

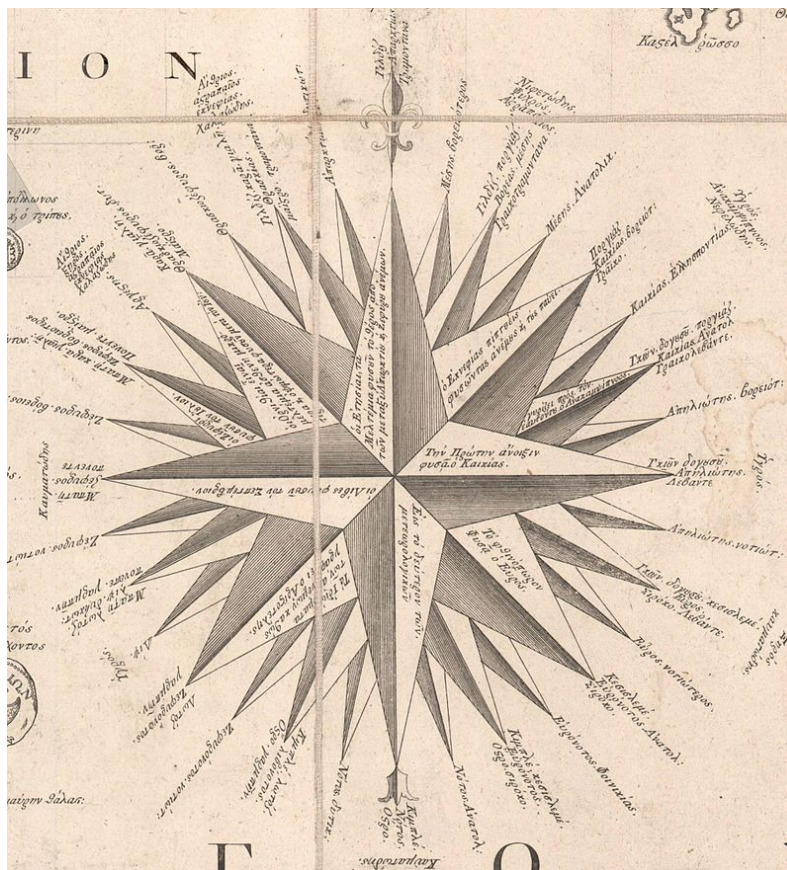


ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΕΡΚΥΡΑ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

Ανάπτυξη λογισμικού και επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων



Φοιτητής: Γιάννης Λουκόπουλος

Επιβλέπων καθηγητής : Dr Μάρκος Αυλωνίτης

Κέρκυρα Δεκέμβριος 2020

Τίτλος: Ανάπτυξη λογισμικού και επεξεργασία
ανεμολογικών δεδομένων.
Περιγραφή: Πτυχιακή εργασία
Θέματα – Λέξεις: Ανεμογεννήτριες, αιολικό πάρκο, ανανεώσιμες
μορφές ενέργειας, arduino.
Δημιουργός: Γιάννης Λουκόπουλος
Ημερομηνία δημιουργίας: 5 Σεπτεμβρίου
Χρόνος έκδοσης: 2020
Χώρα έκδοσης: GR
Γλώσσα κειμένου: Gre

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
1. Γενικά περί ενέργειας.....	3
1.1 Ενεργειακό πρόβλημα.....	3
1.2.1 Συμβατικές μορφές ενέργειας.....	5
1.2.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	6
1.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	7
1.3.1 Ηλιακή ενέργεια.....	7
1.3.2 Αιολική ενέργεια.....	8
1.3.3 Γεωθερμική ενέργεια.....	8
1.3.4 Υδραυλική ενέργεια.....	11
1.3.5 Βιομάζα.....	12
1.3.6 Ενέργεια από θαλάσσια κύματα.....	14
2. Αιολική ενέργεια.....	16
2.1 Περί ανέμων.....	16
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	18
2.2.1 Αρχαία ιστορία.....	18
2.2.2 Νεότερη ιστορία.....	19
2.2.3 Σύγχρονη ιστορία.....	20
2.3 Το παγκόσμιο γίνεσθαι.....	21
2.3.1 Αίγυπτος.....	22
2.3.2 Αυστραλία.....	22
2.3.3 Γερμανία.....	23
2.3.4 Δανία.....	23
2.3.5 Η.Π.Α.....	25
2.3.6 Ιαπωνία.....	25
2.3.7 Καναδάς.....	25
2.3.8 Κίνα.....	26
2.3.9 Σκωτία.....	26
2.3.10 Σουηδία.....	27
2.4 Χαρακτηριστικά ανέμων.....	27
2.4.1 Ταχύτητα ανέμου.....	28
2.4.2 Διεύθυνση ανέμου.....	29
2.4.3 Τύρβη ανέμου.....	30
2.4.4 Ισχύς ανέμου.....	31
3. Αιολικές μηχανές.....	32
3.1 Τύποι ανεμογεννητριών.....	32
3.1.1 Μηχανές οριζόντιου άξονα.....	34

3.1.2 Μηχανές κατακόρυφου άξονα.....	35
3.2 Οικονομία ανεμογεννητριών.....	37
3.3 Οικονομική ανάπτυξη.....	39
3.3.1 Θέσεις εργασίας.....	40
3.3.2 Βιομηχανική ανάπτυξη.....	41
3.3.3 Τουρισμός.....	42
3.3.4 Απασχόληση.....	43
3.4 Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	43
3.4.1 Ηχητική όχληση.....	44
3.4.2 Οπτική όχληση.....	45
3.4.3 Όχληση πτηνών.....	46
3.4.4 Όχληση υδάτινου κόσμου.....	46
3.4.5 Περιοδική σκίαση.....	47
3.4.6 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	47
4. Arduino.....	49
4.1 Εισαγωγικά.....	49
4.2 Ιστορικό.....	49
4.3 Λογισμικό.....	50
4.4 Υλικό.....	51
4.5 Πλακέτες.....	52
5. Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino.....	54
5.1 Καταλληλότητα.....	54
5.2 Arduino Ethernet.....	54
5.3 Διαστάσεις.....	56
5.4 Προδιαγραφές.....	56
5.5 Τροφοδοσία.....	56
5.6 Είσοδοι και έξοδοι.....	57
5.7 Μνήμη.....	58
5.8 Επικοινωνία.....	59
5.9 Διασύνδεση.....	59
5.10 Γλώσσα.....	60
5.11 Προγραμματισμός.....	60
6. Μελέτη αιολικού πάρκου.....	61
6.1 Εισαγωγικά.....	61
6.2 Οικονομικά μεγέθη.....	61
6.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	63
6.3.1 Γενικά.....	63

6.3.2 Μετρήσεις θερμοκρασιών.....	63
6.3.3 Μετρήσεις ισχύος.....	75
6.3.4 Συντελεστής χωρητικότητας.....	79
6.3.5 Ταχύτητα ανέμου.....	81
6.4 Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	83
6.5 Συμπεράσματα.....	84
Βιβλιογραφία.....	86

Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού για την επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων στο αιολικό πάρκο στην περιοχή της Δυτικής Ελλάδας και συγκεκριμένα στο Παναχαϊκό όρος. Απαραίτητη προϋπόθεση μια ολοκληρωμένη μελέτη του αιολικού δυναμικού της εξεταζόμενης περιοχής, αλλά και την αποτίμηση όλων των σημαντικών οικονομικών δεικτών, οι οποίοι προάγουν τη βιωσιμότητα μιας επένδυσης.

Τα πρώτα κεφάλαια της πτυχιακής εργασίας αναφέρονται γενικά στις μορφές ενέργειας που υπάρχουν αυτή την στιγμή διαθέσιμες στον πλανήτη. Σημαντική θέση έχουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς επίσης και η ιστορική αναφορά που γίνεται για τις πηγές ενέργειας σε όλο τον κόσμο. Ακολουθεί η ανάλυση των χαρακτηριστικών του ανέμου. Θέση σε αυτή την πτυχιακή εργασία έχει και η κατάσταση που επικρατεί σε διάφορες χώρες του κόσμο σε σχέση την πολιτική που ακολουθούν για την αιολική ενέργεια.

Ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση του μικροεπεξεργαστή Arduino. Παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και οι προϋποθέσεις για να λειτουργήσει σωστά στην συλλογή των ανεμολογικών δεδομένων. Τέλος, η πτυχιακή εργασία κλείνει με την παρουσίαση των στατιστικών δεδομένων που συλλέξαμε αλλά και η επεξεργασία του υποθετικού σεναρίου για την βιωσιμότητα ή όχι του αιολικού πάρκου.

Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε αποδεικνύουν ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να υποστηρίξει καθοριστικά την προσπάθεια βελτίωσης του περιβάλλοντος και να προσφέρει μια βιώσιμη οικονομικά πρόταση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το μόνο που αρκεί είναι η επιλογή του κατάλληλου ενεργειακού εξοπλισμού ανάλογα με το αιολικό δυναμικό που χαρακτηρίζει κάθε περίπτωση, ώστε να επιτυγχάνεται η αρμονία μεταξύ περιβάλλοντος και τεχνολογίας, και η αειφορία των αιολικών συστημάτων.

Abstract

The purpose of this thesis is the development of appropriate software for the processing of wind data in the wind farm in the region of Western Greece and specifically in the Panachaic Mountains. A thorough study of the wind potential of the area under consideration, as well as the evaluation of all important economic indicators that promote the viability of an investment are a prerequisite.

The first chapters of the thesis generally refer to the forms of energy currently available on the planet. Important are renewable energy sources as well as historical reporting on energy sources around the world. Following is an analysis of the wind characteristics. The position of this diplomatic work is also the situation in various countries of the world in relation to their wind energy policy.

Following is a detailed presentation of the Arduino microprocessor. The technical features as well as the prerequisites for proper functioning of the wind data collection are presented. Finally, the thesis closes with the presentation of the statistical data we have collected and the elaboration of the hypothetical scenario for the sustainability or not of the wind farm.

The conclusions we have drawn demonstrate that wind energy can substantially support the effort to improve the environment and provide a viable financial proposal for electricity generation. All that is sufficient is to choose the right energy equipment according to the wind potential of each case, in order to achieve harmony between the environment and technology, and the sustainability of wind systems.

Κεφάλαιο 1 : Γενικά περί ενέργειας

1.1 Ενεργειακό πρόβλημα

Η ενέργεια είναι η κινητήριος δύναμη στις καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες, τόσο στην οικονομία όσο και στην τεχνολογία. Η κατανάλωση ενέργειας κατά κεφαλή αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο της ποιότητας του βιοτικού επιπέδου ενός κράτους, καθώς και τα δύο μεγέθη σχετίζονται σχεδόν γραμμικά μεταξύ τους. Σε κάθε χώρα καθημερινά καλύπτουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως είναι ο άνθρακας, το πετρέλαιο και η βενζίνη. Δυστυχώς, ο ηλεκτρισμός που χρησιμοποιούμε που προέρχεται από τις συγκεκριμένες πηγές, ρυπαίνουν ανεπανόρθωτα το περιβάλλον και εξαντλούνται με γρήγορους ρυθμούς.

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής οδηγεί συνεχώς σε αύξηση της ζήτησης. Αντίστοιχα, οι αναπτυγμένες χώρες προσπαθούν να υιοθετήσουν το ίδιο πρότυπο τρόπου ζωής. Ωστόσο, η κατανάλωση ενέργειας που βασίζεται σε συμβατικά καύσιμα είναι συνδεδεμένη με δύο σημαντικά προβλήματα: α) τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι κλιματικές αλλαγές δεν είναι πια ένα ασαφές μελλοντικό πρόβλημα. Ήδη, ο πλανήτης καταστρέφεται με ανησυχητικό ρυθμό και β) τη διαθεσιμότητα και την επάρκεια των αποθεμάτων που δεν είναι δεδομένες. Πολλές χώρες του κόσμου έχουν συνειδητοποιήσει την επείγουσα ανάγκη για καθαρή παραγωγή ενέργειας, χωρίς την δημιουργία ρύπανσης, και προσπαθούν να έχουν ως κύριο μοχλό για την παραγωγή τους σε ηλεκτρισμό, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. (ΚΑΠΕ, Μπιτζιώνης 2015).

Υπάρχει τεράστια ενεργειακή ζήτηση παγκοσμίως με επιτακτική την ανάγκη αναζήτησης νέων πηγών ενέργειας, αν ρίξει κανείς μια ματιά στα δεδομένα ενεργειακής ζήτησης και κατανάλωσης. Προβλέπεται ότι η κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί δραματικά μέσα στις επόμενες δεκαετίες σε ολόκληρο τον κόσμο, και με ιδιαίτερα ραγδαίους ρυθμούς στις χώρες κυρίως της Ασίας. Για παράδειγμα, η βιομηχανική ανάπτυξη της Κίνας θα απαιτήσει μέχρι το 2050 την εγκατάσταση νέων ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών συνολικής ισχύος, 700 GW. Συγκριτικά, η συνολική ισχύς των ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών στην Ε.Ε. σήμερα φτάνει τα 580 GW περίπου.

Το ενεργειακό πρόβλημα πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 50, που έκανε δειλά την εμφάνισή του, με μορφή φιλοσοφικού στοχασμού. Το 1950 τα εκτιμώμενα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα είχαν επάρκεια 20 χρόνων, επικρατούσε κάποια νηφαλιότητα σε σχέση με την ενεργειακή τροφοδότηση. Ωστόσο, με την εμφάνιση της ενεργειακής κρίσης του 1973 άρχισε και η πραγματική συνειδητοποίηση του ενεργειακού προβλήματος. Από τότε έως σήμερα, έχει αναπτυχθεί μια πλούσια φιλολογία αναφορικά με τα αίτια δημιουργίας, τις επιπτώσεις

και τις πιθανές λύσεις του. Το ενεργειακό πρόβλημα, ανεξάρτητα από τη τοπική και την χρονική ιδιαιτερότητα που εμφανίζει, προσδιορίζεται κυρίως από τις εξής τομείς:

- ✓ Την αβεβαιότητα επάρκειας και σταθερότητας της ενεργειακής τροφοδοσίας.
- ✓ Την ανοδική τάση των τιμών της ενέργειας, η οποία δημιουργεί αύξηση του κόστους στο σύνολο των προϊόντων και των υπηρεσιών. Η ενεργειακή κρίση μέχρι σήμερα οι τιμές του αργού πετρελαίου έχουν τετραπλασιασθεί, γεγονός που πιστοποιεί τη μονιμότητα του ενεργειακού προβλήματος ως προς την άνοδο των τιμών.
- ✓ Τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτινων αποδεκτών. Η ενέργεια επιδρά δυσμενώς στο περιβάλλον σε κάθε φάση της ενεργειακής ροής, δηλαδή από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την τελική χρήση τους, με αποτέλεσμα να συμβάλλει τα μέγιστα στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου και ταυτόχρονα να μειώνει τη διαθεσιμότητα του υδάτινου δυναμικού.
- ✓ Το κύκλωμα διαχείρισης της ενεργειακής ροής χαρακτηρίζεται από μεγάλες απώλειες, που ανέρχονται περίπου στο 85% της πρωτογενούς ενέργειας. Διαπιστώνεται ως εκ τούτου ότι σημαντική συνιστώσα του ενεργειακού συστήματος είναι η μη ορθολογική διαχείρισή του. Την εξάντληση των ενεργειακών πόρων, έστω και αν αυτή τοποθετείται σε μακρινούς χρονικούς ορίζοντες. (ΚΑΠΕ, Καπλάνης 2003)

Είναι βέβαιο, ότι οι υπάρχουσες ποσότητες των συμβατικών ενεργειακών πηγών (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) κάποια στιγμή θα εξαντληθούν. Εκείνο που ποικίλλει στις εκτιμήσεις των ειδικών είναι το πότε. Το ενεργειακό πρόβλημα σχετίζεται άμεσα με την αναμενόμενη εξάντληση. Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως δηλώνεται και από το όνομά τους, βρίσκονται σε περιορισμένα αποθέματα στο φυσικό περιβάλλον. Τα αποθέματα αυτά εξαντλούνται με τη μακροχρόνια εκμετάλλευσή τους από τον άνθρωπο και δεν μπορούν να αντικατασταθούν ξανά. Αυτό σημαίνει ότι όταν αυτά τελειώσουν, τότε θα εξαφανιστούν τελείως από το περιβάλλον. Η επάρκεια και η σταθερότητα της ενεργειακής τροφοδοσίας αποτελούν την πολιτική πλευρά του προβλήματος.

Τα διάφορα μοντέλα ενεργειακών προσφορών διαμορφώνουν σενάρια για παραγωγή πετρελαίου από τις χώρες του ΟΠΕΚ. Ο ΟΠΕΚ έχει ήδη αποφανθεί πως η καλύτερη επένδυση για τις χώρες-μέλη του είναι η διαφύλαξη των πετρελαϊκών αποθεμάτων τους. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε ενδεχόμενη μείωση της παραγωγής πετρελαίου από τις χώρες αυτές δεν θα έπρεπε να προκαλέσει έκπληξη.

Επιπλέον, κάθε τυχούσα μεταβολή στη διεθνή πολιτικοστρατηγική ισορροπία είναι δυνατόν να οδηγήσει έως και σε διακοπή της πετρελαϊκής

τροφοδοσίας. Εκτός από τον όγκο της παραγωγής, μια άλλη ευμετάβλητη παράμετρος είναι η τιμή του πετρελαίου. Μια αύξηση της τιμής του πετρελαίου θα επιτείνει τον πληθωρισμό και τη νομισματική αστάθεια και θα μειώσει τους ρυθμούς παραγωγής και ανάπτυξης σε παγκόσμιο επίπεδο (ΚΑΠΕ, Καπλάνης 2003).

1.2.1 Συμβατικές μορφές ενέργειας

Οι συμβατικές πηγές, χαρακτηρίζονται από ενεργειακά αποθέματα τα οποία χρησιμοποιούνται μόνο όταν απαιτείται ενέργεια προς χρήση. Γενικώς, η ενέργεια που περικλείουν ούτε παράγεται ούτε αναπληρώνεται από το περιβάλλον, πάντα στα πλαίσια των ανθρωπίνων κλιμάκων χρόνου. Στην περίπτωση των συμβατικών μορφών (π.χ. άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας ενεργοποιούνται ανάλογα με τη ζήτηση (Μπάης, 2014).

- ✓ Από όλα τα ορυκτά καύσιμα, ο άνθρακας είναι το πλέον άφθονο στη φύση, αλλά παρουσιάζει και τα μεγαλύτερα προβλήματα, κυρίως ως προς τον έλεγχο της καύσης του ή των εκπομπών του. Ο ίδιος αποτελούσε μια σημαντική πηγή ενέργειας από τα παλιά χρόνια, κυρίως λόγω των μεγάλων παγκόσμιων αποθεμάτων του (Σαββίδης, 2008, Μπάης 2014).
- ✓ Το πετρέλαιο, που μερικές φορές στην καθημερινή γλώσσα αποκαλείται και μαύρος χρυσός, είναι παχύρρευστο υγρό πέτρωμα (υγρής μορφής υδρογονάνθρακες), το οποίο και εντοπίζεται σε κοιλότητες, στα ανώτερα στρώματα του φλοιού της γης και αποτελεί τη σπουδαιότερη σήμερα φυσική πηγή ενέργειας. Η ευρεία χρήση του οφείλεται κυρίως στη μεγάλη πυκνότητα ενέργειας που παρουσιάζει, ενώ παρατηρείται, ότι πλέον χρησιμοποιείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων που σχετίζονται με τις μεταφορές (wikipedia.org).
- ✓ Το φυσικό αέριο είναι ένα αέριο μείγμα κορεσμένων υδρογονανθράκων με μικρό αριθμό ατόμων άνθρακα, με κύριο συστατικό του το μεθάνιο και βρίσκεται υπό συνθήκες υψηλής πίεσης, σε κοιλότητες στα ανώτερα στρώματα του φλοιού της γης. Θεωρείται οικολογικό καύσιμο, γιατί δεν εκπέμπει δηλητηριώδεις ρύπους κατά τη χρήση του (π.χ. μικρές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας), ενώ δεν χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία μετά την εξαγωγή του.
- ✓ Η πυρηνική ενέργεια παράγεται από τη σχάση ραδιενεργών πυρήνων, είναι δηλαδή η δυναμική ενέργεια που είναι εγκλωβισμένη στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων που τα συνιστούν. Το βασικό πλεονέκτημα που παρουσιάζει σε σχέση με άλλες συμβατικές μορφές, είναι τα τεράστια ποσά ενέργειας που εκλύονται κατά την προαναφερθείσα διαδικασία (wikipedia.org).

1.2.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Είναι γνωστό, ότι το κλίμα της γης καθορίζεται από την συμπεριφορά ποικίλων παραγόντων που βρίσκονται σε συγκεκριμένη ισορροπία. Μετά από τα εκατομμύρια χρόνια ζωής του πλανήτη, οι διάφορες διεργασίες έφεραν αυτή την ισορροπία ώστε οι συνεχείς αλληλεπιδράσεις σήμερα να μην αλλάζουν το τελικό αποτέλεσμα. Οποιαδήποτε διατάραξη αυτών των ισορροπιών αναμένεται να έχει κάποια επίδραση στο κλίμα της γης (Μπάης, 2014).

Όπως ήδη προαναφέρθηκε, οι διαδικασίες παραγωγής ενέργειας με τη χρήση συμβατικών καυσίμων, είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες μόλυνσης του περιβάλλοντος και διατάραξης της ισορροπίας του. Για παράδειγμα, η εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), αζώτου (N), οξειδίων του θείου (SO_2), καθώς και η χρήση της πυρηνικής ενέργειας, επιφέρει υποβάθμιση του περιβάλλοντος, ενώ αποτελεί απειλή για την υγεία του ανθρώπου, την χλωρίδα και την πανίδα του πλανήτη μας. Η μεγάλη συγκέντρωση ορισμένων αερίων ρύπων, όπως του CO_2 , δεν αφήνει περιθώρια αυτοκαθαρισμού στην ατμόσφαιρα, διαταράσσοντας έτσι την οικολογική ισορροπία του πλανήτη. Συγκεκριμένα για το CO_2 , για το οποίο γίνεται λόγος ιδιαιτέρως τις τελευταίες δεκαετίες, είναι ένας ρύπος, οι εκπομπές του οποίου στην ατμόσφαιρα αναμένεται ότι θα αυξάνουν συνεχώς κατά τα προσεχή χρόνια, με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή του να γίνει από 5 μέχρι 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή της προ-βιομηχανικής περιόδου (Μπάης, 2014).

Τα πιο γνωστά και παράλληλα σημαντικά προβλήματα που άρχισαν να δημιουργούνται από την βιομηχανική επανάσταση, ενώ στις μέρες μας είναι ακόμα πιο έντονα, είναι τα εξής: το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η τρύπα του όζοντος, η όξινη βροχή, η αποψίλωση δασών κ.α. Επιλεκτικά μπορούμε να αναφέρουμε, ότι το SO_2 κυρίως θεωρείται υπεύθυνο για την όξινη βροχή, ενώ το CO_2 για την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης, επιτείνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Καλδέλλης 1999).

Άλλος ένας τομέας που κατέχει πλέον σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση, είναι η ραδιενέργεια. Πολλές φορές γίνεται αναφορά ότι οι πυρηνικοί αντιδραστήρες, από πλευράς ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι ακίνδυνοι, όμως ένα από τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι η ισχυρή θερμική ρύπανση που προκαλούν. Ακόμα πιο σημαντικό, είναι το πρόβλημα των ραδιενεργών καταλοίπων που πρέπει να απορριφθούν από τους αντιδραστήρες, γεγονός που δεν αντιμετωπίζεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, καθώς η εμπειρία μας στη διαχείριση τους είναι ακόμα μικρή. Επιπρόσθετα, η πιθανότητα πυρηνικού ατυχήματος, όπως προείπαμε, παρόλο που είναι μικρή, μπορεί να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές. Βέβαια, τόσο στην περίπτωση των πυρηνικών σταθμών, όσο και σε αυτή των υπόλοιπων συμβατικών πηγών ενέργειας, έχουν οριστεί οι απαραίτητοι περιορισμοί σε θέματα εκπομπών

ρύπων και προστασίας, σε περίπτωση ατυχημάτων, που πάντα όμως πρέπει να υποβάλλονται υπό βελτίωση (Καλδέλλης, Καββαδίας, 2005).

Συμπερασματικά, μπορούμε όλοι να συνειδητοποιήσουμε, ότι η χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας επιφέρει διαφόρων ειδών επιβλαβείς επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα και γενικά στο περιβάλλον. Ως εκ τούτου, η χρήση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας φαίνεται επείγουσα και απαραίτητη να εφαρμοστεί σύντομα, σε επίπεδο που να καλύπτει τις ανάγκες της σημερινής κοινωνίας και ταυτόχρονα να είναι όσο το δυνατόν πιο οικολογική.

1.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση των συμβατικών μορφών ενέργειας, υπήρξαν επιστήμονες που πρότειναν τη στροφή στις εναλλακτικές ή ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως είναι: η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμία, η υδροηλεκτρική, η βιομάζα κ.α., οι οποίες έχουν φυσική προέλευση. Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση), είτε μετατρέπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμία, δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών (Καλδέλλης, 2005).

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι αξιοποιούμενες από τον άνθρωπο από τα πρώτα κιόλας χρόνια της υπάρξεως του, ενώ υπήρξαν ιστορικοί περίοδοι στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν με μεγάλη επιτυχία. Για παράδειγμα, μπορούμε να αναφέρουμε, ότι η ηλιακή ενέργεια υπήρξε παλαιότερα μέσο για άναμμα φωτιάς, ενώ από την άλλη, μέχρι και το 18ο αιώνα, η ναυτιλία στηριζόταν στην αιολική ενέργεια, την οποία εκμεταλλεύονταν κυρίως τα ιστιοφόρα πλοία. Επίσης, στην ξηρά η άντληση νερού και η άλεση σιτηρών πραγματοποιούνταν μέσω των ανεμόμυλων. Η χώρα μας συγκεκριμένα έχει μεγάλη παράδοση στη χρήση ανεμόμυλων, κυρίως λόγω της ιδιαίτερης γεωγραφικής μορφής της, στην οποία επικρατεί ισχυρό και πολύ καλής ποιότητας αιολικό δυναμικό (Καλδέλλης, 1999).

1.3.1 Ηλιακή ενέργεια

Ο ήλιος αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές ενέργειας στο περιβάλλον, αφού η ηλιακή ακτινοβολία μεταφέρει τεράστιες ποσότητες ενέργειας στον χώρο. Η συνολική ενέργεια που δέχεται ο πλανήτης από τον ήλιο κατά τη διάρκεια ενός έτους είναι περίπου $5,4 \times 10^{24}$ Joules, όμως ένα ποσοστό της τάξης του 30% επανεκπέμπεται προς στο διάστημα, με αποτέλεσμα ο πλανήτης να απορροφά τελικά κάθε χρόνο, ενέργεια περίπου $3,8 \times 10^{24}$ Joules. Επίσης, η μέγιστη ροή ηλιακής

ενέργειας που μπορεί να φθάσει στο έδαφος, είναι της τάξης του 1kWm^{-2} και ανήκει στη φασματική περιοχή 300 – 2.500 nm, ενώ η ενέργεια που δέχεται κάθε τόπος, κάθε χρονική στιγμή, εξαρτάται από την γεωγραφική του θέση, την εποχή, τη νεφοκάλυψη κ.α.

Η προσφερόμενη από τον ήλιο ενέργεια, αποτελεί ένα σημαντικό ενεργειακό δυναμικό με το οποίο θα μπορούσαν να επιλυθούν πολλά από τα ενεργειακά προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ο άνθρωπος, καθώς θα μπορούσε να υπάρξει μεγαλύτερη προστασία του περιβάλλοντος, από τις επιπτώσεις που επιφέρουν οι μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενες συμβατικές μορφές ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μέσω μετατροπής της σε θερμότητα, είτε σε ηλεκτρισμό. Διατάξεις που χρησιμοποιούνται στην πρώτη περίπτωση είναι: οι ηλιακές δεξαμενές, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, τα παθητικά-ενεργητικά ηλιακά συστήματα, οι ηλιακοί φούρνοι κ.α. Διατάξεις που χρησιμοποιούνται στη δεύτερη είναι: τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, οι ηλιακοί πύργοι, οι συστοιχίες παραβολικών κατόπτρων κ.α. (Μπάης, 2014; Σαχσαμάνογλου και Μπλούτσος, 1998).

1.3.2 Αιολική ενέργεια

Όταν μιλάμε για αιολική ενέργεια αναφερόμαστε στην κινητική ενέργεια του ανέμου, η οποία παράγεται μέσω μετατροπής μέρους της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται μέσω ειδικών διατάξεων π.χ. ανεμογεννήτριες, ενώ στη συνέχεια η ίδια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, προς αξιοποίηση. Στο σημείο όμως αυτό, δεν θα δοθούν περισσότερα στοιχεία για την αιολική ενέργεια, καθώς παρατίθενται στη συνέχεια με μεγαλύτερη ανάλυση.

1.3.3 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμία είναι μία μορφή ενέργειας που άρχισε να αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια, παράλληλα με τις υπόλοιπες ήπιες μορφές ενέργειας. Με τον όρο γεωθερμία, αναφερόμαστε ουσιαστικά στη θερμική ενέργεια που είναι εγκλωβισμένη σε στρώματα του υπεδάφους και η οποία με κατάλληλες συνθήκες, μπορεί να βρει διέξοδο προς την επιφάνεια της γης. Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας, η οποία θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος (1°C ανά 30m), παρατηρείται μεταφορά θερμότητας (ρεύμα θερμότητας) από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα στρώματα, δηλαδή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια (Μπάης, 2014, Γελεγένης, Αξαόπουλος, 2005). Γενικά, από γεωλογικής άποψης διακρίνονται δύο τύποι σχηματισμού γεωθερμικών πεδίων:

- ✓ Εκείνα που δημιουργούνται σε ιζηματογενείς λεκάνες ή τεκτονικά βυθίσματα, τα οποία διακρίνονται από την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων θερμού νερού υπό πίεση (θερμοκρασία 25 – 150 $^{\circ}\text{C}$).

- ✓ Εκείνα που είναι αποτέλεσμα πρόσφατης ηφαιστειακής δράσης και διακρίνονται από το σχηματισμό θυλάκων όπου έχουν εγκλωβιστεί υπέρθερμοι ατμοί σε βάθος μέχρι 3 km (Μπάης, 2014).

Επιπρόσθετα, οι τρόποι εκμετάλλευσης ενός γεωθερμικού πεδίου ποικίλουν ανάλογα με το είδος του και τις ιδιότητές του. Ως επί το πλείστον, η εκμετάλλευση του πραγματοποιείται μέσω δικτύων σωληνώσεων που οδηγούν το θερμό ρευστό (ή τον ατμό) στην μονάδα παραγωγής ή διανομής της ενέργειας. Τέλος, η συλλεγόμενη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για τη παραγωγή ηλεκτρισμού, είτε για την θέρμανση εσωτερικών χώρων και νερού (Duffield, Sass, 2003, Μπάης, 2014).

Η θερμοκρασία του υπεδάφους σε βάθη από 2 έως 100 m είναι περίπου σταθερή όλο τον χρόνο και κυμαίνεται περίπου από 14 έως 18 βαθμούς Κελσίου για τη χώρα μας. Η εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ υπεδάφους και επιφάνειας μπορεί να γίνει με την χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και δικτύου σωληνώσεων εντός του υπεδάφους έτσι ώστε να θερμάνουμε χώρους τον χειμώνα και να τους ψύξουμε το καλοκαίρι. Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη όλο τον χρόνο και δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες της ατμόσφαιρας. Η γεωθερμική ενέργεια είναι ανεξάντλητη, φυσικά καθαρή και δωρεάν (παρέχεται από την φύση) (Μαρινάκης, 2012).

Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σήμερα τόσο σε διάφορες χώρες του κόσμου όσο και στην Ελλάδα. Μέσω της αξιοποίησης της δεν παράγονται διάφοροι αέριοι ρύποι που προκαλούνται από την καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Συνεπώς η χρήση της όπως ειπώθηκε και πρωτύτερα δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με αέριους ρύπους που προκαλούν την επίταση του φαινομένου του θερμοκηπίου και την όξινη βροχή (Βουρδουμπάς, 2006).

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία όμως δεν οφείλεται στην ηλιακή ενέργεια (όπως η αιολική ενέργεια, η υδροδυναμική ενέργεια και η βιομάζα) αλλά στη θερμική ενέργεια που υπάρχει στο εσωτερικό της γης, και η οποία θα συνεχίσει να υπάρχει για μεγάλο χρονικό διάστημα ακόμη. Τα γεωθερμικά ρευστά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη θερμοκρασία τους. Εάν η θερμοκρασία τους είναι πάνω από 1500 °C τότε αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν η θερμοκρασία τους κυμαίνεται μεταξύ 100 – 1500 °C τότε αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για την παραγωγή θερμότητας είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Εάν η θερμοκρασία τους είναι κάτω από 1000 °C τότε αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή θερμότητας (Βουρδουμπάς, 2006).

Η ύπαρξη υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας σε κάποια περιοχή δεν είναι η μοναδική συνθήκη – προϋπόθεση για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Η γεωθερμική ενέργεια είναι πρωτογενώς αποθηκευμένη μέσα στα

πετρώματα, είναι διασκορπισμένα μέσα στη μάζα τους και πρέπει να συγκεντρωθεί και να μεταφερθεί στην επιφάνεια της γης προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το μεταλλικό νερό (σε υγρή ή αέρια φάση) που περιέχεται μέσα σε πορώδη πετρώματα ή σε συστήματα ρηγμάτων αποτελεί το μέσο που μεταφέρει τη θερμότητα από τα πετρώματα αυτά στην επιφάνεια της γης (Μαρινάκης, 2012).

Έτσι, η παραγωγικότητα μιας θερμικής περιοχής προσδιορίζεται και συχνά καθορίζεται από την υδρολογία των γεωλογικών σχηματισμών. Δεν έχουν όμως όλες οι θερμικές περιοχές κατάλληλη υδρολογία που αποτελεί τη δεύτερη συνθήκη για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Κατά συνέπεια, ένα φυσικό γεωθερμικό πεδίο είναι συνδυασμός θερμών πετρωμάτων και ύπαρξης νερού που να κυκλοφορεί μέσα σε αυτά (Μαρινάκης, 2012).

Τα γεωθερμικά πεδία χωρίζονται σε δύο ομάδες: στα πεδία «υψηλής ενθαλπίας», όπου το ρευστό (άνω των 1500 °C) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και/ή για θέρμανση, και στα πεδία «χαμηλής ενθαλπίας» όπου το ρευστό (κάτω των 150 °C) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για θέρμανση. Στις ζώνες σεισμικών εστιών, υπάρχουν πεδία χαμηλής και υψηλής ενθαλπίας που σχετίζονται μεταξύ τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η Ισλανδία, που βρίσκεται πάνω στη μεσο – ωκεάνια ράχη του Ατλαντικού (Μαρινάκης, 2012).

