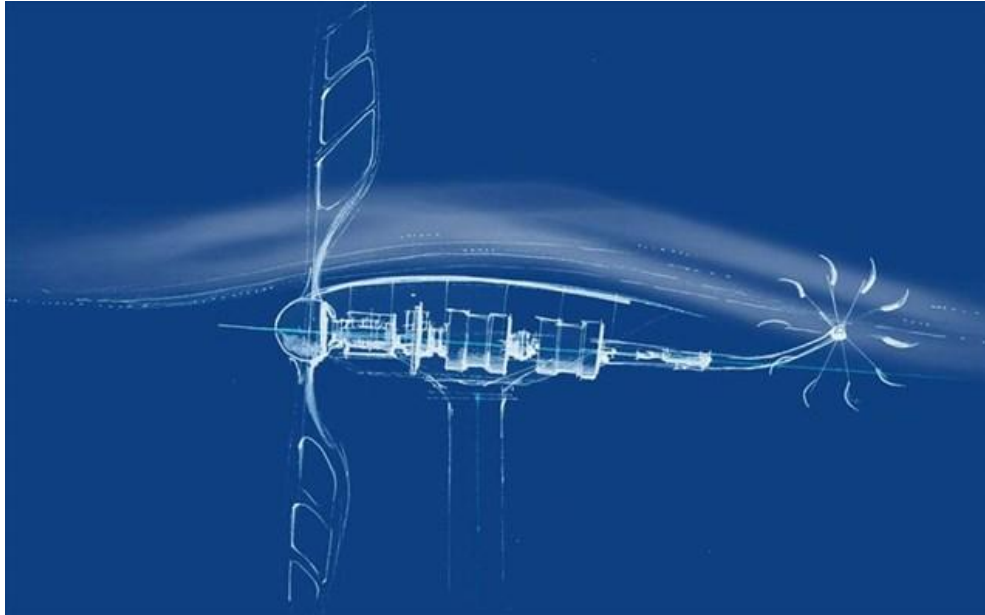




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ)
Σχεδίαση Διαδραστικών και Βιομηχανικών Προϊόντων & Συστημάτων

ΦΩΤΗΣ ΤΣΑΝΤΗΛΑΣ

Διπλ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Α.Π.Θ.

Dpsdm 15013

Διπλωματική Εργασία

**«Αιολική Ενέργεια και Κατασκευή Ανεμογεννητριών:
Μελέτη Υλικών Κατασκευής**

Επιβλέπων: Παπανίκος Παρασκευάς

Μέλη Επιτροπής: Παπανίκος Παρασκευάς

Ζαχαρόπουλος Νικόλαος

Μουλιανίτης Βασίλειος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Είναι μεγάλη τιμή για εμένα να συνεργαστώ με τον καθηγητή κο Παπανίκο Παρασκευά, με την βοήθεια και τις συμβουλές του οποίου εκπονήθηκε η παρούσα εργασία.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους καθηγητές του τμήματος Σχεδίαση Βιομηχανικών Προϊόντων & Διαδραστικών Συστημάτων για την προσπάθειά τους να διαμορφώσουν ένα νέο κόσμο σκέψης.

«Στην Μαρία & την Μαριαλένα»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο αναμενόμενος αντίκτυπος της μεγάλης διείσδυσης της αιολικής ενέργειας που αναμένεται, θα επηρεάσει σημαντικά όχι μόνον την υφιστάμενη βιομηχανία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, αλλά και θα αναδύσει νέες προκλήσεις για την ίδια την ελληνική οικονομία. Έτσι, αυτή η διπλωματική εργασία μελέτησε την τρέχουσα κατάσταση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα με επίκεντρο τις μελλοντικές προοπτικές και εξελίξεις στην περίπτωση των ανεμογεννητριών γενικά, και ειδικότερα στο Αιγαίο πέλαγος (Κυκλάδες).

Στο πρώτο κεφάλαιο, έγινε μια εισαγωγή στη δυναμική της αιολικής ενέργειας, αλλά και μια συγκριτική περιγραφή των συμβατικών και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ παρουσιάστηκε και μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση των ανεμογεννητριών. Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάστηκαν οι τύποι των ανεμογεννητριών, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, αλλά και τα αιολικά πάρκα. Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύθηκαν οι προοπτικές των ανεμογεννητριών στην Ελλάδα και ειδικότερα στο Αιγαίο Πέλαγος, τα αριθμητικά στοιχεία, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών, όπως και οι προοπτικές από την επικείμενη ηλεκτρική διασύνδεση των Κυκλάδων ειδικότερα. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο, το οποίο αποτέλεσε και το ερευνητικό μέρος της εργασίας, έγινε μια σύντομη εισαγωγή στον σχεδιασμό και την κατασκευή των ανεμογεννητριών και επικεντρώθηκε το ενδιαφέρον της έρευνας στα υλικά κατασκευής των ανεμογεννητριών.

Ανακεφαλαιώνοντας, συμπεραίνεται πως, αυτή τη στιγμή, οι λεπίδες των ανεμογεννητριών φτιάχνονται κυρίως από σύνθετα υλικά. Τα βασικά, πιο διαδεδομένα σήμερα, υλικά κατασκευής πύργων των ανεμογεννητριών είναι ο χάλυβας και το σκυρόδεμα, ενώ των λεπίδων των ανεμογεννητριών είναι τα εξής: Υβριδικά Σύνθετα Πολυμερών - Hybrid polymer composite (HPC), Υαλονήματα - Glass fiber (GF), Ανθρακονήματα - Carbon fiber (CF) και τα Βασαλτονήματα - Basalt fiber (BF), ενώ η κυρίαρχη τάση για το μέλλον βασίζεται στα σύνθετα με νανο-νήματα.

Λέξεις-Κλειδιά: ΑΠΕ, Αιολική Ενέργεια, Ανεμογεννήτριες, Ηλεκτρική Διασύνδεση Κυκλάδων.

ABSTRACT

The expected impact of the high penetration of wind power, will significantly affect not only the existing electricity supply industry in Greece, but also will bring up new challenges for the Greek economy. So, this dissertation is based on studying the current situation as far as the wind energy in Greece is concerned; with a focus on future prospects and developments in case of wind turbines particularly in the Aegean Sea (Cyclades).

In the first chapter, an introduction to the dynamics of wind energy was made, as well as a comparative description of conventional and renewable energy sources. Also, a brief historical review of wind turbines was made. In the second chapter, the types of wind turbines and their operating characteristics were presented, as well as wind farms. In the third chapter, the prospects of wind turbines in Greece were analyzed, particularly in the Aegean Sea, via figures. Also, the pros and cons of wind turbines, as well as the prospects of imminent electrical interconnection of Cyclades were discussed. Finally, in the fourth chapter, which was the research part of the dissertation, a brief introduction took place as far as the design and construction of wind turbines are concerned, followed by a qualitative research of the materials used in construction of wind turbines.

Summarizing, it is concluded that, nowadays, wind turbines' blades are mostly made of composite materials. As far as the wind turbine towers are concerned, the most popular today's construction materials are steel and concrete, and as far as wind turbines' blades are concerned the most widely-used materials include the following: Hybrid Composite Polymers (HPC), Fiber-Glass (GF), Carbon Fiber (CF) and Basalt Fiber (BF); while the top trend for the future is based on Nano-composites.

Keywords: Renewable Energy Sources, Wind Energy, Wind Turbines, Electrical Interconnection of Cyclades.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	8
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1. Συμβατικές και ΑΠΕ.....	13
1.1.1. Βασική Περιγραφή Συμβατικών και ΑΠΕ.....	15
1.1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	18
1.2. Αιολική Ενέργεια	24
1.2.1. Εισαγωγή στην Αιολική Ενέργεια.....	24
1.2.2. Ο Ρόλος της Αιολική Ενέργειας σήμερα.....	25
1.3. Ιστορική Ανασκόπηση ανεμογεννητριών.....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	30
2.1. Κατασκευή Ανεμογεννητριών.....	32
2.2. Τύποι Ανεμογεννητριών.....	35

2.3. Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Ανεμογεννητριών.....	44
2.3.1. Τάση, Άεργος Ισχύς και Ικανότητες Ελέγχου του Συντελεστή Ισχύος.....	44
2.3.2. Δυνατότητες παραγωγής Άεργου Ισχύος.....	45
2.3.3. Εσωτερική Τάση (Voltage Ride-Through).....	47
2.4. Αιολικά πάρκα.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (ειδικότερα στο Αιγαίο).....	51
3.1. Αριθμητικά Στοιχεία.....	52
3.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	60
3.2.1. Πλεονεκτήματα.....	61
3.2.2. Μειονεκτήματα.....	63
3.2.3. Συμπέρασμα.....	66
3.3. Ηλεκτρική Διασύνδεση Κυκλάδων με την Ηπειρωτική Ελλάδα.....	66
3.3.1. Ιστορική Ανασκόπηση και Αναλυτικά Στοιχεία Έργου.....	68
3.3.2. Προοπτικές για την Ελλάδα.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	75
4.1. Εισαγωγή στο Ερευνητικό Μέρος.....	75
4.1.1. Ανασκόπηση Βέλτιστου Σχεδιασμού Ανεμογεννητριών.....	77
4.1.2. Το Σύγχρονο Διαδομένο Σχέδιο Κατασκευής Ανεμογεννητριών και Προκλήσεις.....	78
4.2. Υλικά Κατασκευής Ανεμογεννητριών.....	82

4.2.1. Υλικά Κατασκευής Πύργων Ανεμογεννητριών.....	83
4.2.2. Υλικά Κατασκευής Ελίκων Ανεμογεννητριών.....	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	96
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'. Σχέδια Ηλεκτρικής Διασύνδεσης Κυκλάδων με την Ηπειρωτική Ελλάδα.....	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'. Σύνθετα Υλικά Κατασκευής Ανεμογεννητριών (Αναλυτικοί Πίνακες).....	115
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ'. Ηλεκτρική Διασύνδεση των Κυκλάδων.....	118

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

A. Πίνακες Εργασίας και Παραρτήματος

Πίνακας 1. Σύνολο και Κατανομή της αιολικής ισχύος το 2012.....	54
Πίνακας 2. Όμιλοι στον κλάδο και Μερίδια Αγοράς τους.....	55
Πίνακας 3. Κατασκευαστές Ανεμογεννητριών και Μερίδια Αγοράς τους.....	56
Πίνακας Π1. Εξέλιξη της Ζήτησης σε Ηλεκτρική Ενέργεια ανά νησί.....	110
Πίνακας Π2. Εξέλιξη Ισχύος ανά νησί.....	111
Πίνακας Π3. Προβλεπόμενη Εξέλιξη της Μέγιστης Ζήτησης (MW).....	111
Πίνακας Π4. Διασύνδεση Ίου-Θήρας με ισοδύναμη μονάδα.....	112
Πίνακας Π5. Διασύνδεση Ίου-Θήρας με οριακή τιμή συστήματος.....	113
Πίνακας Π6. Κοστολόγηση Επέκτασης προς Ικαρία-Σάμο από Μύκονο.....	114
Πίνακας Π7. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Διασυνδέσεων.....	114
Πίνακας Π8. Περίληψη Επιλεγμένων Σύνθετων με Ρητίνη.....	115
Πίνακας Π9. Περίληψη Επιλεγμένων Υφασμάτων.....	116
Πίνακας Π10. Ανάλυση Ιδιοτήτων Πολυστρωματικών και FEA ως βάση Υλικών Prepreg....	117

B. Εικόνες

Εικόνα 1. Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή ενέργειας (διαθέσιμα στοιχεία 2011)....	14
Εικόνα 2. Συμβατικές και ΑΠΕ.....	15

Εικόνα 3. Από τα πρώτα στάδια της εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας μέχρι το «ξέσπασμα της Καλιφόρνιας».....	29
Εικόνα 4. Χρονική εξέλιξη της παγκόσμιας και της ευρωπαϊκής δυναμικότητας της αιολικής ενέργειας.....	30
Εικόνα 5. Συγκρότημα ανεμογεννητριών.....	32
Εικόνα 6. Κατασκευή κεφαλής Ανεμογεννήτριας.....	33
Εικόνα 7. Κατασκευή συστήματος Ανεμογεννήτριας.....	34
Εικόνα 8. Σχεδιάγραμμα σύνδεσης ανεμογεννήτριας με το δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού.....	35
Εικόνα 9. Τυπική Διαμόρφωση μιας ανεμογεννήτριας Τύπου 1.....	37
Εικόνα 10. Μεταβολή της πραγματικής και της άεργου ισχύς στην επαγωγική γεννήτρια.....	38
Εικόνα 11. Τυπική Διαμόρφωση μιας ανεμογεννήτριας Τύπου 2.....	39
Εικόνα 12. Μεταβολή της πραγματικής και της άεργου ισχύος, με εξωτερική αντίσταση ρότορα σε μια ανεμογεννήτρια Τύπου 2.....	40
Εικόνα 13. Τυπική Διαμόρφωση της ανεμογεννήτριας Τύπου 3.....	41
Εικόνα 14. Τυπική διαμόρφωση μιας ανεμογεννήτριας Τύπου 4.....	42
Εικόνα 15. Τυπική διαμόρφωση μιας ανεμογεννήτριας Τύπου 5.....	43
Εικόνα 16. Δυνατότητες τροφοδοσίας της ανεμογεννήτριας με άεργο ισχύ σε γεννήτριες Τύπου 5 των 2 MW.....	46
Εικόνα 17. Διαχρονική πορεία εξέλιξης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	53
Εικόνα 18. Αθροιστικά στοιχεία για τις Ανεμογεννήτριες (σε MW) στην Ελλάδα.....	57
Εικόνα 19. Απόσπασμα της έκκλησης της ΕΛΕΤΑΕΝ προς την ελληνική κυβέρνηση.....	58
Εικόνα 20. Βασικά Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ανεμογεννητριών.....	61
Εικόνα 21. Οι ανεμογεννήτριες απειλούν τη ζωή των πτηνών.....	64
Εικόνα 22. Επίπεδα θορύβου ανεμογεννήτριας και σύγκριση με άλλες οικοσυσσκευές.....	65
Εικόνα 23. Φάσεις έργου Ηλεκτρικής Διασύνδεσης των Κυκλάδων.....	69

Εικόνα 24. Οι τρεις Βασικοί Τύποι Ανεμογεννητριών.....	76
Εικόνα 25. Οι Βασικοί Τύποι Ανεμογεννητριών: Οριζοντίου ή Κάθετου Άξονα.....	76
Εικόνα 26. Το Σύγχρονο Διαδεδομένο Σχέδιο Κατασκευής Ανεμογεννητριών.....	79
Εικόνα 27. Μέρη της διαδεδομένου σχήματος Ανεμογεννήτριας HAWT.....	80
Εικόνα 28. Ιστορική Ανασκόπηση Μεγέθους και Ισχύος της Ανεμογεννήτριας Οριζοντίου Άξονα (HAWT) (Α΄).....	80
Εικόνα 29. Ιστορική Ανασκόπηση Μεγέθους και Ισχύος της Ανεμογεννήτριας HAWT (Β΄).....	81
Εικόνα 30. Υλικά Κατασκευής Πτερυγίων και Τεχνικά Χαρακτηριστικά τους.....	83
Εικόνα 31. Κατασκευή Πύργου Ανεμογεννήτριας από Σκυρόδεμα.....	85
Εικόνα 32. Δείκτης Tip-Speed λ για τις ανεμογεννήτριες.....	87
Εικόνα 33. Είδη Πλέξης Νημάτων/Ινών.....	89
Εικόνα 34. Σύγκριση Σύνθετων Υλικών βάσει «Μήτρας».....	90
Εικόνα 35. Υαλονήματα Προεμποντισμένα με Εποξειδική Ρητίνη (300gsm).....	91
Εικόνα Π1. Ηλεκτρική Διασύνδεση Κυκλάδων μέχρι το 2015.....	118
Εικόνα Π2. Ηλεκτρική Διασύνδεση Κυκλάδων μέχρι το 2016.....	118

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια, νέα προσοχή αλλά και εμπιστοσύνη κέρδισε ο τομέας της αιολικής ενέργειας, ιδίως μετά τη δημιουργία του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής και σε συνδυασμό με τα μέτρα που άρχισαν να λαμβάνονται, από το 2010, για την επίτευξη του στόχου του οράματος για την «Ελλάδα του 2020», που αφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Ωστόσο, οι τρέχουσες ανησυχίες για την οικονομία της Ελλάδας, σε συνάρτηση με τις συνέπειες της χρηματοοικονομικής κρίσης και το δημόσιο χρέος της, μπορεί να έχουν αντίκτυπο στον τομέα της αιολικής ενέργειας τα επόμενα χρόνια. (*30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from Greece*, διαθέσιμο: https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/GWEC_Greece.pdf, ανακτήθηκε 10.11.2015).

Αν και η βιομηχανία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα εξυπηρετεί τις ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια της ηπειρωτικής χώρας και των πολυάριθμων απομονωμένων νησιών, ωστόσο, η ανάπτυξη των ΑΠΕ έχει συμπεριληφθεί πια στην σημερινή ενεργειακή πολιτική της χώρας μας, ιδίως κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 ετών (Hammons & Styczynski, 2006; *Financial Instruments and Economic incentives for Energy Investments*, διαθέσιμο: http://www.cres.gr/kape/epixeiriseis_ependites_uk.htm, ανακτήθηκε 18.11.2015). Ωστόσο, η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας αντιμετωπίζει στη χώρα μας σημαντικές δυσκολίες, όπως είναι η χρονοβόρα και δύσκολη διαδικασία αδειοδότησης, και η δύσκολη πρόσβαση σε χρηματοδότηση, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικές καθυστερήσεις στην διάδοση της εκμετάλλευσής της (Kabouris & Hatziargyriou, 2006).

Σε αυτό το σημείο σημειώνεται ότι οι περισσότερες από τις αιτήσεις που γίνονται για νέες εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων, αναφέρονται σε τρεις συγκεκριμένους τομείς υψηλού αιολικού δυναμικού στην ηπειρωτική χώρα της Ελλάδας (Εύβοια - Στερεά Ελλάδα, Ανατολική Μακεδονία και Θράκη), (Κάραλης, 2013, σελ. 15). Επίσης, λόγω της γεωγραφικής κατανομής και του μεγέθους των αιολικών πάρκων (10-40 MW εγκατεστημένης ισχύος), η ενσωμάτωση

των πάρκων στις περιοχές αυτές θα είναι εξαιρετικά συγκεντρωτική και τα αιολικά πάρκα θα πρέπει να συνδέονται κυρίως με το δίκτυο υψηλής τάσης (Kabouris & Hatziaργyριου, 2006).

Δεδομένου ότι οι τομείς ενδιαφέροντος συνδέονται με τα διευρωπαϊκά δίκτυα συστημάτων, μέσω αδύναμων διαδρόμων μεταφοράς, υπάρχουν συγκεκριμένα σχέδια για την ενίσχυση του δικτύου, προκειμένου να αμβλυνθούν οι περιορισμοί και να φιλοξενηθούν στο μέλλον αιολικά πάρκα (Kabouris & Hatziaργyριου, 2006). Χαρακτηριστικά παραδείγματα των σχεδίων αυτών είναι τα Διευρωπαϊκά (που συνήθως αναφέρονται στα Υποθαλάσσια αλλά όχι μόνο), τα Δίκτυα Διασυνδέσεων, π.χ. Διασύνδεση των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό Σύστημα Διανομής, η Επέκταση της Ζεύξης Ελλάδας-Ιταλίας, κ.λπ. (βλπ. ΑΔΜΗΕ, 2014).

Ο αναμενόμενος αντίκτυπος της μεγάλης διείσδυσης αιολικής ενέργειας που αναμένεται, θα επηρεάσει σημαντικά όχι μόνον την υφιστάμενη βιομηχανία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, αλλά και θα αναδείξει νέες προκλήσεις για την ίδια την ελληνική οικονομία (Kabouris & Hatziaργyριου, 2006). Έτσι, αυτή η διπλωματική εργασία περιγράφει την τρέχουσα κατάσταση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα με επίκεντρο τις μελλοντικές προοπτικές και εξελίξεις στην περίπτωση των ανεμογεννητριών γενικά, και ειδικότερα στο Αιγαίο πέλαγος.

Πιο αναλυτικά, στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή στη δυναμική της αιολικής ενέργειας, γίνεται συγκριτική περιγραφή των συμβατικών και των ανανεώσιμων πηγών ενεργείας, ενώ παρουσιάζεται και μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση των ανεμογεννητριών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, ακολούθως, παρουσιάζονται οι τύποι των ανεμογεννητριών, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, αλλά και τα αιολικά πάρκα.

Στη συνέχεια, το τρίτο κεφάλαιο αναλύει τις προοπτικές των ανεμογεννητριών στην Ελλάδα και ειδικότερα στο Αιγαίο Πέλαγος, αριθμητικά στοιχεία, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών, όπως και οι προοπτικές από την επικείμενη ηλεκτρική διασύνδεση των Κυκλάδων ειδικότερα.

Τέλος, το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στο ερευνητικό μέρος της εργασίας και το πέμπτο στα συμπεράσματα τα οποία απορρέουν από αυτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πιο αναλυτικά, στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μια εισαγωγή για την αιολική ενέργεια, γίνεται συγκριτική περιγραφή των συμβατικών και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ παρουσιάζεται και μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση των ανεμογεννητριών.

1.1. Συμβατικές και ΑΠΕ

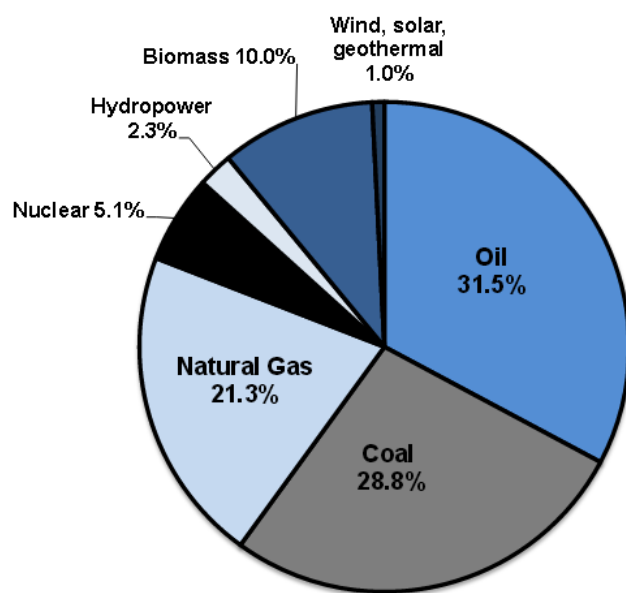
Η Ευρώπη βρίσκεται αντιμέτωπη με μια πρωτοφανή και αλόγιστη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων της, σημαντικές και δυνητικά μη αναστρέψιμες αλλαγές στο κλίμα και τη συνεχιζόμενη απώλεια της βιοποικιλότητας, που απειλούν τη σταθερότητα των βιολογικών συστημάτων από το οποίο εξαρτάται. Αυτό επιτείνεται από έναν παγκόσμιο πληθυσμό που αναμένεται να αυξηθεί κατά περισσότερο από 30% τα επόμενα 40 χρόνια, από 7. δισεκατομμύρια το 2012 σε περισσότερα από 9 δισεκατομμύρια το 2050 (European Commission, 2012).

Η θέσπιση και η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ευρώπη αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την επίτευξη της μετάβασής της προς τη βιώσιμη ανάπτυξη και την ανεξάρτησή της από τα ορυκτά καύσιμα (de Besi & McCormick, 2015). Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει θέσει ως μακροπρόθεσμο στόχο να αναπτύξει μια ανταγωνιστική, αποδοτική αξιοποίηση των πόρων, ώστε να επιτύχει οικονομία και χαμηλές εκπομπές άνθρακα, μέχρι το 2050 (Scarlat et al., 2015).

Γενικότερα, τις επόμενες δεκαετίες, η Ευρώπη πρέπει να διασφαλίσει ένα ασφαλές, υγιές και ευημερούν περιβάλλον, για τις σημερινές και τις μελλοντικές γενιές. Η επιτυχής αντιμετώπιση των σοβαρών περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών προκλήσεων, θα

αλλάζει τον τρόπο που ζούμε και εργαζόμαστε (ETPs & EUFETEC, 2008). Κι αυτό γιατί, για την αντιμετώπιση των κοινωνικών προκλήσεων, όπως η κλιματική αλλαγή, η σπανιότητα των πόρων και τα μη βιώσιμα πρότυπα κατανάλωσης, η μετασχηματιστική αλλαγή που απαιτείται περιλαμβάνει μακροπρόθεσμες προσεγγίσεις και αλληλεπιδράσεις σε όλα τα επίπεδα της κοινωνίας (McCormick & Kautto, 2013).

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ενδεικτικά η σημερινή κατάσταση όσον αφορά στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας προερχόμενης από ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές (Εικόνα 1). Οι ανανεώσιμες λοιπόν πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν συνολικά μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό, έναντι των μη ανανεώσιμων πηγών που κατέχουν το 86%. Σε αυτό το σημείο σημειώνεται ότι οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν τον ορυκτό άνθρακα, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και την πυρηνική ενέργεια (ραδιενεργά στοιχεία), και αντίστοιχα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την βιομάζα, την αιολική και την ηλιακή ενέργεια, καθώς και την υδροηλεκτρική και την γεωθερμική ενέργεια.

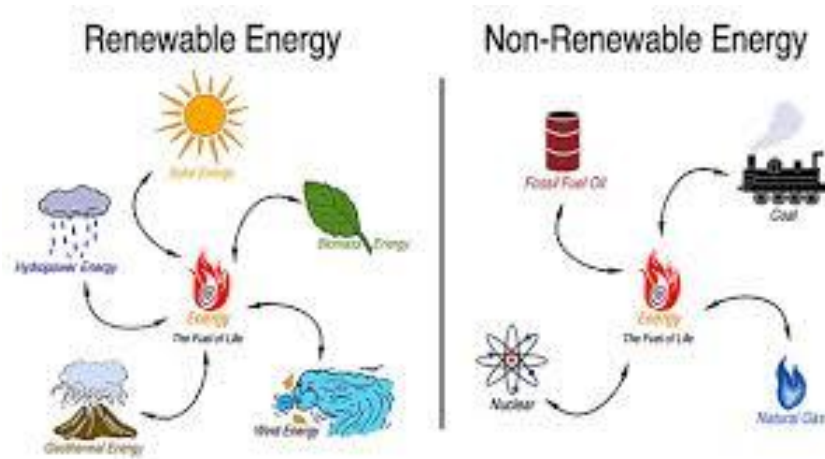


Εικόνα 1. Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή ενέργειας (διαθέσιμα στοιχεία 2011)

(Πηγή: International Energy Agency - IEA, 2013; στο Timmons, Harris & Roach, 2014, σελ. 4)

1.1.1. Βασική Περιγραφή Συμβατικών και ΑΠΕ

Στη συνέχεια, ακολουθεί μια σύντομη, βασική περιγραφή των συμβατικών και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 2. Συμβατικές και ΑΠΕ

(Πηγή: *Non-renewable Energy*, διαθέσιμο: <http://www.charpell.com/2014/12/non-renewable-energy.html>, ανάκτηση 18.11.2015)

A. Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

Όπως προαναφέρθηκε, οι συμβατικές ή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν τον ορυκτό άνθρακα, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και την πυρηνική ενέργεια, τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια.

- **Ορυκτές πηγές ενέργειας: Ορυκτός άνθρακας, Πετρέλαιο, Φυσικό αέριο**

Οι φυσικοί πόροι, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο (αργό πετρέλαιο) και το φυσικό αέριο απαιτούν χιλιάδες χρόνια για να σχηματιστούν στη φύση και δεν μπορούν να αντικατασταθούν τόσο γρήγορα όσο καταναλώνονται. Τελικά, θεωρείται ότι οι πηγές ενέργειας που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα θα γίνουν πάρα πολύ δαπανηρές για να συλλεχθούν και η ανθρωπότητα θα χρειαστεί να μετατοπίσει την εξάρτησή της σε άλλες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ή αιολική ενέργεια, δηλαδή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (*Non-renewable Energy*, διαθέσιμο: <http://www.charpell.com/2014/12/non-renewable-energy.html>, ανάκτηση 18.11.2015).

Μια εναλλακτική υπόθεση είναι ότι τα καύσιμα με βάση τον άνθρακα είναι σχεδόν ανεξάντλητα σε ανθρώπινους όρους, αν ληφθούν υπόψη όλες οι πηγές ενέργειας που βασίζονται στον άνθρακα, όπως οι υδρίτες μεθανίου στον βυθό της θάλασσας, που είναι κατά πολύ μεγαλύτεροι από όλους τους άλλους πόρους ορυκτών καυσίμων με βάση τον άνθρακα σε συνδυασμό με τους συμβατικούς. Αυτές οι πηγές του άνθρακα θεωρούνται επίσης μη ανανεώσιμες, παρόλο που το ποσοστό του σχηματισμού / αναπλήρωσης στον βυθό της θάλασσας δεν είναι γνωστός. Ωστόσο εξαγωγή τους σε οικονομικά βιώσιμο κόστος και τα ποσοστά απόδοσής τους δεν έχουν ακόμη προσδιοριστεί (*Non-renewable Energy*, διαθέσιμο: <http://www.charpell.com/2014/12/non-renewable-energy.html>, ανάκτηση 18.11.2015).

Επί του παρόντος, η κύρια πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο είναι τα ορυκτά καύσιμα, δηλαδή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Από την αρχή της τεχνολογίας του κινητήρα εσωτερικής καύσης, τον 17ο αιώνα, το πετρέλαιο και τα άλλα ορυκτά καύσιμα έχουν παραμείνει σε συνεχή ζήτηση. Ως αποτέλεσμα, οι συμβατικές υποδομές και τα συστήματα μεταφορών, είναι εφοδιασμένα με κινητήρες εσωτερικής καύσης, ενώ παραμένουν εξέχοντα σε όλο τον κόσμο. Όμως, η συνεχής χρήση των ορυκτών καυσίμων, με το σημερινό ρυθμό, πιστεύεται ότι αυξάνει επιπλέον την ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά και την υπερθέρμανση του πλανήτη, ενώ προκαλεί περισσότερο σοβαρή κλιματική αλλαγή (National Research Council, 2010).

- ***Πυρηνική ενέργεια***

Επί του παρόντος, η πυρηνική ενέργεια παρέχει περίπου 6% της παγκόσμιας ενέργειας και το 4% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας. Λειτουργικά, ο κύκλος ζωής της πυρηνικής ενέργειας παράγει χαμηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αλλά, δυνητικά, οι πιο σημαντικοί είναι οι κίνδυνοι μεγάλου ατυχήματος και η μακράς διάρκειας αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων. Με άλλα λόγια, καμία πυρηνική τεχνολογία δεν μπορεί να είναι εντελώς ασφαλής και απαιτεί απομόνωση της διαδικασίας παραγωγής, των εγκαταστάσεων κ.λπ., ενώ η πρώτη ύλη της – δηλαδή το πλουτόνιο - είναι εξαιρετικά τοξικό υλικό που μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί σε όπλα (Timmons, Harris & Roach, 2014).

B. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Από την άλλη πλευρά, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την βιομάζα, την αιολική και την ηλιακή ενέργεια, καθώς και την υδροηλεκτρική, την παλιρροιακή και την γεωθερμική ενέργεια. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια σύντομη βασική περιγραφή τους, κατόπιν κατηγοριοποίησής τους σε:

- Ηλιακή ενέργεια και Δευτερεύουσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας της ηλιακής
 - Άλλες ανεξάρτητες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
-
- ***Ηλιακή ενέργεια και Δευτερεύουσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας της ηλιακής (υδροηλεκτρική, αιολική, βιομάζα)***

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε μεγάλο βαθμό πηγάζουν από την ηλιακή ενέργεια. Πιο αναλυτικά, η ηλιακή ενέργεια (ενέργεια που προέρχεται άμεσα από τον ήλιο) μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού. Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από την πτώση του νερού, η οποία εμφανίζεται επειδή η ηλιακή ενέργεια εξατμίζει το νερό σε χαμηλά υψόμετρα που αργότερα γίνεται βροχή σε μεγάλα υψόμετρα. Ο ήλιος δημιουργεί, επίσης, τον άνεμο μέσω της διαφορικής θέρμανσης της επιφάνειας της γης,

δημιουργώντας την αιολική ενέργεια. Η ενέργεια που παράγεται από βιομάζα προέρχεται από φυτική ύλη μέσω της λειτουργίας της φωτοσύνθεσης, κι έτσι είναι εξαρτώμενη από τον ήλιο. Για την κατανόηση της μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια, σημειώνεται ότι η ανανεώσιμη βιομάζα περιλαμβάνει οποιοδήποτε βιολογικό υλικό (από τη γεωργία, τη δασοκομία, κ.λπ.), ως πρώτη ύλη προς χρήση (ETPs & EUFETEC, 2008) για την παραγωγή βιο-καυσίμων με βάση τον άνθρακα (European Commission: 2012).

Επομένως, η βιομάζα, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελούν ουσιαστικά δευτερεύουσες πηγές της ηλιακής ενέργειας (Timmons, Harris & Roach, 2014).

- **Άλλες ανεξάρτητες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

Από την άλλη πλευρά, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που δεν βασίζονται στην ηλιακή ενέργεια, περιλαμβάνουν τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία προέρχεται από τα έγκατα της γης, και την παλιρροιακή ενέργεια, η οποία είναι αποτέλεσμα της επιρροής που δέχεται η γη από το φεγγάρι (Timmons, Harris & Roach, 2014).

1.1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

- **Βιομάζα**

Η χρήση αυτής της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας συμβάλλει στην επίτευξη όχι μόνο της παραγωγής βιο-καυσίμων, αλλά βοηθά τα οικοσυστήματα να προσαρμοστούν στην κλιματική αλλαγή (ETPs & EUFETEC, 2008).

Ο Kircher (2012α & 2012β) έχει συγκρίνει τα ποσά του άνθρακα ορυκτής προέλευσης που χρησιμοποιείται σήμερα, με το διαθέσιμο ποσό μέσω της φωτοσύνθεσης. Υπάρχουν 3,3 δις τόνοι / έτος των συνολικών ποσών του πετρελαίου που παράγονται (εκ των οποίων το 92% χρησιμοποιείται για ενεργειακούς σκοπούς και το 8% για την παραγωγή χημικών ουσιών), καθώς και 7,2 δις τόνοι / έτος του άνθρακα ορυκτής προέλευσης (εκ των οποίων σχεδόν όλοι

χρησιμοποιούνται για ενεργειακούς σκοπούς) . Αυτά τα δεδομένα μπορούν να συγκριθούν με τους 105 δις τόνους / έτος άνθρακα μέσω της φωτοσύνθεσης, εκ των οποίων 7 δις τόνοι / έτος παράγονται από τη γεωργία και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφίμων, ζωοτροφών και ινών (και κάποιοι για παραγωγή ενέργειας και χημικών ουσιών). Ως εκ τούτου, δεν υφίσταται διαθέσιμη ποσότητα ικανή για την αντικατάσταση του πετρελαίου και των άλλων ορυκτών πόρων.

Οι Pan et al. (2011) έχουν υπολογίσει την καθαρή δέσμευση άνθρακα στα δάση σε $1,1 \pm 0,8$ δις τόνους / έτος. Η γεωργία και η δασοκομία από μόνες τους, ως εκ τούτου, δεν θα είναι σε θέση να αντικαταστήσουν το υπέρογκο ποσό του άνθρακα που χρησιμοποιείται σήμερα. Υπάρχουν, ωστόσο, άλλες μορφές βιομάζας, όπως μικρο- και μακρο- φύκια. Η χρήση των φυκιών είναι μέχρι στιγμής περιορισμένη, καθώς δεν αξιοποιούνται στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους, αλλά υπάρχουν προτάσεις ότι τα φύκια θα αποτελέσουν μια σημαντική πρώτη ύλη για αρκετές χημικές ουσίες, καθώς επίσης και για την παραγωγή ενέργειας (Mata et al., 2010; Wijffels & Barbosa, 2010).

