



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**«Συγκριτική Μελέτη Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων Μεταξύ Κρατών της
Ευρωπαϊκής Ένωσης»**



Φοιτητής: ΖΕΓΓΙΝΗΣ ΛΟΥΚΑΣ

ΑΜ: 212017130

Επιβλέπων Καθηγητής

ΚΑΛΚΑΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2023



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

Diploma Thesis

«A Comparative Study of The Offshore Wind Farms in The European Union»



Student: ZEGGINIS LOUKAS

Registration Number: 212017130

Supervisor

KALKANIS KONSTANTINOS

ASSISTANT PROFESSOR

ATHENS-EGALEO, JUNE 2023

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

Καλκάνης Κωνσταντίνος, Επίκουρος καθηγητής	Βόκας Γεώργιος Καθηγητής	Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Ζεγγίνης Λουκάς , Ιούλιος , 2023

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

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

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ζεγγίνης Λουκάς του Σωκράτη , με αριθμό μητρώου 212017130 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

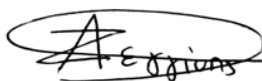
«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό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

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

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

Ο Δηλών

Ζεγγίνης Λουκάς



Αφιερώνω την παρούσα διπλωματική στους γονείς μου , για την τεράστια υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής κ. Καλκάνη Κωνσταντίνο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω όλο το διδακτικό προσωπικό του Τμήματος για τις γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος , ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και συμφοιτητές μου για τις πολύτιμες συμβουλές και στήριξη που δέχθηκα κατά την διάρκεια της φοίτησής μου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται με μια νέα τεχνολογία , κυρίως για τα Ελληνικά δεδομένα, που ονομάζεται Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια. Συγκαταλέγεται , στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αναμφίβολα θα ευνοήσει σημαντικά την παγκόσμια προσπάθεια που γίνεται για ένα καθαρότερο και πιο υγιές περιβάλλον. Στα πρώτα κεφάλαια , γίνεται μια γενική παρουσίαση των γνωστών Α.Π.Ε αναφέροντας παράλληλα πως είναι διαμορφωμένη μέχρι και σήμερα η αγορά ενέργειας τόσο σε εγχώριο όσο και σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Αφιερώνεται επίσης , ένα ξεχωριστό κεφάλαιο για τα Χερσαία Αιολικά Πάρκα , που αναλύει αρχικά τον τρόπο λειτουργίας τους και εν συνεχεία εκτείνεται στον θετικό ρόλο που διαδραματίζουν τις τελευταίες δεκαετίες. Έπειτα ακολουθεί η παρουσίαση των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων η οποία εκτείνεται σε δυο βασικούς άξονες. Το θέμα του πρώτου άξονα αφορά εξολοκλήρου στα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (από τι αποτελούνται , ποια είναι τα ήδη τους , ηλεκτρολογικά – μηχανολογικά μέρη που τα απαρτίζουν) . Ενώ ο δεύτερος άξονας ασχολείται κυρίως με τις διαδικασίες εύρεσης κατάλληλης τοποθεσίας, την εγκατάσταση-συντήρησή τους και την αποσυναρμολόγηση τους . Τέλος, αναφέρεται η κατάσταση των Υ.Α.Π σε ανεπτυγμένες χώρες της Ευρώπης και η κατάσταση στην Ελλάδα η οποία αδιαμφισβήτητα βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο.

Λέξεις – κλειδιά

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αιολική Ενέργεια , Χερσαία και Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα , Είδη Βάσεων των Υπεράκτιων Πάρκων , Συντήρηση Συναρμολόγηση και Μεταφορά τους

Abstract

This thesis deals with a new technology, mainly for the Greek data, called Offshore Wind Energy. It is included in the renewable energy sources and will undoubtedly contribute significantly to the effort for a cleaner and healthier environment. In the first chapters, a general presentation of the known RES is given, indicating at the same time how the energy market is shaped up to now, both at domestic and European level. A separate chapter is also devoted to Onshore Wind Farms, first analyzing how they operate and then extending to the positive role they have played in recent decades. This is followed by a presentation of Offshore Wind Farms which is divided into two main sections. The first axis deals entirely with their specific technical characteristics (what they consist of, what they are already made of, their electrical and mechanical parts, etc.). While the second axis deals mainly with the procedures of finding a suitable location, their installation / maintenance and decommissioning. Lastly, it refers to the situation of the OFWPs in developed countries of Europe and the current status in Greece, which is undoubtedly at a very early stage.

Keywords

Renewable Energy Sources , Wind Energy , Onshore and Offshore Wind Parks , Types of Offshore Parks Foundations , Maintenance Commissioning and Transportation

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος Πινάκων.....	12
Κατάλογος Εικόνων	13
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	18
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	19
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	20
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	20
Δομή 20	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	21
1.1 Γενικά για τις ΑΠΕ	21
1.2 Είδη των Α.Π.Ε	23
1.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	24
1.4 Η Αγορά Α.Π.Ε στην Ελλάδα.....	25
1.5 Η Αγορά Α.Π.Ε στις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές Χώρες	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	28
2.1 Γενικά για την Αιολική Ενέργεια.....	29
2.1.1 Βασικά μέρη της ανεμογεννήτριας	30
2.2 Εκτίμηση Αιολικού Δυναμικού	35
2.2.1 Υπολογισμός Αιολικού Δυναμικού	37
2.2.2 Χαρακτηριστικές Παράμετροι του Ανέμου	39
2.3 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας.....	43
2.4 Η Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα.....	48
2.5 Η Αιολική Ενέργεια στην Ευρώπη	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ (Υ.Α.Π)	58
3.1 Γενικά για τα Υ.Α.Π	58
3.2 Είδη Υ.Α.Π.....	60
3.2.1 Σύγκριση Κόστους ειδών Υ.Α.Π.....	64
3.3 Εμπόδια της Υπεράκτιας λειτουργίας.....	66
3.3.1 Πάγος.....	66
3.3.2 Διάβρωση	67
3.4 Υποβρύχια καλώδια	68
3.4.1 Όδευση υποβρύχιου καλωδίου	70
3.4.2 Τυπικό παράδειγμα καλωδίωσης ενός πλωτού Υ.Α.Π.....	72
3.5 Βασικά σενάρια διασύνδεσης	74
3.5.1 Σύνδεση AC/AC.....	74
3.5.2 Σύνδεση AC/DC.....	75
3.5.3 Σύνδεση DC/DC.....	76
3.6 Υπεράκτιος υποσταθμός για Υ.Α.Π	78
3.7 Συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας	80
3.7.1 Συστήματα HVAC.....	81

3.7.2	Σύστημα HVDC.....	82
3.8	Κύριες βλάβες στα Υ.Α.Π.....	84
3.9	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υ.Α.Π.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΣΤΑΔΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΟΣ Υ.Α.Π.....		90
4.1	Διαδικασία εύρεσης τοποθεσίας.....	90
4.1.1	Πυθμένας της θάλασσας.....	91
4.2	Διαδικασίες εγκατάστασης: Τι εξαρτήματα χρησιμοποιούμε.....	92
4.3	Συντήρηση και Παραπλισμός.....	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΑΠ ΣΗΜΕΡΑ.....		99
5.1	Κατάλληλες περιοχές για Υ.Α.Π στην Ευρώπη.....	99
5.2	Η εξέλιξη των Υ.Α.Π σε ανεπτυγμένες χώρες της Ευρώπης.....	100
5.3	Η κατάσταση των Υ.Α.Π στην Μ.Βρετανία.....	103
5.3.1	Μελέτη του συντελεστή δυναμικότητας σε Υ.Α.Π της Μ. Βρετανίας.....	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΤΑ ΥΑΠ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....		107
6.1	Νομοθετικό Πλαίσιο για τα Υ.Α.Π στην Ελλάδα.....	107
6.2	Μέρη στην Ελλάδα για τα Υ.Α.Π.....	108
6.3	Τα πρώτα Υ.Α.Π στην Ελλάδα.....	110
6.3.1	Προσεγγιστική χωροθέτηση Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης.....	111
6.3.2	Οικονομική Αξιολόγηση Υ.Α.Π.....	114
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		118
Ξένη Βιβλιογραφία.....		120
Ελληνική Βιβλιογραφία.....		125
Διαδικτυακή πηγή εικόνας εξωφύλλου.....		125

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ποσοστό ενέργειας που προέρχεται από ΑΠΕ στην ΕΕ. Πηγή: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2021	27
Πίνακας 2: Στοιχεία τραχύτητας εδάφους. Πηγή: (Β.Δ. Μπιζιώνης, 2020)	41
Πίνακας 3: Τεχνική σύγκριση HVAC-HVDC καλωδίων . Πηγή: Offshore Wind Submarine Cabling , 2021	70
Πίνακας 4: Σχεδιαστική Σύγκριση μεταξύ Υποσταθμών. Πηγή: (Substations for offshore wind farms: a review from the perspective of the needs of the Polish wind energy sector)	79
Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση βλαβών σε ένα Υ.Α.Π. Πηγή: https://doi.org/10.18280/ijepm.080104	85
Πίνακας 6 : Συμπεριφορά του συντελεστή C_p για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Πηγή: https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100985	106
Πίνακας 7. Χωροθέτηση Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης (Σενάριο 1)	113
Πίνακας 8. Χωροθέτηση Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης (Σενάριο 2)	114
Πίνακας 9 . Προσεγγιστικά κόστη εγκατάστασης . Πηγή: https://guidetoanoffshorewindfarm.com/wind-farm-costs	115
Πίνακας 10 : Υπολογισμός LCOE για διαφορετικές τιμές Capacity factor.....	116
Πίνακας 11 : Υπολογισμός περιόδου αποπληρωμής της επένδυσης	117

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Μορφές ΑΠΕ. Πηγή: https://www.mdpi.com/2079-9276/8/3/149	23
Εικόνα 2: Τρόπος λειτουργίας μιας Ανεμογεννήτριας. Πηγή: https://www.kindpng.com/imgv/hoJiRJB_wind-turbine-energy-diagram-png-download-wind-power/	29
Εικόνα 3: Εξέλιξη στο μέγεθος των ανεμογεννητριών. Πηγή: https://iea.org/publications/freepublications/publication/Wind_2013_Roadmap.pdf	31
Εικόνα 4: Χαρακτηριστικό παράδειγμα μέρος ενός πύργου της Α/Γ. Πηγή: https://www.metallisation.com/applications/mabey-bridge-wind-turbine-towers-and-arc140/	32
Εικόνα 5: Βάση χερσαίας ανεμογεννήτριας. Πηγή: https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/start-up-launches-new-foundations-for-wind-turbines	32
Εικόνα 6: Βραχίονας ανεμογεννήτριας . Πηγή: https://www.quora.com/Do-blades-on-wind-turbines-rotate	33
Εικόνα 7: Ανεμογεννήτριες με ρότορα 3 πτερυγίων . Πηγή: https://ocnjdaily.com/cape-may-county-expands-legal-team-fight-offshore-wind-farm/	34
Εικόνα 8: Εσωτερικό ατράκτου. Πηγή: https://apctt.org/sites/default/files/2020-08/Wind%20Energy%20Resource%20Assessment%20Handbook.pdf	34
Εικόνα 9: Γεννήτρια α/γ με ισχύ 2.5MW. Πηγή: https://www.sparesinmotion.com/wind-turbine-parts/generators/elin-505506e-0	35
Εικόνα 10: Μέτρηση αιολικού δυναμικού με ιστό. Πηγή: https://www.windengineering.gr/el/yphresies/dokimes-kai-metrhseis/metrhsh-aiolikoy-dynamikoy	37
Εικόνα 11: Σύγχρονος ανεμοδείκτης. Πηγή: https://symmetron.gr/gr_products_tblast.php?cat1=21&x_products_tb_categoriesid=10125&z_products_tb_categoriesid=LIKE	38
Εικόνα 12: Κυπελλοφόρα ανεμόμετρα. Πηγή : https://www.scienter.gr/web/el/wind_sensor_products.php	39

Εικόνα 13: Χαρακτηριστικό παράδειγμα ροδογράμματος . Πηγή: https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2686429/theFile	40
Εικόνα 14: Ανεμολόγιο με τα ονόματα των ανέμων βάσει της διεύθυνσής τους. Πηγή: https://www.helppost.gr/kairos/anemologio-dieythinsi-onomata-anemon/	41
Εικόνα 15: Μεταβολή του ύψους του ατμοσφαιρικού στρώματος ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους. Πηγή: (Β.Δ. Μπιζιώνης, 2020)	42
Εικόνα 16 : Κατηγορίες της τύρβης . Πηγή : (Β.Δ. Μπιζιώνης, 2020).....	43
Εικόνα 17: Μεταβολή ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του ύψους και της τραχύτητας. Πηγή: (Β.Δ. Μπιζιώνης, 2020)	43
Εικόνα 18: Μέση αιολική ταχύτητα στην Ελλάδα. Πηγή: http://pvmaint.gr	48
Εικόνα 19: Βαρομετρικός χάρτης της Ευρώπης. Πηγή: https://www.wind-energy-the-facts.org/wind-atlases-7.html	52
Εικόνα 20:Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα . Πηγή: https://www.ot.gr/2022/07/08/green/yperaktia-aiolika-parka-ti-provlepoun-oi-rythmiseis-pou-etethisan-se-diavouleysi/	58
Εικόνα 21: Διαχρονική συμπεριφορά του κόστους των πλωτών Αιολικών. Πηγή: https://www.equinor.com/news/archive/20210323-hywind-scotland-uk-best-performing-offshore-wind-farm/	60
Εικόνα 22: Είδη Υπεράκτιων Α/Γ σταθερού πυθμένα Πηγή: https://www.ptil.no/en/technical-competence/explore-technical-subjects/features/2020/offshore-wind-power/	62
Εικόνα 23: Είδη Υπεράκτιων πλωτών Α/Γ Πηγή : https://acteon.com/blog/floating-wind-mooring-options/	63
Εικόνα 24: Εγκατάσταση Α/Γ σταθερού πυθμένα. Πηγή : https://medium.com/offshore-wind-energy-the-future/placing-offshorwind-turbines-can-get-technical-what-are-the-criteria-and-limitations-12fb9c06b28a	64
Εικόνα 25: Μεταφορά πλωτής Α/Γ στο σημείο εγκατάστασης με κατάλληλο μέσο. Πηγή: https://www.geplus.co.uk/news/boskalis-wins-its-first-floating-wind-turbine-contract-07-09-2020/	65

Εικόνα 26: Παρουσία πάγου πάνω σε Α/Γ. Πηγή: https://medium.com/@lugoafonso/icing-on-wind-turbines-blades-c2c2364b94e7	67
Εικόνα 27: Χαρακτηριστικό παράδειγμα διάβρωσης σταθερής βάσης . Πηγή : http://dx.doi.org/10.1007/s10750-014-2157-1	68
Εικόνα 28: Ανατομία ενός τριφασικού HVAC υποβρύχιου καλωδίου. Πηγή: Κωνσταντίνος Κυριακίδης , 2021	69
Εικόνα 29: Ανατομία ενός υποβρύχιο HVDC καλωδίου. Πηγή: Offshore Wind Submarine Cabling , 2021	69
Εικόνα 30. Παράδειγμα χαρτογράφησης πυθμένα. Πηγή: https://www.usni.org/magazines/proceedings/2020/march/mapping-world-ocean-seafloor	71
Εικόνα 31: Απεικόνιση εγκατάστασης υποβρύχιων καλωδίων με κατάλληλο μέσο. Πηγή: https://electrical-engineering-portal.com/installing-submarine-transmission-cable	72
Εικόνα 32: Ηλεκτρικό σύστημα μιας πλωτής Υπεράκτιας Ανεμογεννήτριας. Πηγή: https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107128	73
Εικόνα 33: Συνδεσμολογία AC σε αιολικό πάρκο χαμηλής ισχύς. Πηγή: S.Lundberg , 2003	74
Εικόνα 34: Συνδεσμολογία AC σε πάρκο μεγάλης ισχύς. Πηγή: S.Lundberg , 2003	75
Εικόνα 35: Συνδεσμολογία AC/DC. Πηγή : S.Lundberg , 2003	76
Εικόνα 36 : Συνδεσμολογία DC σε πάρκο χαμηλής ισχύς . Πηγή: Lundberg , 2003	76
Εικόνα 37 : Συνδεσμολογία DC σε πάρκο μεγάλης ισχύς. Πηγή: S.Lundberg , 2003	77
Εικόνα 38 : Συνδεσμολογία DC με ανεμογεννήτριες σε σειρά. Πηγή : S.Lundberg , 2003	78
Εικόνα 39: Τυπικό παράδειγμα Υπεράκτιου Υποσταθμού. Πηγή: https://ramboll.com/services-and-sectors/energy/wind-energy/offshore-substations	78
Εικόνα 40: Τυπικό παράδειγμα δομής Υπεράκτιου Υποσταθμού. Πηγή: (Substations for offshore wind farms: a review from the perspective of the needs of the Polish wind energy sector)	80
Εικόνα 41: Διάγραμμα χρήσης συστημάτων μεταφοράς. Πηγή: T.Ackermann , 2005	81

Εικόνα 42: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος HVAC για Υ.Α.Π. Πηγή: http://dx.doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3027356	82
Εικόνα 43: Ηλεκτρολογικό κύκλωμα HVAC συστήματος μεταφοράς. Πηγή: http://dx.doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3027356	82
Εικόνα 44: Παράδειγμα διασύνδεσης Υ.Α.Π ισχύς 500MW με την μέθοδο HVDC-LCC. Πηγή: T.Ackermann , 2005	83
Εικόνα 45: Παράδειγμα αιολικού πάρκου ισχύς 600MW με χρήση του συστήματος HVDC με χρήση 2VSC. Πηγή: T.Ackermann , 2005	84
Εικόνα 46 : Χαρακτηριστικό παράδειγμα βλάβης πτερυγίου λόγω βάρους. Πηγή: https://www.windturbinemagazine.com/why-do-wind-turbine-blades-wear-out/	86
Εικόνα 47: Χαρακτηριστικό παράδειγμα βλάβης στην γεννήτρια . Πηγή: http://guillermorein.blogspot.com/2014/01/wind-turbines-on-fire.html	86
Εικόνα 48 : Στάδια στην ανάπτυξη ενός Αιολικού Πάρκου. Πηγή : https://doi.org/10.5194/wes-2021-120	92
Εικόνα 49: Μεταφορά εξαρτημάτων Α/Γ με φορτηγίδα . Πηγή https://www.energyfacts.eu/owf-jones-act-vessel-line-up-misses-the-mark-for-the-american-waterfront/	93
Εικόνα 50: Μεταφορά πλωτών βάσεων στήριξης τύπου jacket. Πηγή https://www.offshorewind.biz/2022/12/22/final-seagreen-jacket-arrives-in-port-of-nigg/	94
Εικόνα 51: Συναρμολόγηση πλωτής Α/Γ με χρήση πλοίου Jack-up. Πηγή: https://www.seajacks.com/self-propelled-jack-up-vessels/	94
Εικόνα 52: Είδη συντηρήσεων. Πηγή (Zhengru Ren et.all 2021).....	95
Εικόνα 53: Αφαίρεση ρότορα και πτερυγίων. Πηγή: https://www.offshorewind.biz/2021/06/10/decommissioning-the-last-option-for-offshore-wind-farms-analysis/	97
Εικόνα 54: Αφαίρεση θεμελίωσης με κατάλληλο εξοπλισμό. Πηγή: https://www.diesekogroup.com/project/decommissioning-lely-offshore-wind-farm/	97

Εικόνα 55: Κατηγοριοποίηση του κόστους αποσυναρμολόγησης. Πηγή: https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.066	98
Εικόνα 56: Βαρομετρικός χάρτης της Ευρώπης.Πηγή: https://www.wind-energy-the-facts.org/wind-atlases-7.html	99
Εικόνα 57: Τοποθεσία των υπαρχουσών Υ.Α.Π στην Βόρεια Θάλασσα.Πηγή: EE COM (2020). 100	
Εικόνα 58:Το Υ.Α.Π «Vindeby Wind Farm». Πηγή: https://www.rechargenews.com/wind/-steady-march-forward-for-offshore-wind-navigant/2-1-258948	101
Εικόνα 59: Νέες εγκαταστάσεις Υ.Α.Π στην Ευρώπη. Πηγή: Wind Energy in Europe 2022	102
Εικόνα 60: Τοποθεσία του πλωτού Υ.Α.Π «Hywind Tampen». Πηγή : https://www.equinor.com/news/archive/27aug2018-hywind-tampen	103
Εικόνα 61: Τμήμα του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου «Walney Wind Farm» . Πηγή: https://www.bbc.com/news/uk-england-cumbria-45424559	103
Εικόνα 62: Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα στην Μεγάλη Βρετανία. Πηγή: https://doi.org/10.1002/we.2685	104
Εικόνα 63: Ενδεικτικές τοποθεσίες που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη. Πηγή: https://doi.org/10.3390/atmos12101360	109
Εικόνα 64: Αναπαράσταση Αιολικού Δυναμικού στα Ελληνικά ύδατα. Πηγή: https://doi.org/10.3390/atmos12101360	110
Εικόνα 65: Περιοχή Ανάπτυξης Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στην Αλεξανδρούπολη .Πηγή: https://geo.rae.gr/?lon=25.876507116715597&lat=40.72823584542211&zoom=11	110
Εικόνα 66 : Χαρακτηριστικό παράδειγμα του φαινομένου “wake”. Πηγή: Peng Hou et all 2019. 111	
Εικόνα 67: 1 ^ο σενάριο χωροθέτησης Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης	112
Εικόνα 68: 2 ^ο σενάριο χωροθέτησης Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης.	113

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Μερίδια των πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Πηγή: https://thegreentank.gr/2021/04/29/res-first-energy-source_el/	25
Διάγραμμα 2: Ενεργειακό Μίγμα παραγωγής για το έτος 2021. Πηγή: https://www.dapeep.gr/viosimi-anaptixi/energeiako-meigma/	26
Διάγραμμα 3: Ποσοστά παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στην ΕΕ. Πηγή: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics	27
Διάγραμμα 4: Μελλοντικό ενεργειακό μείγμα για το έτος 2030. Πηγή: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.012	28
Διάγραμμα 5: Χωρητική κατανομή εγκατεστημένης ισχύος αιολικής Πηγή: https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2023/01/2023-01-26-2022-HWEA_Statistics-Greece.pdf	49
Διάγραμμα 6: Εγκαταστημένη αιολική ισχύ ανά έτος σε MW. Πηγή: Πηγή: https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2023/01/2023-01-26-2022-HWEA_Statistics-Greece.pdf	50
Διάγραμμα 7: Wind Installations in Europe 1. Πηγή: https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/#	53
Διάγραμμα 8: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΑΕ ανά Ευρωπαϊκή χώρα για το έτος 2022. Πηγή: https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/#:~:text=Europe%20now%20has%2055%20GW,on%20average%20over%202023%2D2027	56
Διάγραμμα 9: Εγκαταστημένη Ισχύ ΑΠΕ για το έτος 2018. Πηγή: Eurostat	57
Διάγραμμα 10: Διαχρονική Εγκαταστημένη Αιολική Ισχύ .Πηγή: https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/#:~:text=Europe%20now%20has%2055%20GW,on%20average%20over%202023%2D2027	59
Διάγραμμα 11: Κατηγοριοποίηση κόστους κατασκευής του Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης	116
Διάγραμμα 12: Συμπεριφορά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε συνάρτηση του Cp.	117

Αλφαβητικό Ευρετήριο

A/Δ	Αιολικό Δυναμικό
LCOE	Levelized Cost of Electricity
ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
HVAC	High Voltage Alternating Current
HVDC	High Voltage Direct Current
C _p	Capacity Factor

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τόσο τα ζητήματα της ενέργειας όσο και της ρύπανσης του περιβάλλοντος είναι υψίστης σημασίας και ο παγκόσμιος πληθυσμός καλείται να βρει λύσεις. Το ενδιαφέρον που έχει δημιουργηθεί για τη μείωση της χρήσης συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας ενισχύεται από την προσπάθεια που καταβάλλεται παράλληλα για τη μείωση της ρύπανσης που εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Είναι δυνατή η σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Μπορούμε να επιτύχουμε και τους δύο στόχους, δηλαδή τη μείωση της χρήσης καυσίμων και τη διαφύλαξη του περιβάλλοντος, με τη χρήση σύγχρονων συστημάτων υψηλής τεχνολογίας με μεγαλύτερη απόδοση, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), καλύτερο σχεδιασμό των συστημάτων και αυτοματισμούς. Ο προσδιορισμός των συγκεκριμένων καταλυτικών ημερομηνιών ποικίλλει ανάλογα με τις προβλέψεις για τη διαθεσιμότητα και τη διάρκεια ζωής των γνωστών πηγών ορυκτών καυσίμων, ιδίως όταν λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα νέων κοιτασμάτων. Ωστόσο, είναι κατανοητό ότι η περαιτέρω εκμετάλλευση χωρίς παράλληλη αναπλήρωση των αποθεμάτων μπορεί να οδηγήσει μόνο σε αργή εξάντληση των αποθεμάτων. Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να συμβάλει στην επίλυση της ενεργειακής κρίσης και στη βελτίωση του περιβάλλοντος. Επιπλέον, συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από τα έθνη που παράγουν το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου πετρελαίου, εξοικονομώντας συνάλλαγμα για εισαγωγές πετρελαίου. Η απλότητα της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε απομονωμένα μέρη είναι ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την συγκριτική μελέτη των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων μεταξύ κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Δομή

Στο πρώτο κεφάλαιο θα γίνει μια εκτενής αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα περιγράφουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της Αιολικής Ενέργειας, σε συνδυασμό με την παρουσίαση της κατάστασης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα και την Ευρώπη. Στο τρίτο κεφάλαιο, θα αναλυθούν διεξοδικά τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα, ενώ στο τέταρτο θα περιγράφουν τα στάδια υλοποίησης ενός ΥΑΠ. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η κατάσταση σε διάφορες χώρες της Ευρώπης ενώ στο έκτο κεφάλαιο θα γίνει μια σύντομη περιγραφή στα ΥΑΠ της Ελλάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ενέργεια που λαμβάνεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιοφάνεια, ο άνεμος, η βροχή, η παλίρροια, τα κύματα και η γεωθερμική ενέργεια, οι οποίες ανανεώνονται με φυσικό τρόπο, αναφέρεται ως ανανεώσιμη ενέργεια. Η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές χρησιμοποιείται σε τέσσερις κύριους τομείς: παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κλιματισμός και θέρμανση, μεταφορές και αγροτικές (εκτός δικτύου) ενεργειακές υπηρεσίες (Jung, et al., 2017). Η απασχόληση στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 7,7 εκατομμύρια θέσεις εργασίας παγκοσμίως, με τα φωτοβολταϊκά να είναι ο μεγαλύτερος εργοδότης. Περισσότερο από το ήμισυ της παγκόσμιας εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος ήταν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από το 2015.

1.1 Γενικά για τις ΑΠΕ

Σε αντίθεση με άλλες πηγές ενέργειας, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρό αριθμό χωρών, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να εγκατασταθούν και να χρησιμοποιηθούν σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή. Η ενεργειακή ασφάλεια, ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής και τα οικονομικά οφέλη αυξάνονται σημαντικά με την ταχεία υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της ενεργειακής απόδοσης. Σε εθνικό επίπεδο, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν ήδη περισσότερο από το 20% του ενεργειακού εφοδιασμού σε τουλάχιστον 30 χώρες παγκοσμίως. Από την επόμενη δεκαετία και μετά, οι εθνικές αγορές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναμένεται να γνωρίσουν σημαντική ανάπτυξη. Πολλά άλλα έθνη έχουν θέσει ως στόχο την απόκτηση 100% ανανεώσιμης ενέργειας στο μέλλον, ενώ τουλάχιστον δύο χώρες, η Ισλανδία και η Νορβηγία, παράγουν σήμερα όλη την ηλεκτρική τους ενέργεια με αυτόν τον τρόπο.

Στη Δανία, για παράδειγμα, η κυβέρνηση έχει επιλέξει να μεταφέρει το σύνολο του ενεργειακού εφοδιασμού -συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής ενέργειας, των μεταφορών, της θέρμανσης και της ψύξης- σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2050. Παρόλο που υπάρχουν πολλά μεγάλης κλίμακας έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι επίσης κατάλληλες για αγροτικές, απομονωμένες και αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η ενέργεια είναι συχνά ζωτικής σημασίας για την ανθρώπινη ανάπτυξη (Astariz, & Iglesias, 2017). Δεδομένου ότι η πλειονότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παράγει ηλεκτρική ενέργεια, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γίνεται συχνά παράλληλα με την αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που έχει πολλά πλεονεκτήματα: Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αλλάξει. Επιπλέον, επειδή οι περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν έχουν κύκλο ατμού με υψηλές απώλειες (οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα έχουν συνήθως απώλειες 40 έως

65%), η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές είναι σημαντικά πιο αποδοτική και, ως εκ τούτου, οδηγεί σε σημαντική μείωση της ζήτησης πρωτογενούς ενέργειας.

Τα συστήματα για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας γίνονται όλο και πιο προσιτά και αποδοτικά. Η συμβολή τους στην παγκόσμια χρήση ενέργειας αυξάνεται. Λόγω της αυξανόμενης χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του φυσικού αερίου, η αύξηση της κατανάλωσης άνθρακα και πετρελαίου μπορεί να ολοκληρωθεί έως το 2020 (de Boer et al., 2017). Ένα όλο και πιο δημοφιλές συμπλήρωμα και υποκατάστατο των μεγάλων παραδοσιακών κεντρικών μονάδων παραγωγής ενέργειας είναι η χρήση κατανεμημένων ενεργειακών πόρων. Ειδικότερα, όταν ο διαλείπων ενεργειακός πόρος αποτελεί σημαντικό μέρος της συνολικής δυναμικότητας του συστήματος, οι προδιαγραφές για μια ηλεκτρική διασύνδεση πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τόσο τον αντίκτυπο της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας στη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας όσο και τα δικά της χαρακτηριστικά. Προκειμένου να διατηρηθεί ή να βελτιωθεί η αξιοπιστία και η ποιότητα της παροχής, η λειτουργία και η διαχείριση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να υιοθετήσει καινοτόμες προσεγγίσεις υπό το πρίσμα της αυξανόμενης χρήσης των κατανεμημένων παραγωγών και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, η απελευθέρωση των δικτύων δημιουργεί νέες δομές διαχείρισης, στις οποίες η εμπορία ενέργειας και ισχύος αποκτά μεγαλύτερη σημασία. Η τεχνολογία των ηλεκτρονικών ισχύος χρησιμοποιείται ευρέως και αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς, καθώς οι εφαρμογές αυτές ενσωματώνονται όλο και περισσότερο στα συστήματα που βασίζονται στο δίκτυο και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανεμημένη παραγωγή και στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο.

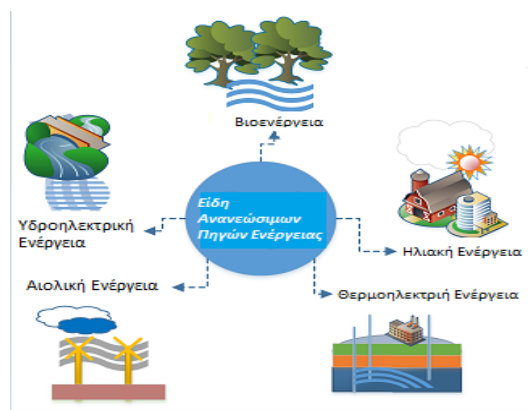
Ο όρος "ανανεώσιμη ενέργεια" αναφέρεται σε μη ορυκτές, φυσικές πηγές ενέργειας, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, τα κύματα, η παλίρροια, η υδραυλική ενέργεια, η βιομάζα και η γεωθερμία. Με άλλα λόγια, πρόκειται για ανανεώσιμους φυσικούς πόρους που μπορούν να αξιοποιηθούν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της σύγχρονης ζωής. Αν και όχι στην ίδια κλίμακα ή με την ίδια αποτελεσματικότητα με τα σύγχρονα συστήματα, οι άνθρωποι εκμεταλλεύονται τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εδώ και χιλιάδες χρόνια. Χρησιμοποιούσε κυρίως τα άμεσα διαθέσιμα και φθηνά ορυκτά καύσιμα από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά. Όταν έγινε σαφές ότι τα ορυκτά καύσιμα είχαν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και στα έμβια όντα, υπήρξε μια στροφή προς τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η κλιματική αλλαγή είναι μία από τις σημαντικότερες επιπτώσεις, και τα τελευταία χρόνια, η συχνότητα και η σοβαρότητά της έχουν ωθήσει την πλειοψηφία των κυβερνήσεων παγκοσμίως να αναγνωρίσουν το ζήτημα και να θεσπίσουν νόμους για την προστασία του περιβάλλοντος, με αυστηρές οικονομικές κυρώσεις για τα έθνη που υπογράφουν συμφωνίες για τη μείωση των εκπομπών αλλά δεν τηρούν τις δεσμεύσεις τους. Μέχρι σήμερα, οι συμφωνίες και οι

υπογεγραμμένες συμφωνίες σχετικά με τις διαδικασίες για την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση των ρύπων που παράγονται από όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες (όπως το Πρωτόκολλο της Σύμβασης της Γενεύης, το Πρωτόκολλο II της Σύμβασης της Γενεύης και το Πρωτόκολλο του Ενεργειακού Χάρτη).

1.2 Είδη των Α.Π.Ε

Οι ΑΠΕ διακρίνονται στα εξής είδη:

1. **Η ηλιακή ενέργεια**, την οποία μπορούμε να αντλήσουμε από τον ήλιο άμεσα ή έμμεσα και να τη χρησιμοποιήσουμε, μεταξύ άλλων, για θέρμανση εσωτερικών χώρων και για ηλεκτρική ενέργεια κτιρίων.
2. **Η αιολική ενέργεια** είναι η ενέργεια που προέρχεται από τη δύναμη του ανέμου. Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθός της, την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται και την ποσότητα του διαθέσιμου ανέμου.
3. **Η υδροηλεκτρική ενέργεια** είναι η ενέργεια που εξάγεται από την κίνηση του νερού και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.
4. **Ως βιοενέργεια** ορίζεται η ενέργεια που προέρχεται από βιομάζα ή από υλικά που απομένουν μετά την παραγωγή. Είναι ένας πολύ νέος τύπος ενέργειας που κερδίζει γρήγορα έδαφος σε σύγκριση με άλλες παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής ενέργειας.
5. **Γεωθερμική ενέργεια**. Παράγεται από τη θερμότητα που παράγεται όταν τα πετρώματα της γης υφίστανται ραδιενεργό αποσύνθεση. Όπου αυτή η θερμότητα ανεβαίνει φυσικά στην επιφάνεια, όπως σε θερμοπίδακες ή θερμές πηγές, μπορεί να αξιοποιηθεί. Μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια ή να αξιοποιηθεί άμεσα για θερμικές χρήσεις.



Εικόνα 1: Μορφές ΑΠΕ. Πηγή: <https://www.mdpi.com/2079-9276/8/3/149>

1.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα

- Δεν παράγουν σχεδόν καθόλου σκουπίδια ή υπολείμματα, καθιστώντας τα απίστευτα φιλικά προς το περιβάλλον.
- Θα είναι πάντα διαθέσιμα, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να προσφέρουν μια εναλλακτική λύση στην οικονομία του πετρελαίου και να βοηθήσουν στην ενεργειακή αυτάρκεια των μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών.
- Είναι προσαρμόσιμες εφαρμογές που μπορούν να δημιουργήσουν ενέργεια με βάση τις απαιτήσεις του τοπικού πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας (θεωρητικά για τις αγροτικές περιοχές) και τη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός έχει πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι εύκολος στην κατασκευή και τη συντήρηση.
- Οι περισσότερες κυβερνήσεις τους επιδοτούν.

Μειονεκτήματα

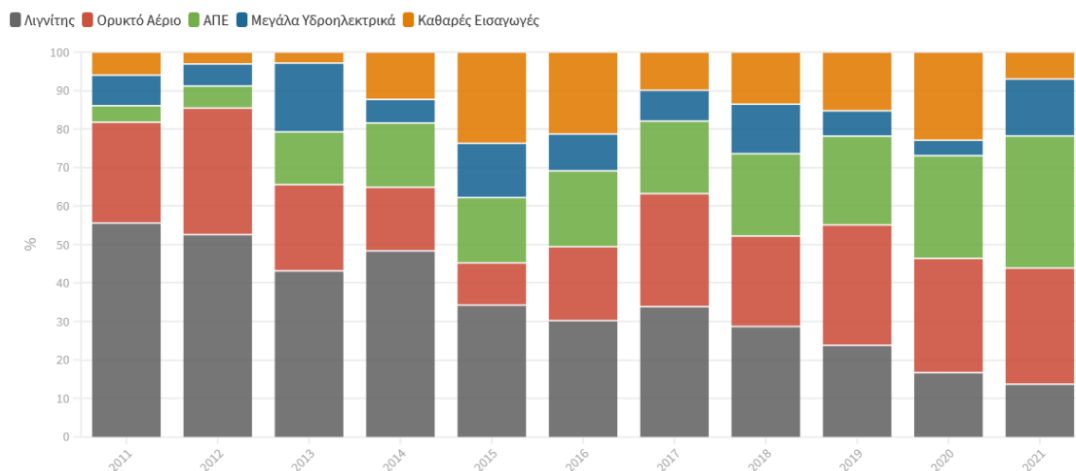
- Ο συντελεστής απόδοσης είναι περίπου 30% ή λιγότερο, δηλαδή σχετικά χαμηλός. Ως αποτέλεσμα, είναι απαραίτητο ένα κάπως υψηλό αρχικό κόστος εφαρμογής σε μια μεγάλη έκταση γης. Μέχρι στιγμής έχουν χρησιμοποιηθεί ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας για το σκοπό αυτό.
- Τα μεγάλα αστικά κέντρα δεν μπορούν τώρα να τα χρησιμοποιήσουν για την κάλυψη των αναγκών τους εξαιτίας αυτού του γεγονότος.
- Η διαθεσιμότητα και η αποτελεσματικότητα της ηλιακής, της αιολικής και της υδροηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζονται από την εποχή του έτους καθώς και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής όπου βρίσκονται.
- Οι ανεμογεννήτριες θεωρούνται αντιαισθητικές και συμβάλλουν στη θνησιμότητα των πτηνών και στην ηχορύπανση. Ωστόσο, τα ζητήματα αυτά έχουν σχεδόν εξαφανιστεί ως αποτέλεσμα της εξέλιξης της τεχνολογίας τους και της πιο προσεκτικής επιλογής των τοποθεσιών (όπως σε υπεράκτιες πλατφόρμες).

- Τα υδροηλεκτρικά έργα θεωρείται ότι συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη με την εκπομπή μεθανίου από τη σήψη των φυτών κάτω από το νερό (Diaz & Soares, 2020).

1.4 Η Αγορά Α.Π.Ε στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), είναι υποχρεωμένη να ακολουθήσει την κοινή πολιτική της ΕΕ και να αυξήσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική παραγωγή ενέργειας. Προς αυτή την κατεύθυνση ψηφίστηκε ο νόμος 3851/2010, ο οποίος ευθυγραμμίζει την ελληνική κυβέρνηση με την ευρωπαϊκή πολιτική και θέτει συγκεκριμένους στόχους για τη μελλοντική συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική παραγωγή ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Eurostat) τηρεί στατιστικά στοιχεία για το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ενέργειας σε κάθε κράτος μέλος της ΕΕ και παρατηρείται ότι το ποσοστό αυτό αυξάνεται σταθερά διαχρονικά, από 8,5% το 2004 σε 17% στα πιο πρόσφατα στατιστικά στοιχεία του 2016, με απότερους στόχους το 20% για το έτος 2020 και το 30% για το έτος 2030.

Δεδομένου ότι το κόστος χρήσης τους έχει μειωθεί σημαντικά και το πλαίσιο αδειοδότησης έχει πρόσφατα βελτιωθεί, όπου προηγουμένως χαρακτηριζόταν από χρονοβόρες, περίπλοκες και γραφειοκρατικές διαδικασίες που αποθάρρυναν τους δυνητικούς επενδυτές, η σημερινή τάση στην Ελλάδα όσον αφορά τις επενδύσεις σε ΑΠΕ είναι ανοδική. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται στο παρακάτω διάγραμμα.

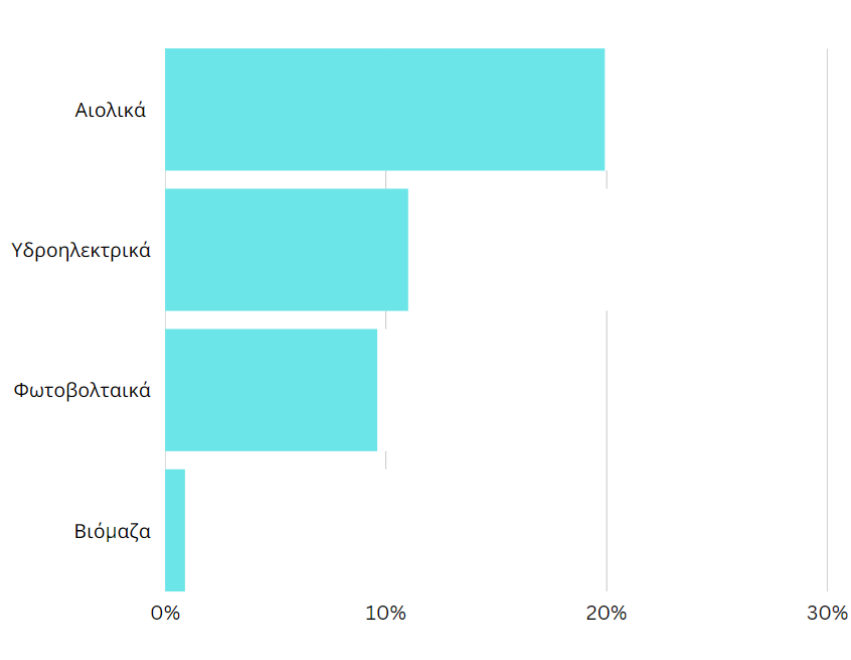


Διάγραμμα 1: Μερίδια των πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Πηγή:

[https://thegreentank.gr/2021/04/29/res-first-energy-source/el/](https://thegreentank.gr/2021/04/29/res-first-energy-source-el/)

Παρατηρείται λοιπόν ότι σε διάστημα 11 χρόνων η εξάρτηση της Ελλάδας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει φτάσει από 5% περίπου που ήταν το 2011 σε σχεδόν 40% για το 2021. Αναμφίβολα

σηματοδοτεί την πρόθεση της για εξασφάλιση καθαρότερης και φθηνότερης ενέργειας αλλά και την απεξάρτηση της από συμβατικούς σταθμούς μειώνοντας την χρήση τους στο ίδιο χρονικό διάστημα έως και 45%. Η συνεισφορά που είχαν οι διάφορες τεχνολογίες ΑΠΕ στο γεγονός αυτό για το έτος 2021 παρουσιάζεται ακολούθως.



