



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
Διπλωματική Εργασία

## **ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ**

υπό

**ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΣΤΑΜΕΛΟΥ**



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

**2012**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 10462/1  
Ημερ. Εισ.: 28-03-2012  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜ  
2012  
ΣΤΑ

© 2012 Αντώνιος Σταμέλος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος  
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Αναστάσιος Σταμάτης  
Επικουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Ανδρίτσο Νικόλαο που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με τον παρόν θέμα.

Η διπλωματική εργασία μου είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου , που με στήριξε πολύμορφα σε όλη την διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής. Επίσης στους φίλους/ φίλες μου που με υποστήριξαν κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος στους συντρόφους και συντρόφισσες της ΚΝΕ και του ΚΚΕ που ήμασταν μαζί στους αγώνες όλα αυτά τα χρόνια.

Αντώνης Σταμέλος

## ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΣΤΑΜΕΛΟΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών , 2012

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα  
Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

### Περίληψη

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση των ανέμων πάνω από την θάλασσα. Σε αυτήν την διπλωματική εργασία αναλύονται τα βασικά στοιχεία που επηρεάζουν την απόδοση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Στο τέλος παρουσιάζεται η δυνατότητα για αξιοποίηση της τεχνολογίας στην Ελλάδα.

## Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Εισαγωγή.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Ιστορική Αναδρομή .....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Αιολική ενέργεια .....	15
3.1) Γενικά χαρακτηριστικά .....	15
3.2) Σύγκριση μεταξύ διάφορων μορφών ενέργειας.....	16
3.2.1) Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας.....	16
3.2.2) Η αιολική ενέργεια εναντίον άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας .....	18
3.2.3) Υπεράκτια εναντίον χερσαία αιολική ενέργεια .....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Τεχνολογία υπεράκτιων αιολικών πάρκων.....	21
4.1) Φυσικά φαινόμενα που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν σε μια εγκατάσταση υπεράκτιου αιολικού πάρκου .....	21
4.1.1) Οι άνεμοι .....	22
4.1.2 ) Τα κύματα της θάλασσας .....	22
4.1.3) Τα ρεύματα.....	23
4.1.4) Χαρακτηριστικά βυθού και βάθος νερού .....	23
4.2.1) Ανεμογεννήτριες .....	24
4.2.2 Πώς λειτουργεί η ανεμογεννήτρια.....	24
4.3) Πύργοι και θεμελιώσεις .....	26
4.3.1) Monopile Foundation .....	26
4.3.2) Gravity Base Foundation (Θεμέλιο «βαρύτητας»).....	28
4.3.3) Jacket Foundation (Θεμέλιο «σακάκι») .....	29
4.3.4) Tripod Foundation (Τρίποδο θεμέλιο) .....	29
4.3.5) Tripile Foundation ( Τρίπυλο Θεμέλιο) .....	29
4.4) Ηλεκτρικό σύστημα και το ηλεκτρικό ισοζύγιο των σταθμών .....	31
4.5) Σύστημα Συλλογής.....	31
4.6) Υπεράκτιος Υποσταθμός .....	31
4.7) Σύστημα Παρακολούθησης μετεωρολογικών φαινομένων .....	33
4.8) Ο & Μ εγκατάσταση και εξοπλισμός .....	33
4.9) Ζητήματα Διάταξης .....	34

4.10) Διαθεσιμότητα λιμανιού .....	35
4.11) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΟΣΟ ΑΝΑΦΟΡΑ ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Το κόστος της επένδυσης εγκατάστασης αιολικού πάρκου.....</b>	<b>36</b>
5.1) Το κόστος των χερσαίων αιολικών πάρκων.....	36
5.2) Το κόστος των υπεράκτιων αιολικών πάρκων .....	36
5.2.2) Αναλογία κόστους- απόστασης από την ακτή .....	37
5.2.3) Αναλογία κόστους- Βάθος νερού .....	39
5.2.4) Συνοπτικά συμπεράσματα για τις κύριες διαφορές κόστους μεταξύ χερσαίων και υπεράκτιων αιολικών πάρκων .....	40
5.3) Οι τιμές των βασικών υλικών που χρησιμοποιούνται.....	40
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Τρέχουσα κατάσταση για την αιολική ενέργεια .....</b>	<b>43</b>
6.1) Η παγκόσμια αιολική ενέργεια .....	43
6.2) Η σημερινή κατάσταση στην Ευρώπη.....	46
6.3) Ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη.....	56
6.3.1) Κατανομή μεταξύ των χωρών .....	57
6.3.2) Θεμελιώσεις στις νέες εγκαταστάσεις.....	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Η κατάσταση στην Ελλάδα .....</b>	<b>59</b>
7.1) Εισαγωγή .....	59
7.2) Κριτήρια χωροθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων στο θαλάσσιο χώρο .....	61
7.2.1) Τα γενικά κριτήρια χωροθέτησης .....	61
7.2.2) Αποστάσεις από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς .....	61
7.2.3) Αποστάσεις από οικιστικές δραστηριότητες .....	62
7.3) Συγκεκριμένες περιπτώσεις εγκατάστασης υπεράκτιου αιολικού πάρκου στην Ελλάδα .....	62
7.4) Για ποιον σκοπό;.....	64
7.5) Ο ρόλος της «πράσινης» ανάπτυξης σε καιρό κρίσης .....	64
7.6) Η πραγματική διέξοδος .....	65
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>67</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>68</b>



## ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1) ΤΑ 25 ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΑ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ (ΠΗΓΗ: WWW.WIKIPEDIA.ORG)	14
ΣΧΗΜΑ 3.1) ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣ ΚΑΙ ΤΟ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΒΑΘΗ. ΓΙΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΝΕΤΑΙ ΚΑΙ Η ΖΗΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ (ΠΗΓΗ: ESTEBAN ET AL, 2010) .....	15
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1) ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ, ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΕΤΩΝ 2010 ΚΑΙ 2030 (ΠΗΓΗ: BLACK & VEATCH, 2007) .....	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2) ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΚW ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (BREEZE, 2007) .....	18
ΣΧΗΜΑ 4.1 ) ΦΥΣΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΜΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (ΠΗΓΗ: ROBINSON & MUSIAL, 2006) .....	21
ΣΧΗΜΑ 4.2) ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΑ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (ΠΗΓΗ: AWS, 2009) .....	25
ΣΧΗΜΑ 4.3) ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΙΑ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (ΠΗΓΗ: AWS, 2009) .....	26
ΣΧΗΜΑ 4.4) ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΜΟΝΟ-ΣΤΗΛΟΥ ΘΕΜΕΛΙΟΥ (ΠΗΓΗ: HTTP://WWW.WIND-ENERGY-THE-FACTS.ORG/IMAGES/FIG/CHAR1/5-4.JPG) .....	27
ΣΧΗΜΑ 4.5) ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΜΕΛΙΟΥ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ( ΠΗΓΗ: HTTP://WWW.WIND-ENERGY-THE-FACTS.ORG/IMAGES/FIG/CHAR1/5-5.JPG) .....	28
ΣΧΗΜΑ 4.6) ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟ ΤΡΙΠΟΔΟ ΘΕΜΕΛΙΟ ΝΑ ΕΙΣΕΡΧΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΘΑΛΑΣΣΑ ( ΠΗΓΗ: WALKEMEYER, 2010) ...	30
ΣΧΗΜΑ 4.7) ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟ ΤΙΣ TRIPLE ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΤΟ BARD GROUP (ΠΗΓΗ: HTTP://WWW.RENEWABLESINTERNATIONAL.NET).....	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1) ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΙΣΧΥΟΣ-ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ (ΠΗΓΗ: AWS, 2009).....	32
ΣΧΗΜΑ 4.8) ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΤΟΥ LILLGRUND (ΠΗΓΗ: HTTP://WWW.SIEMENS.COM/) .....	32
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1) ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΙΑΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΤΟΥΡΜΠΙΝΑΣ 2MW ΓΙΑ ΝΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΘΕΙ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ ,2009).....	36
ΣΧΗΜΑ 5.1) ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΧΡΙ ΤΟ 2030 ΣΤΗΝ ΕΕ(ΠΗΓΗ: BILGILI ET AL, 2010).....	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2) ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΠΙΟ ΠΡΟΣΦΑΤΩΝ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ, 2009) .....	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3) Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΙΑ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΗ (ΠΗΓΗ: ΕΕΑ, 2009) .....	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4) Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΙΑ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ (ΠΗΓΗ: EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2009) .....	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5) ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ MW ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟ ΓΙΑ ΤΑ ΠΑΡΚΑ HORNS REV- NYSTED (ΠΗΓΗ ΕΥΕΑ, 2009) .....	40
ΣΧΗΜΑ 5.2) Η ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΑΠΟ ΤΟ 1990-2010( ΠΗΓΗ: ZWANN B. 2011).....	41
ΣΧΗΜΑ 5.3) ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΜΕ ΜΟΝΟΣΤΗΛΑ ΘΕΜΕΛΙΑ ΚΑΙ Η ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΠΑΡΚΑ ΠΟΥ ΧΤΙΣΤΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ (ΠΗΓΗ: ZWAAN, 2011).....	42
ΣΧΗΜΑ 6.1) Η ΙΣΧΥΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΟΥ ΕΓΙΝΑΝ ΣΤΗΝ ΕΕ ΤΟ 2008 (ΠΗΓΗ: BILGILI ET AL , 2010).....	44
ΣΧΗΜΑ 6.2) Η ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΗΠΕΙΡΟ (ΠΗΓΗ: BILGILI ET AL , 2010).....	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΚΟΡΥΦΑΙΕΣ ΧΩΡΕΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ (ΠΗΓΗ: BILGILI ET AL , 2010) .....	45

ΣΧΗΜΑ 6.3) ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΓΙΑ ΤΟ 2011 (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ, 2012) .....	47
ΣΧΗΜΑ 6.4) ΧΑΡΤΗΣ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ (ΠΗΓΗ: HTTP://WWW.WINDATLAS.DK/EUROPE/LANDMAP.HTML) .....	48
ΣΧΗΜΑ 6.5) ΧΑΡΤΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ (ΠΗΓΗ: HTTP://WWW.WINDATLAS.DK/EUROPE/OCEANMAP.HTML) .....	49
ΣΧΗΜΑ 6.3) Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΝΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ 2011 , ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΕ(ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ, 2012) .....	50
ΣΧΗΜΑ 6.7) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΝΕΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ 2011 ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΕΕ (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ, 2012) .....	51
ΣΧΗΜΑ 6.8) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΣ ΠΑΡΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ 2011 (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ , 2012) .....	51
ΣΧΗΜΑ 6.9) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΟ 2000 ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ, 2012) .....	52
ΣΧΗΜΑ 6.10) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΟ 2011 , ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ, 2012) .....	52
ΣΧΗΜΑ 6.11) ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΣΕ ΜW ΣΤΙΣ ΑΠΕ (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ , 2012) .....	53
ΣΧΗΜΑ 6.12) ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΕ (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ, 2012).....	54
ΣΧΗΜΑ 6.13) ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΜΑΝΙΑΣ-ΙΣΠΑΝΙΑΣ-ΔΑΝΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΝΕΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ, 2012).....	55
ΣΧΗΜΑ 6.14) ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΤΗΣ ΕΕ ΣΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΙΤΑ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ 2011 (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ, 2012).....	55
ΣΧΗΜΑ 6.15) ΜΕΡΙΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΧΩΡΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ, 2012) .....	56
ΣΧΗΜΑ 6.16) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΝΕΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟ 2011 (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ , 2012).....	57
ΣΧΗΜΑ 6.17) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ 2011 (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ , 2012).....	58
ΣΧΗΜΑ 6.18) ΤΥΠΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΤΙΜΗΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΝΕΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΤΟ 2011 (ΠΗΓΗ: ΕΥΕΑ , 2012).....	58

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Εισαγωγή

---

Στις αρχές του 2012, ένα κρίσιμο ερώτημα πρέπει να απαντηθεί : Με ποιο τρόπο θα καλύπτονται οι αυξανόμενες ανάγκες για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Στα τέλη του προηγούμενου αιώνα κυριαρχούσαν τα ορυκτά καύσιμα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως τα πεπερασμένα αποθέματα τους αναγκάζουν την ανθρωπότητα να κινηθεί και σε άλλες μορφές ενέργειας. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) προσπαθούν να δώσουν απάντηση στο βασικό ερώτημα που τέθηκε. Βασικά προτερήματα τους είναι το ανεξάντλητο των πόρων που διαθέτουν, καθώς και οι μειωμένες ποσότητες CO<sub>2</sub> που εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα.

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ και πιο συγκεκριμένα της αιολικής μορφής είναι εντυπωσιακή τα τελευταία χρόνια. Η αιολική ενέργεια αποτελεί την προμετωπίδα της ταχείας ανάπτυξης των ΑΠΕ παγκοσμίως. Το μεγαλύτερο ποσοστό στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο κατέχουν τα χερσαία αιολικά πάρκα. Τα τελευταία χρόνια γίνεται όμως γίνεται μια σημαντική προσπάθεια για να αναπτυχθούν και υπεράκτια αιολικά πάρκα.

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα έκαναν την αρχή τους στις αρχές της δεκαετίας του '90. Σήμερα είναι στο επίκεντρο της τεχνολογικής ανάπτυξης με τα μεγαλύτερα έργα να κατασκευάζονται στην Ευρώπη. Τα πλεονεκτήματα των υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι:

- Οι ανεκμετάλλετες θάλασσες, που προσφέρουν μεγάλες εκτάσεις για να εγκατασταθούν αιολικά πάρκα
- Οι μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου, που συνεπάγονται μεγαλύτερη παραγωγής ισχύος
- Οι λιγότερες περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις, με εξάλειψη του θορύβου και της οπτικής επαφής για τον άνθρωπο.

**Στόχος** της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να περιγράψει την τεχνολογία των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, να εξετάσει αναλυτικά τα προτερήματα και τα μειονεκτήματα τους και να θέσει προβληματισμούς για την ενδεχόμενη εγκατάσταση τέτοιων έργων στη χώρα μας. Στη εργασία συζητούνται οι λόγοι που οδήγησαν στην στροφή για την ανάπτυξη της αιολικής και, ειδικότερα, της υπεράκτιας, ενέργειας. Παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία από τα οποία συνίσταται ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο και δίνονται οι περιορισμοί στην ανάπτυξή τους. Επίσης γίνεται προσπάθεια να αναδειχθούν οι οικονομικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εγκατάσταση υπεράκτιων αιολικών πάρκων και επιχειρείται μία εκτίμηση για κατά πόσο είναι συμφέροντα τα υπεράκτια αιολικά πάρκα στην χώρα μας.

Η διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε έξι επιμέρους κεφάλαια : στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή στην ανάπτυξη των πρώτων υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται μια εκτενής αναφορά στην αιολική ενέργεια.

Επίσης επιχειρείται μία σύγκριση ανάμεσα στις διάφορες μορφές ενέργειας, με εστίαση στις διαφορές χειρσαίας και υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Στο **Κεφάλαιο 4**, που αποτελεί και το μεγαλύτερο τμήμα της εργασίας, παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα βασικά τεχνολογικά δεδομένα που θα πρέπει να γνωρίζει ένας μηχανικός. Γίνεται λεπτομερής περιγραφή των παραγόντων και συνθηκών που επηρεάζουν τη λειτουργία ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου. Επίσης γίνεται ειδική αναφορά στα είδη των θεμελιώσεων που σήμερα είναι γνωστά για την εγκατάσταση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Τέλος πραγματεύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των αιολικών πάρκων.

Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται προσπάθεια να εκτιμηθεί το κόστος ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου λαμβάνοντας υπ' όψιν στοιχεία από διαφορετικές έρευνες πάνω στο θέμα. Παρουσιάζονται στοιχεία κόστους ανάλογα με την χώρα, το βάθος που φτάνει το αιολικό πάρκο και την απόσταση από την ακτή. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στη σχέση κόστους με τις τιμές των βασικών προϊόντων που χρειάζονται για την κατασκευή του (χαλκός , χάλυβας).

Στο **Κεφάλαιο 6** δίνονται στοιχεία για την σημερινή κατάσταση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Τα στοιχεία αφορούν κατά κύριο λόγο τις χρονιές 2008 και 2011. Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι για να βοηθήσει τον αναγνώστη να κάνει εύκολες και γρήγορες συγκρίσεις με το παρελθόν , αλλά και στο τώρα ανάμεσα σε διαφορετικές χώρες και διαφορετικές μορφές ενέργειας.

Στο **Κεφάλαιο 7** γίνεται αναφορά σε ποια κατάσταση βρίσκεται η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων στην Ελλάδα. Επιπλέον δίνεται η γνώμη του συγγραφέα για το πώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα. Τέλος, στο **Κεφάλαιο 8** παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Ιστορική Αναδρομή

---

Οι πρώτες σκέψεις για την εγκατάσταση υπεράκτιων ανεμογεννητριών ήρθε αμέσως μετά το 1930, όταν προτάθηκε οι ανεμογεννήτριες να τοποθετηθούν πάνω σε πυλώνες. Αν και αυτές οι προτάσεις δεν χρησιμοποιήθηκαν τότε, έκαναν μια πολλά υποσχόμενη αρχή. Το 1972, περίπου 40 χρόνια μετά την αρχική ιδέα, ο δρ. William E. Heronemus, Καθηγητής στο MIT University εισήγαγε την ιδέα των μεγάλων πλωτών εξεδρών με ανεμογεννήτριες με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1990, 18 χρόνια μετά την στιγμή που ο καθηγητής William E. Heronemus είχε το πρώτο όραμα για την κατασκευή των πλωτών ανεμογεννητριών, μια εταιρεία με την επωνυμία «World Wind» κατασκευάζει και τοποθετεί την πρώτη υπεράκτια ανεμογεννήτρια στη θάλασσα. Αυτή η υπεράκτια ανεμογεννήτρια βρισκόταν στην Nordersund της Σουηδίας, 250 μέτρα μακριά από την ακτή και σε βάθος 7 μέτρα και είχε ονομαστική ισχύ 220 kW.

Το 1991, στο Vindeby στη Δανία και σε απόσταση 2,5 χιλιόμετρα από την ακτή κατασκευάστηκε το πρώτο μεγάλο υπεράκτιο αιολικό πάρκο, με ονομαστική ισχύ 4.95 MW. Αποτελούνταν από 11 ανεμογεννήτριες των 450 kW η κάθε μία. Το βάθος του νερού στην συγκεκριμένη περιοχή κυμαίνεται από 2,5 έως 5 μέτρα και η ετήσια παραγωγή ενέργεια φτάνει τις 12 GWh/έτος. Στην ίδια χώρα το 1995 κατασκευάζεται και δεύτερη υπεράκτια εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στο Tuno Knob.

Το υπεράκτιο αιολικό πάρκο στο Tuno Knob έχει ισχύ 5 MW και αποτελείται από 10 ανεμογεννήτριες της εταιρίας Vestas, ονομαστικής ισχύος κάθε μιας 500 kW. Οι ανεμογεννήτριες είναι τοποθετημένες σε βάθος νερού μεταξύ 0,8 και 4 μέτρων και η ετήσια παραγωγή ενέργειας ανέρχεται στις 16 GWh/έτος. Το επόμενο δανικής προέλευσης υπεράκτιο αιολικό πάρκο κατασκευάστηκε στο λιμάνι της Κοπεγχάγης. Βασικά, αυτό ήταν το πρώτο υπεράκτιο αιολικό πάρκο μεγάλης ενέργειας με ονομαστική ισχύ 40 MW. Περιλαμβάνει 20 ανεμογεννήτριες των 2 MW που είναι τοποθετημένες σε απόσταση 3 χιλιομέτρων από την ακτή και σε βάθος νερού από 5 έως 10 μέτρων. Το Middelgrunden, όπως λέγεται, είχε συνολικό κόστος 54 εκατ. ευρώ και η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 2000.




Η Ολλανδία είναι η χώρα που ανέπτυξε τα υπεράκτια αιολικά πάρκα αμέσως μετά τη Δανία. Το 1994 σε μια τοποθεσία που ονομάζεται Lely, το πρώτο αιολικό πάρκο για την Ολλανδία που κατασκευάστηκε στη θάλασσα σε βάθος νερού μεταξύ 5 και 10 μέτρων, με ονομαστική ισχύ 2 MW. Αποτελούνταν από τέσσερις ανεμογεννήτριες των 500 kW. Δύο χρόνια μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του αιολικού πάρκου Lely σε μια περιοχή που ονομάζεται Irene Vorriink στην ίδια λίμνη, κατασκευάστηκε το δεύτερο αιολικό πάρκο της Ολλανδίας με ονομαστική ισχύ 16.8 MW. Τα επόμενα δύο υπεράκτια αιολικά πάρκα κατασκευάστηκαν και πάλι στην Ολλανδία. Το πρώτο είναι υπεράκτιο αιολικό πάρκο, ονόματι Egmond aan Zee, με ονομαστική ισχύ 108 MW και περιλαμβάνει 36

ανεμογεννήτριες Vestas των 3 MW η κάθε μία. Κατασκευάστηκε το 2006. Το δεύτερο είναι το υπεράκτιο αιολικό πάρκο Prinses Amalia, με συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος των 120 MW. Περιλαμβάνει 60 ανεμογεννήτριες Vestas των 2 MW που βρίσκονται σε απόσταση 23 χιλιόμετρα από την ακτή και σε βάθος νερού μεταξύ 19 και 24 μ. Αντίστοιχες προσπάθειες έχουν γίνει όλα τα προηγούμενα χρόνια και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

Στις αρχές του 2012 μπήκε σε λειτουργία το υπεράκτιο αιολικό πάρκο ονόματι Walney, που είναι εγκατεστημένο στην Μ. Βρετανία. Το Walney αποτελεί σήμερα το μεγαλύτερο, με βάση την παραγόμενη ισχύ, υπεράκτιο αιολικό πάρκο, με συνολική δυνατότητα παραγωγής ισχύος που φτάνει τα 367.2 MW. Αποτελείται από 102 ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 3.6 kW η κάθε μία, όλες της εταιρίας Siemens. Οι ανεμογεννήτριες είναι τοποθετημένες σε απόσταση 14 χιλιομέτρων από την ακτή και σε βάθος νερού που φτάνει μέχρι τα 23 μέτρα.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα 25 μεγαλύτερα υπεράκτια αιολικά πάρκα που είναι σε λειτουργία στις αρχές του 2012.

Πίνακας 2.1) Τα 25 μεγαλύτερα υπεράκτια αιολικά πάρκα σε λειτουργία (Πηγή: www.Wikipedia.org)

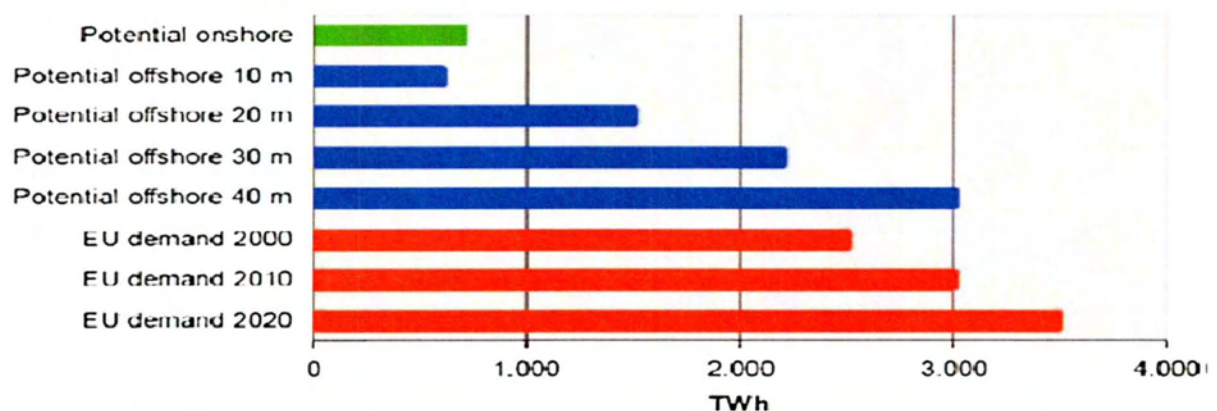
Wind farm	Total (MW)	Country	Coordinates	Turbines & model	Official Start
Walney (phases 1&2)	367.2	 United Kingdom	 54°02'38"N 3°31'19"W	102 × Siemens SWT-3.6-107	2011 (phase 1) 2012 (phase 2)
Thanet	300	 United Kingdom	 51°26'N 01°38'E	100 × Vestas V90-3MW	2010
Horns Rev II	209	 Denmark	 55°36'00"N 7°35'24"E	91 × Siemens 2.3-93	2009
Rødsand II	207	 Denmark	 54°33'0"N 11°42'36"E	90 × Siemens 2.3-93	2010
Lynn and Inner Dowsing	194	 United Kingdom	 53°07'39"N 00°26'10"E	54 × Siemens 3.6-107	2008
Robin Rigg (Solway Firth)	180	 United Kingdom	 54°45'N 3°43'W	60 × Vestas V90-3MW	2010
Gunfleet Sands	172	 United Kingdom	 51°43'16"N 1°17'31"E	48 × Siemens 3.6-107	2010
Nysted (Rødsand I)	166	 Denmark	 54°33'0"N 11°42'36"E	72 × Siemens 2.3	2003
Bligh Bank (Belwind)	165	 Belgium	 51°39'36"N 2°48'0"E	55 × Vestas V90-3MW	2010
Horns Rev I	160	 Denmark	 55°31'47"N 7°54'22"E	80 × Vestas V80-2MW	2002
Ormonde	150	 United Kingdom	 54°6'N 3°24'W	30 × REpower 5M	2012
Longyuan Rudong Intertidal	131.3	 China		21 × Siemens 2.3-93; 2 × 3MW 2 × 2.5MW 6 × 2MW 6 × 1.5MW Sinovel	2012
Princess Amalia	120	 Netherlands	 52°35'24"N 4°13'12"E	60 × Vestas V80-2MW	2008
Lillgrund	110	 Sweden	 55°31'N 12°47'E	48 × Siemens 2.3-93	2007
Egmond aan Zee	108	 Netherlands		36 × Vestas V90-3MW	2006
Donghai Bridge	102	 China	 30°46'12"N 121°59'38"E	34 × Sinovel SL3000/90	2010
Kentish Flats	90	 United Kingdom	 51°27'36"N 1°5'24"E	30 × Vestas V90-3MW	2005
Barrow	90	 United Kingdom	 53°59'N 3°17'W	30 × Vestas V90-3MW	2006
Burbo Bank	90	 United Kingdom	 53°29'N 03°10'W	25 × Siemens 3.6-107	2007
Rhyl Flats	90	 United Kingdom	 53°22'N 03°39'W	25 × Siemens 3.6-107	2009
North Hoyle	60	 United Kingdom	 53°26'N 3°24'W	30 × Vestas V80-2MW	2003
Scroby Sands	60	 United Kingdom	 52°38'56"N 1°47'25"E	30 × Vestas V80-2MW	2004
Alpha Ventus	60	 Germany	 54°1'N 6°36'E	6 × REpower 5M, 6 × AREVA Wind M5000-5M	2009
Baltic 1	48	 Germany	 54°36'36"N 12°39'0"E	21 × Siemens 2.3-93	2011
Middelgrunden	40	 Denmark	 55°41'27"N 12°40'13"E	20 × Bonus (Siemens) 2MW	2001

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Αιολική ενέργεια

### 3.1) Γενικά χαρακτηριστικά

Η αιολική ενέργεια έχει αναγνωριστεί ως μια από τις βασικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι χερσαίες αιολικές μονάδες παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό της αιολικής ενέργειάς που είναι διαθέσιμη. Ενδεικτικά στο τέλος του 2009 οι υπεράκτιες αιολικές μονάδες παρήγαγαν 2000 MW αιολικής ισχύος. Την ίδια χρονιά το σύνολο της αιολικής ισχύος, σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Αιολικής Ενέργεια (GWEC) , προσέγγιζε τα 159.000 MW . Δηλαδή το ποσοστό συμμετοχής, των υπεράκτιων αιολικών μονάδων δεν ξεπερνούσε ,στο τέλος του 2009, το 1,5 % του συνόλου παραγόμενης ισχύος.

