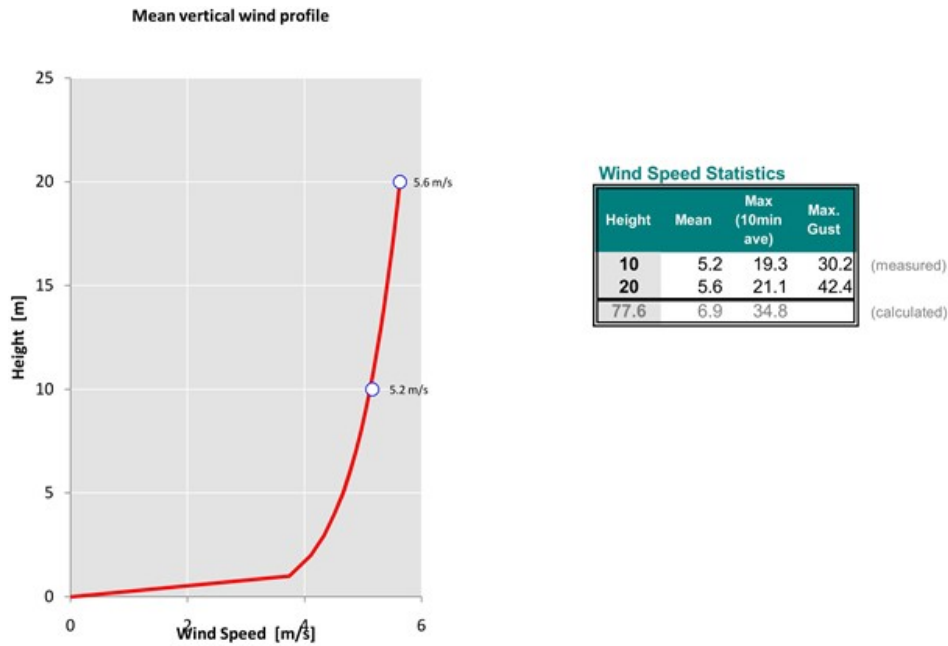
Mean Wind Speed variation



Time distribution



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Wind Shear exp. coef. α

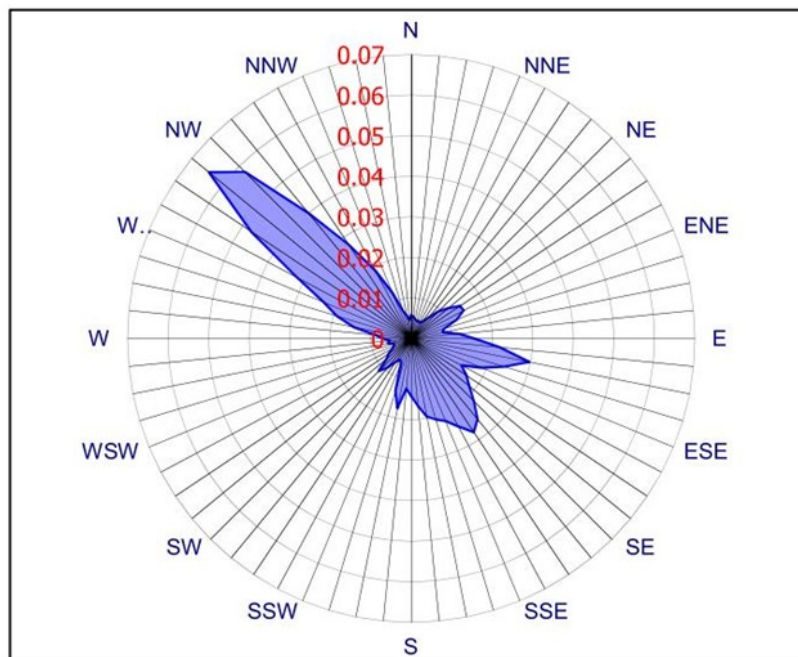
Data percentage with valid α : 95.91%

m/s	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	average
5-6	0.050	0.069	0.073	0.186	0.184	0.301	0.179	0.147	0.108	-0.007	-0.047	0.023	0.071	0.111	0.200	0.084	0.142
6-7	0.038	0.067	0.067	0.180	0.176	0.311	0.204	0.157	0.118	-0.001	-0.045	-0.007	0.066	0.106	0.199	0.057	0.142
7-8	0.024	0.066	0.074	0.192	0.179	0.299	0.203	0.162	0.117	-0.003	-0.045	0.017	0.066	0.098	0.191	0.057	0.140
8-9	0.022	0.054	0.068	0.187	0.181	0.307	0.209	0.175	0.119	0.016	-0.042	0.018	0.070	0.096	0.182	0.048	0.134
9-10	0.019	0.043	0.061	0.187	0.170	0.310	0.233	0.179	0.134	0.002	-0.048	0.004	0.071	0.097	0.168	0.058	0.127
10-11	0.022	0.072	0.052	0.194	0.158	0.277	0.215	0.181	0.124	0.014	-0.049	-0.028	0.072	0.096	0.172	0.044	0.124