Το γεωθερμικό ρευστό έχει μετεωρική προέλευση, δηλαδή προέρχεται από τις κατακρημνίσεις. Το νερό από τις βροχές και τα χιόνια εισχωρεί στο έδαφος και σιγά σιγά προχωρεί στο εσωτερικό της γης φτάνοντας σε βάθη μέχρι και 5 km. Στην πορεία του θερμαίνεται λόγω της υψηλής θερμικής ροής και στη συνέχεια βρίσκει διόδους μέσα από ρήγματα και ρωγμές και επιστρέφει στην επιφάνεια. Από αναλύσεις βασισμένες ραδιοϊσότοπα βρέθηκε ότι ο κύκλος του νερού σε ένα γεωθερμικό σύστημα διαρκεί περίπου 500 χρόνια. Η περιοχή τροφοδοσίας του συστήματος μπορεί να βρίσκεται πολύ κοντά στο πεδίο ή σε μεγάλη από αυτό απόσταση μέχρι και 200 km, οπότε και η διαδρομή του ρευστού ποικίλλει ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Το νερό, λόγω της μεγάλης του θερμοχωρητικότητας, λειτουργεί και σαν «συμπυκνωτής» θερμότητας. Η μέση θερμοχωρητικότητα των πετρωμάτων που βρίσκονται στα πρώτα 10 km από την επιφάνεια της γης είναι 85 kJ/kg, ενώ του νερού στην ίδια μέση θερμοκρασία (1300 °C) είναι 420 kJ/kg, δηλαδή πενταπλάσια. Η θερμοχωρητικότητα του κορεσμένου ατμού στους 2360 °C είναι 2.790 kJ/kg δηλαδή τριακονταπλάσια αυτής των πετρωμάτων. Για να απορροφήσει το νερό αυτή τη θερμότητα, είτε πρέπει να έρθει σε επαφή με πολύ μεγάλες μάζες πετρωμάτων που βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία είτε να διανύσει πολύ μεγάλη διαδρομή μέχρι να φτάσει στις γεωτρήσεις. Και στις δύο περιπτώσεις, οι μάζες των πετρωμάτων που συμμετέχουν στο σύστημα πρέπει να είναι πολύ μεγάλες, της τάξης των εκατοντάδων κυβικών χιλιομέτρων (Μαρινάκης, 2012).

1.3.4 Υδραυλική ενέργεια

Όπως όλα τα σώματα που κινούνται, έτσι και τα νερά που προέρχονται από την τήξη των πάγων και του χιονιού ή τη βροχή που έπεσε σε μεγάλο υψόμετρο, έχουν ενέργεια καθώς κατεβαίνουν προς χαμηλότερες περιοχές. Όμως, όταν η κάθοδός τους γίνεται από πολλά σημεία και συνεχώς, δεν είναι εύκολο ή δυνατό να χρησιμοποιήσουμε αυτή την ενέργεια. Αντίθετα, συγκεντρώνοντας τα νερά σε τεχνητές λίμνες (ταμιευτήρες) σε μεγάλο υψόμετρο, στην ουσία αποθηκεύουμε την ενέργειά τους. Αφήνοντάς τα, στη συνέχεια, να ρέουν μέσα σε αγωγούς με ταχύτητα (λόγω της διαφοράς του υψομέτρου) προς χαμηλότερες περιοχές, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε αυτή την αποθηκευμένη ενέργεια, μετατρέποντάς τη σε άλλη μορφή ενέργειας (Μαρινάκης, 2012).

Πραγματικά, το νερό, πέφτοντας με ταχύτητα, είναι δυνατό να περιστρέψει μεγάλους τροχούς που έχουν πτερύγια στην περιφέρειά τους, τους υδροστρόβιλους. Αυτή την περιστροφή είχε εκμεταλλευτεί από παλιά ο άνθρωπος για τη λειτουργία υδρόμυλων, κυρίως, που άλεθαν τα σιτηρά. Ακόμα και σήμερα υπάρχουν παραδοσιακές εγκαταστάσεις που λειτουργούν με το νερό μικρών ταμιευτήρων ή/και το νερό υδατορευμάτων, που βρίσκονται σε κάποιο υψόμετρο (Μαρινάκης, 2012).

Σήμερα το νερό των ταμιευτήρων, που συνήθως δημιουργούνται με τεχνητά φράγματα, χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (υδροηλεκτρικοί σταθμοί). Στη χώρα μας, όπου τα νερά δεν είναι άφθονα, οι υδατοταμιευτήρες δεν είναι δυνατό να τροφοδοτούν συνεχώς με νερό τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Συνήθως, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί λειτουργούν μόνο μερικές ώρες της ημέρας, τις ώρες αιχμής όπως λέγονται, όταν δηλαδή χρειαζόμαστε πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια (Μαρινάκης, 2012).

Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι σε πολλές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, το νερό των ταμιευτήρων χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον υδροηλεκτρικό σταθμό και, στη συνέχεια, το ίδιο νερό αξιοποιείται για την ύδρευση κοντινών πόλεων ή για την άρδευση γεωργικών εκτάσεων. Στη χώρα μας λειτουργούν μερικοί μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και πολλοί μικρότεροι, ενώ έχουμε τη δυνατότητα να εγκαταστήσουμε και άλλους σε πολλές περιοχές της χώρας, όπου υπάρχουν μεγάλα ή μικρά υδατορεύματα. Το νερό, λοιπόν των ταμιευτήρων είναι μια ανεκτίμητη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, είναι δηλαδή μια καθαρή πηγή ενέργειας (Μαρινάκης, 2012).

Το νερό κάνοντας τον «κύκλο του» στη φύση έχει δυναμική ενέργεια, όταν βρίσκεται σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, η οποία μετατρέπεται σε κινητική, όταν το νερό ρέει προς χαμηλότερες περιοχές. Με τα υδροηλεκτρικά έργα, (φράγμα, υδροταμιευτήρας κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) εκμεταλλευόμαστε την ενέργεια του νερού για την παραγωγή

ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο διοχετεύεται στην κατανάλωση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Φυσικά, μόνο σε περιοχές με σημαντικές υδατοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευασθούν υδατοταμιευτήρες. Συνήθως η ενέργεια που τελικώς παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά με άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, σε ώρες αιχμής. Στη χώρα μας η υδροηλεκτρική ενέργεια ικανοποιεί το 10% των ενεργειακών μας αναγκών (Μαρινάκης, 2012).

1.3.5 Βιομάζα

Βιομάζα ονομάζουμε οποιαδήποτε σχετικά νέα οργανική ύλη που προέρχεται από φυτά ως αποτέλεσμα της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Η ενέργεια από βιομάζα αντλείται από φυτικό και ζωικό υλικό, όπως ξύλο από τα δάση, υπολείμματα από γεωργικές ή δασικές διαδικασίες και βιομηχανικά, ανθρώπινα ή ζωικά απόβλητα. Αντιθέτως, βιομάζα δεν είναι τα ορυκτά οργανικά υλικά (όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο). Η βιομάζα είναι φρέσκια οργανική ύλη. Βιομάζα είναι επίσης και το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών (Καπλάνης, 2003).

Σε μερικές εγκαταλειμμένες, αλλά και σε γόνιμες περιοχές, καλλιεργούνται κάποια φυτά ειδικά για να χρησιμοποιηθούν ως βιομάζα για παραγωγή ενέργειας (ενεργειακές καλλιέργειες). Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Για να πάρουμε ενέργεια από τη βιομάζα την καίμε, είτε απευθείας, είτε αφού προηγουμένως την υποβάλουμε σε επεξεργασία (κοπή, ξήρανση ή άλλες πιο πολύπλοκες διαδικασίες). Άλλες πάλι φορές, με κατάλληλη επεξεργασία ορισμένων φυτών που καλλιεργούνται σε ενεργειακές καλλιέργειες, μπορούν να παραχθούν υγρά καύσιμα, που λέγονται βιοκαύσιμα. Αυτά είναι πιο αποδοτικά και λιγότερο ρυπαντικά από τα γνωστά μας καύσιμα, αλλά δυστυχώς είναι ακόμα ακριβά. Τα βιοκαύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανσή μας, για την παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά, και ως καύσιμα μεταφορών. Σε μερικές μάλιστα χώρες, όπως η Βραζιλία, χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό για την κίνηση των αυτοκινήτων (αλκοόλη) (Καπλάνης, 2003).

Όσο υπάρχουν φυτά και ζώα στον πλανήτη, όσο δηλαδή υπάρχει ζωή, θα έχουμε και την ανεξάντλητη, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που λέγεται βιομάζα. Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή

τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση (Καπλάνης, 2003).

Η ενέργεια της βιομάζας, αποτελεί την αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας (ενέργειας), η οποία δεσμεύεται αρχικά από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης και στη συνέχεια μετατρέπεται σε χημική ενέργεια που αποταμιεύεται στις νεογέννητες οργανικές ουσίες και μέσα στους ιστούς των φυτών. Με την «καύση» των φυτών και τη σύγχρονη τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως: α) καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, β) πρώτη ύλη για παραγωγή βιοαερίου ή φυσικού αερίου, το οποίο αποτελεί άριστη καύσιμη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, όπως και γ) πρώτη ύλη για παραγωγή αιθανόλης και βιοντήζελ για μηχανές εσωτερικής καύσης. Επιπλέον η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο CO_2 – δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου – επειδή οι ποσότητες του CO_2 που απελευθερώνονται κατά την καύση της έχουν ήδη δεσμευτεί από την ατμόσφαιρα για τη δημιουργία της βιομάζας (Καπλάνης, 2003).

Η επί χιλιάδες χρόνια καύση της ξυλείας για μαγείρεμα και θέρμανση, καθώς και των ζωικών και φυτικών λιπών και ελαίων για φωτισμό, βρίσκει συνέχεια με την καύση της βιομάζας για παραγωγή θερμότητας (τηλεθέρμανση), ηλεκτρισμού, παραγωγή βιοαερίου. Οι χωματερές και οι μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, παράγουν βιοαέριο, που μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτροπαραγωγή. Στη χώρα μας τέτοιες μονάδες είναι εγκατεστημένες στη Θεσσαλονίκη, Ηράκλειο, Χανιά και Ψυτάλλεια Αττικής με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 8000 KW, ενώ το 12% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας έχει ως πηγή τη βιομάζα (Καπλάνης, 2003).

Στα μειονεκτήματα της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα αναφέρονται το κόστος συλλογής και επεξεργασίας των υλικών, καθώς και το μικρό ενεργειακό περιεχόμενο σε σχέση με ίση μάζα καύσιμου απολιθωμάτων. Τα υπολείμματα ξύλου, των βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου, μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά όπως και τα αστικά απορρίμματα. Σε μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις όπως η Βιέννη, η Φραγκφούρτη και η Κολωνία λειτουργούν εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμη ύλη τα σκουπίδια των κατοίκων τους. Η ολική ποσότητα στερεών απορριμμάτων στις ΗΠΑ από το 1970 έως 1994 αυξήθηκε κατά 70%, αλλά την ίδια περίοδο το ποσοστό απορριμμάτων που ανακυκλώθηκε ή έγινε λίπασμα αυξήθηκε από 7% στο 23% (Καπλάνης, 2003).

Η βιομάζα είναι ένα καύσιμο φιλικό προς το περιβάλλον καθώς δεν συμμετέχει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ενώ ταυτόχρονα μειώνει την κατανάλωση συμβατικών καυσίμων σε εθνικό επίπεδο με προφανή οφέλη για την χώρα. Η βιομάζα για παραγωγή θερμότητας προέρχεται από διαφορετικές πηγές όπως

καυσόξυλα, δασικά υπολείμματα, γεωργικά υπολείμματα π.χ. άχυρο από την παραγωγή σιτηρών, υπολείμματα από αγροτικές εργασίες π.χ. σοδειές που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία ή σοδειές που καλλιεργούνται για να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα (Καπλάνης, 2003).

1.3.6 Ενέργεια από θαλάσσια κύματα

Μία ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που μόλις πρόσφατα άρχισε να βρίσκει εφαρμογές στην παραγωγή ηλεκτρισμού είναι η ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων. Η ιδέα της μετατροπής της ενέργειας των επιφανειακών θαλάσσιων κυμάτων σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια είναι αρκετά παλιά. Όμως οι εντατικές προσπάθειες για το σκοπό αυτό άρχισαν μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση το 1973, και οδήγησαν τριάντα περίπου χρόνια αργότερα στην ανάπτυξη των πρώτων εφαρμογών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα (Βουρδουμπάς, 2006).

Η θάλασσα έχει θεωρηθεί από καιρό ως πηγή ενέργειας. Κατά τον Μεσαίωνα (1200 – 1500) οι αγρότες παγίδευαν το θαλάσσιο νερό στις λίμνες μύλων, για να το χρησιμοποιήσουν στους υδρόμυλους δύναμης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων πενήντα ετών, οι μηχανικοί έχουν αρχίσει να εξετάζουν την παλιρροιακή δύναμη και τη δύναμη των κυμάτων σε μια μεγαλύτερη, βιομηχανική κλίμακα. Εντούτοις, μέχρι τα τελευταία έτη, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, η δύναμη των κυμάτων και η παλιρροιακή δύναμη, θεωρήθηκαν αντισυμβατικές. Αν και μερικά πιλοτικά έργα έδειξαν ότι η ενέργεια θα μπορούσε να παραχθεί, κάποια άλλα επίσης έδειξαν ότι, ακόμα κι αν το κόστος για την παράγωγή της ενέργειας δεν εξεταστεί, υπάρχει ένα πραγματικό πρόβλημα, που αφορά την ικανότητα του εξοπλισμού να αντέξει το εξαιρετικά σκληρό θαλάσσιο περιβάλλον.

Τα θαλάσσια κύματα προκαλούνται από τον αέρα όπως φυσά πέρα από τη θάλασσα. Τα κύματα είναι μια ισχυρή πηγή ενέργειας. Το πρόβλημα είναι ότι δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί αυτή η ενέργεια για να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλα ποσά. κατά συνέπεια, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κυμάτων είναι σπάνιοι. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από τα κύματα, αλλά μια από τις αποτελεσματικότερες λειτουργεί όπως μια μηχανή κυμάτων πισινών. Έτσι, σε μια πισίνα, ο αέρας φυσιέται μέσα και έξω από μια μηχανή εκτός από τη λίμνη, η οποία κάνει το νερό να μετακινείται πάνω-κάτω, προκαλώντας τα κύματα. Παρόμοια, σε έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κυμάτων, η άφιξη των κυμάτων προκαλεί άνοδο και πτώση του νερού εντός του θαλάμου του σταθμού, το οποίο προκαλεί τον αέρα να κινείται μέσα και έξω από μια τρύπα στην κορυφή του θαλάμου. Σε αυτή τη τρύπα τοποθετούμαι μία τουρμπίνα, η οποία γυρίζει με την κίνηση του αέρα μέσα – έξω, με αποτέλεσμα η τουρμπίνα να λειτουργεί ως γεννήτρια (Βουρδουμπάς, 2006).

Ένα πρόβλημα σε αυτό το σχέδιο είναι ότι ο κινούμενος αέρας μπορεί να είναι πολύ θορυβώδης, εκτός και εάν εγκατασταθεί στο στρόβιλο σιγαστήρας. Ο θόρυβος δεν είναι τεράστιο πρόβλημα, δεδομένου ότι τα κύματα κάνουν αρκετό θόρυβο από μόνα τους. Το σύστημα εκμεταλλεύεται την ταχύτητα του κύματος, το ύψος, το βάθος και τη ροή κάτω από το πλησιάζον κύμα, παράγοντας κατά συνέπεια την ενέργεια αποτελεσματικότερα και φτηνότερα από άλλα θαλάσσια κύματα και τις υπόλοιπες συμβατικές τεχνολογίες.

Τα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης της θαλάσσιας κυματικής ενέργειας είναι πολλά. Αποτελεί μία καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας χωρίς να προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και χωρίς να προκαλεί εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα. Έτσι η αξιοποίησή της με κατάλληλα συστήματα μπορεί να συγκριθεί με την εγκατάσταση των θαλάσσιων αιολικών πάρκων κοντά στις ακτές που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία 5 – 10 έτη. Δύο τύποι συστημάτων έχουν αναπτυχθεί για την αξιοποίηση της θαλάσσιας κυματικής ενέργειας. Ο πρώτος αφορά εγκαταστάσεις επί των ακτών και ο δεύτερος εγκαταστάσεις στη θάλασσα, σε κάποια απόσταση από τις ακτές (Βουρδουμπάς, 2006).

Κεφάλαιο 2 : Αιολική ενέργεια

2.1 Περί ανέμων

Η όποια αισθητή «οριζόντια κίνηση» του αέρα ονομάζεται άνεμος. Η όποια αισθητή «κατακόρυφη κίνηση» του αέρα ονομάζεται ρεύμα, και αν μεν είναι από κάτω προς τα επάνω λέγεται ανοδικό ρεύμα, αν είναι από επάνω προς τα κάτω λέγεται καθοδικό ρεύμα (wikipedia).

Οι άνεμοι παράγονται κυρίως από την άνιση θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο. Οι θάλασσες παρουσιάζουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα αφού εκτός από την εξάτμιση, η θερμότητα μεταφέρεται προς το εσωτερικό των υδάτινων μαζών. Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας ο αέρας πάνω από λίμνες και θάλασσες παραμένει σχετικά κρύος, σε σχέση με τον αέρα τις στεριές που θερμαίνεται περισσότερο. Έτσι έχουμε και μια μείωση της πυκνότητάς του, με αποτέλεσμα την ανύψωσή του και τα κρύα βαρύτερα στρώματα του αέρα που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας κινούνται για να πάρουν τη θέση του πάνω από την ξηρά (wikipedia).

Με τον τρόπο αυτόν παράγονται τα τοπικά παραλιακά ρεύματα που κατά τη διάρκεια της νύχτας τα ρεύματα αυτά αντιστρέφονται επειδή η θερμοκρασία της ξηράς ελαττώνεται πολύ γρηγορότερα από αυτή του νερού και έτσι ο ψυχρότερος αέρας και βαρύτερος αέρας της ξηράς κινείται προς τη θάλασσα όπου αναπληρώνει αυτόν που ανυψώνεται από την επιφάνειά της (wikipedia).

Στοιχεία ανέμου θεωρούνται η διεύθυνση και η ένταση ή ισχύς του. Και τα δύο αυτά στοιχεία μπορούν να προσδιοριστούν από τα [ανεμομετρικά όργανα](#) που είναι οι [ανεμοδείκτες](#) και τα [ανεμόμετρα](#). Η διεύθυνση του ανέμου χαρακτηρίζεται από το σημείο του ορίζοντα απ' όπου πνέει ο άνεμος και όχι προς τα που πνέει ο άνεμος. Εκφράζεται δε είτε σε μοίρες (αρχής γενομένης από τον γήινο μαγνητικό Βορρά), είτε με σύμβολα [ανεμολογίου](#) ([ανεμορρόμβοι](#)), είτε ονομαστικά (επίσημα ή γραιολεβαντίνικα όπως λέγονται τα κοινά). Επίσης και με πολλά άλλα ονόματα χαρακτηρίζονται οι άνεμοι ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, τον τόπο, την ένταση και την διεύθυνση τους (wikipedia).

Εκτός από τα τοπικά τους ονόματα, οι άνεμοι στην Ελλάδα φέρουν ανάλογα με την διεύθυνση προέλευσης τους δύο ονόματα, ένα επίσημο και ένα κοινό. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ονόματα των κυρίων ανέμων, δηλαδή αυτών που πνέουν από κατεύθυνση πολλαπλάσια των 45°, με ελληνικό σύμβολο κατεύθυνσης, επίσημο όνομα, κοινό, διεθνές σύμβολο και διεθνές όνομα.

Διεύθυνση	Επίσημο όνομα	Κοινό όνομα	Διεθνές σύμβολο	Διεθνές όνομα
B (000°)	Βόρειος	Τραμουντάνα ή Βοριάς	N	North
BA (045°)	Μέσης	Γραίγος	NE	Northeast
A (090°)	Απηλιώτης	Λεβάντες	E	East
NA (135°)	Εύρος	Σιρόκος	SE	Southeast
N (180°)	Νότιος	Όστρια ή Νοτιάς	S	South
ND (225°)	Λίβας	Γαρμπής	SW	Southwest
Δ (270°)	Ζέφυρος	Πουνέντες	W	West
BD (315°)	Σκίρων	Μαϊστρος	NW	Northwest

Εκτός από το σημείο του ορίζοντα οι άνεμοι παίρνουν ονόματα και από την κατεύθυνσή τους σε σχέση με την μορφολογία του συγκεκριμένου τόπου. Υπάρχουν πολλά άλλα ονόματα ανέμων όπως ο Μπάτης (θαλάσσια αύρα), ο Βαρδάρης (τοπικός βορειοδυτικός άνεμος της Κεντρικής Μακεδονίας) κ.α.

Η ένταση του ανέμου εκφράζεται είτε με την [πίεση](#) την οποία ασκεί στην επιφάνεια των διαφόρων σωμάτων, είτε με την [ταχύτητα](#) με την οποία αυτός κινείται. Στην [Μετεωρολογία](#) η ένταση του ανέμου εκφράζεται συνήθως με την ταχύτητά του, οπότε δίδεται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο ή σε χιλιόμετρα ή [μύλια](#) ανά ώρα ή σε [κόμβους](#). Η [κλίμακα Μποφόρ](#) είναι ένας εμπειρικός τρόπος μέτρησης της έντασης των ανέμων, που βασίζεται στην παρατήρηση των αποτελεσμάτων του ανέμου στη στεριά ή τη θάλασσα. Ανάλογα της έντασής του ο άνεμος χαρακτηρίζεται ως:

Ένταση	Κλίμακα Beaufor
Νηνεμία (άπνοια)	0
Υποπνέων	1
Ασθενής	2 – 3
Μέτριος	4 – 5
Ισχυρός	6
Σφοδρός	7
Θυελλώδης	8 – 9
Κатаιγίζων (καταιγίδα)	10 – 11
Τυφώνας	12

Επίσης ο άνεμος χαρακτηρίζεται και ως λείος ή ριπαίος. Λείος άνεμος, χαρακτηρίζεται ο οποιοσδήποτε άνεμος στρωτός, δηλαδή χωρίς αυξομειώσεις της έντασής του ενώ ριπαίος άνεμος χαρακτηρίζεται εκείνος του οποίου η ένταση μεταβάλλεται σε σύντομα χρονικά διαστήματα (wikipedia).

2.2 Ιστορική αναδρομή

Η αξιοποίηση και η τιθάσευση του ανέμου απασχόλησε τον άνθρωπο για χιλιάδες χρόνια και ήταν ο ρυθμιστής για την ανάπτυξη και την εξέλιξη της ανθρωπότητας καθώς χρησιμοποιήθηκε τόσο στην ναυτιλία και την άρδευση όσο και στις αγροτικές καλλιέργειες.

2.2.1 Αρχαία ιστορία

Η οικονομική και παραγωγική δραστηριότητα των αρχαίων χρόνων τονίζεται με την αναφορά στον Αίοιο, τον διαχειριστή των ανέμων, όσον αφορά την Ελληνική μυθολογία, μη παραβλέποντας ότι, παρόμοιες αναφορές υπάρχουν σε κάθε αρχαίο πολιτισμό. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον άνθρωπο για την κίνηση των ιστιοφόρων πλοίων, για εμπορικές συναλλαγές, συγκοινωνία και εξερευνήσεις. Ιστορικές αναφορές δείχνουν πως και άλλοι λαοί εκτός των Ελλήνων όπως οι Πέρσες, οι Αιγύπτιοι και οι Κινέζοι χρησιμοποιούσαν αιολικές μηχανές (Αλεξάκης 1993).

Η αιολική ενέργεια είναι μία από τις πιο παλιές φυσικές πηγές ενέργειας που αξιοποιήθηκε σε μηχανική μορφή. Η πρωτογενής αυτή μορφή ενέργειας που παρέχεται άμεσα από τη φύση, έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας ιδιαίτερα με τη χρήση της στη ναυτιλία για συγκοινωνίες και εξερευνήσεις. Η σημασία της ενέργειας του ανέμου φαίνεται στην Ελληνική μυθολογία όπου ο Αίοιος διορίζεται από τους θεούς ως ταμίας των ανέμων. Πρώτη χρήση της αιολικής ενέργειας από τον άνθρωπο έγινε για την κίνηση των πλοίων τους. Υπάρχουν επίσης ιστορικές και αρχαιολογικές μαρτυρίες ότι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν από τους Κινέζους, τους Πέρσες και τους Αιγυπτίους πολλούς αιώνες πριν από τη γέννηση του Χριστού. Περισσότερα σήμερα είναι γνωστά για τους ανεμόμυλους των Περσών οι οποίοι ήταν κατακόρυφου άξονα. Στην Αίγυπτο σώζονται πύργοι ανεμόμυλων ηλικίας μεγαλύτερης των 3000 ετών. Στο Αφγανιστάν βρίσκονται τα ερείπια ενός μεγάλου κτιρίου, με πολλές οπές δια μέσου των οποίων ο αέρας που εισροούσε, έβαζε σε κίνηση ειδικές μηχανές που εκτελούσαν χρήσιμες για τον άνθρωπο εργασίες. Στις χώρες της Ανατολής, στην Περσία, στη Μικρά Ασία, στο Αιγαίο, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν από πολύ παλαιά για την άλεση δημητριακών, μέχρι τη Βυζαντινή εποχή και μεταγενέστερα.

Μία σύντομη ιστορική αναδρομή στη χρησιμοποίηση των ανεμόμυλων δείχνει ότι κατά τους αρχαίους χρόνους χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για το άλεσμα του σιταριού. Μέχρι και το 900 μ.Χ. χρησιμοποιούνταν στην Περσία ακόμα ανεμόμυλοι κατακόρυφου άξονα για το πότισμα κήπων (Αλεξάκης 1993).

2.2.2 Νεότερη ιστορία

Οι ανεμόμυλοι δεν χρησιμοποιήθηκαν μόνο για την άλεση δημητριακών αλλά και για άλλους σκοπούς, με περισσότερο σπουδαίο την άντληση των υδάτων. Η μεγαλύτερη διάδοση των ανεμόμυλων έγινε στην Ολλανδία. Εκεί με την βοήθεια τους απορροφήθηκαν τα νερά των τεράστιων σε έκταση περιοχών της χώρας που βρίσκονταν σε χαμηλή στάθμη και διοχετεύονταν στη θάλασσα. Στην Ελλάδα για την άντληση ποτιστικού νερού από τα πηγάδια χρησιμοποιήθηκαν οι ανεμόμυλοι κυρίως στην Ανατολική Κρήτη. Υπολογίζεται ότι ο αριθμός τους είχε φτάσει προπολεμικά τους 6.808.

Η πρώτη αναφορά για ανεμόμυλους γίνεται σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9^{ου} αιώνα. Οι πρώτοι αυτοί ανεμόμυλοι φαίνεται πως ήταν κατακόρυφου άξονα και είχαν φτερωτή οριζόντιου τύπου με τα πτερύγια κάτω από τις μυλόπετρες, όπως ακριβώς συμβαίνει με τους οριζόντιους νερόμυλους, που πιστεύεται ότι είναι οι πρόδρομοι αυτού του τύπου ανεμόμυλων. Η σχεδιάσή τους βελτιώθηκε με την πάροδο του χρόνου ώστε να γίνουν πιο αποδοτικοί (Αλεξάκης 1993).

Η συζήτηση για το πως έφτασαν οι ανεμόμυλοι στην Ευρώπη δεν έχει λήξει ακόμη. Αν και κάποιοι ερευνητές πιστεύουν ότι μόνο η έμπνευση ήρθε από την Ανατολή και ότι σαν τεχνολογία οι ανεμόμυλοι εμφανίστηκαν και εξελίχτηκαν ανεξάρτητα στην Ευρώπη, η επικρατέστερη σήμερα άποψη είναι ότι έφτασαν με τους Άραβες είτε μέσω του Βυζαντίου είτε μέσω των Σταυροφοριών. Πάντως, γύρω στα τέλη του 12ου αιώνα εμφανίστηκε στην Γαλλία και στην Αγγλία ένας νέος τύπος ανεμόμυλου με φτερωτή κατακόρυφου τύπου με ακτινικά πτερύγια, που κινούσαν οριζόντιο άξονα που στηριζόταν κατακόρυφα πάνω σε ένα στύλο (post mill) και περιστρεφόταν ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου, ώστε να πετυχαίνεται πάντα κάθετη πρόσπτωση του αέρα στα πτερύγια της φτερωτής από όποια διεύθυνση και αν φυσούσε. Η σχεδίαση αυτή του επέτρεπε να μπορεί να λειτουργήσει όλες ή έστω τις περισσότερες ημέρες του χρόνου (Αλεξάκης 1993).

Η πρώτη απεικόνιση ανεμόμυλου αυτού του τύπου που βρήκε μεγάλη εξάπλωση στην μεσαιωνική Ευρώπη, βρίσκεται σε ένα ψαλτήριο από το Καντέρμπουρυ της Αγγλίας, που γράφτηκε γύρω στα 1250 και που σήμερα βρίσκεται στη Νέα Υόρκη στην βιβλιοθήκη Pierpont Morgan (Pierpont Morgan Library, MS M 0102). Ο ανεμόμυλος σε σχήμα πύργου εμφανίστηκε στην Γαλλία στις αρχές του 14ου αιώνα. Σε αυτόν τον τύπο ανεμόμυλου η φτερωτή είναι κατακόρυφου τύπου, με πτερύγια που κινούν οριζόντιο άξονα που μεταδίδει την κίνηση στον κατακόρυφο άξονα που είναι αρμοσμένες οι μυλόπετρες. Η ξυλομηχανή και οι μυλόπετρες είναι τοποθετημένες σε έναν κυλινδρικό πέτρινο πύργο με ξύλινη οροφή που μπορεί να κινηθεί χειροκίνητα πάνω σε μια κυκλική τροχιά που βρίσκεται στην κορυφή του πέτρινου πύργου. Η διαφορά του πυργόμυλου από τον ανεμόμυλο σε στύλο, του οποίου είναι βέβαια εξέλιξη, είναι ότι τώρα δεν περιστρέφεται ολόκληρος ο

ανεμόμυλος κατά την διεύθυνση του ανέμου, παρά μόνο η οροφή με την πτερωτή και τον άξονα (Αλεξιάκης 1993).

2.2.3 Σύγχρονη ιστορία

Ο επιστημονικός κλάδος «Μετεωρολογία της αιολικής ενέργειας», έχει εξελιχθεί μαζί με την εμπορική ανάπτυξη των ανεμογεννητριών και την εκμετάλλευση του ανέμου για την παραγωγή ενέργειας. Απ' τα τέλη της δεκαετίας του 70, λόγω της ενεργειακής κρίσης και των δυσμενών επιδράσεων των αέριων ρύπων στο περιβάλλον, επιστημονικές ερευνητικές ομάδες επεξεργάζονται μετεωρολογικά και κλιματολογικά θέματα, σχετικά με την αιολική ενέργεια. Τα εθνικά προγράμματα αιολικής ενέργειας, τα οποία ξεκίνησαν σε ένα μεγάλο αριθμό κρατών στη δεκαετία του 70, αποτελούν μέρος των ερευνών για το εθνικό αιολικό δυναμικό κάθε κράτους. Μεταξύ αυτών, τα πλέον διαδεδομένα είναι, ο Αιολικός Χάρτης των Η.Π.Α. (Wind Energy Resource Atlas) απ' το εργαστήριο Pacific Northwest Laboratory και ο Αιολικός Χάρτης της Δανίας (Danish Wind Atlas) απ' την Riso National Laboratory (Αλεξιάκης 1993).

Επιπροσθέτως με αυτούς τους χάρτες, είχε δημοσιευτεί κι ένας αριθμός εργασιών που αφορούσαν την επιλογή τοποθεσίας, πιο πολύ στις Η.Π.Α. στον Καναδά και στην Ολλανδία. Ο Αιολικός Χάρτης της Δανίας (Danish Wind Atlas) και αργότερα ο Ευρωπαϊκός (European Wind Atlas) εξυπηρετούσαν κοινούς στόχους, όπως η δημιουργία χαρτών αιολικού δυναμικού και εργασίες για την επιλογή τοποθεσίας ανεμογεννήτριας (Αλεξιάκης 1993).

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, η ανάπτυξη των ανεμογεννητριών αυξήθηκε δραματικά. Πραγματοποιήθηκε ένας μεγάλος αριθμός επιδείξεων της μεθόδου λειτουργίας τους, αλλά εξ' αιτίας του ανεπιτυχούς σχεδιασμού τους, μετά από μερικά χρόνια λειτουργίας, οι ανεμογεννήτριες αχρηστεύονταν. Εν τω μεταξύ, ο μικρός αριθμός ιδιωτικής παραγωγής ανεμογεννήτριας, οδηγούσε σε μεγαλύτερη και περισσότερο αξιόπιστη ανάπτυξη, δημιουργώντας μια περιορισμένη αγορά ανεμογεννήτριας. Η περισσότερο γνωστή, είναι η ανάπτυξη της βιομηχανίας των Αμερικανικών και Ευρωπαϊκών ανεμογεννητριών, η «έκρηξη» της αγοράς στην Καλιφόρνια και η επακόλουθη φθίνουσα πορεία, που οδήγησε σε πολλαπλές πτωχεύσεις στη βιομηχανία. Με γνώμονα τις παραπάνω επιπτώσεις, αναπτύχθηκε μια πιο αργή αλλά και πιο σταθερή ανάπτυξη στην ευρωπαϊκή αγορά, η κοινότητα της αιολικής ενέργειας, είχε διδαχθεί απ' την περιπέτεια της Καλιφόρνιας (Αλεξιάκης 1993).

Η σημαντικότητα της ακριβούς γνώσης του ενεργειακού δυναμικού και των αξιόπιστων μεθόδων για την επιλογή τοποθεσίας ανεμογεννήτριας, είχε γίνει όλο και περισσότερο αναγκαία. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, σημειώθηκε ιδιαίτερα μεγάλη ανάπτυξη στην εφαρμογή της αιολικής ενέργειας, παγκόσμια. Ο

συναγωνισμός είχε γίνει έντονος, όχι μόνο μεταξύ των εμπορικών ειδών των Α/Γ, αλλά και μεταξύ των προγραμμάτων έρευνας. Ποιο πρόγραμμα να επιλεγεί και σε ποια περιοχή; Συνήθως, η οικονομία και κατά συνέπεια η προσδοκία για την παραγωγή ενέργειας, κατά τη διάρκεια ζωής μιας ανεμογεννήτριας, είναι οι κρίσιμες παράμετροι (Αλεξάκης 1993).

Εδώ, η εφαρμογή της «Μετεωρολογίας της αιολικής ενέργειας» επιτελεί ένα σημαντικότατο ρόλο. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί, ότι αυτός ο επιστημονικός κλάδος έχει αναπτυχθεί τα τελευταία είκοσι χρόνια, στρέφοντας έναν σχετικά «ελεύθερο» ακαδημαϊκό επιστημονικό κλάδο, σε έναν «σκληρό» ερευνητικό και αναπτυξιακό κλάδο, υπό την πίεση της κοινότητας της αιολικής ενέργειας – με μία ισχυρή και σχεδόν μη ρεαλιστική απαίτηση, για ακριβείς και αποτελεσματικές μεθόδους. Μια απεικόνιση της αυξημένης ζήτησης της παραγωγής αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα τελευταία χρόνια σημειώνεται αλματώδης ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας και η Ευρώπη, παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο σε αυτήν την προσπάθεια. Από τα 3.800 MW που παρήχθησαν παγκοσμίως το 2000, τα 3.500 MW παρήχθησαν στην Ευρώπη. Στόχος της Ευρώπης είναι, μέχρι το 2010, να παράγεται ενέργεια μερικών δεκάδων GW από ανεμογεννήτριες, οι οποίες θα έχουν πολύ καλύτερη απόδοση απ' αυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα. Στη χώρα μας, η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων στο τέλος του 1997 ήταν μόλις 29 MW, ενώ στο τέλος του 2001 σχεδόν δεκαπλασιάστηκε κι έφθασε τα 272 MW. Με το τέλος του τρέχοντος έτους, η ισχύς των αιολικών πάρκων θα πλησιάσει τα 500 MW (Πηγή: «Ανεμολόγια»).