Από το 1991 έως και το 1998, κατασκευάστηκαν πιλοτικά υπεράκτια αιολικά πάρκα για να διαπιστωθεί αν η υπεράκτια αιολική ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μεγαλύτερη κλίμακα. Σε αυτά τα έργα δοκιμαστήκαν διαφορετικοί συνδυασμοί , που αφορούσαν διαφορετικά μοντέλα ανεμογεννητριών, τύπους των θεμελιώσεων, αποστάσεις από την ακτή. Οι ανεμογεννήτριες είχαν ισχύς μεταξύ 450-600 kW. Επίσης επιτεύχθηκαν αποστάσεις μέχρι 4 χιλιομέτρων από την ακτή και βάθος νερού έως και 6 μέτρα. Αν και αρχικά υπήρχαν κάποιες αμφιβολίες , οι εγκαταστάσεις αυτές έδειξαν καλή κερδοφορία και αρκετή αξιοπιστία. Στο Σχήμα 3.1 φανερώνεται ότι όσο πιο βαθιά εγκατασταθούν τα υπεράκτια αιολικά πάρκα, τόσο καλύτερη θα είναι η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι χαρακτηριστικό η διαφορά στην προοπτική των χερσαίων αιολικών πάρκων με τα υπεράκτια. Μπορεί να διαπιστωθεί ότι τα κέρδη, θα είναι πολλαπλάσια στο εγγύς μέλλον , εφόσον συνεχιστεί η ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής τεχνολογίας.



Σχήμα 3.1) Διάγραμμα που δείχνει το αιολικό δυναμικό της ξηράς και το υπεράκτιο δυναμικό σε διαφορετικά βάθη. Για σύγκριση δίνεται και η ζήτηση ενέργειας στην Ευρώπη (Πηγή:Esteban et al, 2010)



Η ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας συναντάει διαφορετικά εμπόδια ανάλογα με τους περιορισμούς που υπάρχουν στην κάθε χώρα. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί λόγω των πολλών καθοριστικών παραγόντων. Σύμφωνα με τους Ackermann et al (2001) οι καθοριστικοί παράγοντες είναι: το διαφορετικό γεωλογικό περιβάλλον των διαφόρων χωρών, όπως η έλλειψη χερσαίας έκτασης ικανής για την ανάπτυξη αιολικής ενέργειας, λόγω των ανταγωνιστικών χρήσεων μιας περιοχής, οι αναμενόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υπεράκτιων πάρκων σε σύγκριση με τα αντίστοιχα χερσαία πάρκα.

Για παράδειγμα, στην Ολλανδία βοηθητικός παράγοντας για την ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας είναι ότι δεν υπάρχει πρακτικά ελεύθερος χώρος στην γη για ανάπτυξη αιολική ενέργειας, σύμφωνα και με το υπουργείο οικονομικών της Ολλανδίας. Αντίστοιχα στο Ηνωμένο Βασίλειο και στη Δανία υπάρχει μια αντίθεση του κοινού έναντι των χερσαίων αιολικών πάρκων και, ως συνέπεια αυτού, υπάρχει μια σημαντική ώθηση προς την ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Ενώ μερικές χώρες διαθέτουν τα κατάλληλα παράκτια χαρακτηριστικά για δημιουργία υπεράκτιων εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας, δεν συμβαίνει το ίδιο για όλες. Για παράδειγμα, στην Ισπανία δεν ευνοούν η τα χαρακτηριστικά του θαλασσιού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα το βάθος της θάλασσας είναι πολύ μεγάλο κοντά στην ακτή, υπάρχουν απότομες κλίσεις του εδάφους, σε σύγκριση με άλλες χώρες όπως η Γερμανία. Αντίστοιχη περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί και η Ελλάδα. Ένα ολοκληρωμένο μοντέλο θα πρέπει να εφαρμοστεί όχι μόνο παίρνοντας υπ' όψιν την τεχνική και οικονομική σκοπιμότητα του έργου, αλλά παράλληλα να έχει και τον απαραίτητο σεβασμό προς το περιβάλλον.

Στο άμεσο μέλλον, αναμένεται τεράστια αύξηση της υπεράκτιας αιολικής ισχύς που θα είναι εγκατεστημένη, όχι μόνο στην χώρες που ήδη έχουν πειραματιστεί πάνω στον συγκεκριμένο τομέα, αλλά και σε μια άλλη σειρά χωρών όπως η Γαλλία, η Ισπανία.

### **3.2) Σύγκριση μεταξύ διάφορων μορφών ενέργειας**

Η υποενότητα πραγματεύεται τα εξής: **1)** την σύγκριση μεταξύ ανανεώσιμων και συμβατικών πηγών ενέργειας, **2)** την σύγκριση μεταξύ της αιολικής ενέργειας και άλλων μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και **3)** την σύγκριση μεταξύ της υπεράκτιας και χερσαίας αιολικής ενέργειας.

#### **3.2.1) Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας**

Σήμερα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται ουσιαστικά στη χρήση συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών (ορυκτά καύσιμα και πυρηνική ενέργεια σχάσης), ενώ αξιοσημείωτη είναι και η συμμετοχή των υδροηλεκτρικών σταθμών. Παρ' όλα αυτά, ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες βρίσκονται σε αμφισβήτηση τα τελευταία χρόνια. Πρώτον, τα ορυκτά καύσιμα, λόγω της συνεχόμενης μείωσης των αποθεμάτων τους και τις επιπτώσεις από τη καύση τους στην κλιματική αλλαγή. Δεύτερον, η πυρηνική ενέργεια

σχάσης, συνέπεια και του τελευταίου δυστυχήματος στην Fukushima της Ιαπωνίας. Τρίτον, η υδροηλεκτρική ενέργεια, λόγω της έλλειψης νέων τοπίων για εγκατάσταση μεγάλων υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Τέλος, η ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών, λόγω της μικρής ισχύος που παράγουν, δεν μπορεί να αποτελέσει τον κεντρικό άξονα για τον ενεργειακό σχεδιασμό ολόκληρων χωρών.

Όλα τα παραπάνω έχουν δώσει ώθηση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες πλέον αποκτούν όλο και μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής πίτας. Αρκετοί είναι οι **καθοριστικοί λόγοι** για την ώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όπως η ανάγκη για **μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)** στην ατμόσφαιρα, **το νέο πεδίο κερδοφορίας που προσφέρουν**. Σημαντικό παράγοντας αποτελεί, επίσης, ότι με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι εκάστοτε χώρες ξεφεύγουν, έστω και σε μικρό μέρος, από την **ενεργειακή εξάρτηση** που υπάρχει, μέσω αγοράς πετρελαίου ή φυσικού αερίου από άλλες χώρες. Βέβαια το ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας δεν μπορεί να βασιστεί μόνο σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η λήψη αποφάσεων για επενδύσεις στη βιομηχανία ενέργειας υποστηρίζεται από τη χρήση οικονομικών μοντέλων που στηρίζονται σε υπολογισμούς που συγκρίνουν το κόστος της ενέργειας των διαφόρων τεχνολογιών. Τα πιο κοινά σε χρήση είναι αυτά που σχετίζονται με την "levelized cost of power", δηλαδή το κόστος ανά μονάδα kW, η οποία εξαρτάται από το κόστος κεφαλαίου, τα έξοδα λειτουργίας και το κόστος των καυσίμων. Στον **Πίνακα 3.1 και 3.2**, παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ των "levelized cost" των διαφόρων τεχνολογιών και η πρόβλεψη για διάφορα έτη. Επίσης, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες, κυρίως οι ανανεώσιμες πηγές, χρειάζονται μεγάλα αρχικά ποσά κεφαλαίου, αλλά έχουν χαμηλές λειτουργικές δαπάνες, ενώ οι τεχνολογίες που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα μπορούν να είναι φθηνότερες στην κατασκευή αλλά παράλληλα πολύ πιο δαπανηρές στη λειτουργία τους, συμφωνά με τον Breeze (2008)

Πίνακας 3.1) Μελλοντικές συγκρίσεις του κόστους ανά μονάδα μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών, μεταξύ των ετών 2010 και 2030 (Πηγή: Black & Veatch, 2007)

(\$2006 MWh)	2010	2020	2030
Onshore wind (Class 3)	56	76	70
Onshore wind (Class 4)	77	68	64
Onshore wind (Class 6)	67	60	57
Offshore wind (Class 4)	118	101	91
Offshore wind (Class 6)	104	90	82
Open cycle gas turbine	196	204	223
Combined cycle gas turbine	74	79	94
New supercritical coal	68	69	71
Integrated gasification combined cycle	91	92	93
Nuclear	89	86	86

Wind costs are without US PTC. This significantly lowers their costs

Πίνακας 3.2) Συγκριτικό κόστος ανά μονάδα kW των διαφόρων τεχνολογιών παραγωγής (Breeze, 2007)

	Levelized cost (\$ MWh)
Ultra supercritical PC	46.9
Ultra supercritical with capture	73.4
IGCC	51.3
IGCC with capture	65.2
Nuclear	30-74
Large hydropower	40-80**
Small hydropower	80-180*
Onshore wind	60-90
Offshore wind	120
Biomass	70-170
Solar photovoltaic	180-230
Solar thermal	150-170
Tidal power	80-230
Wave power	100-180

\* Once loans are repaid, the generation costs can fall to \$0.01 kWh, or less

Το “levelized cost” μπορεί να κατανοηθεί ως μια πρώτη ανάλυση για τα οικονομικά θέματα των διαφόρων τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ωστόσο, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ο κίνδυνος που σχετίζεται με τη δυσκολία για την εκτίμηση της διακύμανσης του κόστους των πρώτων υλών για τη λειτουργία ορισμένων από αυτές τις τεχνολογίες, κυρίως στα ορυκτά καύσιμα. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν **διάφοροι παράγοντες που μπορούν να στρεβλώσουν το ενεργειακό κόστος**, που είναι: 1) οι επιδοτήσεις (που σχετίζονται με τα οικονομικά κίνητρα που καθορίζονται από τις κυβερνήσεις να προωθήσει μια συγκεκριμένη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία τροποποιεί την προσφορά και τη ζήτηση στην αγορά. Σήμερα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προωθούνται με αντίστοιχα οικονομικά κίνητρα), 2) εξωτερικοί παράγοντες (το κόστος για να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως η περιβαλλοντική υποβάθμιση, η επιδείνωση της υγείας του ανθρώπου, που προέρχονται από ορισμένες τεχνολογίες, την ασφάλεια του εφοδιασμού καυσίμων), 3) και τις διαρθρωτικές δαπάνες (που σχετίζονται με το κόστος της προσαρμογής στα συμβατικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για να μπορούν να υποστηρίξουν νέες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας).

### 3.2.2) Η αιολική ενέργεια εναντίον άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η αιολική ενέργεια έχει το μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης μεταξύ όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι η παγκόσμια αιολική ενέργεια θα μπορούσε να παράγει μεταξύ 20.000 και 50.000 TWh ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χρόνο.

Γίνεται κατανοητό πόσο μεγάλες ποσότητες είναι αυτές αν αναλογιστεί κανείς, ότι η ετήσια παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το 2004 ήταν περίπου 17.000 TWh. Έπειτα, πρέπει να σημειωθεί ότι μια πρόσφατη εκτίμηση, σύμφωνα με τους Leutz et al

(2002) ,εκτιμάει το σύνολο των πόρων από την εκμετάλλευση της θάλασσας σε περίπου 37.000 TWh. Η σημασία της αιολικής ενέργειας σε σύγκριση με άλλους τύπους τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορούσε να εξηγηθεί από τον συνδυασμό



**δύο παραγόντων:** τη διαθεσιμότητα των πόρων και η τεχνολογική ανάπτυξη. Όσον αφορά το πρώτο, είναι σαφές ότι η διαθεσιμότητα της αιολικής ενέργειας, αλλά και της ηλιακής ενέργειας , είναι πολύ μεγαλύτερη από της γεωθερμικής ενέργειας, της μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικής ενέργειας και βιομάζας. Και όσον αφορά το δεύτερο, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας είναι υψηλή, διότι αυτή έχει χρησιμοποιηθεί από παλιά χρόνια σε πολλές οικονομικές δραστηριότητες: ιστιοπλοΐα, άρδευση, άλεση, κλπ.

Αν και η ώθηση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας είναι σαφής, θα πρέπει να γίνει χρήση των πλεονεκτημάτων σε τεχνολογικό επίπεδο που έχουν επιτευχθεί στην ξηρά για να αναπτυχθεί πιο γρήγορα. Όσον αφορά το 'levelized cost' (Πίνακας 3.2), στις μέρες μας, η χερσαία αιολική ενέργεια είναι κοντά στις συμβατικές τεχνολογίες. Η υπεράκτια αιολική ενέργεια είναι ακόμα πολύ πιο δαπανηρή, αλλά στο μέλλον αναμένεται οι αποστάσεις να μειωθούν.

### **3.2.3) Υπεράκτια εναντίον χερσαία αιολική ενέργεια**

Το 2007, ήταν η πρώτη φορά που η αιολική ενέργεια παρήγαγε το 1% της ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. Σχεδόν όλο αντιστοιχεί στα χερσαία αιολικά πάρκα. Η κύρια διαφορά των χερσαίων και των υπεράκτιων εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας βρίσκεται στα αντίστοιχα περιβάλλοντα τους. Το φυσικό περιβάλλον είναι πολύ πιο περίπλοκο στη θάλασσα, όχι μόνο για το σχεδιασμό αλλά και για την κατασκευή και λειτουργία έργων, λόγω της σημαντικής αύξησης των παραγόντων που μπορεί να αποβούν καθοριστικοί. Ακολουθούν τα **βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα** των υπεράκτιων αιολικών πάρκων σε σύγκριση με τα χερσαία.

Το πρώτο πλεονέκτημα των υπεράκτιων πάρκων είναι **η καλύτερη ποιότητα των πόρων αιολικής ενέργειας** στην θάλασσα. Η ταχύτητα του ανέμου είναι συνήθως μεγαλύτερη, ακόμα και με την αύξηση της απόστασης από την ακτή, πιο ομοιόμορφη ,οδηγώντας σε λιγότερες διαταραχές. Ως αποτέλεσμα η κόπωση είναι λιγότερο σημαντική , συνεπώς αυξάνεται η διάρκεια ζωής της γεννήτριας υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Άλλη παράμετρος, της ποιότητας σχετίζεται με το ύψος στο οποίο μία ανεμογεννήτρια τοποθετείται (το βέλτιστο ύψος για μια συγκεκριμένη διάμετρο υπεράκτιας τουρμπίνας είναι όταν τα πτερύγια είναι πάνω από το μέγιστο ύψος κύματος στην περιοχή).

Το δεύτερο πλεονέκτημα είναι ότι υπάρχουν **περισσότερες ελεύθερες περιοχές** στην θάλασσα γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις. Η τοποθέτηση τους μακριά από

κατοικημένες περιοχές δίνει τη δυνατότητα να μειωθούν οι περιβαλλοντικές συνέπειες, σχετικά με την εκπομπή θορύβου, ενώ παράλληλα επιτρέπει την αύξηση της ταχύτητας των πτερυγίων. Η μεγάλη απόσταση επιτρέπει, σε ορισμένες περιπτώσεις, να μειωθούν οι οπτικές επιπτώσεις από την ακτή. Όλα τα παραπάνω, μαζί με τα όχι-στενά όρια σε σχέση με το φορτίο και μεταφορές, μπορούν να καταστήσουν δυνατή την εγκατάσταση μεγαλύτερων μονάδων αιολικής ενέργειας, άρα και την επίτευξη μεγαλύτερης παραγωγής ανά μονάδα.

Αντίθετα, το πρώτο μειονέκτημα των υπεράκτιων πάρκων είναι το **κόστος** της αδειοδότησης, της κατασκευής των εγκαταστάσεων, καθώς και το κόστος που σχετίζεται με την λειτουργία του υπεράκτιου πάρκου. Στα χερσαία αιολικά πάρκα, το κόστος της ανεμογεννήτριας είναι περίπου το 75% του συνολικού κόστους του έργου, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις είναι περίπου το 33%. Η διαφορά αυτή μπορεί να εξηγηθεί λόγω του υψηλού κόστους των εργασιών στη θάλασσα. Επιπρόσθετα, σε αντίθεση με τα χερσαία αιολικά πάρκα, δεν υπάρχουν συνήθως θαλάσσιες ηλεκτρικές υποδομές που συνδέουν τις περιοχές υψηλότερου αιολικού δυναμικού με τα κέντρα των καταναλωτών. Σαν συνέπεια οδηγούμαστε στην κατασκευή περισσότερων ηλεκτρικών δικτύων, ή σε ενίσχυση των υπαρχόντων δομών.

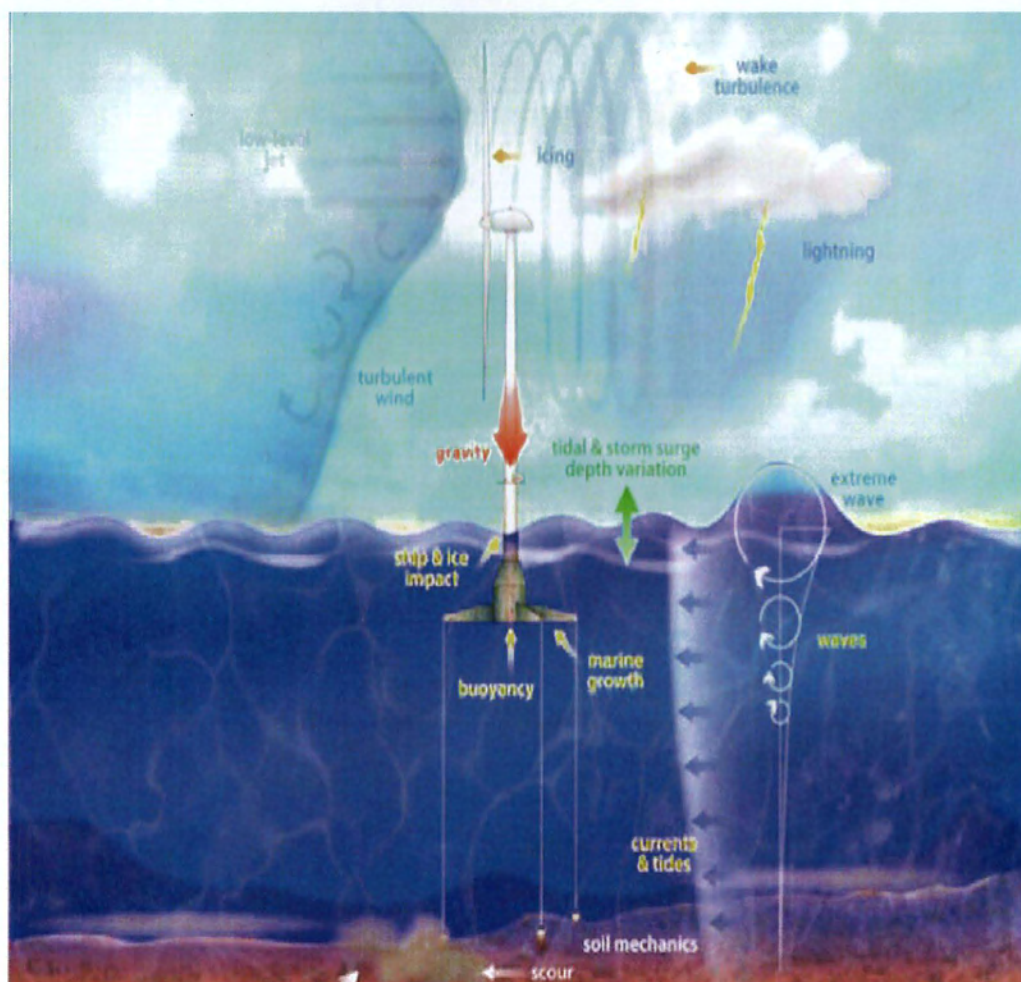
Το καλύτερο κριτήριο για να συγκρίνουμε την διαφορά στο κόστος, είναι να εξετάσουμε το κόστος ανά MW των χερσαίων και υπεράκτιων πάρκων. Το κόστος ανά μεγαβάτ, στα υπεράκτια αιολικά πάρκα είχε εκτιμηθεί, περίπου στα 2 εκατομμύρια €/ MW, πολύ περισσότερο από ό, τι στα χερσαία αιολικά πάρκα. Παρ'όλα αυτά, αυτό το κόστος έχει αυξηθεί, σύμφωνα με ερευνά της Olea (2008) και μάλιστα είναι περίπου 4 εκατομμύρια €/ MW. Η αύξηση μπορεί να δικαιολογηθεί λόγω της λιγοστής εμπειρίας που εξακολουθεί να υπάρχει.

Δεύτερο μειονέκτημα είναι η **ανάγκη μιας πιο αναπτυγμένης τεχνολογίας για την υπεράκτια αιολική ενέργεια**. Αυτή είναι απαραίτητη ειδικά για τις ανεμογεννήτριες οι οποίες θα υπόκεινται σε υψηλά φορτία και πρέπει παράλληλα να προσαρμοστούν στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ανάλογα στα θεμέλια, όπου οι θαλάσσιες εργασίες (κατασκευή και λειτουργία) λόγω της περιορισμένης πρόσβασης συναντούν περισσότερες δυσκολίες απ' ό,τι στη ξηρά. Τρίτο μειονέκτημα είναι ότι, λόγω της περιορισμένης τραχύτητας στην επιφάνεια της θάλασσας, η διάδοση των **διαταραχών είναι μεγαλύτερη στα υπεράκτια πάρκα από ό, τι στην ξηρά**. Έπειτα οι επιδράσεις που προκαλούνται από την ίδια την ανεμογεννήτρια είναι πολύ σημαντικές και επηρεάζουν αρνητικά τη διάρκεια ζωής των ανεμογεννητριών. Για να μειωθεί αυτή η επίδραση, οι ανεμογεννήτριες πρέπει να διατάσσονται υπακούοντας μία ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους. Επίσης, η αιολική αξιολόγηση των πόρων είναι πολύ πιο περίπλοκη και δαπανηρή από ό, τι στην ξηρά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Τεχνολογία υπεράκτιων αιολικών πάρκων

### 4.1) Φυσικά φαινόμενα που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν σε μια εγκατάσταση υπεράκτιου αιολικού πάρκου

Μια κατασκευή υπεράκτιου αιολικού πάρκου, έχει να αντιμετωπίσει μια σειρά δυσκολίες, που σχετίζονται με τα φαινόμενα της φύσης. Οι δυσκολίες έγκεινται στο ότι πρέπει να αντιμετωπιστούν φαινόμενα που δεν είναι σταθερά, αποτελούνται από πολλές μεταβλητές, αλλά και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Χαρακτηριστικά στο Σχήμα 4.1 φαίνεται η ποικιλία των φαινομένων που μπορούν να επιδράσουν ταυτόχρονα. Το κάθε φαινόμενο θα εξεταστεί μεμονωμένα από τα άλλα για να βγουν τα πρώτα συμπεράσματα.



Σχήμα 4.1 ) Φυσικά φαινόμενα που επηρεάζουν μια ανεμογεννήτρια στη θάλασσα (Πηγή: Robinson & Musial,2006)

#### 4.1.1) Οι άνεμοι

Οι συνθήκες του ανέμου είναι σημαντικές στον καθορισμό όχι μόνο των φορτίων που επιβάλλονται σε όλα τα κατασκευαστικά μέρη της ανεμογεννήτριας, αλλά και στην πρόβλεψη του ποσού της μελλοντικής παραγωγής ενέργειας σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Οι μετρήσεις επί τόπου του αιολικού δυναμικού επηρεάζουν έντονα τη διάταξη των ανεμογεννητριών μέσα σε μια συγκεκριμένη περιοχή, ως μια παράμετρος των επικρατέστερων κατευθύνσεων του ανέμου. Παράμετροι που μας ενδιαφέρουν από τα ανεμολογικά δεδομένα είναι:

- **Ταχύτητα ανέμου** (Wind speed)- ετήσια, μηνιαία, ανά μία ώρα: Προτίμηση στο ύψος της πλήμνης
- **Κατανομή συχνότητας ταχύτητας** (Speed frequency distribution)- αριθμός των ωρών ανά έτος σε κάθε διάστημα ταχύτητας
- **Ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος** (Wind shear)
- **Αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου με το ύψος** (Wind veer)
- **Ένταση τύρβης** (Turbulence intensity)- την τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου ως δείγμα στο σύνολο 10 λεπτών σαν συνάρτηση της μέσης ταχύτητας
- **Κατανομή της διεύθυνσης του ανέμου** (Wind direction distribution)

Επίσης είναι επιθυμητό να γνωρίζουμε τη θερμοκρασία του αέρα, της θάλασσας, θερμοκρασία στην επιφάνεια και ορισμένα άλλα στατιστικά στοιχεία μετεωρολογίας (τήξη, κεραινό, υγρασία, κλπ.) .