11-12	0.017		0.049	0.183	0.154	0.271	0.185	0.176	0.125	0.012	-0.036	-0.007	0.083	0.101	0.178	0.052	0.125
12-13			0.055	0.201	0.144	0.252	0.181	0.174	0.150	0.007	-0.033	-0.008	0.089	0.108	0.171	0.049	0.127
13-14				0.197	0.166	0.274	0.201	0.180		0.007		-0.022	0.090	0.114	0.187		0.151
14-15					0.160	0.251	0.190	0.185		0.008			0.093	0.116	0.181		0.147
15-16					0.148	0.234	0.215	0.190					0.087	0.114	0.188		0.138
16-17						0.246	0.224	0.173					0.093	0.115	0.191		0.152
17-18						0.207	0.197						0.102	0.124	0.191		0.130
18-19														0.123			0.130
19-20														0.118			0.167
20-21																	0.149
21-22																	
22-23																	
23-24																	
24-25																	
25-																	
average	0.028	0.062	0.062	0.190	0.165	0.272	0.203	0.173	0.124	0.005	-0.043	-0.001	0.081	0.109	0.185	0.056	0.137

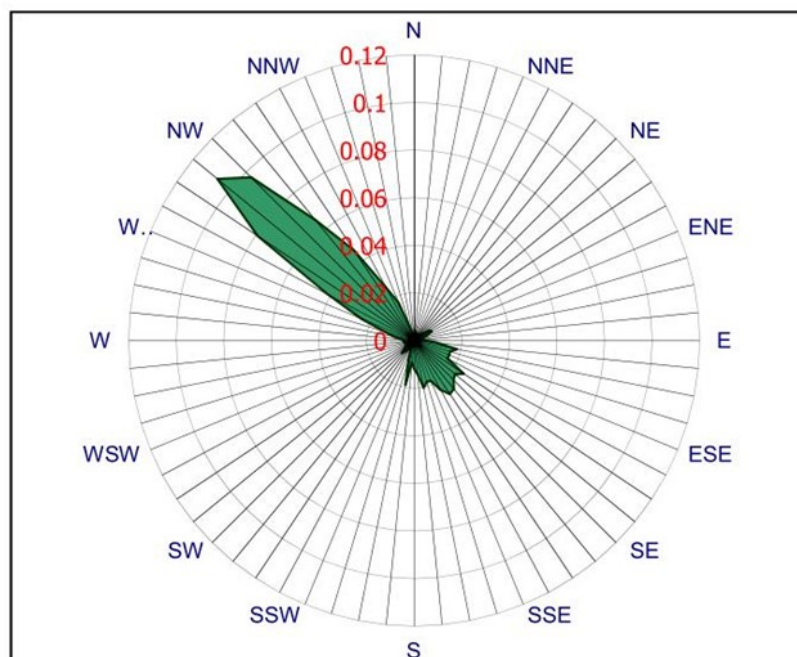
Each cell must contain at least 1 hour of data, in order to be displayed