Διάγραμμα 2: Ενεργειακό Μίγμα παραγωγής για το έτος 2021. Πηγή: <https://www.dapeep.gr/viosimi-anaptixi/energeiako-meigma/>

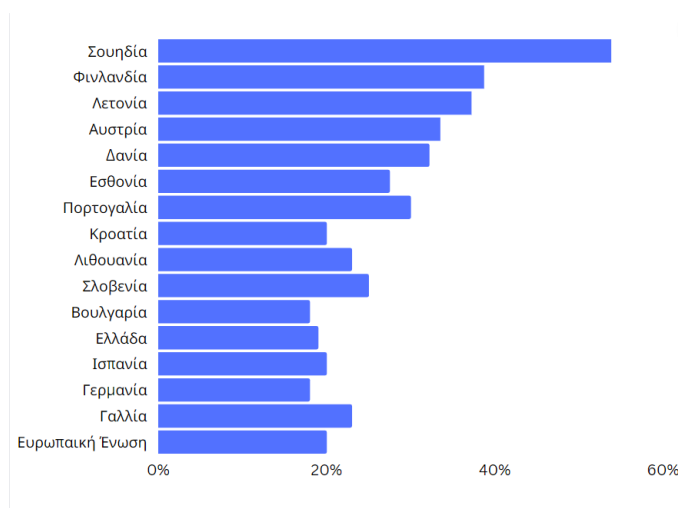
1.5 Η Αγορά Α.Π.Ε στις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές Χώρες

Είναι γεγονός ότι την τελευταία δεκαετία τα περισσότερα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναγνώρισαν τα οφέλη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έναντι των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι σε συνδυασμό με τον Ευρωπαϊκό στόχο, που ορίζει ότι το 20% της παραγόμενης ενέργειας θα πρέπει να προέρχεται από ΑΠΕ, είχε σαν αποτέλεσμα πολλά κράτη να δραστηριοποιηθούν και να ενταχθούν δυναμικά στην αγορά των ανανεώσιμων πηγών. Μεταξύ άλλων παρατηρείται ότι η Ελλάδα έχει κάνει σημαντικά βήματα στην αύξηση του αντίστοιχου ποσοστού στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας κατά τα χρόνια της κρίσης. Το έθνος μας υπερδιπλασίασε το ποσοστό μέσα σε μια δεκαετία και το 2018, ανερχόταν στο 18% (Triantafylloy et al., 2021). Διαπιστώνεται ακολούθως ότι αρκετά κράτη είχαν εξασφαλίσει το απαιτούμενο ποσοστό με εξαίρεση να αποτελούν η Ελλάδα η Ισπανία, η Γερμανία και η Γαλλία.

Πίνακας 1: Ποσοστό ενέργειας που προέρχεται από ΑΠΕ στην ΕΕ. Πηγή: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2021

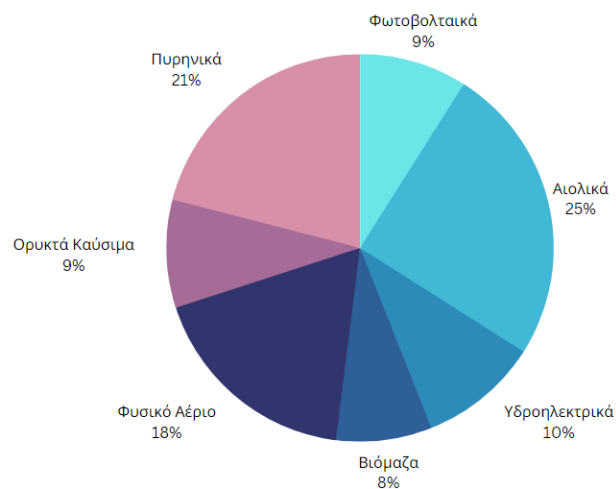
Χώρες / Έτος	2010	2012	2014	2016	2018
Σουηδία	46,95%	50,23%	51,87%	53,37%	54,64%
Φινλανδία	32,44%	34,43%	38,78%	39,01%	41,16%
Λετονία	30,37%	35,70%	38,62%	37,13%	40,29%
Αυστρία	31,19%	32,67%	33,65%	33,36%	33,42%
Δανία	21,88%	25,46%	29,31%	31,83%	35,70%
Εσθονία	24,57%	25,52%	26,14%	28,68%	29,99%
Πορτογαλία	24,16%	24,57%	29,5%	30,51%	30,22%
Κροατία	25,10%	16,75%	27,81%	28,26%	28,02%
Λιθουανία	19,64%	21,43%	23,59%	25,61%	24,44%
Σλοβενία	20,42%	20,81%	21,53%	21,29%	21,14%
Βουλγαρία	13,92%	15,83%	18,05%	18,76%	20,52%
Ελλάδα	10,07%	13,74%	15,68%	15,39%	18,00%
Ισπανία	13,81%	14,27%	16,12%	17,42%	17,45%
Γερμανία	11,68%	13,55%	14,38%	14,89%	16,48%
Γαλλία	12,67%	13,43%	14,58%	15,68%	16,59%

Εν συνεχεία οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν το 2020 για τα ίδια κράτη δεν άλλαξαν ιδιαίτερα τις ισορροπίες. Όπως και πρίν η πλειοψηφία των κρατών, με πρωτοπόρους την Σουηδία και την Φινλανδία, είχε ξεπεράσει το 20% παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ενώ οι τελευταίες θέσεις εξακολουθούν να καλύπτονται από τα ίδια κράτη.(Triantafylloy et al., 2021).



Διάγραμμα 3: Ποσοστά παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στην ΕΕ. Πηγή: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics

Όσον αφορά τη συνολική ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας, για το έτος 2020, η Σουηδία έχει το υψηλότερο ποσοστό ανανεώσιμης ενέργειας (53,8%), ακολουθούμενη από τη Φινλανδία (38,7%), τη Λετονία (37,2%), την Αυστρία (33,5%) και τη Δανία (32,2%). Οι χώρες με τα χαμηλότερα ποσοστά περιλαμβάνουν το Λουξεμβούργο (5,4%), τη Μάλτα (6%) και τις Κάτω Χώρες (6%), με την πιθανότητα το ποσοστό αυτό να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια. Για το έτος 2022 δεν υφίστανται σπουδαίες διαφοροποιήσεις. Τέλος με αφορμή τον Ευρωπαϊκό στόχο που έχει τεθεί, για το έτος 2030, το μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το αντίστοιχο έτος προβλέπεται να έχει την κάτωθι κατηγοριοποίηση.



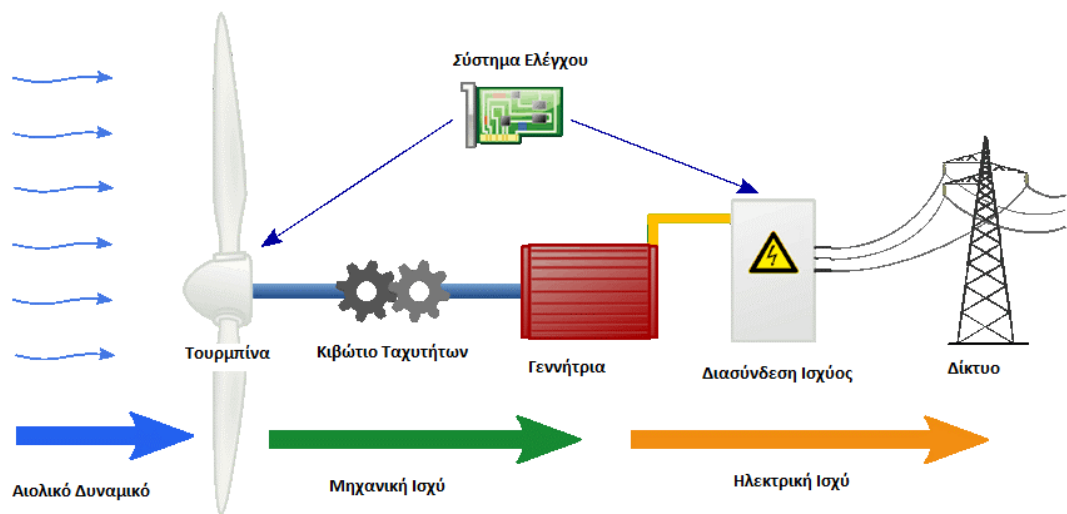
Διάγραμμα 4: Μελλοντικό ενεργειακό μείγμα για το έτος 2030. Πηγή: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.012>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η άνιση θέρμανση της ατμόσφαιρας από τον ήλιο, οι επιφανειακές διακυμάνσεις και η περιστροφή της γης συμβάλλουν στον άνεμο. Κατά συνέπεια, η αιολική ενέργεια είναι ένα είδος ηλιακής ενέργειας. Ο άνεμος επηρεάζεται από τη βλάστηση, τα υδάτινα σώματα και τα βουνά. Ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η αιολική ενέργεια αναφέρεται στη μέθοδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο. Οι συσκευές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια ονομάζονται ανεμογεννήτριες. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί από μια γεννήτρια που χρησιμοποιεί μηχανική ενέργεια. Επιπλέον, η μηχανική ενέργεια μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας σε ορισμένες λειτουργίες, όπως η άντληση νερού. Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν με την περιστροφή πτερυγίων που μοιάζουν με έλικες γύρω από έναν ρότορα για τη μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ο άξονας κίνησης περιστρέφεται από τον ρότορα,

ο οποίος περιστρέφει επίσης μια ηλεκτρική γεννήτρια. Η ποσότητα της αιολικής ενέργειας που μπορεί να συλλάβει μια ανεμογεννήτρια εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες:

1. Την ταχύτητα του ανέμου.
2. Την πυκνότητα του αέρα
3. Την έκταση που καλύπτει ο ρότορας κατά την περίοδο περιστροφής του.



Εικόνα 2: Τρόπος λειτουργίας μιας Ανεμογεννήτριας. Πηγή: https://www.kindpng.com/imgv/hoJiRjB_wind-turbine-energy-diagram-png-download-wind-power/

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στις ΗΠΑ, η εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας έχει βελτιωθεί δραματικά τα τελευταία 10 χρόνια, αυξάνοντας την αιολική ισχύ της περιοχής κατά 30% ετησίως. Οι Ηνωμένες Πολιτείες διαθέτουν σήμερα 69.471 MW εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας, με άλλα 4.100 MW σε προχωρημένο σχεδιασμό και περισσότερα από 13.250 MW που βρίσκονται ακόμη υπό ανάπτυξη (Astariz, & Iglesias, 2017).

2.1 Γενικά για την Αιολική Ενέργεια

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η χρήση της αιολικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, ιδίως μετά την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, στην Ελλάδα παρατηρήθηκε επίσης σημαντική αύξηση της κατασκευής αιολικών σταθμών παραγωγής ενέργειας. Οι βαθιές θάλασσες και οι απότομες μεταβολές στο σχήμα του πυθμένα είναι δύο χαρακτηριστικά της Μεσογείου. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, τα νερά μπορεί να είναι αρκετά βαθιά και η κλίση του πυθμένα κατά μήκος των περισσότερων

ακτογραμμών είναι απότομη, οπότε ακόμη και σε απόσταση 500 μέτρων από την ακτή, το βάθος μπορεί να ξεπεράσει τα 50 μέτρα. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι το σημερινό μέγιστο βάθος για την ανάπτυξη ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι 50 μέτρα. Οι πλωτές κατασκευές φαίνεται να είναι ο μόνος τρόπος για να παρακαμφθεί αυτός ο περιορισμός και οι προτάσεις για αυτές αρχίζουν να έρχονται στην επιφάνεια. Η Ελλάδα διαθέτει περιορισμένο αριθμό θέσεων σε προσβάσιμα βάθη (έως 30 μέτρα) που βρίσκονται μακριά από την ακτή.

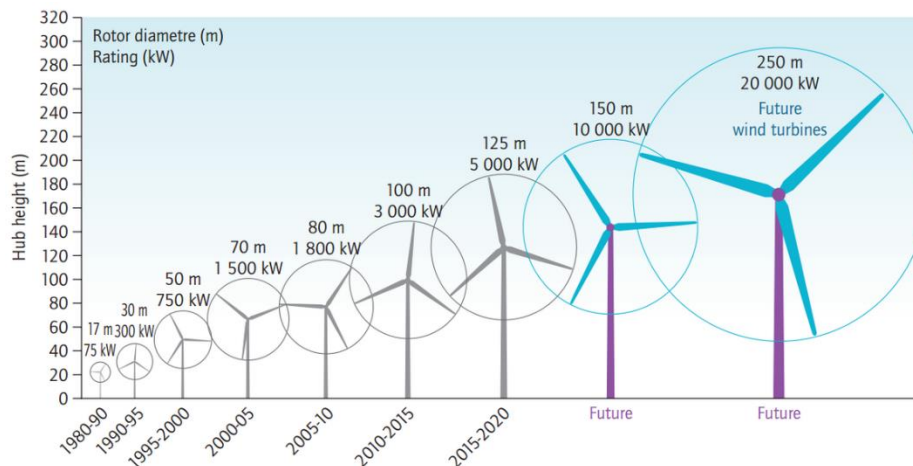
Η αιολική ενέργεια είναι η κινητική ενέργεια του ανέμου. Λόγω της ανομοιόμορφης θέρμανσης της γήινης επιφάνειας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση τεράστιων ποσοτήτων αέρα από τη μία περιοχή στην άλλη, οι άνεμοι παράγονται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Είναι ανανεώσιμη, καθώς πρόκειται για μια καλοήγη μορφή ενέργειας που είναι επίσης πρακτικά απεριόριστη και φιλική προς το περιβάλλον. Η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε ένα έτος, αν μπορούσε να αξιοποιηθεί όλη η αιολική ενέργεια της γης, θεωρείται ότι είναι υπερδιπλάσια από αυτήν που θα χρειαζόταν ο παγκόσμιος πληθυσμός στο ίδιο χρονικό διάστημα. Σε ύψος 10 μέτρων πάνω από το έδαφος, οι άνεμοι με μέση ετήσια ταχύτητα άνω των 5,1 m/sec πιστεύεται ότι επηρεάζουν το 25% της επιφάνειας της γης (Triantafylloy et al., 2021).

Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, όταν οι άνεμοι πνέουν ταχύτερα από αυτόν τον αριθμό, το αιολικό δυναμικό της περιοχής θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαραίτητες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες. Επιπλέον, η τιμή κατασκευής ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και καθώς η αιολική ενέργεια είναι πλέον ανταγωνιστική σε σχέση με τους παραδοσιακούς τύπους ενέργειας, μπορεί να ειπωθεί ότι βρίσκεται στο πρώτο στάδιο της ωριμότητάς της. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, η πετρελαϊκή κρίση έσπρωξε τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και ιδίως την αιολική ενέργεια, ξανά στο προσκήνιο. Μέχρι σήμερα, υπήρξε μεγάλη και ταχεία επέκταση, η οποία επιδεινώθηκε από την πιεστική ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος. Όλο και περισσότεροι άνθρωποι αρχίζουν να συνειδητοποιούν ότι η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή, ατελείωτη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (Triantafylloy et al., 2021).

2.1.1 Βασικά μέρη της ανεμογεννήτριας

Τις τελευταίες δεκαετίες η τεχνολογία των ανεμογεννητριών έχει παρουσιάσει μεγάλη πρόοδο. Συγκεκριμένα, οι πρώτες αιολικές μηχανές είχαν σχεδιαστεί να προσφέρουν ισχύ έως 250kW στις αρχές του 19^{ου} αιώνα και ο μοναδικός τόπος εγκατάστασης ήταν η στεριά. Σήμερα, η εγκαταστημένη ισχύς τους ξεκινάει από 3.5 MW για χερσαίες εγκαταστάσεις και φθάνει έως και 5 MW οι οποίες χρησιμεύουν στις υπεράκτιες εγκαταστάσεις. Συνήθως οι αιολικές μηχανές μεγάλης κλίμακας

τοποθετούνται σε ομάδες ώστε να αξιοποιήσουν στο μέγιστο το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό της εκάστοτε περιοχής (Kavakli 2022).



Εικόνα 3: Εξέλιξη στο μέγεθος των ανεμογεννητριών. Πηγή:

https://iea.org/publications/freepublications/publication/Wind_2013_Roadmap.pdf

Σχεδιαστικά, συνηθίζεται να είναι ενωμένα τα πτερύγια με έναν βραχίονα ο οποίος συνδέεται με το κιβώτιο ταχυτήτων. Το κιβώτιο, αυξάνει την ταχύτητα του ρότορα από τις 50 μέχρι και τις 1800 στροφές ανά λεπτό. Όσο γρηγορότερα περιστρέφεται ο βραχίονας παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι δεδομένο ότι οι άνεμοι δεν παρουσιάζουν μια σταθερή ταχύτητα το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα η αιολική μηχανή να μην παράγει το ίδιο. Αυτό δημιουργεί ένα πρόβλημα αφού πρέπει να δίνεται στο δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια συγκεκριμένης συχνότητας. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά συστήματα τα οποία αντιλαμβάνονται τις εξωτερικές μεταβολές και προσπαθούν να εναρμονίσουν την ανεμογεννήτρια με τα χαρακτηριστικά του ανέμου σε κάθε περίπτωση.

Η ανεμογεννήτρια αποτελείται από 5 βασικά μέρη. Αυτά είναι ο πύργος, η θεμελίωση, ο βραχίονας, ο ρότορας, η άτρακτος, η γεννήτρια και παρουσιάζονται ακολούθως (Kavakli 2022):

Πύργος

Ανάλογα με τον τύπο και την ονομαστική ισχύ της αιολικής μηχανής, ο πύργος έχει διάμετρο από 3-4 μέτρα και μέγιστο ύψος που κυμαίνεται από 75-120 μέτρα. Είναι γνωστό ότι όσο πιο ψηλά βρίσκονται τα πτερύγια τόσο περισσότερη ενέργεια παράγουμε, αφού η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται καθώς πηγαίνουμε πιο ψηλά.



Εικόνα 4: Χαρακτηριστικό παράδειγμα μέρος ενός πύργου της Α/Γ. Πηγή:

<https://www.metallisation.com/applications/mabey-bridge-wind-turbine-towers-and-arc140/>

Θεμελίωση

Η θεμελίωση , για τα χερσαία αιολικά , βρίσκεται υπόγεια και είναι καλυμμένη από χώμα. Πρόκειται για μια κατασκευή από τσιμέντο , μπετό και σίδερα η οποία πρέπει να προσφέρει στην αιολική μηχανή σταθερότητα. Σχετικά με την περίπτωση των υπεράκτιων αιολικών , εκεί η θεμελίωση βρίσκεται στον πυθμένα της θάλασσάς και εξαρτάται από το είδος Υ.Α.Π που θα χρησιμοποιηθεί.



Εικόνα 5: Βάση χερσαίας ανεμογεννήτριας. Πηγή: <https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/start-up-launches-new-foundations-for-wind-turbines>

Βραχίονας

Η λειτουργία του βραχίονα είναι η σταθεροποίηση των πτερυγίων και η περιστροφή αυτών με τον ρυθμό που ορίζει η γεννήτρια. Στις περισσότερες περιπτώσεις έχει 3 εγκοπές που είναι οι βάσεις για την εγκατάσταση των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 6: Βραχίονας ανεμογεννήτριας . Πηγή: <https://www.quora.com/Do-blades-on-wind-turbines-rotate>

Ρότορας

Ο ρότορας αποτελείται από τον βραχίονα πάνω στον οποίο έχουν ενσωματωθεί τα 3 πτερύγια. Γενικότερα , υπάρχουν και περιπτώσεις όπου έχουμε ρότορας με 2 ή 4 πτερύγια. Ωστόσο μελέτες έχουν δείξει ότι αυτοί με 3 πτερύγια αποδίδουν καλύτερα. Τα πτερύγια κατασκευάζονται από συμπιεσμένα υλικά ώστε να έχουν χαμηλό βάρος και να μπορούν να περιστρέφονται χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία. Επίσης , στις σύγχρονες κατασκευές τα πτερύγια μπορούν να περιστρέφουν έως και 90 μοίρες , ως προς τον βραχίονα , μειώνοντας την καταπόνηση που δέχονται κατά την διάρκεια ισχυρών ανέμων. Η τεχνολογία αυτή ονομάζεται «blade pitch» και εφαρμόζεται στις χερσαίες και υπεράκτιες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 7: Ανεμογεννήτριες με ρότορα 3 πτερυγίων . Πηγή: <https://ocnjdaily.com/cape-may-county-expands-legal-team-fight-offshore-wind-farm/>

Άτρακτος

Πρόκειται για το εξάρτημα που βρίσκεται στην κορυφή του πύργου και στεγάζει τα ηλεκτρομηχανολογικά μέρη της ανεμογεννήτριας όπως είναι το κιβώτιο ταχυτήτων και η γεννήτρια. Εσωτερικά της ατράκτου γίνεται η μετατροπή της χαμηλής ταχύτητας σε στάθμη κατάλληλη για την γεννήτρια ώστε να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Η γεννήτρια από την άλλη , η οποία είναι συνήθως ασύγχρονη , μετατρέπει την μηχανική ενέργεια από τον ρότορα σε ηλεκτρική. Επίσης η άτρακτος , είναι ενσωματωμένη με διάφορα μετρητικά συστήματα όπως ανεμόμετρα και αισθητήρες ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου. Έτσι μπορεί να συλλέξει δεδομένα και να ρυθμίσει την λειτουργία της γεννήτριας και των πτερυγίων με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφευχθούν οι υλικές ζημιές. Στις νέες κατασκευές πέρα από τους αισθητήρες διαθέτει πλέον και συστήματα αυτόματης πέδησης.



Εικόνα 8: Εσωτερικό ατράκτου. Πηγή: <https://apctt.org/sites/default/files/2020-08/Wind%20Energy%20Resource%20Assessment%20Handbook.pdf>

Γεννήτρια

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η γεννήτρια μιας αιολική μηχανής μετατρέπει την μηχανική ενέργεια των πτερυγίων σε ηλεκτρική. Η δομή της είναι παρόμοια με εκείνη ενός ηλεκτρικού κινητήρα και κατηγοριοποιείται σε ασύγχρονη και σύγχρονη. Προκειμένου να λειτουργεί αποδοτικά θα πρέπει να εναρμονίζεται με την συχνότητα του δικτύου, δηλαδή με συχνότητα 50 ή 60 Hz ανάλογα με την χώρα στην οποία πρόκειται να τοποθετηθεί. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να περιστρέφεται με ταχύτητα υψηλότερη από την εκείνη των πτερυγίων. Τυπικά για 50Hz η ταχύτητα περιστροφής θα πρέπει να είναι περίπου 1500rpm ενώ για 60Hz περίπου 1600rpm. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα πτερύγια δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε τέτοιες ταχύτητες. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κιβώτιο ταχυτήτων θεωρείται ως το πιο προβληματικό εξάρτημα της ανεμογεννήτριας λόγω της έλλειψης στοχαστικότητας του ανέμου. Έτσι θα πρέπει να επιλέγονται γεννήτριες με ενσωματωμένες δικλείδες ασφαλείας που θα την απομονώνουν από το κιβώτιο σε δυσμενείς περιπτώσεις, περιορίζοντας τα κόστη συντήρησης ή/και αντικατάστασης.



Εικόνα 9: Γεννήτρια α/γ με ισχύ 2.5MW. Πηγή: <https://www.sparesinmotion.com/wind-turbine-parts/generators/elin-505506e-0>

2.2 Εκτίμηση Αιολικού Δυναμικού

Η σημαντικότερη παράμετρο που πρέπει να ληφθεί υπόψιν στο πρώιμο στάδιο ανάπτυξης ενός αιολικού πάρκου, είτε αυτό είναι χερσαίο είτε υπεράκτιο, είναι το αιολικό δυναμικό της εκάστοτε περιοχής. Πρόκειται για το σημαντικότερο κριτήριο, για τόσο για την παραγωγική λειτουργία της

ανεμογεννήτριας όσο και για την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Τα ανεμολογικά στοιχεία που υπάρχουν για την υπό εξέταση περιοχή , μαζί με τυχόν μελέτες ή και εφαρμογές υποδεικνύουν την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού ως μια από τις πιο αποδοτικότερες διαδικασίες υποκατάστασης των συμβατικών πηγών ενέργειας (Β.Δ. Μπιζιώνης, 2020).

Η βέλτιστη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας που συναντάμε στο εκάστοτε σημείο , εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί. Λαμβάνοντας υπόψιν πως σήμερα σχεδόν όλες οι κατασκευαστές ακολουθούν τα ίδια πρότυπα , τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει μια περιοχή για να θεωρείται κατάλληλη για την ανάπτυξη ενός αιολικού πάρκου είναι οι κάτωθι (Β.Δ. Μπιζιώνης, 2020):

1. Στην περιοχή εκείνη , να εντοπίζονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα άνεμοι με μεγάλες ταχύτητες , κατά την διάρκεια του έτους
2. Να βρίσκεται σε σημείο με εύκολη πρόσβαση , ώστε να γίνονται οι απαραίτητες συντηρήσεις ή επιθεωρήσεις στην ώρα τους.
3. Να ενδείκνυται για την ανάπτυξη και εγκατάσταση περισσότερων ανεμογεννητριών.
4. Να βρίσκεται κοντά στο σημείο σύνδεσης με το εθνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Να μην βρίσκονται σε σχετικά μεγάλο υψόμετρο για την αποφυγή περιορισμών στην λειτουργία των ανεμογεννητριών λόγω έντονων καιρικών συνθηκών.

Για την βέλτιστη επιλογή της θέσης εγκατάστασης των ανεμογεννητριών θα πρέπει να είναι γνωστά (Β.Δ. Μπιζιώνης, 2020):

1. Η ταχύτητα του ανέμου.
2. Η διεύθυνση του ανέμου.
3. Οι αναταράξεις της περιοχής λόγω ανέμων.
4. Οι στροβιλισμοί του ανέμου.
5. Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου βάσει του υψόμετρου (κατανομή ανέμου).

Σημειώνεται , ότι σχετικά με το αιολικό δυναμικό στα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα ισχύουν οι ίδιες προϋποθέσεις. Ωστόσο θα πρέπει να επισημανθεί ότι σε ένα θαλάσσιο περιβάλλον , οι άνεμοι είναι

πιο ισχυροί και πιο σταθεροί σε σχέση με εκείνους της στεριάς. Επίσης, οι υπεράκτιες περιοχές παρουσιάζουν λιγότερα εμπόδια για την κυκλοφορία του αέρα επιτρέποντας στην ανεμογεννήτρια να έχει καλύτερη απόδοση.

2.2.1 Υπολογισμός Αιολικού Δυναμικού

Προκειμένου να έχουν πλήρη εικόνα για την συμπεριφορά του αιολικού δυναμικού στην περιοχή ενδιαφέροντος θα πρέπει να λάβουμε μετρήσεις τουλάχιστον για ένα ολόκληρο έτος. Με αυτόν τον τρόπο θα ξέρουμε την συμπεριφορά του ανέμου κατά την διάρκεια των 4 εποχών. Για να γίνει αυτό τοποθετούνται ιστοί σε ύψος τουλάχιστον 10 μέτρων από το έδαφος και σε μέρος όπου δεν υπάρχουν εμπόδια που ενδεχομένως να επηρεάζουν τον άνεμο. Άμα θελήσουμε να λάβουμε πιο αξιόπιστες μετρήσεις τότε εγκαθιστούμε ψηλότερου ιστούς ανα 10 μέτρα έως ότου φθάσουμε τα 50 μέτρα που συνήθως βρίσκεται και η πτερωτή της ανεμογεννήτριας. Για να τοποθετηθεί ένας τέτοιος ιστός θα πρέπει πρώτα να συναρμολογηστεί και έπειτα να ανεγερθεί. Στο υψηλότερο σημείο του ο ιστός είναι εξοπλισμένος με τον ανεμοδείκτη, το ανεμόπτερο και το ψηφιακό όργανο στο οποίο στέλνονται και αποθηκεύονται όλες οι μετρήσεις. Στην παρακάτω φωτογραφία απεικονίζεται ένας μετρητικός ιστός που τοποθετείται σε ύψος άνω των 10 μέτρων.



Εικόνα 10: Μέτρηση αιολικού δυναμικού με ιστό. Πηγη: <https://www.windengineering.gr/el/yphresies/dokimes-kai-metrhseis/metrhsh-aiolikov-dynamikou>

Η λειτουργία του **ανεμοδείκτη** είναι η καταγραφή σε πραγματικό χρόνο της κατεύθυνσης του ανέμου. Για να ξεκινήσει να περιστρέφεται απαιτείται μια ελάχιστη ταχύτητα μεταξύ 0,5 – 1 m/s και η βέλτιστη τοποθέτηση του είναι σε απόσταση 1,5 μέτρου από το έδαφος. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας πλέον θεωρείται ένα πολύ αξιόπιστο μετεωρολογικό όργανο και για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται τόσο για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού όσο και για την πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών (The History of Wind Vanes).



Εικόνα 11: Σύγχρονος ανεμοδείκτης. Πηγή:

https://symmetron.gr/gr_products_tblast.php?cat1=21&x_products_tb_categoriesid=10125&z_products_tb_categoriesid=LIKE

Τα **ανεμόμετρα** είναι τα μετεωρολογικά όργανα που μετράνε την ταχύτητα του ανέμου. Είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μετατρέπει τις φυσικές μεταβολές σε ηλεκτρικό σήμα που το στέλνει στο καταγραφικό όργανο (Δημήτρης Β.Κανελλόπουλος). Υπάρχουν διάφορα είδη ανεμόμετρων ανάλογα για την χρήση που το θέλουμε. Αυτά είναι (Wind Measurements , 2011):

1. Περιστροφικά ανεμόμετρα.
2. Ανεμόμετρα υπερήχων.
3. Ανεμόμετρα θερμού νήματος.
4. Ανεμόμετρα Laser.
5. Ανεμόμετρα σωλήνας πίεσης.

Ωστόσο για την καταγραφή του αιολικού δυναμικού συνήθως χρησιμοποιούνται τα κυπελλοφόρα , λόγω του μεγέθους , της χαμηλής τιμής και της ευκολίας τοποθέτησης. Συνήθως αποτελούνται από 3 ασύμμετρα ημισφαιρικά κύπελλα , τοποθετημένα πάνω σε έναν σωλήνα και ισαπέχουν μεταξύ τους.



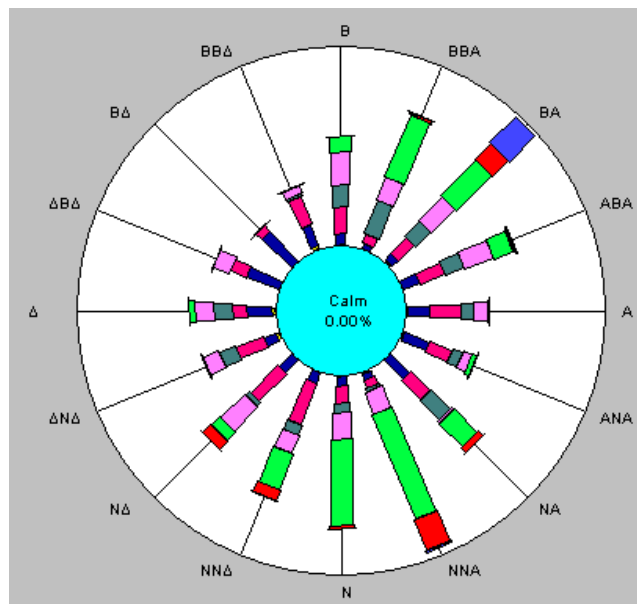
Εικόνα 12: Κυπελλοφόρα ανεμόμετρα. Πηγή : https://www.scienter.gr/web/el/wind_sensor_products.php

2.2.2 Χαρακτηριστικές Παράμετροι του Ανέμου

Προκειμένου η μελέτη εκτίμησης της κατάλληλης θέσης να θεωρείται ολοκληρωμένη θα πρέπει να είναι γνωστές οι χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου, οι οποίες διακρίνονται ως εξής (Β.Δ. Μπιζιώνης, 2020):

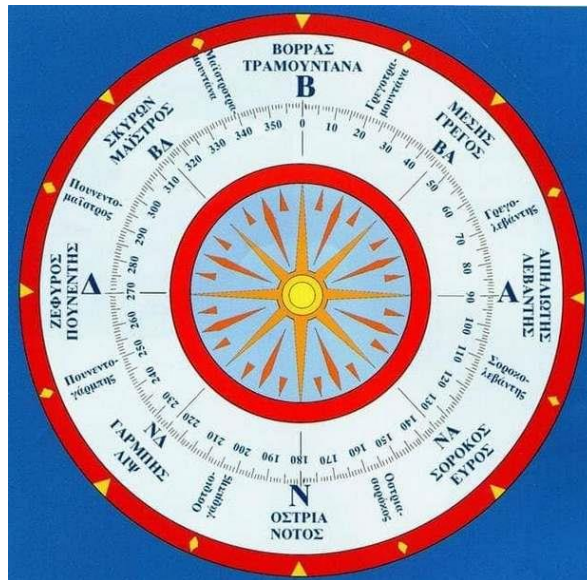
1. Η μέση ταχύτητα: Πρόκειται για ένα μεταβλητό μέγεθος που εξαρτάται από την μορφολογία του εδάφους της περιοχής. Συνήθως ορίζεται ως η μέση τιμή εντός διαστήματος 10 λεπτών.
2. Η στιγμιαία ταχύτητα: Ορίζεται ως το άθροισμα της μέσης ταχύτητας και της διακύμανσης της.
3. Μέγιστη ταχύτητα ανέμου: Καθορίζει τον τύπο ανεμογεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί και εξαρτάται από το κοντινό περιβάλλον. Με βάση τις μετρήσεις που έχουν ληφθεί , ορίζεται ανά ώρα η μέγιστη ημερήσια και στην συνέχεια η μέγιστη μηνιαία ταχύτητα. Τέλος , αναφορικά με την μέγιστη ετήσια ταχύτητα του ανέμου , πρέπει να μελετηθεί σε βάθος 10 ετίας.
4. Η ριπή: Ορίζεται ως το μικρό χρονικό διάστημα που αυξάνεται απότομα η ταχύτητα του ανέμου , η οποία επανέρχεται σύντομα στα προηγούμενα επίπεδα. Είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για την ανεμογεννήτρια και άμα διαρκέσουν παραπάνω από 30 δευτερόλεπτα ο μηχανισμός ασφαλείας θέτει εκτός λειτουργίας την αιολική μηχανή. Οι τυπικές τιμές της ρίπης κυμαίνονται από 9 έως 15 m/s.
5. Η διεύθυνση: Η διεύθυνση του ανέμου ορίζεται από το σημείο του ορίζοντα που φυσάει ο άνεμος σε σχέση με τη θέση που μελετάται. Συγκριτικά με την ταχύτητα , η διεύθυνση παρουσιάζει χαμηλότερες διακυμάνσεις και εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την βλάστη και

τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Ως βασική διεύθυνση του ανέμου ορίζεται εκείνη που συνεισφέρει τουλάχιστον 10% στην συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Ως βασικές διευθύνσεις ανέμου προσδιορίζονται εκείνες που παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα να εμφανιστούν για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Μια περιοχή μπορεί να διακριθεί σε προσήνεμη και υπήνεμη. Η πρώτη σχετίζεται με τον χώρο εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας και τον προσανατολισμό της. Η δεύτερη, είναι η αντίθετη της προσήνεμης και αφορά την περιοχή που εκτίθεται σε ανέμους με χαμηλότερη συχνότητα εμφάνισης. Τέλος, κατά την φάση επιλογής της βέλτιστης τοποθεσίας θα πρέπει να ελεγχθεί η τραχύτητα του εδάφους σε σχέση με τις επικρατούσες διευθύνσεις τις οποίες μπορούμε να βρούμε μέσω ενός ροδογράμματος της περιοχής.



Εικόνα 13: Χαρακτηριστικό παράδειγμα ροδογράμματος . Πηγή:

<https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2686429/theFile>



Εικόνα 14: Ανεμολόγιο με τα ονόματα των ανέμων βάσει της διεύθυνσής τους. Πηγή:

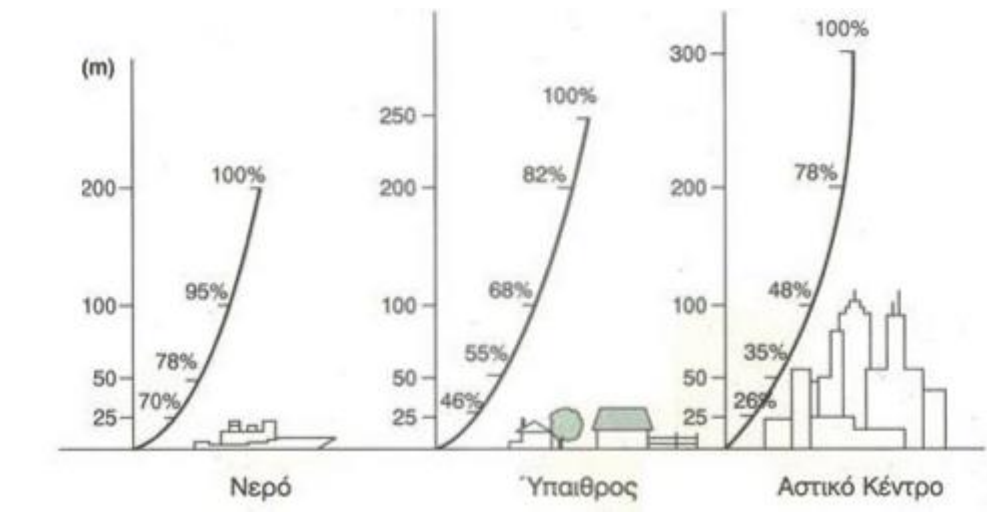
<https://www.helppost.gr/kairos/anemologio-dievthinsi-onomata-anemon/>

6. Η τραχύτητα του εδάφους: Ορίζεται ως το μέγεθος που εκφράζει το είδος του εδάφους και εξαρτάται από το μήκος της και την κατηγορία της τραχύτητας. Το μήκος της , μεταβάλλεται ανάλογα τις εποχές και επηρεάζεται από την τοπική βλάστηση. Ανάλογα με την εκάστοτε μορφολογία του εδάφους η κλάση της τραχύτητας διαφέρει , όπως διατυπώνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2: Στοιχεία τραχύτητας εδάφους. Πηγή: (Β.Δ. Μπιζιώνης, 2020)

α/α	Τύπος Εδάφους	Κατηγορία τραχύτητας
1	Πολύ ομαλό πηλώδες ή άμμο	0
2	Ήρεμη ανοιχτή θάλασσα	0
3	Φουσκωμένη θάλασσα	0
4	Αμμώδες έδαφος	0
5	Έδαφος με χιόνι	0
6	Χέρσο έδαφος	1
7	Λιβάδι	1
8	Επίπεδο ακαλλιέργητο έδαφος	1
9	Χωράφι με χαμηλή βλάστηση	1
10	Χωράφι με υψηλά χόρτα	2
11	Χωράφι με σιτάρι	2

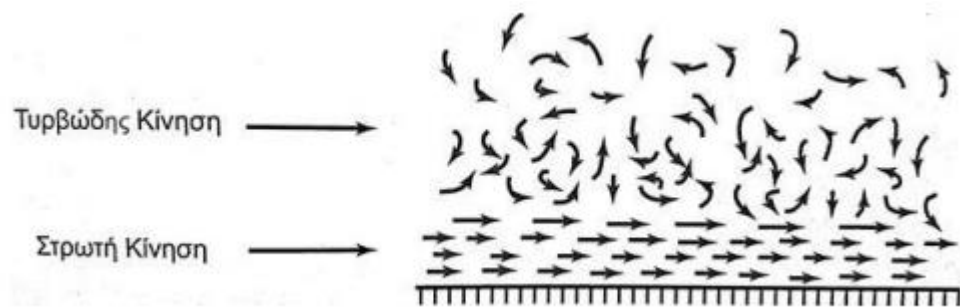
12	Σπαρμένο χωράφι	2
13	Έδαφος με θάμνους	2
14	Δάσος με χαμηλά δέντρα	2
15	Δάσος και περιοχές με κανονικά δέντρα	3
16	Προάστια πόλεων με χαμηλά ή μέτρια κτίρια	3
17	Πόλεις με υψηλά κτίρια	3



Εικόνα 15: Μεταβολή του ύψους του ατμοσφαιρικού στρώματος ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους. Πηγή: (Β.Α. Μπιζιώνης, 2020)

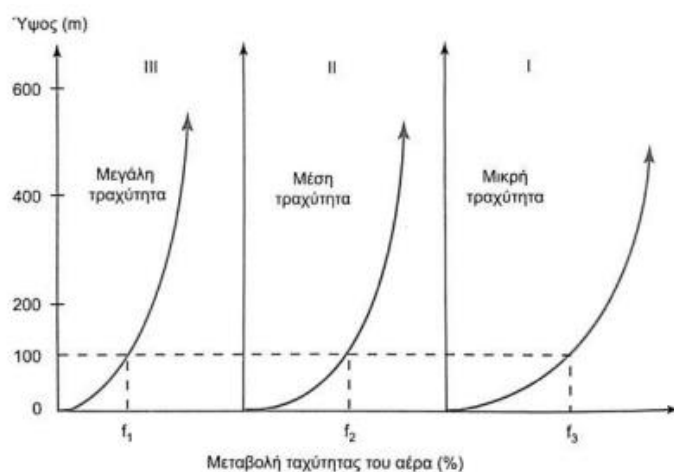
Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τραχύτητα του εδάφους, τόσο διογκώνεται το ύψος του ατμοσφαιρικού στρώματος και κατ' επέκταστης μειώνεται η ωφέλιμη ισχύς της ανεμογεννήτριας. Τέλος, η κατανομή της ταχύτητας του εδάφους επηρεάζεται άμεσα την τραχύτητα.