#### 4.1.2 ) Τα κύματα της θάλασσας

Τα κύματα της θάλασσας καθορίζουν τα φορτία που επιβάλλονται στην κατασκευή θεμελίωσης ενός στροβίλου, όπως επίσης και την προσβασιμότητα των υπεράκτιων έργων, από σκάφη κατά τη διάρκεια της κατασκευής και της λειτουργίας τους. Οι παράμετροι από τα κύματα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- **Σημαντικό ύψος κύματος** (Significant wave height) - μέσο ύψος των τριών υψηλότερων κυμάτων
- **Οριακό ύψος κύματος** (Extreme wave height) - μέσο ύψος από τα υψηλότερα κατά 1% του συνόλου των κυμάτων
- **Μέγιστο ύψος κύματος που παρατηρήθηκε** (Maximum observed wave height)
- **Συχνότητα κυμάτων** (Wave frequency)
- **Συσχέτιση με ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου** (Correlation with wind speeds and direction)

Τα κύματα τείνουν να είναι σε ακανόνιστο σχήμα και ύψος και μπορεί να προσεγγίζουν μια ανεμογεννήτρια ταυτόχρονα από περισσότερες της μιας κατευθύνσεως . Η πιθανότητα να εμφανιστεί κύμα και τα χαρακτηριστικά του αποτελούν επίσης σημαντικές παραμέτρους. Η συσχέτιση ανέμου –κυμάτων είναι ένα κρίσιμο κριτήριο για το σχεδιασμό μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας. Αυτή η συσχέτιση συνήθως εκφράζεται ως από κοινού πιθανότητα της ταχύτητας του ανέμου και το ύψος των κυμάτων, και μπορεί να περιλαμβάνει την συχνότητα των κυμάτων. Επιπλέον από τον καθορισμό οριακών αεροδυναμικών και υδροδυναμικών φορτίων, καθώς είναι σημαντικά για την αξιολόγηση των δυναμικών δονήσεων που προκαλούνται στο σύνολο της κτιριακής κατασκευής της τουρμπίνας. Οι συνέπειες της κίνησης από συγκεκριμένα φορτία ανέμου και κυμάτων μπορούν να αποτελέσουν πρωταρχικό οδηγό σχεδιασμού.

#### **4.1.3) Τα ρεύματα**

Τα ρεύματα γενικά χαρακτηρίζονται είτε ως υπόγεια ρεύματα που παράγονται από παλίρροιες, καταιγίδες, και ατμοσφαιρική μεταβολή της πίεσης, ή ως ρεύματα κοντά στην επιφάνεια που δημιουργούνται από τον άνεμο. Τα ρεύματα μπορεί να οδηγήσουν σε μεταφορά ιζημάτων (π.χ. κύματα άμμου). Μπορούν επίσης να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά του βυθού της θάλασσας και την κίνηση των σκαφών κατά την διάρκεια της κατασκευής ή των επισκέψεων συντήρησης.

#### **4.1.4) Χαρακτηριστικά βυθού και βάθος νερού**

Τα εδαφολογικά και βαθυμετρικά χαρακτηριστικά ενός τοπίου είναι σημαντικοί παράμετροι σχεδιασμού για υπεράκτιες ανεμογεννήτριες. Ενώ το σύνολο του συστήματος - τουρμπίνα, πύργος, υποδομή, και θεμέλιο –επηρεάζονται από αυτές τις παραμέτρους, τα θεμέλια είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις συγκεκριμένες συνθήκες . Το βάθος του νερού, θα καθορίσει ,κατά κύριο λόγο, το μέγεθος της υποθαλάσσιας δομής και την έκθεσή της σε υδροδυναμικές δυνάμεις.

**Οι ιδιότητες του εδάφους (π.χ. τι τύπου χώμα είναι) και το προφίλ του θα επηρεάσουν σημαντικά ποιος είναι ο κατάλληλος τύπος θεμέλιου που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.** Από τη σκοπιά του συστήματος, τα γεωλογικά και βαθυμετρικά χαρακτηριστικά θα βοηθήσουν να προσδιοριστούν : η αξονική και πλευρική απόκριση της κολώνας , η δυνατότητα μεταφοράς φορτίου , οι συχνότητες συντονισμού, η αντοχή και η αποδεκτή παραμόρφωση των δομών υποστήριξης της υπεράκτιας εγκατάστασης .Μια γεωλογική έρευνα για την περιοχή συχνά ξεκινά με έναν επιτραπέζια ανασκόπηση των διαθέσιμων δεδομένων για την κατανόηση των συνθηκών που είναι πιθανόν να υπάρχουν για τον συγκεκριμένο χώρο. Ο λεπτομερής σχεδιασμός προϋποθέτει επιτόπια διαδικασία έρευνας, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων σεισμικής ανάκλασης σε συνδυασμό με δειγματοληψία εδάφους και δοκιμές διείδυσης. Οι τεχνικές αυτές μας παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά των ιζημάτων και διαστρωμάτωσης, για βάθη τουλάχιστον 60 μέτρων κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας.



Οι περιγραφές των ιζημάτων και οι κάτω από την επιφάνεια περιγραφές περιλαμβάνουν τα εξής:

- Ταξινομήσεις του εδάφους
- Παραμέτρους κάθετης και οριζόντιας αντοχής
- Ιδιότητες παραμόρφωσης
- Διαπερατότητα
- Παραμέτρους ακαμψίας και απόσβεσης - για την πρόβλεψη της δυναμική συμπεριφοράς της δομής της ανεμογεννήτριας.

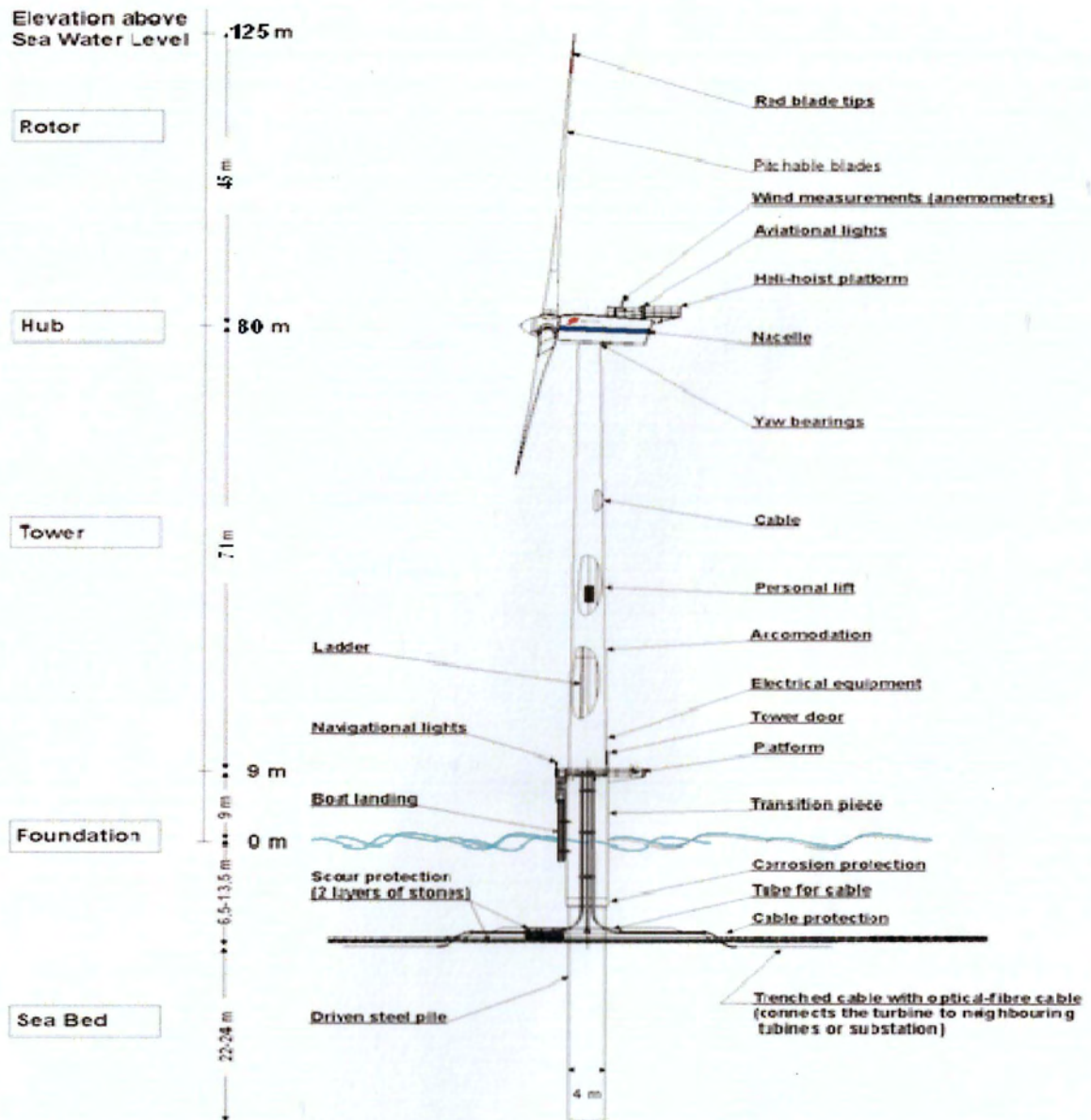
#### **4.2.1) Ανεμογεννήτριες**

Οι ανεμογεννήτριες είναι το συστατικό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός υπεράκτιου σταθμού αιολικής ενέργειας. Η τουρμπίνα βρίσκεται στην κορυφή της δομής υποστήριξης, η οποία αποτελείται από τον πύργο και τα θεμέλια. Ο πρότυπος σχεδιασμός ανεμογεννήτριας αποτελείται από ένα περίβλημα ατράκτου και τα κύρια μηχανικά μέρη (π.χ. κιβώτιο ταχυτήτων, άξονα μετάδοσης κίνησης, και γεννήτρια), τον άξονα, και τα πτερύγια. Στο Σχήμα 4.2 φαίνονται αναλυτικά τα μέρη από τα οποία αποτελείται συνολικά μια ανεμογεννήτρια.

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν βασιστεί στις αντίστοιχες ανεμογεννήτριες της ξηράς, αν και μερικοί κατασκευαστές αναπτύσσουν σήμερα νέα μοντέλα που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για το υπεράκτιο περιβάλλον. Τα διεθνή πρότυπα για τις κατηγορίες των ανεμογεννητριών έχουν οριστεί με βάση τις διαφορετικές ταχύτητες του ανέμου. Στις πρώτες υπεράκτιες εγκαταστάσεις αναπτύχθηκαν και τοποθετήθηκαν μικρές (λιγότερο από 1 MW) ανεμογεννήτριες. Μέχρι σήμερα, οι εταιρίες Vestas και Siemens είναι οι πιο σημαντικοί προμηθευτές για υπεράκτιες ανεμογεννήτριες. Οι δύο προμηθευτές ήταν μεταξύ των πρώτων που προσφέρουν υπεράκτια τεχνολογία, εισερχόμενες στην αγορά το 2000 και 2003, αντίστοιχα. Όπως καταγράφεται και στον πίνακα 2.1, τα μεγαλύτερα αιολικά πάρκα έχουν ανεμογεννήτριες από αυτούς του δύο προμηθευτές. Οι ανεμογεννήτριες έχουν πτερύγια διαμέτρου μεταξύ 80 μέτρων και 107 μέτρων, και ύψος μεταξύ 60 μέτρων και 105 μέτρων, τα οποία είναι σημαντικά μεγαλύτερα από τις ανεμογεννήτριες που είχαν αναπτυχθεί στα πρώτα έργα.

#### **4.2.2 Πώς λειτουργεί η ανεμογεννήτρια**

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 περιστροφής ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Αν η ένταση του ανέμου ενισχυθεί πάρα πολύ, η τουρμπίνα έχει ένα φρένο που περιορίζει την υπερβολική αύξηση περιστροφής των πτερυγίων για να περιοριστεί η φθορά της και να αποφευχθεί η καταστροφή της.

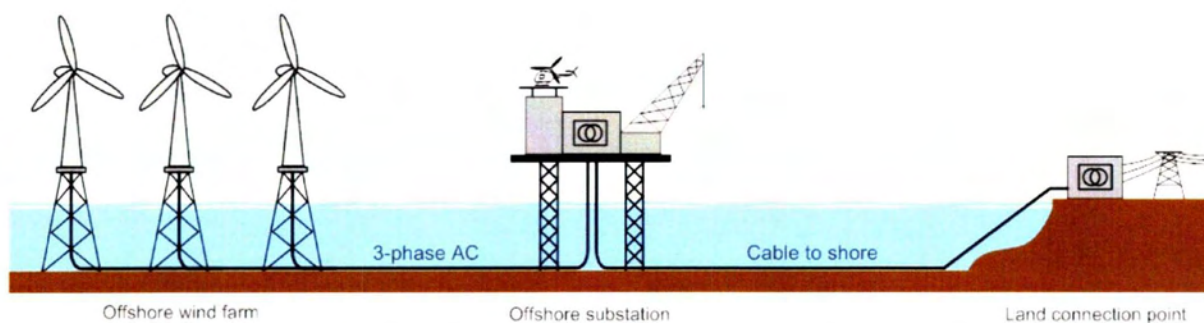


Σχήμα 4.2) Τα κύρια χαρακτηριστικά μια υπεράκτιας αιολικής κατασκευής(Πηγή: AWS, 2009)

Η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 15 km/h για να μπορέσει μια κοινή τουρμπίνα να παράγει ηλεκτρισμό. Καθώς η γεννήτρια περιστρέφεται παράγει ηλεκτρισμό με τάση 25.000 Volt. Το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει πρώτα από ένα μετασχηματιστή στην ηλεκτροπαραγωγική μονάδα ο οποίος ανεβάζει την τάση του στα 400.000 Volt. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διανύει μεγάλες αποστάσεις είναι καλύτερα να έχουμε υψηλή τάση.

Τα μεγάλα, χοντρά σύρματα της μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι κατασκευασμένα από χαλκό ή αλουμίνιο για να υπάρχει μικρότερη αντίσταση στη μεταφορά του ρεύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του σύρματος τόσο πιο πολύ θερμαίνεται. Έτσι κάποιο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας χάνεται επειδή μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια.

Τα σύρματα μεταφοράς ρεύματος καταλήγουν σε ένα υποσταθμό όπου οι μετασχηματιστές του μετατρέπουν την υψηλή τάση σε χαμηλή για να μπορέσουν να λειτουργήσουν ηλεκτρικές συσκευές. (Σχήμα 4.3)



Σχήμα 4.3) Επισκόπηση του συστήματος μια υπεράκτιας εγκατάστασης(Πηγή: AWS, 2009)

### **4.3) Πύργοι και θεμελιώσεις**

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες συνήθως τοποθετούνται σε πύργους με σωληνοειδές σχήμα και έχουν ύψος που κυμαίνεται από τα 60 έως τα 105 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι πύργοι είναι σταθεροί πάνω στα θεμέλια, συχνά όμως χρησιμοποιείται ένα μεταβατικό τμήμα που συνδέει τον πύργο και τα θεμέλια. Αυτοί οι πύργοι επιτρέπουν στον στρόβιλο να αξιοποιήσει τους ανέμους σε ύψη πολύ πάνω από την επιφάνεια του νερού, όπου το αιολικό δυναμικό είναι γενικά πιο μεγάλο και λιγότερο τυρβώδες.

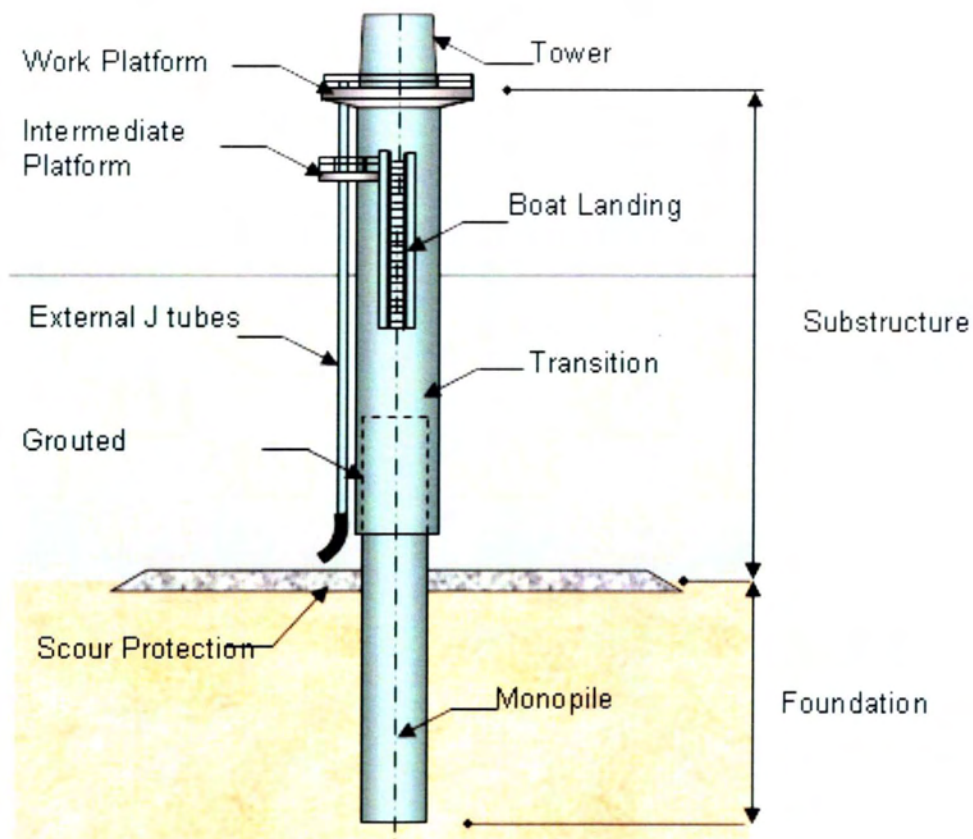
Η τεχνολογία του θεμέλιου σχεδιάζεται σύμφωνα με τις επιτόπιες συνθήκες. Οι παράμετροι που επηρεάζουν το είδος θεμελίωσης και τον σχεδιασμό είναι η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου, το βάθος νερού, τα ύψη κυμάτων, τα ρεύματα, και οι ιδιότητες του εδάφους. Ιστορικά η βιομηχανία στηρίχθηκε, κυρίως στα θεμέλια με μια στήλη και αυτά που είναι βασισμένα στην δύναμη της βαρύτητας. Η αύξηση του αριθμού των προγραμματισμένων έργων σε βαθύτερα νερά ήταν το κίνητρο για την έρευνα και τις πιλοτικές εγκαταστάσεις πιο σύνθετων σχεδίων. Οι βασικοί τύποι θεμελιώσεων, με τα υπέρ και τα κατά που έχουν, παρατίθενται πιο κάτω.

#### **4.3.1) Monopile Foundation** (Μονόστηλο θεμέλιο)

Το μονόστηλο είναι, ιστορικά, ο πιο συχνά επιλεγμένος τύπος θεμέλιου, λόγω του μειωμένου του κόστους, της απλότητας, και της καταλληλότητας του για ρηχά νερά (λιγότερο από 20 μέτρα). Ο σχεδιασμός του περιλαμβάνει ένα μακρύ κοντάρι χάλυβα που εκτείνεται από το βυθό της θάλασσας μέχρι τη βάση της ανεμογεννήτριας (Σχήμα 4.4). Το μονόστηλο, γενικά, δεν απαιτεί καμία προετοιμασία του βυθού και μπορεί να εγκατασταθεί μέσα από γεωτρήσεις.

Το μονόστηλο είναι σχετικά απλό για την κατασκευή του, διατηρώντας το κόστος του χαμηλά. Το βάρος του μπορεί να ξεπεράσει τους 500 τόνους, ενώ η διάμετρος του φτάνει έως και τα 5.1 μέτρα.

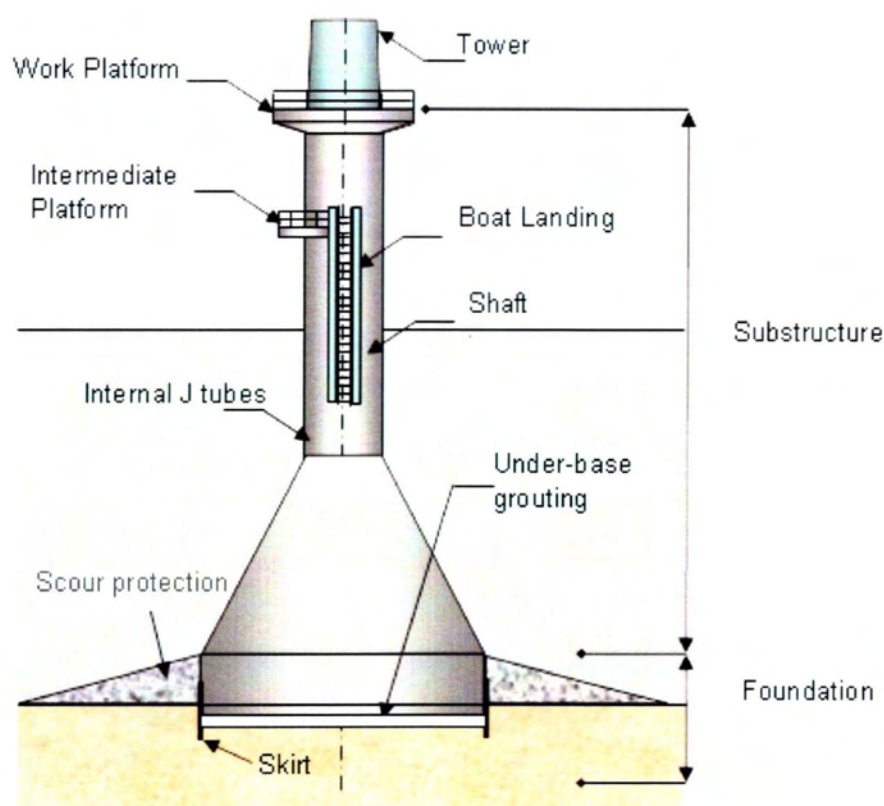
Ενώ το μονόστηλο θεμέλιο είναι η κατάλληλη επιλογή για πολλά έργα, μπορεί να είναι ακατάλληλη, σε ορισμένες εφαρμογές. Αυτά τα θεμέλια, για παράδειγμα, δεν είναι κατάλληλα για στρώματα του εδάφους, με θεόρατους βράχους. Επιπλέον, το απαιτούμενο μέγεθος του μονόστηλου αυξάνεται δυσανάλογα με την αύξηση του μεγέθους της τουρμπίνας. Ως εκ τούτου, περιοχές με βαθιά νερά, σκληρά κύματα και ρεύματα, που θα εγκατασταθούν μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες μπορεί να απαιτήσουν την εφαρμογή των πιο σύνθετων σχεδίων, όπως τα jackets, τα τρίποδα, ή το τρίστηλο.



Σχήμα 4.4) Τα χαρακτηριστικά μέρη ενός μονό-στηλου θεμελίου (Πηγή: <http://www.wind-energy-the-facts.org/images/fig/chap1/5-4.jpg>)

### 4.3.2 Gravity Base Foundation (Θεμέλιο «βαρύτητας»)

Μια εναλλακτική λύση του μονόστηλου θεμέλιου είναι το θεμέλιο βασισμένο στην βαρύτητα. Ιστορικά έχει αναπτυχθεί σε ρηχά νερά (συνήθως λιγότερο των 15 μέτρων), ενώ το «θεμέλιο βαρύτητας» έχει εγκατασταθεί σε βάθος έως και 29 μέτρα. Η αντιμετώπιση δυνάμεων που ασκούνται στο στρόβιλο από τον άνεμο και τα κύματα βασίζεται σε ένα ευρύ ίχνος και στο τεράστιο βάρος που έχει το συγκεκριμένο θεμέλιο. Το «θεμέλιο της βαρύτητας» διαφέρει από το μονόστηλο στο ότι δεν εισχωρεί στο υπέδαφος, αλλά κάθεται στο πάνω μέρος του πυθμένα της θάλασσας (Σχήμα 4.5). Ανάλογα με την τοποθεσία και τις εδαφολογικές συνθήκες, ίσως χρειάζεται σημαντική προετοιμασία του χώρου.



Σχήμα 4.5) Χαρακτηριστικό προφίλ θεμέλιου βαρύτητας ( Πηγή: <http://www.wind-energy-the-facts.org/images/fig/chap1/5-5.jpg>)

Οι συγκεκριμένες δομές έχουν κατασκευασθεί σχεδόν εξ' ολοκλήρου στην ξηρά από συγκολλημένο χάλυβα και σκυρόδεμα. Είναι μια σχετικά φτηνή διαδικασία κατασκευής, αλλά απαιτεί μεγάλα μεταφορικά οχήματα ώστε να φτάσει στο χώρο που θα τοποθετηθεί. Η κατασκευή αρχικά επιπλέει έξω στην περιοχή. Έπειτα γεμίζεται με «σαβούρα» για να αυξήσουν την αντίσταση στα περιβαλλοντικά φορτία, ώστε να βυθιστεί στο πάτο της θάλασσας. Αν και αυτές οι θεμελιώσεις μπορούν να ζυγίσουν πάνω από 7.000 τόνους,

μπορούν να αφαιρεθούν τελείως από την θάλασσα.

#### **4.3.3 Jacket Foundation (Θεμέλιο «σακάκι»)**

Το θεμέλιο «σακάκι» είναι μια εφαρμογή των σχεδίων που συνήθως χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου για υπεράκτιες δομές. Τα στηρίγματα του θεμέλιου τοποθετούνται στο βυθό της θάλασσας, ενώ μια στήλη οδηγείται μέσα σε καθένα από τα τέσσερα «πόδια» για τη διασφάλιση της δομής. Το θεμέλιο «σακάκι» έχει ευρύτερη διατομή από το μονόστηλο, παρέχοντας μεγαλύτερη ενίσχυση από μεγάλα φορτία που προέρχονται από τον άνεμο και τα κύματα. Λόγω της γεωμετρίας του, το θεμέλιο «σακάκι» είναι σε θέση να είναι σχετικά ελαφρύ για τη δύναμη που προσφέρει, βάρους περίπου 600 τόνων. Πλέον η κατασκευή τέτοιων θεμέλιων έχει τυποποιηθεί από το σύνολο της βιομηχανίας.

#### **4.3.4 Tripod Foundation (Τρίποδο θεμέλιο)**

Για εγκαταστάσεις σε μεγάλα βάθη, το τρίποδο θεμέλιο προσαρμόζει τον μονόστηλο σχεδιασμό με την επέκταση του ίχνους. Τα τρία πόδια της δομής κάθονται στο βυθό της θάλασσας, και υποστηρίζουν ένα κεντρικό κυλινδρικό τμήμα που συνδέεται με την βάση του ανεμοστρόβιλου. (Σχήμα 4.6)

Κολώνες χάλυβα συνδέονται με τα τρία «πόδια» για να σταθεροποιήσουν την κατασκευή στο βυθό της θάλασσας. Τα τρία υποστηρικτικά πόδια αντιστέκονται στα στιγμιαία φορτία που ασκούνται στο στρόβιλο. Τα τρίποδα θεμέλια είναι σχετικά πολύπλοκα και χρονοβόρα ως προς την κατασκευή. Επίσης, είναι πιο ογκώδη από τα θεμέλια «σακάκια».