2.3 Το παγκόσμιο γίγνεσθαι

Η αιολική ενέργεια, την ταχύτερα αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας στον κόσμο, είναι μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που ήταν σε χρήση για αιώνες στην Ευρώπη και πιο πρόσφατα στις Ηνωμένες Πολιτείες αλλά και σε άλλα έθνη. Οι ανεμογεννήτριες, μικρές και μεγάλες, παράγουν ηλεκτρικής ενέργειας για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και για οικιακούς καταναλωτές σε απομακρυσμένα χωριά. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι εύκολα προσβάσιμες για τον άνθρωπο σε όλο τον κόσμο και υπάρχουν σε αφθονία στην φύση. Η αυξημένη χρήση της αιολικής ενέργειας και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πηγές θα τονώσει την οικονομική ανάπτυξη, την δημιουργία απασχόλησης, την ενίσχυση της εθνικής ασφάλειας, την προστασία των καταναλωτών από την εκτίναξη των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας και θα μειώσει δραματικά το ρύπο που θερμαίνει τον πλανήτη, που προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Αθανασοπούλου, 2002).

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μελλοντικά θεωρούνται ως ένα βασικός παράγοντας για την άμβλυνση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Η αιολική ενέργεια, μεταξύ των διαφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έχει γνώρισε τη

μεγαλύτερη ανάπτυξη σε όλο τον κόσμο κατά τα τελευταία χρόνια. Η αιολική ενέργεια ήταν η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ενεργειακή τεχνολογία στην δεκαετία του '90, από την άποψη του ποσοστού της ετήσιας αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος ανά πηγή τεχνολογίας. Η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, ωστόσο, δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη σε όλο τον κόσμο (Αθανασοπούλου, 2002).

Μέχρι το έτος 1999, περίπου το 70% της παγκόσμιας παραγωγικής δυναμικότητας αιολικής ενέργειας ήταν εγκατασταθεί στην Ευρώπη, 19% στη Βόρεια Αμερική και 9% στην Ασία και στην περιοχή του Ειρηνικού. Υπήρξε μια σημαντική αύξηση της ζήτησης στην ηλεκτρική ενέργεια λόγω των οικονομικών και τεχνολογικών εξελίξεων σε όλο τον κόσμο. Η παγκόσμια οικονομία αναπτύχθηκε 3,3% ετησίως κατά τα τελευταία 30 χρόνια και σε αυτή την περίοδο η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε 3,6%. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο το κόσμο το 2004 ήταν 17.450 TWh και εκτιμάται ότι θα φτάσει 31.657 TWh το 2030.

Σε γενικές γραμμές, οι πολιτικές των περισσότερων χωρών περιλαμβάνουν φόρους απαλλαγής, επιδοτήσεις, feed in tariff, και τη συμμετοχή των ερευνητικών ιδρυμάτων. Στην Μαλαισία, η σημερινή κατάσταση που επικρατεί δείχνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένο πολιτική για την αιολική ενέργεια, δεδομένου ότι η αιολική ενέργεια είναι μια σχετικά νέος τρόπος παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για τη χώρα και το δυναμικό της δεν έχει πλήρως διερευνηθεί. Η πολιτική της αιολικής ενέργειας είναι απαραίτητη αν η αιολική ενέργεια πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σοβαρά στη Μαλαισία (Αθανασοπούλου, 2002).

2.3.1 Αίγυπτος

Με σκοπό να αυξηθεί η παραγωγή ενέργειας από την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στην Αίγυπτο έχει θέσει συγκεκριμένους στόχους για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σύμφωνα με αυτούς τους στόχους, από το έτος 2005 το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αυξήθηκε στο 5% του συνολικού ποσού της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στην Αίγυπτο. Τον Απρίλιο του 2007, το Ανώτατο Συμβούλιο Ενέργειας στην Αίγυπτο ανακοίνωσε ένα φιλόδοξο σχέδιο για την παραγωγή 400MW από άνεμο, όπου θα αυξήσει την ικανότητα στα 600MW μέχρι τα μέσα του 2010 και 20% της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας θα παράγεται από ανανεώσιμες πηγές έως το 2020, συμπεριλαμβανομένων συνεισφορά 12% από την αιολική ενέργεια, η οποία είναι περίπου 7200MW (Αθανασοπούλου, 2002).

2.3.2 Αυστραλία

Η Αυστραλία είναι η 14η μεγαλύτερη παγκόσμια οικονομία, με σημαντική εναέρια κυκλοφορία μεταξύ των περιοχών της και διαθέτει ένα ευρύ φάσμα από κλιματικές ζώνες με μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των αστικών της κέντρων, ενώ η διαμόρφωση του εδάφους εξακολουθεί να υφίσταται σημαντικές αλλαγές. Η εθνική πολιτική όσο αφορά τις ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας περιλαμβάνει τρεις κύριους στόχους:

- ✓ να ενθαρρύνουν την πρόσθετη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές
- ✓ τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου
- ✓ να διασφαλίσει ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οικολογικά βιώσιμη

Η Αυστραλία έχει ένα από τα υψηλότερα ποσοστά εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου κατά κεφαλήν. Εν μέρει, αυτό συμβαίνει λόγω των μεγάλων εγχώριων αποθεμάτων του άνθρακα στην χώρα, οι οποίες διατηρούν χαμηλά το κόστος παραγωγής και κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να προσελκύουν πολλούς βιομηχανικούς επενδυτές. Σήμερα, η χρήση της καύσης του άνθρακα τροφοδοτεί ενέργεια σε περισσότερο από το 75% της εγχώριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από αιολική ενέργεια, στο τέλος του 2007 ήταν 824 MW. Η αυστραλιανή κυβέρνηση έχει θέσει ως στόχο την παραγωγή ενέργειας 45.000 GWh, από ανανεώσιμες ενέργειες έως το 2020 (Αθανασοπούλου, 2002).

2.3.3 Γερμανία

Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη Γερμανία ξεκίνησε το 1974. Η Γερμανία κατέχει μια ηγετική θέση στην Ευρώπη στη μετάβαση από τη συμβατικές στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι Ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί με ταχείς ρυθμούς στη Γερμανία από το 1990 σε μεγάλο βαθμό ως αποτέλεσμα των πολιτικών που ακολουθήθηκαν για την ενέργεια που εγκρίθηκε από τη γερμανική κυβέρνηση και από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Γερμανία έχει εγκατεστημένη ισχύ 20,7 GW από αιολική ενέργεια μέχρι το 2006. Επιπλέον περίπου 7 GW αναμένεται να κατασκευαστούν μέχρι το 2015 ενώ υπάρχει ο μακροπρόθεσμος στόχος των 30 GW έως το 2030 (Αθανασοπούλου, 2002).

Ομοσπονδιακή στόχος της Γερμανίας είναι να επιτευχθεί το 30% της ηλεκτρικής ενέργειας της ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές μέχρι το έτος 2020, με ένα μακροπρόθεσμο στόχος του 50% μέχρι το 2050. Η Γερμανία κατέχει περισσότερο από το ένα τρίτο της εγκατεστημένης ισχύος του κόσμου, στην

παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και ειδικά από ανεμογεννήτριες (Αθανασοπούλου, 2002).

2.3.4 Δανία

Η Δανία έχει μια μακρά παράδοση στην εκμετάλλευση και στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας. Στην Δανία πραγματοποιείται έρευνα και ανάπτυξη σε νέα είδη ανεμογεννητριών ήδη από τα τέλη του 1970. Σε συνδυασμό με την ευνοϊκή κυβερνητική πολιτική για επιχορηγήσεις για την παραγωγή αιολικής ενέργειας, έχουν δημιουργήσει ένα ιστορικό επιτυχίας. Το 2001, περίπου το 18% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται τροφοδοτείται από την αιολική ενέργεια, σε αντίθεση με το 2% το 1990.

Οι συμφωνίες με επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας για τους στόχους υλοποίησης και επιδότηση kWh έχει οδηγήσει σε μια ισχυρή εγχώρια αγορά για την αύξηση της βιομηχανικής αιολικής ενέργειας στην Δανία και η εφαρμογή της αιολικής ενέργειας καθιστά τη Δανία μια χώρα με ένα από τα μεγαλύτερα ποσοστά διείσδυσης αιολικής ενέργειας στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας: 23% το 2006 (Αθανασοπούλου, 2002).

Η αιολική ενέργεια στη Δανία απολαμβάνει γενικά υψηλή αποδοχή από το κοινό. Ο κύριος λόγος πίσω από αυτό ήταν η ιδιοκτησία. Ο δημόσιος κανονισμός χορηγεί ένα ποσοστό του ανέμου ικανό να ανεγερθεί από δημόσιες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και περισσότερο σημαντικό είναι ότι η νομοθεσία διεγείρει το σχηματισμό του τοπικών συνεταιρισμών με ψιλή κυριότητα των μετοχών της ανεμογεννήτριας σε δημοτικά έργα.

Στις 28 Μαρτίου του 2012, η Δανία πετυχαίνει μια συμφωνία μέσα στο Κοινοβούλιο για την ενέργεια. Με τη πιο μακροπρόθεσμη ενεργειακή συμφωνία που έχει επιτευχθεί ποτέ, η Δανία ισχυρίζεται πως μέχρι το 2020, το ήμισυ της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας θα προέρχεται από την αιολική ενέργεια έναντι του 25 % που βρίσκεται σήμερα. Η συμφωνία παρουσιάζει και την κατεύθυνση της Δανίας μέχρι το 2050. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, η Δανία έχει αποφασίσει να ενισχύσει την αιολική ενέργεια με ένα σύνολο 3300 MW νέας αιολικής ενέργειας. Αυτό θα αποτελείται από δύο μέρη εκ των οποίων το ένα περιλαμβάνει την κατασκευή δυο υπεράκτιων αιολικών πάρκων και το υπόλοιπο από ανεμογεννήτριες ξηράς και υπεράκτιες ανεμογεννήτριες στις παράκτιες περιοχές.

Η πρωτοπόρος Δανία, με τη βοήθεια της Δανέζικης Υπηρεσίας Ενέργειας (DEA), έχει καταφέρει να δημιουργήσει δώδεκα υπεράκτια αιολικά πάρκα και να βρίσκεται στις διαδικασίες έγκρισης για την κατασκευή άλλων δύο. Τον Αύγουστο του 2012, η κυβέρνηση της Δανίας έδωσε το πράσινο φώς για την κατασκευή του αιολικού πάρκου Άνχολτ. Το πάρκο θα έχει συνολική ισχύ 400 μεγαβάτ και θα παράγει καθαρή ενέργεια για 400.000 νοικοκυριά. Το Άνχολτ θα ολοκληρωθεί πριν

το έτος 2013, θα στοιχίσει 1,8 δις ευρώ και θα αποτελεί το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο της χώρας και από τα πιο μεγάλα παγκοσμίως, σύμφωνα με το άρθρο της energypress (Αθανασοπούλου, 2002).

Το νομοθετικό πλαίσιο της Δανίας είναι περίπλοκο σε σχέση με άλλων χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και δεν έχουμε στοιχεία με ολοκληρωμένους νόμους παρά μόνο άρθρα. Όσον αφορά τη τιμολόγηση στην Δανία, δεν είναι καθαρά της μορφής Feed In Tariffs, αλλά ονομάζεται Σταθερά τιμολόγια τροφοδότησης και πριμοδότηση (Fixed Feed In Tariffs and premium). Η ενίσχυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη Δανία γίνεται με τη μορφή μιας σταθερής πριμοδότησης ή/και τροφοδότησης ώστε να εξασφαλίζει στο παραγωγό ένα σταθερό τιμολόγιο.

2.3.5 Η.Π.Α.

Παρά το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια αντιστοιχεί σε λιγότερο του 2% του ενέργειας που καταναλώνεται στις ΗΠΑ, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια δραματική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύς της αιολικής ενέργειας. Ο προβλεπόμενος στόχος είναι η παραγωγή αιολικής ενέργειας που να αντιστοιχεί στο 20% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας της χώρας. Σχεδόν το ένα τέταρτο της συνολικής παραγωγής από αιολική ενέργεια βρίσκεται στο Τέξας. Το capacity factor της αιολικής ενέργειας στις ΗΠΑ κυμαίνεται από 20 – 35%. Στην περιοχή της Nolan στις ΗΠΑ βρίσκεται ένα από τα μεγαλύτερα αιολικά πάρκα στον κόσμο.

Η ενεργειακή πολιτική των Ηνωμένων Πολιτειών καθορίζεται από ομοσπονδιακή φορολογικά κίνητρα, τα πρότυπα του κράτους σε ανανεώσιμες πηγές χαρτοφυλακίου και στις τοπικές δημόσιες οντότητες που υπάρχουν στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίες αντιμετωπίζουν τα ζητήματα της ενέργειας της παραγωγής, της διανομής και της κατανάλωσης. Τρεις Ενεργειακές πράξεις πολιτικής έχουν περάσει, το 1992, το 2005, και το 2007 (Αθανασοπούλου, 2002).

2.3.6 Ιαπωνία

Η παραγωγή αιολικής ενέργειας στην Ιαπωνία αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 0,3% του η συνολικής ενέργειας που παράγει η χώρα. Το 1999, ο ρυθμός ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας έφθασε μόνο 0,04%, ενώ σε νέες πηγές ενέργειας μόνο το 0,22%. Ακόμη και αν η αιολική ενέργεια φτάνει μέχρι το 2010, σε ποσότητες μέχρι 3000MW που είναι ο στόχος της ιαπωνικής κυβέρνησης, το ποσοστό θα παραμείνει χαμηλά στο 1,1%. Για την επίτευξη των στόχων του Πρωτοκόλλου του Κιότο, η Ιαπωνία έχει θέσει ως στόχο να μειώσει το επίπεδο των αερίων του θερμοκηπίου κατά 6% (σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990) κατά την περίοδο 2008 – 2012. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, η ιαπωνική κυβέρνηση εισήγαγε ένα

Χαρτοφυλάκιο για τις Ανανεώσιμες πηγές τον Απρίλιο του 2003 με στόχο την τόνωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο επίσημος στόχος της κυβέρνησης για παραγωγή από αιολική ενέργεια στην Ιαπωνία από το 2010 είναι τα 3.000 MW.

2.3.7 Καναδάς

Ο Καναδάς αποτελεί τον 5ο μεγαλύτερο παραγωγό ενέργειας στον κόσμο, όπου παράγει περίπου το 6% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της οικονομίας του Καναδά στις επενδύσεις, στο εμπόριο, στην παραγωγή εισοδήματος και στην απασχόληση. Με βάση την παραγωγή ενέργειας, το ουράνιο αντιπροσωπεύει 33% της παραγωγής, το φυσικό αέριο 30%, το πετρέλαιο 23%, άνθρακα 6%, και ανανεώσιμες πηγές (υδροηλεκτρική, αιολική ενέργεια και βιομάζα) 8% (Αθανασοπούλου, 2002).

Το feed – in tariff είναι ένα πρόγραμμα παροχής κινήτρων που διεγείρει τον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω της νομοθεσίας που έχει θεσπίσει η κυβέρνηση του Καναδά. Απαιτεί οι επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας να αγοράζουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πάνω από τα επιτόκια της αγοράς (που καθορίζεται από την κυβέρνηση) και να παράγει ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό έχει αποδειχθεί ότι είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για να ξεκινήσει κάποιος να γίνει παραγωγός από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτροπαραγωγής από αιολική ενέργεια στον Καναδά είχαν ένα μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 51% μεταξύ του 2000 και το 2006. Το 2006, η εγκατεστημένη ισχύς έφτασε τα 776MW. Το 2006, ο Καναδάς έγινε μια από τους 13 χώρες σε όλο τον κόσμο που έχουν 1 GW εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτροπαραγωγής από αιολική ενέργεια (Αθανασοπούλου, 2002).

2.3.8 Κίνα

Η Κίνα είναι προικισμένη με μεγάλο αιολικό δυναμικό κυρίως στα βόρεια τμήματα της χώρας. Η συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια στην Κίνα έχει εκτιμηθεί σε 3,2 TW. Το Υπουργείο Ηλεκτρικής Ενέργειας εκτιμά ότι το εκμεταλλεύσιμο ηλεκτρικό δυναμικό, σε ύψος 10m, είναι 253 GW. Μέχρι στιγμής, για 200MWh έχουν αναπτυχθεί μέσω μεγάλης και μικρής κλίμακας έργα που έχουν υλοποιηθεί στην χώρα. Το υπουργείο Αξιολόγησης Ηλεκτρικής Ισχύος του ανέμου των πόρων δείχνει ότι τα καλύτερα αιολικά δυναμικά καλύπτουν μια έκταση 83.000 km².

2.3.9 Σκωτία

Η κυβέρνηση της Σκωτίας έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την επίτευξη του 100% της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έως το 2020. Δεδομένου ότι η Σκωτία έχει τους καλύτερους ενεργειακούς πόρους όσο αφορά την αιολική ενέργεια στην Ευρώπη, η ανάπτυξη της είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη των στόχων αυτών. Ωστόσο, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας θέτει μια σειρά από θέματα που σχετίζονται με την οικονομική βιωσιμότητα, τη σύνδεση με το δίκτυο και τη δημόσια αποδοχή. Μετά από μελέτες προέκυψε ότι υπάρχουν διάφορα εμπόδια που παρακωλύουν την πρόοδο στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη Σκωτία. Κατέστη σαφές ότι η αντίθεση των ενδιαφερόμενων μερών, ο ανεπαρκής μηχανισμός στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και η ανεπαρκής υποδομή του δικτύου της Σκωτίας θέτουν πολλά εμπόδια. Κατέστη σαφές ότι προκειμένου να ξεπεραστούν αυτά τα εμπόδια, επιβάλλονται ορισμένες αλλαγές που πρέπει να λάβουν χώρα (Αθανασοπούλου, 2002).

2.3.10 Σουηδία

Η αιολική ενέργεια προσφέρει σήμερα λιγότερο από το 1% του ενεργειακού εφοδιασμού της Σουηδίας. Ωστόσο, η Σουηδικές εθνικές αρχές έχουν δεσμευτεί ότι η χώρα θα προχωρήσει σε σημαντική αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Έχουν θέσει ένα εθνικό στόχο στον προγραμματισμό για την αιολική ενέργεια τα 10 TWh μέχρι το έτος 2015. Η ανάπτυξη του αιολικού πάρκου ανατίθεται σε ιδιωτικές εταιρείες. Έχουν χρηματοδοτηθεί ένα εκτεταμένο πρόγραμμα έρευνας και έχουν εισάγει μια σειρά από οικονομικά κίνητρα, όπως επιδοτήσεις για επενδύσεις και φορολογικά μέτρα.

Δύο κύρια χαρακτηριστικά προκύπτουν όταν εξετάζουμε τα επιχειρήματα των επενδυτών για την απόκτηση άδεια λειτουργίας αιολικών πάρκων στη Σουηδία:

- ✓ η προσέγγισή τους μπορούν να διαμορφωθούν σε όρους μιας γραμμής αναγκαιότητας – ικανότητας – αποδοχής του επιχειρήματος
- ✓ συνδυάζουν μια λογική προσέγγιση με μια ρητορική προσέγγιση στην πρακτική τους επιχειρηματολογία.

Μια σειρά από αιολικά πάρκα στην περιοχή Norrbotten County, θα κατασκευαστεί μέχρι το 2020 και θα έχει χωρητικότητα έως και 4GW. Το αιολικό πάρκο θα καλύψει περίπου 450 km², το οποίο θα περιλαμβάνει περίπου 1.100 ανεμογεννήτριες και θα παράγει έως και 12 TW ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος. Στην Σουηδία ενώ η αιολική ενέργεια που παράγεται αντιστοιχεί στο 1% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας, ωστόσο βρίσκεται 8η στην κατάταξη ανάμεσα στα 27 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιπλέον, η Σουηδική Υπηρεσία Ενέργειας ανέπτυξε ένα εγχειρίδιο για την αιολική ενέργεια που περιέχει πληροφορίες από το στάδιο

έκδοσης αδειών για την αιολική ενέργεια μέχρι το σχεδιασμό του έργου και την αποπεράτωση του αιολικού πάρκου (Αθανασοπούλου, 2002).

2.4 Χαρακτηριστικά ανέμων

Οι κινήσεις των αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα είναι τρισδιάστατες. Με τη χρήση του όρου άνεμος αναφερόμαστε στις οριζόντιες συνιστώσες, διότι οι κατακόρυφες κινήσεις είναι συνήθως πολύ μικρότερης ταχύτητας από τις οριζόντιες. Ο άνεμος αξιολογείται ως ένα δισδιάστατο ανυσματικό μέγεθος, το οποίο περιγράφουν η ταχύτητα (μέτρο) και η διεύθυνση (κατεύθυνση ή φορά). Οι μετρήσεις της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου αποτελούν την αφετηρία αξιολόγησης του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής ενδιαφέροντος. Η διάρκεια πνοής του ανέμου, σε συνδυασμό με την ένταση και την διεύθυνση του, απαιτούνται σε συστήματα παραγωγής αιολικής ενέργειας και η ποσότητα της ενέργειας που παράγεται εξαρτάται από αυτά τα χαρακτηριστικά (Κανελλόπουλος, 2008).

2.4.1 Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου σε ορισμένη θέση στο χώρο δεν παραμένει σταθερή με το χρόνο. Η μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου έχει ιδιαίτερη σημασία για τη λειτουργική απόδοση των αιολικών μηχανών αλλά και για τον υπολογισμό της αντοχής τους λόγω των εναλλασσόμενων φορτίων που αναπτύσσονται και που οδηγούν στην κόπωση των υλικών της μηχανής. Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το χρόνο για μια μεγάλη χρονική περίοδο περιέχει μεταβολές που οφείλονται σε εποχιακές διακυμάνσεις ταχύτητας, σε παροδικά κλιματολογικά συστήματα όπως επίσης και στην ασταθή φύση της ροής. Η ταχύτητα του ανέμου έχει άμεση επίδραση στην παραγωγή ισχύος, αλλά έχει διαπιστωθεί ότι ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική ταχύτητα της ανεμογεννήτριας, σε συνδυασμό με τις ώρες υψηλής παραγωγής, συμβάλλουν σημαντικά στην υψηλή παραγωγή ενέργειας (Κανελλόπουλος, 2008).

Μία από τις πιο σημαντικές πληροφορίες που μπορούμε να αντλήσουμε από το διαθέσιμο φάσμα ανεμολογικών δεδομένων σε μια τοποθεσία είναι η μέση τιμή της ταχύτητας ανέμου. Είναι απαραίτητη για ενεργειακούς σκοπούς και μπορεί να είναι ετήσια, εποχιακή, ημερήσια, ή και ωριαία. Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου, από δεδομένα δεκαλέπτων, δεν χρησιμοποιείται ο απλός τρόπος υπολογισμού ενός μέσου όρου (άθροισμα δεδομένων δια τον αριθμό των δεδομένων). Αν χρησιμοποιηθεί αυτή η τιμή της μέσης ταχύτητας ανέμου για τον υπολογισμό της αναμενόμενης ισχύος τότε θα έχουμε υποτιμήσει την τιμή της ισχύος κατά 20%. Για αυτό το λόγο, για να πετύχουμε την επιθυμητή ακρίβεια στην επεξεργασία των δεδομένων για τους υπολογισμούς αιολικής ενέργειας, η ταχύτητα πρέπει να επηρεάζεται από την αναλογία της με την ισχύ. Έτσι, σύμφωνα με την

κυβική σχέση της ταχύτητας με την ισχύ, η μέση τιμή της ταχύτητας ανέμου, $\bar{V}$, εκφράζεται ως εξής:

$$\bar{V} = \sqrt[3]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3}$$

όπου n ο αριθμός των δεκαλέπτων και V_i η τιμή της μέσης ταχύτητας ανέμου σε κάθε δεκάλεπτο.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο της μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου είναι η μέγιστη τιμή της ταχύτητας, που μπορεί να εμφανισθεί στην εξεταζόμενη θέση κατά τη διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας. Η γνώση της τιμής αυτής είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της πιθανότητας μηχανολογικής αστοχίας της μηχανής. Εκτός από τη μέση ετήσια ταχύτητα στη θέση εγκατάστασης της αιολικής μηχανής, είναι χρήσιμο για ενεργειακούς υπολογισμούς να είναι γνωστή και η εποχιακή διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου. Η εποχιακή διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου αποτελεί χρήσιμο στοιχείο για τον υπολογισμό της εποχιακής ενεργειακής απόδοσης της ανεμογεννήτριας και της ποιότητας προσαρμογής της καμπύλης ενεργειακής παραγωγής και ζήτησης (Κανελλόπουλος, 2008).

2.4.2 Διεύθυνση ανέμου

Οι ανεμολογικές συνθήκες στην Ελλάδα είναι τέτοιες, που παρατηρείται μεγάλη μεταβλητότητα στις επικρατέστερες διευθύνσεις των ανέμων ανάλογα με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της κάθε περιοχής. Για τη διεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς η περίμετρος του κύκλου, η οποία εκφράζεται σε μοίρες. Ο βορράς αντιστοιχεί στη θέση 0° , η ανατολή στη θέση 90° , ο νότος στη θέση 180° και η δύση στη θέση 270° . Ο κύκλος μπορεί να χωριστεί σε δεκαέξι, δώδεκα ή οκτώ διευθύνσεις, με τις δεκαέξι να είναι οι πιο επικρατέστερες. Η πληροφορία που αντλείται από το ανεμολόγιο των διευθύνσεων είναι πολύ σημαντική διότι με αυτό σχεδιάζεται η διάταξη ενός αιολικού πάρκου. Ένας από τους τρόπους παρουσίασης των διευθύνσεων του ανέμου στην περιοχή όπου γίνονται οι μετρήσεις είναι αυτός με τη μορφή πίνακα, όπου αναγράφονται οι διευθύνσεις του ανέμου και δίπλα τους το ποσοστό εμφάνισης ή οι ώρες που έπνεε άνεμος από τη συγκεκριμένη διεύθυνση.

Γενικά, από τις μετρήσεις των διευθύνσεων του ανέμου σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρατηρείται μια στροφή του ανέμου, καθώς πηγαίνουμε από το βόρειο προς το νότιο Αιγαίο (Κανελλόπουλος, 2008). Οι άνεμοι από βόρειους – βορειοανατολικούς στρέφονται σε βορείους στις Κυκλάδες και σταδιακά στο Καρπάθιο πέλαγος γίνονται δυτικοί – βορειοδυτικοί έως δυτικοί – νοτιοδυτικοί. Από χρόνο σε χρόνο παρατηρείται σε γενικές γραμμές μια σταθερότητα στην εμφάνιση των ανέμων. Οι επικρατέστεροι άνεμοι παραμένουν οι ίδιοι και αλλάζει συνήθως

μόνο το ποσοστό εμφάνισής τους. Έτσι, είναι απαραίτητο να υπάρχουν παρατηρήσεις από αρκετά χρόνια, ώστε να εξάγεται ένα όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστο ποσοστό.

Για την απεικόνιση της κατανομής της συχνότητας των διευθύνσεων του ανέμου σε κάποια τοποθεσία χρησιμοποιείται το ροδόγραμμα του ανέμου (wind rose). Το ροδόγραμμα του ανέμου σχεδιάζεται με βάση μετεωρολογικές παρατηρήσεις που καταγράφονται στην υπό μελέτη περιοχή και διαφέρει από το ένα μέρος στο άλλο, καθιστώντας το έτσι ως το «μετεωρολογικό αποτύπωμα» για κάθε περιοχή. Το ροδόγραμμα του ανέμου είναι εξαιρετικά χρήσιμο για την ακριβή τοποθέτηση των ανεμογεννητριών. Έτσι, αν από κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση ανέμου αναμένεται ότι θα παράγεται αρκετά μεγάλο ποσό ενέργειας, τότε επιδιώκεται η ύπαρξη ολοένα και λιγότερων εμποδίων από εκείνη την κατεύθυνση, κατά την εγκατάσταση, ώστε να εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση (Κανελλόπουλος, 2008).

2.4.3 Τύρβη ανέμου

Η τύρβη του ανέμου αποτελεί ένα ανεμογραφικό καταγραφικό μεταβολής του ανέμου και δείχνει ότι ο φυσικός άνεμος μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από ένα ευρύ φάσμα υψηλής συχνότητας ριπών που επιτίθεται σε μικρότερης συχνότητας μεταβαλλόμενο άνεμο (Μπεργελές, 2005). Είναι προφανές ότι οι διαταραχές της ταχύτητας του ανέμου είναι τυχαίες στον χαρακτήρα τους, γι' αυτό δεν μπορούν να αναλυθούν με ντετερμινιστικό τρόπο, αλλά με στατιστικές τεχνικές που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά της μεταβολής του ανέμου. Μετά από πολλές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο οριακό στρώμα φάνηκε ότι η ένταση της τύρβης έχει άμεση σχέση με την ταχύτητα τριβής. Διαπιστώθηκε ότι η κατακόρυφη μεταβολή του μέτρου της οριζόντιας συνιστώσας του ανέμου, τα πρώτα 1.000 m από το έδαφος, μπορεί να εκφραστεί με ένα εκθετικό νόμο. Ο εκθετικός νόμος δίνει την ταχύτητα στο επιθυμητό ύψος, ως συνάρτηση των δύο υψών σε μια δύναμη α .

$$V_r = V_0 \left(\frac{H_r}{H_0} \right)^\alpha$$

Όπου V_r η ταχύτητα στο ύψος αναγωγής (σε m/s), V_0 η ταχύτητα στο ύψος μέτρησης σε (m/s), H_r το ύψος αναγωγής (σε m) και H_0 το ύψος μέτρησης (σε m). Ο εκθέτης α εκφράζει μια ένδειξη της τραχύτητας της επιφάνειας του εδάφους, αυξάνει σε επίπεδες εκτάσεις και μηδενίζεται σε κορυφογραμμές. Για τη σωστή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού απαιτείται η ακριβής γνώση της μορφολογίας του εδάφους, της παραμέτρου τραχύτητας και κατά συνέπεια του εκθέτη α αναγωγής ταχυτήτων με το ύψος από το έδαφος. Αν υπάρχει έλλειψη στοιχείων, ο εκθέτης α μπορεί να ληφθεί ίσος με 0,17 - τυπική τιμή για την τοπογραφία του ελλαδικού χώρου. Σε περίπτωση

ύπαρξης δεδομένων, ο εκθέτης α μπορεί να προσδιοριστεί την τυπική απόκλιση της ταχύτητας sd_v και τη μέση ταχύτητα $\bar{V}_{avg}$, από κάθε δεκάλεπτο, από τη σχέση

$$T_i = \frac{sd_v}{\bar{V}_{avg}}$$

Το T_i αποτελεί την ένταση της τύρβης, σε κάθε δεκάλεπτο, στα 10 m από το έδαφος, πράγμα που οδηγεί στην εκτίμηση του συντελεστή α του εκθετικού νόμου $T(10m) = \alpha$.

Η μορφολογία της περιοχής εγκατάστασης των ανεμογεννητριών παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατακόρυφη μεταβολή των ταχυτήτων του ανέμου. Οι αλλαγές των κλίσεων του εδάφους, όπως η παρουσία λόφων, οδηγεί σε αυξομειώσεις της ταχύτητας του ανέμου. Ιδανικά οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνονται στο ύψος τοποθέτησης της κεφαλής του δρομέα (ιστοί που θα ξεπερνούν τα 50 m), πράγμα που συνεπάγεται αυξημένο κόστος, αλλά και δυσκολία συντήρησης των οργάνων. Έτσι, συνηθίζεται οι μετρήσεις να καταγράφονται σε ύψη π.χ. 10 ή 30 m πάνω από το έδαφος και με τον προσδιορισμό του συντελεστή τραχύτητας να γίνονται οι απαραίτητες αναγωγές. Ο δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει την μεταβλητότητα του ανέμου και προκαλεί διακυμάνσεις είναι η αυξημένη τραχύτητα του εδάφους λόγω δέντρων και κτιρίων. Και τα δύο αποτελούν εμπόδια στη ροή, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητα και να αυξάνεται η τύρβη (Κανελλόπουλος, 2008).

2.4.4 Ισχύς ανέμου

Οι μεγάλες μάζες του ανέμου, που διαρκώς μετακινούνται στην ατμόσφαιρα, περιέχουν τεράστια ποσά ενέργειας που προσφέρονται περισσότερο από κάθε άλλη μορφή ενέργειας για μετατροπή και εκμετάλλευση. Η στιγμιαία ισχύς που περιέχεται σε ένα ρεύμα αέρα διατομής A , ομοιόμορφης στιγμιαίας ταχύτητας V και πυκνότητας ρ , υπολογίζεται από τη σχέση

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 A$$

Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση η ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου, γεγονός που έχει εξαιρετικά μεγάλη σημασία, αφού η ταχύτητα δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε ευρύτατα όρια με το χρόνο. Η ευρύτατη αυτή χρονική μεταβολή επιβάλλει ένα ξεχωριστό τρόπο επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων, στην περίπτωση ενδιαφέροντος για εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου και για εύρεση της κατάλληλης ανεμογεννήτριας για μια ορισμένη περιοχή. Η τύρβη του ανέμου αποτελεί ένα ανεμογραφικό καταγραφικό μεταβολής (Κανελλόπουλος, 2008).

Κεφάλαιο 3 : Αιολικές μηχανές

3.1 Τύποι ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Οι ίδιες μπορούν να θεωρηθούν ως εξέλιξη των παλαιών ανεμόμυλων, με τη διαφορά ότι η μηχανική ισχύς που παράγεται μετατρέπεται ακαριαία σε ηλεκτρική. Λόγω του συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, τις τελευταίες δεκαετίες η εξέλιξη των ανεμογεννητριών υπήρξε ραγδαία. Αποτέλεσμα, είναι η εμφάνιση ποικίλων τύπων ανεμογεννητριών, καθώς και η ένταξη τους στα δίκτυα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές χώρες παγκοσμίως. Ανάλογα με τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής, οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα. Ανάλογα με το μέγεθος και την ισχύ που παράγουν, διακρίνονται σε μικρές, μεσαίες και μεγάλες ανεμογεννήτριες. Ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων τους, διακρίνονται σε ολιγοπτέρυγες και πολυπτέρυγες, ενώ ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους, διακρίνονται σε αργόστροφες και ταχύστροφες (Καλδέλλης, 2005, Γελεγενής και Αζαόπουλος, 2005).

Οι επικρατέστερες και πλέον διαδεδομένες ανεμογεννήτριες, είναι αυτές που διαχωρίζονται με βάση τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής. Οι ανεμοκινητήρες οριζόντιου άξονα έχουν προσανατολισμένο τον άξονα περιστροφής τους παράλληλα προς την κατεύθυνση του ανέμου, ενώ οι κατακόρυφου άξονα, κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου. (Καλδέλλης, 2005).

Η κάθε ανεμογεννήτρια, είναι τοποθετημένη σε έναν πύργο σημαντικού ύψους, ώστε να εκτίθεται σε άνεμο όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ταχύτητας και ομαλότερης ροής. Επειδή η διεύθυνση του ανέμου σε μία περιοχή μεταβάλλεται συχνά, η ανεμογεννήτρια πρέπει να στρέφεται, ώστε το επίπεδο περιστροφής της έλικας να είναι πάντα κάθετο στη διεύθυνση του ανέμου. Το γεγονός αυτό συμβαίνει με τις μικρές ανεμογεννήτριες, οι οποίες στρέφονται αυτόματα με τη χρήση αεροδυναμικού πτερυγίου, καθώς και με τα ανεμόμετρα έλικας.

