

ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
με θέμα  
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ



ΜΕΛΕΤΗ  
ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ  
ΜΙΧΑΛΗΣ ΜΑΡΙΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Dr. ΒΑΡΕΛΙΔΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ  
ΠΟΛΕΟΔΟΜΟΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΩΝ Ε.Μ.Π.

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2016

# ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας έχει συνδεθεί με την έννοια της ανάπτυξης καθώς οδήγησε στην κατακόρυφη αύξηση των δυνατοτήτων του ανθρώπου στους διαφόρους τομείς της δραστηριότητάς του όπου αυτή χρησιμοποιήθηκε. Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθαρή και ήπια προς το περιβάλλον, που η χρήση της δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και αντικαθιστά ρυπογόνες πηγές ενέργειας.

Στα πλαίσια αυτά, η παρούσα εργασία εξετάζει διεξοδικά τις προοπτικές αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας σε χερσαίες ή παράκτιες περιοχές και συγκεκριμένα τη διασύνδεση τους στο δίκτυο. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή στις ΑΠΕ γενικότερα και την παρούσα κατάσταση τους σε Ελλάδα και Ευρώπη. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφερόμαστε στην δομή και λειτουργία της ανεμογεννήτριας.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι προϋποθέσεις κατασκευής ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου, οι τεχνικές απαιτήσεις για τη θεμελίωση και μεταφορά τους σε παράκτιες περιοχές.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτεταμένη αναφορά στις υπάρχουσες υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις σε όλο τον κόσμο και τις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα, αναφορικά με την υλοποίηση αντίστοιχων πάρκων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζουμε μια οικονομοτεχνική μελέτη κατασκευής αιολικού πάρκου στην περιοχή του Γυθείου.

## ABSTRACT

The use of wind energy is connected with the concept of development, led to a sharp increase of human capabilities in the various sectors of activity where it is used. Wind power is a renewable energy source, clean and gentle to the environment, the use of which does not burden the ecosystems of installation sites and replacing polluting energy sources.

In this context, this paper examines the prospects for the harnessing of wind power for electricity production in inland or coastal areas and in particular their connection to the network. The first chapter is a throwback to the RES in general and their current situation in Greece and Europe. In the second chapter we refer to the structure and operation of the wind turbine as well as an understanding of technology and how they work is essential knowledge that must exist for understanding the benefits and problems arising from their use.

The third chapter analyzes the construction prerequisites yperkatiou a wind farm, the technical requirements for the acquisition and transport in coastal areas, as well as the legal framework for RES and European development directions of wind farms.

In the fourth chapter is an extensive reference to existing offshore installations around the world and the conditions prevailing in Greece, concerning the implementation parks.

In the last chapter of work present a feasibility study wind farm in Gythio area.

## Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	10
1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	12
Εισαγωγή.....	12
1.1 Αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .....	12
1.2 Πρόωθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	19
1.3 Η Αιολική Ενέργεια σαν Ανανεώσιμη Πηγή .....	22
2. ΔΟΜΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ .....	30
Εισαγωγή.....	30
2.1 Αρχή Λειτουργίας Ανεμογεννήτριας.....	30
2.2 Μηχανικό Σύστημα Ανεμογεννήτριας.....	32
2.3 Ηλεκτρικό Σύστημα Ανεμογεννήτριας.....	35
2.3.1 Σύνδεση στο Ηλεκτρικό Δίκτυο.....	36
2.3.2 Αποθήκευση Παραγόμενης Ενέργειας.....	38
3. ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....	40
Εισαγωγή.....	40
3.1 Προδιαγραφές Παράκτιων Ανεμογεννητριών .....	40
3.1.1 Φάσμα φορτίου .....	41
3.1.2 Εξοπλισμός τουρμπίνας .....	42
3.2 Έργα Υποδομής – Θεμελιώσεις.....	42
3.3 Προδιαγραφές Υλικών Κατασκευής .....	44
3.4 Μεθοδολογία Εγκατάστασης Παράκτιων Ανεμογεννητριών .....	45
3.5 Νομοθετικό Πλαίσιο.....	47
3.5.1 Νόμος Ν. 2244/1994 «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» .....	47

3.5.2	Νόμος Ν. 2773/1999 «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας-Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις»	48
3.5.3	Νόμος Ν. 2941/2001 «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ και άλλες διατάξεις»	48
3.5.4	Νόμος Ν. 3017/2002 «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στην Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή κλίματος»	49
3.5.5	Νόμος Ν. 3175/2003 «Αξιοποίηση γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις»	49
3.5.6	Νόμος Ν. 3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις»	50
3.6	Επιπτώσεις στο Περιβάλλον	51
3.6.1	Θαλάσσιοι οργανισμοί	51
3.6.2	Μεταναστευτικά πουλιά	51
3.6.3	Θαλάσσιες Μεταφορές	52
3.6.4	Θόρυβος	52
4.	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε	53
	Εισαγωγή	53
4.1	Στατιστικά Στοιχεία	53
4.2	Βέλγιο	55
4.3	Δανία	58
4.4	Αγγλία	61
4.5	Σουηδία	63
4.6	Γερμανία	65
4.7	Ελλάδα	66
5.	ΜΕΛΕΤΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΓΥΘΕΙΟΥ	71

Εισαγωγή.....	71
5.1 Αιολικό Δυναμικό Περιοχής Μελέτης.....	71
5.2 Οικόπεδο Εγκατάστασης Θαλάσσιου Αιολικού Πάρκου .....	72
5.3 Διαδικασία Κατασκευής.....	74
5.4 Ανεμογεννήτρια Enercon E70 E4.....	77
5.5 Οικονομικά Στοιχεία .....	80
5.6.1 Χρηματοδότηση Έργου .....	80
5.6.2 Έξοδα Κατασκευής .....	80
5.6.3 Λειτουργικά Ετήσια Έξοδα.....	85
5.6.4 Ετήσια Έσοδα από την Πώληση Ηλεκτρικού Ρεύματος στο Δίκτυο της ΔΕΗ	86
5.6 Εργασίες Συντήρησης.....	87
5.7 Αποθήκευση Ενέργειας.....	88
5.8 Μέτρα Ασφαλείας .....	89
5.9.1 Πυρασφάλεια.....	89
5.9.2 Έκτακτες Ανάγκες .....	89
5.9.3 Ασφάλεια Εργαζομένων.....	89
5.9 Διάρκεια Ζωής Αιολικού Πάρκου.....	90
5.10 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις .....	91
5.11.1 Μείωση Αέριων Ρύπων.....	91
5.11.2 Επιπτώσεις από τον Θόρυβο .....	92
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	95

## Ευρετήριο Εικόνων

<b>Εικόνα 1</b> Εξέλιξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο απο το 1990 έως το 2011 .....	11
<b>Εικόνα 2</b> Η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας για το 2000, ήταν 424 exajouls, όπου οι Α.Π.Ε. κάλυπταν μόλις το 2,1% αυτής της παραγωγής .....	13
<b>Εικόνα 3</b> Όλες οι μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία συνολικά είναι 5,4 εκατομμύρια exajouls. Από αυτό το ποσό το 30% επιστρέφεται στο διάστημα.....	15
<b>Εικόνα 4</b> Ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	17
<b>Εικόνα 5</b> Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα 1987 - 2013 (MW).....	20
<b>Εικόνα 6</b> Αιολικό δυναμικό Ευρώπης σε κλάσεις ανέμων σε υψόμετρο 80μέτρων.....	24
<b>Εικόνα 7</b> Αιολικός χάρτης Ελλάδος σε m/s .....	25
<b>Εικόνα 8</b> Εγκατεστημένη Αιολική Ισχύς (MW) ανά παραγωγό αιολικής ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ Στατιστικά, 2012).....	27
<b>Εικόνα 9</b> Απλοποιημένο μηχανικό και ηλεκτρικό σύστημα της ανεμογεννήτριας.....	30
<b>Εικόνα 10</b> Διάγραμμα ανεμογεννητριών οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα αντίστοιχα .....	31
<b>Εικόνα 11</b> Μορφή Ανεμογεννήτριας .....	32
<b>Εικόνα 12</b> Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα .....	33
<b>Εικόνα 13</b> Vestas V80 σύνδεση τμημάτων ανεμογεννήτριας .....	34
<b>Εικόνα 14</b> Ανάλυση του ηλεκτρικού συστήματος της ανεμογεννήτριας.....	35
<b>Εικόνα 15</b> Διάφοροι τύποι θεμελιώσεων .....	43
<b>Εικόνα 16</b> Κατηγοριοποίηση περιοχών στον Ελλαδικό χώρο βάσει της μέσης ετήσιας αιολικής ταχύτητας.....	46
<b>Εικόνα 17</b> Χάρτης με τη θέση των αιολικών πάρκων στην Ευρώπη .....	54
<b>Εικόνα 18</b> Το μεγαλύτερο θαλάσσιο αιολικό πάρκο έχει ολοκληρωθεί στα νερά του λιμανιού Ostend στο αιολικό πάρκο Belwind του Βελγίου .....	55
<b>Εικόνα 19</b> Κατά τη διαδικασία τοποθέτησης των ανεμογεννητριών.....	56
<b>Εικόνα 20</b> Κατά τη διαδικασία τοποθέτησης των ανεμογεννητριών.....	57
<b>Εικόνα 21</b> Κατά τη διαδικασία τοποθέτησης των ανεμογεννητριών.....	57



<b>Εικόνα 22</b> Η θέση και το μέγεθος του υπεράκτιου αιολικού πάρκου Horns Rev 2 .....	58
<b>Εικόνα 23</b> Θέση του αιολικού πάρκου Horns Rev 2 .....	59
<b>Εικόνα 24</b> Θαλάσσιο Αιολικό Πάρκο στο Vindeby αποτελούμενο από 11 ανεμογεννήτριες.....	60
<b>Εικόνα 25</b> Η θέση του αιολικού πάρκου Thanet .....	61
<b>Εικόνα 26</b> Οι ανεμογεννήτριες έχουν 115μ. ύψος και καλύπτουν 35 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Σήμερα υπάρχουν περίπου 250 αιολικά πάρκα στη Βρετανία, από τα οποία τα δώδεκα είναι θαλάσσια .....	62
<b>Εικόνα 27</b> Θέση του υδάτινου αιολικού πάρκου Lillgrund στη Σουηδία .....	63
<b>Εικόνα 28</b> Πρώτη παράκτια ανεμογεννήτρια στο Nogensud της Σουηδίας το 1990 (Κατσίρος Α., 2013).....	64
<b>Εικόνα 29</b> Οι ανεμογεννήτριες και η πλατφόρμα του μετασχηματιστή.....	65
<b>Εικόνα 30</b> Το αιολικό δυναμικό στις 20 θαλάσσιες περιοχές της Ευρώπης ..	66
<b>Εικόνα 31</b> Οι περιοχές που έχουν επιλεγεί για την πρώτη απόπειρα κατασκευής υδάτινων αιολικών πάρκων .....	69
<b>Εικόνα 32</b> Αιολικό Δυναμικό στην περιοχή του Γυθείου .....	72
<b>Εικόνα 33</b> Χωροθέτηση των ανεμογεννητριών .....	73
<b>Εικόνα 34</b> Μηχανικά μέρη ανεμογεννήτριας Enercon E70 E4.....	78
<b>Εικόνα 35</b> Σκαρίφημα ανεμογεννήτριας Enercon E-70 .....	79

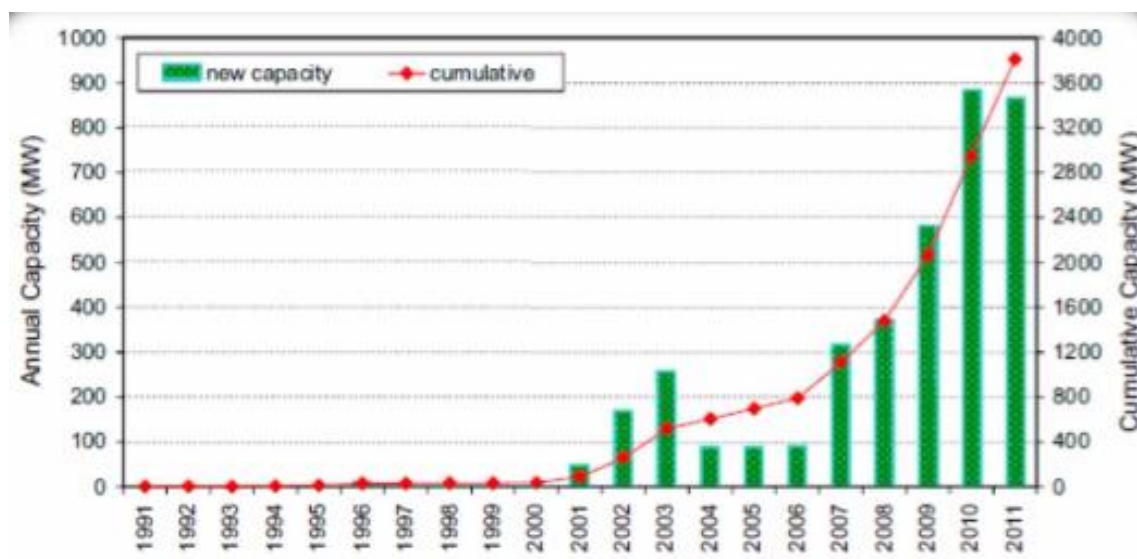
## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα αποτελούν μια νέα σχετικά παγκόσμια προσπάθεια αύξησης της παραγωγής ενέργειας από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η αιολική ενέργεια, όπως λέγεται, αποτελεί ανανεώσιμη μορφή ενέργειας δηλαδή η παραγωγή της δεν έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση στο περιβάλλον επιβλαβών ουσιών όπως διοξείδιο του άνθρακα, τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, υδρογονάνθρακες κ.ά. όπως συμβαίνει με άλλες πηγές ενέργειας (πετρέλαιο, λιγνίτης, πυρηνική ενέργεια κλπ.)

Η μέχρι τώρα πρακτική εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο ήταν η δημιουργία αιολικών πάρκων (δηλαδή η εγκατάσταση πολλών ανεμογεννητριών σε μία περιοχή) σε διάφορες περιοχές στη ξηρά. Με την νέα αυτή πρακτική των υπεράκτιων αιολικών πάρκων εγκαθίστανται ανεμογεννήτριες σε θαλάσσιες περιοχές αυξάνοντας έτσι κατά πολύ τις κατάλληλες περιοχές δημιουργίας αιολικών πάρκων. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται και η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας «φιλικής» προς το περιβάλλον από χώρες μικρές όπως η Ελλάδα όπου οι κατάλληλες περιοχές στη ξηρά για δημιουργία αιολικών πάρκων είναι περιορισμένες ενώ από την άλλη πλευρά διαθέτει ατελείωτες θαλάσσιες περιοχές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αυτό το σκοπό. Επίσης, έχει βρεθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτή στην ξηρά γεγονός που κάνει αποδοτικότερη τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας.

Σε παγκόσμιο επίπεδο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι ακόμα σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με αυτή που παράγεται από πάρκα της ξηράς. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία (Ιούνιος 2010) του Ινστιτούτου για την Ενέργεια (Institute for Energy) το ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, σε όλο τον κόσμο, από υπεράκτια αιολικά πάρκα σε σχέση με τα πάρκα της ξηράς είναι 1,2%. Πράγματι, μέχρι το τέλος του 2009, η ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε σε όλο τον κόσμο από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας ήταν 160 GW (ή αλλιώς 340 TWh δηλαδή το 2% της παγκόσμιας ανάγκης σε ηλεκτρική ενέργεια) από αυτή, μόνο τα 2 GW παράχθηκαν από ανεμογεννήτριες του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Το ότι το θαλάσσιο περιβάλλον δίνει περισσότερη ελευθερία στην εύρεση κατάλληλης περιοχής για εγκατάσταση αιολικού πάρκου δεν σημαίνει ότι η επιλογή της περιοχής γίνεται αυθαίρετα. Για να επιλεγεί κάποια περιοχή πρέπει να πληρεί κάποια βασικά κριτήρια τα οποία θέτονται από την εκάστοτε χώρα. Συνήθως τα κριτήρια αυτά έχουν να κάνουν με το βάθος (συνήθως έως 50 μέτρα, την απόσταση από την ακτή (συνήθως μέχρι 10 χιλ.), την οπτική όχληση από την ακτή, αν η περιοχή είναι προστατευόμενη, ικανοποιητική ταχύτητα ανέμου κ.ά.



**Εικόνα 1** Εξέλιξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο απο το 1990 έως το 2011<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Κατσιρός, Τεχνολογία και Ανάπτυξη Παράκτιων Αιολικών Πάρκων και Τρόποι Διασύνδεσης στο Δίκτυο της ΔΕΗ, ΤΕΙ Πειραιά, 2013

# **1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

## **Εισαγωγή**

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας εστιάζει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Γνωρίζουμε ότι δεν εξαντλούνται και η αξιοποίησή τους επιτυγχάνεται με μεθόδους, οι οποίες δεν επιβαρύνουν σημαντικά το περιβάλλον. Τα οφέλη που παρουσιάζουν είναι ποικίλα και η ενότητα αυτή θα μελετήσει βασικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, αναλύεται η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η προώθησή τους, σε συνδυασμό με την αιολική ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή.

### **1.1 Αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ορίζονται οι ενεργειακές πηγές που αφθονούν στο φυσικό περιβάλλον και είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που εφάρμοσε ο άνθρωπος. Οι επονομαζόμενες ΑΠΕ είναι ανεξάντλητες και η χρήση τους δεν ρυπαίνει το φυσικό περιβάλλον. Είναι σκόπιμο να σημειωθεί ότι η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνο από την ανάπτυξη αποδεδειγμένων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα επιδιώκουν τη δέσμευση του δυναμικού τους. Από το 1974 και έπειτα κορυφώθηκε το ενδιαφέρον για την εξέλιξη των τεχνολογιών αυτών και οριστικοποιήθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των σοβαρών και επικίνδυνων προβλημάτων του φυσικού περιβάλλοντος σε διεθνές επίπεδο.

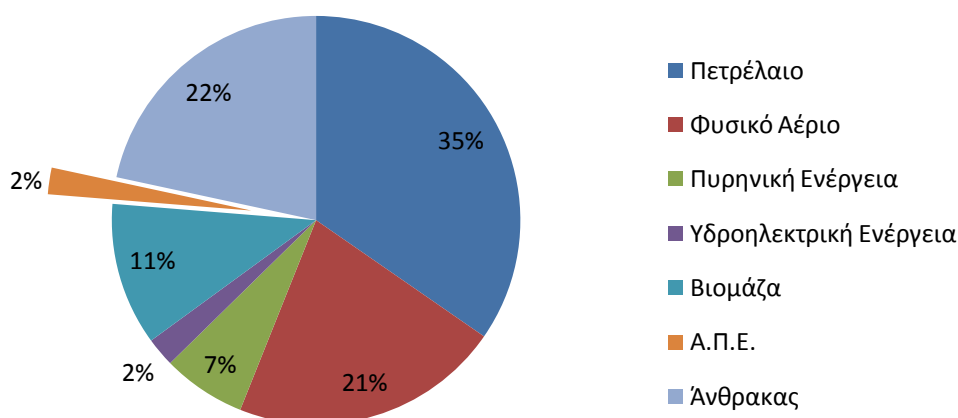
Οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ωφέλιμες προοπτικές για το ενεργειακό τους ισοζύγιο. Με τον τρόπο αυτό συνεισφέρουν στη μείωση της εξάρτησης από το μεγάλης αξίας εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Ταυτόχρονα, σημαντική είναι η συμβολή των ΑΠΕ στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, αφού ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος είναι ο ενεργειακός τομέας.

Μάλιστα, προκειμένου να ανταποκριθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση στον μακρόπνοο στόχο που τέθηκε το 1992 στη συνδιάσκεψη του Ρίο για το Περιβάλλον και την

Ανάπτυξη είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ, ώστε να περιορίσει έως το έτος 2000 τους ρύπους του διοξειδίου του άνθρακα στα επίπεδα του 1993.

Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι ακόλουθες:

- ο ήλιος - ηλιακή ενέργεια, με υποτομείς τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και τη φωτοβολταϊκή μετατροπή,
- ο άνεμος - αιολική ενέργεια,
- οι υδατοπτώσεις - υδραυλική ενέργεια, με περιορισμό στα μικρά υδροηλεκτρικά, ισχύος κάτω των 10 MW,
- η γεωθερμία - γεωθερμική ενέργεια: υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας,
- η βιομάζα: θερμική ή χημική ενέργεια με την παραγωγή βιοκαυσίμων, τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων,
- οι θάλασσες: ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια των ωκεανών από τη διαφορά θερμοκρασίας των νερών στην επιφάνεια και σε μεγάλο βάθος.



**Εικόνα 2** Η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας για το 2000, ήταν 424 exajoules<sup>2</sup>, όπου οι Α.Π.Ε. κάλυπταν μόλις το 2,1% αυτής της παραγωγής<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Exajoules = 3\*million joules

<sup>3</sup> United Nations, World Population Prospects, the 2000 Revision, New York : UN Population Division, Department of Economic and Social Affairs, 2001

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας παρουσιάζουν δύο βασικά χαρακτηριστικά:

- Για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά τις Α.Π.Ε. ανεξάντλητες, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς τα αποθέματα της ανθρωπότητας σε ορυκτά καύσιμα και ουράνιο έχουν αρχίσει να εξαντλούνται
- Αφορά «καθαρές» μορφές ενέργειας, οι οποίες είναι ιδιαίτερα φιλικές στο περιβάλλον. Ακόμη, δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, συγκριτικά με αυτό που συμβαίνει στις συμβατικές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα

-

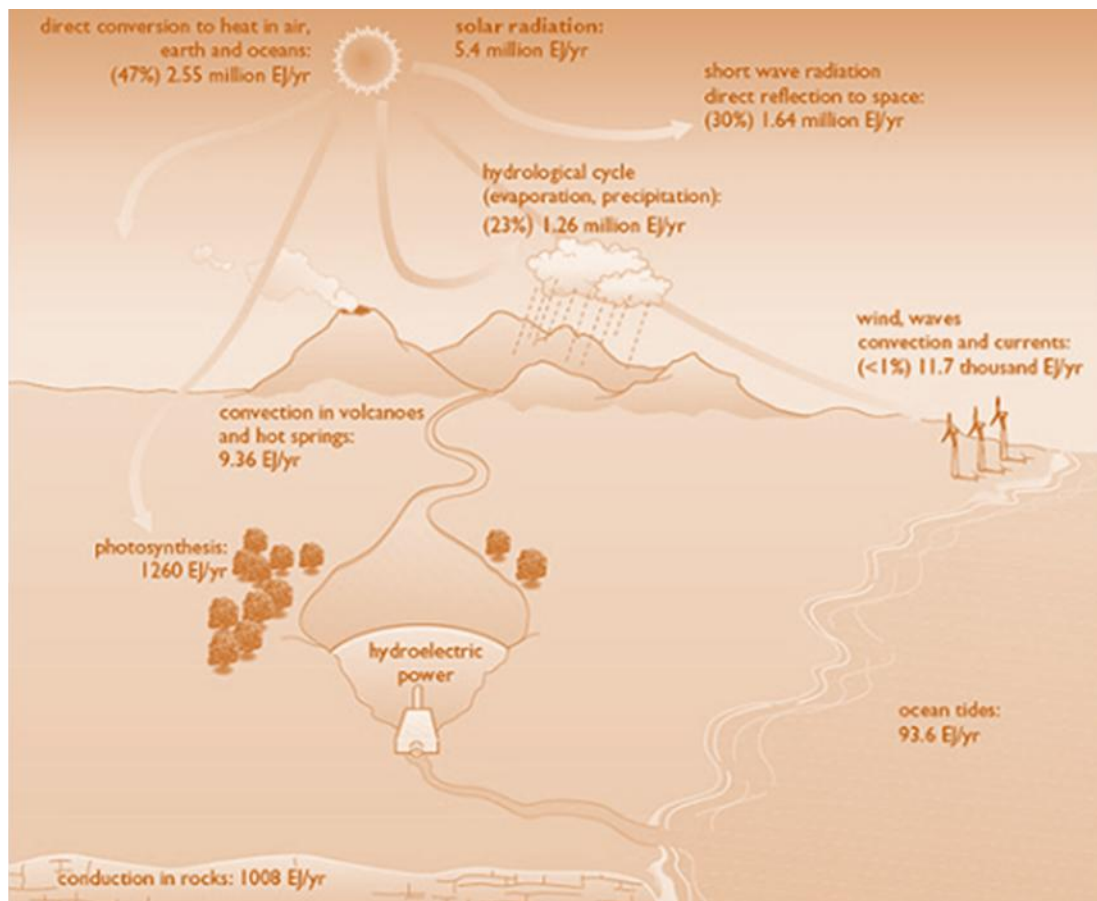
Ουσιαστικά, στην ηλιακή ακτινοβολία στηρίζονται οι Α.Π.Ε.. Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί εξαίρεση, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης και την ενέργεια από τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Συνεπώς, η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική ενέργεια εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται από τη θέρμανση του αέρα, ενώ οι Α.Π.Ε. που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Οι βασιζόμενες πηγές ενέργειας στην ηλιακή ακτινοβολία είναι ανανεώσιμες και αυτό δικαιολογείται από την ύπαρξη του ήλιου, που επιτρέπει την ύπαρξή τους<sup>4</sup>.

---

Vestas V V80-2.0MW - 2007

<sup>4</sup> United Nations, World Population Prospects, the 2000 Revision, New York : UN Population Division, Department of Economic and Social Affairs, 2001

Vestas V V80-2.0MW - 2007



**Εικόνα 3** Όλες οι μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία συνολικά είναι 5,4 εκατομμύρια exajoules. Από αυτό το ποσό το 30% επιστρέφεται στο διάστημα<sup>5</sup>

Η δυνατότητα εφαρμογής και χρήσης τους των Α.Π.Ε. είναι άμεση (κυρίως για θέρμανση) ή μετατρέπόμενη, σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Με βάση τα στατιστικά στοιχεία, το εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις Α.Π.Ε. είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας.

Η ανάπτυξη του τομέα κατά ένα μέρος εμποδίστηκε από το αυξημένο κόστος των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά - κατασκευαστικά προβλήματα εφαρμογής, καθώς και τα συμφέροντα που θίγονται (οικονομικά και πολιτικά) από την εισαγωγή των νέων μεθόδων. Ειδικά στη χώρα μας, που έχει ιδανική μορφολογία και κατάλληλο κλίμα για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η

<sup>5</sup> United Nations, World Population Prospects, the 2000 Revision, New York : UN Population Division, Department of Economic and Social Affairs, 2001

αξιοποίηση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα συνέβαλε καταλυτικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας<sup>6</sup>.