7. Ανατάραξη του αέρα (Τύρβη): Ορίζεται ως η διακύμανση της ταχύτητας του αέρα γύρω από την μέση τιμή. Η ένταση της εξαρτάται σε μέγιστο βαθμό από την κλάση της τραχύτητας. Τέλος, αυξημένη τύρβη έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του βαθμού απόδοσης της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 16 : Κατηγορίες της τύρβης . Πηγή : (Β.Α. Μπιζιώνης, 2020)

8. Στροβιλισμός: Ορίζεται ως η δημιουργία ασυνέχειας στην ροή του αέρα λόγω διαφορετικών εμποδίων που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους. Τα εμπόδια στο έδαφος έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία οργανωμένων στροβίλων οι οποίοι μειώνουν την ισχύ του αιολικού συστήματος.
9. Κατανομή του αέρα: Ορίζει την μεταβολή την ταχύτητας του ανέμου σε διαφορετικά επίπεδα ύψους.



Εικόνα 17: Μεταβολή ταχύτητας του ανέμου συναρτήση του ύψους και της τραχύτητας. Πηγη: (Β.Α. Μπιζιώνης, 2020)

2.3 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Η εγκατεστημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες στη χώρα μας έχει αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια (Κρήτη, Εύβοια, νησιωτικές χώρες). Οι ανησυχίες των τοπικών κοινωνιών για τις πιθανές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον συνέπεσαν με τη ραγδαία αύξηση της αιολικής ενέργειας, όπως ήταν αναμενόμενο. Οι ανησυχίες που εκφράζονται

ενίοτε φαντάζουν υπερβολικά δραματικές και ίσως παράλογες. Σε άλλες περιπτώσεις, τα επιχειρήματα για την κατασκευή αιολικών πάρκων ή ανεμογεννητριών έχουν κάποια αξία και απαιτούν περαιτέρω έρευνα. Η υιοθέτηση της αιολικής ενέργειας από τους τοπικούς πληθυσμούς, ωστόσο, εξαρτάται από την αντικειμενική γνώση των πλεονεκτημάτων και των αποτελεσμάτων που μπορεί να έχει ως μια ακόμη ανθρώπινη παρέμβαση στη φύση (Triantafyllou et al., 2021). Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή αναγνωρίζεται πλέον ευρέως ως ένας από τους μεγαλύτερους κινδύνους για το μέλλον της ανθρωπότητας. Η παραγωγή ενέργειας από συμβατικά καύσιμα οδηγεί τελικά στις εκπομπές των λεγόμενων "αερίων του θερμοκηπίου", τα οποία αποτελούν την κύρια αιτία αυτής της αλλαγής. Ως εκ τούτου, πιστεύεται ότι η ραγδαία ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδιαίτερα της αιολικής ενέργειας, έχει συμβάλει στα φαινόμενα της κλιματικής αλλαγής, όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο. Λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων της, η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια επιθυμητή λύση στο ζήτημα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Alamo et al., 2019).

Σε σύγκριση με τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμα, η αιολική ενέργεια έχει μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, επειδή είναι μια καθαρή, ουσιαστικά απεριόριστη πηγή ενέργειας που δεν απελευθερώνει επιβλαβείς ρύπους ή αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Πλεονεκτήματα

Έγκυρες μελέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν αποδείξει ότι μια σημαντική στροφή από τα συμβατικά καύσιμα σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδίως σε αιολικά πάρκα που βρίσκονται ήδη στο στάδιο του σχεδιασμού ή της υλοποίησης, θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών Ορκατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τουλάχιστον 11% και να μειώσει αντίστοιχα τις αρνητικές επιπτώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Sun et al., 2021).

Πιο συγκεκριμένα, με βάση το μέγεθος του εξοπλισμού και το αιολικό δυναμικό εξοικονομούνται τα εξής (για μέση ταχύτητα του ανέμου ίση με 5,5 m/s):

- 13-22 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα ανά GWh
- 13-20 kg διοξειδίου του θείου ανά GWh
- 18-27 kg νιτρικά οξείδια ανά GWh

Για παράδειγμα, η χρήση μιας ανεμογεννήτριας 600 kW υπό κανονικές συνθήκες μειώνει την απελευθέρωση 1.200 τόνων CO₂ κάθε χρόνο που θα εκλύονταν στο περιβάλλον εάν

χρησιμοποιούνταν άνθρακας ή φυσικό αέριο ως άλλη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Sun et al., 2021).

- Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η αποφυγή προστίμων που σχετίζονται με την εκπομπή αερίων ρύπων, όπως απαιτείται από το πρωτόκολλο του Κιότο.
- Η γεωγραφικά διάσπαρτη αιολική ενέργεια συμβάλλει στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, επιτρέποντας την ικανοποίηση των τοπικών και περιφερειακών ενεργειακών αναγκών και μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς.
- Η ενεργειακή ανεξαρτησία και η ασφάλεια εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο βελτιώνονται από τις εγχώριες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια.
- Ως εναλλακτική λύση χωρίς πετρέλαιο, η αιολική ενέργεια συμβάλλει επίσης στην ενεργειακή ανεξαρτησία των αναπτυσσόμενων χωρών.
- Επιπλέον, μια περιοχή μπορεί να αποκομίσει σημαντικά οικονομικά οφέλη από την ανάπτυξη του αιολικού τομέα.
- Τα μηχανήματα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι εύκολα στην κατασκευή και τη συντήρηση.
- Τα σημερινά αιολικά πάρκα είναι αξιοσημείωτα αθόρυβα. Σε απόσταση 40 μέτρων από μια ανεμογεννήτρια, το επίπεδο έντασης του ήχου είναι μεταξύ 50 και 60 db (A), το οποίο είναι συγκρίσιμο με την ένταση μιας συνομιλίας. Το επίπεδο αυτό είναι ακόμη χαμηλότερο, περίπου στα 30 db (A), το οποίο είναι συγκρίσιμο με το επίπεδο θορύβου ενός ήρεμου καθιστικού, δεδομένης της ελάχιστης απόστασης διαχωρισμού που απαιτείται μεταξύ των ανεμογεννητριών και των κοντινών κοινοτήτων.
- Οι δραστηριότητες που αφορούν τα βοοειδή και τη γεωργία δεν παρεμποδίζονται από την αιολική ενέργεια. Η γη στην οποία στεγάζεται ένα αιολικό πάρκο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς στο 99% περίπου της περιοχής. Δεδομένου ότι τα θεμέλια των ανεμογεννητριών βρίσκονται κάτω από το έδαφος, οι διάφορες γεωργικές εργασίες μπορούν να συνεχιστούν μέχρι τις βάσεις τους. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, ως παράδειγμα και σημείο αναφοράς, η έκταση που απαιτείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από έναν σταθμό παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα είναι έως και 4,5 φορές μεγαλύτερη από την έκταση που απαιτείται για την κάλυψη των ίδιων ενεργειακών αναγκών με αιολική ενέργεια. Ο αριθμός αυτός, ο οποίος βασίζεται στον 30ετή μέσο κύκλο ζωής ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, προέκυψε

λαμβάνοντας υπόψη τις μεγάλες εκτάσεις γης που δεσμεύονται για την εξόρυξη άνθρακα (Sun et al., 2021).

Όσον αφορά τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η συντριπτική πλειονότητά τους βρίσκεται σε λοφώδεις περιοχές με ελάχιστη έως καθόλου θαμνώδη βλάστηση, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στις τρέχουσες συνθήκες ανέμου (δηλ. υψηλές ταχύτητες ανέμου). Στις περιοχές όπου έχουν ανεγερθεί αιολικά πάρκα βόσκουν συχνά πρόβατα και κατσίκια.

- Εκτός από τα άμεσα και μετρήσιμα οικονομικά κέρδη και τη δημιουργία θέσεων εργασίας που συνεπάγεται η ανάπτυξη αιολικών πάρκων, μια περιοχή βιώνει επίσης μια σειρά από αντισταθμιστικά πλεονεκτήματα. Συγκεκριμένα, σημαντικά έργα υποδομής, όπως δρόμοι, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρική ενέργεια και διάφορα δημόσια έργα, όπως κοινοτικοί δρόμοι, σχολεία και παιδικοί σταθμοί, κατασκευάζονται ή βελτιώνονται με δωρεάν κόστος για το κοινό, ενώ οι επενδυτές παρέχουν επίσης χορηγίες
- Πάνω απ' όλα, η αιολική ενέργεια έχει αλλάξει το ενεργειακό και περιβαλλοντικό τοπίο, ενώ παράλληλα προάγει την οικονομική ανάπτυξη των περιοχών με σημαντικό αιολικό δυναμικό και εξασφαλίζει ένα βιώσιμο μέλλον για εμάς και τα παιδιά μας.

Παρά όλα τα προαναφερθέντα οφέλη, η αιολική ενέργεια έχει αρκετά σοβαρά μειονεκτήματα που σε μεγάλο βαθμό εμποδίζουν την ευρεία υιοθέτησή της.

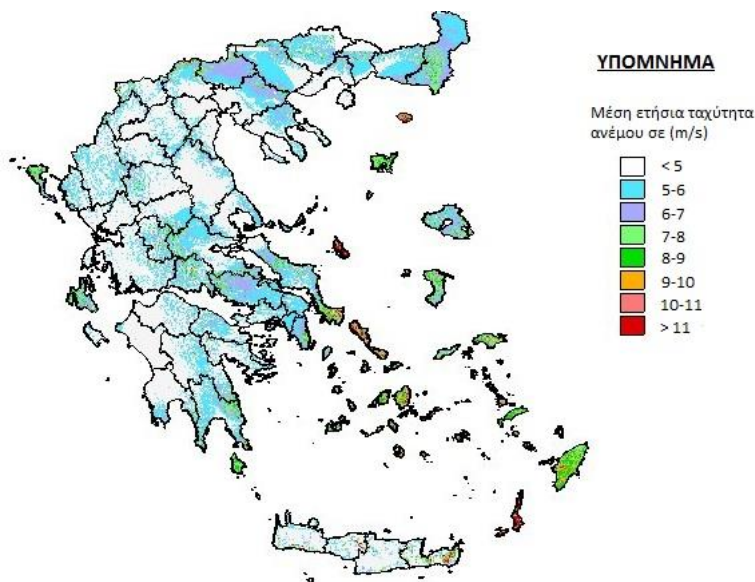
- Η διαλείπουσα φύση του ανέμου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα η έντασή του να μεταβάλλεται συχνά κατά τη διάρκεια της ώρας, της ημέρας ή ακόμη και του έτους, είναι το μεγαλύτερο εμπόδιο στη χρήση του ανέμου ως πηγή ενέργειας. Λόγω της στοχαστικής φύσης του ανέμου, υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στις τιμές της παραγόμενης ενέργειας, γεγονός που καθιστά δύσκολη την ικανοποίηση ξαφνικών αιχμών στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Η αντλησιοταμίευση προσφέρει μια λύση σε αυτό το πρόβλημα της στοχαστικότητας της αιολικής ενέργειας, αποθηκεύοντας την αιολική ενέργεια ως δυναμική ενέργεια στον όγκο του νερού που αντλείται μεταξύ δύο φυσικών ή μη ταμιευτήρων με υψομετρική διαφορά κατά τη διάρκεια των ωρών χαμηλής ζήτησης για να χρησιμοποιηθεί μέσω ενός υδροηλεκτρικού συστήματος κατά τις ώρες αιχμής (Sun et al., 2021).
- Λόγω του κατανεμημένου δυναμικού, της χαμηλής πυκνότητας ισχύος και της δυσκολίας μεταφοράς και αποθήκευσης τεράστιων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, η τεράστια ισχύς συχνά απαιτεί περίτεχνες εγκαταστάσεις.

- Όπως έχει ήδη διαπιστωθεί, η αιολική ενέργεια είναι δύσκολο να αποθηκευτεί. Οι μπαταρίες (συσσωρευτές) ή η αντλησιοταμίευση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση της αιολικής ενέργειας για μικρά και μεγάλα συστήματα, αντίστοιχα. Ωστόσο, η χρήση συστοιχιών συσσωρευτών αυξάνει σημαντικά το κόστος της επένδυσης.
- Το κόστος της αιολικής ενέργειας πρέπει να είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με αυτό των παραδοσιακών πηγών ενέργειας. Το αιολικό πάρκο μπορεί να είναι ή να μην είναι ανταγωνιστικό ως προς το κόστος, ανάλογα με το πόσο θυελλώδης είναι μια τοποθεσία. Παρόλο που το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία δέκα χρόνια, η τεχνολογία εξακολουθεί να χρειάζεται μεγαλύτερη αρχική επένδυση για να διαχειριστεί το ίδιο φορτίο με τις μονάδες που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα (Sun et al., 2021).
- Τα καλύτερα μέρη για την κατασκευή αιολικών πάρκων είναι συνήθως σε λοφώδεις, εκτός δικτύου περιοχές που βρίσκονται μακριά από τα αστικά κέντρα που χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια.
- Υπάρχει ανησυχία σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν τα αιολικά πάρκα σε τοπικό επίπεδο, παρά το γεγονός ότι έχουν σχετικά ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με άλλες συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Η κατασκευή και η λειτουργία των αιολικών πάρκων μεγάλης κλίμακας θεωρείται ότι έχει διάφορες αρνητικές επιπτώσεις, όπως ο θόρυβος από τις ανεμογεννήτριες, οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, η οπτική διαταραχή και τα χτυπήματα πουλιών στα πτερύγια των ανεμογεννητριών. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας, οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι εξαιρετικά αθόρυβες και γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που παράγονται είναι αρκετά μικρά και βρίσκονται μακριά από το έδαφος όπου είναι τοποθετημένη η ανεμογεννήτρια. Με τη χρήση της νέας τεχνολογίας ή/και την επιλογή κατάλληλων θέσεων για αιολικά πάρκα, η πλειονότητα αυτών των προβλημάτων έχει επιλυθεί ή μειωθεί σημαντικά. Για να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών στο τοπίο, η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου θα πρέπει να υποστηρίζεται από περιβαλλοντική μελέτη (Saidur et al., 2018).

Σε γενικές γραμμές, πρέπει να σημειωθεί ότι τα πλεονεκτήματα της χρήσης της αιολικής ενέργειας, τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, υπερτερούν των όποιων μειονεκτημάτων, τα οποία μειώνονται σταθερά με την πρόοδο της τεχνολογίας. Σε περιοχές με ισχυρό αιολικό δυναμικό, η αιολική ενέργεια είναι πλέον ανταγωνιστική σε σχέση με άλλα καύσιμα και αναμένεται να φτάσει σε πλήρη οικονομική ισοτιμία τα επόμενα χρόνια (Saidur et al., 2018).

2.4 Η Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα διαθέτει τεράστιο αριθμό νησιών και μεγάλη ακτογραμμή και η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας αποκτά ιδιαίτερη σημασία λόγω των ανέμων που πνέουν κυρίως σε αυτές τις περιοχές. Το νησιωτικό έθνος έχει μακρά ιστορία στην αξιοποίηση του ανέμου για την τροφοδοσία διαφόρων εργασιών που απαιτούσαν εξειδικευμένη ενέργεια. Οι ανεμόμυλοι είναι ένα συνηθισμένο θέαμα όχι μόνο στα κυκλαδίτικα νησιά αλλά και αλλού στο Αιγαίο Πέλαγος- ορισμένοι από αυτούς χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα, αν και κυρίως ως τουριστικά αξιοθέατα. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, το 13,6% των συνολικών αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να καλυφθεί από το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της χώρας.



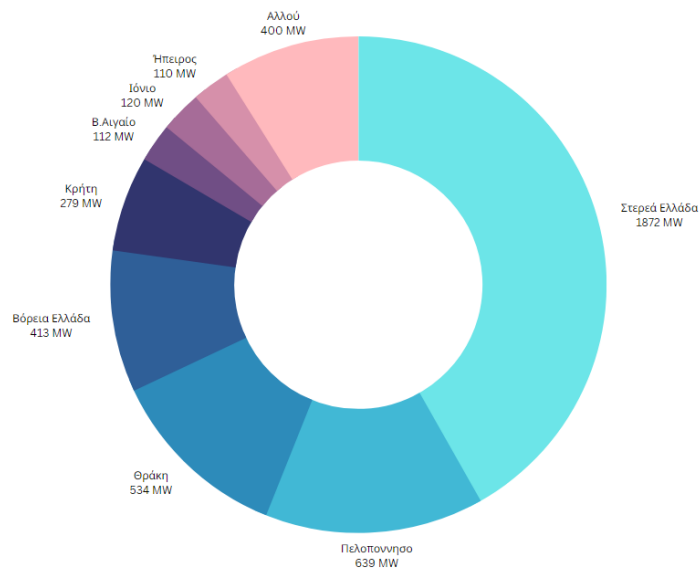
Εικόνα 18: Μέση αιολική ταχύτητα στην Ελλάδα. Πηγή: <http://pvmaint.gr>

Από την παραπάνω εικόνα παρατηρούμε ότι οι περιοχές, με την μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμων, βρίσκονται στο Αιγαίο, κυρίως στην περιοχή των Κυκλάδων, στην Κρήτη (στο βόρειο τμήμα του νησιού) στη ανατολική και νοτιοανατολική Πελοπόννησο, την Εύβοια και την ανατολική Θράκη. Έτσι γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι, οι προοπτικές για την Ελληνική αγορά αιολικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα θετικές, αφού η κατασκευή ανεμογεννητριών αναπτύσσονται τεχνολογικά και μειώνεται ταυτόχρονα το κόστους, με αποτέλεσμα να γίνονται όλο και πιο ελκυστικές για τους επενδυτές.

Η μέση ταχύτητα ανέμου σε αρκετές περιοχές βρίσκεται σε επίπεδο κατάλληλο ώστε να αξιοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και να βελτιώσει το σημαντικά το ενεργειακό ισοζύγιο. Συγκεκριμένα στα νησιά του Αιγαίου, το αιολικό δυναμικό βρίσκεται μεταξύ 7 και 11 m/s η οποία

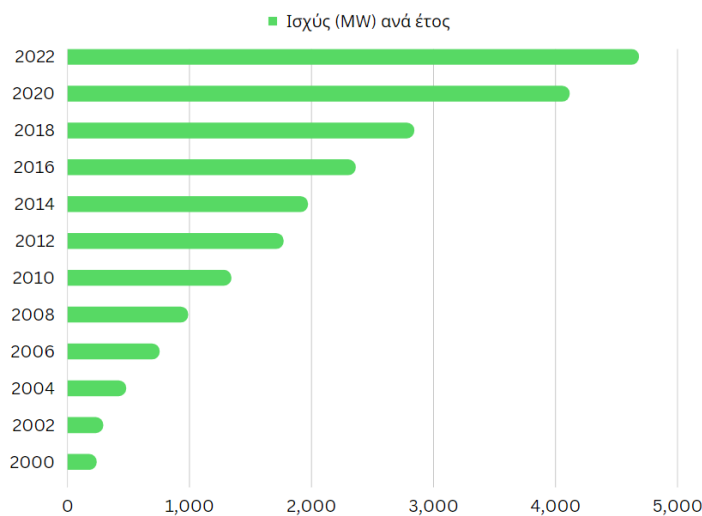
υπερβαίνει την αποδοτική αιολική ταχύτητα του ανέμου για τις ανεμογεννήτριες που είναι περίπου τα 5,5m/s. Ως εκ τούτου , μεγάλο μέρος της νησιωτικής Ελλάδας θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ως πεδίο εφαρμογής των αιολικών συστημάτων με σκοπό την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα γειτονικά νησιά. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει , υπάρχει η δυνατότητα για εγκατάσταση και λειτουργία αιολικών πάρκων συνολικής ισχύος 3,0GW τόσο στην ενδοχώρα , για την άμεση ενίσχυση και βελτίωση του διασυνδεδεμένου δικτύου της χώρας όσο και στο νησιωτικό σύμπλεγμα με δυνατότητα κάλυψης έως 35% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια (Feloni E & Karadinaki , 2021).

Τα τελευταία χρόνια, μαζικά κοινοτικά προγράμματα ενθάρρυναν τις προσπάθειες για την κατασκευή αιολικών πάρκων σε ολόκληρη τη χώρα, ως αποτέλεσμα της συνολικής παγκόσμιας κίνησης προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της συνεχιζόμενης οικονομικής κρίσης στην Ευρώπη. Υπάρχουν ήδη πολλά MW εγκατεστημένης ισχύος ανεμογεννητριών και η ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια ήταν ραγδαία. Αυτό ξεκίνησε φυσικά μετά τη γνωστή συμφωνία "20-20-20" της ΕΕ το 2007, η οποία ζητούσε μείωση των ρύπων κατά 20% και παράλληλα αύξηση της ποσότητας ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ κατά 20%, και όλα αυτά με προθεσμία το 2020. Το πρόγραμμα στην Ελλάδα δεν ξεκίνησε με τις μεγαλύτερες δομές λόγω των συνθηκών που επικρατούσαν στη χώρα τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, τα πρόσφατα κατασκευασμένα πάρκα στις ορεινές περιοχές της χώρας έχουν ήδη αποδώσει αποτελέσματα κοντά στο 9-10% και σχεδιάζονται επεκτάσεις στα ήδη υπάρχοντα (Βιώνης, et al., 2005).



Διάγραμμα 5: Χωρητική κατανομή εγκατεστημένης ισχύος αιολικής Πηγή: https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2023/01/2023-01-26-2022-HWEA_Statistics-Greece.pdf

Οι πρώτες προσπάθειες στην Ελλάδα για την αξιοποίηση και χρήση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρονολογούνται από το 1980, όταν η ΔΕΗ ανέγειρε το πρώτο αιολικό πάρκο της χώρας στην Κύθνο. Καθώς το θεσμικό περιβάλλον βελτιώθηκε τη δεκαετία του 1990, ο ρυθμός εγκατάστασης αιολικών πάρκων αυξήθηκε σημαντικά. Συγκεκριμένα, ο νόμος 2244/94 επέτρεψε την κατασκευή αιολικών πάρκων από ιδιώτες με την προϋπόθεση ότι η παραγόμενη ενέργεια θα πωλείται στη ΔΕΗ. Έκτοτε, έχουν κατασκευαστεί πολυάριθμα αιολικά πάρκα σε όλη την Ελλάδα, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 2.690 MW (αντί των 7.500 MW που συνιστά η στρατηγική "Ευρώπη 2020"), καθιστώντας το έθνος μας έναν αξιοσέβαστο σύμμαχο στη μάχη κατά της κλιματικής αλλαγής (Νικητάκος, 2013). Το παρακάτω διάγραμμα αποδεικνύει έμπρακτα την αφοσίωση της Ελλάδας.



Διάγραμμα 6: Εγκαταστημένη αιολική ισχύ ανά έτος σε MW. Πηγή: Πηγή: https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2023/01/2023-01-26-2022-HWEA_Statistics-Greece.pdf

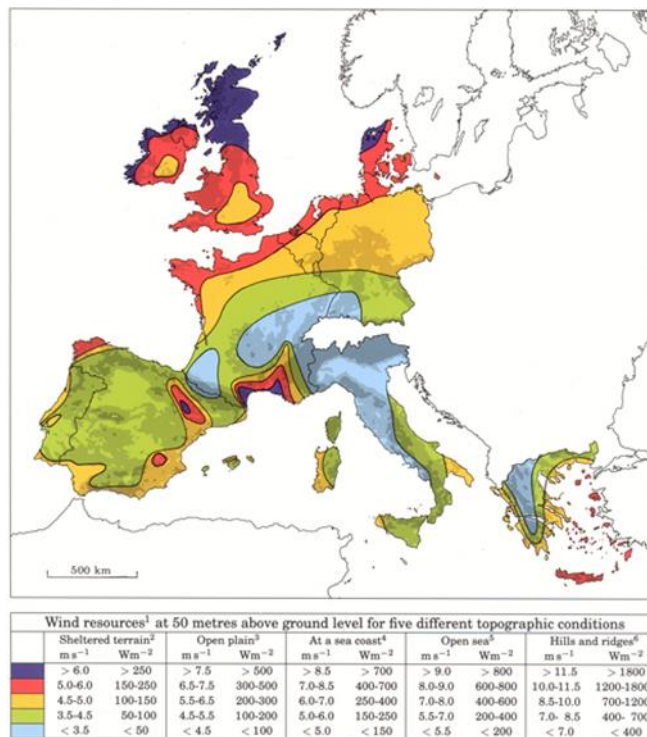
Η Ελλάδα καλείται να υλοποιήσει μια σειρά θεσμοθετημένων στόχων με χρονικό ορίζοντα το 2020 (18% διείσδυση των ΑΠΕ ή συνολική εγκατεστημένη ισχύς για αιολική ενέργεια 10.000 MW / 700 MW ετησίως), καθώς και άλλους στόχους για το 2030, που απορρέουν από τις δεσμεύσεις της έναντι της ευρωπαϊκής νομοθεσίας και της διεθνούς κοινότητας. Με βάση τους στόχους για το 2020, η Ελλάδα πρέπει να συνεισφέρει το 32% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ευρωπαϊκό επίπεδο, μειώνοντας παράλληλα τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 63% και συμμετέχοντας στο σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων του ETS. Ο ενεργειακός σχεδιασμός με βάση το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα πρέπει να εξαλείψει τα ορυκτά καύσιμα (λιγνίτης, πετρέλαιο) το αργότερο μέχρι το 2050, εξοικονομώντας παράλληλα το 32% της ενέργειας. 112 Οι στόχοι αυτοί ισοδυναμούν με επενδύσεις ύψους 32,7

δισεκατομμυρίων ευρώ, οι οποίες κατά τη διάρκεια των επόμενων δέκα ετών αναμένεται να αποφέρουν όφελος εγχώριας προστιθέμενης αξίας άνω των 12 δισεκατομμυρίων ευρώ. Η Ελληνική Επιστημονική Ένωση για την Αιολική Ενέργεια αναφέρει ότι για την εγκατάσταση 15.000 ανεμογεννητριών ισχύος 2 MW, η οποία θα απαιτούσε 30.000 στρέμματα ($15.000 * 2$), δηλαδή λιγότερο από το 0,03% της συνολικής επιφάνειας της Ελλάδας, προκειμένου να καλυφθούν οι προβλεπόμενες ενεργειακές ανάγκες της χώρας μας ύψους 70 TWh έως το 2020. Με άλλα λόγια, μία ανεμογεννήτρια ισοδυναμεί με 6.000 στρέμματα ή σχεδόν 300.000 δέντρα, από άποψη απόδοσης (Νικητάκος, 2013).

Οι πιο φιλικές προς την αιολική ενέργεια περιοχές της Ελλάδας βρίσκονται στο Αιγαίο Πέλαγος, ιδίως στις Κυκλάδες, στην Κρήτη (ιδίως στο βόρειο τμήμα του νησιού), στην Ανατολική και Νοτιοανατολική Πελοπόννησο και στην Εύβοια. Με μόνο 323 MW λειτουργικών αιολικών πάρκων στα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη, ή 12% της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, το οικονομικό πρόβλημα των νησιών είναι η έλλειψη σύνδεσης με το εθνικό δίκτυο για την απορρόφηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Υπάρχουν όμως και άλλες περιοχές με αιολικό ενδιαφέρον στα βουνά και στην απόκρημνη παράκτια περιοχή της Δυτικής Ελλάδας (Kaldellis & Zafirakis, 2020).

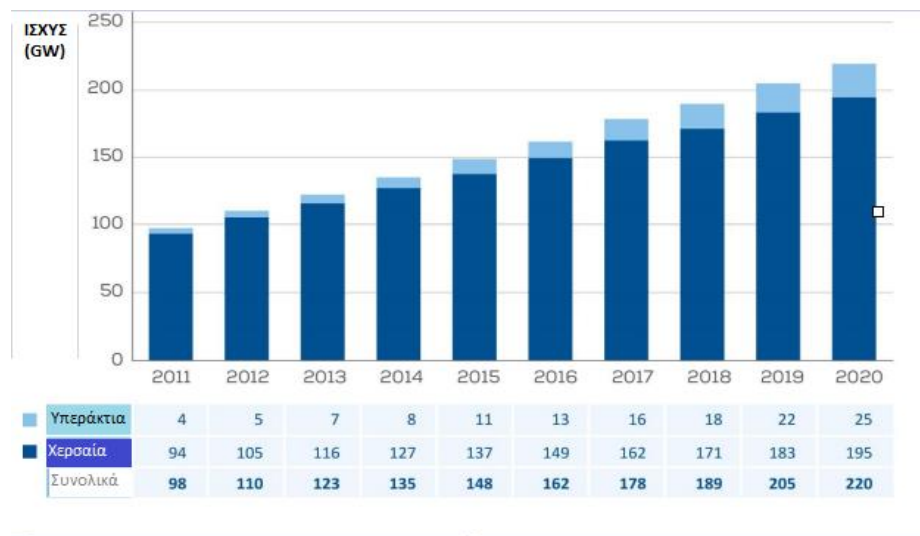
2.5 Η Αιολική Ενέργεια στην Ευρώπη

Όπως απεικονίζεται ακολούθως η Ευρώπη μπορεί να αξιοποιήσει στα μέγιστα την αιολική ενέργεια αφού η γεωγραφική της θέση προσφέρει ένα αξιοπρεπές αιολικό δυναμικό. Συγκεκριμένα, μεταξύ άλλων ξεχωρίζουν οι περιοχές γύρω από την Βαλτική Θάλασσα και το Αιγαίο Πέλαγος. Και οι 2 περιοχές επωφελούνται από την σύγκλιση των χερσαίων και θαλάσσιων ανέμων, με αποτέλεσμα να έχουν σταθερά ισχυρούς ανέμους. Όσο αναφορά στην υπόλοιπη Ευρώπη, οι μετρήσεις δείχνουν ότι το αιολικό δυναμικό είναι χαμηλότερο, ωστόσο εξίσου ικανοποιητικό, αν αναλογιστούμε ότι διαθέτουν 5-6 m/s την ώρα που για να παράξει η ανεμογεννήτρια χρειάζεται τυπικά 5,5 m/s.



Εικόνα 19: Βαρομετρικός χάρτης της Ευρώπης. Πηγή: <https://www.wind-energy-the-facts.org/wind-atlases-7.html>

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναλογιζόμενη τις δυνατότητες που της προσφέρει η γεωγραφική της θέση έχει θέσει υψηλούς στόχους. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν αυξηθεί οι προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και άλλων ρύπων που αυξάνουν τα φαινόμενα υπερθέρμανσης του πλανήτη. Διεθνή πρωτόκολλα, όπως το Κιότο (U.U.N.N., 1998) ή η Συμφωνία του Παρισιού (2015) (U.U.N.N., 2015), και περιφερειακά πρωτόκολλα, όπως το ευρωπαϊκό πλαίσιο για το κλίμα και την ενέργεια για το 2030, προσπαθούν να μετριάσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις στο κλίμα. Οι στόχοι αυτοί αναφέρουν μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 40%, δεσμευτικό στόχο 27% για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αύξηση της ενεργειακής απόδοσης κατά 27% έως το 2030 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2014). Από την άποψη αυτή, για την επίτευξη της καθορισμένης ποσόστωσης στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η υπεράκτια αιολική βιομηχανία φαίνεται να αποτελεί βασικό στοιχείο για ορισμένες χώρες, χάρη κυρίως στις νέες τεχνολογικές εξελίξεις και τη βιομηχανική ανάπτυξη. Η υπεράκτια βιομηχανία αιολικής ενέργειας διαδραματίζει πλέον κεντρικό ρόλο στις μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες διεθνείς ενεργειακές στρατηγικές.



Διάγραμμα 7: Wind Installations in Europe 1. Πηγή: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/#:~:text=Europe%20now%20has%20255%20GW,on%20average%20over%202023%2D2027.>

Το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας αυξάνεται σημαντικά παγκοσμίως. Οι λόγοι είναι η υψηλή ζήτηση ενέργειας, η παγκόσμια ανάπτυξη του ενεργειακού τομέα με την υψηλή σημασία των ανανεώσιμων πόρων και ότι ο λόγος ταχύτητας του ανέμου στην υπεράκτια περιοχή είναι δυνητικά υψηλότερος από ό,τι στην ξηρά, επομένως μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερη παραγωγή ενέργειας. Το υπεράκτιο δυναμικό αιολικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκεται σήμερα σε σημαντικό στάδιο υλοποίησης και αναμένεται επίσης να αυξηθεί ταχύτερα τα επόμενα δύο χρόνια. Έτσι, οι νέες υπεράκτιες αιολικές γεννήτριες μπορούν να επιτύχουν αύξηση του χρόνου πλήρους φορτίου που κυμαίνεται μεταξύ 40% και 55% ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των πόρων. Η παγκόσμια παραγωγή υπεράκτιας αιολικής ενέργειας έφθασε τις 39 TWh το 2015 και τις 42 TWh το 2016. Η παγκόσμια αθροιστική υπεράκτια αιολική δυναμικότητα αναμένεται να κινηθεί από τα 14 GW που καταγράφηκαν το 2016 στα 41 GW το 2022. Οι ευρωπαϊκές χώρες και η Κίνα θα ηγηθούν της αγοράς υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Η μεγαλύτερη πρόσβαση σε πόρους και κεφάλαια μαζί με τις ενισχυμένες πολιτικές και την ταχύτερη ανάπτυξη έργων θα μπορούσε να σημαίνει αύξηση κατά περίπου 7 GW (International Energy Agency, 2017). Τα τελευταία χρόνια ο ευρωπαϊκός τομέας της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στη Βόρεια Θάλασσα αναπτύχθηκε με ταχείς ρυθμούς και το γεγονός αυτό σήμανε μια μεγάλης κλίμακας εμπορική ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Μέχρι το 2030, ο σχεδιασμός νέων υπεράκτιων αιολικών πάρκων στη Σκανδιναβική και τη Βαλτική Θάλασσα θα αντιπροσωπεύει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 45 GW και 8 GW, αντίστοιχα (EWEA, 2015). Επιπλέον, η υπεράκτια αιολική τεχνολογία αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για την επίτευξη του στόχου της μείωσης των αερίων του

θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό πάρκο στον κόσμο, το Walney Extension, παράγει καθαρή ηλεκτρική ενέργεια για περισσότερα από μισό εκατομμύριο σπίτια (Orsted, 2017), σχεδόν όσο μπορεί να προσφέρει η ισχύς των πυρηνικών σταθμών (659 MW-1000 MW). Επιπλέον, σε πολιτικό και κοινωνικό επίπεδο, τα υπεράκτια αιολικά πάρκα έχουν αμελητέο οπτικό αντίκτυπο και θόρυβο που σχετίζονται με την απόσταση από την ακτή. Ωστόσο, η επίδραση στα θαλάσσια οικοσυστήματα πρέπει ακόμη να αναλυθεί λεπτομερέστερα. Από την άλλη πλευρά, εντοπίστηκαν θέσεις υπεράκτιων αιολικών πάρκων μεγάλης κλίμακας στις ΗΠΑ (Beiter et al., 2017) και στην Κίνα, όπου οι μεγάλες διαθέσιμες θαλάσσιες περιοχές μπορούν να προσφέρουν ευνοϊκές συνθήκες ανέμου. Η εξέλιξη των μεγαλεπήβολων υπεράκτιων αιολικών έργων θα οδηγήσει σε επανάσταση στο σημερινό σενάριο. Η εξέλιξη αυτή θα προκαλούσε μια σειρά προκλήσεων για τους διάφορους συμμετέχοντες στα έργα αιολικής ενέργειας, όπως οι σχεδιαστές και οι φορείς εκμετάλλευσης συστημάτων, οι κατασκευαστές ανεμογεννητριών, οι κατασκευαστές κατασκευών και άλλοι συμμετέχοντες (Yang et al., 2017).

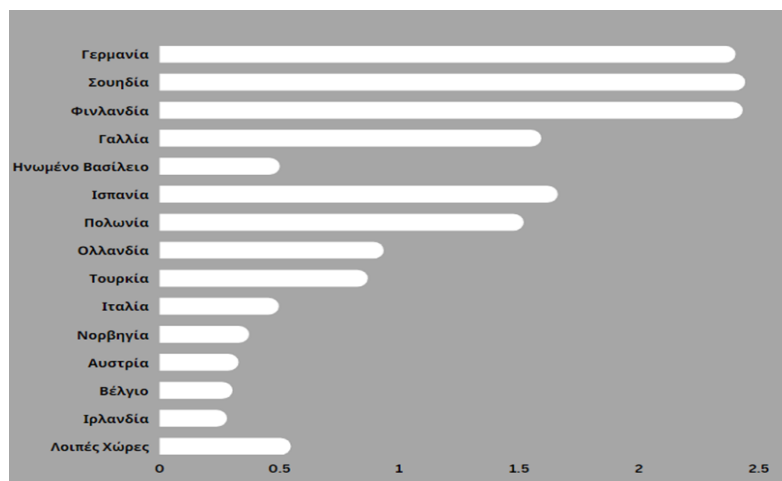
Μετά την εγκατάσταση του πρώτου υπεράκτιου αιολικού σταθμού παραγωγής ενέργειας στον κόσμο το 1991 (Δανία), η ανάπτυξη των υπεράκτιων αιολικών πάρκων ήταν ενθαρρυντική και η ανάπτυξη αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια. Εκτός από τα 112 υπεράκτια αιολικά πάρκα που λειτουργούν σήμερα, υπάρχουν 712 έργα σε διάφορα στάδια ανάπτυξης και 53 έργα σε προ- και υπό-κατασκευή. Τα μελλοντικά έργα αναπτύσσονται ως επί το πλείστον στις χώρες που είναι ήδη εξοπλισμένες με αυτή την τεχνολογία. Εκτός από χώρες όπως η Ελλάδα, η Φινλανδία, η Νορβηγία, η Ινδία, η Βραζιλία, ο Καναδάς, η Αυστραλία, η Πολωνία, η Κροατία, η Σρι Λάνκα ή η Κύπρος, μεταξύ άλλων, αρχίζουν να εμπλέκονται. Σήμερα, η συνολική υπεράκτια εγκατεστημένη ισχύς είναι περίπου 18,9 GW. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, ο ρυθμός εγκατάστασης είχε θετική ετήσια τάση. Η υπεράκτια αγορά έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, με τη συνολική εγκατεστημένη υπεράκτια αιολική δυναμικότητα να έχει σχεδόν δεκαπλασιαστεί από μόλις 0,06 GW την περίοδο 1996-2000 σε 18 GW το 2018 και 36 GW στις αρχές της δεκαετίας του 2020. Το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζει μια μέση ποσοστιαία μεταβολή 412% κατά τη διάρκεια των τελευταίων δυόμισι δεκαετιών. Επιπλέον, ο αριθμός των αιολικών πάρκων και των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών αυξήθηκε, πειραματικά κατά μέσο ποσοστό 121% και 245%, αντίστοιχα, για την ίδια περίοδο. Η αύξηση αυτή συνεπάγεται επίσης την κλιμάκωση των υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων συνεχίζοντας απλώς τον ιστορικό ρυθμό. Η τάση αυτή είναι σύμφωνη με τις προβλέψεις για την αύξηση των υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων μέχρι το 2030 σύμφωνα με την έκθεση αγοράς του National Renewable Energy Laboratory 2018 Offshore Wind Technologies Market Report, η οποία εκτιμά ότι η υπεράκτια αιολική βιομηχανία θα αυξηθεί πάνω από 154 GW (Walter et al., 2018).

Παρόλο που τα μεγάλης κλίμακας έργα υπεράκτιας αιολικής ενέργειας αποτελούν πρόκληση, ορισμένα από τα κύρια ζητήματα έχουν ήδη αντιμετωπιστεί από άλλες βιομηχανίες, όπως οι βιομηχανίες χερσαίας αιολικής ενέργειας, πετρελαίου και φυσικού αερίου και παράκτιας μηχανικής. Η κρίσιμη πτυχή είναι να κατανοήσουμε πώς θα εξελιχθεί ο τομέας αυτός, καθώς είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη του παγκόσμιου ενεργειακού τομέα (Kaldellis & Zafirakis, 2020).

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα που βρίσκονται σε λειτουργία είναι διάσπαρτα σε διάφορες χώρες σε όλο τον κόσμο - τα περισσότερα στην Ευρώπη, ακολουθούμενα από την Ασία και την Αμερική. Στην Ευρώπη, υπάρχουν υπεράκτια αιολικά πάρκα σε στασιμότητα στο Βέλγιο (6), τη Φινλανδία (2), τη Δανία (13), τη Γερμανία (19), την Ιρλανδία (1), τις Κάτω Χώρες (6), τη Σουηδία (4) και το Ηνωμένο Βασίλειο (30). Από την πλευρά του, το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό της ασιατικής ηπείρου βασίζεται κυρίως σε χώρες όπως η Κίνα (21), η Ιαπωνία (4), η Νότια Κορέα (2), η Ταϊβάν (1) και το Βιετνάμ (2). Με μικρότερη επέκταση του υπεράκτιου αιολικού τομέα, οι ΗΠΑ (1) είναι η μόνη χώρα της αμερικανικής ηπείρου που διαθέτει υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις. Μεταξύ των περιφερειών, η Ευρώπη παραμένει η ήπειρος με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ (16,3 GW), ακολουθούμενη από την Ασία (2,7 GW) και την Αμερική (0,03 GW). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στο τέλος του 2018 έφτασε τα 19 GW σύμφωνα με την πρόβλεψη του IEA για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για το 2018 (International Energy Agency, 2018). Το Ηνωμένο Βασίλειο κατέχει ηγετική θέση στην ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας, του οποίου η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται σε 7,3 GW, ενώ ακολουθούν η Γερμανία (5,3 GW), η Δανία (1,2 GW), οι Κάτω Χώρες (1,1 GW), το Βέλγιο (0,8 GW), η Σουηδία (0,2 GW), η Φινλανδία (0,08 GW) και η Ιρλανδία (0,03 GW). Η κατάταξη στην ασιατική ήπειρο οδηγείται από την Κίνα (2,4 GW), το Βιετνάμ (0,2 GW), την Ιαπωνία (0,04 GW), τη Νότια Κορέα (0,04 GW) και την Ταϊβάν (0,008 GW). Τέλος, η αμερικανική ήπειρος έχει μόνο μία υπεράκτια εγκατάσταση αιολικής ενέργειας, στις ΗΠΑ (0,03 GW) . Μέχρι στιγμής, 53 υπεράκτια αιολικά πάρκα βρίσκονται ακόμη πριν/υπό κατασκευή, των οποίων η συνολική στασιμότητα ανέρχεται σε 16,7 GW. Όταν ολοκληρωθεί η εγκατάσταση των νέων έργων, η συνολική παγκόσμια δυναμικότητα των υπεράκτιων αιολικών πάρκων θα είναι 35,6 GW ελαφρώς χαμηλότερη από τα 42 GW που προβλέπει ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) για το 2022 (International Energy Agency, 2017). Για τον σκοπό της ανάλυσης των οικονομικών των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, και πιο συγκεκριμένα της εξέλιξης του κόστους τους, δημιουργήθηκε ένα σύνολο δεδομένων που περιλαμβάνει πληροφορίες για όλους τους λειτουργικούς υπεράκτιους αιολικούς σταθμούς παγκοσμίως.