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Wind Rose based on Time

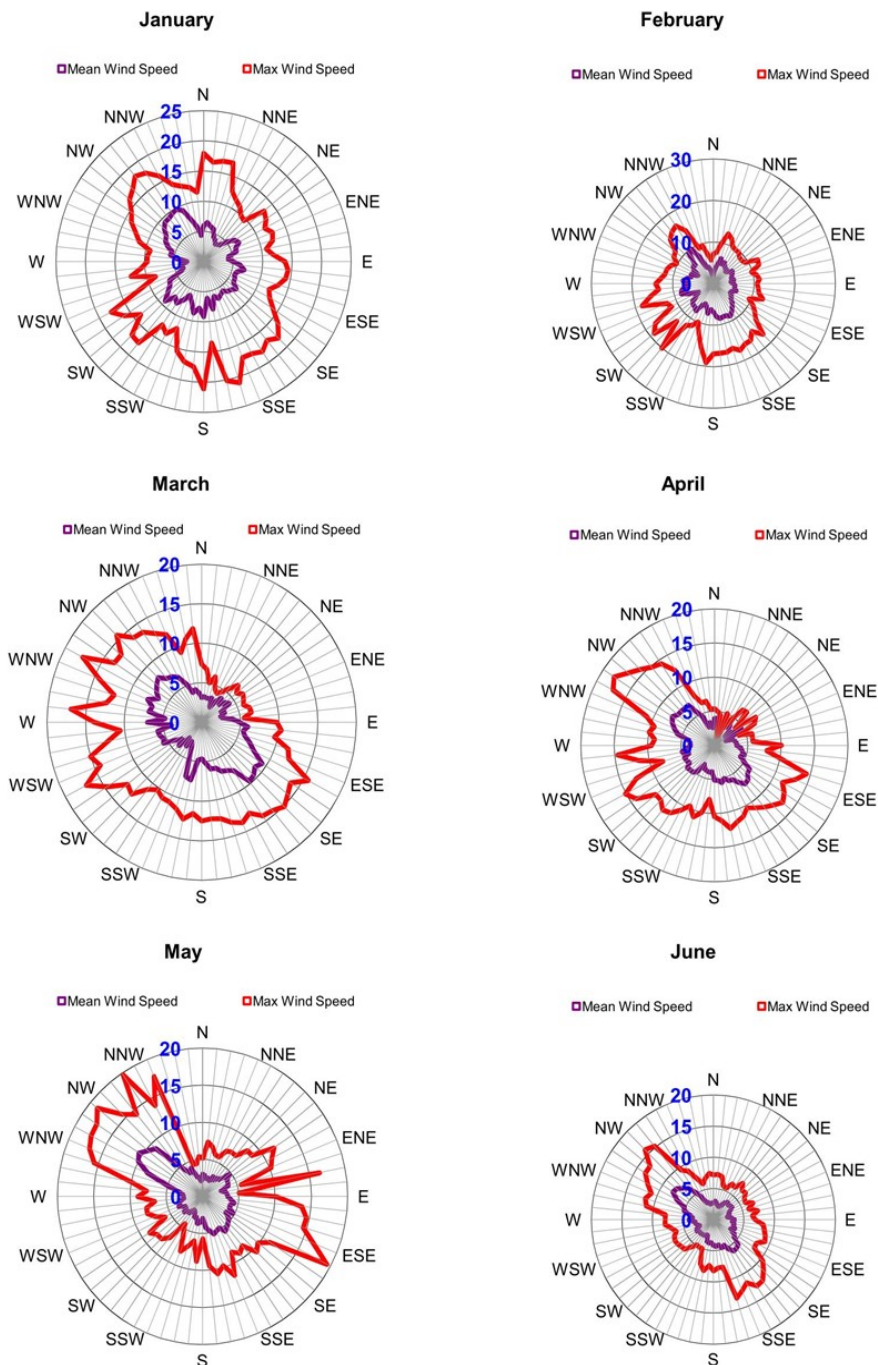


Wind Rose based on Energy



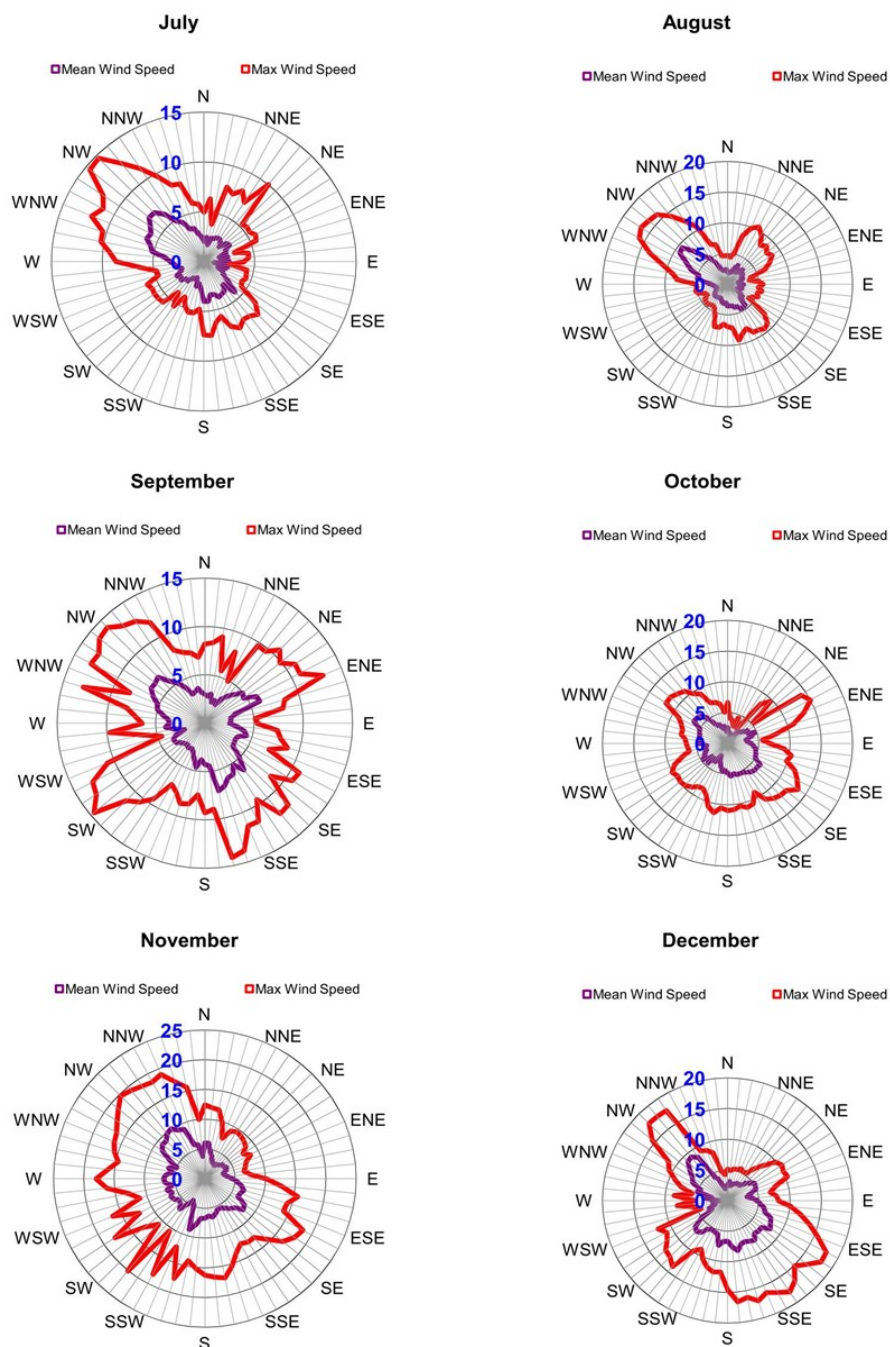
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Mean & max (10min) wind speed per direction



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Mean & max (10min) wind speed per direction



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"