Οι Α.Π.Ε. αρχικά ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές και το κόστος τους ήταν ιδιαίτερα αυξημένο. Ωστόσο, στη σημερινή εποχή, λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των αναπτυσσόμενων κρατών για την ενέργεια και, αν και προς το παρόν αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, πραγματοποιούνται βήματα για την εκτενέστερη αξιοποίησή τους. Βαθμιαία μειώνεται το κόστος των εφαρμογών τους τα τελευταία είκοσι χρόνια και, ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, καθώς και η βιομάζα, μπορούν να ανταγωνίζονται εξίσου παραδοσιακές πηγές ενέργειας, όπως είναι ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α., ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει τεθεί ως στόχος μέχρι το 2020 το 60% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα)<sup>7</sup>.

Το γεγονός ότι οι Α.Π.Ε. μπορούν να συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, αποτελώντας την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου, συνέβαλε στην προώθησή τους στη διεθνή ενεργειακή αγορά. Είναι προφανές ότι χώρες με μεγάλα αποθέματα στις πρωταρχικές μορφές ενέργειας έχουν συνήθως την τάση να χρησιμοποιούν αυτό το πλεονέκτημα ως μέσο για πολιτικό και οικονομικό έλεγχο των υπολοίπων. Παράδειγμα τέτοιων συνεπειών είναι η πολιτική και οικονομική κατάσταση που έχει εδραιωθεί στη Μέση Ανατολή. Οι Α.Π.Ε., όμως, αποτελούν ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας παράλληλα την ανάγκη για τεράστιες μονάδες ενεργειακής παραγωγής, αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Ταυτόχρονα, υποβοηθείται η αποκέντρωση και η ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας σε κάθε περιοχή όπου εγκαθίστανται τέτοιου είδους μονάδες<sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> Ρόκκου & Τσιούτρα, Σύγκριση Αιολικού Πάρκου & Πυρηνικού Σταθμού [Βιβλίο]. - Θεσσαλονίκη : Α.Π.Θ. Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Μηχανικών Υπολογιστών, 2010

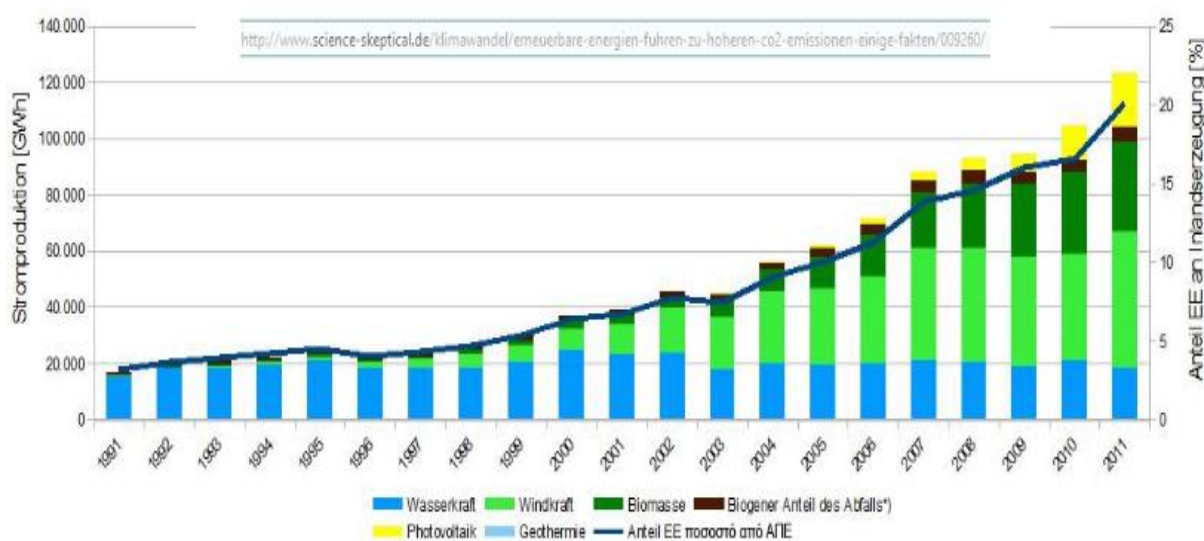
<sup>7</sup> Γκίκα, Μοντελοποίηση Ηλεκτρονικών Μεταρτοπέων Ευρεώς Χρησιμοποιούμενων σε Ανεμογεννήτριες Μεταβλητών Στροφών [Βιβλίο]. - Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

<sup>8</sup> Αργυρόπουλος, Κίνητρα για την εξάπλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Ανάλυση και προτάσεις: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 1992



Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα είναι ο απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση εξοπλισμός τους. Εξάλλου, το μηδενικό κόστος πρώτης ύλης, σε συνδυασμό με τις μικρές έως ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης που εμφανίζουν, συνεπάγεται περιορισμένο κόστος λειτουργίας. Έτσι, αντισταθμίζεται σε μεγάλο βαθμό το μέχρι σήμερα μειονέκτημα του αυξημένου κόστους που απαιτείται για την εγκατάσταση των μονάδων εκμετάλλευσής τους<sup>9</sup>.

Ωστόσο, οι Α.Π.Ε. διαθέτουν έναν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Κατ' ουσίαν, αυτό υποδηλώνει ότι απαιτείται ένα μεγάλο σύνολο εγκαταστάσεων και, συνεπώς, ένα αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, μέχρι τώρα, δεν εφαρμόζονται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μεγάλων αστικών κέντρων, αλλά ο ρόλος τους αφορά συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.



**Εικόνα 4** Ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας<sup>10</sup>

Εκτός από αυτό, η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας καθορίζονται από την εποχή του έτους, καθώς και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.

<sup>9</sup> Παπανδρέου, Μελέτη Παραμέτρων Ανεμογεννήτριας και Εφαρμογή για Παράκτιο Αιολικό Πάρκο στη Λήμνο - Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2011

<sup>10</sup> United Nations, World Population Prospects, the 2000 Revision, New York : UN Population Division, Department of Economic and Social Affairs, 2001  
Vestas V V80-2.0MW - 2007

Παραδείγματος χάρη, τα φωτοβολταϊκά πάνελ σημειώνουν αυξημένη ή μειωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με την ηλιοφάνεια που παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Από την άλλη πλευρά, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας, αλλά αποτελεί συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. Επικρατεί η άποψη ότι οι ανεμογεννήτριες επηρεάζουν το περιβάλλον από αισθητική άποψη και ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους, και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα), αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί<sup>11</sup>.

Σημαντική εναλλακτική αποτελούν μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ) που μετατρέπουν τη δυναμική ενέργεια του τρεχούμενου νερού σε ηλεκτρική, συγκριτικά με θερμικούς και πυρηνικούς σταθμούς. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν παρουσιάζουν τα μειονεκτήματα των πεπερασμένων αποθεμάτων, εκπομπών ή αποβλήτων. Ωστόσο, είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί η ζήτηση σε παγκόσμιο επίπεδο με μεγάλους ΥΗΣ, γιατί στις ανεπτυγμένες χώρες, ως επί το πλείστον, το υδραυλικό δυναμικό ήδη χρησιμοποιείται και προκειμένου να αυξηθεί το μερίδιο των ΥΗΣ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θα έπρεπε να κατασκευαστούν ΥΗΣ σε απόμακρες τοποθεσίες, οι οποίες στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δύσκολο να προσεγγιστούν<sup>12</sup>.

Συνάμα, είναι εξαιρετικά δύσκολη η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας για δύο λόγους. Αρχικά, διότι το κόστος και η πολυπλοκότητα του συστήματος μεταφοράς αυξάνεται χάρη στις μεγάλες αποστάσεις και, κατά δεύτερον, διότι σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει να διασχιστούν πολιτικά ασταθείς περιοχές με ζωντανό τον κίνδυνο των σαμποτάζ των γραμμών μεταφοράς. Πολλές φορές, η κατασκευή φραγμάτων και τεχνητών λιμνών για τους ΥΗΣ προκαλεί την καταστροφή τοπικών οικοσυστημάτων και είναι πιθανό να οδηγήσει σε αναγκαστική μετακίνηση κατοίκων. Όσον αφορά τα υδροηλεκτρικά έργα, επικρατεί η άποψη ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό, και με τον τρόπο αυτό συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παρόλο που τα μεγάλα υδροηλεκτρικά

---

<sup>11</sup> Γκίκα, Μοντελοποίηση Ηλεκτρονικών Μεταρτοπέων Ευρείας Χρησιμοποιούμενων σε Ανεμογεννήτριες Μεταβλητών Στροφών - Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

<sup>12</sup> Πάτης, Κατασκευή Λειτουργία & Συντήρηση Πάρκων Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα. - Κρήτη : ΤΕΙ Κρήτης, 2009

υπερέχουν των θερμικών και πυρηνικών σταθμών ως προς το θέμα των εκπομπών και των αποθεμάτων, έχουν άλλου είδους επιπλοκές, ιδιαίτερα στον περιβαλλοντικό τομέα.

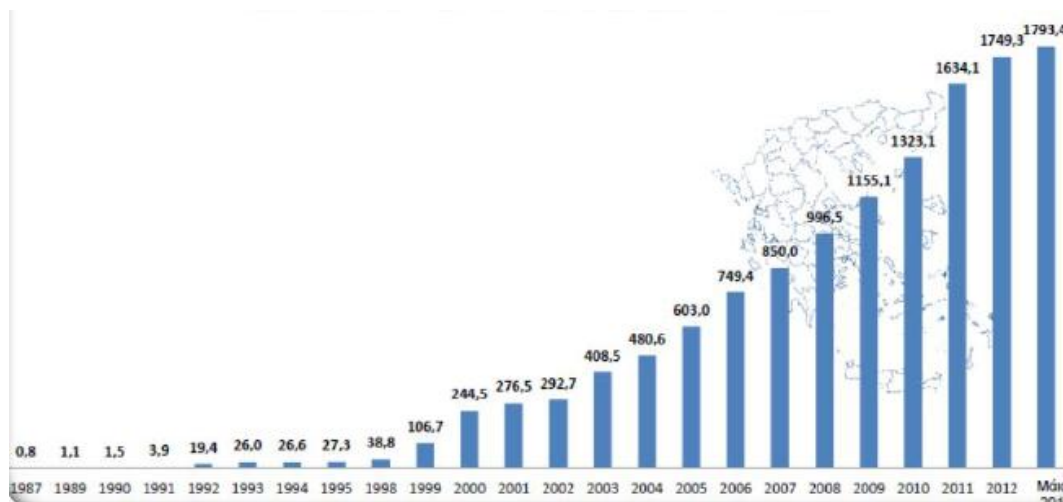
Αναλυτικά, τα είδη των Α.Π.Ε. είναι τα ακόλουθα:

- Αιολική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενέργεια από παλίρροια
- Ενέργεια από θαλάσσια κύματα
- Ενέργεια από τους ωκεανούς (ακόμα στο στάδιο της έρευνας)

## **1.2 Πρόωθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

Ως «αιολική ενέργεια» ορίζεται η κινητική ενέργεια του ανέμου. Δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Απόρροια της ανομοιόμορφης θέρμανσης της επιφάνειας της γης είναι η δημιουργία αέριων μαζών με διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι θερμές αέριες μάζες ως ελαφρύτερες από τις ψυχρές έχουν την τάση να απομακρύνονται από τη γη και να κατευθύνονται προς τα ανατολικά. Η μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μία περιοχή στην άλλη, δημιουργεί τους ανέμους. Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεδομένου ότι αφ' ενός δε ρυπαίνει το περιβάλλον και αφ' ετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη. Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της. Σύμφωνα με τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τόση που θα

μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια<sup>13</sup>.



**Εικόνα 5** Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα 1987 - 2013 (MW).<sup>14</sup>

Στα νησιά του Αιγαίου, στην Κρήτη και στη Στερεά Ελλάδα, οι μέσες ταχύτητες ανέμου είναι 6 - 7 m/sec. Αυτό έχει ως συνέπεια το κόστος της παραγόμενης ενέργειας να είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό και για τον λόγο αυτό παρατηρείται πληθώρα έργων εκμετάλλευσης στις περιοχές αυτές. Στη σημερινή πραγματικότητα, η παραγωγή ηλεκτρισμού από τον άνεμο είναι ελκυστική για ποικίλους λόγους. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η πιο φτηνή από όλες τις υπάρχουσες ήπιες μορφές και είναι ανεξάντλητη. Η παραγωγή ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια κατά τα 20 χρόνια λειτουργίας της ισοδυναμεί με την 80πλάσια ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κατασκευή, λειτουργία και καταστροφή της όταν αυτή κριθεί ανενεργή<sup>15</sup>.

Από τα πρώιμα ιστορικά χρόνια ξεκίνησε η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου και διαδραμάτισε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας. Αυτό επιτεύχθηκε με τη χρήση της τόσο στη ναυτιλία όσο και

<sup>13</sup> Μπαστάκη & Παπαδάκη, Αξιολόγηση Αιολικού Χάρτη της Κρήτης με στοιχεία Ανέμου από Αιολικά Πάρκα σε λειτουργία- Κρήτη : Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2010

<sup>14</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

<sup>15</sup> Ρόκκου & Τσιούτρα, Σύγκριση Αιολικού Πάρκου & Πυρηνικού Σταθμού- Θεσσαλονίκη : Α.Π.Θ. Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Μηχανικών Υπολογιστών, 2010

στην άρδευση, καθώς και στις αγροτικές καλλιέργειες. Κατά τη διάρκεια του 17ου αιώνα, η ανακάλυψη των ατμοστρόβιλων ξεκίνησε να αντικαθιστά τους ανεμόμυλους. Αποτέλεσαν τον πρόγονο της ανεμογεννήτριας, ενώ τον επόμενο αιώνα πραγματοποιήθηκε από τους Δανούς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο<sup>16</sup>.

Η ανταγωνιστική θέση των εφαρμογών της αιολικής ενέργειας έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας ενισχύεται και από τα οικονομικά στοιχεία για το κόστος παραγωγής ενέργειας. Το κόστος της αιολικής kWh υπολείπεται σημαντικά του κόστους των συμβατικών καυσίμων και επιπλέον το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει, κατά κάποιον τρόπο, μία «ύστερη» περίοδο ωριμότητας. Συγκεκριμένα, η εκμετάλλευση της κινητικής ενεργείας του άνεμου γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων που την μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια, και μέσω ανεμογεννητριών, ανεμοκινητήρων δηλαδή που διαθέτουν ηλεκτρογεννήτρια που την μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενεργεία<sup>17</sup>.

Όπως προκύπτει, βασικά οφέλη των συμβατικών μεθόδων παραγωγής συνιστούν η τιμή του παραγόμενου ηλεκτρισμού, η ελεγχιμότητα και η ευελιξία της εξόδου τους. Από την άλλη πλευρά, από πρωτογενείς πηγές προέρχονται οι Α.Π.Ε. ενέργειας, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος ή η βιομάζα και συνοδεύονται από μικρότερες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις. Σε διεθνές επίπεδο, πολλές κυβερνήσεις έχουν την τάση να αξιολογούν καλύτερα τα οφέλη των Α.Π.Ε., υποστηρίζοντας την αύξηση του μεριδίου των τελευταίων στην κάλυψη της ζήτησης με διάφορους τρόπους, οι οποίοι αποσκοπούν κυρίως στη μείωση του κόστους και την επίτευξη αυξημένης ελεγχιμότητας. Τις περισσότερες φορές, το μειονέκτημα του κόστους περιορίζεται με κάποια μορφή κρατικής επιχορήγησης, όπως η πίεση που ασκείται στις ηλεκτρικές εταιρείες να αγοράζουν από Α.Π.Ε. σε μία εγγυημένη τιμή που δε βασίζεται στην πραγματική τιμή της ενέργειας, αλλά η οποία υπολογίζεται έτσι ώστε η παραγωγική διαδικασία του σταθμού ανανεώσιμης πηγής ενέργειας να είναι κερδοφόρα. Διακανονισμοί σαν αυτόν θα οδηγήσουν σε μία γενική αύξηση της τιμής του ηλεκτρισμού, σαν αποτέλεσμα του οποίου όλοι οι καταναλωτές

---

<sup>16</sup> Μπαστάκη & Παπαδάκη, Αξιολόγηση Αιολικού Χάρτη της Κρήτης με στοιχεία Ανέμου από Αιολικά Πάρκα σε λειτουργία- Κρήτη : Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2010

<sup>17</sup> Ταουλαντ, Μελέτη Ανάπτυξης Αιολικού Πάρκου στη Κρήτη- Κρήτη : Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2010

πληρώνουν το πρόσθετο κόστος του ηλεκτρισμού που παράγεται από Α.Π.Ε., εκτός εάν οι ηλεκτρικές εταιρείες είναι σε θέση να πουλήσουν αυτήν την ενέργεια σαν πράσινη ενέργεια σε μια έξτρα τιμή.<sup>18</sup>

Το μειονέκτημα της μη ελεγχιμότητας αντιμετωπίζεται με την εξαίρεση αυτών των σταθμών παραγωγής από τη διαδικασία ελέγχου της ισορροπίας του συστήματος. Όλοι οι παραγωγοί που θέλουν να συνδεθούν στο δίκτυο πρέπει να πληρούν τα λεγόμενα «κριτήρια σύνδεσης» της εταιρείας που ελέγχει το δίκτυο. Αυτά περιλαμβάνουν απαιτήσεις σχετικά με την αλληλεπίδραση μεταξύ γεννήτριας και δικτύου. Για να εξασφαλίζεται η ισορροπία μεταξύ παραγωγής και ζήτησης, η οποία είναι απαραίτητη για την ισορροπία του συστήματος, μεταξύ άλλων στα παραπάνω κριτήρια περιλαμβάνεται και η δυνατότητα ελέγχου των γεννητριών. Παρ' όλα αυτά, κάποιες φορές οι Α.Π.Ε. εξαιρούνται από αυτόν τον περιορισμό που έχει να κάνει με τον έλεγχο της παραγόμενης ενέργειας.

Με τον τρόπο αυτόν, τουλάχιστον από την πλευρά του παραγωγού, το μειονέκτημα της μη ελεγχιμότητας ακυρώνεται και δεν είναι υποχρεωμένος να λάβει πρόσθετα μέτρα για τον έλεγχο της παραγωγής προκειμένου να συνδεθεί στο δίκτυο, π.χ. μέσω συστήματος αποθήκευσης ή εφεδρικής γεννήτριας. Στην πραγματικότητα, το πρόβλημα μεταφέρεται στους διαχειριστές των ελεγχόμενων μονάδων, καθώς η τεχνική προαπαιτία για ισορροπία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής δεν επηρεάζεται από την αλλαγή των απαιτήσεων σύνδεσης.

### **1.3 Η Αιολική Ενέργεια σαν Ανανεώσιμη Πηγή**

Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη σε σχέση με όλες τις άλλες Α.Π.Ε. Αυτό συμβαίνει επειδή παρατηρείται διαρκής βελτίωση της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών, και συνάμα, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια σε τιμές συγκρίσιμες με αυτές των συμβατικών μονάδων και σε

---

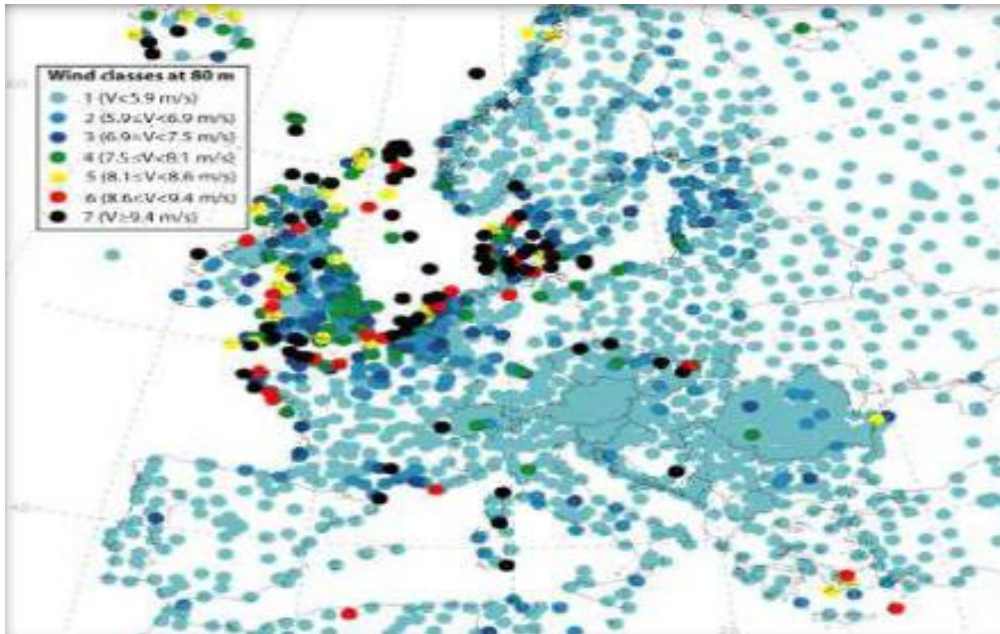
<sup>18</sup> Κωνσταντέλου, Χωροθέτηση Αιολικών Σταθμών στο Νομό Λακωνίας - Προβλήματα – Προοπτικές, Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2009  
Άλλο παράδειγμα είναι οι επιχορηγήσεις που δίνονται στους παραγωγούς, οι οποίες διαμοιράζουν την επιβάρυνση που σχετίζεται με τις Α.Π.Ε. σε όλους τους φορολογούμενους. Μια ακόμη προσέγγιση του προβλήματος αυτού είναι μέσω της αυξημένης φορολογίας των συμβατικών μεθόδων παραγωγής ηλεκτρισμού, αυξάνοντας έτσι το κόστος παραγωγής τους, και άρα κάνοντας πιο εύκολο το πεδίο ανταγωνισμού για τις Α.Π.Ε.

μεγάλες σχετικά ισχύεις. Για τον λόγο αυτό, η προώθηση από πολλές κυβερνήσεις των Α.Π.Ε., οδήγησε σε μεγάλη αύξηση την παραγωγή αιώλική ενέργεια στην Ευρώπη και τον υπόλοιπο κόσμο. Ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 που άρχισε η εγκατάσταση των πρώτων ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέχρι και τα τέλη του 2004, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε όλο τον κόσμο προσέγγισε τα 50000 MW. Από αυτά, τα 34205 MW, βρίσκονταν στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Κατά το έτος 1994, οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ξεπέρασαν τις Η.Π.Α. σε συνολική εγκατεστημένη ισχύ, με πρωτοπόρες τη Δανία, την Ολλανδία και την Αγγλία.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, διαχρονικά βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα στον τομέα της παραγωγής Αιώλικης Ενέργειας, προσπερνώντας ακόμα και κατά πολύ αισιόδοξους στόχους εξέλιξης που η ίδια κατά καιρούς είχε θέσει. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, είναι ο στόχος της Λευκής Βίβλου το 1997 για συνολικά 40 GW ισχύς το 2010, τα οποία τελικά επιτεύχθηκαν πέντε χρόνια νωρίτερα, το 2005. Το 2010 η τελική πραγματική ισχύς, ήταν υπερδιπλάσια του στόχου, φτάνοντας τα συνολικά 84,6 GW, ενώ το 2012 έφτασε τα 106 GW. Παράλληλα, βρίσκεται σε εξίσου υψηλό επίπεδο τεχνολογίας και τεχνογνωσίας πάνω στην Αιώλική Ενέργεια, έχοντας πολλές εταιρίες, με έδρα σε κράτη-μέλη, που κατατάσσονται στους 10 μεγαλύτερους κατασκευαστές ανεμογεννητριών παγκοσμίως.

Η ευρωπαϊκή ήπειρος έχει πολύ υψηλό μέσο αιώλικό δυναμικό, γεγονός που ώθησε την καθιέρωση της Αιώλικης Ενέργειας από νωρίς στις πρώτες θέσεις των Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας. Το δυναμικό, σε υψόμετρο 80 μέτρων, παρουσιάζεται στην εικόνα 6 παρακάτω. Οι μέγιστες τιμές, των τάξεων του ανέμου στην κλίμακα της εικόνας ( $> 9,4\text{m/s}$ ), βρίσκονται κατά κύριο λόγο στο νότιο τμήμα της Σκανδιναβικής Χερσονήσου και στην ευρύτερη περιοχή περιμετρικά και εντός του Ηνωμένου Βασιλείου. Αντίστοιχα υψηλό δυναμικό εντοπίζεται στα δυτικά παράλια της Γαλλίας, στην Ισλανδία, στα σύνορα της Πολωνίας με την Τσεχία και την Σλοβακία, στην Σαρδηνία και στην Κορσική, στην Βοσνία κ.α.



**Εικόνα 6** Αιολικό δυναμικό Ευρώπης σε κλάσεις ανέμων σε υψόμετρο 80μέτρων<sup>19</sup>

Η βιομηχανία Αιολικής Ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκεται σε πολύ υψηλό επίπεδο έχοντας μερικές από τις μεγαλύτερες εταιρίες του χώρου παγκοσμίως (Vestas, Iberdrola, Enercon, Gamesa), μεγάλη συμμετοχή στο συνολικό Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν, μεγάλα έσοδα για την Ένωση από φόρους και εξαγωγές, ενώ στον αντίποδα οδηγεί σε ελάχιστες εισαγωγές. Η εξαργύρωση αυτού του επιπέδου γίνεται «οικουμενικά» από την ίδια την Ένωση, από τα κράτη-μέλη ξεχωριστά, αλλά και από κάθε άμεσα ή έμμεσα εμπλεκόμενη με την βιομηχανία Αιολικής Ενέργειας, ιδιωτική ή δημόσια επιχείρηση<sup>20</sup>.

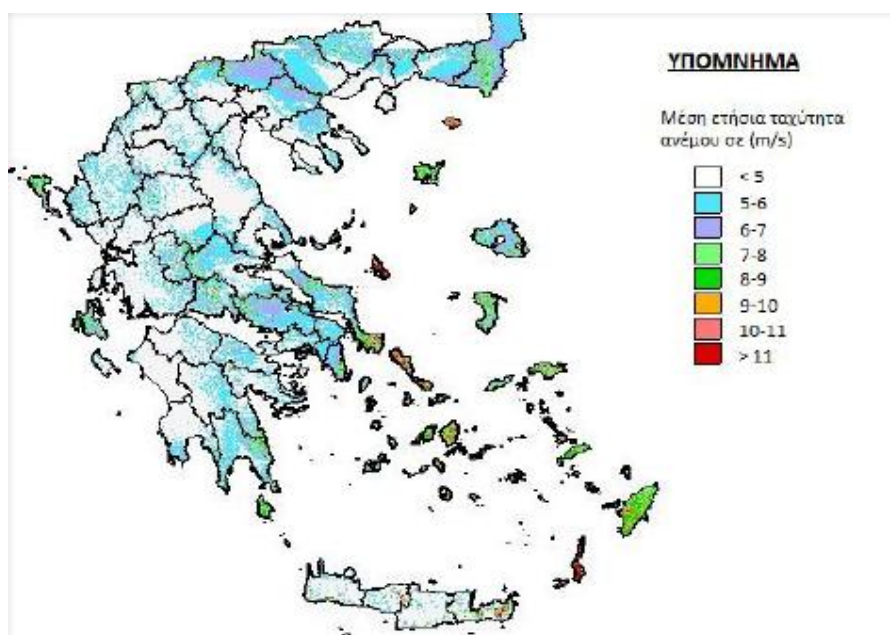
Στα χρόνια της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης, η ευρωστία του κλάδου της Αιολικής Ενέργειας και το επενδυτικό δυναμικό της, τείνει να συμβάλει ουσιαστικά στην ανάκαμψη της οικονομίας της Ευρώπης. Στον βιομηχανικό τομέα της Αιολικής Ενέργειας, για το 2010 υπολογίζεται ότι οι εξαγωγές έφτασαν τα 8.830.000.000 Ευρώ, οι φόροι που δόθηκαν τα 3.590.000.000 Ευρώ, ενώ η άμεση ή έμμεση συμμετοχή στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν της Ευρωπαϊκής Ένωσης έφτασε τα συνολικά 32.430.000.000 Ευρώ, με

<sup>19</sup> Πηγή: Κασιός, Τεχνολογία και Ανάπτυξη Παράκτιων Αιολικών Πάρκων και Τρόποι Διασύνδεσης στο Δίκτυο της ΔΕΗ, ΤΕΙ Πειραιά, 2013

<sup>20</sup> Κασιός, Τεχνολογία και Ανάπτυξη Παράκτιων Αιολικών Πάρκων και Τρόποι Διασύνδεσης στο Δίκτυο της ΔΕΗ, ΤΕΙ Πειραιά, 2013  
<http://docplayer.gr/4719536-Thema-tehnologia-kai-anaptyxi-paraktion-aiolikon-parkon-kai-tropoi-diasyndesis-toys-sto-diktyo-tis-dei.html>



εκτιμήσεις να κάνουν λόγο ότι για το 2030, το ποσό αυτό θα «εκτοξευτεί» στα 173.000.000.000 Ευρώ με δυνατότητες για ακόμα μεγαλύτερη αύξηση<sup>21</sup>.