#### **4.3.5 Tripile Foundation ( Τρίπυλο Θεμέλιο)**

Το τρίπυλο είναι μια σχετικά νέα προσαρμογή του παραδοσιακού μονόστηλου θεμέλιου. Αντί για μια ενιαία κολώνα, τρεις πυλώνες οδηγούνται στο βυθό. Οι πυλώνες συνδέονται ακριβώς πάνω από την επιφάνεια του νερού σε ένα μεταβατικό τμήμα χρησιμοποιώντας αρθρώσεις. Αυτό το μεταβατικό τμήμα είναι τοποθετημένο στη βάση του πύργου του στρόβιλου.

Η αυξημένη αντοχή και το ευρύτερο αποτύπωμα που δημιουργήθηκε από τους τρεις πυλώνες επιτρέπει να εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες σε περιοχές όπου το βάθος της θάλασσας φτάνει έως και τα 50 μέτρα. Η ξεχωριστή κατασκευή των τριών πυλώνων επιτρέπει την εγκατάσταση του θεμέλιου σε ανώμαλα εδάφη. Η δυνατότητα αυτή δίνεται επειδή κάθε πυλώνας μπορεί να σχεδιαστεί με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του εδάφους που θα ακουμπήσει.



Σχήμα 4.6) Εικόνα από τρίποδο θεμέλιο να εισέρχεται στην θάλασσα ( Πηγή: Walkemeyer, 2010)



Σχήμα 4.7) Εικόνα από τις tripod ανεμογεννήτριες στο Bard Group  
(Πηγή: <http://www.renewablesinternational.net>)

#### **4.4) Ηλεκτρικό σύστημα και το ηλεκτρικό ισοζύγιο των σταθμών**

Τα πρόσθετα στοιχεία μιας υπεράκτιας αιολικής εγκατάστασης εκτός από τις θεμελιώσεις και τις ανεμογεννήτριες αποτελούν: η ηλεκτρική καλωδίωση, οι υποσταθμοί, και ο μετεωρολογικός ιστός. Η ηλεκτρική καλωδίωση εξυπηρετεί δύο λειτουργίες: **τη συλλογή της παραγόμενης ισχύος στο πλαίσιο του έργου, και της μετάδοσης της στην ακτή.** Και οι δύο τύποι καλωδίων μπορεί να έχουν απαιτήσεις σκαψίματος τάφρων τριγύρω τους όπως και προδιαγραφές ειδικής θωράκισης.

Κάθε υποσταθμός συνήθως περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους μετασχηματιστές τάσης, χειριστήρια έλεγχου από μακριά και εξοπλισμό επικοινωνίας. Η προμήθεια του εξοπλισμού, και των υλικών για την εγκατάσταση του ηλεκτρικού ισοζυγίου του σταθμού, όπως και ο συντονισμός των πληρωμάτων είναι ένα μη-τετριμμένο έργο. Ο λόγος είναι η αντικειμενική εξειδίκευση που θέλει η κάθε εγκατάσταση, όσο και η περιορισμένη εμπειρία πάνω στο συγκεκριμένο θέμα. Ως εκ τούτου, το μερίδιο στην δημιουργία, συνολικά μια υπεράκτιας εγκατάστασης, που αφορά το ισοζύγιο του σταθμού είναι καθοριστικό. Είναι μια από τις βασικές παραμέτρους που καθορίζουν το χρονοδιάγραμμα αλλά και το συνολικό κόστος του κάθε έργου.

Το τυπικό ηλεκτρικό σύστημα ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου αποτελείται από τα επιμέρους: μετασχηματιστές στροβίλου, σύστημα συλλογής, υπεράκτιο υποσταθμό, γραμμή μεταφοράς προς την ξηρά. Κάθε ένα από αυτά τα συστατικά συνεισφέρει στην ηλεκτρική απώλεια που έχει η εγκατάσταση. Για αυτόν τον λόγο, ο σχεδιασμός του ηλεκτρικού συστήματος αποτελεί σημαντική πτυχή της συνολικής επιτυχίας της εγκατάστασης.

#### **4.5) Σύστημα Συλλογής**

Το σύστημα συλλογής είναι μια σειρά από υποβρύχιους αγωγούς. Το σύστημα συλλογής έχει σχεδιαστεί ώστε να συνδέει πολλαπλές ανεμογεννήτριες σε κάθε γραμμή πριν από την παροχή ρεύματος στον υπεράκτιο υποσταθμό. Αυτός ο σχεδιασμός ελαχιστοποιεί το κόστος, ενώ και τη διατήρηση της ηλεκτρικής αξιοπιστίας των γραμμών.

#### **4.6) Υπεράκτιος Υποσταθμός**

Οι γραμμές από το σύστημα συλλογής συνήθως έρχονται μαζί στον τοπικό υπεράκτιο υποσταθμό, όπου η ισχύς μεταφέρεται σε γραμμές υψηλής τάσης μέσω υποβρυχίων γραμμών για τη μετάδοση πίσω στην ακτή. Ο υπεράκτιος υποσταθμός σχεδιάζεται ανάλογα την εκάστοτε μέγιστη ισχύς που μπορεί να παραχθεί στο εκάστοτε υπεράκτιο αιολικό πάρκο. Επίσης χρησιμοποιείται για να ανεβάσει την τάση του ηλεκτρικού ρεύματος, έτσι ώστε να μεταφερθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο της ξηράς. Αυτό επιτρέπει όλη η παραγόμενη ενέργεια από το πάρκο να πηγαίνει στην ηπειρωτική χώρα σε γραμμές υψηλότερης τάσης, το οποίο ελαχιστοποιεί την απώλεια ηλεκτρικού λόγω των καλωδίων και αυξάνει την συνολική ηλεκτρική απόδοση.





Σχήμα 4.8) Εικόνα από τον υπεράκτιο υποσταθμό στο αιολικό πάρκο του Lillgrund  
(Πηγή: <http://www.siemens.com/>)

Οι γραμμές μεταφοράς πίσω στην ακτή καθορίζονται σε κατάλληλη ονομαστική τάση και ισχύ. Το μέγεθος αυτών των καλωδίων εξαρτάται από την ισχύ του έργου και την ποσότητα της ενέργειας που θα διαβιβάζεται στην ακτή, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1) Συσχέτιση Ισχύος-Απαιτούμενης Τάσης (Πηγή: AWS, 2009)

Μέγεθος Έργου	Ελάχιστη Τάση(AC)
35 MW	35 kV
70 MW	69 kV
135 MW	115 kV
160 MW	138 kV
210 MW	161 kV
300 MW	230 kV
1000 MW	345 kV
2000 MW	500 kV

Τα υψηλής τάσης υποβρύχια καλώδια μεταφοράς αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο του σχεδιασμού. Λίγες είναι οι κατασκευαστές που έχουν τα κατάλληλα καλώδια, και η παρασκευή και ο χρόνος παράδοσης είναι σημαντικός. Τα πλοία για την εξειδικευμένη εγκατάσταση είναι σχετικά σπάνια, δαπανηρά και σε υψηλή ζήτηση. Αυτοί οι παράγοντες

συμβάλλουν ώστε το κόστος εγκατάστασης για την υποβρύχια μετάδοση να είναι περίπου δύο έως τρεις φορές περισσότερο από ένα ισοδύναμο σύστημα στην ξηρά.

#### **4.7) Σύστημα Παρακολούθησης μετεωρολογικών φαινομένων**

Ενώ οι βασικές πρακτικές για την ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας είναι ακόμη υπό εξέλιξη, η εγκατάσταση ενός υπεράκτιου μετεωρολογικού συστήματος παρακολούθησης πριν από την κατασκευή του έργου γίνεται όλο και πιο κοινή και απαραίτητη. Σε περίπτωση που τοποθετείται σωστά, ο σταθμός παρακολούθησης θα προσφέρει πληροφορίες για τα καιρικά φαινόμενα αλλά και για τα χαρακτηριστικά των κυμάτων καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του πάρκου. Ο σκοπός της πλατφόρμας παρακολούθησης είναι να παρέχει συνεχή, σε πραγματικό χρόνο, χαρακτηριστικά του καιρού και την κατάσταση των κυμάτων εντός της περιοχής του έργου. Μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως πλατφόρμα για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος (π.χ. κίνηση των πτηνών και νυχτερίδων, θαλάσσιων οργανισμών, κ.λπ.).

Η υπεράκτια πλατφόρμα (ή πλατφόρμες) παρακολούθησης αποτελεί σημαντική συνιστώσα για την ισορροπία ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου, δεδομένου ότι θα παρέχει τα δεδομένα που απαιτούνται για την κατάσταση που βρίσκεται το τοπίο, για την απόδοση και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκμετάλλευσης. Η πλατφόρμα εξυπηρετεί συνήθως έναν υπεράκτιο μετεωρολογικό ιστό, ο οποίος έχει πολλαπλές χρήσεις κατά τη διάρκεια της διάρκειας ζωής του έργου. Στο στάδιο του σχεδιασμού του έργου, τα δεδομένα από τον ιστό χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού. Πολλές φορές η πλατφόρμα που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει μια περιοχή κατά τη διάρκεια της φάσης ανάπτυξης διατηρείται και μετά την εγκατάσταση για να επεκτείνει τις κλιματολογικές πληροφορίες που έχει ήδη συλλέξει.

Αυτές οι πληροφορίες είναι χρήσιμες για επαλήθευση των επί τόπου συνθηκών, για τον έλεγχο της απόδοσης της τουρμπίνας, όσο και για τις διαδικασίες που αφορούν την λειτουργία και την συντήρηση(O&M). Για τους σκοπούς αυτούς, η πλατφόρμα παρακολούθησης και ο μετεωρολογικός πύργος θα πρέπει, στην ιδανική περίπτωση, να βρίσκονται ακριβώς ανάντη της περιοχής του έργου, στην επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου.

#### **4.8) O & M εγκατάσταση και εξοπλισμός**

Ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων για την λειτουργία και συντήρηση (O & M) και η προμήθεια εξοπλισμού για την υπεράκτια τουρμπίνα υπαγορεύεται από ειδικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Μια καλά ανεπτυγμένη O & M υπηρεσία σχεδιάζεται με βάση αυτές τις παραμέτρους και είναι απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής της τουρμπίνας, η οποία οδηγεί σε απώλεια εσόδων. Η εγκατάσταση O & M, συνήθως στεγάζεται σε ένα κοντινό λιμάνι, που παρέχει γρήγορη πρόσβαση στην περιοχή του έργου για συντήρηση και επισκευές. Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου η περιοχή του έργου είναι σε αρκετά μεγάλη απόσταση από την ακτή, οι O & M δραστηριότητες θα μπορούσαν θεωρητικά

να στεγάζονται σε μια εκτεταμένη εγκατάσταση υποσταθμού. Έτσι ώστε τα ανταλλακτικά να αποθηκεύονται κοντά στο πάρκο, για την άμεση χρησιμοποίησή τους. Αυτό θα επιτρέψει την ταχύτερη ανταπόκριση σε τυχόν αποτυχίες της τουρμπίνας.

Το προσωπικό του O & M είναι εφοδιασμένο με σκάφη για να υποστηρίξει τις προσπάθειες επισκευής. Η προσβασιμότητα αποτελεί πρωταρχικό κριτήριο για την διαθεσιμότητα των πλοίων. Σε καταστάσεις όπου ο χώρος μπορεί να αποκλειστεί από τρικυμία, η πρόσβαση με ελικόπτερο μπορεί να παρέχει μια πιο δαπανηρή, αλλά ταχεία εναλλακτική λύση για να βάλει τις τουρμπίνες σε λειτουργία το συντομότερο δυνατόν. Πρόσβαση με ελικόπτερο από ένα μεγάλο μεγέθους υποσταθμό μπορεί να αποδειχθεί περισσότερο αποτελεσματική από ό, τι από την ξηρά, ειδικά εάν το έργο είναι σε μεγάλη απόσταση από την ακτή, λόγω του κόστους και της πολυπλοκότητας να πετάξεις ένα ελικόπτερο σε μεγάλη απόσταση ενώ αυτό κουβαλάει ανταλλακτικά.

#### **4.9) Ζητήματα Διάταξης**

Η διάταξη των υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι ζήτημα σχεδιασμού που έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση του έργου, το μέγεθος και το κόστος. Ένας αριθμός από παράγοντες μπορούν να οδηγήσουν στο πώς ένα αιολικό πάρκο θα ρυθμιστεί. **Ένας παράγοντας είναι οι δυνατότητες περιορισμού του μέγεθους του έργου** λόγω ζητημάτων ορίων που επιβάλλονται από νομοθετικούς, ή γεωφυσικούς λόγους.

**Ένας άλλος παράγοντας είναι η απόδοση της εγκατάσταση και η αποτελεσματικότητα της παραγωγής**, οι οποίες επηρεάζονται από την απόσταση των στροβίλων ανάλογα με την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου. Ως γενική πρακτική, το διάστημα μεταξύ των τουρμπίνων, ευθυγραμμισμένων σε μια σειρά είναι της τάξης των 5 έως 10 διαμέτρων του πτερυγίου. Ενώ η απόσταση μεταξύ των σειρών είναι μεταξύ 7 και 12 διαμέτρων του πτερυγίου. Στην ιδανική περίπτωση οι γραμμές τείνουν να ευθυγραμμιστούν κάθετα προς την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου. Ο στόχος της σωστής εύρεσης της απόστασης είναι η μείωση των επιπτώσεων των διαταραχών της ροής του ανέμου που δημιουργούνται από τις ανεμογεννήτριες στην πλευρά του ανέμου σε τμήματα μιας περιοχής του έργου. Αυτές οι διαταραχές της ροής μπορεί να μειώσουν την ενεργειακή απόδοση των επιμέρους ανεμογεννητριών κατά 50% ή περισσότερο σε σύγκριση με ανεπηρέαστες τουρμπίνες. Μπορούν επίσης να δημιουργήσουν πρόσθετες αναταράξεις στο πεδίο ροής, αυξάνοντας έτσι την μηχανική φόρτιση στις αντίστοιχες ανεμογεννήτριες και να μειώσουν την ζωή των ανεμογεννητριών. Καθώς τα μελλοντικά έργα υπεράκτιων εγκαταστάσεων θα γίνονται μεγαλύτερα σε μέγεθος, το πιθανό αντίκτυπο αυτών των επιδράσεων θα γίνεται μεγαλύτερο. **Άλλοι παράγοντες διάταξης** μπορεί να περιλαμβάνουν την ευαισθησία στις περιβαλλοντικές και αισθητικές επιπτώσεις και σε υφιστάμενες χρήσεις (κυκλοφορίας των πλοίων, την αλιεία, κλπ.) εντός της περιοχής του έργου.

#### **4.10) Διαθεσιμότητα λιμανιού**

Τα κοντινά λιμάνια στην εγκατάσταση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου πρέπει να είναι σε θέση να φιλοξενήσουν βαθιά σκάφη. Επιπλέον, πρέπει να έχουν επαρκή αποθηκευτικό χώρο για την αποθήκευση των κατασκευαστικών στοιχείων της τουρμπίνας. Συνήθως, η διαθεσιμότητα αποθηκευτικού χώρου στο λιμάνι θα πρέπει να είναι περίπου τα 3/4 ενός στρέμματος ανά τουρμπίνα. Στην ιδανική περίπτωση, εάν διαθέτουν τον κατάλληλο χώρο στο λιμάνι, ο άξονας και τα πτερύγια μπορούν να κατασκευαστούν στην ξηρά, ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των υπεράκτιων πράξεων του γερανού ανά στρόβιλο που εγκαθίσταται. Το γεγονός αυτό καθιστά το χρονοδιάγραμμα κατασκευής λιγότερο ευαίσθητό σε τυχόν καθυστερήσεις λόγω καιρικών συνθηκών.

Ένα κοντινό λιμάνι είναι επίσης απαραίτητο να φιλοξενήσει τη δραστηριότητα O & M κατά τη φάση λειτουργίας του έργου. Ωστόσο, οι απαιτήσεις για τις O&M λειτουργίες είναι πολύ λιγότερες λόγω του πολύ μικρότερου μεγέθους των σκαφών και των περιορισμένων απαιτήσεων για κάθε αποθηκευτική περιοχή. Ένας τρόπος προσγείωσης για ελικόπτερο υπηρεσίας μπορεί να είναι επιθυμητός, εάν αυτός ο τρόπος μεταφοράς χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση των σκαφών.

#### **4.11) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΟΣΟ ΑΝΑΦΟΡΑ ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

##### **Τα πιο σημαντικά συμπεράσματα και εκτιμήσεις είναι:**

- Η τελική επιλογή των κατάλληλων μοντέλων ανεμογεννήτριας και θεμελίωσης θα εξαρτηθούν από την **επί-τοπία ειδική αξιολόγηση** των εξωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής του έργου. Βασικοί, τέτοιοι, παράγοντες είναι: οι άνεμοι, τα κύματα, τα ρεύματα, το βάθος νερού, και τα χαρακτηριστικά του πυθμένα της θάλασσας.
- Υπάρχει ένας **περιορισμένος αριθμός των διαθέσιμων στο εμπόριο μοντέλων τουρμπίνας** που διατίθεται σήμερα (2012) για χρήση. Η μέγιστη ονομαστική ισχύς των επιμέρους μονάδων είναι μεταξύ 2 MW και 5 MW.
- Το **προτιμώμενο είδος θεμέλιου** το πιθανότερο θα είναι ένα «πολύποδο» (σακάκι, τρίποδο, ή tripile) σχέδιο, που είναι κατάλληλα για ύδατα μεγαλύτερου βάθους (> 20 m).
- Τα χρονοδιαγράμματα της κατασκευής εξαρτώνται ιδιαίτερα από τις **καιρικές συνθήκες και την κατάσταση της θάλασσας**. Η υψηλότερη συχνότητα των δυσμενών συνθηκών κατά τη διάρκεια της χειμερινής σεζόν, θα περιορίσει πιθανόν την κατασκευή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

### Το κόστος της επένδυσης εγκατάστασης αιολικού πάρκου

#### 5.1) Το κόστος των γερσαίων αιολικών πάρκων

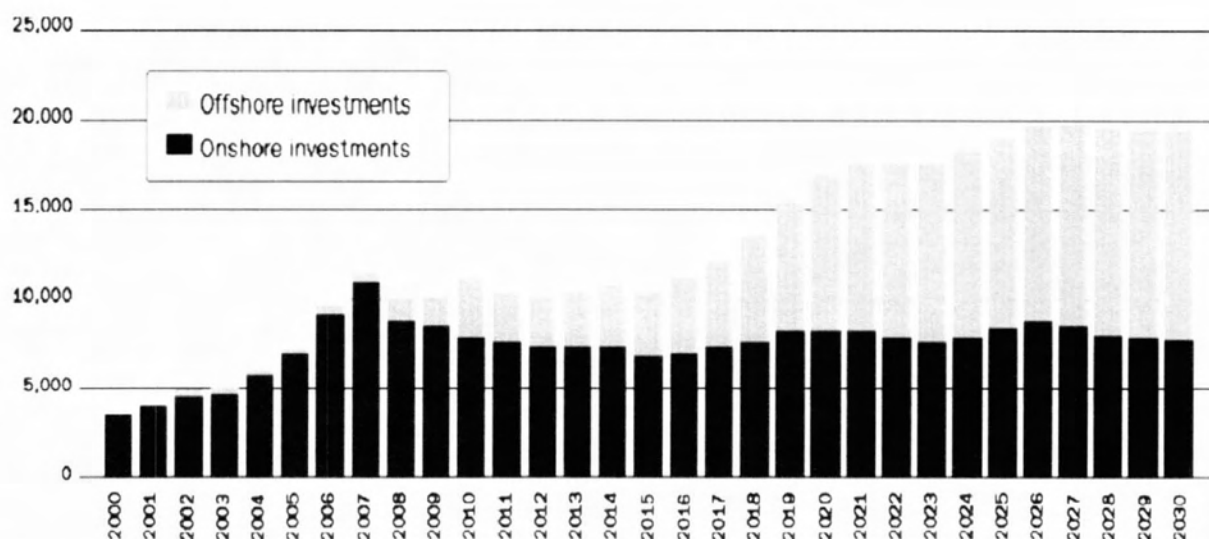
Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει την τυπική δομή του κόστους για μια τουρμπίνα 2 MW για να ανεγερθεί στην Ευρώπη. Το κόστος εγκατάσταση μια μέσης τουρμπίνας στην Ευρώπη είναι της τάξης των 1230000 € / MW. Το ποσοστό του συνολικού κόστους του στροβίλου είναι, κατά μέσο όρο, γύρω στο 76%, ενώ η σύνδεση με το δίκτυο αντιπροσωπεύει περίπου το 9% και το κόστος για το θεμέλιο είναι περίπου 7%. Άλλα στοιχεία του κόστους, όπως τα συστήματα ελέγχου και του ενοικίου της γης, αντιπροσωπεύουν μόνο ένα μικρό μερίδιο του συνολικού κόστους.

Πίνακας 5.1) Διάρθρωση του κόστους μιας τυπικής τουρμπίνας 2MW για να εγκατασταθεί στην Ευρώπη (Πηγή: EWEA ,2009)

	Κόστος(€1000/MW)	Ποσοστό(%)
Τουρμπίνα	928	75,5
Καλωδιώσεις	109	8,9
Θεμέλια	80	6,5
Ενοίκιο Εδάφους	48	3,9
Ηλεκτρική Εγκατάσταση	18	1,5
Σύμβουλοι	15	1,2
Χρηματοπιστωτικά έξοδα	15	1,2
Κατασκευή δρόμου	11	0,9
Συστήματα ελέγχου	4	0,9
Σύνολο	1227	100

#### 5.2) Το κόστος των υπεράκτιων αιολικών πάρκων

Το Σχήμα 5.1 δείχνει τις αναμενόμενες ετήσιες επενδύσεις αιολικής ενέργειας από 2000 - 2030 στην ΕΕ . Η αγορά αναμένεται να είναι σταθερή γύρω στα 10 δισ. ευρώ / έτος μέχρι το 2015. Περίπου το 50% των επενδύσεων που πρόκειται να γίνουν θα αφορούν τα υπεράκτια πάρκα. Αν και το κόστος επένδυσης είναι σημαντικά υψηλότερο για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα απ' ότι για τα αντίστοιχα χερσαία, αυτή η διαφορά εν μέρει αντισταθμίζεται από την υψηλότερη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες, λόγω της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου, στα υπεράκτια.



Σχήμα 5.1) Επενδύσεις στην αιολική ενέργεια και εκτίμηση μέχρι το 2030 στην ΕΕ(Πηγή: Bilgili et al, 2010)

Οι τουρμπίνες που απαιτούνται για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι ακόμα περίπου 50% πιο ακριβές από ό, τι οι χερσαίες ανεμογεννήτριες. Οι μεγαλύτερες κεφαλαιουχικές δαπάνες υπάρχουν λόγω των πιο μεγάλων δομών στα υπεράκτια πάρκα αλλά και λόγω του πιο σύνθετου «logistics» για την εγκατάσταση των πύργων. Το κόστος, των υπεράκτιων θεμελιώσεων, κατασκευών, εγκαταστάσεων και της σύνδεσης στο δίκτυο, είναι σημαντικά υψηλότερο από ό, τι στην ξηρά. *Για παράδειγμα*, το σύνολο της εγκατάστασης μιας υπεράκτιας τουρμπίνας είναι 20% περισσότερο δαπανηρό απ' ό,τι της αντίστοιχης χερσαίας ανεμογεννήτριας. Οι πύργοι και οι θεμελιώσεις κοστίζουν περισσότερο από 2.5 φορές την τιμή ενός παρόμοιου έργου στην ξηρά. Το υπεράκτιο κόστος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από καιρικές συνθήκες, το βάθος του νερού και την απόσταση από το ακτή. Ο Πίνακας 5.2 παρέχει πληροφορίες για μερικά από τα καθιερωμένα πρόσφατα υπεράκτια αιολικά πάρκα. Όπως φαίνεται, το επιλεγμένο μέγεθος τουρμπίνας για υπεράκτια αιολικά πάρκα κυμαίνεται από 2 έως 3.6 MW, με τα νεότερα αιολικά πάρκα να είναι εξοπλισμένα με τις μεγαλύτερες τουρμπίνες. Το μέγεθος του αιολικού πάρκου ποικίλλει επίσης σημαντικά, από το σχετικά μικρό αιολικό πάρκο Samsø των 23 MW, έως στο Nysted με ονομαστική παραγωγή ισχύος των 165 MW. Το επενδυτικό κόστος ανά MW κυμαίνεται από 1,2 εκατ. € / MW (Middelgrunden) σε 2,0 εκατομμύρια € / MW (North Hoyle και Burbo Bank).

### **5.2.2) Αναλογία κόστους- απόστασης από την ακτή**

Αν και οι ταχύτητες του ανέμου αυξάνουν γενικά ανάλογα με την απόσταση από την ακτή, το κόστος κατασκευής αυξάνει επίσης. Η κατασκευή των υπεράκτιων αιολικών πάρκων σε τοποθεσίες μακριά από την ακτή συνεπάγεται συχνά τοποθέτηση σε βαθύτερα νερά και αντιμετώπιση πιο σκληρών καιρικών συνθηκών. Η συνολική αύξηση του κόστους των επενδυτικών δαπανών αναφέρονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.2) Οι βασικές πληροφορίες των πιο πρόσφατων υπεράκτιων αιολικών πάρκων (Πηγή: EWEA, 2009)

Όνομα	Τουρμπίνες	Ισχύς	Κόστος επένδυσης σε εκ. €	Κόστος επένδυσης σε εκ. € ανά MW
Middelgrunden (DK)	20	40	47	1,2
Horns Rev I (DK)	80	160	272	1,7
Samsø (DK)	10	23	30	1,3
North Hoyle (UK)	30	60	121	2
Nysted (DK)	72	165	248	1,5
Scroby Sands (UK)	30	60	121	2
Kentish Flats (UK)	30	90	159	1,8
Barrows (UK)	30	90	-	-
Burbo Bank (UK)	25	90	181	2
Lillgrunden (S)	48	110	197	1,8

Πίνακας 5.3) Η συμπεριφορά κόστους για την εγκατάσταση μια υπεράκτιας αιολικής εγκατάστασης ανάλογα με την απόσταση από την ακτή (Πηγή: EEA, 2009)

	Απόσταση από την ακτή-Κόστος( €/ kW)							
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-100	100-200	>200
Τουρμπίνα	772	772	772	772	772	772	772	772
Θεμέλια	352	352	352	352	352	352	352	352
Εγκατάστασης	465	476	476	500	511	607	816	964
Καλωδίωσης	133	159	159	211	236	314	507	702
Άλλα	79	81	81	84	85	87	88	89
Σύνολο	1800	1839	1878	1918	1956	2131	2534	2878

Έτσι, το υπεράκτιο κόστος της επένδυσης κυμαίνεται από το 1800 έως 2878 €/ kW, ανάλογα της απόστασης από την ακτή. Το κόστος της εγκατάστασης και της σύνδεσης με το δίκτυο είναι οι δυο παράγοντες που πλήττονται περισσότερο, όταν τα υπεράκτια αιολικά πάρκα βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από την ακτή. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις η αύξηση του κόστους εγκατάστασης συμβαίνει λόγω της μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας των ταξιδιών που απαιτείται από το λιμάνι στην περιοχή. Επιπλέον, οι καιρικές συνθήκες που συνήθως επιδεινώνονται σε πιο μεγάλες αποστάσεις, καθιστούν την εγκατάσταση πιο δύσκολη. Ένας άλλος παράγοντας του κόστους που επηρεάζεται όταν η απόσταση από την ακτή αυξάνεται είναι το κόστος του καλωδίου, το οποίο συνδέει το αιολικό πάρκο με το κατάλληλο σημείο σύνδεσης στην ξηρά. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος των καλωδίων είναι το μέγεθος καλωδίων, οι συνθήκες στον βυθό της θάλασσας και η πιθανή ανάγκη για σταθμούς που θα παίζουν τον ρόλο του μετασχηματιστή.