Turbulence Intensity (%) vs Wind Speed & Wind Direction

m/s	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
5-6	15	13	12	15	17	20	19	17	21	16	12	13	11	11	18	17
6-7	17	12	11	15	17	20	18	17	21	16	14	12	10	11	17	16
7-8	15	11	10	14	17	20	19	18	21	16	12	11	10	10	17	15
8-9	13	11	10	15	17	20	19	19	20	16	14	12	10	10	16	15
9-10	11	10	9	14	17	20	19	19	21	17	11	13	9	10	16	14
10-11	11	9	9	16	17	19	18	18	20	15	14	12	9	10	15	12
11-12	10	10	9	16	16	20	19	18	20	15	11	13	9	10	15	13
12-13	9	11	11	14	16	20	19	19	21	12	11	12	10	10	15	9
13-14		7	9	14	16	20	19	18	19	13	11	12	9	11	15	10
14-15			11		17	20	18	19	19	19	10	13	9	11	15	10
15-16	9					19	16	20	19	16	9	14	10	11	15	10
16-17	9				17	20	19	20	21	16	9	17	10	11	14	
17-18					14	16	16	19		13	9	10		12		10
18-19					13		16	19		14	11	11		10		
19-20										20						
20-21																
21-22																
22-23																
23-24																
24-25																
25-																

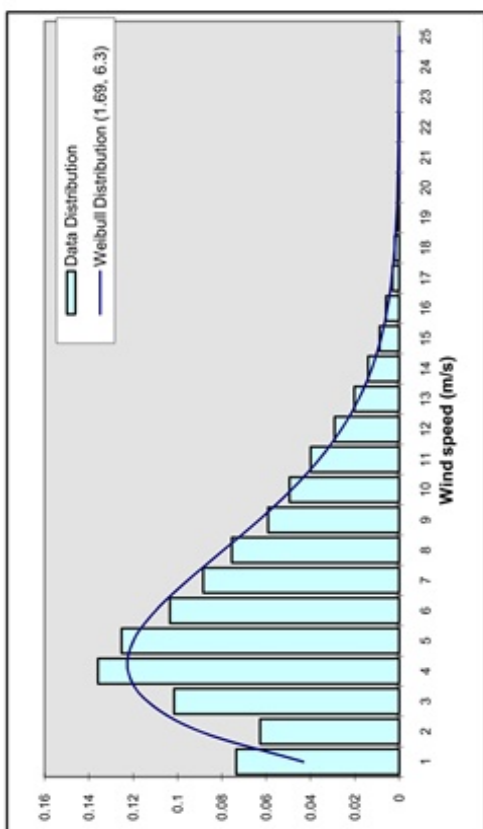
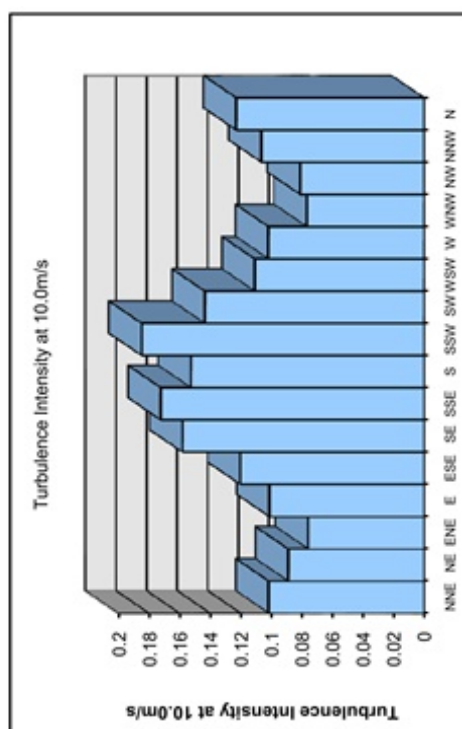
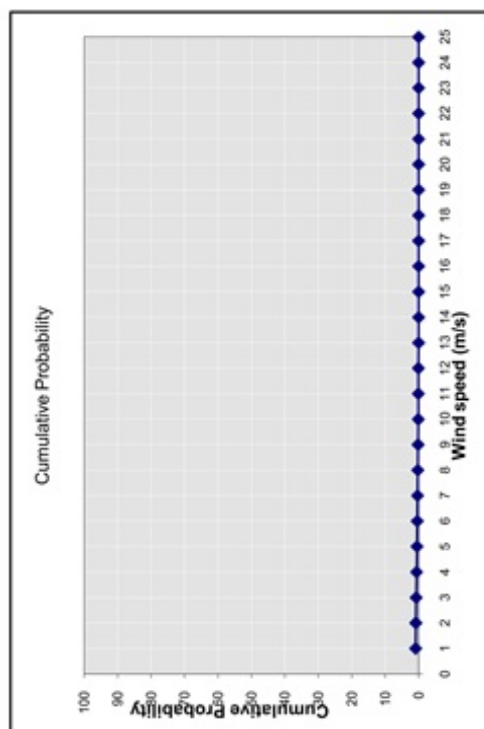
Data distribution vs Wind Speed & Wind Direction