Εικόνα 7 Αιολικός χάρτης Ελλάδος σε m/s <sup>22</sup>

Στην Ελλάδα η κατάσταση δεν είναι αρκετά ικανοποιητική, παρόλο που λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού που διαθέτει η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει σημαντικό μοχλό για την ανάπτυξη της. Παρά το μεγάλο αιολικό δυναμικό που έχει η χώρα μας, μόνο το 1,7% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας καλύφθηκε το 2003 από αιολική παραγωγή. Μετά την υπογραφή του Κιότο το Δεκέμβριο του 1997, η Ελλάδα, ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ακολουθεί πλέον την ευρωπαϊκή πολιτική αναφορικά με την εκπομπή αερίων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Απώτερος στόχος είναι η επίτευξη ποσοστού 20% διείσδυσης Α.Π.Ε. στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και το 2010. Για τον λόγο αυτό παρέχεται πληθώρα κινήτρων στους ανεξάρτητους παραγωγούς, μεταξύ των οποίων επενδυτικές επιχορηγήσεις, εγγυημένη σύνδεση στο δίκτυο, μακροπρόθεσμα συμβόλαια, κ.ά.

Επιπρόσθετα, η απελευθέρωση των ενεργειακών αγορών με την κατάργηση του καθετοποιημένου συστήματος παραγωγής-μεταφοράς-διανομής παρέχει

<sup>21</sup> Ο.π

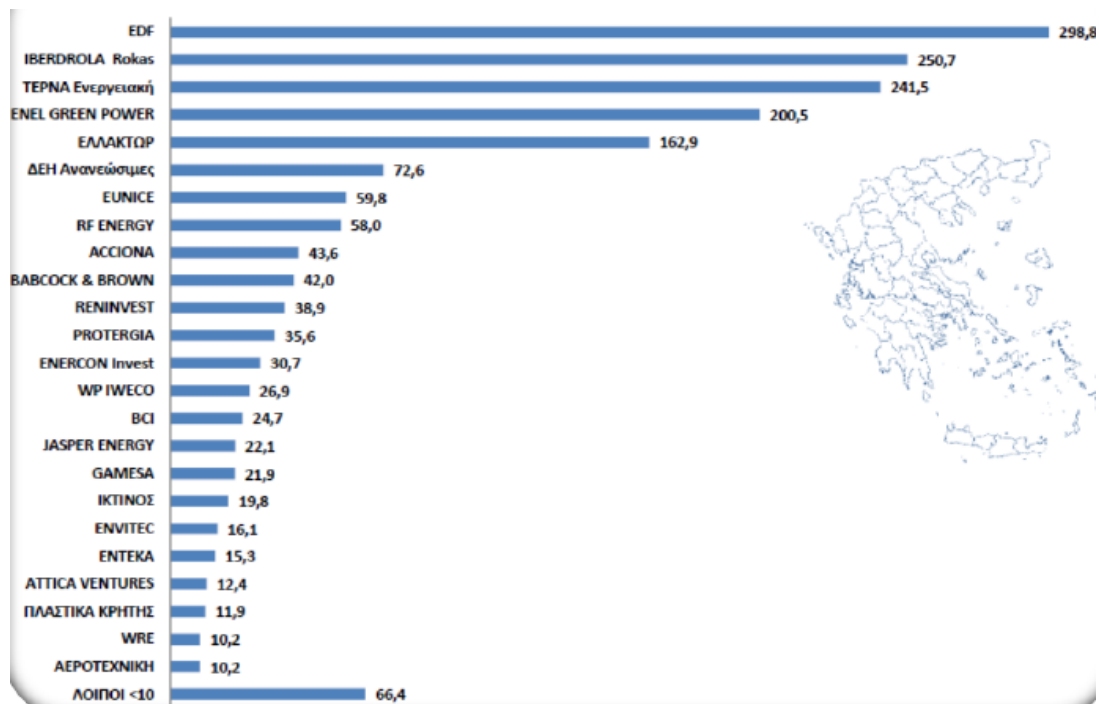
<sup>22</sup> Ο.π

τη δυνατότητα στους υποψήφιους ανεξάρτητους παραγωγούς να επενδύσουν σε περιοχές της επιλογής τους ανάλογα με τα συμφέροντά τους. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την κατάθεση στην Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.), η οποία ιδρύθηκε για να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία ολόκληρης της αγοράς ενέργειας, αιτήσεων για εγκατάσταση αιολικών πάρκων, ισχύος πάνω από 13000 MW. Οι περισσότερες αιτήσεις από αυτές αφορούν περιοχές της Ελλάδας με μεγάλο αιολικό δυναμικό, όπως η Εύβοια, η νοτιοανατολική Πελοπόννησος και η Θράκη.

Ωστόσο, το αιολικό δυναμικό της χώρας μας παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεκμετάλλευτο παρά το τεράστιο ενδιαφέρον από ανεξάρτητους παραγωγούς. Σημαντικά εμπόδια αποτελούν οι χρονοβόρες και επίπονες διαδικασίες έκδοσης αδειών εγκατάστασης (που κυρίως οφείλονται στην έλλειψη χωροταξικού σχεδιασμού και στην μη επαρκή στελέχωση και εκπαίδευση των αρμόδιων περιφερειακών υπηρεσιών) και νομικά ζητήματα που οφείλονται σε αντιδράσεις πολιτών, οι οποίες πηγάζουν από την εν γένει ελλιπή ενημέρωσή τους. Από τεχνικής απόψεως, περιορισμοί διείσδυσης αιολικής ισχύος δημιουργούνται από τα όρια μεταφερόμενης ισχύος στην ενδοχώρα και από τα όρια διείσδυσης στα νησιά. Έτσι, η παρούσα συνολική αιολική διείσδυση είναι μικρή<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> Ρόκκου & Τσιούτρα, Σύγκριση Αιολικού Πάρκου & Πυρηνικού Σταθμού- Θεσσαλονίκη : Α.Π.Θ. Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Μηχανικών Υπολογιστών, 2010



**Εικόνα 8** Εγκατεστημένη Αιολική Ισχύς (MW) ανά παραγωγό αιολικής ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ Στατιστικά, 2012)<sup>24</sup>

Έχει παρατηρηθεί ότι η αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα (Α/Π) έχει οδηγήσει σε μερικές χώρες στην υψηλή διείσδυση της αιολικής ενέργειας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Ανάλογη υψηλή διείσδυση έχει εντοπιστεί τα τελευταία 5 έτη σε χώρες, όπως η Γερμανία, η Δανία και η Ισπανία (χώρες με υψηλό αιολικό δυναμικό και μεγάλη ευαισθησία στην εκμετάλλευση των Α.Π.Ε.). Στο παραπάνω σχήμα αποδεικνύεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς σε κάθε ευρωπαϊκή χώρα το έτος 2007. Όσο οι διεισδύσεις αιολικής ισχύος στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ακόμα χαμηλές, τα Α/Π αντιμετωπιζόνταν σαν αρνητικά φορτία, χωρίς ουσιαστική επίδραση στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η σύγχρονη εποχή εστιάζει στην αλληλεπίδραση των Α/Π με τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που οφείλεται στις διαφορές που παρουσιάζουν τα Α/Π σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής.

Βασική διαφορά των αιολικών πάρκων από τους συμβατικούς σταθμούς είναι ότι η πηγή ενέργειας, ο άνεμος, είναι μεταβαλλόμενη και δύσκολα προβλέψιμη.

<sup>24</sup> Πηγή: Κάραλης, Αιολική Ενέργεια και Χωροταξία, 2013  
[http://www.aegean-energy.gr/gr/academy2013/pdf/wind\\_energy\\_and\\_physical\\_planning\\_A.pdf](http://www.aegean-energy.gr/gr/academy2013/pdf/wind_energy_and_physical_planning_A.pdf)

Έτσι, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι συνάρτηση της τυχαίας ταχύτητας του ανέμου. Αντίθετα, οι συμβατικοί σταθμοί μπορούν με ρυθμιστές στροφών να ελέγχουν τη ροή του καυσίμου, και άρα και την παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος. Η μεταβλητότητα του ανέμου και η δυσκολία πρόβλεψής του επηρεάζουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης των Α/Π στα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντική είναι και η διαφορά όσον αφορά την τεχνολογία μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Από σύγχρονες γεννήτριες απευθείας συνδεδεμένες στο δίκτυο αποτελούνται οι συμβατικοί σταθμοί, ενώ οι ανεμογεννήτριες σε μεγάλο ποσοστό χρησιμοποιούν ασύγχρονες γεννήτριες που συνδέονται στο δίκτυο μέσω μετατροπέων αποτελούμενων από ηλεκτρονικά ισχύος. Ακόμη όμως και οι ανεμογεννήτριες με σύγχρονη γεννήτρια συνδέονται στο δίκτυο μέσω ηλεκτρονικών ισχύος, γεγονός που διαφοροποιεί τα χαρακτηριστικά τους από αυτά των συμβατικών γεννητριών.

Τα Α/Π, λόγω της απομακρυσμένης τοπολογίας τους, συνδέονται στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας συνήθως με ασθενείς γραμμές μεταφοράς ή στο δίκτυο μέσης τάσης. Αυτό δημιουργεί επιπρόσθετες δυσκολίες στην διασύνδεση των Α/Π, καθώς έχει συνέπειες σε θέματα αστάθειας τάσης από άποψη αξιοπιστίας. Αξίζει να σημειωθεί, βέβαια, ότι τα μελλοντικά αιολικά πάρκα αναμένεται να τοποθετούνται κυρίως στη θάλασσα (off-shore wind farms). Το βασικό πλεονέκτημα των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, σε σχέση με τα συμβατικά που τοποθετούνται στην ξηρά, είναι ότι το αιολικό δυναμικό είναι εν γένει υψηλότερο, ενώ παράλληλα η τύρβη είναι χαμηλότερη. Μέχρι και αρκετές δεκάδες χιλιόμετρα διακυμαίνεται η απόσταση ανάμεσα στο αιολικό πάρκο και το σημείο σύνδεσης στην ξηρά. Στην περίπτωση συνδέσεων με αγωγούς AC, η χωρητική φόρτιση λαμβάνει τόσο μεγάλες τιμές, ώστε αυτή η παράμετρος να περιορίζει το μήκος της σύνδεσης. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι η μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις υποθαλάσσια, χωρίς τη δυνατότητα αντιστάθμισης ισχύος, είναι δυνατή μόνο με DC συνδέσεις. Συνεπώς, αφού η χρήση DC σύνδεσης είναι επιβεβλημένη για τέτοια συστήματα, η χρήση όσο το δυνατόν περισσότερων συσκευών DC στο σύστημα είναι προτιμότερη, ως προς τις απώλειες, την πολυπλοκότητα και το κόστος. Αυτός ο τρόπος σύνδεσης επιτρέπει επιπλέον τον ανεξάρτητο έλεγχο της κάθε ανεμογεννήτριας με

σκοπό, είτε την απόδοση μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point Tracking), είτε την παροχή σταθερής ισχύος στο δίκτυο. Ταυτόχρονα, είναι εφικτή η ρύθμιση του συνολικού συντελεστή ισχύος του πάρκου, μια ιδιαίτερα σημαντική ιδιότητα, αφού οι κανόνες διασύνδεσης προϋποθέτουν τη δυνατότητα προσφοράς αέργου ισχύος ανάλογα με τη ζήτηση ισχύος και το επίπεδο της τάσης στο δίκτυο.

## 2. ΔΟΜΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

### Εισαγωγή

Το δεύτερο κεφάλαιο μελετά τη δομή και λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας περνάει μέσα σε ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Το κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστοφής, ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Είναι δηλαδή ένας ανεμόμυλος ο οποίο παράγει ρεύμα. Η ενότητα προσεγγίζει την αρχή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, καθώς και το μηχανικό και ηλεκτρικό της σύστημα αναλυόμενο διεξοδικά.

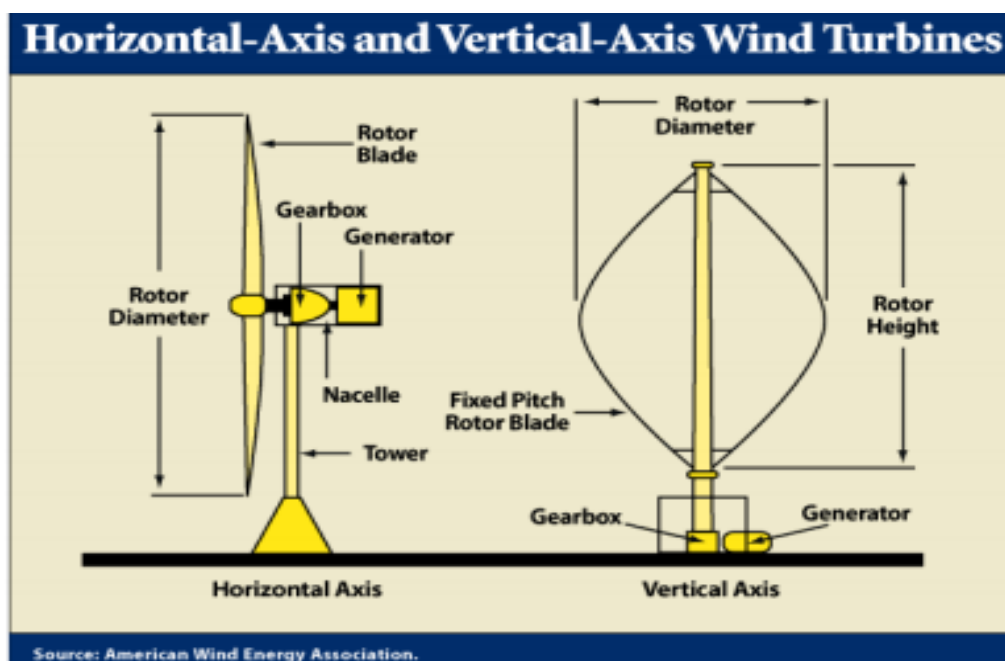
### 2.1 Αρχή Λειτουργίας Ανεμογεννήτριας

Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας στηρίζεται σε δύο συστήματα μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά, το μηχανικό σύστημα, το οποίο μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ροπή στον ρότορα και, κατά δεύτερον, το ηλεκτρικό σύστημα, στο οποίο η γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ροπή του ρότορα σε ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 9 Απλοποιημένο μηχανικό και ηλεκτρικό σύστημα της ανεμογεννήτριας

Παρά το γεγονός ότι η παραπάνω περιγραφή αναφορικά με την αρχή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας αποδεικνύεται αρκετά απλή, ουσιαστικά η ανεμογεννήτρια παραμένει ένα αρκετά σύνθετο σύστημα, στο οποίο συνδυάζονται γνώσεις από πολλούς επιμέρους τομείς. Σύνθετες γνώσεις προϋποθέτει ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση των πτερυγίων αεροδυναμικής: η δομή του άξονα οδήγησης καθώς και του πύργου της ανεμογεννήτριας απαιτεί γνώσεις μηχανολογικές και δομικές, ενώ το τμήμα των ελεγκτών και το σύστημα προστασίας απαιτούν γνώσεις ηλεκτρολογικές και γνώσεις συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.<sup>25</sup>



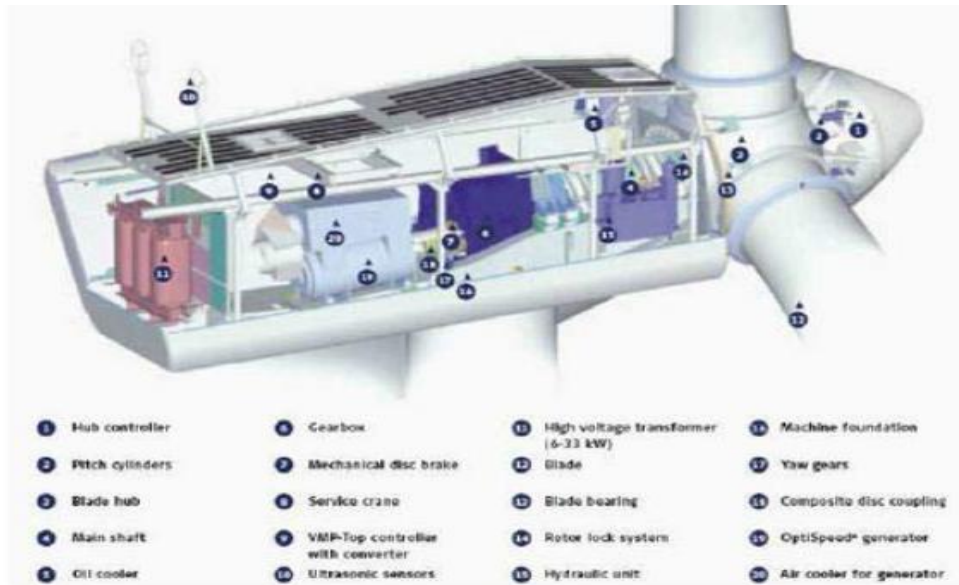
**Εικόνα 10** Διάγραμμα ανεμογεννητριών οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα αντίστοιχα<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Α.Ρόκκου & Σ. Τσιούτρα Σύγκριση Αιολικού Πάρκου & Πυρηνικού Σταθμού, Θεσσαλονίκη : Α.Π.Θ. Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Μηχανικών Υπολογιστών, 2010

<sup>26</sup> Πηγή: American Wind Energy Association

## 2.2 Μηχανικό Σύστημα Ανεμογεννήτριας

Μια ανεμογεννήτρια απαρτίζεται από τα βασικά μέρη, όπως αυτά προσδιορίζονται στον ακόλουθο πίνακα. Αναλυτικά παρουσιάζονται στις υποενότητες που ακολουθούν.



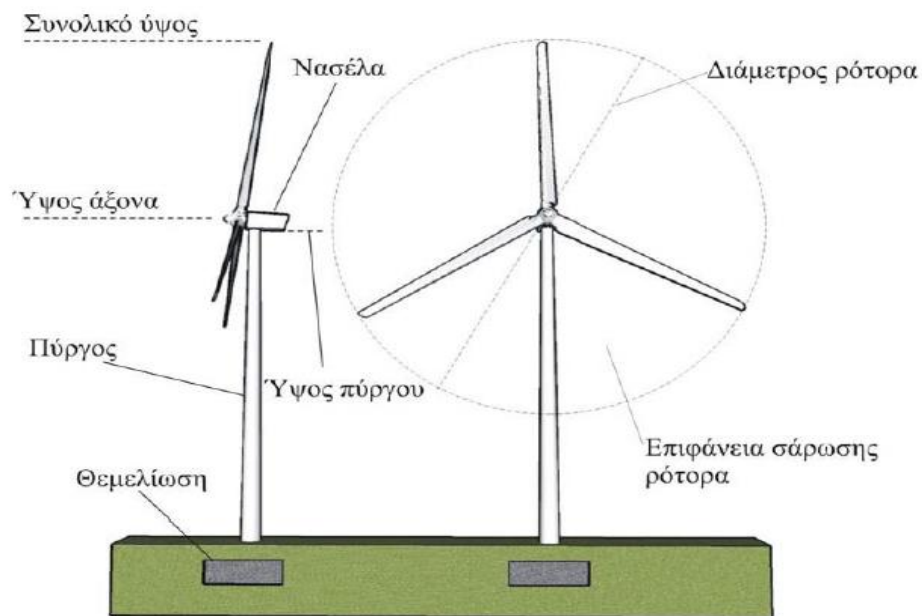
Εικόνα 11 Μορφή Ανεμογεννήτριας<sup>27</sup>

Τα κύρια μέρη της ανεμογεννήτριας

- i. Τον Πύργο
- ii. Τον Θάλαμο
- iii. Τα Ηλεκτρονικά Συστήματα Ελέγχου Ασφαλούς Λειτουργίας
- iv. Τη Γεννήτρια
- v. Το Ρότορα
- vi. Το Σύστημα Πέδησης
- vii. Το Κιβώτιο Ταχυτήτων
- viii. Τα Πτερύγια

<sup>27</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010





**Εικόνα 12** Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα<sup>28</sup>

Αυτός που έχει επικρατήσει είναι ο σωληνωτός πύργος στήριξης, καθώς στο εσωτερικό του πύργου γίνεται στέγαση μερικών οργάνων της ανεμογεννήτριας και βέβαια εκεί υπάρχει μια εσωτερική σκάλα ή και ασανσέρ πρόσβασης στο κουβούκλιο όπου και βρίσκεται η καρδιά της μηχανής.

<sup>28</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010



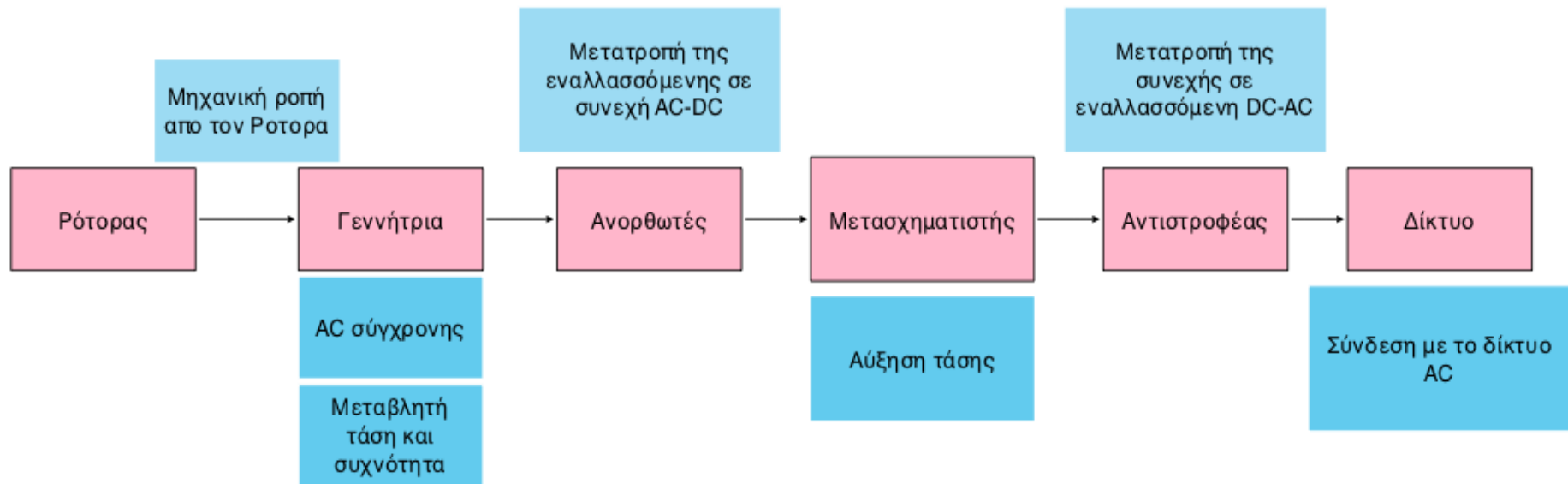
**Εικόνα 13** Vestas V80 σύνδεση τμημάτων ανεμογεννήτριας<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Παπαθανασίου, Συμβολή στην ανάλυση ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια για την επιλογή του ηλεκτρικού σχήματος, Αθήνα: Διδακτορική Διατριβή, 1997

### 2.3 Ηλεκτρικό Σύστημα Ανεμογεννήτριας

Η μεταβλητή τάση και συχνότητα που παράγεται κατά την κίνηση του ρότορα, μετατρέπεται σε DC από ανορθωτές. Στη συνέχεια αυξάνεται με ένα chopper (μετασχηματιστής), και μέσω του αντιστροφέα μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα AC και έτσι προσαρμόζεται η τάση της ανεμογεννήτριας με την τάση του δικτύου



Εικόνα 14 Ανάλυση του ηλεκτρικού συστήματος της ανεμογεννήτριας

## 2.3.1 Σύνδεση στο Ηλεκτρικό Δίκτυο

Η επιλογή του τρόπου σύνδεσης ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μια ανεμογεννήτρια στο δίκτυο συνιστά κριτήριο τεχνικοοικονομικής εξέτασης. Αυτό συμβαίνει εάν ληφθεί υπόψη το κόστος κεφαλαίου των έργων ενίσχυσης και επέκτασης του δικτύου και αφετέρου τις απώλειες ενέργειας κάθε τρόπου διασύνδεσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, αλλά και άλλους παράγοντες (χρόνος και δυνατότητα κατασκευής των έργων, χρηματοδότησή τους κλπ.). Στον ακόλουθο πίνακα δίνεται, ενδεικτικά και μόνο, ο πιθανός (ή προτιμητέος) τρόπος διασύνδεσης, ανάλογα με την ισχύ του σταθμού<sup>30</sup>.