Η ποικιλία των μετεωρολογικών συνθηκών και του θαλάσσιου βυθού συμβάλλει στο κατασκευαστικό κόστος, συμπεριλαμβανομένων τα παλιρροιακά ρεύματα. Επιπλέον, το

βάθος του νερού έχει σημαντική επίπτωση στην κατασκευή και το κόστος του έργου , όπως επισημαίνεται από την US Offshore Wind Collaborative. Η απόσταση από την ακτή επηρεάζει το βάθος του νερού. Οι περιορισμοί λόγω του βάθους για τα συμβατικά θεμέλια, έχουν προκαλέσει την ανάπτυξη των εναλλακτικών θεμελιακών τεχνολογιών, όπως οι πλωτές κατασκευές.

Για τις υπεράκτιες ανεμογεννήτριες με ισχύ που είναι μεταξύ 1 και 1.5 MW ,το κόστος θεμελίωσης εκτιμάται ότι θα αυξηθεί από 317.000 € στα 7 μέτρα βάθος σε 352.000 € στα 16 μέτρα βάθος: μια αύξηση του κόστους της τάξης του 11%. Το κόστος εφοδιασμού των θεμελιώσεων μπορεί να διαφέρει από 300.000 €/ MW στα 15 μέτρα έως και το 1.000.000 €/ MW στα 40 μέτρα, με τη χρήση μονόστηλων θεμελίων.

### 5.2.3) Αναλογία κόστους- Βάθος νερού

Ο πίνακας 5.4 ,παρουσιάζει τα έξοδα εγκατάστασης ενός υπεράκτιου πάρκου ως συνάρτηση του βάθους του νερού, με βάση το κόστος αναφοράς των 1800 €/ kW στα ρηχά νερά.

Πίνακας 5.4) Η συμπεριφορά κόστους για την εγκατάσταση μια υπεράκτιας αιολικής εγκατάστασης ανάλογα με το βάθος του νερού (Πηγή:European Environment Agency, 2009)

	Βάθος νερού-Κόστος (€ / MW)			
	10-20 μ.	20-30 μ.	30-40 μ.	40-50 μ.
<b>Τουρμπίνα</b>	772	772	772	772
<b>Θεμέλια</b>	352	466	625	900
<b>Εγκατάστασης</b>	465	465	605	605
<b>Καλωδίωσης</b>	133	133	133	133
<b>Άλλα</b>	79	85	92	105
<b>Σύνολο</b>	1800	1920	2227	2514

Για να κατανοηθούν τα οικονομικά των υπεράκτιων πάρκων με περισσότερες λεπτομέρειες, μπορούν να ληφθούν ως παραδείγματα τα δύο από τα μεγαλύτερα ,δανικής προέλευσης, υπεράκτια αιολικά πάρκα. Το **Horns Rev**, που βρίσκεται περίπου 15 χιλιόμετρα από την δυτική ακτή της Γιουτλάνδης (δυτικά της Esbjerg) και ολοκληρώθηκε το 2002. Είναι εξοπλισμένο με: 80 τουρμπίνες των 2 MW, και έχει συνολική ονομαστική ισχύς 160 MW. Το υπεράκτιο αιολικό πάρκο **Nysted** που βρίσκεται νότια του νησιού της Lolland. Αποτελείται από 72 ανεμογεννήτριες των 2.3 MW και έχει συνολική ονομαστική ισχύ 165 MW. Και τα δύο αιολικά πάρκα έχουν τους δικούς τους , επί τόπου, μετασχηματιστικούς σταθμούς, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με το δίκτυο υψηλής τάσης στην ακτή. Εμφανίζονται οι μέσες δαπάνες των επενδύσεων που σχετίζονται με αυτά τα δύο πάρκα στον Πίνακα 5.5.



Πίνακας 5.5) Μέσο κόστος επένδυσης για κάθε MW εγκατεστημένο για τα πάρκα Horns Rev- Nysted (Πηγή EWEA, 2009)

	Κόστος (1000 €/MW)	Ποσοστό (%)
Τουρμπίνες, συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς και της ανέγερσης	815	49
Σταθμός μετασχηματιστή και κύριο καλώδιο προς την ακτή	270	16
Εσωτερική δίκτυο μεταξύ ανεμογεννήτριες	85	5
Θεμέλια	350	21
Σχεδιασμός και διαχείριση έργων	100	6
Ανάλυση περιβάλλοντος	50	3
Διάφορα	10	<1
Σύνολο	1680	100

#### 5.2.4) Συνοπτικά συμπεράσματα για τις κύριες διαφορές κόστους μεταξύ γερσαίων και υπεράκτιων αιολικών πάρκων

Οι κύριες διαφορές στη διάρθρωση του κόστους μεταξύ γερσαίων και των υπεράκτιων αιολικών πάρκων συνδέονται με τρία ζητήματα:

1. Τα θεμέλια απαιτούν περισσότερα χρήματα για τις υπεράκτιες ανεμογεννήτριες.
2. Οι σταθμοί μετασχηματισμού και τα καλώδια μεταφοράς στη θάλασσα αυξάνουν το κόστος.
3. Αυξάνεται το κόστος εγκατάστασης τόσο λόγω της αύξησης της απόστασης με την ακτή όσο και με το βάθος του νερού.

#### 5.3) Οι τιμές των βασικών υλικών που χρησιμοποιούνται

Σύμφωνα με την μελέτη των Zwaan et al (2011) , η ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής τεχνολογίας είναι πιθανό, τα επόμενα χρόνια, να συνοδευτεί από μειώσεις του κόστους, ως αποτέλεσμα της συσσώρευσης εμπειρίας. Η εμπειρία από τις μέχρι τώρα προσπάθειες κατά πάσα πιθανότητα θα συσσωρευτεί σε σχέση με **τουλάχιστον δύο κύριες δραστηριότητες**: την κατασκευή των στροβίλων και των θεμελιώσεων, την τοποθέτησή τους στη θάλασσα και την **σύνδεση** με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, αντίστοιχα.

Περίπου από το 2005 σημαντικές αυξήσεις του κόστους έχουν παρατηρηθεί για την υπεράκτια αιολική ενέργεια, αντί της προβλεπόμενης, μείωσης του κόστους. Ουσιαστικά **τέσσερις κύριες ανεξάρτητες αιτίες** μπορούν να διακριθούν για αυτήν την αύξηση του κόστους:

1. Η **μεγάλη άνοδος των τιμών** των βασικών προϊόντων, όπως ο χαλκός και χάλυβα
2. Η **ύφεση των κατασκευαστών ανεμογεννητριών** και των φορέων παροχής υπηρεσιών εγκατάστασης,

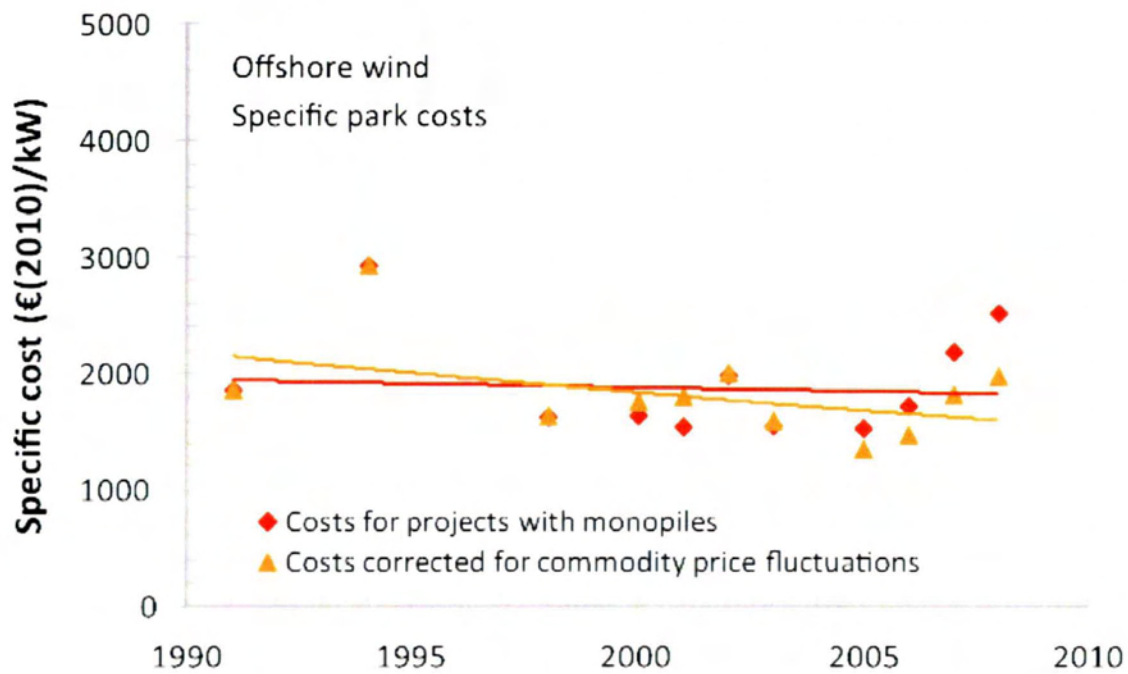
3. Η αύξηση του θαλάσσιου βάθους στο οποίο είναι χτισμένες οι ανεμογεννήτριες
4. Η μεγαλύτερη απόσταση από την ακτή στην οποία βρίσκονται τα αιολικά πάρκα.

Για την εξέταση πόσο μεγάλη επίδραση έχει ο πρώτος παράγοντας, ελέγχονται τα δύο συστατικά υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή αιολικών πάρκων ( χάλυβας-χαλκός). Το Σχήμα 5.2 δείχνει την εξέλιξη των τιμών των βασικών προϊόντων μεταξύ των ετών 1990 και το 2010 σε € ανά μετρικό τόνο (World Bank, 2008; US Steel, 2009; UNCTAD, 2010) για το χαλκό και τον (οικοδομικό) χάλυβα. Ποια ήταν η επίδραση αυτών των τιμών των βασικών εμπορευμάτων, στην αύξηση του κόστους κατασκευής της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας;



Σχήμα 5.2) Η διακύμανση της τιμής του χαλκού και του χάλυβα από το 1990-2010( Πηγή: Zwann B.2011)

Το Σχήμα 5.3 δείχνει ότι οι υπολογιζόμενες ειδικές δαπάνες (σε € / kW) των υπεράκτιων αιολικών πάρκων (με μονόστηλα θεμέλια) στην Ευρώπη έχουν αυξηθεί κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Δεδομένου ότι η αύξηση αυτή είναι κατά πάσα πιθανότητα, τουλάχιστον εν μέρει λόγω της πρόσφατης αύξησης των τιμών των βασικών προϊόντων που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.2, τα αρχικά επιλεγμένα δεδομένα διορθώνονται για τις διακυμάνσεις των τιμών των χαλκού και χάλυβα. Για κάθε σημείο δεδομένων ανάλογα με την ποσότητα που αυτά τα μέταλλα συμμετέχουν στο αντίστοιχο αιολικό πάρκο, και για κάθε χρόνο σε συνάρτηση με τη μέση τιμή αυτών των υλικών μεταξύ 1990 και 2004. Ο χαλκός και ο χάλυβας και μόνο συμβάλλουν στο συνολικό κατασκευαστικό κόστος των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, υπό τους όρους που προ-2005, από 20% μέχρι 40%



Σχήμα 5.3) Το κόστος για έργα με μονόστηλα θεμέλια και η διακύμανση της τιμής των βασικών προϊόντων για τα πάρκα που χτίστηκαν στην Ευρώπη (Πηγή: Zwaan, 2011)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

### Τρέχουσα κατάσταση για την αιολική ενέργεια

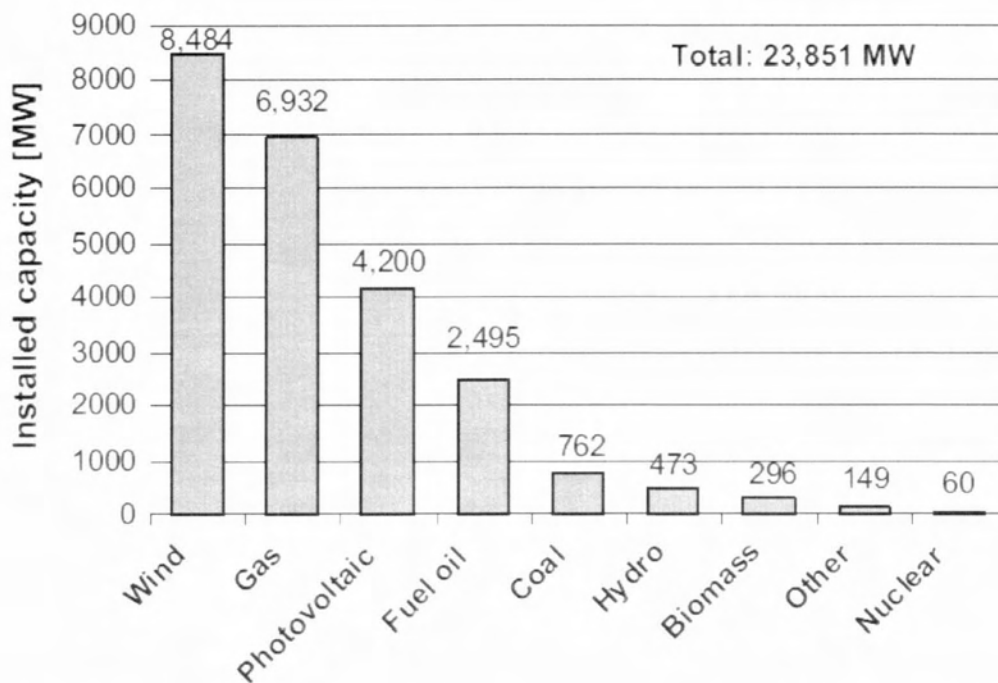
---

#### 6.1) Η παγκόσμια αιολική ενέργεια

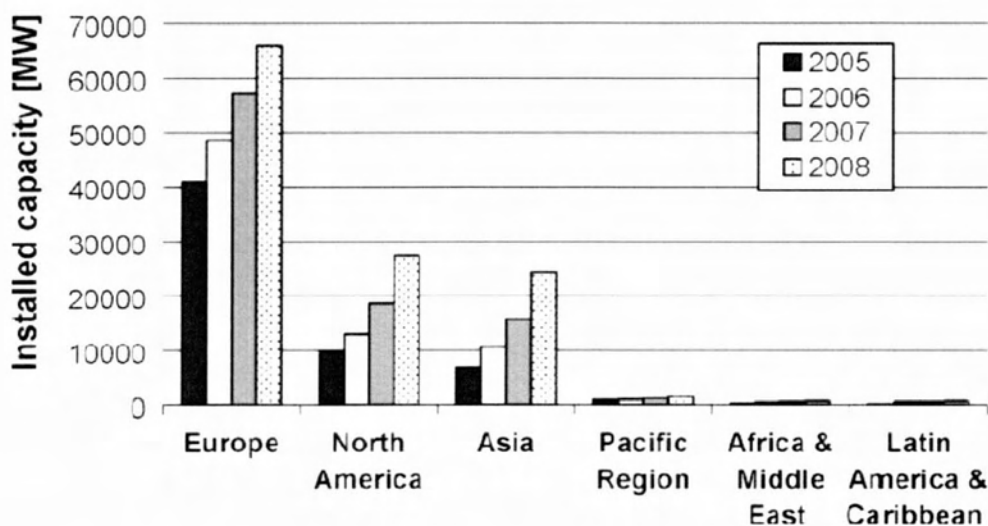
Η αιολική ενέργεια είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ενέργεια στον κόσμο. Τόσο στην Ευρώπη όσο και παγκοσμίως, η αιολική ενέργεια έχει αναπτυχθεί ραγδαία. Το 2008, είχε εγκατασταθεί αιολική ενέργεια στην ΕΕ-27 περισσότερη από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.1. Συνολική ισχύς 8.484 MW αιολικής ενέργειας είχε εγκατασταθεί στην ΕΕ-27. Αυτό έβαζε την αιολική ενέργεια μπροστά από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρισμού για πρώτη φορά. Στο τέλος του 2008, υπήρχε εγκατεστημένη ισχύς 65 GW αιολικής ενέργειας στην ΕΕ-27, που παρήγαγαν 142 TWh ηλεκτρικής ενέργειας. Το συγκεκριμένο ποσό ισοδυναμούσε με περίπου το 4.2% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ. Παράλληλα βοήθησε και στην αποφυγή της εκπομπής 108 εκατομμυρίων τόνων CO<sub>2</sub> ετησίως. Κατά μέσο όρο, 20 ανεμογεννήτριες εγκαταστάθηκαν για κάθε εργάσιμη ημέρα του 2008. Μέχρι το τέλος του έτους 2008, 160.000 εργαζόμενοι απασχολούνταν άμεσα ή έμμεσα στον τομέα.

Η αιολική ενέργεια έχει γίνει σημαντικός παράγοντας στον κόσμο αγορών ενέργειας, με την αγορά του 2008 για τις εγκαταστάσεις στροβίλων να φτάνει στα 36.500.000.000€. Ο άνεμος παράγει σήμερα πάνω από 1,5% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας, έναντι 0,1% το 1997. Σε όλο τον κόσμο, 80 χώρες χρησιμοποιούν τώρα αιολική ενέργεια σε εμπορική βάση.

Υπάρχει μια αυξανόμενη τάση στην εγκατάσταση αιολικής ενέργειας κατά την περίοδο αυτή. Το 1990, υπήρχε μόνο των 1743 MW εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στον κόσμο. Από την άλλη πλευρά, το 2008 ήταν έτος ρεκόρ για τον κλάδο της αιολικής ενέργειας. Το 2008 εγκαταστάθηκαν συνολικά 27.051 MW, με επικεφαλής τις ΗΠΑ, την Κίνα, την Ινδία, τη Γερμανία και την Ισπανία, φέρνοντας σε όλο τον κόσμο εγκατεστημένη ισχύς σε 120.798 MW. Αυτή είναι μια αύξηση της τάξης του 36% σε σύγκριση με την αγορά το 2007, και αντιπροσωπεύει συνολική αύξηση στην παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ της τάξης του 29%. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας ανά ήπειρο μέχρι το 2008 παρουσιάζεται στο σχήμα. 6.2 .



Σχήμα 6.1) Η ισχύς των εγκαταστάσεων που έγιναν στην ΕΕ το 2008 (Πηγή: Bilgili et al , 2010)



Σχήμα 6.2) Η εγκατεστημένη αιολική ενέργεια σε κάθε ήπειρο (Πηγή: Bilgili et al , 2010)

Μπορεί να διαπιστωθεί ότι η Ευρώπη είναι ο παγκόσμιος ηγέτης στον τομέα της αιολικής ενέργειας. Το μερίδιό της Ευρώπης στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ κυμάνθηκε από 66% το 2006 σε 61% κατά το έτος 2007, σε 55% το 2008. Ωστόσο, η Ευρώπη

εξακολουθεί να είναι η ισχυρότερη ήπειρος ενώ η Βόρεια Αμερική και η Ασία αυξάνουν ραγδαία το ποσοστό τους. Περίπου το 55% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας του κόσμου είναι στην Ευρώπη, το 23% στην Αμερική και 20% στην Ασία. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση ( Ε.Ε.), η εγκατεστημένη αιολική ενέργεια αυξήθηκε κατά μέσο όρο 27% ετησίως τα τελευταία 10 χρόνια, από 6.453 MW το 1998 σε 65.933 MW το 2008. Η αθροιστική εγκατεστημένη ονομαστική αιολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις πρωτοπόρες χώρες και στον κόσμο μεταξύ των ετών 1980 και 2008 δίνεται στον πίνακα 6.1 ,σύμφωνα με το Ινστιτούτο Ενεργειακής Πολιτικής

**Πίνακας 6.1) Συνολική εγκατεστημένη αιολική ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις κορυφαίες χώρες και τον κόσμο (Πηγή: Bilgili et al , 2010)**

Year	U.S.	Germany	Spain	China	India	Italy	France	UK	Denmark	World
1990	1484	62	0	n.a.	0	0	0	0	343	1930
1991	1709	112	5	n.a.	39	0	0	4	413	2170
1992	1680	180	50	n.a.	39	2	0	69	458	2510
1993	1635	335	60	n.a.	79	4	2	n.a.	487	2990
1994	1663	643	70	n.a.	185	16	n.a.	n.a.	539	3490
1995	1612	1130	140	38	576	32	3	200	637	4780
1996	1614	1548	230	79	820	70	6	273	835	6100
1997	1611	2080	512	170	940	103	10	319	1120	7600
1998	1837	2870	830	224	1015	180	19	333	1428	10,200
1999	2490	4445	1584	268	1077	227	25	362	1718	13,600
2000	2578	6104	2235	346	1220	427	30	406	2300	17,400
2001	4275	8754	3337	402	1456	690	93	474	2417	23,900
2002	4685	11,994	4825	469	1702	797	148	552	2880	31,100
2003	6372	14,609	6203	567	2125	913	253	648	3110	39,431
2004	6725	16,629	8263	764	3000	1255	390	888	3117	47,620
2005	9149	18,415	10,027	1260	4430	1718	757	1353	3128	59,091
2006	11,575	20,622	11,623	2599	6270	2123	1567	1962	3136	74,052
2007	16,824	22,247	15,145	5910	7845	2726	2454	2406	3125	93,835
2008	25,170	23,903	16,754	12,210	9645	3736	3404	3241	3180	12,0798

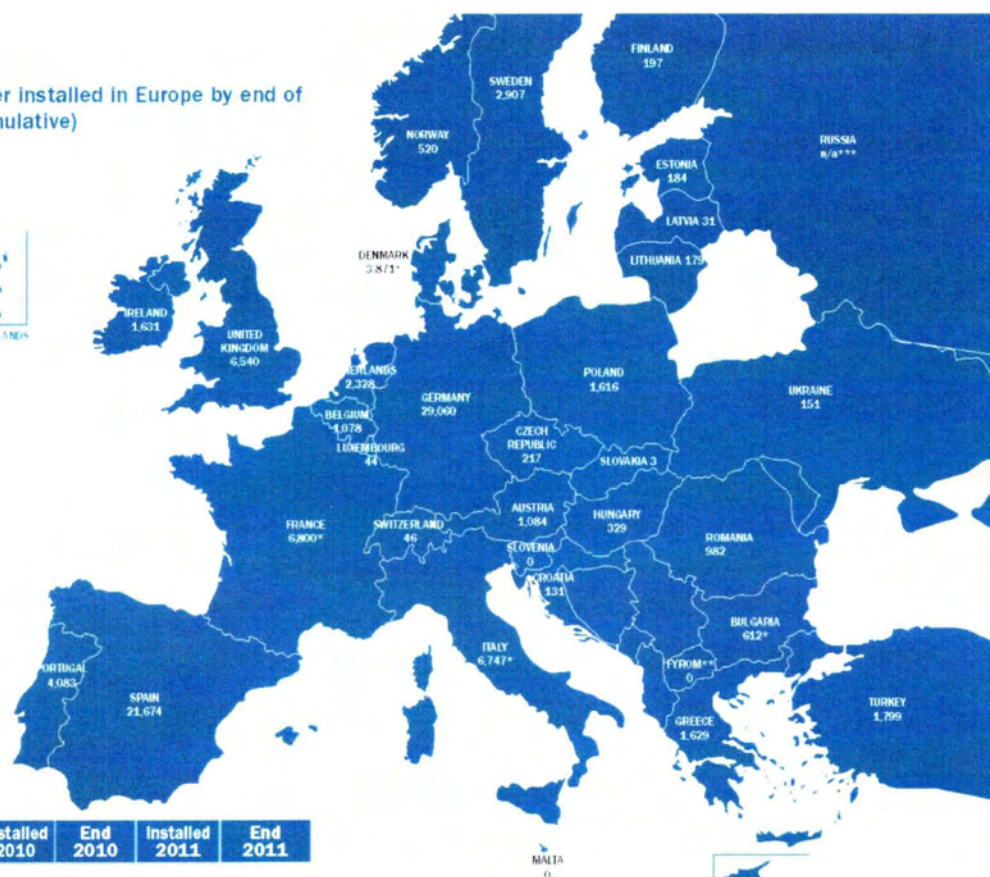
Όπως φαίνεται από τον πίνακα οι Ηνωμένες Πολιτείες, οδηγούν την ενεργειακή κούρσα με 25.170 MW. Η Γερμανία έπειτα με 23.903 MW. Η Ισπανία βρίσκεται στην τρίτη θέση, με 16.754 MW. Η Κίνα, η οποία είναι η τέταρτη με 12.210 MW, είναι ο ηγέτης του ανέμου τομέα της ενέργειας στην Ασία. Ινδία (9.645 MW ), Ιταλία (3.736 MW), Γαλλία (3.404 MW), το Ηνωμένο Βασίλειο (3.241 MW) και Δανία (3.180 MW) είναι οι άλλες μεγαλύτερες αγορές του κόσμου.

## **6.2) Η σημερινή κατάσταση στην Ευρώπη**

Κατά τη διάρκεια του 2011, 10.281 MW αιολικής ενέργειας εγκαταστάθηκαν σε όλη την Ευρώπη, εκ των οποίων τα 9.616 MW ήταν σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Από τα 9.616 MW που εγκαταστάθηκαν στην ΕΕ, τα 8.750 MW, ήταν στην ξηρά και τα 866 MW στην θάλασσα. Το 2011, η ετήσια χερσαία αγορά παρέμεινε σταθερή σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος, ενώ η αγορά της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας μειώθηκε ελαφρά (-1,9%).

Οι επενδύσεις σε αιολικά πάρκα στην Ε.Ε. το 2011 ήταν 12,6 δισεκατομμύρια ευρώ, ποσό παρόμοιο με το 2010. Η αιολική ενέργεια στην ξηρά προσέλκυσε τα 10,2 δισεκατομμύρια ευρώ, ενώ η υπεράκτια αιολική ενέργεια αντιπροσώπευε περίπου τα 2,4 δισεκατομμύρια ευρώ, δηλαδή περίπου το 19%.