- **Αιολική ενέργεια**

Όπως η βιομάζα και η υδροηλεκτρική ενέργεια, η αιολική ενέργεια έχει χρησιμοποιηθεί από τους αρχαίους χρόνους. Η σύγχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο είναι πολύ κοντά στο να γίνει ισότιμη με τις συμβατικές πηγές, όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Αλλά υπάρχει μια μεγάλη διαφορά μεταξύ του κόστους της αιολικής ενέργειας στις καλύτερες τοποθεσίες και στις λιγότερο κατάλληλες θέσεις (εξάρτηση από τον καιρό γενικά και τον άνεμο ειδικότερα). Η αιολική ενέργεια παράγεται από την ενέργεια, κατά την κίνηση του αέρα, και η παραγόμενη δυναμική ενέργεια ποικίλλει ανάλογα με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου (ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, π.χ. $2^3 = 8$ φορές περισσότερη δυναμική ενέργεια ή $3^3 = 27$ φορές περισσότερη ενέργεια). Έτσι, η αύξηση της δυναμικής ενέργειας, γενικά, συνεπάγεται μείωση του κόστους για μια δεδομένη ποσότητα ενέργειας. Κατ' επέκταση, πολύ περισσότερη ενέργεια παράγεται στις θυελλώδεις ημέρες σε αντίθεση με τις ήρεμες ημέρες (νηγεμία). Αυτό το χαρακτηριστικό της αιολικής ενέργειας, πρακτικά, δυσχεραίνει την

παραγωγή της, αν λάβουμε υπόψη το βαθμό στον οποίο η δυναμική ενέργεια εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου (Timmons, Harris & Roach, 2014).

- **Ηλιακή ενέργεια**

Η ηλιακή ενέργεια έρχεται στη γη λαμβάνοντας τρεις βασικές μορφές (Timmons, Harris & Roach, 2014):

- 1) Χαμηλής θερμοκρασίας ηλιακή θερμική ενέργεια,
- 2) Ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια (φωτοβολταϊκά - PV), και
- 3) Υψηλής θερμοκρασίας ηλιακή θερμική ενέργεια.

Οι εφαρμογές της «χαμηλής θερμοκρασίας ηλιακής ενέργειας» περιλαμβάνουν την ηλιακή θέρμανση νερού και την ηλιακή θέρμανση χώρου. Οι ακτίνες του ήλιου χτυπούν κάποια επιφάνεια, συνήθως μαύρη για μέγιστη ηλιακή απορρόφηση, που με τη σειρά της θερμαίνει τον αέρα ή το νερό. Ένα προστατευτικό στρώμα υαλοπινάκων βοηθά να διατηρούν τη θερμότητα που λαμβάνεται. Η ηλιακή θερμότητα μπορεί να αποθηκευτεί σε υψηλής μάζας υλικά όπως το νερό ή πέτρα. Αυτού του είδους η ηλιακή ενέργεια, τυπικά, χρησιμοποιείται σε απλές και δοκιμασμένες τεχνολογίες όπως ο ηλιακός θερμοσίφωνας. Ωστόσο, η ηλιακή θέρμανση χώρων αν και είναι επίσης δυνατή, ωστόσο η μηνιαία ζήτηση έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την προσφορά: η μεγαλύτερη ζήτηση είναι το χειμώνα, όταν υπάρχει η μικρότερη προμήθεια ηλιακής ενέργειας, και το καλοκαίρι η ζήτηση για ενέργεια θέρμανσης είναι πολύ χαμηλότερη. Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης χώρου απαιτούν σχεδόν πάντα κάποια συμπληρωματική πηγή θερμότητας, δεδομένου ότι το οριακό κόστος της συλλογής ηλιακής ενέργειας στα βάθη του χειμώνα είναι εξαιρετικά υψηλό. Η συμπληρωματική πηγή θέρμανσης προσθέτει επιπλέον κόστος στη χρήση ηλιακών συστημάτων θέρμανσης (Timmons, Harris & Roach, 2014).

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αντί της θερμότητας. Τα Φωτοβολταϊκά κύτταρα (PV) απασχολούν ημιαγωγίμο υλικό για να δημιουργήσουν μια ροή ηλεκτρικού ρεύματος προερχόμενη από το φως του ήλιου που

χτυπά επάνω τους. Αν και η τεχνολογία έχει πλέον αναπτυχθεί πολύ και αξιόπιστα, παραμένει ακριβή αυτή η πηγή ενέργειας σε σχέση με τις συμβατικές, ίσως και τρεις φορές πιο ακριβή σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, το κόστος της ηλιακής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά έχει μειωθεί σημαντικά, και προβλέπεται να μειωθεί περαιτέρω. Σε αντίθεση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά είναι άκρως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς διατίθεται σε σχεδόν άπειρες ποσότητες, και σχεδόν σε κάθε θέση (Timmons, Harris & Roach, 2014).

Η υψηλής θερμοκρασίας ηλιακή ενέργεια είναι ένα άλλο μέσο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για την παροχή θερμότητας, σε βιομηχανικές εφαρμογές. Σε μια τυπική εγκατάσταση, οι ακτίνες του ήλιου συγκεντρώνονται σε ένα κατοπτρικό συλλέκτη. Το συγκεντρωμένο φως κατευθύνεται σε ένα σημείο όπου η ενέργεια απορροφάται και διοχετεύεται σε ένα μέσο μεταφοράς, όπως είναι κάποιο έλαιο. Η υψηλή - θερμοκρασία του ελαίου, στη συνέχεια, δημιουργεί ατμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε συμβατικές ανεμογεννήτριες. Αν και αυτά τα συστήματα είναι πιο περίπλοκα από ό, τι η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, διαθέτουν πολλά κινούμενα μέρη, ενώ σε μεγάλη κλίμακα μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με λιγότερα έξοδα από ότι τα φωτοβολταϊκά, ιδίως σε ορισμένες περιοχές (Timmons, Harris & Roach, 2014).

- **Υδροηλεκτρική ενέργεια**

Η δύναμη του νερού είναι η μεγαλύτερη πηγή στον κόσμο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δημιουργώντας περίπου το 16% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας το 2008. Όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές, η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι μια φθηνή πηγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, συχνά φθηνότερη από ό, τι τα ορυκτά καύσιμα. Έτσι, η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει ήδη αναπτυχθεί εκτενώς σε πολλά μέρη του κόσμου. Η υδροηλεκτρική ενέργεια απαιτεί βροχόπτωση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - έτσι, οι ορεινές περιοχές παρέχουν τις καλύτερες προοπτικές για την παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την υδροηλεκτρική, εξαρτάται από τον όγκο του διαθέσιμου νερού, τη διάρκεια της ροής και την απόσταση κάθετης πτώσης του (ύψος). Έχοντας δεδομένη τη διάρκεια, οι άλλες δύο παράμετροι είναι αντιστρόφως ανάλογοι: για παράδειγμα,

μια δεδομένη ποσότητα ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με σχετικά μικρή ροή και από μεγάλο ύψος, ή με υψηλή ροή και από μικρό ύψος (Timmons, Harris & Roach, 2014).

- **Παλιρροιακή ενέργεια**

Αν και η παλιρροϊκή ενέργεια στην πραγματικότητα δημιουργείται από τη σεληνιακή δραστηριότητα και όχι την ηλιακή ενέργεια, η φύση της είναι παρόμοια με αυτή της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, όπως και με την υδροηλεκτρική ενέργεια, η παλιρροιακή ενέργεια παράγεται από έναν συνδυασμό απόστασης του νερού και της ροής, με ιδανικές τις τοποθεσίες – ωστόσο – που έχουν μεγάλη απόσταση και μεγάλη ροή. Μία μέθοδος για την αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας είναι η κατασκευή ενός φράγματος κατά μήκος του στομίου μίας εισόδου νερού. Το νερό μπορεί να ρέει και στις δύο κατευθύνσεις, όταν η παλίρροια έρχεται και φεύγει, και η ενέργεια θα παράγεται από τη ροή σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Η απόσταση αλλάζει συνεχώς με τις παλίρροιες, από τη μέγιστη υψομετρική διαφορά μεταξύ υψηλής και χαμηλής παλίρροιας τείνοντας έως και μηδενική, καθώς εξαρτάται από το φεγγάρι (Σελήνη) – οπότε είναι μη ελέγξιμη ως πηγή ενέργειας, όπως είναι και η αιολική (αδυναμία ελέγχου του καιρού ή της δραστηριότητας του φεγγαριού). (Timmons, Harris & Roach, 2014).

- **Γεωθερμική ενέργεια**

Όπως η βιομάζα και η ηλιακή ενέργεια, ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» στην πραγματικότητα αναφέρεται σε έναν αριθμό διαφορετικών τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται την θερμοκρασία των γεωθερμικών πόρων. Καθώς, η θερμοκρασία της γης αυξάνεται σταθερά όσο βαθαίνει προς το κέντρο της, ο πυρήνας της γης είναι στην πραγματικότητα τετηγμένος (λιωμένος). Για την αξιοποίηση της γεωθερμική ενέργειας, οι βασικοί παράμετροι είναι το πόσο υψηλή είναι η θερμοκρασία σε συνάρτηση με το βάθος, και πόσο εύκολα μπορεί να εξαχθεί η θερμότητα από το εκάστοτε βάθος (Timmons, Harris & Roach, 2014).

Η πιο οικονομική μορφή χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας, είναι το νερό που βρέθηκε κοντά στην επιφάνεια της γης σε θερμοκρασίες αρκετά υψηλές ώστε σχεδόν να βράζει. Τέτοια μέρη είναι οι Φιλιππίνες και η Ισλανδία, καθώς και άλλες χώρες κοντά σε όρια των τεκτονικών πλακών. Σε αυτές τις περιοχές, σχετικά ρηγά πηγάδια μπορούν να παράγουν ατμό με αρκετά υψηλή πίεση και υψηλή θερμοκρασία, ο οποίος μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση γεννητριών ατμού. Έτσι, η γεωθερμική ενέργεια είναι σχετικά χαμηλού κόστους, και σε αντίθεση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχει το πλεονέκτημα να είναι σε θέση να λειτουργεί συνεχώς, χωρίς διακοπή (σε αντίθεση π.χ. με την αιολική και την παλιρροιακή ενέργεια). Ωστόσο, αυτή η δυνατότητα περιορίζεται μόνον σε ενεργά σεισμικές περιοχές (Timmons, Harris & Roach, 2014).

Η παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας γίνεται, επίσης, χρησιμοποιώντας αντλίες θερμότητας των υπόγειων υδάτων. Σε τέτοια συστήματα, το νερό κυκλοφορεί μέσα από το έδαφος σε θερμοκρασίες πολύ χαμηλές για να θερμαίνουν άμεσα τα κτίρια, συνήθως γύρω στους 50oF (βαθμοί Φαρενάιτ), οπότε χρήζουν υποστήριξης. Όμως, οι αντλίες θερμότητας απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία των κινητήρων τους, αλλά η παραγωγή θερμότητας είναι έως και πέντε φορές περισσότερο από ό, τι η ηλεκτρική ενέργεια εισόδου (Timmons, Harris & Roach, 2014).

- **Συμπέρασμα**

Οι προβλέψεις για το κατά πόσον αυτές οι μορφές ενέργειας θα είναι σε θέση να συμβάλουν σημαντικά σε μια ελεύθερη οικονομία από ορυκτά ή όχι, αποτελούν μια μεγάλη πρόκληση (Staffas et al., 2013).

Για παράδειγμα, όχι μόνο η βιομάζα, αλλά και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να συμβάλουν σε ένα σύστημα ενέργειας με χαμηλές εκπομπές άνθρακα, αλλά ακόμη και με αυτές που περιλαμβάνονται, τα περιθώρια είναι μικρά και, εκτός από την αντικατάσταση όσο περισσότερου ορυκτού άνθρακα είναι δυνατόν με βιο-πόρους, είναι ζωτικής σημασίας να χρησιμοποιηθούν αυτοί οι πόροι με αποτελεσματικό τρόπο. Επίσης, σε ορισμένες πηγές, όπως η γεωθερμική, απαιτείται υποστήριξη και από άλλες πηγές. Έτσι, ενώ η θερμότητα που προέρχεται

από τεχνική άποψη από τη γη, είναι πιο ακριβής η δήλωση ότι οι αντλίες θερμότητας υπόγειων υδάτων αποτελούν, ουσιαστικά, έναν πολύ αποτελεσματικό τρόπο χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση. Από την άλλη, οι πιο ισχυρές και αποδοτικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως είναι η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, η παλιρροιακή και η αιολική, δεν δύναται να επιτευχθεί πλήρης έλεγχος της παραγωγής τους, αφού εξαρτώνται από παράγοντες που ξεπερνούν τα ανθρώπινα όρια (π.χ. ο καιρός, η σεληνιακή δραστηριότητα, κ.λπ.).

1.2. Αιολική Ενέργεια

Παρά το γεγονός ότι η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας πρωτοεμφανίστηκε πέντε χιλιάδες χρόνια πριν, η σύγχρονη κοινωνία βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά από τα ορυκτά καύσιμα για την κάλυψη των αναγκών της για ηλεκτρική ενέργεια. Από την άλλη πλευρά, κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριάντα ετών, η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και τα περιβαλλοντικά ζητήματα έχουν αναθερμάνει το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας (Kaldellis & Zafirakis, 2011).

1.2.1. Εισαγωγή στην Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια παράγεται από τη ροή του αέρα, με τη χρήση ανεμογεννητριών ή ιστίων, με σκοπό να παράγει μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μηχανικής και ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τα πανιά κυρίως για την ώθηση των πλοίων (ιστιοφόρων). Η αιολική ενέργεια ως εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα, χαρακτηρίζεται αστείρευτη, άφθονη, ανανεώσιμη, ευρέως διανεμόμενη και «καθαρή», αφού δεν παράγονται εκπομπές βλαβερών αερίων (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα) κατά την διαδικασία παραγωγής της, καθώς επίσης δεν απαιτεί την χρήση μεγάλης έκτασης γης (Fthenakis & Kim, 2009). Το βασικότερο όλων των πλεονεκτημάτων της, λοιπόν, είναι ότι η

παραγωγή της δεν επιφέρει βλαβερές επιπτώσεις στο περιβάλλον, σε αντίθεση με τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Από την άλλη πλευρά, τα αποκαλούμενα «αιολικά πάρκα» είναι οργανωμένες εκτάσεις γης, αποτελούμενες από πολλές μεμονωμένες ανεμογεννήτριες, οι οποίες συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως, η παραγωγή ενέργειας γίνεται οργανωμένα και σε μεγάλη ποσότητα, ενώ το κόστος χαρακτηρίζεται πολύ μικρότερο από τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. φυσικό αέριο) ή και από ορισμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. άνθρακας από βιομάζα, όπως τα φύκια). (Neslen, 2014; Walwyn & Brent, 2015).

Σε σύγκριση με την χερσαία παραγωγή αιολικής ενέργειας που αναλύθηκε ανωτέρω, η υπεράκτια παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι σταθερότερη και ισχυρότερη, και τα υπεράκτια αιολικά πάρκα έχουν μικρότερη οπτική εντύπωση, αλλά το κόστος κατασκευής και συντήρησής τους είναι αρκετά υψηλότερο. Έτσι, τα πιο συνήθη υφιστάμενα σήμερα αιολικά πάρκα είναι μικρά και είναι χερσαία, συνδυάζοντας χαμηλότερο κόστος με την ικανότητα να μπορούν να τροφοδοτήσουν με ορισμένη ενέργεια το βασικό δίκτυο ή, εναλλακτικά, συνδυάζοντας χαμηλότερο κόστος με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομονωμένες, εκτός δικτύου περιοχές (Gipe, 1993).

Γενικότερα, η παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι πολύ συνεπής σε μακροχρόνια διαστήματα, αλλά παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις σε μικρότερες χρονικές κλίμακες. Κατά συνέπεια, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας για να επιτευχθεί ένας αξιόπιστος εφοδιασμός ενέργειας (Holtinen et al., 2006; Abbess, 2009). Ωστόσο, εάν γίνεται μελετημένα και με ορθό τρόπο, η παραγωγή αιολικής ενέργειας μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να ξεπεράσει τα όποια προβλήματα (ESB National Grid, 2004; Armaroli & Balzani, 2011). Επιπλέον, η πρόγνωση του καιρού επιτρέπει την πρόβλεψη και αντιμετώπιση των σχετικών, αντίστοιχων διακυμάνσεων που συμβαίνουν κατά την παραγωγή (Platt, 2013; Platt, Fitch-Roy & Gardner, 2012; Huang J. & McElroy, 2014).

1.2.2. Ο Ρόλος της Αιολική Ενέργειας σήμερα

Η αιολική ενέργεια έχει γνωρίσει θεαματική ανάπτυξη κατά την τελευταία δεκαετία, λόγω της μείωσης του κόστους παραγωγής και των γενναιόδωρων κρατικών επιδοτήσεων.

Αυτές οι επιδοτήσεις παρέχουν μια σημαντική ροή εσόδων για όσους επενδύουν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ή αιολική ενέργεια: για παράδειγμα, παρέχουν περίπου το ήμισυ των εξόδων κατασκευής ενός αιολικού πάρκου. Οι επιδοτήσεις που καταβάλλονταν για τα αιολικά πάρκα ήταν της τάξης των 3 δις \$ το έτος 2010 (Cullen, χωρίς χρονολογία, σελ. 2).

Ειδικότερα, οι επιχορηγήσεις για την παραγωγή αιολικής ενέργειας, δικαιολογούνται από τα περιβαλλοντικά οφέλη της, διότι η αιολική ενέργεια από τις δεν παράγει κανένα από τους ρύπους που είναι κοινοί στις συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και του διοξειδίου του θείου (SO₂). Δεδομένης της έλλειψης της εθνικής νομοθεσίας για την προστασία του κλίματος της γης, οι επιδοτήσεις των ανανεώσιμων πηγών είναι πιθανό να είναι ένα σημαντικό μέσο άσκησης πολιτικής για τον μετριασμό της χρήσης του άνθρακα για κάποιο χρονικό διάστημα. Ενώ η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο χαρακτηρίζεται από μηδενικές εκπομπές ρύπων, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας μπορεί να μειώσει την συνολική ρύπανση, μέσα από τον συμψηφισμό της παραγωγής της με της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, το οριακό κόστος παραγωγής της αιολικής ενέργειας σε σύγκριση με το οριακό κόστος της ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, είναι πολύ χαμηλότερο. Κατ' επέκταση, με την εισαγωγή της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο, θα μειωθεί η παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα αφού κοστίζει πολύ περισσότερο (Cullen, χωρίς χρονολογία, σελ. 2).

Από την άλλη πλευρά, οι περισσότεροι τύποι γεννητριών ορυκτών καυσίμων (μη ανανεώσιμων πηγών ενεργείας) μπορούν να προσαρμόσουν την παραγωγή τους κατά βούληση, αν και ο χρόνος και το κόστος που σχετίζεται με τέτοιες προσαρμογές ποικίλλει. Αντίθετα, οι ανεμογεννήτριες (ανανεώσιμη πηγή ενέργειας), έχουν σχετικά περιορισμένο έλεγχο της παραγωγής, δεδομένου ότι δεν έχουν κανένα έλεγχο πάνω στην πηγή τους, δηλαδή τον άνεμο. Για παράδειγμα, σε μια ήρεμη μέρα (άπνοια), δεν μπορεί να παραχθεί ηλεκτρισμός, ενώ σε μια θυελλώδη ημέρα, οι ανεμογεννήτριες μπορούν είτε να αξιοποιήσουν πλήρως τις παραγωγικές τους ικανότητες, είτε να ελέγξουν την παραγωγή τους περιορίζοντάς την (λειτουργία «διαρροής αέρα») (Cullen, χωρίς χρονολογία, σελ. 9).

Από πλευράς δαπανών, σημειώνεται ότι σχεδόν όλες οι δαπάνες που συνδέονται με την παραγωγή αιολικής ενέργειας προκύπτουν κατά τη φάση κατασκευής και εγκατάστασης ενός

αιολικού πάρκου. Μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια 1MWh (μιας μεγαβατώρας) κοστίζει περίπου \$ 1 εκατομμύρια για την κατασκευή και εγκατάστασή της. Μετά την κατασκευή και την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών ενός αιολικού πάρκου, οι μόνες δαπάνες που αντιμετωπίζει οριακά το αιολικό πάρκο είναι αυτές που σχετίζονται με τη συντήρησή του λόγω φθορών που προκαλούνται από τη χρήση. Συνολικά, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι πολύ χαμηλό σε σύγκριση με αυτό των γεννητριών με ορυκτά καύσιμα ή ακόμα και των πυρηνικών εργοστασίων. Το υψηλό κόστος παγίου κεφαλαίου και το αμελητέο οριακό κόστος παραγωγής, δημιουργούν κίνητρα για τους χειριστές των αιολικών πάρκων όσον αφορά στην μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη διαθεσιμότητα του ανέμου (Cullen, χωρίς χρονολογία, σελ. 9; Wiser & Barbose, 2008).

1.3. Ιστορική Ανασκόπηση ανεμογεννητριών

Αν και οι απλούστερης μορφής συσκευές εκμετάλλευσης του ανέμου χρονολογούνται πριν από χιλιάδες χρόνια πριν, ήταν αιώνες πριν, όταν η τεχνολογία της αιολικής ενέργειας έκανε τα πρώτα της βήματα στην πραγματικότητα. Πιο συγκεκριμένα, κάθετου άξονα ανεμόμυλοι πρωτοβρέθηκαν στον Περσικό κόλπο των αφγανικών συνόρων γύρω στο 200 π.Χ., και μετά από πολύ αργότερα (1300-1875 μ.Χ.), ανεμόμυλοι οριζόντιου άξονα βρέθηκαν στις Κάτω Χώρες και στη Μεσόγειο (Fleming & Probert, 1984; Pasqualetti, Righter & Gipe, 2004; Musgrove, 2010).

Περαιτέρω εξέλιξη και τελειοποίηση των συστημάτων αυτών έγινε (βλπ. Εικόνα 2, σελ. 15 της εργασίας αυτής) στις ΗΠΑ κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα, όταν δηλαδή πάνω από 6 εκατομμύρια μικρά μηχανήματα χρησιμοποιούνταν για την άντληση του νερού, μεταξύ 1850 και 1970 (Dodge, χωρίς χρονολογία). Από την άλλη πλευρά, η πρώτη μεγάλη μηχανή εκμετάλλευσης του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν μια ανεμογεννήτρια με χαμηλή ταχύτητα και υψηλή σταθερότητα της τάξης των 12 kW, η οποία εγκαταστάθηκε στο Κλίβελαντ, στο Οχάιο (ΗΠΑ), το 1888 (Kaldellis & Zafirakis, 2011).

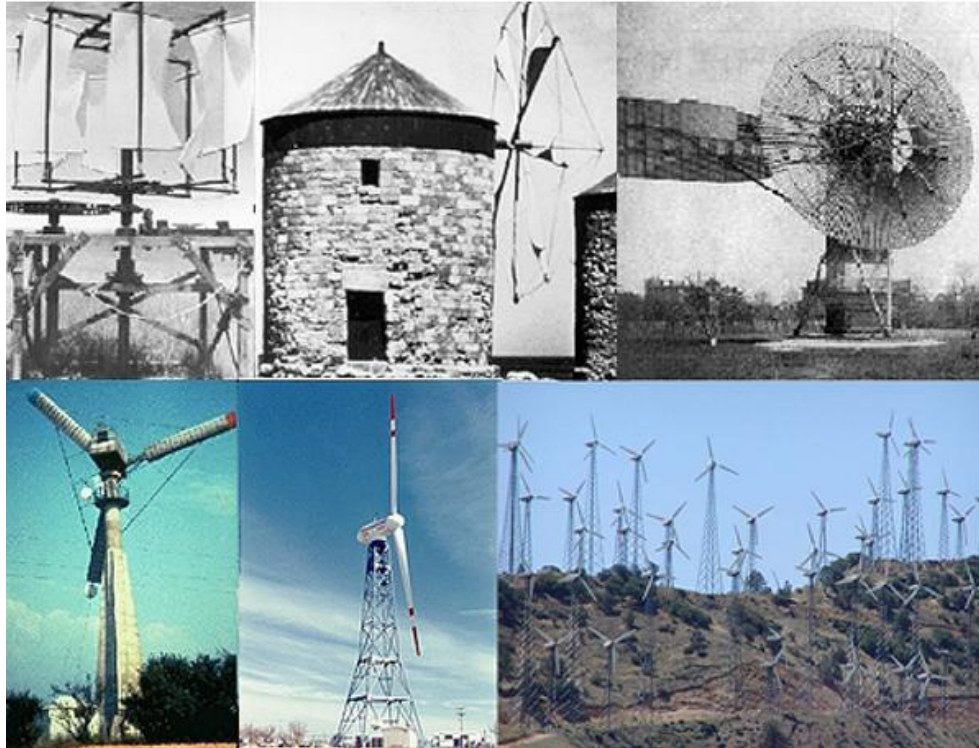
Στη συνέχεια του χρόνου, κατά τη διάρκεια των τελευταίων σταδίων πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου, η χρήση ανεμογεννητριών των 25 kW (κιλοβατώρων) ήταν πια

διαδεδομένη σε όλη τη Δανία (Meyer, 1995), ενώ η περαιτέρω ανάπτυξη των ανεμογεννητριών στις ΗΠΑ ήταν εμπνευσμένη εκείνη την περίοδο από το σχεδιασμό των ελίκων αεροπλάνων και των φτερών των μονοπλάνων. Οι επόμενες προσπάθειες στη Δανία, τη Γαλλία, τη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο (κατά την περίοδο μεταξύ 1935 και 1970) έδειξαν ότι πλέον θα μπορούσαν να κατασκευάσουν και να λειτουργήσουν μεγάλης κλίμακας ανεμογεννήτριες (Kaldellis & Zafirakis, 2011).

Οι εξελίξεις στον τομέα των ανεμογεννητριών στην Ευρώπη συνεχίστηκαν και μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Πιο αναλυτικά, στη Δανία, ο ανεμόμυλος Gedser των 200 kW (κιλοβατών) και με τρία πτερύγια στον ρότορά του, λειτούργησε με επιτυχία μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1960 (Meyer, 1995), ενώ στη Γερμανία, αναπτύχθηκαν μια σειρά από προηγμένα σχέδια ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα (Kaldellis & Zafirakis, 2011).

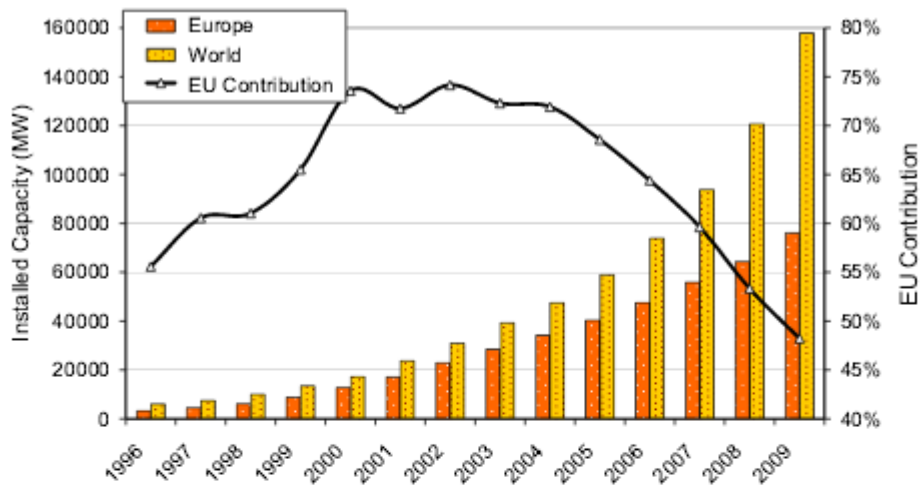
Από την άλλη πλευρά, ένα από τα πιο σημαντικά ορόσημα της ιστορίας της αιολικής ενέργειας συμπίπτει με τη συμμετοχή της κυβέρνησης των ΗΠΑ στην έρευνα και την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας (E & A) μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973 (Carmoy, 1978; Thomas & Robbins, 1980; Gipe, 1991). Μετά, κατά τη διάρκεια των ετών μεταξύ 1973 και 1986, η εμπορική αγορά των ανεμογεννητριών εξελίχθηκε από εγχώρια και γεωργικής χρήσης (ανεμογεννήτριες των 1-25 kW) σε βοηθητικές ανεμογεννήτριες διασυνδεδεμένες σε αιολικά πάρκα (ανεμογεννήτριες των 50-600 kW). Σε αυτό το πλαίσιο, η πρώτη μεγάλης κλίμακας διεύθυνση της αιολικής ενέργειας συναντάται στην Καλιφόρνια, όπου πάνω από 16.000 ανεμογεννήτριες, που κυμαίνονταν από 20 έως 350 kW (συνολικά 1,7 GW - γιγαβατώρες), εγκαταστάθηκαν το χρονικό διάστημα μεταξύ 1981 και 1990, ως αποτέλεσμα των κινήτρων που δόθηκαν από την κυβέρνηση των ΗΠΑ (Righter, 1996).

Στη βόρεια Ευρώπη, από την άλλη πλευρά, οι εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας αυξήθηκαν σταθερά με το πέρασμα της δεκαετίας του '80 και της δεκαετίας του '90, καθώς το υψηλότερο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και το εξαιρετικά υψηλό δυναμικό της αιολικής ενέργειας οδήγησαν στη δημιουργία μιας μικρής αλλά σταθερής αγοράς. Μετά το 1990, οι περισσότερες δραστηριότητες της αγοράς μετατοπίστηκαν προς την Ευρώπη (Ackermann & Söder, 2002), ενώ τα τελευταία είκοσι χρόνια η αιολική ενέργεια ήρθε στην πρώτη γραμμή της παγκόσμιας σκηνής σε όλες τις περιοχές του κόσμου (Kaldellis & Zafirakis, 2011), (βλπ. Εικόνα 3).

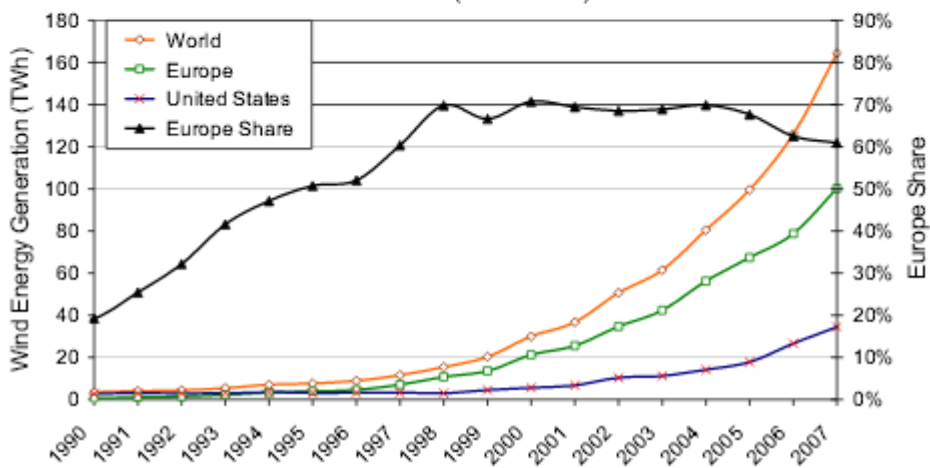


Εικόνα 3. Από τα πρώτα στάδια της εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας μέχρι το «ξέσπασμα της Καλιφόρνιας»

(Πηγή: Dodge, χωρίς χρονολογία, διαθέσιμο: <http://www.telosnet.com/wind/>, ανακτήθηκε 18.11.2015; Kaldellis & Zafirakis, 2011, σελ. 1888)



Twenty Year Time Evolution of Global Wind Energy Generation (1989-2007)



Εικόνα 4. Χρονική εξέλιξη της παγκόσμιας και της ευρωπαϊκής δυναμικότητας της αιολικής ενέργειας

(Πηγή: Dodge, χωρίς χρονολογία, διαθέσιμο: <http://www.telosnet.com/wind/>, ανακτήθηκε 18.11.2015; Kaldellis & Zafirakis, 2011, σελ. 1888)

2. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας (WPPs), (βλπ. Εικόνα 5), αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό ανεμογεννητριών (WTGs), ένα σύστημα συλλογής, υποσταθμούς συλλογής ή / και διασύνδεσης, με μηχανές που έχουν σχεδιαστεί για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση της αιολικής ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες εξελίχθηκαν από μικρές μηχανές με ονομαστική ισχύ εξόδου της τάξεως των κιλοβάτ, σε μηχανές πολλών μεγαβάτ, και από μηχανήματα με περιορισμένο έλεγχο ταχύτητας και άλλες δυνατότητες, σε μηχανές με διάφορες δυνατότητες ελέγχου ταχύτητας, με ένα ευρύ φάσμα στροφών και προηγμένες δυνατότητες ελέγχου, με τη χρήση σύγχρονων ηλεκτρονικών ισχύος. (Zavadil et al., 2005)

Η εφαρμογή των ανεμογεννητριών στα σύγχρονα αιολικά πάρκα, απαιτεί την κατανόηση ενός αριθμού διαφορετικών πτυχών που σχετίζονται με το σχεδιασμό και τις δυνατότητες των μηχανών που εμπλέκονται. Έτσι, στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι τύποι των διάφορων σχεδίων ανεμογεννητριών, καταταγμένοι με βάση τον τύπο της μηχανής τους, τις δυνατότητες έλεγχου της ταχύτητάς τους, σε συνδυασμό με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, την τάση τους, την άεργο ισχύ τους, τον συντελεστή ισχύος, τη συμπεριφορά κατά τη διάρκεια βραχυκυκλωμάτων κ.α. χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 5. Συγκρότημα ανεμογεννητριών

(Πηγή: <http://freeliff.com/pros-and-cons-of-wind-turbines/>, ανακτήθηκε 8.12.2015)

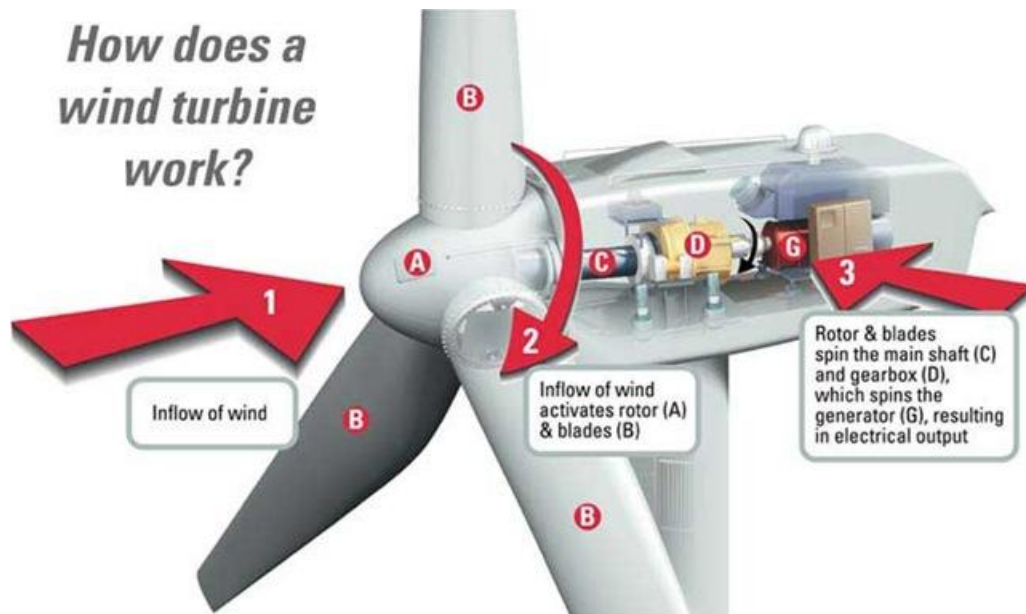
2.1. Κατασκευή Ανεμογεννητριών

Πριν την παρουσίαση και ανάλυση των τύπων και των λειτουργικών χαρακτηριστικών των ανεμογεννητριών, θα πρέπει αρχικά, να σημειωθεί η κατασκευή τους. Πιο συγκεκριμένα, οι ανεμογεννήτριες αποτελούνται από τρία βασικά μέρη (Murrye, no date):

- τα πτερύγια,
- το πόλο
- τη γεννήτρια

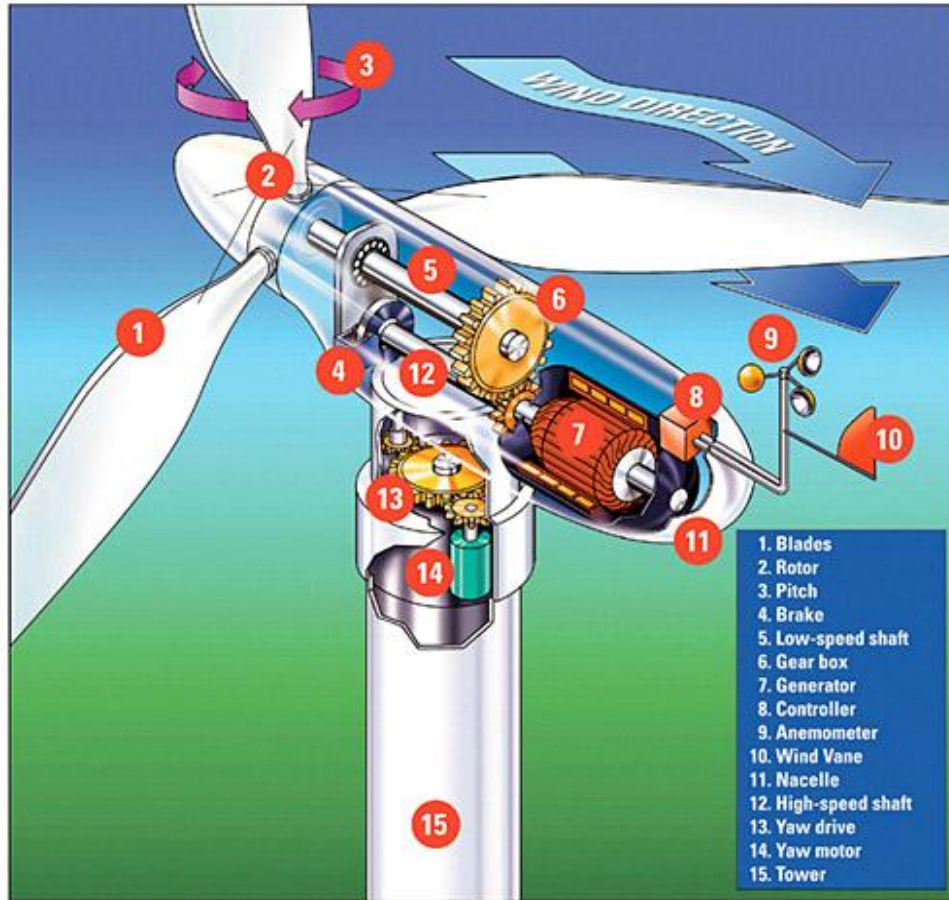
Τρεις μεγάλες λεπίδες (πτερύγια) αποτελούν τον έλικα, ο οποίος όταν ο άνεμος φυσάει, γυρίζει λόγω αυτών (για περισσότερες πληροφορίες κατασκευής των ανεμογεννητριών (βλπ. Εικόνες 6 και 7). Η ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο με αυτόν τον τρόπο, τροφοδοτεί τη γεννήτρια (μηχανή ή αλλιώς μοτέρ της ανεμογεννήτριας), η οποία παράγει ηλεκτρισμό που

μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω της μεταφοράς του, βάσει συνδεσιμότητας της ανεμογεννήτριας με ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 8). (Murrye, no date).