**Πίνακας 1** Τρόποι σύνδεσης στο δίκτυο βάση της συμφωνημένης ισχύς

ισχύς (Mw)	Τρόπος Σύνδεσης στο Δίκτυο
Έως 0,1	Δίκτυο XT
Έως 4	Δίκτυο MT σε υφιστάμενη γραμμή
Έως 6	Δίκτυο MT μέσω αποκλειστικής γραμμής
Έως 20	Δίκτυο MT μέσω αποκλειστικής γραμμής διπλού κυκλώματος
Άνω των 20	Δίκτυο YT με κατασκευή ιδιαίτερου Υ/Σ ανύψωσης YT/MT

Κοινός στόχος της σύνδεσης των παραγωγών στο δίκτυο μέσης τάσης (MT) ή χαμηλής τάσης (XT) είναι η διασφάλιση της ομαλής συνεργασίας των εγκαταστάσεων με το δίκτυο, την ασφάλεια προσώπων και εγκαταστάσεων και την εξασφάλιση αποδεκτής ποιότητας ισχύος. Βασικά κριτήρια και προϋποθέσεις που εξετάζονται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση νέων εγκαταστάσεων παραγωγής είναι τα ακόλουθα:

- Επάρκεια δικτύου (γραμμών, μετασχηματιστών κλπ.)
- Συμβολή στη στάθμη βραχυκύκλωσης
- Αργές μεταβολές της τάσης (μόνιμης κατάστασης)
- Ταχείες μεταβολές της τάσης
- Εκπομπές flicker

<sup>30</sup> Γκίκα, Μοντελοποίηση Ηλεκτρονικών Μεταρτοπέων Ευρείας Χρησιμοποιούμενων σε Ανεμογεννήτριες Μεταβλητών Στροφών- Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

- Εκπομπές αρμονικών
- Διαμόρφωση των προστασιών της διασύνδεσης εγκαταστάσεων-δικτύου

Οι ενέργειες που αντιστοιχούν στους αριθμούς του παραπάνω σχήματος είναι οι εξής:

- Ο άνεμος φυσάει προς τα πτερύγια και κάνει το στροφείο να κινείται.
- Η κίνηση μεταφέρει την ενέργεια στο κιβώτιο
- Το κιβώτιο είναι εφοδιασμένο με σύστημα μετάδοσης που προσαρμόζει την ταχύτητα δρομέα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του.
- Η γεννήτρια μετατρέπει την περιστροφική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια των μαγνητικών πεδίων
- Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την γεννήτρια περνά σε ένα μετασχηματιστή που μετατρέπει τη χαμηλή τάση που παράγεται σε υψηλότερη κατάλληλα για το δίκτυο<sup>31</sup>.

Το ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας, καθώς και όλης της Ευρώπης λειτουργεί με τριφασικό ρεύμα στη συχνότητα των 50 Hz. Η μεταφορά μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας με ελάχιστες απώλειες στο δίκτυο υψηλής τάσης πραγματοποιείται στην Ελλάδα μέσω του διασυνδεδεμένου δικτύου. Τα μεγάλα αιολικά πάρκα με ισχύ μεγαλύτερη από 10 ή 15MW, όπως και αυτό που μελετούμε, οφείλουν κανονικά να συνδεθούν με το δίκτυο υψηλής τάσης (110 kV). Σε μερικές σπάνιες περιπτώσεις, η σύνδεση στο δίκτυο των 380 kV κρίνεται επίσης απαραίτητη. Σύνδεση στο δίκτυο υψηλής τάσης σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να σημαίνει ότι το αιολικό πάρκο θα απαιτήσει έναν νέο υποσταθμό μετασχηματιστών.<sup>32</sup>

Ο τεχνικός εξοπλισμός και μαζί με αυτόν, και το κόστος της σύνδεσης στο δίκτυο καθορίζεται από τέσσερις παράγοντες:

Απόσταση των ανεμογεννητριών από το δίκτυο

- Τάση και ικανότητα μεταφοράς του δικτύου

<sup>31</sup> Ταουλαντ, Μελέτη Ανάπτυξης Αιολικού Πάρκου στη Κρήτη [Βιβλίο]. - Κρήτη : Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2010

<sup>32</sup> Ρόκκο & Τσιούτρα, Σύγκριση Αιολικού Πάρκου & Πυρηνικού Σταθμού- Θεσσαλονίκη : Α.Π.Θ. Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Μηχανικών Υπολογιστών, 2010

- Έλεγχος ισχύος και ηλεκτρικός εξοπλισμός των ανεμογεννητριών
- Τεχνικές απαιτήσεις της χρησιμότητας για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται παράλληλα με το δίκτυο.

Συνήθως, οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν σε ονομαστική τάση 0,4 - 0,7 kV. Για να γίνει η διασύνδεση της κάθε ανεμογεννήτριας με το δίκτυο της Μέσης Τάσης της ΔΕΗ χρησιμοποιούνται υποσταθμοί Χ.Τ./Μ.Τ., οι οποίοι εγκαθίστανται σε ειδικό και ανεξάρτητο χώρο στη βάση του πύργου κάθε ανεμογεννήτρια.

Από τον ελεγκτή της ανεμογεννήτριας στη βάση του πυλώνα, συνήθως υπάρχει καλώδιο ισχύος, το οποίο συνδέει την ανεμογεννήτρια με την πλευρά Χ.Τ. του υποσταθμού Χ.Τ./Μ.Τ. Το καλώδιο ισχύος Μ.Τ., δια μέσου σωλήνων PVC, οδεύει υπόγεια μέχρι την είσοδο του στον υποσταθμό Χ.Τ./Μ.Τ.

Αναφορικά με το σύστημα γείωσης της Α/Γ, εγκαθίσταται στη βάση της, θεμελιακή γείωση, δηλαδή ταινία γείωσης ακτινικά και περιμετρικά από τη βάση<sup>33</sup>.

### **2.3.2 Αποθήκευση Παραγόμενης Ενέργειας**

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

Σημαντική και ουσιαστική αύξηση της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας προκύπτει με την εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας, προκειμένου να παραχθεί από τις ανεμογεννήτριες η ενέργεια που δύναται, αλλά δεν μπορεί να απορροφηθεί από το σύστημα, να αποθηκεύεται αντί να απορρίπτεται. Η

---

<sup>33</sup> Ρόκκου & Τσιούτρα, Σύγκριση Αιολικού Πάρκου & Πυρηνικού Σταθμού- Θεσσαλονίκη : Α.Π.Θ. Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Μηχανικών Υπολογιστών, 2010

ενέργεια αυτή ακολούθως ανακτάται σε ώρες όπου η αιολική παραγωγή υπολείπεται της δυνατότητας απορρόφησης. Οι πλέον ώριμες, σήμερα, τεχνολογίες αποθήκευσης (κύκλος AC – AC) με αξιόλογες εφαρμογές στα ηλεκτρικά δίκτυα και με γνωστό κόστος είναι:

- οι αντλητικοί/υδροηλεκτρικοί σταθμοί ή αναστρέψιμοι ΥΗΣ (μηχανική αποθήκευση, στατική),
- συστοιχίες συσσωρευτών,
- συστήματα παραγωγής υδρογόνου,
- υδραυλο - πνευματική αποθήκευση ενέργειας μέσω συμπίεσης αερίων (με συμπιεσμένο αέριο, άζωτο σε υδραυλο-πνευματικούς συσσωρευτές),
- αποθήκευση ενέργειας σε σφόνδυλο
- υβριδικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (συνδυασμός των παραπάνω μέσων).

### **3. ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ**

#### **Εισαγωγή**

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν ακόμα εγκατεστημένα υπεράκτια αιολικά πάρκα. Ωστόσο,

πρόσφατα το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικών Αλλαγών επέλεξε 12 θαλάσσιες περιοχές ανά τη χώρα για εγκατάσταση ανεμογεννητριών με ορίζοντα το 2017. Αυτές οι περιοχές είναι σε Αγιο Ευστράτιο, Αλεξανδρούπολη, Κάρπαθο, Κέρκυρα, Θάσο, Κρουνέρι, Κύμη, Λήμνο, Λευκάδα, Πεταλιούς, Σαμοθράκη και Φανάρι Ροδόπης συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας 1,2 GW.

#### **3.1 Προδιαγραφές Παράκτιων Ανεμογεννητριών**

Η πρώτη προϋπόθεση για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας με επιτυχία είναι ο κατάλληλος σχεδιασμός και ο τεχνικός εξοπλισμός των ανεμογεννητριών. Οι υπάρχουσες ανεμογεννήτριες ήταν σχεδιασμένες για τοποθέτηση στη στεριά. Οι ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στη θάλασσα υποβάλλονται σε διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό.

Για να κάνουν χρήση της υψηλής ταχύτητας του ανέμου, οι πύργοι των υπεράκτιων ανεμογεννητριών δε χρειάζεται να είναι τόσο ψηλοί όσο αυτοί στις εσωτερικές περιοχές. Το προφίλ της ταχύτητας του ανέμου έχει περισσότερες από μία διόγκωση, έτσι ώστε το χαμηλότερο ύψος πύργου να επαρκεί για την επίτευξη της βέλτιστης οικονομικής αξίας. Το ύψος του πύργου επίσης καθορίζεται και από τις ωκεανογραφικές συνθήκες σε σχέση με τη διάμετρο του ρότορα διαμέτρου. Παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι



το βάθος του νερού, το παλιρροϊκό εύρος, το μέγιστο ύψος κύματος που αναμένεται και επαρκής χώρος για το στροφείο.

### **3.1.1 Φάσμα φορτίου**

Τα φορτία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό της υπεράκτιας κατασκευής διαφέρουν σημαντικά από εκείνα στη στεριά:

- Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη.
- Η ένταση της αναταραχής πάνω από την ανοιχτή θάλασσα είναι μικρότερη, αλλά αναμένεται υψηλότερη επαγόμενη αναταραχή ανάλογα με την απόσταση των ανεμογεννητριών.
- Η κυματική κίνηση του νερού είναι μία νέα σημαντική επίδραση. Αυτό ισχύει τόσο για τα ακραία φορτία όσο και για τη δυναμική απόκριση των περιοδικών κυμάτων.
- Η κίνηση των πάγων στη θάλασσα μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλά και ακραία φορτία, ιδίως στη Βαλτική. Επιπλέον επικάθηση πάγου στην ανεμογεννήτρια πρέπει να ληφθεί υπόψη.
- Η μεταβολή στο ύψος της στάθμης της θάλασσας εξαιτίας της παλίρροιας μπορεί να έχει επίδραση στο φάσμα του φορτίου.
- Σε ορισμένες θαλάσσιες περιφέρειες, τα ρεύματα μπορεί να είναι τόσο ισχυρά που παίζουν ρόλο στο φάσμα του φορτίου.
- Τα θαλάσσια ρεύματα μπορεί να επηρεάσουν τα θεμέλια της διάταξης.
- Η αυξημένη διάβρωση - αν δεν εμποδίζεται με κατάλληλα προστατευτικά μέτρα - διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και μειώνει την αντοχή των συστατικών της διάταξης.

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

### **3.1.2 Εξοπλισμός τουρμπίνας**

Συγκριτικά με τις χερσαίες, οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν περισσότερες απαιτήσεις όσον αφορά τον τεχνικό τους εξοπλισμό. Οι κυριότερες διαφορές τους αφορούν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

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

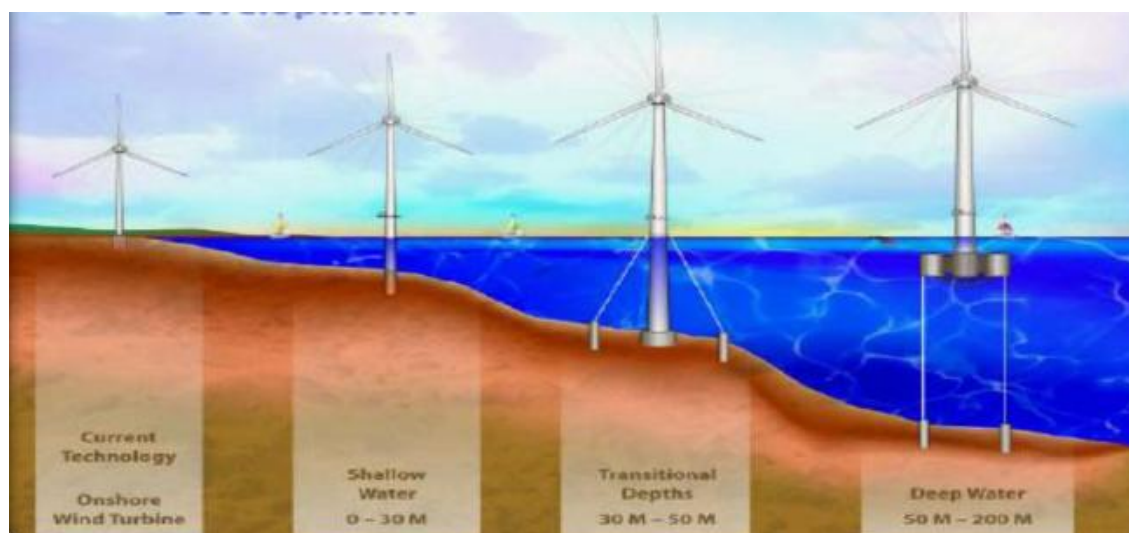
### **3.2 Έργα Υποδομής – Θεμελιώσεις**

Η πλέον δύσκολη προσαρμογή που απαιτείται για την έδραση της διάταξης αφορά τη σχεδίαση του πύργου και τη θεμελίωση του στον πυθμένα της θάλασσας. Η συγκεκριμένη θεμελίωση είναι προφανώς πιο πολύπλοκη από τις αντίστοιχες της στεριάς. Σε μεγαλύτερα βάθη υδάτων, οι απαιτούμενες εργασίες σχεδιασμού και κατασκευής ενδεχομένως να οδηγήσουν σε οικονομικές αποκλίσεις της συνολικής επένδυσης. Η βασική στατική αρχή της θεμελίωσης των ανεμογεννητριών βασίζεται στο κατά πόσον μπορεί να διασφαλιστεί η σταθερότητα λόγω του μεγέθους και του βάθους των θεμελιών ή αν θα χρειαστεί να τοποθετηθούν επιπλέον ενισχύσεις ή και αντιστηρίξεις στον πυθμένα.

Η πάκτωση των ανεμογεννητριών στον πυθμένα των περιοχών που πρόκειται να εγκατασταθούν είναι μια δουλειά που απαιτεί ιδιαίτερη μελέτη από πολλές πλευρές. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλές ιδιαιτερότητες που πρέπει να λάβουμε

μια μελέτη τέτοιου είδους πολύ σοβαρά. Το κυριότερο θέμα που ισχύει σε κάθε τέτοια κατασκευή είναι η σεισμική πρόληψη. Η χώρα μας χαρακτηρίζεται ως μια αρκετά σεισμογενής περιοχή και αυτό επιφέρει μια ιδιαίτερη προσοχή σε οποιαδήποτε στατική μελέτη. Ένας λόγος που κάνει πιο συγκεκριμένη μια τέτοια μελέτη είναι και οι αλλαγές του υλικού του βυθού κάθε περιοχής. Πολλές φορές αλλάζουν τα υλικά που συνθέτουν το ανάγλυφο της υποθαλάσσιας περιοχής. Αυτό μπορεί να είναι από μια πεδινή περιοχή με άμμο μέχρι μια βραχώδη γεμάτη πετρώματα και ξέρες.

Η θεμελίωση ενός αιολικού πάρκου εξαρτάται από το βάθος του πυθμένα, το είδος του διαθέσιμου υπεδάφους αλλά και τη διαθεσιμότητα ειδικού εξοπλισμού για την κατασκευή μεταφορά αλλά και τοποθέτηση των διαφόρων τύπων θεμελιώσεων. Το βάρος της κάθε θεμελίωσης εξαρτάται κυρίως από το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της (σκυρόδεσμα ή χάλυβας) αλλά και τον τρόπο που θα στηριχθεί στον πυθμένα. Το τελευταίο κριτήριο για κάθε λύση είναι το κόστος. Μεταξύ των κριτηρίων που έχουν τεθεί για την προκαταρκτική χωροθέτηση αιολικών υπεράκτιων πάρκων στην Ελλάδα, είναι και το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος των 50 μέτρων το οποίο αποκλείει πλωτές ανεμογεννήτριες και μεγάλα θαλάσσια βάθη.<sup>34</sup>



**Εικόνα 15** Διάφοροι τύποι θεμελιώσεων<sup>35</sup>

<sup>34</sup> Ρόκκου & Τσιούτρα, Σύγκριση Αιολικού Πάρκου & Πυρηνικού Σταθμού- Θεσσαλονίκη : Α.Π.Θ. Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Μηχανικών Υπολογιστών, 2010

<sup>35</sup> Πηγή: Παπανδρέου, Μελέτη παραμέτρων και εφαρμογή για παράκτιο αιολικό πάρκο στη Δήμο  
[http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/handle/123456789/4762/papandreoug\\_windfarm.pdf?sequence=3](http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/handle/123456789/4762/papandreoug_windfarm.pdf?sequence=3)

Παρόλα αυτά η τεχνολογία για μεγαλύτερα βάθη υπάρχει από την βιομηχανία άντλησης πετρελαίου και την γεφυροποιία αλλά και σε νέες μορφές οι οποίες εξελίσσονται αυτήν την περίοδο.

### **3.3 Προδιαγραφές Υλικών Κατασκευής**

Σε έρευνες που έχουν γίνει για τη σύγκριση χάλυβα και οπλισμένου ή προεντεταμένου σκυροδέματος από δύο Δανέζικα group εταιριών ενέργειας και τρεις κατασκευαστικές εταιρείες το 1997 βρέθηκε ότι ο χάλυβας ήταν πολύ πιο οικονομικός από το σκυρόδεμα για μεγάλα αιολικά πάρκα. Επίσης φάνηκε ότι οι πιο νέες τεχνολογίες θεμελίωσης ήταν πιο οικονομικές για τουλάχιστον 15 μέτρα βάθος. Σε κάθε περίπτωση η χρήση χάλυβα και οι θεμελιώσεις με πασσαλόπηξη έδειξαν ότι το κόστος τους ανέβαινε σε πολύ μικρότερη αναλογία σε σχέση με αυτό του θεμελίου βαρύτητας από σκυρόδεμα το οποίο όπως προαναφέρθηκε είχε κόστος ανάλογο με το τετράγωνο του βάθους θεμελίωσης. Ενδεικτικό είναι ότι το υπολογιζόμενο κόστος διασύνδεσης στο δίκτυο και της κατασκευής της θεμελίωσης για ανεμογεννήτριες της τάξης του 1.5 MW βρέθηκε μόνο 10 έως 20% μεγαλύτερο από αυτό των 450 KW που εγκαταστάθηκαν στις περιοχές Vindeby και Tunoe.

Στον αντίποδα, σε αντίστοιχες έρευνες που έγιναν από το Βρετανικό κέντρο σκυροδέματος το 2007 βρέθηκε ότι η θεμελίωση βαρύτητας από σκυρόδεμα για μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες της τάξης των 3.5 MW και για βάθη 20 με 30 μέτρα ήταν ανταγωνιστική με τις υπόλοιπες λύσεις από χάλυβα.

Πρέπει πάντως να σημειωθεί, ότι η αντίληψη ότι ο χάλυβας έχει μικρό χρόνο ζωής λόγω της διάβρωσης, αποδεικνύεται ανυπόστατη αφού η βιομηχανία άντλησης πετρελαίου με τη χρήση καθοδικής προστασίας χάλυβα, χρησιμοποιεί τέτοιες κατασκευές με προβλεπόμενο χρόνο ζωής 50 χρόνια. Παρόλα αυτά το σκυρόδεμα μπορεί με κατάλληλη επεξεργασία αλλά και συντήρηση να φτάσει τα 100 χρόνια ζωής. Αυτό θα σήμαινε σημαντική μείωση του κόστους αφού το θεμέλιο και ο πυλώνας που είναι το 40% του κόστους της κατασκευής θα χρειαστούν μια αντικατάσταση λιγότερη σε αυτήν την περίοδο. Επιπλέον, το σκυρόδεμα λόγω του βάρους του αλλά και της φύσης του δίνει γενικά

μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους και συντελεστές απόσβεσης που είναι και το ζητούμενο για αυτές τις κατασκευές.

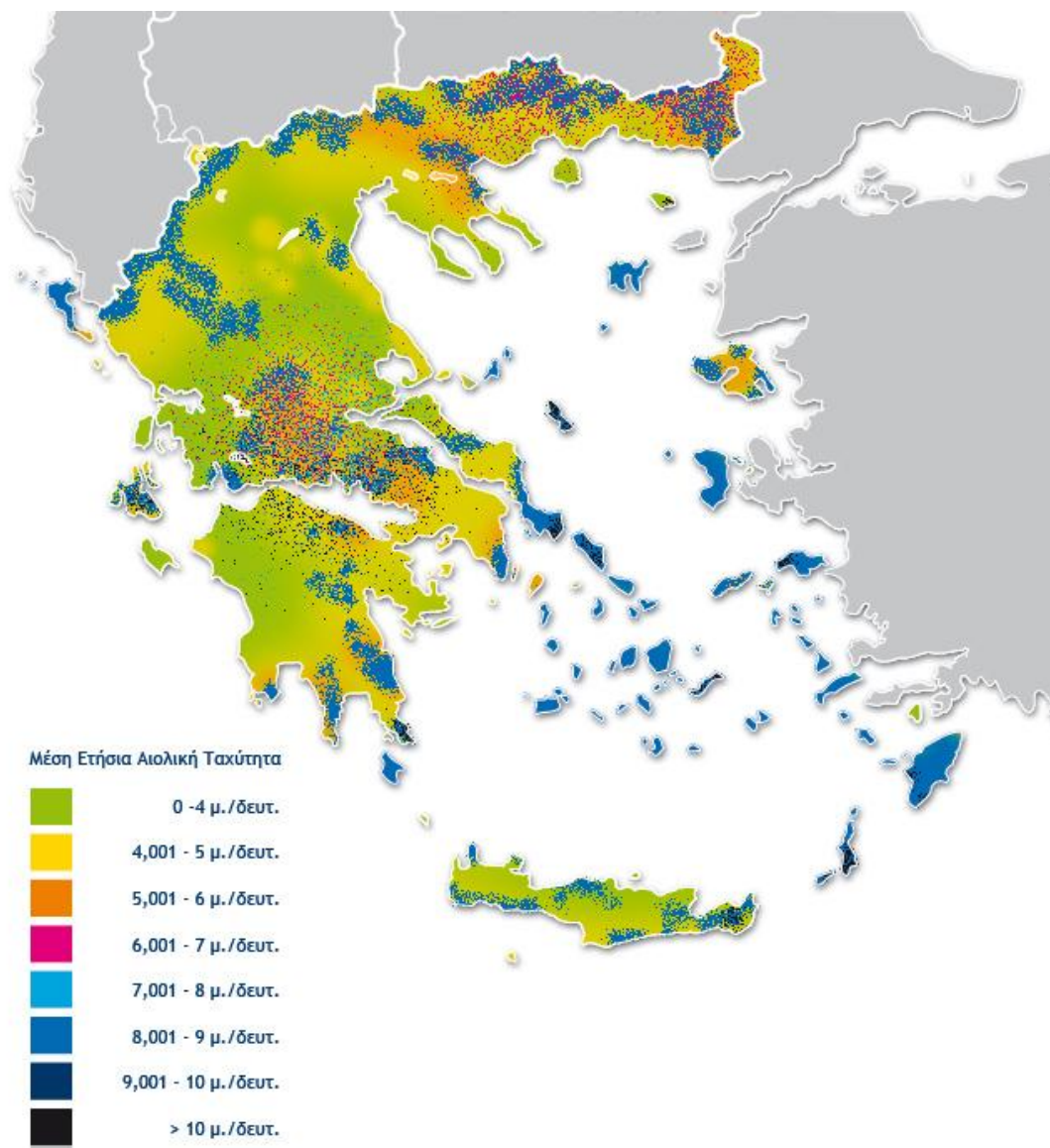
Συμπερασματικά είναι εμφανές ότι η επιλογή του τύπου αλλά και του υλικού κατασκευής της θεμελίωσης είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων και πρέπει να προηγηθεί ειδική μελέτη για την εύρεση της βέλτιστης οικονομικής λύσης που θα λαμβάνει υπόψη τα μεγέθη των ανεμογεννητριών, τις οικονομίες κλίμακας, τα διαθέσιμα μέσα κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασης των θεμελίων αλλά και το έδαφος, το βάθος, τη διάβρωση και γενικότερα τις συνθήκες που επικρατούν στη θάλασσα.

### **3.4 Μεθοδολογία Εγκατάστασης Παράκτιων Ανεμογεννητριών**

Η μεταφορά, η εγκατάσταση και η λειτουργία των ανεμογεννητριών στη θάλασσα έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις και κυρίως κοστίζουν πολύ περισσότερο από τις εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας στη στεριά. Οι πρώτες δυσκολίες εμφανίζονται στη μεταφορά του πύργου και του ρότορα, που ξεπερνούν σε μήκος τα 50 μέτρα, για τόσο μεγάλες αποστάσεις από την ξηρά. Το ίδιο ισχύει και στις περιπτώσεις μεταφοράς πολύπλοκων δομών, όπως για παράδειγμα τα θεμέλια πολλών πυλώνων.

Για οικονομικούς λόγους θα πρέπει να προκατασκευάζονται τμήματα των ανεμογεννητριών στη στεριά προκειμένου να αποφευχθούν οι κοστοβόρες εργασίες στη θάλασσα με τις αβεβαιότητες ως προς το χρόνο και τις καιρικές συνθήκες. Σε όλα αυτά πρέπει να συνυπολογιστεί και το μέγεθος τόσο του συνεργείου όσο και των μηχανημάτων που θα χρειαστούν. Στη θεμελίωση μονού πυλώνα απαιτείται ένα βαρύ-υδραυλικό σφυρί προκειμένου να τοποθετήσει τους σωλήνες από χάλυβα με διάμετρο 4 μέτρων στη θάλασσα σε βάθος περίπου 20 μέτρων. Η συναρμολόγηση του τρίποδου θεμελίου απαιτεί λιγότερο βαρύ εξοπλισμό. Ωστόσο είναι πιο δύσκολη η μεταφορά του προκατασκευασμένου τμήματος του θεμελίου. Οι καιρικές συνθήκες είναι ένας σημαντικός παράγοντας κινδύνου για τη συναρμολόγηση καθώς αυτή μπορεί να γίνει μόνο όταν η θάλασσα είναι ήρεμη. Το σημαντικότερο κριτήριο είναι το ύψος κύματος κατά τη διάρκεια της σύνδεσης. Οι εργασίες γίνονται

εξαιρετικά δύσκολες έως αδύνατες, όταν το ύψος των κυμάτων ξεπερνούν το ένα μέτρο, με αποτέλεσμα την προσωρινή διακοπή τους. Κάτι τέτοιο συνεπάγεται και επιπλέον κόστος εργασιών.



**Εικόνα 16** Κατηγοριοποίηση περιοχών στον Ελλαδικό χώρο βάσει της μέσης ετήσιας αιολικής ταχύτητας<sup>36</sup>

Η μεταφορά στο χώρο πραγματοποιείται συνήθως μέσω μίας πλεύουσας πλατφόρμας και με τη βοήθεια ενός σκάφους ρυμούλκησης. Οι πλατφόρμες

<sup>36</sup> Πηγή: [http://ecogenia.blogspot.gr/2016/02/blog-post\\_13.html](http://ecogenia.blogspot.gr/2016/02/blog-post_13.html)

έχουν πυλώνες στήριξης που ακουμπούν στον πυθμένα για μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την εργασία συναρμολόγησης.