Wind power installed in Europe by end of 2011 (cumulative)



	Installed 2010	End 2010	Installed 2011	End 2011
<b>EU Capacity (MW)</b>				
Austria	19	1,014	73	1,084
Belgium	325	886	192	1,078
Bulgaria	322	500	112*	612*
Cyprus	82	82	52	134
Czech Republic	23	215	2	217
Denmark	315	3,749	178	3,871
Estonia	7	149	35	184
Finland	52	197	0	197
France	1,396	5,970	830*	6,800*
Germany	1,493	27,191	2,086	29,060
Greece	238	1,323	311	1,629
Hungary	94	295	34	329
Ireland	82	1,392	239	1,631
Italy	948	5,797	950*	6,747*
Latvia	2	30	1	31
Lithuania	72	163	16	179
Luxembourg	1	44	0	44
Malta	0	0	0	0
Netherlands	56	2,269	68	2,328
Poland	456	1,180	436	1,616
Portugal	171	3,706	377	4,083
Romania	448	462	520	982
Slovakia	0	3	0	3
Slovenia	0	0	0	0
Spain	1,463	20,623	1,050	21,674
Sweden	604	2,163	763	2,907
United Kingdom	1,005	5,204	1,293	6,540
<b>Total EU-27</b>	<b>9,648</b>	<b>84,650</b>	<b>9,616</b>	<b>93,957</b>
<b>Total EU-15</b>	<b>8,144</b>	<b>81,571</b>	<b>8,409</b>	<b>89,670</b>
<b>Total EU-12</b>	<b>1,504</b>	<b>3,079</b>	<b>1,208</b>	<b>4,287</b>
Of which offshore and near shore	883	2,944	866	3,810

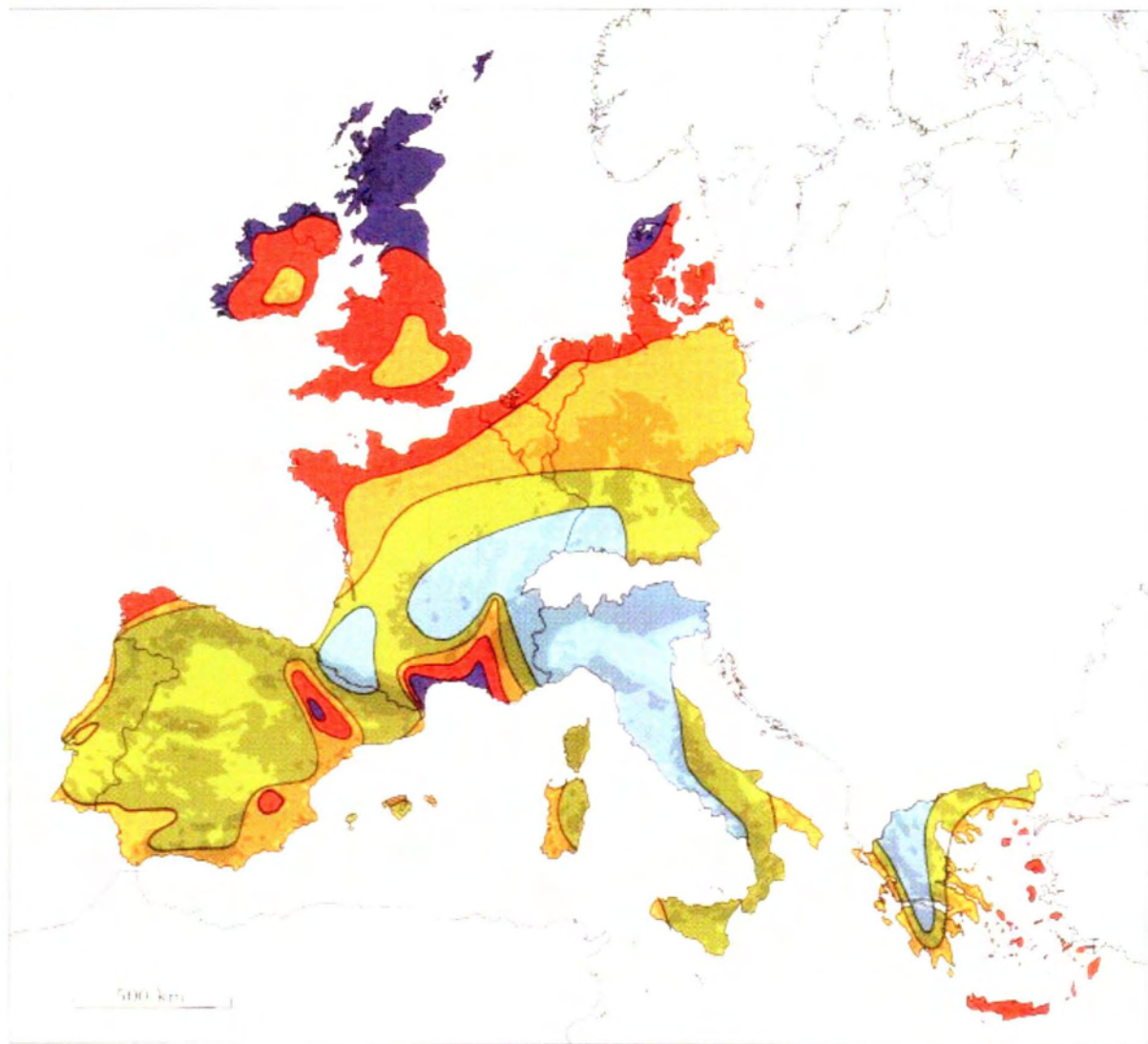
European Union: 93.957 MW  
 Candidate Countries: 1.930 MW  
 EFTA: 565 MW  
 Total Europe: 96.607 MW

	Installed 2010	End 2010	Installed 2011	End 2011
<b>Candidate Countries (MW)</b>				
Croatia	61	89	42	131
FYROM**	0	0	0	0
Serbia	0	0	0	0
Turkey	528	1,329	470	1,799
<b>Total</b>	<b>589</b>	<b>1,418</b>	<b>512</b>	<b>1,930</b>
<b>EFTA (MW)</b>				
Iceland	0	0	0	0
Liechtenstein	0	0	0	0
Norway	18	436	84	520
Switzerland	25	42	3	46
<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>478</b>	<b>87</b>	<b>565</b>
Of which offshore and near shore	0	2	0	2
<b>Other (MW)</b>				
Faroe Islands	0	4	0	4
Ukraine	1	87	66	151
Russia	0	9	n/a***	n/a***
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>101</b>	<b>66</b>	<b>164</b>
<b>Total Europe</b>	<b>10,280</b>	<b>86,647</b>	<b>10,281</b>	<b>96,607</b>






\* Provisional  
 \*\* Former Yugoslav Republic of Macedonia  
 \*\*\* figure not communicated  
 Note: Due to previous year adjustments, 216.03 MW of project de-commissioning, re-powering and rounding of figures, the total 2011 end-of-year cumulative capacity is not exactly equivalent to the sum of the 2010 end-of-year total plus the 2011 additions.

Σχήμα 6.3) Συνοπτικός χάρτης της αιολικής ενέργειας που παράγεται στην Ευρώπη για το 2011 (Πηγή: EWEA, 2012)

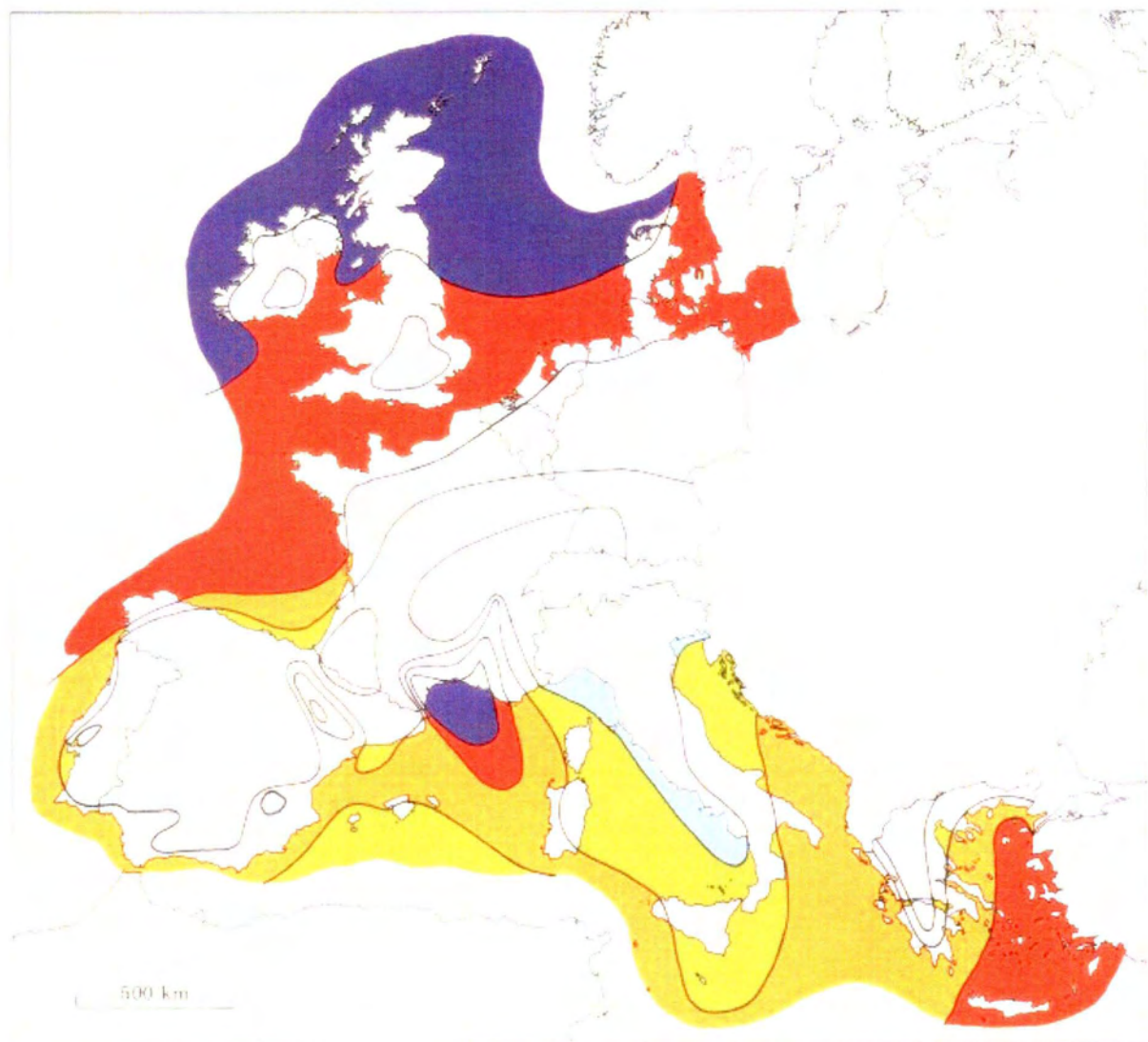




Wind resources<sup>1</sup> at 50 metres above ground level for five different topographic conditions

	Sheltered terrain <sup>2</sup>		Open plain <sup>3</sup>		At a sea coast <sup>4</sup>		Open sea <sup>5</sup>		Hills and ridges <sup>6</sup>	
	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$
	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

Σχήμα 6.4) Χάρτης χερσαίου αιολικού δυναμικού στην Ευρώπη (Πηγή: <http://www.windatlas.dk/europe/landmap.html>)

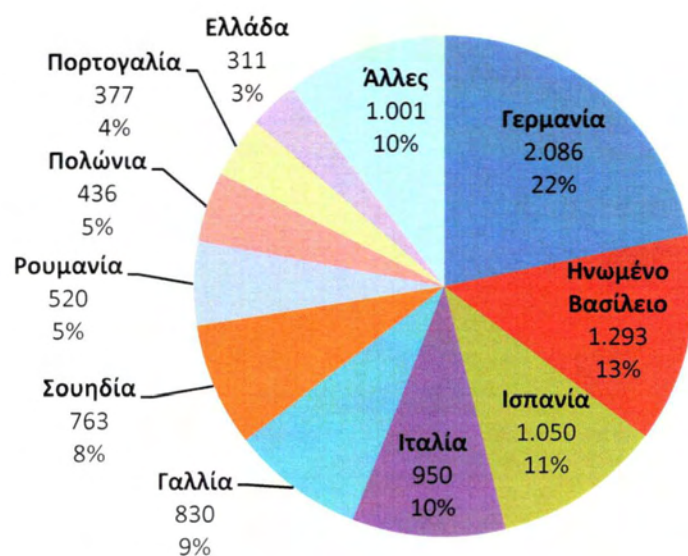


Wind resources over open sea (more than 10 km offshore) for five standard heights

	10 m		25 m		50 m		100 m		200 m	
	$m s^{-1}$	$W_{m^{-2}}$	$m s^{-1}$	$W_{m^{-2}}$	$m s^{-1}$	$W_{m^{-2}}$	$m s^{-1}$	$W_{m^{-2}}$	$m s^{-1}$	$W_{m^{-2}}$
Blue	> 8.0	600	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 10.0	> 1100	> 11.0	> 1500
Red	7.0-8.0	350-600	7.5-8.5	450-700	8.0-9.0	600-800	8.5-10.0	650-1100	9.5-11.0	900-1500
Orange	6.0-7.0	250-300	6.5-7.5	300-450	7.0-8.0	400-600	7.5- 8.5	450- 650	8.0- 9.5	600- 900
Yellow	4.5-6.0	100-250	5.0-6.5	150-300	5.5-7.0	200-400	6.0- 7.5	250- 450	6.5- 8.0	300- 600
Light Blue	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 6.0	< 250	< 6.5	< 300

Σχήμα 6.5) Χάρτης υπεράκτιου αιολικού δυναμικού στην Ευρώπη  
(Πηγή: <http://www.windatlas.dk/europe/oceanmap.html>)

Όσον αφορά τις ετήσιες εγκαταστάσεις, η Γερμανία ήταν κατά πολύ η μεγαλύτερη αγορά το 2011, εγκαθιστώντας πάρκα ισχύος 2.100 MW. Η Βρετανία ήρθε δεύτερη, με 1.300 MW, 752 MW, εκ των οποίων (58%) ήταν σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις. Ακολουθεί η Ισπανία με 1.050 MW. Η Ιταλία (950 MW), Γαλλία (830 MW) και η Σουηδία (763 MW) ακολουθούνται από τη Ρουμανία (520 MW). Αναλυτικά οι ετήσιες εγκαταστάσεις για όλες τις χώρες της Ευρώπης παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.6

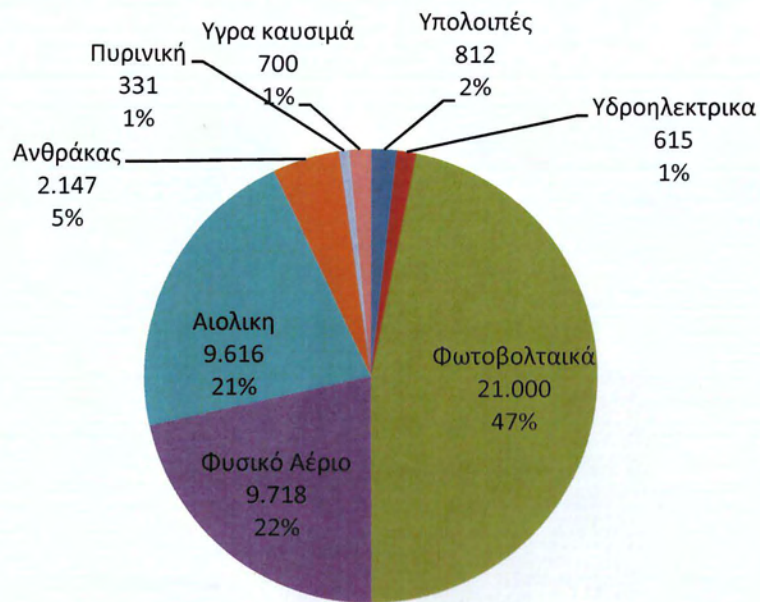


Σχήμα 6.3) Η κατανομή νέων εγκαταστάσεων στο 2011 , ανάμεσα στα μέλη της ΕΕ(Πηγή: EWEA, 2012)

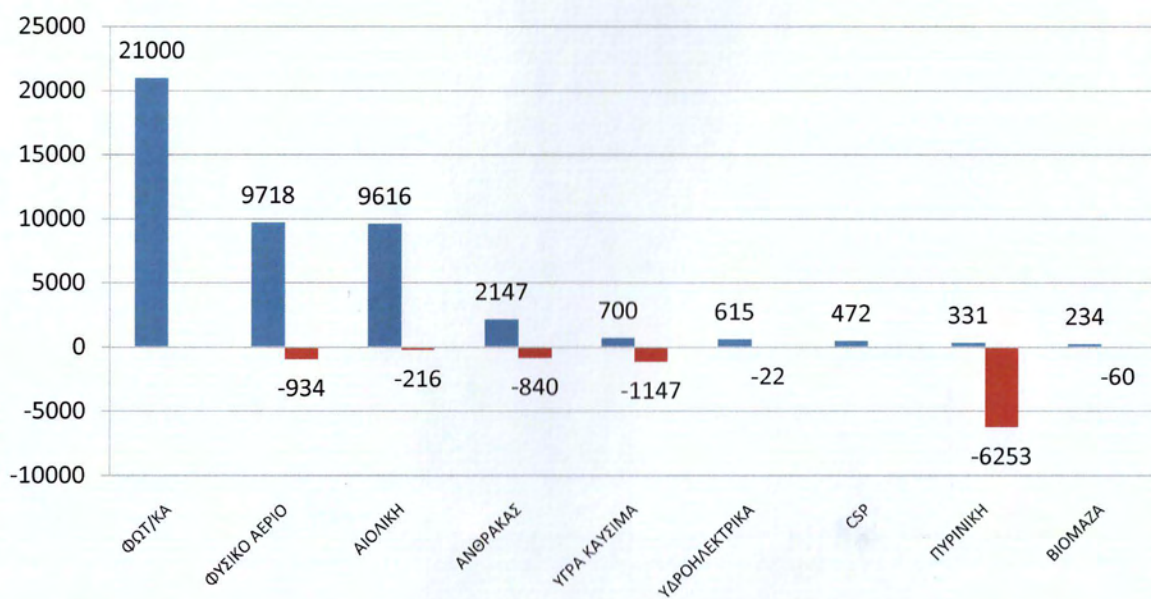
Μεταξύ των αναδυόμενων αγορών, μετά τη Ρουμανία, η Πολωνία ακολουθεί με νέα εγκατεστημένη ισχύ μέσα στο 2011 να φτάνει τα 436 MW. Και οι δύο παραμένουν ανάμεσα στις 10 μεγαλύτερες αγορές της ΕΕ για δεύτερη συνεχή χρονιά. Η υπεράκτια αιολική ενέργεια αντιπροσώπευε το 8,9% της συνολικής αιολικής ενέργειας της ΕΕ σε εγκαταστάσεις το 2011. Η αιολική ενέργεια αντιπροσωπεύει το 21,4% των νέων εγκαταστάσεων το 2011, το τρίτο μεγαλύτερο μερίδιο μετά την ηλιακή-φωτοβολταϊκή (46,7%) και το φυσικό αέριο (21,6%). Οι εγκαταστάσεις με άνθρακα δεν ξεπέρασαν τα 2,2 GW (4,8% του συνόλου των εγκαταστάσεων), το καύσιμο πετρέλαιο τα 700 MW (1,6%), τα μεγάλα υδροηλεκτρικά 607 MW (1,3%). Η πυρηνική (331 MW), η βιομάζα (234 MW), τα απόβλητα (69 MW), η γεωθερμική (32 MW) και οι τεχνολογίες των ωκεανών (4,5 MW), το καθένα αντιστοιχούσε σε λιγότερο από το 1% των νέων εγκαταστάσεων δυναμικότητας (Σχήμα 6.7).

Συνολικά, το 2011 ήταν μια νέα χρονιά ρεκόρ στην ΕΕ, με 45 GW νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να έχουν εγκατασταθεί, +3,9% σε σύγκριση με το 2010. Κατά τη διάρκεια του 2011, 6.3 GW παραγωγής πυρηνικής ισχύος αποπλίστηκαν, και άνω του 1 GW από μαζούτ ήταν εκτός λειτουργίας (Σχήμα 6.8).

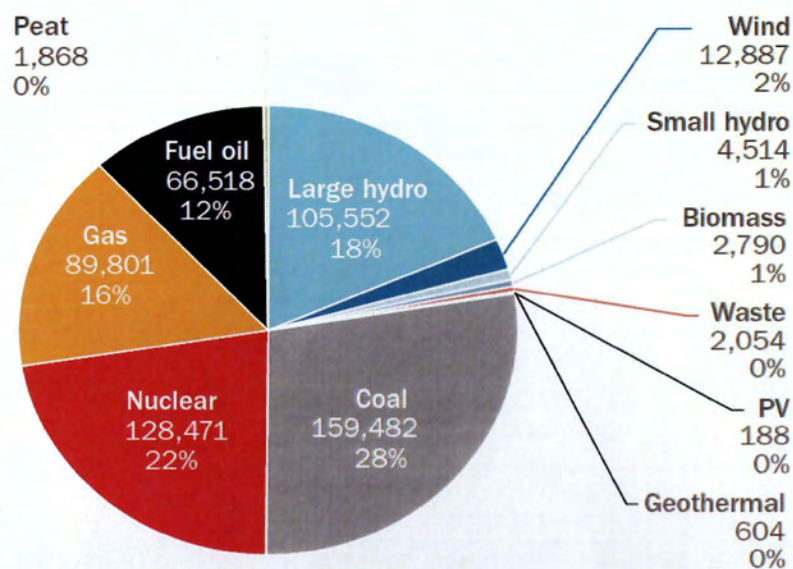
Το 2000, οι νέες εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ανήλθαν σε 3.5 GW. Οι ανανεώσιμες εγκαταστάσεις έχουν δει την συνολική ισχύς τους να αυξάνεται σχεδόν κατά δέκα φορές τα τελευταία 11 χρόνια και να φτάνει στα 32 GW το 2011. Το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε νέες εγκαταστάσεις έχει επίσης αυξηθεί. Το 2000, τα 3.5 GW εκπροσωπούσαν το 20,7% των νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνοντας σε 23.3 GW (53,8%) το 2010, και 32 GW (71,3%) το 2011 ( Σχήματα 6.9 και 6.10).



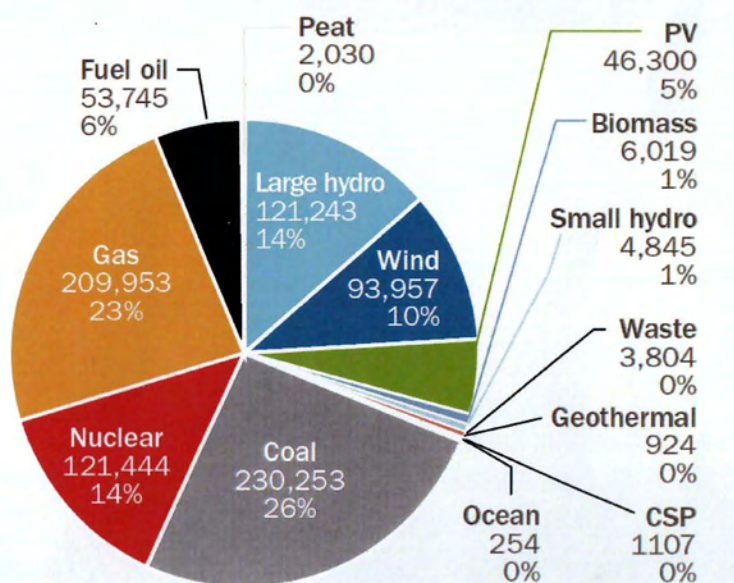
Σχήμα 6.7) Κατανομή ανάμεσα στις νέες εγκαταστάσεις ενέργεια στο 2011 μέσα στην ΕΕ (Πηγή: EWEA, 2012)



Σχήμα 6.8) Σύγκριση των νέων εγκαταστάσεων ενέργειας με τους αντίστοιχους παροπλισμούς για το 2011 (Πηγή: EWEA, 2012)



Σχήμα 6.9) Κατανομή της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος το 2000 στην Ευρώπη (Πηγή: EWEA, 2012)

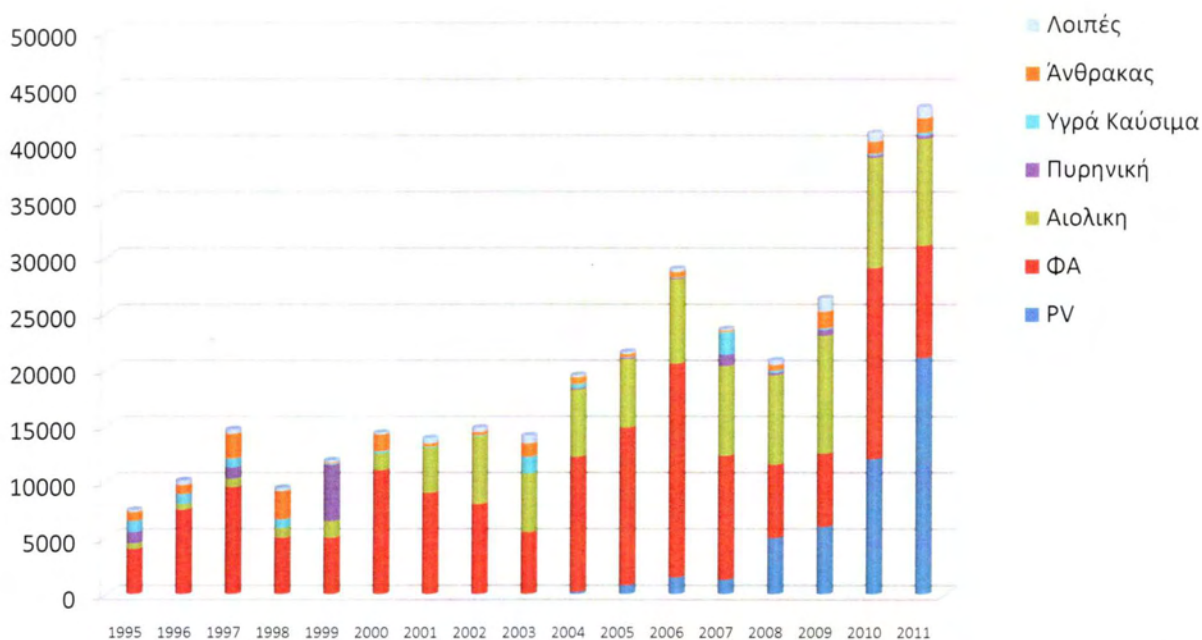


Σχήμα 6.10) Κατανομή της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος το 2011, στην Ευρώπη (Πηγή: EWEA, 2012)

Συνολικά 302.6 GW νέας δυνατότητας ηλεκτροπαραγωγής έχουν εγκατασταθεί από το 2000. Από το ποσό αυτό, το 28.2 % ήταν η αιολική ενέργεια, το 47.8% από το σύνολο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και το 90,8% αθροιστικά από τις ανανεώσιμες πηγές

ενέργειας και του φυσικού αερίου. Η καθαρή αύξηση από το 2000 του ηλεκτρισμού με φυσικό αέριο (116 GW), της αιολικής ενέργειας (84.2 GW) και της φωτοβολταϊκής ενέργειας (47.4 MW) ήταν με την παράλληλη πτώση του πετρελαίου εσωτερικής καύσης (-14.2 GW), των πυρηνικών (-13.5 GW) και του άνθρακα (-10.3 GW). Το 2011 είδε μια απότομη μείωση της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας, λόγω του πρόωρου παροπλισμού μιας σειράς αντιδραστήρων στη Γερμανία.