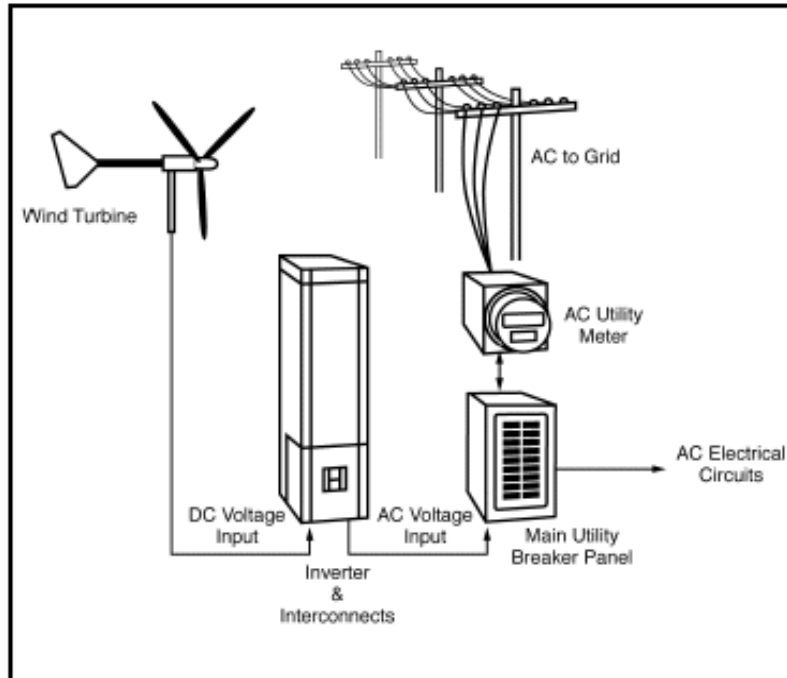
Εικόνα 6. Κατασκευή κεφαλής Ανεμογεννήτριας

(Πηγή: <http://freeliff.com/pros-and-cons-of-wind-turbines/>, ανακτήθηκε 8.12.2015)



Εικόνα 7. Κατασκευή συστήματος Αεμογεννήτριας

(Πηγή: <http://freeliff.com/pros-and-cons-of-wind-turbines/>, ανακτήθηκε 8.12.2015)



Εικόνα 8. Σχεδιάγραμμα σύνδεσης ανεμογεννήτριας με το δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού

(Πηγή: <http://freeliff.com/pros-and-cons-of-wind-turbines/>, ανακτήθηκε 8.12.2015)

2.2. Τύποι Ανεμογεννητριών

Η αρχή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας βασίζεται σε δύο γνωστές μεθόδους. Η πρώτη περιλαμβάνει τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του κινούμενου αέρα σε μηχανική ενέργεια. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση αεροδυναμικών πτερυγίων, ρότορα και μια ποικιλία μεθοδολογιών για τις μηχανικές ελέγχου της ισχύος. Η δεύτερη διαδικασία είναι η ηλεκτρο-μηχανική μετατροπή ενέργειας μέσω μιας γεννήτριας που μεταδίδεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τον μηχανικό έλεγχο ισχύος τους, και περαιτέρω να διαχωριστούν ανάλογα με τον έλεγχο της ταχύτητας τους (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).

Όλα τα πτερύγια της τουρμπίνας μετατρέπουν την κίνηση του αέρα μέσω των αεροτομών τους σε ροπή και στη συνέχεια ρυθμίζουν την εν λόγω ροπή σε μια προσπάθεια να συλλάβουν

όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια, αλλά αποφεύγοντας την πρόκληση βλάβης. Οι κορυφαίου επιπέδου ανεμογεννήτριες μπορούν να χαρακτηριστούν είτε (α) ως ρυθμιζόμενες με «στολάρισμα» (με ενεργό στολάρισμα ως βελτίωση), είτε (β) ρυθμιζόμενες με κλίση. (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).

α) Η ρύθμιση με στολάρισμα επιτυγχάνεται με τη διαμόρφωση των ελίκων του στροβίλου, έτσι ώστε η αεροτομή να παράγει λιγότερη αεροδυναμική δύναμη στην υψηλή ταχύτητα του ανέμου, και τελικά να στολάρει (σταματά), μειώνοντας έτσι τη ροπή του στροβίλου - αυτό είναι ένα απλό, φθινό και στιβαρό μηχανικό σύστημα.

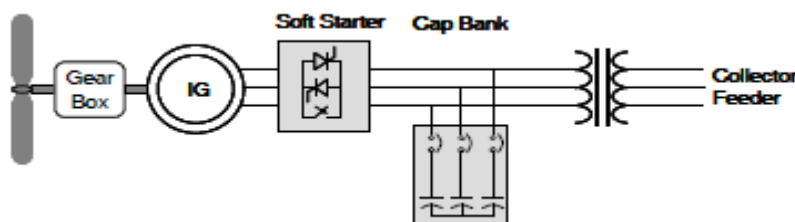
β) Η ρύθμιση με την κλίση, από την άλλη πλευρά, επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης συσκευών κλίσης στην πλήμνη της τουρμπίνας, οι οποίες συστρέφουν τα πτερύγια γύρω από το δικό τους άξονα. Καθώς αλλάζει η ταχύτητα του ανέμου, η λεπίδα παίρνει κλίση στη βέλτιστη γωνία για τον έλεγχο της ροπής, ώστε να απορροφά το μέγιστο της ενέργειας ή αυτο-προστασίας, που απαιτείται. Μερικές σύγχρονες ανεμογεννήτριες, είναι σε θέση να δίνουν κλίση σε κάθε λεπίδα ανεξάρτητα, για να επιτευχθούν πιο ισορροπημένες ροπές στον άξονα του ρότορα, δίνοντας διαφορές στην ταχύτητα του ανέμου στην κορυφή και στο κάτω μέρος των τόξων των πτερυγίων.

Πέρα από τη ρύθμιση της μηχανικής ισχύος, οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται περαιτέρω σε (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3):

- σταθερής ταχύτητας (Τύπου 1)
- περιορισμένης μεταβλητής ταχύτητας (Τύπος 2)
- μεταβλητής ταχύτητας:
 - με μερική μετατροπή ηλεκτρονικής ισχύος (Τύπος 3)
 - με πλήρη (Τύπος 4)

Οι διάφοροι τύποι ελέγχου ταχύτητας υλοποιούνται μέσω διαφόρων περιστρεφόμενων μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος και με τη χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων ισχύος. Υπάρχει ένας άλλος τύπος μηχανήματος, που αναφέρεται ως Τύπος 5, στον οποίο ένας μηχανικός μετατροπέας ροπής ανάμεσα στον άξονα χαμηλής ταχύτητας του ρότορα και τον άξονα υψηλής ταχύτητας της γεννήτριας, ελέγχει την ταχύτητα της γεννήτριας στην ηλεκτρική συγχρονισμένη ταχύτητα. Αυτός ο τύπος μηχανής χρησιμοποιεί μια σύγχρονη μηχανή, άμεσα

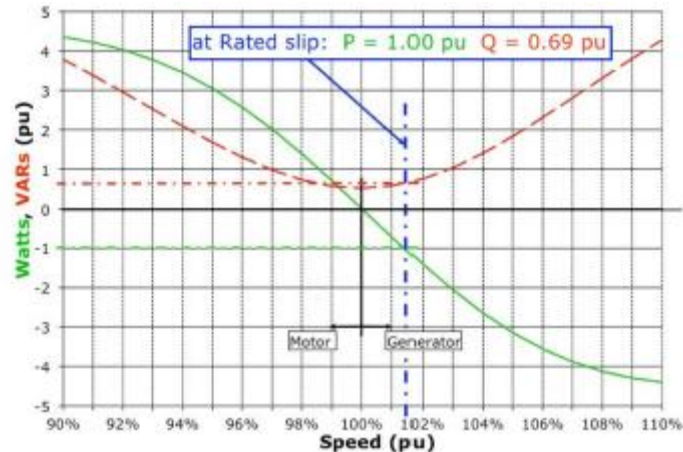
συνδεδεμένη με το δίκτυο μέσης τάσης. Η ανεμογεννήτρια Τύπου 1, έγκειται σε μια επαγωγική γεννήτρια κλωβού (SCIG) και συνδέεται με το μετασχηματιστή απευθείας (βλπ. Εικόνα 9). Η ταχύτητα του στροβίλου είναι σταθερή (ή σχεδόν σταθερή) με τη συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου της, και παράγει πραγματική ισχύ (P), όταν ο άξονας του στροβίλου περιστρέφεται πιο γρήγορα από τη συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου, δημιουργώντας αρνητική ολίσθηση (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).



Εικόνα 9. Τυπική Διαμόρφωση μιας ανεμογεννήτριας Τύπου 1

(Πηγή: IEEE - Camm et al., 2009, p. 2)

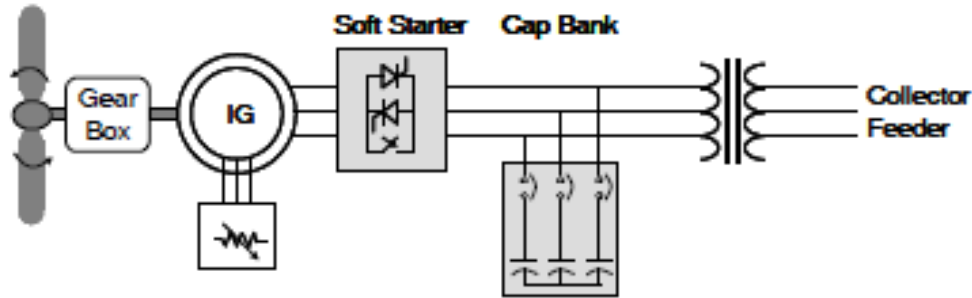
Η Εικόνα 10 δείχνει τη ροή ισχύος στο ακροκιβώτιο μιας επαγωγικής γεννήτριας κλωβού. Ενώ υπάρχει λίγη μεταβλητότητα στην παραγωγή με την ολίσθηση της μηχανής, οι ανεμογεννήτριες Τύπου 1, συνήθως, λειτουργούν είτε πολύ κοντά, είτε στην ονομαστική ταχύτητα. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της μηχανής επαγωγής είναι η άεργος ισχύς που καταναλώνει για το πεδίο διέγερσής της και τα μεγάλα ρεύματα που η μηχανή μπορεί να τραβήξει όταν «παίρνει μπρος» στα όριά της. Για να βελτιώσει αυτά τα αποτελέσματα, ο στροβίλος χρησιμοποιεί, συνήθως, ένα μαλακό εκκινητή (soft starter) και διακριτά βήματα πυκνωτών μέσα στο στροβίλο (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).



Εικόνα 10. Μεταβολή της πραγματικής και της άεργου ισχύς στην επαγωγική γεννήτρια

(Πηγή: IEEE - Camm et al., 2009, p. 2)

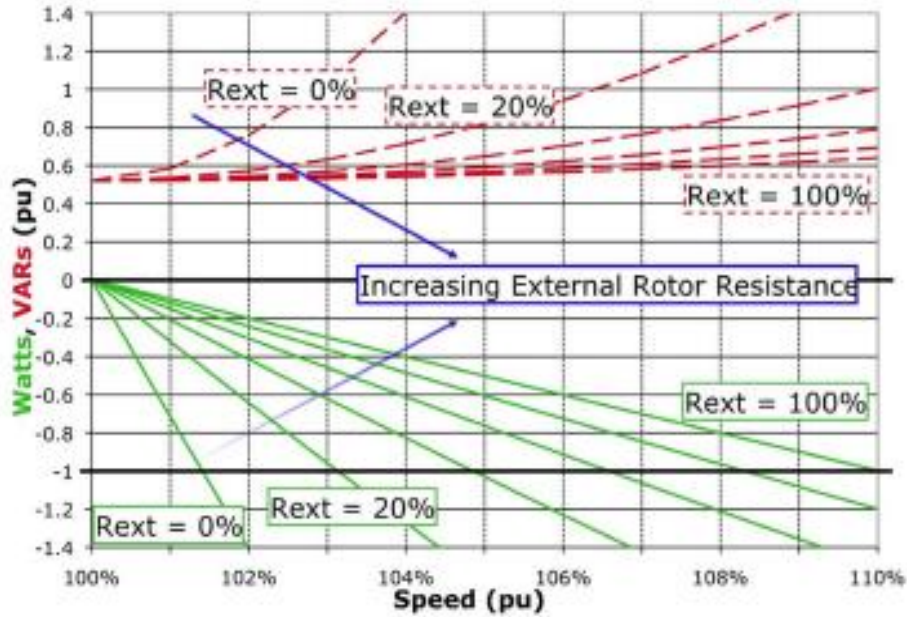
Στις ανεμογεννήτριες Τύπου 2, οι επαγωγικές γεννήτριες με ρότορα συνδέονται άμεσα στον μετασχηματιστή ανύψωσης της τάσης WTG, κατά τρόπο παρόμοιο με τον Τύπο 1, σε σχέση με το κύκλωμα μηχανών του στάτορα, αλλά περιλαμβάνουν επίσης μια μεταβλητή αντίσταση στο κύκλωμα του ρότορα (βλπ. Εικόνα 11). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μια σειρά αντιστάσεων και ηλεκτρονικών ισχύος, τοποθετημένων εξωτερικά του ρότορα, με ρεύματα που ρέουν μεταξύ των αντιστάσεων και του ρότορα μέσω δακτυλίων ολίσθησης. Εναλλακτικά, οι αντιστάσεις και τα ηλεκτρονικά, μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στον ρότορα, εξαλείφοντας τους δακτυλίους ολίσθησης - αυτό είναι το σχέδιο *Weier*. Οι μεταβλητές αντιστάσεις συνδέονται στο κύκλωμα του ρότορα απαλά και μπορούν να ελέγξουν τα ρεύματα του ρότορα αρκετά γρήγορα, έτσι ώστε να κρατούν σταθερή ισχύ ακόμη και σε συνθήκες ισχυρών ανέμων, και επιπλέον, μπορούν να επηρεάσουν τη δυναμική απόκριση του μηχανήματος, κατά τη διάρκεια διαταραχών στο πλέγμα.



Εικόνα 11. Τυπική Διαμόρφωση μιας ανεμογεννήτριας Τύπου 2

(Πηγή: IEEE - Camm et al., 2009, p. 2)

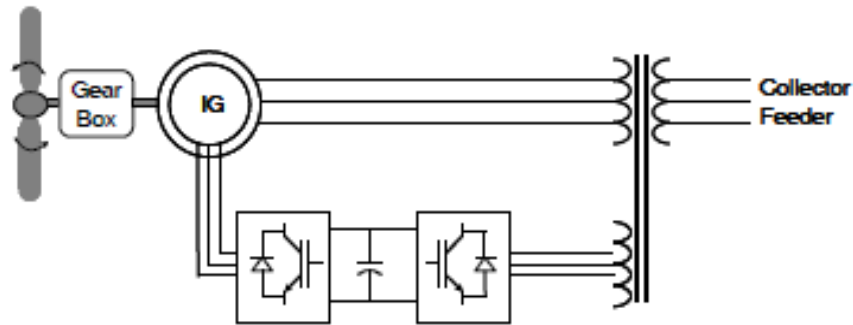
Με την προσθήκη αντίστασης στο κύκλωμα του ρότορα, η καμπύλη πραγματικής ισχύος, η οποία φαίνεται στην Εικόνα 10, μπορεί να "απλωθεί" στην υψηλότερη ολίσθηση και σε περιοχές υψηλότερης ταχύτητας (βλπ. Εικόνα 12). Αυτό σημαίνει ότι ο στρόβιλος θα πρέπει να περιστρέφεται γρηγορότερα για να δημιουργήσει την ίδια ισχύ εξόδου, για μια προστιθέμενη αντίσταση ρότορα. Αυτό επιτρέπει κάποια ικανότητα ελέγχου της ταχύτητας, με μηχανισμούς κλίσης των πτερυγίων και μετακίνηση της λειτουργίας των ανεμογεννητριών σε ένα ρυθμό ταχύτητας άκρων (ταχύτητα άκρων στην ταχύτητα ανέμου περιβάλλοντος), για να επιτευχθεί η καλύτερη σύλληψη ενέργειας. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι παραλλαγές ταχύτητας έως και 10% είναι δυνατές, επιτρέποντας κάποιο βαθμό ελευθερίας στη σύλληψη της ενέργειας και στον αυτο-προληπτικό έλεγχο της ροπής.



Εικόνα 12. Μεταβολή της πραγματικής και της άεργου ισχύος, με εξωτερική αντίσταση ρότορα σε μια ανεμογεννήτρια Τύπου 2

(Πηγή: IEEE - Camm et al., 2009, p. 2)

Η ανεμογεννήτρια Τύπου 3, κοινώς γνωστή και ως διπλής εισόδου γεννήτρια επαγωγής (DFIG) ή διπλής εισόδου ασύγχρονη γεννήτρια (DFAG), «πάει» τον σχεδιασμό Τύπου 2 στο επόμενο επίπεδο, με την προσθήκη μεταβλητής συχνότητας διέγερση εναλλασσόμενου ρεύματος (αντί της απλής αντίστασης) στο κύκλωμα του ρότορα. Η πρόσθετη διέγερση του ρότορα παρέχεται μέσω κινητών δακτυλίων από έναν ρυθμιζόμενο ρεύματος μετατροπέα τάσης-πηγής, ο οποίος μπορεί να προσαρμόσει το μέγεθος και τη φάση των ρευμάτων του ρότορα σχεδόν αυτοστιγμή. Αυτός ο μετατροπέας είναι συνδεδεμένος δίπλα-δίπλα με έναν πλευρικό μετατροπέα πλέγματος, ο οποίος ανταλλάσσει ρεύμα απευθείας με το δίκτυο (βλπ. Εικόνα 13). (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).



Εικόνα 13. Τυπική Διαμόρφωση της ανεμογεννήτριας Τύπου 3

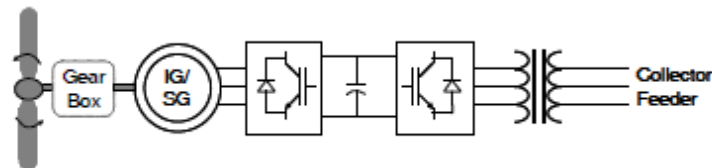
(Πηγή: IEEE - Camm et al., 2009, p. 3)

Μία μικρή ποσότητα ρεύματος, που εγχέεται στο κύκλωμα του ρότορα, μπορεί να επηρεάσει πολύ τον έλεγχο της ισχύος στο κύκλωμα του στάτορα. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα της διπλής εισόδου γεννήτριας επαγωγής – μεγάλο μέρος του ελέγχου της παραγωγής είναι διαθέσιμο με την παρουσία μιας σειράς μετατροπέων, οι οποίοι καλύπτουν τυπικά μόνο το 30% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής. Σε αντίθεση με την πραγματική ισχύ που παραδίδεται στο δίκτυο από το κύκλωμα του στάτορα της γεννήτριας, η ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο μέσω του διασυνδεδεμένου μετατροπέα, όταν η γεννήτρια κινείται γρηγορότερα από τη συγχρονισμένη ταχύτητα (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).

Όταν η γεννήτρια κινείται πιο αργά από την συγχρονισμένη ταχύτητα, η πραγματική ενέργεια πηγάει από το δίκτυο, μέσω και των δύο μετατροπέων, και από τον ρότορα στον στάτορα. Αυτές οι δύο λειτουργίες, καθίστανται δυνατές από την τεταρτοκυκλική φύση των δύο μετατροπέων, επιτρέποντας ένα πολύ ευρύτερο φάσμα ταχύτητας, τόσο πάνω όσο και κάτω από τη συγχρονισμένη ταχύτητα, έως και 50%, αν και τα στενότερα εύρη είναι πιο συχνά. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διπλής εισόδου γεννήτριας επαγωγής, είναι ότι προσφέρει τα οφέλη του χωριστού πραγματικού ελέγχου και της άεργου ισχύος, σαν μια παραδοσιακή σύγχρονη γεννήτρια, ενώ είναι σε θέση να λειτουργήσει και ασύγχρονα (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).

Το πεδίο των βιομηχανικών μονάδων έχει παραγάγει και εξελίξει τις έννοιες του φορέα προσανατολιζόμενου ελέγχου ή του τομέα των μηχανών επαγωγής. Χρησιμοποιώντας αυτά τα συστήματα ελέγχου, η ροπή που παράγουν τα εξαρτήματα που ελέγχουν την μαγνητική ροή του δρομέα, μπορούν να ανταποκριθούν αρκετά γρήγορα, οπότε το μηχάνημα παραμένει υπό

σχετικό έλεγχο, ακόμη και κατά τη διάρκεια σοβαρών διαταραχών του δικτύου. Πράγματι, καθώς είναι πιο ακριβείς από ό, τι οι γεννήτριες Τύπου 1 ή 2, οι ανεμογεννήτριες Τύπου 3 γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς λόγω των πλεονεκτημάτων τους (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).



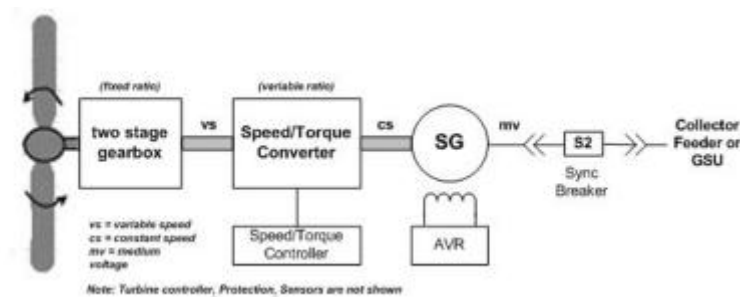
Εικόνα 14. Τυπική διαμόρφωση μιας ανεμογεννήτριας Τύπου 4

(Πηγή: IEEE - Camm et al., 2009, p. 3)

Η ανεμογεννήτρια Τύπου 4 (Εικόνα 14), προσφέρει μεγάλη ευελιξία στο σχεδιασμό και τη λειτουργία, καθώς η παραγωγή της περιστρεφόμενης μηχανής στέλνεται στο δίκτυο μέσω ενός πλήρους κλίμακας μετατροπέα συχνότητας. Ο στρόβιλος αφήνεται να περιστραφεί με τη βέλτιστη αεροδυναμική ταχύτητα, με αποτέλεσμα μια "άγρια" παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος από το μηχάνημα. Επιπλέον, το κιβώτιο ταχυτήτων μπορεί να εξαλειφθεί, έτσι ώστε η μηχανή να περιστρέφεται σε αργή ταχύτητα και να δημιουργεί μια ηλεκτρική συχνότητα πολύ χαμηλότερη από εκείνη του πλέγματος (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).

Αυτό δεν είναι πρόβλημα για την ανεμογεννήτρια Τύπου 4, καθώς οι μετατροπείς μετατρέπουν την ενέργεια και προσφέρουν τη δυνατότητα αντιδραστικής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο. Οι περιστροφικές μηχανές αυτού του τύπου έχουν κατασκευασθεί ως μηχανές συγχρονισμού με ρότορα, παρόμοιες με τις συμβατικές γεννήτριες που βρίσκονται σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς, με έλεγχο του ρεύματος πεδίου και υψηλά νούμερα αριθμού πόλων, ως σύγχρονες μηχανές μόνιμου μαγνήτη, ή ως μηχανές επαγωγικού κλώβου. Ωστόσο, με βάση την ικανότητα του μετατροπέα του μηχανήματος στον έλεγχο της πραγματικής και αντιδραστικής ροής ισχύος, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε τύπος μηχανής (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).

Οι πρόοδοι στις ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου, κατά την τελευταία δεκαετία, έχουν κάνει τους μετατροπείς να ανταποκρίνονται στις προσδοκίες και να είναι αποτελεσματικοί. Αξίζει να αναφερθεί, ωστόσο, ότι η ισχύς των ηλεκτρονικών μετατροπέων πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ξεπερνά την πλήρη ισχύ του περιστρεφόμενου μηχανήματος, καθώς και να διαθέτει κάθε ικανότητα που πρέπει να χρησιμοποιείται για την αντιστάθμιση της αέργου (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).



Εικόνα 15. Τυπική διαμόρφωση μιας ανεμογεννήτριας Τύπου 5

(Πηγή: IEEE - Camm et al., 2009, p. 3)

Η ανεμογεννήτρες Τύπου 5 (Εικόνα 15) αποτελούνται από ένα τυπικό είδος ανεμογεννητριών, με σύστημα κίνησης μεταβλητής ταχύτητας συνδεδεμένο με ένα μετατροπέα ροπής / ταχύτητας, σε συνδυασμό με μια σύγχρονη γεννήτρια. Ο μετατροπέας ροπής / ταχύτητας αλλάζει την μεταβλητή ταχύτητα του άξονα του ρότορα, σε μια σταθερή ταχύτητα εξόδου. Η συγχρονισμένη σύγχρονη γεννήτρια, που λειτουργεί σε μία σταθερή ταχύτητα (που αντιστοιχεί στη συχνότητα του δικτύου), μπορεί, στη συνέχεια, να συνδεθεί απευθείας με το δίκτυο μέσω ενός διακόπτη συγχρονισμού κυκλώματος (παραλληλισμός απευθείας με το δίκτυο). Η γεννήτρια αυτή μπορεί να σχεδιαστεί κατάλληλα για οποιαδήποτε επιθυμητή ταχύτητα (συνήθως 6 πόλων ή 4 πόλων) και τάση (συνήθως μέσης τάσης για υψηλότερες ικανότητες). Αυτή η προσέγγιση απαιτεί έλεγχο του μετατροπέα ροπής / ταχύτητας, μαζί με έναν τυπικό ρυθμιστή τάσης (AVR), ένα σύστημα συγχρονισμού, και ένα εγγενές σύστημα προστασίας της γεννήτριας μαζί με μια διασυνδεδεμένη συγχρονική γεννήτρια (IEEE - Camm et al., 2009, pp. 1-3).

2.3. Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Ανεμογεννητριών

Στην συνέχεια, περιγράφονται τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών σε συνδυασμό με τους διαφόρους τύπους τους.

2.3.1. Τάση, Άεργος Ισχύς και Ικανότητες Ελέγχου του Συντελεστή Ισχύος

Οι δυνατότητες ελέγχου της τάσης μιας ανεμογεννήτριας εξαρτώνται από τον τύπο της. Οι Τύπου 1 και Τύπου 2, δεν μπορούν τυπικά να ελέγξουν την τάση. Αντιθέτως, συνήθως, χρησιμοποιούν πυκνωτές διόρθωσης του συντελεστή ισχύος (PFCCs), για τη διατήρηση του συντελεστή ισχύος ή της αντιδραστηκής ισχύος εξόδου, στο ακροκιβώτιο χαμηλής τάσης, σε μια τιμή. Από την άλλη πλευρά, οι τύποι 3 έως 5 μπορούν να ελέγξουν την τάση. Αυτές οι ανεμογεννήτριες είναι ικανές να μεταβάλουν την άεργο ισχύ σε μια δεδομένη δραστική ισχύ και τάση εξόδου, κάτι που επιτρέπει τον έλεγχο της τάσης. Σε μια ανεμογεννήτρια Τύπου 3, η τάση ελέγχεται αλλάζοντας την άμεση συνιστώσα του ρεύματος του ρότορα (την συνιστώσα του ρεύματος που είναι σε σειρά με το ρότορα). (Kling & Slootweg, 2002).

Σε μια ανεμογεννήτρια Τύπου 4, ο έλεγχος της τάσεως επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας την συνιστώσα τετραγωνισμού (αντιδραστική) του ρεύματος στο δίκτυο του μετατροπέα. Για να καταστεί δυνατή η ικανότητα ελέγχου της τάσης, ο μετατροπέας πρέπει να αξιολογηθεί πάνω από το ονομαστικό δυναμικό σε MW της μηχανής. Δεδομένου ότι μια σύγχρονη γεννήτρια χρησιμοποιείται σε μια ανεμογεννήτρια Τύπου 5, ένας αυτόματος ρυθμιστής τάσης (AVR) απαιτείται τυπικά. Οι σύγχρονοι αυτόματοι ρυθμιστές τάσης (AVRs) μπορούν να προγραμματιστούν έτσι ώστε να ελέγχουν την άεργο ισχύ, ο συντελεστής ισχύος και η τάση. Οι δυνατότητες ελέγχου τάσης των μεμονωμένων ανεμογεννητριών χρησιμοποιούνται, συνήθως, για τον έλεγχο της τάσης στον συλλέκτη ή στην υψηλή πλευρά του κύριου μετασχηματιστή ρεύματος. Συνήθως, ένα κεντρικό χειριστήριο στο αιολικό πάρκο διαχειρίζεται τον έλεγχο της τάσης, μέσω επικοινωνίας με τις επιμέρους ανεμογεννήτριες (IEEE - Camm et al., 2009).

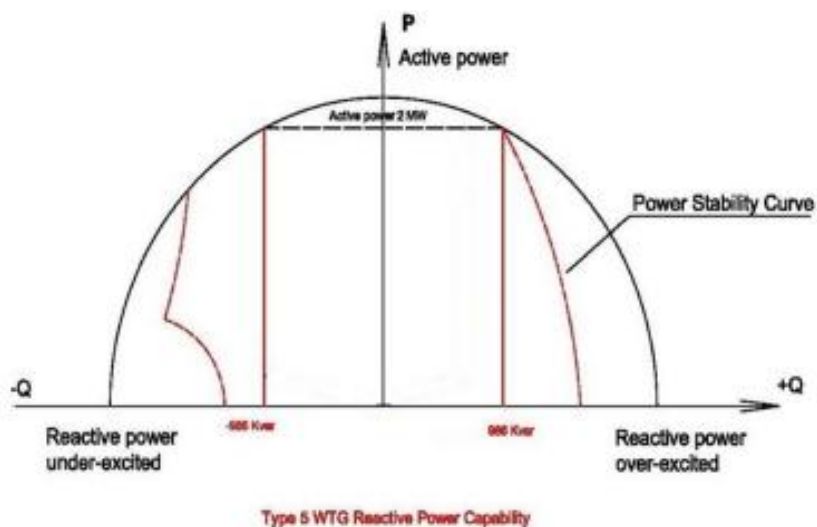
2.3.2. Δυνατότητες παραγωγής Αέργου Ισχύος

Οι δυνατότητες παραγωγής αέργου ισχύος των σύγχρονων ανεμογεννητριών είναι σημαντικές δεδομένου ότι τα περισσότερα δίκτυα απαιτούν να έχουν άεργη ισχύ στο σημείο της διασύνδεσης, με συγκεκριμένο εύρος συντελεστή ισχύος, για παράδειγμα 0,95 αρχικό (επαγωγικό) έως 0,95 υστερούν (χωρητικό). Οι τυπικές απαιτήσεις διασύνδεσης που σχετίζονται με την συνολική ικανότητα άεργου ισχύος έχουν μελετηθεί από τους (Wind Plant Collector System Design Working Group, 2009α).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι ανεμογεννήτριες Τύπου 1 και Τύπου 2, συνήθως, χρησιμοποιούν πυκνωτές διόρθωσης του συντελεστή ισχύος (PFCCs), για να διατηρήσουν τον συντελεστή ισχύος ή την άεργο ισχύ της μηχανής, σε ένα συγκεκριμένο σημείο ρύθμισης. Οι πυκνωτές διόρθωσης του συντελεστή ισχύος (PFCCs) μπορούν να διατηρούν έναν ελαφρώς επαγωγικό συντελεστή ισχύος περίπου στο 0,98, σε ονομαστική ισχύ εξόδου. Αυτό συχνά αναφέρεται ως αντιστάθμιση κενού. Με πλήρες φορτίο αντιστάθμιση, οι πυκνωτές διόρθωσης του συντελεστή ισχύος (PFCCs), αποκτούν μέγεθος ικανό να διατηρήσουν επαγωγικό συντελεστή ισχύος ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, έναν ελαφρώς υστερούντα (χωρητικό) συντελεστή ισχύος, στην ονομαστική ισχύ εξόδου του μηχανήματος. Οι πυκνωτές διόρθωσης του συντελεστή ισχύος (PFCCs), συνήθως, αποτελούνται από πολλών σταδίων πυκνωτές μεταγωγής, και ένα χαμηλής τάσης ρελέ εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο Τύπος 3 (DFIG) έχει συνήθως μια επαγωγική δυνατότητα ισχύος που αντιστοιχεί σε συντελεστή ισχύος 0,95 υστερούν (χωρητικό), που οδηγεί στο 0,90 (επαγωγικό) στα τερματικά των μηχανών. Οι επιλογές για τα μηχανήματα αυτά περιλαμβάνουν μια εκτεταμένη δυνατότητα παραγωγής άεργου ισχύος ήτοι συντελεστή ισχύος 0,90 επαγωγικού έως 0,90 χωρητικού. Μερικές ανεμογεννήτριες Τύπου 3 μπορούν να παραδώσουν άεργο ισχύ, ακόμα και όταν ο στρόβιλος δεν λειτουργεί μηχανικά, και ενώ καμία πραγματική ισχύς δεν παράγεται (IEEE - Camm et al., 2009).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι ανεμογεννήτριες Τύπου 4 μπορεί να ποικίλουν σε ισχύ μετατροπέα, επιτρέποντας τον έλεγχο του συντελεστή πραγματικής ισχύος των μηχανών, που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα. Οι αντιδραστικές καμπύλες των ορίων ισχύος, για διαφορετικά επίπεδα τελικής τάσης, είναι τυπικές. Μερικές ανεμογεννήτριες Τύπου 4, μπορούν να

παραδώσουν άεργο ισχύ, ακόμα και όταν ο στρόβιλος δεν λειτουργεί μηχανικά, και ενώ καμία πραγματική ισχύς δεν παράγεται. Οι συγχρονικές ανεμογεννήτριες Τύπου 5, έχουν εγγενείς, δυναμικές, ικανότητες παραγωγής άεργου ισχύος, παρόμοιες με εκείνες των Τύπου 3 και 4 (βλπ. Εικόνα 16). Ανάλογα με τον σχεδιασμό της γεννήτριας, ο συντελεστής ισχύος σε ονομαστική ισχύ μπορεί να κυμαίνεται από 0,8 έως 0,8, ή αντίστοιχα 0.9-0.9. Σε παραγόμενη ισχύ κάτω από την ονομαστική, η άεργος ισχύς περιορίζεται μόνο από το στροφείο ή τη θέρμανση του στάτη, όσον αφορά στη σταθερότητα και στις τοπικές συνθήκες τάσης, και είναι απίθανο να απαιτηθούν πυκνωτές διόρθωσης του παράγοντα ισχύος (PFCCs). Όπως με κάποιες ανεμογεννήτριες Τύπου 3 και 4, είναι επίσης δυνατό να λειτουργήσει το μηχάνημα ως συγχρονισμένος πυκνωτής, απαιτώντας ελάχιστη ενεργό ισχύ εξόδου, με ρυθμιζόμενα επίπεδα άεργου ισχύος εξόδου (IEEE - Camm et al., 2009).