Μία από τις πιο ευεργετικές συνέπειες της σημερινής καταιγίδας αβεβαιότητας , η οποία περιλαμβάνει την αύξηση του κόστους του πετρελαίου, την κλιματική αλλαγή, την περιβαλλοντική ΠΑΑΑ, Τμήμα H&HM, Διπλωματική Εργασία, ΖΕΓΓΙΝΗΣ ΛΟΥΚΑΣ

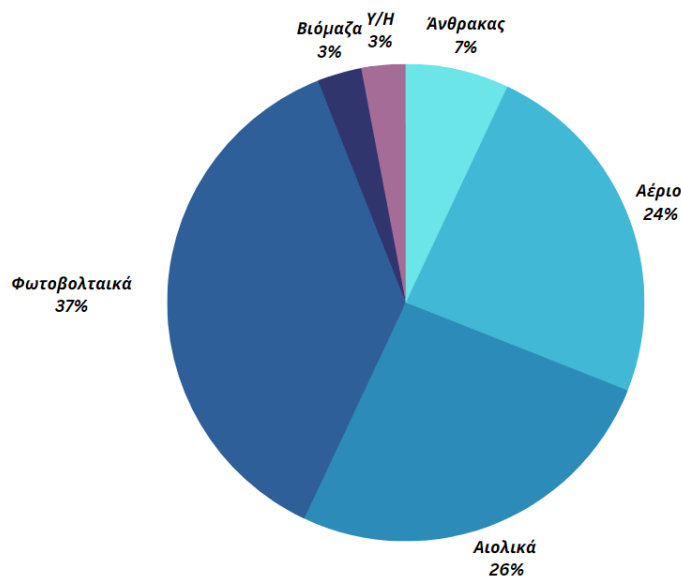
υποβάθμιση, την εξάντληση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και την εξάρτηση από ξένες πηγές ενέργειας, είναι η χρήση της αιολικής ενέργειας. Μέχρι το 2020, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει έναν νομικά δεσμευτικό στόχο για το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα αποτελεί το 20% του ενεργειακού της εφοδιασμού (Kaldellis & Zafirakis, 2020). Περισσότερο από το ένα τρίτο των αναγκών της Ευρώπης σε ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να καλυφθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος του 20%, με την αιολική ενέργεια να εκτιμάται ότι θα συνεισφέρει μεταξύ 14 και 18% του συνόλου αυτού. Η οικονομική επέκταση και η δημιουργία θέσεων εργασίας είναι μόνο δύο από τα πολλά πλεονεκτήματα που συνδέονται με την αιολική ενέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι επενδύσεις σε αιολικά πάρκα στην Ευρώπη ανήλθαν μεταξύ 12,8 και 17,2 δισ. ευρώ το 2018, με 11.566 GW εγκατεστημένης αιολικής ενέργειας. Μεταξύ 9,4 και 12,5 δισ. ευρώ επενδύθηκαν σε χερσαία αιολικά πάρκα, ενώ 3,4 έως 4,7 δισ. ευρώ επενδύθηκαν σε χερσαία αιολικά πάρκα. Το ποσό της εγκατεστημένης αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη έφτασε τα 105,7 GW, αυξημένο κατά 12% σε σχέση με το προηγούμενο έτος και παρόμοιο με την αύξηση που σημειώθηκε το 2018 (Kaldellis & Zafirakis, 2020).



Διάγραμμα 8: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΑΕ ανά Ευρωπαϊκή χώρα για το έτος 2022. Πηγή: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/#:~:text=Europe%20now%20has%20255%20GW,on%20average%20over%202023%2D2027.>

Η Σουηδία ηγείται για το έτος 2022 αφού κατάφερε να εγκαταστήσει συνολικά 2.440MW παίρνοντας την πρώτη θέση από την Γερμανία που εγκαταστήσε 40MW λιγότερα. Σπουδαία άνοδο σημείωσαν η Φινλανδία με 2.430MW, η Γαλλία με 1590MW, η Πολωνία με 1517MW και η Ισπανία με 1659. Εν συνεχεία βρίσκονται η Τουρκία, η Ολλανδία και η Ιταλία με 867MW, 933MW και 496MW αντίστοιχα (Wind energy in Europe - 2022 Statistics and the outlook for 2023-2027).

Με πάνω από το 8% της συνολικής ετήσιας αιολικής ισχύος των χωρών της ΕΕ, η Ρουμανία και η Πολωνία συμμετείχαν στο μερίδιο αγοράς εγκατεστημένης ισχύος μεταξύ των αναπτυσσόμενων αγορών της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης, τοποθετώντας τις μεταξύ των δέκα πρώτων χωρών της Ευρώπης. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ο συνολικός αριθμός εγκαταστάσεων στη Σουηδία, την Ιταλία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Για το έτος 2018, οι τρεις αυτές αγορές αντιπροσωπεύουν το 16%, το 11% και το 7% της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος της Ευρώπης, αντίστοιχα. Μέχρι το τέλος του 2018, 31 GW εγκατεστημένης ισχύος ανανεώσιμης ενέργειας είχαν διατεθεί σε όλη την Ευρώπη. Συγκεκριμένα, το 69% του συνόλου των νέων εγκαταστάσεων το 2018 αφορούσε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, ήταν η έκτη συνεχής χρονιά κατά την οποία οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσώπευαν περισσότερο από το 55% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος στα κράτη μέλη της ΕΕ (Kaldellis & Zafirakis, 2020).



Διάγραμμα 9: Εγκαταστημένη Ισχύ ΑΠΕ για το έτος 2018. Πηγή: Eurostat

Ο τομέας των υπεράκτιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της ΕΕ ανταγωνίζεται έντονα στην παγκόσμια αγορά, έχει σημαντική εξαγωγική αγορά και η Κίνα και η Ινδία είναι οι μεγαλύτεροι ανταγωνιστές του διεθνώς. Το εμπορικό ισοζύγιο της ΕΕ παρέμεινε θετικό από το 2009 έως το 2018 και έκτοτε έχει αυξηθεί. Οι επιχειρήσεις με έδρα την ΕΕ αντιπροσώπευαν το 47% του συνόλου των εξαγωγών το 2018. Οι χώρες της ΕΕ αντιπροσωπεύουν οκτώ στους 10 εξαγωγείς παγκοσμίως. Ως εκ τούτου, η παγκόσμια αγορά αποτελεί σημαντική εμπορική ευκαιρία για τις βιομηχανίες της ΕΕ. Μέχρι το 2030, αναμένεται ότι η υπεράκτια αιολική δυναμικότητα της Ασίας θα είναι πάνω από 95 GW (από μια προβλεπόμενη παγκόσμια δυναμικότητα περίπου 233 GW μέχρι το 2030) 89. Η Κίνα 90 αντιπροσώπευε περίπου το ήμισυ των επενδύσεων υπεράκτιας αιολικής ενέργειας που

πραγματοποιήθηκαν παγκοσμίως το 2018. Οι μελλοντικές εξελίξεις στην παγκόσμια αγορά για τεχνολογίες αιχμής, όπως οι πλωτές τεχνολογίες αιολικής και ωκεάνιας ενέργειας, θα μπορούσαν να προσφέρουν στη βιομηχανία της ΕΕ ελκυστικές νέες αγορές (Kaldellis & Zafirakis, 2020).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ (Υ.Α.Π)

3.1 Γενικά για τα Υ.Α.Π

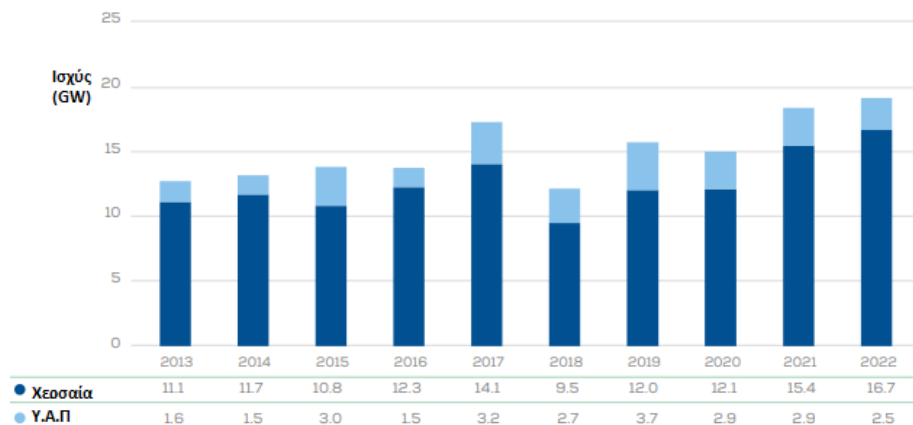
Η σημερινή σχετικά πρόσφατη παγκόσμια πρωτοβουλία για τη βελτίωση της παραγωγής ενέργειας από τη χρήση της αιολικής ενέργειας είναι τα υπεράκτια αιολικά πάρκα. Δεδομένου ότι η παραγωγή αιολικής ενέργειας δεν έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση επικίνδυνων υλικών στο περιβάλλον, όπως διοξείδιο του άνθρακα, τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, υδρογονάνθρακες κ.λπ. αναφέρεται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. παρόμοια με τον τρόπο λειτουργίας άλλων πηγών ενέργειας (πετρέλαιο, λιγνίτης, πυρηνική ενέργεια κ.λπ.) Η μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα είναι η κατασκευή αιολικών πάρκων (δηλαδή η τοποθέτηση πολλών ανεμογεννητριών σε μια περιοχή) σε διάφορες χερσαίες περιοχές. Με την έλευση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, υπάρχουν πλέον σημαντικά περισσότερες θαλάσσιες περιοχές που είναι ιδανικές για αιολικά πάρκα λόγω της εγκατάστασης ανεμογεννητριών εκεί.



Εικόνα 20:Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα . Πηγή: <https://www.ot.gr/2022/07/08/green/yperaktia-aiolika-parka-ti-provlepoun-oi-rythmiseis-pou-etethisan-se-diavouleysi/>

Συγκεκριμένα, υπάρχουν απεριόριστες θαλάσσιες περιοχές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό, αυξάνοντας τις δυνατότητες παραγωγής φιλικής προς το περιβάλλον ηλεκτρικής ενέργειας από μικρά κράτη όπως η Ελλάδα, όπου υπάρχουν λίγες χερσαίες περιοχές κατάλληλες για αιολικά πάρκα. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας είναι συνήθως υψηλότερη από ό,τι στην ξηρά, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας(ELETAEN, 2020).. Σε σύγκριση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από

τα χερσαία αιολικά πάρκα, τα υπεράκτια αιολικά πάρκα παράγουν επί του παρόντος μόνο μια μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Πρόσφατα στοιχεία από το Ινστιτούτο Ενέργειας του Κοινού Κέντρου Ερευνών της Ευρωπαϊκής Ένωσης δείχνουν ότι τα υπεράκτια αιολικά πάρκα παράγουν 1,2% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια παγκοσμίως από τα χερσαία αιολικά πάρκα. Στην πραγματικότητα, μόνο 2 GW από τα 160 GW (ή 340 TWh) ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθησαν από την αιολική ενέργεια μέχρι το τέλος του 2009 προήλθαν από υπεράκτιες ανεμογεννήτριες. Αυτό αντιπροσωπεύει το 2% της συνολικής ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως.



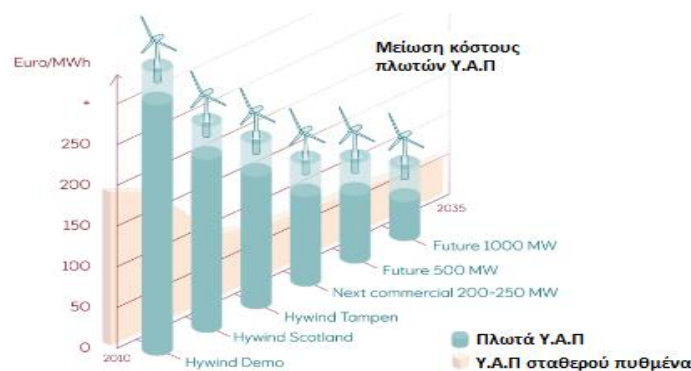
Διάγραμμα 10: Διαχρονική Εγκαταστημένη Αιολική Ισχύς .Πηγή: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/#:~:text=Europe%20now%20has%20255%20GW,on%20average%20over%202023%2D2027.>

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 10 χιλιομέτρων από την ακτογραμμή ή σε απόσταση μικρότερη των τριών χιλιομέτρων στην ενδοχώρα. Οι ισχυροί άνεμοι που παράγονται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας είναι προς όφελός τους. Στην ξηρά, τα παράκτια πάρκα θεωρούνται εξίσου διαδεδομένα και αναπτυγμένα με τα χερσαία πάρκα, επειδή χρησιμοποιούν συγκρίσιμες τεχνολογίες (Αντωνάκη, 2010). Αντιπροσωπεύουν την πιο πρόσφατη εξέλιξη στη χωροθέτηση της αιολικής ενέργειας και οι ερευνητές εξετάζουν επί του παρόντος τις ιδιαιτερότητες του τρόπου κατασκευής τους. Οι ταχύτητες του ανέμου που πνέουν στους ωκεανούς είναι συχνά σημαντικά υψηλότερες από εκείνες άλλων τύπων αιολικών πάρκων, αλλά είναι επίσης σημαντικά πιο σταθερές, καθώς δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στις ταχύτητές τους, επιτρέποντας έως και 30% υψηλότερες αποδόσεις. Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι, η κατασκευή πάρκων στη θάλασσα μειώνει σημαντικά τα ζητήματα και τη δυσαρέσκεια των κατοίκων που προκαλούνται από την οπτική όχληση και τις συγκρούσεις χρήσεων γης.

Τέλος, η αποφυγή της μόλυνσης του περιβάλλοντος από την παραγωγή ενέργειας με εναλλακτικά μέσα έχει μεγάλο θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Η μη κατανάλωση νερού, η επικίνδυνη ρύπανση, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ή η θερμική ρύπανση είναι μερικά παραδείγματα (Χατζημπίρος, no date). Η ανάπτυξη των υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι ενθαρρυντική και αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν 53 έργα υπό κατασκευή, 712 έργα σε διάφορα στάδια ανάπτυξης και 112 υπεράκτια αιολικά πάρκα που βρίσκονται σε λειτουργία. Οι μελλοντικές πρωτοβουλίες δημιουργούνται κυρίως σε έθνη που διαθέτουν ήδη αυτή την τεχνολογία (Daz and Guedes Soares, 2020).

3.2 Είδη Υ.Α.Π

Τα αιολικά πάρκα σταθερού πυθμένα και τα πλωτά αιολικά πάρκα βρίσκονται σε πολύ διαφορετικά επίπεδα ωριμότητας, από θεσμικής, τεχνικής/τεχνολογικής και οικονομικής άποψης, όπου τα πλωτά αιολικά πάρκα βρίσκονται ακόμη σε προχωρημένο αλλά, ωστόσο, ουσιαστικά σε στάδιο επίδειξης και εξακολουθούν να συνδέονται με πολυάριθμους τεχνικούς και οικονομικούς κινδύνους. Ως εκ τούτου, για την ταχεία και αποτελεσματική ανάπτυξη των πλωτών αιολικών πάρκων, θα πρέπει να δοθεί στον ιδιωτικό τομέα η δυνατότητα, με δική του ευθύνη, έξοδα και χρόνο, να διεξάγει τις απαραίτητες έρευνες και μετρήσεις, με την τοποθέτηση πλωτών σημαντήρων και τη διεξαγωγή των απαιτούμενων ερευνών, μελετών και του σχεδιασμού βιωσιμότητας του έργου. Πρόκειται για μια διαδικασία που μόνο προς όφελος της Πολιτείας θα μπορούσε να είναι, ειδικά σε χώρες όπως η Ελλάδα, όπου σήμερα δεν υπάρχει ούτε το νομοθετικό, κανονιστικό και χωροταξικό πλαίσιο, ούτε οι απαιτούμενες μελέτες, δεδομένα και μετρήσεις, για την έναρξη επενδύσεων υπεράκτιας ενέργειας. Μέσω αυτής της διαδικασίας, θα δημιουργηθεί ένα κατάλληλο νομοθετικό και επενδυτικό πλαίσιο στη χώρα, την τέταρτη στον κόσμο, το οποίο θα προσελκύσει κεφάλαια, επενδυτές και θα διεθνοποιήσει τον ελληνικό θαλάσσιο χώρο (ELETAEN, 2020).



Εικόνα 21: Διαχρονική συμπεριφορά του κόστους των πλωτών Αιολικών. Πηγή:

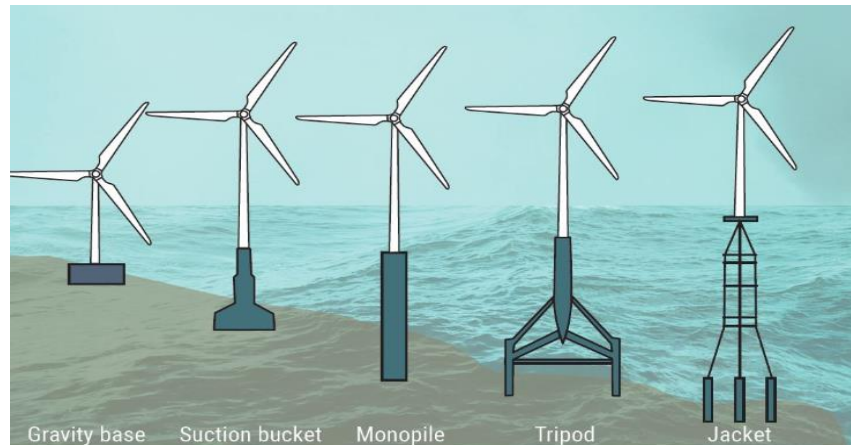
<https://www.equinor.com/news/archive/20210323-hywind-scotland-uk-best-performing-offshore-wind-farm/>

Για τις ανεμογεννήτριες **σταθερού πυθμένα**, η Ευρώπη και το Ηνωμένο Βασίλειο αντιπροσωπεύουν τη μεγαλύτερη αγορά, με περισσότερα από 40 GW ισχύος που αναμένεται να ξεκινήσουν να κατασκευάζονται έως το 2025. Η παγκόσμια αγορά για τα σταθερά αιολικά επεκτείνεται στην Κίνα, η οποία στοχεύει να ξεκινήσει την εγκατάσταση 30 GW αιολικής ενέργειας, και στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίες στοχεύουν σε 25 GW. Η πλέον ώριμη τεχνολογία για τις υπεράκτιες σταθερές ανεμογεννήτριες έχει επιτρέψει στα έργα αυτά να καταστούν κερδοφόρα, ακόμη και με λίγες ή καθόλου επιδοτήσεις. Χάρη σε αυτό, η σταθερή αιολική ενέργεια μπορεί να διαδραματίσει βασικό ρόλο στην ενεργειακή μετάβαση, βοηθώντας τις χώρες να εκπληρώσουν τις δεσμεύσεις τους για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (ELETAEN, 2020).

Από τεχνολογική άποψη οι ανεμογεννήτριες **σταθερού πυθμένα** τοποθετούνται σε θεμέλια που αγκυρώνονται στον πυθμένα και έχουν συνήθως ύψος πύργου περίπου 90-100 μέτρα και διάμετρο ρότορα έως και 200 μέτρα. Αυτές οι ανεμογεννήτριες έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε ρηχά νερά και περιοχές με βάθος νερού έως 50 μέτρα. Οι σταθερές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν πιο απλό σχεδιασμό από τις πλωτές ανεμογεννήτριες, γεγονός που καθιστά ευκολότερη και φθηνότερη την κατασκευή, τη μεταφορά και την εγκατάστασή τους. Επιπλέον, τα θεμέλια των σταθερών ανεμογεννητριών μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να αντέχουν στις σκληρές συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος, όπως τα ισχυρά ρεύματα και τα κύματα. Μπορούν να χωριστούν σε διάφορους τύπους με βάση τον σχεδιασμό, το μέγεθος και την εφαρμογή τους (Collu et al., 2010). Οι βασικότερες υποκατηγορίες των σταθερών ανεμογεννητριών περιλαμβάνουν:

1. **Gravity-based:** Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιείται μια βαριά βάση, όπως μια κατασκευή από σκυρόδεμα, για την αγκύρωση της ανεμογεννήτριας στον πυθμένα της θάλασσας. Οι ανεμογεννήτριες με βάση τη βαρύτητα χρησιμοποιούνται συνήθως σε ρηχά νερά και έχουν ύψος πύργου περίπου 90-100 μέτρα (WindEurope, 2019) .
2. **Suction Bucket:** Αυτός ο τύπος σταθερής υπεράκτιας ανεμογεννήτριας είναι κατάλληλος για χρήση σε ρηχά νερά, συνήθως σε βάθος μικρότερο των 30 μέτρων, και ενδέχεται να μην μπορούν να αντέξουν τις δύσκολες συνθήκες των βαθύτερων υδάτων.
3. **Μονοπάσσαλο:** Αυτός είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος σταθερής υπεράκτιας ανεμογεννήτριας, που χαρακτηρίζεται από ένα μόνο κυλινδρικό θεμέλιο που αγκυρώνεται στον πυθμένα της θάλασσας. Ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιείται συνήθως σε ρηχά νερά και έχει ύψος πύργου περίπου 90-100 μέτρα (WindEurope, 2019) .

4. **Tripod:** Αποτελείται από τρία πόδια που αγκυρώνονται στον πυθμένα της θάλασσας και χρησιμοποιείται σε μέτρια βάθη νερού και το ύψος του πύργου φτάνει περίπου τα 90-100 μέτρα.
5. **Τύπου Jacket :** Ο συγκεκριμένος τύπος , αποτελείται από μια κεντρική στήλη και πολλά πόδια που αγκυρώνονται στον πυθμένα της θάλασσας. Οι ανεμογεννήτριες μανδύα χρησιμοποιούνται συνήθως σε μέτρια βάθη νερού, από 20-40 μέτρα, και έχουν ύψος πύργου περίπου 90-100 μέτρα.

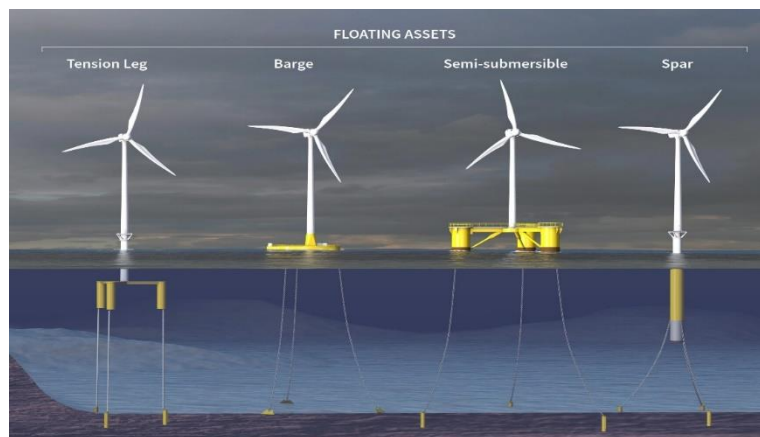


Εικόνα 22: Είδη Υπεράκτιων Α/Γ σταθερού πυθμένα Πηγή: <https://www.ptil.no/en/technical-competence/explore-technical-subjects/features/2020/offshore-wind-power/>

Από την άλλη πλευρά, ο **πλωτός αιολικός τομέας** συναντάται στην ανάγκη εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών πάρκων σε βαθύτερα ύδατα. Συγκεκριμένα , αγκυρώνονται στον πυθμένα με τη χρήση σχοινιών πρόσδεσης. Είναι σχεδιασμένες για χρήση σε βαθύτερα ύδατα, πέρα από την εμβέλεια των σταθερών ανεμογεννητριών, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βάθη νερού έως και 200 μέτρα. Με αυτό το σκεπτικό , γίνεται εφικτή η προσαρμογή τους στις δύσκολες θαλάσσιες συνθήκες, καθιστώντας τις κατάλληλες για χρήση σε σκληρά υπεράκτια περιβάλλοντα , μπορούν επίσης να τοποθετηθούν πιο μακριά από την ακτή, όπου οι ταχύτητες του ανέμου είναι συνήθως υψηλότερες, επιτρέποντάς τους να παράγουν περισσότερη ενέργεια από τις σταθερές ανεμογεννήτριες στην ίδια θέση. Ένα ακόμα βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν έχουν άμεση επίδραση με το υποθαλάσσιό οικοσύστημα με αποτέλεσμα να θεωρούνται πιο φιλικές προς το περιβάλλον (Linnenschmidt, 2021). Οι **πλωτές** υπεράκτιες ανεμογεννήτριες μπορούν να χωριστούν σε διάφορους τύπους με βάση τον σχεδιασμό, το μέγεθος και την εφαρμογή τους..

Οι βασικότερες υποκατηγορίες τους περιλαμβάνουν:

1. **Tension-Leg Platform (TLP):** Χρησιμοποιούνται εύκαμπτα καλώδια, ή τένοντες, για την αγκύρωση της πλατφόρμας στον πυθμένα της θάλασσας, δημιουργώντας μια σταθερή βάση για την ανεμογεννήτρια. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας και ο ρότορας τοποθετούνται στην κορυφή της πλατφόρμας.
2. **Barge:** Αυτός ο τύπος πλωτής ανεμογεννήτριας χρησιμοποιεί μια μεγάλη πλωτή πλατφόρμα που είναι αγκυροβολημένη στον πυθμένα της θάλασσας, παρέχοντας μια σταθερή βάση για την ανεμογεννήτρια. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας και ο ρότορας τοποθετούνται στην κορυφή της πλατφόρμας.
3. **Ημι-υποβρύχια:** Χρησιμοποιείται μια μεγάλη πλωτή πλατφόρμα που είναι μερικώς βυθισμένη στο νερό, παρέχοντας σταθερότητα για την ανεμογεννήτρια. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας και ο ρότορας τοποθετούνται στην κορυφή της πλατφόρμας. (Linnenschmidt, 2021).
4. **Spar:** Πρόκειται για μια από τις πρώτες μορφές πλωτών ανεμογεννητριών και χαρακτηρίζεται από μια κυλινδρική δομή, παρόμοια με το κύτος ενός πλοίου, η οποία αγκυροβολείται στον πυθμένα της θάλασσας. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας και ο ρότορας τοποθετούνται στην κορυφή του σπάργου-πυργίσκου.



Εικόνα 23: Είδη Υπεράκτιων πλωτών Α/Γ Πηγή : <https://acteon.com/blog/floating-wind-mooring-options/>

Συμπερασματικά, τόσο οι πλωτές όσο και οι σταθερές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν μοναδικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή μεταξύ των δύο θα εξαρτηθεί από τις ειδικές απαιτήσεις ενός έργου και τις συνθήκες της τοποθεσίας όπου θα αναπτυχθούν οι ανεμογεννήτριες. Οι σταθερές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες είναι κατάλληλες για χρήση σε ρηγά νερά και είναι ευκολότερες και φθηνότερες στην κατασκευή, μεταφορά και εγκατάσταση. Οι πλωτές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, από την άλλη πλευρά, είναι πιο προσαρμόσιμες στις δύσκολες συνθήκες της

θάλασσας και είναι κατάλληλες για χρήση σε βαθύτερα νερά, καθιστώντας τες μια βιώσιμη επιλογή για έργα σε περιοχές με καλές συνθήκες ανέμου και βαθιά νερά. Ανεξάρτητα από τον τύπο της ανεμογεννήτριας που θα επιλεγεί, η υπεράκτια αιολική ενέργεια αποτελεί σημαντικό μέρος της μετάβασης σε καθαρότερες και πιο βιώσιμες πηγές ενέργειας (Linnenschmidt, 2021).

3.2.1 Σύγκριση Κόστους ειδών Υ.Α.Π

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα ,τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα δύναται να κατηγοριοποιηθούν σε σταθερού πυθμένα και σε πλωτά. Και τα δυο είδη έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και το κόστος κάθε τύπου μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα συγκρίνουμε το κόστος που σχετίζεται με τις πλωτές και τις σταθερές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες.

Αρχικά η εγκατάσταση των αιολικών **σταθερού πυθμένα** θεωρείται λιγότερο δαπανηρή κυρίως λόγω του απλούστερου σχεδιασμού και της ευκολίας κατασκευής τους. Τόσο το κόστος θεμελίωσης , εγκατάστασης όσο και το κόστος συντήρησης είναι χαμηλότερα επειδή είναι εύκολα προσβάσιμες για επισκευές. Συγκεντρωτικά , το συνολικό κόστος τέτοιου είδους βάσεων μπορεί να κυμανθεί από 3 έως 8 εκατομμύρια δολάρια ανά μεγαβάτ εγκατεστημένης ισχύος, ανάλογα με την υποκατηγορία βάσεων που θα επιλεγθεί σε κάθε περίπτωση. (Linnenschmidt, 2021).



Εικόνα 24: Εγκατάσταση Α/Γ σταθερού πυθμένα. Πηγή : <https://medium.com/offshore-wind-energy-the-future/placing-offshorewind-turbines-can-get-technical-what-are-the-criteria-and-limitations-12fb9c06b28a>

Από την άλλη πλευρά , το κόστος **των πλωτών** υπεράκτιων ανεμογεννητριών μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος, η τοποθεσία και ο σχεδιασμός του έργου. Κατά μέσο όρο, οι πλωτές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες τείνουν να είναι ακριβότερες στην εγκατάσταση σε σύγκριση με τις σταθερές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, οι οποίες έχουν απλούστερο

σχεδιασμό και ευκολότερη διαδικασία κατασκευής (Timperley, 2022). Το κόστος των πλωτών υπεράκτιων ανεμογεννητριών κυμαίνεται από 5 έως 12 εκατομμύρια δολάρια ανά μεγαβάτ εγκατεστημένης ισχύος. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος τους αναμένεται να μειωθεί στο μέλλον, καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να ωριμάζει και αποκτάται περισσότερη εμπειρία στην εγκατάσταση και τη συντήρησή τους. Τα νέα υλικά και οι τεχνικές κατασκευής, καθώς και η βελτίωση της μηχανικής και του σχεδιασμού είναι βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν στο γεγονός αυτό (Linnenschmidt, 2021).



Εικόνα 25: Μεταφορά πλωτής Α/Γ στο σημείο εγκατάστασης με κατάλληλο μέσο. Πηγή:

<https://www.geplus.co.uk/news/boskalis-wins-its-first-floating-wind-turbine-contract-07-09-2020/>

Συγκεντρωτικά λοιπόν, οι βασικοί λόγοι που οι πλωτές κατασκευές είναι ακριβότερες από τις κατασκευές σταθερού πυθμένα αναγράφονται ακολούθως:

1. **Πολύπλοκος σχεδιασμός:** Ο σχεδιασμός μιας πλωτής υπεράκτιας ανεμογεννήτριας είναι πιο πολύπλοκος από αυτόν μιας σταθερής υπεράκτιας ανεμογεννήτριας. Η πλωτή πλατφόρμα και το σύστημα πρόσδεσης, τα οποία ασφαλίζουν την ανεμογεννήτρια στον πυθμένα της θάλασσας, είναι πιο δύσκολο και ακριβό να εγκατασταθούν σε σύγκριση με τα θεμέλια που χρησιμοποιούνται στις σταθερές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες.
2. **Υλικά:** Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πλωτών υπεράκτιων ανεμογεννητριών, όπως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα, είναι ακριβότερα από εκείνα που χρησιμοποιούνται στις σταθερές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες.
3. **Απαιτήσεις εγκατάστασης:** Η διαδικασία εγκατάστασης των πλωτών υπεράκτιων ανεμογεννητριών είναι πιο απαιτητική και χρονοβόρα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο κόστος εργασίας και μεγαλύτερα χρονοδιαγράμματα έργου, αυξάνοντας το συνολικό κόστος του έργου.

4. **Συντήρηση:** Η συντήρηση των πλωτών υπεράκτιων ανεμογεννητριών μπορεί να είναι πιο, λόγω του πιο σύνθετου σχεδιασμού τους και της ανάγκης για εξειδικευμένο εξοπλισμό και προσωπικό για την πρόσβαση στις ανεμογεννήτριες σε ανοιχτή θάλασσα.
5. **Περιορισμένη εμπειρία:** Η τεχνολογία των πλωτών υπεράκτιων ανεμογεννητριών είναι σχετικά νέα και υπάρχει περιορισμένη εμπειρία στην ανάπτυξη και τη συντήρησή τους. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο κόστος λόγω της ανάγκης για πρόσθετη έρευνα και ανάπτυξη, καθώς και της καμπύλης εκμάθησης που συνδέεται με τις νέες τεχνολογίες (ELETAEN, 2020).

3.3 Εμπόδια της Υπεράκτιας λειτουργίας

Η έλευση της υπεράκτιας τεχνολογίας μας δίνει την δυνατότητα να αξιοποιήσουμε το αιολικό δυναμικό περισσότερων περιοχών κι έτσι να μειώσουμε την συμβολή των συμβατικών πηγών ενέργειας στο συνολικό ενεργειακό μείγμα. Αυτό έχει ως απόρροια, να τίθενται νέες προσδοκίες για την περαιτέρω αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρει το θαλάσσιο οικοσύστημα. Ωστόσο, χρήζει άμεσης προσοχής η παρουσία πάγου και η διάβρωση των υλικών, κατασταλτικοί παράγοντες που θα αναλυθούν εν συνεχεία.

3.3.1 Πάγος

Κατά την κατασκευή του Υ.Α.Π θα πρέπει να αναλύεται ενδελεχώς η περιοχή ενδιαφέροντος σχετικά με τις καιρικές συνθήκες που εμφανίζονται σε αυτήν. Η θερμοκρασία που επικρατεί θεωρείται ως ένα από τα βασικότερα κριτήρια επιλογής του σημείου τοποθέτησης. Οι περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες εγκυμονούν αρκετούς κινδύνους, οι οποίοι αναμφίβολα επηρεάζουν την ομαλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας.

Αρχικά, σε περιοχές όπου η θερμοκρασία είναι κάτω των 0 βαθμών Κελσίου και τα επίπεδα υγρασίας είναι υψηλά για μεγάλες περιόδους κατά την διάρκεια του έτους παρουσιάζεται πάγος (πχ χιόνι, ατμοσφαιρικός πάγος) ο οποίος επηρεάζει την ανθεκτικότητα της αιολικής μηχανής αφού δύναται να σχηματιστεί στα πτερύγια, στην άτρακτο και στον πύργο. Έτσι, δεν συμβαίνει μόνο μηχανική καταπόνηση κατά μήκος της ανεμογεννήτριας, αλλά ταυτόχρονα παρατηρείται και μείωση της παραγωγής λόγω του πάγου που έχει σχηματιστεί στα πτερύγια. Μελέτες έχουν δείξει αυτό το φαινόμενο μπορεί να μειώσει έως και 50% την ετήσια παραγωγή. Εξίσου σημαντικό είναι πως οι πολικές θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν και βλάβες στα μετρητικά συστήματα και στους αισθητήρες με τους οποίους είναι εξοπλισμένη η αιολική μηχανή (Lorenzo Battisti, 2006).

Συνοπτικά οι κυριότερες επιπτώσεις του πάγου παρουσιάζονται ακολούθως (Θ. Συρίδου ,2018):

1. Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας γίνεται πιο θορυβώδης.
2. Μειώνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Καταπονείται μηχανικά η κατασκευή.
4. Δυσκολία στην συντήρηση.



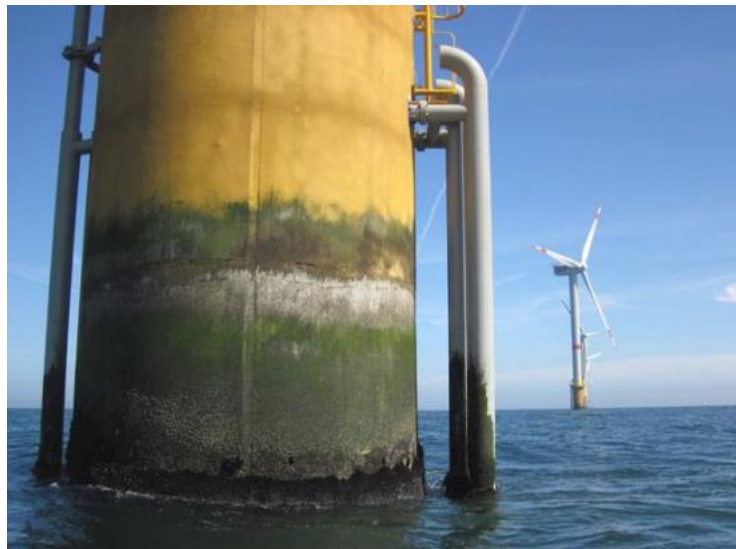
Εικόνα 26: Παρουσία πάγου πάνω σε Α/Γ. Πηγή: <https://medium.com/@lugoafonso/icing-on-wind-turbines-blades-c2c2364b94e7>

Η τεχνολογική κοινότητα προσπαθεί να βρει τρόπους αντιμετώπισης του φαινομένου αλλά βρίσκεται ακόμα σε αρκετά πρώιμο στάδιο. Συγκεκριμένα , οι κατασκευαστές προσπαθούν να διευρύνουν το φάσμα της θερμοκρασίας λειτουργίας , μέσα στο οποίο η αιολική μηχανή μπορεί να είναι αποδοτική. Για να γίνει αυτό , θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά υλικά κατασκευής και ενδεχομένως ένας διαφορετικός συνδυασμός , κυρίως των πτερυγίων ώστε να μην έχουμε την επικάλυψή τους από πάγο. Σχετικά με αυτό , έχουν δοκιμαστεί πειραματικά συστήματα “anti-icing” χωρίς ωστόσο ιδιαίτερη επιτυχία. Από οικονομική ματιά , το συγκεκριμένο σύστημα δεν εμφανίζει μεγάλες πιθανότητες εδραίωσης , αν αναλογιστούμε ότι για την εγκατάσταση του απαιτείται σημαντικό κόστος και η χρησιμότητα του στοχεύει μόνο σε ελάχιστες περιόδους όταν οι θερμοκρασίες είναι εξαιρετικά χαμηλές (Lorenzo Battisti , 2006) .

3.3.2 Διάβρωση

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι κατασκευαστές υπεράκτιων ανεμογεννητριών είναι η διάβρωση των υλικών. Πρόκειται για μια παράμετρο που ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, ΖΕΓΓΙΝΗΣ ΛΟΥΚΑΣ

μπορεί να κρίνει σε μεγάλο βαθμό την οικονομική βιωσιμότητα του έργου , αν λάβουμε υπόψιν πως η συντήρηση των Υ.Α.Π θεωρείται ήδη ιδιαίτερα δαπανηρή. Έτσι , κατά την αξιολόγηση της περιοχής εγκατάστασης , θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα σε δυο σημεία (Θ. Συρίδου ,2018). Το πρώτο σχετίζεται με το μικρόκλιμα της περιοχής. Συγκεκριμένα , θα πρέπει να αναλύονται η περιεκτικότητα του νερού σε αλάτι , το φάσμα και η συχνότητα των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος καθώς και η θερμοκρασία του νερού . Εν συνεχεία , αφού ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις επιλέγεται το υλικό κατασκευής που προσφέρει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα κατά της διάβρωσης (ανοξειδωτο ατσάλι , χαλκός κτλ.). Ενδέχεται να είναι αισθητά ακριβότερο από ένα συμβατικό υλικό , ωστόσο προφυλάσσει σημαντικά την αιολική μηχανή.



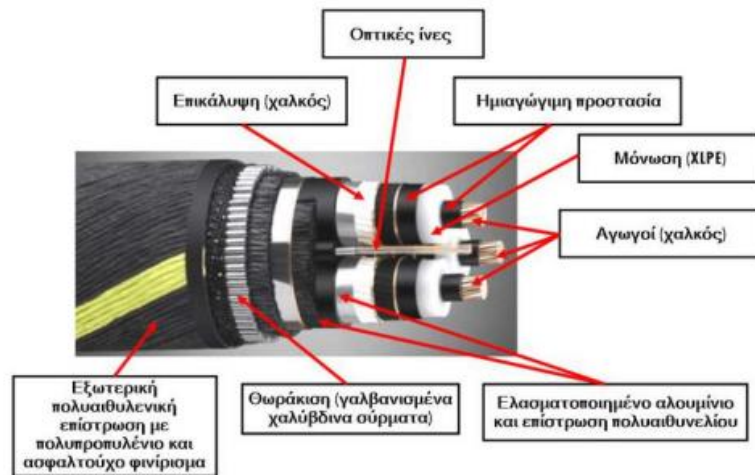
Εικόνα 27: Χαρακτηριστικό παράδειγμα διάβρωσης σταθερής βάσης . Πηγή : <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-014-2157-1>

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η διάβρωση στο υδάτινο περιβάλλον δεν μπορεί να εξαφανιστεί , ωστόσο μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ένα βαθμό με διάφορους τρόπους. Αρχικά , μια σχετικά οικονομική μέθοδος είναι το βάψιμο των θεμελιώσεων με υλικά που προέρχονται από την επεξεργασία του πετρελαίου τα οποία δημιουργούν μια «μονωτική» επίστρωση που καθυστερεί την ανάπτυξη της διάβρωσης(Θ. Συρίδου ,2018). Τέλος , νέες τεχνολογίες για αυτό το φαινόμενο έχουν ξεκινήσει να αναπτύσσονται ,χωρίς ωστόσο να έχουν εδραιωθεί αποτελεσματικά , αφού θα πρέπει να εξεταστούν ως προς το κόστος και την απόδοσή τους.