Οι άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (υδροηλεκτρική, βιομάζα, απόβλητα, CSP, η γεωθερμική και η ενέργεια των ωκεανών) έχουν επίσης αύξηση της εγκατεστημένης ισχύς κατά την τελευταία δεκαετία, αν και με βραδύτερο ρυθμό από αιολική και την ηλιακή PV. Στο Σχήμα 6.11 φαίνεται συγκεντρωμένα η εγκατεστημένη ισχύς όλων των μορφών ΑΠΕ από το 1995 έως και σήμερα. Είναι φανερό και από αυτό το διάγραμμα ότι η αιολική ενέργεια σιγά-σιγά κατακτάει όλο και μεγαλύτερο μέρος στην συνολική ενεργειακή πίτα.

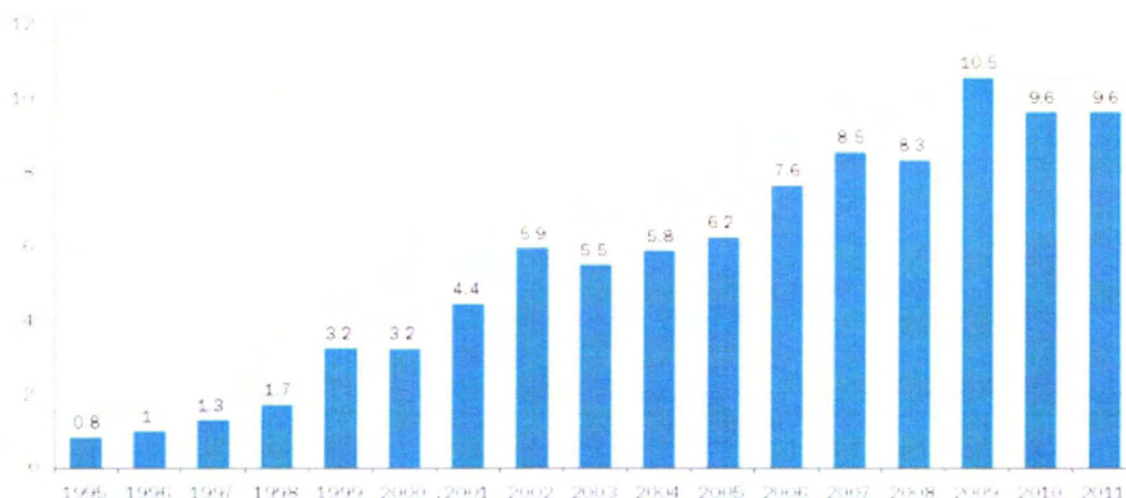


Σχήμα 6.11) Εγκατεστημένη δυναμικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος σε MW στις ΑΠΕ (Πηγή: EWEA , 2012)

Ο 21<sup>ος</sup> αιώνας βλέπει τον ευρωπαϊκό κλάδο ενέργειας να κινείται μακριά από το πετρέλαιο, τον άνθρακα και την πυρηνική ενώ συνεχίζεται να αυξάνει τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ της με φυσικό αέριο, αιολική και ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας στην κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης. Το μερίδιο της αιολικής ενέργειας στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος, κατά την τελευταία δεκαετία, έχει αυξηθεί περισσότερο από τέσσερις φορές από 2,2% το 2000 σε 10,5% το 2011. Κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου, η ικανότητα από τις ανανεώσιμες αυξήθηκε κατά ένα τρίτο από 22,5% το 2000 σε 31,1% το 2011. Οι ετήσιες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας στην ΕΕ έχουν σταθερή αύξηση κατά τα

τελευταία 17 χρόνια από 814 MW το 1996 σε 9.616 MW το 2011, με μέσο ετήσιο ποσοστό αύξησης 15,6%. (Σχήμα 6.12)

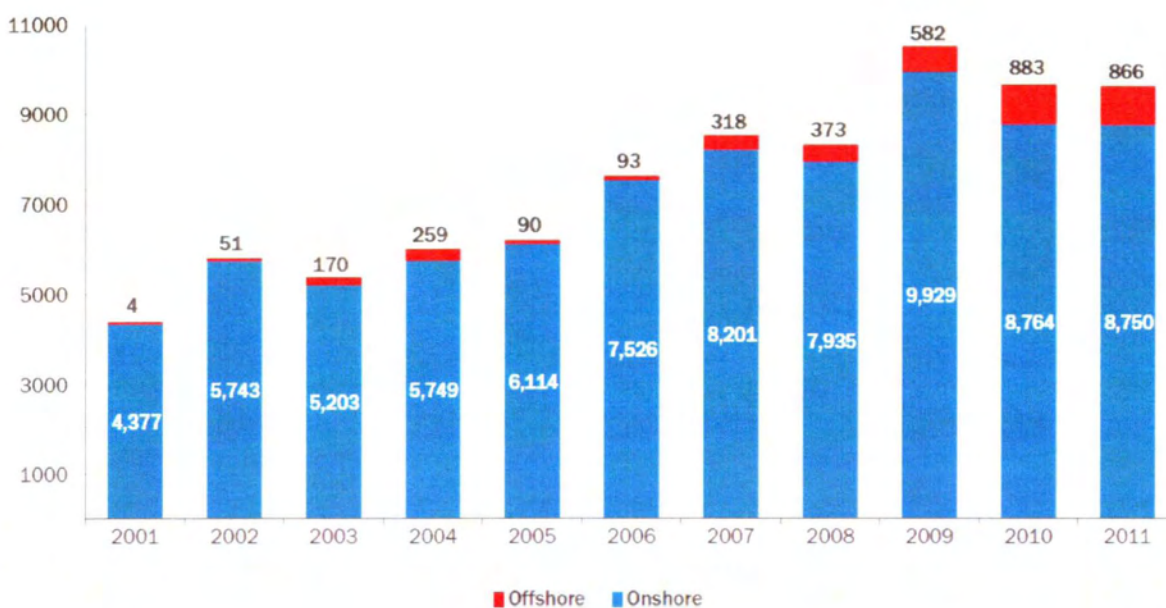
Το 2000, οι ετήσιες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας από τις τρεις πρωτοποριακές χώρες - η Δανία, η Γερμανία και η Ισπανία - αντιπροσώπευαν το 85% του συνόλου των προσθηκών της αιολικής δυναμικότητας της ΕΕ. Το 2011, το ποσοστό αυτό μειώθηκε στο 34%. (Σχήμα 6.13)



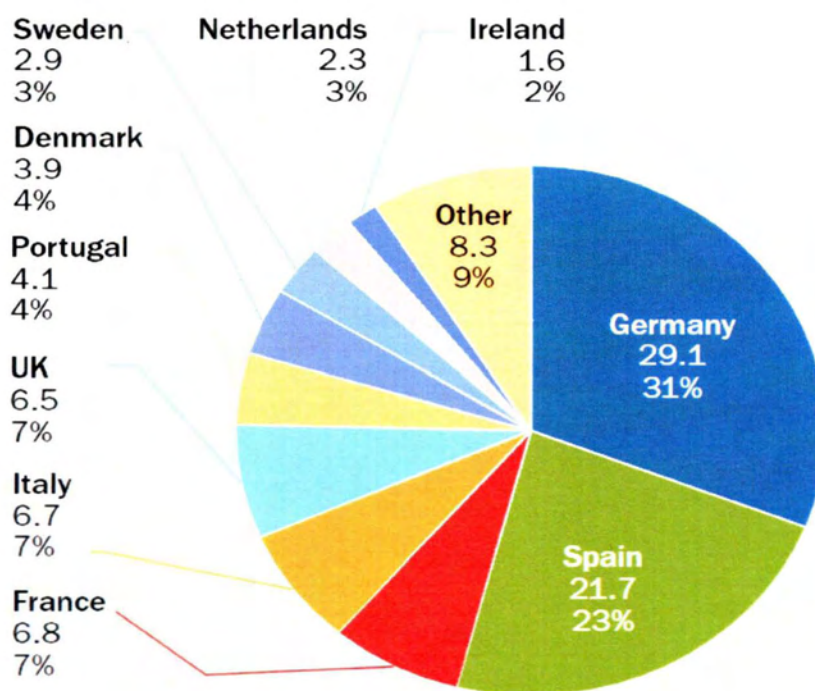
Σχήμα 6.12) Ετήσιες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας στην ΕΕ (Πηγή: EWEA, 2012)

Συνολικά 93.957 MW, είναι πλέον εγκατεστημένα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μια αύξηση 11% έναντι του προηγούμενου έτους. Η Γερμανία παραμένει η χώρα της Ε.Ε. με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ικανότητα, ακολουθούμενη από την Ισπανία, την Ιταλία, τη Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Εννέα άλλες χώρες έχουν πάνω από 1 GW εγκατεστημένης ικανότητας: Πορτογαλία, Δανία, Κάτω Χώρες, Σουηδία, Ιρλανδία, Ελλάδα, Πολωνία, Αυστρία και το Βέλγιο (Σχήμα 6.14).

Η δυνατότητα της αιολικής ενέργειας στο τέλος του 2011, σε ένα κανονικό αιολικό έτος, φτάνει για να παράγει 204 TWh ηλεκτρικής ενέργειας, που αντιπροσωπεύει 6,3% της αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας της Ε.Ε. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.15 η Δανία είναι η χώρα με την υψηλότερη διείσδυση της αιολικής ενέργειας στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (σχεδόν 26%), ακολουθούμενη από την Ισπανία (15,9%), Πορτογαλία, (15,6%), Ιρλανδία (12%) και τη Γερμανία (10,6%).

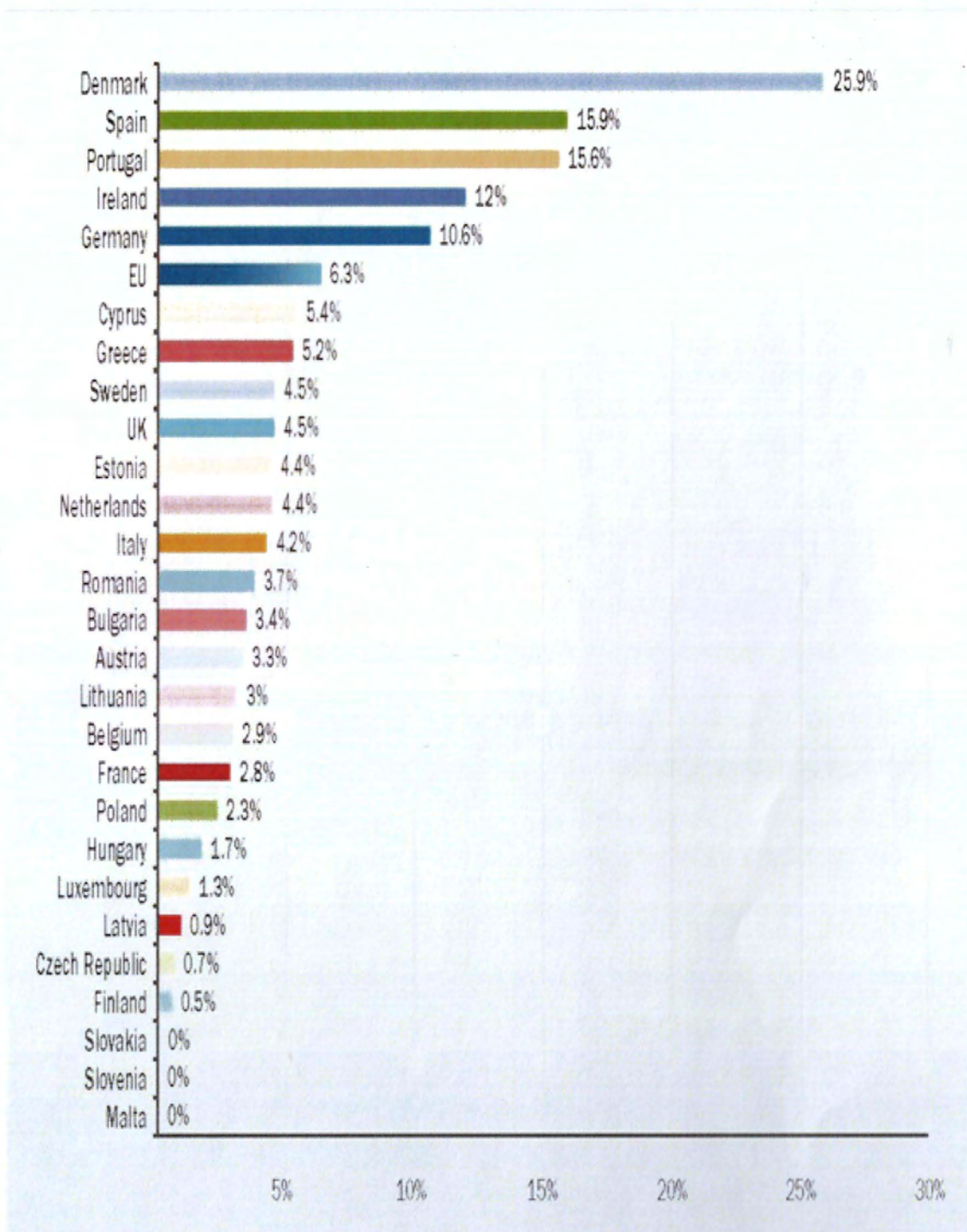


Σχήμα 6.13) Ποσοστό συμμετοχής της Γερμανίας-Ισπανίας-Δανίας στην εγκατάσταση νέων αιολικών εγκαταστάσεων (Πηγή: EWEA, 2012)



Σχήμα 6.14) Ποσοστιαία συμμετοχή των χωρών της ΕΕ στην συνολική ενεργειακή πίτα στο τέλος του 2011 (Πηγή: EWEA, 2012)





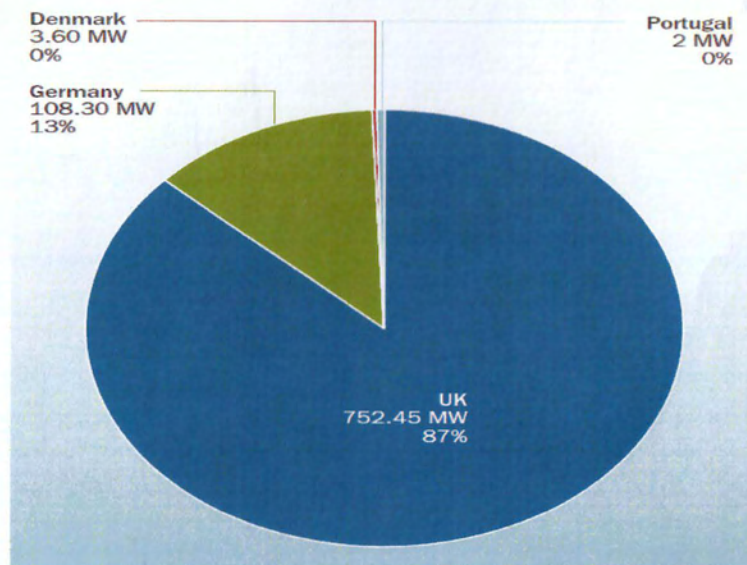
Σχήμα 6.15) Μερίδιο της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από αιολικά πάρκα σε κάθε χώρα της Ευρώπης (Πηγή: EWEA, 2012)

### **6.3) Ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη**

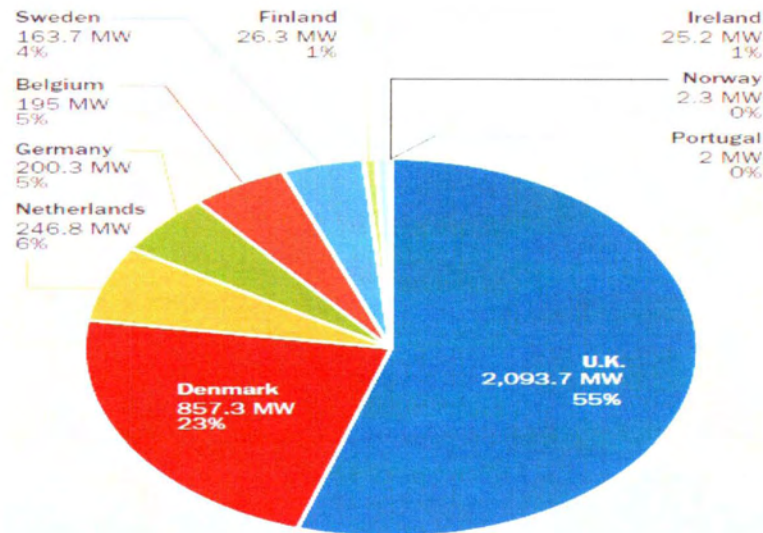
Συγκεκριμένο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων το 2011. Σύμφωνα με στοιχεία της EWEA το 2011 συνολικά συνδεθήκαν στο ηλεκτρικό δίκτυο 866 MW από υπεράκτια αιολικά πάρκα , με 235 νέες ανεμογεννήτριες. Υπάρχει μείωση κατά 17 MW από τις αντίστοιχες νέες εγκαταστάσεις για το 2010. Συνολικά η παραγόμενη ισχύς ,στο τέλος του 2011, από υπεράκτια πάρκα έφτασε τα 3.813 MW , με εγκατεστημένες 1.371 ανεμογεννήτριες.

### **6.3.1) Κατανομή μεταξύ των χωρών**

Το Ην. Βασίλειο ήδη από το 2010 κρατούσε τα πρωτιά στην παραγωγή ισχύος από υπεράκτια πάρκα. Από τις νέες εγκαταστάσεις το 2011 ,το Ην. Βασίλειο είχε το 87% (Σχήμα 6.16) , κάτι που συνέβαλε για την απόλυτη κυριαρχία της στην Ευρώπη . Πλέον το Ην. Βασίλειο κατέχει το 55% με 2 GW συνολικής υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Ακολουθούν η Δανία με 23% ( 857 MW) , η Ολλανδία με 6% ( 246 MW) και η Γερμανία με 5% (200 MW). Συνολικά η κατανομή ανάμεσα στις χώρες της Ευρώπης απεικονίζεται στο Σχήμα 6.17



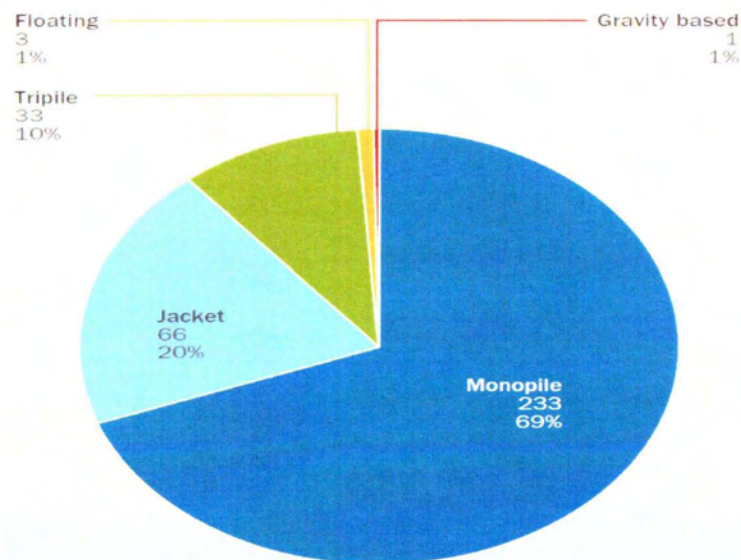
**Σχήμα 6.16) Κατανομή μεταξύ των χωρών για τις νέες εγκαταστάσεις υπεράκτιας αιολικής ενέργειας το 2011 (Πηγή: EWEA , 2012)**



Σχήμα 6.17) Κατανομή συνολικής υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στις χώρες της Ευρώπης στο τέλος του 2011 (Πηγή: EWEA , 2012)

### 6.3.2) Θεμελιώσεις στις νέες εγκαταστάσεις

Έχει αξία να μελετηθεί , ποιες θεμελιώσεις προτιμούνται σήμερα για την κατασκευή υπεράκτιων πάρκων. Συγκρίνοντας (βλ. Σχήμα 6.18) τις θεμελιώσεις που επιλέχθηκαν για τα νέα υπεράκτια αιολικά πάρκα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι : Τα μονόστηλα θεμέλια ακόμα κυριαρχούν. Η προτίμηση αυτή οφείλεται στην τυποποιημένη γνώση για την κατασκευή τους, ότι ακόμα οι περισσότερες εγκαταστάσεις γίνονται σε ρηγά νερά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χρησιμοποίηση πλωτών πλατφόρμων , που ακόμα βρίσκεται σε πιλοτικό επίπεδο.



Σχήμα 6.18) Τύποι θεμελιώσεων που προτιμήθηκαν στις νέες εγκαταστάσεις υπεράκτιων αιολικών πάρκων στην Ευρώπη το 2011 (Πηγή: EWEA , 2012)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Η κατάσταση στην Ελλάδα

---

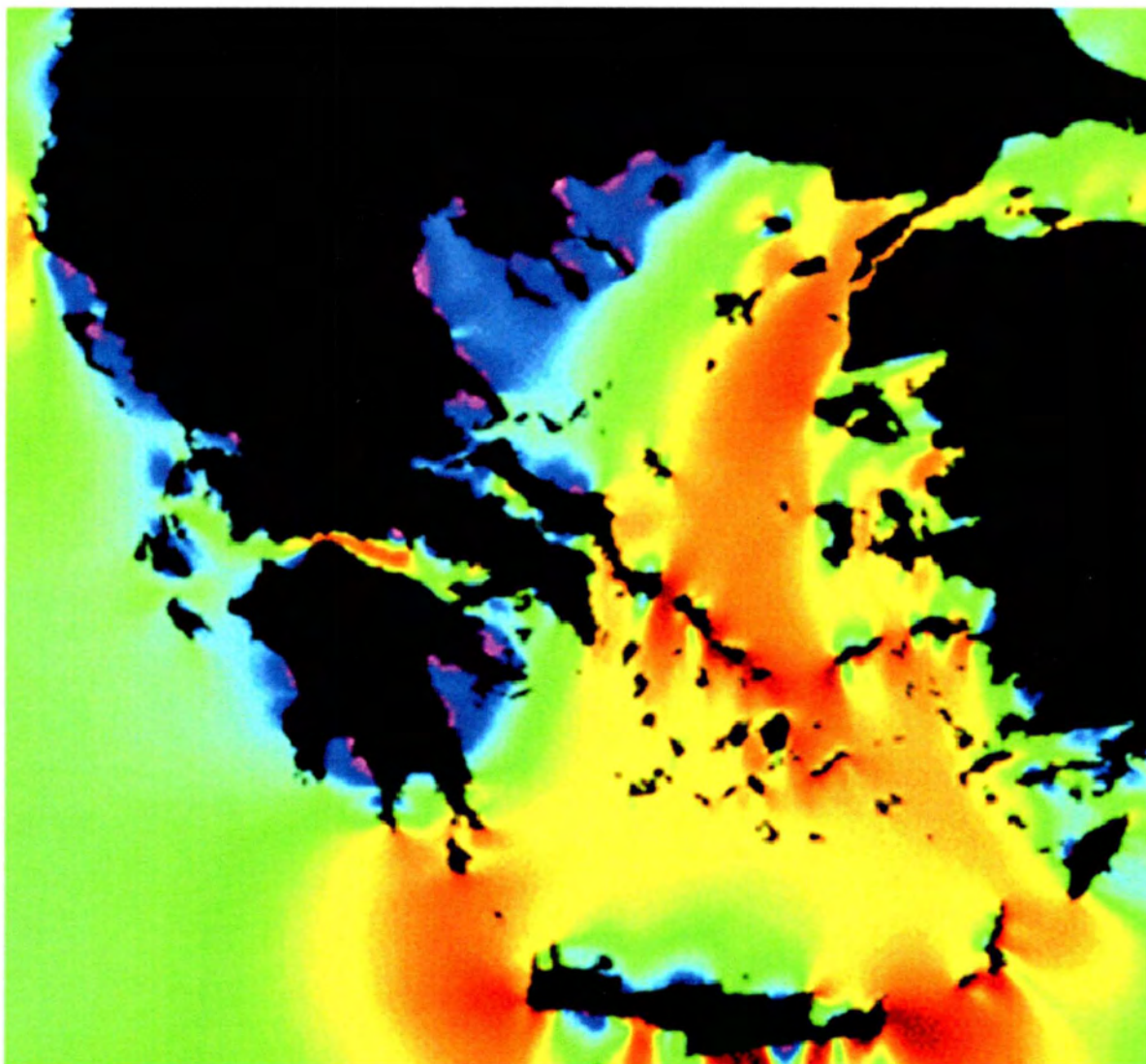
### 7.1) Εισαγωγή

Οι δυνατότητες ανάπτυξης θαλάσσιων αιολικών πάρκων στην Ελλάδα (off shore), αν και υπαρκτές δεδομένου του υψηλού αιολικού δυναμικού του Αιγαίου – κυρίως - αλλά και του λοιπού θαλάσσιου χώρου της, εξαρτώνται από την πορεία εξέλιξης της τεχνολογίας ως προς το βάθος της θάλασσας μέχρι του οποίου μπορεί να εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες με οικονομικό τρόπο. Τούτο γιατί, λόγω του βυθογραφικού ανάγλυφου των Ελληνικών θαλασσών (έντονο ανάγλυφο βυθού, απότομα βάθη και κλίσεις), δεν φαίνεται να προσφέρονται πολλές τεχνικές δυνατότητες εγκατάστασης Α/Γ στη θάλασσα, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει σε άλλες βόρειες ευρωπαϊκές χώρες, όπου η τοπογραφία του βυθού είναι εντελώς διαφορετική (ομαλές κλίσεις, μικρά βάθη κλπ.). Έτσι οι Ελληνικές θάλασσες χαρακτηρίζονται γενικά από βάθη που –με τη σημερινή τεχνολογία- είναι απαγορευτικά για τα θαλάσσια αιολικά πάρκα, χωρίς όμως να αποκλείονται μεμονωμένες περιπτώσεις σχετικά αβαθών περιοχών με ικανό αιολικό δυναμικό. Επομένως δεν πρέπει να αποκλειστεί η εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην θάλασσα.