Για τις μεγάλες ανεμογεννήτριες όμως, η ογκώδης και βαριά κατασκευή δεν επιτρέπει τον αυτόνομο προσανατολισμό τους και έτσι, χρησιμοποιείται ένα δευτερεύον ηλεκτρικό σύστημα προσανατολισμού τους. Ένα ανεμόμετρο τοποθετημένο στον πύργο μεταφέρει συνεχώς πληροφορίες για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου σε μία ηλεκτρονική μονάδα, η οποία αναλαμβάνει την διόρθωση της θέσης της ανεμογεννήτριας (Μπάης, 2014).

Όσον αφορά το μέγεθος και τη μηχανική ισχύ που παράγουν, δεν υπάρχουν αυστηρά κριτήρια διαχωρισμού των ανεμοκινητήρων. Μικροί, χαρακτηρίζονται αυτοί

με ισχύ κάτω των 30 kW, μεσαίοι, μεταξύ 30 – 300 kW, ενώ αυτοί με ισχύ άνω των 300 kW, χαρακτηρίζονται ως μεγάλοι. (Καλδέλλης, 2005).

Ως προς την ταχύτητα περιστροφής ή αλλιώς τη γωνιακή ταχύτητα μιας πτερωτής, η παράμετρος περιστροφής λ , είναι ένα μέγεθος που συνδέεται άμεσα με αυτήν και ορίζεται ως το πηλίκο, του γινομένου της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα ω_0 με την ακτίνα της πτερωτής R , δια την ταχύτητα του ανέμου στον άξονα της μηχανής v , δηλαδή:

$$\lambda = \frac{\omega_0 R}{v}$$

Επίσης, ως προς τον αριθμό των πτερυγίων, οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η μία αφορά τις πολυπτέρυγες ανεμογεννήτριες, οι οποίες είναι σαν τους παραδοσιακούς μύλους και είναι χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής. Η άλλη κατηγορία περιέχει τις ολιγοπτέρυγες, που συνίστανται από 1 έως 3 πτερύγια σε κάθε πτερωτή και αποτελούν την πλειοψηφία των σύγχρονων ανεμογεννητριών. Τέλος, μπορούμε να δούμε ότι οι ανεμοκινητήρες ταξινομούνται και με βάση τη στιβαρότητα σ της κατασκευής τους, η οποία ορίζεται ως ο λόγος του εμβαδού των πτερυγίων προς το συνολικό εμβαδό τα οποία καταλαμβάνουν κατά την περιστροφή τους. Για τις μηχανές κατακόρυφου άξονα, η στιβαρότητα ορίζεται ως:

$$\sigma = \frac{z}{R}$$

ενώ για αυτές με οριζόντιο άξονα περιστροφής, ορίζεται ως εξής:

$$\sigma = \frac{zc}{\pi R}$$

όπου: z ο αριθμός των πτερυγίων, c το πλάτος-χορδή των πτερυγίων και R η ακτίνα της πτερωτής (Καλδέλλης, 2005).

Οι ανεμοκινητήρες μεγάλης στιβαρότητας είναι αργόστροφοι και αποδίδουν την μέγιστη ισχύ τους για μικρές τιμές της παραμέτρου περιστροφής λ , έχουν μικρό συντελεστή απόδοσης, ενώ είναι ανθεκτικές μηχανές με μικρές ανάγκες συντήρησης. Από την άλλη μεριά, οι ανεμοκινητήρες μικρής στιβαρότητας χαρακτηρίζονται ως πολύστροφοι και αποδίδουν την μέγιστη ισχύ τους σε μεγάλες τιμές του λ . Έχουν μεγάλο συντελεστή απόδοσης, ενώ χαρακτηρίζονται από ευπάθεια και γι' αυτό έχουν περισσότερες ανάγκες συντήρησης. Επιπλέον, μεγάλη στιβαρότητα έχουν οι ανεμοκινητήρες με πολλά πτερύγια, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μεγάλη ροπή εκκίνησης, γεγονός που σημαίνει ότι παρουσιάζουν ευκολία στην εκκίνηση της περιστροφής της έλικας (Κανελλόπουλος, 2008).

Από την άλλη μεριά, μικρής στιβαρότητας χαρακτηρίζονται οι μικρού αριθμού πτερυγίων ανεμοκινητήρες, οι οποίοι λόγω της μικρής ροπής εκκίνησής τους, συνήθως χρειάζονται υποβοήθηση για να ξεκινήσουν (Μπάης, 2014). Αναλογιζόμενοι τα σύγχρονα τεχνολογικά μέτρα, διαπιστώνουμε ότι δεν έχουμε καταφέρει ακόμα να φτάσουμε το επίπεδο της εκμηδένισης των ενεργειακών απωλειών, που προκαλούνται κυρίως λόγω κατασκευαστικών αιτιών, δηλαδή της πλήρους αξιοποίησης της προσφερόμενης αιολικής ενέργειας (Καλδέλλης, 2005).

3.1.1 Μηχανές οριζόντιου άξονα

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, οι ανεμοκινητήρες οριζόντιου άξονα έχουν προσανατολισμένο τον άξονα περιστροφής τους παράλληλα προς την κατεύθυνση του ανέμου. Αυτού του είδους οι ανεμογεννήτριες αποτελούνται από 1 έως και 50 πτερύγια, ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί ή μπροστά από τον πύργο στήριξης (προσήνεμη διάταξη), είτε πίσω από τον πύργο στήριξης (υπήνεμη διάταξη), σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα μπορούν να θεωρηθούν οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι, οι αμερικάνικου τύπου μηχανές, καθώς και οι χρησιμοποιούμενες για την παραγωγή ηλεκτρισμού ανεμογεννήτριες, τύπου έλικας.

Το όνομα των τελευταίων οφείλεται στο γεγονός, ότι τα πτερύγιά τους βασίζονται στην τεχνολογία των ελικοφόρων αεροπλάνων και των ελικοπτέρων. Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα είναι τα εξής: ο πύργος στήριξης, η πτερωτή, ο άξονας περιστροφής, ο άξονας μετάδοσης της κίνησης, το σύστημα ελέγχου, η ηλεκτρική γεννήτρια και το σύστημα προσανατολισμού της μηχανής (Καλδέλλης, 2005).

Πιο συγκεκριμένα, ο πύργος στήριξης αποτελείται είτε από ένα μεταλλικό δίκτυωμα, είτε από μια στήλη από μπετόν ή μεταλλικό σωλήνα. Το μικρότερο ύψος στήριξης είναι ίσο με τη διάμετρο της πτερωτής και κυμαίνεται από 40 μέχρι και πάνω από 160 m, ανάλογα με το μέγεθος της ανεμογεννήτριας (Spera, 2009). Όσον αφορά την πτερωτή, αποτελείται από πτερύγια, των οποίων το σχήμα είναι αυτό των πτερυγίων αεροπορικών κινητήρων και η κατασκευή τους συνήθως είναι από ελαφρά κράματα μετάλλων, ενισχυμένο πολυεστέρα ή από ξύλο. Η επιλογή του αριθμού των πτερυγίων σχετίζεται με την αεροδυναμική τους φόρτιση, με το βαθμό απόδοσης τους, με το κόστος κατασκευής της όλης διάταξης, καθώς και με θέματα αντοχής και συντονισμού, λόγω ταλάντωσης.

Για την καλύτερη συμπεριφορά μιας πτερωτής, χρησιμοποιούνται πτερωτές μεταβλητού βήματος, αντί σταθερού, που υπάρχει στις περισσότερες περιπτώσεις. Η μεταβολή του βήματος συνίσταται στην περιστροφή του πτερυγίου γύρω από το διαμήκη άξονα του, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης του ανέμου και έτσι κατορθώνεται η διατήρηση σταθερής ταχύτητας περιστροφής της

ανεμογεννήτριας (Καλδέλλης, 2005). Επιπλέον, ο κύριος άξονας είναι κατασκευασμένος συνήθως από χάλυβα και χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τις στρεπτικές και καμπτικές ροπές του δρομέα στο κιβώτιο ταχυτήτων, ενώ ταυτόχρονα υποβαστάζει και το βάρος του δρομέα (Κανελλόπουλος, 2008).

Άλλο ένα σημαντικό τμήμα της ανεμογεννήτριας είναι το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, που περιλαμβάνει διβάθμιο ή τριβάθμιο κιβώτιο μετασχηματισμού χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής της πτερωτής σε υψηλών ταχυτήτων, στις οποίες λειτουργούν ως επί το πλείστον οι ηλεκτρικές γεννήτριες. Επιπρόσθετα, η ηλεκτρική γεννήτρια χρησιμοποιείται για την μετατροπή της μηχανικής ισχύος σε ηλεκτρική. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύγχρονες ή ασύγχρονες (επαγωγικές) γεννήτριες, με τις πρώτες να είναι πιο αποδοτικές από τις δεύτερες. Επιπλέον, το σύστημα ελέγχου χρησιμοποιείται κυρίως για την παρακολούθηση του κιβωτίου ταχυτήτων, της ηλεκτρογεννήτριας, της θερμοκρασίας που επικρατεί στον θάλαμο, της ταχύτητας του ανέμου, τις δονήσεις που συμβαίνουν στην ανεμογεννήτρια κ.ο.κ. Το όλο σύστημα βασίζεται σε μικροελεγκτές, οι οποίοι είναι διασκορπισμένοι στα υποσυστήματα της ανεμογεννήτριας και επικοινωνούν με την κύρια μονάδα επεξεργασίας (Γελεγένης και Αξιάπουλος, 2005).

3.1.2 Μηχανές κατακόρυφου άξονα

Από την άλλη μεριά, οι ανεμοκινητήρες κατακόρυφου άξονα έχουν προσανατολισμένο τον άξονα περιστροφής τους κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου και έτσι μπορούν να εκμεταλλεύονται τον άνεμο από όλες τις διευθύνσεις. Οι πλέον γνωστοί τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα είναι οι μηχανές τύπου Darrieus και Savonius. (Καλδέλλης, 2005). Οι ανεμοκινητήρες αυτού του τύπου, περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα κάθετο προς το έδαφος και την διεύθυνση του ανέμου. Έχουν επίσης καλή αεροδυναμική απόδοση, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των μηχανών, είναι ότι οι μηχανισμοί και η γεννήτρια βρίσκονται κοντά στο έδαφος και ως εκ τούτου η λειτουργία και η συντήρηση του συστήματος καθίσταται πιο εύκολη (Καλδέλλης, 2005).

Τα κύρια μειονεκτήματά που τις καθιστούν εμπορικά μη ανταγωνιστικές, είναι ότι συνήθως οι περισσότερες για να ξεκινήσουν τη λειτουργία τους χρειάζονται υποβοήθηση. Επιπλέον, ο δρομέας τους βρίσκεται πιο κοντά στο έδαφος, όπου οι ταχύτητες του ανέμου είναι μικρότερες, σε αντίθεση με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, οι οποίες είναι σε θέση να εκμεταλλεύονται μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου, όντας σε μεγαλύτερο ύψος. Παρατηρείται επίσης, ότι η απόδοσή τους είναι κατά μέσο όρο μικρότερη από αυτή των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα, αν συλλογιστούμε το γεγονός ότι το μέγιστο της απόδοσης τους φθάνει το 40%, ενώ οι οριζόντιου άξονα αγγίζουν το 50% (Κανελλόπουλος, 2008).

Στο σημείο αυτό, θα ήταν καλό να αναφερθούμε κάπως αναλυτικότερα στους δύο αντιπροσωπευτικότερους τύπους των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα, οι οποίοι όπως προαναφέρθηκε είναι οι τύπου Darrieus και Savonius. Ο ανεμοκινητήρας τύπου Darrieus, του οποίου εφευρέτης ήταν ο Γάλλος μηχανικός George Darrieus, πρωτοεμφανίστηκε το 1925 και είχε μεγάλη εφαρμογή στον Καναδά μέχρι και το 1970. Σήμερα, έχουν κατασκευαστεί διάφορες μορφές του ανεμοκινητήρα Darrieus, όπως οι: Φ-Darrieus, Δ-Darrieus, Υ-Darrieus, Ο-Darrieus και Η-Darrieus. Αυτού του τύπου οι ανεμογεννήτριες χαρακτηρίζονται από καμπτόμενα πτερύγια, τα οποία έχουν στις περισσότερες των περιπτώσεων σχοινοειδή μορφή, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι καμπτικές τάσεις που εφαρμόζονται σε αυτά. Λειτουργούν μέσω δυνάμεων άνωσης, που εξασκούνται πάνω στα πτερύγια, των οποίων ο αριθμός συνήθως κυμαίνεται από 1 – 3, αλλά μπορεί, να αποτελούνται και από περισσότερα, ενώ έχουν μεγάλο συντελεστή περιστροφής (Καλδέλλης, 2005).

Τα άκρα των πτερυγίων του δρομέα είναι πακτωμένα στον άξονα περιστροφής, ενώ το ύψος του δρομέα είναι ίσο με 1 ή 1,5 φορές το μήκος της διαμέτρου του, η οποία ορίζεται ως η μέγιστη απόσταση των πτερυγίων από τον άξονα της μηχανής. Οι μηχανές τύπου Darrieus δεν μπορούν να τεθούν σε κίνηση από μόνες τους, οπότε χρησιμοποιείται μια γεννήτρια ή ένας ανεμοκινητήρας Savonius, εγκατεστημένος στην κορυφή του άξονα τους σαν κινητήρας, ώστε να μπορούν να φτάσουν την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας τους. Τέλος, μπορούμε να αναφέρουμε ότι σε περίπτωση μεγάλων ταχυτήτων του ανέμου, ο ανεμοκινητήρας πρέπει να επιβραδυνθεί, λόγω μεγάλης καταπόνησης του δρομέα από την περιστροφή, η οποία επιβράδυνση μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης της πτερωτής (Καλδέλλης, 2005).

Όσον αφορά τους ανεμοκινητήρες τύπου Savonius, εφευρέθηκαν το 1924, αλλά παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 1931, από τον Φιλανδό σχεδιαστή τους, Sigurd Savonius. Η πτερωτή τους ονομάζεται συνήθως τύπου S, λόγω του σχήματος της κάτοψης των πτερυγίων της και εκμεταλλεύεται κυρίως την δύναμη της ιξώδους αντίστασης. Η περιστροφή της πτερωτής οφείλεται στη διαφορά πίεσης μεταξύ της κυρτής και κοίλης επιφάνειας των πτερυγίων, καθώς και στο γεγονός ότι ανάμεσα στα 2 πτερύγια υπάρχει ένα διάκενο, το οποίο επιτρέπει στον αέρα να επιστρέφει και να αυξάνει την πίεση στο πίσω μέρος του κυρτού πτερυγίου, αυξάνοντας έτσι την ροπή που αναπτύσσεται γύρω από τον άξονα της μηχανής (Καλδέλλης, 2005).

Συγκριτικά με της μηχανές Darrieus, παρατηρείται ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης και για αυτό δεν απαιτείται υποβοήθηση κατά την εκκίνηση τους. Άλλο πλεονεκτήματα του Savonius, είναι η απλότητα της κατασκευής του, καθώς και το χαμηλό του κόστος (Κανελλόπουλος, 2008). Από την άλλη, στα μειονεκτήματα αυτών των μηχανών περιλαμβάνεται ο χαμηλός βαθμός απόδοσης τους και οι μικρές τιμές της παραμέτρου περιστροφής για τις οποίες λειτουργούν.

Παρόλη τη χαμηλή της απόδοση, τα πλεονεκτήματα της τίθενται σε περισσότερη εκτίμηση, με αποτέλεσμα να αποτελεί ιδανική αιολική μηχανή για μικρές ισχύος, για οικιακή χρήση, καθώς και για παραγωγή ενέργειας σε φτωχές χώρες. Τέλος, μπορούμε να αναφέρουμε ότι υπάρχουν βέβαια και άλλοι τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα όπως οι: Tornado, Lebost, Προπετάσματος, Πανεμόνιος, Musgrove, Gyromill, Cyclonico κ.α.

3.2 Οικονομία ανεμογεννητριών

Η οικονομική βιωσιμότητα μιας αιολικής ενεργειακής μονάδας εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων. Οι κυριότεροι είναι το κόστος αγοράς της ανεμογεννήτριας και της γης – υποδομής για την εγκατάσταση, το αιολικό δυναμικό της περιοχής, ο συντελεστής χωρητικότητας της ανεμογεννήτριας και η διάρκεια ζωής του, το κόστος της kWh που παράγεται από συμβατικούς ενεργειακούς σταθμούς. Υπάρχουν επίσης και άλλοι μικρότερης σημασίας παράγοντες. Όλοι οι παραπάνω οικονομικοί παράγοντες εμπλέκονται κατά τη διαδικασία ελέγχου της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης σε αιολικό ενεργειακό σταθμό, γεγονός που επιβάλλει την αναγκαία σοβαρότητα στην οικονομική μελέτη. Κάποιοι από τους παραπάνω οικονομικούς παράγοντες έχουν μεγαλύτερο και κάποιοι μικρότερο περιθώριο αβεβαιότητας, και ως εκ τούτου η σταθμιστική τους επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (Μπεργελές, 2005).

Το κόστος πώλησης μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται κυρίως από την τυποποίηση της κατασκευής της μηχανής αλλά και το πλήθος των μηχανών που κατασκευάζονται και πωλούνται. Είναι αρκετά συνηθισμένη η περίπτωση μείωσης

του κατασκευαστικού κόστους της ανεμογεννήτριας στο $\frac{1}{4}$ του κόστους κατασκευής της πρωτοτύπου μονάδας μετά την παραγωγή των πρώτων εκατό περίπου μηχανών (Μπεργελές, 2005). Η μείωση αυτή του κόστους των ανεμογεννητριών προέρχεται από την τυποποίηση της κατασκευής, καθώς επίσης και από την αύξηση των πωλήσεών τους. Η πτωτική τάση της τιμής του κόστους της ανεμογεννήτριας οδηγεί σήμερα σε μια εκτίμηση των 1.200 €/kW ονομαστικής ισχύος της.

Όλες οι ανεμογεννήτριες σήμερα σχεδιάζονται για διάρκεια ζωής τουλάχιστον 20 ετών, ίσως και 30. Με την τεχνολογική βελτίωση των υλικών, τη μεγαλύτερη αντοχή των σε κόπωση, τη βελτίωση των μηχανουργικών επεξεργασιών, την αύξηση των γνώσεων σχετικά με την αλληλεπίδραση ανέμου και αιολικής μηχανής, σε συνδυασμό με τη χρήση κωδικών ηλεκτρονικού υπολογιστή, που επιτρέπουν την ακριβή γνώση των φορτίων σε μεταβαλλόμενες ανεμολογικές συνθήκες, είναι περισσότερο σίγουρο ότι οι μηχανές μπορούν να επιτύχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (Μπεργελές, 2005).

Δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας έχει άμεση επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης, η παραδοχή των 20 ετών ως διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας αποτελεί μια συντηρητική εκτίμηση. Το κόστος της εγκατεστημένης ανεμογεννήτριας επιβαρύνεται με το κόστος μεταφοράς της, συναρμολόγησής της, αγοράς ή ενοικίασης της γης. Επίσης πολλές φορές σημαντικό μέρος του κόστους αποτελεί η δημιουργία της κατάλληλης υποδομής, απαραίτητης για τη μεταφορά, εγκατάσταση και λειτουργία της ανεμογεννήτριας, όπως η διάνοιξη δρόμων ικανών να επιτρέπουν την κίνηση μεγάλων γερανών για τη μεταφορά του πύργου, των πτερυγίων ή του κουβουκλίου της ανεμογεννήτριας. Ακόμη απαιτούνται έργα πολιτικού μηχανικού για τη θεμελίωση της ανεμογεννήτριας, τη διαμόρφωση του χώρου για τη θεμελίωσή του, καθώς επίσης και για την εγκατάσταση του οικίσκου, όπου πρόκειται να τοποθετηθούν (για μεγάλες μηχανές) τα όργανα παρακολούθησης του αιολικού σταθμού. Σημαντικό κομμάτι στη διαμόρφωση του τελικού κόστους έχει ο ηλεκτρικός υποσταθμός, καθώς και οι γραμμές μεταφοράς. Τέλος δεν θα πρέπει να παραληφθεί η συμβολή στο κόστος της απαραίτητης αντικεραυνικής προστασίας της ανεμογεννήτριας.

Όλα τα παραπάνω έξοδα επιβαρύνουν το αρχικό κόστος της ανεμογεννήτριας, και όπως έχουν δείξει στατιστικές μελέτες, το συνολικό κόστος επένδυσης για ένα αιολικό ενεργειακό σταθμό αυξάνει με την ονομαστική ισχύ των ανεμογεννητριών. Με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται ότι η αιολική kWh εδραιώνεται στην παγκόσμια αγορά, είναι συγκρίσιμη, και μάλιστα φθηνότερη από άποψη κόστους με το κόστος της kWh από συμβατικούς πετρελαϊκούς σταθμούς. Στη χώρα μας, και ειδικότερα στα νησιά του Αιγαίου, συνυπάρχουν δύο παράγοντες που ευνοούν την εγκατάσταση των αιολικών μηχανών. Ο πρώτος παράγοντας είναι το υψηλό αιολικό δυναμικό των νησιών και ο δεύτερος το υψηλό κόστος παραγωγής ενέργειας από αυτόνομες, συνήθως μικρής ισχύος, νηξελιοηλεκτρικές μηχανές ηλεκτροπαραγωγής των νησιών. Το κόστος της kWh του αυτόνομου σταθμού Diesel του νησιού εξαρτάται βασικά από την ισχύ του σταθμού (μέγεθος μηχανής) και από ένα χαρακτηριστικό μέγεθος, που δείχνει τη διακύμανση του φορτίου. Για μικρούς σταθμούς (70 – 100 kW) η ειδική κατανάλωση πετρελαίου μπορεί να πάρει υψηλές τιμές, όπως π.χ. 0,78 g/kWh, ενώ για μεγάλες αυτόνομες εγκαταστάσεις (40 MW) παίρνει χαμηλές τιμές, όπως π.χ. 0,23 g/kWh (Μπεργελές, 2005).

Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας σε ένα νησί οδηγεί ουσιαστικά σε εξοικονόμηση καυσίμου, πράγμα που συμβάλλει στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης αιολικών συστημάτων.

3.3 Οικονομική ανάπτυξη

Η χρήση της τεχνολογίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δημιουργεί ένα νέο κλάδο της οικονομίας, την πράσινη οικονομία ή green economy. Η πράσινη οικονομία αφορά κάθε οικονομική δραστηριότητα, η οποία σχετίζεται με τη μείωση της χρήσεως των ορυκτών καυσίμων, τη μείωση της μόλυνσης και των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και της αύξησης της αποτελεσματικότητας της χρησιμοποιούμενης ενέργειας, την ανακύκλωση υλικών και την ανάπτυξη και υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η δημιουργία της πράσινης οικονομίας και τα τεχνολογικά επιτεύγματα στο χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πηγάζουν από τέσσερις κινητήριους παράγοντες: α) την προστασία και τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος, β) την οικονομική ανάπτυξη και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, γ) την εθνική ασφάλεια και δ) την ηθική υποχρέωση του ανθρώπου απέναντι στις επόμενες γενιές, οι οποίες θα κατοικήσουν τον πλανήτη (Σαββίδης 2008).

Όπως γνωρίζουμε η εκτεταμένη χρήση των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή της ενέργειας, η οποία αποτελεί τη βάση του δυτικού πολιτισμού επεκτείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο μέχρι ένα σημείο είναι φυσικό για την ύπαρξη της ζωής πάνω στη γη αλλά λόγω του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρύπων, οι οποίοι εκπέμπονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων το φαινόμενο του θερμοκηπίου παίρνει μεγαλύτερες διαστάσεις, οι οποίες ξεπερνούν τα όρια του φυσιολογικού. Τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι πολλά και ένα από αυτά είναι η άνοδος της στάθμης των θαλασσών. Οι λόγοι που οδηγούν στο φαινόμενο αυτό είναι η διαστολή των υδάτων που επιφέρει η αύξηση της θερμοκρασίας και η τήξη των πάγων. Μία άνοδος της στάθμης κατά 50 έως 150 cm θα έχει όμως βαρύτατες συνέπειες, καθώς θα πλημμυρίσουν πολλές περιοχές που βρίσκονται κοντά στο επίπεδο της θάλασσας, οι περισσότερες από τις οποίες είναι εύφορες και πυκνοκατοικημένες (Σαββίδης 2008).

Ακόμη, η αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου συμβάλλει στην εμφάνιση του φαινομένου του Ελ Νίνιο. Το φαινόμενο Ελ Νίνιο, δηλαδή η περιοδική αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων στον κεντρικό και ανατολικό Ειρηνικό ωκεανό, συσχετίζεται από πολλούς επιστήμονες με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπτώσεις του φαινομένου είναι ασυνήθιστοι άνεμοι, πλημμύρες, ξηρασίες, ενώ αναφέρεται ότι επηρεάζει και τις καιρικές συνθήκες της Μεσογείου, και συγκεκριμένα συνδέεται με τις χαμηλές βροχοπτώσεις στην περιοχή. Όλη αυτή η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων έχει ως αποτέλεσμα μεγάλα ποσά, τα οποία ανέρχονται σε δισεκατομμύρια δολάρια το χρόνο να δαπανώνται είτε για την αποζημίωση των πληγέντων από πλημμύρες (η αποζημίωση παρέχεται είτε από τα ίδια τα κράτη είτε από ασφαλιστικές εταιρείες), είτε για την αποζημίωση των παραγωγών αγροτικών προϊόντων, των οποίων πλήττονται οι καλλιέργειες.

Χαρακτηριστικό είναι ότι το 2004 από 4 τυφώνες στη Φλόριντα των Η.Π.Α. οι ασφαλιστικές αποζημιώσεις στα θύματα ανέρχονταν στα 22 δισεκατομμύρια

δολάρια. Επιπλέον, με την αύξηση της ξηρασίας και τη μείωση των βροχοπτώσεων θα παρατηρηθεί μείωση των διαθέσιμων αγροτικών προϊόντων με αποτέλεσμα εμφάνισης επισιτιστικού προβλήματος μιας και οι διαθέσιμες ποσότητες θα είναι περιορισμένες αλλά και θα αυξηθούν οι τιμές λόγω της ζήτησης. Επομένως, η χρήση των νέων τεχνολογιών των ΑΠΕ, συμβάλλει στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση της χρήσεως των ορυκτών καυσίμων με αποτέλεσμα την όσο το δυνατόν βραδύτερη επέκταση πέρα από τα όρια του φυσιολογικού του φαινομένου του θερμοκηπίου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο περιορισμός εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων, τα οποία θα είχαν ως δυσμενή συνέπεια τη δαπάνη δισεκατομμυρίων δολαρίων ετησίως για αποζημιώσεις και για αναζήτηση βασικών ειδών τροφής, ενώ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αυτά τα χρήματα για προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι κάτοικοι των χωρών της Αφρικής (Σαββίδης 2008).

3.3.1 Θέσεις εργασίας

Πέρα από την προστασία του περιβάλλοντος, η οποία είναι μία θεμελιώδης αποστολή για τον σύγχρονο άνθρωπο η χρήση των νέων τεχνολογιών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμβάλλει στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Οι νέες αυτές θέσεις εργασίας, οι οποίες αποκαλούνται και green jobs ή πράσινες θέσεις εργασίας είναι οι θέσεις αυτές οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα για παροχή προϊόντων και υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μειώνοντας την μόλυνση και διαφυλάσσοντας την ενέργεια, τους φυσικούς πόρους και επαναχρησιμοποιούν τα αστικά απόβλητα, παράγοντας βιοαέριο. Το περιβαλλοντικό πρόγραμμα του Ο.Η.Ε. επεκτείνει τον παραπάνω ορισμό συμπεριλαμβάνοντας ότι είναι και οι θέσεις εργασίας οι οποίες προστατεύουν το οικοσύστημα και την βιοποικιλότητα, μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας, πρώτων υλών και νερού μέσα από υψηλής αποτελεσματικότητας στρατηγικές. Επίσης, μειώνουν την έκθεση της οικονομίας στη χρήση των ορυκτών καυσίμων και ελαχιστοποιούν τους κινητήριους παράγοντες της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Ακόμη, πρέπει να αναφέρουμε ότι οι πράσινες θέσεις εργασίας είναι θέσεις εργασίας οι οποίες παρέχουν ένα βιώσιμο μισθό και παρέχεται έτσι από την πράσινη οικονομία η δυνατότητα αντιμετώπισης όχι μόνο της κλιματικής κρίσης αλλά και της μείωσης της ανεργίας με αποτέλεσμα την αντιμετώπιση της φτώχειας και των ανισοτήτων (Σαββίδης 2008).

Πιο συγκεκριμένα μόνο στον τομέα της αιολικής ενέργειας απασχολούνται στην Ευρώπη 222.000 άτομα. Μεταξύ των ετών 2002 έως και το 2007 αυξήθηκε η άμεση απασχόληση στον τομέα της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη κατά 125% και κατά μέσο όρο δημιουργήθηκαν 33 νέες θέσεις εργασίας κάθε ημέρα, για 7 ημέρες την εβδομάδα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στην πράσινη οικονομία θα δημιουργηθούν 2,8 εκατομμύρια νέες θέσεις εργασίας σε όλη την Ευρώπη έως το 2020. Επιπλέον, η χρήση των τεχνολογιών είναι η μηχανή για την ανάπτυξη κάθε

οικονομίας. Έτσι, η χρήση των τεχνολογιών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί για τις χώρες οι οποίες και παράγουν τα συστατικά μέρη ενός αιολικού πάρκου και τα εγκαθιστούν στη χώρα τους πηγή οικονομικής ανάπτυξης γιατί αποκτούν και διαθέτουν την τεχνογνωσία ανάπτυξης καταλλήλων και αποτελεσματικών ανεμογεννητριών, τις οποίες μπορούν να εξάγουν σε άλλες χώρες οι οποίες δεν έχουν την απαραίτητη τεχνογνωσία και τα εργοστάσια για την παραγωγή τους. Έτσι, η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμμετέχει σημαντικά στο Α.Ε.Π. αυτό των χωρών (Σαββίδης 2008).

3.3.2 Βιομηχανική ανάπτυξη

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι αυτά της Αυστρίας, της Γερμανίας, της Ισπανίας και της Δανίας. Ειδικότερα, οι αυστριακοί προμηθευτές ειδικεύονται στα συστήματα ελέγχου των ανεμογεννητριών, στα υλικά των πτερυγίων και στο σχεδιασμό των ανεμογεννητριών. Το έτος 2008 ο συνολικός τζίρος αυτών των βιομηχανιών αυξήθηκε κατά 25% στα 300x10⁶ €. Ο Αυστριακός σύνδεσμος αιολικής ενέργειας υπολογίζει ότι περίπου 2500 θέσεις έχουν δημιουργηθεί σε ολόκληρο τον τομέα των αιολικών πάρκων. Οι προμηθευτές αντικειμένων ανεμογεννητριών είναι η σημαντικότερη οικονομική δραστηριότητα στην Αυστρία που σχετίζεται με τη αιολική ενέργεια. Η Αυστριακή εταιρεία Bachmann electronics GmbH είναι μία από τους ηγέτες κατασκευής συστημάτων ελέγχου για τις τουρμπίνες. Γύρω στα 35.000 MW έχουν εξοπλιστεί με συστήματα ελέγχου της Bachmann. Η επίσης Αυστριακή εταιρεία Hexcel Composites GmbH ειδικεύεται στην ανάπτυξη και παραγωγή υλικών για λεπίδες ανεμογεννήτριας (Ζαπουνίδης 2003).

Στην Ιταλία η συνεισφορά των αιολικών πάρκων στο ΑΕΠ για τη διετία 2006 – 2008 ανήλθε σε περισσότερα από 1.000.000.000 €, συμπεριλαμβανομένου των ανεμογεννητριών και των παραρτημάτων τα οποία παραδόθηκαν σε ξένες χώρες. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι περίπου το 50% του εξοπλισμού για αιολικά πάρκα, ο οποίος παράγεται στην Ισπανία εξάγεται. Σημαντική είναι η εξαγωγική δραστηριότητα της εταιρείας κατασκευής ανεμογεννητριών, GAMESA. Ακόμη, και η Δανία με τη Γερμανία έχουν σημαντικά εργοστάσια κατασκευής α/γ με εξαγωγική δραστηριότητα όπως η VESTAS στη Δανία και η SIEMENS στη Γερμανία. Επιπλέον, η χρήση των τεχνολογιών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από χώρες στις οποίες το ενεργειακό μείγμα εξαρτάται από την εισαγωγή των ορυκτών καυσίμων επιδρά θετικά στην απεξάρτηση, από χώρες που παρέχουν τα ορυκτά καύσιμα αλλά στις οποίες υπάρχει πολιτικοοικονομικός κίνδυνος, και στην ενεργειακή ασφάλεια για την απρόσκοπτη και φθηνή παροχή ενέργειας σε περιπτώσεις πολεμικών συρράξεων στις οποίες θα συμμετέχουν και κράτη παραγωγοί των ορυκτών καυσίμων, μιας και η οικονομική ανάπτυξη της χώρας θα συνεχιστεί γιατί δε θα σταματήσουν οι παραγωγικές μονάδες λόγω έλλειψης ενέργειας αλλά και η ενέργεια θα είναι πιο φθηνή αφού η εξάρτηση από μία πηγή ορυκτών καυσίμων σε

περίπτωση συρράξεων θα οδηγήσει την τιμή του ορυκτού καυσίμου σε δυσθεώρητα ύψη. Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι η τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμβάλλει ποικιλοτρόπως στην οικονομία και την οικονομική ανάπτυξη.

Συγκεκριμένα, η χρήση της τεχνολογίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι αρωγός στην προστασία του περιβάλλοντος και στην μείωση της ρύπανσης του, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων, τα οποία προκαλούν ανυπολόγιστες ζημιές στις οικονομίες των κρατών. Επίσης, συμβάλλει στη μείωση της ανεργίας, στην αποτροπή της αύξησης των τιμών των προϊόντων σε περίπτωση που δεν ξεπεραστούν τα όρια των εκπεμπόμενων ρύπων που επιβάλλονται από το πρωτόκολλο του Κιότο και επιδρά θετικά στην οικονομική ανάπτυξη των χωρών οι οποίες έχουν την τεχνογνωσία και το απαραίτητο δυναμικό για την παραγωγή των ανεμογεννητριών, διότι θα έχουν διαμορφώσει τις προϋποθέσεις έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα να εξάγουν σε άλλα κράτη με αποτέλεσμα την εισροή συναλλάγματος (Ζαουνίδης 2003). Τέλος, η χρήση των τεχνολογιών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμβάλλει στην ενεργειακή ανεξάρτηση από κράτη τα οποία ενέχονται σε πολιτικοοικονομικούς κινδύνους.

3.3.3 Τουρισμός

Η χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου αποτελεί αισθητική παρέμβαση στο χώρο όπου σε μια μερίδα πληθυσμού μπορεί να αποτελέσει θετική επίδραση στο τοπίο ενώ άλλοι να κρίνουν ότι αποτελεί αλλοίωση στον ευρύτερο χώρο εγκατάστασής του. Συνεπώς, αντιλαμβανόμαστε ότι η άποψη εάν τα αιολικά πάρκα αλλοιώνουν τον χώρο είναι καθαρά υποκειμενική. Επιπλέον, οι απόψεις διίστανται όταν καλούνται να κρίνουν εάν τα αιολικά πάρκα δρουν θετικά ή αρνητικά στον τουρισμό και εάν μπορούν να λειτουργήσουν ως τουριστικός πόλος έλξης. Ειδικότερα για τα θαλάσσια αιολικά πάρκα, σύμφωνα με επίσημα στοιχεία πλήθος τουριστών έχουν επισκεφτεί το θαλάσσιο αιολικό πάρκο Middelgrunden στην Δανία, ενώ 50 χιλιάδες ήταν οι τουρίστες όπου επισκέφτηκαν το αιολικό πάρκο όπου κοσμεί την περιοχή Swalfham του Norfolk στην Αγγλία (Μπαρμπαρήγου, 2011).