3.4 Υποβρύχια καλώδια

Τα υποβρύχια καλώδια που χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση των Υ.Α.Π κατασκευάζονται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60288. Συγκεκριμένα είναι κατάλληλα διαμορφωμένα ώστε να

παρέχουν ικανοποιητική αντίσταση εναντίον των κινδύνων που κρύβει το θαλάσσιο περιβάλλον όπως μεγάλα υδρόβια όντα , αιχμηρές επιφάνειες και ύφαλους. Επίσης μπορούν να ανταπεξέλθουν και σε περιπτώσεις λιγότερο πιθανές να συμβούν όπως είναι η έκρηξη ενός ηφαιστείου και το τσουνάμι. Σχετικά με τις αλιευτικές δραστηριότητες εάν τα καλώδια δεν είναι αγκυροβολημένα στον πυθμένα μπορούν τραυματιστούν και από τα δίχτυα. (Κωνσταντίνος Κυριακίδης , 2021).



Εικόνα 28: Ανατομία ενός τριφασικού HVAC υποβρύχιου καλωδίου. Πηγή: Κωνσταντίνος Κυριακίδης , 2021

Τυπικά , οι διατομές των υποβρύχιων καλωδίων κυμαίνονται από 70mm έως 210mm. Ο τύπος καλωδίου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την μεταφερόμενη ισχύ , το μήκος και το επιθυμητό επίπεδο τάσης. Για παράδειγμα , για διαδρομές έως 80 χιλιομέτρων προτιμώνται κυρίως από οικονομικής πλευράς τα καλώδια HVAC. Για μεγαλύτερες αποστάσεις , επιλέγονται τα καλώδια HVDC ώστε να περιορίζονται οι ηλεκτρικές απώλειες. Εμφανισιακά τα πρώτα αποτελούνται από 3 ξεχωριστά καλώδια ,το ένα για κάθε φάση , και περιβάλλονται από προστατευτικές στρώσεις. Τα δεύτερα , ανάλογα με το σύστημα DC που θα προτιμηθεί , μπορούν να είναι είτε μονοπολικά είτε διπολικά (Submarine Power Cables).



Εικόνα 29: Ανατομία ενός υποβρύχιου HVDC καλωδίου. Πηγή: Offshore Wind Submarine Cabling , 2021

Πίνακας 3: Τεχνική σύγκριση HVAC-HVDC καλωδίων . Πηγή: Offshore Wind Submarine Cabling , 2021

Παράμετρος	HVAC	HVDC
Κόστος καλωδίου	Υψηλό	Μεσαίο
Ηλεκτρικές απώλειες	Υψηλές	Περιορισμένες
Μέγιστο μήκος	~ 100 χιλιόμετρα	Θεωρητικά απεριόριστο
Αξιοπιστία	Υψηλή	Μεσαία - Υψηλή
Μέγιστη Ισχύς/ Καλώδιο	~ 400MW	< 2000 MW

3.4.1 Όδευση υποβρύχιου καλωδίου

Κατά την διαδικασία ανάπτυξης ενός Υ.Α.Π , μια από τις σημαντικότερες διαδικασίες θεωρείται η τοποθέτηση των υποβρύχιων καλωδίων. Γενικότερα υπάρχουν δύο είδη καλωδίων που χρησιμοποιούνται στις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις και δύναται να κατασκευαστούν τόσο σε HVAC όσο και σε HVDC. Το πρώτο είδος ονομάζεται « καλώδιο συστοιχιών» και το δεύτερο «καλώδιο εξαγωγής» τα οποία αναλύονται ακολούθως (Offshore Wind Submarine Cabling , 2021) .

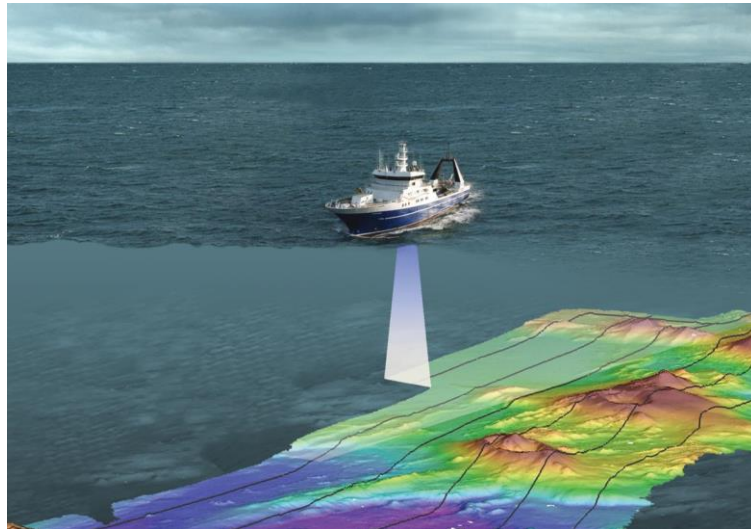
Καλώδιο Συστοιχιών (Inter – array cable)

Εφόσον έχει επιλεγθεί η διάταξη των ανεμογεννητριών επόμενο βήμα είναι η μεταξύ τους καλωδίωση τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση των καλωδίων συστοιχιών τα οποία εκτείνονται μέχρι τον χερσαίο ή υπεράκτιο υποσταθμό. Σχεδιαστικά η διατομή τους μπορεί να φτάσει έως και 150mm και αποτελούνται από υλικά που προσφέρουν αντοχή έναντι του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Καλώδιο Εξαγωγής (Export cable)

Το καλώδιο εξαγωγής είναι υπεύθυνο για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το υπεράκτιο υποσταθμό μέχρι το χερσαίο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο. Ανάλογα με την απόσταση που απέχει η εγκατάσταση από την στεριά καθορίζεται η διατομή και το πλήθος των καλωδίων εξαγωγής. Σε αντίθεση με τα καλώδια συστοιχιών τα οποία συνήθως είναι HVDC , τα συγκεκριμένα καλώδια είθισται να είναι HVAC και είναι ενσωματωμένα με καλώδια οπτικών ινών. Αυτό συμβαίνει διότι , θα πρέπει να λειτουργούν και τα συστήματα εποπτείας που έχουν τοποθετηθεί. Τέλος , παρατηρούνται διαφορές και στην διαδικασία εγκατάστασης , αφού τα καλώδια εξαγωγής έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από εκείνη των συστοιχιών και επομένως ακολουθείται διαφορετική μέθοδο.

Προκειμένου να γίνει σωστά η καλωδίωση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση η πλήρης ανάλυση του πυθμένα. Θα πρέπει να αποφευχθούν , όσο είναι δυνατόν , εξαιρετικά σκληρές και εξαιρετικά σαθρές επιφάνειες όπως επίσης και κλίσεις του πυθμένα όπου αυτό είναι εφικτό. Αφού επιλεγθεί η όδευση με βάση των παραπάνω συνθηκών , εξετάζονται με μεγαλύτερη προσοχή τα ειδικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει. Για να γίνει αυτό αποτελεσματικά θα πρέπει να γίνει η γεωφυσική και η γεωτεχνική αξιολόγηση της περιοχής (Offshore Wind Submarine Cabling , 2021).



Εικόνα 30. Παράδειγμα χαρτογράφησης πυθμένα. Πηγή:

<https://www.usni.org/magazines/proceedings/2020/march/mapping-world-ocean-seafloor>

Γεωφυσική αξιολόγηση:

Αφορά στα επιφανειακά χαρακτηριστικά του βυθού και περιλαμβάνει:

1. Έλεγχος κλίσεων
2. Παρουσία υφάλων
3. Βραχώδεις επιφάνειες
4. Υποβρύχια κανάλια
5. Ρωγμές
6. Απότομη μείωση του βάθους

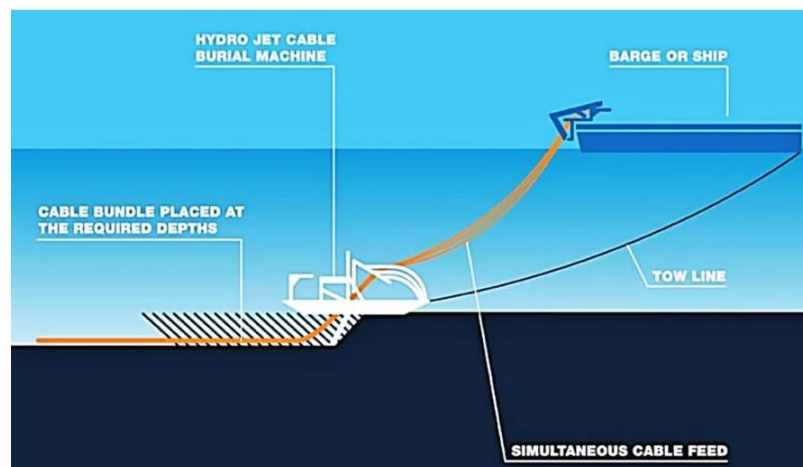
Με τις παραπάνω πληροφορίες , σχηματίζεται μια ξεκάθαρη εικόνα σχετικά με την σταθερότητα που προσφέρει η περιοχή και την δυνητική αποτελεσματικότητα και μακροζωία της των τεχνικών ταφής.

Γεωτεχνική αξιολόγηση:

Αφορά στην διαδικασία ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με την σύσταση του πυθμένα και περιλαμβάνει:

1. Την περιγραφή του εδάφους και του στρώματος του πυθμένα.
2. Την παρουσία και την ποσοστιαία σύνθεση οργανικών υλών , που επηρεάζουν τις θερμικές ιδιότητες του καλωδίου.
3. Την διατμητική αντοχή , την σχετική πυκνότητα και τις θερμικές ιδιότητες του πυθμένα.
4. Την παρουσία βραχώδους υποβάθρου.

Εν συνεχεία αφού εγκριθεί η περιοχή που μελετάται με βάση τα παραπάνω κριτήρια , χρησιμοποιούνται ειδικά διαμορφωμένα πλοία για την μεταφορά και εγκατάσταση των καλωδίων. Καθοριστικό παράγοντας σε αυτή την διαδικασία , είναι να εφαρμοστεί η προτεινόμενη κλίση εκταφής , ώστε να μην δημιουργηθούν ρωγμές στην επιφάνεια των καλωδίων (Κωνσταντίνος Κυριακίδης , 2021).



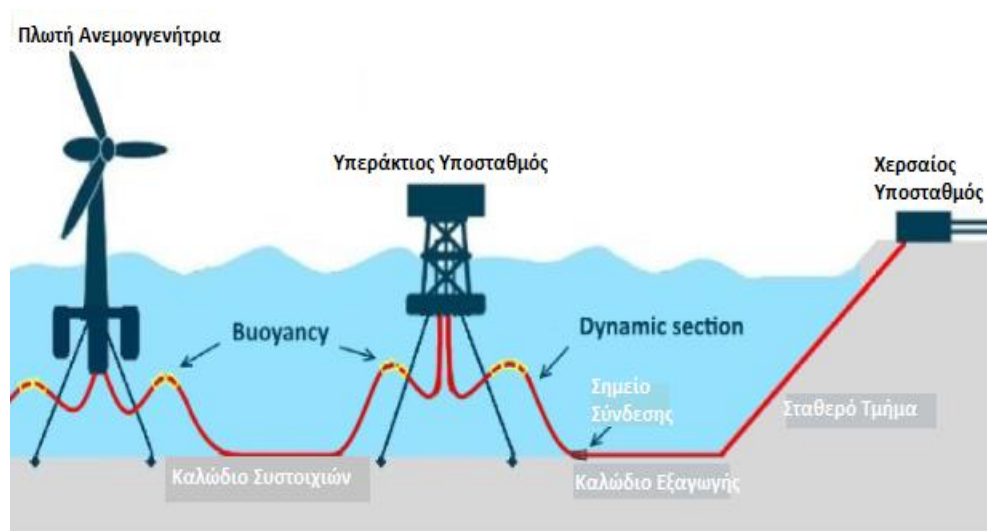
Εικόνα 31: Απεικόνιση εγκατάστασης υποβρύχιων καλωδίων με κατάλληλο μέσο. Πηγή: <https://electrical-engineering-portal.com/installing-submarine-transmission-cable>

3.4.2 Τυπικό παράδειγμα καλωδίωσης ενός πλωτού Υ.Α.Π

Αφού έχουμε επιλέξει μια από τις υποκατηγορίες πλωτών βάσεων που μας εξυπηρετεί , θα πρέπει να προχωρήσουμε με την καλωδίωση του. Συγκεκριμένα για την απροβλημάτιστη και αποτελεσματικότερη λειτουργία του επιλέγονται όπως έχει προαναφερθεί υποβρύχια καλώδια κατάλληλα διαμορφωμένα να αντέξουν τις δυσκολίες που εγκυμονεί το περιβάλλον της θάλασσας

που οφείλονται κυρίως μεταξύ άλλων τόσο στην διάβρωση των υλικών όσο και στην έντονη κινητικότητα τους (πχ λόγω κυμάτων) καθ' όλη την διάρκεια ζωής του πάρκου. Οι σημαντικότερες κατηγορίες των καλωδίων παρουσιάζονται ακολούθως:

- 1. Καλώδια συστοιχιών (Inter-array cables) :** Κατά κύριο λόγο είναι τρίκλωνοι μονωμένοι χάλκινοι αγωγοί με ονομαστική τάση λειτουργίας περίπου στα 33kV για χαμηλές τιμές ισχύος ενώ για υψηλότερες τιμές ισχύος (σύγχρονες ανεμογεννήτριες) απαιτούνται επίπεδα τάσης 66kV (Srinil N. 2016).
- 2. Καλώδια εξαγωγής (Export Cables.** Συνήθως κατασκευάζονται από μονωμένους αγωγούς χαλκού ή αλουμινίου υψηλής τάσης και προστατεύονται από στρώματα θωράκισης και κατάλληλης μόνωσης για να αντέξουν το δύσκολο υδάτινο περιβάλλον (Thomas Worzyk et all. 2013). Αναλόγως από την απόσταση και την εγκαταστημένη ισχύ του πάρκου μπορούν να λειτουργήσουν στην υψηλή τάση τόσο για συνεχές όσο και για εναλασσόμενο ρεύμα (Markus Lerch et all. 2021).
- 3. Dynamic Section:** Τέλος, σημαντικό μέρος των καλωδιώσεων σε μια πλωτή ανεμογεννήτρια αποτελεί το «δυναμικό καλώδιο» που μπορεί να θεωρηθεί ένα ευρύτερο μέρος του καλωδίου συστοιχιών και πρέπει να είναι σε θέση να προσφέρει ευελιξία και μηχανική αντοχή ώστε να αντέξει τις επιδράσεις των κυμάτων και των υπόγειων ρευμάτων για να αποτρέψει την καταστροφή του καλωδίου. Συνήθως, συναντάται κοντά στο σημείο σύνδεσης του καλωδίου συστοιχιών με το καλώδιο εξαγωγής (Markus Lerch et all. 2021).



Εικόνα 32: Ηλεκτρικό σύστημα μιας πλωτής Υπεράκτιας Ανεμογεννήτριας. Πηγη:

<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107128>

3.5 Βασικά σενάρια διασύνδεσης

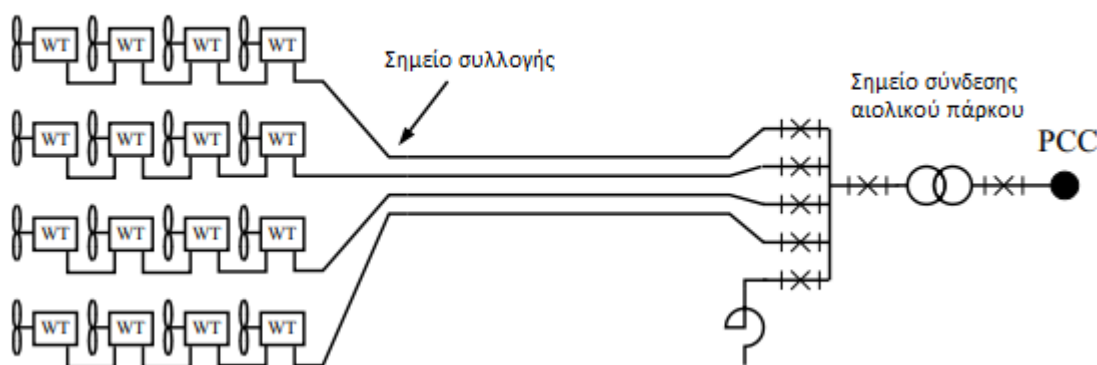
Η διασύνδεση των αιολικών πάρκων στο δίκτυο , τόσο στα χερσαία όσο και στα υπεράκτια , είναι αδιαμφισβήτητα μια πρόκληση. Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι κατά περίπτωση τεχνικές προϋποθέσεις για την σύνδεση τους , έχουν αναπτυχθεί ορισμένα σενάρια διασύνδεσης τα οποία παρουσιάζονται ακολούθως (S.Lundberg , 2003):

1. Σύνδεση AC/AC
2. Σύνδεση AC/DC
3. Σύνδεση DC/DC

3.5.1 Σύνδεση AC/AC

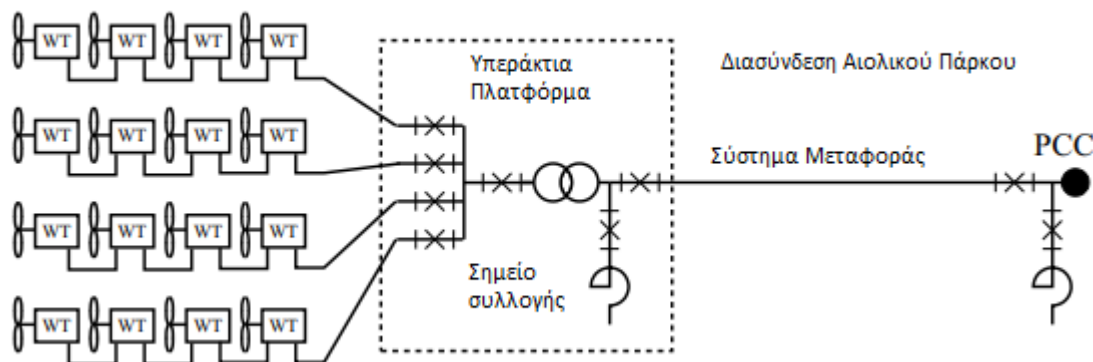
Πρόκειται για τον πιο συνηθισμένο τρόπο διασύνδεσης παγκοσμίως και έχει αποδειχθεί κατάλληλος τόσο για χαμηλή όσο και για υψηλή εγκαταστημένη ισχύ . Ωστόσο λόγω της διαφοράς κόστους ανάλογα με την διαθέσιμη ισχύ υπάρχουν 2 σενάρια που εφαρμόζονται.

Αρχικά , όταν αναφερόμαστε σε αιολικό πάρκο χαμηλής ισχύς , συνήθως χρησιμοποιείται ακτινική διάταξη για την σύνδεση των ανεμογεννητριών αλλά και με το δίκτυο. Θεωρείται ο οικονομικότερος τρόπος αφού όλες οι αιολικές μηχανές της κάθε γραμμής είναι συνδεδεμένες με το ίδιο καλώδιο το οποίο εκτείνεται μέχρι τον μετασχηματιστή. Με αυτό τον τρόπο τα έξοδα εγκατάστασης περιορίζονται αισθητά , αφού θα πρέπει να τοποθετηθεί μόνο ένα καλώδιο από το σημείο εγκατάστασης μέχρι το σημείο διασύνδεσης.



Εικόνα 33: Συνδεσμολογία AC σε αιολικό πάρκο χαμηλής ισχύς. Πηγή: S.Lundberg , 2003

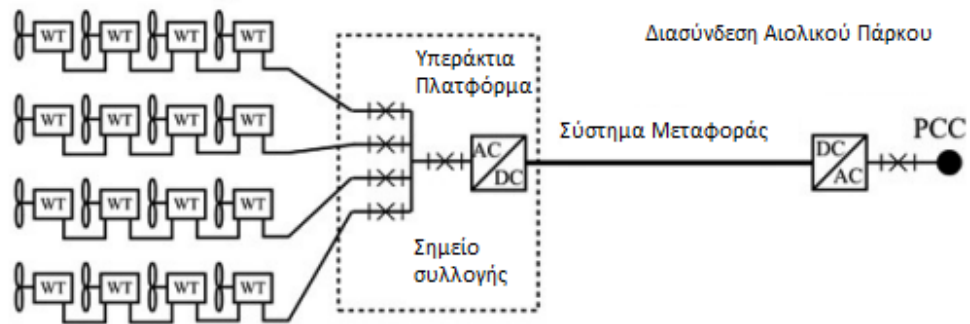
Εν συνεχεία για τον ίδιο τρόπο σύνδεσης, δηλαδή στο εναλλασσόμενο ρεύμα, θα χρειαστεί πολλές φορές να διασυνδέσουμε ένα πάρκο μεγάλης ισχύς. Σε αυτή την περίπτωση θα χρειαστούμε έναν υπεράκτιο υποσταθμό για τον μετασχηματιστή καθώς και ένα σύστημα μεταφοράς υψηλής τάσης (20 – 30kV). Στην συγκεκριμένη μέθοδο, τα κόστη διογκώνονται αφού για κάθε συστοιχία αιολικών μηχανών απαιτείται ξεχωριστό καλώδιο (S.Lundberg, 2003).



Εικόνα 34: Συνδεσμολογία AC σε πάρκο μεγάλης ισχύς. Πηγή: S.Lundberg, 2003

3.5.2 Σύνδεση AC/DC

Αρχικά ο συγκεκριμένος τρόπος διασύνδεσης χρησιμοποιείται σε παλιές εγκαταστάσεις και προτείνεται σε περιοχές όπου το σημείο διασύνδεσης απέχει αρκετά και το τοπικό δίκτυο είναι αδύναμο. Η αρχιτεκτονική του συγκεκριμένου σεναρίου επιτρέπει την εποπτεία των μεταφερόμενων μεγεθών με σκοπό την αποτελεσματικότερη διαβίβαση ισχύος. Για να επιτευχθεί αυτό, παρεμβάλλεται μεταξύ των συστοιχιών των ανεμογεννητριών και του σημείου σύνδεσης μια γραμμή μεταφοράς συνεχούς ρεύματος. Σχετικά με το κόστος, τα έξοδα καλωδίων είναι παρόμοια με την παραπάνω τοπολογία με την μόνη διαφορά ότι εδώ προστίθεται και το κόστος των μετατροπών AC-DC και DC-AC.

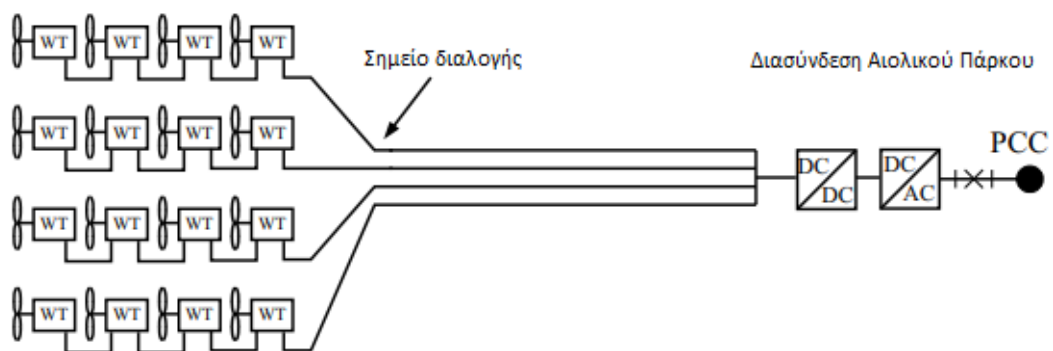


Εικόνα 35: Συνδεσμολογία AC/DC. Πηγή : S.Lundberg , 2003

3.5.3 Σύνδεση DC/DC

Η διασύνδεση συνεχούς ρεύματος ενός αιολικού πάρκου μπορεί να χωριστεί σε 3 διαφορετικές υποπεριπτώσεις. Οι 2 από αυτές είναι εφάμιλλες με τις 2 περιπτώσεις της εναλλασσόμενης διασύνδεσης ενώ η τρίτη αφορά σε ανεμογεννήτριες συνδεδεμένες σε σειρά.

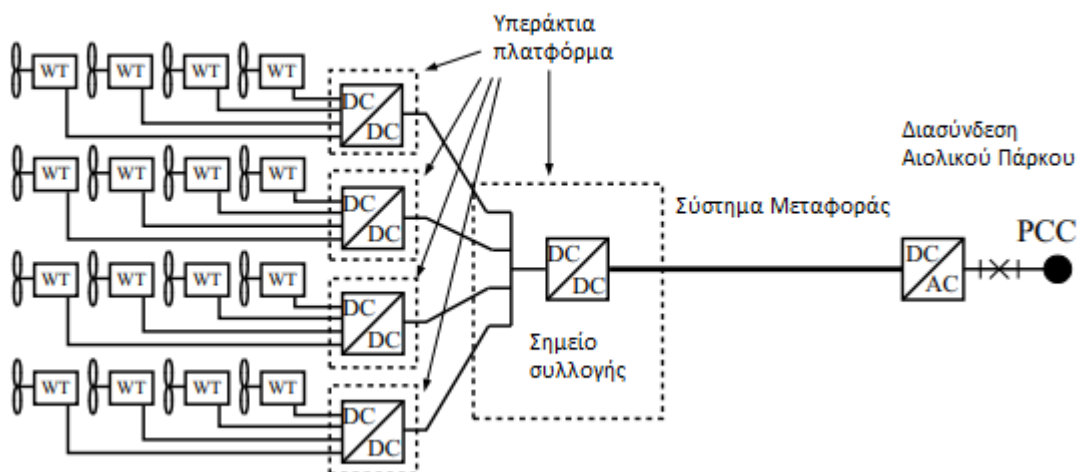
Σχετικά με το πρώτο σενάριο , πραγματοποιείται η σύνδεση μικρών αιολικών πάρκων με την μόνη διαφορά , με το αντίστοιχο σενάριο της AC σύνδεσης , ότι εδώ απαιτείται στην θέση του μετασχηματιστή ένας μετατροπέας συνεχούς ρεύματος και έπειτα ένας αντιστροφέας. Επίσης σε κάθε αιολική μηχανή είναι απαραίτητος ένας ανορθωτής. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα μεταξύ των μικρών και των μεγάλων αιολικών παρκών με DC σύνδεση , είναι η απουσία της υπεράκτιας πλατφόρμας (S.Lundberg , 2003).



Εικόνα 36 : Συνδεσμολογία DC σε πάρκο χαμηλής ισχύς . Πηγή: Lundberg , 2003

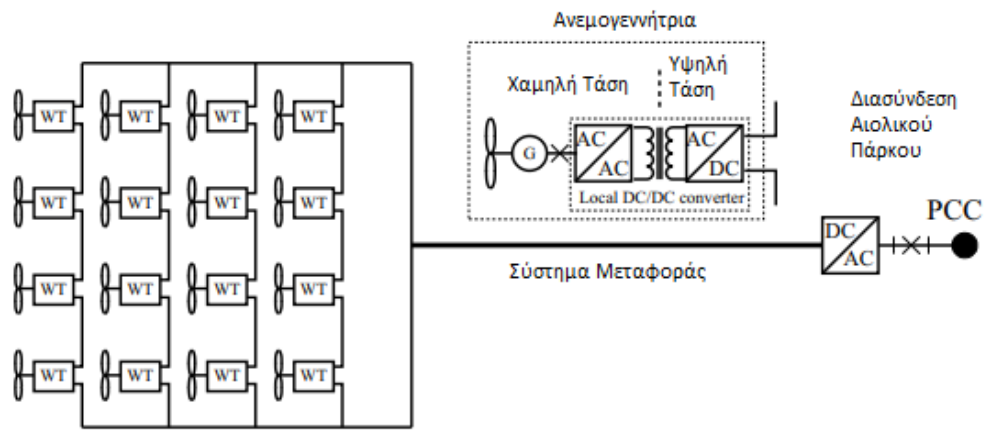
Ο δεύτερος τύπος DC σύνδεσης αφορά τα μεγάλα αιολικά πάρκα. Η ουσιώδη διαφορά συναντάται στην υποχρεωτική παρουσία ενός ή δυο μετασχηματιστών για την ανύψωση της τάσης σε επίπεδο κατάλληλο που να εξασφαλίζεται η βέλτιστη μεταφορά της. Θεωρητικά όταν η παραγόμενη συνεχή

τάση είναι μεταξύ 20-40kV χρειάζεται να τοποθετηθεί ένας μετασχηματιστής. Σε διαφορετική περίπτωση που η τάση είναι μικρότερη των 5kV απαιτούνται δύο μετασχηματιστές. Όταν η τάση είναι κάτω των 5kV οι συστοιχίες των αιολικών μηχανών χωρίζονται σε ομάδες των 2 προκειμένου να ανυψωθεί η τάση σε επιτρεπτά επίπεδα για μεταφορά. Το κόστος για την συγκεκριμένη διασύνδεση δεν θεωρείται αμελητέο αφού απαιτείται ξεχωριστό καλώδιο για κάθε συστοιχία (S.Lundberg , 2003) .



Εικόνα 37 : Συνδεσμολογία DC σε πάρκο μεγάλης ισχύς. Πηγή: S.Lundberg , 2003

Τέλος , στο τρίτο σενάριο οι αιολικές μηχανές συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά , ώστε να επιτευχθεί τάση κατάλληλη για την τροφοδότηση του αντιστροφέα. Ωστόσο είναι σημαντικό να αναφερθούν τα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που συνοδεύουν την εν λόγω διασύνδεση . Από την μια πλευρά λόγω της αρχιτεκτονικής της δεν απαιτείται ούτε μετασχηματιστής DC ούτε υπεράκτια πλατφόρμα με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος κατασκευής και να βελτιώνεται η οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Από την άλλη πλευρά , θα πρέπει οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν πάντοτε σε ισχύ που να εξασφαλίζει την βέλτιστη λειτουργία του αντιστροφέα ώστε να μην υπάρχουν διαταράξεις στο δίκτυο. Για να γίνει αυτό θα πρέπει η χαμένη παραγωγή από μια ανεμογεννήτρια η οποία έχει βγει εκτός για διάφορους λόγους να επικαλυφθεί από μια άλλη . Σε αυτό άμα λάβουμε υπόψιν και την στοχαστικότητα του ανέμου , αντιλαμβανόμαστε ότι πρόκειται για μια μέθοδο που χρήζει περισσότερης έρευνας (S.Lundberg , 2003).



Εικόνα 38 : Συνδεσμολογία DC με ανεμογεννήτριες σε σειρά. Πηγή : S.Lundberg , 2003

3.6 Υπεράκτιος υποσταθμός για Υ.Α.Π

Στην προηγούμενη ενότητα αναφερθήκαμε στα είδη καλωδίων που αποτελούν το ηλεκτρικό σύστημα μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας κατά το ήμισυ , το υπόλοιπο μέρος απαρτίζεται από τους υπεράκτιους υποσταθμούς. Συγκεκριμένα , στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελούνται από έναν μετασχηματιστή που ανυψώνει την παραγόμενη μέση τάση σε υψηλή προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες κατά την μεταφορά της ενέργειας στο σημείο σύνδεσης με το τοπικό δίκτυο (Markus Lerch et all. 2021). Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η επιλογή του είδους του υποσταθμού , δηλαδή εάν πρόκειται για συνεχής ή εναλλασσόμενης τάσης εξαρτάται κυρίως μεταξύ άλλων παραγόντων από την απόσταση του από την ακτή.



Εικόνα 39: Τοπικό παράδειγμα Υπεράκτιου Υποσταθμού. Πηγή: <https://ramboll.com/services-and-sectors/energy/wind-energy/offshore-substations>

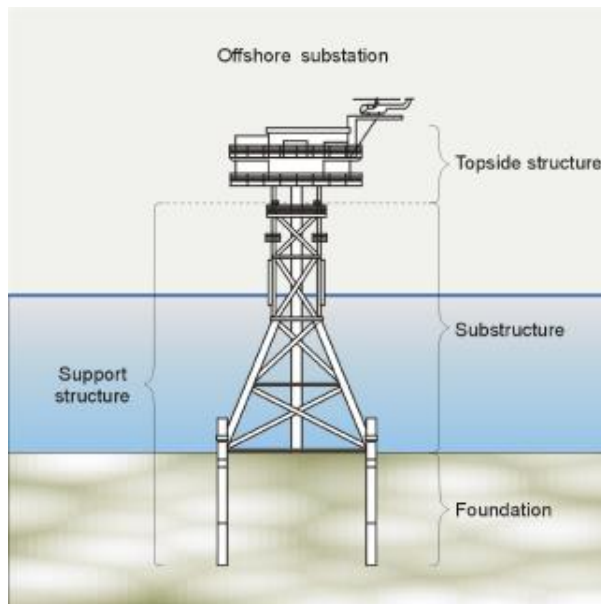
Σχεδιαστικά τα συγκεκριμένα είδη υποσταθμών παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες , ωστόσο συγκριτικά ο υποσταθμός συνεχής τάσης περιέχει ορισμένα στοιχεία παραπάνω τα οποία φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4: Σχεδιαστική Σύγκριση μεταξύ Υποσταθμών. Πηγή: (Substations for offshore wind farms: a review from the perspective of the needs of the Polish wind energy sector)

Υποσταθμοί Εναλλασσόμενου Ρεύματος (HVAC)	Υποσταθμοί Συνεχούς Ρεύματος (HVDC)
Μετασχηματιστές,	
Βοηθητικοί Μετασχηματιστές (Auxiliaries)	
Διακόπτες GIS υψηλής και μέσης τάσης	
Εφεδρικές Γεννήτριες	
Αντιστάσεις Γείωσης	
Αντιδραστήρες	
Φίλτρα Εναλλασσόμενου ρεύματος	
	Μετατροπείς IGBT με Σύστημα Ψύξης,
	Πηνία Εξομάλυνσης,
	Φίλτρα Συνεχούς ρεύματος

Όσο αναφορά στην δομή τους , συνήθως είναι αγκυροβολημένες στον πυθμένα της θάλασσας και μπορούν να παρομοιαστούν με τις αντίστοιχες δομές των πλατφόρμων εξόρυξης πετρελαίου. Η πλατφόρμα τους στεγάζει τους κύριους μετασχηματιστές , τους διακόπτες και λοιπά ηλεκτρολογικά στοιχεία που έχουν αναφερθεί στον παραπάνω πίνακα. Η δομή τους μπορεί να χωριστεί σε δυο βασικά μέρη.

- 1. Δομή στήριξης :** Ο κύριος σκοπός της δομής στήριξης, η οποία περιλαμβάνει τη δομή θεμελίωσης και την υποδομή, είναι να μεταφέρει τα φορτία από την οροφή και τη στήριξη στον πυθμένα.
- 2. Κορυφή :** Αποτελεί την κορυφή του υποσταθμού όπου εγκαθίστανται όλος ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που περιλαμβάνει τους μετασχηματιστές , τους διακόπτες κτλ (S Robak et all 2018).

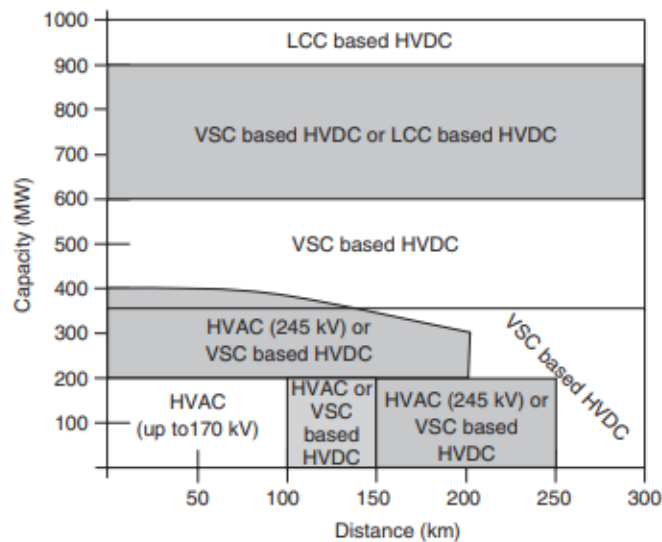


Εικόνα 40: Τυπικό παράδειγμα δομής Υπεράκτιου Υποσταθμού. Πηγή: (Substations for offshore wind farms: a review from the perspective of the needs of the Polish wind energy sector)

3.7 Συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Για την μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται είτε συστήματα HVAC είτε συστήματα HVDC. Σήμερα στις περισσότερες υπεράκτιες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται κυρίως τα HVAC συστήματα. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μικρή εγκαταστημένη ισχύ τους και στην απόσταση από το σημείο σύνδεσης. Αναμενόμενο ωστόσο είναι, με την πρόοδο της τεχνολογίας αυτό να αλλάξει, καθώς έχει αποδειχθεί ότι η εγκαταστημένη ισχύ ανά ανεμογεννήτρια αυξάνεται διαρκώς (T.Ackermann, 2005).

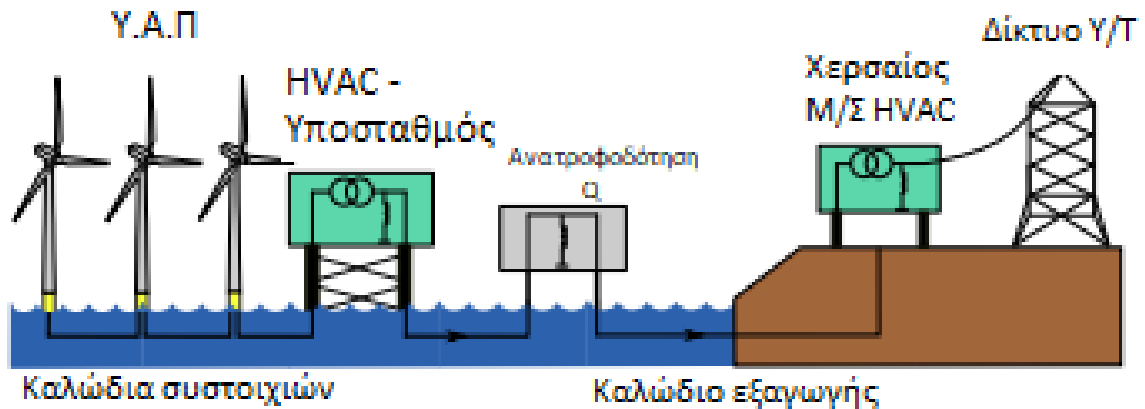
Από οικονομικής πλευράς, το κόστος κατασκευής ενός HVAC είναι αισθητά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος ενός HVDC, αφού πρόκειται για σύστημα μεταφοράς 3 φάσεων και όχι 2. Επίσης, όσο αναφορά στις απώλειες, για το HVAC εξαρτώνται κυρίως από το μήκος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καλωδίου. Από την άλλη πλευρά για τα συστήματα συνεχούς ρεύματος οι απώλειες εξαρτώνται κυρίως από την αποδοτικότητα των μετατροπών και λιγότερο από το ίδιο το καλώδιο. Τέλος, αναφορικά με την επίδραση που έχουν τα δύο συστήματα στο θαλάσσιο οικοσύστημα, λόγω μαγνητικών πεδίων, δεν υπάρχει κάποιο εξακριβωμένο συμπέρασμα. Για παράδειγμα μπορεί θεωρητικά τα υποβρύχια AC καλώδια να έχουν χαμηλότερο μαγνητικό πεδίο από τα DC, ωστόσο στις περισσότερες περιπτώσεις των AC το απαιτούμενο πλήθος καλωδίων αναμένεται να είναι μεγαλύτερο (T.Ackermann, 2005).



Εικόνα 41: Διάγραμμα χρήσης συστημάτων μεταφοράς. Πηγή: T.Ackermann , 2005

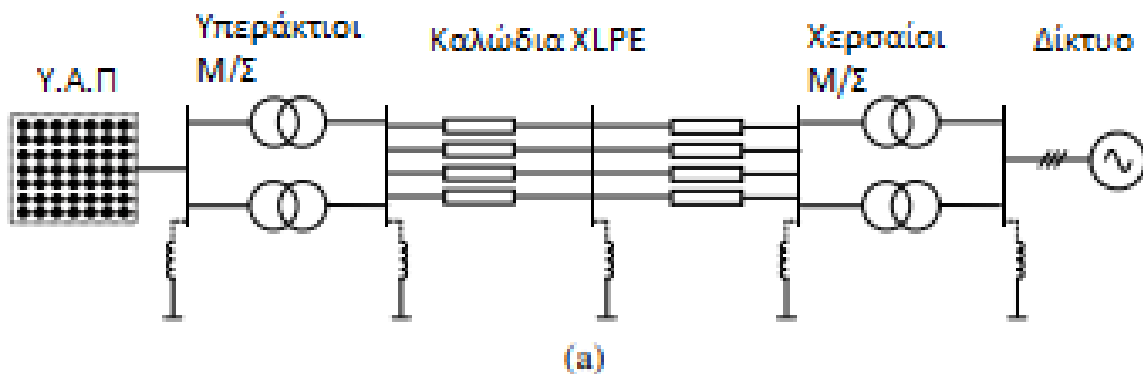
3.7.1 Σύστημα HVAC

Στις παρακάτω φωτογραφίες αποτυπώνεται η βασική διάταξη των επιμέρους τμημάτων που απαρτίζουν το ηλεκτρικό σύστημα ενός Υ.Α.Π καθώς και το ηλεκτρολογικό κύκλωμα ενός συστήματος μεταφοράς HVAC. Συγκεκριμένα, είναι τοποθετημένοι δύο υποσταθμοί ένας στην θάλασσα και ένας στην ξηρά, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους μέσω καλωδίων πολυαιθυλενίου (XLPE). Πάνω σε εκείνους στεγάζονται οι μετασχημάτισες τάσης, οι διακόπτες ισχύος και ο τομέας ανατροφοδότησης της άεργου ισχύος. Η βασική λειτουργία έγκειται στην ανύψωση της παραγόμενης τάσης των αιολικών μηχανών, η οποία βρίσκεται στα 33 ή 66 kV και έπειτα στα 110 – 220 kV για λόγους μεταφοράς. Έπειτα υπάρχει και ο χερσαίος υποσταθμός ο οποίος με την σειρά του ανυψώνει την τάση σε κατάλληλα επίπεδα για να συνδεθεί στο τοπικό δίκτυο υπερ-υψηλής τάσης. Είθισται οι μετασχηματιστές να είναι συνδεδεμένοι παράλληλα μεταξύ τους με μέγιστη εγκαταστημένη ισχύ η οποία δεν ξεπερνάει το 60% της ονομαστικής εγκαταστημένης ισχύς του Υ.Α.Π. Αυτό συμβαίνει για να αυξηθεί η διαθεσιμότητα του καλωδίου εξαγωγής. Στην συγκεκριμένη προσομοίωση έχουν επιλεγεί 3 τέτοια καλώδια. Επίσης, κατά μήκος των αγωγών, συνήθως προς την άφιξη της γραμμής, έχουν τοποθετηθεί και συστήματα ανατροφοδότησης άεργου ισχύος, το οποίο οδηγεί σε καλύτερη εποπτεία και στην μείωση απωλειών ισχύος. Σε γενικότερες γραμμές, τέτοιου είδους συστήματα προτιμώνται για εγκαταστάσεις που δεν ξεπερνούν τα 200MW και η περιοχή εγκατάσταση βρίσκεται εντός 100 χιλιομέτρων από την ακτή (Jovana Dakic et all 2020).