Κατά τη μεταφορά οι πυλώνες στήριξης είναι προφανώς μαζεμένοι. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η προσβασιμότητα των εργατών και των υπευθύνων στο χώρο του αιολικού πάρκου. Σε περίπτωση μεγάλης θαλασσοταραχής το πλοίο δε μπορεί να φτάσει στην αποβάθρα. Έτσι τελευταία γίνονται προσπάθειες πρόσβασης υποβρύχια ή μέσω αέρα, αντίστοιχα με υποβρύχια οχήματα ή ελικόπτερα.

### **3.5 Νομοθετικό Πλαίσιο**

Η Ελλάδα ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης περισσότερο από 30 χρόνια, συμμετέχει ως κράτος - μέλος σε όλες τις σύγχρονες Οδηγίες με θέμα τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ενώ παράλληλα βρίσκεται υπό την αιγίδα της Ένωσης, σε αρκετά κομβικά ιστορικά σημεία, όπως η συνδιάσκεψη στο Ρίο και το Πρωτόκολλο του Κιότο. Έτσι, η εθνική νομοθεσία και τα σχέδια δράσης, εντάσσουν διαρκώς ένα μεγάλο τμήμα κοινοτικής πολιτικής, προσαρμοσμένο στα μέτρα, τις διαφοροποιήσεις και τις εκάστοτε συνθήκες της Ελλάδας.

Νόμος Ν. 1559/1985 «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»: Ο νόμος αυτός υπήρξε η απαρχή της εισόδου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα, που οδήγησε σε μια μικρής κλίμακας νέα εγκατεστημένη ισχύ από την ΔΕΗ και την τοπική αυτοδιοίκηση (24 και 3 MW αντίστοιχα), χωρίς την συνεισφορά του ιδιωτικού τομέα. Στο νόμο αυτό, έγινε μια αρχική συνοπτική «χαρτογράφηση» και «οριοθέτηση» του τοπίου, πάνω στην αδειοδότηση, στην εκμετάλλευση, στην παραγωγή και στην διάθεση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

#### **3.5.1 Νόμος Ν. 2244/1994 «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»**

Ο νόμος αυτός βασίζεται στον τότε αντίστοιχο γερμανικό νόμο (Stromeinspeisungsgesetz), και αποτέλεσε σημαντική βάση για την ανάπτυξη και

την εξέλιξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα. Αυτό επιτεύχθηκε με τον καθορισμό σταθερών τιμών πώλησης ανανεώσιμης ενέργειας, με την ανάλογη της χρονικής διαθεσιμότητας κλιμακωτή αποζημίωση, με την υποχρέωση στην ΔΕΗ να αγοράζει το πλεόνασμα ή το σύνολο, με διάφορους όρους στην αδειοδότηση και στην εγκατάσταση σταθμών αυτοπαραγωγής κ.α.

### **3.5.2 Νόμος Ν. 2773/1999 «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας-Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις»**

Ο νόμος αυτός, σχεδόν δύο χρόνια μετά την αντίστοιχη Οδηγία (96/92/ΕΚ), ενσωματώνει αρκετά τμήματα, όπως η απελευθέρωση της αγοράς και η κρατική εποπτεία, η σύσταση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε), καθώς και ο προσδιορισμός αντικειμένου και λειτουργίας της. Εκτός αυτών, ο νόμος θέτει ένα πλαίσιο στο δίκτυο και την μεταφορά ενέργειας, προσδιορίζοντας τη θέση της ΔΕΗ στο θέμα αυτό, ενώ παράλληλα διατηρεί το ευνοϊκό τιμολογιακό, αλλά και προτεραιότητα πρόσβασης στο δίκτυο, καθεστώς στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

### **3.5.3 Νόμος Ν. 2941/2001 «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ και άλλες διατάξεις»**

Ο νόμος αυτός, αποτέλεσε σημαντική προσθήκη στην πληρότητα του νομοθετικού πλαισίου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, απλοποιώντας και διορθώνοντας αρκετά εκ των αδειοδοτικών προβλημάτων της εποχής στον τομέα αυτό. Κάποιοι εκ των βασικών αξόνων ήταν οι εξής:

- Οι «σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και τα συνοδά αυτών έργα», συμπεριλαμβάνονται στις εξαιρέσεις του νόμου 2773/1999 για τα μεγάλα έργα υποδομής μέσα σε δάση ή δασικές περιοχές.
- «Για την εγκατάσταση ηλιακών σταθμών και ανεμογεννητριών δεν απαιτείται η έκδοση άδειας, αλλά θεώρηση, που χορηγείται από την



αρμόδια πολεοδομική υπηρεσία». Σε αυτό δεν συμπεριλαμβάνονται τα όποια έργα πολιτικού μηχανικού.

Τα «έργα σύνδεσης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε με το Σύστημα ή το Δίκτυο μπορεί να κατασκευάζονται από οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο κάτοχο άδειας εγκατάστασης», με τις όποιες προδιαγραφές του Διαχειριστή Συστήματος και Δικτύου.

#### **3.5.4 Νόμος Ν. 3017/2002 «Κύρωση του Πρωτόκολλου του Κιότο στην Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή κλίματος»**

Στο νόμο αυτό, έγινε η επίσημη επικύρωση από την Ελληνική Βουλή, των δεσμεύσεων που έλαβε η χώρα μερικά χρόνια νωρίτερα (περίπου 4 χρόνια), κατά την υπογραφή του Πρωτόκολλου του Κιότο, με στόχο την αντιμετώπιση της επιδείνωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής γενικότερα.

#### **3.5.5 Νόμος Ν. 3175/2003 «Αξιοποίηση γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις»**

Στον νόμο αυτό, πραγματοποιείται μια εξειδικευμένη προσπάθεια ενός βασικού, σύγχρονου για την εποχή, πλαισίου, πάνω στον τομέα της Γεωθερμικής Ενέργειας στην Ελλάδα. Το πλαίσιο αυτό είναι συμβατό με το κοινοτικό δίκαιο και με αρκετές παγκόσμιες τακτικές και αναφέρεται σε τομείς όλου του εύρους της Γεωθερμικής Ενέργειας. Με ξεχωριστά άρθρα ορίσθηκαν τα εξής:

- Δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης γεωθερμικού δυναμικού.
- Όροι και αρμοδιότητα εκμίσθωσης διαχείρισης γεωθερμικών πεδίων.
- Υποχρεώσεις και δικαιώματα μισθωτών γεωθερμικών πεδίων.
- Εκχώρηση μισθωτικών διαχωμάτων.
- Κανονισμός γεωθερμικών εργασιών.
- Ποινικές και διοικητικές κυρώσεις.
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και γεωθερμία.
- Ενεργειακά συστήματα θέρμανσης ή ψύξης.

- Διανομή θερμικής ενέργειας σε τρίτους.

### **3.5.6 Νόμος Ν. 3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις»**

Στον νόμο αυτό, καταγράφεται ένα τμήμα του πλαισίου της αδειοδότησης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μόνο, αλλά και από υβριδικούς σταθμούς και την ένταξη αυτών στο Σύστημα ή το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κάθε μορφής, μπαίνει σε ένα τιμολογιακό πρότυπο, διαφοροποιημένο μερικώς, ανάλογα το αν απορροφάται στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα ή τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Για τους επενδυτές φωτοβολταϊκών σταθμών, στο συγκεκριμένο νομοσχέδιο, δίνονται συγκεκριμένα κίνητρα, με στόχο την διάδοση της Ηλιακής Ενέργειας στην Ελλάδα.

Νόμος Ν. 3851/2010 «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής αλλαγής»: Η Ελληνική κυβέρνηση, «με το Νόμο 3851/2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% σε ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και 10% στις μεταφορές». (Υπουργείο Περιβάλλοντος, 2012).

Στο οικονομικό κομμάτι του παραπάνω νόμου, κατατέθηκε νέα τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία για τις βασικές κατηγορίες αναγράφεται στον πίνακα 3.1 παρακάτω. Ο νόμος αυτός στο σύνολό του, αποτέλεσε σημαντικό τμήμα του Εθνικού Σχεδίου Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, το οποίο στα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής, ετοιμάστηκε ώστε να μπορεί να «διαδραματίζει το ρόλο ενός δυναμικού εργαλείου παρακολούθησης των εθνικών ενεργειακών στόχων» (Υπουργείο Περιβάλλοντος, 2012).

### **3.6 Επιπτώσεις στο Περιβάλλον**

Στη φάση της εγκατάστασης του αιολικού πάρκου, τρυπάνια, τρυπάνε στο βυθό για να στηριχθούν οι ανεμογεννήτριες και αυτό προκαλεί μια αναταραχή στη χλωρίδα και την πανίδα η οποία όμως χαρακτηρίζεται προσωρινή. Λίγους μήνες μετά τη λειτουργία του πάρκου το φυσικό περιβάλλον επανέρχεται στους φυσιολογικούς ρυθμούς του.

Πιθανές επιπτώσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα από τη κατασκευή και λειτουργία ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου:

#### **3.6.1 Θαλάσσιοι οργανισμοί**

Τα θεμέλια των ανεμογεννητριών μπορεί να λειτουργήσουν, μετά από χρόνια, ως τεχνητοί ύφαλοι με αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ψαριών από την αναμενόμενη αύξηση της τροφής. Αυτή η αύξηση των πληθυσμών των ψαριών μπορεί να επιφέρει με την σειρά της αύξηση και στον αριθμό των πουλιών στη περιοχή με αποτέλεσμα τις πιθανές συγκρούσεις αυτών με τους πύργους και τα πτερύγια των ανεμογεννητριών.

#### **3.6.2 Μεταναστευτικά πουλιά**

Εκτός από τις πιθανές συγκρούσεις με τα διάφορα μέρη των ανεμογεννητριών, τα πουλιά ίσως να χρειάζονται περισσότερη ενέργεια να καταναλώσουν για να αποφύγουν τις ανεμογεννήτριες και να διατηρήσουν τον προσανατολισμό τους. Επίσης, ο υποχρεωτικός φωτισμός των ανεμογεννητριών κατά την διάρκεια της νύχτας είναι πιθανό να επιφέρει αποπροσανατολισμό των πουλιών.

Πιθανή αλλαγή του φυσικού περιβάλλοντος και μείωση των ενδιαιτημάτων: Η υποθαλάσσια θεμελίωση, τα διάφορα συστήματα αγκίστρωσης, τα υλικά προστασίας των μερών της ανεμογεννήτριας από τη διάβρωση, τα διάφορα υλικά καθαρισμού και συντήρησής της και το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείτε από τη λειτουργία της, είναι πιθανό να προκαλέσουν μείωση του βένθους του θαλάσσιου οικοσυστήματος με αντίκτυπό βέβαια σε όλη τη τροφική αλυσίδα του οικοσυστήματος. Άρα λοιπόν ενδεχομένως, αυτή η

παρέμβαση να προκαλέσει αλλαγή στο φυσικό περιβάλλον και υποβάθμιση των ενδιαμιμάτων των θαλάσσιων οργανισμών.

### **3.6.3 Θαλάσσιες Μεταφορές**

Η δημιουργία μεγάλων υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι πιθανό να έχει επιπτώσεις στις θαλάσσιες μεταφορές γιατί όπως είναι λογικό τα πλοία θα πρέπει να χαράξουν νέες πορείες για να αποφύγουν τις ανεμογεννήτριες και ενδεχομένως αυτό να επιφέρει επιπρόσθετο κόστος. Επίσης το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο από τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας πιθανότατα να επηρεάζει τα ραντάρ των πλοίων άλλα και τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας.

### **3.6.4 Θόρυβος**

Η περιστροφή της έλικας της ανεμογεννήτριας παράγει θόρυβο που ίσως να επηρεάσει τους θαλάσσιους οργανισμούς.

## **4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε**

### **Εισαγωγή**

Η ιδέα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας σε υδάτινο περιβάλλον άρχισε να μελετάται τη δεκαετία του 1980 κυρίως για περιβαλλοντικούς και ενεργειακούς λόγους. Οι πυκνοκατοικημένες χώρες της Κεντρικής Ευρώπης δε διέθεταν τις αναγκαίες περιοχές για εγκατάσταση μεγάλων αιολικών μονάδων και ηλεκτρικών δικτύων. Αυτό συνέβαινε λόγω του θορύβου και της οπτικής όχλησης, ενώ το αιολικό δυναμικό βαθμιαία μειώνεται στην ενδοχώρα. Η αβαθής θάλασσα μακριά από τις ακτές έχει την ικανότητα να προσφέρει υψηλότερο αιολικό δυναμικό με καλύτερη ποιότητα ανέμου σε σχέση με την ξηρά. Το τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας εστιάζει στα στατιστικά στοιχεία αναφερόμενα στα θαλάσσια αιολικά πάρκα, με παραδείγματα περιοχών το Βέλγιο, τη Δανία, την Αγγλία, τη Σουηδία, τη Γερμανία και την Ελλάδα.

### **4.1 Στατιστικά Στοιχεία**

Η Μεσόγειος και η Μαύρη θάλασσα είναι οι μόνες θαλάσσιες περιοχές στις οποίες δεν έχουν αναπτυχθεί θαλάσσια αιολικά πάρκα. Και τούτο διότι λόγω του ηπειρωτικού ανάγλυφου ήταν πρόσφορη η κατασκευή αιολικών πάρκων ξηράς.

Ωστόσο, η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και ο κορεσμός των περιοχών που μπορούν να φιλοξενήσουν ανεμογεννήτριες, οδηγούν εύλογα στην τοποθέτηση ανεμογεννητριών μέσα στη θάλασσα.

Οι Δανοί και οι Γερμανοί θεωρούνται πρωτοπόροι σε αυτόν τον τομέα και η τεχνολογία αυτή εφαρμόστηκε πριν τριάντα περίπου χρόνια. Πρόσφατα η Αγγλία που πρωταγωνιστεί πλέον και στην κυματική ενέργεια, δημιούργησε το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο στον κόσμο, ενώ προσπάθειες γίνονται και στην Ισπανία από την πλευρά που «βρέχεται» από τον Ατλαντικό Ωκεανό.

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή, οι πρώτες μικρές θαλάσσιες μονάδες τέθηκαν σε λειτουργία για λόγους επίδειξης. Το 1991 στη Δανία ξεκίνησε η λειτουργία του πρώτου υδάτινου αιολικού πάρκου κοντά στο Vindeby στα ανοιχτά των ακτών του Lolland. Το μικρό αυτό αιολικό πάρκο αποτελείται από 11 ανεμογεννήτριες που τοποθετούνται σε βάθος 3-4 μέτρων και η καθεμία έχει απόδοση ισχύος 450 kW.



**Εικόνα 17** Χάρτης με τη θέση των αιολικών πάρκων στην Ευρώπη<sup>37</sup>

Η μέγιστη απόσταση από την ακτή περίπου 3 χλμ., ενώ το κόστος κατασκευής ήταν σχεδόν διπλάσιο σε σύγκριση με μια αντίστοιχη επένδυση στη στεριά. Τα πρώτα βήματα στην κατεύθυνση της εμπορικής υδάτινης χρήσης της αιολικής ενέργειας έχουν γίνει στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Μέχρι τώρα, οι δοκιμασμένες ανεμογεννήτριες ήταν της τάξης των MW. Βάσει του μεγέθους του στροβίλου, ήταν πλέον δυνατό να μεταβεί σε μεγαλύτερα βάθη των υδάτων.

<sup>37/37</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

## 4.2 Βέλγιο

Η μεγαλύτερη στον κόσμο μονάδα υπεράκτιων ανεμογεννητριών έχει εγκατασταθεί στα νερά κοντά στον προορισμό Οστάνδη Harbour στο Αιολικό Πάρκο στο Βέλγιο. Το 6 MW Haliade 150 ανεμογεννητριών μοντέλο, με μακρά 73 μέτρων λεπίδες και έναν πύργο 78 μέτρων χτίστηκε από τη γαλλική εταιρεία Alstom και αναμένεται να συγκομιδή 15% περισσότερη ενέργεια από τα Alstom-Offshore-Wind-Turbine υπάρχοντα υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Το τεράστιο υδάτινο αιολικό πάρκο έχει ολοκληρωθεί στα νερά του λιμανιού Ostend στο αιολικό πάρκο Belwind του Βελγίου. Η πολύ μεγάλη ανεμογεννήτρια 6MW «Haliade 150» κατασκευάστηκε από τη γαλλική Astom και έχοντας ύψος πτερυγίων 73 μέτρων και συνολικού ύψος 78, αναμένεται να δουλεύει 15% περισσότερο αποδοτικά από τις υπάρχουσες ανεμογεννήτριες.



**Εικόνα 18** Το μεγαλύτερο θαλάσσιο αιολικό πάρκο έχει ολοκληρωθεί στα νερά του λιμανιού Ostend στο αιολικό πάρκο Belwind του Βελγίου<sup>38</sup>

Η μεγάλη αυτή ανεμογεννήτρια θα μπορεί να παρέχει ενέργεια σε περίπου 5.000 νοικοκυριά και θα απαιτεί λιγότερη συντήρηση σε σχέση με τις

---

<sup>38</sup> Πηγή: Γ3 Ενεργειακή ΕΕ, Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας  
<http://g3energy.gr/?p=717>

υπάρχουσες ανεμογεννήτριες σε άλλα θαλάσσια αιολικά πάρκα. Αυτό είναι εφικτό διότι η 'Heliade' έχει λιγότερα μηχανικά κινούμενα μέρη και δεν έχει μηχανικό κιβώτιο, ενώ η ενσωμάτωση της μόνιμης γεννήτριας στο σώμα της τουρμπίνας είναι πιο αξιόπιστη και πιο αποδοτική λύση.

Η πρώτη ανεμογεννήτρια «Heliade 150» πέρασε απο σειρά δοκιμών στο Le Carnet της Γαλλίας και πιστοποιήθηκε με IEC για την απόδοσή της, τέσσερα χρόνια πριν. Η Alstom, με την εγκατάστασή της στο Βέλγιο, επιβεβαιώνει την υπεροχή του μοντέλου της για τη χρήση στα παράκτια αιολικά πάρκα έναντι του ανταγωνισμού, καθώς είναι φτιαγμένη αποκλειστικά για τον σκοπό αυτό<sup>39</sup>. Αποτελεί ένα πρόσθετο βήμα προς την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας σε αυτόν τον ειδικό τομέα.



**Εικόνα 19** Κατά τη διαδικασία τοποθέτησης των ανεμογεννητριών<sup>40</sup>

---

<sup>39</sup> Πηγή : Ελληνική Ένωση Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα

<sup>40</sup> <http://g3energy.gr/?p=717>





**Εικόνα 20** Κατά τη διαδικασία τοποθέτησης των ανεμογεννητριών<sup>41</sup>



**Εικόνα 21** Κατά τη διαδικασία τοποθέτησης των ανεμογεννητριών<sup>42</sup>

---

<sup>41</sup> <http://g3energy.gr/?p=717>

<sup>42</sup> Ο.Π.

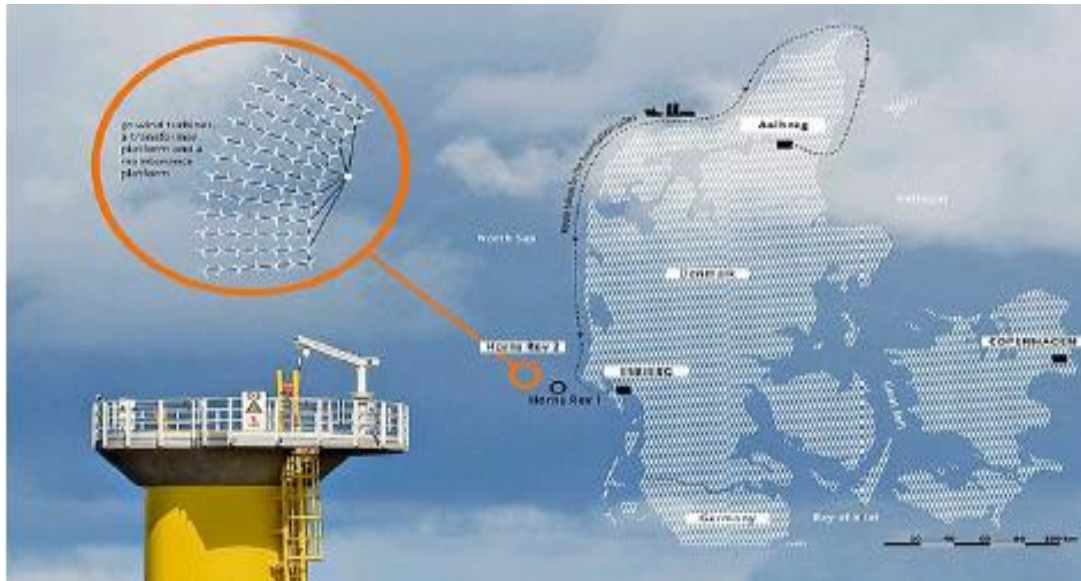
### 4.3 Δανία

Το θαλάσσιο αιολικό πάρκο Horns Rev 2, βρίσκεται στη Δανία. Έχει έκταση σχεδόν 35 τετραγωνικά χιλιόμετρα και βρίσκεται στη Βόρεια Θάλασσα σε απόσταση 30 χιλιομέτρων ανοιχτά του Μπλάαβαντς Χουκ, στη δυτική Δανία. Είναι εξοπλισμένο με 91 ανεμογεννήτριες, τις οποίες κατασκεύασε η γερμανική εταιρεία Siemens, με ικανότητα παραγωγής 2,3 μεγαβάτ ανά ώρα έκταση και μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα 200.000 νοικοκυριών ετησίως.



**Εικόνα 22** Η θέση και το μέγεθος του υπεράκτιου αιολικού πάρκου Horns Rev <sup>243</sup>

<sup>43</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010



**Εικόνα 23** Θέση του αιολικού πάρκου Horns Rev 2<sup>44</sup>

Πρόκειται για το πρώτο αιολικό πάρκο του πλανήτη, το οποίο είναι εξοπλισμένο με μετασχηματιστή. Παράλληλα, διαθέτει μια πλατφόρμα με κατοικίες για τους 24 ανθρώπους που έχουν επιφορτιστεί με τη διατήρηση και την επίβλεψη της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία αναμένεται να φτάνει τα 800 γιγαβάτ ανά ώρα κατά μέσο όρο ετησίως.

Ο πρίγκιπας διάδοχος της Δανίας Φρέντερικ εγκαινίασε την κατασκευή του πάρκου αυτού και δαπανήθηκαν 3,5 δις. κορώνες (469 εκατ. ευρώ). Συνιστά το ένατο θαλάσσιο αιολικό πάρκο που κατασκευάζεται από το 1991 στη Δανία. Σχεδόν το 20% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στη Δανία καλύπτεται από την αιολική ενέργεια και προβλέπει τριπλασιασμό των ικανοτήτων της σε θαλάσσια πάρκα τα τέσσερα προσεχή χρόνια.

Το Vindeby αποτελεί το πρώτο θαλάσσιο αιολικό πάρκο στη Δανία. Σχετικά με την κατασκευή του πάρκου, είναι ενσωματωμένο πάνω σε θεμελιώσεις μονού πυλώνα, η οποία έγινε η προτιμώμενη δομή στήριξης για τις υπεράκτιες ανεμογεννήτριες.

<sup>44</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010





**Εικόνα 24** Θαλάσσιο Αιολικό Πάρκο στο Vindeby αποτελούμενο από 11 ανεμογεννήτριες<sup>45</sup>

Ένα παράδειγμα τυπικού υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι το αιολικό πάρκο Horns Rev, στην δυτική ακτή της Δανίας. Στο έργο αυτό κατασκευής αιολικού πάρκου έχει επιλεγθεί η έδραση μονού πυλώνα. Η πρώτη φάση κατασκευής της έδρασης απαιτούσε την προετοιμασία του θαλάσσιου βυθού. Για ελαχιστοποίηση της διάβρωσης, τοποθετήθηκε ένα στρώμα από σκύρα για τη θεμελίωση. Κατόπιν, τοποθετήθηκε ο μονός πυλώνας στην απαιτούμενη θέση και στερεώθηκε μέσω του στρώματος στον πυθμένα. Η βύθιση του μονού πυλώνα στον πυθμένα της θάλασσας είναι περίπου 25 μέτρα.

Χρησιμοποιήθηκαν ειδικά σχεδιασμένες φορτηγίδες, εξοπλισμένες με ενισχυμένο καταδυτικό έμβολο. Τα τεμάχια μεταβατικής ζεύξης ποντίστηκαν μαζί με τους μονούς πυλώνες, αναδεικνύοντας τις διατάξεις αποβίβασης του πλοίου και την καθοδική προστασία. Οι αγωγοί καλωδίων για τα υποβρύχια καλώδια σφραγίστηκαν με σκυρόδεμα και το στρώμα των σκύρων καλύφθηκε με χαλίκια και πέτρες. Για την ανέγερση των ανεμογεννητριών χρησιμοποιήθηκαν ειδικές ανυψωτικές εξέδρες με βυθιζόμενα υποστηρίγματα, εφοδιασμένες με ανυψωτικό εξοπλισμό για την ανύψωση όλων των τμημάτων των ανεμογεννητριών και την απευθείας συναρμολόγησή τους.

---

<sup>45</sup> Πηγή : Κατσίρος Α., 2013

## 4.4 Αγγλία

Η Αγγλία θεωρείται πρωτοπόρος στη δημιουργία αιολικού πάρκου στον κόσμο. Το θαλάσσιο αιολικό πάρκο Thanet, στην ακτή Kent βρίσκεται στο Ηνωμένο Βασίλειο. Εγκαινιάστηκε το έτος 2010 στο Κεντ, στη νοτιοανατολική Αγγλία το μεγαλύτερο θαλάσσιο αιολικό πάρκο στον κόσμο. Το πάρκο κατασκευάστηκε από τον σουηδικό δημόσιο ενεργειακό όμιλο Vattenfall και βρίσκεται ανοιχτά της περιοχής του Θάνετ.



**Εικόνα 25** Η θέση του αιολικού πάρκου Thanet<sup>46</sup>

Όπως ανακοίνωσε η κατασκευάστρια σουηδική εταιρεία Vattenfall, η αξία του έργου έφτασε στο επίπεδο των 925 εκατ. ευρώ, ενώ ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο μετά από δύο χρόνια εντατικών εργασιών.

Στη σύγχρονη εποχή διαθέτει εκατό ανεμογεννήτριες ύψους 115μ. η καθεμιά. Αυτές παρατάσσονται σε οκτώ σειρές, καλύπτουν 35 τετραγωνικά χιλιόμετρα και παράγουν 300W, τα οποία επαρκούν για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε 240.000 νοικοκυριά. Τα επόμενα τέσσερα χρόνια, ο αριθμός των ανεμογεννητριών του θα αυξηθεί σε 341. Στη Βρετανία, η συνολική παραγωγή αιολικής ενέργειας φτάνει τα 5GW, δηλαδή αρκεί για την κάλυψη του ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνεται στη Σκωτία.

<sup>46</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

Αρκετά μακριά βρίσκεται η Αγγλία από τον στόχο της, προκειμένου να εξασφαλίσει το 15% της ενέργειάς της από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέχρι το 2020. Έτσι, ακολουθεί η κατασκευή του London Array 12 μίλια από τις ακτές του Κεντ και του Έσεξ στις εκβολές του ποταμού Τάμεση, το οποίο θα έχει 241 ανεμογεννήτριες ισχύος 3-7 MW και θα παράγει 1000MW ενέργεια ικανή να εξυπηρετεί τις ανάγκες 75.000 νοικοκυριών και αντιστοιχεί σε 3,525 GWh/year.