Συμπεραίνουμε ότι οι επιπτώσεις από την χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου ποικίλουν ανάλογα με την φάση δημιουργίας του. Αντιλαμβανόμαστε, ότι εάν τηρηθούν οι κανονισμοί και οι προϋποθέσεις που είναι απαραίτητες για την ορθή χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου, θα αποφευχθούν στο μέγιστο δυνατό οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επιπλέον, οι επιπτώσεις που προκαλούνται στο περιβάλλον είναι κυρίως κατά την φάση της κατασκευής και συνεπώς είναι παροδικές και αναστρέψιμες. Επιπρόσθετα, αποδεικνύεται ότι τα αιολικά πάρκα προκαλούν ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια ακόμα και από καθημερινές ενέργειες του ανθρώπου.

Πρέπει να αναφέρουμε ότι σε σύγκριση με τα χερσαία αιολικά πάρκα, τα θαλάσσια αιολικά πάρκα επηρεάζουν το φυσικό περιβάλλον σε πολύ μικρότερο βαθμό καθώς δεν έρχονται σε σύγκρουση χρήσεων γης, δεν χρειάζονται μεγάλα έργα οδοποιίας ενώ παράλληλα επηρεάζουν δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την καθημερινότητα των κατοίκων της περιοχής που γειτνιάζει το θαλάσσιο αιολικό πάρκο. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα θαλάσσια αιολικά πάρκα με τον κατάλληλο σχεδιασμό μπορούν να επιδράσουν θετικά στην περιοχή χωροθέτησης τους για παράδειγμα να προσφέρουν νέες θέσεις εργασίας είτε να ενισχύσουν τον τουρισμό (Μπαρμπαρήγου, 2011).

3.3.4 Απασχόληση

Η χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου αναμένεται να προκαλέσει θετικές επιπτώσεις στην οικονομία της ευρύτερης περιοχής. Κυρίως, κατά την φάση της κατασκευής του αιολικού πάρκου δημιουργούνται θέσεις εργασίας. Αλλά κατά την διάρκεια λειτουργίας του αιολικού πάρκου δημιουργούνται θέσεις εργασίας με σκοπό την συντήρηση και την διαχείριση του για να διεξάγεται ορθά η λειτουργία του. Επιπλέον, με την πρόταση το θαλάσσιο αιολικό πάρκο να μπορέσει να συνδυαστεί και με άλλες δραστηριότητες (θαλάσσια σπορ, κ.α.) παρουσιάζονται και άλλες ευκαιρίες για θέσεις απασχόλησης στην περιοχή εγκατάστασης του.

Επίσης, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν.3468/2006 περί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσδίδεται οικονομικό όφελος στους οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης, καθώς πρέπει να αποδίδεται ειδικό τέλος της τάξης του 3% της τιμής πώλησης της παραγόμενης ενέργειας από τον φορέα εκμετάλλευσης του αιολικού πάρκου. Συγκεκριμένα, το 80% του ποσού δίδεται στον ΟΤΑ όπου έχει χωροθετηθεί το θαλάσσιο αιολικό έργο ενώ το υπόλοιπο 20% στον ΟΤΑ εκ του οποίου διέρχεται η γραμμή ηλεκτροδότησης του θαλάσσιου αιολικού πάρκου. ανεμογεννήτριας

3.4 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Μπορούμε να συνοψίσουμε τις αλληλεπιδράσεις που δέχεται το περιβάλλον από την κατασκευή του αιολικού πάρκου, ανάλογα με διάφορες φάσεις. Οι βασικές φάσεις, από τις οποίες μπορεί να χαρακτηριστεί ένα αιολικό πάρκο είναι: οι προκαταρκτικές εργασίες, η κατασκευή και η εγκατάσταση, η εκκίνηση λειτουργίας του έργου και η συντήρηση, τα τυχαία συμβάντα καθώς και ο παροπλισμός του αιολικού πάρκου. Πριν από την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου είναι απαραίτητη η έρευνα στο περιβάλλον της περιοχής που έχει επιλεγεί για την χωροθέτηση του. Όσον αφορά τα θαλάσσια αιολικά πάρκα, κατά την διάρκεια της έρευνας, έχει παρατηρηθεί όχληση του πυθμένα εξαιτίας της δειγματοληψίας και της βυθοσκοπησης καθώς και ηχητική όχληση εξαιτίας της έρευνας που γίνεται μέσω

σόναρ. Επιπλέον, κατά την διάρκεια της έρευνας είναι πιθανόν να διαταραχθεί η θαλάσσια έμβια ζωή της περιοχής μελέτης (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

Ο θόρυβος είναι ένα από προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη λειτουργία των ανεμογεννητριών. Διακρίνεται σε μηχανικό και αεροδυναμικό θόρυβο. Ο μηχανικός θόρυβος παράγεται από τον μηχανικό και ηλεκτρικό εξοπλισμό της ανεμογεννήτριας ενώ ο αεροδυναμικός οφείλεται στην αλληλεπίδραση της ροής του αέρα με τα πτερύγια της. Συνήθως το κύριο πρόβλημα θορύβου σε μία ανεμογεννήτρια είναι ο μηχανικός θόρυβος ο οποίος αντιμετωπίζεται με τη χρήση ειδικών κιβωτίων ταχυτήτων. Όταν μία ανεμογεννήτρια παρεμβάλλεται ανάμεσα σε ένα πομπό ή δέκτη ραδιοφώνου ή τηλεόρασης μπορεί να διαταραχθεί η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και το λαμβανόμενο σήμα. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται εύκολα είτε με την εγκατάσταση πομπών αναμετάδοσης του σήματος ή με τη σύνδεση των κατοίκων που επηρεάζονται με υπηρεσίες καλωδιακής τηλεόρασης.

3.4.1 Ηχητική όχληση

Ο θόρυβος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες είναι δύο ειδών: ο αεροδυναμικός θόρυβος, ο οποίος προκαλείται εξαιτίας της έντασης του αέρα που κινεί τα πτερύγια του ρότορα και οι μηχανικοί θόρυβοι για τους οποίους ευθύνονται διάφορα τμήματα της ανεμογεννήτριας όπως είναι το κιβώτιο ταχυτήτων κ.α. Η εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα της αιολικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την αισθητή μείωση των θορύβων που προκαλούνται από τις ανεμογεννήτριες με την χρήση διάφορων καινοτόμων τεχνικών όπως για παράδειγμα με χρήση μικρότερου μήκους πτερυγίων. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο θόρυβος που προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες είναι αισθητός μέχρι 200 μέτρα από την βάση των ανεμογεννητριών και το επίπεδο του είναι χαμηλότερο από τα επίπεδα θορύβου που προκαλούνται εντός των ορίων μιας ελληνικής επαρχιακής πόλης. Σύμφωνα με έρευνες, η αποδεκτή από το κοινό όχληση που προκαλείται από θόρυβο είναι γύρω στα 55 – 60 dB(A), η οποία αντιστοιχεί είτε με την ένταση μιας συζήτησης είτε με τον θόρυβο που προκαλείται από μια ανεμογεννήτρια σε απόσταση 40 m. Όπως ορίζει η ελληνική νομοθεσία δεν είναι επιτρεπτή η χωροθέτηση αιολικού πάρκου σε απόσταση μικρότερη των 500 μέτρων από οικισμό και συνεπώς η αντίληψη θορύβου από τους κατοίκους των οικισμών που γειτνιάζουν με αιολικά πάρκα είναι αμελητέα (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

3.4.2 Οπτική όχληση

Για να μπορούν να χαρακτηριστούν οικονομικά βιώσιμες οι εγκαταστάσεις των αιολικών πάρκων και για να είναι ικανά να εκμεταλλευτούν στο μέγιστο το αιολικό δυναμικό και γενικά τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής, κρίνονται ως κατάλληλες κυρίως οι κορυφές λόφων με ανοιχτό ορίζοντα

και οι ανοιχτές πεδιάδες. Υπάρχουν αμφιλεγόμενες απόψεις για το εάν η χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου αποτελεί αισθητική αλλοίωση του τοπίου ή εάν προσφέρει στο τοπίο την δυνατότητα συνδυασμού της φύσης με την καινοτομία και την τεχνολογία. Όσον αφορά στα θαλάσσια αιολικά πάρκα έχουν οριστεί κάποια κριτήρια οπτικής όχλησης βάσει του μεγέθους των ανεμογεννητριών και της απόστασης τους από την ακτή (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

Η οπτική όχληση μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, σε αυτή που προκαλείται κατά την διάρκεια της κατασκευής του αιολικού πάρκου και κατά την διάρκεια λειτουργίας του. Κατά την διάρκεια της φάσης κατασκευής του αιολικού πάρκου, η οπτική όχληση που προκαλείται είναι όπως είναι φυσικό, για μικρή χρονική διάρκεια και δημιουργείται από την παρουσία του εργοταξίου. Η παρουσία του εργοταξίου δεν προκαλεί μόνιμη οπτική όχληση καθώς υφίσταται μόνο μέχρι και την διεκπεραίωση των εργασιών που είναι απαραίτητες για την συνολική κατασκευή του αιολικού πάρκου. Στην φάση λειτουργίας του αιολικού πάρκου υπάρχουν μεταβολές στο ανάγλυφο της περιοχής αλλά πρέπει να εξετάσουμε διάφορους αντικειμενικούς και υποκειμενικούς παράγοντες για να καταλήξουμε εάν οι μεταβολές αυτές έχουν θετικό ή αρνητικό αντίκτυπο.

Στην περίπτωση χερσαίων αιολικών πάρκων, προκαλείται οπτική όχληση εξαιτίας της εσωτερικής οδοποιίας του πάρκου, γεγονός που δεν υφίσταται στην λειτουργία των ΘΑΠ (Τζόβλα, 2008). Όπως ειπώθηκε και πρωτότερα, για να μελετηθεί η οπτική όχληση που προκαλεί το αιολικό πάρκο, είναι απαραίτητη η εξέταση ποικίλων παραγόντων, άλλοι βασιζόμενοι στην αντικειμενική σκοπιά των δεδομένων και άλλοι στην υποκειμενικότητα του παρατηρητή. Μερικοί από τους αντικειμενικούς παράγοντες που επηρεάζουν την οπτική όχληση είναι η διάταξη των α/γ στο χώρο αλλά και το μέγεθος του αιολικού πάρκου. Καθοριστικό ρόλο παίζει και ο χαρακτήρας του τοπίου όπου έχει επιλεγεί να χωροθετηθεί το αιολικό πάρκο. Από υποκειμενικής άποψης, η οπτική όχληση καθορίζεται τόσο από την στάση του κοινού απέναντι στην αιολική ενέργεια όσο και από την άποψη των κατοίκων εάν η χωροθέτηση ανεμογεννητριών προσδίδουν μια νέα δυναμική στο τοπίο ή την αλλοιώνουν (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

Η κατάλληλη δυνατή διάταξη των ανεμογεννητριών, είναι επιτυχής μέσω της χρήσης σύγχρονων υπολογιστικών εργαλείων όπου εξετάζουν τα σημεία όπου υπάρχει μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση της ανεμογεννήτριας λόγω του αιολικού δυναμικού όσο και τις θέσεις όπου προκύπτει η καλύτερη δυνατή εναρμόνιση των ανεμογεννήτριας με το τοπίο (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

3.4.3 Όχληση πτηνών

Οι επιπτώσεις στον πληθυσμό των πουλιών που ευθύνονται τα αιολικά πάρκα μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: στις άμεσες επιπτώσεις, οι οποίες

προκαλούνται με άμεση θανάτωση των πουλιών εξαιτίας σύγκρουσης τους με τις ανεμογεννήτριες και στις έμμεσες επιπτώσεις, οι οποίες προκαλούν διαταραχές στην αναπαραγωγή και στην αποδημία των πουλιών. Μελέτες σε ευρωπαϊκές χώρες έχουν δείξει ότι η θανάτωση που προκαλείται λόγω πρόσκρουσης των πτηνών με τις ανεμογεννήτριες συγκεντρώνει πολύ χαμηλότερα επίπεδα από την θανάτωση τους από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

Συγκεκριμένα, ετησίως υπολογίζεται ότι οι θάνατοι πτηνών εξαιτίας πρόσκρουσης σε ανεμογεννήτριες είναι περίπου 20 ενώ οι αντίστοιχοι από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και σύγκρουσης με αυτοκίνητα είναι 2000. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα πτηνά προσαρμόζονται εύκολα και αντιλαμβάνονται την ύπαρξη ανεμογεννητριών με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η μεταξύ τους σύγκρουση. Επιπλέον, όσον αφορά στα αποδημητικά πουλιά σπάνια πετούν σε ύψος μικρότερο των 200 μέτρων με αποτέλεσμα να μην έρχονται σε άμεση επαφή με τις ανεμογεννήτριες (Leung, Yuan, 2011). Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη το 2001 στις ΗΠΑ, υπολογίστηκε ότι η θανάτωση των πτηνών από σύγκρουση με ανεμογεννήτρια αντιστοιχεί μόλις στο 0,01 – 0,02% των πτηνών που θανατώθηκαν από τεχνητές αιτίες (σύγκρουση με κτήρια, κεραίες κ.α.).

Είναι δυνατό η θανάτωση των πουλιών από ανεμογεννήτρια να μειωθεί στο ελάχιστο δυνατό εφόσον αποφεύγεται η χωροθέτηση αιολικών πάρκων εντός των διαδρομών μετανάστευσης των αποδημητικών πουλιών και παράλληλα με την τοποθέτηση των καλωδιώσεων υπόγεια έτσι ώστε να μην υφίσταται κίνδυνος ηλεκτροπληξίας των πουλιών (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

3.4.4 Όχληση υδάτινου κόσμου

Το υδάτινο περιβάλλον αποτελείται από πλήθος οργανισμών, οι οποίοι είτε ζουν μέσα είτε πάνω στο ίζημα που διαμορφώνεται στο βυθό της θάλασσας. Οι οργανισμοί που υπάρχουν εντός του υδάτινου περιβάλλοντος μπορούν να διακριθούν σε δύο είδη: στους οργανισμούς *infauna* οι οποίοι είναι θαλάσσια ζώα και βακτήρια στα ιζήματα του βυθού όπως είναι τα οστρακοειδή κ.α. και στους οργανισμούς *epifauna* όπου είναι κυρίως ζώα προσκολλημένα σε τραχείες επιφάνειες π.χ. τα στρείδια. Είναι αξιοσημείωτο να σημειωθεί ότι κατά την εγκατάσταση θαλάσσιου αιολικού πάρκου προσελκύονται διάφορα είδη της βενθικής κοινότητας με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καινούργιες αποικίες (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

Κατά συνέπεια, υπάρχει αύξηση των ψαριών που τρέφονται από τα είδη των νέων αποικιών. Έτσι, επηρεάζεται η ως τώρα ισορροπία του οικοσυστήματος και δημιουργείται ένα καινούργιο οικοσύστημα με νέες απαιτήσεις και δυναμικές. Επιπλέον, πρέπει να καταγραφεί ότι κατά την διάρκεια της κατασκευής του

θαλάσσιου αιολικού πάρκου και συγκεκριμένα κατά την διάρκεια τοποθέτησης των θεμελίων, αυξάνονται τα επίπεδα θολότητας του νερού και είναι πιθανό να επιδράσει αρνητικά στην θαλάσσια βλάστηση καθώς η πρόσληψη φωτός δεν θα είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα. Παρόλα αυτά, η κατάσταση θολότητας του νερού είναι για περιορισμένο χρονικό διάστημα κυρίως κατά την διάρκεια κατασκευής του έργου και δεν υφίσταται κατά την διάρκεια λειτουργίας του έργου (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

3.4.5 Περιοδική σκίαση

Το φαινόμενο της περιοδικής σκίασης (Shadow Flicker), οφείλεται στην κίνηση των πτερυγίων των ανεμογεννητριών όταν η θέση του ήλιου είναι πίσω από τα περιστρεφόμενα πτερύγια. Οι συχνότητες που δημιουργούν την εμφάνιση του φαινομένου της περιοδικής σκίασης κυμαίνονται μεταξύ των 2,5 – 3 Hz. Χάρης στην τεχνολογική πρόοδο, οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες με τα τρία πτερύγια αναπτύσσουν ταχύτητα περιστροφής μικρότερη από 35 rpm, δημιουργώντας έτσι συχνότητες χαμηλότερες των 1,75 HZ. Συνεπώς, η συχνότητα των 1,75 HZ που προκαλείται από τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες, δεν είναι εντός των ορίων που προκαλούν την εμφάνιση του φαινομένου της περιοδικής σκίασης. Επιπλέον, εάν η απόσταση των ανεμογεννητριών από τον πλησιέστερο κάτοικο της περιοχής είναι μεγαλύτερη από το δεκαπλάσιο της διαμέτρου του ρότορα της ανεμογεννήτριας τότε ελαχιστοποιείται η εμφάνιση του συγκεκριμένου φαινομένου. Έτσι και αλλιώς η απαιτούμενη απόσταση του αιολικού πάρκου από τα όρια του πλησιέστερου οικισμού είναι μεγαλύτερη από την απόσταση με την οποία αποφεύγεται το φαινόμενο της περιοδικής σκίασης (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

3.4.6 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Τα προκαλούμενα προβλήματα από τις ανεμογεννήτριες που σχετίζονται με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχουν να κάνουν με:

- την εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε κοντινές περιοχές με κεραίες και σταθμούς εκπομπής ή αναμετάδοσης ραδιοτηλεοπτικών σημάτων
- την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις ίδιες τις ανεμογεννήτριες.

Η μετάδοση ραδιοτηλεοπτικών σημάτων, και κυρίως η μετάδοση μέσω των συχνοτήτων FM, επηρεάζεται από την ύπαρξη στερεών εμποδίων. Το κύριο πρόβλημα που μπορεί να προκύψει από τις ανεμογεννήτριες οφείλεται στην περιστρεφόμενη πτερωτή, η οποία μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές στο μεταδιδόμενο σήμα λόγω ανακλάσεων του πάνω στις επιφάνειες των περιστρεφόμενων πτερυγίων. Η επίπτωση αυτή ήταν περισσότερο σημαντική με τις παλαιότερες ανεμογεννήτριες, οι οποίες ήταν κατασκευασμένες από μεταλλικά

περύγια. Τα συνθετικά υλικά κατασκευής των σύγχρονων ανεμογεννητριών έχουν ελάχιστη επίπτωση στα μεταδιδόμενα σήματα, λόγω των χαμηλών συντελεστών ανάκλασης των σημάτων στις επιφάνειές τους (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, για την αδειοδότηση ενός αιολικού πάρκου θα πρέπει να τηρείται μία ελάχιστη απόσταση από τη θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου και τις υφιστάμενες κεραίες αναμετάδοσης ραδιοηλεκτρονικών σημάτων. Τα όποια σχετικά προβλήματα ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικών σημάτων στις επιφάνειες των πτερυγίων ανεμογεννητριών μπορούν εκ των προτέρων να προβλεφθούν με τη σωστή σχεδίαση του αιολικού πάρκου και χωροθέτηση των ανεμογεννητριών. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις είναι δυνατή η εγκατάσταση επιπρόσθετων κεραιών αναμετάδοσης.

Σχετικά με την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις ανεμογεννήτριες, τα μόνα μέρη μιας ανεμογεννήτριας που μπορούν να εκπέμψουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαμηλής έντασης είναι η επαγωγική γεννήτρια και ο μετασχηματιστής μέσης τάσης. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μιας επαγωγικής γεννήτριας είναι εξαιρετικά ασθενές και περιορίζεται σε μία μικρή απόσταση από την πηγή εκπομπής. Καθώς η επαγωγική γεννήτρια είναι εγκατεστημένη στη νασέλα της μηχανής, δηλαδή σε ύψος τουλάχιστον 40 – 50 μέτρα από το έδαφος, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από την επαγωγική γεννήτρια μιας ανεμογεννήτριας στο έδαφος είναι μηδενική (Μπινόπουλος, Χαβιαρόπουλος, 2009).

Κεφάλαιο 4: Arduino

4.1 Εισαγωγικά

Το Arduino είναι ένας single – board μικροελεγκτής, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα, με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, και η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider. Οι περισσότερες εκδόσεις του Arduino μπορούν να αγοραστούν προσυναρμολογημένες το διάγραμμα και πληροφορίες για το υλικό είναι ελεύθερα διαθέσιμα για αυτούς που θέλουν να συναρμολογήσουν το Arduino μόνοι τους (www.arduino.cc, 2010).

4.2 Ιστορικό

Το 2005, στην Ivrea της Ιταλίας (η ιστοσελίδα της εταιρείας υπολογιστών Olivetti), ένα έργο άρχισε να δημιουργείται, μια συσκευή για τον έλεγχο σχεδίων, χτισμένο από μαθητές με λιγότερα έξοδα από ό, τι με άλλα πρωτότυπα συστήματα που ήταν διαθέσιμα εκείνη τη στιγμή. Από τον Μάιο του 2011, περισσότερα από 300.000 Arduino ήταν «στην άγρια φύση». Εφευρέτες Massimo Banzi και David Cuartielles, ονόμασαν το έργο τους Arduin of Ivrea. Το «Arduino» είναι επίσης ένα ιταλικό όνομα, που σημαίνει «γενναίος φίλος». Το έργο Arduino είναι μια παραγόμενη έκδοση της πλατφόρμας ανοικτού κώδικα Wiring Platform. Ο Κολομβιανός καλλιτέχνης και προγραμματιστής Hernando Barragan δημιούργησε συρμάτωση «Wiring» ως μια Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία στο Interaction Design Institute Ivrea υπό την εποπτεία του Massimo Banzi και του Casey Reas. Η Καλωδίωση «Wiring» βασίστηκε στην επεξεργασία και το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης που είχε δημιουργηθεί από τον Casey Reas και τον Ben Fry.

Το Arduino χτίστηκε γύρω από το έργο της καλωδίωσης «Wiring» του Hernando Barragan. Η Καλωδίωση ήταν η διπλωματική εργασία του Hernando στο Interaction Design Institute Ivrea. Επρόκειτο να είναι μια ηλεκτρονική έκδοση της επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε σε προγραμματιστικό περιβάλλον και ήταν η βάση για την σύνταξη επεξεργασίας. Αυτό ήταν υπό την εποπτεία του Hernando και του Massimo Banzi, ιδρυτές ενός Arduino. Ήταν κομμάτι της φαντασίας ότι θα υπήρχαν Arduino χωρίς καλωδιώσεις και ότι δεν θα υπάρχει καλωδίωση χωρίς επεξεργασία. Η επεξεργασία σίγουρα δεν θα υπήρχε χωρίς τη γλώσσα προγραμματισμού Design By Numbers και τον John Maeda. Μια πλακέτα που αποτελείται από έναν 8 – bit μικροελεγκτής Atmel AVR με συμπληρωματικά στοιχεία για τη διευκόλυνση του προγραμματισμού και της ενσωμάτωσης σε άλλα κυκλώματα (www.arduino.cc, 2010).

Μια σημαντική πτυχή του Arduino είναι ο τυπικός τρόπος ότι σύνδεσμοι εκτίθενται, επιτρέποντας τη CPU να συνδεθεί με μια ποικιλία εναλλακτικές πρόσθετες λειτουργικές μονάδες, γνωστές ως ασπίδες «shield». Ορισμένες ασπίδες «shield» επικοινωνούν με την πλακέτα του Arduino άμεσα μέσω διαφόρων ακίδων, αλλά πολλές ασπίδες είναι μεμονωμένα καθορισμένες μέσω ενός σειριακού διαύλου PC, επιτρέποντας πολλές ασπίδες, να στοιβάζονται και να χρησιμοποιούνται παράλληλα. Το επίσημο Arduino χρησιμοποίησε τη σειρά megaAVR και ειδικά τους ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280 και ATmega2560. Πολλοί από τους άλλους επεξεργαστές έχουν χρησιμοποιηθεί από συμβατά Arduino. Οι περισσότερες πλακέτες περιλαμβάνουν μια γραμμική ρύθμιση 5 Volt και μια 16 MHz crystal oscillato (ή κεραμικό συντονιστή σε μερικές παραλλαγές), αν και μερικά σχέδια όπως το LilyPad εκτελείται στα 8 MHz και βασίζεται από τους ρυθμιστές τάσης πλακέτας λόγω ειδικής φόρμας-παράγοντα με περιορισμούς.

4.3 Λογισμικό

Το Arduino είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα βασισμένη σε μια απλή μητρική πλακέτα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (πρόκειται για τη C++ με κάποιες μετατροπές). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider. Οι περισσότερες εκδόσεις του Arduino μπορούν να αγοραστούν προ-συναρμολογημένες. Επίσης, το διάγραμμα και πληροφορίες για το υλικό είναι διαθέσιμα για αυτούς που θέλουν να συναρμολογήσουν το Arduino μόνοι τους. Το Arduino είναι η καρδιά του συστήματος, αλλά και η γέφυρα μεταξύ του αναλογικού κόσμου των ηλεκτρονικών και του ψηφιακού κόσμου του λογισμικού. Το Arduino καθιστά δυνατή τη γραφική παράσταση της ενεργειακής κατανάλωσης σε έναν υπολογιστή, φορτώνει τις πληροφορίες στο διαδίκτυο και τις απεικονίζει στην οθόνη με ευκολία (www.arduino.cc, 2010).

Για την παρακολούθηση της ενέργειας το Arduino μπορεί να δέχεται τιμές από τους αισθητήρες και τα ηλεκτρονικά τους, να υπολογίζει τις τιμές για την πραγματική ισχύ, φαινομενική ισχύ, συντελεστή ισχύος, rms τάσεως και rms ένταση και να στέλνει αυτές τις τιμές στη θύρα USB για να τις επεξεργαστούμε στον υπολογιστή. Το Arduino μετατρέπει το αναλογικό σήμα εισόδου σε αριθμητικά στοιχεία με ένα ενσωματωμένο μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό. Το Arduino ADC έχει ανάλυση 1 Obits. Αυτό μαζί με το ποσοστό του δείγματος καθορίζει τις λεπτομέρειες της ψηφιακής αναπαράστασης του σήματος που έχουμε στην αναλογική είσοδο. Η αναλογική είσοδος του Arduino έχει ένα προεπιλεγμένο εύρος εισόδου από 0 έως 5V (Schmidt, 2011).

4.4 Υλικό

Μία πλακέτα Arduino αποτελείται από ένα μικροελεγκτή Atmel AVR (ATmega328 και ATmega168 στις νεότερες εκδόσεις, ATmega8 στις παλαιότερες) και συμπληρωματικά εξαρτήματα για την διευκόλυνση του χρήστη στον προγραμματισμό και την ενσωμάτωση του σε άλλα κυκλώματα. Όλες οι πλακέτες περιλαμβάνουν ένα γραμμικό ρυθμιστή τάσης 5 Volt και έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή 16 MHz (ή κεραμικό αντηχητή σε κάποιες παραλλαγές). Ο μικροελεγκτής είναι από κατασκευής προγραμματισμένος με ένα bootloader, έτσι ώστε να μην χρειάζεται εξωτερικός προγραμματιστής. Σε εννοιολογικό επίπεδο, στην χρήση του Arduino software stack, όλα τα boards προγραμματίζονται με μία RS – 232 σειριακή σύνδεση, αλλά ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό διαφέρει σε κάθε hardware εκδοχή. Οι σειριακές πλάκες Arduino περιέχουν ένα απλό level shifter κύκλωμα για να μετατρέπει μεταξύ σήματος επιπέδου RS – 232 και TTL (Schmidt, 2011).

Τα τωρινά Arduino προγραμματίζονται μέσω USB, αυτό καθίσταται δυνατό μέσω της εφαρμογής προσαρμοστικών chip USB – to – Serial όπως το FTDI FT232. Κάποιες παραλλαγές, όπως το Arduino mini και το ανεπίσημο Boarduino, χρησιμοποιούν ένα αφαιρούμενο USB-to-Serial καλώδιο ή board, Bluetooth ή άλλες μεθόδους. (Όταν χρησιμοποιείτε με παραδοσιακά εργαλεία microcontroller αντί για το Arduino IDE, πρότυπος προγραμματισμός AVR ISP χρησιμοποιείτε) Ο πίνακας Arduino εκθέτει τα περισσότερα microcontroller I/O pins για χρήση από άλλα κυκλώματα. Τα Diecimila, Duemilanove και το τρέχον Uno παρέχουν 14 ψηφιακά I/O pins, έξι από τα οποία μπορούν να παράγουν pulse – width διαμορφωμένα σήματα, και έξι αναλογικά δεδομένα. Αυτά τα pins βρίσκονται στην κορυφή του πίνακα μέσω female headers 0,1 ιντσών (2,2 mm). Διάφορες εφαρμογές ασπίδων plug – in είναι εμπορικώς διαθέσιμα.

Το Arduino nano, και το Arduino – Compatible Bare Bones Board και Boarduino Board ενδέχεται να παρέχει male header pins στο κάτω μέρος του board προκειμένου να συνδέονται σε Breadboards. Υπάρχουν πολλά boards συμβατά με και προερχόμενα από Arduino boards. Κάποια είναι λειτουργικά ισάξια με ένα Arduino και μπορεί να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά. Πολλοί είναι το βασικό Arduino με την προσθήκη καινοτόμων output drivers, συχνά για την χρήση σχολικής μόρφωσης για να απλοποιήσουν την κατασκευή buggies και μικρών robot. Άλλες είναι ηλεκτρικά ισάξια αλλά αλλάζουν τον παράγοντα μορφής, επιτρέποντας κάποιες φορές την συνεχόμενη χρήση των Shields ενώ κάποιες όχι. Κάποιες παραλλαγές είναι τελείως διαφορετικοί επεξεργαστές, με ποικίλα επίπεδα συμβατότητας.

4.5 Πλακέτες

Το πρωτότυπο υλισμικό του Arduino κατασκευάζεται από την Ιταλική εταιρία Smart Projects. Κάποιες πλακέτες με την μάρκα του Arduino έχουν σχεδιαστεί από την Αμερικάνικη εταιρία SparkFun Electronics. Δεκαέξι εκδοχές του Arduino Hardware έχουν χρησιμοποιηθεί εμπορικά μέχρι τώρα:

- ✓ Το Serial Arduino, προγραμματισμένο με μία σειριακή DE – 9 σύνδεση χρησιμοποιώντας τεχνολογία ATmega8
- ✓ Το Arduino Extreme, με ένα USB interface για προγραμματισμό χρησιμοποιώντας τεχνολογία ATmega8
- ✓ Το Arduino Mini, μία έκδοση μινιατούρας του Arduino χρησιμοποιώντας τεχνολογία surface – mounted ATmega168
- ✓ Το Arduino Nano, ένα ακόμα πιο μικρό, USB τροφοδοτούμενη έκδοχή του Arduino χρησιμοποιώντας τεχνολογία surface – mounted ATmega168 (ATmega328 για την νεότερη έκδοση)
- ✓ Το LilyPad Arduino, ένα μινιαλιστικό σχέδιο για εφαρμογές ένδυσης και E-textiles χρησιμοποιώντας τεχνολογία surface – mounted AT – mega328
- ✓ Το Arduino NG, με ένα USB interface για προγραμματισμό και χρησιμοποιώντας τεχνολογία ATmega8
- ✓ Το Arduino NG plus, με ένα USB interface για προγραμματισμό και χρησιμοποιώντας τεχνολογία atmega168
- ✓ Το Arduino Bluetooth, με Bluetooth interface για προγραμματισμό χρησιμοποιώντας τεχνολογία ATmega168
- ✓ Το Arduino Diecimila, με ένα USB interface και χρησιμοποιεί τεχνολογία ATmega168 σε ένα DIP28 πακέτο
- ✓ Το Arduino Duemilanove (2009), χρησιμοποιεί τεχνολογία ATmega168 (ATmega328 για την καινούργια έκδοση) και τροφοδοτείται μέσω ενέργειας USB/DC, αυτόματα εναλλασσόμενη
- ✓ Το Arduino Mega, χρησιμοποιώντας τεχνολογία surface-mounted ATmega1280 για περαιτέρω I/O και μνήμη
- ✓ Το Arduino Uno, χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνολογία ATmega328 όπως το τελευταίο μοντέλο Duemilanove, αλλά ενώ το Duemilanove χρησιμοποιεί ένα FTDI chipset για το USB, το Uno χρησιμοποιεί τεχνολογία ATmega8U2 προγραμματισμένο ως σειριακός μετατροπέας
- ✓ Το Arduino Mega2560, χρησιμοποιεί τεχνολογία surface – mounted ATmega2560 φέρνοντας την ολική μνήμη στα 256kB. Επίσης ενσωματώνει την νέα τεχνολογία ATmega8U2 (ATmega16U2 σε αναθεώρηση τύπου 3) USB chipset.
- ✓ Το Arduino Leonardo, με ένα ATmega32U4 chip που εξαλείφει την ανάγκη για συνδεσιμότητα μέσω USB και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ψηφιακό πληκτρολόγιο ή ποντίκι. Κυκλοφόρησε στο Maker Faire Bay Area το 2012.
- ✓ Το Arduino Esplora, με εμφάνιση που παραπέμπει σε χειριστήριο κονσόλας βιντεοπαιχνιδιών με joystick και ενσωματωμένους αισθητήρες για ήχο, φως, θερμοκρασία και επιτάχυνση 16. Το Arduino Due είναι ένα μικροχειριστήριο

board βασισμένο στην τεχνολογία Atmel SAM3X8E ARM Cortex – M3 CPU. Είναι το πρώτο board της Arduino βασισμένη σε επεξεργαστή 32 – bit ARM microcontroller (www.arduino.cc, 2010).