Εικόνα 16. Δυνατότητες τροφοδοσίας της ανεμογεννήτριας με άεργο ισχύ σε γεννήτριες Τύπου 5 των 2 MW

(Πηγή: IEEE - Camm et al., 2009, σελ. 4)

2.3.3. Εσωτερική Τάση (Voltage Ride-Through)

Οι δυνατότητες εσωτερικής τάσης (VRT) των ανεμογεννητριών ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό και έχουν εξελιχθεί με βάση τις απαιτήσεις των διάφορων δικτύων για αυτόματη επανασύνδεση των ανεμογεννητριών. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι εσωτερικές απαιτήσεις χαμηλής τάσης (LVRT) που προβλέπονται στην Οδηγία FERC 661-A (2005), ζητούν εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας που να οδηγούν, μέσα από μια τριφασική εγκατάσταση, στην υψηλή πλευρά του μετασχηματιστή του υποσταθμού έως και 9 κύκλους (προσπάθειες επανασύνδεσης της γεννήτριας), ανάλογα με τον πρωτογενή χρόνο εκκαθάρισης της βλάβης, διακόπτοντας τους διακόπτες ισχύος. Δεν υπάρχει καμία απαίτηση υψηλής τάσης (HVRT) στο FERC 661-A (2005), αλλά κάποιες πιστοποιήσεις ISO / ETO έχουν στη διαδικασία επιβολής τους μια τέτοια απαίτηση. Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, επίσης, οι ανεμογεννήτριες υποχρεούνται να αγγίζουν επίπεδα υψηλής τάσης έως και 110% της ονομαστικής τους τάσης στο POI (Wind Plant Collector System Design Working Group, 2009β).

Μερικές από τις ανεμογεννήτριες Τύπου 1, έχουν περιορισμένη ικανότητα εσωτερικής τάσης (VRT) και μπορεί να απαιτήσουν ένα κεντρικό σύστημα αντιστάθμισης άεργου ισχύος για την πλήρη κάλυψη της ικανότητας αυτής. Πολλές ανεμογεννήτριες Τύπου 2, 3, και 4, έχουν δυνατότητες VRT και ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της Οδηγίας FERC 661, η οποία εκδόθηκε πριν από την Οδηγία FERC 661-A. Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες αναμένεται τελικά θα καλύπτουν τις απαιτήσεις FERC 661-A. Ιδίως η VRT των ανεμογεννητριών Τύπου 5 είναι παρόμοια κατά πολύ με εκείνη των διασυνδεδεμένων σύγχρονων γεννητριών (Wind Plant Collector System Design Working Group, 2009β; IEEE - Camm et al., 2009).

Τέλος, σημειώνεται ότι οι δυνατότητες του συστήματος αυτόματης διέγερσης (Automatic Voltage Regulator) και η φυσική σχεδίαση της γεννήτριας (σταθερές μηχανής, σταθερές χρόνου), θα καθορίσουν τη βασική απόδοση μιας σύγχρονης γεννήτριας κατά τη διάρκεια μεταβατικών συνθηκών (IEEE - Camm et al., 2009).

2.4. Αιολικά πάρκα

Ένα αιολικό πάρκο ή Αιολικός Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΣΠΗΕ, ουσιαστικά, είναι μια ομάδα ανεμογεννητριών, εγκατεστημένων στην ίδια τοποθεσία, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενέργεια. Ένα μεγάλο αιολικό πάρκο μπορεί να αποτελείται από αρκετές εκατοντάδες επιμέρους ανεμογεννήτριες και καλύπτει μια μεγάλη – αντίστοιχα – έκταση. Ωστόσο, η περιοχή αυτή δύναται παράλληλα να χρησιμοποιηθεί για γεωργικούς ή άλλους σκοπούς. Ένα αιολικό πάρκο μπορεί, επίσης, να βρίσκεται στην ανοιχτή θάλασσα (Al-Shemmeri, 2010).

Πολλά από τα μεγαλύτερα εταιρικά χερσαία αιολικά πάρκα βρίσκονται στη Γερμανία, την Κίνα και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο στον κόσμο, είναι το Αιολικό Πάρκο Γκανσού στην Κίνα και είχε χωρητικότητα πάνω από 6.000 MW ισχύος το 2012, έχοντας ως στόχο τα 20.000 MW μέχρι το 2020 (Watts & Huang, 2012). Το Ενεργειακό Κέντρο Alta Wind, από την εταιρεία Terra-Gen, στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών, είναι το μεγαλύτερο χερσαίο αιολικό πάρκο μετά της Κίνας, με χωρητικότητα 1.020 MW (<http://www.terra-gen.com/>, ανακτήθηκε 12.12.2015). Από τον Απρίλιο του 2013, η MB London Array 630 με έδρα το Ηνωμένο Βασίλειο, είναι το μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό πάρκο στον κόσμο (<http://energy-engineer.blogspot.tw/2014/01/london-array.html>, ανακτήθηκε 12.12.2015).

Κατά γενικό κανόνα, οι ανεμογεννήτριες απαιτούν ελάχιστη ταχύτητα ανέμου της τάξης των 16 χλμ/ώρα (10 mph) ή μεγαλύτερη. Η ιδανική τοποθεσία εγκατάστασης αιολικού πάρκου χαρακτηρίζεται από μια σχεδόν σταθερή ροή ανέμου, χωρίς αναταράξεις ή διακοπές, κατά τη διάρκεια του έτους, με ελάχιστη πιθανότητα ξαφνικών ισχυρών εκρήξεων ανέμου. Ένας σημαντικός παράγοντας, εκτός από τη χωροθέτηση, είναι και η πρόσβαση στην τοπική ζήτηση ή την ικανότητα μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως, οι υποψήφιες τοποθεσίες ελέγχονται βάσει ενός άτλαντα ανέμου, ενώ επικυρώνονται με μετρήσεις του επιτοπίως, καθώς τα μετεωρολογικά δεδομένα περί ανέμου από μόνα τους δεν είναι, συνήθως, αρκετά για την ακριβή χωροθέτηση ενός μεγάλου αιολικού πάρκου. Η συλλογή των συγκεκριμένων στοιχείων για την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνσή του, είναι ζωτικής σημασίας για τον προσδιορισμό πιθανής θέσης εγκατάστασης, αλλά και προκειμένου να λάβει

το έργο χρηματοδότηση. Έτσι, οι τοπικοί άνεμοι, συχνά, παρακολουθούνται για ένα χρόνο ή περισσότερο, και λεπτομερείς χάρτες ανέμου κατασκευάζονται πριν από την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου (EWEA, 2012, p. 32-35).

Το πρώτο αιολικό πάρκο στον κόσμο ήταν της τάξης μόλις των 0,6 MW, αποτελούμενο από 20 ανεμογεννήτριες, ισχύος 30 κιλοβάτ η κάθε μία, και ήταν εγκατεστημένο στο όρος Crotched Mountain στο Southern New Hampshire, από το Δεκέμβριο του 1980 (<http://www.umass.edu/windenergy/about/history/alumni>, ανακτήθηκε 12.12.2015).

Η χερσαίες εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων ή ανεμογεννητριών σε λοφώδεις ή ορεινές περιοχές τείνουν να είναι σε κορυφογραμμές, γενικά τρία χιλιόμετρα και άνω, εσωτερικά από την πλησιέστερη ακτή. Αυτό γίνεται για να εκμεταλλευτούν την τοπογραφική επιτάχυνση, καθώς ο άνεμος επιταχύνεται σε μια κορυφογραμμή. Οι επιπλέον ταχύτητες ανέμου που αποκτούνται με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να αυξήσουν την ενέργεια που παράγεται, επειδή περνά περισσότερη αιολική ενέργεια μέσα από τις ανεμογεννήτριες. Η ακριβής θέση της κάθε ανεμογεννήτριας είναι συγκεκριμένη, καθώς η διαφορά π.χ. των 30 μέτρων θα μπορούσε δυνητικά να διπλασιάσει την παραγωγή (βλπ. Al-Shemmeri, 2010).

Η Ευρώπη είναι ο ηγέτης στον τομέα της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας, ενώ το πρώτο υπεράκτιο αιολικό πάρκο είναι εγκατεστημένο στη Δανία από το 1991. Από το 2010, υπάρχουν 39 υπεράκτια αιολικά πάρκα στα ανοικτά ύδατα των χωρών του Βελγίου, της Δανίας, της Φινλανδίας, της Γερμανίας, της Ιρλανδίας, της Ολλανδίας, της Νορβηγίας, της Σουηδίας και του Ηνωμένου Βασιλείου, με συνολική λειτουργική ικανότητα 2.396 MW (Eco_Editor, 2015; <http://www.whatgr.com/bo/th-boreia-8alassa.html>, ανακτήθηκε 12.12.2015).

Στις μέρες μας, προτείνονται ή είναι υπό ανάπτυξη στην Ευρώπη, υπεράκτια έργα με περισσότερα από 100 GW (ή 100.000 MW). Η Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας έχει θέσει ως στόχο την εγκατάσταση των 40 GW μέχρι το 2020 και των 150 GW έως το 2030 (http://www.eesi.org/files/offshore_wind_101310.pdf, ανακτήθηκε 12.12.2015).

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες είναι λιγότερο ενοχλητικές από τις χερσαίες ανεμογεννήτριες, όπως είναι προφανές, λόγω του μεγέθους και του θορύβου τους που μετριάξεται από την απόσταση, ενώ έχουν κι άλλα πλεονεκτήματα (Garvine & Kempton, 2008).

Επιπλέον, εδώ και αρκετό καιρό, έχουν μελετηθεί πιλοτικά τα αερομεταφερόμενα αιολικά πάρκα, τα οποία ουσιαστικά αποτελούν ομάδες αερομεταφερόμενων συστημάτων αιολικής ενέργειας σε ίδιες τοποθεσίες, που συνδέονται με το δίκτυο στο ίδιο σημείο (Goldstein, 2014).

3. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (ειδικότερα στο Αιγαίο)

Η Ευρώπη έχει αναπτύξει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αιολική, εδώ και αρκετά χρόνια, και κυρίως η Γερμανία, η Ισπανία, η Δανία και η Γαλλία. Επίσης, πολλές άλλες χώρες, όπως η Κίνα και η Ινδία, καθώς και οι ΗΠΑ, παράγουν αιολική ενέργεια. (Murrye, no date).

Όπως προαναφέρθηκε και στον πρόλογο της εργασίας αυτής, η βιομηχανία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα εξυπηρετεί τις ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια της ηπειρωτικής χώρας και των πολυάριθμων απομονωμένων νησιών. Ωστόσο, η ανάπτυξη των ΑΠΕ έχει συμπεριληφθεί, πια, στην σημερινή ενεργειακή πολιτική της χώρας μας, ιδίως κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 ετών (Hammons & Styczynski, 2006; *Financial Instruments and Economic incentives for Energy Investments*, διαθέσιμο: http://www.cres.gr/kape/epixeiriseis_ependites_uk.htm, ανακτήθηκε 18.11.2015). Όμως, η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας αντιμετωπίζει στην Ελλάδα σημαντικές δυσκολίες, όπως είναι η χρονοβόρα και δύσκολη διαδικασία αδειοδότησης, και η δύσκολη πρόσβαση σε χρηματοδότηση, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικές καθυστερήσεις στην διάδοση της εκμετάλλευσής της (Kabouris & Hatziargyriou, 2006, σελ.1).

Όπως και να έχει, ο αναμενόμενος αντίκτυπος της μεγάλης διείσδυσης αιολικής ενέργειας που αναμένεται, πλέον, θα επηρεάσει σημαντικά όχι μόνον την υφιστάμενη βιομηχανία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, αλλά και θα αναδύσει νέες προκλήσεις για την ίδια την ελληνική οικονομία (Kabouris & Hatziargyriou, 2006).

Σε αυτήν τη ενότητα, λοιπόν, διερευνώνται οι προοπτικές που αφορούν την αιολική ενέργεια και τις ανεμογεννήτριες ειδικότερα, στην περίπτωση της Ελλάδας. Επιπλέον, η μελέτη επικεντρώνεται περεταίρω στην περιοχή του Αιγαίου Πελάγους. Έτσι, παρουσιάζονται τα

διαθέσιμα αριθμητικά στοιχεία, ενώ στη συνέχεια, αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών.

3.1. Αριθμητικά στοιχεία

Η αιολική ενέργεια συνεχίζει να «αναπτύσσεται δυναμικά» στην Ελλάδα, όπως επισημαίνει ο Ελαφρός (2015), ενώ αναμένεται να αναπτυχθεί «με ακόμα πιο αλματώδη ρυθμό». Το 2014, η συνολική αιολική ισχύς που εγκαταστάθηκε ανήλθε στα 113,9 μεγαβάτ (MW), σημειώνοντας μια ελάχιστη μείωση σε σχέση με το προηγούμενο έτος, δηλαδή το 2013. Επίσης, με βάση τα δεδομένα της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ), στο τέλος του 2014, «βρίσκονταν ήδη υπό κατασκευή ή είχαν αποκτήσει συμβόλαιο νέα αιολικά πάρκα, συνολικής ισχύος 246,5 MW». Η συνολική αυτή ισχύς αναμένεται να προστεθεί μέσα στο έτος που διανύουμε, δηλαδή το 2015, στο συνολικό δυναμικό της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας. Το πλήθος των ανεμογεννητριών που ξεκίνησαν να λειτουργούν το 2014 συν του πλήθους του 2015, όπως επισημαίνει ο ειδικός ότι δήλωσε η Ένωση (ΕΛΕΤΑΕΝ), «αποδεικνύει την αναπτυξιακή δυναμική και τις προοπτικές των αιολικών επενδύσεων στην Ελλάδα, που υλοποιούνται προσφέροντας απασχόληση και εισόδημα σε μια κρίσιμη περίοδο για την ελληνική οικονομία, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων του 2020 και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και της προστασίας του περιβάλλοντος.» (Ελαφρός, 2015).

Πιο αναλυτικά, τα δεδομένα της ΕΛΕΤΑΕΝ, που πηγάζουν από τις εταιρικές επενδύσεις στον κλάδο, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Ελαφρός, 2015; <http://energyin.gr/2015/02/02/%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%BC%CE%B7%CE%BD%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B9%CF%82-%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81/>, ανακτήθηκε 8.12.2015):

- «το σύνολο της αιολικής ισχύος στα τέλη του 2014 ήταν 1.979,8 MW, αυξημένο κατά 6,5% σε σχέση με το 2013.

- απ' αυτά, στο διασυνδεδεμένο σύστημα βρίσκονται 1.663,5 MW, ενώ 316 MW έχουν αναπτυχθεί στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- σε επίπεδο περιφερειών, στη Στερεά Ελλάδα έχουν αναπτυχθεί οι περισσότερες ανεμογεννήτριες (με μεγάλη συγκέντρωση στην Εύβοια) και φέρουν αιολική ισχύ 602,8 MW (30,6%), ακολουθεί η Πελοπόννησος με 367,95 MW (18,6%) και η Ανατολική Μακεδονία – Θράκη όπου βρίσκονται 282,55 MW (14,3%)».



Εικόνα 17. Διαχρονική πορεία εξέλιξης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

(Πηγή: Ελαφρός (2015), διαθέσιμο: <http://www.kathimerini.gr/801321/article/epikairothta/perivallon/h-aiolikh-energeia-anaptyssetai-dynamika>, ανακτήθηκε 8.12.2015)

Η συνεχής εξελικτική, διαχρονική πορεία της αιολικής ενέργειας (βλπ. Εικόνα 17) χαρακτηρίζεται ως «εντυπωσιακή», σύμφωνα με τον Ελαφρό (2015), ο οποίος, αιτιολογώντας

τον συγκεκριμένο χαρακτηρισμό, επισημαίνει τα εξής βασιζόμενος και σε άλλες πηγές (<http://energyin.gr/2015/02/02/%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%BC%CE%B7%CE%BD%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B9%CF%82-%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81/>, ανακτήθηκε 8.12.2015):

«Αν και η Ελλάδα ήταν μια από τις πρώτες χώρες του κόσμου στις οποίες τοποθετήθηκαν ανεμογεννήτριες, το 1986-87 (με ισχύ 0,8 MW), η συνέχεια δεν ήταν ανάλογη. Το 1990, η εγκατεστημένη αιολική ισχύς ήταν μόλις 1,5 MW, το 1991 3,9 MW, για να κλείσει η τελευταία δεκαετία του 20ού αιώνα με μόλις 106,8 MW, το 1999. Μετά το 2000, άρχισε η πιο δυναμική περίοδος, με τοποθέτηση από 50 έως 100 MW το έτος, ενώ την τριετία 2005, 2006, 2007 τοποθετούνταν πάνω από 120-150 MW το έτος. Επενδυτικό μπουμ εν μέσω της κρίσης έγινε τη διετία 2010 (180 MW εγκαταστάθηκαν εκείνη τη χρονιά) και 2011, όπου τέθηκαν σε λειτουργία 310 MW αιολικής ενέργειας. Με βάση τα στοιχεία που έχουμε, ήδη, για τα αιολικά πάρκα που βρίσκονται υπό κατασκευή ή έχουν ήδη συμβολαιοποιηθεί, το 2015 θα είναι μια από τις πιο δυναμικές χρονιές στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας».

Ειδικότερα, όσον αφορά στις ανεμογεννήτριες και τις προοπτικές τους στην Ελλάδα, χαρακτηριστικά είναι τα αριθμητικά στοιχεία του 2012 από την στατιστική έρευνα της ΕΛΕΤΑΕΝ (HWEA Wind Statistics – HWD2012), που θέτουν το σύνολο της αιολικής ισχύος για το 2012 και την κατανομή της ως ακολούθως – δηλαδή, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Σύνολο και Κατανομή της αιολικής ισχύος το 2012

Κατανομή Ισχύος 2012	Αριθμητικά Στοιχεία Ισχύος 2012
Συνολική αιολική ισχύς (σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία)	1746 MW
Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά	284,6 MW
Διασυνδεδεμένο Σύστημα	1461,4 MW

(Πηγή δεδομένων: <http://www.econews.gr/2013/01/22/aioliki-energeia-ellada-2012-94826/>, ανακτήθηκε 8.12.2015 / ίδια επεξεργασία)

Επιπλέον, σημειώνεται ότι η «νέα αιολική ισχύς που εγκαταστάθηκε το 2012 ήταν 111,75 MW», ενώ ο ρυθμός ανάπτυξης - σε σχέση με το 2011 - είναι 6,8%, δηλαδή «μειωμένος σε σχέση με το 23,5% που επιτεύχθηκε το 2011, το οποίο ήταν το καλύτερο έτος ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα». Επίσης, όσον αφορά στις αιολικές εγκαταστάσεις στο περιφερειακό επίπεδο, η Στερεά Ελλάδα βρίσκεται στην κορυφή με 548 MW (31,4%), δεύτερη έρχεται η Πελοπόννησος με 340,75 MW (19,5%) και τρίτη η Ανατολική Μακεδονία μαζί με τη Θράκη με 240,6 MW (13,8%). (<http://www.econews.gr/2013/01/22/aioliki-energeia-ellada-2012-94826/>, ανακτήθηκε 8.12.2015).

Από την άλλη πλευρά, σχετικά με την επιχειρηματική αγορά του κλάδου, οι πέντε πιο επιτυχημένοι όμιλοι και τα μερίδια αγοράς τους παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Όμιλοι στον κλάδο και Μερίδια Αγοράς τους

ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΣ ΟΜΙΛΟΣ	ΙΣΧΥΣ	ΜΕΡΙΔΙΟ ΑΓΟΡΑΣ
EDF	298,8 MW	17,1%
Iberdrola Rokas	250,7 MW	14,4%
TEPNA Ενεργειακή	241,5 MW	13,8%
ENEL Green Power	200,5 MW	11,5%
ΕΛΛΑΚΤΩΡ	146,8 MW	8,4%

(Πηγή δεδομένων: <http://www.econews.gr/2013/01/22/aioliki-energeia-ellada-2012-94826/>, ανακτήθηκε 8.12.2015 / ίδια επεξεργασία.)

Ειδικότερα, όσον αφορά στους κατασκευαστές ανεμογεννητριών στην Ελλάδα, οι κορυφαίοι κατασκευαστές και τα μερίδια αγοράς τους παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Κατασκευαστές Ανεμογεννητριών και Μερίδια Αγοράς τους

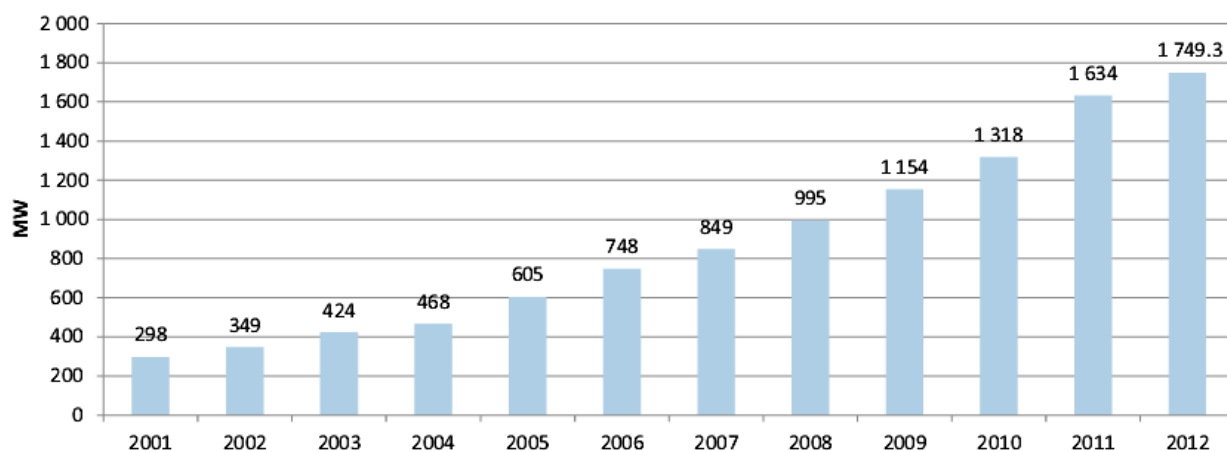
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΕΡΙΔΙΟ ΑΓΟΡΑΣ	ΜΕΡΙΔΙΟ ΑΓΟΡΑΣ 2012
Vestas	49%	46,6%
Enercon	22%	38,2%
Siemens	11%	
Gamesa	10%	15,2%
<i>Nordex</i>	4%	

(Πηγή δεδομένων: <http://www.econews.gr/2013/01/22/aioliki-energeia-ellada-2012-94826/>, ανακτήθηκε 8.12.2015 / ίδια επεξεργασία.)

Αν και το έτος 2012 παρατηρήθηκε «υποχώρηση του ρυθμού ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα», το ίδιο έτος «έγιναν επενδύσεις ύψους 150 εκατομμυρίων ευρώ περίπου» αποκλειστικά σε αυτόν τον τομέα ενέργειας (δηλαδή την αιολική), ενώ γενικά στις ΑΠΕ επενδύθηκαν το ίδιο έτος συνολικά 2,5 δις ευρώ. (<http://www.econews.gr/2013/01/22/aioliki-energeia-ellada-2012-94826/>, ανακτήθηκε 8.12.2015).

Γενικότερα, η Ελλάδα εκτιμάται ότι έχει 10 GW αιολικού δυναμικού. Το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας προβλέπει τη δυναμικότητα αιολικής ενέργειας να αυξηθεί από π.χ. 1,6 GW το 2011 σε 7,5 GW το 2020, όμως, πάνω από όλα, σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA), 2011). Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσώπευαν το 8,2% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2009. Η Ελλάδα εισάγει σήμερα το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου και του φυσικού αερίου της, και η ασφάλεια του εφοδιασμού της είναι

ένας από τους βασικούς στόχους της εθνικής ενεργειακής πολιτικής (IEA, 2011). Στην ακόλουθη εικόνα (Εικόνα 18) παρουσιάζεται η πορεία των ανεμογεννητριών – με βάση την ισχύ τους – την χρονική περίοδο 2001-2012, ώστε να γίνει και οπτικά κατανοητή η ανοδική του πορεία.



Εικόνα 18. Αθροιστικά στοιχεία για τις Ανεμογεννήτριες (σε MW) στην Ελλάδα

(Πηγή: GWEC, 2013: στο *30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from Greece*, διαθέσιμο: https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/GWEC_Greece.pdf, ανακτήθηκε 10.11.2015, σελ. 76)

Όλα τα ανωτέρω στοιχεία, δηλώνουν τις θετικές προοπτικές της αιολικής ενέργειας γενικά, και ειδικότερα των ανεμογεννητριών, στην Ελλάδα. Επιπλέον, σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό έργων που βρίσκονται σε πιλοτική φάση και αναμένεται να υλοποιηθούν τα επόμενα χρόνια, ο τομέας αναμένεται να «εκτοξευθεί» στο εγγύς μέλλον. (<http://www.econews.gr/2013/01/22/aioliki-energeia-ellada-2012-94826/>, ανακτήθηκε 8.12.2015).

Ωστόσο, βασική προϋπόθεση αποτελεί η σταθερότητα των πολιτικών συνθηκών στη χώρα και η σταθερότητα του επενδυτικού πλαισίου (<http://www.econews.gr/2013/01/22/aioliki-energeia-ellada-2012-94826/>, ανακτήθηκε 8.12.2015), καθώς και η ανάγκη θέσπισης νέου νόμου για την ίση αντιμετώπιση και μεταχείριση της αιολικής ενέργειας και των ΑΠΕ έναντι της

ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2015). Ιδίως, για το τελευταίο ζήτημα, χαρακτηριστικές είναι οι εκκλήσεις της ΕΛΕΤΑΕΝ (2015) προς την ελληνική κυβέρνηση όπως φαίνεται και στο απόσπασμα του δελτίου της παρακάτω (βλπ. Εικόνα 19).

Δεύτερον την οριστική άρση όλων των κρυφών και φανερών ενισχύσεων προς τα ορυκτά καύσιμα¹. Είναι γνωστό σε όλους από τα στοιχεία τα οποία έχουν έρθει στη δημοσιότητα από την κα Λαγκάρντ του Δ.Ν.Τ.² και τον κ. Μπιρόλ της Ι.Ε.Α.³ ότι τα ορυκτά καύσιμα ενισχύονται με περίπου 5,3 τρισεκατομμύρια δολάρια το χρόνο. Σύμφωνα με υπολογισμούς του ευρωπαϊκού αιολικού κλάδου, αυτές οι ενισχύσεις ισοδυναμούν με ενίσχυση 6 ευρώ για κάθε 1 ευρώ που πηγαίνει στις ΑΠΕ μέσω των γνωστών σημερινών μηχανισμών υποστήριξης (π.χ. Feed in tariffs). **Κάθε λεπτό που περνάει, 10 εκατομμύρια δολάρια πηγαίνουν σε επιδοτήσεις ορυκτών καυσίμων**⁴.

Οποιαδήποτε προσπάθεια πλήρους αποκατάστασης ισοτιμών όρων ανταγωνισμού που θα αγνοήσει τα ανωτέρω θα είναι κενό γράμμα και ουσιαστικά θα στρέφεται εναντίον της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Τέλος, θα πρέπει να υπενθυμίσουμε κύριε Υπουργέ πως για την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας απαιτούνται σαφείς, δεσμευτικοί και φιλόδοξοι στόχοι για το 2030, το 2040 και το 2050, κάτι που μέχρι σήμερα η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει αποτύχει να θεσπίσει.

Εικόνα 19. Απόσπασμα της έκκλησης της ΕΛΕΤΑΕΝ προς την ελληνική κυβέρνηση

Σημειώσεις: παραπομπές εικόνας

1 <http://www.bbc.com/news/business-27142377>

2 <http://www.rtcc.org/2014/02/05/imf-chief-lagarde-warns-of-merciless-climate-change/>

3 <http://www.theguardian.com/environment/2012/jan/19/fossil-fuel-subsidies-carbon-target>

4 <http://www.theguardian.com/environment/2015/may/18/fossil-fuel-companies-getting-10m-a-minute-in-subsidies-says-imf>

(Πηγή: ΕΛΕΤΑΕΝ, 3.11.2015)

Σε αυτό το σημείο σημειώνεται ότι, όπως προαναφέρθηκε και στον πρόλογο της εργασίας αυτής, οι περισσότερες από τις αιτήσεις που γίνονται για νέες εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων, αναφέρονται σε τρεις συγκεκριμένους τομείς υψηλού αιολικού δυναμικού στην ηπειρωτική χώρα της Ελλάδας (Εύβοια - Στερεά Ελλάδα, Ανατολική Μακεδονία και Θράκη), (Κάραλης, 2013, σελ. 15). Επίσης, λόγω της γεωγραφικής κατανομής και του μεγέθους των αιολικών πάρκων (10-40 MW εγκατεστημένης ισχύος), η ενσωμάτωση των πάρκων στις

περιοχές αυτές θα είναι εξαιρετικά συγκεντρωτική και τα αιολικά πάρκα θα πρέπει να συνδέονται κυρίως με το δίκτυο υψηλής τάσης (Kabouris & Hatziaργyριου, 2006).

Δεδομένου ότι οι τομείς ενδιαφέροντος συνδέονται με τα διευρωπαϊκά δίκτυα συστημάτων, μέσω αδύναμων διαδρόμων μεταφοράς, υπάρχουν συγκεκριμένα σχέδια για την ενίσχυση του δικτύου, προκειμένου να αμβλυνθούν οι περιορισμοί και να φιλοξενηθούν στο μέλλον αιολικά πάρκα (Kabouris & Hatziaργyριου, 2006). Χαρακτηριστικά παραδείγματα των σχεδίων αυτών είναι τα Διευρωπαϊκά (που συνήθως αναφέρονται στα Υποθαλάσσια αλλά όχι μόνο), τα Δίκτυα Διασυνδέσεων, π.χ. Διασύνδεση των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό Σύστημα Διανομής, η Επέκταση της Ζεύξης Ελλάδας-Ιταλίας, κ.λπ. (βλπ. ΑΔΜΗΕ, 2014).

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στο Αιγαίο πέλαγος, αναμένεται να αναδυθούν νέες θετικές προοπτικές, καθώς δρομολογήθηκε η κατασκευή της *«γραμμής υψηλής τάσης Νέα Μάκρη–Πολυπόταμος, η οποία θα συνδέσει την Εύβοια με την Αττική και θα επιτρέψει την ολοκλήρωση επενδύσεων εκατοντάδων Μεγαβάτ στην αιολική ενέργεια»*. Ιδίως στη νότια Εύβοια, υπάρχουν *«δεκάδες πρόσφατα αδειοδοτημένα αιολικά πάρκα»* (με άδειες που χρονολογούνται από το 2000), όπως επίσης και στις *«διασυνδεδεμένες»* Κυκλάδες, κυρίως στην Άνδρο και την Τήνο, τα οποία είχαν *«κολλήσει»* λόγω περιορισμών του δικτύου, γραφειοκρατίας της Τοπικής Αυτοδιοίκησης και έλλειψης χρηματοδότησης. Έτσι, με τη νέα αυτή γραμμή, η οποία λειτουργεί δοκιμαστικά από τέλη Ιουλίου 2015, θα είναι εύκολο πλέον να κατασκευαστούν. Επιπλέον, έτσι, άνοιξε ο δρόμος για τη διεκπεραίωση συμβάσεων σύνδεσης με το δίκτυο. Σημειώνεται δε ότι αφού η γραμμή αυτή *«θα εξυπηρετήσει τα αιολικά πάρκα της Εύβοιας και των Κυκλάδων θεωρήθηκε ‘έργο επέκτασης γραμμής’ και το κόστος επιμερίστηκε αναλογικά στα αδειοδοτημένα έργα και, σε περίπτωση που αυτά δεν υλοποιηθούν, στις νέες άδειες που θα εκδοθούν»*. (<http://www.econews.gr/2015/07/31/aioliki-energeia-nisia-123778/>, ανακτήθηκε 8.12.2015).

Η συνολική ισχύς των δυνητικών αιολικών πάρκων, δηλαδή αυτών που δύναται να κατασκευαστούν, αγγίζει περίπου τα 610 MW, ενώ 42 από τις αιτήσεις, έχουν γίνει εκ μέρους εταιρειών. Επίσης, *«από την ισχύ αυτή, τα περίπου 55 MW αιολικών αφορούν τα νησιά Άνδρο και Τήνο (46,8 και 7,5 αντίστοιχα) και όλη η υπόλοιπη ισχύς τη Νότια και Κεντρική Εύβοια»*, περιοχές οι οποίες ανήκουν στις *«περιοχές της Ελλάδας με το υψηλότερο αιολικό δυναμικό»* και όπου, έως τώρα, λειτουργούν αιολικά πάρκα με ισχύ περίπου 210 MW, έναντι της ισχύος των περίπου 800-900 MW που υπάρχει η δυνατότητα να εγκατασταθούν. Επιπλέον, επισημαίνεται στο εν λόγω

άρθρο ότι, τον Απρίλιο του 2015, «η Ελλάδα ξεπέρασε το όριο των 2.000 εγκατεστημένων αιολικών MW, αλλά βρίσκεται στο ήμισυ του εθνικού στόχου των 4.000 MW για το 2014 που πρόβλεπε η εθνική και κοινοτική νομοθεσία μέχρι το τέλος του έτους». Τέλος, σημειώνεται ότι ο «εθνικός στόχος διείσδυσης της αιολικής ενέργειας» ως το έτος 2020 είναι της τάξεως των 7500 MW (<http://www.econews.gr/2015/07/31/aioliki-energeia-nisia-123778/>, ανακτήθηκε 8.12.2015).