**Εικόνα 26** Οι ανεμογεννήτριες έχουν 115μ. ύψος και καλύπτουν 35 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Σήμερα υπάρχουν περίπου 250 αιολικά πάρκα στη Βρετανία, από τα οποία τα δώδεκα είναι θαλάσσια<sup>47</sup>

---

<sup>47</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

## 4.5 Σουηδία

Το υδάτινο αιολικό πάρκο Lillgrund βρίσκεται στη Σουηδία. Εγκαινιάστηκε το 2008 και απέχει 10 χιλιόμετρα από τις νοτιοδυτικές ακτές της Σουηδίας, μεταξύ Σουηδίας και Δανίας στη γέφυρα Oresund.



Εικόνα 27 Θέση του υδάτινου αιολικού πάρκου Lillgrund στη Σουηδία<sup>48</sup>

Απαρτίζεται από 48 ανεμογεννήτριες, οι οποίες είναι ικανές να παράγουν 330 GWh κάθε χρόνο και αντιστοιχούν στις ανάγκες 60.000 νοικοκυριών. Τα ύψη των ανεμογεννητριών φτάνουν τα 115μ., με διάμετρο ρότορα 93μ. . Κάθε ανεμογεννήτρια παράγει 2,3 MW και είναι εγκατεστημένες σε βάθος από 4 έως 10μ. . Είναι σκόπιμο να σημειωθεί ότι υπάρχει υποσταθμός μετασχηματισμού του ηλεκτρικού ρεύματος. Η κατασκευή του έγκειται όταν υπάρχουν μεγάλες αποστάσεις από την ηπειρωτική χώρα και με αυτόν τον τρόπο προτιμάται η μεταφορά της ενέργειας από το υδάτινο αιολικό πάρκο με υψηλή τάση.

<sup>48</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

Στον υποσταθμό αυτό καταλήγουν όλες οι γραμμές από τις ανεμογεννήτριες σε ένα κεντρικό σημείο και εκεί η ενέργεια μετασχηματίζεται σε υψηλής τάσης. Επίσης, περιλαμβάνει όλους τους αναγκαίους πίνακες μεταγωγής, σε συνδυασμό με άλλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.



**Εικόνα 28** Πρώτη παράκτια ανεμογεννήτρια στο Nagersud της Σουηδίας το 1990 (Κατσιρός Α., 2013)



## 4.6 Γερμανία

Το θαλάσσιο αιολικό πάρκο Alpha Ventus βρίσκεται στη Γερμανία, γνωστό και ως Borkum West. Αποτελεί το πρώτο αιολικό πάρκο της Γερμανίας και βρίσκεται στη Βόρεια Θάλασσα, σε απόσταση 45 χιλιομέτρων βόρεια από το νησί Borkum, από όπου πήρε και την ονομασία.

Το υδάτινο αυτό αιολικό πάρκο τέθηκε σε λειτουργία το 2010, έπειτα από περίπου επτά μήνες δημιουργίας και κατασκευής. Απαρτίζεται από 12 ανεμογεννήτριες, οι οποίες βρίσκονται σε βάθος 30μ., παράγουν 60MW και δεν είναι ορατές από στεριά. Διατάσσονται σε τρεις σειρές με αποστάσεις 800μ. και καλύπτουν την επιφάνεια 4 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Η κατασκευή δόθηκε στην επιβλεψη της Deutsche Offshore-Testfeld und Infrastruktur (DOTI), η οποία αποτελείται από τις τρεις ακόλουθες εταιρείες:

- EWE AG
- e.om Climate and Renewables Central Europe GmbH
- Vattenfall Europe Windkraft



**Εικόνα 29** Οι ανεμογεννήτριες και η πλατφόρμα του μετασχηματιστή<sup>49</sup>

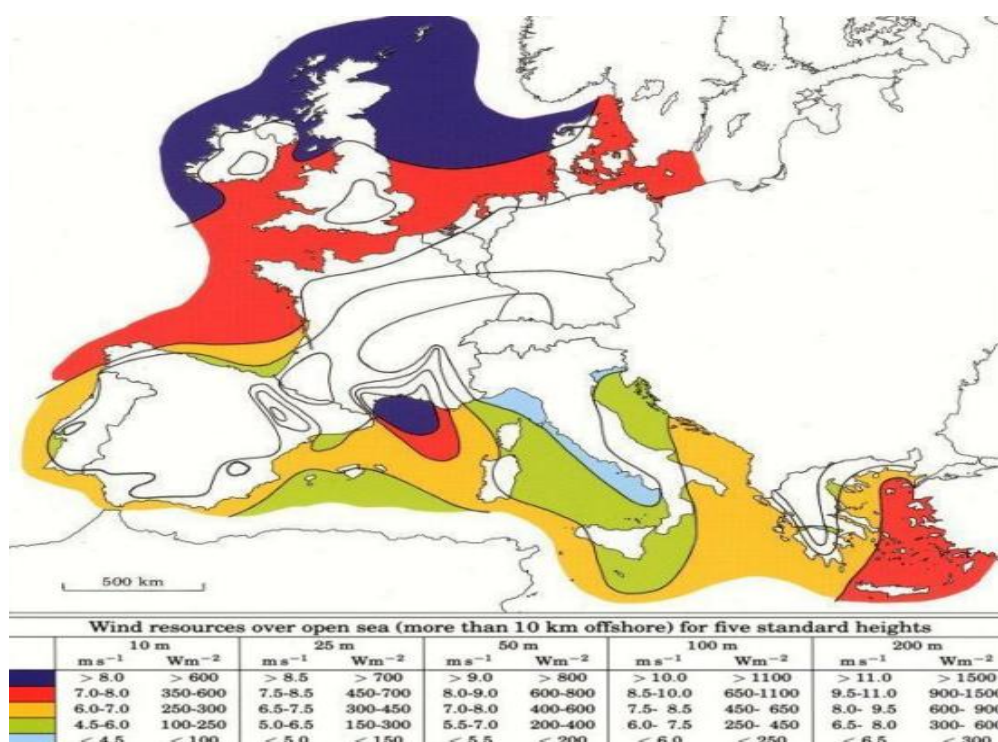
---

<sup>49</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

Όπως και στο υδάτινο αιολικό πάρκο Lillgrund της Σουηδίας, έτσι και το Alpha Ventus ή Borkum West, διαθέτει υποσταθμό μετασχηματισμού αιολικού ρεύματος. Βρίσκεται στη νοτιοανατολική γωνία του πάρκου, με δωμάτιο ελέγχου και χειρισμού των ανεμογεννητριών και κέντρο υποστήριξης λογισμικού. Οι έξι ανεμογεννήτριες είναι μοντέλα M5000 της Areva Multibird και βρίσκονται στο νότιο τμήμα του πάρκου, ενώ οι υπόλοιπες έξι είναι μοντέλα Repower 5M στο βόρειο τμήμα του θαλάσσιου αιολικού πάρκου.

## 4.7 Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μια χώρα προικισμένη με έντονο αιολικό δυναμικό και αναξιποίητο προς το παρόν. Παρόλο που η φήμη των ηπειρωτικών αιολικών πάρκων είναι ευρέως διαδεδομένη, τεράστιες προοπτικές ανάπτυξης παρουσιάζουν και τα θαλάσσια αιολικά πάρκα, όπως αναπτύσσεται στη μελέτη.



**Εικόνα 30** Το αιολικό δυναμικό στις 20 θαλάσσιες περιοχές της Ευρώπης<sup>50</sup>

<sup>50</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

Τα υδάτινα αιολικά πάρκα μπορούν να προσφέρουν τεράστια οφέλη στον ενεργειακό τομέα. Αρκετά μέρη της Ελλάδας, μεταξύ αυτών και η Κρήτη, είναι από τις περιοχές που σύμφωνα με τις αναλύσεις και τα στατιστικά που υπάρχουν, διαθέτουν πλούσιο αιολικό και κυματικό δυναμικό. Απώτερος στόχος είναι να παραχθεί ενέργεια από ΑΠΕ μέσω θαλάσσης και να συμβάλει τα μέγιστα στην παραγόμενη, καθώς ο άνεμος είναι μέχρι και 20% ισχυρότερος.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι ακόμα σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με αυτή που παράγεται από πάρκα της ξηράς. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία του Ινστιτούτου για την Ενέργεια (Institute for Energy) του Κοινού, το γεγονός ότι το θαλάσσιο περιβάλλον δίνει περισσότερη ελευθερία στην εύρεση κατάλληλης περιοχής για εγκατάσταση αιολικού πάρκου δε σημαίνει ότι η επιλογή της περιοχής γίνεται αυθαίρετα. Για να επιλεγεί κάποια περιοχή πρέπει να πληρεί κάποια βασικά κριτήρια, τα οποία τίθενται από την εκάστοτε χώρα. Συνήθως, τα κριτήρια αυτά έχουν να κάνουν με το βάθος (συνήθως έως 50 μέτρα, την απόσταση από την ακτή (συνήθως μέχρι 10 χιλ.), την οπτική όχληση από την ακτή, αν η περιοχή είναι προστατευόμενη, ικανοποιητική ταχύτητα ανέμου κ.ά.

Ενεργειακή μελέτη για την Ελλάδα έδειξε ότι η χώρα μας μπορεί να καλύψει με 500 μεγάλες ανεμογεννήτριες τουλάχιστον το 10% των ενεργειακών αναγκών της, ενώ τα νησιά του Αιγαίου, τα οποία έχουν πολύ υψηλό δυναμικό, εάν διασυνδεθούν με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο μπορούν να αποτελέσουν αιολικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αντίστοιχους με τους 21 θερμοηλεκτρικούς της ενδοχώρας. Ωστόσο, υπολείπονται σήμερα σε αριθμό και δυναμικό αιολικών πάρκων. Ως καταλληλότερες περιοχές για δημιουργία θαλάσσιων αιολικών πάρκων είναι οι Κυκλάδες, το Βόρειο Αιγαίο, η Νότια Κρήτη, το Βόρειο Ιόνιο καθώς και το νοτιοανατολικό τμήμα των Δωδεκανήσων<sup>51</sup>.

Η ορθή χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου εντός θαλάσσης, προϋποθέτει την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών σε μακρινή απόσταση από την ακτο-

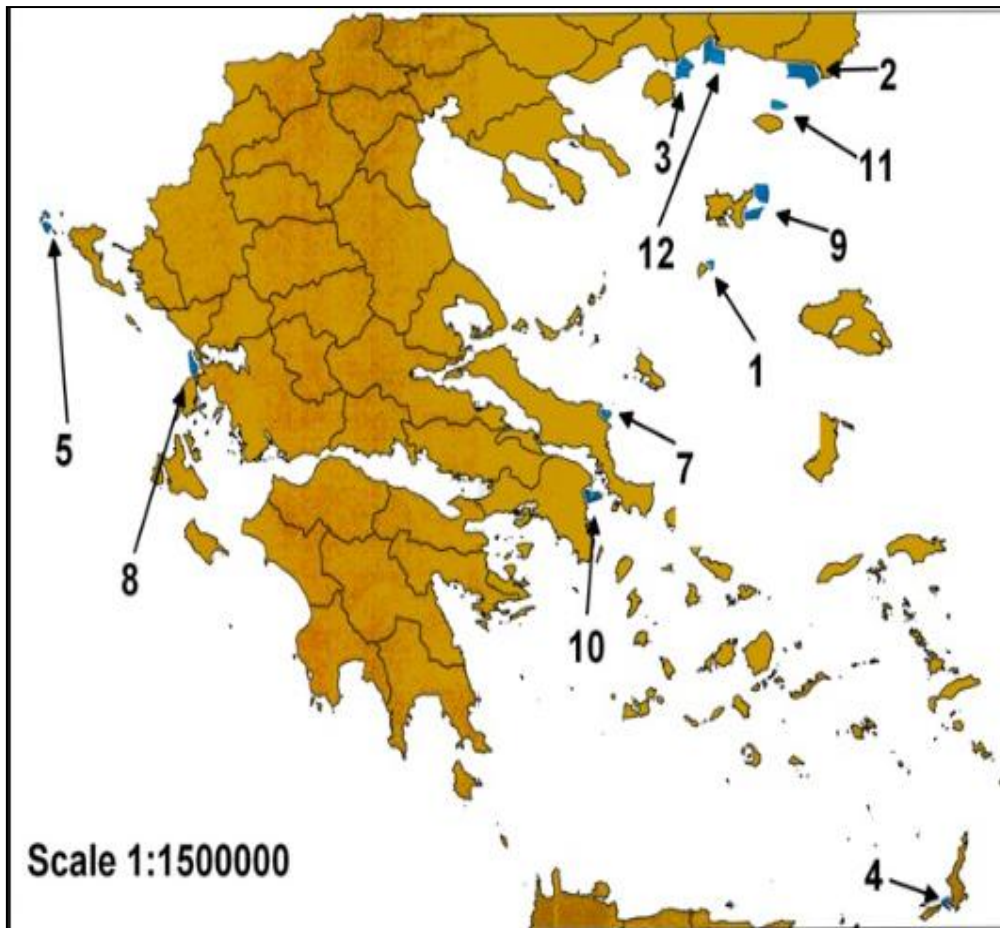
---

<sup>51</sup> Βραχίμης&Ξωνίκης&Παπγκιώτης, Υπεράκτιες Ανεμογεννήτριες-Ζητήματα Διασύνδεσής τους στο δίκτυο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

γραμμή και σε μικρά βάθη θαλάσσης, με διάφορα κριτήρια αλλά βασικότερο όλων προφανώς είναι η οικονομικότητα (κόστος κατασκευής, συντηρήσεως κτλ).

Ο βασικός περιορισμός που υπάρχει, ωστόσο, στην Ελλάδα, είναι τα βάθη της θάλασσας, με δεδομένο ότι οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε βάθος μέχρι 40 μέτρα, το ανώτερο 50 μέτρα, σημεία που οριοθετούνται «κοντά» τις ακτές. Ο περιορισμός αναφέρεται στις κοινωνικές αντιδράσεις και όχι σε θέματα τεχνικής φύσεως.

Στην Ελλάδα δεν είναι ακόμα εγκατεστημένα υπεράκτια αιολικά πάρκα. Ωστόσο, έχουν επιλεγεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικών Αλλαγών<sup>12</sup> θαλάσσιες περιοχές ανά τη χώρα για εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Αυτές οι περιοχές είναι σε Άγιο Ευστράτιο, Αλεξανδρούπολη, Κάρπαθο, Κέρκυρα, Θάσο, Κρυονέρι, Κύμη, Λήμνο, Λευκάδα, Πεταλιούς, Σαμοθράκη και Φανάρι Ροδόπης συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας 1,2 GW.



**Εικόνα 31** Οι περιοχές που έχουν επιλεγεί για την πρώτη απόπειρα κατασκευής υδάτινων αιολικών πάρκων<sup>52</sup>

Η πρώτη περιοχή από τις προαναφερθέντες είναι η Λήμνος, η οποία ήδη από το 2012 υποστηρίζεται ότι θα αποτελέσει το τρίτο μεγαλύτερο θαλάσσιο αιολικό πάρκο στον κόσμο. Αποτελείται από 81 ανεμογεννήτριες με συνολική ισχύ 498,15 MW και πρόκειται για επένδυση συνολικού ύψους 2 δισ. ευρώ της RF Energy. Το έργο πρόκειται να εγκατασταθεί στα βορειοανατολικά της Λήμνου (στα ελληνικά χωρικά ύδατα μεταξύ του νησιού και της Ίμβρου) σε απόσταση άνω των 2 χιλιομέτρων από την ακτή προκειμένου να μην προκαλεί

<sup>52</sup> Πηγή: Από την Πράσινη στη «Μπλε» Ενέργεια  
<http://www.madeincretta.gr/el/article/%CE%B1%CF%80%CF%8C-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CF%80%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%BD%CE%B7-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%C2%AB%CE%BC%CF%80%CE%BB%CE%B5%CE%BB-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1>

οπτική όχληση, και σε βάθος που θα αρχίζει από τα 22 και θα φτάνει στα 45 μέτρα<sup>53</sup>.

Με βάση την ισχύ του (498,15 MW) κατατάσσεται στην 3η θέση παγκοσμίως, ανάμεσα στα υπό κατασκευή offshore πάρκα: τα δύο πρώτα βρίσκονται στη Μεγάλη Βρετανία, και είναι το London Array και το Greater Gabbard με 630 και 504 MW αντίστοιχα, ενώ το τέταρτο, με ισχύ 400 MW, βρίσκεται στη Γερμανία κοντά στο νησί Μπόρκουμ (Trianel Borkum West II) της Βόρειας Θάλασσας.

Ο λόγος που επελέγη η συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή είναι επειδή θεωρείται από τα πιο κατάλληλα σημεία του Αιγαίου, καθώς έχει καλό ανεμολογικό δυναμικό και είναι ρηχή, καθώς όσο αυξάνεται το βάθος τόσο αυξάνεται γεωμετρικά και το κόστος για ένα υπεράκτιο πάρκο<sup>54</sup>. Η σύνδεση θα επιτευχθεί μέσω υποθαλάσσιου καλωδίου μήκους περίπου 120 χιλιομέτρων μέχρι τα παράλια του Νομού Ξάνθης, και εν συνεχεία με υπόγειο καλώδιο 18 χιλιομέτρων θα ενωθεί με το εθνικό σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας. Η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση θα είναι αυτή του συνεχούς ρεύματος, που σημαίνει αγωγοί μικρότερου μεγέθους, φιλικότεροι προς το περιβάλλον σε σύγκριση με το εναλλασσόμενο.

Σύμφωνα με τις πηγές, το πάρκο θα παράγει ενέργεια ικανή να τροφοδοτήσει περίπου 500.000 νοικοκυριά, ενώ η λειτουργία του θα συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 1,73 εκατ. τόνους τον χρόνο.

---

<sup>53</sup> Σουριανός, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Η περίπτωση των Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων*, Ερευνητική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

<sup>54</sup> Χασκίδη, *Αιολική Ενέργεια σε Ελλάδα και Ευρώπη*, Πάτρα, 2010

## **5. ΜΕΛΕΤΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΓΥΘΕΙΟΥ**

### **Εισαγωγή**

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο στον Ελλαδικό χώρο σήμερα δεν λειτουργεί κάποιο θάλασσιο αιολικό πάρκο αν και σε περιοχές με πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό διασυνδεθούν με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο μπορούν να αποτελέσουν αιολικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αντίστοιχους με τους 21 θερμοηλεκτρικούς της ενδοχώρας. Ως καταλληλότερες περιοχές για δημιουργία θαλάσσιων αιολικών πάρκων είναι οι Κυκλάδες, το Βόρειο Αιγαίο, η Νότια Κρήτη, το Βόρειο Ιόνιο καθώς και το νοτιοανατολικό τμήμα των Δωδεκανήσων<sup>55</sup> Ενδιαφέρον ως θαλάσσια περιοχή που βρίσκεται κοντά στην Στερεά Ελλάδα παρουσιάζει και η περιοχή του Γυθείου

### **5.1 Αιολικό Δυναμικό Περιοχής Μελέτης**

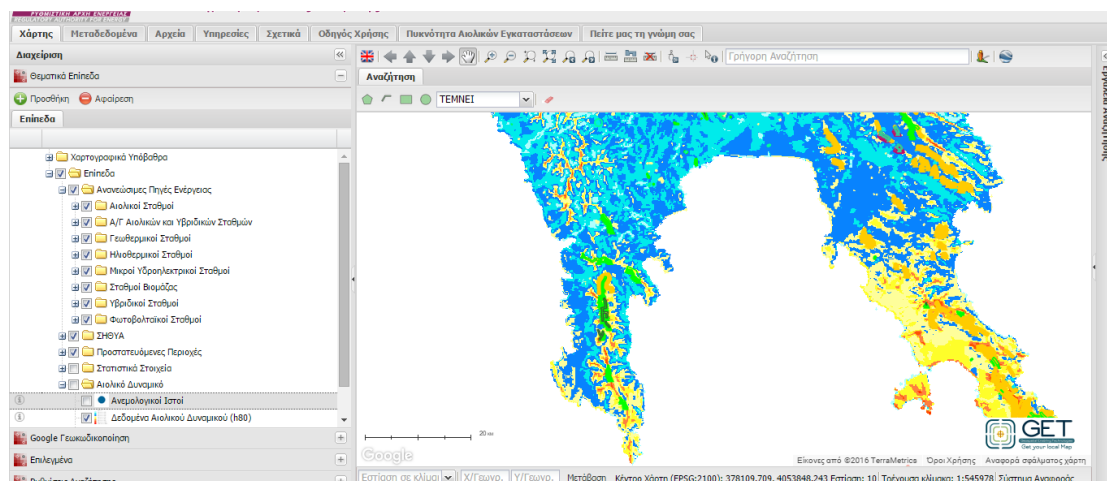
Μεγάλη σημασία για την επιλογή της τοποθεσίας αποτέλεσε το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου είναι 6,2m/sec, το οποίο συνεπάγεται αιολικό δυναμικό υψηλής ποιότητας.

Η προμελέτη του έργου θα πρέπει να περιέχει καταγραφή της διαχρονικής συμπεριφοράς του αιολικού δυναμικού της περιοχής με σκοπό την εξασφάλιση ασφαλούς πρόβλεψης της μακροχρόνιας συμπεριφοράς του ανέμου από καταγεγραμμένα στοιχεία ορισμένων ετών. Η αξιολόγηση της ανεμολογικής κατάστασης θα βασίζεται σε διαθέσιμα ανεμολογικά στοιχεία διάρκειας τουλάχιστον 12 μηνών.

---

<sup>55</sup> Βραχίμης&Ξωνίκης&Παπγιώτης, Υπεράκτιες Ανεμογεννήτριες-Ζητήματα Διασύνδεσής τους στο δίκτυο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

Η μεθοδολογία των μετρήσεων προβλέπει μακροχρόνιες και αναλυτικές μετρήσεις. Ανασταλτικός παράγοντας εφαρμογής της μεθόδου αποτελεί το πολύ υψηλό κόστος με αποτέλεσμα να έχει γίνει χρήση ημι-εμπειρικών μοντέλων που περιγράφουν το τοπικό αιολικό δυναμικό της περιοχής. Οι μετρήσεις λοιπόν παρουσιάζουν ένα ποσοστό αβεβαιότητας της τάξης των 0,2m/sec.



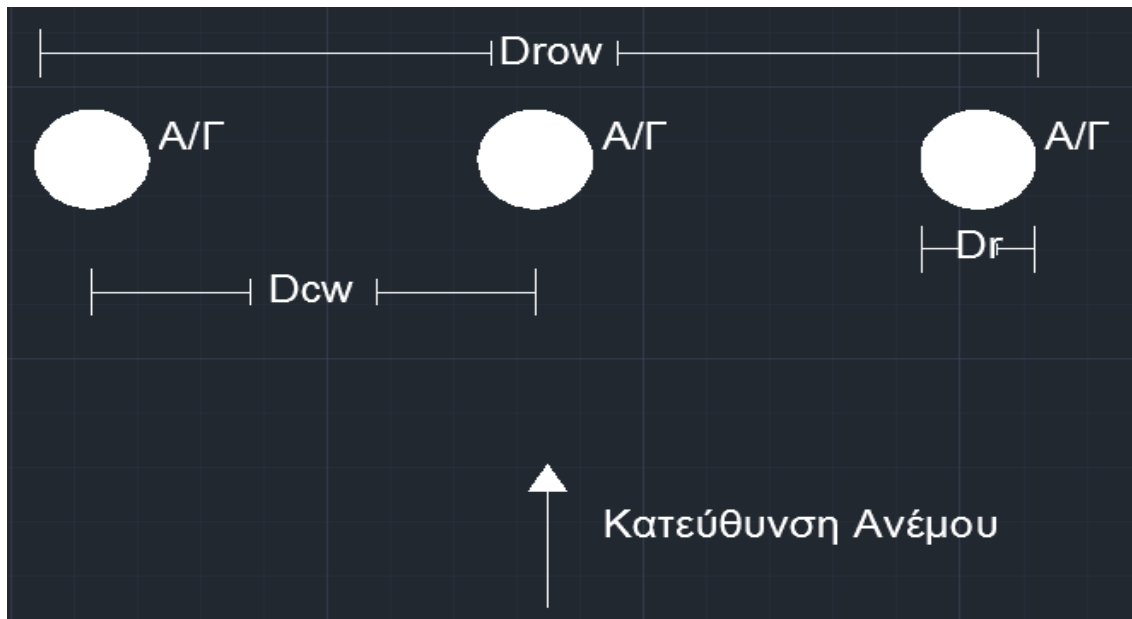
Εικόνα 32 Αιολικό Δυναμικό στην περιοχή του Γυθείου<sup>56</sup>

## 5.2 Οικόπεδο Εγκατάστασης Θαλάσσιου Αιολικού Πάρκου

Για τον υπολογισμό της έκτασης του οικοπέδου που απαιτείται θα πρέπει να προσδιορίσουμε τις οριζόντιες και κάθετες αποστάσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών. Τα δεδομένα που χρειάζονται για τον υπολογισμό είναι:

<sup>56</sup> Πηγή : <http://www.rae.gr/geo/>





**Εικόνα 33** Χωροθέτηση των ανεμογεννητριών

$D_{row}$ : Οριζόντιο μήκος οικοπέδου

$D_{cw}$ : Οριζόντια απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών

$D_r$ : Διάμετρος ρότορα 71 μέτρα (από το φυλλάδιο του κατασκευαστή)

$N_{row}$ : αριθμός ανεμογεννητριών σε οριζόντια διάταξη = 3

Αριθμός Εγκατεστημένων Ανεμογεννητριών : 3

Ισχύς Έκαστης Ανεμογεννήτριας : 2,3 MW

Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D_{cw} = 3 * D_r = 3 * 71 = 213 \text{ μέτρα}$$

(όπου 3 είναι συντελεστής απόστασης, επιλογή μικρότερης του 3 χρήζει αιτιολόγησης). Το μήκος του οικοπέδου ορίζεται από τον τύπο:

$$D_{row} = (N_{row}-1) * D_{cw} = 2 * 213 = 426 \text{ μέτρα}$$

Το πλάτος του οικοπέδου έχει οριστεί στα 71 μέτρα. Το εμβαδό του οικοπέδου υπολογίζεται ως  $426\mu \cdot 71\mu = 30.246 \text{ τ.μ.}$  Δηλαδή 10 στρέμματα ανά εγκατεστημένη ανεμογεννήτρια.

### **5.3 Διαδικασία Κατασκευής**

Τα στάδια κατασκευής του αιολικού πάρκου από την αρχική σύλληψη του μέχρι την ολοκλήρωση της κατασκευής του και την έναρξη λειτουργίας του παρουσιάζονται παρακάτω

**Επιλογή θέσης για την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου.** Η διαδικασία αναλύεται στην ενότητα που αφορά τη χωροθέτηση του θαλάσσιου αιολικού πάρκου.