Κεφάλαιο 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino

5.1 Καταλληλότητα

Υπάρχει πληθώρα άλλων μικροελεγκτών στο εμπόριο για να ασχοληθώ. Ο Basic Stamp της Parallax, ο BX – 24 της Net media, το Handy board του MIT και πολύ άλλη όμοιας λειτουργίας. Όλα αυτά τα εργαλεία που προανέφερα είναι απλά όμως έχουν λεπτομέρειες στην αρχιτεκτονική τους. Επιτρέπουν τον άμεσο προγραμματισμό του μικροελεγκτή, προσφέροντας απλοποίηση της διαδικασίας. Κάποια άλλα πλεονεκτήματα που προσφέρει σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές για χρήση είναι τα εξής:

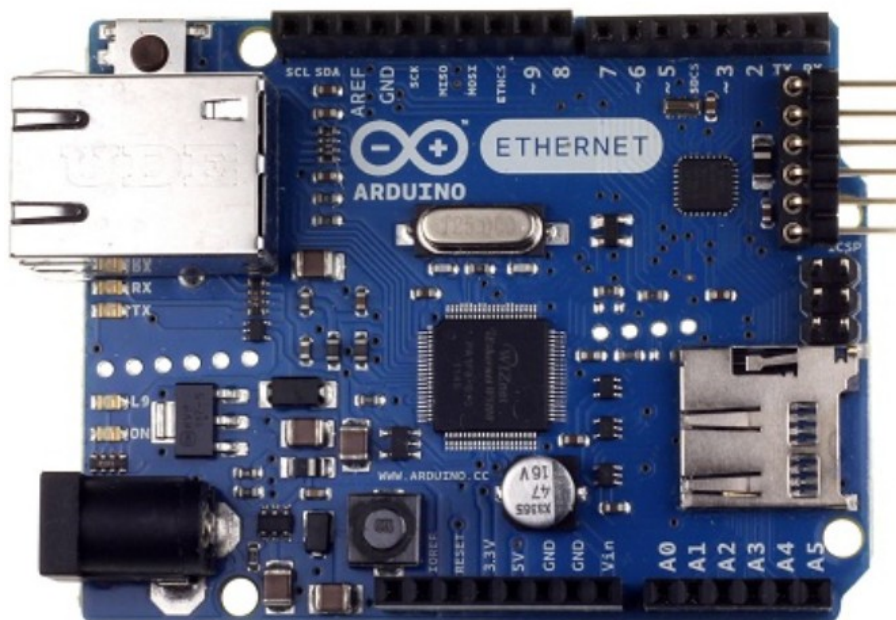
- Φθηνός: οι πλακέτες του Arduino είναι φθηνές σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές. Η προμήθεια μιας έτοιμης πλακέτας έχει κόστος 50 €.
- Τρέχει σε διάφορα λειτουργικά συστήματα. Οι μηχανικοί λογισμικού, ανέπτυξαν το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino για windows, machinstoh osx και για λειτουργικά συστήματα Linux. Τα περισσότερα συστήματα ανάπτυξης μικροελεγκτών περιορίζονται στα windows.
- Το περιβάλλον προγραμματισμού ενός Arduino είναι ευέλικτο.
- Ανοιχτού λογισμικού με δυνατότητα επέκτασης και τροποποίησης. Το software του Arduino είναι με την μορφή εργαλείων ανοιχτού λογισμικού. Η γλώσσα προγραμματισμού του μπορεί να επεκταθεί και οι άνθρωποι που θέλουν να ασχοληθούν περισσότερο με τους μικροελεγκτές μπορούν να μεταβούν από τον Arduino στην AVR – C που είναι για προγραμματισμό των Atmel μικροελεγκτών και η γλώσσα στην οποία βασίστηκε το λογισμικό του Arduino. Ομοίως μπορεί κάποιος να προσθέσει κώδικα της AVR–C στο πρόγραμμα που έχει γράψει για τον Arduino του.
- Ανοιχτού υλικού το οποίο μπορεί να επεκταθεί. Το Arduino βασίζεται στους μικροελεγκτές της Atmel ATMEGA368 και ATMEGA168. Τα σχηματικά για τα αναπτυξιακά είναι στην άδεια της Creative Commons, επιτρέποντας στους σχεδιαστές να κατασκευάσουν το δικό τους, εξελίσσοντας το ήδη υπάρχον χωρίς να έχουν νομικά προβλήματα. Ακόμα καλύτερα μπορούν να επιδιώξουν να αντιγράψουν την κατασκευή της πλακέτας σε ράστερ για να καταλάβουν την λειτουργία ενός Arduino.
- Το Arduino Ethernet έχει τη δυνατότητα τροφοδοσίας από τη θύρα USB του υπολογιστή είτε από εξωτερικό τροφοδοτικό, είτε από μπαταρία των 9 V.

5.2 Arduino Ethernet

Το Arduino Ethernet (εικόνα 5.2) είναι ένας μικροελεγκτής που έχει βασικό τον μικροελεγκτή AT mega328. Έχει 14 ψηφιακές εισόδους – εξόδους, 6 αναλογικές εισόδους, έναν ταλαντωτή κρύσταλλο 16 MHz, ένα RJ45 βύσμα και ένα κουμπί αναστολαιοθέτησης (reset). Οι θύρες 10, 11, 12, και 13 είναι για τη σύνδεση με το Ethernet και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται. Έτσι μειώνεται ο αριθμός των διαθέσιμων θυρών σε 10, με τις 4 από αυτές να είναι διαθέσιμες ως αποτέλεσμα

PWM. Το Ethernet διαφέρει από τους άλλους τύπους Arduino γιατί δεν έχει ένα απλό USB αλλά έχει μια διεπαφή wiznet Ethernet. Υπάρχει ένας αναγνώστης καρτών microSD, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποθηκεύσω τα δεδομένα, χρησιμοποιείται μέσω της βιβλιοθήκης SD. Η θύρα 10 είναι για την διεπαφή Wiznet SS, επειδή η κάρτα SD χρησιμοποιεί τη θύρα 4. Έξι ακροδέκτες εισέρχονται σε ένα τμήμα του προγραμματισμού όπου είναι συμβατό με ένα USB. Επίσης έχει την λειτουργία της αναστοίχιοθέτηση (reset), που επιτρέπει να φορτώσω τα δεδομένα χωρίς το πάτημα του κουμπιού αναστοίχιοθέτησης στο πάνω μέρος του Arduino Ethernet (Margolis 2012).

Όταν συνδέεται ένα USB πάνω στο Arduino Ethernet τότε ο μικροελεγκτής τροφοδοτείται από το USB. Πάνω στον Arduino Ethernet βρίσκεται ένα τυποποιημένο pinout 1.0, το οποίο είναι οι θύρες SDA και SCL, που είναι δίπλα από την AREF θύρα. Οι δυο θύρες είναι τοποθετημένες δίπλα στο κουμπί αναστοίχιοθέτησης (reset). Έχω την δυνατότητα χρήσης του i2c ή ένα μέρος από το τμήμα TWI έτσι ώστε να είναι συμβατά με όλα τα μοντέλα Arduino. Το IOREF προστατεύει τον Arduino Ethernet από την τάση που μας παρέχει το τροφοδοτικό. Δίπλα στη θύρα IOREF υπάρχει μια συνδεδεμένη θύρα, η οποία είναι για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον (Margolis 2012).



(εικόνα 5.1: Εμπρόσθια όψη Arduino Ethernet)

5.3 Διαστάσεις

Το μέγιστο μήκος είναι 2,7 in και το μέγιστο πλάτος είναι 2,1 in σε ένα Arduino Ethernet. Υπάρχουν 4 τρύπες που επιτρέπουν στο Arduino Ethernet να στερεωθεί επάνω σε μια επιφάνεια. Η απόσταση μεταξύ των ψηφιακών θυρών 7 και 8 είναι 160 mm (0,16 cm) δηλαδή δεν είναι πολλαπλάσιο των 100 mm που είναι η απόσταση μεταξύ των άλλων θυρών (Margolis 2012).

5.4 Προδιαγραφές

Μικροελεγκτής	ATmega328
Τάση λειτουργίας	5 V
Τάση εισόδου Plug	7 – 12 V
Τάση εισόδου Poe	36 – 75 V
Ψηφιακά I/O θύρες	14 (4 παρέχουν PWM έξοδο)
Arduino θύρες που χρησιμοποιούνται	10 – 13 χρησιμοποιούνται για SPI 4 χρησιμοποιούνται για την κάρτα SD 2 W5100 διακόπτης
Αναλογικές θύρες εισόδου	6
Συνεχές ρεύμα για 3,3 Volt θύρες	40 mA
Εναλλασσόμενο ρεύμα για 3,3 Volt θύρες	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega 328) 0,5 KB χρησιμοποιούνται για boot loader
SPAM	2 KB (ATmega 328)
EEPROM	1 KB (ATmega 328)
Ταχύτητα ρολογιού	16 MHz
W5100 TCP/IP ενσωματωμένο Ethernet Controller Power Over Ethernet έτοιμοι μαγνητικοί Jack Micro SD κάρτα με ενεργό τάση	

5.5 Τροφοδοσία

Το Arduino Ethernet μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω μιας εξωτερικής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος ή μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω της σειριακής σύνδεσης του καλώδιο USB. Εξωτερική τροφοδοσία μπορεί να προέλθει είτε από έναν προσαρμογέα AC – to – DC ή από μια μπαταρία. Η μπαταρία μπορεί να συνδεθεί στο Arduino Ethernet μέσω των θυρών Gnd και Vin. Μπορεί να λειτουργήσει με μια εξωτερική παροχή των 6 έως 20 Volt. Αν τροφοδοτηθεί με λιγότερο από 7 Volt, η θύρα των 5 Volt θα παρέχει λιγότερο από 5 Volt και θα είναι ασταθής. Εάν χρησιμοποιείται περισσότερα από 12 Volt, ο ρυθμιστής τάσης μπορεί να υπερθερμανθεί και να πάθει ζημιά η πλακέτα. Η συνιστώμενη περιοχή τιμών της τροφοδοσίας είναι από 7 έως 12 Volt (Margolis 2012).

Οι θύρες ισχύος είναι οι εξής:

- VIN: Η τάση εισόδου στον Arduino Ethernet όταν χρησιμοποιείται μια εξωτερική πηγή ενέργειας.
- 5 Volt: Αυτή η θύρα εξάγει μια ρυθμιζόμενη τάση στα 5 Volt. Μπορεί να τροφοδοτείται με ρεύμα είτε από συνεχές ρεύμα (7 – 12 Volt) ή με σύνδεση μέσω USB (5 Volt). Τάση μέσω των θυρών 5 Volt ή 3,3 Volt παρακάμπτει το ρυθμιστή και προκαλεί βλάβη στον Arduino.
- 3,3 Volt: Η μέγιστη κατανάλωση ρεύματος είναι 50 mA.
- GND: Θύρα γείωσης.
- IOREF: Αυτή η θύρα στον Arduino παρέχει την τάση με την οποία λειτουργεί ο μικροελεγκτής. Μπορεί να αναγνωρίσει την τάση και να επιλέξει την κατάλληλη πηγή ενέργειας.
- Η μονάδα PoE έχει σχεδιαστεί για να εξάγει την ενέργεια από ένα καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους κατηγορίας 5 Ethernet.

5.6 Είσοδοι και έξοδοι

Κάθε μια από τις 14 ψηφιακές θύρες στο Arduino Ethernet μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως είσοδος ή ως έξοδος. Χρησιμοποιώντας τάση στα 5 Volt λειτουργούν οι θύρες pin Mode (), digital Write (), και digital Read (). Κάθε θύρα μπορεί να δώσει ή να λάβει μέγιστο 40 μ A και έχει εσωτερική αντίσταση από 20 – 50 k Ω .

Οι ακροδέκτες RX και TX της σειριακής θύρας λειτουργούν όταν το πρόγραμμα δέκτες 2 και 3 λειτουργούν και ως εξωτερικά interrupt (interrupt 0 και 1 ενεργοποιεί την σειριακή θύρα. Όταν το πρόγραμμα στέλνει δεδομένα στην σειριακή θύρα, αυτά προωθούνται και στη θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial – Over – USB.

Οι ακροδέκτες 2 και 3 λειτουργούν και ως εξωτερικά interrupt (interrupt 0 και 1 αντίστοιχα). Ρυθμίζονται μέσα από το πρόγραμμά ώστε να λειτουργούν αποκλειστικά ως ψηφιακές είσοδοι στις οποίες όταν συμβαίνουν συγκεκριμένες αλλαγές, η κανονική ροή του προγράμματος σταματάει άμεσα και εκτελείται μια συγκεκριμένη συνάρτηση. Τα εξωτερικά interrupt είναι χρήσιμα σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας.

Οι ακροδέκτες 3, 5, 6 και 9 μπορούν να λειτουργήσουν και ως έξοδοι ψευδοαναλογικές με το σύστημα PWM (Pulse Width Modulation), το ίδιο σύστημα είναι αυτό που διαθέτουν και οι μητρικές κάρτες των ηλεκτρονικών υπολογιστών για να ελέγχουν τις ταχύτητες των ανεμιστήρων.

SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Αυτοί οι ακροδέκτες επιτρέπουν την επικοινωνία SPI, η οποία αν και προέρχεται από το hardware δεν είναι ακόμα διαθέσιμη στην γλώσσα προγραμματισμού του Arduino Ethernet.

I2C: 4 (SDA) και 5 (SCL). Υποστηρίζει το πρωτόκολλο I2C (TWI) χρησιμοποιώντας βιβλιοθήκες της γλώσσας προγραμματισμού Wiring.

AREF: Reference voltage for the analog inputs. Χρησιμοποιείται μαζί με την συνάρτηση analogReference ().

Reset: αν ενεργοποιηθεί τότε γίνεται επανεκκίνηση το μικροελεγκτή.

LED: 9. Υπάρχει σύνδεση με την ψηφιακή θύρα 9. Όταν η θύρα έχει μεγάλη τάση, τότε το LED είναι ανοιχτό, όταν η θύρα έχει χαμηλή τάση, τότε το LED είναι κλειστό. Στις περισσότερες πλακέτες Arduino τα δεδομένα βρίσκονται στην θύρα 13.

Στην πλακέτα Arduino Ethernet η θύρα 9 αναλαμβάνει την θέση της θύρα 13 επειδή εκείνη χρησιμοποιείται ως ένα τμήμα της σύνδεσης SPI. Το Arduino Ethernet έχει 6 αναλογικές εισόδους, από το A0 έως και το A5, κάθε μια από αυτές τις θύρες παρέχει 10 bit δεδομένων (δηλαδή 1024 διαφορετικές τιμές).

Στην κάτω πλευρά του Arduino Ethernet, υπάρχει μια σειρά από 6 θύρες, αριθμημένες από το A0 ως το A5. Η τάση μπορεί να ρυθμιστεί με μια εντολή στο 1,1 Volt τροφοδοτώντας εξωτερικά με αυτή την τάση την θύρα AREF που βρίσκεται στην απέναντι πλευρά του Arduino Ethernet. Αν τροφοδοτηθεί ο ακροδέκτης AREF με 3,3 Volt και στην συνέχεια αναγνωρίσει κάποιον ακροδέκτη αναλογικής εισόδου στο οποίο εφαρμόζεται τάση 1,65 Volt, το Arduino Ethernet θα επιστέψει την τιμή 512 (Margolis 2012).

5.7 Μνήμη

Το Arduino βασίζεται στον ATmega328, έναν 8 – bit RISC μικροελεγκτή, ο οποίος συγχρονίζεται στα 16MHz. Το ATmega328 διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων:

- 2Kb μνήμης SRAM που είναι η ωφέλιμη μνήμη που μπορεί να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα για να αποθηκεύσει μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά το runtime. Αν διακοπεί η παροχή ρεύματος ή πατηθεί το κουμπί αναστοχειοθέτησης, η μνήμη χάνει τα δεδομένα της.
- 1Kb μνήμης EEPROM η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εγγραφή ή ανάγνωση δεδομένων (χωρίς datatype) ανά byte από το πρόγραμμα κατά το runtime. Σε αντίθεση με την SRAM, η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset.
- 32 Kb μνήμης Flash, από τα οποία τα 2 Kb χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Το firmware αυτό που στην ορολογία του Arduino ονομάζεται bootloaer είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση των προγραμμάτων στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB. Τα υπόλοιπα 30 Kb της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται για την

αποθήκευση των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή. Η μνήμη Flash, όπως και η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset. Ενώ η μνήμη Flash υπό κανονικές συνθήκες δεν προορίζεται για χρήση runtime μέσα από το πρόγραμμα, λόγω της μικρής συνολικής μνήμης που είναι διαθέσιμη σε αυτά (2 Kb SRAM + 1 Kb EEPROM), έχει σχεδιαστεί μια βιβλιοθήκη που επιτρέπει τη χρήση όσου χώρου περισσεύει (30 Kb μείον το μέγεθος του προγράμματός σε μεταγλωττισμένη μορφή).

5.8 Επικοινωνία

Το Arduino Ethernet μπορεί να επικοινωνήσει με έναν υπολογιστή, με έναν άλλο Arduino ή άλλους μικροελεγκτές. Το ATmega328 υποστηρίζει επίσης την επικοινωνία TWI και SPI. Το λογισμικό του Arduino Ethernet περιλαμβάνει μια βιβλιοθήκη για να απλοποιήσει τη χρήση του TWI. Για την επικοινωνία μέσω SPI χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη SPI. Το Arduino Ethernet μπορεί να συνδεθεί με ένα καλώδιο δικτύου μέσω της θύρας Ethernet. Κατά την σύνδεση του με ένα δίκτυο, θα πρέπει να πάρει μια διεύθυνση IP και μια διεύθυνση MAC. Η βιβλιοθήκη Ethernet υποστηρίζεται πλήρως από το Arduino Ethernet. Η ανάγνωση της κάρτας micro SD γίνεται μέσω της βιβλιοθήκης SD (Margolis 2012).

5.9 Διασύνδεση

Το Arduino έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας με υπολογιστή, άλλες ίδιες πλακέτες ή άλλους μικροελεγκτές. Παρέχεται η δυνατότητα σειριακής επικοινωνίας μέσω της USB θύρας. Το λογισμικό που παρέχεται μου επιτρέπει να στείλω εντολές ή δεδομένα γενικά από και προς την πλακέτα και να φορτώσω το πρόγραμμα στον bootloader, το οποίο θα εκτελεί αυτόματα η πλακέτα. Για τη διαχείριση του Arduino από τον υπολογιστή χρησιμοποιείται το Arduino IDE. Το Arduino IDE είναι βασισμένο σε Java και συγκεκριμένα παρέχει:

- Ένα πρακτικό περιβάλλον για τη συγγραφή των προγραμμάτων τα οποία ονομάζονται sketch στην ορολογία του Arduino Ethernet.
- Μερικές έτοιμες βιβλιοθήκες.
- Τον compiler για τη μεταγλώττιση των sketch.
- Ένα serial monitor που παρακολουθεί τις επικοινωνίες της σειριακής θύρας (USB)

5.10 Γλώσσα

Η γλώσσα του Arduino Ethernet βασίζεται στη γλώσσα Wiring μια παραλλαγή C/C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR όπως ο ATmega.

Υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C και μερικά χαρακτηριστικά της C++. Για compiler χρησιμοποιείται ο AVR gcc και ως βασική βιβλιοθήκη χρησιμοποιείται η AVR libe. Λόγω της καταγωγής της από τη C, στην γλώσσα του Arduino Ethernet, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες βασικές εντολές και συναρτήσεις, με την ίδια σύνταξη, τους ίδιους τύπους δεδομένων και τους ίδιους τελεστές όπως και στη C. Όμως υπάρχουν ειδικές εντολές, συνάρτησης και σταθερές που βοηθούν για τη διαχείριση του ειδικού hardware των Arduino Ethernet (Schmidt, 2011).

5.11 Προγραμματισμός

Ο προγραμματισμός του Arduino Ethernet γίνεται με δυο τρόπους:

- Μέσω του προγραμματισμού των 6 θυρών
- Με έναν εξωτερικό ISP προγραμματιστή.

Οι 6 θύρες του προγραμματισμού είναι συμβατές με τα καλώδια FTDI USB και με USB. Χαρακτηρίζεται από την λειτουργία της αυτόματης αναστοίχιοθέτησης (reset), που επιτρέπει να φορτωθούν τα δεδομένα χωρίς την πίεση του κουμπιού αναστοίχιοθέτησης (reset). Όταν συνδέσω έναν προσαρμογέα FTDI τύπου USB, το Arduino Ethernet τροφοδοτείται από το USB. Μπορώ επίσης να προγραμματίσω τον Arduino Ethernet με έναν εξωτερικό προγραμματιστή όπως ένα AVRISP mkII ή USBTinyISP. Θα πρέπει όμως να καεί ένα συγκεκριμένο κομμάτι από το πρόγραμμα. Αυτό θα διαγράψει τμηματικά τα boot loader, όμως το Arduino Ethernet θα λειτουργεί κανονικά.

Κεφάλαιο 6: Μελέτη αιολικού πάρκου

6.1 Εισαγωγικά

Το παρών κεφάλαιο έχει ως σκοπό την επεξεργασία και παρουσίαση σεναρίων μεσοπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Ηλεκτρικό Σύστημα της χώρας. Για λόγους πληρότητας να τονίσουμε εδώ, ότι όλα τα παρακάτω στοιχεία και δεδομένα βασίζονται σε υφιστάμενα ανεμολογικά στοιχεία του ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας).

Για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού μιας θέσης απαιτείται η γνώση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας, ενέργειας που μεταβάλλεται όμως με το χρόνο. Αντιπροσωπευτική τιμή αυτής μπορεί να είναι η μέση ετήσια τιμή, η οποία όμως για να υπολογισθεί απαιτεί τη γνώση της διάρκειας πνοής των ανέμων κάθε κατηγορίας, ή κλίμακας ταχυτήτων. Με την ύπαρξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι δυνατή για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού η εφαρμογή αναλυτικής έκφρασης της διάρκειας πνοής του ανέμου, ή της πυκνότητας πιθανότητας πνοής ανέμων. Γι' αυτό έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι προσαρμογής αναλυτικών εκφράσεων σε διαθέσιμες ανεμολογικές μετρήσεις, τρεις από τις οποίες είναι η κατανομή Weibull, Rayleigh και Lognormal (Celik, 2002). Ετήσιες και μηνιαίες στατιστικές μοντελοποιήσεις δείχνουν ότι η κατανομή Weibull αποτελεί μία αξιόπιστη πρόταση για την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων (Κανελόπουλος 2008).

6.2 Οικονομικά μεγέθη

Η οικονομική βιωσιμότητα μιας αιολικής ενεργειακής μονάδας εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων. Οι κυριότεροι είναι το κόστος αγοράς της ανεμογεννήτριας και της γης – υποδομής για την εγκατάσταση, το αιολικό δυναμικό της περιοχής, ο συντελεστής χωρητικότητας της ανεμογεννήτριας, το κόστος της kWh που παράγεται από συμβατικούς ενεργειακούς σταθμούς και η διάρκεια ζωής του. Υπάρχουν επίσης και άλλοι μικρότερης σημασίας παράγοντες. Όλοι οι παραπάνω οικονομικοί παράγοντες εμπλέκονται κατά τη διαδικασία ελέγχου της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης σε αιολικό ενεργειακό σταθμό, γεγονός που επιβάλλει την αναγκαία σοβαρότητα στην οικονομική μελέτη. Κάποιοι από τους παραπάνω οικονομικούς παράγοντες έχουν μεγαλύτερο και κάποιοι μικρότερο περιθώριο αβεβαιότητας, και ως εκ τούτου η σταθμιστική τους επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (Μπεργελές, 2005).

Το κόστος πώλησης μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται κυρίως από την τυποποίηση της κατασκευής της μηχανής αλλά και το πλήθος των μηχανών που κατασκευάζονται και πωλούνται. Η τιμή του κόστους της ανεμογεννήτριας οδηγεί σήμερα σε μια εκτίμηση των 1.200 €/kW ονομαστικής ισχύος της. Όλες οι ανεμογεννήτριες σήμερα σχεδιάζονται για διάρκεια ζωής τουλάχιστον 20 ετών, ίσως

και 30. Με την τεχνολογική βελτίωση των υλικών, τη μεγαλύτερη αντοχή των σε κόπωση, τη βελτίωση των μηχανουργικών επεξεργασιών, την αύξηση των γνώσεων σχετικά με την αλληλεπίδραση ανέμου και αιολικής μηχανής, σε συνδυασμό με τη χρήση κωδικών ηλεκτρονικού υπολογιστή, που επιτρέπουν την ακριβή γνώση των φορτίων σε μεταβαλλόμενες ανεμολογικές συνθήκες, είναι περισσότερο σίγουρο ότι οι μηχανές μπορούν να επιτύχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (Μπεργελές, 2005). Δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας έχει άμεση επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης, η παραδοχή των 20 ετών ως διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας αποτελεί μια συντηρητική εκτίμηση.

Η αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της οικονομικής βιωσιμότητας θα πραγματοποιηθεί για την περίπτωση ενός ήδη εγκατεστημένου αιολικού πάρκου στη Δυτική Ελλάδα στην περιοχή του Αντιρρίου, το οποίο έχει τεθεί σε λειτουργία εδώ και 13 χρόνια περίπου. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από χρονοσειρές μετρήσεων που έδωσαν καταγραφικά μέσα, από ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες, όπως επίσης και αυτόματα καταγραφικά παραγόμενης ισχύος από κάθε ανεμογεννήτρια. Το αιολικό πάρκο αποτελείται από 41 ανεμογεννήτριες, ο τύπος των οποίων είναι VESTAS V52 850/52, πράγμα που σημαίνει ότι η ονομαστική συνολική ισχύς του πάρκου είναι 34,85 MW. Στο συγκεκριμένο τύπο ανεμογεννήτριας η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας είναι στα 4 m/s και η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας στα 25 m/s. Το ύψος του δρομέα επιλέχθηκε να είναι στα 55 m.

Οι χρονοσειρές δεδομένων ταχύτητας προήλθαν από ανεμόμετρα που ήταν τοποθετημένα στα 10 m και 30 m από το έδαφος, ενώ η διεύθυνσης ανέμου από ανεμοδείκτες στα 19 m και 29 m από το έδαφος. Ακόμη πρέπει να σημειωθεί η ύπαρξη θερμομέτρου στα 3 m. Οι χρονοσειρές των δεδομένων ήταν ανά δεκάλεπτο και για κάθε μια από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν, το καταγραφικό κάθε οργάνου έδινε μέγιστη, ελάχιστη, μέση τιμή, καθώς και τυπική απόκλιση για κάθε δεκάλεπτο. Η παροχή όλων αυτών των δεδομένων από τα καταγραφικά βοηθά τον μελετητή στην όσο γίνεται λεπτομερέστερη και εγκυρότερη ανάλυση τους, αλλά και στην πιο αξιόπιστη διεξαγωγή συμπερασμάτων. Έτσι, ανάλογα με την επιθυμητή ανάλυση μπορούν να επιλεγθούν οι κατάλληλες χρονοσειρές και να τύχουν επεξεργασίας, ώστε να συμβάλλουν στην επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος.

Οι ανεμογεννήτριες που εξετάστηκαν ήταν τρεις στο σύνολο τους, συνδεδεμένες με το κεντρικό δίκτυο της ΔΕΗ, και σχεδόν όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται σε αυτό – αν εξαιρεθεί ένα ποσοστό 2% περίπου, που αντιστοιχεί σε ηλεκτρικές απώλειες. Από καθεμία ανεμογεννήτρια προήλθαν χρονοσειρές δεδομένων ισχύος ανά δεκάλεπτο, οι οποίες χρησίμευσαν στον προσδιορισμό της συνεισφοράς του αιολικού πάρκου στην κάλυψη των τοπικών ενεργειακών αναγκών (Κανελόπουλος 2008).

6.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

6.3.1 Γενικά

Τα δεδομένα αναφέρονται στην χρονολογική περίοδο από 1/3/2015 έως 1/1/2017. Για τη διευκόλυνση στους υπολογισμούς, αλλά και για την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων, η παραπάνω περίοδος διαιρέθηκε σε δύο επιμέρους περιόδους, από 1/3/2015 έως 1/2/2016 η πρώτη και από 1/2/2016 έως 1/1/2017 η δεύτερη περίοδος. Με αυτό τον τρόπο μας δίνεται η δυνατότητα να παρατηρήσουμε την εξέλιξη των ανεμολογικών χαρακτηριστικών της εξεταζόμενης περιοχής για δύο χρόνια περίπου και να εξετάσουμε την επαναληψιμότητά τους.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την στατιστική ανάλυση είναι τα ακόλουθα:

- Χρονοσειρές δεκαλέπτων μέγιστης, ελάχιστης, μέσης ταχύτητας ανέμου και τυπικής απόκλισης, από δύο ανεμόμετρα, το ένα (C2) στα 10 m από το έδαφος και το άλλο (C4) στα 30 m, για τις δύο χρονικές περιόδους.
- Χρονοσειρές δεκαλέπτων μέγιστης, ελάχιστης, μέσης διεύθυνσης ανέμου και τυπικής απόκλισης, από δύο ανεμοδείκτες, ο ένας (A1) στα 19 m από το έδαφος και ο άλλος (A7) στα 29 m για τις δύο χρονικές περιόδους.
- Χρονοσειρές δεκαλέπτων μέγιστης, ελάχιστης, μέσης θερμοκρασίας και τυπικής απόκλισης, από θερμόμετρο (A13) στα 3 m από το έδαφος για τις δύο χρονικές περιόδους.
- Χρονοσειρές δεκαλέπτων ισχύος από τρεις ανεμογεννήτριες, για τις δύο χρονικές περιόδους.
- Οι μέσες τιμές της μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας υπολογίστηκαν ότι ισούνται με: $T_{max} = 14,34 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{min} = 14,58 \text{ }^{\circ}\text{C}$ και $T_{avg} = 14,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ για την πρώτη χρονική περίοδο, και $T_{max} = 17,24 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{min} = 15,89 \text{ }^{\circ}\text{C}$ και $T_{avg} = 16,74 \text{ }^{\circ}\text{C}$ για την δεύτερη χρονική περίοδο.

6.3.2 Μετρήσεις θερμοκρασιών

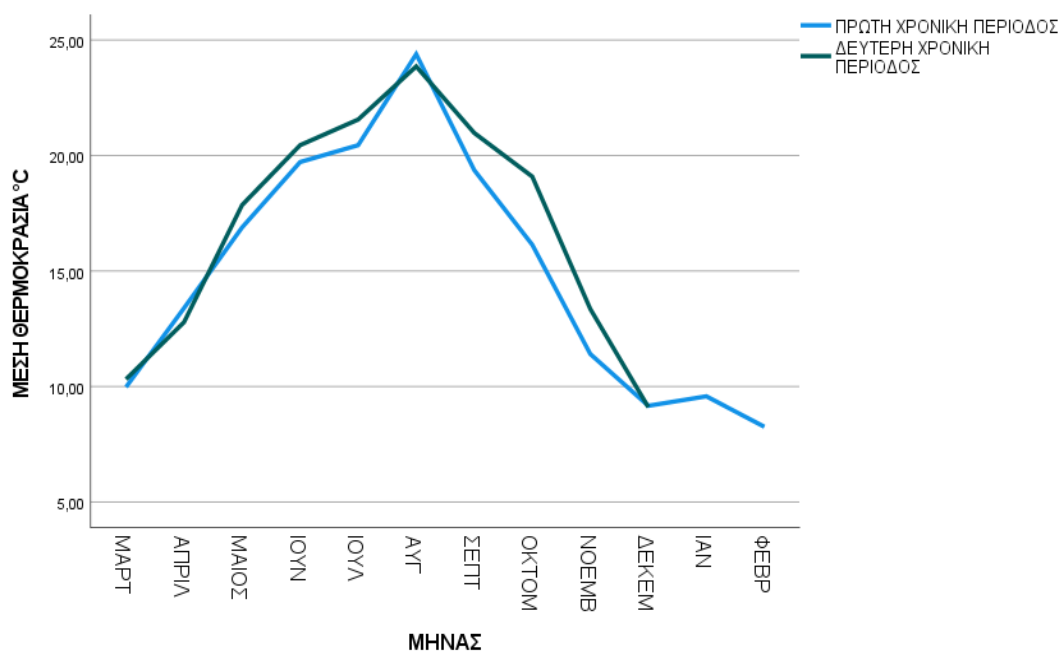
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι μηνιαίες μέσες θερμοκρασίες αέρα που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια των δύο χρονικών περιόδων που μελετήθηκαν. Παρατηρείται ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα σημειώνονται το μήνα Αύγουστο και κυμαίνονται στους 24 με 25 °C και οι χαμηλότερες τους μήνες Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο, αγγίζοντας τους 9 °C.

Μήνας	Μέση θερμοκρασία αέρα (°C)	
	1 ^η χρονική περίοδος	2 ^η χρονική περίοδος
Μάρτιος	9,98	10,32
Απρίλιος	13,40	12,79

Μάιος	16,89	17,86
Ιούνιος	19,72	20,45
Ιούλιος	20,45	21,56
Αύγουστος	24,39	23,86
Σεπτέμβριος	19,37	20,98
Οκτώβριος	16,14	19,09
Νοέμβριος	11,41	13,36
Δεκέμβριος	9,17	9,11
Ιανουάριος	9,58	–
Φεβρουάριος	8,26	–
Μέση τιμή	14,90	16,74

(Πίνακας 6.3.2.1: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασία αέρα)

Η γενικότερη συμπεριφορά της διακύμανσης της θερμοκρασίας είναι σχεδόν ίδια και για τις δύο εξεταζόμενες χρονικές περιόδους. Τα αποτελέσματα αυτής της διακύμανσης παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα.

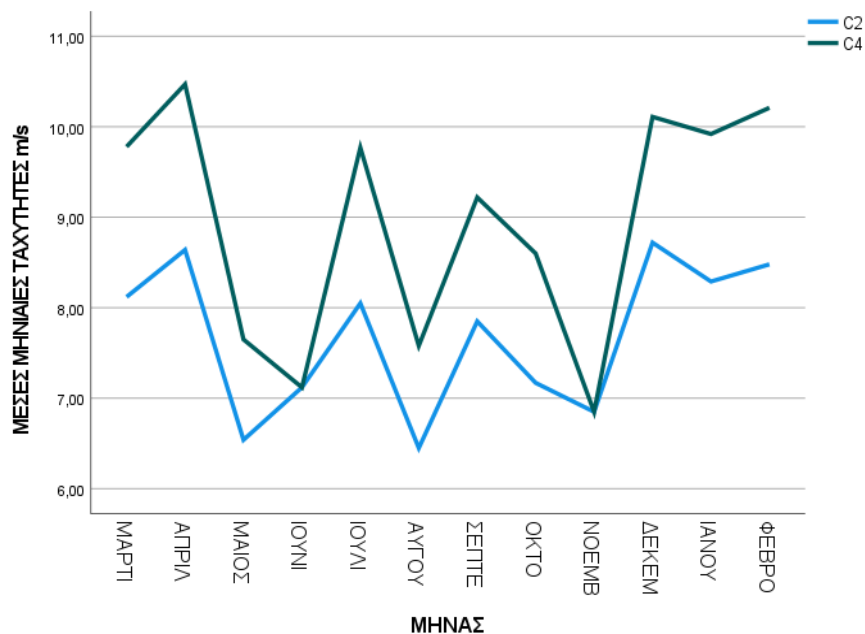


Έπειτα από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν για την εύρεση της μέσης μηνιαίας, αλλά και ετήσιας, ταχύτητας ανέμου, κατά τις δυο χρονικές περιόδους, προέκυψαν οι ακόλουθοι πίνακες με τα αποτελέσματα, στα οποία φαίνεται η εποχιακή διακύμανση των τιμών αυτών. Μελετώντας τα αποτελέσματα για τις δύο χρονικές περιόδους, παρατηρούμε ότι οι τιμές της ταχύτητας ακολουθούν περίπου την ίδια συμπεριφορά από τον ένα χρόνο στον άλλο. Όπως φαίνεται, οι πιο υψηλές τιμές ταχύτητας σημειώνονται στην αρχή της εαρινής περιόδου (Μάρτιο – Απρίλιο) και στα μέσα της καλοκαιρινής (Ιούλιο – Αύγουστο) και χειμερινής περιόδου (Δεκέμβριο – Φεβρουάριο). Από τον υπολογισμό των ετήσιων ταχυτήτων φαίνεται ότι το εύρος τους δεν αλλάζει σημαντικά από τη μια χρονική περίοδο στην άλλη. Όσον αφορά στις διαφορές των ταχυτήτων του ανέμου μεταξύ των δύο ανεμομέτρων κυμαίνονται ανάμεσα σε μία με δύο μονάδες, με το ανεμόμετρο C4 να σημειώνει πάντα τις μεγαλύτερες ταχύτητες λόγω του ύψους στο οποίο βρίσκεται.