Εικόνα 42: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος HVAC για Υ.Α.Π. Πηγή:

<http://dx.doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3027356>



Εικόνα 43: Ηλεκτρολογικό κύκλωμα HVAC συστήματος μεταφοράς. Πηγή:

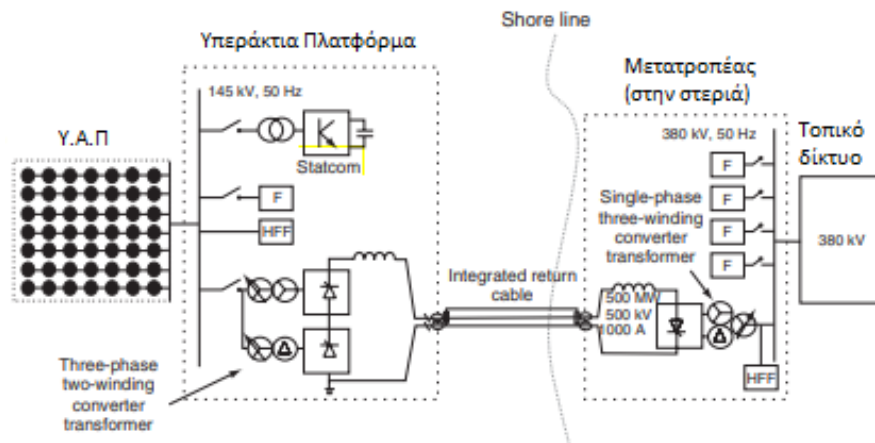
<http://dx.doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3027356>

3.7.2 Σύστημα HVDC

Σύστημα HVDC βασισμένο σε Line Commutated Converter (LCC)

Το συγκεκριμένο σύστημα μεταφοράς αν και δεν έχει χρησιμοποιηθεί ποτέ για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικές μηχανές, έχει αποδειχθεί σε λοιπές εγκαταστάσεις αρκετά αποδοτικό. Ωστόσο ο προβληματισμός που υπάρχει έγκειται στην απαραίτητη χρήση των θυρίστορ. Συγκεκριμένα, με αυτόν τον τρόπο η εποπτεία της πραγματικής και άεργου ισχύος γίνεται με μεγάλη δυσκολία, καθώς εκείνα λειτουργούν με βάση τα ηλεκτρικά μεγέθη του δικτύου και όχι με εκείνα της υπεράκτιας εγκατάστασης. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου χρησιμοποιούνται αντισταθμιστές γνωστοί και ως STATCOM. Εκείνοι μπορούν να περιορίσουν την παραγόμενη άεργη

ισχύ που προκύπτει από την μεταφορά των μετατροπέων και να διατηρήσουν σταθερή την συνεχή τάση σε περιπτώσεις αστάθειας του δικτύου. (Κωνσταντίνος Κυριακίδης , 2021) .



Εικόνα 44: Παράδειγμα διασύνδεσης Υ.Α.Π ισχύς 500MW με την μέθοδο HVDC-LCC. Πηγή: T.Ackermann , 2005

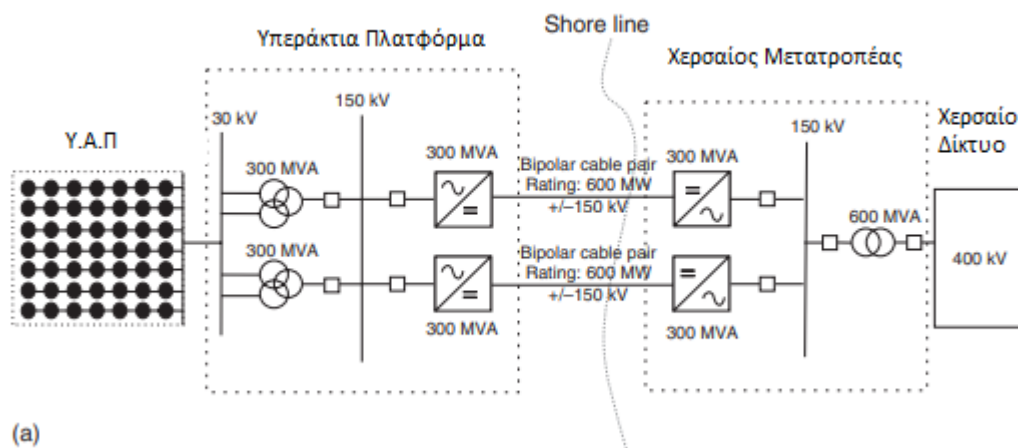
Εν συνεχεία, αξίζει να σημειωθεί ότι , συνολική μετατροπή από AC σε DC και ξανά σε AC ,χρησιμοποιώντας δυο ξεχωριστούς μετατροπείς έναν στην στεριά και έναν υπεράκτια , παρουσιάζει ποσοστά απόδοσης που κυμαίνονται από 97% έως 98%. Αναμφίβολα ένα σύστημα με βαθμό απόδοσης 98% και 99% θα απαιτούσε μεγαλύτερο αρχικό κόστος , ωστόσο θα πετύχαινε καλύτερο LCOE. Έτσι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του συστήματος , είναι ότι μπορεί να διατηρήσει τις απώλειες σε χαμηλά επίπεδα της τάξεως των 2-3 (%) για ένα Υ.Α.Π εγκαταστημένης ισχύς 500MW και μέγιστης απόστασης από το δίκτυο έως 100 χιλιομέτρων. Τέλος λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό , ότι η χρήση τους ενδείκνυται για μεγάλες εγκαταστάσεις λόγω της αναγκαιότητας ύπαρξης μεγάλων υπεράκτιων υποσταθμών και ταυτόχρονα ενός σταθερού δικτύου (T.Ackermann , 2005).

Σύστημα HVDC βασισμένο σε Voltage Source Converter (VSC)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία η οποία κερδίζει όλο και περισσότερο την προσοχή. Στο εμπόριο μπορεί να προσφερθεί από τεχνολογικούς κολοσσούς με διάφορες ονομασίες . Για παράδειγμα η εταιρεία Siemens την ονομάζει «HVDC Plus» ενώ η ABB «HVDC Light». Μέρος αυτής της τεχνολογίας κατέχουν τα στοιχεία IGBT τα οποία αντικαθιστούν τα θυρίστορ με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η εποπτεία των μεταφερομένων μεγεθών. Πέρα από αυτό , η

λειτουργία στοιχείων υψηλής συχνότητας οδηγεί στην ανεξαρτητοποίηση από τα φίλτρα αφού επιτυγχάνονται χαμηλά επίπεδα αρμονικών (T.Ackermann , 2005) .

Σε αντίθεση με το HVDC LLC σύστημα εδώ δεν κρίνεται απαραίτητη η παρουσία ενός μεγάλου υπεράκτιου υποσταθμού και ενός σταθερού δικτύου. Αντιθέτως , η τοπολογία αυτή δύναται να λειτουργήσει και σε περιπτώσεις που το δίκτυο έχει μηδενικό φορτίο. Αυτό συμβαίνει , διότι το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να αποσυνδεθεί από το ρεύμα επομένως δεν απαιτείται η ενεργός ισχύς. Σε περιπτώσεις σταθερής λειτουργίας του δικτύου η εποπτεία της άεργου και της πραγματικής ισχύς μπορεί να ελεγχθεί ανεξάρτητα η μια από την άλλη. Τέλος , συγκριτικά με το συστήματα βασισμένο σε LLC το VSC φαίνεται να είναι λιγότερο αποδοτικό κατά 7-8 (%). Ωστόσο η αποτελεσματική εποπτεία που προσφέρει , η χρήση λίγων φίλτρων και η ικανότητα να λειτουργήσει εν κενό αδιαμφισβήτητα το κατατάσσουν σε υπολογίσιμη θέση (T.Ackermann , 2005) .



Εικόνα 45: Παράδειγμα αιολικού πάρκου ισχύς 600MW με χρήση του συστήματος HVDC με χρήση 2VSC.

Πηγή: T.Ackermann , 2005

3.8 Κύριες βλάβες στα Υ.Α.Π

Μια ανεμογεννήτρια εγκαταστημένη στην θάλασσα αναμφίβολα καλείται να αντιμετωπίσει έντονα καιρικά φαινόμενα τα οποία ενδεχομένως να προκαλέσουν βλάβες στα λειτουργικά της μέρη. Κάθε υπεράκτια αιολική μηχανή θα πρέπει να λειτουργεί χωρίς πρόβλημα για την ασφάλεια του προσωπικού συντήρησης αλλά και άλλων παραγόντων όπως είναι τα πλοία που διέρχονται από το σημείο αυτό. Μειώνοντας τα ρίσκα σίγουρα αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της καθώς και η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Συνήθως, τα σημεία που χρειάζονται περισσότερη προσοχή κατά την σχεδίαση , κατασκευή και συντήρηση είναι η γεννήτρια που εγκαθίσταται στην άτρακτο ,

τα πτερύγια και η δομική της σύσταση. Ακολούθως αναλύονται τα πιο συνηθισμένα είδη βλαβών τα οποία λαμβάνουν χώρα κατά την λειτουργία της υπεράκτιας ανεμογεννήτριας (Kavakli et all, 2023).

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση βλαβών σε ένα Υ.Α.Π. Πηγή: <https://doi.org/10.18280/iejpm.080104>

Τύπος Βλάβης	Πιθανότητα Βλάβης (%)	Αιτία βλάβης	Πιθανότητα Αιτίας (%)
Βλάβη πτερυγίου	29	Καταιγίδα	76
		Καταπόνηση Υλικού	9
		Αστοχία καλωδίου	2
		Αστοχία στον αισθητήρα	2
		Ηλεκτρική βλάβη	28
		Διακύμανση ενέργειας	5
Βλάβη γεννήτριας	29	Καταιγίδα	22
		Ηλεκτρική βλάβη	28
		Ανθρώπινο λάθος	6
		Μηχανική αστοχία	11
		Αστοχία στην θεμελίωση	7
Δομική Βλάβη	24	Καταιγίδα	63
		Μηχανική αστοχία	22
		Ανθρώπινο λάθος	1
		Σύγκρουση	4
Βλάβη λόγω κεραυνού	8	Κεραυνός	100
Βλάβη στο Κιβώτιο Ταχυτήτων	6	Καταπόνηση υλικού	20
		Αστοχία υλικού	15
		Διαρροή λαδιού	40
Βλάβη λόγω πάγου	3	Σχηματισμός πάγου	100
Θερμοκρασία και περιβαλλοντικές συνθήκες	1	Τοπικό κλίμα	100

1. Βλάβη πτερυγίων

Η λειτουργία τους έγκειται στην αξιοποίηση της μηχανικής ενέργειας του ανέμου. Το γεγονός ότι βρίσκονται σε θαλάσσιο περιβάλλον αυξάνει τις πιθανότητες εμφάνισης πρόσθετου μηχανικού φορτίου όπως πάγος, χιόνι και έντονη βροχόπτωση πάνω σε αυτά. Έχει αποδειχθεί ότι κατά την διάρκεια της μεταφοράς τους στο σημείο εγκατάστασης υπόκεινται σε καταπονήσεις και τραντάγματα τα οποία προκαλούν ρωγμές στην επιφάνεια τους. Έτσι κατά την λειτουργία τους σε έντονες καιρικές συνθήκες τα προβλήματα αυτά μεγεθύνονται. Επιπλέον λόγος είναι το μέγεθος τους.

Κατασκευάζοντας μεγαλύτερα πτερύγια , αυξάνεται το επικαθύμενο μηχανικό έργο πάνω σε αυτά πράγμα που καθιστά δύσκολο τον ρόλο του ρότορα με αποτέλεσμα να μειώνεται η παραγωγή αλλά και να καταπονείται περισσότερο το σύστημα συνολικά (Kavakli et all, 2023) .



Εικόνα 46 : Χαρακτηριστικό παράδειγμα βλάβης πτερυγίου λόγω βάρους. Πηγή: <https://www.windturbinemagazine.com/why-do-wind-turbine-blades-wear-out/>

2. Βλάβη στην γεννήτρια

Η γεννήτρια είναι υπεύθυνη για την μετατροπή του παραγόμενου έργου του ρότορα σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο πιο συνηθισμένος τύπος γεννήτριας είναι η ασύγχρονη. Οι βλάβες στο συγκεκριμένο εξάρτημα μπορεί να οφείλονται είτε σε μηχανικές είτε σε ηλεκτρικές. Οι πρώτες σχετίζονται με την χρήση του σωστού ρουλεμάν ενώ οι δεύτερες εξαρτώνται από την ποιότητα κατασκευής του στάτη και του ρότορα. Πολλές φορές η βλάβη στην γεννήτρια μπορεί να προκαλέσει και πυρκαγιά (Kavakli et all, 2023) .



Εικόνα 47: Χαρακτηριστικό παράδειγμα βλάβης στην γεννήτρια . Πηγή: <http://guillermo-rein.blogspot.com/2014/01/wind-turbines-on-fire.html>

3. Βλάβη στο κιβώτιο ταχυτήτων

Η βλάβη στο κιβώτιο ταχυτήτων συνήθως προκαλείται όταν έχουν τοποθετηθεί σε αυτό κακής ποιότητας λιπαντικά , όταν λειτουργεί στο μέγιστο του για αρκετό καιρό και όταν δεν έχουν τηρηθεί τα χρονοδιαγράμματα συντήρησής του (Kavakli et all, 2023) .

4. Βλάβη προερχόμενη από κεραυνό

Ο κεραυνός πρόκειται για μια κρουστική τάση μερικών εκατομμυρίων Volts στατικού ηλεκτρισμού που λαμβάνει χώρα για ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Η «σύγκρουση» ενός κεραυνού με μια ανεμογεννήτρια αναμφίβολα την θέτει ανίκανη να λειτουργήσει ακόμα και αν έχει εξοπλιστεί με αντικεραυνική προστασία. Συνήθως , ο κεραυνός έρχεται σε επαφή με τα πτερύγια αν αναλογιστούμε ότι καλύπτουν κατά την περιστροφή τους πολύ μεγάλη έκταση. Αποτέλεσμα της σύγκρουσης της ανεμογεννήτριας με τον κεραυνό μπορεί να είναι και η πυρκαγιά.

5. Βλάβη λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών

Επιπρόσθετα ένα θέμα που καλείται να αντιμετωπίσει η αιολική μηχανή είναι η εναλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών. Συγκεκριμένα , η περιοχή εγκατάστασης ενός Υ.Α.Π δύναται να παρουσιάσει τόσο υψηλή υγρασία όσο και ξηρότητα αναλόγως την εποχή . Η συνεχής αλλαγή του μικροκλίματος εις βάθος 25ετίας αναμφίβολα επηρεάζει την απόδοση της ανεμογεννήτριας. Για παράδειγμα , τα λιπαντικά συστατικά που τοποθετούνται στο κιβώτιο ταχυτήτων θα πρέπει να είναι συμβατά με την εκάστοτε εποχή. Επομένως θεωρείται απαραίτητη η αντικατάσταση τους κάθε 6 μήνες. Πέρα από αυτό , κατά τον σχεδιασμό της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι θερμοκρασίες της εποχής για όλο το έτος ώστε να επιλεγθούν τα κατάλληλα εξαρτήματα. Τέτοια εξαρτήματα είναι τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης που τοποθετούνται στην άτρακτο και η λειτουργία τους εξασφαλίζει ένα σταθερό θερμοκρασιακό περιβάλλον κατά την διάρκεια του έτους , αυξάνοντας την απόδοση της γεννήτριας και του κιβώτιου ταχυτήτων και μειώνοντας ταυτόχρονα την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς. Τέλος , οι σύγχρονες εγκαταστάσεις εξοπλίζονται πλέον με μετρητικά συστήματα (ανεμόμετρα) και συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου ώστε να μπορούν να παρακολουθούν την κατάσταση των εξαρτημάτων της υπεράκτιας ανεμογεννήτριας. Είναι αναμενόμενο πως σε περιόδους με χαμηλές θερμοκρασίες τα εν λόγω συστήματα ενδέχεται να πάψουν να λειτουργούν με αποτέλεσμα να χαθεί ο απομακρυσμένος έλεγχος της αιολικής μηχανής (Kavakli et all, 2023).

6. Δομική Βλάβη

Ο συγκεκριμένος τύπος βλάβης συνήθως προκαλεί ρωγμές στα μέρη της , κυρίως στα πτερύγια , ή ακόμα και την κατάρρευση της. Οι πιθανότητες ανάπτυξης αυτού του φαινομένου αυξάνονται όταν στην γύρω περιοχή επικρατούν άνεμοι ταχυτήτων άνω των 25 km/h και οι θερμοκρασίες είναι κάτω του 0 καθώς ευνοείται η ανάπτυξη πάγου σε όλη την επιφάνεια της αιολικής μηχανής. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα συστήματα ασφαλείας που είναι εγκαταστημένα σε αυτήν , διακόπτουν την λειτουργία της και την καθιστούν ακίνητη έως ότου περάσει η κακοκαιρία. Επίσης καιρικά φαινόμενα όπως τυφώνες και τσουνάμι είναι ικανά να ισοπεδώσουν την στήριξη της. Συνοψίζοντας, θεωρείται αναγκαίο να λαμβάνονται προφυλάξεις και να μελετώνται διεξοδικά τα καιρικά δεδομένα της εκάστοτε περιοχής τουλάχιστον για της τελευταίας πενταετίας (Kavakli et al, 2023) .

3.9 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υ.Α.Π

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα δεν αποτελούν πανάκεια έχουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Δεδομένου ότι η παραγόμενη ενέργεια μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, προβλέπεται ότι κάθε υπεράκτια ανεμογεννήτρια παράγει αρκετή ενέργεια σε ένα χρόνο για να καλύψει τις ανάγκες περίπου 1.500 οικογενειών, ενώ παράλληλα μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 35.000 τόνους. Επιπλέον, υπάρχουν λιγότερες αναταράξεις στο νερό σε σύγκριση με την ξηρά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μεταβολές της θερμοκρασίας στο κατακόρυφο επίπεδο είναι μικρότερες από αυτές στο έδαφος. Οι μειωμένες αναταράξεις ενδέχεται να έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής για την ανεμογεννήτρια, καθιστώντας την κατασκευή πιο οικονομικά εφικτή. Λόγω των λιγότερων αναταράξεων, τα πτερύγια χιονίζονται επίσης με ταχύτερο ρυθμό από ό,τι στο έδαφος. Με τις ήπιες αναταράξεις τους, οι παράκτιοι εναέριοι πόροι επεκτείνουν τη θεωρητική διάρκεια ζωής των ανεμογεννητριών στα 25 με 30 χρόνια. Εάν υποθέσουμε ότι η διάρκεια ζωής του προγράμματος είναι, ας πούμε, 25 χρόνια αντί για 20, οι δαπάνες συντήρησης μειώνονται κατά περίπου 9% (Βραχίμης, κ.ά., 2010).

Λαμβάνοντας υπόψη τη διάρκεια ζωής της, η οποία είναι 25 χρόνια μεγαλύτερη στη θάλασσα, είναι προφανές ότι η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας για τη διατήρηση του περιβάλλοντος έχει σημαντική σημασία. Η δυσκολία εντοπισμού αρκετών κατάλληλων θέσεων αιολικών πάρκων στην ξηρά, ιδίως στις πυκνοκατοικημένες και γενικά επίπεδες αγροτικές περιοχές ενός έθνους, είναι ένας πρόσθετος παράγοντας που οδηγεί στην ανάπτυξη των υπεράκτιων πάρκων. Επιπλέον, η παρουσία ενός δάσους οδηγεί σε μηδενική ταχύτητα ανέμου μέχρι την κορυφή των δέντρων. Συμπεραίνουμε

ότι κατά τη λειτουργία μιας θαλάσσιας ανεμογεννήτριας, η διαθέσιμη κινητική ενέργεια του ανέμου μεγιστοποιείται, το πεδίο ροής είναι ελεύθερο και η τύρβη του ανέμου είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη, λόγω του γεγονότος ότι το πτερύγιο της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να βρίσκεται εκτός του πεδίου επιρροής οποιωνδήποτε επιφανειακών εμποδίων για τη σωστή αεροδυναμική συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας. Επομένως, είναι απαραίτητο να επιλέγονται θαλάσσιες περιοχές απαλλαγμένες από επιφανειακά εμπόδια για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων (Βραχίμης, κ.ά., 2010).

Η ποιότητα του υπεράκτιου αέρα μπορεί κατά συνέπεια να διασφαλίσει υψηλότερα πρότυπα λειτουργίας στην Α/Π, με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας των ανεμογεννητριών και του κόστους συντήρησης. Λόγω του θαλάσσιου χαρακτήρα της τοποθεσίας, το κόστος εγκατάστασης του Α/Π μπορεί να είναι υψηλότερο, αλλά θεωρητικά, η απόσβεση του κόστους των εργασιών θα είναι η ίδια ή ακόμη και χαμηλότερη από ό,τι στην ξηρά, δεδομένου ότι η ποιότητα λειτουργίας του υπεράκτιου Α/Π είναι προφανώς ανώτερη από εκείνη του χερσαίου Α/Π. Η υπεράκτια αιολική ενέργεια κοστίζει κάπως περισσότερο από τη συμβατική ενέργεια. Ωστόσο, αν συνυπολογίσουμε το περιβαλλοντικό κόστος των ορυκτών καυσίμων, ανακαλύπτουμε ότι τα έργα αυτά είναι αρκετά ανταγωνιστικά. Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνονται οι αυξημένες δαπάνες κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας. Στη θάλασσα, η κατασκευή ενός έργου είναι κατά 50% ακριβότερη από την ανάπτυξη ενός αιολικού πάρκου ανάλογης ισχύος στην ξηρά, λόγω των υψηλών εξόδων εγκατάστασης (εγκατάσταση στον πυθμένα της θάλασσας) και σύνδεσης με το ενεργειακό δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας μέσω υποθαλάσσιου καλωδίου (Βραχίμης, κ.ά., 2010).

Οι καταιγίδες, τα ισχυρά κύματα και το αλμυρό νερό μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στις ανεμογεννήτριες. Λόγω των δαπανών, έχει καθοριστεί υψηλότερη τιμή πώλησης 93 EUR/MWh για την ενέργεια. Αυτή η τιμολόγηση είναι 75,82 EUR/MWh για τα χερσαία αιολικά πάρκα που τοποθετούνται σε διασυνδεδεμένο σύστημα και 87,42 EUR/MWh για εκείνα που βρίσκονται σε νησιά. Ελάχιστες θαλάσσιες τοποθεσίες στην Ελλάδα πληρούν το κριτήριο του μικρού βάθους σε απόσταση λίγων χιλιομέτρων από την ακτή. Επιπλέον, στη χώρα μας, η αρχιτεκτονική του ενεργειακού συστήματος, η απουσία ουσιαστικού χωροταξικού πλαισίου και η διαδικασία αδειοδότησης θέτουν σημαντικά εμπόδια. Τέλος, ένα άλλο αρνητικό στοιχείο είναι η επίδραση στο περιβάλλον. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υπεράκτιων αιολικών πάρκων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη θέση, την ποσότητα, τη διαμόρφωση, τον τύπο θεμελίωσης και τα υλικά κατασκευής των ανεμογεννητριών. Τα στάδια κατασκευής και παροπλισμού του αιολικού πάρκου θα έχουν βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις, ενώ η περίοδος λειτουργίας θα έχει μικρότερες αλλά μακροπρόθεσμες επιπτώσεις. Ωστόσο, η παρακολούθηση και η διαπίστωση των περιβαλλοντικών

επιπτώσεων γίνεται τώρα, και υπάρχουν ενδείξεις ότι η υπεράκτια παραγωγή ενέργειας μπορεί να παρέχει περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα (Βραχίμης, κ.ά., 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΣΤΑΔΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΟΣ Υ.Α.Π

4.1 Διαδικασία εύρεσης τοποθεσίας

Τα βασικά κριτήρια για την επιλογή της ιδανικής περιοχής για την ανάπτυξη ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι το αιολικό δυναμικό, το βάθος και η τοπογραφία του πυθμένα. Οι πρωταρχικοί στόχοι κατά το σχεδιασμό του αιολικού πάρκου είναι η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας, η μείωση των δαπανών και η τήρηση των περιορισμών της περιοχής. Το κύριο πλεονέκτημα της υπεράκτιας εγκατάστασης είναι ότι υπάρχουν πολύ λιγότεροι περιορισμοί για τη γη και το περιβάλλον από ό,τι στην ξηρά. Το δυναμικό ανέμου στην επιλεγμένη περιοχή, η θέση των ανεμογεννητριών και ο τύπος των ανεμογεννητριών αποτελούν παράγοντες για την παραγωγή ενέργειας (Chen et al., 2019). Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικότεροι παράγοντες που καθιστούν την περιοχή ενδιαφέροντος κατάλληλη ή όχι:

1. **Βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης :** Όπως έχει ήδη σημειωθεί, στόχος του σχεδιασμού του έργου είναι η παραγωγή όσο το δυνατόν περισσότερης ενέργειας. Συνεπώς, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να αξιολογούνται οι μετεωρολογικές και ανεμολογικές προβλέψεις στην περιοχή όπου θα ανεγερθούν οι ανεμογεννήτριες. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πληροφορίες από χάρτες υπεράκτιου αιολικού δυναμικού, μετεωρολογικούς ιστούς, δορυφορικά δεδομένα ή δεδομένα από γειτονικές περιοχές τροποποιημένα κατάλληλα για να εντοπίσουμε τις καλύτερες θέσεις για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών. Προκειμένου να προσδιοριστεί η ποσότητα ενέργειας που παράγεται από κάθε ανεμογεννήτρια, είναι δυνατή η προσομοίωση των χαρακτηριστικών του ανέμου σε κάθε θέση εγκατάστασης στη συγκεκριμένη περιοχή (Chen et al., 2019).
2. **Πρόσβαση για συντήρηση:** Η συντήρηση και η επισκευή των ανεμογεννητριών θα πρέπει να είναι απλή. Επειδή μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια και το κόστος της κατασκευής του αιολικού πάρκου καθώς και τις εργασίες συντήρησης, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη πόσο μακριά βρίσκεται από την ακτή και τους σταθμούς εξυπηρέτησης. Μπορεί επίσης να απαιτηθεί η κατασκευή πλωτών εγκαταστάσεων συντήρησης, ιδίως για τα μεγάλα αιολικά πάρκα (Chen et al., 2019).

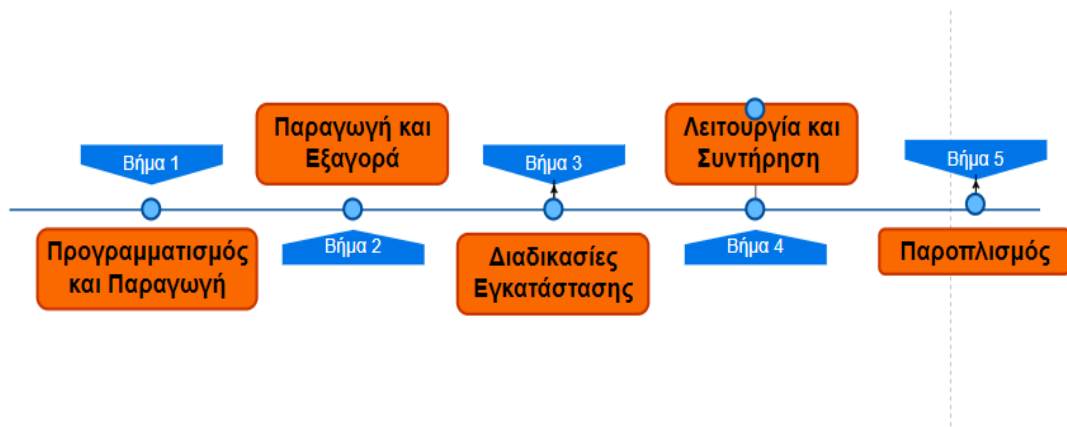
3. **Οπτικός αντίκτυπος:** Η ζώνη οπτικών επιπτώσεων (ZVI), αν και όχι τόσο σημαντική όσο στα χερσαία πάρκα, μπορεί ωστόσο να εκτιμηθεί εδώ και να εμφανιστεί σε χάρτη. Σε γενικές γραμμές, ένα αιολικό πάρκο με λιγότερες μεγάλες ανεμογεννήτριες είναι καλύτερο από ένα με πολλές μικρότερες.
4. **Θόρυβος:** Δεδομένου ότι ο θόρυβος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες έχει μειωθεί σημαντικά, το στοιχείο αυτό δεν είναι τόσο σημαντικό. Για να βεβαιωθείτε ότι το πάρκο συμμορφώνεται με τα επιτρεπόμενα επίπεδα θορύβου που περιγράφονται από την εθνική νομοθεσία, ιδίως όσον αφορά τον αντίκτυπό τους στη θαλάσσια ζωή, μπορούν επίσης να υπολογιστούν και να εξεταστούν τα επίπεδα θορύβου (Chen et al., 2019).
5. **Διάστημα μεταξύ των ανεμογεννητριών:** Όταν λαμβάνονται υπόψη οι επιπτώσεις του σχήματος των ανεμογεννητριών, υπάρχει μια ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών.
6. **Επιλογή σωστού ανεμοκινητήρα:** Ο τύπος του ανεμοκινητήρα που θα χρησιμοποιηθεί στις διάφορες τοποθεσίες εξαρτάται από τις συνθήκες του ανέμου, των κυμάτων, του βάθους και της μορφολογίας του βυθού (Chen et al., 2019).
7. **Επιπτώσεις στο οικοσύστημα:** Η οικολογία θα μπορούσε να επηρεαστεί από το αιολικό πάρκο. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τοπικοί πληθυσμοί ψαριών, θαλάσσιων ζώων και πτηνών.
8. **Θεσμικοί περιορισμοί:** Πρέπει να ληφθούν υπόψη οι διάδρομοι για την αλιεία, τη ναυσιπλοΐα και το θαλάσσιο εμπόριο. Οι διαδρομές των εμπορικών πλοίων ενδέχεται να επηρεαστούν ανάλογα με την κλίμακα του αιολικού πάρκου (Chen et al., 2019).

4.1.1 Πυθμένας της θάλασσας

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στην μορφολογία του πυθμένα, αφού διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα των θεμελιώσεων μια υπεράκτιας εγκατάστασης. Συγκεκριμένα, μια στιβαρή θεμελίωση έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των δονήσεων που φθάνουν στην ανεμογεννήτρια και έτσι δεν διακόπτεται η λειτουργία της. Ανάλογα με την μορφολογία του βυθού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα ωκεάνια ρεύματα διότι μπορεί να προκαλέσουν την αποξήλωση της ανεμογεννήτριας μαζί με την θεμελίωση της. Αυτό συμβαίνει κυρίως στις περιπτώσεις που ο βυθός αποτελείται από άμμο. Για όλους τους παραπάνω λόγους λοιπόν ο εξονυχιστικός έλεγχος του βυθού κρίνεται απαραίτητος.

4.2 Διαδικασίες εγκατάστασης: Τι εξαρτήματα χρησιμοποιούμε

Η κατασκευή υπεράκτιων ανεμογεννητριών χωρίζεται σε διακριτές φάσεις, δηλαδή παραγωγή, προ-συναρμολόγηση, εγκατάσταση, θέση σε λειτουργία. Μετά την ολοκλήρωση του έργου κατασκευής το αιολικό πάρκο παραδίδεται σε λειτουργία.. Η τελική φάση κατασκευής είναι η θέση σε λειτουργία, όπου πραγματοποιείται η τελική συναρμολόγηση και οι δοκιμές πριν από τη λειτουργία (Lerche et al., 2019).



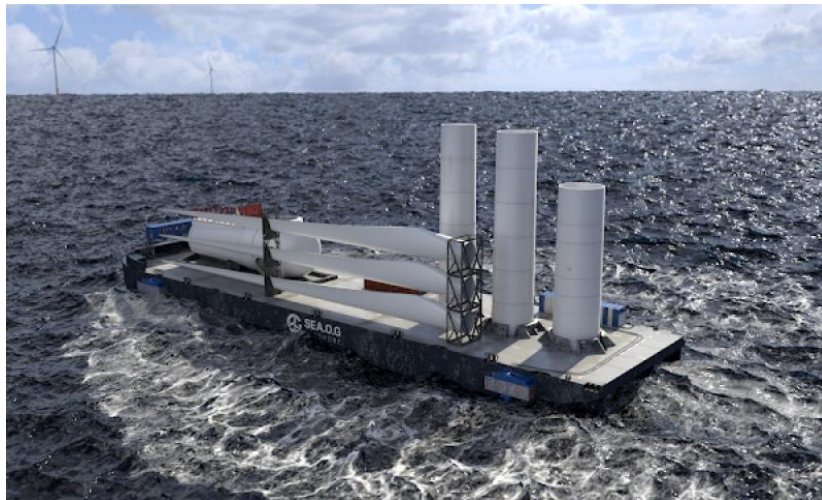
Εικόνα 48 : Στάδια στην ανάπτυξη ενός Αιολικού Πάρκου. Πηγή : <https://doi.org/10.5194/wes-2021-120>

Περίπου το 70-75% του συνολικού κόστους της παραγωγής υπεράκτιας αιολικής ενέργειας σχετίζεται με το αρχικό κόστος επένδυσης κεφαλαίου, συμπεριλαμβανομένου του κόστους της ανεμογεννήτριας, της θεμελίωσης, του ηλεκτρικού εξοπλισμού και της σύνδεσης με το δίκτυο. Το "ισοπεδωμένο κόστος ενέργειας" (LCOE) είναι το πρωταρχικό μέτρο για την ποσοτικοποίηση και τη σύγκριση των υποκείμενων οικονομικών μεγεθών των έργων ενέργειας. Για τα συστήματα αιολικής ενέργειας, το LCOE αντιπροσωπεύει το άθροισμα όλων των δαπανών, συμπεριλαμβανομένου του κόστους κεφαλαίου, του κόστους λειτουργίας και συντήρησης, καθώς και της αναμενόμενης ετήσιας παραγωγής ενέργειας για ένα πλήρως λειτουργικό σύστημα αιολικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ζωής του έργου, με προεξόφληση των χρηματοοικονομικών ροών σε ένα κοινό έτος. (Arshad & O' Kelly, 2012). Σε συνδυασμό με τα προηγούμενα θα πρέπει να αναφερθεί ότι μεγάλο μέρος του "ισοπεδωμένου κόστους ενέργειας" ή αλλιώς LCOE εξαρτάται από τον τρόπο μεταφοράς και εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Συγκεκριμένα, η μεταφορά μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας περιλαμβάνει τη μετακίνηση διαφόρων εξαρτημάτων, συμπεριλαμβανομένων των τμημάτων του πύργου, της ατράκτου, των πτερυγίων και της θεμελίωσης, από τον τόπο κατασκευής ή συναρμολόγησης στην περιοχή εγκατάστασης. Οι μέθοδοι μεταφοράς που χρησιμοποιούνται μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με το

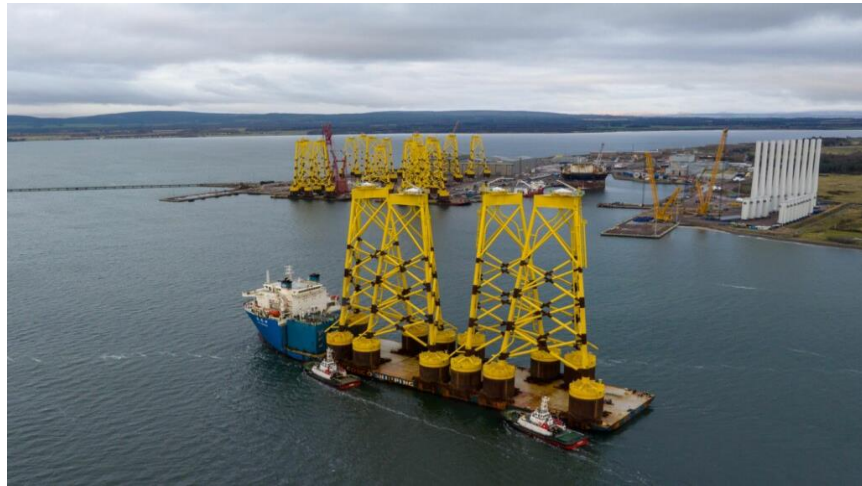
μέγεθος και το βάρος των εξαρτημάτων, τη θέση του τόπου εγκατάστασης και τις διαθέσιμες τοπικές υποδομές. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι περιλαμβάνουν τη χρήση φορηγίδων, εξειδικευμένων πλοίων ή σκαφών jack-up.

Αρχικά, **οι φορηγίδες** χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μεταφορά μικρότερων εξαρτημάτων, όπως τμήματα πύργου, πτερύγια και ατράκτου, στον τόπο εγκατάστασης. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συχνότερα όταν τα εξαρτήματα πρέπει να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις ή όταν ο τόπος εγκατάστασης βρίσκεται σε απομακρυσμένη περιοχή χωρίς άμεση οδική πρόσβαση (Ramachandran et. all , 2021) .



Εικόνα 49: Μεταφορά εξαρτημάτων Α/Γ με φορηγίδα . Πηγή <https://www.energyfacts.eu/owf-jones-act-vessel-line-up-misses-the-mark-for-the-american-waterfront/>

Στην συνέχεια χρησιμοποιούνται **εξειδικευμένα πλοία** που είναι σχεδιασμένα για τη μεταφορά μεγάλων και βαρέων εξαρτημάτων, όπως τα τμήματα θεμελίωσης και πύργου, στον τόπο εγκατάστασης. Αυτά είναι εξοπλισμένα με γερανούς και άλλο ανυψωτικό εξοπλισμό, επιτρέποντας τη φόρτωση και εκφόρτωση των εξαρτημάτων απευθείας από το πλοίο. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για μεγαλύτερες υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, καθώς επιτρέπει την αποτελεσματικότερη μεταφορά των μεγαλύτερων εξαρτημάτων(Ramachandran et. all , 2021).



Εικόνα 50: Μεταφορά πλωτών βάσεων στήριξης τύπου jacket. Πηγή <https://www.offshorewind.biz/2022/12/22/final-seagreen-jacket-arrives-in-port-of-nigg/>

Αφού τα εξαρτήματα μεταφερθούν στον τόπο εγκατάστασης, πρέπει να ανυψωθούν στη θέση τους και να συναρμολογηθούν. Συνήθως συναρμολογούνται πρώτα η άτρακτος, τα περύγια και τα τμήματα του πύργου και στη συνέχεια τα θεμέλια. Για αυτές τις διαδικασίες χρησιμοποιούνται **πλοία Jack-up**. Τα σκάφη αυτά είναι εξοπλισμένα με πόδια που μπορούν να επεκταθούν στον πυθμένα της θάλασσας, παρέχοντας μια σταθερή πλατφόρμα για την εγκατάσταση των εξαρτημάτων της ανεμογεννήτριας. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν εν μέρη και για την μεταφορά βαρών εξαρτημάτων (Zhiyu Jiang. 2020).



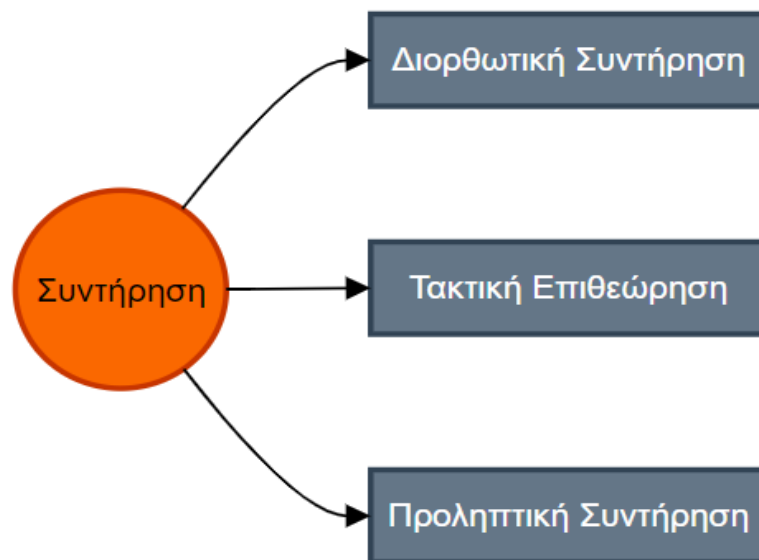
Εικόνα 51: Συναρμολόγηση πλωτής Α/Γ με χρήση πλοίου Jack-up. Πηγή: <https://www.seajacks.com/self-propelled-jack-up-vessels/>

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η μεταφορά των εξαρτημάτων των υπεράκτιων ανεμογεννητριών μπορεί να είναι πολύπλοκη και απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και προσωπικό. Προκειμένου να ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, ΖΕΓΓΙΝΗΣ ΛΟΥΚΑΣ 94

ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος ζημιών κατά τη μεταφορά, πρέπει να προετοιμάζονται και να ασφαρίζονται κατάλληλα τα εξαρτήματα πριν από τη μεταφορά τους. Αυτό περιλαμβάνει τη σωστή στερέωση των εξαρτημάτων στο όχημα μεταφοράς, τη διασφάλιση της σωστής κατανομής του βάρους και τη λήψη μέτρων για την προστασία των εξαρτημάτων από τα στοιχεία της φύσης κατά τη διάρκεια της μεταφοράς.