Νέα εμπιστοσύνη εγχύθηκε στον τομέα της αιολικής ενέργειας μετά τη δημιουργία του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής και τα μέτρα που λαμβάνονται για την επίτευξη του στόχου στην Ελλάδα το 2020 για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από το 2010. Ωστόσο, οι τρέχουσες οικονομικές ανησυχίες για την οικονομία, στην Ελλάδα, μπορεί να έχουν αντίκτυπο στον τομέα της αιολικής ενέργειας κατά τα προσεχή έτη. (https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/GWEC_Greece.pdf, ανακτήθηκε 10.11.2015, σελ. 84).

3.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Στη συνέχεια, αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας (βλπ. Εικόνα 20), και των ανεμογεννητριών ειδικότερα, ενώ τελικά παρουσιάζεται το συμπέρασμα από τη σύγκρισή τους.



Εικόνα 20. Βασικά Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ανεμογεννητριών

(Πηγή: D'Silva R. (February 5, 2014). Διαθέσιμο: <http://www.buzzle.com/articles/advantages-disadvantages-wind-energy.html>, ανακτήθηκε 8.12.2015.)

3.2.1. Πλεονεκτήματα

Η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή, άφθονη, ελεύθερη, φιλική με το περιβάλλον και ανανεώσιμη μορφή ενέργειας. Σε αντίθεση με τον άνθρακα και το ξύλο, είναι βέβαιο ότι αυτή η ενέργεια ποτέ δεν θα πάψει να υπάρχει. Αν καταβληθούν μεγαλύτερες προσπάθειες για την αξιοποίηση αυτής της μορφής ενέργειας, θα υπάρξει μια μείωση στη χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών, που θα αποτελεί καλό οιονό για τις μελλοντικές γενιές μας (D'Silva, 2014; Murrye, no date; <http://freeliff.com/pros-and-cons-of-wind-turbines/>; <http://energyprosandcons.org/>; ανακτήθηκαν 8.12.2015).

Επίσης, η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την ανθρωπότητα σήμερα. Σύμφωνα με τις εκθέσεις που δημοσιεύονται για το θέμα αυτό, υπάρχει επείγουσα ανάγκη αυτό να προβλεφθεί και να εφαρμοστούν ισχυρές πολιτικές, που θα μειώνουν την εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα της γης. Η αιολική ενέργεια είναι μια μεγάλη εναλλακτική λύση για τις ενεργειακές ανάγκες μας, καθώς δεν προκαλεί ρύπανση σε μεγάλη κλίμακα, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα (D'Silva, 2014; Murrye, no date; <http://freeliff.com/pros-and-cons-of-wind-turbines/>; <http://energyprosandcons.org/>; ανακτήθηκαν 8.12.2015).

Ακόμα, παρόλο που μεγάλες εκτάσεις γης πρέπει να εκκαθαριστούν για την εγκατάσταση ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ωστόσο, για ένα αιολικό πάρκο, απαιτούνται μόνο λίγα τετραγωνικά μέτρα βασικής έκτασης. Μετά την εγκατάσταση ανεμογεννήτριας, η περιοχή μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια, ή άλλες γεωργικές δραστηριότητες (D'Silva, 2014).

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας, σε σχέση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είναι ότι είναι αποδοτική. Δεν υπάρχουν έξοδα για την αγορά και τη μεταφορά καυσίμων με την ανεμογεννήτρια, σε αντίθεση με τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με βάση τον άνθρακα. Επίσης, πιστεύεται ότι με την πρόοδο της τεχνολογίας, η αιολική ενέργεια θα γίνει φθηνότερη, μειώνοντας έτσι το ποσό του κεφαλαίου που οι χώρες πρέπει να καλύψουν για τις ενεργειακές τους ανάγκες. (D'Silva, 2014; <http://energyprosandcons.org/>, ανακτήθηκε 8.12.2015)

Από την άλλη πλευρά, οι αναπτυσσόμενες χώρες, οι οποίες διαθέτουν την απαιτούμενη υποδομή για την κατασκευή ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να επωφεληθούν σημαντικά από αυτήν την αιολική ενέργεια. Το κόστος εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας είναι μικρότερο από εκείνο ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, και οι χώρες με έλλειψη χρηματοδότησης, μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτήν την οικονομικά αποδοτική επιλογή για να εκπληρώσουν τις ενεργειακές τους ανάγκες (D'Silva, 2014; <http://energyprosandcons.org/>, ανακτήθηκε 8.12.2015).

Παράλληλα, οι υποστηρικτές της αιολικής ενέργειας είναι της γνώμης ότι η επένδυση σε αυτήν την ενέργεια θα είναι επωφελής για την οικονομία, καθώς θα δημιουργήσει πολλές θέσεις εργασίας και νέους τομείς απασχόλησης για τους ανθρώπους. Λαμβάνοντας υπόψη τα σημερινά ποσοστά ανεργίας σε όλο τον κόσμο, αυτή η ενέργεια μπορεί να βοηθήσει στην ανακούφιση από αυτό το θέμα, σε κάποιο βαθμό (D'Silva, 2014; <http://energyprosandcons.org/>, ανακτήθηκε 8.12.2015).

Τέλος, σε εξατομικευμένο επίπεδο, καθώς εταιρείες παροχής ηλεκτρισμού συχνά πληρώνουν για την παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και τα φορολογικά κίνητρα που δίνονται σε πολλές χώρες για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, όσοι επενδύουν στην αιολική ενέργεια μέσω εγκατάστασης ανεμογεννητριών, δύνανται να δημιουργούν επιπλέον εισόδημα (Murrye, no date).

3.2.2. Μειονεκτήματα

Το μεγαλύτερο ζήτημα που αφορά στην αιολική ενέργεια είναι η αναξιοπιστία της. Μπορεί να υπάρχουν περίοδοι όπου παράγεται επαρκής ηλεκτρική ενέργεια λόγω των ισχυρών ανέμων, και άλλοι όπου δεν μπορεί να παραχθεί ηλεκτρισμός για μέρες, λόγω της απουσίας του ανέμου, π.χ. περίοδοι νηνεμίας. Έχουν γίνει επιτυχείς προσπάθειες για την αποθήκευση της αιολικής ενέργειας, και για την χρήση της σε συνδυασμό με άλλες μορφές ενέργειας, όμως, για να καταξιωθεί ως μια σημαντική πηγή στο εγγύς μέλλον, οι προσπάθειες αυτές πρέπει να γίνουν πιο άμεσες και εκτεταμένες (D'Silva, 2014; Murrge, no date; <http://freeliff.com/pros-and-cons-of-wind-turbines/>; <http://energyprosandcons.org/>; ανακτήθηκαν 8.12.2015).

Επίσης, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, λόγω της διαλείπουσας φύσης της, η αιολική ενέργεια θα πρέπει να αποθηκευτεί, ή να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο για τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Ωστόσο, η αποθήκευση είναι αρκετά ακριβή, ενώ οι χώρες θα πρέπει να βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Επίσης, προς το παρόν θεωρείται ακριβή και η ίδια η κατασκευή των ανεμογεννητριών (D'Silva, 2014; <http://freeliff.com/pros-and-cons-of-wind-turbines/>; <http://energyprosandcons.org/>; ανακτήθηκαν 8.12.2015).

Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών δεν είναι εφικτή σε όλες τις γεωγραφικές περιοχές, καθώς δεν είναι όλες, αφού εξαρτάται από τη μέση ταχύτητα του ανέμου στην κάθε περιοχή. Επιπλέον, οι υφιστάμενοι κανονισμοί πολεοδομίας μπορούν να περιορίζουν την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας (Murrge, no date).

Επιπλέον, ο ισχυρισμός ότι η αιολική ενέργεια θα οδηγήσει στη δημιουργία περισσότερων θέσεων εργασίας δεν είναι ευρέως αποδεκτή. Επισημαίνεται χαρακτηριστικά το γεγονός ότι μια μονάδα αιολικής ενέργειας απαιτεί σημαντική χειρωνακτική εργασία μόνον κατά τη διάρκεια της κατασκευής της ανεμογεννήτριας ή της ομάδας ανεμογεννητριών, και αφού οι ανεμογεννήτριες κατασκευαστούν και τοποθετηθούν, χρειάζονται μόνο λίγοι εργάτες συντήρησης (D'Silva, 2014).

Από την άλλη πλευρά, οι ανεμογεννήτριες συνήθως λειτουργούν μόνο στο 30% της ικανότητάς τους, ενώ παράλληλα, μπορεί να υποστούν βλάβη σε περίπτωση καταιγίδας (Murrye, no date).

Ακόμα, υπήρξαν αναφορές στο παρελθόν για τον κίνδυνο που ενέχουν οι ανεμογεννήτριες, κυρίως για τα πτηνά. Λόγω της κλιμάκωσης του ύψους τους, τα πουλιά συχνά συγκρούονται μαζί τους, και ένας σημαντικός αριθμός θανάτων πτηνών που έχει συμβεί οφείλεται σε αυτόν το λόγο (βλπ. Εικόνα 21). (D'Silva, 2014; Murrye, no date; <http://freeliff.com/pros-and-cons-of-wind-turbines/>; <http://energyprosandcons.org/>; ανακτήθηκαν 8.12.2015).

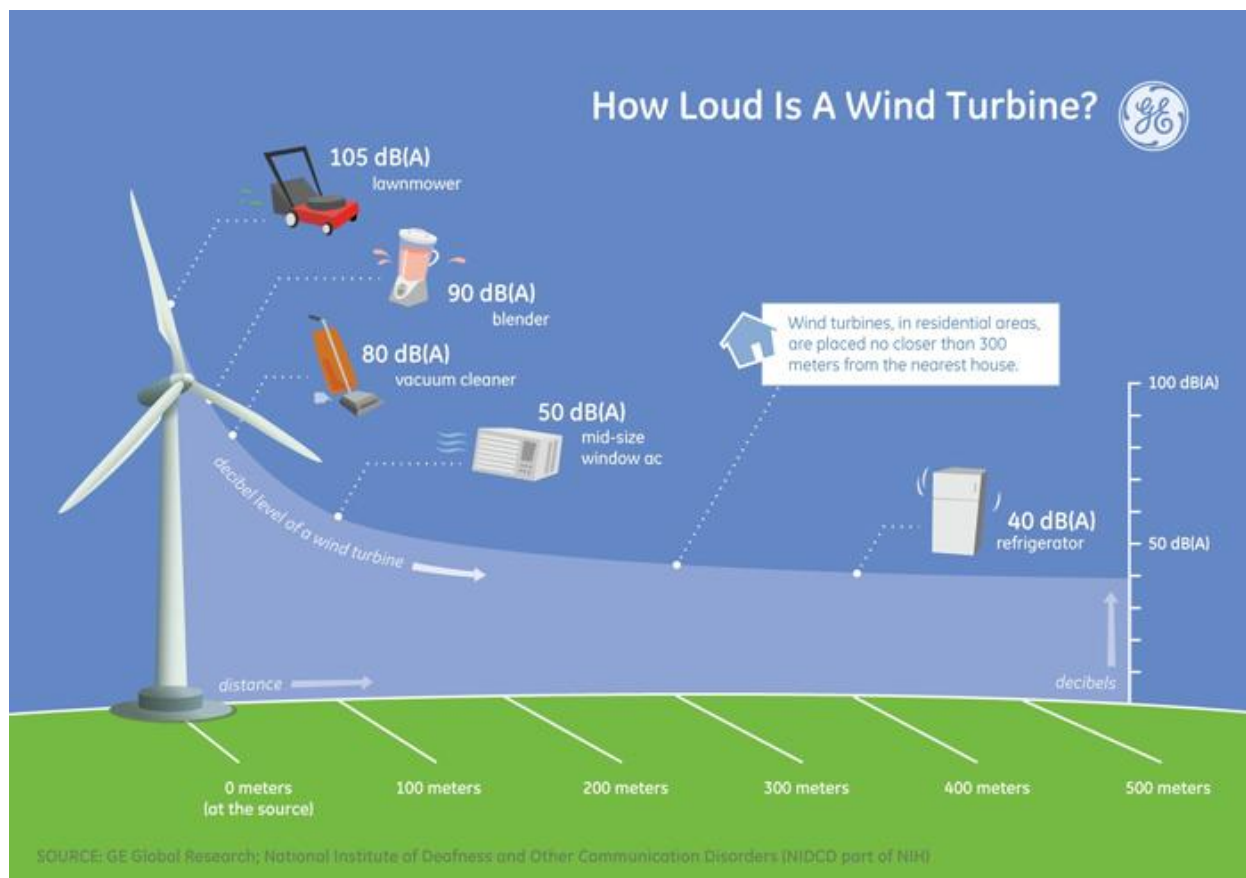


Εικόνα 21. Οι ανεμογεννήτριες απειλούν τη ζωή των πτηνών

(Πηγή: <http://energyprosandcons.org/>, ανακτήθηκε 8.12.2015.)

Από την άλλη πλευρά, η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών αντιμετωπίζει σθεναρή αντίσταση από τους ανθρώπους που ζουν σε κοντινές περιοχές, όπου έχει προταθεί η εγκατάσταση ανεμογεννητριών και αιολικών πάρκων. Παράγοντες, όπως η ταχύτητα του ανέμου και η συχνότητά της, λαμβάνονται κυρίως υπόψη πριν από την επιλογή του τόπου για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας, και έτσι, μερικές φορές, οι κάτοικοι εναντιώνονται σθεναρά σε αυτά τα σχέδια. Ένας από τους σημαντικότερους λόγους για την αντίθεσή τους είναι το γεγονός ότι, οι ανεμογεννήτριες προκαλούν έως ένα βαθμό ηχορύπανση (βλπ. Εικόνα 22). (D'Silva, 2014; Murrye, no date; <http://energyprosandcons.org/>, ανακτήθηκε 8.12.2015).

Επίσης, για πολλούς οικολόγους, οι ανεμογεννήτριες είναι μια απειλή, δεδομένου ότι παρεμβαίνει στην αισθητική του τοπίου. Άνθρωποι αντιτίθενται, επίσης, στις ανεμογεννήτριες με το σκεπτικό ότι θα μπορούσαν να επιδεινώσουν τον τουρισμό της περιοχής τους (D'Silva, 2014).



Εικόνα 22. Επίπεδα θορύβου ανεμογεννήτριας και σύγκριση με άλλες οικιασσκευές

(Πηγή: <http://energyprosandcons.org/>, ανακτήθηκε 8.12.2015.)

3.2.3. Συμπέρασμα

Αυτά που αναλύθηκαν ανωτέρω ήταν τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας και των ανεμογεννητριών ειδικότερα, αλλά αντίστοιχα και μειονεκτήματα. Η αιολική ενέργεια είναι καθαρή και ανανεώσιμη. Ωστόσο, οι ανεμογεννήτριες είναι μεγάλες και μη πρακτικές, ορισμένες φορές. Μπορεί επίσης να είναι δαπανηρή η κατασκευή και εγκατάστασή τους. Επομένως, απαιτούν ένα σχετικά υψηλό ποσό επένδυσης, το οποίο ωστόσο πολύ γρήγορα αποσβένεται, αφού η λειτουργία τους όχι μόνο βασίζεται σε μια αστείρευτη, φυσική, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αλλά ταυτόχρονα μπορούν να ενισχυθούν και να συνδυαστούν με άλλες πηγές.

Γενικότερα, η αιολική ενέργεια είναι σίγουρα μια από τις πιο φωτεινές ελπίδες για το μέλλον μας, όμως, είναι επίσης σημαντικό το να διαθέσουν πόρους, οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο, για να βελτιωθεί η υπάρχουσα τεχνολογία. Αν η εφαρμογή αυτής της ενέργειας γίνει σε μόνιμη βάση και με δυναμικότητα, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ορισμένες από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουμε, σήμερα, να ξεπεραστούν. Παρά το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια έχει ορισμένους περιορισμούς, δεν υπάρχει κανένας λόγος για τον οποίο πρέπει παρεμποδιστούν οι προσπάθειες για την μέγιστη αξιοποίηση των δυνατοτήτων της.

3.3. Ηλεκτρική Διασύνδεση Κυκλάδων με την Ηπειρωτική Ελλάδα

Από τις 10 Σεπτεμβρίου του 2014, έχει υπογραφεί η σύμβαση για την πρώτη φάση του έργου που αφορά στην ηλεκτρική διασύνδεση των Κυκλάδων με την ηπειρωτική Ελλάδα, το οποίο ανέρχεται σε προϋπολογισμό στα 240 εκατομμύρια ευρώ, ενώ εκτιμάται πως το όφελος από αυτό θα αγγίζει τα 100 εκατομμύρια ετησίως (<http://www.euro2day.gr/news/economy/article/1253029/energeia-se-dyo-hronia-h-hlektrikh-diasyndesh-ton.html>, ανακτήθηκε 20.5.2016; <http://cyclades24.gr/2015/12/energeia-diasindesh->

kiklades-argoun/, ανακτήθηκε 20.5.2016). Επιπλέον, σημειώνεται πως το έργο συγχρηματοδοτείται από τον Ευρωπαϊκό φορέα ΕΣΠΑ ως δημόσιο έργο, από την αρχή κιόλας του τελικού σχεδιασμού του το έτος 2012 (Τζεν, 2012; <http://energypress.gr/news/vgike-o-diagonismos-tis-dei-gia-ti-diasyndesi-ton-kykladon>, ανακτήθηκε 20.5.2016; <http://cyclades24.gr/2015/12/energeia-diasindesh-kiklades-argoun/>, ανακτήθηκε 20.5.2016), ενώ βασίζεται νομοθετικά στους εξής νόμους (Τζεν, 2012; Σεντελές, 2016):

- Νόμος 3851/2010, (ΦΕΚ Α 85 4/6/2010): *«Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής».*
- Ν.3827/2010, (ΦΕΚ 30 Α 25/2/2010): *«Κύρωση της Ευρωπαϊκής Σύμβασης του Τοπίου».*

Η τελική μελέτη του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Α.Δ.Μ.Η.Ε), το 2014, πρότεινε τη διασύνδεση των νήσων σε φάσεις μέχρι και το 2020. Η εν λόγω διασύνδεση βασίζεται σε υποβρύχια καλωδίωση του Λαυρίου με τη Σύρο, τη Μύκονο, την Πάρο και τη Νάξο και την ενίσχυση της διασύνδεσης της Άνδρου και της Τήνου (<http://cyclades24.gr/2015/12/energeia-diasindesh-kiklades-argoun/>, ανακτήθηκε 20.5.2016; Σεντελές, 2016; <http://mileikanea.gr/news/cyclades-news/2408-proxwraei-ergo-hlektrikhs-diasyndeshs-kykladwn>, ανακτήθηκε 20.5.2016), (βλπ. Παράρτημα Γ').

Όμως, ακόμα και σήμερα, στην περίπτωση του διασυνδεδεμένου συστήματος των Κυκλάδων, *«μόνον η Πάρος διαθέτει Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο (Γ.Π.Σ.) το οποίο θεσμοθετήθηκε το 2012 (Φ.Ε.Κ. 148/ΑΑΠ/2012), ενώ για τέσσερα (4) νησιά (Άνδρος, Μύκονος, Νάξος και Τήνος), τα οικεία Γ.Π.Σ. είναι υπό εκπόνηση (Ρυθμιστικό Σχέδιο για τα Αιολικά Πάρκα στο Αιγαίο, 2012)»* (Σεντελές, 2016).

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια συνοπτική ιστορική ανασκόπηση του εν λόγω έργου, το οποίο βρίσκεται σε σχεδιασμό και επεξεργασία για πολλά χρόνια στην Ελλάδα, ενώ ακολούθως εκτιμώνται οι προοπτικές που ανοίγονται με βάση την υλοποίηση του έργου της Ηλεκτρικής Διασύνδεσης και των συνολικών αλλαγών που θα υποστεί κατ' επέκταση η χώρα γενικότερα.

3.3.1. Ιστορική Ανασκόπηση και Αναλυτικά Στοιχεία Έργου

Το εν λόγω έργο συζητιέται και σχεδιάζεται εδώ και πάνω από 20 έτη, καθώς «η προσπάθεια διασύνδεσης των Κυκλάδων ξεκίνησε το 1993 και αρχικά προέβλεπε τη διασύνδεση τόσο της Άνδρου όσο και της Τήνου με το ηπειρωτικό σύστημα μέσω της Καρύστου». Ωστόσο, διακόπηκε στην Τήνο όταν «το Συμβούλιο της Επικρατείας δικάωσε προσφυγή των κατοίκων της ενάντια στην τοποθέτηση πυλώνων υψηλής τάσης που με βάση το τότε σχέδιο θα διέρχονταν εναέρια από το νησί». Κατ' επέκταση, η ΔΕΗ άλλαξε την απόφασή της και από τα νησιά «δεν διέρχεται γραμμή υψηλής τάσης», αφού αποφασίστηκε η διασύνδεσή τους να επιτευχθεί αποκλειστικά υποβρύχια, με την ύπαρξη υποσταθμού ανά νησί πλησίον των σημείων κατάληξης των υποβρύχιων καλωδίων. (<http://mileikanea.gr/news/cyclades-news/2408-proxwraei-ergo-hlektrikhs-diasyndeshs-kykladwn>, ανακτήθηκε 20.5.2016; <http://energypress.gr/news/vgaini-o-diagonismos-gia-ti-diasyndesi-ton-kykladon>, ανακτήθηκε 20.5.2016). Τα σχετικά σχέδια που είχαν συνταχθεί μέχρι και το έτος 2008, παρουσιάζονται αναλυτικά υπό τη μορφή Πινάκων και Διαγραμμάτων στο Παράρτημα Α'.

Τελικά, πέραν από την διασύνδεση μέσω υποβρύχιων καλωδίων, σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος, βάσει των περιβαλλοντικών όρων, εγκρίθηκε η «κατασκευή εννέα μεγάλων αιολικών σταθμών από τον όμιλο Κοπελούζου, συνολικής ισχύος 218,5 MW, στα νησιά Νάξο, Πάρο, Τήνο και Άνδρο του νομού Κυκλάδων» (<http://www.cycladesvoice.gr/?aid=36757>, ανακτήθηκε 10.5.2016).



Εικόνα 23. Φάσεις έργου Ηλεκτρικής Διασύνδεσης των Κυκλάδων

(Πηγή: <http://mileikanea.gr/news/cyclades-news/2408-proxwraei-ergo-hlektrikhs-diasyndeshs-kykladwn>, ανακτήθηκε 20.5.2016.)

Αναλυτικότερα, αρχές του έτους 2015, έγινε δεκτό το σχέδιο Ηλεκτρικής Διασύνδεσης των Κυκλάδων (<http://mileikanea.gr/news/cyclades-news/2408-proxwraei-ergo-hlektrikhs-diasyndeshs-kykladwn>, ανακτήθηκε 20.5.2016):

«το αποτέλεσμα της θετικής αξιολόγησης της πρότασης και υπογράφηκε η απόφαση Ένταξης Πράξεων Κρατικής Ενίσχυσης «Διασύνδεση των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Υψηλής Τάσης (ΥΤ)» στο Ε.Π. «Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα», «Διασύνδεση των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Υψηλής Τάσης (ΥΤ)- ΑΤΤΙΚΗ» στο ΠΕΠ Αττικής, «Διασύνδεση των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Υψηλής Τάσης (ΥΤ) – ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ» στο ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης, «Διασύνδεση των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Υψηλής Τάσης (ΥΤ) – ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ» στο ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης, «Διασύνδεση των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Υψηλής Τάσης (ΥΤ)- Στερεά Ελλάδα» στο ΠΕΠ Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας – Ηπείρου

και «Διασύνδεση των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Υψηλής Τάσης (YT)- NOTIO AIGAIO» στο ΠΕΠ Κρήτης και Νήσων Αιγαίου.»

Όσον αφορά στις φάσεις του έργου, πιο συγκεκριμένα και σύμφωνα με την σχετική ανακοίνωση του Υπουργείου Ανάπτυξης (ΥΠΑΝ), το εν λόγω έργο σκοπεύει να επιτευχθεί η αξιόπιστη και επαρκή ηλεκτρική τροφοδότηση των Κυκλάδων και πιο συγκεκριμένα των νήσων Σύρος, Πάρος, Τήνος, Μύκονος και Νάξος, για τα επόμενες τρεις με τέσσερις δεκαετίες μέσω της διασύνδεσής τους με Διασυνδεδεμένο Σύστημα Υψηλής Τάσης (YT) της ηπειρωτικής χώρας. Ο σχεδιασμός του έργου για την πλήρως ολοκληρωμένη διεκπεραίωσή του, διακρίνεται σε τρεις φάσεις (βλπ. Εικόνα 23) σύμφωνα με το ΥΠΑΝ, εκ των οποίων η Α' Φάση θα ξεκινούσε να υλοποιείται τέλη Δεκεμβρίου με αρχές Γενάρη του 2016, όπως είχε συμφωνηθεί στις αρχές του 2015 (<http://mileikanea.gr/news/cyclades-news/2408-proxwraei-ergo-hlektrikhs-diasyndeshs-kykladwn>, ανακτήθηκε 20.5.2016; Σεντελής, 2016), (βλπ. Παράρτημα Γ').

Ωστόσο, το Δεκέμβρη του 2015, σημειώθηκε καθυστέρηση της υλοποίησης του υποέργου της καλωδιακής διασύνδεσης, λόγω των προβλημάτων που υπήρξαν όσον αφορά στον τομέα της πολεοδομίας και της αρχαιολογίας στη Σύρο και τη Μύκονο. Έτσι, αν και η πόντιση των υποβρύχιων καλωδίων διασύνδεσης των Κυκλάδων με την ηπειρωτική Ελλάδα αναμενόταν να ολοκληρωθεί τον Μάη του 2016, η λειτουργία της ηλεκτρικής διασύνδεσης απαιτεί ακόμα έναν χρόνο (εκτιμάται να ολοκληρωθεί το έτος 2017), λόγω των προαναφερθέντων προβλημάτων. (<http://cyclades24.gr/2015/12/energeia-diasindesh-kiklades-argoun/>, ανακτήθηκε 20.5.2016; <http://mileikanea.gr/news/cyclades-news/2408-proxwraei-ergo-hlektrikhs-diasyndeshs-kykladwn>, ανακτήθηκε 20.5.2016).

Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη φάση του έργου περιλαμβάνει τη σύνδεση της Σύρου με το Λαύριο με ένα υποβρύχιο καλώδιο 150 kV AC, καθώς και με τις νήσους Πάρο, Μύκονο και Τήνο, με αντίστοιχα υποβρύχια καλώδια. Εν συνεχεία, η δεύτερη φάση έχει προγραμματιστεί να έχει ολοκληρωθεί το 2017 και η τρίτη το 2020, και στοχεύουν στην πόντιση καλωδίων μεταξύ Πάρου-Νάξου και Νάξου-Μυκόνου, καθώς και δεύτερου καλωδίου μεταξύ Σύρου-Λαυρίου. (<http://cyclades24.gr/2015/12/energeia-diasindesh-kiklades-argoun/>, ανακτήθηκε 20.5.2016; <http://mileikanea.gr/news/cyclades-news/2408-proxwraei-ergo-hlektrikhs-diasyndeshs-kykladwn>, ανακτήθηκε 20.5.2016; Σεντελής, 2016).

Στις μέρες μας, έχει ολοκληρωθεί πλέον η πόντιση των υποβρύχιων καλωδίων «που συνδέουν τη Σύρο με τη Μύκονο (περίπου 33 χιλιόμετρα) και τη Σύρο με την Τήνο (περίπου 35 χιλιόμετρα)». Τα εν λόγω τμήματα, μαζί με αυτό των Μυκόνου-Πάρου τα έχει αναλάβει, έπειτα από διεθνή διαγωνισμό, η ελληνική εταιρεία Ελληνικά Καλώδια ΕΛΚΑ 0,00%, ενώ το Σύρος-Λαύριο (μήκους 105 χιλιομέτρων) το έχει αναλάβει η ιταλική εταιρεία Prysmian. Όμως, αν και μέχρι τον Μάιο του 2016 ολοκληρώθηκε η πόντιση όλων των καλωδίων, η λειτουργία της διασύνδεσης απαιτεί το πέρας ενός ακόμα έτους, όπως επισημάνθηκε ανωτέρω, για το λόγο ότι «η κατασκευή των υποσταθμών στα νησιά καθυστερεί». Τα έργα κατασκευής των τριών βασικών υποσταθμών στα νησιά Σύρο, Μύκονο και Πάρο, «επρόκειτο να παραδοθούν τον Ιούλιο του 2016». Από την άλλη πλευρά, όσον αφορά στις υποβρύχιες καλωδιακές διασυνδέσεις (150 kV), από τη Σύρο προς Τήνο, Μύκονο και Πάρο, τις έχει αναλάβει «η ελληνική εταιρεία Ελληνικά Καλώδια ΕΛΚΑ 0,00%, με χρόνο παράδοσης τους 22 μήνες», ενώ για τους τρεις υποσταθμούς ανάδοχος είναι «η εταιρεία ALSTOM Grid, με χρόνο υλοποίησης του έργου τους 22 μήνες.» (Ελληνικά Καλώδια, 2016; <http://cyclades24.gr/2015/12/energeia-diasindesh-kiklades-argoun/>, ανακτήθηκε 20.5.2016).

3.3.2. Προοπτικές για την Ελλάδα

Το εν λόγω έργο, το οποίο παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, εκτιμάται ότι θα αποφέρει ποικίλα και πολλά οφέλη, τόσο στις τοπικές κοινωνίες όσο και σε όλους τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, και μάλιστα αυτά θα είναι εμφανή άμεσα απαρχής της λειτουργίας της καλωδιακής διασύνδεσης των Κυκλάδων. Αυτό εξηγείται από το γεγονός πως ταυτόχρονα με την έναρξη λειτουργία της διασύνδεσης, «θα παύσει η λειτουργία των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής που ρυπαίνουν το περιβάλλον, ενώ βελτιώνεται σημαντικά η ποιότητα ηλεκτροδότησης των καταναλωτών, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες». Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό το ότι όλοι οι κάτοικοι της Ελλάδας θα «ελαφρυνθούν από περίπου 100 εκατομμύρια ευρώ τον χρόνο, ποσό που αντιστοιχεί στο επιπλέον κόστος ηλεκτροπαραγωγής στα νησιά από μονάδες πετρελαίου και επιβαρύνει τους λογαριασμούς των καταναλωτών με τα τέλη για Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ)». (<http://cyclades24.gr/2015/12/energeia-diasindesh-kiklades-argoun/>, ανακτήθηκε 20.5.2016).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως όλα αυτά τα οφέλη, και ιδίως τα οικονομικά, θα επιτευχθούν μέσα σε μια χρονική περίοδο που χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερος δυσμενείς οικονομικά συνθήκες για την Ελλάδα. Έτσι, με την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης του έργου, η ΔΕΗ παράλληλα εκσυγχρονίζεται *«με την ολοκλήρωση της κατασκευής νέων, σύγχρονων και φιλικών προς το περιβάλλον μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, κυρίως φυσικού αερίου, σε αντικατάσταση παλαιών μονάδων οι οποίες έχουν ήδη αποσυρθεί»* και μειώνονται οι τιμές των τελών της, όπως και η ζημία που υπόκειτο μέχρι πρότινος το περιβάλλον, ενώ αυξάνεται και η δυναμική της (Κοπανάκης & Κρομπα, 2016).

Ειδικότερα, σύμφωνα με τους Κοπανάκης & Κρομπα (2016), οι σημαντικές αλλαγές σε αυτόν τον τομέα που υλοποιούνται την εν λόγω χρονική περίοδο, επηρεάζουν όλους τους συμμετέχοντες και όλους τους Έλληνες γενικότερα, επιφέροντας τον *«επαναπροσδιορισμό»* των εθνικών στόχων και της εθνικής στρατηγικής. Οι πιο βασικές αλλαγές αφορούν στα ακόλουθα, σύμφωνα με τους συγγραφείς:

- 1. «Τη σημαντική διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής, σε συνδυασμό με τη στασιμότητα της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, που δημιουργεί συνθήκες υπερεπάρκειας προσφερόμενης ισχύος σε σχέση με τη ζήτηση.*
- 2. Τις αυστηρότερες περιβαλλοντικές απαιτήσεις των ευρωπαϊκών οδηγιών, τόσο για τις μεγάλες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής του διασυνδεδεμένου συστήματος όσο και για τις μικρότερες μονάδες στα νησιά, όπου από το 2025 και μετά ο πήχης των περιβαλλοντικών επιδόσεων τους ανεβαίνει πρακτικά στα ίδια επίπεδα με αυτόν των μεγάλων μονάδων.»*

Εντός αυτού του πλαισίου, η επέκταση του ηλεκτρικού διασυνδεδεμένου συστήματος των νήσων *«αποτελεί εθνική στρατηγική προτεραιότητα, εφόσον με τον τρόπο αυτό θα επιτευχθεί τριπλός στόχος»*, ο οποίος σημειώνεται παρακάτω (Κοπανάκης & Κρομπα, 2016):

- 1. αυξημένη ασφάλεια τροφοδοσίας των νησιών,*
- 2. σημαντικά μειωμένο κόστος ηλεκτροπαραγωγής, και*

3. βελτιωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, τόσο λόγω της μειωμένης κατανάλωσης μαζούτ και ντίζελ στην παραγωγή, όσο και λόγω της περαιτέρω - λελογισμένης φυσικά - ανάπτυξης των ΑΠΕ.

Από την άλλη πλευρά, γενικά, καθώς η χώρα μας διαθέτει «πλούσιο αιολικό δυναμικό», αυτό αποτελεί μια τεράστια πρόκληση προς εκμετάλλευση για το κοινό καλό του περιβάλλοντος και της ίδιας της χώρας και των κατοίκων της. Ωστόσο, αυτό αποτελεί τεράστια πρόκληση και από πλευράς των σχεδιαστών σχετικά με το κρίσιμο ζήτημα της χωροθέτησης των αιολικών πάρκων, ιδίως στα νησιά, όπως οι νήσοι των Κυκλάδων που διαθέτουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που εγείρουν ακόμα περισσότερες επιμέρους προκλήσεις κατά την αναπτυξιακή διαδικασία των αιολικών πάρκων (Σεντελές, 2016).

Ειδικότερα, τα εν λόγω ιδιαίτερα χαρακτηριστικά έγκεινται σε φυσικά χαρακτηριστικά ορισμένων νήσων, όπως είναι «η απομόνωση και η περιφερειακότητα, το μικρό μέγεθος και η έλλειψη υποδομών, σε συνδυασμό με το πλούσιο φυσικό περιβάλλον, την αρχιτεκτονική και πολιτιστική κληρονομιά». Επομένως το πιο κρίσιμο ζήτημα είναι η χωροθέτηση και αφορά σε έννοιες σχετικά με τον σχεδιασμό, «όπως η προστασία, η βιωσιμότητα και η αειφορία με εκείνων της αναπτυξιακής διαδικασίας και της ενεργειακής αποδέσμευσης από τα ορυκτά καύσιμα μέσα σε ένα ενιαίο σχεδιαστικό πλαίσιο.» (Σεντελές, 2016).

Έτσι, εν κατακλείδι, όσον αφορά στις προοπτικές που εγείρονται και την αντιμετώπιση των προκλήσεων που προαναφέρθηκαν, επισημαίνονται χαρακτηριστικά τα συμπεράσματα του Σεντελέ (2016):

- «Η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των περιοχών που διαθέτουν υψηλό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση των Κυκλάδων, θεωρείται επιβεβλημένη, όχι μόνο από την άποψη της συμμόρφωσης στις διεθνείς και ευρωπαϊκές δεσμεύσεις της χώρας αλλά κυρίως από την πλευρά της μείωσης των περιβαλλοντικών οχλήσεων και επιβαρύνσεων των ρυπογόνων και δαπανηρών Α.Σ.Π.
- Από την άλλη πλευρά, ο σχεδιασμός των αιολικών πάρκων σε αυτά (νησιά) θα πρέπει να λάβει υπόψη του τις ιδιαιτερότητες, τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις του εύθραυστου νησιωτικού χώρου.