**Μετρήσεις αιολικού δυναμικού.** Τεκμηρίωση ύπαρξης εκμεταλλεύσιμου ανανεώσιμου δυναμικού. Τα απαραίτητα στοιχεία και οι χάρτες θαλάσσιου αιολικού δυναμικού που αφορούν την επιλεγμένη περιοχή παραθέτονται στην ενότητα περί χωροθέτησης του αιολικού πάρκου.

**Εκπόνηση Ενεργειακών Μελετών Σχεδιασμός και χωροθέτηση έργου.** Η κατασκευή του θαλάσσιου αιολικού πάρκου προαπαιτεί τη διενέργεια ποικίλων ειδικών μελετών. Αναγκαία είναι η διεξαγωγή προκαταρτικών και ειδικών μελετών ανάπτυξης του αιολικού πάρκου, ούτως ώστε να καθοριστούν τα όρια της μέγιστης εφικτής παραγωγής ενέργειας. Παράλληλα λαμβάνουν χώρα μελέτες εδαφο-μηχανικής από έμπειρους τοπογράφους και πολιτικούς μηχανικούς καθώς και έρευνες σχετιζόμενες με τις ηλεκτρονικές και τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται

**Κατασκευή - Μεταφορά ανεμογεννητριών.** Η μεταφορά, η εγκατάσταση και η λειτουργία των ανεμογεννητριών στη θάλασσα έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις και κυρίως κοστίζουν πολύ περισσότερο από τις εγκαταστάσεις αιολικής

ενέργειας στη στεριά. Οι πρώτες δυσκολίες εμφανίζονται στη μεταφορά του πύργου και του ρότορα, που ξεπερνούν σε μήκος τα 50 μέτρα, για τόσο μεγάλες αποστάσεις από την ξηρά. Το ίδιο ισχύει και στις περιπτώσεις μεταφοράς πολύπλοκων δομών, όπως για παράδειγμα τα θεμέλια πολλών πυλώνων.

Για οικονομικούς λόγους θα πρέπει να προκατασκευάζονται τμήματα των ανεμογεννητριών στη στεριά προκειμένου να αποφευχθούν οι κοστοβόρες εργασίες στη θάλασσα με τις αβεβαιότητες ως προς το χρόνο και τις καιρικές συνθήκες. Σε όλα αυτά πρέπει να συνυπολογιστεί και το μέγεθος τόσο του συνεργείου όσο και των μηχανημάτων που θα χρειαστούν. Στη θεμελίωση μονού πυλώνα απαιτείται ένα βαρύ-υδραυλικό σφυρί προκειμένου να τοποθετήσει τους σωλήνες από χάλυβα με διάμετρο 4 μέτρων στη θάλασσα σε βάθος περίπου 20 μέτρων. Η συναρμολόγηση του τρίποδου θεμελίου απαιτεί λιγότερο βαρύ εξοπλισμό. Ωστόσο είναι πιο δύσκολη η μεταφορά του προκατασκευασμένου τμήματος του θεμελίου. Οι καιρικές συνθήκες είναι ένας σημαντικός παράγοντας κινδύνου για τη συναρμολόγηση καθώς αυτή μπορεί να γίνει μόνο όταν η θάλασσα είναι ήρεμη. Το σημαντικότερο κριτήριο είναι το ύψος κύματος κατά τη διάρκεια της σύνδεσης. Οι εργασίες γίνονται εξαιρετικά δύσκολες έως αδύνατες, όταν το ύψος των κυμάτων ξεπερνούν το ένα μέτρο, με αποτέλεσμα την προσωρινή διακοπή τους. Κάτι τέτοιο συνεπάγεται και επιπλέον κόστος εργασιών.

Η μεταφορά στο χώρο πραγματοποιείται συνήθως μέσω μίας πλεύμενης πλατφόρμας και με τη βοήθεια ενός σκάφους ρυμούλκησης. Οι πλατφόρμες έχουν πυλώνες στήριξης που ακουμπούν στον πυθμένα για μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την εργασία συναρμολόγησης.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η προσβασιμότητα των εργατών και των υπευθύνων στο χώρο του αιολικού πάρκου. Σε περίπτωση μεγάλης θαλασσοταραχής το πλοίο δε μπορεί να φτάσει στην αποβάθρα. Έτσι τελευταία γίνονται προσπάθειες πρόσβασης υποβρύχια ή μέσω αέρα, αντίστοιχα με υποβρύχια οχήματα ή ελικόπτερα.

**Σύνδεση του αιολικού πάρκου στο ηλεκτρικό δίκτυο.** Για να ξεκινήσει η κατασκευή της εγκατάστασης και στην συνέχεια η λειτουργία του αιολικού σταθμού είναι απαραίτητο να δοθεί άδεια εξωτερικής Γραμμής Μεταφοράς

Ηλεκτρικής Ενέργειας στο δίκτυο της ΔΕΗ. Με την κατασκευή του εξωτερικού δικτύου κάθε ανεμογεννήτρια θα συνδεθεί στη συνέχεια σε γραμμή μέσης τάσης μέσα στο σταθμό παραγωγής αιολικής ενέργειας μέσω υποσταθμού ανύψωσης μέσης τάσης. Η γραμμή αυτή θα τοποθετηθεί υπόγεια και θα διατρέχει όλο το μήκος του αιολικού πάρκου. Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται μέσω υπόγειας γραμμής μέσης τάσης μήκους 17,5 χλμ στον υφιστάμενο υποσταθμό της ΔΕΗ που βρίσκεται στην πόλη Σκάλα λακωνίας. Ο τεχνικός εξοπλισμός και μαζί με αυτόν, και το κόστος της σύνδεσης στο δίκτυο καθορίζεται από τέσσερις παράγοντες:

- Απόσταση των ανεμογεννητριών από το δίκτυο
- Τάση και ικανότητα μεταφοράς του δικτύου
- Έλεγχος ισχύος και ηλεκτρικός εξοπλισμός των Α/Γ
- Τεχνικές απαιτήσεις της χρησιμότητας για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται παράλληλα με το δίκτυο

**Ανάθεση - παράδοση του έργου.** Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την περίοδο από την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας μέχρι την τελική παράδοσή της στο χειριστή, ο οποίος θα έχει και την αποκλειστική ευθύνη. Η ενέργεια αυτή μπορεί να διαιρεθεί στις παρακάτω φάσεις :

**Λειτουργικός έλεγχος.** Περιλαμβάνει τον έλεγχο της συναρμολόγησης και την ενεργοποίηση των ηλεκτρικών και υδραυλικών μονάδων καθώς και των ηλεκτρονικών συστημάτων μετά την ανέγερση της ανεμογεννήτριας. Αποτελεί εξ' ολοκλήρου ευθύνη του κατασκευαστή.

**Δοκιμή λειτουργίας.** Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, το στάδιο αυτό μπορεί να διαρκέσει έως 250 ώρες ή αλλιώς 10 ημέρες περίπου.

**Ανεξάρτητη τεχνική αξιολόγηση.** Είναι γενικά αποδεκτό και αποτελεί ενδιαφέρον τόσο του χειριστή αλλά ακόμα ακριβέστερα και του αγοραστή το να έχει υπό την κατοχή του μια ανεξάρτητη αξιολόγηση της τεχνικής κατάστασης της ανεμογεννήτριας πριν του παραδοθεί το έργο.

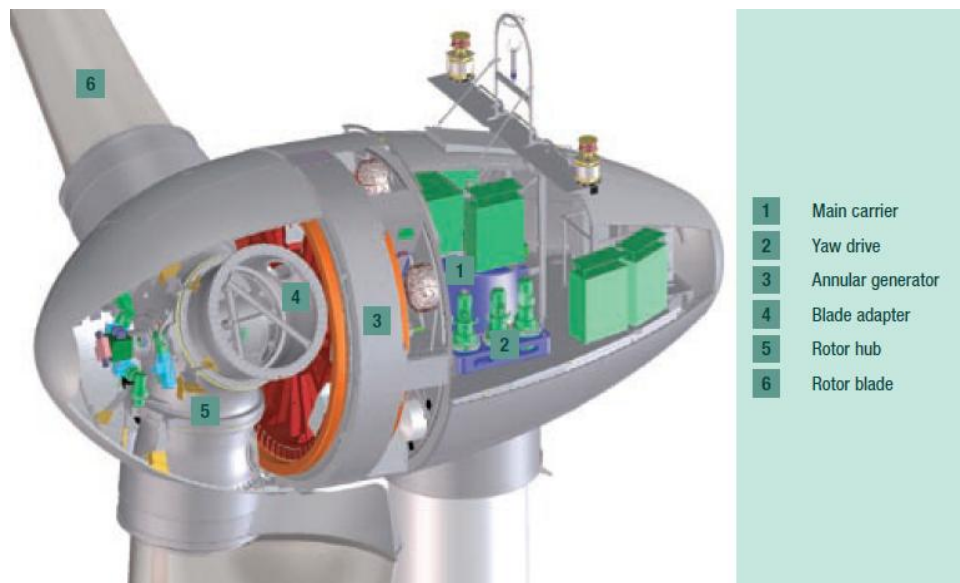
**Αποδοχή και παράδοση.** Μετά από τη δοκιμαστική λειτουργία και τις τεχνικές αξιολογήσεις από έναν ανεξάρτητο εμπειρογνώμονα, η διαδικασία της αποδοχής συμφωνείται από το χειριστή. Η προϋπόθεση γι' αυτό είναι ότι η δοκιμαστική λειτουργία κρίθηκε επιτυχής και ότι διαπιστώθηκε ότι οι ανεμογεννήτριες δεν έχουν πλέον οποιοδήποτε σημαντικό ελάττωμα. Η παράδοση στο χειριστή ακολουθείται από την περίοδο εξουσιοδότησης και την κανονική λειτουργία κάτω από την ευθύνη του χειριστή.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραπάνω διαδικασίες μέχρι την έναρξη λειτουργίας του αιολικού πάρκου καθώς και την τεχνολογία παραγωγής αλλά και τα δεδομένα της ελληνικής πραγματικότητας κατά τη χρονική περίοδο που διανύουμε, μπορούμε να κάνουμε μία εκτίμηση σχετικά με τη συνολική διάρκειά τους γύρω στα 3-4 έτη.

#### **5.4 Ανεμογεννήτρια Enercon E70 E4**

Η ανεμογεννήτρια είναι ένας τριπτέρυγος μετατροπέας αιολικής ενέργειας, με ενεργό έλεγχο βήματος, μεταβλητές στροφές λειτουργίας, ονομαστικής ισχύος. Η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με ρότορα διαμέτρου 71 m και ύψος πλήμνης από 57m .

Ο ρότορας καθώς και τα μηχανολογικά μέρη έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές Κατηγορίας Ανέμου III



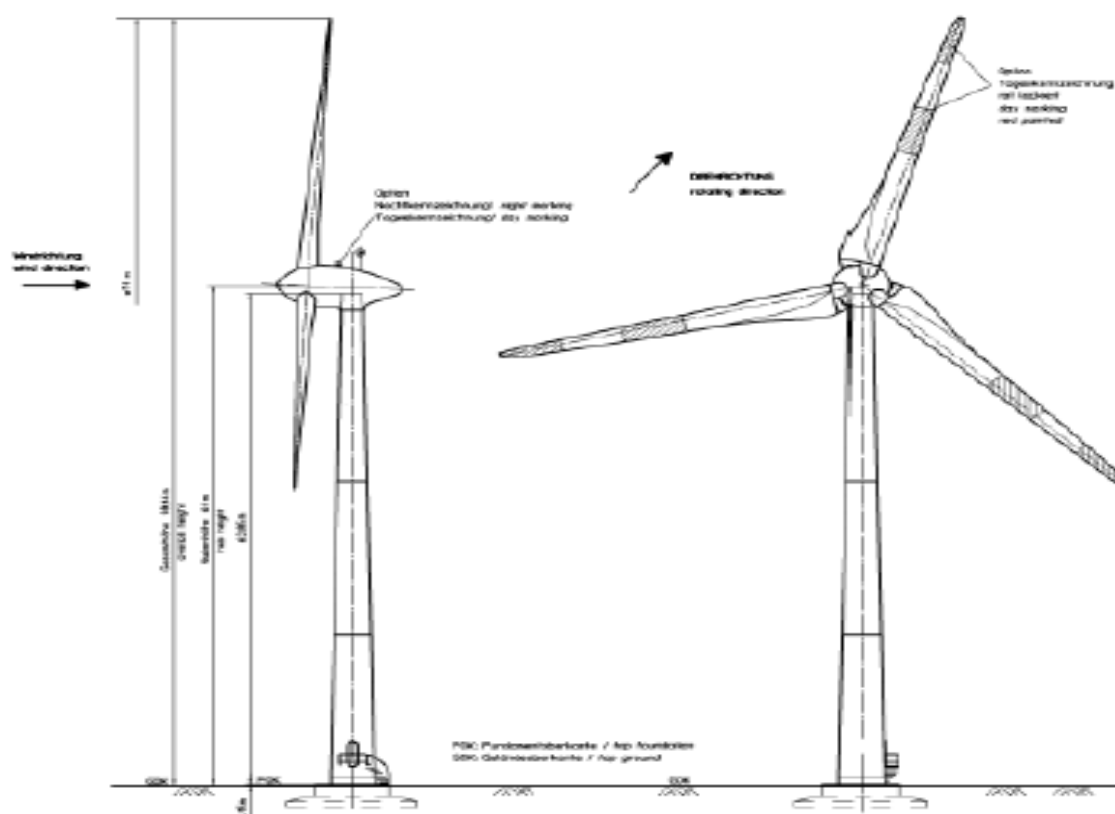
**Εικόνα 34** Μηχανικά μέρη ανεμογεννήτριας Enercon E70 E4.<sup>57</sup>

Πρότυπο	Κριτήρια Σχεδιασμού	Κατηγορία I	Κατηγορία II	Κατηγορία III	Κατηγορία IV
GL*	Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου	Μεγ. 10 m/sec	Μεγ. 8,5 m/sec	Μεγ. 7,5 m/sec	Μεγ. 6,0 m/sec
	50 χρόνων 3 δευτ. ριπή ανέμου	65,1 m/sec	55,3 m/sec	48,8 m/sec	39,1 m/sec
	50 χρόνων μέση 10λεπτη τιμή ταχύτητας ανέμου	46,5 m/sec	39,5 m/sec	34,9 m/sec	29,9 m/sec
IEC**	Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου	Μεγ. 10 m/sec	Μεγ. 8,5 m/sec	Μεγ. 7,5 m/sec	Μεγ. 6,0 m/sec
	50 χρόνων 3 δευτ. ριπή ανέμου	70 m/sec	59,5 m/sec	52,5 m/sec	42 m/sec
	50 χρόνων μέση 10λεπτη τιμή ταχύτητας ανέμου	50 m/sec	429,5 m/sec	37,9 m/sec	30 m/sec

<sup>57</sup> Πηγή: Γιαννακά, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010

Η κάθε ανεμογεννήτρια θα είναι προηγμένης τεχνολογίας προϊόν Γερμανικού οίκου και αποτελείται από τα εξής βασικά επί μέρους τμήματα:

- το δρομέα που αποτελείται από 3 πτερύγια, τα οποία προσαρμόζονται στην πλήμνη,
- το σύστημα μετάδοσης της κίνησης που προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στην ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας,
- την ηλεκτρογεννήτρια,
- το σύστημα προσανατολισμού,
- τον χαλύβδινο σωληνωτό πυλώνα στήριξης των πιο πάνω τμημάτων,
- τον ηλεκτρονικό ελεγκτή (controller) που είναι εγκατεστημένος στη βάση του πυλώνα στήριξης.
- 



**Εικόνα 35** Σκαρίφημα ανεμογεννήτριας Enercon E-70

## **5.5 Οικονομικά Στοιχεία**

Θα πρέπει να προσδιοριστούν τα εξής

- 1. Χρηματοδότηση του Έργου**
- 2. Έξοδα Κατασκευής**
- 3. Ετήσια Λειτουργικά Έξοδα**
- 4. Ετήσια Έσοδα από την πώληση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος**

### **5.6.1 Χρηματοδότηση Έργου**

Το χρηματοδοτικό πρόγραμμα που θα ακολουθηθεί για την υλοποίησή του έργου περιλαμβάνει - 30% επιχορήγηση (επιχειρησιακό πρόγραμμα ανταγωνιστικότητας) - 30% ίδια συμμετοχή - 40% δανειοδότηση

### **5.6.2 Έξοδα Κατασκευής**

Το αρχικό κόστος μιας αιολικής εγκατάστασης περιλαμβάνει την αγορά, μεταφορά και εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, καθώς και του απαραίτητου ηλεκτρονικού - ηλεκτρικού εξοπλισμού, είτε για την αυτόνομη διαχείριση και αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, είτε για τη σύνδεση με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Πιο συγκεκριμένα, το αρχικό κόστος ίδρυσης μιας αιολικής μονάδας συνίσταται από το κόστος αγοράς των ανεμογεννητριών καθώς και από το κόστος εγκατάστασης. Στο κόστος εγκατάστασης συμπεριλαμβάνεται το κόστος μεταφοράς και εκτελωνισμού, το κόστος θεμελίωσης και ανέγερσης των μηχανών, το κόστος διασύνδεσης με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο ή τις καταναλώσεις, τα κόστη μελέτης, επίβλεψης, διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου, το κόστος των απαραίτητων αδειών και εγκρίσεων, τα πιθανά χρηματοοικονομικά έξοδα, καθώς και το κόστος αγοράς ή ενοικίασης του οικοπέδου τού υπό ίδρυση αιολικού σταθμού.



1	Μετεωρολογικός Ιστός	Περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του Ιστού στην θέση του Πάρκου
2	Αγορά Ανεμογεννητριών	Το κόστος αγοράς των μηχανών, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους των πύργων ή του κόστους κατασκευής τους εφόσον δεν αγοραστούν από την εταιρεία παραγωγής των Α/Γ
3	Μεταφορά και Ασφάλιστρα	Μεταφορά των ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ από την εταιρεία παραγωγής στην θέση εγκατάστασης του Αιολικού Πάρκου
4	Συναρμολόγηση & Εγκατάσταση	Όλα τα έξοδα (γερανοί, εργατικά μεταφορικά γερανών) που απαιτούνται για την ανέγερση του Αιολικού Πάρκου
5	Μετρητικές Διατάξεις	Καλωδιώσεις και λογισμικά για την παρακολούθηση της λειτουργίας του πάρκου.
6	Ειδικός Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός	Επιπλέον εξοπλισμός για κάθε ανεμογεννήτρια. Μετασχηματιστές, γειώσεις, Αντικεραυνική προστασία, σύστημα διόρθωσης cosφ κτλ.
7	Έργα Πολιτικού Μηχανικού	Εκσκαφές, επιχώσεις, διαμόρφωση πλατειών για την εγκατάσταση των Α/Γ, διάνοιξη δρόμων, κτίριο ελέγχου, έπιπλα - γραφεία κ.τ.λ.
8	Γενικός Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός	Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για όλο το πάρκο
9	Σύνδεση με το Δίκτυο	Γραμμή μεταφοράς ενέργειας και κόστος υποσταθμού
10	Μελέτες & Άδειες	Όλες οι μελέτες, οι άδειες και τα παράβολα που απαιτούνται μέχρι και την άδεια λειτουργίας του πάρκου.
11	Εκπαίδευση Προσωπικού	Το κόστος εκπαίδευσης του προσωπικού που θα αναλάβει την συντήρηση και την επίβλεψη του Αιολικού πάρκου
12	Απρόβλεπτα	Υπολογίζονται σε 5% όλων των παραπάνω για τυχόν δαπάνες που θα προκύψουν στην πορεία εκτέλεσης του έργου

### **Κόστος αγοράς Ανεμογεννήτριας**

Το κόστος αγοράς των ανεμογεννητριών υπολογίζεται στα 1000 €/kW. Το γεγονός ότι δεν μπορούμε να γνωρίζουμε μία ακριβή τιμή εξαρχής για την αγορά της ανεμογεννήτριας οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως το κόστος χρηματοδότησης όταν υπογράφηκαν τα συμβόλαια αγοράς, τον τύπο της μηχανής, την τοποθεσία του έργου κ.ά.6.900.000€

### **Κόστος εκμίσθωσης οικοπέδου**

Η έκταση που υπολογίστηκε παραπάνω είναι 30 στρέμματα. Θα θεωρήσουμε ότι κάνουμε εκμίσθωση του οικοπέδου με κόστος 10.000€ ετησίως, δηλαδή συνολικά για τα 25 χρόνια ζωής του αιολικό πάρκου θα μας κοστίσει 250.000€.

### **Κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης Α\Γ**

Οι δαπάνες μεταφοράς και εγκατάστασης εξαρτώνται από τον αριθμό των ανεμογεννητριών που μεταφέρονται, τη διαδρομή που ακολουθείται και από τη δυσκολία εγκατάστασης. Οι κυριότερες εργασίες προετοιμασίας και εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας είναι οι εξής:

- Προετοιμασία της πλήμνης
- Τοποθέτηση του κώνου της πλήμνης
- Κλείδωμα του ρότορα
- Τοποθέτηση ανεμομέτρων και ανεμοδεικτών
- Προετοιμασία της ατράκτου
- Προετοιμασία και συναρμολόγηση πύργων
- Εγκατάσταση ατράκτου στους πύργους
- Τοποθέτηση και σύνδεση καλωδίων στους πύργους και εγκατάσταση του ελεγκτή
- Τοποθέτηση του κάθε πτερυγίου ξεχωριστά σε οριζόντια θέση
- Εγκατάσταση Μ/Σ

Το συνολικό κόστος για την μεταφορά και την τοποθέτηση των τριών ανεμογεννητριών ανέρχεται στις 80.000€

### **Δαπάνες έργων πολιτικού μηχανικού**

Τα δομικά έργα πολιτικού μηχανικού ενός αιολικού πάρκου είναι τα εξής:

- Πλατείες ανέγερσης των ανεμογεννητριών (Α/Γ)
- Θεμελιώσεις βάσεων των Α/Γ
- Τάφροι όδευσης καλωδίων κατά μήκος του Αιολικού Πάρκου και για την σύνδεση με τον Υ/Σ
- Δωμάτιο Ελέγχου Αιολικού Πάρκου

Επομένως το κόστος για τα έργα αυτά εξαρτάται από τα παραπάνω μεγέθη. Το συνολικό κόστος κυμαίνεται από 200.000 – 250.000

### **Δαπάνες ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού αιολικού πάρκου**

(προμήθεια – μεταφορά - εγκατάσταση) Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός ενός αιολικού πάρκου αποτελείται από τα εξής:

- Καλώδια οπτικών ινών
- Γειώσεις
- Αγωγοί, σωλήνες
- Μικροί υποσταθμοί ζεύξης κλάδων κ.τ.λ.

Το κόστος για τον εξοπλισμό αυτόν κυμαίνεται από 70.000-90.000

### **Οδοποιία πρόσβασης και εσωτερική οδοποιία**

Το κόστος της οδοποιίας πρόσβασης και της εσωτερικής οδοποιίας μέσα στο αιολικό πάρκο κυμαίνεται μεταξύ 50.000-80.000 ευρώ ανάλογα με το απαιτούμενο μήκος οδοποιίας καθώς επίσης και με την υφιστάμενη κατάσταση του υπάρχοντος δρόμου πρόσβασης.

### **Μελέτες, έξοδα τεχνικών και νομικών συμβούλων**

Οι διάφορες μελέτες που πραγματοποιούνται για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου είναι οι εξής:

- Μελέτη άδειας παραγωγής
- Μελέτη εκτίμησης παραγωγής & αιολικού δυναμικού
- Μελέτη αίτησης στον Αναπτυξιακό Νόμο ή οικονομικής χρηματοδότησης μέσω του Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης

- Χάρτες ψηφιοποίησης
- Μελέτη άδειας εγκατάστασης
- Γεωτεχνικές Μελέτες Αιολικού Πάρκου & Υ/Σ
- Γεωφυσικές Μελέτες Α/Π και Υ/Σ
- Μελέτες Έργων Πολιτικού Μηχανικού Α/Π
- Τοπογραφικές Μελέτες
- Μελέτες Οδοποιίας
- Μελέτες για Πολεοδομικές Άδειες
- Μελέτες Η/Μ έργων Α/Π
- Μελέτες Η/Μ έργων Υ/Σ
- Μελέτες Έργων Πολιτικού Μηχανικού Υ/Σ
- Τεχνικοοικονομική Μελέτη για ένταξη στο Ν.3299 ή μελέτη οικονομικής χρηματοδότησης μέσω ΚΠΣ
- Νομικοί Σύμβουλοι – Οικονομικοί Σύμβουλοι

1	<b>Κόστος εκμίσθωσης οικοπέδου</b>	250.000
2	<b>Κόστος αγοράς Ανεμογεννήτριας</b>	6.900.000
3	<b>Κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης Α\Γ</b>	80.000
4	<b>Δαπάνες έργων πολιτικού μηχανικού</b>	250.000
5	<b>Δαπάνες ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού αιολικού πάρκου</b>	200.000
6	<b>Οδοποιία πρόσβασης και εσωτερική οδοποιία</b>	50.000
<b>Σύνολο</b>		<b>7.560.000</b>

### **5.6.3 Λειτουργικά Ετήσια Έξοδα**

Τα έξοδα από τη λειτουργία της επένδυσης διακρίνονται σε σταθερά και μεταβλητά κόστη.

**Προσωπικό** Για την αξιόπιστη και συνεχή λειτουργία είναι απαραίτητη η παρακολούθηση της λειτουργίας του αιολικού πάρκου από έμπειρο και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό το οποίο θα εκτελεί την παρακολούθηση λειτουργίας, τη συντήρηση ρουτίνας και την αποκατάσταση βλαβών. Για τον παραπάνω λόγο θα απασχολούνται τρία άτομα. Ένας μηχανικός για τη λειτουργία και συντήρηση του αιολικού πάρκου και δύο τεχνίτες οι οποίοι θα εκπαιδευτούν κατάλληλα από την κατασκευαστική εταιρεία. Συγκεντρωτικά η μισθοδοσία τους θα κοστίσει 50.000 ετησίως

**Συστήματα ελέγχου των ανεμογεννητριών** Απαιτούνται 65.000 ευρώ για την ετήσια συντήρηση και επισκευή του όλου εξοπλισμού, των ειδικών εγκαταστάσεων και εξειδικευμένων κατασκευών. ενώ 10.000 ευρώ είναι το κόστος ασφάλισης των εγκαταστάσεων για αστική ευθύνη και ανωτέρα βία

**Κόστη συντήρησης και έκτακτων αναγκών.** Καλύπτονται στο συμβόλαιο λειτουργίας του Αιολικού Πάρκου από την προμηθευτική εταιρεία, έναντι ετήσιας αμοιβής 10.000 – 15.000 € ανά εγκατεστημένη Α/Γ.

**Τέλη Τοπικής Αυτοδιοίκησης.** Το αιολικό πάρκο έχει την υποχρέωση να καταβάλει ανταποδοτικά τέλη προς την Τοπική Αυτοδιοίκηση της εκάστοτε περιοχής 2% επί των ακαθάριστων ετήσιων εσόδων.