4.3 Συντήρηση και Παροπλισμός

Η λειτουργία και η συντήρηση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας, της αποδοτικότητας και της ασφάλειάς τους. Ένα από τα σημαντικά στοιχεία λειτουργίας και συντήρησης μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας είναι η τακτική επιθεώρηση και συντήρηση των διαφόρων μηχανικών και ηλεκτρικών συστημάτων. Αυτό περιλαμβάνει τον έλεγχο της κατάστασης των περυγίων, των κιβωτίων ταχυτήτων, των γεννητριών και άλλων κρίσιμων εξαρτημάτων και την αντικατάσταση τυχόν κατεστραμμένων ή φθαρμένων εξαρτημάτων. Γενικότερα, υπάρχουν 3 βασικές κατηγορίες συντηρήσεως, οι οποίες αναγράφονται ακολούθως.



Εικόνα 52: Είδη συντηρήσεων. Πηγή (Zhengru Ren et.all 2021).

1. **Διορθωτική συντήρηση:** Αυτός ο τύπος συντήρησης περιλαμβάνει την επισκευή ή την αντικατάσταση ελαττωματικών εξαρτημάτων και συνήθως εκτελείται ως απάντηση σε βλάβες του συστήματος ή άλλα απρόβλεπτα γεγονότα. Ο στόχος της διορθωτικής συντήρησης είναι να επανέλθει η ανεμογεννήτρια στην κανονική κατάσταση λειτουργίας της το συντομότερο δυνατό, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις αρνητικές επιπτώσεις στη συνολική απόδοση του συστήματος (Zhengru Ren et.all 2021).

2. **Τακτικές επιθεωρήσεις:** Οι επιθεωρήσεις εκτελούνται συνήθως σε τακτική βάση, π.χ. μία φορά το χρόνο, για να διασφαλιστεί ότι η ανεμογεννήτρια λειτουργεί όπως αναμένεται και για να εντοπιστούν τυχόν προβλήματα. Κατά κύρια βάση περιλαμβάνουν οπτικές επιθεωρήσεις των εξαρτημάτων της ανεμογεννήτριας, καθώς και δοκιμές και παρακολούθηση των ηλεκτρικών και μηχανικών συστημάτων.
3. **Προληπτική συντήρηση:** είναι μια προληπτική προσέγγιση της συντήρησης που χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνικές παρακολούθησης και ανάλυσης για να προβλέψει πότε είναι πιθανό να εμφανιστεί ένα πρόβλημα και να λάβει προληπτικά μέτρα για την επίλυση του προβλήματος πριν αυτό γίνει σοβαρό. Αυτός ο τύπος συντήρησης μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων και συστημάτων παρακολούθησης για την ανίχνευση αλλαγών στην απόδοση της ανεμογεννήτριας και τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων πριν από την εμφάνισή τους (Zhengru Ren et.all 2021) .

Τέλος θα πρέπει να δωθεί ιδιαίτερη σημασία και στο κομμάτι της τεχνογνωσίας , δεδομένου ότι η υπεράκτια τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο δεν μπορούμε να κατανοήσουμε με πλήρη σαφήνεια τα συγκεκριμένα εξαρτήματα και συστήματα. Πρέπει , να προσδιοριστούν οι βέλτιστες πρακτικές που απαιτούνται για την αποτελεσματική συντήρηση και λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Αυτό απαιτεί συνεχή κατάρτιση και ανάπτυξη, καθώς και πρόσβαση σε τεχνικούς πόρους και υποστήριξη.

Από την άλλη πλευρά , όταν επέλθει η διάρκεια ζωής της υπεράκτιας ανεμογεννήτριας , η οποία είναι περίπου 25 έτη , εμφανίζεται στο προσκήνιο το κομμάτι της **αποσυναρμολόγησης** της. Η παύση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας αναφέρεται στη διαδικασία απομάκρυνσης της και της σχετικής υποδομής της από τη θέση της και την αποκατάσταση της περιοχής στην αρχική της κατάσταση. Πρόκειται για ένα να πολύπλοκο και δύσκολο έργο που απαιτεί μια καλά συντονισμένη προσέγγιση και μια βαθιά κατανόηση των διαφόρων τεχνικών, περιβαλλοντικών και ρυθμιστικών πτυχών. Όπως είναι αναμενόμενο η μεταφορά των επι μέρους εξαρτημάτων πίσω στην ακτή γίνεται με την χρήση γερανών και φορτηγίδων για την αφαίρεση των πτερυγίων, του πύργου και της ατράκτου.



Εικόνα 53: Αφαίρεση ρότορα και πτερυγίων. Πηγή: <https://www.offshorewind.biz/2021/06/10/decommissioning-the-last-option-for-offshore-wind-farms-analysis/>

Το πρώτο βήμα στο στάδιο της απόσυρσης είναι , η αξιολόγηση της κατάστασης των θεμελιώσεων, του πύργου, των πτερυγίων, των ηλεκτρικών συστημάτων και των συστημάτων ελέγχου και του υποθαλάσσιου καλωδίου. Με βάση αυτή την αξιολόγηση, αναπτύσσεται ένα σχέδιο για την ασφαλή απομάκρυνση της ανεμογεννήτριας και της σχετικής υποδομής της και την αποκατάσταση της περιοχής στην αρχική της κατάσταση (Guo, X. et all. 2019).

Αφού γίνουν αυτές οι διαδικασίες το αμέσως επόμενο βήμα είναι η πλήρη αποκατάσταση της περιοχής στην αρχική της μορφή. Αυτό περιλαμβάνει την απομάκρυνση τυχόν εναπομεινάντων συντριμμίων (πχ υποβρύχια καλώδια , πάσσαλοι , υποβρύχια θεμελιώσεις κτλ) αλλά και την φύτευση νέας βλάστησης σε περιπτώσεις που έχει υποστεί ζημιά η εκάστοτε. Απαραίτητη προϋπόθεση κατά την διάρκεια της αποκατάστασης είναι να τηρούνται όλοι οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί που θέτει κάθε κράτος με σκοπό να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο τοπικό οικοσύστημα. (Chen Z et all 2017).



Εικόνα 54: Αφαίρεση θεμελίωσης με κατάλληλο εξοπλισμό. Πηγή: <https://www.diesekogroup.com/project/decommissioning-lelv-offshore-wind-farm/>

Είναι αυτονόητο πλέον ότι ολόκληρη η ανάπτυξη, εγκατάσταση και η μεταφορά μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας απαιτεί κατάλληλη τεχνογνωσία καθώς και ικανότητα να καλύψει τα αυξημένα κόστη. Η διαδικασία που αναλύσαμε προηγουμένως δεν αποτελεί εξαίρεση ειδικότερα όταν αναφερόμαστε στο αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται. Συγκεκριμένα, το συνολικό κόστος απόσυρσης εκτιμάται περίπου στα 2 έως 3% του συνολικού κόστους κεφαλαίου. αυτό σημαίνει ότι ο κατασκευαστής πρέπει να εξοικονομήσει χρήματα κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του αιολικού πάρκου για να μπορέσει να πληρώσει το κόστος του τέλους της ζωής του. Ο προτιμώμενος μηχανισμός για τη χρηματοδότηση της απόσυρσης είναι ο μέσος χρόνος ζωής, ο οποίος περιλαμβάνει την εξοικονόμηση χρημάτων στη μέση της περιόδου λειτουργίας του αιολικού πάρκου (Eva Torpham et all 2017).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, η αφαίρεση των θεμελίων αποτελεί σχεδόν το ήμισυ του συνολικού κόστους, ενώ οι εργασίες αποσυναρμολόγησης συμβάλλουν επίσης σημαντικά στο κόστος. Τα έξοδα ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με τον τύπο των θεμελίων (σταθερές ή πλωτές βάσεις), τη θέση του αιολικού πάρκου και τη διαθεσιμότητα τεχνικής εμπειρογνωμοσύνης και εξοπλισμού. Με βάση σύγχρονες μελέτες, το κόστος εκτιμάται περίπου στις 200.000-600.000 λίρες ανά μεγαβάτ εγκαταστημένης ισχύος, αλλά το συγκεκριμένο κόστος αναμένεται να πέσει δραματικά τα επόμενα χρόνια, όπου ενδεχομένως η τεχνογνωσία και η εμπειρία στα υπεράκτια αιολικά θα έχει ανθίσει.



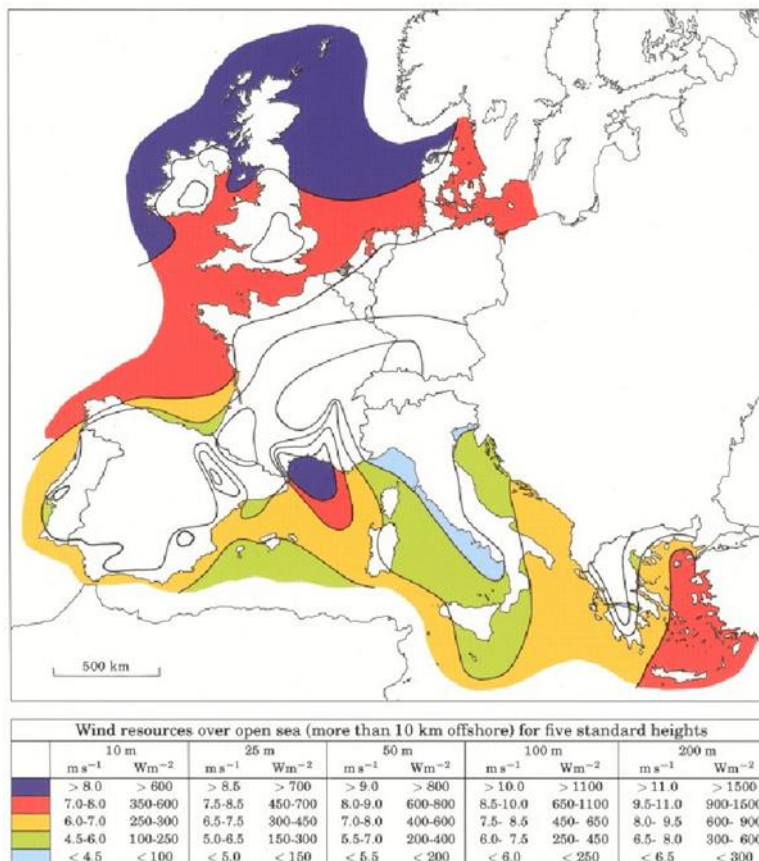
Εικόνα 55: Κατηγοριοποίηση του κόστους αποσυναρμολόγησης. Πηγή:

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.066>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΑΠ ΣΗΜΕΡΑ

5.1 Κατάλληλες περιοχές για Υ.Α.Π στην Ευρώπη

Όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα η Βαλτική Θάλασσα και το Αιγαίο πέλαγος που περιβάλλουν την Ελλάδα παρουσιάζουν πολύ ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό. Με μωβ χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με αιολικό δυναμικό υψηλότερο των 8 m/s ενώ με κόκκινο οι περιοχές με από 7 έως 8 m/s.



Εικόνα 56: Βαρομετρικός χάρτης της Ευρώπης. Πηγή: <https://www.wind-energy-the-facts.org/wind-atlases-7.html>

Ξεχωριστή αναφορά θα πρέπει να γίνει στην Βορεια Θάλασσα. Συγκεκριμένα διακρίνεται παγκοσμίως για την εμπειρογνωσία της στην υπεράκτια αιολική τεχνολογία αφού πέρα από το εντυπωσιακό αιολικό δυναμικό που προσφέρει, αποτελεί πρώτη περιοχή στον κόσμο σε εγκαταστημένη ισχύ.



Εικόνα 57: Τοποθεσία των υπαρχουσών Υ.Α.Π στην Βόρεια Θάλασσα. Πηγή: ΕΕ COM (2020)

Αξίζει να επισημανθεί ότι το επόμενο διάστημα η Βόρεια Θάλασσα θα επιτελέσει σημαντικότερο ρόλο στην μείωση των εκπομπών ρύπων αφού θα λειτουργεί ως πράσινος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα μέσω μιας κοινοπραξίας μεταξύ κρατών όπως είναι η Γερμανία, το Βέλγιο και οι Κατω Χώρες, η Βόρεια Θάλασσα θα αποτελεί τον πρώτο Ευρωπαϊκό σταθμό παραγωγής πράσινου υδρογόνου αποκλειστικά και μόνο από υπεράκτια αιολική τεχνολογία.

5.2 Η εξέλιξη των Υ.Α.Π σε ανεπτυγμένες χώρες της Ευρώπης

Αδιαμφισβήτητα, οι νέες τεχνολογίες είναι ακριβότερες από τις υφιστάμενες λόγω της απαίτησης περισσότερων πόρων (χρήματα, χρόνος) για την ωρίμασή τους. Η υπεράκτια αιολική τεχνολογία δεν αποτελεί εξαίρεση και δεν θα είχε φτάσει στο επίπεδο που είναι σήμερα χωρίς την συνεισφορά της Δανίας. Συγκεκριμένα, πρόκειται για μια χώρα που άνοιξε τον δρόμο στην εν λόγω τεχνολογία, θέτοντας σε λειτουργία το 1991 το πρώτο σε παγκόσμια κλίμακα Υ.Α.Π. σταθερού πυθμένα με το όνομα «Vindeby Wind Farm», ικανό να παρέχει «πράσινη» ενέργεια σε περισσότερα από 2000 νοικοκυριά.. Η μέγιστη εγκαταστημένη ισχύ ήταν 4,95MW και αποτελούταν από 11 ανεμογεννήτριες ισχύος 450kW η καθεμιά. Το ύψος τους ήταν περίπου 38 μέτρα και η διάμετρο του ρότορα 35 μέτρα.

Το συγκεκριμένο πάρκο κατασκευάστηκε για να αποδειχθεί ότι οι ανεμογεννήτριες μπορούν να αντέξουν το σκληρό περιβάλλον της θάλασσας και ότι η παραγωγή ενέργειας από αυτές θα ήταν οικονομικά βιώσιμη. Έπειτα από 25 χρόνια επιτυχούς λειτουργίας, το «Vindeby Wind Farm» παροπλίστηκε το 2017 (Offshore Wind Development, 2022). Έτσι, θεωρείται ως ορόσημο για την

υπεράκτια τεχνολογία και σίγουρα είναι υπεύθυνο για την εξέλιξη που γνώρισε ο κλάδος αυτός τα υπόλοιπα χρόνια , ανοίγοντας τον δρόμο και σε άλλα κράτη για να επενδύσουν.

Κατά την φάση της απεγκατάστασης του παραπάνω έργου , χρησιμοποιήθηκαν πληθώρα μηχανήματα με σκοπό την μεταφορά των εξαρτημάτων της ανεμογεννήτριας , των θεμελιώσεων και την ρυμούλκηση των καλωδίων από τον βυθό ώστε να επανέλθει το θαλάσσιο οικοσύστημα στην αρχική του κατάσταση.

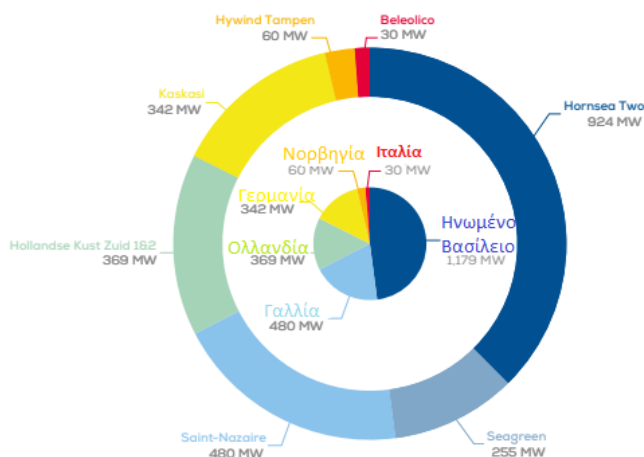
Τα χρησιμοποιημένα εξαρτήματα στάλθηκαν σε σημείο διαλογής με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους σε άλλες ανεμογεννήτριες . Λόγω της μοναδικότητας του έργου , αφού αποτελεί το πρώτο παγκοσμίως Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο , πολλά μηχανικά μέρη του στάλθηκαν σε ερευνητικά κέντρα ώστε να αναλυθεί η συμπεριφορά των υλικών , που συνυπήρχαν με το διαβρωτικό περιβάλλον της θάλασσας για σχεδόν 26 χρόνια. Τέλος , αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την συνολική λειτουργία του , κατάφερε να παράξει συνολικά 243 GWh δηλαδή 9,5GWh ετησίως , το οποίο με τα σημερινά δεδομένα μπορεί να επιτευχθεί σε διάστημα ενός έτους από τα σύγχρονα Υ.Α.Π.



Εικόνα 58: Το Υ.Α.Π «Vindeby Wind Farm». Πηγή: <https://www.rechargenews.com/wind/-steady-march-forward-for-offshore-wind-navigant/2-1-258948>

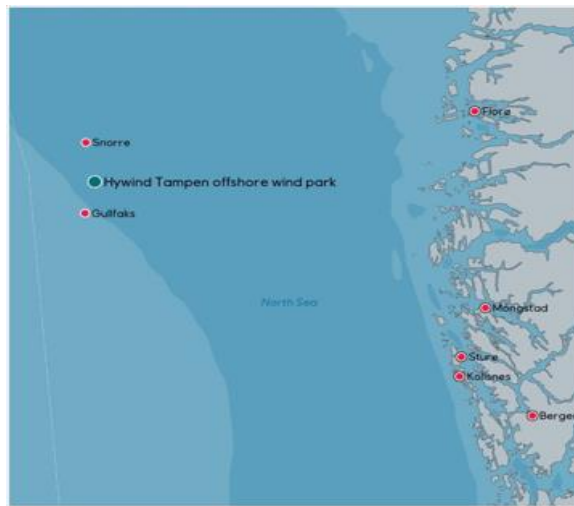
Το έτος 2022 εγκαταστάθηκαν στην Ευρώπη συνολικά 19,1GW αιολικής ενέργειας εκ των οποίων τα 2,5 GW αφορούσαν σε υπεράκτια πάρκα και τα υπόλοιπα σε χερσαία. Σε σύγκριση με την προηγούμενη χρονιά παρατηρείται μια αύξηση της τάξης των 4% , διατυπώνοντάς αναμφίβολα την προτίμηση των αιολικών πάρκων για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Συγκεκριμένα , όσο αναφορά στην υπεράκτια τεχνολογία , τα 1,2 από τα 2,5 GW εγκαταστάθηκαν στην Μεγάλη Βρετανία , την οποία ακολουθούν η Γαλλία με 500MW , η Ολλανδία με 369MW και η Γερμανία με

342MW. Αξιοσημείωτο είναι επίσης, πως η Ιταλία εγκαινίασε το πρώτο της υπεράκτιο πάρκο με την ονομασία «Beleolico» συνολικής ισχύς 30MW (Wind energy in Europe 2022).



Εικόνα 59: Νέες εγκαταστάσεις Υ.Α.Π στην Ευρώπη. Πηγή: Wind Energy in Europe 2022

Είναι γεγονός πως η εν λόγω τεχνολογία αν και σε αρκετές χώρες θεωρείται αναπτυσσόμενη εξακολουθούν να υπάρχουν θέματα που απασχολούν το ευρύ κοινό, κυρίως λόγω έλλειψης της απαιτούμενης τεχνογνωσίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Νορβηγία, η οποία κατασκευάζει το πάρκο «Hywind Tampen» που αποτελείται από 7 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 60MW. Θα βρίσκεται σε απόσταση 140 χιλιομέτρων από την ακτή της Νορβηγίας σε περιοχή που ευνοείται η πλωτή τεχνολογία αφού τα βάθη σε εκείνο το σημείο κυμαίνονται από 260 έως 300 μέτρα. Πρόκειται για το μεγαλύτερο πλωτό υπεράκτιο πάρκο στον κόσμο και ο βασικός σκοπός του δεν θα περιορίζεται αποκλειστικά στην παραγωγή καθαρής ενέργειας. Συγκεκριμένα, θα χρησιμεύει ως πεδίο δοκιμών για μελλοντικές πλωτές κατασκευές συμπεριλαμβανομένης της χρήσης νέων και μεγαλύτερων ανεμογεννητριών, μεθόδων εγκατάστασης και απλουστευμένων αγκυροβολιών, ώστε να μειωθεί το κόστος επένδυσης (Hywind Tampen Floating Offshore Wind).



Εικόνα 60: Τοποθεσία του πλωτού Υ.Α.Π «Hywind Tampen». Πηγή : <https://www.equinor.com/news/archive/27aug2018-hywind-tampen>

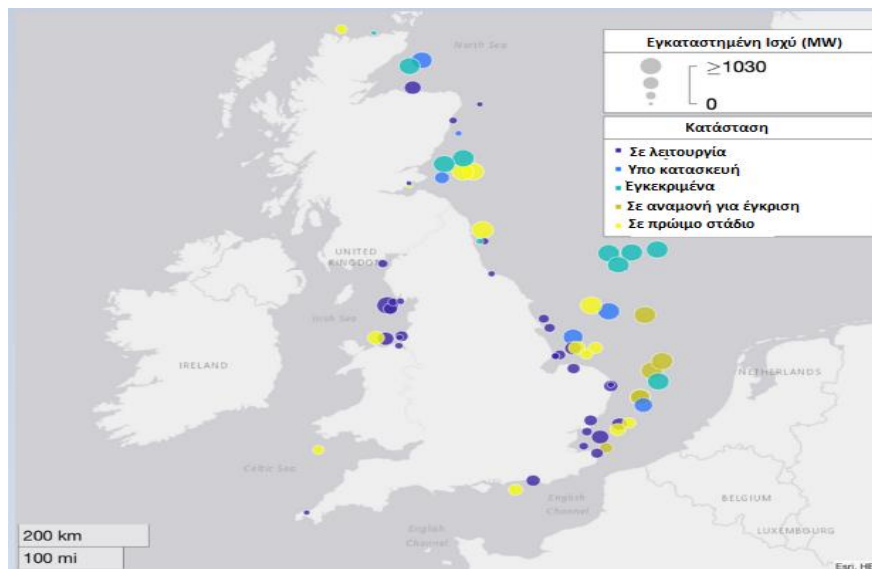
5.3 Η κατάσταση των Υ.Α.Π στην Μ.Βρετανία

Η Μεγάλη Βρετανία έχει θέσει έναν φιλόδοξο στόχο για την επίτευξη μηδενικών εκπομπών ρύπων έως το 2050. Για αυτόν τον στόχο θα απαιτηθεί σημαντική αύξηση της Υπεράκτιας Αιολικής Ενέργειας από περίπου 10 GW σήμερα σε περισσότερα από 90 GW έως το 2050. Αδιαμφισβήτητα, η Μεγάλη Βρετανία μπορεί να θεωρηθεί μια εκ των πρωτοπόρων στον συγκεκριμένο κλάδο αφού έχει θέσει ήδη σε λειτουργία οχτώ (8) Υ.Α.Π που αποτελούνται κατά μέσο όρο από σχεδόν 100 ανεμογεννήτριες το καθένα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το «Walney Wind Farms» που πρόκειται για το μεγαλύτερο υπεράκτιο πάρκο του κόσμου και αποτελείται από 189 ανεμογεννήτριες και μέγιστη εγκαταστημένη ισχύ σχεδόν 1GW. (Panit Potisomporn et all 2021).



Εικόνα 61: Τμήμα του Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου «Walney Wind Farm». Πηγή: <https://www.bbc.com/news/uk-england-cumbria-45424559>

Περίπου το 83% των εν ενεργών Υ.Α.Π συναντώνται στην θάλασσα της Ιρλανδίας ενώ τα υπόλοιπα βρίσκονται στα θαλάσσια ύδατα μεταξύ του Βελγίου και της Αγγλίας. Σίγουρα , με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των πλωτών βάσεων , θα ανοίξει ο δρόμος για την αξιοποίηση περιοχών με υψηλότερο βάθος και κατά συνέπεια καλύτερο αιολικό δυναμικό(Panit Potisomporn et all 2021). Στην παρακάτω εικόνα , εμφανίζονται κατανεμημένα τα πλήρη λειτουργικά και προς ανάπτυξη Υ.Α.Π.



Εικόνα 62: Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα στην Μεγάλη Βρετανία. Πηγή: <https://doi.org/10.1002/we.2685>

Ενδεικτικά αναγράφονται ακολούθως ορισμένα από τα μεγαλύτερα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα που βρίσκονται ήδη σε ισχύ στα χωρικά ύδατα του Ηνωμένου Βασιλείου (Σταύρος Γριμάνης 2022):

1. Δεύτερο στην λίστα (πρώτο κατατάσσεται το Walney Wind Farms) είναι το «**Moray East**» που αποτελείται από 100 ανεμογεννήτριες με μέγιστη εγκαταστημένη ισχύ περί τα 950 MW.
2. Έπειτα βρίσκεται το «**Triton Knoll**» με μέγιστη εγκαταστημένη ισχύ 857 MW αποτελούμενο από 90 ανεμογεννήτριες.
3. Ακολουθεί το «**East Anglia One**», που αποτελείται από 102 ανεμογεννήτριες που αποδίδουν συνολικά 714 MW.
4. Την λίστα συμπληρώνουν το «**Walney Extension**» με 659 MW και το «**London Array**» με 630MW.

Συνοψίζοντας , η Μ. Βρετανία έχει αξιοποιήσει στο μέγιστο τα οφέλη που της δίνει η γεωγραφική της θέση με αποτέλεσμα να ηγείται ,τουλάχιστον στην Ευρώπη, της Υπεράκτιας τεχνολογίας. Το

γεγονός ότι περιβάλλεται από ρηχές θάλασσες με άφθονα σημεία πρόσβασης λόγω χαμηλής ακτογραμμής την διευκολύνουν στην κατασκευή , μεταφορά και συντήρηση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών , κρατώντας τα αντίστοιχα έξοδα σε χαμηλά επίπεδα σε σύγκριση με άλλες χώρες.

5.3.1 Μελέτη του συντελεστή δυναμικότητας σε Υ.Α.Π της Μ. Βρετανίας.

Ένα από τα σημαντικότερα μεγέθη που μας βοηθάνε να αξιολογήσουμε μια επένδυση είναι ο συντελεστής δυναμικότητας ή αλλιώς Capacity factor και αναμφίβολα αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι από 0-1. Μηδενική τιμή σημαίνει πως η ανεμογεννήτρια στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα δεν κατάφερε να λειτουργήσει . είτε λόγω βλάβης είτε λόγω απουσίας κατάλληλης ταχύτητας ανέμου. Αντιθέτως , για μονάδα εννοείται ότι λειτούργησε χωρίς διακοπές.

Στην συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζεται μια μελέτη σχετικά με την συμπεριφορά του συντελεστή δυναμικότητα για εν ενεργεία Υ.Α.Π στην Μ. Βρετανία. Το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα είναι δώδεκα μήνες κατάλληλο ώστε να εκτιμηθεί η συμπεριφορά της παραμέτρου κατά την διάρκεια όλων των εποχών. Συγκεκριμένα , γίνεται μια σύγκριση μεταξύ των τυπικών τιμών που είχαν όλα τα έργα τις προηγούμενες χρονιές και υπολογίζεται ταυτόχρονα η ετήσια μείωση που προκύπτει (Aldersey-Williams et all , 2020). Αν αναλογιστούμε ότι το κλίμα της Μ. Βρετανίας θεωρείται σταθερό κάθε χρόνο , η εγκυρότητα των παρακάτω στοιχείων είναι ικανοποιητική.

Αναλύοντας τον παρακάτω πίνακα , γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα Υ.Α.Π που έχουν τοποθετηθεί νωρίτερα και αποτελούνται από μεγαλύτερες αιολικές μηχανές καταφέρνουν καλύτερο συντελεστή δυναμικότητας από τα μικρότερα. Αυτό οφείλεται στο ότι , πλέον η διάμετρος που μπορούν να καλύψουν τα πτερύγια έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και επίσης στρέφονται γρηγορότερα αφού βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο από ότι παλιότερα (Aldersey-Williams et all , 2020).

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι δύο εκ των παρακάτω Υ.Α.Π , τα οποία βρίσκονται σε λειτουργία πάνω από δέκα χρόνια, φαίνεται να παρουσιάζουν σταθερό συντελεστή δυναμικότητας ή ελάχιστα μειωμένο. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην σταθερότητα του ανέμου που πνέει σε εκείνες τις τοποθεσίες.

Πίνακας 6 : Συμπεριφορά του συντελεστή Cp για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Πηγή:

<https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100985>

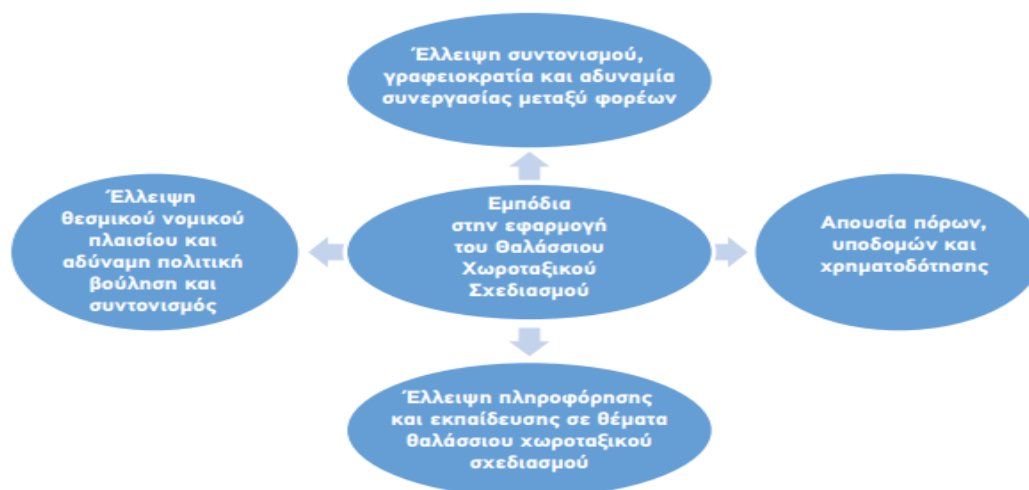
Όνομασία	Έτος κατασκευής	Εγκαταστημένη Ισχύς (MW)	Μέσος μηνιαίος Cp (%)	Τιμές Cp(%) για την εξεταζόμενη περίοδο	Ετήσια μείωση Cp(%)
North Hoyle Offshore Wind Farm - A	2004	60	34,1	32,6	3,0
Scroby Sands Wind Farm	2005	60	31	33,5	2,5
Barrow Offshore Windfarm - A	2006	90	36,2	36,2	4,7
Burbo Offshore Windfarm	2007	90	34,1	26	4,1
Lynn Offshore Wind Farm	2008	90	34,6	36,2	2,3
Gunfleet Sands I	2009	198	35,1	35	1,7
Rhyl Flats Wind farm	2009	90	35,8	34,4	2,5
Gunfleet Sands II	2009	64,8	36,6	36,9	2,0
Greater Gabbard	2011	504	42,1	41,2	2,2
Sheringham Shoal	2011	315	39,9	40,5	2,0
Walney Offshore Wind Phase I	2011	182	40,6	40,2	2,6
Walney Offshore Wind Phase II	2011	182	44,8	45,6	7,8
Lincs Wind Farm	2012	256	41,5	42,2	2,6
London Array Offshore Windfarm	2012	652,8	41,6	40,5	2,4
Kentish Flats Extension	2015	215,3	43,5	42,2	3,3
Humber Gateway Offshore Wind Farm	2015	215,3	43,5	42,2	3,3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΤΑ ΥΑΠ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

6.1 Νομοθετικό Πλαίσιο για τα Υ.Α.Π στην Ελλάδα

Όπως έχει αναφερθεί καινωρίτερα είναι γεγονός ότι η Ελλάδα μπορεί να υποστηρίξει και να εκμεταλλευτεί την υπεράκτια αιολική τεχνολογία με μεγάλη επιτυχία λόγω της μοναδικής της γεωγραφική θέσης (π.χ. μεγάλη ακτογραμμή). Με αυτό το σκεπτικό η ελληνική κυβέρνηση έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την εγκατάσταση 7 GW υπεράκτια αιολικής ισχύος έως το 2030. Αυτό αντιπροσωπεύει σημαντική αύξηση από την τρέχουσα υπεράκτια αιολική δυναμικότητα της χώρας των 389 MW τα οποία βρίσκονται σε αρκετά πρώιμο στάδιο ανάπτυξης (Offshore Wind Journal 2021). Προφανώς για να γίνουν όλα αυτά πραγματικότητα απαιτείται η ύπαρξη ενός χωροταξικού πλαισίου.

Συγκεκριμένα, το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής είναι ο θεσμικά υπεύθυνος φορέας για την Ελλάδα που μπορεί να σχεδιάζει και να οριοθετεί το χωροταξικό πλαίσιο, θεσμοθετώντας το άρθρο 5 του Ν.2742/99 για «Χωροταξικό σχεδιασμό και αειφόρο ανάπτυξη» έχοντας παράλληλα την υποχρέωση της εναρμόνισης με το Ευρωπαϊκό και Διεθνές πλαίσιο. Είναι γεγονός ότι το εν λόγω πλαίσιο αναπτύχθηκε με χρονική υστέρηση συγκριτικά με τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η συγκεκριμένη καθυστέρηση ωστόσο οφείλεται σε αρκετά εμπόδια και προβλήματα εφαρμογής και υλοποίησης του Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού τα οποία εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα (Πρόπομπος 2023).



Εικόνα 54: Προβλήματα και Εμπόδια Εφαρμογής Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού στην Ελλάδα. Πηγή (Πρόπομπος 2023)

Πέρα από το χωροταξικό πλαίσιο απαραίτητη είναι και η ύπαρξη ενός αδειοδοτικού πλαισίου. Σε αυτή την περίπτωση τα πράγματα είναι πιο ξεκάθαρα αφού το νέο πλαίσιο θα βασιστεί πάνω στο ήδη υφιστάμενο που απευθύνεται στα χερσαία αιολικά. Συγκεκριμένα , εδώ έχουμε την παρουσία της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργεια , του ΑΔΜΗΕ ή/και του ΔΕΔΔΗΕ , κάθε φορέας θέτει τα δικά του κριτήρια ώστε να επιτρέψει μια τέτοια επένδυση. Πρόσφατες ανακοινώσεις έχουν κάνει λόγο για διαγωνισμό της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας , ώστε να επιλεγούν οι επενδυτές που θα αναπτύξουν τα πρώτα υπεράκτια αιολικά πάρκα , προγραμματισμένο για το πρώτο τρίμηνο του 2027.

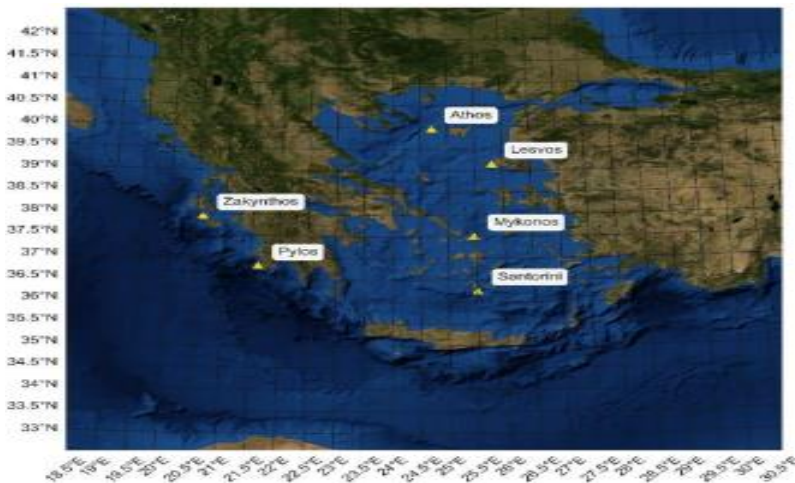
Κατά την διαδικασία του διαγωνισμού , ο επιτυχών επενδυτής υποχρεούται να υποβάλει στον ΑΔΜΗΕ την αίτηση για την έκδοση της άδειας που του εξασφαλίζει τους όρους σύνδεσης στο δίκτυο , η οποία θα πρέπει να συνοδεύεται από μελέτη διασύνδεσης του αντίστοιχου υπεράκτιου έργου με τον ΑΔΜΗΕ καθώς και από την έγκριση περιβαλλοντικών όρων. Ταυτόχρονα , για να πραγματοποιηθεί η σύνδεση του έργου , ο επενδυτής υποχρεούται να επωμιστεί όλα τα έξοδα των έργων διασύνδεσης με το τοπικό δίκτυο (κατάλληλοι μετασχηματιστές , καλώδια κτλ) σύμφωνα με τις τεχνικές απαιτήσεις που θα αποφασίσει ο ΑΔΜΗΕ. Αφού γίνουν τα προηγούμενα τότε η διαδικασία εξελίσσεται ως εξής:

1. Εντός 2 μηνών , ενώ ο επενδυτής έχει υποβάλλει την άδεια για τους όρους σύνδεσης, ο ΑΔΜΗΕ υποχρεούται να αναθέσει στον ή στους νικητές του διαγωνισμού τους όρους για το υπεράκτιο έργο και ο επενδυτής έχει χρονικό περιθώριο επίσης 2 μηνές να τους αποδεχθεί ή να τους αρνηθεί.
2. Οι όροι σύνδεσης θα παραμείνουν σε ισχύ μέχρι την έκδοση της Άδειας Εγκατάστασης και αφού έχει υπογραφεί η διμερής σύμβαση σύνδεσης με το δίκτυο.
3. Τέλος , αν έχουν γίνει με επιτυχία τα παραπάνω βήματα ο ΑΔΜΗΕ και ο επενδυτής υπογράφουν συμφωνία σύνδεσης στο δίκτυο , στην οποία καθορίζονται τα δικαιώματα και οι απαιτήσεις που φέρει ο καθένας για την χρονική διάρκεια της εν λόγω συμφωνίας , που τυπικά διαρκεί 25 χρόνια.

6.2 Μέρη στην Ελλάδα για τα Υ.Α.Π

Όπως είναι γνωστό η γεωγραφική θέση της Ελλάδας θεωρείται κατάλληλη για εγκαταστάσεις υπεράκτιων αιολικών πάρκων , καθώς έχει μεγάλη ακτογραμμή , πολλά νησιά και ισχυρούς ανέμους. Συγκεκριμένα, το Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος με μέση ταχύτητα 7.5m/s και 6.5 m/s αντίστοιχα θεωρούνται ιδανικές περιοχές. Παρά το υψηλό αιολικό δυναμικό που συναντάται στις ελληνικές θάλασσες , δεν έχουν γίνει ακόμα πολλές επενδύσεις . Αντιθέτως, στην Ευρώπη, η υπεράκτια

τεχνολογία τυγχάνει σημαντικής ανάπτυξης. Στο παρελθόν, έπειτα από σχετικές μελέτες φορέων (ΚΑΠΕ, ΕΛΚΕΘΕ, ENVECO), είχαν επιλεγεί κάποιες περιοχές, όπως, π.χ., Αλεξανδρούπολη, Σαμοθράκη, Λήμνος, Φανάρι, Θάσος, Αϊ-Στρατής, Κύμη, Πεταλιόι, Κάρπαθος, Λευκάδα, και Οθωνοί, και είχαν υποβληθεί σχετικές αιτήσεις για τη λήψη αδειών, χωρίς όμως να φτάσουν στο στάδιο της ολοκλήρωσης της αδειοδοτικής διαδικασίας, και κατ' επέκταση της κατασκευής και εγκατάστασης. Προκειμένου να ληφθούν σωστά δεδομένα είχαν εγκατασταθεί διάσπαρτα στα Ελληνικά ύδατα μετεωρολογικοί αισθητήρες (διεύθυνση , ταχύτητα και ριπή ανέμου) και αισθητήρες θερμοκρασίας και αλατότητας. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η συνολικής ισχύς των υπεράκτιων αιολικών πάρκων με έδραση στον θαλάσσιο πυθμένα που θα μπορούσαν ενδεχομένως να εγκατασταθούν στον ελληνικό χώρο, κυμαινόταν από 1.700 MW (τυπικό σενάριο) έως 3.600 MW (μέγιστο σενάριο).

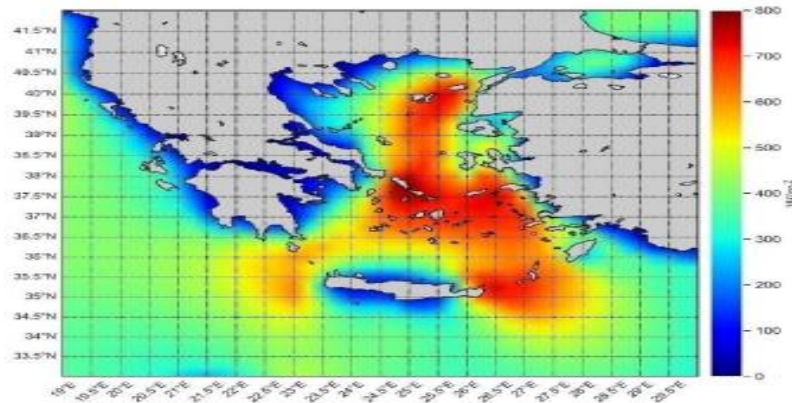


Εικόνα 63: Ενδεικτικές τοποθεσίες που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη. Πηγή:

<https://doi.org/10.3390/atmos12101360>.

Πολλά υποσχόμενη επιλογή είναι η τεχνολογία των πλωτών ανεμογεννητριών. Η συγκεκριμένη τεχνολογία θεωρείται η καταλληλότερη για την Ελλάδα, καθώς επιτρέπει τη μαζική εγκατάσταση μεγάλων αιολικών πάρκων σε μεγάλα βάθη, όπως αυτά των ελληνικών θαλασσών, ή/και σε μεγάλη απόσταση από την ακτογραμμή (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2021). Σύμφωνα με μελέτες, ιδανικές περιοχές για πλωτά αιολικά πάρκα εντοπίζονται στις Κυκλάδες, στο Βόρειο Αιγαίο, στα Δωδεκάνησα, αλλά και μεταξύ Ρόδου-Καρπάθου και Κάσου-Κρήτης (Stefanakou et al., 2019). Συγκεκριμένα, οι υψηλότερες τιμές αιολικού δυναμικού (650–800 W/m²) συναντώνται στον κεντρικό άξονα του Αιγαίου πελάγους, από τη Λήμνο και τη Σαμοθράκη μέχρι το νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων, και από τη Σάμο και την Ικαρία μέχρι τα στενά μεταξύ Κρήτης και Κάσου. Από την άλλη πλευρά

χαμηλότερο αλλά εξίσου αξιοποιήσιμο δυναμικό (500–600 W/m²) έχει μετρηθεί στα στενά μεταξύ Κρήτης-Κυθήρων (Kardakaris et al, 2021).