Μήνας	1 ^η χρονική περίοδος	
	C2 (10m)	C4 (30m)
Μάρτιος	8,12	9,78
Απρίλιος	8,64	10,47
Μάιος	6,54	7,65
Ιούνιος	7,12	8,39
Ιούλιος	8,05	9,77
Αύγουστος	6,45	7,58
Σεπτέμβριος	7,85	9,22
Οκτώβριος	7,17	8,60
Νοέμβριος	6,85	8,21
Δεκέμβριος	8,72	10,11
Ιανουάριος	8,29	9,92
Φεβρουάριος	8,48	10,21
Μέση ετήσια ταχύτητα	7,69	9,16

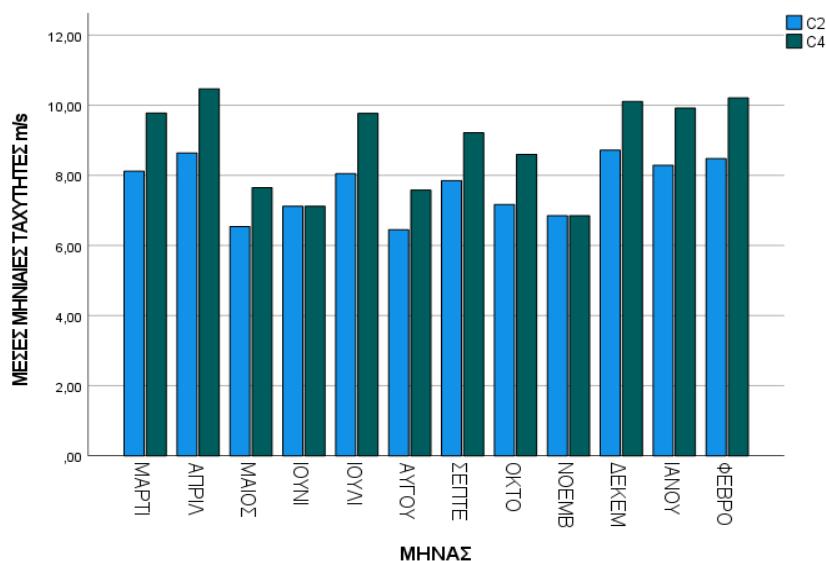
(Πίνακας 6.3.2.3: Μέσες μηνιαίες και ετήσιες ταχύτητες ανέμου 1^{ης} χρονικής περιόδου)

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των τιμών του C2 ανεμόμετρου και του C4 ανεμόμετρου για την πρώτη χρονική περίοδο των μετρήσεων με βάση τις μέσες μηνιαίες τιμές που παρατηρήθηκαν.



(Γράφημα 6.3.2.4: Μέσες μηνιαίες και ετήσιες ταχύτητες ανέμου 1^{ης} χρονικής περιόδου)

Από την αναπαράσταση των δεδομένων σε συστάδες παρατηρείται πως οι υψηλότερες μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμων της πρώτης χρονικής περιόδου εμφανίζονται τις περιόδους Μαρτίου-Απριλίου και Δεκεμβρίου έως Φεβρουαρίου.



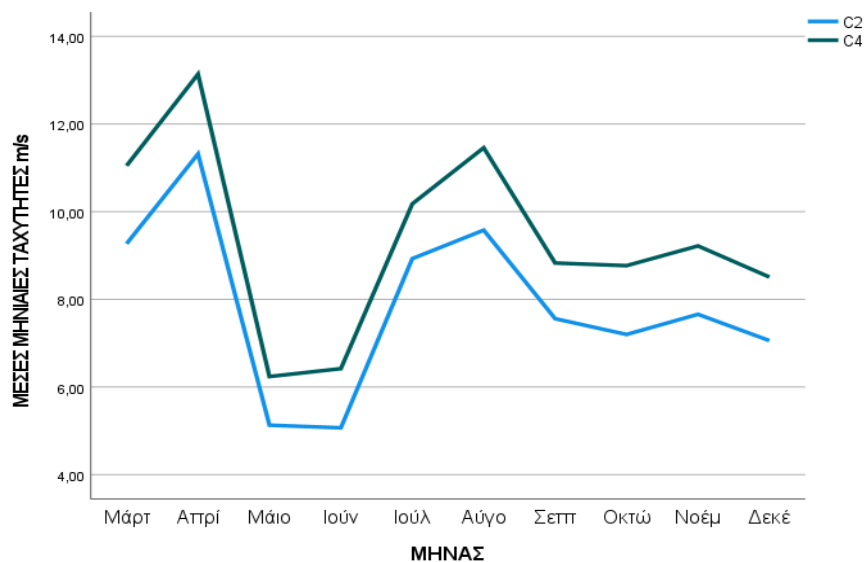
(Γράφημα 6.3.2.4: Συστάδες τιμών 1^{ης} χρονικής περιόδου)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές που καταγράφηκαν την δεύτερη χρονική περίοδο.

Μήνας	2 ^η χρονική περίοδος	
	C2 (10m)	C4 (30m)
Μάρτιος	9,27	11,05
Απρίλιος	11,32	13,14
Μάιος	5,13	6,24
Ιούνιος	5,07	6,42
Ιούλιος	8,93	10,18
Αύγουστος	9,58	11,46
Σεπτέμβριος	7,56	8,83
Οκτώβριος	7,20	8,77
Νοέμβριος	7,66	9,22
Δεκέμβριος	7,06	8,51
Ιανουάριος	—	—
Φεβρουάριος	—	—
Μέση ετήσια ταχύτητα	7,69	9,16

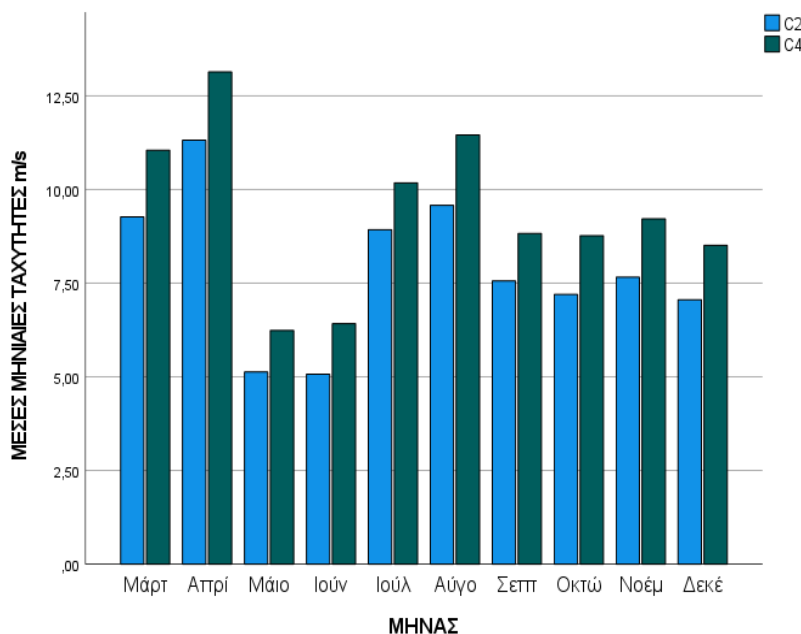
(Πίνακας 6.3.2.5: Μέσες μηνιαίες και ετήσιες ταχύτητες ανέμου 2^{ης} χρονικής περιόδου)

Από την ανάλυση των δεδομένων της δεύτερης χρονικής περιόδου προκύπτει η γραφική αναπαράσταση των ανεμόμετρων.



(Γράφημα 6.3.2.6: Μέσες μηνιαίες και ετήσιες ταχύτητες ανέμου 2^{ης} χρονικής περιόδου)

Από την ομαδοποίηση των τιμών προκύπτουν οι παρακάτω συστάδες δεδομένων για την δεύτερη χρονική περίοδο.



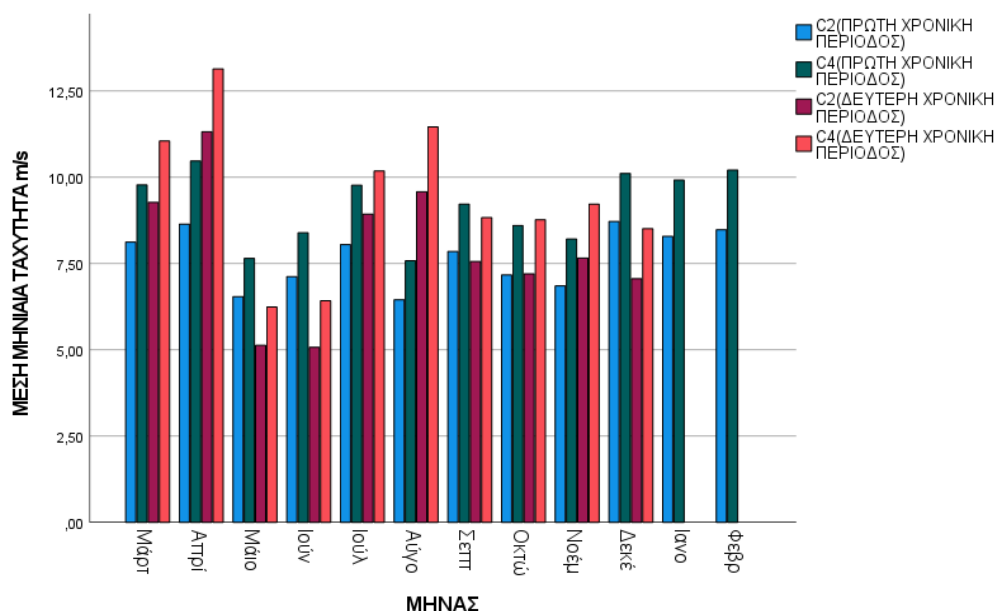
(Γράφημα 6.3.2.7: Συστάδες τιμών ανέμου 2^{ης} χρονικής περιόδου)

Από τις συστάδες παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες τιμές καταγράφονται τις περιόδους Μαρτίου-Απριλίου και Ιουλίου-Αυγούστου. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των τιμών των δύο χρονικών περιόδων με σκοπό την παρατήρηση των διακυμάνσεων τους.



(Γράφημα 6.3.2.8: Συγκρίσεις τιμών και των δύο χρονικών περιόδων)

Από την μελέτη της γραφικής παράστασης σύγκρισης των μέσων μηνιαίων τιμών των ταχυτήτων του ανέμου και για τις δύο χρονικές περιόδους προκύπτει πως το μοτίβο αυξομειώσεων είναι ίδιο εκτός από ένα μικρό χρονικό διάστημα μεταξύ Αυγούστου-Σεπτεμβρίου όπου στην πρώτη χρονική περίοδο παρουσιάζεται μείωση των τιμών ενώ στην δεύτερη αύξηση. Επίσης επιβεβαιώνεται η επαναληψιμότητα των τιμών τους. Από τα συγκεντρωτικά ιστογράμματα παρατηρούνται οι μήνες με τις μεγαλύτερες και τις μικρότερες διακυμάνσεις.



Γράφημα 6.3.2.9:(Ιστόγραμμα τιμών και των δύο χρονικών περιόδων)

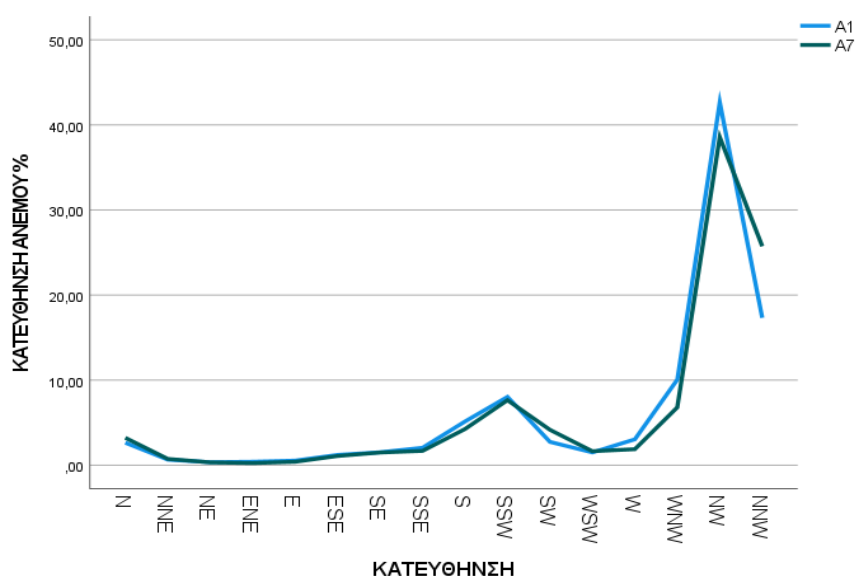
Οι απεικονίσεις των ιστογραμμάτων και των δύο χρονικών περιόδων μας δείχνουν πως τόσο οι υψηλότερες όσο και οι χαμηλότερες μετρήσεις παρουσιάζουν επαναληψιμότητα. Συγκεκριμένα οι υψηλότερες μετρήσεις παρουσιάζονται και στις δύο χρονικές περιόδους τους μήνες Μάρτιο-Απρίλιο και Σεπτέμβριο ενώ οι χαμηλότερες Μάιο και Ιούνιο. Τόσο οι διακυμάνσεις όσο και τα ιστογράμματα των μετρήσεων επιβεβαιώνουν την επαναληψιμότητα των μέσων μηνιαίων ταχυτήτων των ανέμων στο σύνολο της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου.

Από την επεξεργασία των δεδομένων που έδωσαν οι ανεμοδείκτες προέκυψαν τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Στον πρώτο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πρώτης χρονικής περιόδου.

Έτος 2015 – 2016						
Region	Direction	Angle	% (A1)	V _{arg} (C2)	% (A7)	V _{arg} (C4)
1	N	348,75–11,25	2,65	7,07	3,23	5,54
2	NNE	11,25–33,75	0,66	2,80	0,75	3,00
3	NE	33,75–56,25	0,36	1,73	0,34	2,05
4	ENE	56,25–78,75	0,42	2,79	0,26	2,67
5	E	78,75–101,25	0,55	4,35	0,41	6,05
6	ESE	101,25–123,75	1,22	4,99	1,09	6,35
7	SE	123,75–146,25	1,53	5,61	1,50	4,49
8	SSE	146,25–168,75	2,06	8,73	1,69	9,97
9	S	168,75–191,25	5,15	7,75	4,26	10,12
10	SSW	191,25–213,75	8,04	6,21	7,65	7,99
11	SW	213,75–236,25	2,75	4,50	4,17	5,93
12	WSW	236,25–258,75	1,51	3,30	1,65	4,27
13	W	258,75–281,25	3,05	2,49	1,89	3,53
14	WNW	281,25–303,75	10,07	3,63	6,81	4,09
15	NW	303,75–326,25	42,65	7,06	38,56	8,16
16	NNW	326,25–348,75	17,33	6,93	25,74	8,08

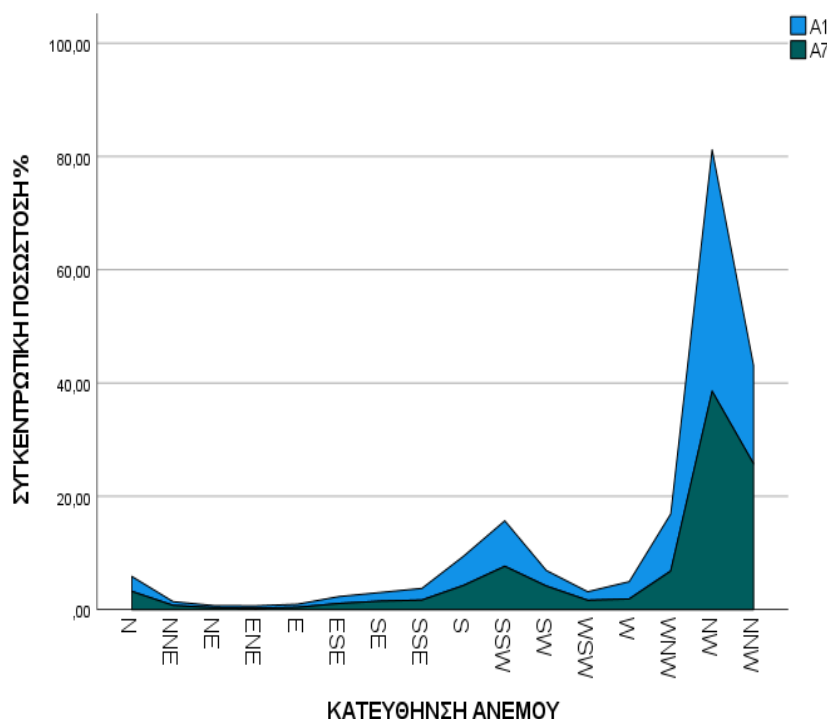
(Πίνακας 6.3.3.10: Ανεμολόγιο διευθύνσεων 1^{ης} περιόδου)

Από την ανάλυση των ποσοστρώσεων και την παρουσίαση τους σε γράφημα προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα.



(Γράφημα 6.3.3.11: Ανεμολόγιο διευθύνσεων 1^{ης} περιόδου)

Από το παραπάνω γράφημα διεύθυνσης ανέμου για τη χρονική περίοδο 2015 – 2016 φαίνεται ότι στη συγκεκριμένη θέση επικρατούν βορειοδυτικοί ((A1): 42,65% & (A7): 38,56%) και βόρειοι – βορειοδυτικοί ((A1): 17,33% & (A7): 25,74%) άνεμοι και σε πολύ μικρότερη κλίμακα δυτικοί – νοτιοδυτικοί ((A1): 10,07% & (A7): 6,81%) και νότιοι – νοτιοδυτικοί ((A1): 8,04% & (A7): 7,65%). Στο παρακάτω γράφημα διατυπώνονται τα συγκεντρωτικά ποσοστά των κατευθύνσεων της πρώτης χρονικής περιόδου.



(Γράφημα 6.3.3.12: Ανεμολόγιο διευθύνσεων 1^{ης} περιόδου)

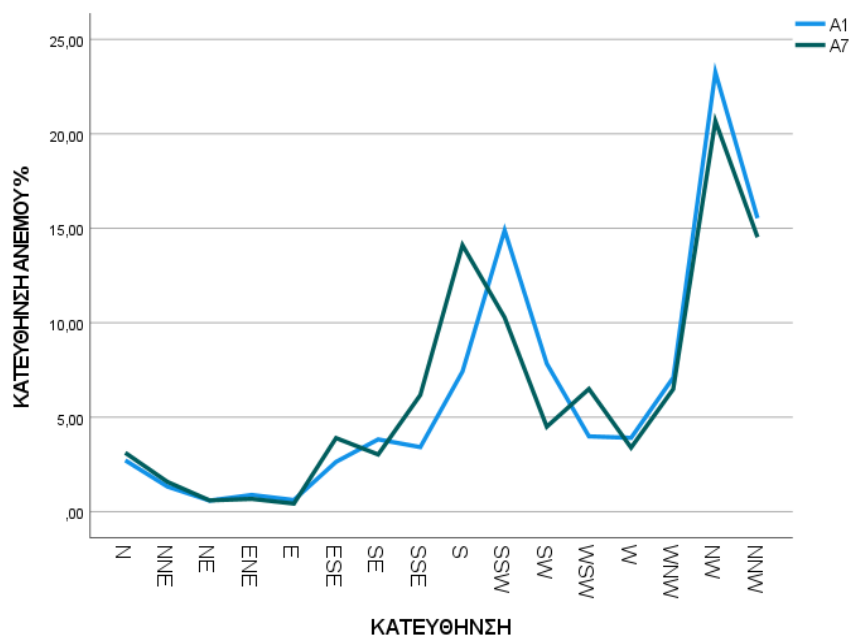
Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει πως οι άνεμοι με κατεύθυνση προς τον βορρά για το ανεμόμετρο A1 αγγίζουν το 80% ενώ για το ανεμόμετρο A7 40%. Επίσης βλέπουμε πως οι άνεμοι με νότια κατεύθυνση κατέχουν πολύ μικρά ποσοστά που κυμαίνονται κάτω από το 5%. Τέλος ένα σημαντικό ποσοστό τις τάξης του 17% καταλαμβάνουν οι άνεμοι με κατεύθυνση προς την δύση. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων διεύθυνσης ανέμου της πρώτης χρονικής περιόδου δείχνουν ότι ο προσανατολισμός των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου για τη βέλτιστη χωροθέτηση και κατ' επέκταση ενεργειακή αποδοτικότητα της επένδυσης είναι βορειοδυτικός και βόρειος – βορειοδυτικός.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις των ανεμοδεικτών της δεύτερης χρονικής περιόδου.

Έτος 2016 – 2017						
Region	Direction	Angle	% (A1)	V _{arg} (C2)	% (A7)	V _{arg} (C4)
1	N	348,75–11,25	2,72	3,38	3,12	4,24
2	NNE	11,25–33,75	1,33	2,82	1,58	2,80
3	NE	33,75–56,25	0,59	2,02	0,60	1,87
4	ENE	56,25–78,75	0,89	2,44	0,68	2,59
5	E	78,75–101,25	0,62	2,78	0,43	3,65
6	ESE	101,25–123,75	2,64	5,92	3,90	5,71
7	SE	123,75–146,25	3,83	8,33	3,03	9,43
8	SSE	146,25–168,75	3,42	9,26	6,18	11,50
9	S	168,75–191,25	7,42	8,01	14,11	10,67
10	SSW	191,25–213,75	14,90	6,25	10,28	7,94
11	SW	213,75–236,25	7,84	5,18	4,5	6,50
12	WSW	236,25–258,75	3,99	4,82	6,5	5,89
13	W	258,75–281,25	3,91	3,33	3,39	3,95
14	WNW	281,25–303,75	7,10	3,37	6,49	4,34
15	NW	303,75–326,25	23,26	6,92	20,68	7,89
16	NNW	326,25–348,75	15,54	7,29	14,53	8,62

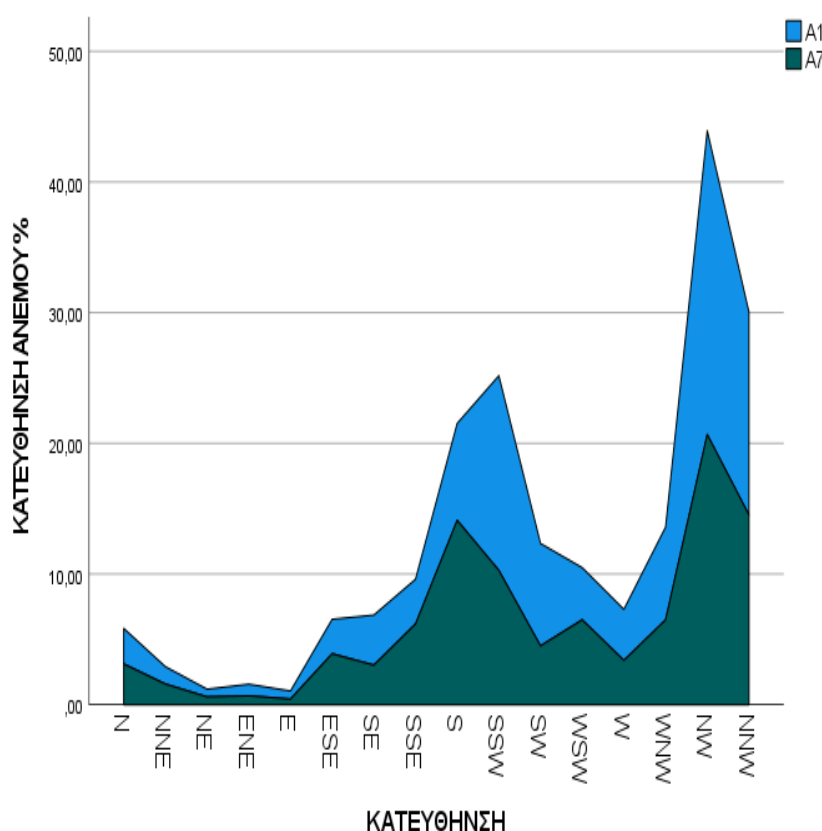
(Πίνακας 6.3.3.13: Ανεμολόγιο διευθύνσεων 2^{ης} περιόδου)

Από την επεξεργασία των δεδομένων της δεύτερης χρονικής περιόδου για τους ανεμοδείκτες A1 και A7 προκύπτει τα παρακάτω γράφημα.



(Γράφημα 6.3.3.14: Ανεμολόγιο διευθύνσεων 2^{ης} περιόδου)

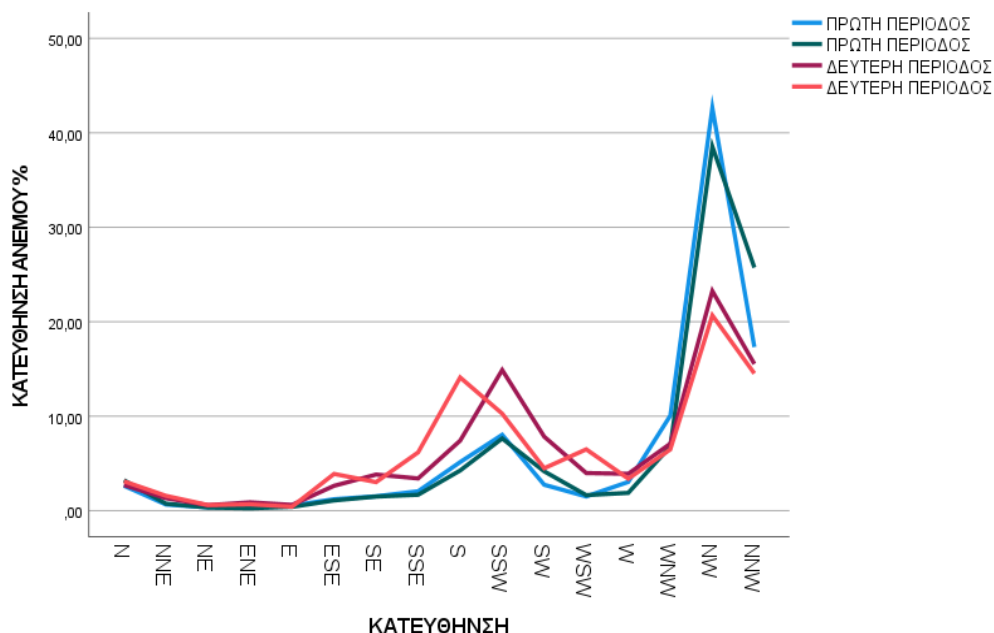
Από το γράφημα διεύθυνσης ανέμου για τη χρονική περίοδο 2016 – 2017 φαίνεται ότι οι επικρατούντες άνεμοι είναι οι βορειοδυτικοί ((A1): 23,26% & (A7): 20,68%) και βόρειοι – βορειοδυτικοί ((A1): 15,54% & (A7): 14,53%), οι νότιοι – νοτιοδυτικοί ((A1): 14,9% & (A7): 10,28) και νότιοι ((A1): 7,42% & (A7): 14,11%). Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της κατεύθυνσης των ανέμων.



(Γράφημα 6.3.3.15: Ανεμολόγιο διευθύνσεων 2^{ης} περιόδου)

Φαίνεται πως την δεύτερη χρονική περίοδο οι άνεμοι με κατεύθυνση των βορρά με ποσοστά περίπου 45% για το ανεμόμετρο A1 και 21% για το ανεμόμετρο A2. Επίσης βλέπουμε και νότιους ανέμους να έχουν ποσοστό πάνω από 20% για το ανεμόμετρο A1. Σε αντίθεση οι ανατολικοί άνεμοι καταλαμβάνουν ένα πολύ μικρό ποσοστό γύρω στο 4%. Από τα παραπάνω στοιχεία και για την δεύτερη χρονική περίοδο η βέλτιστη χωροθέτηση και κατ' επέκταση ενεργειακή αποδοτικότητα της επένδυσης είναι βορειοδυτικός και βόρειος – βορειοδυτικός.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων διεύθυνσης ανέμου δείχνουν ότι ο προσανατολισμός των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου για τη βέλτιστη χωροθέτηση και κατ' επέκταση ενεργειακή αποδοτικότητα της επένδυσης είναι βορειοδυτικός και βόρειος – βορειοδυτικός. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ανεμόμετρων και για τις δύο χρονικές περιόδους.



(Γράφημα 6.3.3.16: Ανεμολόγιο διευθύνσεων συνολικού χρόνου)

Φαίνεται πως οι άνεμοι που επικρατούν και στο σύνολο της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου έχουν την ίδια κατεύθυνση. Η εγκυρότητα αυτής της πρόβλεψης επιβεβαιώνεται από την ήδη εγκατάσταση του υπό μελέτη αιολικού πάρκου, του οποίου οι ανεμογεννήτριες είναι τοποθετημένες κάθετα ως προς αυτή τη διεύθυνση του ανέμου και πιο συγκεκριμένα, η απόσταση που έχουν μεταξύ τους είναι ίση ή λίγο μεγαλύτερη από το τριπλάσιο μήκος της διαμέτρου του ρότορα της ανεμογεννήτριας. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που το αιολικό πάρκο δεν είχε εγκατασταθεί η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και παράλληλα προς τη διεύθυνση του ανέμου, με τη διαφορά ότι η απόσταση μεταξύ τους θα έπρεπε να είναι τουλάχιστον 5 φορές τη διάμετρο του ρότορα, για την ελαχιστοποίηση των επιδράσεων σκίασης των ανεμογεννητριών.

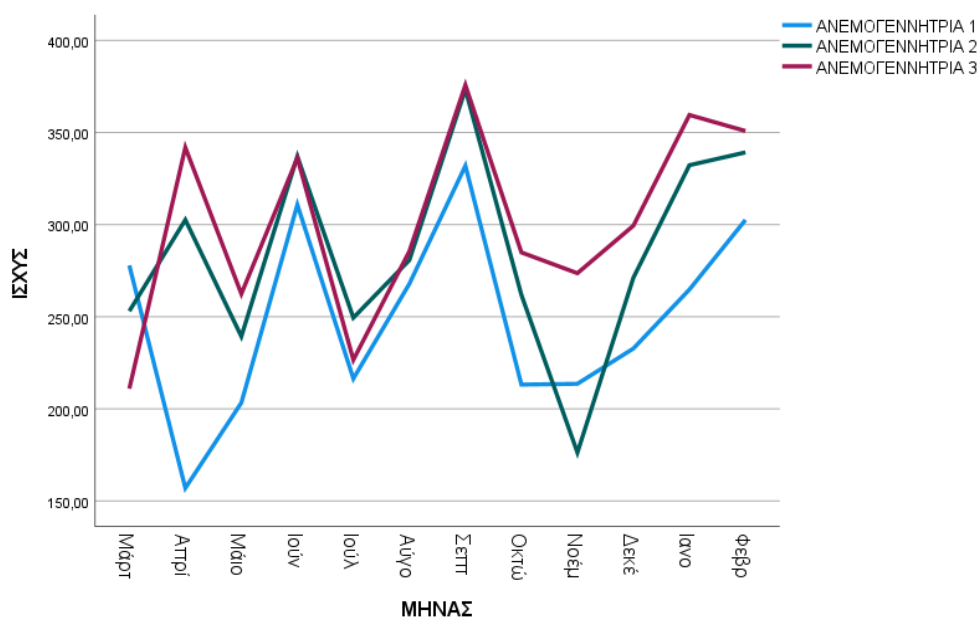
6.3.3 Μετρήσεις ισχύος

Από την καταγραφή της ισχύος των ανεμογεννητριών για τις δύο χρονικές περιόδους και από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν για την εύρεση των μέσων μηνιαίων τιμών αυτής για κάθε ανεμογεννήτρια, αλλά και για το αιολικό πάρκο στο σύνολό του, προέκυψαν οι ακόλουθοι πίνακες.

Έτος 2015 – 2016			
Μήνας / Α/Γ	Μέση ισχύς (Kw)		
	1	2	3
Μάρτιος	277,92	253,07	210,99
Απρίλιος	157,03	302,63	341,92
Μάιος	203,34	239,34	262,44
Ιούνιος	310,84	337,10	336,19
Ιούλιος	216,45	249,49	226,63
Αύγουστος	267,91	280,76	285,60
Σεπτέμβριος	331,97	373,40	375,82
Οκτώβριος	213,20	261,89	284,94
Νοέμβριος	213,63	176,31	273,66
Δεκέμβριος	232,80	271,25	299,47
Ιανουάριος	264,81	332,29	359,55
Φεβρουάριος	302,58	339,24	350,86
Ετήσια ισχύς Α/Γ	248,91	255,97	300,67

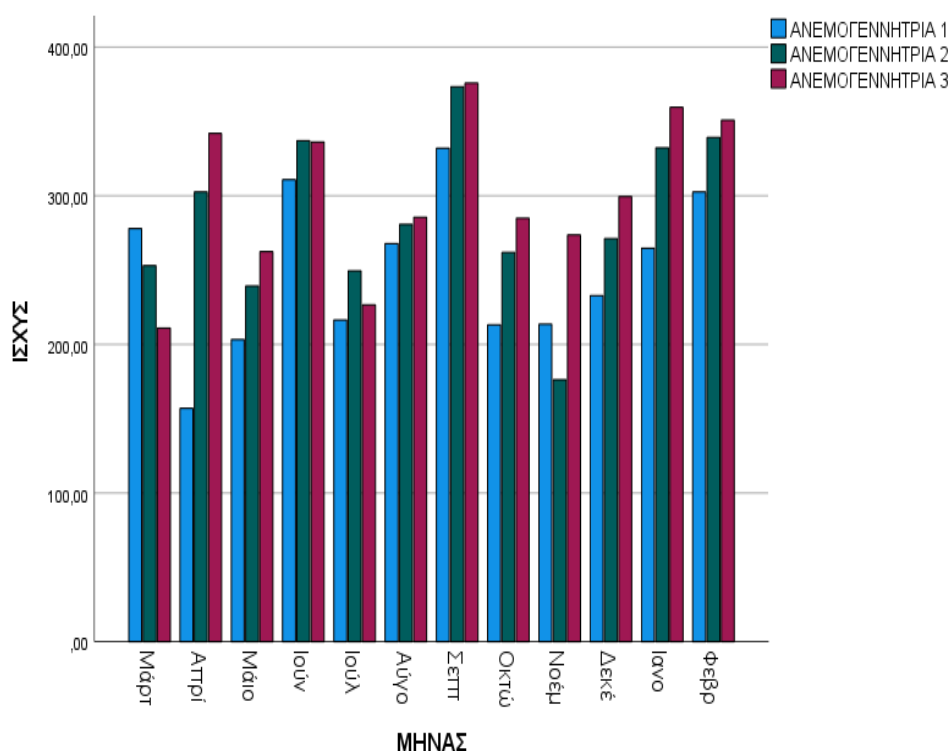
(Πίνακας 6.3.3.17: Μηνιαία παραγόμενη ισχύς 1^{ης} περιόδου)

Από την μελέτη δεδομένων ισχύος της πρώτης χρονικής περιόδου προκύπτει το παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 6.3.3.18: (Μηνιαία παραγόμενη ισχύς 1^{ης} περιόδου)

Το παραπάνω γράφημα δείχνει πως η μηνιαία παραγόμενη ισχύς των τριών ανεμογεννητριών ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο διακύμανσης σε όλη την εξεταζόμενη χρονική εκτός έναν μήνα. Τον μήνα Απρίλιο της πρώτης χρονικής περιόδου η ανεμογεννήτρια 1 καταγράφει την χαμηλότερη μέτρηση τού έτους. Επίσης φαίνεται πως η υψηλότερες τιμές των ανεμογεννητριών καταγράφονται την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου.