- Αυτό αποτελεί και «ευθύνη» εκείνων που εμπλέκονται στο σχεδιασμό, είτε διαμορφώνοντας τον είτε εφαρμόζοντας τον, να σεβαστούν και να επιλύσουν τα προβλήματα που περιγράφηκαν, αξιοποιώντας το παρών νομοθετικό πλαίσιο αλλά και ενσωματώνοντας τη διεθνή εμπειρία.
- Απαιτείται ένας άλλου είδους σχεδιασμός και μια εκ βαθέων αλλαγή σε επίπεδο ειδικών διατάξεων του ενεργειακού και χωροταξικού σχεδιασμού που θα προστατεύουν και θα σέβονται τα ειδικά χαρακτηριστικά των νησιών σε συνδυασμό με την ενεργειακή τους ανάπτυξη.
- Η αρχή προς αυτή την κατεύθυνση, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη σύνταξη ρυθμιστικών και διαχειριστικών σχεδίων σε πολεοδομική κλίμακα, που θα προσδιορίζει επακριβώς τις περιοχές καταλληλότητας για τη χωροθέτηση των αιολικών πάρκων λαμβάνοντας υπόψη τις ανησυχίες και τις γνώμες πολιτών και τοπικών αρχών που αναμένεται να είναι και οι τελικοί αποδέκτες του έργου αλλά και των επιπτώσεων του, πριν από την οποιαδήποτε απόφαση για την πραγματοποίηση των έργων, διαμορφώνοντας μία ισχυρή σχεδιαστική βάση που θα θέτει κανόνες, επιδιώξεις και απαγορεύσεις».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

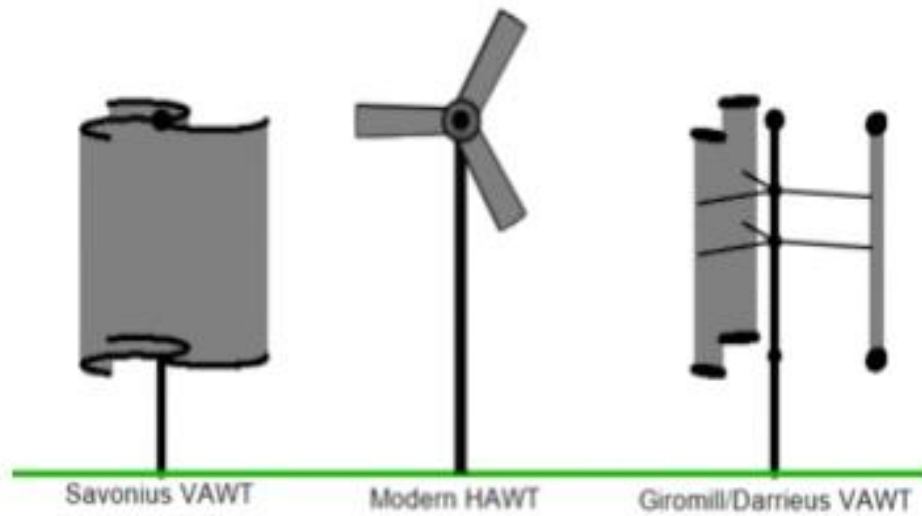
4. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Αυτό κεφάλαιο αναφέρεται στο ερευνητικό μέρος της εργασίας. Έτσι, αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στον σχεδιασμό και την κατασκευή των ανεμογεννητριών και στη συνέχεια, επικεντρώνεται το ενδιαφέρον της έρευνας αποκλειστικά στα υλικά κατασκευής των ανεμογεννητριών.

4.1. Εισαγωγή στο Ερευνητικό Μέρος

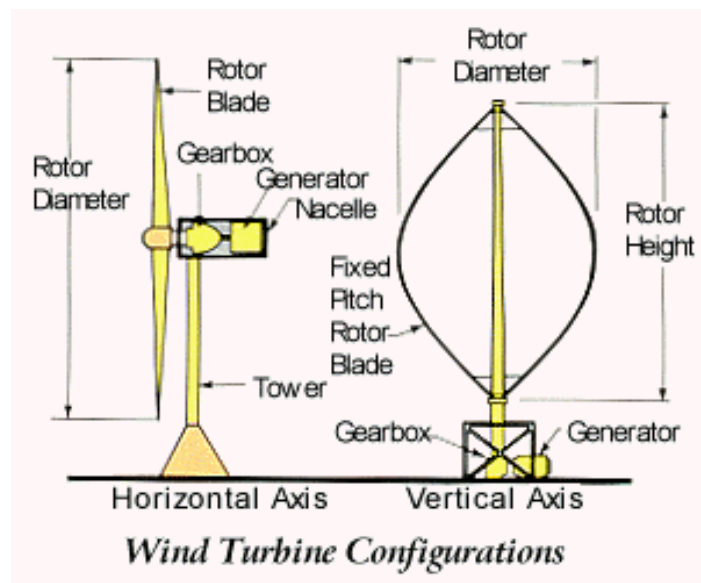
Στις μέρες μας, οι τρεις βασικοί τύποι ανεμογεννητριών είναι οι εξής: VAWT Savonius, HAWT με πύργο ή αλλιώς οριζοντίου άξονα, και VAWT Darrieus όπως εμφανίζονται στην Εικόνα 24. Επομένως, όπως παρατηρείται, οι ανεμογεννήτριες, ανάλογα με το σχέδιο κατασκευής τους, μπορούν να περιστρέφονται γύρω από οριζόντιο ή κάθετο άξονα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 25. (https://web.archive.org/web/20100923194211/http://www.awea.org/faq/wwt_basics.html, ανακτήθηκε 10.5.2016; http://www.beestonprimary.co.uk/files/wind_turbine_callum.pdf, ανακτήθηκε 20.5.2016; Grujicic et al., 2010). Μπορούν, επίσης, να διαθέτουν λεπίδες ή αλλιώς έλικες (διαφανείς ή μη), (Markham, 2013), ή να μην διαθέτουν καθόλου (Stinson, 2015).

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια συνοπτική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας γύρω από το βέλτιστο σχεδιασμό τους.



Εικόνα 24. Οι τρεις Βασικοί Τύποι Ανεμογεννητριών

(Πηγή: http://www.beestonprimary.co.uk/files/wind_turbine_callum.pdf, ανακτήθηκε 20.5.2016.)



Εικόνα 25. Οι Βασικοί Τύποι Ανεμογεννητριών: Οριζοντίου ή Κάθετου Άξονα.

(Πηγή: https://web.archive.org/web/20100923194211/http://www.awea.org/faq/wwt_basics.html, ανακτήθηκε 10.5.2016.)

4.1.1. Ανασκόπηση Βέλτιστου Σχεδιασμού Ανεμογεννητριών

Κατά τα τελευταία 20 χρόνια, ένα σημαντικό μέρος της έρευνας έχει διεξαχθεί με σκοπό τη διαμόρφωση ή τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των ανεμογεννητριών. Οι Negm & Maalawi (1999) ανέπτυξαν και δοκίμασαν έξι στρατηγικές βελτιστοποίησης σε μια προσπάθεια επίτευξης της βέλτιστης σχεδίασης ενός πύργου ανεμογεννήτριας που αποτελείται από πολλαπλά ομοιόμορφα τμήματα. Και στις έξι στρατηγικές, η μέση διάμετρος, το ύψος και το πάχος του τοιχώματος του κάθε τομέα επελέγησαν ως μεταβλητές του σχεδιασμού, ενώ κάθε στρατηγική διαφοροποιούταν από τις άλλες μέσω ενός κριτηρίου προς βελτιστοποίηση (1- ελαχιστοποίηση μάζας, 2- μεγιστοποίηση ακαμψίας 3- μεγιστοποίηση ακαμψίας προς τη μάζα, 4- ελαχιστοποίηση δονήσεων, 5- ελαχιστοποίηση δείκτη απόδοσης μη φυσικής συχνότητας, 6- μεγιστοποίηση φυσικής συχνότητας του συστήματος. Την επιτυχή αντιμετώπιση των προκλήσεων, οι ερευνητές την οφείλουν στα εξής βασικά χαρακτηριστικά: α) ο πύργος τοποθετήθηκε στο έδαφος, β) ο πύργος αποτελείται από τμήματα που έχουν διαφορετικές αλλά ομοιόμορφες ιδιότητες διατομής, γ) ο ρότορας τοποθετήθηκε ως μια συγκεντρωμένη μάζα σταθερά προσαρτημένη στην κορυφή του πύργου, δ) το υλικό του πύργου είναι γραμμικά ελαστικό, ισότροπο και ομογενές, ε) η διατομή του πύργου είναι λεπτού τοιχώματος και κυκλική, στ) πρόκειται για ένα δισδιάστατο σταθερής ροής μοντέλο. Τέλος, συμπεραίνουν οι ερευνητές πως η στρατηγική σχεδιασμού για τη μεγιστοποίηση της φυσικής συχνότητας του συστήματος έδωσε την πιο ισορροπημένη βελτίωση, τόσο σε μάζα όσο και ακαμψία.

Από την άλλη πλευρά, οι Kocer & Arora (1996) δημιούργησαν το σχεδιασμό ανεμογεννήτριας με δωδεκαγωνικούς πόλους μετάδοσης, φτιαγμένους από χάλυβα ως πρόταση βελτιστοποίησης. Η εξωτερική διάμετρος στο άκρο και η κωνικότητα του στύλου επελέγησαν ως μεταβλητές του σχεδιασμού, όπως επίσης και το πάχος του πόλου. Το κριτήριο προς βελτιστοποίηση το οποίο επελέγη ήταν το κόστος του υλικού του πόλου, καθώς παρατηρούνταν περιορισμοί στην τάση συμπίεσης, τη διατμητική τάση και το στρες κάμψης, σε συνδυασμό με αυτό της εκτροπής. Σε γενικές γραμμές, αυτή η εργασία έδειξε ότι η βέλτιστη διαδικασία σχεδιασμού μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικά και ασφαλή σχέδια σε σύγκριση με τη συμβατική διαδικασία σχεδιασμού. Επιπρόσθετα, αποδείχθηκε πως, χρησιμοποιώντας μια

κυκλική διατομή, σημειώθηκε εξοικονόμηση 2,4% του κόστους του υλικού.

Επιπλέον, οι Murtagh et al. (2005) ερεύνησαν την πρόκληση που αφορά στις δονήσεις των πύργων ανεμογεννητριών, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από σκυρόδεμα (μπετόν αρμέ), όταν αυτοί υπόκεινται σε επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης μεταξύ εδάφους-κατασκευής. Τελικά, απέδειξαν πως η ενσωμάτωση ευελιξίας εδάφους στο μοντέλο, επιφέρει τη δυνατότητα σημαντικής ποσότητας απόσβεσης στο σύστημα, όμως κατά πάσα πιθανότητα θα οδηγήσει σε μη οικονομικά σχέδια.

Τέλος, οι Silva et al. (2008) παρουσίασαν ένα μη-γραμμικό μοντέλο, το οποίο βασίζεται σε πειραματικά δεδομένα, για τη δυναμική ανάλυση των κατασκευών από λεπτό σκυρόδεμα (μπετόν αρμέ). Επιπλέον, θα μεταγραφεί αυτό το μοντέλο σε περιορισμούς βελτιστοποίηση και την εφάρμοσε στο βέλτιστο σχεδιασμό από οπλισμένο σκυρόδεμα πύργους στροβίλων αιολικής ενέργειας.

4.1.2. Το Σύγχρονο Διαδεδομένο Σχέδιο Κατασκευής Ανεμογεννητριών και Προκλήσεις

Η ανεμογεννήτρια αποτελεί ουσιαστικά ένα μετατροπέα της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια, με βάση την αρχή της κίνησης του ανέμου από ένα ρότορα, μεταβιβάζοντας έτσι τη δύναμη.

Για την επίτευξη αποτελεσματικότητας τόσο αφορά στην σταθερότητα του ρότορα και την υψηλή αεροδυναμική, ο ρότορας συνήθως κατασκευάζεται ως ένα σετ τριών αεροδυναμικού σχήματος λεπίδων. Οι λεπίδες είναι στερεωμένες σε μια οριζόντια πλήμνη/άξονα (που είναι συνδεδεμένη με του ρότορα την ηλεκτρική γεννήτρια, μέσω ενός κιβωτίου «ταχυτήτων», εντός του περιβλήματος). Ο ρότορας τοποθετείται πάνω σε έναν πύργο και το αποτέλεσμα αυτού του συνδεδεμένου συστήματος μετατροπής της αιολικής ενέργειας καλείται ως οριζόντιου άξονα ανεμογεννήτρια (HAWT). (Grujicic et al., 2010). Μια φωτογραφία μιας offshore ανεμογεννήτριας παρουσιάζεται στην Εικόνα 24.

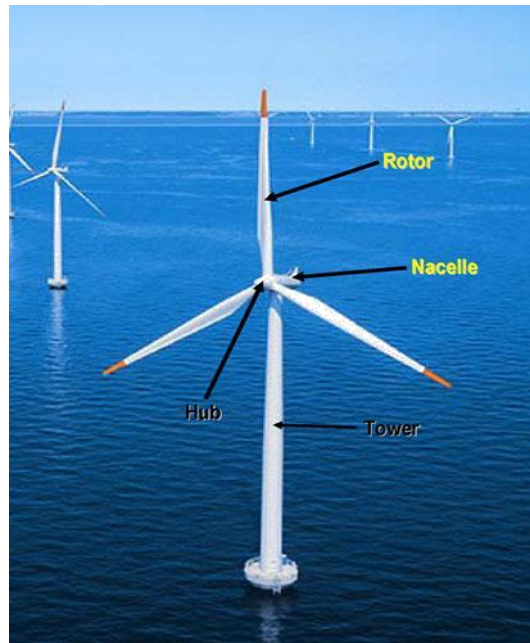
Για να μειώνεται το ενεργειακό κόστος παραγωγής (συνήθως εκφράζεται σε \$/kWAEh), οι εμπορικής χρήσης ανεμογεννήτριες έχουν αυξηθεί σημαντικά σε μέγεθος τα τελευταία 30 χρόνια (Εικόνα 25). (Grujicic et al., 2010). Οι μεγάλες ανεμογεννήτριες προσφέρουν οικονομία

η οποία βασίζεται στο γεγονός ότι το ύψος και η ακτίνα του ρότορα αυξάνει τη μέση ταχύτητα του ανέμου και κατ' επέκταση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, λόγω της λεγόμενης διάτμησης του ανέμου (φυσική αύξηση στην ταχύτητα του ανέμου λόγω του υψόμετρου πάνω από το έδαφος). Κατά συνέπεια, για την ίδια την παραγωγή ενέργειας, μικρότερος αριθμός μονάδων ανεμογεννητριών απαιτούνται, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί σε μείωση του κόστους της λειτουργίας τους.



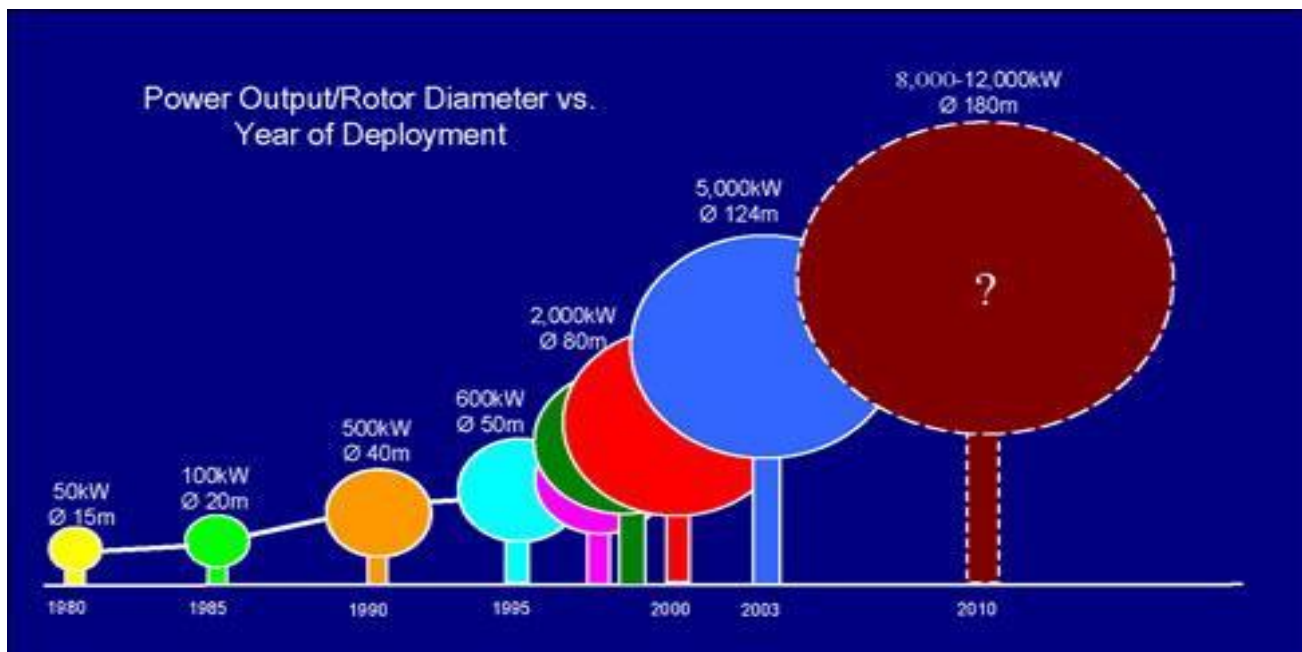
Εικόνα 26. Το Σύγχρονο Διαδεδομένο Σχέδιο Κατασκευής Ανεμογεννητριών.

(Πηγή: http://www.beestonprimary.co.uk/files/wind_turbine_callum.pdf, ανακτήθηκε 20.5.2016.)



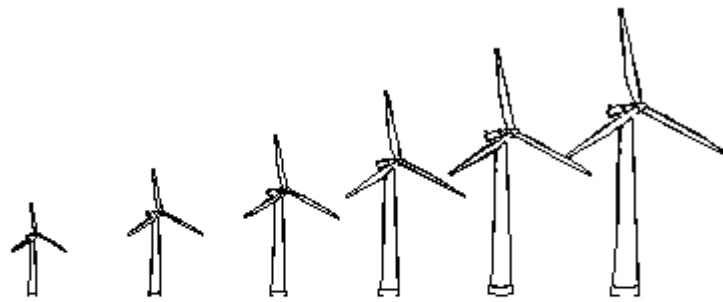
Εικόνα 27. Μέρη της διαδεδομένου σχήματος Ανεμογεννήτριας Οριζοντίου Άξονα (HAWT)

(Πηγή: Grujicic et al., (2010), σελ. 2.)



Εικόνα 28. Ιστορική Ανασκόπηση Μεγέθους και Ισχύος της Ανεμογεννήτριας HAWT (Α')

(Πηγή: Grujicic et al., (2010), σελ. 2)



	1981	1985	1990	1996	1999	2000
Rotor (meters)	10	17	27	40	50	71
Rating (KW)	25	100	225	550	750	1,650
Annual MWh	45	220	550	1,480	2,200	5,600

Εικόνα 29. Ιστορική Ανασκόπηση Μεγέθους και Ισχύος της Ανεμογεννήτριας HAWT (B’)

(Πηγή:https://web.archive.org/web/20100923194211/http://www.awea.org/faq/wwt_basics.html, ανακτήθηκε 10.5.2016.)

Στην Εικόνα 25 απεικονίζεται η μεγαλύτερου σχήματος ανεμογεννήτρια που κατασκευάζεται και χρησιμοποιείται στις μέρες μας. Η μονάδα αυτού του μεγέθους αποδίδει ονομαστικά 5 MW και έχει ρότορα διαμέτρου 124 μέτρα. Όσο το μέγεθος του ρότορα της ανεμογεννήτριας αυξάνει, η κατασκευαστική απόδοση, η ανθεκτικότητα και η δυναμική των απαιτήσεων ευστάθειας, τείνουν να γίνονται όλο και πιο δύσκολα εφικτές εγείροντας πλήθος προκλήσεων και, επί του παρόντος, δεν είναι σαφές ακόμα το ποιά είναι η απόλυτα βέλτιστη διάμετρος ρότορα που μπορεί να επιτευχθεί με τα σημερινά υλικά και τις σύγχρονες τεχνολογίες κατασκευής σύμφωνα με τους Grujicic et al. (2010). Οι προκλήσεις επιδεινώνονται περαιτέρω λόγω των σύγχρονων αυξημένων απαιτήσεων από πλευράς του ρότορα για υψηλή αεροδυναμική απόδοση (ποσοτικοποιημένη από το κλάσμα της αιολικής ενέργειας που αποδίδεται από το ρότορα). (βλπ. Grujicic et al., 2010).

Όσον αφορά στις λεπίδες της ανεμογεννήτριας, πιο συγκεκριμένα, εγείρουν επίσης προκλήσεις. Έτσι, σε αυτό το σημείο επισημαίνεται πως η απαίτηση για ανθεκτικότητα των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας, συνήθως, ορίζεται ως ελάχιστος κύκλος ζωής τα 20 έτη, ενώ

πολλές από τις απαιτήσεις στον τομέα της κατασκευής τους σχετίζονται με την υψηλή μάζα των λεπίδων. Αυτό προκαλείται από το γεγονός ότι όχι μόνον η ίδια η λεπίδα αλλά και ολόκληρη η διάρθρωση και κατασκευή της ανεμογεννήτριας, θα πρέπει να είναι σε θέση να αντέξει τη μέγιστη δυναμική του μηχανήματος (βλπ. Gruzicic et al., 2010).

4.2. Υλικά Κατασκευής Ανεμογεννητριών

Στους πρώτους ανεμόμυλους που κατασκευάστηκαν από τον άνθρωπο χρησιμοποιήθηκαν υλικά όπως το ξύλο και τα πανιά από καμβά, η διαθεσιμότητά τους, καθώς και η ευκολία κατασκευής από τα εν λόγω υλικά, ήταν οι λόγοι που οδήγησαν στη χρήση τους. Αυτά τα υλικά, ωστόσο, απαιτούν συχνή συντήρηση. Η κατασκευή από ξύλο και μουσαμά περιορίζει το αεροδυναμικό σχήμα σε μία επίπεδη πλάκα, η οποία έχει μια σχετικά υψηλή αναλογία προς την οπισθέλκουσα δύναμη (χαμηλή αεροδυναμική απόδοση) σε σύγκριση με την επιφάνεια ανύψωσης. Η κατασκευή του σταθερών επιφανειών ανύψωσης απαιτεί άκαμπτα υλικά, όπως μέταλλα ή σύνθετα. Μερικές έλικες, επίσης, έχουν ενσωματωμένα αλεξικέραυνα.

Στην κατασκευή πτερυγίων γενικά, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς έχει σημειωθεί μεγάλη εξέλιξη στον τομέα της χημείας και ειδικότερα σε αυτόν της μεταλλουργίας, περιλαμβάνουν *«τις εποξειδικές ρητίνες, τα υαλονήματα, τα ανθρακονήματα, τις πολυουρεθάνες, τις πολυστερίνες, τα θερμοπλαστικά και καταλήγουν στα ειδικά κεραμικά υλικά»*. Έτσι, με *«τον κατάλληλο συνδυασμό ορισμένων εξ' αυτών των υλικών είναι δυνατόν να αποκτηθεί ένα σύνθετο υλικό, το οποίο θα έχει τεχνικά χαρακτηριστικά όπως αντοχή στα στατικά ή δυναμικά φορτία, ανθεκτικότητα στη διάβρωση και στις καιρικές συνθήκες, θερμική αγωγιμότητα, ακουστική μόνωση, ειδικό βάρος, μέτρο ελαστικότητας κτλ., πολύ καλύτερα από εκείνα των μεμονωμένων υλικών που το συνθέτουν»* (βλπ. Εικόνα 31). (http://www.redstar.gr/Foto_red/Other/Compozit.html, ανακτήθηκε 10.5.2016).

Στη συνέχεια, ακολουθεί μια ανάλυση των υλικών που χρησιμοποιούνται σήμερα στην κατασκευή των ανεμογεννητριών.

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας E (Kg/mm ²)	Μέγιστη τάση εφελκυσμού σ (Kg/mm ²)	Ειδικό βάρος (Kg/m ³)	Ειδικό μέτρο E/γ (m) X10 ⁵	Ειδική τάση σ/γ (m) X10 ⁵
E- Υαλονήματα	7350	320	2550	2.9	1.25
S- Υαλονήματα	8400	380	2490	3.4	1.53
E-Υαλονήματα Εποξειδ.	5250	140	1940	2.7	0.72
S-Υαλονήματα Εποξειδ.	5250	210	1940	2.7	1.08
Κέβλαρ 29	6300	350	1440	4.4	2.43
Κέβλαρ 49	14000	350	1660	8.4	2.11
Κέβλαρ 49/Εποξειδ.	8400	200	1520	5.5	1.32
HM Νήματα Γραφίτη	38500	210	1910	20.2	1.10
HS Νήματα Γραφίτη	24500	245	1770	13.8	1.38
HM Γραφίτη Εποξειδ.	21000	95	1605	13.1	0.59
HS Γραφίτη Εποξειδ.	15400	145	1495	10.3	0.97
Νήματα Βορίου	42000	280	2630	16.0	1.06
Νήματα Βορίου/Εποξ.	21700	155	2075	10.5	0.75
Αλουμίνιο 7075-T6	7200	55	2685	2.7	0.20
Αλουμίνιο 6061-T6	7200	30	2685	2.7	0.11
Τιτανίο Ti-6Al-4V	11200	105	4430	2.5	0.24
Χρόμιο μολυβδενιούχος	20300	95	7830	2.6	0.12
Χάλυβας 4130					

Εικόνα 30. Υλικά Κατασκευής Πτερυγίων και Τεχνικά Χαρακτηριστικά τους.

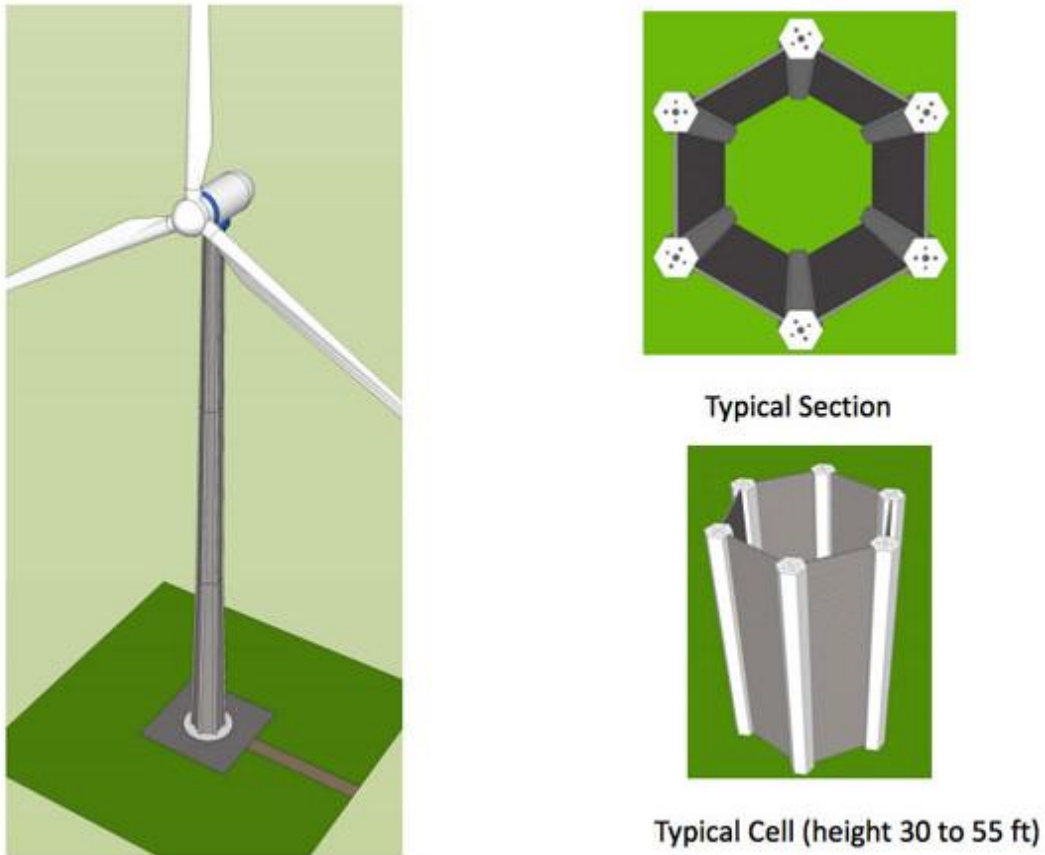
(Πηγή: http://www.redstar.gr/Foto_red/Other/Compozit.html, ανακτήθηκε 10.5.2016.)

4.2.1. Υλικά Κατασκευής Πύργων Ανεμογεννητριών

Επί του παρόντος, στην πλειονότητά τους οι ανεμογεννήτριες υποστηρίζονται από κωνικό, σωληνωτό πύργο από χάλυβα. Οι πύργοι αντιπροσωπεύουν το 30% - 65% του βάρους

του στροβίλου και ως εκ τούτου, αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό του συνολικού κόστους. Η χρήση ελαφρύτερων υλικών στον πύργο θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά το συνολικό κόστος μεταφοράς και κατασκευής των ανεμογεννητριών. Ωστόσο, θα πρέπει επίσης να διατηρηθεί η σταθερότητα (Dan & McVeigh, 2001). Ο ανώτερου βαθμού πυκνότητας χάλυβας S500 κοστίζει 20% -25% περισσότερο από ό,τι ο χάλυβας S335 (πρότυπος δομικός χάλυβας), αλλά απαιτεί 30% λιγότερο υλικό, κι αυτό λόγω της βελτιωμένης αντοχής του. Ως εκ τούτου, η κατασκευή των πύργων των ανεμογεννητριών με χάλυβα S500, τελικά οδηγεί σε καθαρή εξοικονόμηση, τόσο σε βάρος όσο και σε κόστος (World Steel Association, 2012).

Ένα άλλο μειονέκτημα των κωνικών πύργων από χάλυβα είναι ότι η κατασκευή τους εγείρει πλήθος προκλήσεων σε ό,τι αφορά στις απαιτήσεις των ανεμογεννητριών που είναι υψηλότερες των 90 μέτρων. Το σκυρόδεμα αποτελεί μια άλλη λύση υψηλών επιδόσεων, η οποία τείνει να έχει πολλές δυνατότητες σε αυξημένου ύψους πύργους, ενώ επίσης τείνει να αυξάνει τη μέση διάρκεια ζωής των πύργων. Ένα υβρίδιο μίγματος σκυροδέματος και χάλυβα έχει επιδείξει βελτιωμένη απόδοση σε σχέση με τους πρότυπους ατσάλινους σωλήνες σε πύργους ύψους 120 μέτρων (Quilligan, 2012). Επιπλέον, το σκυρόδεμα διαθέτει επίσης το πλεονέκτημα να επιτρέπει την συναρμολόγηση μικρών προκατασκευασμένων τμημάτων «επί τόπου», αποφεύγοντας τις προκλήσεις που εγείρει η χρήση του χάλυβα που αφορούν στη μεταφορά. Ένα μειονέκτημα των συγκεκριμένων πύργων είναι οι υψηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά τη διάρκεια παραγωγής τους σκυροδέματος σε σύγκριση με του χάλυβα. Ωστόσο, το συνολικό όφελος του περιβάλλοντος θα είναι μεγαλύτερο στην τελική, καθώς στην περίπτωση των εν λόγω πύργων, αυτό το υλικό δύναται να διπλασιάζει τη μέση διάρκεια ζωής ολόκληρης της ανεμογεννήτριας (Leviton, 2013).



Εικόνα 31. Κατασκευή Πύργου Ανεμογεννήτριας από Σκυρόδεμα.

(Πηγή: Levitan, (2013), <http://spectrum.ieee.org/energywise/green-tech/wind/too-tall-for-steel-engineers-look-to-concrete-to-take-wind-turbine-design-to-new-heights>, ανακτήθηκε 20.5.2016.)

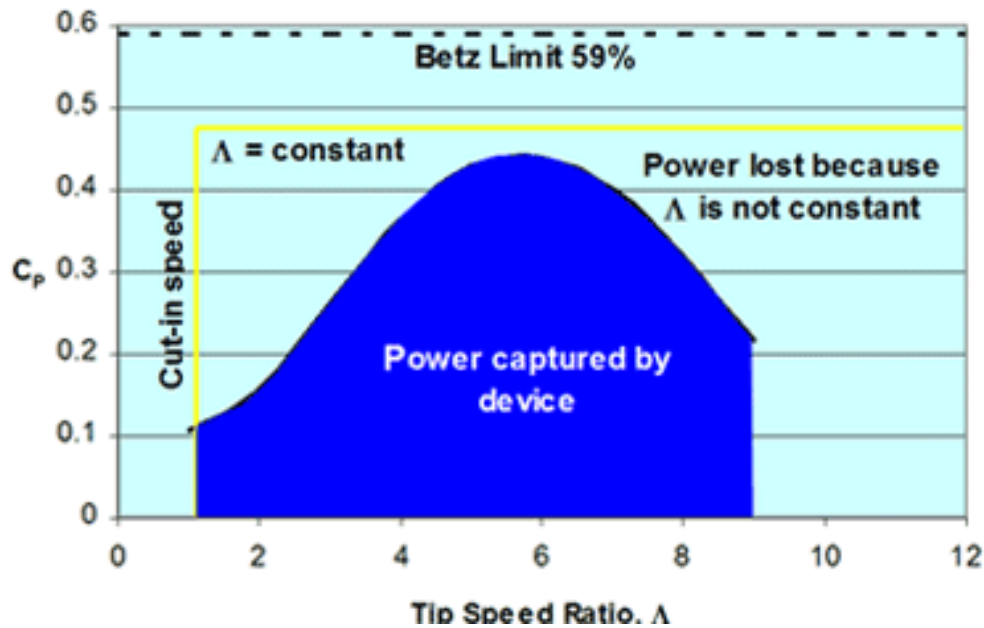
Από την άλλη πλευρά, το ξύλο ως υλικό ερευνάται πλέον για τον τομέα κατασκευής των πύργων των ανεμογεννητριών, από τη στιγμή της ανέγερσης ενός ψηλού πύργου 100 μέτρων στη Γερμανία ο οποίος υποστηρίζει στρόβιλο ισχύος 1,5 MW. Ο πύργος από ξύλο μοιράζεται τα ίδια οφέλη τμηματικής μεταφοράς με τον πύργο από χάλυβα, αλλά χωρίς την κατανάλωση του κοστοβόρου χάλυβα (Richardson, 2012).

4.2.2. Υλικά Κατασκευής Ελίκων Ανεμογεννητριών

Όσον αφορά στα υλικά κατασκευής των ελίκων/πτερυγίων/λεπίδων των ανεμογεννητριών, γενικά, σύμφωνα με τους Ma & Zhang, (2014), τα ιδανικά υλικά κατασκευής θα πρέπει να πληρούν τα ακόλουθα κριτήρια: ευρεία διαθεσιμότητα και εύκολη επεξεργασία για τη μείωση του κόστους και για τη συντήρηση, χαμηλό βάρος ή πυκνότητα για τη μείωση των βαρυτικών δυνάμεων, υψηλή αντοχή για να αντέχουν στην ισχυρή φόρτιση του ανέμου και τη βαρυτική δύναμη της ίδιας της λεπίδας, υψηλή αντοχή στην καταπόνηση για να αντέχουν την κυκλική φόρτιση, υψηλή ακαμψία για να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του βέλτιστου σχήματος και προσανατολισμού της λεπίδας, καθώς και της απόστασης από τον πύργο, υψηλή αντοχή ενάντια στη θραύση, αλλά και υψηλή αντοχή στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως σε κεραυνούς, στην υγρασία και τη θερμοκρασία.