m/s	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	totals
0-1	209	216	259	305	313	261	171	179	195	173	145	217	303	314	369	264	3893
1-2	165	193	179	241	216	264	194	209	218	171	118	168	152	249	300	180	3217
2-3	210	273	288	478	418	335	371	334	329	345	146	196	301	466	403	200	5093
3-4	184	430	390	788	686	504	697	563	383	530	216	293	538	699	359	188	7448
4-5	117	286	323	585	567	615	808	507	228	233	182	246	551	745	239	138	6370
5-6	51	175	275	346	463	523	613	358	150	84	109	144	541	817	191	53	4893
6-7	28	109	209	244	351	492	442	218	109	64	40	115	550	931	152	43	4097
7-8	27	75	172	97	159	340	231	106	121	68	42	86	433	995	101	44	3097
8-9	35	51	87	60	129	196	135	84	146	45	35	58	401	877	107	35	2481
9-10	41	23	47	30	142	146	78	77	63	58	20	43	414	823	112	26	2143
10-11	24	6	30	17	108	103	92	69	48	47	18	39	186	676	109	19	1591
11-12	11	3	15	16	100	66	66	61	12	28	18	28	116	466	78	14	1098
12-13	5	2	5	4	42	40	63	48	7	20	30	18	78	294	44	5	705
13-14		1	1	1	14	17	39	15	4	10	7	8	40	170	42	3	372
14-15			2		10	16	18	9	3	7	4	3	29	129	28	2	260
15-16	2					3	5	3	1	4	3	3	26	40	15	4	109
16-17	2				2	2	1	3	1	4	4	2	7	35	3		66
17-18					1	1	3	2		3	6	1		12		1	30
18-19					1		4	2		2	1	1		2			13
19-20										1							1
20-21																	
21-22																	
22-23																	
23-24																	
24-25																	
25-																	
totals	1111	1843	2282	3212	3722	3924	4031	2847	2018	1897	1144	1669	4666	8740	2652	1219	46977