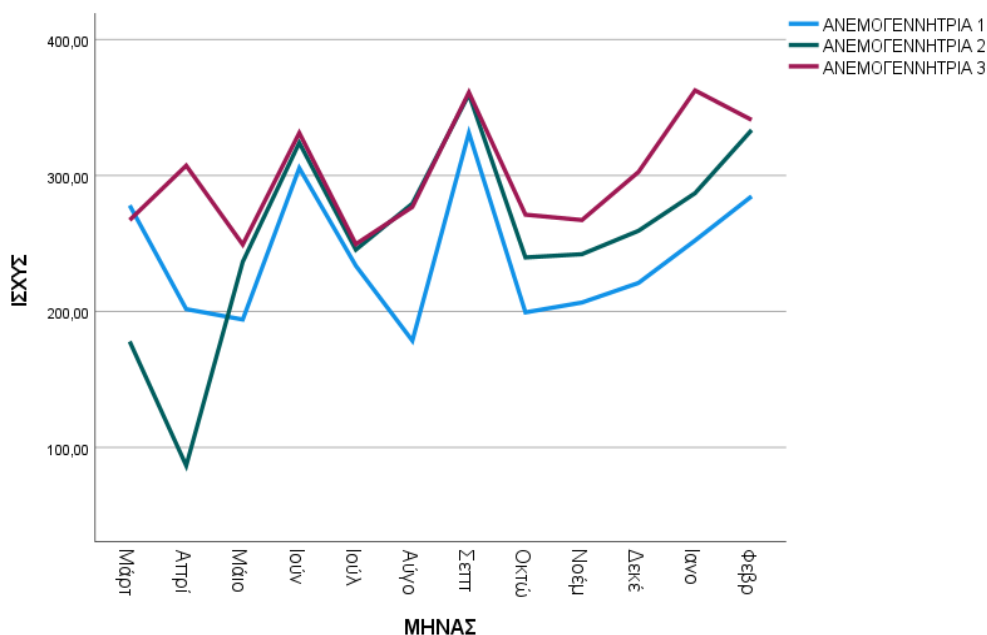
Γράφημα 6.3.3.18: (Μηνιαία παραγόμενη ισχύς 1^{ης} περιόδου)

Οι συστάδες δεδομένων της πρώτης χρονικής περιόδου δείχνουν πως οι τιμές της ισχύος για τις ανεμογεννήτριες παράγουν σταθερά πάνω από 200 μονάδες σε όλη την διάρκεια του έτους εκτός από δύο μήνες. Βλέπουμε πως η ανεμογεννήτρια 1 την περίοδο του Απριλίου και η ανεμογεννήτρια 2 την περίοδο του Νοεμβρίου παράγουν κάτω από 200 μονάδες αλλά ταυτόχρονα πάνω από 150 πού είναι ένας βιώσιμος αριθμός. Η γενικότερη απόδοση της πρώτης χρονικής είναι εξαιρετική και αυτό καθιστά την βιωσιμότητα τους πραγματική.

Έτος 2016 – 2017			
Μήνας / Α/Γ	Μέση ισχύς (Kw)		
	1	2	3
Μάρτιος	278,05	177,96	267,25
Απρίλιος	201,75	86,62	307,33
Μάιος	194,10	236,56	249,24
Ιούνιος	305,52	324,13	331,37
Ιούλιος	233,65	245,45	249,56
Αύγουστος	178,52	279,40	276,88
Σεπτέμβριος	331,35	359,70	361,19
Οκτώβριος	199,36	239,77	271,23
Νοέμβριος	206,62	242,16	267,27
Δεκέμβριος	221,02	259,37	302,67
Ιανουάριος	252,24	287,04	362,63
Φεβρουάριος	284,73	333,46	340,93
Ετήσια ισχύς Α/Γ	249,53	283,18	299,16

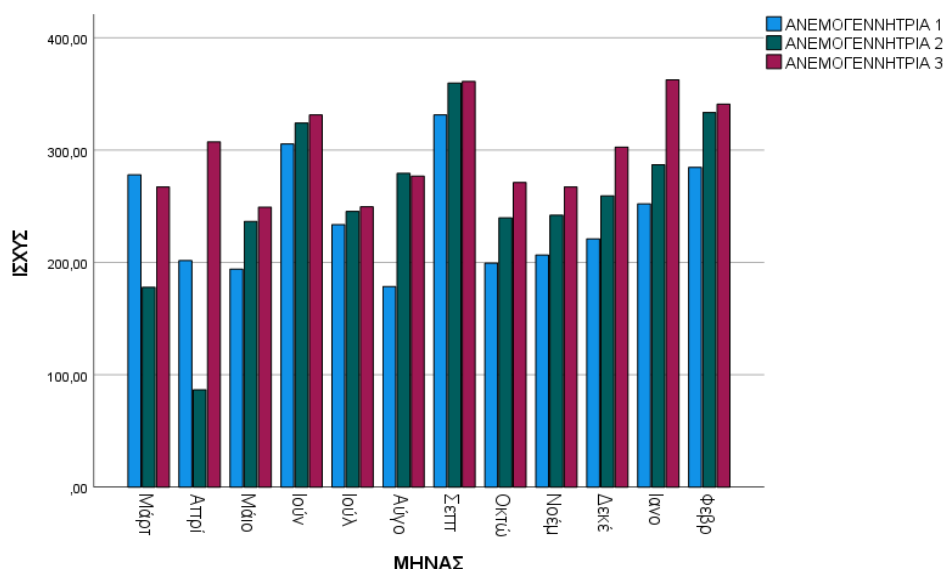
(Πίνακας 6.3.3.19: Μηνιαία παραγόμενη ισχύς 2^{ης} περιόδου)

Από τις μετρήσεις της δεύτερης χρονικής περιόδου προκύπτει το παρακάτω γράφημα.



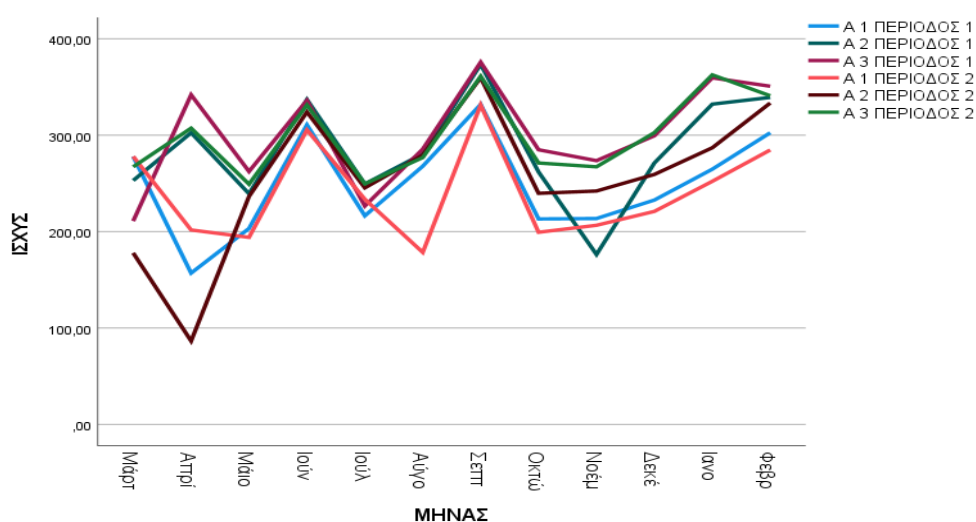
Γράφημα 6.3.3.20: (Μηνιαία παραγόμενη ισχύς 2^{ης} περιόδου)

Από το παραπάνω γράφημα φαίνεται πώς η χαμηλότερη τιμή καταγράφεται από την ανεμογεννήτρια 2 την περίοδο του Απριλίου ενώ οι υψηλότερες τιμές καταγράφονται Αυγούστου-Σεπτεμβρίου και για τις ανεμογεννήτριες.



Γράφημα 6.3.3.21: (Μηνιαία παραγόμενη ισχύς 2^{ης} περιόδου)

Από τις συστάδες των μετρήσεων της δεύτερης χρονικής περιόδου προκύπτει πως η μόνη ανεμογεννήτρια που καταγράφει πολύ χαμηλές μετρήσεις είναι η ανεμογεννήτρια 2 την περίοδο του Απριλίου. Από τις συγκρίσεις των τιμών και για τις δύο χρονικές περιόδους που παρουσιάζεται παρακάτω προκύπτει πώς οι διακυμάνσεις των τιμών ακολουθούν το ίδιο μοτίβο σε ισχύς με τις ανώτερες και χαμηλότερες μετρήσεις να παρουσιάζονται τις ίδιες χρονικές περιόδους (Απρίλιο χαμηλότερες Αύγουστο-Σεπτέμβρη οι υψηλότερες). Η επαναληψιμότητα των μετρήσεων φαίνεται παρακάτω.



Γράφημα 6.3.3.22: (Συγκρίσεις ισχύος)

6.3.4 Συντελεστής χωρητικότητας

Ο συντελεστής χωρητικότητας, ο οποίος αποτελεί ένα μέτρο της ετήσιας ενεργειακής απόδοσης της ανεμογεννήτριας, υπολογίστηκε για κάθε μήνα λειτουργίας κάθε ανεμογεννήτριας. Από τις μέσες μηνιαίες τιμές που προέκυψαν υπολογίστηκε ο ετήσιος συντελεστής χωρητικότητας κάθε ανεμογεννήτριας, ο οποίος, όπως φαίνεται από τους ακόλουθους πίνακες, κυμαίνεται από 29 έως 35% για την χρονική περίοδο 2015 – 2016 και από 29 – 36% για τη χρονική περίοδο 2016 – 2017. Τα ποσοστά αυτά υποδηλώνουν την καλή σχεδίαση και κατασκευή των ανεμογεννητριών, πράγμα που συμβάλλει καθοριστικά στη βιώσιμη λειτουργία του Α/Π.

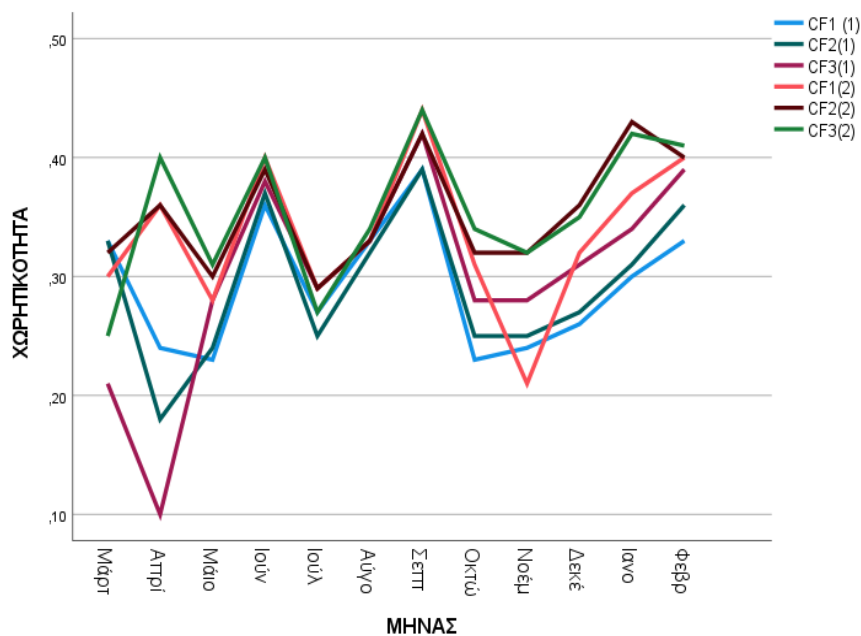
Έτος 2015 – 2016						
Μήνας	Μέση παραγόμενη ισχύς – Συντελεστής χωρητικότητας					
	A/Γ 1	CF 1	A/Γ 2	CF 2	A/Γ 2	CF 2
Μάρτιος	278,05	0,33	277,92	0,33	177,96	0,21
Απρίλιος	201,75	0,24	157,03	0,18	86,62	0,10
Μάιος	194,10	0,23	203,34	0,24	236,56	0,28
Ιούνιος	305,52	0,36	310,84	0,37	324,13	0,38
Ιούλιος	233,65	0,27	216,45	0,25	245,45	0,29
Αύγουστος	178,52	0,33	267,91	0,32	279,40	0,33
Σεπτέμβριος	331,35	0,39	331,97	0,39	359,70	0,42
Οκτώβριος	199,36	0,23	213,20	0,25	239,77	0,28
Νοέμβριος	206,62	0,24	213,63	0,25	242,16	0,28
Δεκέμβριος	221,02	0,26	232,80	0,27	259,37	0,31
Ιανουάριος	252,24	0,30	264,81	0,31	287,04	0,34
Φεβρουάριος	284,73	0,33	302,58	0,36	333,46	0,39
Ετήσιος CF		0,29		0,28		0,30

(Πίνακας 6.3.4.1: Μηνιαία και ετήσιος υπολογισμός του συντελεστή χωρητικότητας 1^{ης} περιόδου)

Έτος 2016 – 2017						
Μήνας	Μέση παραγόμενη ισχύς – Συντελεστής χωρητικότητας					
	A/Γ 1	CF 1	A/Γ 2	CF 2	A/Γ 2	CF 2
Μάρτιος	253,07	0,30	210,99	0,32	267,25	0,25
Απρίλιος	302,63	0,36	341,92	0,36	307,33	0,40
Μάιος	239,34	0,28	262,44	0,30	249,24	0,31
Ιούνιος	337,10	0,40	336,19	0,39	331,37	0,40
Ιούλιος	249,49	0,29	226,63	0,29	249,56	0,27
Αύγουστος	280,76	0,33	285,60	0,33	276,88	0,34
Σεπτέμβριος	373,40	0,44	375,82	0,42	361,19	0,44
Οκτώβριος	261,89	0,31	284,94	0,32	271,23	0,34
Νοέμβριος	176,31	0,21	273,66	0,32	267,27	0,32
Δεκέμβριος	271,25	0,32	299,47	0,36	302,67	0,35
Ιανουάριος	332,29	0,37	359,55	0,43	362,63	0,42
Φεβρουάριος	339,24	0,40	350,86	0,40	340,93	0,41
Ετήσιος CF		0,33		0,35		0,35

(Πίνακας 6.3.4.2: Μηνιαία και ετήσιος υπολογισμός του συντελεστή χωρητικότητας 2^{ης} περιόδου)

Από τις συγκρίσεις των τιμών του συντελεστή χωρητικότητας που παρουσιάζεται παρακάτω φαίνεται η διακύμανση της τιμής του σε σχέση με τον χρόνο.



(Γράφημα 6.3.4.3: Μηνιαίος και ετήσιος υπολογισμός του συντελεστή χωρητικότητας)

6.3.5 Ταχύτητα ανέμου

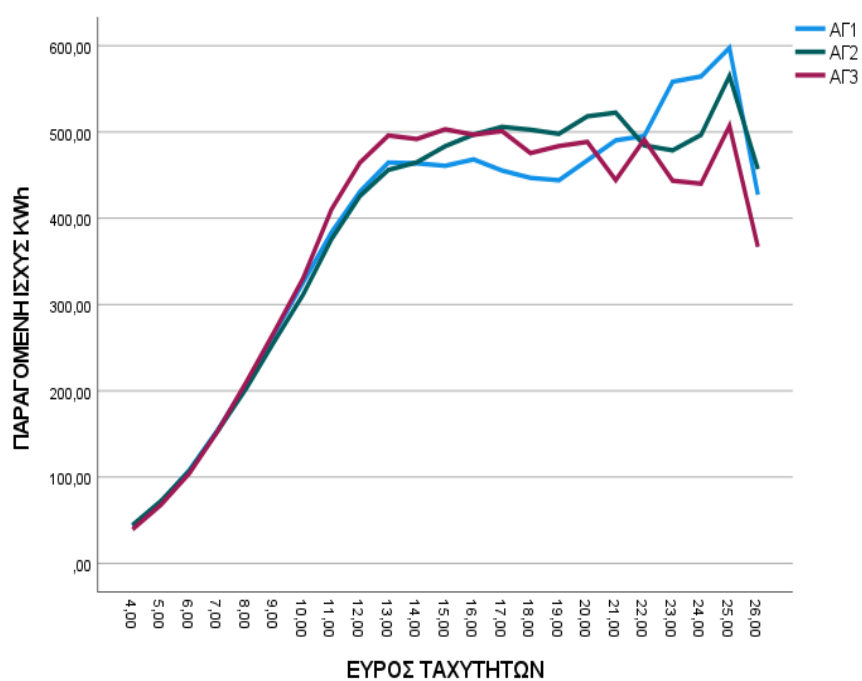
Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας και το σχετικό γράφημα που αφορούν στις καμπύλες ισχύος των τριών ανεμογεννητριών, όπως επίσης και του συνόλου του αιολικού πάρκου. Έτσι λοιπόν, με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, μέχρι τα 13 m/s, παρατηρείται αύξηση και της παραγόμενης ισχύος, όπου στο σημείο αυτό κυμαίνεται από 480 έως 600 kW. Από τα 13 m/s και με την περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας του ανέμου διαπιστώνεται μια σταθερότητα στην παραγόμενη ισχύ, με πολύ μικρές διακυμάνσεις, από όλες τις ανεμογεννήτριες του πάρκου μέχρι και τα 25 m/s, όπου σταματάει και η λειτουργία της ανεμογεννήτριας για λόγους ασφαλής λειτουργίας του.

Εύρος ταχυτήτων (m/sec)	Παραγόμενη ισχύς (kW)		
	A/Γ 1	A/Γ 2	A/Γ 3
4	43,5	44,4	39,5
5	71,0	72,4	67,9
6	108,3	107,0	104,4
7	154,9	153,5	153,6
8	207,4	202,7	210,1
9	266,8	257,9	269,3
10	325,4	311,5	330,4
11	383,8	375,8	410,4
12	431,0	425,8	464,5
13	464,6	456,1	496,0
14	463,8	464,9	491,9
15	460,9	483,6	503,2
16	468,3	497,1	496,9
17	455,4	506,0	501,1
18	446,9	502,7	475,6

19	444,1	497,9	483,8
20	467,2	518,2	488,6
21	490,4	522,5	444,3
22	495,5	484,5	491,3
23	558,3	478,8	443,6
24	564,5	496,7	440,2
25	597,6	565,0	507,1
>26	427,3	457,1	367,0

(Πίνακας 6.3.4.1: Ισχύς σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου)

(Γράφημα 6.3.4.2: Ισχύς σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου)



6.4 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Τα βασικά αποτελέσματα όλων των αναλύσεων που προηγήθηκαν, οι οποίες είχαν σκοπό την αξιολόγηση της βιωσιμότητας ενός εγκατεστημένου αιολικού πάρκου στο Παναχαϊκό όρος, παρουσιάζονται παρακάτω:

Τα αποτελέσματα σχετικά με τις μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου δείχνουν ότι ακολουθούν μια εποχιακή επαναληψιμότητα από τη μία χρονική περίοδο στην άλλη, με τις υψηλότερες τιμές να σημειώνονται στην αρχή της εαρινής περιόδου (Μάρτιο – Απρίλιο) και στα μέσα της καλοκαιρινής (Ιούλιο – Αύγουστο) και χειμερινής περιόδου (Δεκέμβριο – Φεβρουάριο). Όσον αφορά στις ετήσιες ταχύτητες ανέμου παρατηρείται ότι κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα, με τιμή 9,16 m/s το 2015 – 2016 και 9,38 m/s το 2016 – 2017.

Η μέση μηνιαία παραγόμενη ισχύς από το αιολικό πάρκο δεν ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά στις δύο χρονικές περιόδους που εξετάζονται. Πιο συγκεκριμένα το έτος 2015 – 2016 η παραγόμενη ισχύς σχηματίζει τρεις κορυφές μεγίστων τιμών κατά τους μήνες Ιούνιο, Σεπτέμβριο και Φεβρουάριο, ενώ το έτος 2016 – 2017 σχηματίζει δύο κορυφές μεγίστων τιμών κατά τους μήνες Απρίλιο και Αύγουστο. Ο συντελεστής χωρητικότητας και των τριών ανεμογεννητριών, του αιολικού πάρκου κατά τη διάρκεια των περιόδων που μελετήθηκαν δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και η ετήσια τιμή του κυμαίνεται από 29 έως 36%, ανάλογα με την ανεμογεννήτρια και το έτος που εξετάζουμε. Οι τιμές αυτές του συντελεστή χωρητικότητας δηλώνουν το σωστό σχεδιασμό και τη βιώσιμη λειτουργία του αιολικού πάρκου.

Από τις μετρήσεις ισχύος των τριών ανεμογεννητριών αλλά και του αιολικού πάρκου στο σύνολό του, διαπιστώνεται ότι η παραγόμενη ισχύς δεν αυξάνεται συνεχώς με την αύξηση της ταχύτητας ανέμου, αλλά από κάποια τιμή ταχύτητας ανέμου και μετά αρχίζει να σταθεροποιείται, μέχρι την ταχύτητα αποκοπής λειτουργίας, όπου και σταματάει η παραγωγή. Η σταθεροποίηση της παραγόμενης ισχύος αρχίζει περίπου από τη στιγμή που η ταχύτητα ανέμου είναι στα 10 – 13 m/s, ονομαστικής ταχύτητας ανέμου. Από την εφαρμογή του λογισμικού για τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, διαπιστώθηκε ότι το ήδη εγκατεστημένο αιολικό πάρκο λειτουργεί κάτω από συνθήκες βιωσιμότητας, εφόσον η παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια και η καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, αλλά και οι οικονομικοί δείκτες κυμαίνονται σε ικανοποιητικές τιμές που επιτρέπουν την αποδοχή της εξεταζόμενης περίπτωσης ως ενεργειακά και οικονομικά βιώσιμης.

Η υποθετική υποβάθμιση του αιολικού δυναμικού της περιοχής, με τη μείωση της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου, αναμένεται να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις, ιδιαίτερα στις ενεργειακές – περιβαλλοντικές παραμέτρους αλλά και στις

οικονομικές. Πιο συγκεκριμένα, σε σχέση με την περίπτωση της πραγματικότητας, η μείωση της ετήσιας ταχύτητας ανέμου κατά μία μονάδα οδηγεί σε μείωση 15% της παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας αλλά και της καθαρής ετήσιας μείωσης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, ενώ η μείωση της ταχύτητας ανέμου κατά δύο μονάδες οδηγεί σε μείωση 40% των παραμέτρων που αναφέρθηκαν.

6.5 Συμπεράσματα

Με δεδομένη τη σημαντικότητα που έχει η δυνατότητα πρόβλεψης της ενεργειακής παραγωγής, πριν την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου, η ερμηνεία των ανεμολογικών δεδομένων από την υπό μελέτη περιοχή είναι άκρως καθοριστική. Η επιλογή της καταλληλότερης θέσης για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου απαιτεί ένα ελάχιστο και βέλτιστο χρονικό διάστημα, στο οποίο θα πρέπει να γίνουν λεπτομερείς μετρήσεις των ανεμολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής, ώστε να διεξαχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα. Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν είναι αρκετό να γνωρίζουμε απλώς τη μέση ταχύτητα του ανέμου της περιοχής, αλλά απαιτείται η κατά το δυνατόν ακριβέστερη γνώση της κατανομής των συχνοτήτων εμφάνισης των διάφορων ταχυτήτων καθώς και των αντίστοιχων διευθύνσεων.

Η χρήση των αναλυτικών εξισώσεων έχει ως στόχο την πρόβλεψη του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής με βάση ορισμένα στοιχεία μετρήσεων. Η ακριβής γνώση της ποιότητας του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής αποτελεί ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα, που συχνά σχετίζεται με την επιτυχία ή αποτυχία μιας αιολικής επένδυσης.

Η έγκυρη αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μια περιοχής είναι αναγκαίο να συνοδεύεται και από σωστό σχεδιασμό χωροθέτησης και κατασκευής των ανεμογεννητριών, όπως επίσης και από τον αναγκαίο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, προκειμένου να επιτυγχάνεται η βέλτιστη ενεργειακή παραγωγή και η βιώσιμη λειτουργία του αιολικού πάρκου. Η υψηλή ενεργειακή απόδοση αποτελεί ίσως το βασικότερο παράγοντα βιωσιμότητας και αποτελεσματικότητας μιας αιολικής εγκατάστασης. Καθοριστική σημασία στην ενεργειακή συμπεριφορά μιας αιολικής επένδυσης έχει η τιμή του συντελεστή χωρητικότητας, γεγονός που υπογραμμίζει την αναγκαιότητα σωστής αλληλεπίδρασης του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των υποψήφιων προς εγκατάσταση ανεμογεννητριών.

Το ήδη εγκατεστημένο αιολικό πάρκο στο Παναχαϊκό όρος πληροί όλες τις προϋποθέσεις για σωστή και βιώσιμη λειτουργία, εφόσον συνδυάζει τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη με επιτυχημένη οικονομική πολιτική. Το υπό μελέτη αιολικό πάρκο σε όλη τη διάρκεια ζωής του, που είναι γύρω στα 20 έτη, θα έχει μειώσει τις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου κατά 209.960 t CO₂, συμβάλλοντας στην προώθηση των «πράσινων» μορφών ενέργειας. Η πολιτική για ενίσχυση των

αιολικών πάρκων με ανεμογεννήτριες μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, συνήθως αποτελεί συμφέρουσα απόφαση, αν είναι δυνατή η κάλυψη του αρχικού κόστους της επένδυσης από την εκάστοτε επιχείρηση. Ωστόσο, η επιλογή πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το αιολικό δυναμικό, αλλά και με τις τοπογραφικές συνθήκες της υπό μελέτη περιοχής.

Η ύπαρξη μέτρων οικονομικής στήριξης μέσω επιδοτήσεων και επιχορηγήσεων, ειδικά σε περιοχές όπου χαρακτηρίζονται από υψηλό αιολικό δυναμικό, είναι εξαιρετικά σημαντική και αποτελεί ένα ελκυστικό κίνητρο, αφού με αυτό τον τρόπο ενισχύεται η δυνατότητα επένδυσης έργων ανανεώσιμης ενέργειας. Ακόμη και στην περίπτωση του εν λόγω εξεταζόμενου αιολικού πάρκου, που η επένδυση χαρακτηρίζεται βιώσιμη ακόμη και με μηδενικές επιδοτήσεις, η συμβολή της οικονομικής ενίσχυσης βοηθά στην άμεση περίοδο αποπληρωμής του κεφαλαίου αλλά και στην κάλυψη οποιωνδήποτε έκτακτων εξόδων παρουσιαστούν. Μία ενδεχόμενη μείωση της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου στην εξεταζόμενη περιοχή, μπορεί να δημιουργήσει από μικρής έως μεγάλης κλίμακας επιπτώσεις, ανάλογα με την τάξη της μείωσης που θα σημειωθεί. Στην περίπτωση του αιολικού πάρκου που μελετάται, μία μείωση της ταχύτητας ανέμου από μία μονάδα και πάνω προκαλεί την μη οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.

Η αδυναμία των επενδυτών να προβλέψουν τις συνέπειες κάθε εναλλακτικής επένδυσης εισάγει την έννοια του οικονομικού κινδύνου μιας επιχειρηματικής απόφασης. Ο όρος επιχειρηματικός κίνδυνος χρησιμοποιείται για να εκφράσει την αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης των μελλοντικών εσόδων, εξόδων και κατά συνέπεια των κερδών μιας επένδυσης. Τρεις βασικοί παράγοντες που συνθέτουν την αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τις επενδυτικές αποφάσεις είναι η αβεβαιότητα λόγω αστάθειας των οικονομικών παραμέτρων, λόγω εσωτερικών και διεθνών πολιτικών εξελίξεων και η αβεβαιότητα που σχετίζεται με τις αντιλήψεις των επενδυτών για το περιβάλλον και τους περιορισμούς του. Η βασική προϋπόθεση όλων των μεθόδων αξιολόγησης επενδύσεων είναι ότι η υψηλή απόδοση είναι επιθυμητή και ο κίνδυνος ανεπιθύμητος.

Βιβλιογραφία

Αθανασοπούλου, Χ. (2002). Οικονομική ελευθερία και προστασία του περιβάλλοντος. Εκδόσεις Σάκκουλα.

Αλεξάκης Α. (1993). *Αιολική ενέργεια*. Αθήνα. Εκδόσεις Σιδέρη.

Ανδρίτσος, Ν. (2003). *Διδακτικές Σημειώσεις Ενεργειακής Οικονομίας*. Βόλος.

Arduino playground Ethernet. (2019, 20 Αυγούστου). Ανάκτηση από <http://arduino.cc/en/Reference/Ethernet>,

Arduino Hardware. (2019, 20 Αυγούστου). Ανάκτηση από <http://arduino.cc/en/Main/Hardware>

Arduino playground Ethernet. (2012, 3 Σεπτεμβρίου). Ανάκτηση από <http://arduino.cc/en/Reference/Ethernet>.

Arduino Hardware. (2012, 27 Ιουλίου). Ανάκτηση από <http://arduino.cc/en/Main/Hardware>

Atmel ATmega328. (2012, 27 Ιουλίου). Ανάκτηση από <http://www.atmel.com/devices/atmega328.aspx>

Βελγάκη, Ε., Βασιλειάδης, Α. (2005). *Τεχνοοικονομική Μελέτη ΘΑΠ 20MW στη θέση Μόχλος Δήμου Σητείας Νομού Λασιθίου*. Αδημοσίευτη πτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Τμήμα Π.Σ.Ε. Ενεργειακή και Περιβαλλοντική Τεχνολογία.

Bernhard, L., Hojstrup, J. (1999). *WAsP for offshore sites in confined coastal waters the influence of the sea fetch*, *Proceedings of the European Wind Energy Conference*, 1-5 March 1999, Nice, France ppl 165-1168.

Binopoulos, E., Haviaropoulos, P. (2006). *Environmental Impacts of Wind Farms: Myth and Reality*. *Centre for Renewable Energy Sources (CRES)*. 1-

2006.<http://www.cres.gr/kape/publications/papers/dimosieyseis/CRESTRANSWIND ENVIRONMENT.doc>.

Βουρδουμπάς, Ι. (2006). Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και άλλες ενεργειακές τεχνολογίες. Δοκίμια για την ενέργεια. Χανιά.

Brownlee, J. (2016). *Conversational Interfaces, Explained*. Fast Co. Design. Fast Company Inc. Retrieved July 4.

Buckley, S. (2005). *Wind farms & Electromagnetic Interference – Dispelling the Myths*. Sinclair Knight Merz. 5-

2005. http://www.skmconsulting.com/Markets/energy/Wind_farms_Electromagnetic_Interference.htm.

Γελεγένης, Ι., Αζαόπουλος, Ι. (2005), «Πηγές Ενέργειας, Συμβατικές και Ανανεώσιμες». Αθήνα. Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΟΛΙΤΕΙΑ

Δαγκαλίδης, Α. (2010). *Κλαδική Μελέτη 13, Αιολικά Πάρκα*. Τράπεζα Πειραιώς. Μονάδα οικονομικής ανάλυσης και αγορών, Ιούνιος 2011.

Duffield, N., Sass, H. (2003). *Energy – clean power from the Earth's heat*. US Geological Survey, Virginia

Farrugia, N., Scerri, E. (1999). *A wind resource assessment for the Maltese islands*. Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France ppl 121-1123.

Gipe, P. (1999). *Wind energy basics: a guide to small and micro wind systems*, Chelsea Publishing Co.

Καλδέλλης, Ι. (1999). *Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας*. Αθήνα. Εκδόσεις Σταμούλης.

Καλδέλλης, Ι., Καββαδίας, Κ. (2005). *Υπολογιστικές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας*. Αθήνα. Εκδόσεις Σταμούλης.

Καπλάνης, Σ., (2003). Ήπιες μορφές ενέργειας – Περιβάλλον & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Εκδόσεις ΙΩΝ

Κανελλόπουλος, Β. (2008). *Αιολική Ενέργεια–Σχεδιάζοντας στις Αυλές των Ανέμων*. Αθήνα. Εκδόσεις ΙΩΝ.

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Αποτελέσματα έργου ΕΠΕ 3.4.3., www.cres.gr,

Κορωνάιος, Χ. (2012). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Αθήνα: ΕΜΠ, Δ.Π.Μ.Σ. «Περιβάλλον & Ανάπτυξη», Διδακτικές Σημειώσεις.

- Κουτσογιάννης, Δ. (1999). *Στατιστική Υδρολογία*. Αθήνα. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κουτσογιάννης, Δ. και Ξανθόπουλος, Θ. (1999). *Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κυριτσάκη, Ο. (2005). Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα. Κοζάνη.
- Landberg, L. (1997). *Predicting the power output from wind farms. Proceedings of the European Wind Energy Conference*, October 1997, Dublin Castle, Ireland, pp747-50.
- Margolis, M. (2012). *Arduino cookbook*. Publisher: Sebastopol, Calif
- Μαρινάκης, Ι. (2012). Πηγές ενέργειας. Άρθρο στην ιστοσελίδα http://imarinakis.webs.com/sources_energy.htm.
- Mortensen, G., Landberg, L., Troen, I. and Petersen, E. (2002). *Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)*. Rise National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- Μπαρμπαρήγου, Μ. (2011). Οικονομοτεχνική Μελέτη Αιολικού Πάρκου στη δυτική Κρήτη με τη Χρήση Των λογισμικών WASP ΚΑΙ RETSCREEN, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Μπάης, Α. (2014). Πηγές Ενέργειας στο Περιβάλλον. Σημειώσεις για το μάθημα επιλογής της κατεύθυνσης Φυσικής Περιβάλλοντος του ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη.
- Μπινόπουλος, Ε., Χαβιαρόπουλος, Π. (2009). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων: «Μύθος και πραγματικότητα». ΚΑΠΕ.
- Μπιτζιώνης, Β., Δ. και Μπιτζιώνης, Δ., Β. (2015), *Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Μπεργελές, Γ. (2005). *Ανεμοκινητήρες*. RETScreen International Clean Energy Decision Support Centre, 2004. Εκδόσεις Συμεών.
- Νομίδης, Δ. (1999). *Αξιοποίηση της Αιολικής Ενέργειας στα νησιά του νότιου Αιγαίου*. Δελτίο ΠΣΔΜΗ, Αθήνα.
- Παπαδόπουλος, Μ., Παπαθανασίου, Σ. (1995). Επιπτώσεις και Προβλήματα από την Ένταξη Ανεμογεννητριών στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. 5^ο Συνέδριο Ι.Η.Τ.
- Σαββίδης, Η. (2008). *Παραγωγή Ενέργειας και Ενεργειακά Αποθέματα*. Σημειώσεις για το μάθημα επιλογής του τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη
- Σαχσαμάνογλου, Χ., Μπλούτσος, Α. (1998). Φυσική κλιματολογία. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Ζήτη.

Schmidt, M. (2011). *Arduino: A Quick Start Guide*, Pragmatic Bookshelf, January 22 2011, Pg. 201

Sengupta, D.,L. (1999). *Electromagnetic interference from wind turbines*. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 1999. Orlando, FL, USA. 07/11/1999 - 07/16/1999. 3: 1984-1986.

Silberschatz, Korth, Sudarshan. (2009). *Συστήματα Βάσεων Δεδομένων έκδοση 4*. Εκδόσεις: Μ. Γκιούρδας.

Steele, A. (2005). *An environmental impact assessment of the proposal to build a wind farm at Langdon Common in the North Pennines*, UK. *The Environmentalist* 2005; 11: 195-212.

Toshiya, N., Masahiro, A., Takamitsu, S., Yamaguchi, K., Masaaki, S., Maejima, T. (2003). *Smoothing effects of distributed wind turbines. Part 1. Coherence and smoothing effects at a wind farm*. *Wind Energy*. volume 7, issue 2, pp61-74, www.interscience.wiley.com.

Walker, J. (1997). *Wind energy technology*. John Wiley & Sons.

Wilson, W. (2006). *Interference of Wind Turbines with Wide Area Communications*. Black & Veatch. 6-2006. http://www.masstech.org/Project%20Deliverables/Comm_Wind/Eastham/Eastham_Cell_Tower_Analysis.pdf.

Ζαπουνίδης Κ. (2003). Βασικές αρχές & σύγχρονα θέματα του χρηματοοικονομικού μάντζμεντ. Εκδόσεις Κλειδάριθμος.