Τα νέα σχέδια ανεμογεννητριών ωθούν την ποσότητα ισχύος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το εύρος μέχρι ένα μεγαβάτ σε πάνω από 10 μεγαβάτ, λόγω της χρήσης όλο και μεγαλύτερων λεπίδων (Aymerich, 2012). Μια μεγαλύτερη επιφάνεια αυξάνει αποτελεσματικά την αναλογία που αφορά στον δείκτη ταχύτητας της ανεμογεννήτριας σε μία δεδομένη ταχύτητα ανέμου (tip-speed ratio λ ή αλλιώς TSR), αυξάνοντας έτσι την εκχύλιση της ενέργειάς του (Lubosny, 2003).

Σε αυτό το σημείο υποσημειώνεται πως ο δείκτης tip-speed λ (lambda), ο οποίος αναφέρεται και ως TSR, για την περίπτωση των ανεμογεννητριών έγκειται στην αναλογία μεταξύ της ταχύτητας περιστροφής του άκρου ενός πτερυγίου και της πραγματικής ταχύτητας του ανέμου (βλπ. Εικόνα 31). Εάν η ταχύτητα του άκρου είναι ακριβώς η ίδια με την ταχύτητα του ανέμου, η αναλογία της ταχύτητας της άκριας είναι 1.0. Ο λόγος της ταχύτητας της άκριας έχει σχέση με την αποδοτικότητα, όπου η βέλτιστη τιμή διαφέρει ανάλογα με το σχεδιασμό της λεπίδας (<http://www.reuk.co.uk/Wind-Turbine-Tip-Speed-Ratio.htm>, ανακτήθηκε 20.5.2016). Οι υψηλότερες ταχύτητες του άκρου του πτερυγίου οδηγούν σε υψηλότερα επίπεδα θορύβου και απαιτούν ισχυρότερα κατασκευασμένες λεπίδες, λόγω την ανάπτυξη υψηλών φυγόκεντρων δυνάμεων.



Εικόνα 32. Δείκτης Tip-Speed λ για τις ανεμογεννήτριες.

(Πηγή: <http://www.reuk.co.uk/Wind-Turbine-Tip-Speed-Ratio.htm>, ανακτήθηκε 20.5.2016.)

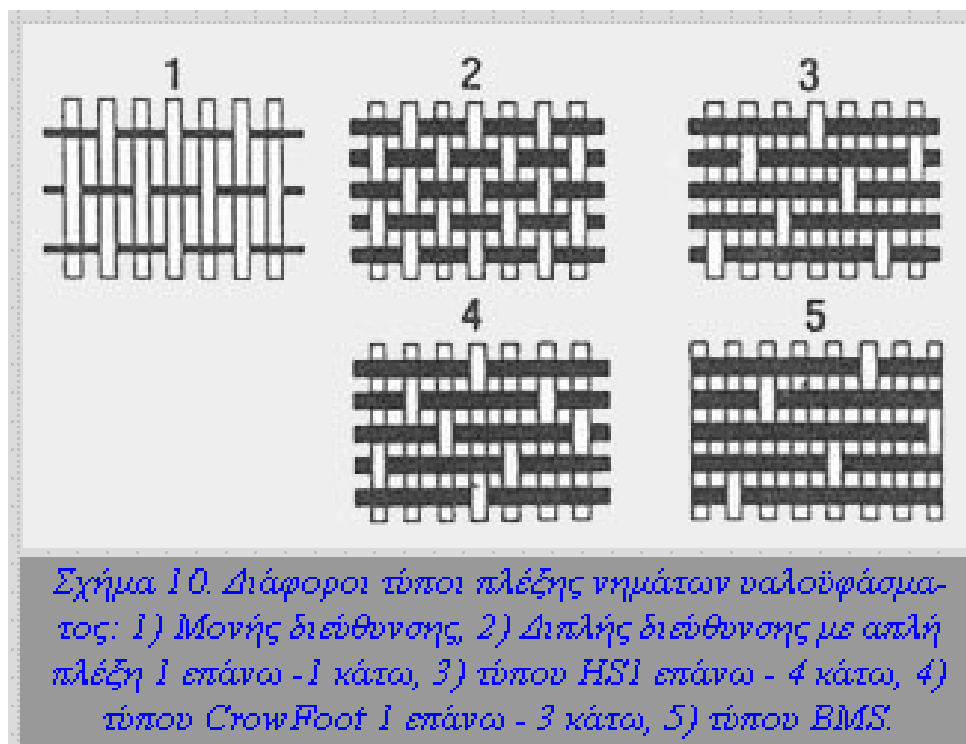
Από την άλλη πλευρά, επισημαίνεται πως η μεγαλύτερη ποσότητα ισχύος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται και με τη χρήση υπολογιστή και πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση λογισμικού μηχανικής (CAE Computer Aided Engineering), όπως είναι το HyperSizer που είναι λογισμικό σχεδιασμού, ανάλυσης και προσδιορισμού μεγέθους, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση του σχεδιασμού της λεπίδας (Collier & Ashwill, 2011; <http://www.techbriefs.com/component/content/article/8602>, ανακτήθηκε 20.5.2016).

Από το 2016, η διάμετρος του ρότορα των λεπίδων των χερσαίων ανεμογεννητριών φτάνουν σε μέγεθος τα 130 μέτρα, ενώ η διάμετρος των υπεράκτιων ανεμογεννητριών φτάνει τα 170 μέτρα, ενώ αναμένεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο (Weston, 2015 & 2016). Σε αυτό σημείο, λοιπόν, σημειώνεται πως, το 2001, εκτιμάται ότι περίπου 50 εκατομμύρια κιλά πολύστρωτων υαλονημάτων (fiberglass) χρησιμοποιήθηκαν σε λεπίδες ανεμογεννητριών (Ashwill & Griffin, 2003). Ένας σημαντικός στόχος των μεγαλύτερων συστημάτων λεπίδων είναι να ελέγξουν το βάρος των λεπίδων, καθώς η μάζα της λεπίδας διαφέρει όπως ο κύβος της

ακτίνας του στροβίλου, η φόρτιση, λόγω της βαρύτητας, περιορίζει τα συστήματα με μεγαλύτερες λεπίδες (Ashwill & Laird, 2007; Ronold & Larsen, 2000).

Υπό το φως αυτών των προβλημάτων/προκλήσεων και των ολοένα μεγαλύτερων συστημάτων λεπίδων, υπήρξε συνεχής προσπάθεια για ανάπτυξη οικονομικά αποδοτικών υλικών με υψηλότερες αναλογίες δύναμης προς μάζα (Aymerich, 2012). Προκειμένου να επεκταθεί ακόμα περισσότερο η σημερινή εικοσαετής μέση διάρκεια ζωής των λεπίδων και η αυξημένη επιφάνεια των μεγαλύτερων λεπίδων να είναι οικονομικά αποδοτική, ο σχεδιασμός και τα υλικά πρέπει να βελτιστοποιηθούν ως προς την ακαμψία, τη δύναμη και την ανθεκτικότητά τους στην καταπόνηση (Ma & Zhang, 2014; Ronold & Larsen, 2000).

Η πλειοψηφία των σημερινών εμπορευματοποιημένων λεπίδων ανεμογεννητριών κατασκευάζονται από πολυμερή ενισχυμένα με ίνες (FRP), που είναι σύνθετα υλικά από τον συνδυασμό μιας πολυμερούς βάσης με ίνες. Οι μακρές ίνες ή νήματα παρέχουν διαμήκη ακαμψία και αντοχή, και η βάση παρέχει αντοχή στη θραύση, αντοχή στην αποστρωματοποίηση, καθώς και επιπρόσθετη δύναμη και ακαμψία (Ma & Zhang, 2014). Στην Εικόνα 32 παρουσιάζονται τα διάφορα είδη πλέξης των ινών ή αλλιώς νημάτων.



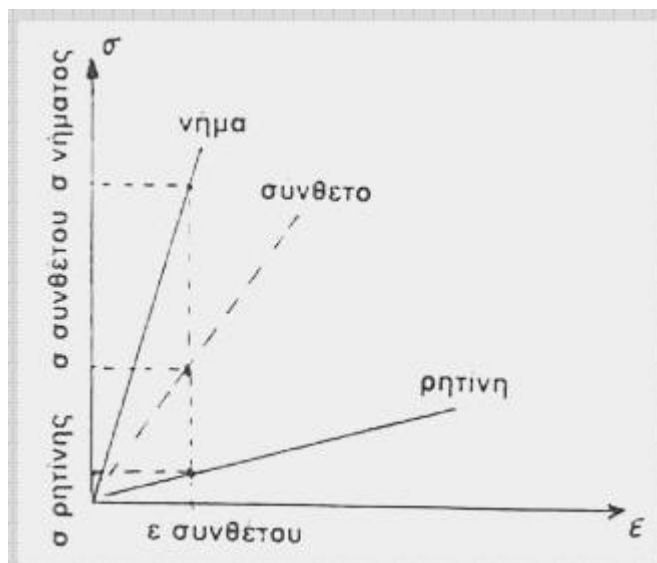
Εικόνα 33. Είδη Πλέξης Νημάτων/Ινών.

(Πηγή: http://www.redstar.gr/Foto_red/Other/Compozit.html, ανακτήθηκε 10.5.2016.)

Για την σύγκριση των υλικών προσμετρώνται οι επικαλούμενοι δείκτες υλικού, οι οποίοι είναι βασισμένοι στη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της ισχύος, καθώς και στην υψηλή αντοχή στη θραύση, στην ανθεκτικότητα στην καταπόνηση, και στη θερμική σταθερότητα. Έτσι, έχει αποδειχτεί, έπειτα από πλήθος ερευνών και μελετών, ότι είναι υψηλότεροι για το ενισχυμένο γυαλί με ίνες πλαστικού και για τον ενισχυμένο άνθρακα με ίνες πλαστικού (GFRP και CFRPs). (Bassyouni & Gutub, 2013).

Η κατασκευή περυγίων σε κλίμακα από 40 έως 50 μέτρα, βασίζεται σε δοκιμασμένες τεχνικές με τη χρήση σύνθετων υαλονημάτων. Κατασκευές, όπως είναι η Nordex και η GE Wind, χρησιμοποιούν τη μέθοδο της έγχυσης (Ashwill & Griffin, 2003). Άλλοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν παραλλαγές αυτής της τεχνικής, από τις οποίες μερικές περιλαμβάνουν άνθρακα και ξύλο σε εποξειδική «μήτρα» (βάση). Άλλες εναλλακτικές επιλογές αποτελούν, επίσης, τα

προεμποτισμένα με πρόπλασμα (prepreg) υαλονήματα και η χύτευση – υποβοηθούμενη με υποπίεση κενού – με μεταφορά ρητίνης (βλπ. Εικόνα 32).



Εικόνα 34. Σύγκριση Σύνθετων Υλικών βάσει «Μήτρας».

(Πηγή: http://www.redstar.gr/Foto_red/Other/Compozit.html, ανακτήθηκε 10.5.2016.)

Σε αυτό το σημείο υποσημειώνεται πως η χύτευση – υποβοηθούμενη με υποπίεση κενού – με μεταφορά ρητίνης καλείται τεχνική transfer molding και είναι παραπλήσια με την τεχνική compression molding (συμπίεσης ρητίνης). Αντίστοιχα, σημειώνεται πως ο όρος «πρόπλασμα» ή ξενόγλωσσα «prepreg», είναι στην πραγματικότητα μια συντομογραφία του χαρακτηρισμού «προ-εμποτισμένο». Ένα υλικό prepreg είναι ένα ενισχυμένο FRP που είναι προεμποτισμένο με ρητίνη. Τις περισσότερες φορές, η ρητίνη που χρησιμοποιείται είναι μια εποξειδική ρητίνη, ωστόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι τύποι ρητινών, συμπεριλαμβανομένης της πλειοψηφίας των θερμοσκληρυνόμενων και θερμοπλαστικών ρητινών (<http://composite.about.com/od/eqptprepreggers/a/What-Are-Prepregs.htm>, ανακτήθηκε

20.5.2016). Παρά το γεγονός ότι και οι δύο τύποι αποτελούν τεχνικά προεμποτισμένα υλικά, τα θερμοσκληρυντικά και τα θερμοπλαστικά προπλάσματα είναι υπερβολικά διαφορετικά.



Εικόνα 35. Υαλονήματα Προεμποντισμένα με Εποξειδική Ρητίνη (300gsm).

(Πηγή: <http://composite.about.com/od/eqptprepreggers/a/What-Are-Prepregs.htm>, ανακτήθηκε 20.5.2016.)

Κάθε μία από αυτές τις επιλογές, δηλαδή τα προεμποτισμένα με πρόπλασμα (prepreg) υαλονήματα και η χύτευση – υποβοηθούμενη με υποπίεση κενού – με μεταφορά ρητίνης, χρησιμοποιεί υαλονήματα και ενισχυμένα σύνθετα πολυμερή, τα οποία κατασκευάζονται με διαφορετική πολυπλοκότητα. Ίσως το μεγαλύτερο πρόβλημα με τις πιο απλοϊκές τεχνικές τύπου ανοιχτού καλουπιού (open-mould), είναι οι εκπομπές που σχετίζονται με τις πτητικές οργανικές ενώσεις, οι οποίες και απελευθερώνονται. Με προεμποτισμένα υλικά και τεχνικές έγχυσης ρητίνης (resin infusion), αποφεύγεται η απελευθέρωση πτητικών ουσιών από όλα τα αέρια που περιέχουν αντιδράσεις. Ωστόσο, οι εν λόγω διαδικασίες εγείρουν τις δικές τους προκλήσεις, δηλαδή η παραγωγή παχιών πολύστρωτων, απαραίτητα για τα δομικά συστατικά, γίνεται όλο και πιο δύσκολη. Δεδομένου ότι η διαπερατότητα του προπλάσματος (prepreg) ρητίνης

υπαγορεύει το μέγιστο πάχος ελάσματος, η έγχυση είναι απαραίτητη για την εξάλειψη των κενών, ώστε να διασφαλιστεί η ορθή κατανομή της ρητίνης. (βλπ. Ashwill & Griffin, 2003).

Μια λύση για την κατανομή της ρητίνης είναι τα μερικώς προεμποτισμένα υαλονήματα. Κατά τη διάρκεια της εκκένωσης (resin infusion), το ξηρό ύφασμα παρέχει μια διαδρομή για τη ροή του αέρα και όταν η θερμότητα και η πίεση εφαρμοστούν, η ρητίνη μπορεί να ρέει μέσα στην ξηρή περιοχή, με αποτέλεσμα μια καλά εμποτισμένη πολυστρωματική δομή (Ashwill & Griffin, 2003).

Σύνθετα υλικά με εποξειδική βάση έχουν περιβαλλοντικά, παραγωγικά, και οικονομικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα μίγματα ρητίνης. Οι εποξειδικές βάσεις επιτρέπουν, επίσης, μικρότερους κύκλους θεραπείας, αυξημένη αντοχή, καθώς και βελτιωμένο φινίρισμα επιφάνειας. Τα υλικά Prepreg λόγω της ενίσχυσης FRP τους, δηλαδή επειδή είναι προεμποτισμένα με ρητίνη, επιτυγχάνουν λειτουργία περαιτέρω μείωσης του χρόνου επεξεργασίας σε υγρά lay-up (τεχνική κατασκευής σύνθετων υλικών) συστήματα. Καθώς οι λεπίδες έχουν ξεπεράσει πλέον σε μέγεθος τα 60 μέτρα, οι τεχνικές έγχυσης έχουν γίνει πολύ πιο διαδεδομένες. Έτσι, η παραδοσιακή μέθοδος χύτευσης με μεταφορά ρητίνης απαιτεί υπερβολικά μεγάλο χρόνο έγχυσης σε σύγκριση με τη μέθοδο set-up, περιορίζοντας παράλληλα το πάχος του στρώματος. Η έγχυση ωθεί τη ρητίνη εν μέσω των παχιών στρωμάτων, αποθέτοντάς την εκεί, επιτρέποντας τη δημιουργία πολυστρωματικής δομής προτού ολοκληρωθεί η πηκτωματοποίηση. Οι εξειδικευμένες εποξειδικές ρητίνες έχουν αναπτυχθεί για να προσαρμόζεται το ιζώδες και η διάρκεια ζωής (Christou, 2007).

Από την άλλη πλευρά, τα ανθρακονήματα ενισχυμένα με φέροντες ορθοστάτες, μπορούν να μειώσουν το βάρος και να αυξήσουν την ακαμψία. Χρησιμοποιώντας ανθρακονήματα σε λεπίδες ανεμογεννητριών με μήκος που φτάνει τα 60 μέτρα, εκτιμάται ότι μειώνεται το συνολικό βάρος του έλικα κατά 38% και κατ' επέκταση, μειώνεται το κόστος κατασκευής κατά 14% σε σύγκριση με το 100% των υαλονημάτων. Τα ανθρακονήματα διαθέτουν ως πρόσθετο πλεονέκτημα, τη μείωση του πάχους των πολυστρωματικών τμημάτων σε σχέση με τα υαλονήματα, ενώ περαιτέρω αντιμετώπιση των προβλημάτων που συνδέονται με την ύγραση της ρητίνης στην τεχνική των παχιών lay-up τμημάτων (Ashwill & Griffin, 2003). Οι ανεμογεννήτριες μπορούν, ακόμη, να επωφεληθούν από τη γενική τάση αύξησης της χρήσης των ανθρακονημάτων και από τη μείωση του κόστους των υλικών από ανθρακονήματα.

Παρά το γεγονός ότι τα υαλονήματα και τα ανθρακονήματα έχουν πολλές βέλτιστες ιδιότητες όσον αφορά στην απόδοση των λεπίδων των ανεμογεννητριών, υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα σε αυτών τα υφιστάμενα υλικά πλήρωσης, συμπεριλαμβανομένου του γεγονότος ότι το κλάσμα υψηλής πλήρωσης (10-70% κ.β.) προκαλεί αυξημένη πυκνότητα, καθώς και μικροσκοπικά ελαττώματα και κενά που συχνά οδηγούν σε πρόωρη αποτυχία (Ma & Zhang, 2014).

Οι πρόσφατες εξελίξεις περιλαμβάνουν το ενδιαφέρον για τη χρήση νανο-σωλήνων άνθρακα (CNT) για την ενίσχυση των νανο-σύνθετων μιγμάτων με βάση τα πολυμερή. Οι CNT μπορούν να αναπτυχθούν ή να αποθέτονται επί των ινών, ή να προστεθούν σε ρητίνες πολυμερούς, ως μία «μήτρα» για δομές FRP. Η χρήση CNT νανο-κλίμακας ως μέσο πλήρωσης αντί των παραδοσιακών υλικών πλήρωσης (όπως τα υαλονήματα και τα ανθρακονήματα), οδηγεί σε παραγωγή νανο-σύνθετων CNT / πολυμερούς, των οποίων οι ιδιότητες μπορούν να αλλάξουν σημαντικά σε πολύ χαμηλές περιεκτικότητες πλήρωσης (τυπικά <5% κ.β.). Επιπλέον, διαθέτουν πολύ χαμηλή πυκνότητα και κατ' επέκταση η πολυμερής βάση («μήτρα») αποκτά βελτιωμένη ελαστικότητα, δύναμη και αντοχή στη θραύση. Η προσθήκη CNT στη μήτρα μειώνει, επίσης, τη διάδοση των ρωγμών εντός των στρωμάτων, ζήτημα το οποίο μπορεί να αποτελεί πρόβλημα στα παραδοσιακά FRP (Ma & Zhang, 2014).

Επίσης, περαιτέρω βελτίωση είναι δυνατή μέσω της χρήσης του νανο-ανθρακονημάτων (CNF) στο περίβλημα της λεπίδας. Ένα σημαντικό πρόβλημα σε περιβάλλοντα της ερήμου είναι η διάβρωση των ακριών των πτερυγίων από τον άνεμο που μεταφέρει άμμο, η οποία αυξάνει την τραχύτητα και μειώνει την αεροδυναμική απόδοση. Η ανθεκτικότητα στη διάβρωση από τα σωματίδια των ενισχυμένων με ίνες πολυμερών είναι κακή σε σύγκριση με τα μεταλλικά υλικά και τα ελαστομερή, και κατ' επέκταση αυτή θα πρέπει να βελτιωθεί. Ακόμα, έχει αποδειχθεί ότι η αντικατάσταση των υαλονημάτων με CNF στην επιφάνεια σύνθεσης βελτιώνει σημαντικά την ανθεκτικότητα στη διάβρωση. Τα CNF έχει, επίσης, αποδειχθεί ότι παρέχουν καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα (σημαντικό στοιχείο όσον αφορά στους κεραυνούς), υψηλό λόγο απόσβεσης, καθώς και υψηλή αντοχή στη θραύση και την τριβή. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν το νανο-χαρτί με βάση από CNF ως μια δυνητική επίστρωση για τις λεπίδες των ανεμογεννητριών (βλπ. Zhang et al., 2013; Liang et al., 2011).

Κατόπιν όλης αυτής της ανάλυσης, συνοψίζονται στη συνέχεια τα βασικά, πιο διαδεδομένα σήμερα, υλικά κατασκευής λεπίδων των ανεμογεννητριών, ενώ στο Παράρτημα Β' παρουσιάζονται αναλυτικά μέσω πινάκων όλα τα σημερινά σύνθετα υλικά στην κατασκευή των ανεμογεννητριών:

- Υβριδικά Σύνθετα Πολυμερών - Hybrid polymer composite (HPC)
- Υαλονήματα - Glass fiber (GF)
- Ανθρακονήματα - Carbon fiber (CF)
- Βασαλτονήματα - Basalt fiber (BF)

Επομένως, αυτή τη στιγμή, οι λεπίδες των ανεμογεννητριών φτιάχνονται κυρίως από σύνθετα υλικά. Αυτές οι λεπίδες κατασκευάζονται συνήθως από ρητίνη πολυεστέρα, ρητίνη βινυλίου, και εποξειδική ρητίνη θερμοσκληρυνόμενης μήτρας με υαλονήματα, και υλικά ενισχυμένα με υαλονήματα και ανθρακονήματα. Η κατασκευή βασίζεται συνήθως σε χειρονακτικές τεχνικές lay-up ή σύνθετη χύτευση με έγχυση ρητίνης. Δεδομένου ότι το κόστος των υαλονημάτων είναι μόνον περίπου το ένα δέκατο αυτού των ανθρακονημάτων, τα υαλονήματα είναι μέχρι σήμερα κυρίαρχα. Ένας από τους τρόπους αύξησης της απόδοσης κέρδους των ανεμογεννητριών είναι η αύξηση της διαμέτρου του ρότορα, και ως εκ τούτου, του μήκους της λεπίδας. Πλέον, οι λεπίδες εγείρουν περισσότερες απαιτήσεις σχετικά με την αντοχή και την ακαμψία των υλικών κατασκευής τους. Η ακαμψία είναι ιδιαίτερα σημαντική ώστε να αποφευχθεί η κάμψη των λεπίδων και να μην χτυπούν τον πύργο της ανεμογεννήτριας. Σε αυτό το σημείο σημειώνεται πως τα ανθρακονήματα είναι περίπου 4 και 6 φορές πιο άκαμπτα από τα υαλονήματα, έτσι ώστε τα ανθρακονήματα τείνουν όλο και πιο συχνά να χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των λεπίδων των ανεμογεννητριών (Brandt et al., 2003; <http://www.christinedemerchant.com/carbon-kevlar-glass-comparison.html>, ανακτήθηκε 10.5.2016).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως προαναφέρθηκε, ο αναμενόμενος αντίκτυπος της μεγάλης διείσδυσης της αιολικής ενέργειας που αναμένεται, θα επηρεάσει σημαντικά όχι μόνον την υφιστάμενη βιομηχανία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, αλλά και θα αναδύσει νέες προκλήσεις για την ίδια την ελληνική οικονομία (Kabouris & Hatziaργyγιου, 2006). Έτσι, αυτή η διπλωματική εργασία μελέτησε την τρέχουσα κατάσταση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα με επίκεντρο τις μελλοντικές προοπτικές και εξελίξεις στην περίπτωση των ανεμογεννητριών γενικά, και ειδικότερα στο Αιγαίο πέλαγος (Κυκλάδες).

Πιο αναλυτικά, στο πρώτο κεφάλαιο, το οποίο ήταν το εισαγωγικό κεφάλαιο, έγινε μια εισαγωγή στη δυναμική της αιολικής ενέργειας, αλλά και μια συγκριτική περιγραφή των συμβατικών και των ανανεώσιμων πηγών ενεργείας, ενώ παρουσιάστηκε και μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση των ανεμογεννητριών. Στο δεύτερο κεφάλαιο, ακολούθως, παρουσιάστηκαν οι τύποι των ανεμογεννητριών, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, αλλά και τα αιολικά πάρκα. Στη συνέχεια, το τρίτο κεφάλαιο αναλύθηκαν οι προοπτικές των ανεμογεννητριών στην Ελλάδα και ειδικότερα στο Αιγαίο Πέλαγος, τα αριθμητικά στοιχεία, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών, όπως και οι προοπτικές από την επικείμενη ηλεκτρική διασύνδεση των Κυκλάδων ειδικότερα. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο το οποίο αποτέλεσε και το ερευνητικό μέρος της εργασίας, αρχικά, έγινε μια σύντομη εισαγωγή στον σχεδιασμό και την κατασκευή των ανεμογεννητριών και στη συνέχεια, επικεντρώθηκε το ενδιαφέρον της έρευνας αποκλειστικά στα υλικά κατασκευής των ανεμογεννητριών.

Ανακεφαλαιώνοντας, συμπεραίνεται πως, αυτή τη στιγμή, οι λεπίδες των ανεμογεννητριών φτιάχνονται κυρίως από σύνθετα υλικά. Τα βασικά, πιο διαδεδομένα σήμερα, υλικά κατασκευής πύργων των ανεμογεννητριών είναι ο χάλυβας και το σκυρόδεμα, ενώ των λεπίδων των ανεμογεννητριών είναι τα εξής:

- Υβριδικά Σύνθετα Πολυμερών - Hybrid polymer composite (HPC)
- Υαλονήματα - Glass fiber (GF)
- Ανθρακονήματα - Carbon fiber (CF)
- Βασαλτονήματα - Basalt fiber (BF)

Έτσι, συμπεραίνεται πως οι λεπίδες των ανεμογεννητριών κατασκευάζονται συνήθως με βάση χειρονακτικές τεχνικές lay-up ή χύτευση με έγχυση σύνθετης ρητίνης. Δεδομένου ότι το κόστος των υαλονημάτων είναι μόνον περίπου το ένα δέκατο αυτού των ανθρακονημάτων, τα υαλονήματα είναι μέχρι σήμερα κυρίαρχα. Ένας από τους τρόπους αύξησης της απόδοσης κέρδους των ανεμογεννητριών είναι η αύξηση της διαμέτρου του ρότορα, και ως εκ τούτου, του μήκους της λεπίδας.

Επιπλέον, συμπεραίνεται πως ο τομέας αυτός εγείρει ολοένα και περισσότερες απαιτήσεις, σχετικά με την αντοχή, την ανθεκτικότητα και την ακαμψία των υλικών κατασκευής. Τέλος, η κυρίαρχη τάση για το μέλλον βασίζεται στα σύνθετα με νανο-νήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Ερευνητικό Έργο, Μέρος 1^ο: Έκθεση (Μάρτιος 2004). «Προκαταρκτική Μελέτη Διασύνδεσης των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας». Αθήνα.

Κάραλης Γ. (Ιούλιος – Οκτώβριος 2013). *Αιολική Ενέργεια και Χωροταξία*. Ακαδημία Ενέργειας, διαθέσιμο: http://www.aegean-energy.gr/gr/academy2013/pdf/wind_energy_and_physical_planning_A.pdf, ανακτήθηκε 21.11.2015.

Ν.3827/2010. (ΦΕΚ 30 Α 25/2/2010): «Κύρωση της Ευρωπαϊκής Σύμβασης του Τοπίου».

Ν.3851/2010. (ΦΕΚ Α 85 4/6/2010): «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής».

Παπαδόπουλος Μ., Παπαθανασίου Σ., Καραμάνου Ε. (Νοέμβριος, 2008). Τελική Έκθεση, Ερευνητικό Έργο: «Επικαιροποίηση της Στρατηγικής Μελέτης Διασύνδεσης Νησιών με το Σύστημα». Φορέας ανάθεσης: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-ΕΠΙΣΕΥ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος. Αθήνα, Τελική Έκθεση – ΕΜΠ/ΕΠΙΣΕΥ.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Ackermann Th. & Söder L. (2002). An overview of wind energy-status 2002. *Renew Sust Energy Rev*, vol. 6, pp. 67-127.
- Al-Shemmeri T. (2010). *Wind Turbines*. Ventus Publishing ApS.
- Armaroli N. & Balzani V. (2011). Towards an electricity-powered world. *Energy and Environmental Science*, vol. 4, pp. 3193–3222.
- Ashwill, T., & Laird, D., (8 – 11.01.2007). *Concepts to Facilitate Very Large Blades*. 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (AIAA 2007-817), Reno, Nevada. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Ashwill, T. D., & Griffin, D. A., (2003). Alternative Composite Materials for Megawatt-Scale Wind Turbine Blades: Design Considerations and Recommended Testing. *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 125 (4), pp. 515.
- Aymerich, F. (2012). *Composite materials for wind turbine blades: issues and challenges*. University of Cagliari: Department of Mechanical, Chemical and Materials Engineering, Italy.
- Bassyouni, M., & Gutub, S. A., (2013). Materials selection strategy and surface treatment of polymer composites for wind turbine blades fabrication. *Polymers & Polymer Composites*, Vol. 21, pp. 463-471.
- Brandt, A. M., Li, V. C., & Marshall, I. H., (Eds.). (2003). Drying Shrinkage and Crack width of an Engineered Cementitious Composite (ECC). *Proceedings of The Seventh International Symposium on Brittle Matrix Composites (BMC)*, Issue 10, pp. 37-46.
- Carmoy D. (1978). The USA faces the energy challenge. *Energy Policy*, vol. 6, pp. 36-52.
- Christou, P. (2007). Advanced materials for turbine blade manufacture. *Reinforced Plastics*, Vol. 51 (4), pp. 22.

- Cullen J. (χωρίς χρονολογία). Measuring the Environmental Benefits of Wind-Generated Electricity. Διαθέσιμο: <http://josephcullen.com/resources/measuringwind.pdf>, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- Dan, A., & McVeigh, J., (19.08.2001). *Wind Turbine - Materials and Manufacturing Fact Sheet*. Princeton Energy Resources International, LLC.
- DeBesi M. & McCormick K. (2015). Towards a Bioeconomy in Europe: National, Regional and Industrial Strategies. *Sustainability*, 7(8), pp. 10461-10478. Διαθέσιμο: <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/8/10461> και <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/8/10461/htm>, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- European Wind Energy Association – EWEA (2012). *Wind Energy - The Facts: A Guide to the Technology, Economics and Future of Wind Power*. Earthscan.
- Fleming PD & Probert SD (1984). The evolution of wind-turbines: an historical review. *Appl Energy*, vol. 18, pp. 163-177.
- Fthenakis, V. & Kim, H. C. (2009). Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13 (6–7): pp. 1465.
- Garvine R. & Kempton W. (2008). Assessing the wind field over the continental shelf as a resource for electric power. *Journal of Marine Research*, 66 (6), pp. 751–773.
- Gipe P. (1991). Wind energy comes of age California and Denmark. *Energy Policy*, vol. 19, pp. 756-767.
- Gipe, P. (1993). The Wind Industry's Experience with Aesthetic Criticism. *Leonardo*, vol. 26 (3): pp. 243–248.
- Goldstein L. (16-Mar-2014). *Density of Individual Airborne Wind Energy Systems in AWES Farms*. Request for Comments, AWELabs-002.
- Grujicic, M., Arakere, G., Pandurangan, B., Sellappan, V., Vallejo, A., and Ozen, M., (2010). Multidisciplinary Design Optimization for Glass-Fiber Epoxy-Matrix Composite 5 MW Horizontal-Axis Wind-Turbine Blades. *Journal of Materials Engineering and Performance*, November 2010, Vol. 19(8), pp. 1116–1127.
- GWEC (2013). *Annual Market Update 2012*. Global Wind Report, GWEC, Brussels.

- Hammons T. & Styczynski Z., (2006). *Panel Session: Impact of Dispersed and Renewable Generation on System Structure Including Impact of Enlarged Community on Energy Development, Power Generation, International Interconnections, Transmission and Distribution*. IEEE: General Meeting, Montreal, Canada, 18-22 June 2006.
- Holttinen H., Meibom P., Orths A., Van Hulle F., Ensslin C., Hofmann L., McCann J., Pierik J., Tande J.O., Estanqueiro A., Söder L., Strbac G., Parsons B., Smith J.C., Lemström B. (September 2006). *Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power*. IEA Wind Summary Paper, Global Wind Power Conference, 18–21 September 2006, Adelaide, Australia. Διαθέσιμο: http://www.ieawind.org/AnnexXXV/Meetings/Oklahoma/IEA%20SysOp%20GWPC2006%20paper_final.pdf, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- Huang J. & McElroy M. B. (2014). Meteorologically defined limits to reduction in the variability of outputs from a coupled wind farm system in the Central US. *Renewable Energy*, vol. 62, pp. 331–340.
- IEA (International Energy Agency) (2011). *1. Executive Summary and Key Recommendations*. Διαθέσιμο: <http://www.iea.org/Textbase/npsum/greece2011SUM.pdf>, ανακτήθηκε 12.12.2015.
- IEEE - Camm E.H., Behnke M. R., Bolado O., Bollen M., Bradt M., Brooks C., Dilling W., Edds M., Hejdak W. J., Houseman D., Klein S., Li F., Li J., Maibach P., Nicolai T., Patiño J., Pasupulati S. V., Samaan N., Saylor S., Siebert T., Smith T., Starke M., Walling R. (Wind Plant Collector System Design Working Group Contributing Members), (2009). *Characteristics of Wind Turbine Generators for Wind Power Plants*. IEEE PES.
- Kabouris J. & Hatziargyriou N. (January 2006). *Wind Power in Greece – Current Situation, Future Developments and Prospects*. Conference Paper.
- Kaldellis J. K. & Zafirakis D. (2011). The wind energy (r)evolution: A short review of a long history. *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 1887-1901.
- Kircher, M. (2012α). The transition to a bio-economy: National perspectives. *Biofuel. Bioprod. Bior.*, 6, 240–245.

- Kircher, M. (2012β). The transition to a bio-economy: emerging from the oil age. *Biofuel. Bioprod. Bior.*, 6, 396–375.
- Kling W.L. & Slootweg J.G. (June 2002). *Wind Turbines as Power Plants*. IEEE/Cigré Workshop on Wind Power and the Impacts on Power Systems, Oslo, Norway.
- Kocer, F. Y., & Arora, J. S., (1996). Design of Pre-stressed Concrete Transmission Poles: Optimization Approach. *Journal of Structural Engineering*, 122, Vol. 7 (July), pp. 804-814.
- Kocer, F. Y. and Arora, J. S. (1996). Optimal Design of Steel Transmission Poles. *Journal of Structural Engineering* 122, Vol. 11 (November), pp. 1347-1356.
- Liang, F., Tang, Y., Gou, J., & Kapat, J., (2011). Development of multifunctional nanocomposite coatings for wind turbine blades. *Ceramic Transactions*, Vol. 224, pp. 325-336.
- Lubosny, Z. (2003). *Wind Turbine Operation in Electric Power Systems: Advanced Modeling (Power Systems)*. Berlin: Springer.
- Ma, P., & Zhang, Y., (2014). Perspectives of carbon nanotubes/polymer nanocomposites for wind blade materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 30, pp. 651-660.
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 14, 217–232.
- McCormick K. & Kautto N. (2013). The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability*, vol. 5, pp. 2589–2608.
- Meyer NI. (1995). Danish wind power development. *Energy Sustain Dev.*, vol. 2, pp. 18-25.
- Murtagh, P.J., Basu B., and Broderick, B.M., (2005). Response of Wind Turbines Including Soil-Structure Interaction. *Proceedings of the Tenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Paper 270, pp. 1-17.
- Musgrove P. (2010). *Wind power*. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- National Research Council (2010). *America's Climate Choices: Panel on Advancing the Science of Climate Change. Advancing the Science of Climate Change*. Washington, D.C.: The National Academies Press. Διαθέσιμο: <http://www.nap.edu/catalog/12782/advancing-the->

- [science-of-climate-change](#) και <http://www.nap.edu/read/12782/chapter/1>, ανακτήθηκαν 18.11.2015.
- Negm, H. M. & Maalawi, K. Y., (1999). Structural Design Optimization of Wind Turbine Towers. *Computers and Structures*, Vol.74 (2000), pp. 649-666.
- Order (Οδηγία) FERC no. 661-A (December 2005). *Interconnection for Wind Energy*. Docket No. RM05-4-001.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., et al. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333, 988–993.
- Pasqualetti MJ, Righter R & Gipe P (2004). *History of Wind energy*. Encyclopedia of Energy, pp. 419-433.
- Platt R., Fitch-Roy O. & Gardner P. (August 2012). *Beyond the Bluster why Wind Power is an Effective Technology*. Institute for Public Policy Research. Διαθέσιμο: http://www.ippr.org/files/images/media/files/publication/2012/08/beyond-the-bluster_Aug2012_9564.pdf?noredirect=1, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- Quilligan, A., O'Connor A., Pakrashi V. (2012). Fragility analysis of steel and concrete wind turbine towers. *Engineering Structures*, Vol. 36, pp. 270-282.
- Righter RW. (1996). Pioneering in wind energy: the California experience. *Renew Energy*, vol. 9, pp. 781-784.
- Ronald, K. O., & Larsen, G. C., (2000). Reliability-based design of wind-turbine rotor blades against failure in ultimate loading. *Engineering Structures*, Vol. 22(6), pp. 565-574.
- Scarlat N., Dallemand J.-F., Monforti-Ferrario F., and Nita V. (July 2015). The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development*, vol. 15, pp. 3–34. Διαθέσιμο: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464515000305>, ανακτήθηκε 18.11.2015.