**Φορολογία επί των Κερδών.** Επιπρόσθετα καταβάλει Φορολογία 35% επί των κερδών προ φόρων

#### 5.6.4 Ετήσια Έσοδα από την Πώληση Ηλεκτρικού Ρεύματος στο Δίκτυο της ΔΕΗ

Το σύνολο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα αιολικά πάρκα διατίθεται αποκλειστικά στο δίκτυο υψηλής τάσης της ΔΕΗ. Με βάση τα ισχύοντα σήμερα τιμολόγια πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή και Α.Π.Ε. και χρέωσης ισχύος στο ηλεκτρικό Δίκτυο προς τη ΔΕΗ και σύμφωνα με τη νέα Υπουργική Απόφαση το Δεκέμβριο του 2009 που βασίζεται στον Νόμο 3468/2006, ένα Αιολικό Πάρκο που είναι ανεξάρτητος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας και είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο υψηλής τάσεως της ΔΕΗ στο διασυνδεδεμένο σύστημα, εισπράττει για κάθε MWh που πουλά στη ΡΑΕ, 87,85 €/ MWh. Η μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί από τη Σχέση

$$E_{\text{ετήσιο}} = P_{\text{mean}} * 8760$$

όπου  $P_{\text{mean}}$  μπορεί να θεωρηθεί η μέση ωριαία αναμενόμενη παραγωγή ισχύος και 8760, οι εργατοώρες που δουλεύονται ετησίως. Η  $P_{\text{mean}}$  υπολογίζεται από τη σχέση

$$P_{\text{mean}} = P_{\text{installed}} * CF$$

$P_{\text{installed}}$  η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του αιολικού πάρκου. Στην περίπτωση του αιολικού πάρκου Μαύρα Λιθάρια Βοιωτίας είναι 6.9MW. Και  $CF$  ο συντελεστής χρησιμοποίησης του αιολικού πάρκου. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης θεωρείται ίσος με 0,25. (ορίζεται ως οι ισοδύναμες ώρες λειτουργίας της ανεμογεννήτριας σε διάστημα ενός έτους)

$$E_{\text{ετήσιο}} = 0,25 * 6.9 * 8760 = 15.111 \text{ MWh} = 15,111 \text{ GWh}$$

Τα ετήσια έσοδα του αιολικού πάρκου από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνονται ίσα με

$$\text{Έσοδα} = 15.111 \text{ MWh} * 87,85 \text{ €/MWh} = 1.327.501,35\text{€}$$

## 5.6 Εργασίες Συντήρησης

Το πρόγραμμα συντήρησης εκτελείται περιοδικά ανά τακτά χρονικά διαστήματα και διακρίνεται στην συντήρηση των μηχανολογικών μερών της ανεμογεννήτριας που φέρουν την μεγαλύτερη κόπωση και πιθανότητα αστοχίας και βλάβης και στη συντήρηση των ηλεκτρολογικών μερών

### Εβδομαδιαία

Στις επισκευές περιλαμβάνονται οι αναλώσιμες εργασίες, οι επιδιορθώσεις βλαβών που οφείλονται σε μετεωρολογικές συνθήκες, όπως υγρασία, πάγος, υπερθέρμανση και σε φυσική φθορά ορισμένων τμημάτων του εξοπλισμού (σκουριά και διάβρωση) ή σε καταστροφές από πτώσεις κεραυνών, καταστροφές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού από ανωμαλίες δικτύου

### Μηνιαία

Η συντήρηση πρέπει να γίνεται στο σύνολο του εξοπλισμού και να περιλαμβάνει συμπλήρωση ειδικής λίστας (check list) συντήρησης, σύσφιξη κοχλιών, επιθεώρηση, αντικατάσταση και λίπανση.

Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι κάτωθι εργασίες συντήρησης:

**Νασέλλα.** Θα πρέπει να γίνεται έλεγχος διάβρωσης της νασέλλας, του καπακιού της πλήμνης και των μηχανισμών κλειδώματος κάθε χρόνο.

**Σύστημα περιστροφής.** Προβλέπεται η λίπανση του δακτυλίου περιστροφής, των πηνίων περιστροφής και του συστήματος πέδησης κάθε 6 μήνες. Για τις σιαγόνες των φρένων και για τους μειωτήρες προβλέπεται σύσφιξη των κοχλιών κάθε χρόνο.

**Πτερύγια.** Θα πρέπει να γίνεται σύσφιξη των κοχλιών των πτερυγίων με την πλήμνη κάθε χρόνο. Επίσης, θα πρέπει να γίνεται επιθεώρηση των ακροπτερυγίων για ζημιά από τους κεραυνούς και έλεγχος του υδραυλικού συστήματος ενεργοποίησής τους κάθε χρόνο.

**Πύργοι.** Πρέπει να γίνεται σύσφιξη των κοχλιών βάσεως, σύνδεσης ενδιάμεσων τμημάτων του πύργου και κλιμάκων κάθε χρόνο ή κάθε 500 ώρες

λειτουργίας. Κάθε χρόνο θα πρέπει να γίνεται επίσης έλεγχος για ρωγμές στις συγκολλήσεις, διάβρωση και κατάσταση των θυρών.

### **Ετήσια**

Η συντήρηση των Α\Γ γίνεται με φορητό σύστημα διαγνωστικού – προληπτικού ελέγχου με ανίχνευση στις μηχανικής φθοράς στις κρίσιμες συνιστώσες ανεμογεννητριών. Ειδικό φορητό σύστημα μετρά, αποθηκεύει και αναλύει τη στάθμη κραδασμών και δονήσεων σε επιλεγμένα κρίσιμα σημεία ως δείκτη “υγιούς λειτουργικής κατάστασης”. Με ειδικό λογισμικό συγκρίνεται η τρέχουσα κατάσταση με τις προηγούμενες αποτυπώσεις και γίνεται προληπτική διάγνωση και εντοπισμός εξαρτημάτων που έχουν αρχίσει να φθείρονται και απαιτείται η αντικατάστασή τους ή η αποσύνδεσή τους.

## **5.7 Αποθήκευση Ενέργειας**

Με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες, η μόνη ρεαλιστική και βιώσιμη μέθοδος αποθήκευσης για ηλεκτρικά συστήματα (ισχύος από λίγα έως εκατοντάδες MW) είναι τα αντλησιοταμιευτικά συστήματα. Οι εγκαταστάσεις αυτές αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ενέργεια αντλώντας νερό σε ταμιευτήρα που βρίσκεται σε κάποιο υψόμετρο, αποδίδοντάς την ακολούθως στο σύστημα μέσω υδροστροβίλων, όταν αυτό επιτρέπεται. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη νερού.

Στην περίπτωση του Γυθείου που θα εγκατασταθεί το αιολικό πάρκο υπάρχουν οι προϋποθέσεις για τη λειτουργία αντλητικού υδροηλεκτρικού σταθμού γειτνίασης με τη θάλασσα που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες του αιολικού πάρκου.



## **5.8 Μέτρα Ασφαλείας**

### **5.9.1 Πυρασφάλεια**

Στο χώρο των ανεμογεννητριών θα δημιουργηθεί σύστημα πυρασφάλειας το οποίο είχε εγκριθεί αρχικά για την έναρξη της κατασκευής. Για την λειτουργία του πάρκου απαιτήθηκε εκ νέου έγκριση δικτύου πυρόσβεσης τόσο στην περιοχή των ανεμογεννητριών όσο και στον οικίσκο έλεγχου. Συνάμα θα αναπτυχθεί σύστημα αλεξικέραυνης προστασίας τόσο στις ανεμογεννήτριες όσο και στον οικίσκο ελέγχου. Επιπλέον θα δημιουργηθεί περίφραξη με σύρμα ( περίμετρος οικοπέδου  $(426+71)*2 = 994\mu.$ ) προκειμένου να απωθηθούν δόλιες ενέργειες ή επιθέσεις ζώων στον οικίσκο έλεγχου του Πάρκου.

### **5.9.2 Έκτακτες Ανάγκες**

Το έργο δεν σχετίζεται με τη χρήση χημικών ή άλλων επικίνδυνων ουσιών ή εκρηκτικά ή ακτινοβολίες κλπ. και συνεπώς δεν υπάρχουν κίνδυνοι εκρήξεων, διαφυγών κλπ. Πέραν αυτών η εξαιρετικά μεγάλη έκταση του χώρου του αιολικού πάρκου και η μεγάλη απόσταση από κατοικημένους χώρους, σε συνδυασμό με την προηγμένη τεχνολογία των ανεμογεννητριών, παρέχουν ακόμη μεγαλύτερη ασφάλεια από κινδύνους οποιασδήποτε μορφής.

### **5.9.3 Ασφάλεια Εργαζομένων**

Πρώτη προτεραιότητα σε κάθε περίπτωση, ήταν η σχολαστική τήρηση των κανόνων ασφαλείας της για την προστασία προσωπικού και εξοπλισμού. Δεδομένου ότι η εργασία ήταν σε ύψος και σε χώρο με εδαφικές ανωμαλίες όπου θα έπρεπε να μεταφερθούν και να συναρμολογηθούν μεγάλα φορτία. Έτσι σε όλη την διάρκεια των εργασιών η αρμόδια εταιρεία όφειλε να

εφαρμόζει τα οριζόμενα στον Κανονισμό DIN 416. Παράλληλα δημιούργησε ειδικούς χώρους υγιεινής και αναμονής των εργατών.<sup>58</sup>

## 5.9 Διάρκεια Ζωής Αιολικού Πάρκου

Ο κύκλος ζωής των ανεμογεννητριών περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

**Κατασκευή Μεταφορά.** Η διάρκεια κατασκευής του πάρκου κυμαίνεται σε 3-4 χρόνια στις έχουμε αναλύσει και παραπάνω.

**Λειτουργία.** Το στάδιο λειτουργίας είναι το βασικό στάδιο κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των αιολικών συστημάτων. Το στάδιο αυτό διαρκεί περίπου 25 χρόνια με ενδιάμεση συντήρηση κάθε 6 μήνες.

Από τις μετρήσεις του αιολικού δυναμικού της περιοχής έχουμε καταγεγραμμένες τις τιμές των ταχυτήτων του ανέμου. Με τον στατιστικό νόμο των ακραίων τιμών εκτιμάται η μέγιστη ταχύτητα που αναμένεται να ξεπεραστεί κατά μέσο όρο μια φορά τουλάχιστον σ' ένα αριθμό ετών. Ο αριθμός των ετών καθορίζει και τον χρόνο ζωής της αιολικής μηχανής κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

**Απόσυρση.** Η φθορά συσχετίζεται με τις επιταχύνσεις και ταλαντώσεις στο κιβώτιο της ανεμογεννήτριας, στην ηλεκτρογεννήτρια και το έδρανο του κύριου άξονα. Η λειτουργία του αιολικού πάρκου μπορεί να σταματήσει απότομα και από ακραίες καιρικές συνθήκες (πτώση κεραυνού, ανεμοθύελλα) και σεισμούς.

Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την λειτουργία επομένως και την διάρκεια ζωής είναι η θερμοκρασία, η πυκνότητα του αέρα και η ηλιακή ακτινοβολία. Σχετικά με αυτούς τους παράγοντες οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται έτσι ώστε:

- **Η θερμοκρασία.** Οι έλεγχοι της δύναμης και αντοχής πρέπει να καλύπτουν ένα διάστημα θερμοκρασιών -20 έως 50 βαθμών Κελσίου.

---

<sup>58</sup> **Παπαθανασίου Σ.,** “Συμβολή στην ανάλυση ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια για την επιλογή του ηλεκτρικού σχήματος”, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα, Φεβρουάριος 1997.

- **Η πυκνότητα αέρα.** Ο υπολογισμός των αεροδυναμικών φορτίων βασίζεται στην υπόθεση ότι η πυκνότητα του αέρα σε κανονικές συνθήκες στην στάθμη της θάλασσας είναι  $\rho = 1,225 \text{ kg / m}^3$
- **Η ηλιακή ακτινοβολία.** Η ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται ότι θα είναι  $1000 \text{ W/m}^2$

## 5.10 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

### 5.11.1 Μείωση Αέριων Ρύπων

Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο το θαλάσσιο αιολικό πάρκο πρόκειται να παράγει 15.111.000 MWh. Η παραχθείσα ενέργεια έχει μηδενικούς ρίπους προς το περιβάλλον ενώ παράλληλα αποτρέπουν την παραγωγή αέριων ρύπων κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές ενέργειας. Μόνο στα στάδια μεταφοράς των ανεμογεννητριών και κατασκευής του αιολικού πάρκου υπήρξαν αέριοι ρύποι που επιβάρυναν το φυσικό περιβάλλον.

Ενδιαφέρον έχει, λοιπόν, να υπολογίσουμε τους ρίπους που παράγονται μέσα από την καύση λιγνίτη για την παραγωγή ίδιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας.

**Πίνακας 2** Μάζα ρύπων (σε g ρύπου ανά KWh) των οποίων αποτρέπεται η εκπομπή με  $CF=0,25$

Ρύπος	Μάζα
CO <sub>2</sub>	16.055,44
SO <sub>2</sub>	293,15
CO	2,72
NO <sub>x</sub>	22,67
HC	0,76
Σωματίδια	15,111

Σύμφωνα με τα στοιχεία που προκύπτουν από τον πίνακα η παραγωγή ενέργειας με ανανεώσιμo πηγή αποτρέπει σημαντικές ποσότητες ρύπων που θα εκλυθούν στο περιβάλλον.

### 5.11.2 Επιπτώσεις από τον Θόρυβο

Ο παραγόμενος από μια ανεμογεννήτρια θόρυβος μπορεί να διακριθεί σε :

- **μηχανικό θόρυβο** που προέρχεται από την ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση (κυρίως από τον πολλαπλασιαστή στροφών και την ηλεκτρογεννήτρια) και σε
- **αεροδυναμικό θόρυβο**, που προέρχεται από την ροή του αέρα στο ακροπτερύγιο του δρομέα και στο πίσω τμήμα του πτερυγίου (broad-band aerodynamic noise).

Ο θόρυβος που παράγεται από μια σύγχρονης τεχνολογίας τρίπτερη ανεμογεννήτρια Enercon E70-E4, ηλεκτρικής ισχύος 2300 kW, έχει μειωθεί δραστικά μέσω κατασκευαστικών βελτιώσεων. Ειδικότερα :

στη μείωση του μηχανικού θορύβου συνέβαλαν :

- η βελτιωμένη κατασκευή με στόχο την ελαχιστοποίηση των ταλαντώσεων των διαφόρων κινητών στοιχείων του εξοπλισμού
- η εκτεταμένη χρήση ελαστικών συνδέσμων
- η ενίσχυση της ηχομόνωσης του κελύφους της ανεμογεννήτριας
- η βελτίωση επί μέρους τμημάτων της ανεμογεννήτριας και κύρια του πολλαπλασιαστή στροφών και της ηλεκτρογεννήτριας κ.α.

στη μείωση του αεροδυναμικού θορύβου συμβάλλουν :

- η βελτιωμένη σχεδίαση των πτερυγίων
- τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του υλικού που επιλέγει για την κατασκευή των πτερυγίων

Βάση των στοιχείων που παρέχονται από τον κατασκευαστή της ανεμογεννήτριας E70-E4, το ανώτατο επίπεδο εκπομπής θορύβου στο ύψος της πλήμνης της ανεμογεννήτριας (σε ύψος 85 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους) ανέρχεται στα 104 dB

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κίνητρο για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας το 1973 αποτέλεσε η αύξηση της τιμής του πετρελαίου και η ανησυχία για τους περιορισμένους πόρους των φυσικών καυσίμων. Στα σημερινά δεδομένα ο κύριος λόγος χρήσης ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι κυρίως οι πολύ χαμηλές εκπομπές CO<sub>2</sub><sup>59</sup> και η δυνατότητα της αιολικής ενέργειας να βοηθήσει στον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής.

Στα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα η Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης δημοσίευσε την Λευκή Βίβλο θέτοντας ως στόχο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να συμβάλουν το 12% της συνολικής ενέργειας, από το 2010 και ύστερα, στόχος που επιτεύχθηκε. Η αιολική ενέργεια διαδραματίζει το βασικό ρόλο στις ΑΠΕ με μια αύξηση της ισχύος των ανεμογεννητριών από 2.5 GW που ήταν το 1995, σε 40 GW το 2010. Ως αποτέλεσμα, σήμερα η Ευρώπη παίρνει περίπου το 20% της ηλεκτρικής της ενέργειας από τις ΑΠΕ, συμπεριλαμβανομένου το 5.3% από την αιολική ενέργεια.

Οι πρώτες ιδέες για την παραγωγή ηλεκτρισμού χρησιμοποιώντας τον άνεμο στο υπεράκτιο περιβάλλον εμφανίστηκαν πριν το τέλος της δεκαετίας του 1970 και μετά από πολλές μελέτες σκοπιμότητας στην επόμενη δεκαετία. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 τα Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα που κατασκευάστηκαν είναι: (μια μοναδική ανεμογεννήτρια) στο Nogensud, της Σουηδίας το 1990 και στο Vindeby, της Δανίας το 1991.

Το πρώτο υπεράκτιο αιολικό πάρκο με 7 ανεμογεννήτριες των 1.5 MW κατασκευάστηκε το 2000 στο Utgrunden της Σουηδίας. Αρκετές των εν λόγω εγκαταστάσεων σηματοδότησαν την έναρξη των πρώτων εμπορικών υπεράκτιων αιολικών πάρκων όπως το Blyth στο Ηνωμένο Βασίλειο το οποίο κατασκευάστηκε το 2000 αποτελούμενο από 2 ανεμογεννήτριες των 2 MW, το Middelgrunden στη Δανία που κατασκευάστηκε το 2001 αποτελούμενο από 20 ανεμογεννήτριες των 2 MW και το Yttre Stengrund στη Σουηδία που επίσης κατασκευάστηκε το 2001 αποτελούμενο από 5 ανεμογεννήτριες των 2 MW.

---

<sup>59</sup> εκτός του κύκλου ζωής της κατασκευής, της εγκατάστασης, της λειτουργίας και του αφοπλισμού

Αργότερα στις ακτές της Δανίας, τα θαλάσσια αιολικά πάρκα Horns Rev<sup>60</sup> και Nysted (το 2003) με 80 και 76 πολύ μεγάλα ανεμογεννήτριες αντίστοιχα, αποτέλεσαν την επιβεβαίωση της δυνατότητας προσαρμογής τέτοιων τύπων ανεμογεννητριών στο θαλάσσιο περιβάλλον. Από τότε, οι εγκαταστάσεις αυτού του τύπου συνεχίζουν να κατασκευάζονται. Τον Νοέμβριο του 2010, το έργο Thanet στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι το μεγαλύτερο θαλάσσιο αιολικό πάρκο στον κόσμο με 300 MW (100 ανεμογεννήτριες των 3 MW), ακολουθεί το Horns Rev II (2009) της Δανίας με 209 MW (91 ανεμογεννήτριες των 2.3 MW).

Στην πραγματικότητα, είναι ουσιαστικό να προωθηθεί η χρήση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας για να επιτευχθούν οι δεσμεύσεις που απαιτούνται από το πρωτόκολλο του Κιότο.

---

<sup>60</sup> Κατασκευάστηκε το 2002, όπου ήταν και το μεγαλύτερο στο κόσμο

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Αλιπραντής**, Μελέτη Συμπεριφοράς Ηλεκτρογεννήτριας - Μετατροπών Ισχύος- Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1999
2. **Από την Πράσινη στη «Μπλε» Ενέργεια**  
<http://www.madeincretta.gr/el/article/%CE%B1%CF%80%CF%8C-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CF%80%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%BD%CE%B7-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%C2%AB%CE%BC%CF%80%CE%BB%CE%B5%CE%BB-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1>
3. **Αργυρόπουλος** Κίνητρα για την εξάπλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Ανάλυση και προτάσεις : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 1992
4. **Βραχίμης & Ξωνίκης & Παπιγκιώτης**, Υπεράκτιες Ανεμογεννήτριες- Ζητήματα Διασύνδεσής τους στο δίκτυο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010
5. **Γιαννακά**, Χαρακτηριστικά Αιολικής Ενέργειας: Περιγραφή και Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010
6. **Γκίκα**, Μοντελοποίηση Ηλεκτρονικών Μετατροπών Ευρείας Χρησιμοποιούμενων σε Ανεμογεννήτριες Μεταβλητών Στροφών- Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2008
7. **Γ3 Ενεργειακή ΕΕ**, Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας <http://g3energy.gr/?p=717> Ελληνική Ένωση Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα

8. **Κωνσταντέλου**, Χωροθέτηση Αιολικών Σταθμών στο Νομό Λακωνίας - Προβλήματα – Προοπτικές- Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2009
9. **Μπαστάκη & Παπαδάκη**, Αξιολόγηση Αιολικού Χάρτη της Κρήτης με στοιχεία Ανέμου από Αιολικά Πάρκα σε λειτουργία- Κρήτη : Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2010
10. **Ντρέκο & Πάτσιος & Χανιώτης & Κλαδάς**, Ανάλυση Λειτουργίας και Έλεγχος Συστήματος Ανεμογεννήτριας Μεταβλητών Στροφών Διασυνδεδεμένης στο Δίκτυο - Αθήνα : Ελληνική επιτροπή CIGRE, 2009
11. **Παπαθανασίου**, Συμβολή στην ανάλυση ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια για την επιλογή του ηλεκτρικού σχήματος- Αθήνα : Διδακτορική Διατριβή, 1997
12. **Παπανδρέου**, Μελέτη Παραμέτρων Ανεμογεννήτριας και Εφαρμογή για Παράκτιο Αιολικό Πάρκο στη Λήμνο - Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2011
13. **Πάτης**, Κατασκευή Λειτουργία & Συντήρηση Πάρκων Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα. - Κρήτη : ΤΕΙ Κρήτης , 2009
14. **Ρόκκου & Τσιούτρα**, Σύγκριση Αιολικού Πάρκου & Πυρηνικού Σταθμού- Θεσσαλονίκη : Α.Π.Θ. Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Μηχανικών Υπολογιστών, 2010
15. **Σουριανός**, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Η περίπτωση των Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, Ερευνητική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010
16. **Ταουλαντ** Μελέτη Ανάπτυξης Αιολικού Πάρκου στη Κρήτη- Κρήτη : Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2010



17. United Nations U World Population Prospects, the 2000 Revision, [Βιβλίο]. - New York : UN Population Division, Department of Economic and Social Affairs, 2001.
18. **Vestas V V80-2.0MW** – 2007
  
19. **Χασικίδη**, Αιολική Ενέργεια σε Ελλάδα και Ευρώπη, Πάτρα, 2010
  
20. **Ποταμιανάκης** “Προσομοίωση και Γραμμικοποίηση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας για την Ανάλυση Βραχυπρόθεσμης Ευστάθειας Τάσης”, Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Απρίλιος 2006.
  
21. **Παπαθανασίου**, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής στα δίκτυα διανομής, Λέκτορας ΕΜΠ, Αθήνα. 2003
  
22. **Παπαδόπουλος** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, Καθηγητής ΕΜΠ, Αθήνα. 1997
  
23. **Κατσαπρακάκης**, «Μαθήματα Αιολικής Ενέργειας και Ανάπτυξης Αιολικών Πάρκων», Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λασιθίου, Έτος έκδοσης: 2008.
  
24. **Ευρωπαϊκή Επιτροπή** Γαλάζια ενέργεια. Απαραίτητα μέτρα για την αξιοποίηση του δυναμικού της θαλάσσιας και της ωκεάνιας ενέργειας της Ευρώπης έως το 2020 και εντεύθεν. COM/2014/08 final (2014).
  
25. **Νικητάκος**, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στη θάλασσα: Μια γεωπολιτική προσέγγιση. Περίπλους της Ναυτικής Ιστορίας, τ. 81, εκδ. Ναυτικό Μουσείο Ελλάδος(2012).
26. **N.D.Hatziargyriou**, I

27. **.Skoteinos, and A.G.Tsikalakis**, “Status of Integrating Renewable Electricity Production in Greece, Prospects and Problems,” in Proceedings of 2005 IEEE St.Petersburg PowerTech.
28. **J.Kabouris and C.D.Vournas**, “Application of Interruptible Contracts to Increase Wind Power Penetration in Congested Areas,” IEEE Transactions on Power Systems, vol. 19, no. 3, pp. 1642–1649, August 2004.
29. **M.R.Behnke, E.Muljadi**, “Reduced order dynamic model for variable-speed wind turbine with synchronous generator and full power conversion topology”, International Conference on Future Power Systems, 16-18 Nov.2005.
30. **G.A Smith, K.Nigim, and A.Smith**, “Wind-energy recovery by a static Scherbius induction generator”, IEE Proc. C, vol.128, no.6, pp. 317-324, 1981

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

[http://www.dnvgl.com/Images/Electrifying\\_the\\_future\\_V1\\_tcm212-595433.pdf](http://www.dnvgl.com/Images/Electrifying_the_future_V1_tcm212-595433.pdf)

<http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/48155.pdf>

<http://www.udel.edu/udaily/2014/feb/hurricanes-wind-turbines-022614.html>

[http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Deep\\_Water.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Deep_Water.pdf)

[http://www.e-highway2050.eu/fileadmin/documents/Workshop4/4b\\_140415\\_PWI\\_2050\\_technology\\_development\\_WP3\\_e-highway\\_workshop.pdf](http://www.e-highway2050.eu/fileadmin/documents/Workshop4/4b_140415_PWI_2050_technology_development_WP3_e-highway_workshop.pdf)

[http://www.wwindea.org/technology/cho1/en/1\\_3\\_3.html](http://www.wwindea.org/technology/cho1/en/1_3_3.html)

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-wind-energy.html> (2009)

[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Wind\\_2013\\_Roadmap.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Wind_2013_Roadmap.pdf) (2013)

<http://bookshop.europa.eu/eubookshop/download.action.pdf>

[http://ec.europa.eu/clima/policies/package/docs/analysis\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/package/docs/analysis_en.pdf)

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=vBWJVY3FdTk%3D&...>

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=rTTnMWI1RCc%3D&tabid=786&...>

<http://www.b2green.gr/main.php?pID=17&nID=9806&lang=el#>

[http://www.liee-ntua.gr/wp-content/uploads/2014/04/EET-2014\\_291-304-Diakoulaki.pdf](http://www.liee-ntua.gr/wp-content/uploads/2014/04/EET-2014_291-304-Diakoulaki.pdf)

<http://web.mit.edu/erc/spotlights/wind-all.html>

[http://offshorewindpowersystemsoftexas.com/titan\\_200\\_deep\\_offshore\\_platform](http://offshorewindpowersystemsoftexas.com/titan_200_deep_offshore_platform)

[http://www.iene.gr/energyweek09/articlefiles/b2b/1stSession/ROOM\\_B/3\\_tsipouridis.pdf](http://www.iene.gr/energyweek09/articlefiles/b2b/1stSession/ROOM_B/3_tsipouridis.pdf)

<http://www.econews.gr/2014/06/04/eletaen-aiolika-115277/>

<http://www.econews.gr/2014/08/03/aioliki-energeia-116793/>

<http://www.capital.gr/News.asp?id=1442214>