Max. successive wind vane rotations

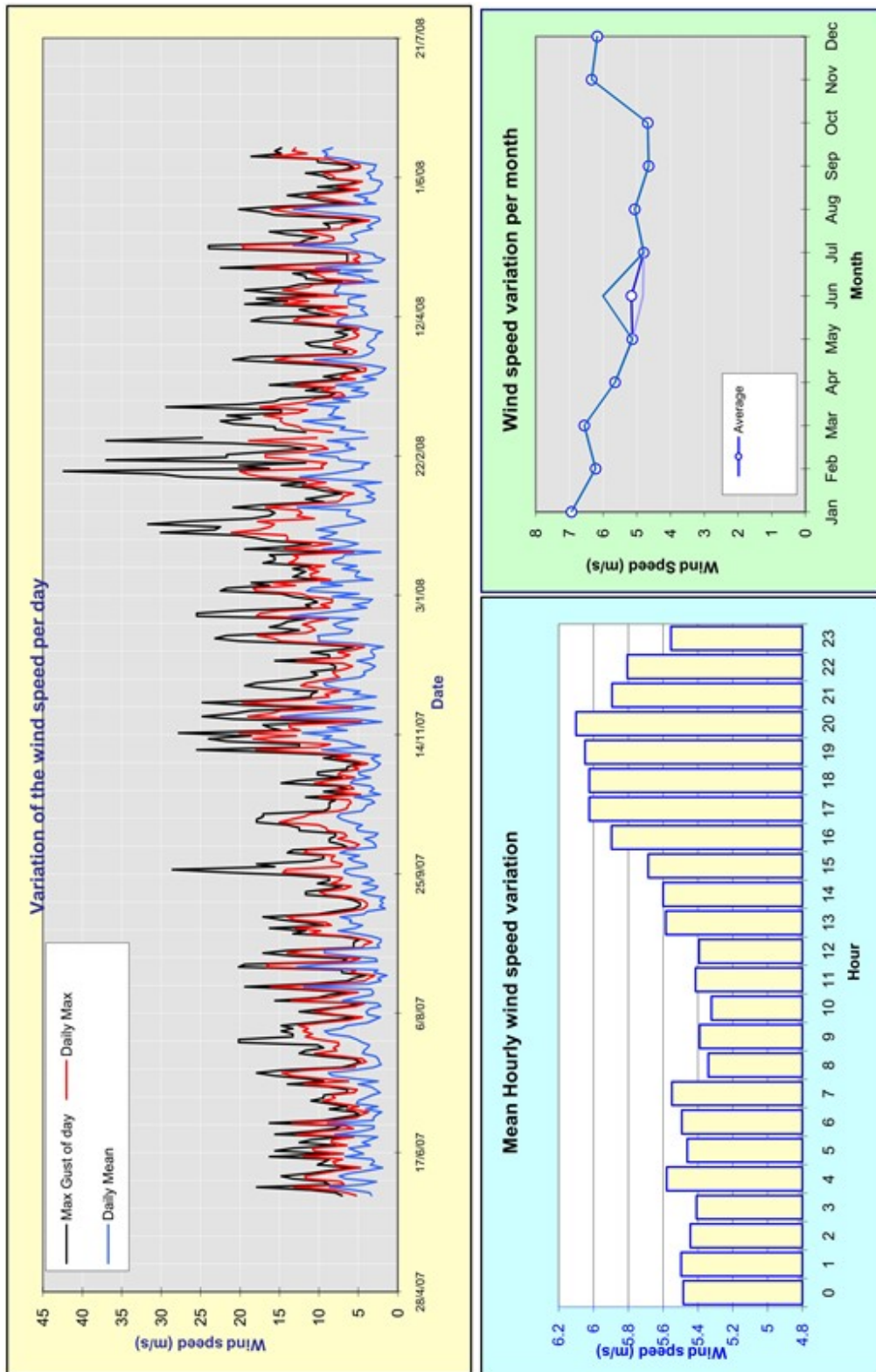
counter-clockwise (E-N-W) 0.4
clockwise (W-N-E) 43.3

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



Direction	Angles (deg)	Weibull shape	Weibull scale	Data Distrib	Mean Wind Speed (m/s)	T.I. at 10m/s
NNE	11.25 - 33.75	1.30	3.88	2.37%	3.6	10.2
NE	33.75 - 56.25	1.77	4.32	3.92%	3.9	8.9
ENE	56.25 - 78.75	1.90	5.19	4.86%	4.6	7.6
E	78.75 - 101.25	1.82	4.88	6.84%	4.4	10.1
ESE	101.25 - 123.75	1.82	6.18	7.92%	5.5	12.0
SE	123.75 - 146.25	2.06	7.29	8.35%	6.4	15.8
SSE	146.25 - 168.75	1.79	6.55	8.58%	5.8	17.2
S	168.75 - 191.25	1.53	5.76	6.06%	5.3	15.2
SSW	191.25 - 213.75	1.63	5.22	4.30%	4.6	18.5
SW	213.75 - 236.25	1.11	3.84	4.04%	4.0	14.3
WSW	236.25 - 258.75	1.15	4.14	2.44%	4.1	11.1
W	258.75 - 281.25	1.51	4.85	3.55%	4.3	10.2
WNW	281.25 - 303.75	2.09	7.30	9.93%	6.4	7.7
NW	303.75 - 326.25	2.30	8.68	18.61%	7.7	8.1
NNW	326.25 - 348.75	1.29	5.91	5.65%	5.5	10.6
N	348.75 - 11.25	1.19	3.79	2.60%	3.7	12.3

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"



© WindRose, Registered to EN.TE.KA A.E.