Σημειώνεται ότι επειδή στο θαλάσσιο χώρο δεν υφίστανται -προς το παρόν-στοιχεία καταγραφής του αιολικού δυναμικού, ούτε στοιχεία σχετικής ζήτησης εγκατάστασης Α/Π, (κυρίως λόγω των δυσκολιών εκμεταλλευσιμότητας των μονάδων), οι πιθανές περιοχές/θέσεις εκμεταλλευσιμότητας γεινιάζουν κατά τεκμήριο με ηπειρωτικές ή νησιωτικές περιοχές που διαθέτουν εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό. Άλλωστε, πολύ πρόσφατα ο Νόμος 3468/2006 εισήγαγε διατάξεις, περιλαμβανομένων και τροποποιήσεων στον Νόμο 2971/2001, με τις οποίες επιτρέπεται η εγκατάσταση αιολικών πάρκων στη θάλασσα και προβλέπεται η ιδιαίτερη τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας. Ειδικότερα με την παράγραφο Δ του άρθρου 24 του Ν. 3468 (ΦΕΚ129/Α'27-6-2006), που συμπληρώνει με την νέα παράγραφο 9 το άρθρο 14 του Ν. 2971/2001, '...επιτρέπεται η παραχώρηση του δικαιώματος χρήσης αιγιαλού, παραλίας, συνεχόμενου ή παρακείμενου θαλάσσιου χώρου ή πυθμένα θάλασσας για την εκτέλεση εργασιών εγκατάστασης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ... τοποθέτησης υποσταθμών και κατασκευής'. Με βάση τα πιο πάνω παρέχεται σαφής θεσμική δυνατότητα παραχώρησης και –κατά συνέπεια- χωροθέτησης Α/Π σε αιγιαλούς, σε ακατοίκητες 'νησίδες' και σε συνεχόμενο ή παρακείμενο θαλάσσιο χώρο ή πυθμένα θάλασσας.

Σύμφωνα με την μελέτη του Ασημακόπουλου Γ. (2007) η δυνατότητα αυτή περιορίζεται σύμφωνα με τις κατευθύνσεις της μελέτης όπως αναφέρονται στη συνέχεια (χαρακτηρισμός αξιόλογων ακτών ως ζωνών αποκλεισμού και τήρηση ελάχιστη απόσταση από αυτές).

δυναμικού των Ελληνικών θαλασσών, με εγκατάσταση αιολικών πάρκων σε ακατοίκητες νησίδες και η διοχέτευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υποθαλάσσιων καλωδίων στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Και οι δύο αυτές προοπτικές (τόσο η περισσότερο μεσο-μακρο-πρόθεσμη των αιολικών πάρκων στη θάλασσα, όσο και η πιο άμεση της εκμετάλλευσης των ακατοίκητων 'νησίδων'), μπορεί να αντιμετωπίζουν σε ένα βαθμό μια σειρά ζητημάτων που έχουν εντοπιστεί την τελευταία δεκαετία στην Ελλάδα και σχετίζονται με τη χωροθέτηση των αιολικών πάρκων:



Σχήμα 7.1) Αιολικό Δυναμικό στον θαλάσσιο χώρο της Ελλάδας.  
(Πηγή:<http://www.3tier.com>)

1. Θέματα αποφυγής έντονων συγκρούσεων σε σχέση με την ένταξη στο τοπίο, λόγω μεγαλύτερης εν γένει φέρουσας ικανότητας του θαλάσσιου τοπίου.
2. Θέματα αποφυγής έντονων συγκρούσεων με άλλες χρήσεις, δεδομένου ότι οι σχετικοί ανταγωνισμοί είναι σαφώς περιορισμένοι (ναυσιπλοΐα, προστατευόμενες θαλάσσιες περιοχές, εθνική άμυνα) και σαφώς πιο εύκολα διαχειρίσιμοι στη φάση σχεδιασμού του κάθε έργου.

## **7.2) Κριτήρια χωροθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων στο θαλάσσιο χώρο**

### **7.2.1) Τα γενικά κριτήρια χωροθέτησης**

Τα γενικά κριτήρια χωροθέτησης είναι τα παρακάτω:

- Επιτρέπεται η εγκατάσταση Α/Γ σε όλες τις εκτός ακτών θαλάσσιες περιοχές, που διαθέτουν προϋποθέσεις αιολικής εκμεταλλευσιμότητας, εφόσον αυτές δεν εντάσσονται σε ιδιαίτερο θεσμικό καθεστώς ρητής απαγόρευσης της εγκατάστασης ή δεν αποτελούν ζώνη αποκλεισμού, όπως θεσμοθετημένα θαλάσσια ή υποθαλάσσια πάρκα ή βεβαιωμένες γραμμές επιβατικής ναυσιπλοΐας.
- Ελάχιστο δυναμικό εγκατάστασης 2 MW
- Ελάχιστες αποστάσεις για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας και απόδοσης των εγκαταστάσεων Α/Π: 1) Ελάχιστη απόσταση (A) από σημαντικά σταθερά στοιχεία άμεσης παρεμβολής (φυσικά ή ανθρωπογενή) στον άξονα του εκμεταλλεύσιμου ανέμου: 7 φορές το ύψος του σταθερού στοιχείου άμεσης παρεμβολής ( $A=7xY$ ).  
2) Ελάχιστη απόσταση (A) μεταξύ των ανεμογεννητριών: - Με ανάπτυγμα κάθετα στην κατεύθυνση του κυρίαρχου ανέμου: 3 φορές τη διάμετρο (d) του πτερυγίου της ανεμογεννήτριας ( $A=3d$ ) - Με ανάπτυγμα παράλληλο στην κατεύθυνση του κυρίαρχου ανέμου: 7 φορές τη διάμετρο (d) του πτερυγίου της ανεμογεννήτριας ( $A=7d$ )
- Απαγορεύεται η εγκατάσταση Α/Γ σε απόσταση μικρότερη των 500 μέτρων από οργανωμένες ή διαμορφωμένες ακτές λουομένων ή άλλες αξιόλογες ακτές και παραλίες (π.χ. αμμώδεις), όπως θα αναγνωρίζονται στο στάδιο της ΕΠΟ.
- Απαγορεύεται η εγκατάσταση Α/Γ σε μικρούς –κλειστούς κόλπους με εύρος ανοίγματος <1.100 μέτρων
- Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς
- Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από οικισμούς

Αναλυτικότερα για τις ελάχιστες αποστάσεις από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς, όσο και από τους οικισμούς μπορούμε να αναφέρουμε:

### **7.2.2) Αποστάσεις από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς**

⇒ Ελάχιστη απόσταση από «τα εγγεγραμμένα στον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς και τα άλλα μείζονος σημασίας μνημεία, αρχαιολογικούς χώρους και ιστορικούς τόπους..» της παρ. 5. ββ) του άρθρου 50 του Ν. 3028/02: 3 χλμ.

⇒ Ελάχιστη απόσταση από οριοθετημένη αρχαιολογική ζώνη Α': 7 φορές τη διάμετρο (d) της φτερωτής της ανεμογεννήτριας ( $A=7d$ ), τουλάχιστον 500 μέτρων

⇒ Ελάχιστη απόσταση (A) από κηρυγμένο πολιτιστικό μνημείο ή ιστορικό τόπο: 7 φορές τη διάμετρο (d) της φτερωτής της ανεμογεννήτριας ( $A=7d$ ), τουλάχιστον 500 μέτρων

### **7.2.3) Αποστάσεις από οικιστικές δραστηριότητες**

Για την τήρηση των ελάχιστων αποστάσεων, λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράμετροι:

⇒ Το μέγεθος και ο χαρακτήρας του οικισμού (παραδοσιακός, τουριστικός κλπ)

⇒ Οι επιπτώσεις των Α/Γ που σχετίζονται κυρίως με τον θόρυβο

Ειδικότερα προσδιορίζονται οι ελάχιστες αποστάσεις από οικιστικές δραστηριότητες ως εξής:

α. Ελάχιστη απόσταση από τα θεσμοθετημένα όρια σχεδίων πόλεων και οικισμών >2.000 κατοίκων: 1.000 μ.

β. Ελάχιστη απόσταση από τα θεσμοθετημένα όρια οικισμών <2.000 κατοίκων, που χαρακτηρίζονται ως 'δυναμικοί' ή 'τουριστικοί' ή 'αξιόλογοι': 1.000 μ

γ. Ελάχιστη απόσταση από τα θεσμοθετημένα όρια λοιπών οικισμών <2.000 κατοίκων: 500 μ

δ. Ελάχιστη απόσταση από τα όρια οριοθετημένου παραδοσιακού οικισμού: 1.500 μ.

ε. Στην περίπτωση μη οριοθετημένων οικισμών, οι πιο πάνω αποστάσεις προσαυξάνονται κατά 500 μ. μετρούμενες από το κέντρο του οικισμού

στ. Ελάχιστη απόσταση από τα θεσμοθετημένα όρια οργανωμένης δόμησης Α' ή Β' κατοικίας (ΠΕΡΠΟ, Συνεταιρισμούς κλπ) ή και διαμορφωμένες περιοχές Β' κατοικίας (όπως αναγνωρίζονται στο πλαίσιο της ΜΠΕ): 1.000 μ.

ζ. Ελάχιστη απόσταση από μεμονωμένη νομίμως υφιστάμενη Α' ή Β' κατοικία: σύμφωνα με το πιο κάτω σημείο θ

η. Ελάχιστη απόσταση από Ιερές Μονές: 500 μέτρα

θ. Σε κάθε περίπτωση, εξασφάλιση ελάχιστων επιπέδων θορύβου στα όρια των πιο πάνω οικιστικών δραστηριοτήτων  $\leq 45$  db (σύμφωνα με το Π.Δ 1180/81).

### **7.3) Συγκεκριμένες περιπτώσεις εγκατάστασης υπεράκτιου αιολικού πάρκου στην Ελλάδα**

Με βάση τους περιορισμούς από χωροθετική άποψη, με την υπάρχουσα τεχνολογία αλλά και το αιολικό δυναμικό κατά τόπους οι τοποθεσίες στην Ελλάδα για εγκατάσταση υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι λίγες.

Στην Ελλάδα δεν είναι ακόμα εγκατεστημένα υπεράκτια αιολικά πάρκα. 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, Κρυνέρι, Κύμη, Λήμνο, Λευκάδα, Πεταλιούς, Σαμοθράκη και Φανάρι Ροδόπης συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας 1.2 GW.

Αιτήσεις για κατασκευή 35 υπεράκτιων αιολικών πάρκων έχουν κατατεθεί και εκκρεμούν στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, όπως προκύπτει από την αλληλογραφία της Αρχής με το Διαχειριστή του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) αναφορικά με το σχεδιασμό της διασύνδεσης των νησιών με το ηπειρωτικό δίκτυο. Οι περισσότερες αιτήσεις αφορούν τη θαλάσσια περιοχή νότια της Αλεξανδρούπολης, στο Θρακικό πέλαγος και ακολουθούν η Κέρκυρα, (Μαθράκι, Οθωνοί), η Λήμνος (στη θαλάσσια περιοχή βορειοανατολικά και νοτιοανατολικά του νησιού), τα Δωδεκάνησα (Κως και βόρεια της Κάσου) η Εύβοια (Κάρυστος και Κύμη), η Αττική (κόλπος Πεταλιών - Νέα Μάκρη), η Αιτωλοακαρνανία (όρμος Καλυδώνος). Η συνολική ισχύς των αιτήσεων ξεπερνά τα 5.000 MW.

## Τα πρώτα τέσσερα υπεράκτια αιολικά πάρκα





#### **7.4) Για ποιον σκοπό;**

Την ανάπτυξη της εγκατάστασης των αιολικών πάρκων πρέπει να την δούμε στο συνολικό πρίσμα της οικονομίας σε μια χώρα και τον κόσμο. Η πρώτη ερώτηση που πρέπει να κάνουμε είναι : « Η εγκατάσταση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου για ποιο σκοπό θα γίνει;» . Η απάντηση δεν μπορεί να ξεφύγει ότι σήμερα ζούμε σε μια κοινωνία που τα μονοπώλια κάνουν κουμάντο. Άρα στο σήμερα η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας γίνεται και προωθείται έτσι ώστε μονοπωλιακοί κολοσσοί να βρουν διέξοδο για να βάλουν τα λεφτά τους. Να βρουν δρόμο διεξόδου από την κρίση Έτσι, στην Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μια στροφή προς την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μέσω της λεγόμενης «πράσινης οικονομίας» .

#### **7.5) Ο ρόλος της «πράσινης» ανάπτυξης σε καιρό κρίσης**

Ο ίδιος ο χαρακτήρας της καπιταλιστικής παραγωγής καθιστά αναπόφευκτη την εμφάνιση της κρίσης.

**Το πρότυπο της πράσινης ανάπτυξης ούτε στοχεύει, ούτε μπορεί να αναιρέσει την αιτία που οδηγεί στην περιοδική εκδήλωση της κρίσης. Μια ματιά στο βάθος εκδήλωσης της κρίσης στη Γερμανία και την Ισλανδία, που προβλήθηκαν ως εμβλήματα πρωτοπόρας εφαρμογής των κατευθύνσεων της πράσινης οικονομίας, αρκεί για να προβληματίσει.**

Στην πραγματικότητα, η συγκεκριμένη πρόταση επιχειρεί να διαμορφώσει διέξοδο ικανοποιητικής κερδοφορίας για τα υπερσυσσωρευμένα κεφάλαια. Στοχεύει στο να διαμορφώσει κίνητρα επενδύσεων, κίνητρα εισαγωγής και αξιοποίησης νέων τεχνολογιών για να δώσει προσωρινή ώθηση στην καπιταλιστική ανάπτυξη. Προωθεί νέες επενδύσεις που αγκαλιάζουν αρκετούς τομείς της οικονομίας απ' την ενέργεια και τη μεταποίηση μέχρι τις μεταφορές και τη βιομηχανία κατασκευών και διασφαλίζουν ένα ικανοποιητικό ποσοστό κέρδους. Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο η αναγκαία χρηματοδότηση των προτεινόμενων μέτρων για την κλιματική αλλαγή στις αναπτυσσόμενες χώρες φτάνει τα 100 δις. ευρώ ετησίως μέχρι το 2020.

**Η νέα επενδυτική πρόταση της άρχουσας τάξης συνοδεύεται, φυσικά, με την προσπάθεια αύξησης του βαθμού εκμετάλλευσης της εργατικής τάξης, επέκτασης των «μαύρων» εργασιακών σχέσεων ελαστικής - προσωρινής απασχόλησης, νέας αφαίρεσης ασφαλιστικών δικαιωμάτων.** Η εφαρμογή του Ευρωπαϊκού Σχεδίου για την Ανάκαμψη της Οικονομίας αποδεικνύει ότι η βελτίωση της κερδοφορίας δε συμβαδίζει με τη βελτίωση της κατάστασης της εργατικής τάξης. Η ανεργία στην ΕΕ σημειώνει απανωτά ρεκόρ δεκαετίας, όπως και το ποσοστό των εργαζομένων που βρίσκεται κάτω από το επίσημο όριο της φτώχειας.

Οι πράσινοι ιδιώτες επενδυτές στις ΑΠΕ διασφαλίζουν παχυλές κρατικές επιδοτήσεις, ενώ το κράτος δεσμεύεται να αγοράζει το «πράσινο» ρεύμα σε πανάκριβες τιμές, σε σχέση με το μέσο κόστος ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ ΑΕ.

**Αυτό που δεν είναι εξίσου φανερό αφορά τις μακροπρόθεσμες συνέπειες απ' τη στροφή στην κρατική στήριξη κλάδων που έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα για την κερδοφορία του κεφαλαίου.**

Στην πράξη θα επιταχυνθεί η συρρίκνωση κλάδων και τομέων που έχουν στρατηγική σημασία για την εγχώρια κάλυψη βασικών λαϊκών αναγκών, όπως της αγροτικής παραγωγής, της ναυπηγικής βιομηχανίας, της κλωστοϋφαντουργίας - ένδυσης. Θα οξυνθεί η ανισότητα στην ανάπτυξη περιοχών και τομέων της οικονομίας.

Το συγκεκριμένο πρότυπο απεξάρτησης απ' τα ορυκτά καύσιμα υποβαθμίζει ήδη στον ενεργειακό σχεδιασμό τη σημασία διερεύνησης πιθανών κοιτασμάτων πετρελαίου στο Αιγαίο, καθώς και τη σημαντική δυνατότητα αξιοποίησης της εγχώριας παραγωγής λιγνίτη την επόμενη εικοσαετία με κατάλληλη χωροθέτηση και σύγχρονη, φιλικότερη στο περιβάλλον τεχνολογία. Καταργεί τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής για αρκετά νησιά του Αιγαίου και δρομολογεί την ηλεκτροδότησή τους από την Τουρκία τις περιόδους που τα προβλεπόμενα Αιολικά Πάρκα θα είναι εκτός λειτουργίας.

Ενισχύει κατευθύνσεις όπως του «ποιοτικού τουρισμού», των ξενοδοχείων πολυτελείας σε βάρος της κάλυψης των αναγκών της λαϊκής οικογένειας για διακοπές.

Το νέο αναπτυξιακό πρότυπο υπονομεύει επίσης τις μελλοντικές δυνατότητες της λαϊκής εξουσίας να στηριχθεί σε σημαντικούς κλάδους και τομείς της εγχώριας παραγωγής για την κάλυψη βασικών λαϊκών αναγκών.

## **7.6) Η πραγματική διέξοδος**

Η συνδυασμένη και συντονισμένη επίθεση της άρχουσας τάξης στα λαϊκά δικαιώματα υπογραμμίζει την ανάγκη να κλιμακωθεί ο αγώνας προς τη μόνη εναλλακτική διέξοδο για το λαϊκό συμφέρον απ' την καπιταλιστική κρίση: Την κατάργηση της καπιταλιστικής ιδιοκτησίας στα συγκεντρωμένα μέσα παραγωγής, την επιβολή της κοινωνικής ιδιοκτησίας τους για την κατανομή τους στην παραγωγική διαδικασία με κεντρικό σχεδιασμό που στοχεύει στην ικανοποίηση των λαϊκών αναγκών. Έτσι μπορεί να διασφαλισθεί και η αποτελεσματική προστασία του περιβάλλοντος. Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο, για παράδειγμα, ο ενιαίος κρατικός φορέας ενέργειας θα επιλέγει με γνώμονα τη λαϊκή ευημερία ποιες πηγές ενέργειας θα αξιοποιηθούν, σε ποιες αναλογίες, πού και πότε θα χωροθετηθούν οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, με ποια τεχνολογία παραγωγής κ.λπ.

Ο προβληματισμός για το βαθμό αξιοποίησης κάθε πηγής ενέργειας δεν μπορεί να εγκλωβίζεται σε ψευδοδιλήμματα γενικής αποδοχής ή απόρριψης, ούτε να εξαντλείται σε μονοδιάστατες λύσεις που απολυτοποιούν ένα συγκεκριμένο κριτήριο π.χ. την προστασία του περιβάλλοντος.

Κάθε λύση που προτείνεται πρέπει να στοχεύει στη συνδυασμένη ικανοποίηση **του συνόλου των λαϊκών αναγκών** όπως:

- Της αξιοποίησης των εγχώριων πηγών, της μείωσης της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας και της εξοικονόμησης ενέργειας.
- Της κατοχύρωσης του ενεργειακού προϊόντος σαν κοινωνικού αγαθού που παρέχεται φθηνά στο λαό (μέσα και από τη μείωση του κόστους ηλεκτροπαραγωγής).
- Της διαφύλαξης της ασφάλειας των κατοίκων και της προστασίας του περιβάλλοντος.

- Της ανάπτυξης συγκεκριμένων περιοχών και εγχώριων βιομηχανικών κλάδων.

Η συνδυασμένη ικανοποίηση του συνόλου αυτών των στόχων μπορεί να επιτευχθεί μόνο από τον κεντρικό ενεργειακό σχεδιασμό, στο πλαίσιο μιας οικονομίας που θα λειτουργεί με γνώμονα τις λαϊκές ανάγκες και όχι το καπιταλιστικό κέρδος. Μοχλός αυτού του ενεργειακού σχεδιασμού θα είναι **ο ενιαίος αποκλειστικά κρατικός ενεργειακός φορέας** της λαϊκής οικονομίας. Μόνο στο πλαίσιο αυτής της οικονομίας με κοινωνικοποιημένα τα βασικά μέσα παραγωγής μπορεί να πάψει η ενέργεια να αποτελεί εμπόρευμα και να μετατραπεί σε κοινωνικό αγαθό.

Ο κρατικός ενεργειακός φορέας της λαϊκής εξουσίας θα μπορεί, στηριγμένος στο σύνολο των κριτηρίων που προαναφέραμε, να σχεδιάσει και να αντιμετωπίσει τα ζητήματα **χωροθέτησης, επιλογής τεχνολογίας και μεγέθους** των αιολικών πάρκων. Θα δώσει προτεραιότητα στην αξιοποίηση των αιολικών πάρκων στα νησιά, όπου το κόστος ηλεκτροπαραγωγής των συμβατικών σταθμών είναι πολύ ψηλότερο σε σχέση με το διασυνδεδεμένο σύστημα. Θα οδηγήσει επίσης στον τεχνολογικό εκσυγχρονισμό των αναγκαίων συμβατικών σταθμών που χρησιμοποιούν το φθινό, εγχώριο λιγνίτη, ώστε να διασφαλιστεί ταυτόχρονα η προστασία του περιβάλλοντος, η μείωση του κόστους ηλεκτροπαραγωγής και η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα η αιολική ενέργεια έχει γνωρίσει μια πρωτοφανή ανάπτυξη. Σύμφωνα με τις περισσότερες μελέτες, η συνέχεια αναμένεται να είναι ακόμα πιο εντυπωσιακή. Σε αυτή τη κατεύθυνση καθοριστικό ρόλο θα διαδραματίσουν ασφαλώς τα υπεράκτια αιολικά πάρκα. Τα πρωτεία στην ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας παγκόσμια κατέχει η Ευρώπη, κάτι που αναμένεται να συνεχιστεί τουλάχιστον στο εγγύς μέλλον..

Οι υπεράκτιες δομές έχουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Στα πλεονεκτήματα συμπεριλαμβάνονται:

- η διαθεσιμότητα μεγάλων περιοχών, κατάλληλων για μεγάλα αιολικά πάρκα,
- η εξάλειψη των ζητημάτων της οπτικής ενόχλησης και θορύβου,
- οι υψηλότερες ταχύτητες ανέμου,
- η λιγότερη διαταραχή, η οποία επιτρέπει στις ανεμογεννήτριες την παραγωγή ενέργειας με πιο αποτελεσματικό τρόπο με τη μείωση της φόρτισης στο στρόβιλο.

Αντίθετα τα μειονεκτήματα συνοψίζονται περισσότερο σε οικονομικούς παράγοντες. Έτσι, στο άμεσο μέλλον όπου τέτοιου είδους παράγοντες θα μειώνονται, η ανάπτυξη των υπεράκτιων αιολικών πάρκων θα είναι ραγδαία. Επίσης τεχνολογίες, όπως οι πλωτές πλατφόρμες θα ανοίξουν ακόμα περισσότερο τα περιθώρια βελτίωσης και αξιοποίησης του θαλασσιού δυναμικού.

Η ανάπτυξη των υπεράκτιων αιολικών πάρκων δεν μπορεί να λύσει από μόνη της την ανάγκη για διαρκώς νέες ενεργειακές πηγές, ούτε την περιβαλλοντολογική αλλαγή. Μπορεί όμως, σε ένα κεντρικά σχεδιασμένο ενεργειακό πλάνο, να δώσει σημαντικές ποσότητες ισχύος. Επίσης να βοηθήσει στην μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα.

Η χώρα μας, έχει μεγάλες εκτάσεις θαλάσσιου εδάφους που έχουν μεγάλο και αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό. Το βασικό πρόβλημα αποτελεί το ανάγλυφο του θαλάσσιου βυθού, που έχει απότομες και βαθιές πλαγιές. Έτσι με την παρούσα τεχνολογία δεν γίνεται δυνατόν για μεγάλες εγκαταστάσεις υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Οι πλωτές πλατφόρμες, που είναι σε πειραματικό επίπεδο, θα μπορέσουν να δώσουν μεγάλη ώθηση στην χώρα μας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- Ασημακόπουλος, Γ. 'ΕΚΟΤΕΧΝΙΚΑ'. (2007). Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Υποστηρικτική Μελέτη, Αθήνα. Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση [www.minenv.gr](http://www.minenv.gr).
- Ackermann, T., Leutz, R, Hobohm, J. World-wide offshore wind potential and European projects. Power engineering Society Summer Meeting 2001, Vancouver, Canada, p. 4-9.
- AWS Truewind Offshore Wind Technology Final Report, 2009 <http://www.linycoffshorewind.com>
- Bilgili, Yasar, A., and Simsek, E. Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart . Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 905–915, 2011.
- Black, Veatch. Percent wind energy penetration in the United States: a technical analysis of the energy resource; 2007. Technical Report for the American Wind Energy Association. <http://www.20percentwind.org>
- Breeze P. The cost of power generation. The current and future competitiveness of renewable and traditional technologies. Business Insights; 2008. p. 122.
- Breeze P. The future of wind power. Increasing economic competitiveness as the technology matures. 1st ed. London, UK: Business Insights; 2008. p. 128.
- Breeze P. The future of global offshore wind power. The technology, economics and impact of wind power generation. 1st ed. London, UK: Business Insights; 2004. p. 125.
- Breeze P. The future of clean coal. Business Insights; 2007.
- Esteban D. Diez J, Lopez J.S., Negro V. , Renewable Energy, vol 36, 444-450, 2011.
- European Environment Agency (EEA). Europe's onshore and offshore wind energy potential, 2009)
- European Wind Energy Association (EWEA). The economics of wind energy, 2009, [www.ewea.org](http://www.ewea.org)
- EWEA, Wind in power , 2011 European Statistics, 2012, [www.ewea.org](http://www.ewea.org)
- GWEC, Global wind statistics , 2010, [www.gwec.net](http://www.gwec.net)
- Leutz R, Ackermann T, Suzuki A, Akisawa A, Kashiwagi T. Offshore wind energy potential around the Globe. Proceedings European Wind Energy Conference. Copenhagen; 2002.
- Olea J.M. Mecanismos de financiación de los parques eólicos marinos: análisis de riesgos, esquemas y alternativas de financiación. Offshore Wind Farms Conference 2008, Madrid, Spain, 36 pp.
- Robinson & Musial, National Renewable Energy Laboratory. (2006),
- Snyder, B., and Kaiser, M.J. Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. Renewable Energy 34, 1567–1578, 2009.
- The Netherlands Ministry of Economic Affairs. Development of offshore wind energy in Europe. Technical Report; 2004. The Netherlands, p. 44.
- Údo Walkemeyer, First experiences with Offshore wind energy, Hannover, 2010
- US Offshore Wind Collaborative. US offshore wind energy: a path forward. 2009.
- Zwaan et al. , Cost reductions for offshore wind power: Exploring the balance between scaling, learning and R&D. Renewable Energy, vol. 41, p. 389-393, 2012.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000109389