- Silva, M. A., Arora, J. S., and Brasil, R., (2008). *Formulations for the Optimal Design of RC Wind Turbine Towers*. Engineering Optimization (June 2008) – International Conference on Engineering Optimization.
- Thomas RL & Robbins WH (1980). Large wind-turbine projects in the United States wind energy program. *Wind Eng Ind Aerodyn*, vol. 5, pp. 323-335.
- Timmons D., Harris J. M., and Roach B. (2014). *The Economics of Renewable Energy*. Global Development and Environment Institute: Tufts University, Medford.
- Walwyn D. R. & Brent A. C. (2015). Renewable energy gathers steam in South Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 390–401.
- Wijffels, R.H. & Barbosa, M.J. (2010). An outlook on microalgal biofuels. *Science*, 329, 796–799.
- Wind Plant Collector System Design Working Group (July 2009α). ‘Wind Power Plant Collector System Design Considerations’. In Proc. IEEE (2009), *Power and Energy Society General Meeting*. Calgary, Canada.
- Wind Plant Collector System Design Working Group (July 2009β). ‘Reactive Power Compensation for Wind Power Plants’. In Proc. IEEE (2009), *Power and Energy Society General Meeting*. Calgary, Canada.
- Wiser R. & Barbose G. (April 2008). *Renewables Portfolio Standards in the United States: A Status Report with Data Through 2007*. Environmental Energy Technologies Division: Energy Analysis Department. Διαθέσιμο: <https://emp.lbl.gov/sites/all/files/PRESENTATION%20lbl-154e-ppt-revised.pdf>, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- Zavadil R., Miller N., Ellis A., & Muljadi E. (Nov.-Dec. 2005). Making Connections (Wind Generation Facilities). *IEEE Power & Energy Magazine*, vol. 3, no. 6, pp. 26-37.
- Zhang, N., Yang, F., Guerra, D., Shen, C., Castro, J., & Lee, J. L., (2013). Enhancing particle erosion resistance of glass-reinforced polymeric composites using carbon nanofiber-based nanopaper coatings. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 129(4), pp. 1875-1881.

B. Δικτυογραφία

Ελληνική Δικτυογραφία

Αιολική ενέργεια από Κυκλάδες και Εύβοια – Περιμένουν 610 Μεγαβάτ (31 Ιουλίου 2015), διαθέσιμο: <http://www.econews.gr/2015/07/31/aioliki-energeia-nisia-123778/>, ανακτήθηκε 8.12.2015.

Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας – ΑΔΜΗΕ (Φεβρουάριος 2014), Δεκαετής Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2015-2024 (Προκαταρκτικό Σχέδιο), διαθέσιμο: http://www.admie.gr/uploads/media/DPA_2015-2024_Prokatarktiko_Schedio_Kyrio_teychos.pdf, ανακτήθηκε 21.11.2015.

Eco_Editor (August 7th, 2015). Υπεράκτιο αιολικό-γίγας στη Βόρεια Θάλασσα μπορεί να φτάσει στα 4,8 Γιγαβάτ – Dogger Bank. Διαθέσιμο: <http://greekinter.net/energy/?tag=%CF%85%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%B1-%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%B7-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1>, ανακτήθηκε 12.12.2015.

Εγκρίθηκαν οι περιβαλλοντικοί όροι για αιολικά πάρκα σε Νάξο, Πάρο, Τήνο, Άνδρο (21.12.2013). <http://www.cycladesvoice.gr/?aid=36757>, ανακτήθηκε 10.5.2016.

Ελαφρός Γ. (29.01.2015). Η αιολική ενέργεια αναπτύσσεται δυναμικά. Εφημερίδα Καθημερινή, διαθέσιμο: <http://www.kathimerini.gr/801321/article/epikairothta/perivallon/h-aiolikh-energeia-anaptyssetai-dynamika>, ανακτήθηκε 8.12.2015.

ΕΛΕΤΑΕΝ (3.11.2015), διαθέσιμο: <http://eletaen.gr/wp-content/uploads/2015/11/20151103-%CE%95%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%BB%CE%B7-%CE%A5%CE%A0%CE%95%CE%9D->

[%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7-
%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A4%CE%91%CE%95%CE%9D-
%CE%B3%CE%B9%CE%B1-
%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%
BF-
%CE%A5%CF%80%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CE%B
E%CE%B7%CF%82.pdf](#), ανακτήθηκε 8.12.2015.

Ελληνικά Καλώδια (22.4.2016). *Παρουσίαση της Ελληνικά Καλώδια στην Ένωση Θεσμικών Επενδυτών*. Δελτίο Τύπου. Διαθέσιμο: http://www.ethe.org.gr/files/pdf/ELLHNIKA%20KALODIA_1461327108.pdf, ανακτήθηκε 10.5.2016.

Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα το 2012 – Ισχύς, ηγέτες αγοράς και προοπτικές (22 Ιανουαρίου 2013), διαθέσιμο: <http://www.econews.gr/2013/01/22/aioliki-energeia-ellada-2012-94826/>, ανακτήθηκε 8.12.2015.

Θετικά μηνύματα για τις ανεμογεννήτριες στην Ελλάδα (02/02/2015), διαθέσιμο: <http://energyin.gr/2015/02/02/%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%BC%CE%B7%CE%BD%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B9%CF%82-%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81/>, ανακτήθηκε 8.12.2015.

Κοπανάκης Ι. & Κρομπα Δ. (24.01.2016). *Αποψη: Η ηλεκτρική διασύνδεση της Κρήτης*. Εφημερίδα «Καθημερινή», ηλεκτρονική έκδοση, διαθέσιμο: <http://www.kathimerini.gr/846870/article/oikonomia/ellhnikh-oikonomia/apoyh-h-hlektrikh-diasyndesh-ths-krhths>, ανακτήθηκε 10.5.2016.

Προχωράει το έργο της ηλεκτρικής διασύνδεσης των Κυκλάδων (20.1.2015), διαθέσιμο: <http://mileikanea.gr/news/cyclades-news/2408-proxwraei-ergo-hlektrikhs-diasyndeshs-kykladwn>, ανακτήθηκε 20.5.2016.

Σεντελές, Α. (22.1.2016). *Αιολικά πάρκα και νησιωτικός χώρος: Η περίπτωση των νησιών των Κυκλάδων*. http://www.citybranding.gr/2016/01/blog-post_22.html, ανακτήθηκε 10.5.2016.

Το μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό του κόσμου από το διάστημα – London Array (23 January 2014). Διαθέσιμο: <http://energy-engineer.blogspot.tw/2014/01/london-array.html>, ανακτήθηκε 12.12.2015.

Τζεν, Ε. (2012). *Παρουσίαση του Έργου: «Εκπόνηση Μελετών για τη Στρατηγική Περιβαλλοντική Εκτίμηση του Εθνικού Προγράμματος Ανάπτυξης Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων» MIS 375406*. Τμήμα Αιολικής Ενέργειας ΚΑΠΕ. Διαθέσιμο: http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/MIS_sept15/MIS%20375406_CRES_ETZEN.pdf, ανακτήθηκε 12.4.2016.

<http://cyclades24.gr/2015/12/energeia-diasindesh-kiklades-argoun/>, ανακτήθηκε 20.5.2016.

<http://energypress.gr/news/vgaini-o-diagonismos-gia-ti-diasyndesi-ton-kykladon>, ανακτήθηκε 20.5.2016.

<http://energypress.gr/news/vgike-o-diagonismos-tis-dei-gia-ti-diasyndesi-ton-kykladon>, ανακτήθηκε 20.5.2016.

<http://www.euro2day.gr/news/economy/article/1253029/energeia-se-dyo-hronia-h-hlektrikh-diasyndesh-ton.html>, ανακτήθηκε 20.5.2016.

<http://www.whatgr.com/bo/th-boreia-8alassa.html>, ανακτήθηκε 12.12.2015.

http://www.redstar.gr/Foto_red/Other/Compozit.html, ανακτήθηκε 10.5.2016.

Ξενογλώσση Δικτυογραφία

Abbess, J. (28 August 2009). *Wind Energy Variability and Intermittency in the UK*, διαθέσιμο: <http://www.claverton-energy.com/wind-energy-variability-new-reports.html>, ανακτήθηκε 18.11.2015.

- Naughton, B. (2016). *Wind Database*. Διαθέσιμο: <http://energy.sandia.gov/energy/renewable-energy/water-power/technology-development/advanced-materials/mhk-materials-database/>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- Collier C. & Ashwill T. (10.05.2011). *Materials and design methods look for the 100-m blade*. Διαθέσιμο: <http://www.windpowerengineering.com/design/mechanical/materials-and-design-methods-look-for-the-100-m-blade/>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- D'Silva R. (February 5, 2014). *Advantages and Disadvantages of Wind Energy*. Διαθέσιμο: <http://www.buzzle.com/articles/advantages-disadvantages-wind-energy.html>, ανακτήθηκε 8.12.2015.
- Dodge DM. (χωρίς χρονολογία). *The illustrated history of wind power development*. Littleton, Colorado: U.S.A., διαθέσιμο: <http://www.telosnet.com/wind/>, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- ESB National Grid (February 2004), *Impact of Wind Power Generation in Ireland on the Operation of Conventional Plant and the Economic Implications*, διαθέσιμο: <http://www.webcitation.org/61DCF8w97>, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- ETPs and EUFETEC (2008). *The European Bioeconomy In 2030: Delivering Sustainable Growth by addressing the Grand Societal Challenges*. Διαθέσιμο: <http://www.epsoweb.org/file/560>, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- European Commission (2012). *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe*. Brussels: Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions. Διαθέσιμο: http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/201202_innovating_sustainable_growth_en.pdf, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- Financial Instruments and Economic incentives for Energy Investments*, διαθέσιμο: http://www.cres.gr/kape/epixeiriseis_ependites_uk.htm, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- Levitan, D. (16.05.2013). *Too Tall for Steel: Engineers Look to Concrete to Take Wind Turbine Design to New Heights*. <http://spectrum.ieee.org/energywise/green-tech/wind/too-tall-for-steel-engineers-look-to-concrete-to-take-wind-turbine-design-to-new-heights>, ανακτήθηκε 20.5.2016.

- Markham, D. (25.10.2013). *Dragonfly wind turbine aims to blend in, produce power in low wind conditions*. Διαθέσιμο: <http://www.treehugger.com/wind-technology/dragonfly-wind-turbine-aims-blend-produce-power-low-wind-conditions.html>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- Murrye B. (no date). *Wind Energy Pros and Cons Can Wind Energy Factor Into Your Home Remodel?*. Διαθέσιμο: <http://homerenovations.about.com/od/renewableenergysystems/a/Wind-Energy-Pros-And-Cons.htm>, ανακτήθηκε 8.12.2015.
- Neslen A. (13.10.2014). *Wind power is cheapest energy, EU analysis finds*, διαθέσιμο: <http://www.theguardian.com/environment/2014/oct/13/wind-power-is-cheapest-energy-unpublished-eu-analysis-finds>, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- Non-renewable Energy*, διαθέσιμο: <http://www.charpell.com/2014/12/non-renewable-energy.html>, ανάκτηση 18.11.2015.
- Offshore Wind Energy* (October 2010), Fact Sheet, διαθέσιμο: http://www.eesi.org/files/offshore_wind_101310.pdf, ανακτήθηκε 12.12.2015.
- Platt, R. (19 January 2013). *Wind power delivers too much to ignore*, διαθέσιμο: <https://www.newscientist.com/article/mg21729000.200-wind-power-delivers-too-much-to-ignore/>, ανακτήθηκε 18.11.2015.
- Pros & Cons of Wind Energy*, διαθέσιμο: <http://energyprosandcons.org/>, ανακτήθηκε 8.12.2015.
- Pros And Cons Of Wind Turbines* (December 2, 2012), διαθέσιμο: <http://freeliff.com/pros-and-cons-of-wind-turbines/>, ανακτήθηκε 8.12.2015.
- Richardson, J. (18.10.2012). *99% Natural Timber Tower for Wind Turbines*. Διαθέσιμο: <http://cleantechnica.com/2012/10/18/99-natural-timber-tower-provides-wind-power/>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- Stinson, L. (05.15.2015). *The Future of Wind Turbines? No Blades*. Διαθέσιμο: <http://www.wired.com/2015/05/future-wind-turbines-no-blades/>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- Terra-Gen: <http://www.terra-gen.com/>, ανακτήθηκε 12.12.2015.
- Watts J. & Huang C. (20.3.2012). *Winds of change blow through China as spending on renewable energy soars*. Διαθέσιμο:

- <http://www.theguardian.com/world/2012/mar/19/china-windfarms-renewable-energy>, ανακτήθηκε 12.12.2015.
- Weston, D. (11.02.2015). *Nordex secures first N131/3000 in Finland*. Διαθέσιμο: <http://www.windpowermonthly.com/article/1333448/nordex-secures-first-n131-3000-finland>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- Weston, D. (15.02.2016). *Towers to reach 170 metres, report predicts*. Διαθέσιμο: <http://www.windpowermonthly.com/article/1383565/towers-reach-170-metres-report-predicts>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- What Are Prepregs Understanding the Basics of Prepregs*. Διαθέσιμο: <http://composite.about.com/od/eqptpreggers/a/What-Are-Prepregs.htm>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- Wind Energy Center Alumni*, Wind Energy Center, διαθέσιμο: <http://www.umass.edu/windenergy/about/history/alumni>, ανακτήθηκε 12.12.2015.
- World Steel Association (2012). *Steel Solutions in the Green Economy: Wind Turbines*. Διαθέσιμο: <https://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/worldsteel-wind-turbines-web/document/Steel%20solutions%20in%20the%20green%20economy:%20Wind%20turbines.pdf>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- 30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from Greece*, διαθέσιμο: https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/GWEC_Greece.pdf, ανακτήθηκε 10.11.2015.
- <http://www.reuk.co.uk/Wind-Turbine-Tip-Speed-Ratio.htm>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- <http://www.techbriefs.com/component/content/article/8602>, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- https://web.archive.org/web/20100923194211/http://www.awea.org/faq/wwt_basics.html, ανακτήθηκε 10.5.2016.
- http://www.beestonprimary.co.uk/files/wind_turbine_callum.pdf, ανακτήθηκε 20.5.2016.
- <http://www.christinedemerchant.com/carbon-kevlar-glass-comparison.html>, ανακτήθηκε 10.5.2016.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

Σχέδια Ηλεκτρικής Διασύνδεσης Κυκλάδων με την Ηπειρωτική Ελλάδα

Πίνακας Π1. Εξέλιξη της Ζήτησης σε Ηλεκτρική Ενέργεια ανά νησί

Νησί \ Έτος	2002 (GWh)	2010		2020		2030	
		Ρυθμός 2002-2010	GWh	Ρυθμός 2010-2020	GWh	Ρυθμός 2020-2030	GWh
Άνδρος	19,27	6%	30,72	4%	46,00	3%	61,80
Τήνος	17,52	6%	27,92	4%	41,33	3%	55,60
Σύρος	92,51	6%	147,44	4%	218,25	3%	293,30
Μύκονος	93,38	5%	137,97	2%	168,18	2%	205,00
Νάξος	87,60	6%	139,62	4%	207,00	3%	278,20
Πάρος	92,86	6%	148,00	4%	219,07	3%	294,40
Σύνολο	403,14		631,67		899,84		1188,30
Μήλος	32,06	7%	55,09	5%	89,73	4%	132,83
Σίφνος	15,17	7%	26,07	5%	42,46	4%	62,86
Σέριφος	8,06	7%	13,85	5%	22,56	4%	33,39
Σύνολο	458,43		726,67		1054,59		1417,37

(Πηγή: Έκθεση (Μάρτιος 2004), σελ. 34.)

Πίνακας Π2. Εξέλιξη Ισχύος ανά νησί

Νησί \ Έτος	2002 (MW)	2010		2020		2030	
		Ρυθμός 2002-2010	MW	Ρυθμός 2010-2020	MW	Ρυθμός 2020-2030	MW
Άνδρος	5,50	6%	8,77	4%	13,00	3%	17,50
Τήνος	5,00	6%	7,97	4%	11,80	3%	15,90
Σύρος	19,20	6%	30,60	4%	45,30	3%	60,90
Μύκονος	26,65	5%	39,37	2%	48,00	2%	58,50
Νάξος	25,00	6%	39,85	4%	59,00	3%	79,30
Πάρος	26,50	6%	42,24	4%	62,52	3%	84,00
Σύνολο	107,85		168,79		239,61		316,10
Μήλος	9,15	7%	15,72	5%	25,61	4%	37,91
Σίφνος	4,33	7%	7,44	5%	12,12	4%	17,94
Σέριφος	2,30	7%	3,95	5%	6,44	4%	9,53
Σύνολο	123,63		195,91		283,78		381,47

(Πηγή: Έκθεση (Μάρτιος 2004), σελ. 35.)

Πίνακας Π3. Προβλεπόμενη Εξέλιξη της Μέγιστης Ζήτησης (MW)

	2010	2015	2020	2025	2030	2035
ΒΡΟΧΟΥ						
Χωρίς επεκτάσεις	103	121	139	157	173	182
Επέκταση Ίου-Θήρας	50	63	77	90	95	103
Με επέκταση Ίου – Θήρας	153	184	216	247	272	285
Επέκταση Ικαρίας-Σάμου	56	71	91	111	120	139
Με επέκταση και Ικαρίας-Σάμου	209	251	307	358	392	424
ΛΑΥΡΙΟ - ΣΥΡΟΣ						
Χωρίς επεκτάσεις	156	186	215	244	267	280
Με επέκταση Ίου - Θήρας	206	249	292	334	366	383
Με επέκταση και Ικαρίας-Σάμου	362	435	507	578	633	663

(Πηγή: Τελική Έκθεση (Νοέμβριος 2008), στο: Παπαδόπουλος et al. 2008, σελ. 20.)

Πίνακας Π4. Διασύνδεση Του-Θήρας με ισοδύναμη μονάδα

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	Σενάριο Α			Σενάριο Β			
	ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ			ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΔΙΠΛΟ ΑΣ ΥΒΚ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΤΗΣΗ ΤΟΠΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ			
	ΙΟΣ - ΘΗΡΑ			Τοπική Παραγωγή	Σύστημα	Σύνολο ΘΗΣ & Διασής	
Κόστος διασύνδεσης (Μ€)	-			-	220.000	220.000	
Κόστος επαύξησης ισχύος και αντικατάστασης μονάδων (Μ€)	33.746			0.038	51.293	51.332	
Παραμένουσα αξία αποξηλωθεισών μονάδων (Μ€)	0.000			-5.389	0.000	-5.389	
Σταθερό κόστος παραγωγής συμβατικών μονάδων(Μ€)	56.584			15.336	28.233	43.570	
Μεταβλητό κόστος παραγωγής συμβατικών μονάδων(Μ€)	498.364			0.000	177.548	177.548	
Κόστος καυσίμου και Ο&Μ	431.619			0.000	150.872	150.872	
Κόστος εκπομπών	66.745			0.000	26.676	26.676	
Κόστος παραγωγής Σταθμών ΑΠΕ (Μ€)	51.708			0.000	0.000	172.562	
Ολικό κόστος (Μ€)	640.402			9.986	477.075	659.623	
Μέσο μοναδιαίο κόστος παραγωγής 25ετίας (€/ΜWh)	191.079					167.616	
Ανηγγμένο μοναδιαίο κόστος παραγωγής 25ετίας (€/ΜWh)	180.621					186.042	
Παραχθείσα ενέργεια το μέσο έτος της πενταετίας (ποσοστά % της συνολικής ζήτησης)							
Πενταετία	Ζήτηση ενέργειας (ΜWh)	Ενέργεια ΘΗΣ	Ενέργεια ΣΥΣΤ	Ενέργεια ΑΠΕ	Ενέργεια ΘΗΣ	Ενέργεια ΣΥΣΤ	Ενέργεια ΑΠΕ
1 ^ο	224.4	86.4	0.0	13.6	0.0	58.4	41.6
2 ^ο	280.9	86.4	0.0	13.6	0.0	33.5	66.5
3 ^ο	335.3	86.4	0.0	13.6	0.0	44.3	55.7
4 ^ο	381.2	86.4	0.0	13.6	0.0	51.0	49.0
5 ^ο	420.8	86.4	0.0	13.6	0.0	55.6	44.4

(Πηγή: Τελική Έκθεση (Νοέμβριος 2008), στο: Παπαδόπουλος et al. 2008, σελ. 24.)

Πίνακας Π15. Διασύνδεση Ίου-Θήρας με οριακή τιμή συστήματος

	Σενάριο Α			Σενάριο Β			
	ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ			ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΔΙΓΩΟ ΑΣ ΥΒΚ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΓΗΣΗ ΤΟΠΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ			
	ΙΟΣ - ΘΗΡΑ			Τοπική Παραγωγή	Σύστημα	Σύνολο ΘΗΣ & Διασής	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ							
Κόστος διασύνδεσης (Μ€)	-			-	220.000	220.000	
Κόστος διαθεσιμότητας ισχύος συμβατικών μονάδων(Μ€)	177.077			47.994	83.945	131.939	
Μεταβλητό κόστος παραγωγής συμβατικών μονάδων(Μ€)	498.364			0.000	206.822	206.822	
Κόστος καυσίμου και Ο&Μ	431.619			0.000	180.146	180.146	
Κόστος εκπομπών	66.745			0.000	26.676	26.676	
Κόστος παραγωγής Σταθμών ΑΓΕ (Μ€)	51.708			0.000	0.000	172.562	
Ολικό κόστος (Μ€)	727.149			47.994	510.767	731.323	
Μέσο μοναδιαίο κόστος παραγωγής 25ετίας (€/ΜWh)	215.745					188.635	
Ανηγμένο μοναδιαίο κόστος παραγωγής 25ετίας (€/ΜWh)	205.087					206.264	
Παραχθείσα ενέργεια το μέσο έτος της πενταετίας (ποσοστά % της συνολικής ζήτησης)							
Πενταετία	Ζήτηση ενέργειας (ΜWh)	Ενέργεια ΘΗΣ	Ενέργεια ΣΥΣΤ	Ενέργεια ΑΠΕ	Ενέργεια ΘΗΣ	Ενέργεια ΣΥΣΤ	Ενέργεια ΑΠΕ
1 ^η	224.4	86.4	0.0	13.6	0.0	58.4	41.6
2 ^η	280.9	86.4	0.0	13.6	0.0	33.5	66.5
3 ^η	335.3	86.4	0.0	13.6	0.0	44.3	55.7
4 ^η	381.2	86.4	0.0	13.6	0.0	51.0	49.0
5 ^η	420.8	86.4	0.0	13.6	0.0	55.6	44.4

(Πηγή: Τελική Έκθεση (Νοέμβριος 2008), στο: Παπαδόπουλος et al. 2008, σελ. 25.)

Πίνακας Π6. Κοστολόγηση Επέκτασης προς Ικαρία-Σάμο από Μύκονο

Εγκατάσταση	Μοναδιαίο Κόστος (κ€)	Πλήθος	Έτος	Κόστος Εγκατάστασης (κ€)	Ανηγμένο κόστος (2010) (κ€)
1. Αναχωρήσεις από Μύκονο	800	2	2010	1.600	1.600
2. ΥΒΚ Χίος-Ικαρία 2x140MVA	700	2x80km	2010	112.000	112.000
3. Υ/Σ Ικαρίας 2x25MVA	4.000	2	2010	8.000	8.000
4. ΥΒ Ικαρία-Σάμος 2x140MVA	700	2x80km	2010	112.000	112.000
5. Υ/Σ Σάμου 2x50MVA	5.000	2	2010	10.000	10.000
6. Πηνία αντιστάθμισης 2x50MVAR SVC +50/-50MVAR	1.500 10.000	3.000 10.000	2010	3.000 10.000	3.000 10.000
Σύνολο					256.600

(Πηγή: Τελική Έκθεση (Νοέμβριος 2008), στο: Παπαδόπουλος et al. 2008, σελ. 27.)

Πίνακας Π7. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Διασυνδέσεων

ΣΕΝΑΡΙΑ	Ολικό κόστος		Ποσοστιαίο		ΠΠΝΑΚΕΣ
	Πλήρη ΑΠΕ	25% ΑΠΕ	Πλήρη ΑΠΕ	25% ΑΠΕ	
ΙΟΥ-ΘΗΡΑΣ (1)					
Αυτοδύναμη Ανάπτυξη	640	640	100,0	100,0	3-2(1)
Διασύνδεση	660	673	103,1	105,2	
ΙΟΥ-ΘΗΡΑΣ (2)					
Αυτοδύναμη Ανάπτυξη	727	727	100,0	100,0	3-2(2)
Διασύνδεση	731	766	100,5	105,3	
ΧΙΟΥ-ΛΕΣΒΟΥ (1)					
Αυτοδύναμη Ανάπτυξη	2.100	2.100	100,0	100,0	4-5(1)
Διασύνδεση-Σενάριο Β(α)	1.750	1.960	83,3	933,3	
ΧΙΟΥ-ΛΕΣΒΟΥ (2)					
Αυτοδύναμη Ανάπτυξη	2.353	2.353	100,0	100,0	4-5(2)
Διασύνδεση-Σενάριο Β(α)	1.728	2.281	73,4	900,5	
ΧΙΟΣ-ΙΚΑΡΙΑ-ΣΑΜΟΣ (1)					
Αυτοδύναμη Ανάπτυξη	971	971	100,0	100,0	4-8(1)
Διασύνδεση-Σενάριο Γ(α)	837	873	86,2	89,9	
ΧΙΟΣ-ΙΚΑΡΙΑ-ΣΑΜΟΣ (2)					
Αυτοδύναμη Ανάπτυξη	1.054	1.054	100,0	100,0	4-8(2)
Διασύνδεση-Σενάριο Β(α)	892	1.039	84,6	98,6	

(Πηγή: Τελική Έκθεση (Νοέμβριος 2008), στο: Παπαδόπουλος et al. 2008, σελ. 113.)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'

Σύνθετα Υλικά Κατασκευής Ανεμογεννητριών (Αναλυτικοί Πίνακες)

Πίνακας Π8. Περίληψη Επιλεγμένων Σύνθετων με Ρητίνη

Name	Type	Resin	Cure and Post Cure Temperature, °C
EP-1	Epoxy	Hexion MGS RIMR 135/MGS RIMH 1366	24h/20C, 12h/90C
EP1a	Epoxy	Hexion MGS RIMR 135/MGS RIMH 1366	24h/35C, 12h/70C
EP-2	Epoxy	Vantico TDT 177-155	24h/20C, 8h/70C
EP-3	Epoxy	SP Systems/Gurit Prime 20LV, with slow hardener	24h/20C, 16h/50C
EP-4	Epoxy	Huntsman Araldite LY1564/XB3485	60C and 82C
EP-5	Epoxy	Hexion RIMR135 / RIMH137	24h/20C, 8h/70C
EP-6	Epoxy	Jeffco 1401-12/4101-17	24h/20C, 14h/60C, 2h/85C
EP-7	Epoxy	DOW un-toughened epoxy	24h/20C, 12h/90C
EP-8	Epoxy	DOW toughened epoxy	24h/20C, 12h/90C
EP-9	Epoxy	Hexion RIMR 035C/ RIMH 037	6h/70 C
EP-10	Epoxy	Hexion RIMR 145/RIMH 145/ RIMC 145 (100:82:0.3 by wt)	Infused at 80C, ramped up to 120C in 40 minutes, held 4 hours, cooled to 80C and held for 8 hours
UP-1	Polyester	U-Pica/Hexion TR-1 with 1.5% MEKP	24h/20C, 12h/90C
UP-2	Polyester	CoRezyn 63-AX-051 with 1% MEKP	6h/20C, 2h/60 C
UP-3	Polyester	Ashland AROPOL 1101-006 LGT with 1.5% DDM-9 MEKP	Unspecified / 3h/65C
UP-4	Polyester	CoRezyn 75-AQ-010 with 2.0% MEKP	6h/20C, 2 h/60 C
UP-5	Polyester	Reichhold Polylyte X4627-31	24h/25C, 12h/70C
VE-1	Vinyl ester	Ashland Derakane Momentum 411-350 with 0.1% CoNap, 1% MEKP and 0.02 phr 2,4-Pentanedione	24h/20C, 2h/100C
VE-2	Vinyl ester	Ashland Derakane 8084 with 0.3% CoNap and 1.5% MEKP	24h/20C, 12h/90C
VE2a	Vinyl ester	Ashland Derakane 8084 with 6% ETBN	24h/20C, 12h/90C
VE-3	Vinyl ester	Ashland Derakane 411-200	Not specified
VE-4	Vinyl ester	Reichhold Dion X4486-14	24h/25C, 12h/70C
VE-5	Vinyl ester	Reichhold Dion X4235-91	24h/35C, 12h/70C
VE-6	Vinyl ester	Reichhold Dion X4627-39	24h/25C, 12h/70C
VE-7	Vinyl ester	Ashland 601-200	24h/25C, 12h/70C

(Πηγή: Naughton (2016).)

Πίνακας Π9. Περίληψη Επιλεγμένων Υφασμάτων

	Fabric Manufacturer	Designation	Areal Wt. (g/m ²)	Component Strands Warp Dir.(wt.%)				
				0°	±45°	90°	Mat	Stitch
A	Knytex	D155	527	0	0	99	0	1
B	Saertex	U14EU920-00940-T1300-100000	955	91	0	8	0	1
C	Saertex	S15EU980-01660-T1300-088000	1682	97	0	2	0	1
D	Vectorply	E-LT-5500	1875	92	0	6	0	2
E	Vectorply	E-LM-1810	932	67	0	0	32	1
F	Vectorply	E-LM-3610	1515	80	0	0	20	0
G	Vectorply	E-LM-3900	1346	90	0	9	0	1
H	PPG-Devold LLC	L1200/G50-E07	1261	91	0	4	4	1
I	OCV	1000UD	985	96	0	2	0	2
J	OCV	1200UD	1150	95	0	4	0	1
K	OCV	1322UD	1450	95	0	4	0	1
L	Saertex	VU-90079-00830-01270-000000	831	0	97	2	0	1
M1	Fiber Glass Ind.	SX-1708	857	0	68	0	30	2
M2	Knytex	DBM-1708	857	0	68	0	30	2
N	Vectorply	E-BX-1700	608	0	99	0	0	1
O	OCV	WindStrand DB1000	1000	5	94	0	0	1
P	PPG-Devold LLC	DB810-E05-A	808	0	99	0	0	1
Q	Knytex	DB240	837	0	98	0	0	2
R	Saertex	MMWK Triax, Glass/carbon/glass	970	69	31	0	0	NA
S	Toray	ACM-13-2 carbon (300-48k-10C yarn)	600	100	0	0	0	NA

(Πηγή: Naughton (2016).)

Πίνακας Π10. Ανάλυση Ιδιοτήτων Πολυστρωματικών και FEA ως βάση Υλικών Prepreg

	lay-up	VF %	EL, GPa	ET, GPa	NU, LT	GLT, GPa	UTS-L, MPa	Max. Strain, %	UCS-L, MPa	Min. Strain, %	Tau-T, GPa	UTS-T, MPa	Max. Strain, %	UCS-T, MPa	Min. Strain, %	
Fabric																
U14EU920-00940-T1300-100000	[0]2	52	38.4	12	0.27	----	863	2.71	-583	-1.58	----	66.7	0.63	-197	-1.4	
S15EU980-01660-T1300-088000	[0]2	60	45.9	15.8	0.26	----	1233	2.8	-676	-1.65	----	41.9	0.29	-150	-0.98	
VectorPly E-LT-5500	[0]2	54	41.8	14	0.28	----	1151	2.97	-740	-1.79	----	59	0.46	-202	-1.47	
VU-90079-00830-01270-000000	[±45] ₄	51	13.8	11.8	----	----	95.4	1.46	-166	-1.44	----	94.7	1.11	-157	-1.5	
Owens Corning DBM-1708	[±45] ₄	44	13.6	13.3	----	----	144	2.16	-213	-1.8	----	87.5	1.61	-203	-1.68	
Prepreg																
NB307-D1 7781 497A	0/90	39	19.2	19.2	0.13	3.95	337	2.21	-497	-2.6	115	337	2.21	-497	-2.6	
NCT307-D1-34-600 Carbon	[0]4	53	123	8.2	0.31	4.71	1979	1.32	1000	-0.9	103	59.9	0.76	-223	-2.72	
NCT307-D1-E300 Glass	[0]4	47	35.5	8.33	0.33	4.12	1005	2.83	-788	-2.22	112	51.2	0.74	-168	-2.02	
			Longitudinal Direction								Transverse Direction					
			Elastic Constants				Tension		Compression		Shear	Tension		Compression		
Fabric	lay-up	V _F %, (thickness)	E _L GPa	E _T GPa	ν _{LT}	G _{LT} msi	UTS _L MPa	ε _{max} %	UCS _L MPa	ε _{min} %	τ _{TU} MPa	UTS _T MPa	ε _U [*] %	UCS _T MPa	ε _U %	
E-LT-5500	(0)3	59.4, (3.58 mm)	45.7	15.9	0.27	----	779	2.19	-703	-1.54	----	77.2	0.08	-179	-1.12	
E-LM-1810	(0)5	45.0, (4.05 mm)	31.3	17.3	0.32	----	513	1.84	-544	-1.74	----	124	0.37	-220	-1.28	
E-LM-3610	(0)4	52.6, (4.36 mm)	40	15.9	0.29	----	772	2.11	-583	-1.46	----	85	0.16	-157	-0.99	
* The transverse tensile strains listed are for first ply cracking and ultimate strain to failure.																
Compressive strains are calculated using the tensile modulus. Testing displacement rates were 0.0254 mm/s.																
Tensile properties followed ASTM D3039 and compressive properties followed ASTM D6641 testing standards.																

(Πηγή: Naughton (2016).)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄

Ηλεκτρική Διασύνδεση των Κυκλάδων (Εικόνες)



Εικόνα Π1. Ηλεκτρική Διασύνδεση Κυκλάδων μέχρι το 2015

(Πηγή: <https://mileikanea.gr/news/cyclades-news/2408-proxwraei-ergo-hlektrikhs-diasyndeshs-kykladwn>, ανακτήθηκε 18.09.2016)



Εικόνα Π2. Ηλεκτρική Διασύνδεση Κυκλάδων μέχρι το 2016

(Πηγή: http://sagini3.blogspot.gr/2015/02/blog-post_21.html, ανακτήθηκε 18.09.2016)