Εικόνα 64: Αναπαράσταση Αιολικού Δυναμικού στα Ελληνικά ύδατα. Πηγή:

<https://doi.org/10.3390/atmos12101360>.

6.3 Τα πρώτα Υ.Α.Π στην Ελλάδα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί προηγουμένως δεν έχουν γίνει ακόμα οι απαραίτητες ενέργειες που θα ανοίξουν τον δρόμο στα υπεράκτια αιολικά να ανθίσουν στην Ελλάδα, ενώ δεν αναμένεται και σύντομα αφού οι διαγωνισμοί θα λάβουν μέρος από το 2027 και έπειτα. Ωστόσο, πρόσφατες εξελίξεις κάνουν λόγο για την δημιουργία ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης που θα αποτελείται εξ ολοκλήρου από σταθερές βάσεις τύπου μανδύα, που είναι κατάλληλες για μέτρια βάθη (20-40 μέτρα). Πρόκειται για το πιο ώριμο έργο, από άποψη αδειοδότησης αυτή την στιγμή στην χώρα μας και σίγουρα θα συνδράμει θετικά στον στόχο της ενεργειακής ανεξαρτησίας που έχει θέσει η Ελλάδα.



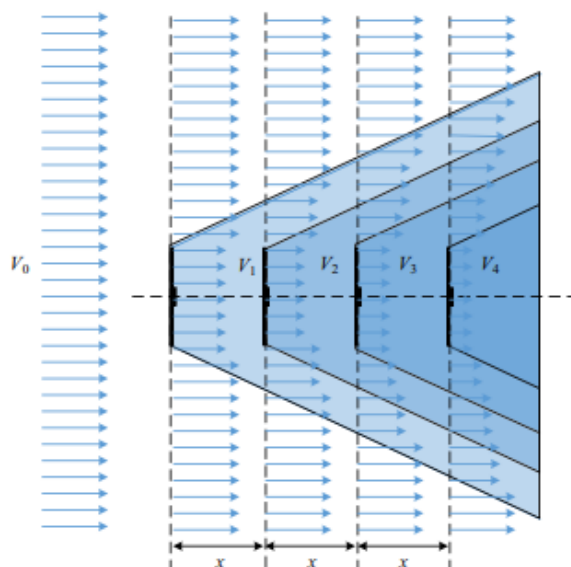
Εικόνα 65: Περιοχή Ανάπτυξης Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στην Αλεξανδρούπολη. Πηγή:

<https://geo.rae.gr/?lon=25.876507116715597&lat=40.72823584542211&zoom=11>

Αρχικά, το πάρκο βρίσκεται στο Αιγαίο Πέλαγος, περίπου 5 χλμ. από τις ακτές της Αλεξανδρούπολης, και αναμένεται να έχει ισχύ 600 MW. Σχεδιαστικά θα αποτελείται από 60 ανεμογεννήτριες με ύψος πλήμνης 105 μέτρα και διάμετρο ρότορα 195 μέτρα, ενώ η σύνδεση του στο τοπικό δίκτυο θα γίνει μέσω ενός υπεράκτιου και χερσαίου υποσταθμού της τάξης των 400kV. Αναμένεται να παράγει περίπου 2,6 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, η οποία ισοδυναμεί με την κατανάλωση ενέργειας περίπου 700.000 νοικοκυριών ενισχύοντας παράλληλα την τοπική οικονομία. Συγκεκριμένα, για την κατασκευή του θα απαιτηθούν περίπου 400 άτομα ενώ η λειτουργία και συντήρηση του θα δημιουργήσει περίπου 100 μόνιμες θέσεις εργασίας (Terna Energy).

6.3.1 Προσεγγιστική χωροθέτηση Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης

Αρχικά το πρώτο πράγμα το οποίο θα πρέπει να αποσαφηνιστεί είναι η κατανομή των υπεράκτιων ανεμογεννητριών, η οποία θεωρείται πάρα πολύ σημαντική για την για την ενεργειακή συμπεριφορά της επένδυσης. Θα πρέπει να εξακριβωθεί ως προς ποια κατεύθυνση θα σχεδιαστεί η χωροθέτηση ώστε να εκμεταλλευτεί όσο το δυνατόν περισσότερο αιολικό δυναμικό. Σημαντικό ρόλο στο κομμάτι αυτό διαδραματίζει η επίδραση του φαινομένου γνωστού και ως “wake effect”. Συγκεκριμένα πρόκειται για την μειωμένη κινητική ενέργεια του ανέμου που λαμβάνει μια ανεμογεννήτρια λόγω της απορρόφησης του αιολικού δυναμικού από την μπροστινή της. Αυτό έχει ως συνέπεια να δημιουργούνται επιπλέον αναταράξεις σε αυτές και τελικά να παρουσιάζουν μειωμένη παραγόμενη ενέργεια (Peng Hou et all 2019).

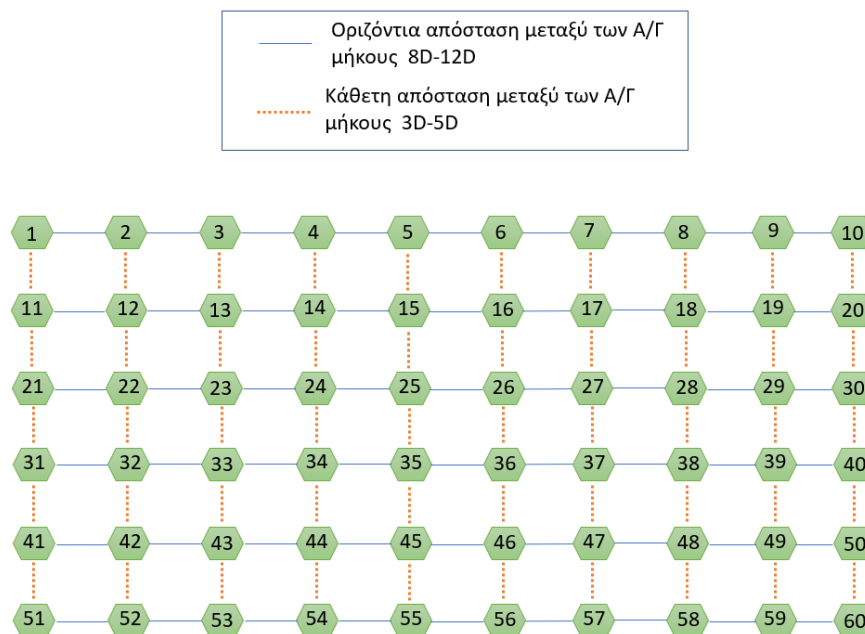


Εικόνα 66 : Χαρακτηριστικό παράδειγμα του φαινομένου “wake”. Πηγή: Peng Hou et all 2019

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού κρίνεται απαραίτητη η εντόπιση των ισχυρών και λιγότερο ισχυρών ανέμων που πνέουν σε μια περιοχή. Εφόσον εντοπιστεί η κατεύθυνση των ισχυρών ανέμων, θα πρέπει η απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών, κατά μήκος της κατεύθυνσης αυτής, να είναι 8 έως 12 φορές η διάμετρος του δρομέα ενώ στην κατεύθυνση κάθετα της διεύθυνσης του ισχυρού ανέμου να είναι από 3 έως 5 φορές η διάμετρος του δρομέα (Peng Hou et all 2019).

Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης χωροθέτησης στην περίπτωση της Αλεξανδρούπολης παίρνουμε τις παρακάτω υποθέσεις:

1. Θα χρησιμοποιηθεί υπεράκτια αιολική μηχανή μέγιστης ισχύος 10MW με **193 μέτρα** διάμετρο ρότορα. Επομένως θα χρειαστούμε 60 συνολικά ανεμογεννήτριες.
2. Για την εγκατάσταση 600MW απαιτούνται, λαμβάνοντας υπόψιν και εν ενεργεία Υ.Α.Π, **σχεδόν 95.000.000 m²**.



Εικόνα 67: 1^ο σενάριο χωροθέτησης Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης .

Λαμβάνοντας υπόψιν τα δεδομένα και το παραπάνω σχηματικό, προχωράμε στον παρακάτω πίνακα, στον οποίο παρουσιάζονται 5 διαφορετικά σενάρια χωροθέτησης.

Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των αποστάσεων διαμορφώνεται ως εξής:

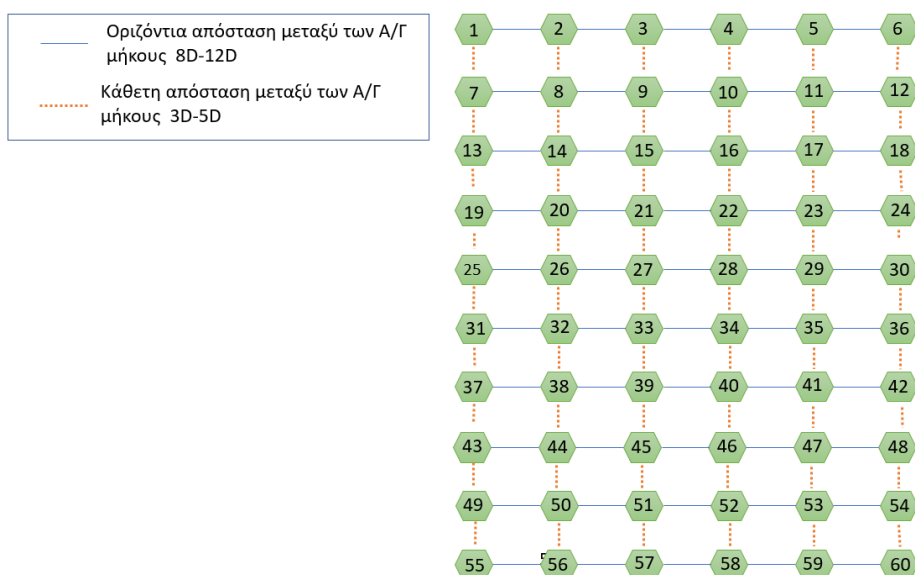
$$XD \times \text{Διάμετρο του ρότορα } x (n-1) \text{ Α/Γ}$$

Πίνακας 7. Χωροθέτηση Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης (Σενάριο 1)

Ενδεικτικό Σενάριο	1		2		3		4		5	
Αποστάσεις	8D	3D	10D	3D	10D	5D	11D	5D	12D	5D
Κατεύθυνση	Οριζόντια	Κάθετα	Οριζόντια	Κάθετα	Οριζόντια	Κάθετα	Οριζόντια	Κάθετα	Οριζόντια	Κάθετα
Μήκος/Πλάτος (m)	13.896	2.895	17.370	2.895	17.370	4.825	19.107	4.825	20.844	4.825
Χρησιμοποιημένη έκταση (m ²)	40.228.920		50.286.150		83.810.250		92.191.275		100.572.300	
Εναπομείνουσα Έκταση (m ²)	54.771.080		44.713.850		11.189.750		2.808.725		-5.572.300	

Παρατηρείται λοιπόν ότι τα 4 πρώτα σενάρια είναι εφικτά αφήνοντας αρκετό ελεύθερο χώρο για διαδρόμους οι οποίοι θα διευκολύνουν την συντήρηση και την μεταφορά του προσωπικού στο υπεράκτιο πάρκο. Ωστόσο, στο σενάριο 5 αποδεικνύεται ότι ο συγκεκριμένος συνδυασμός αποστάσεων δεν είναι αποδεκτός.

Εν συνεχεία θα ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία με τα ίδια σενάρια αποστάσεων ωστόσο με διαφορετική χωροθέτηση, η οποία απεικονίζεται ακολούθως.



Εικόνα 68: 2^ο σενάριο χωροθέτησης Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης.

Πίνακας 8. Χωροθέτηση Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης (Σενάριο 2)

Ενδεικτικό Σενάριο	1		2		3		4		5	
	8D	3D	10D	3D	10D	5D	11D	5D	12D	5D
Κατεύθυνση	Οριζόντια	Κάθετα	Οριζόντια	Κάθετα	Οριζόντια	Κάθετα	Οριζόντια	Κάθετα	Οριζόντια	Κάθετα
Μήκος/Πλάτος (m)	7.720	5.211	9.650	5.211	9.650	8.685	10.615	8.685	11.580	8.685
Χρησιμοποιημένη έκταση (m ²)	40.228.920		50.286.150		83.810.250		92.191.275		100.572.300	
Εναπομείνουσα Έκταση (m ²)	54.771.080		44.713.850		11.189.750		2.808.725		-5.572.300	

Παρατηρείται λοιπόν , ότι και τα 2 σενάρια χωροθέτησεως παρουσιάζουν πανομοιότυπα αποτελέσματα , ωστόσο εντοπίζονται διαφορετικά μήκη και πλάτη. Έτσι λοιπόν , γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι σπουδαίο ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης χωροθέτησης έχουν τα χαρακτηριστικά του αδειοδοτημένου πολυγώνου στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί το Υ.Α.Π.

Γενικότερα , κατά την χωροθέτηση θα πρέπει να αποφεύγεται τόσο η υπερδιαστασιολόγηση για την διατήρηση του κόστους μεταφοράς και καλωδίων σε επιτρεπτά επίπεδα , όσο και η υποδιαστασιολόγηση η οποία εντείνει το φαινόμενο “wake” και έχει ως αποτέλεσμα την μειωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

6.3.2 Οικονομική Αξιολόγηση Υ.Α.Π

Αρχικά η περιοχή της Αλεξανδρούπολης προσφέρει αξιοσημείωτο αιολικό δυναμικό αφού αυτή την στιγμή παρουσιάζονται χερσαία αιολικά πάρκα με συντελεστή δυναμικότητας της τάξεως του 35% περίπου. Αναμφίβολα , η αντίστοιχη παράμετρο για το εν λόγω Υ.Α.Π αναμένεται να είναι αυξημένο λόγω της περιοχής εγκατάστασης του.

Ο συντελεστής δυναμικότητας (Capacity factor) ορίζεται ως ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας προς την θεωρητικά μέγιστη ενέργεια που μπορεί να παραχθεί σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα και παίζει καθοριστικό παράγοντα στον υπολογισμό του LCOE όπως θα αποδειχθεί και ακολούθως.

Σημειώνεται ότι η θεωρητική ετήσια μέγιστη ενέργεια υπολογίζεται ως εξής :

- Για μια ανεμογεννήτρια ισχύος 10MW.

$$E = 10MW \times 8760h = 87600 \text{ MWh} \quad (\text{θεωρείται ότι } CF=1)$$

- Για την περίπτωση του Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης.

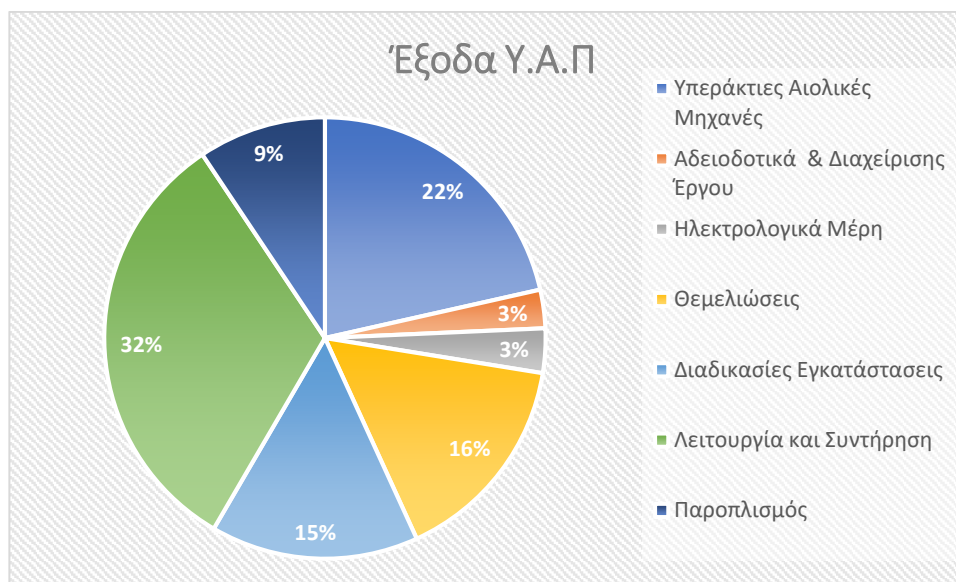
$$\text{Επάρκων} = 10MW \times 8760h \times 60 \text{ A/}\Gamma = 5.256.000 \text{ MWh} \quad (\text{θεωρείται ότι } CF=1)$$

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει μια εκτίμηση κόστους των επιμέρους εξαρτημάτων ενός Υ.Α.Π ενώ παράλληλα υπολογίζονται τα συνολικά κόστη και για το Υ.Α.Π της Αλεξανδρούπολης.

Πίνακας 9 . Προσεγγιστικά κόστη εγκατάστασης . Πηγή: <https://guidetoanoffshorewindfarm.com/wind-farm-costs>

Κατηγορίες Εξόδων	Προσεγγιστικά Κόστη (€/MW)	Υποθετικά Έξοδα Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης
Υπεράκτιες Αιολικές Μηχανές	11.000.000,0	€ 660.000.000,00
Αδειοδοτικές Διαδικασίες & Διαχείρισης Έργου	144.000,0	€ 86.400.000,00
Ηλεκτρολογικά Μέρη	200.000,0	€ 100.000.000,00
Θεμελιώσεις	800.000,0	€ 480.000.000,00
Διαδικασίες Εγκαταστάσεις	800.000,0	€ 468.000.000,00
Λειτουργία και Συντήρηση	65.000,0	€ 990.000.000,00
Παροπλισμός	480.000,0	€ 288.000.000,00
Συνολικό Κόστος Επένδυσης	13.489.000,0	€ 3.072.400.000,00

Για την οπτικοποίηση της ποσοστιαίας συμμετοχής κάθε κατηγορίας εξόδων σχετικά με το Υ.Α.Π της Αλεξανδρούπολης διαμορφώθηκε το παρακάτω διάγραμμα. Σημειώνεται ότι , σχετικά με την κατηγορία «Λειτουργία και Συντήρηση» , το αντίστοιχο κόστος ανταποκρίνεται στα συνολικά έξοδα που θα πρέπει να δαπανηθούν για όλη την ζωή της επένδυσης η οποία είναι τα 25 χρόνια.



Διάγραμμα 11: Κατηγοριοποίηση κόστους κατασκευής του Υ.Α.Π Αλεξανδρούπολης

Με τα παραπάνω δεδομένα προχωράμε στον υπολογισμό του LCOE για διαφορετικές τιμές του Capacity Factor.

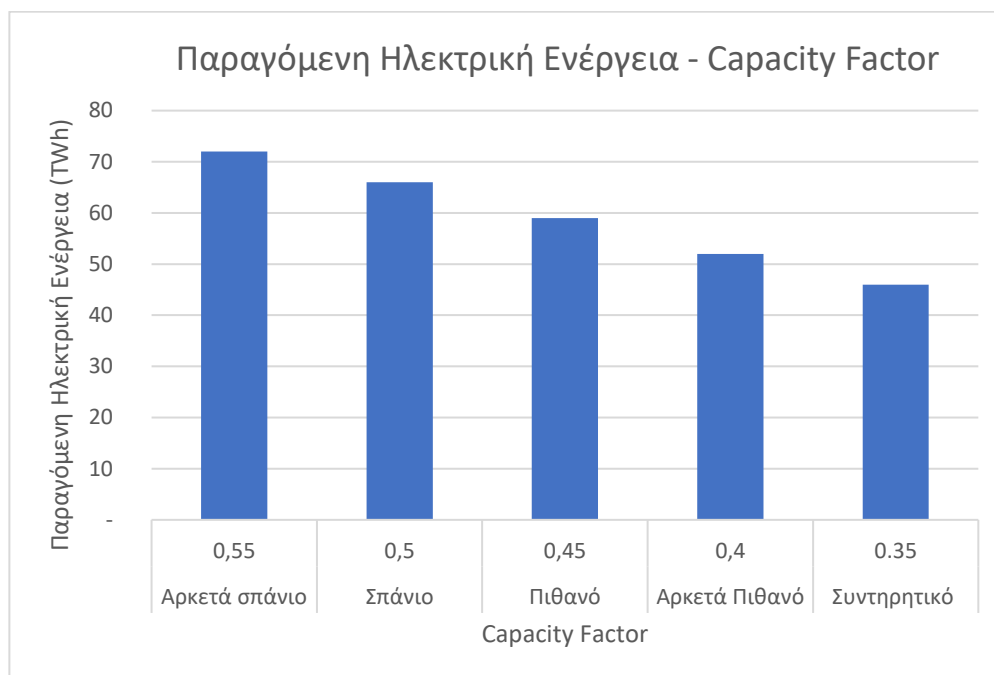
Σημειώνεται ότι ο υπολογισμός του LCOE προκύπτει ως εξής:

$$LCOE = \frac{\text{Συνολικό Κόστος Επένδυσης}}{\text{Συνολική Παραγόμενη Η.Ε (25 ετίας)}}$$

Πίνακας 10 : Υπολογισμός LCOE για διαφορετικές τιμές Capacity factor

Σενάρια	Capacity Factor	Ετήσια Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια (MWh/Ετος)	Συνολική Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια (MWh)	LCOE (€/MWh)
Αρκετά σπάνιο	0,55	2.890.800	72.270.000	42,513
Σπάνιο	0,5	2.628.000	65.700.000	46,764
Πιθανό	0,45	2.365.200	59.130.000	51,960
Αρκετά Πιθανό	0,4	2.102.400	52.560.000	58,455
Συντηρητικό	0.35	1.839.600	45.990.000	66,806

Η σχετικότητα μεταξύ των μεγεθών «Capacity Factor» και της «Συνολικής Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας» αποτυπώνεται στο παρακάτω γράφημα.



Διάγραμμα 12: Συμπεριφορά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε συνάρτηση του C_p.

Παρατηρείται λοιπόν ότι το χαμηλότερο LCOE το πετυχαίνουμε με το μεγαλύτερο συντελεστή Capacity Factor, το οποίο είναι και αναμενόμενο αφού είμαστε σε θέση να παράξουμε μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας. Γενικότερα σε τέτοιου είδους επενδύσεις καταβάλλεται προσπάθεια για να επιτευχθεί η χαμηλότερη δυνατή τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας για να μειωθεί το οικονομικό ρίσκο.

Στην συνέχεια θα υπολογιστεί η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης με την τιμή LCOE στην περίπτωση που έχουμε Capacity Factor 0,4, η οποία θεωρείται και η πιο ρεαλιστική.

Πίνακας 11 : Υπολογισμός περιόδου αποπληρωμής της επένδυσης

BREAK EVEN	
Capacitor Factor	0,4
LCOE (€/MWh)	58,455
Επενδυτικό κόστος (-30%)	2.150.680.000,00 €
Ετήσιο Κέρδος (€/Ετος)	122.896.000,00 €
Περίοδος Αποπληρωμής (Έτη)	17,50

Η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης ανέρχεται σε 17,5 έτη, επομένως τα υπόλοιπα 7,5 χρόνια ζωής του έργου ο επενδυτής θα εισπράξει ένα ποσό περίπου 922.000.000 €. Αδιαμφισβήτητα αν επιλέγαμε ένα σενάριο με μεγαλύτερο Capacity Factor η περίοδος αποπληρωμής θα ήταν συντομότερη και τα καθαρά κέρδη αισθητά αυξημένα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια η ζωή των ανθρώπων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ηλεκτρική ενέργεια , αφού οι καθημερινές μας απαιτήσεις για αυτήν αυξάνονται διαρκώς. Η παραγωγή της απαιτούμενης ποσότητας ενέργειας γίνεται κυρίως από συμβατικούς σταθμούς και λιγότερο από ανανεώσιμες πηγές. Ωστόσο , παρατηρείται παγκοσμίως μια ροπή στην «πράσινη» ενέργεια με απώτερο σκοπό στην πλήρη εξάρτηση από αυτήν. Είναι γεγονός ότι περιβαλλοντικά , η χρήση της μειώνει την προσθήκη διοξειδίου του άνθρακα στην ατμοσφαιρα , το οποίο εκλύεται απο την καύση ορυκτών πορων και ταυτόχρονα μειώνει τη ρύπανση της ατμόσφαιρας με σωματίδια και αέριους ρύπους όπως το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου. Σημαντικό παράγοντα στην προσπάθεια αυτή θα διαδραματίσει η υπεράκτια αιολική τεχνολογία , η οποία μελετάται και παρουσιάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Η υπεράκτια αιολική τεχνολογία αναφέρεται στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας από αιολικούς σταθμούς που είναι τοποθετημένοι στην θάλασσα. Πρόκειται για μια τεχνολογία που παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με αυτή των χερσαίων , αλλά με κάποιες σημαντικές τεχνικές διαφοροποιήσεις. Αρχικά , η εύρεση τοποθεσίας και η μεταφορά των εξαρτημάτων σε αυτήν διαφέρει αισθητά κυρίως σε οικονομικό υπόβαθρο , λόγω της ανάγκης πολλών μέσων μεταφοράς. Επίσης , είναι σχεδιασμένες από υλικά που προσφέρουν αντίσταση σε ένα διαβρωτικό περιβάλλον όπως αυτό του ωκεανού. Συνήθως αποτελούνται από πτερύγια έως 80 μέτρων ενώ το συνολικό τους ύψος μπορεί να ξεπεράσει τα 200 μέτρα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να αξιοποιήσουν το αυξημένο αιολικό δυναμικό της θάλασσάς σε μεγαλύτερο βαθμό και να παράξουν μεγαλύτερη ποσότητα ανανεώσιμης ενέργειας.

Εν συνεχεία , διαφορές εντοπίζονται και στις βάσεις στήριξης. Στην υπεράκτια τεχνολογία υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες βάσεων , οι οποίες επιλέγονται απο έναν συνδυασμό παραγόντων. Από την μια πλευρά , υπάρχουν οι βάσεις σταθερού πυθμένα που θεωρούνται φθηνότερες και χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που το βάθος δεν ξεπερνάει τα 50 μετρά . Από την άλλη πλευρά , υπάρχουν οι πλωτές κατασκευές που προτιμώνται σε μεγαλύτερα βάθη και πρόκειται για μια ακριβότερη τεχνολογία που δεν έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά. Και οι δυο επιλογές , απαρτίζονται από υπό-κατηγορίες που αναλύονται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Επιπρόσθετα , επισημάνθηκε ότι οι βασικότεροι ανασταλτικοί παράγοντες για τα Υ.Α.Π θεωρούνται ο πάγος και η διάβρωση. Σε συνδυασμό μπορούν να προξενήσουν μεγάλες υλικές ζημιές πράγμα που σημαίνει ότι επηρεάζεται άμεσα τόσο η απόδοση της ανεμογεννήτριας όσο και η οικονομική βιωσιμότητα του έργου.

Σημαντικό μέρος της υπεράκτια αιολικής τεχνολογίας θεωρείται το κομμάτι της απεγκατάστασης της, που πραγματοποιείται συνήθως μετά από 25 χρόνια πλήρης λειτουργίας. Όπως έχει ήδη αναλυθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο, πρόκειται για μια διαδικασία που κρίνει σε μεγάλο βαθμό την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης και πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο που να επαναφέρει το περιβάλλον του βυθού στην αρχική του κατάσταση.

Οι πολυπλοκότητες που διατυπώθηκαν παραπάνω, καθιστούν αναμφίβολα την υπεράκτια αιολική τεχνολογία απαιτητική. Στην συγκεκριμένη διπλωματική αναφέρονται τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης που ξεπέρασαν, ως ένα βαθμό, τα οικονομικά, τεχνολογικά, αδειοδοτικά προβλήματα που προκύπτουν καταφέροντας με την σειρά τους να αξιοποιήσουν το ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό που προσφέρει. Η χώρα που ξεχώρισε μεταξύ άλλων είναι η Μεγάλη Βρετανία, η οποία κατάφερε να εντάξει στο ενεργειακό ισοζύγιο της, κυρίως την τελευταία δεκαετία, την υπεράκτια αιολική τεχνολογία.

Εν συνεχεία, αναφέρεται η κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, η γεωγραφική της θέση ευνοεί την ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών πάρκων σε αρκετές περιοχές. Όπως διατυπώνεται στο τελευταίο κεφάλαιο, το Βόρειο Αιγαίο μαζί με το Ιόνιο Πέλαγος θεωρούνται κατάλληλες περιοχές λόγω του υψηλού αιολικού δυναμικού που προσφέρουν. Ωστόσο η στασιμότητα στην δημιουργία ενός αδειοδοτικού πλαισίου και η έλλειψη κατάλληλης τεχνογνωσίας, καθυστέρησαν σημαντικά την ανάπτυξη της υπεράκτιας τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η Ελλάδα να ξεκινήσει την αδειοδοτική διαδικασία για το πρώτο υπεράκτιο αιολικό της πάρκο το 2022.

Τέλος, στην προσεγγιστική οικονομική αξιολόγηση που παρουσιάστηκε στο τελευταίο κεφάλαιο αποδεικνύεται το τεράστιο οικονομικό κόστος που θα πρέπει να δαπανηθεί για την υλοποίηση της εν λόγω επένδυσης. Αποδείχθηκε επίσης η άμεση επιρροή που έχει ο συντελεστής δυναμικότητας στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης και κατ' επέκταση στον προσδιορισμό του LCOE. Στην συνέχεια λαμβάνοντας υπόψιν την πιο ρεαλιστική εκδοχή ($C_p=0,4$), η περίοδος αποπληρωμής προσδιορίστηκε στα 17,5 έτη, αφήνοντας στον επενδυτή το χρονικό περιθώριο των 7,5 ετών για την είσπραξη κέρδους. Εύλογα λοιπόν, αποδεικνύεται για μια ακόμα φορά, ότι η επένδυση σε ένα Υ.Α.Π αποτελεί μια αρκετά κοστοβόρα διαδικασία, της οποίας η περίοδος αποπληρωμής της έρχεται μετά από πολλά χρόνια και έχει σχετικά μικρή διάρκεια, συγκρίνοντάς την με το αντίστοιχο μέγεθος σε άλλες επενδύσεις Α.Π.Ε.

Ξένη Βιβλιογραφία

1. Aflaki, S., & Netessine, S., 2017. Strategic investment in renewable energy sources: The effect of supply intermittency. *Manufacturing & Service Operations Management*.
2. Ahmadyar, A. S., & Verbič, G., 2017. Coordinated operation strategy of wind farms for frequency control by exploring wake interaction. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8(1), 230-238.
3. Arshad, M., O' Kelly, B. (2012). Offshore wind-turbine structures: a review, *Energy Volume 166 Issue EN4*, Proceedings of the Institution of Civil Engineers.
4. Astariz, S., & Iglesias, G., 2017. The collocation feasibility index—A method for selecting sites for co-located wave and wind farms. *Renewable Energy*, 103, 811-824.
5. Beiter, P., Musial, W., Kilcher, L., Maness, M., & Smith, A., 2017. *An assessment of the economic potential of offshore wind in the United States from 2015 to 2030* (No. NREL/TP-6A20-67675). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
6. Chen, J. et al. (2019) 'Global non-fossil fuel consumption: driving factors, disparities, and trends', *Management Decision*, 57(4), pp. 791–810. doi: 10.1108/MD-04-2018-0409.
7. Collu, M., Kolios, A. J., Chahardehi, A., & Brennan, F. (2010). A comparison between the preliminary design studies of a fixed and a floating support structure for a 5 MW offshore wind turbine in the North Sea. *RINA, Royal Institution of Naval Architects-Marine Renewable and Offshore Wind Energy-Papers*, 63.
8. de Boer, H. S. H., & van Vuuren, D. D., 2017. Representation of variable renewable energy sources in TIMER, an aggregated energy system simulation model. *Energy Economics*, 64, 600-611.
9. DeCastro, M. et al. (2019) 'Europe, China and the United States: Three different approaches to the development of offshore wind energy', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, pp. 55–70. doi: 10.1016/j.rser.2019.04.025.
10. Díaz, H. and Guedes Soares, C. (2020) 'Review of the current status, technology and future trends of offshore wind farms', *Ocean Engineering*. Elsevier Ltd, p. 107381. doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107381.
11. Díaz, H., & Soares, C. G., 2020. Review of the current status, technology and future trends of offshore wind farms. *Ocean Engineering*, 209, 107381.

12. European Commission, A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030, Commun. FROM Comm. TO Eur. Parliam. Counc. Eur. Econ. Soc. Comm. Comm. Reg., 2014, 1–18,
13. Eurostat (2020) Share of renewable energy in gross final energy consumption [{%}]. Available at: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=en&pcod e=t2020_31
14. Higgins,P., Foley,A. 2014. The evolution of offshore wind power in the United Kingdom, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 37 , 599–612.
15. International Energy Agency, 2017. Market Report Series: Renewables 2017 1–220
16. Jung, D., Kim, J. A., Park, M. S., Yim, U. H., & Choi, K., 2017. Human health and ecological assessment programs for Hebei Spirit oil spill accident of 2007: Status, lessons, and future challenges. *Chemosphere*, 173, 180-189.
17. Kaldellis, J. K., & Zafirakis, D., 2011. The wind energy (r) evolution: A short review of a long history. *Renewable Energy*, 36, 1887-1901.
18. Kaldellis, J. K., & Zafirakis, D., 2020. Prospects and challenges for clean energy in European Islands. The TILOS paradigm. *Renewable Energy*, 145, 2489-2502.
19. Lerche J, Seppanen. O, Pedersen. KB, Neve. H, Wandahl. S, Gross, A. (2019). “Why would location-based scheduling be applicable for offshore wind turbine construction?” In: *Proc. 27th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire C. and Hamzeh F.R. (ed.), Dublin, Ireland, pp. 1283-1294. DOI: <https://doi.org/10.24929/2019/0121>
20. Linnenschmidt, J. N. (2021). *Cost comparison between bottom-fixed and floating offshore wind turbines-Calculating LCOE based on full hours of utilization and corresponding break-even points.*
21. Orsted, Walney , 2017. Extension Offshore Wind Farm.
22. Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R., & Solangi, K. H., 2011. Environmental impact of wind energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15, 2423-2430.
23. Sun, X., Huang, D., & Wu, G., 2012. The current state of offshore wind energy technology development. *Energy*, 41, 298-312.
24. The European Commission – Joint Research Centre (Renewable Energy Snapshots 2010): http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm?id=2820&obj_id=509&dt_code=HLN&lang=en

25. Triantafyllou, P., Koroneos, C., Kondili, E., Kollas, P., Zafirakis, D., Ktenidis, P., & Kaldellis, J. K., 2021. Optimum green energy solution to address the remote islands' water-energy nexus: the case study of Nisyros island. *Heliyon*, 7, e07838.
26. Rahul Chitteth Ramachandran, Cian Desmond², Frances Judge¹, Jorrit-Jan Serraris³, and Jimmy Murphy¹, 2021. Floating offshore wind turbines: Installation, operation, maintenance and decommissioning challenges and opportunities: <https://doi.org/10.5194/wes-2021-120>
27. Zhiyu Jiang. 2020 Installation of offshore wind turbines: A technical review: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110576>
28. "Fixed-bottom offshore wind foundations: An overview." Wind Europe, 2019."
29. Zhengru Ren, Amrit Shankar Verma, Ye Li, Julie J.E. Teuwen, Zhiyu Jiang, 2021. Offshore wind turbine operations and maintenance: A state-of-the-art review. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110886>
30. Guo, X., & Zhang, L. (2019). A review of offshore wind farm decommissioning. *Renewable Energy*, 132, 82-90.
31. Chen, Z., Huang, Z., Liu, X., & Chen, X. (2017). A comprehensive review of offshore wind turbine decommissioning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 300-309.
32. Eva Topham, David McMillan, 2017. Sustainable decommissioning of an offshore wind farm. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.066>
33. "Greece sets ambitious offshore wind energy targets," *Offshore Wind Journal*, August 3, 2021, https://www.owjonline.com/news/view,greece-sets-ambitious-offshore-wind-energy-targets_65598.htm
34. Stefanakou, A., Nikitakos, N., Lilas, T., Pavlogeorgatos, G. (2019). A GIS-Based Decision Support Model for Offshore Floating Wind Turbine Installation. *International Journal of Sustainable Energy*, 38 (7), p. 673-691. <https://doi.org/10.1080/14786451.2019.1579814>
35. Kimon Kardakaris¹, Ifigeneia Boufidi¹ and Takvor Soukissian, 2021. Offshore Wind and Wave Energy Complementarity in the Greek Seas Based on ERA5 Data. <https://doi.org/10.3390/atmos12101360>

36. Terna Energy: Aegean Sea Wind Park Alexandroupolis, <https://www.terna-energy.com/en/projects/aegean-sea-wind-park-alexandroupolis/>
37. Submarine Power Cables" by Thomas Worzyk and Georgi Iliev, 2013..<https://ftp.idu.ac.id/wpcontent/uploads/ebook/tdg/ADNVANCED%20MILITARY%20PLATFORM%20DESIGN/Submarine%20Power%20Cables%20Design,%20Installation,%20Repair,%20Environmental%20Aspects.pdf>
38. Markus Lerch, Mikel De Prada Gil, Climent Molins, 2021. A metaheuristic optimization model for the inter-array layout planning of floating offshore wind farms. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107128>
39. Srinil N, 2016. Cabling to connect offshore wind turbines to onshore facilities. In: Offshore wind farms: Technologies, design and operation. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100779-2.00013-1>
40. S. ROBAK and R.M. RACZKOWSKI, 2018. Substations for offshore wind farms: a review from the perspective of the needs of the Polish wind energy sector. DOI: 10.24425/124268
41. Panit Potisomporn, Christopher R. Voge (2021) .Spatial and temporal variability characteristics of offshore wind energy in the United Kingdom. <https://doi.org/10.1002/we.2685>
42. Wind Energy in Europe 2022. <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/#interactive-data>
43. Hywind Tampen Floating Offshore Wind. <https://www.akersolutions.com/what-we-do/projects/hywind-tampen/>
44. Offshore Wind Development, 2022. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/offshore_wind_development_final_june_2022.pdf
45. Wind energy in Europe - 2022 Statistics and the outlook for 2023-2027.
46. HWEA Wind Energy Statistics-2022. https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2023/01/2023-01-26-2022-HWEA_Statistics-Greece.pdf

47. Feloni E, Karandinaki E. GIS-based MCDM Approach for Wind Farm Site Selection - A Case Study. Journal of Energy and Power Technology 2021; 3(3): 039; [doi:10.21926/jept.2103039](https://doi.org/10.21926/jept.2103039)
48. The History of Wind Vanes .http://www.ehow.com/about_5377313_history-wind-vanes.html
49. www.ammonit.com , Know – how for successful wind measurements, 2011
50. Kavakli 2022, Analysis and assessment of damages to wind turbines, onshore and offshore with the objective to reduce the risk of wind turbine failures and collapse.
51. S. Lundberg, “Configuration Study of Large Wind Parks”, Chalmers University of Technology, Göteborg, January 2003
52. Lorenzo Battisti , 2006 Sea ice and icing risk for offshore wind turbines.
53. Mertcan Kavakli, Ove Tobias Gudmestad, Analysis and Assessment of Onshore and Offshore Wind Turbines Failures, March 2023. <https://doi.org/10.18280/ijepm.080104>
54. ALDERSEY-WILLIAMS, J., BROADBENT, I.D., STRACHAN, P.A. , 2020 .Analysis of United Kingdom offshore wind farm performance using public data: improving the evidence base for policy development. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100985>
55. Submarine Power Cables, <https://www.escaeu.org/articles/submarine-power-cables/>
56. Offshore Wind Submarine Cabling, 2021. <https://www.nyftwg.com/wp-content/uploads/2021/05/Offshore-Wind-Submarine-Cable-Report.pdf>
57. T. Ackermann, “Wind Power in Power Systems”, Wiley Publications, 2005
58. Jovana Dakic, Marc Cheah-Mane , 2020 . HVAC Transmission System for Offshore Wind Power Plants Including Mid-cable Reactive Power Compensation: Optimal design and comparison to VSC-HVDC transmission. <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3027356>
59. Peng Hou, Jiangsheng Zhu, Kuichao MA, Guangya YANG, Weihao HU & Zhe CHEN A review of offshore wind farm layout optimization and electrical system design methods. <https://doi.org/10.1007/s40565-019-0550-5>

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Βιώνης Π., Χαβιαρόπουλος Π., Βουτσινάς Σ., Ζερβός Α., Χατζηαργυρίου Ν., Σαραβάνος Δ., Φιλίππιδης Θ., 2005. Πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία της αιολικής ενέργειας, Πρακτικά Συνεδρίου RENES, Αθήνα, σ.119.
2. Νικητάκος Ν., 2013. Η γεωπολιτική των Α.Π.Ε, Foreign affairs (The Hellenic Edition), [online] Ανάκτηση από: <http://www.foreignaffairs.gr/articles/69196/nikitas-nikitakos/i-geopolitiki-ton-ape?page=show>
3. Σταύρος Γριμάνης 2022. <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/afta-ine-ta-10-megalitera-iperaktia-eolika-parka-ston-kosmo-pics/>
4. Β.Δ. Μπιζιώνης, Δ.Β. Μπιζιώνης, “Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2020
5. Δημήτρης Β. Κανελλόπουλος, Ξ Αιολική Ενέργεια – Σχεδιάζοντας στις Αυλές των Ανέμων, εκδόσεις Ίων
6. Θ. Συρίδου, “Μελέτη Εγκατάστασης Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου στην Αλεξανδρούπολη”, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Απρίλιος 2018
7. Κωνσταντίνος Κυριακίδης , « Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα : Δομικά Στοιχεία , Ισχύουσα Κατάσταση , Μελλοντικές Προοπτικές και Ενεργειακή Μελέτη στον Ελλαδικό Χώρο» , ΠΑΔΑ , Ιανουάριος 2021
8. https://www.propobos.gr/wp-content/uploads/2023/02/Thalassios_xwrotaxikos_sxediasmos_DIGITAL.pdf?fbclid=IwAR0DtG6ZMNbzCJXeSs8ZRDxTR8S2Dy5n4mjXO7EBxdD_HaV9LN6EHIF2wRk
9. <https://energypress.gr/news/syntonistiki-epitropi-gia-ta-thalassia-aiolika-parka-sygkrotei-yphen-basikos-rolos-i-epilogi>
10. energeia.gr (2021). Available at: <https://www.energia.gr/article/176038/29-gw-h-neaegkatesthmenh-ishys-yperaktion-aiolikon-sthn-eyroph-to-2020>

Διαδικτυακή πηγή εικόνας εξωφύλλου

1. <https://environmentamerica.org/center/resources/offshore-wind-for-america-3/>